รายงานการวิจัย

องค์ประกอบทางชีวเคมีและการใช้ประโยชน์จากสาหร่ายทะเลขนาดใหญ่ *Caulerpa racemosa* บริเวณชายฝั่งอันดามัน

Biochemistry composition and utilization from a marine macroalgae, *Caulerpa racemosa* in Andaman coast

สมรักษ์ รอดเจริญ	Somrak Rodjaroen
สุนันทา ข้องสาย	Sunanta Khongsai
พชร เพ็ชรประดับ	Patchara Pedpradab
ชุตินุช สุจริต	Chutinut Sujarit
อุไรวรรณ วัฒนกุล	Uraiwan Wattanakul
วัฒนา วัฒนกุล	Wattana Wattanakul

คณะวิทยาศาตร์และเทคโนโลยีการประมง
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
งบประมาณแผ่นดิน ประจำปี 2558

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้โดยได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยงบประมาณแนดินประจำปี 2558 ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ขอขอบคุณนักศึกษาปริญญาตรีและนักศึกษาปริญญาโท คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่ช่วยเก็บตัวอย่างและเป็นผู้ช่วยในการวิเคราะห์ตัวอย่าง

สุดท้ายขอกราบขอบคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่เป็นกำลังใจในการทำวิจัยเสมอมา

คณะผู้วิจัย
สิงหาคม 2558

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	2
สารบัญ	3
บทนำ	4
วัตถุประสงค์	5
1. การศึกษาองค์ประกอบทางชีวเคมีของสาหร่ายทะเลขนาดใหญ่ *Caulerpa racemosa* บริเวณชายฝั่งอันดามัน	6
2. การทดสอบเบื้องต้นทางพฤกษเคมี ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียก่อโรคผิวหนังของสารสกัดจากสาหร่ายทะเล *Caulerpa racemosa*	23
3. สารเมแทบอไลต์ทุติยภูมิจากสาหร่าย *Caulerpa racemosa* และฤทธิ์ทางชีวภาพ	60
4. ผลของการดองเกลือ แคลเซียมคลอไรด์และสารละลายโอโซนต่ออายุการเก็บรักษาและสารต้านอนุมูลอิสระของสาหร่ายทะเล	78
5. ผลิตภัณฑ์และคุณค่าทางโภชนาการที่ได้จากการแปรรูปสาหร่ายทะเลขนาดใหญ่ *Caulerpa racemosa*	108
6. การประยุกต์ใช้สาหร่ายทะเลขนาดใหญ่ *Caulerpa racemosa* เป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตและสารเหนียวในอาหารปลาทับทิม	171

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

บทนำ

สาหร่ายทะเล *Caulerpa racemosa* เป็นกลุ่มสาหร่ายสีเขียว มักพบตามธรรมชาติบริเวณฝั่งอันดามัน แถบจังหวัดสตูล ตรัง พังงา กระบี่ มีลักษณะทัลลัสเป็นท่อติดต่อกันตลอด ประกอบด้วย **ไรซอยด์** (rhizoid) ทำหน้าที่ยึดเกาะคล้ายรากส่วนที่ทอดแขนงซึ่งมีลักษณะคล้ายไหลเรียกว่า **“สโตลอน”** (stolon) ส่วนที่ทำหน้าที่สังเคราะห์แสงมีลักษณะคล้ายใบเรียกว่า **“รามูลัส”** (ramulus) เป็นแท่งกลมยาวประมาณ 1 เซนติเมตร ตรงปลายพองออกเป็นกระเปาะ สีเขียวสด ขึ้นบนพื้นกรวดปนทรายและโคลนในคลองบริเวณป่าชายเลน สาหร่ายชนิดนี้มีการเจริญเติบโตหนาแน่นในบริเวณที่มีปริมาณสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน (แอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท) และธาตุอาหารอนินทรีย์อื่นๆ สูง และขึ้นอยู่ได้ในช่วงความเค็มค่อนข้างแคบ โดยสามารถเจริญเติบโตได้ในช่วงความเค็ม 30 – 40 ppt.สาหร่ายทะเลมีการนำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง เช่น ใช้เป็นอาหารในหลายประเทศแถบเอเชีย (Darcy-Vrillon, 1993; Indergaard and Minsaas, 1991) แต่ในหลายประเทศแถบยุโรปนำมาใช้ในอุตสาหกรรมยาและเครื่องสำอางค์ (Lewis, Stanley and Guist, 1988; Stephen, 1995; Zilinskas and Lundin, 1993) ปัจจุบันจึงมีงานวิจัยที่จะคัดเลือกสายพันธุ์สกุล *Caulerpa* ที่มีศักยภาพสามารถผลิตสาร antioxidant (Cavas and Yurdakoc, 2005) antiviral activity (Adhikari et al., 2006; Duarte et al., 2004) และสาร secondary metabolite ซึ่งมารายงานว่าสามารถแสดง antineoplastic, antibacterial และantiproliferative activities (Barbier et al., 2001; Cavas et al., 2006)

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางชีวเคมี ฤทธิ์ทางชีวภาพของสารเมแทโบไลด์ทุติยภูมิ สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระและการออกฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียก่อโรคผิวหนังของสารสกัดจากสาหร่ายทะเล *Caulerpa racemosa* เพื่อเป็นข้อมูลในการส่งเสริมให้มีการใช้สาหร่ายทะเล *Caulerpa racemosa* เป็นผลิตภัณฑ์เชิงพานิชย์ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ รวมถึงการศึกษาการยืดอายุการเก็บสาหร่ายด้วยการดอสาระลายเกลือ สาระลายโอโซน แคลเซียมคลอไรด์ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์

วัตถุประสงค์หลักของแผนงานวิจัย

1. เพื่อการศึกษาองค์ประกอบทางชีวเคมีของสาหร่ายทะเล *C. racemosa* บริเวณชายฝั่งอันดามัน
2. เพื่อศึกษาผลของฤดูกาลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางชีวเคมีของสาหร่ายทะเล *C. racemosa*
3. เพื่อศึกษาองค์ประกอบเบื้องต้นทางพฤกษเคมีและสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากสาหร่ายทะเล *Caulerpa racemosa*
4. เพื่อศึกษาการออกฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียก่อโรคผิวหนังของสารสกัดจากสาหร่ายทะเล *Caulerpa racemosa*
5. เพื่อศึกษาฤทธิ์ทางชีวภาพของสารเมแทโบไลด์ทุติยภูมิจากสาหร่าย *C. racemosa*
6. เพื่อพิสูจน์ทราบโครงสร้างสารบริสุทธิ์จาก *C. racemosa*
7. ศึกษาความเข้มข้นของสาระลายเกลือ สาระลายโอโซน แคลเซียมคลอไรด์ ที่เหมาะสมต่อคุณภาพของสาหร่ายขนนก
8. ศึกษาสารต้านอนุมูลอิสระที่ได้จากการดองสาหร่ายขนนกโดยการใช้สารละลายเกลือ สารละลาย โอโซน แคลเซียมคลอไรด์
9. ศึกษาสาหร่ายที่ผ่านการดองในสภาวะที่เหมาะสมนำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์

การศึกษาองค์ประกอบทางชีวเคมีของสาหร่ายทะเลขนาดใหญ่ *Caulerpa racemosa* บริเวณชายฝั่งอันดามัน

Biochemistry composition of marine macroalgae, *Caulerpa racemosa* in Andaman coast

สมรักษ์ รอดเจริญ **Somrak Rodjaroen**

ชุตินุช สุจริต **Chutinut Sujarit**

บทคัดย่อ

สาหร่ายทะเลมีการนำมาใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลายทั้งด้านอาหาร การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ อุตสาหกรรมยาและเครื่องสำอางค์ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณภาพน้ำและองค์ประกอบทางชีวเคมีของสาหร่ายทะเลขนาดใหญ่ *Caulerpa racemosa* บริเวณชายฝั่งอันดามัน โดยเก็บตัวอย่างสาหร่าย 3 บริเวณ คือ จังหวัดสตูล ตรัง และกระบี่ ในเดือนมกราคม พ.ศ 2558 ผลการศึกษาพบว่า อุณหภูมิ ความเค็ม ความเป็นกรดเบส แอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท และฟอสเฟตทั้งหมด อยู่ในช่วง 28.5-29.4 องศาเซลเซียส, 30-33 ppt, 7.69-8.85, 0.08-0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร, 0.08-0.11 มิลลิกรัมต่อลิตร, 0.15-0.23 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 0.02-0.04 มิลลิกรัมต่อลิตร องค์ประกอบทางชีวเคมีของสาหร่าย *C. racemosa* พบว่า ปริมาณโปรตีน ไขมัน ไนโตรเจนฟรีเอกซ์แทรกท์ (nitrogen free extract; NFE) เส้นใย เถ้า เกลือ พลังงานรวมและความชื้น มีค่าเท่ากับ 6.52$\pm$0.29-9.01$\pm$0.06 เปอร์เซนต์, 0 เปอร์เซนต์, 20.02$\pm$0.14-23.26$\pm$0.14 เปอร์เซนต์, 0.88$\pm$0.35-4.01$\pm$0.12 เปอร์เซนต์, 63.72$\pm$0.01-71.92$\pm$0.10 เปอร์เซนต์, 53.01$\pm$1.29-59.43$\pm$2.17 เปอร์เซนต์, 125.90$\pm$0.33-162.27$\pm$0.14 กิโลจูนต่อกรัม และ 96.82$\pm$0.03-97.25$\pm$0.07 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าสาหร่าย *C. racemosa* จากบริเวณจังหวัดตรังมีปริมาณโปรตีน ไนโตรเจนฟรีเอกซ์แทรกท์ เส้นใยและพลังงานมีค่าสูงสุดและและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) กับทุกแหล่ง ผลของฤดูการต่อองค์ประกอบทางชีวเคมีของสาหร่าย *C. racemosa* พบว่าปริมาณโปรตีน ไขมัน ไนโตรเจนฟรีเอกซ์แทรกท์และพลังงานรวมสูงสุดในเดือนธันวาคม ดังนั้นสาหร่าย *C. racemosa* จากบริเวณจังหวัดตรังจึงมีความเหมาะสมสำหรับนำไปใช้ประโยชน์ทางพานิชย์ต่อไป

คำสำคัญ: ทรัพยากรธรรมชาติ, องค์ประกอบทางชีวเคมี, สาหร่ายทะเล

Abstract

Seaweed has been used widely useful in food, aquaculture, drug and cosmetic industry. This research aims to study water quality and biochemical composition of the seaweed, *Caulerpa racemosa* at the Andaman Coast. Seaweed samples were collected from three areas at Krabi, Trang and Satun provinces in January 2015. The results showed that temperature, salinity, pH, nitrite, ammonia, nitrate and total phosphate in the range of 28.5 to 29.4 ℃, 30-33 ppt, 7.69-8.85, 0.08-0.10 mg/l, 0.08.-0.11 mg/l, 0.15-0.23 mg/l and 0.02-0.04 mg/l, respectively. Biochemical composition of the seaweed, *C. racemosa* found that crude protein, nitrogen free extract (NFE), fiber, ash, salt, gross energy and moisture in the range of 6.52±0.29-9.01±0.06 %, 0 %, 20.02±0.14-23.26±0.14 %, 0.88±0.35-4.01±0.12 %, 63.72±0.01-71.92±0.10 %, 53.01±1.29-59.43±2.17 %, 125.90±0.33-162.27±0.14 kJ g^{-1} และ 96.82±0.03-97.25±0.07 $g.kg^{-1}$, respectively. These results suggest that seaweed, *C. racemosa* from Trang province was the highest of protein, NFE, fiber, and energy and was statistically significant ($p < 0.05$) with all sources. Effect of season on biochemical composition of the seaweed, *C. racemosa* found that crude protein, nitrogen free extract (NFE) and gross energy were the higest in December. So, seaweed *C. racemosa* from Trang province is considered suitable for use by commercial interests further.

Keywords: Natural resources, Biochemical composition, Seaweed

บทนำ

สาหร่ายทะเลมีการนำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้าง เช่น ใช้เป็นอาหารในหลายประเทศแถบเอเชีย (Darcy-Vrillon, 1993; Indergaard and Minsaas, 1991) แต่ในหลายประเทศแถบยุโรปนำมาใช้ในอุตสาหกรรมยาและเครื่องสำอางค์ (Lewis, et al., 1988; Renn, 1997; Skjak-Braek and Martinsen, 1991; Stephen, 1995; Zilinskas and Lundin, 1993) ปัจจุบันจึงมีงานวิจัยที่จะคัดเลือกสายพันธุ์สกุล *Caulerpa* ที่มีศักยภาพสามารถผลิตสาร antioxidant (Cavas and Yurdakoc, 2005) antiviral activity (Adhikari et al., 2006; Duarte et al., 2004; Franz, et al., 2000; Ghosh et al., 2004; Gunay and Linhardt, 1999; Iqbal, Flick-Smith and McCauley, 2000; Mazumder et al., 2002; Ponce, et al., 2003; Witvrow and De Clercq, 1997) และสาร secondary metabolite ซึ่งมารายงานว่าสามารถแสดง antineoplastic, antibacterial และantiproliferative activities (Barbier et al., 2001;Cavas et al., 2006)

สาหร่าย *Caulerpa racemosa* เป็นสาหร่ายทะเลสีเขียวที่สามารถแพร่กระจายได้ในบริเวณกว้าง ตั้งแต่เขตร้อนถึงเขตอบอุ่น ในทะเลเมอร์ดิเตอร์เรเนียนพบสาหร่ายชนิดนี้ครั้งแรกบริเวณ Sousse Harbour ประเทศ Tunisia (Hamel, 1926) ซึ่งเชื่อว่าน่าจะอพยพมาจากทะเลแดง ต่อมาพบว่ามีการแพร่กระจายไปยัง 11 ประเทศในทะเลเมอร์ดิเตอร์เรเนียนคือ ประเทศ Albania, Croatia, Cyprus, France, Greece, Italy, Libya, Malta, Spain, Tunisia and Turkey รวมทั้งเกาะใหญ่ทั้งหมด (Balearic Islands, Corsica, Crete, Cyprus, Sardinia and Sicily) (Verlaque, 2003, 2004) สำหรับประเทศไทย สาหร่าย *C. racemosa* สามารถพบการแพร่กระจายในชายฝั่งทะเลอันดา เช่น จังหวัดสตูล ตรังและกระบี่ โดยมีการนำมาบริโภคสดเป็นหลักและมีรายงานนำไปใช้บำบัดน้ำเสีย นอกนั้นไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นน้อยมาก

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาองค์ประกอบทางชีวเคมีของสาหร่ายทะเล *C. racemosa* บริเวณชายฝั่งอันดามัน โดยเปรียบเทียบ 3 บริเวณ คือ จังหวัดสตูล ตรังและกระบี่ จากนั้นศึกษาผลของฤดูกาลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางชีวเคมีของสาหร่ายทะเล *C. racemosa* เพื่อนำผลจากการศึกษาไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางค์และทางด้านเภสัช รวมทั้งในธุรกิจสัตว์น้ำ เช่น นำสาหร่าย *C. racemosa* ไปเสริมในอาหารสัตว์น้ำ เพื่อเพิ่มการเจริญเติบโต อัตราการรอด ภูมิคุ้มกัน และเร่งสีเป็นต้น

ตรวจเอกสาร

1. ลักษณะทั่วไปของสาหร่ายสกุล *Caulerpa*

สาหร่ายสกุล *Caulerpa* เป็นสาหร่ายทะเลสีเขียวที่ขึ้นในเขตร้อน โครงสร้างของสาหร่ายทะเลทั้งหมดรวมกันเรียกว่า ทัลลัส (thallus) ประกอบด้วยท่อติดต่อกันตลอด มีส่วนคล้ายราก (rhizoid) เป็นฝอยทำหน้าที่ยึดเกาะกับพื้นทราย หรือสิ่งยึดเกาะอื่นๆและทอดแขนงคล้ายไหล (stolon) ออกเป็นระยะ (Famá *et al*., 2002) ส่วนที่มีลักษณะคล้ายใบซึ่งทำหน้าที่สังเคราะห์แสง เรียกว่า ramulus หรือ frond หรือ blade ขึ้นอยู่กับลักษณะที่ปรากฏ มีรูปร่างลักษณะต่าง ๆ กัน บางชนิดกลม บางชนิดแบน หรือเป็นเส้นแบบขนนก thallus จะมีลักษณะสีเขียวใส ซึ่งมีขนาดใหญ่เล็กต่างกันไป บางชนิดอาจยาวถึง 1 เมตร ส่วนประกอบของรงควัตถุที่พบจะเป็นชนิดเดียวกับที่พบในพืชชั้นสูง คือ chlorophyll ได้แก่ chlorophyll a, chlorophyll b และ carotenoid ได้แก่ carotene, lutein, zeaxanthin, siphoxanthin และ siphonein การสืบพันธุ์เป็นได้ทั้ง 2 แบบ ได้แก่ แบบอาศัยเพศ (sexual reproductive) โดยการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ ซึ่งมีลักษณะเป็นตุ่ม (papillae) บริเวณ gametophyte และการขยายพันธุ์ (vegetative reproduction) แบบไม่อาศัยเพศโดยการขาดออกเป็นท่อน (asexual fragmentation) (ยุวดี, 2549; Lewmanomont and Ogawa, 1995)

สาหร่ายสกุล *Caulerpa* แพร่กระจายได้ดีอยู่ในช่วงความเค็มตั้งแต่ 25-35 ส่วนในพัน อุณหภูมิอยู่ในช่วง 20-30 องศาเซลเซียส และจะแพร่กระจายได้ดีในช่วงฤดูร้อน นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อการแพร่กระจายของสาหร่าย ได้แก่ กระแสน้ำ ความเข้มแสง ปริมาณสารอาหารในแหล่งน้ำ ปริมาณสารพิษ พื้นที่ยึดเกาะ และปริมาณสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ เช่น สัตว์น้ำที่กินสาหร่าย รวมทั้งการแก่งแย่งพื้นที่ด้วยกันเองของสาหร่าย ในประเทศไทยสาหร่ายทะเลพบได้ทั้งทะเลอันดามันและทะเลอ่าวไทย โดยพบขึ้นอยู่บริเวณชายฝั่งทะเลที่มีซากปะการัง เปลือกหอย ก้อนหิน พื้นโคลนเลน และโคลนปนทราย น้ำทะเลค่อนข้างใสถึงขุ่นเล็กน้อย คลื่นลมไม่รุนแรง พบมากในเขตน้ำขึ้นน้ำลง หรือแอ่งหินชายฝั่งที่มีน้ำทะเลท่วมขัง นอกจากนี้ยังพบสาหร่ายสกุลนี้หลายชนิดบริเวณป่าชายเลน ตามพื้นโคลนเลน โคลนปนทราย ซึ่งจะขึ้นตามรากแสม รากโกงกาง และบนโขดหิน (Lewmanomont and Ogawa, 1995; Clifton and Clifton, 1999)

ปัจจุบันทั่วโลกมีสาหร่ายทะเลสกุล *Caulerpa* จำนวนทั้งสิ้น 190 ชนิด สำหรับในประเทศไทยมีจำนวนทั้งสิ้น 14 ชนิด

สาหร่ายทะเลสกุล *Caulerpa* มีการจัดอันดับทางอนุกรมวิธานดังนี้ (Guiry, 2010)

Kingdom : Plantae
Division : Chlorophyta
Class : Bryopsidophyceae
Order : Bryopsidales
Family : Caulerpaceae
Genus : Caulerpa
Species : *C. racemosa*

2. ความสำคัญของสาหร่าย

Round (1973) กล่าวไว้ว่า สาหร่ายเป็นสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก แต่มีความสำคัญ โดยเฉพาะทางด้านเศรษฐกิจของประเทศต่างๆ ที่รู้จักนำสาหร่ายมาใช้ประโยชน์เป็นเวลานานมาแล้วโดยแยกประโยชน์ในแง่ต่างๆ ดังนี้คือ

- ความสำคัญทางระบบนิเวศ

สาหร่ายดำรงชีวิตแบบออโตโทรฟิค เป็นสิ่งมีชีวิตที่ผลิตออกซิเจนให้แก่สิ่งแวดล้อมอย่างสำคัญทีเดียว ประมาณกว่า 50% ของออกซิเจนในน้ำ และเป็นส่วนหนึ่งของห่วงโซ่อาหารขั้นต้นๆของสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในน้ำ

- ความสำคัญทางด้านอุตสาหกรรม

ผลผลิตจากสาหร่ายที่เป็นสินค้า ซึ่งมีความสำคัญทางเศรษฐกิจมี 4 ชนิดใหญ่ๆ คือ วุ้น คาร์ราจีนิน อัลจิล หรืออัลจิเนต และไดอะโตไมท์

- ความสำคัญทางด้านใช้เป็นยารักษาโรคต่างๆ

ในประเทศจีนตอนใต้ใช้สาหร่ายสีแดง *Digenia simplex* เป็นยาถ่ายพยาธิและรักษาโรคตาลขโมย ใช้โซเดียมลามินารินซัลเฟตและฟิวคอยดิน ซึ่งสกัดจากสาหร่ายสีน้ำตาลเป็นยาให้เลือดแข็งตัว ใช้สาหร่ายสีน้ำตาลพวก *Sargassum* รักษาโรคคอพอก และรับประทานแก้ร้อนใน

- ความสำคัญทางด้านการศึกษาและการทดลองทางวิทยาศาสตร์

มีการนำเอาสาหร่ายขนาดใหญ่มาใช้ในการศึกษาทางด้านสรีรวิทยาของเซลล์ และงานวิจัยทางชีววิทยา ศึกษาการกลายพันธุ์ หรือศึกษาเรื่องพันธุกรรมนอกนิวเคลียส

- การบำบัดน้ำเสีย

การใช้สาหร่ายบำบัดน้ำเสียมีการศึกษากันอย่างแพร่หลายเพราะนอกจากกำจัดสารอินทรีย์และอนินย์ทรีย์แล้ว ยังช่วยเพิ่มออกซิเจนในน้ำด้วย (Graham and Wilcox, 2000)

รายงานการใช้สาหร่ายขนาดใหญ่บำบัดน้ำเสีย เช่น Yarish *et al*. (2001) พบว่าการเลี้ยงสาหร่าย *Kappaphycus alvarezii* สามารถป้องกันและจัดการคุณภาพน้ำชายฝั่งให้ดี รวมทั้งลดไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ในน้ำทะเลสูงถึง 53.8 และ 3.7 ตัน ตามลำดับ บริเวณอ่าว Xincun ทางตะวันออกเฉียงใต้ของมณฑล Hainan ประเทศจีน ในช่วงปี 1999-2000 เช่นเดียวกันกับการรายงานของ Nang (2005) พบว่าสาหร่ายชนิดนี้สามารถลด แอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท ฟอสเฟต และฟอสฟอรัส ของน้ำทะเลอยู่ในช่วง 10-80% ในบริเวณชายฝั่งประเทศเวียดนาม

Hayashi *et al*. (2008) ศึกษาการใช้สาหร่าย *K. alvarezii* บำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงปลา *Trachinotus carolinus* พบว่า สามารถลดไนเตรท 18.2% ไนไตรท์ 50.8% แอมโมเนีย 70.5% และฟอสเฟต 26.8% หลังจากเลี้ยงเป็นระเวลา 40 วัน

นอกนั้นมีการรายงานพบว่าสาหร่ายสกุล *Caulerpa* สามารถบำบัดโลหะหนักได้เช่นกัน การใช้ *Caulerpa lentillifera* ในการสามารถกำจัด Cu (II), Cd (II) และ Pb(II) (Apiratikul and Pavasant, 2008) หรือ ใช้ *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* กำจัดสารมาลาไคกรีน (Bekci et al., 2009)

3. การศึกษาองค์ประกอบทางชีวเคมีของสาหร่าย

Hodaifa *et al*. (2008) รายงานปริมาณโปรตีนในสาหร่าย *Scenedesmus obliquus* ที่เลี้ยงในน้ำเสียจากโรงงานผลิตน้ำมันมะกอก ที่ระดับความเข้มข้น 5% และ 50% มีค่าเท่ากับ 6.2% และ 30.8% ในขณะที่ Becker (1994) พบว่า ถ้าเลี้ยงสาหร่าย *Scenedesmus* ในอาหารที่เติมไนโตรเจนพบว่ามีปริมาณโปรตีนสูงถึง 56%

Kumar และคณะ (2011) ศึกษาองค์ประกอบทางชีวเคมีของสาหร่ายทะเลสกุล *Caulerpa* จำนวน 3 ชนิด (*Caulerpa veravelensis*, *C. scalpelliformis* และ *C. racemosa*) ในประเทศอินเดีย พบว่า มีโปรตีน คาร์โปไฮเดรต และไขมันอยู่ในช่วง 7.77-12.88 % 37.23–48.95% DW และ 2.64 - 3.06% DW ตามลำดับ

อุปกรณ์และวิธีการ

1. อุปกรณ์

1.1. กล้องจุลทรรศน์ (Light compound microscope)
1.2. ตู้อบ (Oven)
1.3. เครื่องชั่ง
1.4. เครื่องวัดอุณหภูมิ (Thermometer)
1.5. เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่างของน้ำ (pH meter)
1.6. เครื่องวัดความเค็ม (Salinity meter)
1.7. เครื่องวัดความเข้มแสง (Lux meter)
1.9. UV-visible spectrophotometer
1.10. เครื่องอบแห้ง (Freezer Dryer)
1.11. เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge)
1.12. เครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC)
1.13. เครื่องผสมสาร (Vortex mixer)
1.14. หม้อนึ่งความดัน (Autoclave)
1.16. สารเคมี
1.17. เครื่องแก้ว
1.18. โถดูดความชื้น (Desiccators)

2. วิธีการ

2.1 ศึกษาองค์ประกอบทางชีวเคมีของสาหร่ายทะเล *C. racemosa* บริเวณชายฝั่งอันดามัน

2.1.1 การเก็บตัวอย่างสาหร่าย

เก็บตัวอย่างทัลลัสสาหร่ายทะเล *C. racemosa* ในช่วงน้ำลง บริเวณจังหวัดตรัง กระบี่ และพังงา ทำความสะอาดตัวอย่างและนำใส่ถุงพลาสติกปิดสนิท แช่ในน้ำแข็งระหว่างขนส่งจากบริเวณเก็บตัวอย่าง แบ่งตัวอย่างเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกสกัดทันทีเมื่อขนส่งถึงห้องปฏิบัติการและส่วนที่สองนำตัวอย่างไปแช่ในอุณหภูมิ -40 °C เพื่อนำไปทำแห้งโดยวิธี Freeze dried

2.1.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวเคมี

1) น้ำหนักแห้ง นำสาหร่ายสดมาชั่งน้ำหนักก่อน นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60°C ในตู้อบ (Oven) แล้วนำชั่งน้ำหนักแห้งจนกระทั่งค่าของน้ำหนักคงที่ (Kumar et al., 2011)

2) เถ้าทั้งหมด (Total ash content) หาโดยชั่งน้ำหนักเถ้าหลังจากไปเผาที่อุณหภูมิ 550°C ระยะเวลา 18 ชั่วโมง ใน muffle furnace (Kumar et al., 2011)

3) ปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนทั้งหมด (Total carbon and nitrogen content) หาตามวิธี Kumar และ คณะ (2011)

4) ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate content) หาโดยวิธี phenolic sulphuric acid colorimetric method โดยใช้ glycogen เป็นสารมาตรฐาน (Dubois et al., 1956)

5) ปริมาณโปรตีนทั้งหมด (Percentage crude proteins) หาตามวิธี Kumar และ คณะ (2011)

6) ปริมาณไขมันทำการสกัดสาหร่ายตามวิธีของ Bligh and Dyer (1959) และหาปริมาณไขมันตามวิธีของ Kumar และ คณะ (2011)

7) พลังงาน (Energy content) คำนวนมากจากค่าปริมาณโปรตีน คาร์โบไฮเดรตและไขมันคูณด้วยค่าคงที่เท่ากับ 23.86, 17.16 and 36.42 kJ g^{-1} ตามลำดับ (Brett and Groves, 1979)

2.1.3 คุณภาพน้ำ

ตรวจวัดคุณภาพน้ำบริเวณเก็บตัวอย่างสาหร่าย ได้แก่ ความเค็ม อุณหภูมิ ความเข้มแสง ปริมาณไนโตรเจน และฟอสฟอรัส เป็นต้น

2.2 ศึกษาผลของฤดูกาลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางชีวเคมีของสาหร่ายทะเล *C. racemosa*

เก็บตัวอย่างทัลลัสสาหร่ายทะเล *C. racemosa* ในช่วงน้ำลง บริเวณจังหวัดตรัง โดยจะเก็บตัวอย่างทุกๆ 4 เดือน และทำการการวิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวเคมีของสาหร่ายตามข้อ 13.2.1.2

2.3 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ข้อมูลทั้งหมดแสดงค่า Mean$\pm$SD (n=3) วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติด้วย one-way ANOVA และ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วย Tukey's multiple comparison tests ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (Zar, 1996) ด้วยโปรแกรม SPSS for Windows version 12.0.

ผลการทดลอง

1. ศึกษาองค์ประกอบทางชีวเคมีของสาหร่ายทะเล *C. racemosa* บริเวณชายฝั่งอันดามัน

1.1 คุณภาพน้ำ

ผลจากการเก็บตัวอย่างคุณภาพน้ำจากบริเวณที่มีการเจริญเติบโตของสาหร่ายทะเล *C. racemosa* บริเวณชายฝั่งอันดามัน จังหวัดสตูล ตรัง และกระบี่ พบว่า อุณหภูมิ ความเค็ม ความเป็นกรดเบส แอมโนเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท และฟอสเฟตทั้งหมด อยู่ในช่วง 28.5-29.4 องศาเซลเซียส, 30-33 ppt, 7.69-8.85, 0.08-0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร, 0.08-0.11 มิลลิกรัมต่อลิตร, 0.15-0.23 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 0.02-0.04 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 คุณภาพบริเวณเก็บตัวอย่างสาหร่ายทะเล *C. racemosa* บริเวณชายฝั่งอันดามัน

Parameters	Provinces (Mean±SE)		
	Trang	Krabi	Satun
Temperature (°C)	28.5	29.2	29.4
Salinity (ppt)	30	31	33
pH	7.69	8.07	8.85
Ammonia (mg/l)	0.10	0.12	0.08
Nitrite (mg/l)	0.08	0.09	0.11
Nitrate (mg/l)	0.23	0.21	0.15
Total phosphate (mg/l)	0.04	0.05	0.02

4.2 องค์ประกอบทางชีวเคมี

ผลจากการศึกษาองค์ประกอบทางชีวเคมีของสาหร่ายทะเล *C. racemosa* บริเวณชายฝั่งอันดามัน จังหวัดสตูล ตรัง และกระบี่ พบว่า โปรตีน ไนโตรเจนฟรีเอกซ์แทรกท์ เส้นใยและพลังงานมีค่าสูงสุดในสาหร่ายจากบริเวณจังหวัดตรังและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) กับทุกแหล่ง ในขณะที่เถ้ามีค่าสูงสุดในสาหร่ายจากบริเวณจังหวัดสตูลและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) กับทุกแหล่ง ปริมาณเกลือในเซลล์สาหร่ายพบว่ามีค่าสูงสุดในสาหร่ายบริเวณจังหวัดสตูล รองลงมาคือจังหวัดกระบี่และจังหวัดตรัง ตามลำดับ แต่ไม่ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) ความชื้นพบว่ามีค่าสูงสุดในสาหร่ายบริเวณจังหวัดตรัง รองลงมาคือจังหวัดกระบี่และจังหวัดสตูล ตามลำดับ และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) ยกเว้นจังหวัดตรังกับจังหวัดกระบี่ไม่ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบองค์ประกอบทางชีวเคมี (เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักแห้ง) ของสาหร่ายทะเล *C. racemosa* บริเวณชายฝั่งอันดามัน

Biochemical compositions	Provinces (Mean±SE)		
	Trang	Krabi	Satun
Protein (%)	9.01±0.06^{b}	6.52±0.29^{a}	7.18±0.19^{a}
Lipid (%)	nd	nd	nd
NFE (%)	23.26±0.14^{c}	21.73±0.14^{b}	20.02±0.14^{a}
Fiber (%)	4.01±0.12^{c}	1.36±0.12^{b}	0.88±0.35^{a}
Ash (%)	63.72±0.01^{a}	70.36±0.11^{b}	71.92±0.10^{c}
Salt (%)	53.01±1.29^{a}	55.26±0.70^{a}	59.43±2.17^{a}
GE (kJ g^{-1})	162.27±0.14^{c}	131.30±0.17^{b}	125.90±0.33^{a}
Moisture ($g.kg^{-1}$)	97.25±0.07^{b}	97.07±0.08^{ab}	96.82±0.03^{a}

หมายเหตุ: NFE, nitrogen free extract; GE, gross energy; nd, not detected.
ตัวอักษรต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

2. ศึกษาผลของฤดูกาลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางชีวเคมีของสาหร่ายทะเล *C. racemosa*

ผลจากการศึกษาองค์ประกอบทางชีวเคมีของสาหร่ายทะเล *C. racemosa* บริเวณชายฝั่งอันดามัน 3 จังหวัด คือ จังหวัดสตูล ตรัง และกระบี่ พบว่า โปรตีน ไนโตรเจนฟรีเอกซ์แทรกท์ เส้นใยและพลังงานมีค่าสูงสุดในสาหร่ายจากบริเวณจังหวัดตรังและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) กับทุกแหล่ง จึงเลือกสาหร่ายทะเล *C. racemosa* บริเวณชายฝั่งอันดามัน จังหวัดตรังเพื่อศึกษาผลของฤดูกาลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางชีวเคมีของสาหร่ายทะเล *C. racemosa*

2.1 คุณภาพน้ำ

ผลจากการเก็บตัวอย่างคุณภาพน้ำจากบริเวณที่มีการเจริญเติบโตของสาหร่ายทะเล *C. racemosa* บริเวณชายฝั่งอันดามัน จังหวัดตรัง ในแต่ละฤดูกาล โดยเก็บตัวอย่างสาหร่ายทุกสามเดือน คือ เดือนธันวาคม เดือนเมษายน และเดือนสิงหาคม พบว่า สาหร่ายมีการเจริญเติบโตในเดือนธันวาคมและเดือนเมษายน ในขณะที่เดือนสิงหาคมไม่พบสาหร่ายเจริญเติบโตในธรรมชาติเลย ซึ่งมีอุณหภูมิ ความเค็ม ความเป็นกรดเบส แอมโนเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท และฟอสเฟตทั้งหมด อยู่ในช่วง 28.5-33.3 องศาเซลเซียส, 30-34 ppt, 7.69-8.52, 0.10-0.23 มิลลิกรัมต่อลิตร, 0.08-0.11 มิลลิกรัมต่อลิตร, 0.23-0.34 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 0.04-0.17 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 คุณภาพในแต่ละเดือนบริเวณเก็บตัวอย่างสาหร่ายทะเล *C. racemosa* จังหวัดตรัง

Parameters	Month (Mean±SE)		
	December	April	August
Temperature (°C)	28.5	33.3	-
Salinity (ppt)	30	34	-
pH	7.69	8.52	-
Ammonia (mg/l)	0.10	0.23	-
Nitrite (mg/l)	0.08	0.11	-
Nitrate (mg/l)	0.23	0.34	-
Total phosphate (mg/l)	0.04	0.17	-

2.2 องค์ประกอบทางชีวเคมี

ผลจากการศึกษาผลของฤดูกาลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางชีวเคมีของสาหร่ายทะเล *C. racemosa* บริเวณชายฝั่งอันดามัน จังหวัดตรัง โดยเก็บตัวอย่างสาหร่ายทุกสามเดือน คือ เดือนธันวาคม เดือนเมษายน และเดือนสิงหาคม พบว่า สาหร่ายมีการเจริญเติบโตในเดือนธันวาคมและเดือนเมษายน ในขณะที่เดือนสิงหาคมไม่พบสาหร่ายเจริญเติบโตในธรรมชาติเลย ผลจากการเปรียบเทียบองค์ประกอบทางชีวเคมีของสาหร่ายทะเล *C. racemosa* ระหว่างเดือนธันวาคมกับเดือนเมษายน พบว่า โปรตีน ไนโตรเจนฟรีเอกซ์แทรกท์ เส้นใยและพลังงานมีค่าสูงสุดในสาหร่ายจากเดือนธันวาคมและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) ในขณะที่เถ้า ปริมาณเกลือในเซลล์สาหร่ายและความชื้นมีค่าสูงสุดในสาหร่ายจากเดือนเมษายนและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบองค์ประกอบทางชีวเคมี (เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักแห้ง) ในแต่ละเดือนของสาหร่ายทะเล *C. racemosa* บริเวณจังหวัดตรัง

Biochemical compositions	Month (Mean±SE)		
	December	April	August
Protein (%)	9.01±0.06^{b}	8.13±0.14^{b}	-
Lipid (%)	nd	nd	-
NFE (%)	23.26±0.14^{b}	20.61±0.59^{a}	-
Fiber (%)	4.01±0.12^{b}	3.01±0.15^{a}	-
Ash (%)	63.72±0.01^{a}	68.24±0.58^{b}	-
Salt (%)	53.01±1.29^{a}	54.00±0.24^{a}	-
GE (kJ g^{-1})	162.27±0.14^{b}	142.42±2.57^{a}	-
Moisture (g.kg^{-1})	97.25±0.07^{a}	99.39±0.38^{b}	-

หมายเหตุ: NFE, nitrogen free extract; GE, gross energy; nd, not detected.
ตัวอักษรต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

วิจารย์ผลการทดลอง

การเก็บตัวอย่างสาหร่ายทะเล *C. racemosa* บริเวณชายฝั่งอันดามัน จังหวัดสตูล ตรัง และกระบี่ พบว่าสาหร่ายชนิดสามารถเจริญได้ดีในน้ำทะเลที่มีความเค็มอยู่ในช่วง 30-33 ppt และอุณหภูมิอยู่ในช่วง 28-30 องศาเซลเซียส สอดคล้องจากรายงานที่ผ่านมาพบสาหร่ายสกุล *Caulerpa* แพร่กระจายได้ดีอยู่ในช่วงความเค็มตั้งแต่ 25-35 ส่วนในพัน อุณหภูมิอยู่ในช่วง 20-30 องศาเซลเซียส และจะแพร่กระจายได้ดีในช่วงฤดูร้อน นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อการแพร่กระจายของสาหร่าย ได้แก่ กระแสน้ำ ความเข้มแสง ปริมาณสารอาหารในแหล่งน้ำ ปริมาณสารพิษ พื้นที่ยึดเกาะ และปริมาณสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ เช่น สัตว์น้ำที่กินสาหร่าย รวมทั้งการแก่งแย่งพื้นที่ด้วยกันเองของสาหร่าย ในประเทศไทยสาหร่ายทะเลพบได้ทั้งทะเลอันดามันและทะเลอ่าวไทย โดยพบขึ้นอยู่บริเวณชายฝั่งทะเลที่มีซากปะการัง เปลือกหอย ก้อนหิน พื้นโคลนเลน และโคลนปนทราย น้ำทะเลค่อนข้างใสถึงขุ่นเล็กน้อย คลื่นลมไม่รุนแรง พบมากในเขตน้ำขึ้นน้ำลง หรือแอ่งหินชายฝั่งที่มีน้ำทะเลท่วมขัง นอกจากนี้ยังพบสาหร่ายสกุลนี้หลายชนิดบริเวณป่าชายเลน ตามพื้นโคลนเลน โคลนปนทราย ซึ่งจะขึ้นตามรากแสม รากโกงกาง และบนโขดหิน (Lewmanomont and Ogawa, 1995; Cliftonand Clifton, 1999)

องค์ประกอบทางชีวเคมีของสาหร่ายทะเล *C. racemosa* บริเวณชายฝั่งอันดามัน พบว่า สาหร่ายจากบริเวณจังหวัดตรังมีปริมาณโปรตีน (9.01$\pm$0.06) ไนโตรเจนฟรีเอกซ์แทรกท์ (23.26$\pm$0.14%) เส้นใย (4.01$\pm$0.12%) และพลังงาน (162.27$\pm$0.14%) สูงสุด ซึ่งใกล้เคียงกับการรายงานของ Kumar และคณะ พบว่าองค์ประกอบทางชีวเคมีของสาหร่ายทะเลสกุล *Caulerpa* จำนวน 3 ชนิด (*Caulerpa veravelensis*, *C. scalpelliformis* และ *C. racemosa*) ในประเทศอินเดีย มีปริมาณโปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมันอยู่ในช่วง 7.77-12.88 % DW 37.23–48.95% DW และ 2.64 - 3.06% DW ตามลำดับ (Kumar et al., 2011)

ผลของฤดูกาลต่อองค์ประกอบทางชีวเคมีของสาหร่ายทะเล *C. racemosa* บริเวณชายฝั่งอันดามัน พบว่า โปรตีน ไนโตรเจนฟรีเอกซ์แทรกท์ เส้นใยและพลังงานมีค่าสูงสุดในสาหร่ายจากเดือนธันวาคมและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) กับเดือนเมษายน แต่ในขณะที่เดือนเดือนสิงหาคมไม่พบสาหร่ายเจริญเติบโตในธรรมชาติเลย เป็นผลมาจากในเดือนสิงหาคมมีฝนตกชุกและมีอิทธิพลจากน้ำจืดจากบริเวณชายฝั่งไหลลงมาส่งผลทำให้ความเค็มของน้ำลดต่ำลง ประกอบกับตะกอนที่ถูกพัดมาในปริมาณมากด้วยทำให้ไปเกาะกับทัลลัสของสาหร่าย ซึ่งจะไปขัดขางการสังเคาะห์ด้วยแสงของสาหร่าย

ผลจากการศึกษาครั้งนี้จะเห็นว่าสาหร่ายชนิดนี้มีคุณค่าทางโภชนาการสูง ด้วยเหตุนี้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่สูงในสาหร่าย *C. racemosa* อาจจะนำไปทดแทนวัตถุดิบที่ให้คาร์โบไฮเดรตในสูตรอาหารสัตว์น้ำได้ ซึ่งปัจจุบันสาหร่ายถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยเฉพาะการนำสาหร่ายมาผสมในอาหารสัตว์น้ำทั้งการเสริมแบบทดแทนสัดส่วนของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตอาหาร หรือการเสริมเพื่อปรับปรุงสีและกระตุ้นการสร้างภูมิคุ้มกัน (ธัชศึก พร้อมคุ้มและคณะ, 2554) ทั้งนี้หวังผลว่าจะสามารถช่วยเพิ่มอัตราการเจริญเติบโต อัตราการรอด เพิ่มประสิทธิภาพอัตราการแลกเนื้อ (feed conversion ratio; FCR.) เพิ่มภูมิคุ้มกัน และการเพิ่มสีแก่สัตว์น้ำ (จงกล พรหมยะและคณะ, 2554)

สรุปผลการทดลอง

สาหร่ายทะเล *C. racemosa* บริเวณชายฝั่งอันดามัน จังหวัดตรัง พบว่า มีองค์ประกอบทางชีวเคมี (โปรตีน ไนโตรเจนฟรีเอกซ์แทรกท์ เส้นใยและพลังงาน) มีค่าสูงและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) กับจังหวัดสตูลและจังหวัดกระบี่ ในขณะที่เถ้ามีค่าสูงสุดในสาหร่ายจากบริเวณจังหวัดสตูลและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) กับทุกแหล่ง ปริมาณเกลือในเซลล์สาหร่ายพบว่ามีค่าสูงสุดในสาหร่ายบริเวณจังหวัดสตูล รองลงมาคือจังหวัดกระบี่และจังหวัดตรัง ตามลำดับ แต่ไม่ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) ความชื้นพบว่ามีค่าสูงสุดในสาหร่ายบริเวณจังหวัดตรัง รองลงมาคือจังหวัดกระบี่และจังหวัดสตูล ตามลำดับ และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) ยกเว้นจังหวัดตรังกับจังหวัดกระบี่ไม่ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) ผลของฤดูกาลต่อองค์ประกอบทางชีวเคมีของสาหร่ายทะเล *C. racemosa* บริเวณชายฝั่งอันดามัน พบว่า โปรตีน ไนโตรเจนฟรีเอกซ์แทรกท์ เส้นใยและพลังงานมีค่าสูงสุดในสาหร่ายจากเดือนธันวาคมและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) กับเดือนเมษายน แต่ในขณะที่เดือนเดือนสิงหาคมไม่พบสาหร่ายเจริญเติบโตในธรรมชาติเลย ดังนั้นช่วงเวลาที่เหมาะสมสำหรับการเก็บสาหร่าย *C. racemosa* บริเวณชายฝั่งอันดามัน คือ จังหวัดตรัง และอยู่ในช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนเมษายน

เอกสารอ้างอิง

จงกล พรหมยะ, ขจรเกียรติ ศรีนวลสม และศิริเพ็ญ ตรัยไชยาพร. 2554. ผลของสาหร่ายสไปรูลิน่าต่อการเติบโต ดัชนีการเจริญพันธุ์ สารสีแคโรทีนอยด์ และการกระตุ้นการสร้างภูมิคุ้มกันในการเลี้ยงปลาแฟนซีคาร์ฟ. การประชุมวิชาการสาหร่ายและแพลงก์ตอนแห่งชาติ. ครั้งที่ 5. คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา. 157 น.

ธัชศึก พร้อมคุ้ม, จงกล พรหมยะ, เกลียงศักดิ์ เม่งอำพัน, นิวุฒิ และชนกันต์ จิตมนัส. 2554. ผลของสาหร่ายสไปรูลิน่า สาหร่ายไกต่อ การกระตุ้นการสร้างภูมิคุ้มกันและปรับปรุงสีของปลาทอง. การประชุมวิชาการสาหร่ายและแพลงก์ตอนแห่งชาติ. ครั้งที่ 5. คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา. 157 น.

ยุวดี พีรพรพิศาล. 2549. สาหร่ายวิทยา พิมพ์ครั้งที่ 2. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 545 น.

Adhikari, U., Mateu, C. G., Chattopadhyay, K., Pujol, C. A., Damonte, E. B. and Ray, B. 2006. Structure and antiviral activity of sulfated fucans from *Stoechospermum marginatum*. Phytochemistry. 67:2474-2482.

Apiratikul R. and P. Pavasant. 2008. Batch and column studies of biosorption of heavy metals by *Caulerpa lentillifera*. Bioresource Technology. 99:2766-2777.

Barbier, P., Guise, S., Huitorel, P., Pesando, D., Briand, C. and Peyrot, V. 2001. Caulerpenyne from *Caulerpa taxifolia* has an antiproliferative activity on tumor cell line SK-N-SH and modifies the microtubule network. Life Science. 70: 415-429.

Bekci Z, Y. Seki and L. Cavas. 2009. Removal of malachite green by using an invasive marine alga *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea*. Journal of Hazardous Materials. 161:1454-1460.

Brett, J.R., Groves, T.D. 1979. Physiological energies. In: Hoar, W.S., Randall, D.J. (Eds.), Fish Physiology, vol. VIII. Academic Press. London. pp. 279-351.

Cavas, L. and Y., Yurdakoc. 2005. An investigation on the antioxidant status of the invasive alga *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* (Sonder) Verlaque, Huisman, et Boudouresque (Caulerpales, Chlorophyta). Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. 325:189-200.

Cavas, L., Baskin, Y., Yurdakoc, K. and Olgun, N. 2006. Antiproliferative and newlyattributed apoptotic activities from a marina alga: *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea*. Journal of Experimental Marine Biology Ecology. 339:111-119.

Clifton, K. E. and Clifton, L. M. 1999. The phenology of sexual reproduction by green algae (Bryopsidales) on Caribbean coral reefs. Journal of Phycology. 35:24-34.

Darcy-Vrillon, B. 1993. Nutritional aspects of the developing use of marine macroalgae for the human food industry. International Journal of Food Science and Nutrition. 44: S23-S35.

Dawes, C.J., Orduna-Rojas, J. and Robledo, D. 1999. Response of the tropical red seaweed *Gracilaria cornea* to temperature, salinity and irradiance. Journal of Applied Phycolology. 10:419-425.

Duarte, M. E. R., Cauduro, J. P., Noseda, D. G., Noseda, M. D., Goncalves, A. G. and Pujol, C. A. 2004. The structure of the agaran sulphate from *Acanthophora spicifera* (Rhodomelaceae, Ceramiales) and its antiviral activity. Relation between structure and antiviral activity in agarans. Carbohydrate Research. 339:335-347.

Dubois, M., Giles, K.A., Hamilton, K.S., Rebers, P.A. and Smith, F. 1956. Colorimetric method for the detrermination of sugar and related substances. Analytical Chemistry.18:350-356.

Famá, P., Wysor, B., Kooistra, W. H. C. F. and Zuccarello, G. C. 2002. Moleculer phylogeny of the genus *Caulerpa* (Caulerpales, Chlorophyta) inferred from choloroplast *tuf*A gene. Journal of Phycology. 38:1040-1050.

Franz, G., Pauper, D. and Alban, S. 2000. In B. S. Paulsen (Ed.), Bioactive carbohydrate polymers (pp. 47-58). Kluwer Academic Publishers.

Ghosh, P., Adhikari, U., Ghosal, P., Pujol, C. A., Carlucci, M. J. and Damonte, E. B. 2004. In vitro anti-herpetic activity of sulfated polysaccharide fractions from *Caulerpa racemosa*. Phytochemistry. 65:3151-3157.

Graham, L.E. and L.W. Wilcox. 2000. **Algae.** New Jersey, Prentice Hall. 698 p.

Gunay, N. S. and Linhardt, R. J. 1999. Heparinoids: structure, biological activities and therapeutic applications. Planta Medica. 65:301-306.

Hamel, G. 1926. Quelques algues rares ou nouvelles pour la flore me´diterrane´enne. Bull. Mus. Natl. Hist. Nat. 32:420.

Hayashi, L., N.S. Yokoya, S. Ostini, R.T.L. Pereira, E.S. Braga and E.C. Oliveira. 2008. Nutrients removed by *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Solieriaceae) in integrated cultivation with fishes in re-circulating water. **Aquaculture.** 277:185-191.

Hodaifa, G., M.E. Martínez and S. Sánchez. 2009. Influence of pH on the culture of *Scenedesmus obliquus* in olive-mill wastewater. **Biotechnol Bioproc E.** 14:854-860.

Indergaard, M. and Minsaas, J. 1991. Animal and human nutrition. In M.D. Guiry & G. Blunden (Eds.), Seaweed resources in Europe, uses and potential (pp. 21-64). Chichester: Wiley.

Iqbal, M., Flick-Smith, H. and McCauley, J. W. 2000. Interactions of bovine viral diarrhoea virus glycoprotein E(rns) with cell surface glycosaminoglycans. Journal of General Virology. 81:451-459.

Kumar M., V. Gupta, P. Kumari, C.R.K. Reddy and B. Jha. 2011. Assessment of nutrient composition and antioxidant potential of Caulerpaceae seaweeds. Journal of Food Composition and Analysis. 24: 270–278.

Lewis, J. G., Stanley, N. F. and Guist, G. G. 1988. In C. A. Lembi & J. R. Waaland (Eds.), Algae and human affairs (pp. 205-236). New York: Cambridge University Press.

Lewmanomont, K. and Ogawa, H. 1995. Common Seaweeds and Seagrasses of Thailand. Bangkok: Faculty of Fisheries, Kasetsart University. 164 pp.

Lichtentaler, H.K., Wellburn, A.R., 1985. Determination of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf in different solvents. Biology Society Transactions. 11:591-592.

Mazumder, S., Ghosal, P. K., Pujol, C. A., Carlucci, M. J., Damonte, E. B. and Ray, B. 2002. Isolation, chemical investigation and antiviral activity of polysaccharides from *Gracilaria corticata* (Gracilariaceae, Rhodophyta). International Journal of Biological Macromolecules. 31: 87-95.

Nang, H.Q. 2005. Results of study on production of *Eucheuma, Kappaphycus alvarezii* in Vietnam and development orientations. **Fish Rev.** 3:17-21.

Ponce, N. M. A., Pujol, C. A., Damonte, E. B., Flores, M. L. and Stortz, C. A. 2003. Fucoidans from the brown seaweed *Adenocystis utricularis*: extraction methods, antiviral activity and structural studies. Carbohydrate Research. 338:153-165.

Renn, D. 1997. Biotechnology and the red seaweed polysaccharide industry: status, needs and prospects. TIBTECH. 15:9-14.

Round, F.E. 1973. **The biology of the algae.** Edward Arnold (Publishers) Ltd., London

Skjak-Braek, G. and Martinsen, A. 1991. Applications of some algal polysaccharides in biotechnology. In M. D. Guiry and G. Blunden (Eds.), Seaweed resources in Europe: uses and potential (pp. 219–256). John Wiley & Sons. Stephen, A. M. (1995). Food

Stephen, A. M. 1995. Food polysaccharides and their applications. New York: Marcel Dekker.

Verlaque, M., Durand, C., Huisman, J.M., Boudouresque, C.F., Parco, Y., 2003. On the identity and origin of the Mediterranean invasive *Caulerpa racemosa* (Caulerpales Chlorophyta). Eur. J. Phycol. 38:325-339.

Verlaque, M., Afonso-Carrillo, J., Gil-Rodrigues, C., Durand, C., Boudouresque, C.F. and Le Parco, Y. 2004. Blitzkrieg in a marine invasion: *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* (Byropsidales, Chlorophyta) reaches the Canary Islands (north-east Atlantic). Biol. Invasions. 6:269-281.

Witvrow, M., and De Clercq, E. 1997. Sulfated polysaccharides extracted from sea algae as potential antiviral drugs. General Pharmacology. 29:497-511.

Zar, J.H., 1996. **Biostatistical Analysis,** 3rd ed. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ. 918 p.

Zilinskas, R. A. and Lundin, C. G. 1993. Marine Biotechnology and developing countries (World Bank Discussion Paper, No. 210). pp. 29.

การทดสอบเบื้องต้นทางพฤกษเคมี ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียก่อโรคผิวหนังของสารสกัดจากสาหร่ายทะเล *Caulerpa racemosa*

Phytochemical screening test, antioxidant properties and antibacterial activities on some bacteria causing skin disease of *Caulerpa racemosa* extract

สุนันทา ข้องสาย Sunanta Khongsai
ชาคริยา ฉลาด Chakhriya Chalad

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสกัดสารออกฤทธิ์ของสาหร่ายทะเล *Caulerpa racemosa* โดยใช้ตัวทำละลายเฮกเซน ไดคลอโรมีเทน เอทิลอะซิเตต เอทานอล เมทานอล และน้ำ พบว่าสารสกัดน้ำให้ %yield สูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 15.954 ศึกษาองค์ประกอบเบื้องต้นทางพฤกษเคมี ได้แก่ แทนนิน ซาโปนิน ฟลาโวนอยด์ แอลคาลอยด์ ไกลโคไซด์ และเทอร์พีนอยด์ ของน้ำสาหร่ายและสารสกัดด้วยวิธีการทางเคมี พบว่าสารตัวอย่างทั้ง 7 ชนิดมีสาระสำคัญกลุ่มเทอร์พีนอยด์เป็นองค์ประกอบเหมือนกัน นอกจากนี้สารสกัดเอทานอลยังพบสารสำคัญในกลุ่มซาโปนิน ฟลาโวนอยด์ และแอลคาลอยด์ ศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมด้วยวิธี Folin - Ciocalteu พบว่าสารสกัดไดคลอโรมีเทนมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมสูงสุด มีค่าเท่ากับ 38.833 ± 2.036 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิก/กรัมสารสกัด ศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของน้ำสาหร่ายและสารสกัดด้วยวิธี DPPH และ ABTS พบว่าสารสกัดไดคลอโรมีเทนมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS สูงที่สุด มีเปอร์เซ็นต์การออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 90.602 ± 0.705 และ 32.493 ± 0.682 ตามลำดับ มีค่า IC_{50} เท่ากับ 0.55 และ 1.54 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ เทียบกับสารต้านอนุมูลอิสระ BHT มีค่า IC_{50} เท่ากับ 0.12 และ 0.32 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ สารต้านอนุมูลอิสระ Trolox มีค่า IC_{50} เท่ากับ 0.05 และ 0.11 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ศึกษาการออกฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียก่อโรคผิวหนังของสารสกัดโดยใช้แบคทีเรียทดสอบได้แก่ *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis* และ *Pseudomonas aeruginosa* ด้วยวิธี disc diffusion, dilution susceptibility และ microbicidal activity โดยใช้ DMSO เป็น negative control และใช้ Gentamycin เป็น positive control พบว่าสารสกัดเอทิลอะซิเตต มีความสามารถในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย *S. aureus* ดีที่สุด มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้ง 10.12 ± 0.18 มิลลิเมตร มีค่า MIC และ MBC เท่ากับ 6.25 และ 25.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ เทียบกับยาปฏิชีวนะ Gentamycin มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้ง 12.37 ± 0.80 มิลลิเมตร มีค่า MIC และ MBC เท่ากับ 0.016 และ 0.031 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ สารสกัดเมทานอลและเฮกเซนมีความสามารถในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย *S. epidermidis* ดีที่สุด มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้ง 13.03 ± 0.55 และ 13.01 ± 0.37 มิลลิเมตร ตามลำดับ มีค่า MIC และ MBC เท่ากับ 0.39 (1.56) และ 0.39 (1.56) มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ เทียบกับยาปฏิชีวนะ Gentamycin มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้ง 16.48 ± 0.76 มิลลิเมตร มีค่า MIC และ MBC เท่ากับ 0.001 และ 0.004 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ สารสกัดเอทิลอะซิเตตและสารสกัดเฮกเซนมีความสามารถในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย *P.aeruginosa* ดีที่สุด มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้ง 12.38 ± 0.26 และ 12.07 ± 0.31 มิลลิเมตร ตามลำดับ มีค่า MIC และ MBC เท่ากับ 0.78 (12.50) และ 0.78 (25.00) มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ เทียบกับยาปฏิชีวนะ Gentamycin มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้ง 15.49 ± 1.48 มิลลิเมตร มีค่า MIC และ MBC เท่ากับ 0.016 และ 0.031 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ดังนั้นสาหร่าย *Caulerpa racemosa* จึงเป็นพืชที่มีความน่าสนใจในการนำไปพัฒนาใช้ประโยชน์ทางยา อาหาร และอื่นๆ และทั้งนี้ควรมีการวิเคราะห์และแยกสารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และสารที่มีฤทธิ์ต้านแบคทีเรียให้บริสุทธิ์ รวมถึงวิถีการเปลี่ยนแปลงภายในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตเพื่อประโยชน์ในอนาคตต่อไป

คำสำคัญ : สาหร่ายขนนก, องค์ประกอบทางพฤกษเคมี, สารประกอบฟีนอลิก, ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ, ฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย, แบคทีเรียก่อโรคผิวหนัง

Abstract

The purposes of this research were to study on phytochemical constituents, total phenolic contents, antioxidant activities and antibacterial properties of *Caulerpa racemosa* juice and *Caulerpa racemosa* extracts. The dried *Caulerpa racemosa* were extracted with six solvents according to polarity of solvents such as hexane, dichloromethane, ethyl acetate, ethanol, methanol and distilled water. The aqueous extract showed the highest % yield aqual to 15.954. The phytochemical constituents was studied by chemical method. The result was found that all of extract consist of terpenoid. Furthermore, the ethanol extract showed the other phytochemical constituents including of saponin, flavonoid and alkaloid. The total phenolic contents was studied by Folin - Ciocalteu method. The total phenolic contents were observed to be highest in dichloromethane extract at 38.833 ± 2.036 mg GAE/g extract. The antioxidant activities were study by DPPH and ABTS scavenging assay. The result revealed that the dichloromethane extract showed the highest DPPH and ABTS scavenging effect with the percent of inhibition aqual to 90.602 ± 0.705 and 32.493 ± 0.682, respectively with IC_{50} of 0.55 and 1.54 mg/ml, respectively lower potential than BHT with IC_{50} of 0.12 and 0.32 mg/ml, respectively and Trolox with IC_{50} of 0.05 and 0.11 mg/ml, respectively. The antibacterial activities on some bacteria causing skin disease such as *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis* and *Pseudomonas aeruginosa* were study by disc diffusion method, dilution susceptibility test and microbicidal activity test with DMSO as negative control and Gentamycin as positive control. The result were found that the ethyl acetate extract showed the highest activity against *S. aureus* with the everage inhibition zone 10.12 ± 0.18 mm., MIC and MBC values of 6.25 and 25.00 mg/ml, respectively compare with Gentamycin with the everage inhibition zone 12.37 ± 080 mm., MIC and MBC values of 0.016 and 0.031 mg/ml respectively. The methanol extract and hexane extract showed the highest activity against *S. epidermidis* with the everage inhibition zone 13.03 ± 0.55 and 13.01 ± 0.37 mm., respcctively, MIC and MBC values of 0.39 (1.56) and 0.39 (1.56) mg/ml, respectively compare with Gentamycin with the everage inhibition zone 16.48 ± 0.76 mm., MIC and MBC values of 0.001 and 0.004 mg/ml, respectively. The ethyl acetate extract and hexane extract showed the highest activity against *P.aeruginosa* with the everage inhibition zone 12.38 ± 0.26 and 12.07 ± 0.31 mm., respcctively, MIC and MBC values of 0.78 (12.50) and 0.78 (25.00) mg/ml, respectively compare with Gentamycin with the everage inhibition zone 15.49 ± 1.48 mm., MIC and MBC values of 0.016 and 0.031 mg/ml respectively. From the results of the present study, it is concluded that *Caulerpa racemosa* was indicated potential source of a variety of antioxidant and antibacterial active marine organisms and we expected the present results will provide a starting point for investigations aimed at exploiting new natural antioxidant and antibacterial substances. The selection of solvent medium used for extraction is important factor depends on their potent activities

and lead for the utilization which should be investigated more in future with greater attention.

Keywords: *Caulerpa racemosa*, Chemical constituents, Total phenolic contents, Antioxidant activities, Antibacterial activities, Bacteria causing skin disease

บทนำ

สาหร่ายขนนกหรือสาหร่ายสาย เป็นสาหร่ายทะเลสีเขียวมีชื่อวิทยาศาสตร์ *Caulerpa racemosa* มักพบตามธรรมชาติบริเวณฝั่งอันดามัน แถบจังหวัดสตูล ตรัง พังงา กระบี่ มีลักษณะทัลลัสเป็นท่อติดต่อกันตลอด ประกอบด้วยไรซอยด์ (rhizoid) ทำหน้าที่ยึดเกาะคล้ายรากส่วนที่ทอดแขนงซึ่งมีลักษณะคล้ายไหลเรียกว่าสโตลอน (stolon) ส่วนที่ทำหน้าที่สังเคราะห์แสงมีลักษณะคล้ายใบเรียกว่าราบูลัส (ramulus) เป็นแท่งกลมยาวประมาณ 1 เซนติเมตร ตรงปลายพองออกเป็นกระเปาะสีเขียวสด ขึ้นบนพื้นกรวดปนทรายและโคลนในคลองบริเวณป่าชายเลน สาหร่ายชนิดนี้มีการเจริญเติบโตหนาแน่นในบริเวณที่มีปริมาณสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน (แอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท) และธาตุอาหารอนินทรีย์อื่นๆ สูง และขึ้นอยู่ได้ในช่วงความเค็มค่อนข้างแคบ โดยสามารถเจริญเติบโตได้ในช่วงความเค็ม 30 - 40 ppt (part per thousand) การพบสาหร่ายขนนกในทะเลจึงสามารถบ่งบอกถึงคุณภาพน้ำได้เพราะสาหร่ายชนิดนี้จะขึ้นในน้ำที่สะอาดเท่านั้น สาหร่ายขนนกสามารถบริโภคได้ทั้งแบบสดคล้ายผัก ใช้ประกอบอาหารหรือแปรรูปก็ได้ เช่น แกงจืดสาหร่าย ยำสาหร่าย ไอศกรีมสาหร่าย คุกกี้สาหร่าย และน้ำสาหร่าย เป็นต้น สาหร่ายขนนกนอกจากจะมีคุณค่าทางอาหารแล้วยังมีสรรพคุณทางยาอีกด้วย สรรพคุณที่โดดเด่นคือมีฤทธิ์ป้องกันมะเร็ง บำรุงระบบประสาทและกล้ามเนื้อ มีฤทธิ์ในการรักษาโรคลำไส้อักเสบ รักษาโรคตับอักเสบเพราะช่วยในการสมานแผล เป็นอาหารที่เหมาะกับผู้ป่วยความดันโลหิตสูง เบาหวาน และหัวใจ (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2553) หรือใช้ในทางการแพทย์ รักษาโรคความดันต่ำ และต้านเชื้อรา (UNESCO, 2002)

ปัญหาการแพทย์ปัจจุบันที่เกิดขึ้นจากการดื้อยาของเชื้อแบคทีเรียมีจำนวนมากอันเนื่องมาจากการใช้สารปฏิชีวนะในการต้านเชื้อจุลชีพ และมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น การนำสมุนไพรที่มีอยู่เป็นจำนวนมากและหลากหลายชนิดมาทำการวิจัยและประยุกต์ใช้แทนสารปฏิชีวนะจะช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพและมูลค่าเพิ่ม การใช้สารสมุนไพรทั้งเสริมเข้าไปโดยตรงในอาหารหรือสารสกัดจากธรรมชาติ (natural or biological product) ซึ่งจะเป็นโอกาสอีกช่องทางหนึ่งในการเป็นผู้นำในการผลิตสมุนไพรไปขายยังต่างประเทศในอนาคตได้ ดังนั้นความพยายามในการหาสารเคมีที่อยู่ในพืชสมุนไพรเพื่อที่จะได้ตัวยาชนิดใหม่มาใช้ทดแทนสารปฏิชีวนะจึงได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก ด้วยเหตุนี้เองสมุนไพรจึงยังคงเป็นรากฐานของการแพทย์สมัยใหม่ (ประสาทพร, 2551)

ตรวจเอกสาร

สาหร่ายประกอบด้วยสารเคมีบางชนิดที่ช่วยในการรักษาผิวหนัง ชนเผ่า Kanembu ที่อยู่รอบทะเลสาบชาดได้ใช้สาหร่ายเกลียวทองรักษาโรคผิวหนังบางชนิด สาหร่าย *Caulerpa* เป็นสาหร่ายสีเขียวจัดอยู่ในดิวิชั่นคลอโรไฟตาซึ่งสาหร่ายดิวิชั่นนี้ส่วนใหญ่มีสีเขียวเหมือนหญ้า (grass green algae) ทั้งนี้เพราะภายในคลอโรพลาสต์มีรงควัตถุพวกคลอโรฟิลล์เอ และบีจำนวนมาก ซึ่งจะบดบังรงควัตถุสีอื่นๆ ไว้ นอกจากนี้ก็มีรงควัตถุพวกแคโรทีนอยด์ ได้แก่ แคโรทีน และแซนโธฟิลล์อีกหลายชนิด (จงกล, 2552) รงควัตถุเหล่านี้มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (โอภา และคณะ, 2549) แคโรทีนอยด์เป็นรงควัตถุที่พบในคลอโรพลาสต์ (chloroplast) และโครโมพลาสต์ (chromoplast) ของผลไม้ ดอกไม้ และใบของพืช และยังพบได้ในจุลชีพที่สังเคราะห์แสงได้ เช่น สาหร่าย สามารถป้องกันการทำลายเซลล์จากอนุมูลอิสระ (free radical) มีรายงานว่าแคโรทีนอยด์ช่วยในการป้องกันการเกิดโรคหัวใจ โรคมะเร็ง ชะลอความแก่ และป้องกันความผิดปกติของผิวหนังอันเนื่องมาจากแสงแดด เพราะนอกจากแคโรทีนอยด์เป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันแล้ว ยังช่วยเพิ่มการสื่อสารระหว่างเซลล์ มีฤทธิ์ต้านการอักเสบ เพิ่มการกำจัดสิ่งแปลกปลอมออกจากร่างกายและเพิ่มภูมิต้านทานด้วย (Weerasak, 2005) มีการรายงานว่าแคโรทีนอยด์เป็นสารเสริมที่สำคัญในอาหารของมนุษย์ เพราะมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระและต้านมะเร็ง สามารถเพิ่มภูมิต้านทานให้กับมนุษย์และปลาเรนโบว์เทร้าท์โดยช่วยทำให้ระบบภูมิคุ้มกันสูงขึ้น มีการศึกษาเปรียบเทียบคุณค่าทางโภชนาการ รงควัตถุ และแร่ธาตุในสาหร่ายสกุล *Caulerpa* 3 ชนิด ได้แก่ *Caulerpa veravelensis*, *Caulerpa scalpelliformis* และ *Caulerpa racemosa* พบว่า *Caulerpa racemosa* มีคุณค่าทางโภชนาการในส่วนของปริมาณความชื้น โปรตีน คาร์บอนทั้งหมด ไนโตรเจนทั้งหมด และพลังงาน มีรงควัตถุในส่วนของแคโรทีนอยด์ และมีแร่ธาตุในส่วนของแคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก สังกะสี และแมงกานีส รวมทั้งมีสารประกอบฟีนอลิกที่ออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในปริมาณที่มากกว่าสาหร่ายอีก 2 ชนิด (Manoj *et al*., 2011) ซึ่งสารประกอบฟีโนลิกทำหน้าที่ทั้งเป็นสารให้อิเล็กตรอน หรือเป็นสารให้ไฮโดรเจน และกำจัดออกซิเจนที่อยู่ในรูปแอคทีฟ ทำให้สารประกอบฟีโนลิกกลุ่มนี้มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Halliwell *et al*., 1987)

ปัจจุบันมีการนำเอาสมุนไพร และผลิตภัณฑ์ธรรมชาติมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร และเครื่องสำอางเป็นจำนวนมาก มีสาหร่ายหลายชนิดที่นำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางในรูปแบบครีมบำรุงผิว เช่น *Laminaria* spp., *Ulva* spp., *Porphyra* spp., *Spirulina* spp. และ *Chlorella* spp. โดยมีคุณสมบัติทำให้ผิวชุ่มชื้น กระตุ้นการสร้างคอลลาเจน ต้านการเกิดริ้วรอยจากแสงแดด (Jean *et al*., 2010) เนื่องจากอนุมูลอิสระมีบทบาทในการเกิดการอักเสบและการทำลายเนื้อเยื่อ มีผลต่อความเสื่อมหรือการแก่ของเซลล์ ทำให้เป็นต้นเหตุของการที่ผิวหนังเหี่ยวย่น เกิดโรคหลอดเลือดและมะเร็ง (Lee *et al*., 2004) มีการศึกษาในประเทศญี่ปุ่นพบว่าเครื่องสำอางที่ผสมสาหร่ายและสารสกัดจากสาหร่ายเกลียวทองช่วยให้ผิวพรรณดีขึ้นและลดริ้วรอย ส่วนในประเทศไทยก็ได้มีบริษัทหลายแห่งที่ใช้สาหร่ายเกลียวทองเป็นเครื่องสำอางในรูปครีมบำรุงผิว (ไปรมา, 2546)

มีการศึกษาฤทธิ์ทางชีวภาพของสาหร่ายทะเลไม่ว่าจะเป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน เช่น *Sapirulina* spp. หรือสาหร่ายเกลียวทอง โดยนำสาหร่ายชนิดนี้มาจากบริษัทกรีนไดมอนด์ จำกัด สกัดด้วยตัวทำละลายเฮกเซน ไดคลอโรมีเทน เอทานอล เมทานอล และน้ำ แล้วทดสอบฤทธิ์การต้านแบคทีเรียและอนุมูลอิสระพบว่า สารสกัดหยาบที่สกัดจากตัวทำละลายทั้ง 5 ชนิด ไม่สามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermis*, *Enterobacter aerogenes*, *Klebsiella pneumoniae*, *Proteus vulgaris*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella typhi* และ *Shigella*

flexneri ได้เลย และสารสกัดที่ใช้เมทานอลเป็นตัวทำละลายมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด จึงได้นำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เจลต้านอนุมูลอิสระโดยทดสอบกับอาสมัคร 10 คน ปรากฏว่าผลิตภัณฑ์เจลที่ผลิตขึ้นไม่เกิดอาการระคายเคืองต่อผิวหนัง (ขนิษฐา, 2553)

สาหร่ายสีเขียวบางชนิด เช่น *Epiactis prolifera* ที่เก็บในจังหวัดจุงนัม ประเทศเกาหลี นำมาสกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอลแล้วสกัดแยกส่วนด้วยตัวทำละลายเฮกเซน คลอโรฟอร์ม และเอธิลอะซิเตต จากนั้นนำแต่ส่วนสกัดไปทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH พบว่าส่วนสกัดในชั้นคลอโรฟอร์มที่มีความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าสารมาตรฐาน BHA และ tocopherol ที่ความเข้มข้นเดียวกัน (MyoungLae *et al*., 2011) สาหร่าย *Ulva reticulata* หรือสาหร่ายผักกาดทะเล ซึ่งเป็นสาหร่ายทะเลสีเขียววงศ์ *Ulvaceae* เก็บจากอ่าวป่าคลอก อำเภอถลาง จังหวัดภูเก็ต นำมาสกัดด้วยน้ำแล้วทดสอบฤทธิ์ต้านการเกิดแผลกระเพาะอาหารในหนูขาว พบว่าสารสกัดด้วยน้ำของ *Ulva reticulata* สามารถลดปริมาณกรดและเพิ่มพีเอชของน้ำย่อย ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสารสกัดด้วยน้ำของ *Ulva reticulata* มีฤทธิ์ยับยั้งการหลั่งกรดในกระเพาะอาหาร และสามารถยับยั้งฤทธิ์ของฮีสตามีนที่เพิ่มอัตราการเต้นของหัวใจได้เช่นเดียวกับยาไซเมทิดีน (Bowornjit, 2008) สาหร่าย *Encephalitozoon intestinalis* ที่เก็บได้จากจังหวัดปัตตานี นำมาสกัดด้วยน้ำได้ไบโอโพลีแซคคาไรด์ที่มีความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระและมีปริมาณฟีนอลิกสูงกว่าไบโอโพลีแซคคาไรด์ที่สกัดด้วยด่างที่ความเข้มข้นและอุณหภูมิในการสกัดสูงกว่า 40 °C แต่ไบโอโพลีแซคคาไรด์ที่ได้จากการสกัดด้วยด่างนาน 4 ชั่วโมง มีคุณสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าการสกัดด้วยน้ำ (นภัสสร, 2553)

สาหร่าย *Caulerpa* แต่ละสายพันธุ์มีฤทธิ์ทางชีวภาพที่แตกต่างกันออกไป เช่น *Caulerpa microphysa* ที่พบบริเวณหมู่เกาะเผิงหู ประเทศไต้หวัน สามารถออกฤทธิ์ต้านมะเร็งมีศักยภาพเพียงพอต่อการนำไปพัฒนาในอุตสาหกรรมอาหารและยา (Lin, 2012) สารเมตาบอไลต์ทุติยภูมิของ *Caulerpa taxifolia* มีความเป็นพิษต่อเซลล์ของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม แบคทีเรีย โปรโตซัว และสาหร่ายขนาดเล็ก (Lemee *et al*., 1997) โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารเมตาบอไลต์ทุติยภูมิที่มีชื่อว่า *Caulerpenyne* มีผลในการยับยั้งการแบ่งเซลล์ของเม่นทะเล นำไปสู่การพัฒนาทางการแพทย์ที่เน้นไปเรื่องของการแบ่งตัวของเซลล์ผิวหนัง (Anti - proliferative) (Danielle, 1996) เป็นสารเมตาบอไลต์ทุติยภูมิชนิดเดียวกับที่พบในสาหร่าย *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* (Levent, 2006) และมีสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระมากกว่าสาหร่ายชนิดอื่นๆ ที่พบใน 11 ประเทศบริเวณชายฝั่งเมดิเตอร์เรเนียน (Levent, 2005)

มีการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสาหร่าย *Caulerpa racemosa* ที่เก็บจากบ่อเพาะเลี้ยงของศูนย์พัฒนาประมงชายฝั่ง จ.ระยอง อ่าวคุ้งกระเบน จ.จันทบุรี เกาะมันใน และเกาะมันนอก จ.ระยอง และอ่าวธรรมชาติ จ.ตราด ด้วยวิธี DPPH free radical scavenging activity, ABTS free radical - scavenging activity และหาปริมาณฟีนอลทั้งหมดด้วยวิธี Folin - Ciocalteu พบว่า DPPH Scavenging effect (%) , ABTS scavenging activity (%) และ Phenol (mgGAE/g extract) มีค่าเท่ากับ 18.18 ± 0.37, 54.66 ± 2.10, 37.24 ± 3.69 ตามลำดับ (พันธุ์ทิพย์, 2556) สาหร่าย *Caulerpa racemosa* ที่เก็บจากแนวประการังบริเวณเมืองพอร์ตดิกสัน ประเทศมาเลเซีย ในช่วงเดือนมกราคม – เมษายน 2006 นำมาสกัดโดยใช้ตัวทำละลายเมทานอลที่มีความเข้มข้น 50% แล้วทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH free radical scavenging activity (DPPH) , Ferric - reducing antioxidant power (FRAP) , Ferrous ion chelating (FIC) assay และ Beta carotene bleaching (BCB) assay พบว่ามีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเมื่อเทียบกับสารมาตรฐานสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อใช้เป็นสารกันเสีย (Chew, *et al*., 2008) สาหร่าย *Caulerpa racemosa* ที่เก็บจากบริเวณชายฝั่งในรัฐคุชราต ประเทศอินเดีย ช่วงเดือนมกราคม

2007 นำมาทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging activity, Reducing power, Total antioxidant capacity และ Superoxide anion radical scavenging activity พบว่ามีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเมื่อเทียบกับสารมาตรฐาน BHA และ BHT (Manoj, 2011)

มีการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสาหร่าย *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* โดยทำการเก็บตัวอย่างบริเวณชายฝั่งของประเทศตุรกีในช่วงฤดูกาลที่แตกต่างกัน (เดือนมีนาคม เมษายน สิงหาคม และพฤศจิกายน) พบว่าประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระไม่ได้สัมพันธ์กับการได้รับแสงจากดวงอาทิตย์และอุณหภูมิของน้ำทะเลแต่อาจเกี่ยวข้องกับการเจริญของอีพิไฟต์ที่พบในระบบนิเวศใต้ทะเล (Levent and Kadir, 2005) สำหรับในประเทศไทยมีการศึกษาฤทธิ์ต้านแผลในกระเพาะอาหาร ฤทธิ์ป้องกันตับ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดน้ำจากสาหร่ายทะเลชนิดนี้โดยเก็บตัวอย่างที่บ้านคลองยาง อำเภอเกาะลันตา จังหวัดกระบี่ พบว่าสารสกัดน้ำจากสาหร่ายทะเล *Caulerpa racemosa* แสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิระเมื่อทดสอบด้วยวิธี DPPH คาดว่าสารประกอบฟีนอลิกที่พบในสารสกัดน้ำจากสาหร่ายทะเล *Caulerpa racemosa* ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมีบทบาทสำคัญในการออกฤทธิ์ต้านการเกิดแผลกระเพาะอาหาร และฤทธิ์ป้องกันตับได้ แล้วยังพบอีกว่าลักษณะที่เป็นเจลซึ่งมาจากกลุ่มสารโพลีแซคคาไรด์ของสารสกัดน้ำจากสาหร่ายทะเล *Caulerpa racemosa* อาจจะสามารถปกป้องเยื่อบุกระเพาะอาหารจากปัจจัยต่างๆ (Jeerawat, 2008)

นอกจากนี้สาหร่าย *Caulerpa racemosa* ยังมีประโยชน์ในการยับยั้งการเกิดโรคจากเชื้อไวรัสตัวแดงดวงขาวในกุ้งกุลาดำ จึงอาจจะเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการป้องกันและยับยั้งการระบาดหรือติดเชื้อจากโรคที่เกิดในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเป็นทางเลือกหนึ่งที่เกษตรกรสามารถนำสาหร่ายชนิดนี้มาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดเพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงการใช้สารเคมี ทำให้ต้นทุนการผลิตลดลงและเพิ่มมูลค่าให้แก่ผลผลิตกุ้งของไทย (วารุณี, 2547)

ตามที่เคยมีการศึกษาฤทธิ์ต้านแบคทีเรียของสาหร่าย *Sapirulina* spp. หรือสาหร่ายเกลียวทอง โดยนำสาหร่ายชนิดนี้มาจากบริษัทกรีนไดมอนด์ จำกัด สกัดด้วยตัวทำละลายเฮกเซน ไดคลอโรมีเทน เอทานอล เมทานอล และน้ำ แล้วทดสอบฤทธิ์การต้านแบคทีเรีย พบว่าสารสกัดหยาบที่สกัดจากตัวทำละลายทั้ง 5 ชนิด ไม่สามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermis*, *Enterobacter aerogenes*, *Klebsiella pneumoniae*, *Proteus vulgaris*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella typhi* และ *Shigella flexneri* ได้เลย (ขนิษฐา, 2553) ในขณะที่มีการทดสอบฤทธิ์ต้านแบคทีเรียของสาหร่าย *Spirulina platensis* ที่สกัดด้วยเฮกเซน และปิโตรเลียมอีเทอร์โดยวิธี pressure liquid extraction (PLE) ซึ่งสามารถยับยั้งการเจริญของ *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli, Candida albicans* และ *Aspergillus niger* ได้ดี (Santoyo *et al*., 2006) เมื่อนำสาหร่ายชนิดเดียวกันนี้ไปสกัดด้วยวิธี supercritical fluid extraction (SFE) สามารถยับยั้งการเจริญของ *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli, Candida albicans* และ *Aspergillus niger* ได้ดีเช่นกัน (Mendiola *et al*., 2007) และสารสกัดในชั้นตัวทำละลายเอทานอล ไดเอทธิลอีเธอร์ และเมทานอล ของสาหร่ายชนิดนี้ก็มีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของ *Staphylococcus aureus* (Rania and Hala, 2008) สามารถนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสม ดังนั้นการศึกษาองค์ประกอบทางพฤกษเคมี สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระและการออกฤทธิ์ต้านแบคทีเรียจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการพัฒนาสิ่งที่มีอยู่ในธรรมชาตินำไปสู่การนำไปใช้ที่ก่อให้เกิดประโยชน์และมีประสิทธิภาพต่อไป

วิธีดำเนินงานวิจัย

2.1 วัสดุและอุปกรณ์

2.1.1 สาหร่ายทะเล *Caulerpa racemosa*
2.1.2 ขวดแก้วปากกว้างมีฝาปิดสำหรับแช่สิ่งสกัด
2.1.3 อุปกรณ์สำหรับเตรียมตัวอย่างสิ่งสกัด เช่น กะละมัง กรรไกร ถาด
2.1.4 จานเพาะเชื้อ (petri dish)
2.1.5 96 - well microtiter plate
2.1.6 แผ่น disc สำเร็จรูป ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร
2.1.7 เข็มเขี่ยเชื้อ
2.1.8 ขวดก้นกลมสำหรับระเหยตัวทำละลาย
2.1.9 อลูมิเนียมแผ่นบาง
2.1.10 กระดาษกรอง
2.1.11 กรวยกรอง
2.1.12 หลอดหยด
2.1.13 เซลล์สำหรับใส่สารตัวอย่าง (cuvette) ขนาดความกว้างเซลล์เท่ากับ 1 เซนติเมตร
2.1.14 เวอร์เนียคาลิปเปอร์ (vernier caliper)
2.1.15 หลอดเซนทริฟิวจ์

2.2 เครื่องมือ

2.2.1 เครื่องสปกโทรโฟโตมิเตอร์ U - 1800
2.2.2 เครื่องระเหยสุญญากาศ
2.2.3 เครื่อง Freeze dryer
2.2.4 เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง
2.2.5 เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง
2.2.6 ตู้อบลมร้อนชนิดควบคุมอุณหภูมิ (hot air oven)
2.2.7 หม้อนึ่งความดันไอน้ำ (autoclave)
2.2.8 ตู้บ่มเชื้อ (incubator)
2.2.9 เตาให้ความร้อน (hot plate)
2.2.10 ตู้เย็น (refrigerator)
2.2.11 เครื่องดูด - จ่ายสารอัตโนมัติ (autopipette)
2.2.12 เครื่องปั่นละเอียด

2.3 สารเคมี เชื้อทดสอบ และอาหารเลี้ยงเชื้อ

2.3.1 ตัวทำละลายสำหรับสกัด ได้แก่ Hexane, Dichloromethane, Ethyl acetate, Ethanol, Methanol และน้ำกลั่น

2.3.2 สารเคมีสำหรับทดสอบองค์ประกอบทางพฤกษเคมีเบื้องต้น ได้แก่ Ferric Chloride ($FeCl_3$), Sodium Hydroxide (NaOH), Hydrochloric acid (HCl), Ammonium Hydroxide (NH_4OH), Mercuric chloride ($HgCl_2$), Potassium iodide (KI) และ Chloroform

2.3.3 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม ได้แก่ Folin - Ciocalteu reagent, Sodium Carbonate (Na_2CO_3) และ Gallic acid

2.3.4 สารเคมีสำหรับทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ DPPH (1, 1 - diphenyl - 2 - picrylhydrazyl), ABTS (2, 2 - Azino - bis - (3 - ethylbenzothia zoline - 6 - sulfonic acid diammonium salt), Potassium persulfate (K_2SO_4), BHT (Butylated hydroxytoluene) และ Trolox

2.3.5 เชื้อทดสอบจากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ได้แก่ *Pseudomonas aeruginosa* (TISTR1287), *Staphylococcus aureus* (TISTR2326) และ *Staphylococcus epidermidis* (TISTR518)

2.3.6 อาหารเลี้ยงเชื้อ ได้แก่ Mueller Hinton Broth (MHB) และ Mueller Hinton Agar (MHA)

2.4 การเตรียมตัวอย่างสาหร่ายและการสกัด

เก็บตัวอย่างสาหร่ายทะเล *Caulerpa racemosa* จากอำเภอปะเหลียน จังหวัดตรัง นำสาหร่ายสดที่เก็บได้มาล้างด้วยน้ำประปาหลายๆ ครั้งจนสะอาด แล้วล้างด้วยน้ำกลั่นซ้ำอีก 1 ครั้งจากนั้นนำมาผึ่งไว้ในที่ร่มจนหมาด แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 50 °C จนแห้งสนิท

2.4.1 การเตรียมสารสกัดสาหร่าย (ดัดแปลงตามวิธีการของ ระวิวรรณ และทรงพล, 2549)

นำสาหร่ายทะเล *Caulerpa racemosa* แห้งบดหยาบปริมาณ 1,000 กรัม แช่ในเฮก เซน ปริมาณ 4 ลิตร เป็นเวลา 5 วัน กรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 นำส่วนกากมาแช่ในตัวทำละลายชนิดเดิมซ้ำอีก 2 ครั้ง นำสารละลายที่ได้มารวมกัน นำส่วนกากไปแช่ในตัวทำละลายอื่นตามลำดับความมีขั้ว ได้แก่ ไดคลอโรมีเทน เอธิลอะซิเตต เอทานอล และเมทานอล ตามลำดับ ระเหยตัวทำละลายออกโดยใช้เครื่อง rotary evaporator ได้สารสกัดเฮกเซน (hexane extract) สารสกัดไดคลอโรมีเทน (dichloromethane extract) สารสกัดเอทิลอะซิเตต (ethyl acetate extract) สารสกัดเอทานอล (ethanol extract) และสารสกัดเมทานอล (methanol extract) ตามลำดับ คำนวณหา % yield ดังนี้

$$\%\text{yield} = \frac{\text{น้ำหนักสารสกัดที่ได้}}{\text{น้ำหนักสาหร่ายที่ใช้ในการสกัด}}$$

2.4.2 การเตรียมสารสกัดน้ำสาหร่าย (ดัดแปลงตามวิธีการของตามวิธีการของ ยุวดี และคณะ, 2555)

นำสาหร่ายทะเล *Caulerpa racemosa* แห้งปริมาณ 1,000 กรัม ต้มในน้ำกลั่นปริมาตร 1 ลิตร ที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง กรองด้วยผ้าขาวบาง และกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 ระเหยตัวทำละลายออกโดยใช้เครื่อง rotary evaporator จากนั้นทำให้แห้งโดยใช้เครื่อง Freeze dryer ได้สารสกัดน้ำของสาหร่ายทะเล *Caulerpa racemosa* (aqueous extract) คำนวณหา % yield ตามข้อ 2.4.1

2.4.3 การเตรียมน้ำสาหร่าย

นำสาหร่ายทะเล *Caulerpa racemosa* สดปริมาณ 1 กิโลกรัม มาคั้นแยกกากออก จากนั้นนำน้ำสาหร่ายมาต้มให้เดือดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C เพื่อนำไปทดสอบต่อไป

2.5 การทดสอบองค์ประกอบทางพฤกษเคมีเบื้องต้น (ดัดแปลงตามวิธีการของ Subathraa, 2013)

เตรียมสารตัวอย่างโดยนำสารสกัดแต่ละชนิดละลายในตัวทำละลายนั้นๆ ให้มีความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิตร แล้วนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางพฤกษเคมี

2.5.1 แทนนิน

นำสารตัวอย่างมา 1 มิลลิลิตร เติมสารละลาย 5% $FeCl_3$ ปริมาณ 2 มิลลิลิตร เขย่า สังเกตสีของสารละลาย ถ้าสารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินเข้มหรือสีน้ำเงินแกมเขียว แสดงว่ามีแทนนิน

2.5.2 ซาโปนิน

นำสารตัวอย่างมา 2 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นลงไปปริมาณ 2 มิลลิลิตร เขย่าอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 15 นาที สังเกตฟองของสารละลาย ถ้ามีฟองสูงประมาณ 1 เซนติเมตร แสดงว่ามีซาโปนิน

2.5.3 ฟลาโวนอยด์

นำสารตัวอย่างมา 2 มิลลิลิตร เติมสารละลาย 2N NaOH ปริมาณ 1 มิลลิลิตร เขย่า สังเกตสีของสารละลาย ถ้าสารละลายเปลี่ยนเป็นสีเหลือง แสดงว่ามีฟลาโวนอยด์

2.5.4 แอลคาลอยด์

นำสารตัวอย่างมา 2 มิลลิลิตร เติมสารละลาย Conc. HCl ปริมาณ 2 มิลลิลิตร เติมสารละลาย Mayer's reagent ปริมาณ 2 - 3 หยด เขย่า สังเกตสีของตะกอน ถ้ามีตะกอนสีเขียวหรือสีขาว แสดงว่ามีแอลคาลอยด์

2.5.5 ไกลโคไซด์

นำสารตัวอย่างมา 2 มิลลิลิตร เติม chloroform ปริมาณ 3 มิลลิลิตร เติมสารละลาย 10% NH_3 ปริมาณ 5 - 10 หยด เขย่า สังเกตสีของสารละลาย ถ้าสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพู แสดงว่ามีไกลโคไซด์

2.5.6 เทอร์พีนอยด์

นำสารตัวอย่างมา 0.5 มิลลิลิตร เติม chloroform ปริมาณ 2 มิลลิลิตร เติมสารละลาย Conc. H_2SO_4 ปริมาณ 0.5 มิลลิลิตร เขย่า สังเกตสีของสารละลาย ถ้ามีสีน้ำตาลแดงตรงบริเวณรอยต่อ แสดงว่ามีเทอร์พีนอยด์

2.6 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม (ดัดแปลงตามวิธีการของ มนต์สรวง และนงพร, 2557)

เตรียมสารตัวอย่างโดยนำสารสกัดแต่ละชนิดละลายในเมทานอลให้มีความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร นำสารตัวอย่างปริมาณ 100 ไมโครลิตร เติมลงในสารละลาย dil. Folin - Ciocalteu reagent ปริมาณ 750 ไมโครลิตร ตั้งทิ้งไว้ 5 นาที เติมสารละลาย 10% Na_2CO_3 ปริมาณ 750 ไมโครลิตร และน้ำกลั่นปริมาณ 1 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 90 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 725 นาโนเมตร โดยใช้เมทานอลแทนสารสกัดเป็นแบลงค์ หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมโดยเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้กับกราฟมาตรฐานซึ่งเตรียมจากสารละลายกรดแกลลิค (gallic acid) ที่ระดับความเข้มข้นตั้งแต่ 0 -

100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาณสารประกอบฟีนอลรวมจะวิเคราะห์ในรูปของมิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิคต่อกรัมของสารสกัด (mgGAE/g extract)

2.7 การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

เตรียมสารตัวอย่างโดยนำสารสกัดแต่ละชนิดละลายในเมทานอลให้มีความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

2.7.1 วิธี DPPH free radical scavenging activity (ดัดแปลงตามวิธีการของ Zhang *et al*., 2007)

เป็นการทดสอบฤทธิ์ต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยให้สารตัวอย่างทำปฏิกิริยากับ DPPH (1, 1 - diphenyl - 2 - picrylhydrazyl) ซึ่งเป็นอนุมูลอิสระที่เสถียรมีสีม่วง เมื่อ DPPH ได้รับอิเล็กตรอนหรืออนุมูลอิสระไฮโดรเจนจะเปลี่ยนเป็น DPPH:H เกิดเป็นสารไม่มีสี ทำการดูดสารสกัดมา 2 มิลลิลิตร เติมสารละลาย 0.16 mM DPPH ลงไป 2 มิลลิลิตร เขย่าแรงๆ 1 นาที ทิ้งไว้ 30 นาทีในที่มืด แล้วนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร นำไปคำนวณค่าตามสูตร

$$\text{Scavenging effect (\%)} = [1- (A_{\text{sample}} - A_{\text{sample blank}}) / A_{\text{control}}] \times 100$$

(โดยที่ A_{sample} , $A_{\text{sample blank}}$ และ A_{control} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดที่เติมสารละลาย DPPH, ไม่เติม DPPH และ DPPH ที่ไม่ได้เติมสารสกัด) จากนั้นนำสารสกัดที่ออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ไปทดสอบปริมาณสารต้านออกซิเดชันที่ทำให้ความเข้มข้นของ DPPH ลดลง 50 เปอร์เซ็นต์ (IC_{50}) ที่ความเข้มข้นระหว่าง 0 - 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดยมีสารต้านอนุมูลอิสระที่ใช้เป็น positive control ได้แก่ BHT (Butylated hydroxytoluene) และ Trolox

2.7.2 วิธี ABTS free radical - scavenging activity (ดัดแปลงตามวิธีการของ Rahim *et al*., 2008)

เป็นการทดสอบฤทธิ์ต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดย ABTS (2, 2 - Azino - bis - (3 - ethylbenzothia zoline - 6 - sulfonic acid diammonium salt) จะถูกเปลี่ยนเป็นอนุมูลอิสระที่มีประจุบวกด้วยการเติมโปแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต เมื่อทำปฏิกิริยากับสารต้านอนุมูลอิสระจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นไม่มีสี ทำการดูดสารสกัดมา 1 มิลลิลิตร แล้วนำสารละลายผสมระหว่าง 75 mM ABTS และ 1.225 mM K_2SO_4 ที่ผสมทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง แล้วนำมาเจือจาง 10 เท่าด้วยเมทานอล เติมลงไป 3 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 734 นาโนเมตร นำไปคำนวณค่าตามสูตร

$$\text{ABTS scavenging activity (\%)} = [(A_{\text{control}} - A_{\text{sample}} / A_{\text{control}})] \times 100$$

(โดยที่ A_{control} และ A_{sample} เท่ากับค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย ABTS และสารสกัด) จากนั้นนำสารสกัดที่ออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ABTS ไปทดสอบปริมาณสารต้านออกซิเดชันที่ทำให้ความเข้มข้นของ ABTS ลดลง 50 เปอร์เซ็นต์ (IC_{50}) ที่ความเข้มข้นระหว่าง 0 - 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดยมีสารต้านอนุมูลอิสระที่ใช้เป็น positive control ได้แก่ BHT (Butylated hydroxytoluene) และ Trolox

2.8 การทดสอบฤทธิ์ต้านแบคทีเรีย

2.8.1 ทดสอบการยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียด้วยวิธี disc diffusion (NCCLS, 1999)

ทดสอบการยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียโดยใช้เชื้อทดสอบจากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ได้แก่ *Staphylococcus aureus* (TISTR2326), *Staphylococcus epidermidis* (TISTR518) และ *Pseudomonas aeruginosa* (TISTR1287)

เตรียมสารละลายตัวอย่างให้มีความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดยใช้ DMSO เป็นตัวทำละลาย

เลือก isolated colony จำนวน 3 - 5 โคโลนี โดยใช้ loop แตะใส่ในอาหารเลี้ยงเชื้อ Mueller Hinton Broth (MHB) หลอดละ 2 มิลลิลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ประมาณ 2 - 6 ชั่วโมง ตรวจสอบเชื้อให้มีความขุ่นมาตรฐาน McFarland No. 0.5 โดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 625 นาโนเมตร จะได้ค่า OD อยู่ในช่วง 0.08 - 0.10 (ถ้าเชื้อขุ่นมากกว่าความขุ่นมาตรฐานให้เจือจางด้วยอาหาร MHB เชื้อที่มีความขุ่นเท่ากับความขุ่นมาตรฐานนี้จะมีจำนวนเชื้อประมาณ 1.5×10^8 CFU/ml) ใช้ sterile cotton swab จุ่มลงในเชื้อที่อยู่ในอาหาร MHB นำมา swab เป็น 3 ระนาบ (three dimention swab) ให้เชื้อกระจายทั่วผิวหน้าอาหาร Mueller Hinton Agar (MHA) ปล่อยให้ผิวอาหาร MHA แห้ง (3 - 5 นาที) ใช้ forcep ที่ปราศจากเชื้อคีบแผ่น disc ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร วางบนผิวของอาหาร MHA กดเบาๆ ให้แผ่น disc ติดกับวุ้น ฉีดสิ่งสกัดหยาบที่มีความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ลงไปตำแหน่งละ 20 ไมโครลิตร โดยใช้เครื่องดูดจ่ายสารละลายอัตโนมัติที่ปราศจากเชื้อ ทำการทดสอบ 3 ซ้ำ นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง บันทึกผลโดยการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโซนใสของการยับยั้งเชื้อเป็นมิลลิเมตร

<u>หมายเหตุ</u> : ใช้ DMSO เป็นสารควบคุม และใช้ Gentamycin เป็น positive control

2.8.2 ทดสอบ Minimal inhibitory concentration (MIC) ด้วยวิธี dilution susceptibility test (ดัดแปลงจาก Eloff, 1998 และ NCCLS, 2000)

- เตรียมสารละลายตัวอย่าง

เตรียมสารละลายตัวอย่างให้มีความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดยใช้ DMSO เป็นตัวทำละลาย

- เชื้อแบคทีเรียที่ใช้ทดสอบ

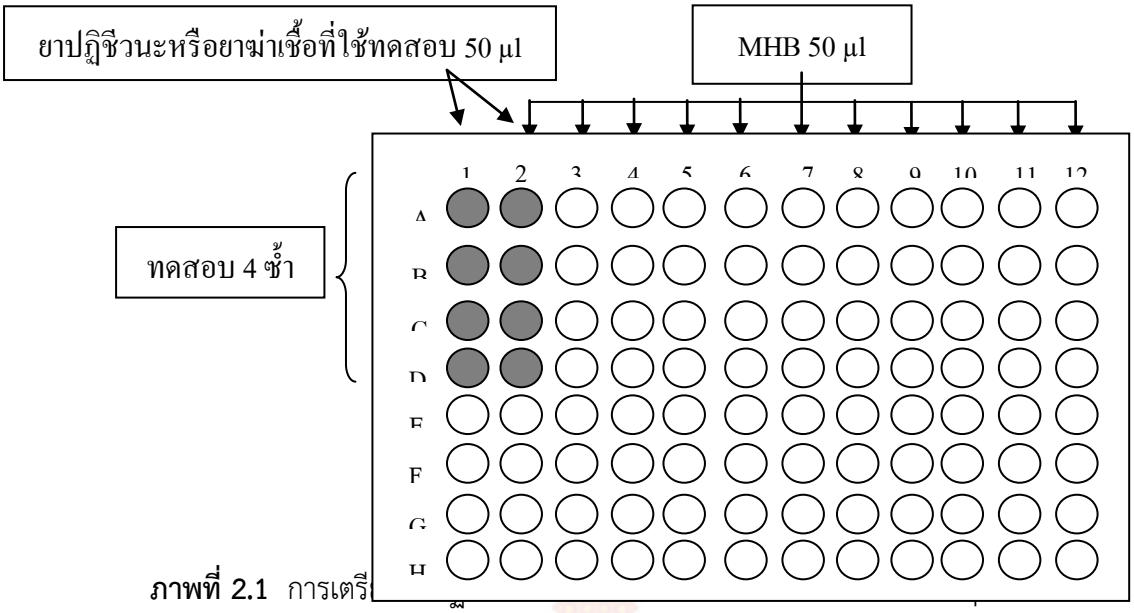
เตรียมเชื้อที่ใช้ทดสอบให้อยู่ในอาหารเลี้ยงเชื้อ MHB ตามวิธีการของ Sritunyalucksana *et al*. (2005) ให้มีเชื้อประมาณ 10^5 CFU ml^{-1} โดยเทียบความขุ่นของเชื้อที่ได้เริ่มต้นกับ 0.5 McFarland standard (ความขุ่นเทียบเคียงได้กับเชื้อประมาณ 1×10^8 CFU ml^{-1}) จากนั้นเจือจาง 1000 เท่า

- ยาปฏิชีวนะหรือยาฆ่าเชื้อที่ใช้ทดสอบ

เตรียมยาปฏิชีวนะหรือยาฆ่าเชื้อที่ใช้ทดสอบโดยละลายใน MHB ให้ได้ความเข้มข้นมากกว่าความเข้มข้นที่ต้องการทดสอบ 1 เท่า

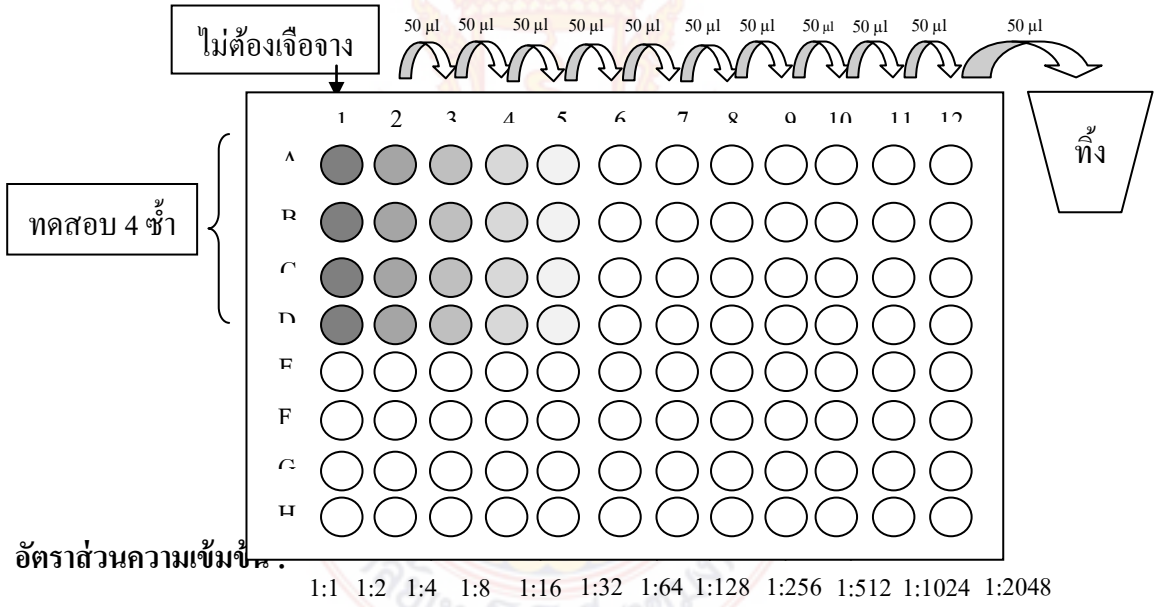
<u>ขั้นตอนการทดสอบ</u>

- ทำการเจือจางยาปฏิชีวนะหรือยาฆ่าเชื้อที่ใช้ทดสอบใน 96 - well microtiter plate โดยวิธี 2 - fold serial dilution ดังแสดงในภาพที่ 2.1



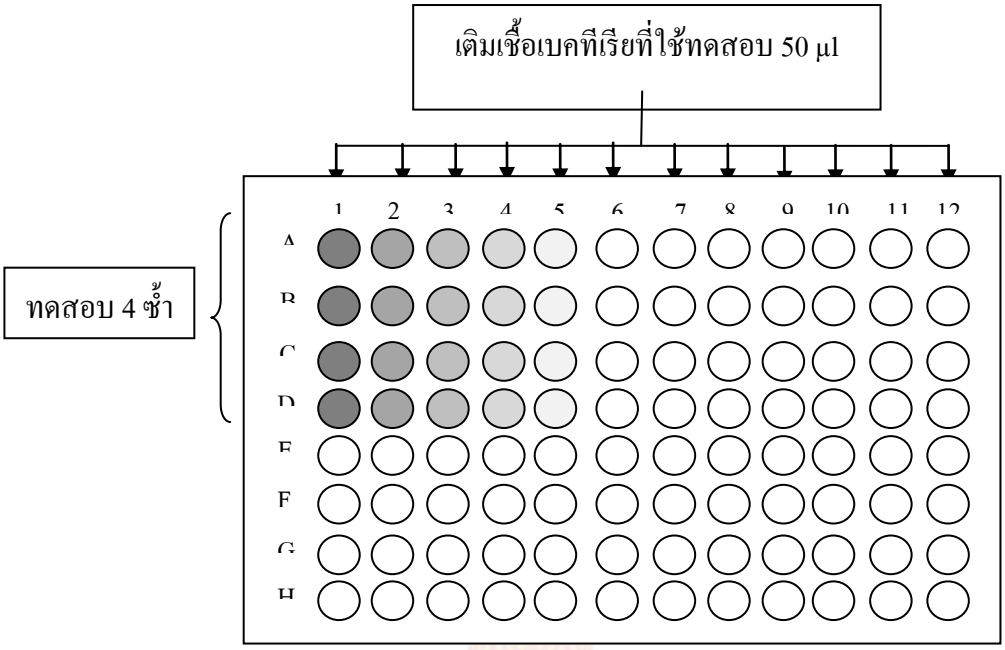
ภาพที่ 2.1 การเตรี

- เจือจางยาปฏิชีวนะหรือยาฆ่าเชื้อที่ใช้ทดสอบจาก well 2 ถึง well 12 แล้ว Mix เบา ๆ 20 ครั้ง ดังแสดงในภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 การเจือจางยาปฏิชีวนะที่ใช้ทดสอบใน 96 - well microtiter plate

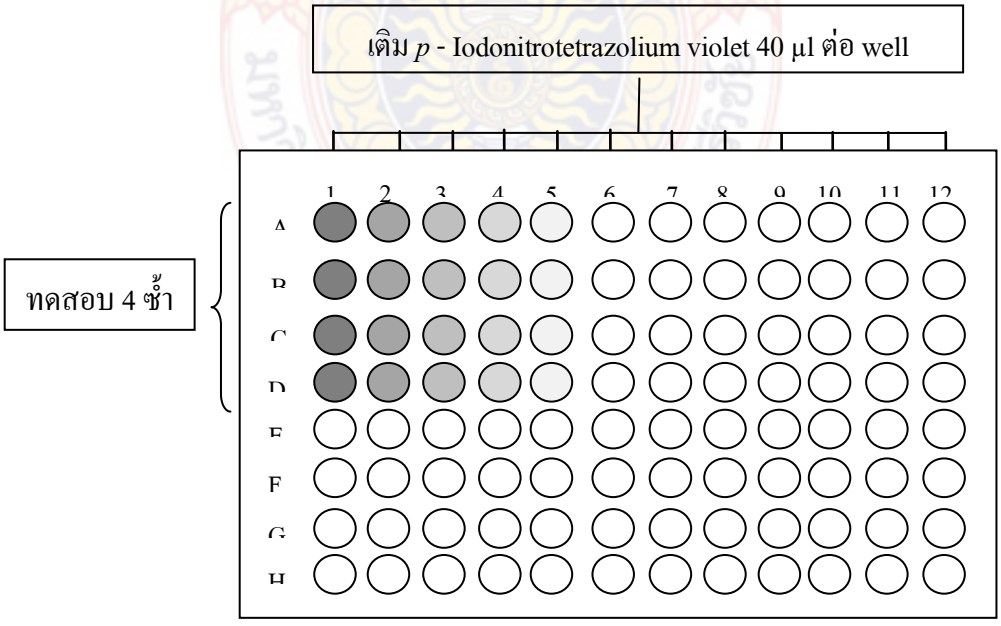
- เติมเชื้อเบคทีเรียที่ใช้ทดสอบ (~10^5 CFU ml^{-1}) ดังแสดงในภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 การเติมเชื้อแบคทีเรียทดสอบใน 96 - well microtiter plate

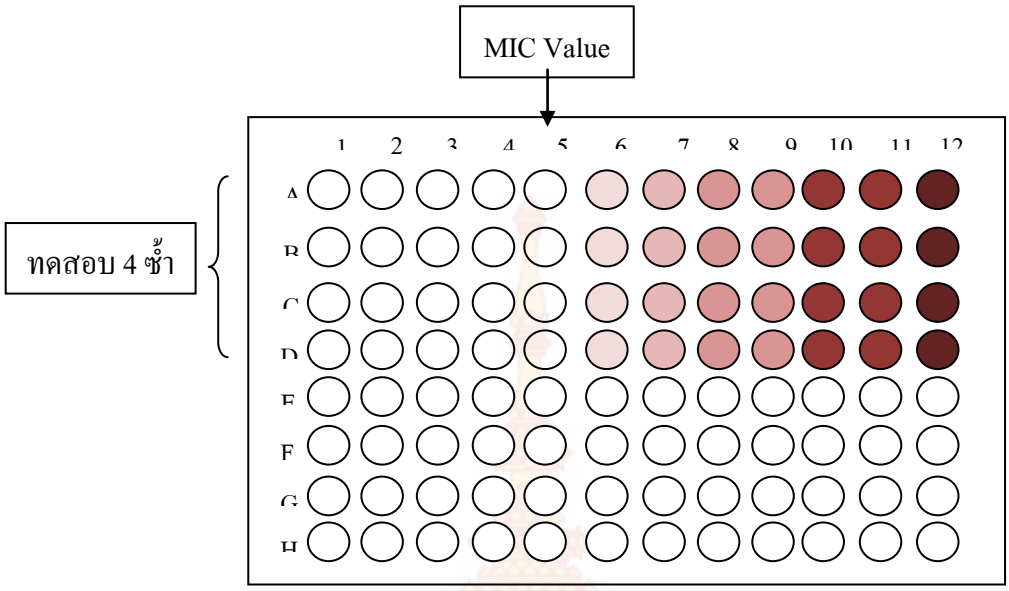
- Mix เบาๆ 10 ครั้ง ปิดฝา microplate แล้วพันด้วย paraffin จากนั้นบ่มที่ 35 °C เป็นเวลา 18 - 24 ชั่วโมง

- ตรวจสอบความขุ่นของแบคทีเรียและการเปลี่ยนสีในแต่ละ dilution หลังจากใส่ *p* - Iodonitrotetrazolium violet (0.2 mg/ml) เพื่อยืนยันการเจริญของเบคทีเรีย ดังแสดงในภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 การเติม *p* - Iodonitrotetrazolium violet ใน 96 - well microtiter plate

- ความเข้มข้นต่ำสุดของยาปฏิชีวนะหรือยาฆ่าเชื้อพิจารณาจาก dilution ที่มีความขุ่นของแบคทีเรียน้อยที่สุดและไม่มีการเปลี่ยนสีหลังจากการเติม *p* - Iodonitrotetrazolium violet คือค่า Minimal inhibitory concentration (MIC) ดังแสดงในภาพที่ 2.5

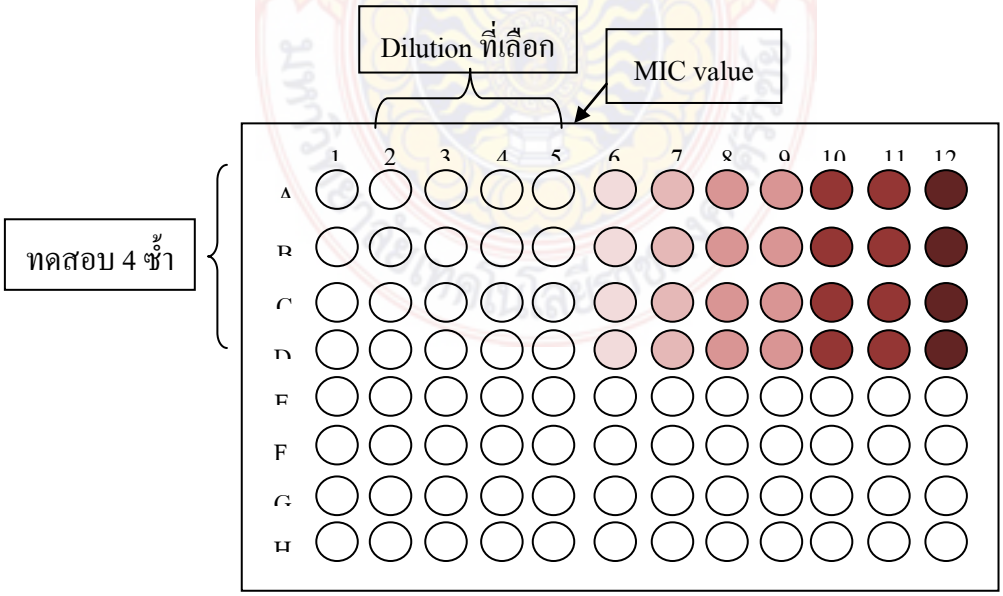


ภาพที่ 2.5 การหาค่า MIC

2.8.3 ทดสอบ Minimal bactericidal concentration (MBC) ด้วยวิธี microbicidal activity test (ดัดแปลงจาก NCCLS, 2000)

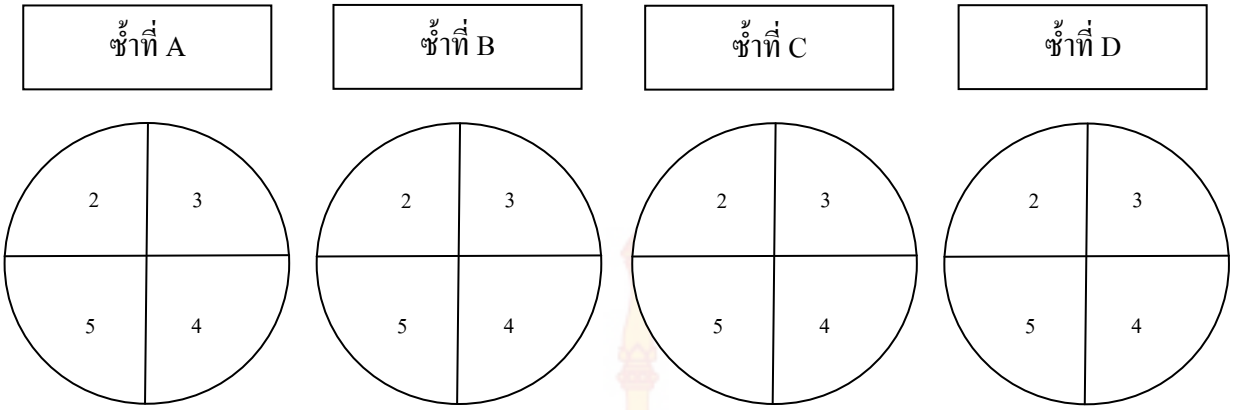
ขั้นตอนการทดสอบ

- เลือก dilution ของยาปฏิชีวนะหรือยาฆ่าเชื้อที่ใสและที่ไม่มีการเปลี่ยนสีเมื่อเติม *p* - Iodonitrotetrazolium violet มา 4 dilutions ดังแสดงในภาพที่ 2.6



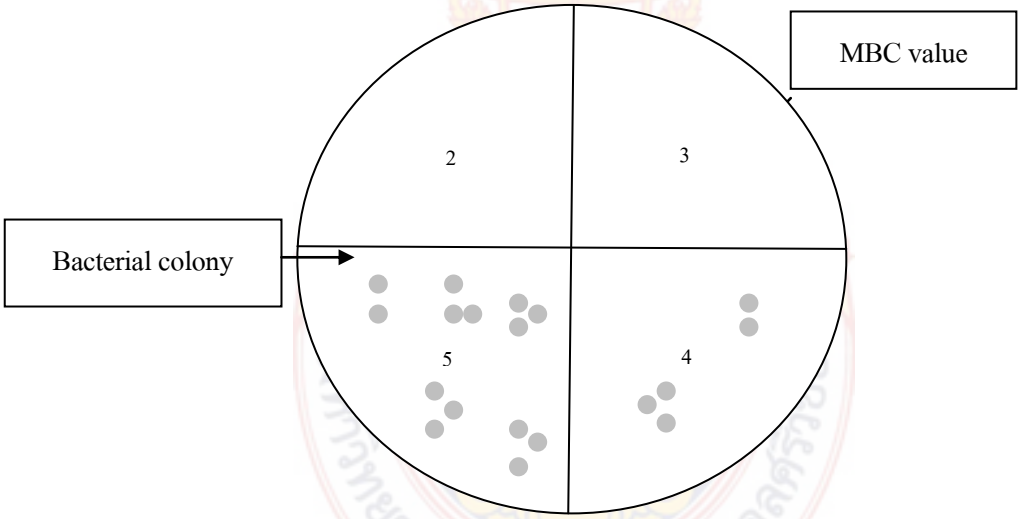
ภาพที่ 2.6 การเลือก dilution

การเจริญของเชื้อแบคทีเรียโดยใช้วิธี drop plate technique (Becky *et al.*, 2001) โดยนำสารละลายในแต่ละ dilution มาทำการ drop plate บนอาหารเลี้ยงเชื้อ MHA ดังแสดงในภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 การทดสอบการเจริญของเชื้อแบคทีเรียโดยใช้วิธี Drop plate technique

- บ่มที่ 35 °C เป็นเวลา 18 - 24 ชั่วโมง
- ตรวจสอบการเจริญของแบคทีเรียในแต่ละ dilution บนอาหารเลี้ยงเชื้อ โดยพิจารณาจากโคโลนีที่เกิดขึ้น ถ้า dilution ใดไม่มีโคโลนีเกิดขึ้นเลย dilution นั้นคือค่า MBC value ดังแสดงในภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 การหาค่า MBC

ผลการทดลองและวิจารย์ผลการทดลอง

การเตรียมตัวอย่างสาหร่ายและการสกัด

ตัวอย่างสาหร่าย *Caulerpa racemosa* สดที่เก็บได้มา 20 กิโลกรัม เมื่อนำมาทำให้แห้ง จะได้ตัวอย่างสาหร่ายแห้ง 638.76 กรัม มี % yield เท่ากับ 0.32 นำสาหร่ายแห้ง 1,000 กรัม สกัดด้วยตัวทำละลายเฮกเซน ไดคลอโรมีเทน เอทิลอะซิเตต เอทานอล และเมทานอล ได้สารสกัดหยาบที่มีลักษณะเป็นของแข็งสีเขียวเข้ม มี % yield เท่ากับ 0.384, 0.974, 0.232, 4.442 และ 1.832 ตามลำดับ นำสาหร่ายแห้ง 1,000 กรัม สกัดด้วยน้ำกลั่น ได้สารสกัดที่มีลักษณะเป็นของแข็งสีเขียว มี % yield เท่ากับ 15.954 ดังแสดงในตารางที่ 3.1

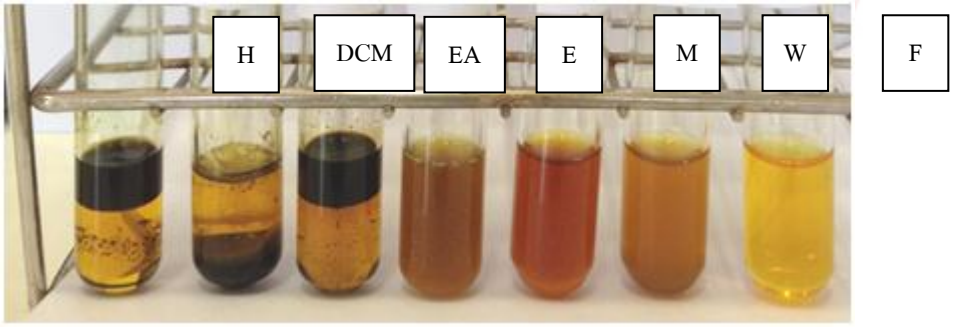
ตารางที่ 3.1 % yield ของสารสกัดสาหร่าย *Caulerpa racemosa*

สารสกัด	ลักษณะของสารสกัด	% yield
Hexane extract	ของแข็งสีเขียวเข้ม	0.384
Dichloromethane extract	ของแข็งสีเขียวเข้ม	0.974
Ethyl acetate extract	ของแข็งสีเขียวเข้ม	0.232
Ethanol extract	ของแข็งสีเขียวเข้ม	4.442
Methanol extract	ของแข็งสีเขียวเข้ม	1.832
Aqueous extract	ของแข็งสีเขียว	15.954

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางพฤกษเคมีของสารสกัดและน้ำสาหร่าย

นำสารสกัดสาหร่ายมาละลายในตัวทำละลายนั้นๆ ให้ได้ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร แล้วทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางพฤกษเคมีให้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

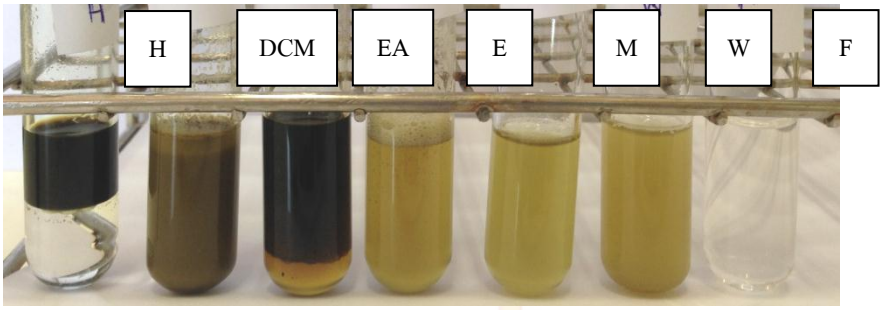
ผลการทดสอบแทนนิน : เมื่อนำสารตัวอย่างมา 1 มิลลิลิตร เติมสารละลาย 5% $FeCl_3$ ปริมาณ 2 มิลลิลิตร เขย่า พบว่าสารสกัดเฮกเซน สารสกัดไดคลอโรมีเทน สารสกัดเอธิลอะซิเตต สารสกัดเอทานอล สารสกัดเมทานอล สารสกัดน้ำ และน้ำสาหร่าย ให้สารละลายที่มีสีเหลือง - น้ำตาล แสดงว่าไม่พบแทนนินในสารตัวอย่าง ให้ผลดังแสดงในภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 ผลการทดสอบแทนนิน

หมายเหตุ : H = สารสกัดเฮกเซน, DCM = สารสกัดไดคลอโรมีเทน, EA = สารสกัดเอทิลอะซิเตต, E = สารสกัดเอทานอล, M = สารสกัดเมทานอล, A = สารสกัดน้ำ และ F = น้ำสาหร่าย ตามลำดับ

ผลการทดสอบซาโปนิน : เมื่อนำสารตัวอย่างมา 2 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นลงไปปริมาณ 2 มิลลิลิตร เขย่าอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 15 นาที พบว่าสารสกัดเอทานอลมีฟองสูงประมาณ 1 เซนติเมตร แสดงว่าพบซาโปนิน แต่สารสกัดเฮกเซน สารสกัดไดคลอโรมีเทน สารสกัดเอธิลอะซิเตต สารสกัดเมทานอล สารสกัดน้ำ และน้ำสาหร่ายไม่เกิดฟอง แสดงว่าไม่พบซาโปนิน ให้ผลดังแสดงในภาพที่ 3.2

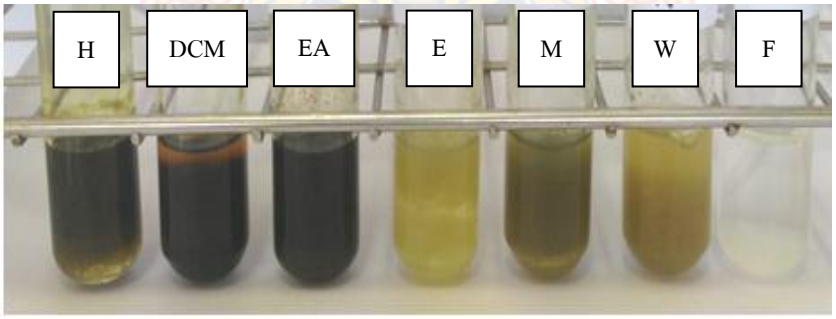


ภาพที่ 3.2 ผลการทดสอบซาโปนิน

หมายเหตุ : H = สารสกัดเฮกเซน, DCM = สารสกัดไดคลอโรมีเทน, EA = สารสกัดเอทิลอะซิเตต, E = สารสกัดเอทานอล, M = สารสกัดเมทานอล, A = สารสกัดน้ำ และ F = น้ำสาหร่าย ตามลำดับ

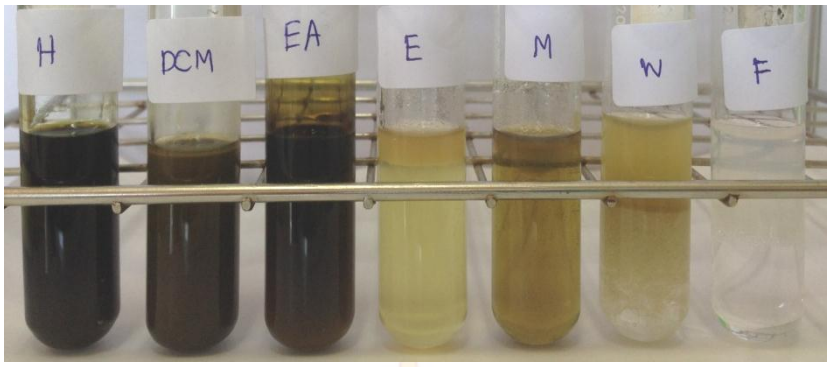
ผลการทดสอบฟลาโวนอยด์ : เมื่อนำสารตัวอย่างมา 2 มิลลิลิตร เติมสารละลาย 2N NaOH ปริมาณ 1 มิลลิลิตร เขย่า พบว่าสารสกัดเอทานอลให้สีของสารละลายเป็นสีเหลือง แสดงว่าพบฟลาโวนอยด์ แต่สารสกัดเฮกเซน สารสกัดไดคลอโรมีเทน สารสกัดเอธิลอะซิเตต สารสกัดเมทานอล และสารสกัดน้ำ ให้สีของสารละลายเป็นสีน้ำตาล น้ำสาหร่ายให้สีของสารละลายเป็นสีใส - ไม่มีสี แสดงว่าไม่พบฟลาโวนอยด์ ให้ผลดังแสดงในภาพที่ 3.3

ภาพที่ 3.3 ผลการทดสอบฟลาโวนอยด์



หมายเหตุ : H = สารสกัดเฮกเซน, DCM = สารสกัดไดคลอโรมีเทน, EA = สารสกัดเอทิลอะซิเตต, E = สารสกัดเอทานอล, M = สารสกัดเมทานอล, A = สารสกัดน้ำ และ F = น้ำสาหร่าย ตามลำดับ

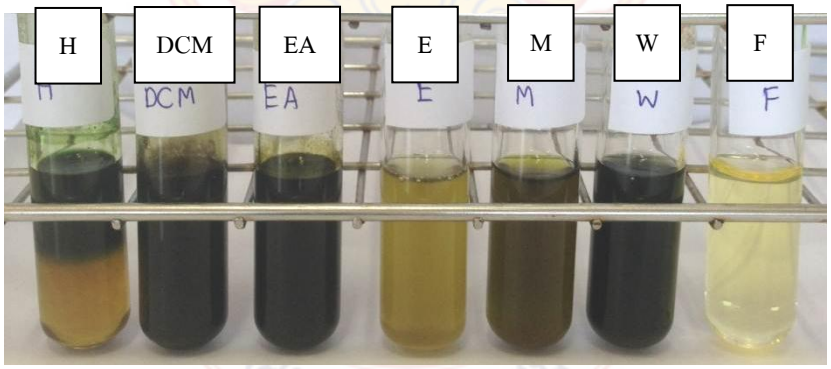
ผลการทดสอบแอลคาลอยด์ : เมื่อนำสารตัวอย่างมา 2 มิลลิลิตร เติมสารละลาย Conc. HCl ปริมาณ 2 มิลลิลิตร เติมสารละลาย Mayer's reagent ปริมาณ 2 - 3 หยด เขย่า พบว่าสารสกัดเอทานอลให้ตะกอนของสารละลายเป็นสีขาว แสดงว่าพบแอลคาลอยด์ แต่สารสกัดเฮกเซน สารสกัดไดคลอโรมีเทน และสารสกัดเอธิลอะซิเตต ให้ตะกอนของสารละลายเป็นสีน้ำตาล สารสกัดเมทานอล สารสกัดน้ำ และน้ำสาหร่ายไม่เกิดตะกอน แสดงว่าไม่พบฟลาโวนอยด์ ให้ผลดังแสดงในภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.4 ผลการทดสอบแอลคาลอยด์

หมายเหตุ : H = สารสกัดเฮกเซน, DCM = สารสกัดไดคลอโรมีเทน, EA = สารสกัดเอทิลอะซิเตต, E = สารสกัดเอทานอล, M = สารสกัดเมทานอล, A = สารสกัดน้ำ และ F = น้ำสาหร่าย ตามลำดับ

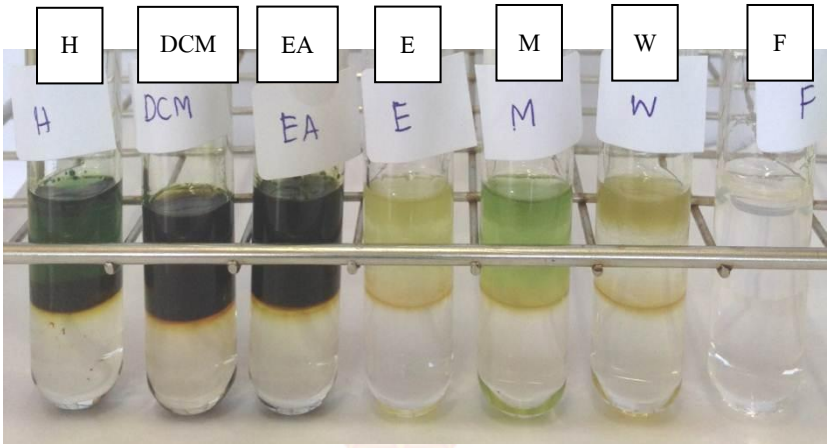
ผลการทดสอบไกลโคไซด์ : เมื่อนำสารตัวอย่างมา 2 มิลลิลิตร เติม chloroform ปริมาณ 3 มิลลิลิตร เติมสารละลาย 10% NH_3 ปริมาณ 5 - 10 หยด เขย่า พบว่าสารสกัดเฮกเซน สารสกัดไดคลอโรมีเทน สารสกัดเอธิลอะซิเตต สารสกัดเอทานอล สารสกัดเมทานอล สารสกัดน้ำ และน้ำสาหร่ายไม่เกิดสารละลายสีชมพู แสดงว่าไม่พบไกลด์โคไซด์ ให้ผลดังแสดงในภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.5 ผลการทดสอบไกลโคไซด์

หมายเหตุ : H = สารสกัดเฮกเซน, DCM = สารสกัดไดคลอโรมีเทน, EA = สารสกัดเอทิลอะซิเตต, E = สารสกัดเอทานอล, M = สารสกัดเมทานอล, A = สารสกัดน้ำ และ F = น้ำสาหร่าย ตามลำดับ

ผลการทดสอบเทอร์พีนอยด์ : เมื่อนำสารตัวอย่างมา 0.5 มิลลิลิตร เติม chloroform ปริมาณ 2 มิลลิลิตร เติมสารละลาย Conc. H_2SO_4 ปริมาณ 0.5 มิลลิลิตร เขย่า พบว่าสารสกัดเฮกเซน สารสกัดไดคลอโรมีเทน สารสกัดเอธิลอะซิเตต สารสกัดเอทานอล สารสกัดเมทานอล และสารสกัดน้ำ มีสีน้ำตาลแดงตรงบริเวณรอยต่อ แสดงว่าพบเทอร์พีนอยด์ แต่น้ำสาหร่ายไม่มีสีน้ำตาลแดงตรงบริเวณรอยต่อ แสดงว่าไม่พบเทอร์พีนอยด์ ให้ผลดังแสดงในภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.6 ผลการทดสอบเทอร์พีนอยด์

หมายเหตุ : H = สารสกัดเฮกเซน, DCM = สารสกัดไดคลอโรมีเทน, EA = สารสกัดเอทิลอะซิเตต, E = สารสกัดเอทานอล, M = สารสกัดเมทานอล, A = สารสกัดน้ำ และ F = น้ำสาหร่าย ตามลำดับ

ดังนั้นสารสกัดเฮกเซน สารสกัดไดคลอโรมีเทน สารสกัดเอธิลอะซิเตต สารสกัดเมทานอล และสารสกัดน้ำ พบเฉพาะสารสำคัญในกลุ่มเทอร์พีนอยด์ สารสกัดเอทานอล พบสารสำคัญในกลุ่มซาโปนิน ฟลาโวนอยด์ แอลคาลอยด์ และเทอร์พีนอยด์ ส่วนน้ำสาหร่ายไม่พบสารสำคัญทั้ง 6 กลุ่ม ดังแสดงในตารางที่ 3.2

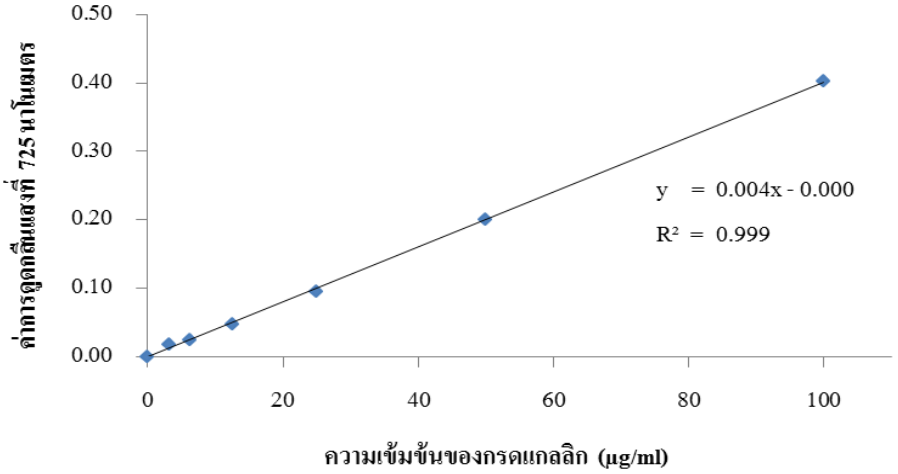
ตารางที่ 3.2 ผลการศึกษาองค์ประกอบทางพฤกษเคมีของสารสกัดและน้ำสาหร่าย

องค์ประกอบทางพฤกษเคมี	**สารสกัด**						
	H	DCM	EA	E	M	A	F
แทนนิน	-	-	-	-	-	-	-
ซาโปนิน	-	-	-	+	-	-	-
ฟลาโวนอยด์	-	-	-	+	-	-	-
แอลคาลอยด์	-	-	-	+	-	-	-
ไกลโคไซด์	-	-	-	-	-	-	-
เทอร์พีนอยด์	+	+	+	+	+	+	-

หมายเหตุ : H = สารสกัดเฮกเซน, DCM = สารสกัดไดคลอโรมีเทน, EA = สารสกัดเอทิลอะซิเตต, E = สารสกัดเอทานอล, M = สารสกัดเมทานอล, A = สารสกัดน้ำ และ F = น้ำสาหร่าย ตามลำดับ

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมคำนวณได้จากกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก ที่ระดับความเข้มข้น 0 - 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (y = 0.004 x - 0.000, R^2 = 0.999) ดังแสดงในภาพที่ 3.7 รายงานเป็นมิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิก/กรัมสารสกัด (mgGAE/g extract)



ภาพที่ 3.7 กราฟมาตรฐานกรดแกลลิก

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมในสารตัวอย่างมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สารสกัดไดคลอโรมีเทนมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมสูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 38.833 ± 2.036 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิก/กรัมสารสกัด รองลงมาคือ สารสกัดเอทิลอะซิเตต สารสกัดเฮกเซน น้ำสาหร่าย สารสกัดเมทานอล สารสกัดเอทานอล และสารสกัดน้ำ มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก รวมเท่ากับ 26.333 ± 1.528, 18.167 ± 3.786, 10.917 ± 0.764, 10.083 ± 1.233, 4.167 ± 1.010 และ 3.333 ± 0.878 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิก/กรัมสารสกัด ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 แสดงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัดและน้ำสาหร่าย

สารสกัด	**ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม (มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิก/กรัมสารสกัด)**
Hexane extract	18.167 ± 3.786^{c}
Dichloromethane extract	38.833 ± 2.036^{a}
Ethyl acetate extract	26.333 ± 1.528^{b}
Ethanol extract	4.167 ± 1.010^{e}
Methanol extract	10.083 ± 1.233^{d}
Aqueous extract	3.333 ± 0.878^{e}
น้ำสาหร่าย	10.917 ± 0.764^{d}

หมายเหตุ : ตัวเลขที่มีอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จะเห็นได้ว่าสารสกัดหรือตัวทำละลายที่ต่างกันส่งผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัดที่ต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Kumar *et al*. (2008) รายงานว่าสารสกัดน้ำจากสาหร่าย *Turbinaria conoides* มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมสูงที่สุดเท่ากับ 49.16 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิก/กรัมสารสกัด และการศึกษาของ Devi *et al*. (2011) รายงานว่าสารสกัดเมทานอลจากสาหร่าย *T. conoides* มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมสูงที่สุดเท่ากับ 1.23 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิก/กรัมสารสกัด ตัวทำละลายแต่ละชนิดสามารถสกัดสารออกฤทธิ์ในสาหร่ายแต่ละชนิดได้แตกต่างกัน สอดคล้องกับการศึกษาของมนต์สรวง และคณะ (2557) รายงานว่าสารสกัดสาหร่ายใบ (*Pyropia Vietnamensis*) ที่มีน้ำเป็นตัวทำละลายมีประสิทธิภาพในการขจัดอนุมูลอิสระสูงสุด เป็นผลจากการออกฤทธิ์ของสารประกอบฟีนอลิกรวมจำพวกมีขั้วสูง (polar phenolics) เป็นส่วนใหญ่ รองลงมาคือสารสกัดเมทานอลของสาหร่ายพวงองุ่นซึ่งน่าจะเป็นเพราะสารออกฤทธิ์จำพวกมีขั้วต่ำหรือไม่มีขั้ว (non - polar phenolics)

การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดที่มีความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรในตัวทำละลายเมทานอลและน้ำสาหร่ายด้วยวิธี DPPH free radical scavenging activity พบว่าสารสกัดแต่ละชนิดออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยสารสกัดไดคลอโรมีเทนมีค่าเปอร์เซ็นต์การออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงสุดมีค่าเท่ากับ 90.602 ± 0.705 รองลงมาคือ สารสกัดเฮกเซน สารสกัดเมทานอล สารสกัดเอทิลอะซิเตต สารสกัดเอทานอล สารสกัดน้ำ และน้ำสาหร่าย มีค่าเปอร์เซ็นต์การออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 35.708 ± 0.493, 35.090 ± 0.702, 31.352 ± 0.899, 5.397 ± 0.169, 4.548 ± 0.417 และ 2.374 ± 0.183 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ค่า DPPH scavenging effect (%) ของสารสกัดและน้ำสาหร่าย

สารสกัด	**DPPH scavenging effect (%)**
Hexane extract	35.708 ± 0.493^{b}
Dichloromethane extract	90.602 ± 0.705^{a}
Ethyl acetate extract	31.352 ± 0.899^{c}
Ethanol extract	5.397 ± 0.169^{d}
Methanol extract	35.090 ± 0.702^{b}
Aqueous extract	4.548 ± 0.417^{d}
น้ำสาหร่าย	2.374 ± 0.183^{e}

หมายเหตุ : ตัวเลขที่มีอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ทดสอบหาค่า IC_{50} ของสารสกัดและน้ำสาหร่ายโดยเตรียมสารละลายให้มีความเข้มข้นระหว่าง 0 - 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร พบว่าสารสกัดไดคลอโรมีเทนออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ได้ดีที่สุด มีค่า IC_{50} เท่ากับ 0.55 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร รองลงมาคือสารสกัดเฮกเซน สารสกัดเมทานอล สารสกัดเอทิลอะซิเตต

สารสกัดเอทานอล สารสกัดน้ำ และน้ำสาหร่าย มีค่า IC_{50} เท่ากับ 1.39, 1.44, 1.73, 13.06, 14.52 และ 96.30 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ เทียบกับสารต้านอนุมูลอิสระ BHT และ Trolox ซึ่งมีค่า IC_{50} เท่ากับ 0.12 และ 0.05 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ค่า IC_{50} ของสารสกัดและน้ำสาหร่าย (วิธี DPPH scavenging effect)

สารสกัด	IC_{50} (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)
Hexane extract	1.39
Dichloromethane extract	0.55
Ethyl acetate extract	1.73
Ethanol extract	13.06
Methanol extract	1.44
Aqueous extract	14.52
น้ำสาหร่าย	96.30
BHT	0.12
Trolox	0.05

การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดที่มีความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรในตัวทำละลายเมทานอลและน้ำสาหร่ายด้วยวิธี ABTS free radical scavenging activity พบว่าสารสกัดแต่ละชนิดออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยสารสกัดไดคลอโรมีเทนมีค่าเปอร์เซ็นต์การออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ABTS สูงสุดมีค่าเท่ากับ 32.493 ± 0.682 รองลงมาคือสารสกัดเมทานอล สารสกัดเฮกเซน สารสกัดเอทานอล สารสกัดเอทิลอะซิเตต สารสกัดน้ำ และน้ำสาหร่าย มีค่าเปอร์เซ็นต์การออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 19.123 ± 0.560, 6.527 ± 0.460, 6.067 ± 0.814, 4.181 ± 0.442, 2.978 ± 0.602 และ 0.847 ± 0.001 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 ค่า ABTS scavenging effect (%) ของสารสกัดและน้ำสาหร่าย

สารสกัด	ABTS scavenging effect (%)
Hexane extract	6.527 ± 0.460^{c}
Dichloromethane extract	32.493 ± 0.682^{a}
Ethyl acetate extract	4.181 ± 0.442^{d}
Ethanol extract	6.067 ± 0.814^{c}
Methanol extract	19.123 ± 0.560^{b}
Aqueous extract	2.978 ± 0.602^{e}
น้ำสาหร่าย	0.847 ± 0.001^{f}

หมายเหตุ : ตัวเลขที่มีอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ทดสอบหาค่า IC_{50} ของสารสกัดและน้ำสาหร่ายโดยเตรียมสารละลายให้มีความเข้มข้นระหว่าง 0 - 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร พบว่าสารสกัดไดคลอโรมีเทนออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ABTS ได้ดีที่สุด มีค่า IC_{50} เท่ากับ 1.54 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร รองลงมาคือสารสกัดเมทานอล สารสกัดเฮกเซน สารสกัดเอทิลอะซิเตต สารสกัดเอทานอล สารสกัดน้ำ และน้ำสาหร่าย มีค่า IC_{50} เท่ากับ 2.79, 8.39, 11.87, 12.79, 18.44 และ 37.93 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ เทียบกับสารต้านอนุมูลอิสระ BHT และ Trolox ซึ่งมีค่า IC_{50} เท่ากับ 0.32 และ 0.11 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 ค่า IC_{50} ของสารสกัดและน้ำสาหร่าย (วิธี ABTS scavenging effect)

สารสกัด	IC_{50} (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)
Hexane extract	8.39
Dichloromethane extract	1.54
Ethyl acetate extract	11.87
Ethanol extract	12.79
Methanol extract	2.79
Aqueous extract	18.44
น้ำสาหร่าย	37.93
BHT	0.32
Trolox	0.11

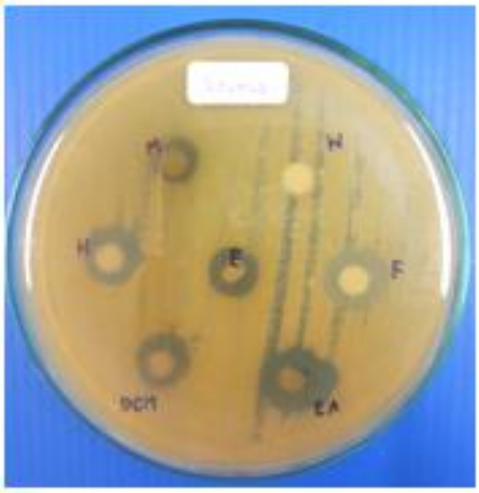
ตารางที่ 3.8 การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดและน้ำสาหร่าย

สารสกัด	DPPH scavenging effect (%)	ABTS scavenging effect (%)
Hexane extract	35.708 ± 0.493[b]	6.527 ± 0.460[c]
Dichloromethane extract	90.602 ± 0.705[a]	32.493 ± 0.682[a]
Ethyl acetate extract	31.352 ± 0.899[c]	4.181 ± 0.442[d]
Ethanol extract	5.397 ± 0.169[d]	6.067 ± 0.814[c]
Methanol extract	35.090 ± 0.702[b]	19.123 ± 0.560[b]
Aqueous extract	4.548 ± 0.417[d]	2.978 ± 0.602[e]
น้ำสาหร่าย	2.374 ± 0.183[e]	0.847 ± 0.001[f]

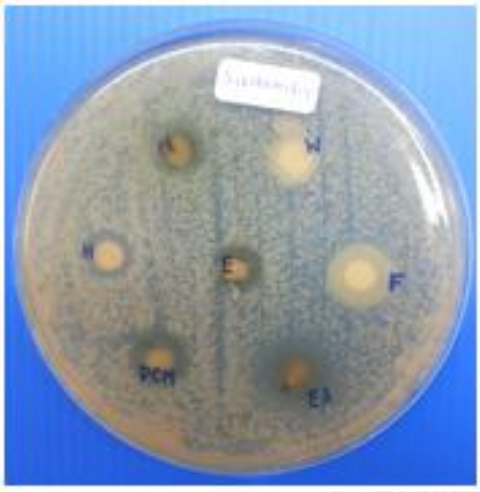
จากตารางที่ 3.8 ผลการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดและน้ำสาหร่ายทั้ง 2 วิธี พบว่าสารสกัดไดคลอโรมีเทนมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด แสดงว่าสารออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในสาหร่าย *Caulerpa racemosa* และสามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายที่มีขั้วค่อนข้างต่ำ สัมพันธ์กับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมที่มีในสารสกัดซึ่งพบในสารสกัดไดคลอโรมีเทนปริมาณมากที่สุดเช่นกัน เนื่องจากสารประกอบฟีนอลิกทำหน้าที่ทั้งเป็นสารให้อิเล็กตรอนหรือเป็นสารให้ไฮโดรเจน และกำจัดออกซิเจนที่อยู่ในรูปแอคทีฟ ทำให้สารประกอบฟีนอลิกมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Halliwell *et al*., 1987) ตัวทำละลายที่มีขั้วต่ำสามารถสกัดสารออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้จากตัวอย่างหลายชนิดสอดคล้องกับงานวิจัยของ Herrero *et al*. (2005) ซึ่งพบว่าถึงแม้ว่าเฮกเซนจะเป็นตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วแต่สารสกัดที่ได้มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ การที่สารสกัดเฮกเซนมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระมีความสัมพันธ์กับปริมาณสารประกอบที่ไม่มีขั้ว เช่น แคโรทีนอยด์ ที่สามารถละลายได้ในเฮกเซน ซึ่งสาหร่ายมีสารประกอบที่สามารถต้านอนุมูลอิสระได้มากมาย เช่น แคโรทีนอยด์ กรดไขมันไม่อิ่มตัว และพวกโพลีแซคคาไรด์ ดังนั้นสารออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในสาหร่าย *Caulerpa racemosa* อาจเป็นสารในกลุ่มเทอร์พีนอยด์ เนื่องจากพบองค์ประกอบนี้ในสารสกัดทุกชนิดตัวทำละลาย นอกจากนี้ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดอาจขึ้นกับองค์ประกอบทางพฤกษเคมีที่แตกต่างกันในแต่ละสารสกัด แสดงให้เห็นว่าสารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมีหลากหลายกลุ่มและเป็นกลุ่มสารที่มีขั้วต่างกัน ดังนั้นหากต้องการสารกลุ่มใด จึงต้องเลือกใช้ตัวทำละลายในการสกัดสารให้เหมาะสม (ขนิษฐา, 2553)

การทดสอบฤทธิ์ต้านแบคทีเรีย

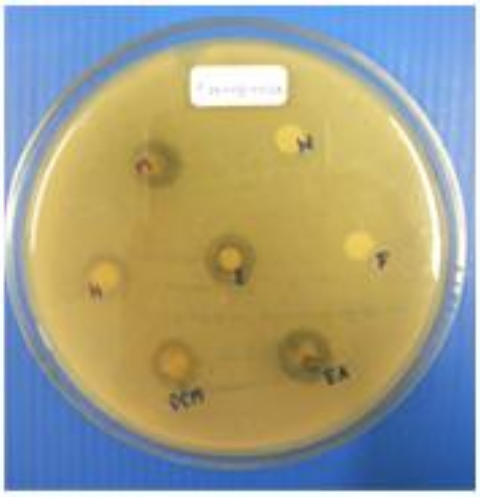
เมื่อนำสารสกัดจากสาหร่ายทั้ง 7 ชนิด ที่มีความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรในตัวทำละลาย DMSO และน้ำสาหร่าย 100% มาทดสอบความสามารถในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย 3 ชนิด ได้แก่ *Staphylococcus aureus* (TISTR2326), *Staphylococcus epidermidis* (TISTR518) และ *Pseudomonas aeruginosa* (TISTR1287) ด้วยวิธี disc diffusion โดยใช้ DMSO เป็นสารควบคุม และใช้ Gentamycin เป็น positive control พบว่าสารสกัดสาหร่ายและน้ำสาหร่ายสามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียได้ทั้ง 3 ชนิด ให้ผลการทดสอบดังแสดงในภาพที่ 3.8 - 3.10



ภาพที่ 3.8 ผลการยับยั้งการเจริญของ *S. aureus* ของสารสกัดและน้ำสาหร่าย
หมายเหตุ : H = สารสกัดเฮกเซน, DCM = สารสกัดไดคลอโรมีเทน, EA = สารสกัดเอทิลอะซิเตต, E = สารสกัดเอทานอล, M = สารสกัดเมทานอล, A = สารสกัดน้ำ และ F = น้ำสาหร่าย ตามลำดับ



ภาพที่ 3.9 ผลการยับยั้งการเจริญของ *S. epidermidis* ของสารสกัดและน้ำสาหร่าย
หมายเหตุ : H = สารสกัดเฮกเซน, DCM = สารสกัดไดคลอโรมีเทน, EA = สารสกัดเอทิลอะซิเตต, E = สารสกัดเอทานอล, M = สารสกัดเมทานอล, A = สารสกัดน้ำ และ F = น้ำสาหร่าย ตามลำดับ



P.aeruginosa

ภาพที่ 3.10 ผลการยับยั้งการเจริญของ *P. aeruginosa* ของสารสกัดและน้ำสาหร่าย
หมายเหตุ : H = สารสกัดเฮกเซน, DCM = สารสกัดไดคลอโรมีเทน, EA = สารสกัดเอทิลอะซิเตต, E = สารสกัดเอทานอล, M = สารสกัดเมทานอล, A = สารสกัดน้ำ และ F = น้ำสาหร่าย ตามลำดับ

วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้งในหน่วยมิลลิเมตร พบว่าสารสกัดเอทิลอะซิเตตมีประสิทธิภาพต้านการเจริญของเชื้อทดสอบ *S.aureus* ได้ดีที่สุด มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้งเท่ากับ 10.12 ± 0.18 รองลงมาคือสารสกัดเฮกเซน สารสกัดไดคลอโรมีเทน สารสกัดเอทานอล สารสกัดเมทานอล สารสกัดน้ำ และน้ำสาหร่าย มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้งเท่ากับ 8.96 ± 0.15, 8.93 ± 0.35, 8.91 ± 0.22, 8.90 ± 0.33, 8.87 ± 0.22 และ 6.14 ± 0.12 มิลลิเมตร ตามลำดับ เทียบกับยาปฏิชีวนะ Gentamycin มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้งเท่ากับ 12.37 ± 0.80 มิลลิเมตร สารสกัดเมทานอลและสารสกัดเฮกเซน มีประสิทธิภาพต้านการเจริญของเชื้อทดสอบ *S.epidermidis* ได้ดีที่สุด มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้งเท่ากับ 13.03 ± 0.55 และ 13.01 ± 0.37 มิลลิเมตร ตามลำดับ รองลงมาคือ สารสกัดไดคลอโรมีเทน สารสกัดเอทิลอะซิเตต สารสกัดน้ำ สารสกัดเอทานอล และน้ำสาหร่าย มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้งเท่ากับ 10.62 ± 0.37, 10.41 ± 0.33, 8.95 ± 0.09, 8.28 ± 0.19 และ 6.20 ± 0.17 มิลลิเมตร ตามลำดับ เทียบกับยาปฏิชีวนะ Gentamycin มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้งเท่ากับ 16.48 ± 0.76 มิลลิเมตร สารสกัดเอทิลอะซิเตตและสารสกัดเฮกเซนมีประสิทธิภาพต้านการเจริญของเชื้อทดสอบ *P.aeruginosa* ได้ดีที่สุด มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้งเท่ากับ 12.38 ± 0.26 และ 12.07 ± 0.31 มิลลิเมตร ตามลำดับ รองลงมาคือ สารสกัดไดคลอโรมีเทน สารสกัดเมทานอล สารสกัดน้ำ สารสกัดเอทานอล และน้ำสาหร่าย มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้งเท่ากับ 10.42 ± 0.36, 8.93 ± 0.27, 7.18 ± 0.33, 7.18 ± 0.45, และ 6.28 ± 0.09 ตามลำดับ เทียบกับยาปฏิชีวนะ Gentamycin มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้งเท่ากับ 15.49 ± 1.48 มิลลิเมตร ดังแสดงในตารางที่ 3.9

ตารางที่ 3.9 การยับยั้งการเจริญของ *S.aureus*, *S.epidermidis* และ *P.aeruginosa* ของสารสกัดและน้ำสาหร่าย

สารสกัด	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้ง (มิลลิเมตร)		
	S.aureus	*S.epidermidis*	*P.aeruginosa*
Hexane extract	8.96 ± 0.15[c]	13.01 ± 0.37[b]	12.07 ± 0.31[b]
Dichloromethane	8.93 ± 0.35[c]	10.62 ± 0.37[c]	10.42 ± 0.36[c]
Ethyl Acetate	10.12 ± 0.18[b]	10.41 ± 0.33[c]	12.38 ± 0.26[b]
Ethanol	8.91 ± 0.15[c]	8.28 ± 0.19[e]	7.18 ± 0.45[d]
Methanol	8.90 ± 0.33[c]	13.03 ± 0.55[b]	8.93 ± 0.27[d]
Water	8.87 ± 0.22[c]	8.95 ± 0.09[d]	7.18 ± 0.33[d]
น้ำสาหร่าย	6.14 ± 0.12[d]	6.20 ± 0.17[f]	6.28 ± 0.09[e]
DMSO	0.00 ± 0.00[e]	0.00 ± 0.00[g]	0.00 ± 0.00[f]
Gentamycin	12.37 ± 0.80[a]	16.48 ± 0.76[a]	15.49 ± 1.48[a]

หมายเหตุ : ตัวเลขที่มีอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เมื่อทำการหาค่า MIC ด้วยวิธี dilution susceptibility test แล้วนำหลอดที่ไม่พบการเจริญของเชื้อไป streak plate ลงบนอาหาร MHA เพื่อหาค่า MBC โดยใช้สารสกัดที่มีความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร น้ำสาหร่าย 100% เป็นความเข้มข้นเริ่มต้นในการทดสอบ และทำการเจือจางลำดับส่วนแบบ 2 เท่า พบว่าสารสกัดเอทิลอะซิเตตให้ค่า MIC ต่ำสุดในการยับยั้งการเจริญของ *S.aureus* โดยมีค่า MIC และ MBC เท่ากับ 6.25 และ 25.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ สารสกัดเฮกเซนและสารสกัดเมทานอลให้ค่า MIC ต่ำสุดในการยับยั้งการเจริญของ *S.epidermidis* โดยมีค่า MIC และ MBC เท่ากับ 0.39 และ 1.56 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ สารสกัดเอทิลอะซิเตตและสารสกัดเฮกเซนให้ค่า MIC ต่ำสุดในการยับยั้งการเจริญของ *S.epidermidis* โดยมีค่า MIC เท่ากับ 0.78 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และ MBC เท่ากับ 12.50 และ 25.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับยาปฏิชีวนะ gentamycin พบว่า gentamycin มีค่า MIC ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *S.aureus*, *S.epidermidis* และ *P.aeruginosa* เท่ากับ 0.016, 0.001 และ 0.016 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ มีค่า MBC เท่ากับ 0.031, 0.004 และ 0.031 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 3.10 และ 3.11 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.10 ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญ (MIC) ของสารสกัดและน้ำสาหร่าย

สารสกัด	ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อมิลลิเมตร)		
	S.aureus	*S.epidermidis*	*P.aeruginosa*
Hexane extract	12.50	0.39	0.78
Dichloromethane	12.50	1.56	1.56
Ethyl Acetate	6.25	1.56	0.78
Ethanol	12.50	25.00	25.00
Methanol	12.50	0.39	25.00
Water	12.50	12.50	25.00
น้ำสาหร่าย	> 50.00	> 50.00	> 50.00
Gentamycin*	0.016	0.001	0.016

* ที่มา : ปริชาติ (2551)

ตารางที่ 3.11 ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถฆ่าเชื้อทดสอบ (MBC) ของสารสกัดและน้ำสาหร่าย

สารสกัด	ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อมิลลิเมตร)		
	S.aureus	*S.epidermidis*	*P.aeruginosa*
Hexane extract	25.00	1.56	25.00
Dichloromethane	50.00	6.25	25.00
Ethyl Acetate	25.00	12.50	12.50
Ethanol	> 50.00	50.00	> 50.00
Methanol	> 50.00	1.56	50.00
Water	> 50.00	25.00	> 50.00
น้ำสาหร่าย	> 50.00	> 50.00	> 50.00
Gentamycin*	0.031	0.004	0.031

* ที่มา : ปริชาติ (2551)

การเลือกตัวทำละลายในการสกัดสารสำคัญเพื่อศึกษาฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียมีผลทำให้ความสามารถในการต้านเชื้อแบคทีเรียของสารสกัดแตกต่างกัน (ตรีชฎา, 2548) ดังนั้นสารสกัดจากสาหร่ายอาจมีสารสำคัญที่สามารถออกฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียทั้งในกลุ่มสารมีขั้วและสารไม่มีขั้ว จากผลการทดลองข้างต้นแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของสาหร่าย *C. racemosa* ในการต้านการเจริญของแบคทีเรียก่อโรคผิวหนังทั้ง 3 ชนิด ความสามารถในการออกฤทธิ์ต้านแบคทีเรียที่แตกต่างกันนอกจากจะเป็นผลเนื่องมาจากการเลือกตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดแล้วยังอาจเป็นผลเนื่องมาจากวิธีการสกัด และฤดูกาลของการเก็บตัวอย่างอีกด้วย (Chandrasekaran *et al*., 2014) ทั้งนี้เนื่องจากสารสกัดทุกชนิดมีสารสำคัญกลุ่มเทอร์พีนอยด์เป็นองค์ประกอบ ดังนั้นการออกฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียอาจเป็นผลที่เกิดจากองค์ประกอบทางพฤกษเคมีกลุ่มเทอร์พีนอยด์ในสารสกัด เนื่องจากเทอร์พีนอยด์มีสมบัติในการฆ่าเชื้อโรค แต่

สารสกัดบางชนิดอาจมีสารที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งแต่ในปริมาณที่น้อยอาจต้องทำการแยกให้บริสุทธิ์เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Ramadan *et al*. (2008) ที่ทำการแยก total lipids, neutral glycolipids และ phospholipids จาก *Spirulina platensis* และพบว่าสามารถยับยั้งการเจริญของ *Staphylococcus aureus* ได้ดี (ขนิษฐา, 2553)

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากการเก็บตัวอย่างสาหร่าย *Caulerpa racemosa* จากอำเภอปะเหลียน จังหวัดตรัง นำมาสกัดด้วยตัวละลาย 6 ชนิด ได้แก่ เฮกเซน ไดคลอโรมีเทน เอทิลอะซิเตต เอทานอล เมทานอล และน้ำ แล้วนำไประเหยตัวทำละลายออกจนได้สารสกัดหยาบ พบว่าสารสกัดทั้ง 6 ชนิดมี % yield เท่ากับ 0.384, 0.974, 0.232, 4.442, 1.832 และ 15.954 ตามลำดับ แล้วนำสารสกัดทั้ง 6 ชนิด และน้ำสาหร่าย 100% มาทำการทดสอบองค์ประกอบทางพฤกษเคมี พบว่าสารตัวอย่างทั้ง 7 ชนิดมีสารสำคัญกลุ่มเทอร์พีนอยด์เป็นองค์ประกอบ นอกจากนี้สารสกัดเอทานอลยังมีสารสำคัญกลุ่มซาโปนิน ฟลาโวนอยด์ และแอลคาลอยด์ เป็นองค์ประกอบอีกด้วย นำสารตัวอย่างทั้ง 7 ชนิด มาศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมพบว่าสารสกัดไดคลอโรมีเทนมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมสูงสุด มีค่าเท่ากับ 38.833 ± 2.036 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิก/กรัมสารสกัด รองลงมาคือสารสกัดเอทิลอะซิเตต สารสกัดเฮกเซน น้ำสาหร่าย สารสกัดเมทานอล สารสกัดเอทานอล และสารสกัดน้ำ มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมเท่ากับ 26.333 ± 1.528, 18.167 ± 3.786, 10.917 ± 0.764, 10.083 ± 1.233, 4.167 ± 1.010 และ 3.333 ± 0.878 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิก/กรัมสารสกัด ตามลำดับ ศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ พบว่าในสารสกัดที่มีความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร สารสกัดไดคลอโรมีเทนมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงที่สุด มีเปอร์เซ็นต์การออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 90.602 ± 0.705 มีค่า IC_{50} เท่ากับ 0.55 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร รองลงมาคือสารสกัดเฮกเซน สารสกัดเมทานอล สารสกัดเอทิลอะซิเตต สารสกัดเอทานอล สารสกัดน้ำ และน้ำสาหร่าย มีค่าเปอร์เซ็นต์การออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 35.708 ± 0.493, 35.090 ± 0.702, 31.352 ± 0.899, 5.397 ± 0.169, 4.548 ± 0.417 และ 2.374 ± 0.183 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ มีค่า IC_{50} เท่ากับ 1.39, 1.44, 1.73, 13.06, 14.52 และ 96.30 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ เทียบกับสารต้านอนุมูลอิสระ BHT และ Trolox มีค่า IC_{50} เท่ากับ 0.12 และ 0.05 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ นอกจากนี้สารสกัดไดคลอโรมีเทนยังมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ABTS สูงที่สุดเช่นกัน ในสารสกัดที่มีความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร สารสกัดไดคลอโรมีเทนมีค่าเปอร์เซ็นต์การออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมากที่สุดเท่ากับ 32.493 ± 0.682 มีค่า IC_{50} เท่ากับ 1.54 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร รองลงมาคือสารสกัดเมทานอล สารสกัดเฮกเซน สารสกัดเอทิลอะซิเตต สารสกัดเอทานอล สารสกัดน้ำ และน้ำสาหร่าย มีค่าเปอร์เซ็นต์การออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 19.123 ± 0.560, 6.527 ± 0.460, 6.067 ± 0.814, 4.181 ± 0.442, 2.978 ± 0.602 และ 0.847 ± 0.001 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ มีค่า IC_{50} เท่ากับ 2.79, 8.39, 11.87, 12.79, 18.44 และ 37.93 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ เทียบกับสารต้านอนุมูลอิสระ BHT และ Trolox มีค่า IC_{50} เท่ากับ 0.32 และ 0.11 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ศึกษาความสามารถในยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียก่อโรคผิวหนัง 3 ชนิด ได้แก่ *Staphylococcus aureus* (TISTR2326), *Staphylococcus epidermidis* (TISTR518) และ *Pseudomonas aeruginosa* (TISTR1287) ด้วยวิธี disc diffusion โดยใช้ DMSO เป็นสารควบคุม และใช้ Gentamycin เป็น positive control พบว่าสารสกัดเอทิลอะซิเตต มีความสามารถในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย *S. aureus* ดีที่สุด มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้ง 10.12 ± 0.18 มิลลิเมตร มีค่า MIC และ MBC เท่ากับ 6.25 และ 25.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร รองลงมาคือสารสกัดเฮกเซน สารสกัดไดคลอโรมีเทน สารสกัดเอทานอล สารสกัดเมทานอล สารสกัดน้ำ และน้ำสาหร่าย มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้ง 8.96 ± 0.15, 8.93 ± 0.35, 8.91 ± 0.22, 8.90 ± 0.33, 8.87 ± 0.22, และ 6.14 ± 0.12 มิลลิเมตร ตามลำดับ มีค่า MIC และ MBC เท่ากับ 12.50 (25.00), 12.50 (50.00), 12.50 (> 50.00), 12.50 (> 50.00), 12.50 (> 50.00) และ > 50.00 (> 50.00) มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ เทียบกับยาปฏิชีวนะ

Gentamycin มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้ง 12.37 ± 0.80 มิลลิเมตร มีค่า MIC และ MBC เท่ากับ 0.016 และ 0.031 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ สารสกัดเมทานอลและเฮกเซนมีความสามารถในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย *S. epidermidis* ดีที่สุด มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้ง 13.03 ± 0.55 และ 13.01 ± 0.37 มิลลิเมตร ตามลำดับ มีค่า MIC และ MBC เท่ากับ 0.39 (1.56) และ 0.39 (1.56) มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ รองลงมาคือสารสกัดไดคลอโรมีเทน สารสกัดเอทิลอะซิเตต สารสกัดน้ำ สารสกัดเอทานอล และน้ำสาหร่าย มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้ง 10.62 ± 0.37, 10.41 ± 0.33, 8.95 ± 0.09,8.28 ± 0.19 และ 6.20 ± 0.17 มิลลิเมตร ตามลำดับ มีค่า MIC และ MBC เท่ากับ 1.56 (6.25), 1.56 (12.50), 12.50 (25.00), 25.00 (50.00), และ > 50.00 (> 50.00) มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ เทียบกับยาปฏิชีวนะ Gentamycin มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้ง 16.48 ± 0.76 มิลลิเมตร มีค่า MIC และ MBC เท่ากับ 0.001 และ 0.004 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ สารสกัดเอทิลอะซิเตตและสารสกัดเฮกเซนมีความสามารถในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย *P.aeruginosa* ดีที่สุด มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้ง 12.38 ± 0.26 และ 12.07 ± 0.31 มิลลิเมตร ตามลำดับ มีค่า MIC และ MBC เท่ากับ 0.78 (12.50) และ 0.78 (25.00) มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ รองลงมาคือสารสกัดไดคลอโรมีเทน สารสกัดเมทานอล สารสกัดเอทานอล สารสกัดน้ำ และน้ำสาหร่าย มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้ง 10.42 ± 0.36, 8.18 ± 0.45, 8.18 ± 0.33, 7.93 ± 0.27 และ 6.28 ± 0.09 มิลลิเมตร ตามลำดับ มีค่า MIC และ MBC เท่ากับ 1.56 (25.00), 25.00 (50.00), 25.00 (> 50.00), 25.00 (> 50.00), และ > 50.00 (> 50.00) มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ เทียบกับยาปฏิชีวนะ Gentamycin มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้ง 15.49 ± 1.48 มิลลิเมตร มีค่า MIC และ MBC เท่ากับ 0.016 และ 0.031 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ดังนั้นสาหร่าย *Caulerpa racemosa* จึงเป็นพืชที่มีความน่าสนใจในการนำไปพัฒนาใช้ประโยชน์ทางยา อาหาร และอื่นๆ และทั้งนี้ควรมีการวิเคราะห์และแยกสารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และสารที่มีฤทธิ์ต้านแบคทีเรียให้บริสุทธิ์ รวมถึงวิถีการเปลี่ยนแปลงภายในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตเพื่อประโยชน์ในอนาคตต่อไป

เอกสารอ้างอิง

ขนิษฐา คงยอด. 2553. **ผลการต้านแบคทีเรียและอนุมูลอิสระของสารสกัดสาหร่ายเกลียวทอง**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาชีววิทยา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

จงกล พรมยะ. 2552. การเพาะเลี้ยงสาหร่าย. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก http://www.fishtech.mju.ac.th/e- learning/FA422/ เมื่อวันที่ 30 มิถุนายน 2556.

เจนจิรา จิรัมย์ และ ประสงค์ สีหานาม. 2554. อนุมูลอิสระและสารต้านอนุมูลอิสระ: แหล่งที่มาและกลไกการเกิดปฏิกิริยา. **วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏกาฬสินธุ์**. 1(1). 59 - 70.

ตรีชฎา ศิริรักษ์. 2548. **ฤทธิ์ต้านแบคทีเรียก่อกลุ่ม Gram - negative rods ของสารสกัดจากเปลือกผลทับทิม**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาจุลชีววิทยา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

นภัสสร เพียสุระ, ณัฏฐา เลาหกุลจิตต์, อรพิน เกิดชูชื่น และ โศรดา วัลภา. 2553. คุณสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของไบโอพอลิแซคคาไรด์จาก *Enteromorpha intestinalis*. **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร**. 41(3/1)(พิเศษ). 681 - 684.

ประสาทพร บริสุทธิ์เพ็ชร, พิทัย กาญบุตร และ สาธร พรตระกูลพิพัฒน์. 2551. การทดสอบฤทธิ์ต้านเชื้อของสมุนไพรในห้องปฏิบัติการ. **การประชุมทางวิชาการสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่นครั้งที่ 9**. 11 - 12 มิถุนายน 2551. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ปริชาติ ผลานิสงค์. 2551. **ผลของสารสกัดจากสมุนไพรไทยบางชนิดต่อการเติบโตของ *Escherichia coli*, *Pseudomonas aerugnosa*, *Staphylococcus aureus* และ *Staphylococcus epidermidis***. วิทยานิพนธ์ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ไปรมา ยงมานิตชัย. 2546. สาหร่ายกับสาระที่น่ารู้. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก http://www.ku.ac.th/e-magazine/july46/agri/seaweed.html.

พันธุ์ทิพย์ วิเศษพงษ์พันธุ์, พลชา จิตรมิตรสัมพันธ์, ชัชรี แก้วสุรลิขิต และ อรรถวุฒิ กันทะวงศ์. 2556. ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากสาหร่ายทะเล. **การประชุมทางวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ครั้งที่ 51**. 5 - 7 กุมภาพันธ์ 2011. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร.

มนต์สรวง ยางทอง และนงพร โตวัฒนะ. 2557. ปริมาณฟีนอลิกรวมและฤทธิ์ขจัดอนุมูล DPPH ของสาหร่ายทะเล 6 ชนิดจากชายฝั่งภาคใต้ของประเทศไทย. **วารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง**. 8(1). 93 - 104.

เมธิน ผดุงกิจ. 2542. **ผลของบัวบก (*Centella asiatica* (Linn.) Urban) ต่อการยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียสองชนิดที่ก่อโรคผิวหนัง**. วิทยานิพนธ์ตามหลักสูตรการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

ยุวดี พีรพรพิศาล และคณะ. 2555. ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและต้านการอักเสบของสาหร่ายเตา. **วารสารวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น**. 40(1). 228 - 235.

ระวิวรรณ แก้วอมตวงศ์ และ ทรงพร จึงมั่นคง. 2549. ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH และปริมาณสารฟีนอลรวมของสารสกัดพืชสมุนไพรไทยบางชนิด. **วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี**. 2. 76 - 88.

วารุณี หะยีมะสา, อนุชิต ชินาจริยวงศ์ และ สถาพร ดิเรกบุษราคม. 2547. ผลของสารสกัดจากสาหร่ายบางชนิดต่อการยับยั้งไวรัสตัวแดงดวงขาวในกุ้งกุลาดำ. **การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 42**. 283 - 288.

ศิริวรรณ คิดประเสริฐ และ เกศริน ซีฆายุ. 2544. **การทดสอบเบื้องต้นทางพฤกษเคมีของสาหร่ายทะเลเพื่อศึกษากลุ่มสารออกฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา**. รายงานวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก.

สุรางค์รัตน์ แดงจิระ. 2558. **องค์ประกอบทางเคมีการต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียของบอนหอม**. วิทยานิพนธ์หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.

โอภา วัชรคุปต์, ปรีชา บุญจูง, จันทนา บุณยะรัตน์ และ มาลีรักษ์ อัตต์สินทอง. 2549. **สารต้านอนุมูลอิสระ**. กรุงเทพฯ : พี.เอส.พริ้นท์.

Becky, H., Hamilton, M. and Heersink, J. 2001. How to optimize the drop plate method for enumerating bacteria. **Journal of Microbiological Methods.** 44: 121 - 129.

Bowornjit M. 2008. **Anti - gastric Ulcer Activity of a Marine alga : *Ulva reticulata* Forsskal**. A Thesis submitted to the graduate school in partial fulfillment of the requirements for the degree of master of science in pharmacology. Chiang Mai University.

Chandrasekaran, M., Venkatesalu, V. and Raj, G.A. 2014. Antibacterial activity of selected marine macro algae against vancomycin resistant *Enterococcus faecalis*. **Journal of Coastal Life Medicine**. 2(12). 940 - 946.

Chew, Y.L., Lima, Y.Y., Omara, M. and Khoo, K.S. 2008. Antioxidant activity of three edible seaweeds from two areas in South East Asia. **Food Science and Technology**. 41. 1067-1072.

Danielle P., Rodolphe L., Corine F., Philippe A. and Girard, J. P. 1996. Effects of caulerpenyne, the major toxin from *Caulerpa taxifolia* on mechanisms related to sea urchin egg cleavage. **Aquatic Toxicology**. 35. 139 - 155.

Devi, G. K., Manivannan, K., Thirumaran, G., Rajathi, F. A. A. and Anantharaman, P. 2011. *In vitro* antioxidant activities of selected seaweeds from Southeast coast of India. **Asian Pacific Journal of Tropical Medicine**. 205 - 211.

Eloff, J. N. 1998. A sensitive and quick microplate method to determine the minimal inhibitory concentration of plant extracts for bacteria**. Planta Med**. 64: 711-713.

Halliwell, B., Gutteridge, J.M.C. and Aruoma, O.I. 1987. The deoxyribose method : A simple “test tube” assay for determination of rate constants for reactions of hydroxyl radicals. **Analytical Biochemistry**. 165 : 215 - 219.

Herrero,M., Martin-Alvarez, P.J., Senorans, F.J., Cifuentes, A. and Ibanez, E. 2005. Optimization of accelerated solvent extraction of antioxidants from Spirulina platensis microalga. **Food Chemistry**. 93. 417 - 423.

Jean, K., Sigurbjorn, E., Asa, B. 2010. Pharmaceutical and cosmetic use of extracts from algae obtainable from saline hot water sources. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก http://www.faqs.org/patents/app/20100028376#ixzz0flu0nbos. เมื่อวันที่ 30 มิถุนายน 2556.

Jeerawat Sudsamai. 2008. **Anti - gastric ulcer, hepatoprotective and antioxidant activities of aqueous extract of *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea***. A Thesis submitted to the graduate school in partial fulfillment of the requirements for the degree of master of science in pharmacology, Chiang Mai University.

Kumar C., Ganesan, P. S. and Bhaskar, N. 2008. *In vitro* antioxidant activities of three selected brown seaweeds of India. **Food Chemistry**. 107 : 707 - 713.

Lee, J., Koo, N. and Min D.B. 2004. Reactive oxygen species, aging, and antioxidative nutraceuticals. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**. 3 : 21 - 33.

Lemee, R., Pesando, D., Issanchoua, C., and Amadeb, P. 1997. Microalgae : a Model to Investigate the Ecotoxicity of the Green Alga *Caulerpa taxzjblia* from the Mediterranean Sea. **Marine Environmental Research**. 44(1). 13 - 25.

Levent C. and Kadir Y. 2005. An investigation on the antioxidant status of the invasive alga *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* (Sonder) Verlaque, Huisman, et Boudouresque (Caulerpales, Chlorophyta). **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**. 325. 189 – 200.

Levent C. and Kadir, Y. 2005. A comparative study : Assessment of the antioxidant system in the invasive green alga *Caulerpa racemosa* and some macrophytes from the Mediterranean. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**. 321. 35 – 41.

Levent C., Yasemin B., Kadir, Y. and Nur, O. 2006. Antiproliferative and newly attributed apoptotic activities from an invasive marine alga: *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea*. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**. 339. 111 - 119.

Lin, H. C., Chou, S. T., Chuan, M. Y, Liao, T. Y., Tsai, W. S. and Chiu, T. H. 2012. The effects of *Caulerpa microphysa* enzyme - digested extracts on ACE - inhibitory activity and *in vitro* anti - tumour properties. **Food Chemistry**. 134. 2235 - 2241.

Manoj, K., Vishal, G., Puja, K., Reddy, C.R.K. and Jha, B. 2011. Assessment of nutrient composition and antioxidant potential of Caulerpaceae seaweeds. **Journal of Food Composition and Analysis**. 24. 270 - 278.

Mendiola, J.A., Jaime, L., Santoyo, S., Reglero, G., Cifuentes, A., Ibanez, E. and Senorans, F.J. 2007. Screening of functional compounds in supercritical fluid extracts from *Spirulina platensis*. **Food Chemistry**. 102 : 1357 - 1367.

Cho, M., Lee, H. S., Kang, I. J. Wond, M. H. and You, S. G. 2011. Antioxidant properties of extract and fractions from *Enteromorpha prolifera*, a type of green seaweed. **Food Chemistry**. 127. 999 - 1006.

National Committe for Clinical Laboratory Standard. 1999. **Performance Standards for Antimicrobial Susceptbility Testing ; Eighth Informational Supplement**. NCCLS document M100 - S9. NCCLS, Wayne, PA.

National Committee for Clinical Laboratory Standards. 2000. **Method for Dilution Antimicrobial Susceptibility Tests for Bacteria That Growth Aerobically**. Approved Stand-5th Edition. **NCCLS**. 20 (2): 26 pp.

Rahim, A. A., Emmanuel, R., Jean, S., Kassim, M. J., Ibrahim, M. S. and Hasnah, O. 2008. Antioxidant activities of mangrove *Rhizophora apiculata* bark extracts. **Food Chemistry**. 107. 200 - 207.

Rania, M.A.A. and Hala, M.T. 2008. Antibacterial and antifungal activity of cyanobacteria and green microalgae. **Global Journal of Biotechnology and Biochemistry**. 3 : 22 - 31.

Ramadan, M.F., Asker, M.M.S. and Ibrahim, Z.K. 2008. Functional bioactive compounds and biological activities of *Spirulina platensis* lipids. **Czech Journal of Food Sciences.** 26. 211 - 222.

Santoyo, S., Herrero, M., Senorans, F.J., Cifuentes, A., Ibanez, E. and Jaime, L. 2006. Functional characterization of pressurizes liquis extracts of *Spirulina platensis*. **European Food Research and Technology**. 224 : 75 - 81.

Sritunyalucksana, K., Gangnonnigw, W., Archakunakorn, S., Fegan, D. and Flegel, T. W. 2005. Bacterial clearance rate and a new differential hemocyte staining method to assess immunostimulant activity in shrimp. **Diseases of Aquatic Organisms Journal.** 63: 89 - 94.

Subathraa, K. and Poonguzhali, T. V. 2013. Effect of different extracts of *Chaetomorpha antennina* and their phytochemical screening. **International Journal of Current Science**. 6: E. 35 - 39.

UNESCO, 2002. **An ecological assessment of Ulugan Bay**, Palawan, Philippines. CSI info NO. 12, UNESCO, Paris, 46 pp.

Weerasak S. 2005. Carotenoids : Structures and Potential Mechanisms in Biological Functions. **Srinakharinwirot Journal of Pharmaceutical Sciences**. 10(1) : 58 - 66.

Zhang, W. W, Duan, X. J., Huang, H. L., Zhang, Y. and Wang, B. G. 2007. Evaluation of 28 marine algae from the Qingdao coast for antioxidantive capacity and determination of antioxidant efficiency and total phenolic content of fractions and subfractions derived from *Symphyocladia latiuscula* (Rhodomelaceae). **Journal of Applied Phycology**. 19 : 97 - 108.

สารเมแทบอไลต์ทุติยภูมิจากสาหร่าย *Caulerpa racemosa* และฤทธิ์ทางชีวภาพ
Secondary metabolites from a marine macroalgae *Caulerpa racemosa* and their biological activity

พชร เพ็ชรประดับ Patchara Pedpradab
ธีรวุฒิ เลิศวิสุทธิชวาล Theerawood Leartsuthichawal

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสกัดแยกและศึกษาสารเมแทบอไลด์ทุติยภูมิจากสาหร่ายพวงองุ่น (*Caulerpa racemosa*) พร้อมทั้งตรวจสอบฤทธิ์ชีวภาพเพื่อประยุกต์ใช้ทางการแพทย์และการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ผลการทดลองสามารถทำสิ่งสกัดหยาบได้สองส่วนคือ สิ่งสกัดด้วย เอทิลอะซีเตต และเฮกเซน เมื่อตรวจสอบฤทธิ์ความเป็นพิษต่อไรน้ำเค็มซึ่งเป็นการตรวจสอบเบื้องต้นของสิ่งพบว่าสิ่งสกัดหยาบที่สกัดด้วยเอทิลอะซีเตตเท่านั้นที่มีฤทธิ์ จึงตรวจสอบฤทธิ์ชีวภาพทางการแพทย์พบมีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของเชื้อวัณโรค (*Mycobacterium tuberculosis*) ต้านมะเร็งปวด (H37Ra strain) และเป็นพิษต่อเซลล์ทดลอง (Vero cells) (IC_{50} = 10.16 μg/ml) และสิ่งสกัดหยาบเดียวกันนี้ไม่มีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียก่อโรคสัตว์น้ำ (*Aeromonas hydrophila* และ *Vibrio harveyi*)

ผลการวิเคราะห์สิ่งสกัดหยาบโดยวิธี โครมาโมกราฟีแบบเยื่อบาง เครื่องโครมาโมกราฟีแบบของเหลงสมรรถนะสูง (HPLC) และเครื่องแกซโครมาโมกราฟีแมสสเปคโทรเมตรี พบสารกลุ่มเสตียรอยด์และกรดไขมันเป็นองค์ประกอบหลักส่วนองค์ประกอบรองเป็นสาร methylethymaleimide, 6-hydroxy-4,4,7a-trimethyl-5,6,7,7a-tetrahydrobenzofuran-2(4H)-one และ dihydro actiniolide พร้อมกันนี้สามารถแยกสารสเตียรอยด์ให้บริสุทธิ์ ได้1 ชนิดคือ stigmast-5-en-3-ol การพิสูจน์ทราบโครงสร้างทำโดยการเปรียบเทียบข้อมูล NMR spectroscopy และ mass spectrometry กับสารที่มีรายงานแล้ว

คำสำคัญ : สาหร่าย พวงองุ่น วัณโรค เซลล์มะเร็งปอด พิษต่อเซลล์ แบคทีเรียก่อโรคในสัตว์น้ำ

ABSTRACT

This research has the main objective for extraction and secondary metabolites investigation of the extracts from a macro-alga *Caulerpa racemosa*. Those of extracts were screened for their medical biological activity as well as antiphathogenic bacteria in aquatic animals. The results showed that two parts of crude extracts were prepared by hexane and ethyl acetate extraction. The primary screening on brine shrimp toxicity of those extracts showed that ethyl acetate extract had toxic to brine shrimp, only. The ethyl acetate was further examined for medical biological activity. It response to anti-TB (*Mycobacterium tuberculosis*), anticancer (H37Ta strain) and cytotoxicity activity (Vero cells), but no anti-pathogenic bacteria in aquatic animals (*Aeromonas hydrophilla* and *Vibrio harveyi*)

The EtOAc extract was future analyzed by TLC, HPLC and GCMS. The result showed it contained fatty acid and steroid as the main components while, mthylethylmaleimide,6-hydroxy-4,4,7a-trimethyl-5,6,7,7a-tetrahydrobenzofuran-2(4H)-one and dihydro actiniolide were minor components. In this study, we isolated stigmast-5-en-3-ol and dtermined its chemical structure by nmr and mass fragmentation analysis.

Keywords: *Caulerpa racemosa*, anti-TB, anticancer, cytotoxicity, anti-pathogenic bacteria in aquatic animal.

บทนำ

สาหร่ายขนาดใหญ่ *Caulerpa racemosa* แพร่กระจายมากบริเวณจังหวัดตรัง กระบี่ พังงา และภูเก็ต ชาวบ้านนิยมนำมาจิ้มน้ำพริกรับประทานสด จัดเป็นอาหารพื้นบ้านประเภทหนึ่ง สาหร่ายชนิดนี้มีปริมาณมาก แต่มีข้อเสียเมื่อนำมาจากธรรมชาติแล้ว เก็บรักษายาก ดังนั้นชาวบ้านจึงเก็บมาบริโภคเพียงจำนวนน้อย ทำให้มีเหลือในธรรมชาติมาก จากการสืบค้นข้อมูลพบว่าสิ่งสกัดหยาบจากสาหร่าย C. *racemosa* มีคุณสมบัติยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลชีพก่อโรคหลายชนิด และยังพบอีกว่าชนิดสารและฤทธิ์ทางชีวภาพของสาหร่ายชนิดนี้แตกต่างกันตามสภาพภูมิประเทศ เช่น สายพันธุ์ในประเทศอินเดียมีสารกลุ่มอัลคาลอยด์ ฟลาวานอยด์และสเตียรอยด์ บริเวณทะเลจีนใต้พบ กรดอะมิโน กรดไขมันและ sesquiterpene เป็นชนิดเด่น ซึ่งฤทธิ์ทางชีวภาพก็ผันแปรไปตามสารที่พบ สำหรับในประเทศไทยมีการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสิ่งสกัดหยาบจาก C. *racemosa* เก็บจากเกาะสาหร่ายจังหวัดสตูล โดยใช้วิธีสกัดด้วยความร้อน แต่ยังไม่มีรายงานการแยกสารเมแทบอไลต์ที่แสดงคุณสมบัติมีฤทธิ์ทางชีวภาพให้บริสุทธิ์ด้วยเหตุผลและข้อมูลดังกล่าวทีมวิจัยจึงมีแนวคิดที่จะเพิ่มมูลค่าให้กับสาหร่ายท้องถิ่นชนิดนี้ โดยการประยุกต์สารเมแทบอไลต์ทุติยภูมิใช้ทางการแพทย์และยับยั้งเชื้อก่อโรคในสัตว์น้ำชายฝั่งเศรษฐกิจ

ตรวจเอกสาร

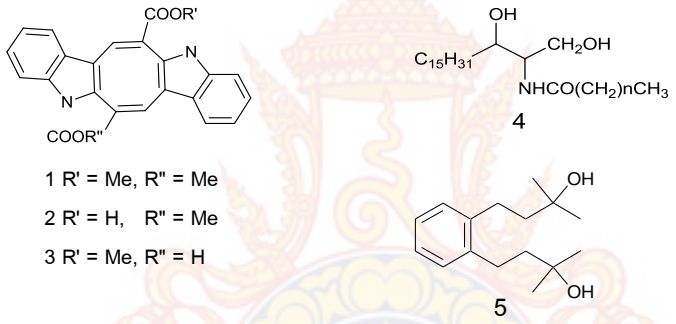
สาหร่ายขนาดใหญ่สีเขียว *Caulerpa racemosa* มีลักษณะทัลลัสประกอบด้วยสโตลอนที่แตกแขนงได้ ส่วนของทัลลัสที่ตั้งตรง สูง ๑-๕ เซนติเมตร ประกอบด้วยราไมูลัส ลักษณะเกือบกลมหรือครึ่งวงกลม เส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5-4.0 มิลลิเมตร มีก้านสั้นๆ เรียงตัวเป็นช่อเหมือนช่อพริกไทย (รูปที่ 1) รากเกิดด้านล่างเป็นระยะๆ ขึ้นบนก้อนหินหรือซากปะการัง ในเขตน้ำขึ้นน้ำลง สาหร่ายชนิดนี้ได้พบทั่วไปมีขายในตลาดสดในบางจังหวัดชายทะเลทางอนุกรมวิธานดังนี้

Kingdom Plantae
Subkingdom Viridiplantae
Division Chlorophyta
Class Ulvophyceae
Order Bryopsidales
Family Caulerpaceae
Genus Caulerpa
Species racemosa (Forsskal) J. Agardh (1809)

รูปที่ 1 ลักษณะสาหร่าย *Caulerpa racemosa*

สาหร่ายชนิดนี้แพร่กระจายในเขตเส้นศูนย์สูตร เช่น อินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ เวียดนาม พม่า และในประเทศไทยอาจจะพบบ้างประปรายบริเวณทะเลจีนใต้ ทะเลเมดิเตอร์เรเนียน ในกลุ่มประเทศเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ใช้เป็นอาหารสด โดยเฉพาะบริเวณจังหวัดตรัง สตูล พังงาและ กระบี่ แต่มีข้อเสียคือไม่สามารถเก็บได้นาน ดังนั้นจึงบริโภคได้สดๆ เท่านั้น จึงมีเหลือในธรรมชาติเป็นจำนวนมากในประเทศอินเดียมีการนำสาหร่ายชนิดนี้มาศึกษาลักษณะทางพฤษเคมี (Phytochemistry screening) โดยนำสาหร่ายมาบดสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์แล้วนำสิ่งสกัดหยาบที่ได้มาวิเคราะห์ พบสารกลุ่มฟลาวานอยด์ และ สเตียรอยด์ โดยสิ่งสกัดหยาบเหล่านี้มีฤทธิ์อย่างอ่อนต่อการยับยั้งเชื้อจุลชีพก่อโรคในมนุษย์ (Srivastava *et al*, 2010) ในปี ค.ศ. 2008 นักวิทยาศาสตร์ชาวจีน ได้ทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของ *C. racemosa* สายพันธุ์ประเทศจีน พบว่า สิ่งสกัดหยาบหยาบมีประสิทธิภาพสูงในการต้านอนุมูลอิสระ (IC_{50}=14.3+-2.0) (Mao *et al*., 2008; Wang *et al*., 2007) ในขณะที่สายพันธุ์ไทย (ใช้ตัวอย่างจากเกาะสาหร่าย จ.สตูล) มีฤทธิ์ต่ำกว่าเล็กน้อย (IC_{50}=15.05+-0.61) (Yangthong, Towattana and Phromkantong, 2009) สำหรับการวิเคราะห์ทางเคมี

พบรายการเพียงสองสายพันธ์เท่านั้นคือสายพันธุ์ประเทศอินเดียพบสารอัลคาลอยด์ ชื่อ caulerpin (1-3) มีสีชมพูและสารกลุ่ม C6-C3 phenyl, propane ทั้งในรูป dimeric ether และ ester อีกประมาณ 2-3 mชนิด สาร caulerpin มีฤทธิ์ต้านการเกิดสนิมเหล็ก ส่วนฤทธิ์ทางชีวภาพอื่นๆ ยังไม่พบรายงาน (Kamal and Sethuraman, 2012) (Anjaneyulu *et al*, 1992) เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของ *C .racemosa* สายพันธ์ประเทศศรีลังกา พบสารกลุ่ม N-acylsphinganius (4), para-xylene (5) (Sarma, Krishna and Pasha) ซึ่งมีฤทธิ์อย่างอ่อนในการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *Candida albicans*, *Trichophyton rubrum* และ *Cryptococcus neoformans* (Liu *et al*, 2013) กลุ่มที่สองได้แก่กลีเซอรอลซัลเฟตชื่อ sulfoquinovosyl diacylglyceral (SQDE)มีฤทธิ์รุนแรงต่อการยับยั้งการเจริญของไวรัส HSV-1,ไวรัส HSV-2 และ Coxsackie virus B3 (Wang *et al*, 2007) จากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นว่าการวิจัยสารเมแทบอไลด์ทุติยภูมิเน้นการใช้ประโยชน์ด้านการแพทย์เป็นหลัก แต่ยังไม่มีข้อมูลการประยุกต์ใช้ด้านสุภาพสัตว์น้ำ ซึ่งยังไม่สอดคล้องกับทฤษฎีการสังเคราะห์สารเมแทบอไลด์ทุติยภูมิ เพราะสารเหล่านี้ถูกกระตุ้นสร้างโดยปัจจัยแวดล้อมและมีคุณสมบัติเฉพาะอย่างซึ่งมักสัมพันธ์กับระบบนิเวศที่มันอยู่อาศัย สาหร่าย C. *racemosa* เจริญเติบโตในระบบนิเวศชายฝั่ง ดังนั้นน่าจะสร้างสารเมแทบอไลด์ทุติยภูมิที่มีคุณสมบัติยับยั้งจุลชีพก่อโรคในสัตว์ชายฝั่งเช่น กุ้ง ปลา เป็นต้น



รูปที่ 2 ตัวอย่างสารเมแทโบไลด์ทุติยภูมิพบใน *C. rascemosa*

ในภาคใต้ของประเทศไทยมีปรากฏการระบาดของโรคหลายชนิดในสัตว์น้ำชายฝั่ง ซึ่งการบำบัดโรคยังคงใช้สารเคมีสังเคราะห์ ซึ่งมีราคาค่อนข้างแพงและมีปัญหาการตกค้างในสัตว์น้ำ โรคที่มักพบทั่วไปในสัตว์น้ำชายฝั่งเศรษฐกิจภาคใต้ได้แก่ เชื้อก่อโรคในกุ้งทะเล เช่นพยาธิหรือปรสิต (Parasite) ทั้งพยาธิภายนอกและพยาธิภายใน *Zoothamnium* sp., *Aceneta* sp., *Epistylis* sp., Gregarines เชื้อแบคทีเรีย เช่น โรคเรืองแสง (*Vibrio harveyi*) โรคเปลือก-หางกร่อน (*Vibrio* spp.) และเชื้อไวรัส (Virus) เป็นโรคที่ยังไม่มียารักษา ได้แก่ โรคตัวแดงดวงขาว โรคหัวเหลือง โรคแคระแกร็น โรคทอร่าซินโดรม โรคตับเอชพีวี โรคเอ็มบีวี

เชื้อก่อโรคในปลาทะเลมัก เชื้อแบคทีเรียก่อโรคในปลาทะเลหลายๆตัวเป็นเชื้อที่มีอยู่แล้วในน้ำ (Normal flora) เช่น เชื้อแบคทีเรียในกลุ่ม *Vibrio* spp. เชื้อชนิดนี้มีมากในน้ำทะเล มีทั้งเชื้อที่ดีและเชื้อก่อโรคมากมาย, *Mycobacteria* spp., *Aeromonas* spp. เป็นต้น การมีเข้ามาสู่ระบบการเลี้ยงสามารถเข้ามาได้จากทุกทาง แม้ว่าจะมีการกรองน้ำและฆ่าเชื้ออย่างดีแล้วก็ตาม เส้นทางที่เชื้อแบคทีเรียเหล่านี้จะเข้ามาในระบบเพิ่มเติมได้ทั้งจากน้ำทะเลที่ใช้ กลุ่มโรคจุดขาวในปลาทะเล ประกอบไปด้วยเชื้อ *Cryptocaryon irritans* (marine ich หรือ white spot disease), *Amyloodinium ocellatum* (velvet หรือ coral fish disease) และ *Brooklynella hostilis* (clownfish disease) ซึ่งกลุ่มโรคบ่อยบ่อเลี้ยงปลาทะเล (Lightner and Redman, 1998)

การรักษาโรคติดชื้อแบคทีเรียรักษาโดยใช้ยาปฏิชีวนะเช่น ยากลุ่มไนโตร ควิโนโลน เตตต้าซัยคลิน และ ซัลฟา เป็นต้น ส่วนติดเชื้อโปรโตซัวใช้สารเคมีชนิดต่างๆ เช่น copper sulfate, มาลาไค้ท์กรีน และฟอร์มาลินซึ่งการใช้สารเคมีสังเคราะห์จะประสบปัญหาการปนเปื้อนค่อนข้างบ่อย (Holmströom *et al*., 2003)

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. ตัวอย่างและการเก็บตัวอย่าง

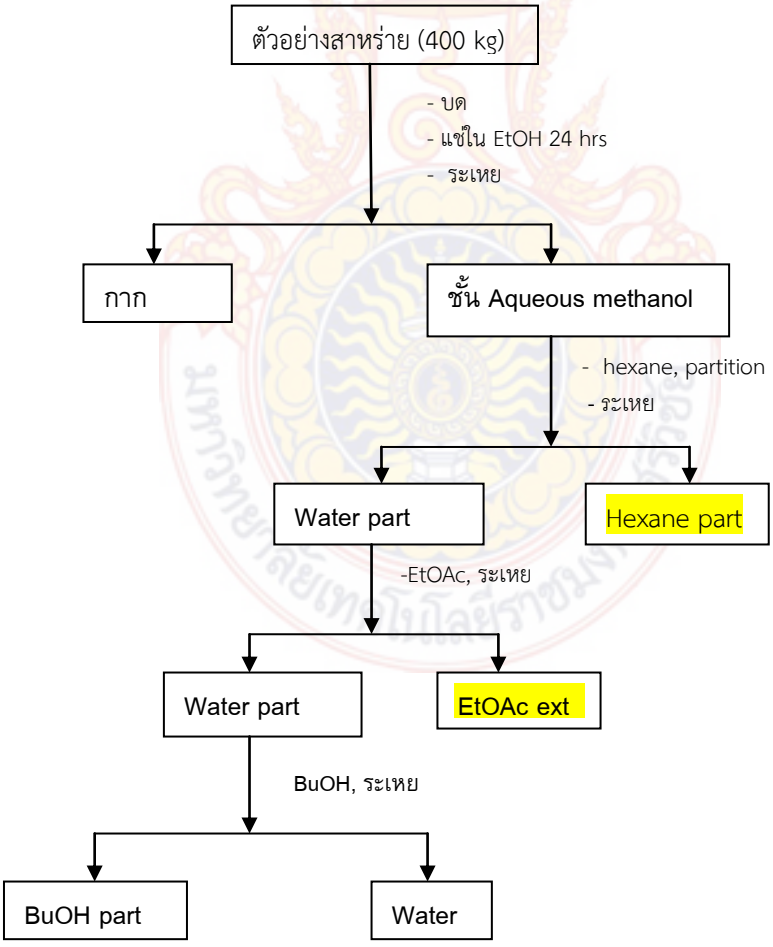
เก็บตัวอย่างบริเวณจังหวัดตรัง กระบี่ และพังงา โดยนำตัวอย่างใส่ถุงพลาสติกปิดสนิท แช่ในน้ำแข็งระหว่างขนส่งจากบริเวณเก็บตัวอย่างและสกัดทันทีเมื่อขนส่งถึงห้องปฏิบัติการ

2. การทำสิ่งสกัดหยาบ

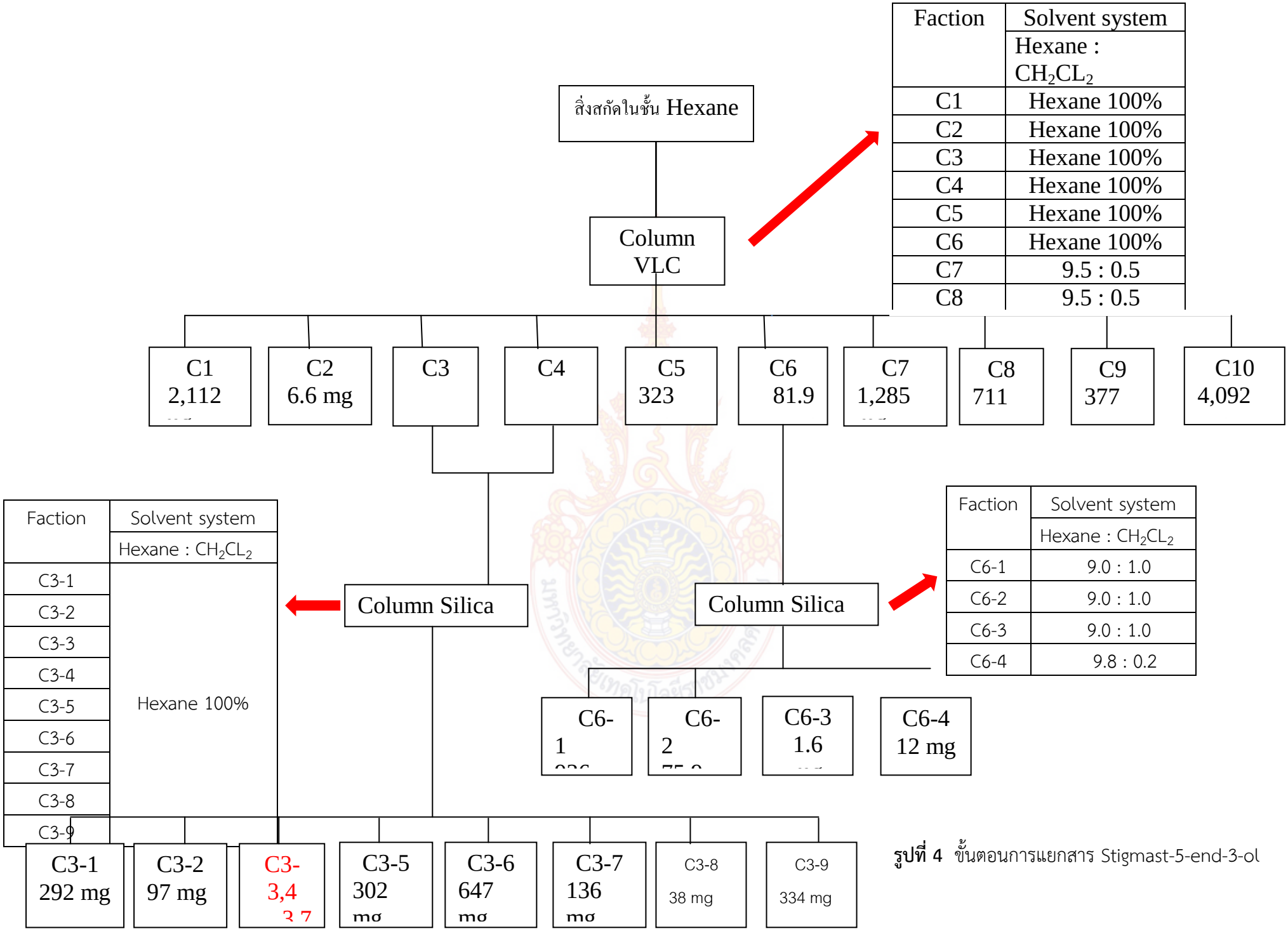
ใช้ตัวอย่างปริมาณ 300 กิโลกรัม บดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดอัตโนมัติ แช่สกัดด้วยเอทานอล 100 % เป็นเวลา 24 ช.ม. (เนื่องจากมีน้ำมากและทำการสกัดจึงลดเวลา) หลังจากนั้นกรองแยกกากและสกัดซ้ำดังแผนภาพที่ 1 แคโรทีนอยด์ สเตียรอยด์ และกรดมันไขมันจะถูกสกัดออก โดยเฮกเซน ส่วนเมแทบอไลด์อื่นๆ อยู่ในสิ่งสกัดชั้น EtOAc

3. การแยกสกัดเมแทบอไลด์ทุติยภูมิ

การแยกและทำบริสุทธ์สารเมแทบอไลด์ทุติยภูมิ ทำได้โดยใช้ฤทธิ์ทางชีวภาพเป็นตัวชี้นำ (Biological guide fractionation) เริ่มต้นโดยการตรวจสอบหมู่สารและลักษณะทางเคมีบนแผ่น TLC ทดสอบหมู่สารโดยน้ำยาเคมี anisaldehyde, ninhydrin, dragentdroff,Vanilin และ sulfuric acid ฉีดพ่นลงบนแผ่น TLC ตรวจสอบความหลากหลายของสารและป้องกันการแยกซ้ำด้วย HPLC และ LCMSMS จากนั้นแยกให้ได้ปริมาณมากด้วยโครมาโทกราฟีแบบคอลัมน์ โดยใช้วัสดุแยกและตัวทำละลายอินทรีย์ชนิดต่างๆ เช่น silica gel normalphase, RP-18 , Sephadrx LH-20 เป็นต้น หากสารอยู่ในรูปองผสมซับซ้อนสูงจะแยกด้วย semipreparetive HPLC (ทำที่ Marine Drug Center, Jinan University, ประเทศจีน) จนได้สารบริสุทธิ์



รูปที่ 3 ขั้นตอนการทำสิ่งสกัดหยาบ



รูปที่ 4 ขั้นตอนการแยกสาร Stigmast-5-end-3-ol

4. การพิสูจน์ทราบเอกลักษณ์ทางเคมี

ใช้วิธีวิเคราะห์โดยเครื่องมือ สเปกโทรสโกปี ได้แก่ Nuclear Magnitic Rasonance (NMR) Mass spectrometry (MS), Infraed spectroscopy (IR) (ใช้บริการศูนย์เครื่องมือ มอ.) หากได้สารที่มีลักษณะผลึกจะวิเคราะห์ด้วยเทคนิค X-Ray crystallography (ทำที่ Jinan University,ประเทศจีน) ข้อมูล spectroscopy และ หรือ X-Ray crystallography จะถูกนำมาแปรผลให้เป็นโครงสร้างเคมีที่คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง ข้อมูลจาก NMRประกอบด้วย 2 ส่วน ส่วนแรกเป็น 1D-NMR ได้แก่ ^{1}H-NMR, ^{13}C-NMR, DEPT 130° ส่วนที่ 2 ได้แก่ 2D-NMR ได้แก่ COSY, HMBC, HMQC, NOE ซึ่งจะบอกถึงโปรตอนคาร์บอนความสัมพันธ์เชิงเคมีและสเตอรีโอเคมี เมื่อวิเคราะห์แล้วจะได้โครงสร้างเคมีเป็นผลสุดท้าย สารบริสุทธิ์จะถูกวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ จุดหลอมเหลว และการดูดกลืนแสงยูวี เป็นต้น

5. การทดสอบฤทธิ์ทางชีวภาพทางการแพทย์

ได้แก่ฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *candida albicans* และฤทธิ์ยับยั้งไวรัส (ส่งทดสอบที่ห้องปฏิบัติการตรวจสอบฤทธิ์ทางชีวภาพ ไบโอเทค สวทช)

6. การทดสอบฤทธิ์ยับยั้งจุลชีพก่อโรคในสัตว์น้ำ

การทดสอบฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียก่อโรคโดยวิธี disc diffusion และ broth dilution assay ตามวิธีของ Alderman and Smith (2001)[1] ใช้เชื้อ *Aerominas* spp. และ *Vibrio* spp. เป็นเชื้อทดสอบ

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

สามารถทำสิ่งสกัดหยาบโดยใช้เฮกเซน และเอทิลอะซีเตตได้ 0.9 กรัม และ 0.1 กรัม คิดเป็นร้อยละ และ 0.9 และ 0.1 ตามลำดับ (เทียบจากน้ำหนักเปียก 300 กิโลกรัม) ผลการทดสอบฤทธิ์ทางชีวภาพเบื้องต้น โดยใช้ฤทธิ์ความเป็นพิษต่อไรน้ำเค็ม (ตารางที่ 1) พบสิ่งสกัดหยาบที่สกัดด้วยเอทิลอะซีเตตเท่านั้นที่มีฤทธิ์ จึงนำสิ่งสกัดหยาบที่สกัดด้วย EtOAc ทดสอบฤทธิ์ชีวภาพทางการแพทย์ (ตารางที่ 2) พบมีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อวัณโรค ต้านเซลล์มะเร็ง และ เป็นพิษต่อเซลล์ทดลอง แต่ไม่มีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา (รูปผนวกที่ 3)

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบฤทธิ์เป็นความเป็นพิษต่อไรน้ำเค็มเบื้องต้น

สิ่งสกัดหยาบ	ความเข้มเข้มข้น (ppm)/จำนวนการตาย				
	0	10	100	500	1000
Hex Ext	0	0	0	0	0
EtOAc Ext	0	7	9	10	10

ตารางที่ 2 ผลการตรวจสอบฤทธิ์ทางชีวภาพทางการแพทย์

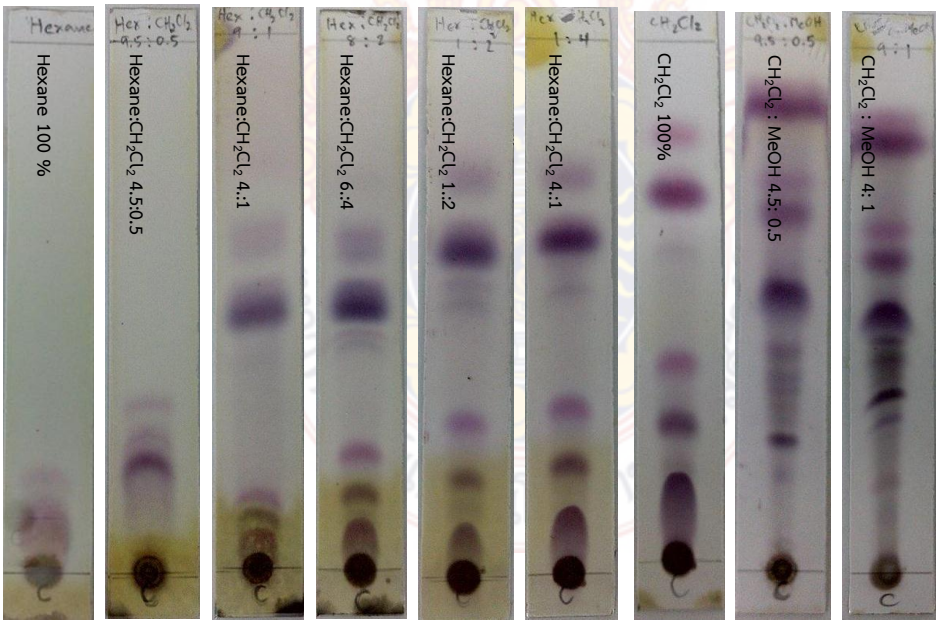
ชนิดฤทธิ์ชีวภาพ	การตอบสนอง	IC_{50}(µg/ml)	หมายเหตุ
Anticancer (NCI-H18)	✓		
Anti- *candida albicans*	-		
Anti-TB	✓		
Cytotoxic (Vero cells)	✓	10.19	
Neurominidase inhibition	-		

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของสิ่งสกัดหยาบจากสาหร่าย ในการยับยั้งเชื้อก่อโรคในสัตว์น้ำ 2 ชนิด ได้แก่ *Aeromonas hydrophila* และ *Vibrio harveyi* ที่ความเข้มข้น 10, 100, 500, 1,000, และ 2,000 ไมโครกรัม พบว่าไม่มีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อจุลชีพก่อโรค (รูปผนวกที่ 7 ตารางที่ 3) แสดงว่าไม่สามารถใช้ในการบำบัดโรคสัตว์น้ำได้

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเชื้อจุลชีพก่อโรคในสัตว์น้ำ

ความเข้มข้น (ไมโครกรัม)	เส้นผ่าศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)		หมายเหตุ
	Aeromonas hydrophila	*Vibrio harveyi*	
10	×	×	
100	×	×	
500	×	×	
1,000	×	×	
2,000	×	×	

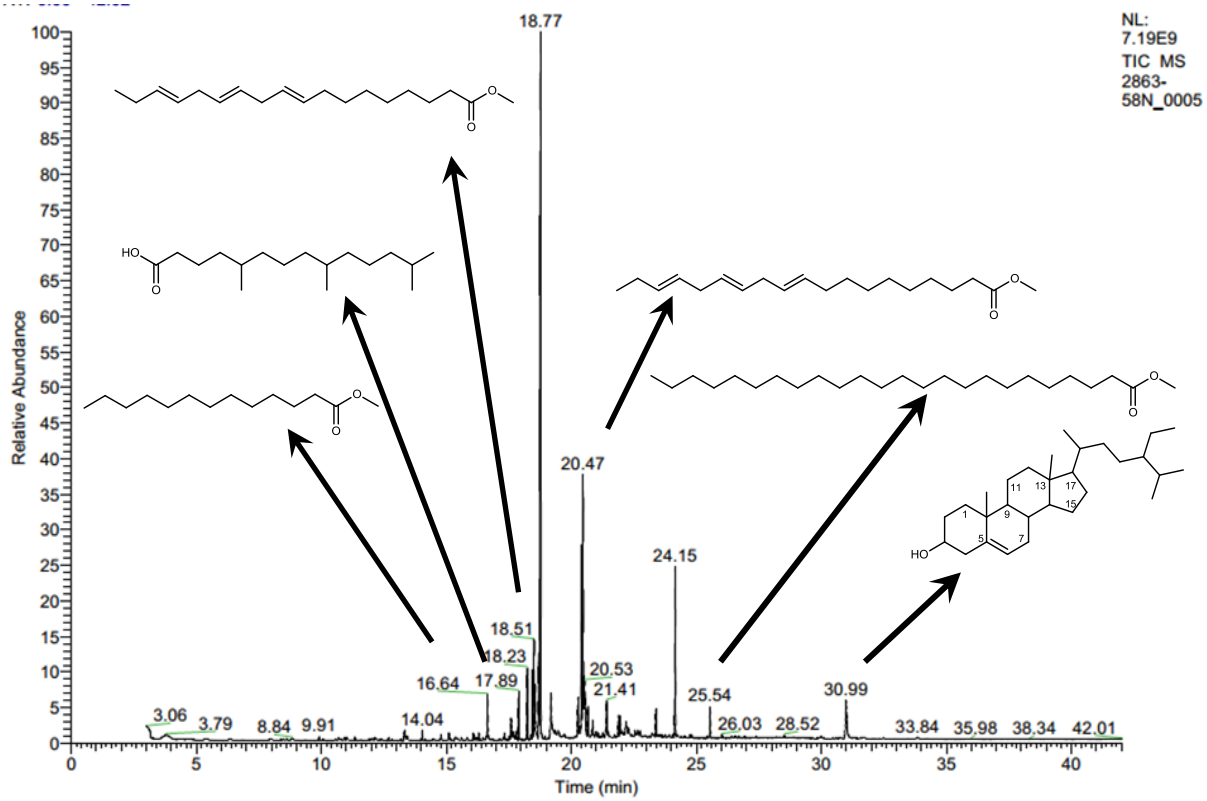
เมื่อวิเคราะห์สารเมแทโบไลค์ทุติยภูมิโดยวิธี TLC ฉีดพ่นโดยการเคมีทดสอบ ninhydrin, dragetdroff, vanillin และ anisaldehyde พบองค์ประกอบในสิ่งสกัดหยาบตอบสนองต่อสารเคมีทดสอบ anisaldehyde เท่านั้น (รูปที่ 5) โดยมีลักษณะการตอบสนองเป็นสีม่วงเข้มและส่วนที่ไม่ตอบสนองมีลักษณะเป็นจุดสีเหลือง แสดงว่าสารที่เป็นองค์ประกอบในสิ่งสกัดหยาบเป็นสารกลุ่มสเตียรอยด์และกรดไขมันเป็นหลัก



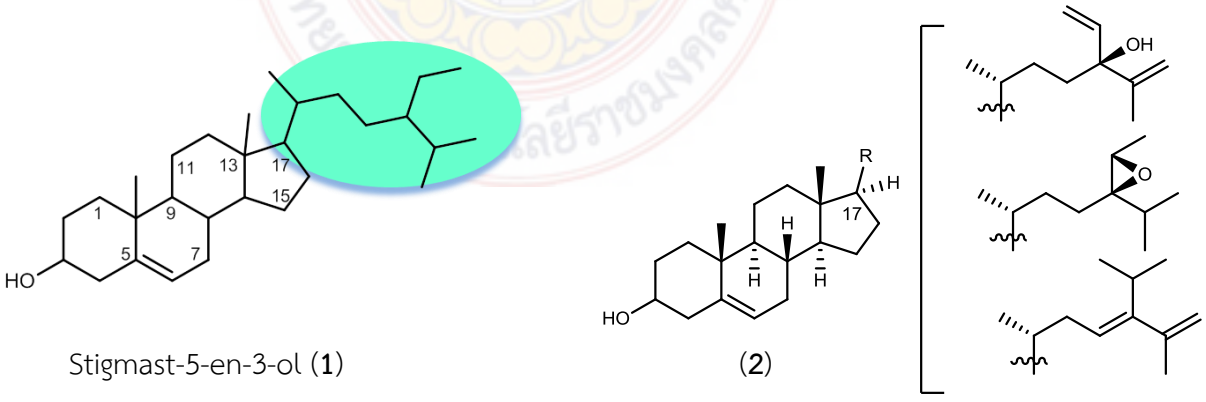
รูปที่ 5 ผลการวิเคราะห์สิ่งสกัดหยาบโดยวิธีโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง

กรดไขมัน และสารกลุ่มสเตียรอยด์สามารถพบได้โดยทั่วไปในสาหร่ายชนิดนี้ (Sivastava *et al*., 2010) ส่วนจะเป็นชนิดและอนุพันธ์ใดอาจแตกต่างกันตามภูมิประเทศ เช่น สาหร่ายในประเทศศรีลังกาและจีนพบกรดไขมันมีพันธะสามในโมเลกุล (polyacethylenic fatty acid) ซึ่งประสิทธิภาพสูงในการออกฤทธิ์ยับยั้งเชื้อไวรัสก่อโรคเริม (Wang *et al*., 2009; Mao *et al*.,2011) การวิจัยครั้งนี้ไม่พบกรดไขมันกลุ่มดังกล่าว จึงไม่พบฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของไวรัส จากผลการวิเคราะห์โดยใช้ GCMS (รูปที่

6 ตารางที่ 4) การวิจัยครั้งนี้พบกรดไขมันแบบทั่วไปทั้งอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว ไม่พบ polyacethylenic fatty acid จึงไม่พบฤทธิ์ยับยั้งเชื้อไวรัสก่อโรคเริม

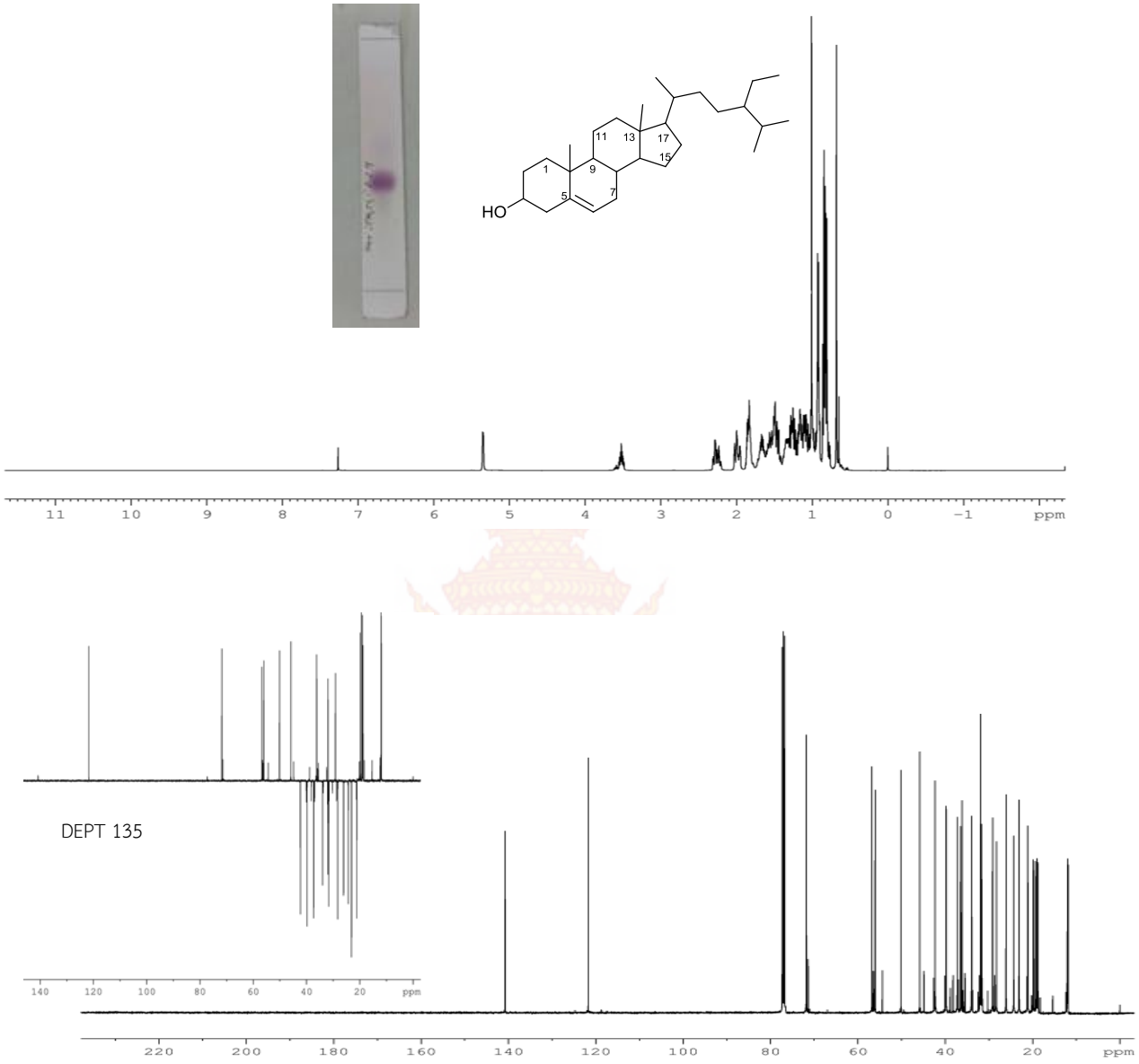


นำไปประยุกต์ใช้รักษาโรคเบาหวาน (Sujatha *et al.*, 2010) สามารถพิสูจน์ทราบลักษณะทางเคมีของสารนี้ได้จากข้อมูล mass spectrum (รูปผนวกที่ 1 ล่าง) กล่าวคือ มีพีค m/z ที่ 414 396 329 303 และ m/z 313 ^{1}H-NMR (รูปที่ 8 บน) มีลักษณะเฉพาะของ สาร Stigmast-5-en-3-ol กล่าวคือมีหมู่ฟังก์ชัน methyl ปรากฏที่ช่วงสัญญาณ δ_H 0.50-1.30 methylene ที่ δ_H 1.00-2.40 ส่วนข้อมูล ^{13}C-NMR (รูปที่ 8 ล่าง) ปรากฏสัญญาณที่ δ_C 14.00-20.00 ซึ่งเป็นสัญญาณ ของคาร์บอนพันธะเดี่ยว และพบ methylene carbon ที่สัญญาณ δ_C 20.00-45.00



Stigmast-5-en-3-ol (**1**) (**2**)

รูปที่ 7 สารกลุ่มสเตียรอยด์ พบใน *C. recemosa* สายพันธุ์พบในประเทศไทย (**1**) และประเทศจีน (**2**)

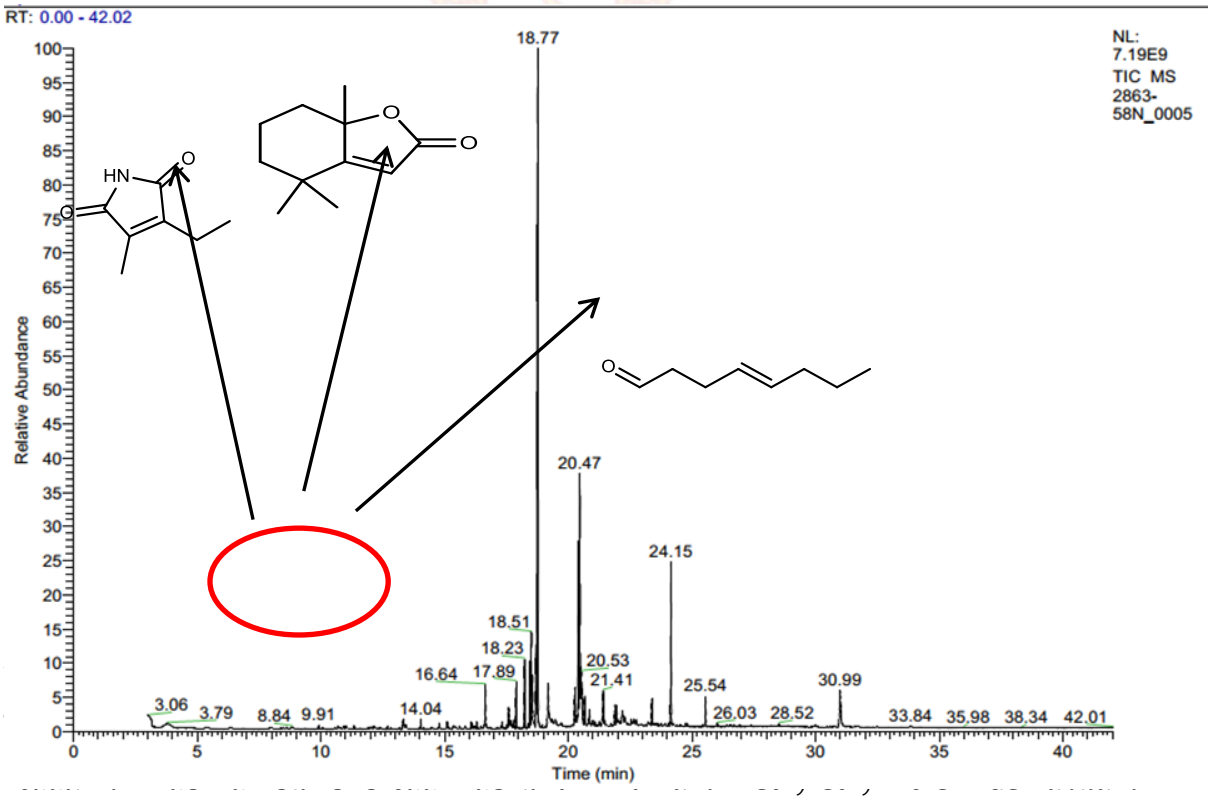


รูปที่ 8 ^{1}H-NMR TLC (บน) และ ^{13}C-NMR (ล่าง) ของสาร Stigmast-5-end-3-ol ($CDCl_3$)

การวิจัยครั้งนี้พบสาร methylethymaleimide และ dihydro actiniolide **(รูปที่ 6)** ซึ่งเป็นสารปริมาณน้อยและยังไม่พบรายงานสารกลุ่มนี้ในสาหร่าย *C. racemosa* ซึ่งอาจเกิดจากความแตกต่างของสภาพแวดล้อม เพราะสิ่งมีชีวิตสร้างสารเมแทโบไลต์ทุติยภูมิจากการถูกกระตุ้นโดยปัจจัยสภาพแวดล้อม และสารเหล่านี้มีหน้าที่เฉพาะ(Liu *et al*, 2013)

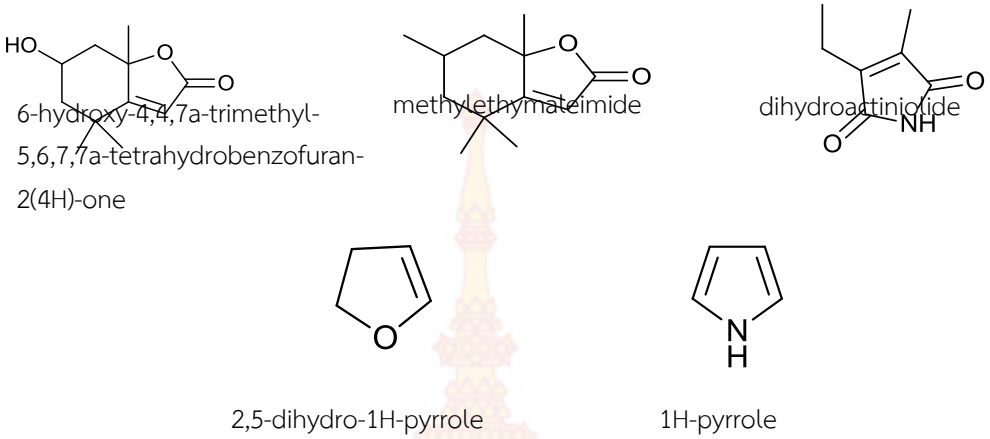
ตารางที่ 4 สรุปชนิดสารที่เป็นองค์ประกอบในสิ่งสกัดของสาหร่าย *C. racemosa*

Retention time (min)	IUPAC name
16.64	Tetradecanoic acid, methyl
17.89	2-Pentadecanone, 6,10,14-trimethy
18.23	7,10-Hexadecadienoic acid, methyl ester
18.51	7,10,13-Hexadecatrienoic acid, methyl ester
18.77	Hexadecanoic acid, methyl ester
20.47	9,12,15-Octadecatrienoic acid, methyl
20.53	2-Hexadecen-1-ol, 3,7,11,15-tetram
21.41	2-Hexadecen-1-ol, 3,7,11,15-tetrame
24.15	1,2-Benzenedicarboxylic acid, mono(2-ethyl)
25.54	2-hexadecen1-ol,3,7,11-tetramethyl
30.99	Stigmast-5-en-3-ol, (3á,24S)

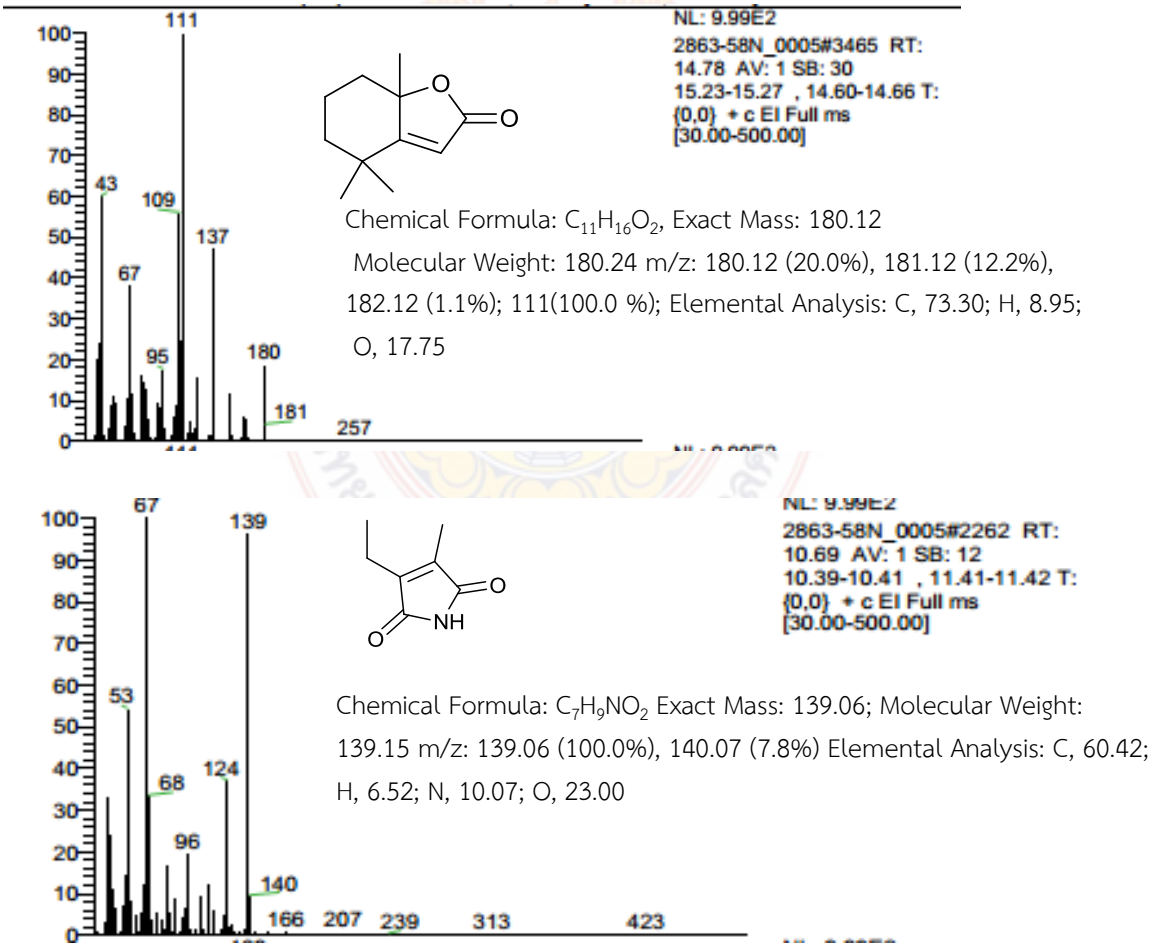


dihydroactiniolide ประกอบด้วยวงแหวนไพโรลถูกแทนที่ด้วยออกซิเจนจำนวน 2 อะตอม โมเลกุลลักษณะนี้มีฤทธิ์ชีวภาพหลายประการ แต่การแยกสารดังดังกล่าวให้บริสุทธิ์และตรวจสอบฤทธิ์ขั้นยืนยันยังทำได้ค่อนข้างยากเพราะสารมีปริมาณน้อยมากอาจใช้วัตถุดิบมากกว่า 500 กิโลกรัมจึงแยกสารให้เพียงพอต่อการพิสูจน์ทราบโครงสร้างและตรวจสอบฤทธิ์ทางชีวภาพอย่างละเอียด อย่างไรก็ตาม

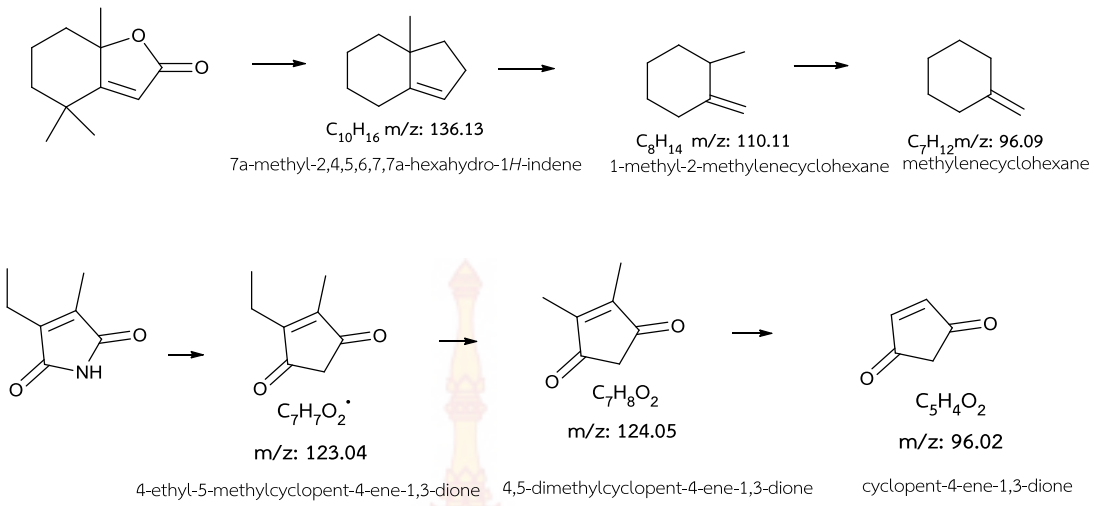
โครงสร้างโมเลกุลสามารถพิสูจน์ได้จากข้อมูล mass fragment (รูปที่ 12) จากการวิเคราะห์ด้วย GCMS กรณีสาร methylethymaleimide มีสูตรเคมีเป็น $C_{11}H_{16}O_2$ มวลแท้จริงเท่ากับ 180.12 ส่วนสาร dihydro actiniolide มีสูตรโมเลกุลเป็น $C_7H_9NO_2$ และมวลแท้จริงเท่ากับ 139.06 (รูปที่ 11) ซึ่งโมเลกุลทั้งสองมี fragmentation (รูปที่ 9) ที่เป็นเอกลักษณ์พิสูจน์ได้โดยข้อมูลแมสสเปกตรัม (รูปที่ 12)



รูปที่ 10 โครงสร้างโมเลกุลของสารเมแทโบไลต์ทุติยภูมิที่มีปริมาณน้อยพบในสาหร่าย *C. recemosa*



รูปที่ 11 ข้อมูลทางเคมีทั่วไปของสาร Methylethymaleimide และ Dihydro actiniolide



รูปที่ 12 การวิเคราะห์ mass fragmentation ของสาร methylethymaleimide และ สาร dihydro actiniolide

เอกสารอ้างอิง

Anjaneyulu, A.S.R., Parkash,C.V.S., RaJu,K.V.S. and Mallavadhani, U.V.1992. Isolation of new aromatic derivattive from a marine algal species *Caulerpa racemosa*. **J. Nat. Prod, *55*:469-499.**

Chew,Y. L., Lim,Y. Y., Omar,M. and Khoo, K.S. 2008. Antioxidant activity of three edible seaweeds from two areas in South East Asia. **LWT, *41*:1067-1072.**

Dewrick P.M. 2003. **Medicinal natural products: A biosynthesis approach**. John Wiley

Sons LTD. Ontario. 507 p.

Holmströöm K, Gra S., slund, Wahlströöm, Poungshompoo S, Bengtsson BE.,Kautsky N. 2003. Antibiotic use in shrimp farming and implications foenvironmental impacts and human health. Inter., **J. Food Sci. Tech. *38*, 255–266**.

Kamal, C. and Sethuramam, G. 2012. Caulerprenylols A and B, two rare antifungal prenylated para-xylenes from the green alga *Caulerpa racemosa*. **Ind. Eng. Chem. Res, *51*:10399-10407.**

Liu, A. H., Liu, D.Q., Liang, T.J., Yu, X.Q., Feng, M.T., Yao, L.G., Frang,Y.,Wang,B.,Feng,L.H., Zhang, M.X. and Mao,S.C.2013. Caulerprenylols A and B, two rare antifungal prenylated para-xylenes from the green alga *Caulerpa racemosa*. Bioorg. **Med. Chem. Lett, *23*:2491-2494.**

Lightner DV., Redman RM. 1998. Shrimp diseases and current diagnostic methods. **Aquaculture *164*: 210-220.**

Mao, S.C., Liu, D.Q., Yu,X.Q. and ,Lai, X.P .2011. A new polyacetylenic fatty acid and other secondary metabolites from the Chinese green alga *Caulerpa racemosa* (Caulerpaceae) and their chemotaxonomic significance. **Biochem. Syst.Ecol, *39*:253-257.**

Sarma, N.S., Krishna, M.S.R. and Pasha, S.G. 2006. Marine algae natural:Contribution from India in global context, **Ind. J. Chem, *45B*:433-449.**

Srivastava, N., Saurav,K., Mohamnasrinivasan,V., Kannabiran,K., and Singh, M. 2010. Antibacterial Potential of Macroalgae Collected from the Madappam Coast, **Brit. J. Pharmacol. Toxicol *2*:72-76.**

Wang, H.,Li,Y.L., Shen,. W.Z., Rui,W., Ma, X.J. and Cen,Y.Z.2007.Antiviral activity of a sulfoquivosydiacylgcerol (SQDG) compound isolated from the green alga *Caulerpa racemosa*. **Bot. Mar, *50*:185-190.**

Yangthong, M., Towatana, N.H. and Phromkunthong, W. 2009.Antioxidant Activities of Four Edible Seaweed from the Southern Coast of Thailand, **Plant. Food. Hum. Nutr. *64*:218-223.**

ผลของการดองเกลือ แคลเซียมคลอไรด์และสารละลายโอโซนต่ออายุ การเก็บรักษา และสารต้านอนุมูลอิสระของสาหร่ายทะเลขนนก ภายใต้สภาวะแช่เย็น

Effects of Salt Calcium Chlorite and Ozanated water on the shelf life and antioxidant capacity of *Caulerpa racemosa* var. *corynephora* under refrigerated storage

ชุตินุช สุจริต **Chutinut Sujarit**
สุแพรวพันธ์ โลหะลักษณาเดช **Supraewpan Lohaloksanadech**

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้เพื่อศึกษาการยืดอายุของสาหร่ายทะเลขนนก *(Caulerpa racemosa*) โดยการเติมสารเกลือ และแคลเซียมคลอไรด์ ภายใต้สภาวะแช่เย็น สาหร่ายทะเลขนนกก่อนดองทำการศึกษาพบว่ามีโปรตีน เถ้า ความชื้น และไขมัน ปริมาณร้อยละ 1.44 3.45 58.41 และ 0.10 ตามลำดับ โดยทำการล้างน้ำที่ผ่านการให้โอโซนที่ระดับ 0.05 พีพีเอ็ม สามารถยับยั้งจุลินทรีย์ได้ หลังจากนั้นนำสาหร่ายขนนกทิ้งให้สะเด็ดน้ำ ก่อนทำการทดลองต่อไป ผลการทดลองพบว่า กรรมวิธีการดองสาหร่ายที่ได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัส คือ นำสาหร่ายขนนก ล้างด้วยน้ำทะเลที่ผ่านการกรอง นำไปลวกกับน้ำทะเลที่ฆ่าเชื้อแล้วเติมน้ำส้มสายชู 3 มล ต่อน้ำ 1 ลิตร โดยใช้เวลา 3 นาที สูตรน้ำดองที่เหมาะสม สำหรับการดองสาหร่าย 500 กรัม ประกอบด้วย น้ำทะเลกรอง 95 % เสริมเกลือเม็ดไอโอดีน 3 % และและแคลเซียมคลอไรด์ 2 % โดยน้ำหนัก บรรจุในขวดแก้ว ขนาด 18x 28 ซม. บ่มไว้ในตู้เย็น (4 องศาเซลเซียส) นานประมาณ 2 เดือน จะมีความสดและสีเขียวเข้ม มีค่าความเป็นกรดด่าง 5.21-6.50 และความเค็ม 4.21-6.50 มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) มีผลทำให้สามารถยืดอายุสาหร่ายขนนกได้ดีกว่าทุกสูตรที่ใช้ในการทดลองจึงนำมาประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์กือโป๊ะปลา โดยการนำสาหร่ายขนนก มาอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการบดให้ละเอียดและนำมาเป็นส่วนผสมในการทำกือโป๊ะปลาประมาณร้อยละ15 โดยการนำมาทดสอบประสาทสัมผัส พบว่าสูตรที่มีการเติมสาหร่ายขนนก มีความชอบรวมสูงสุด หลังจากนั้นก็นำมาศึกษาองค์ประกอบทางเคมี พบว่ามีโปรตีน เถ้า ความชื้น และไขมัน ปริมาณร้อยละ 11.84 2.02 46.94 และ 1.17 ส่วนคุณภาพทางด้านจุลชีววิทยาไม่พบจุลินทรีย์ทั้งหมด การทดสอบคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสพบว่าผู้ทดสอบให้การยอมรับ

คำสำคัญ : การดอง เกลือ แคลเซียมคลอไรด์ และ สาหร่ายทะเลขนนก

Abstract

The study aimed to examine the preservation of marine algae plume by adding sodium chloride and calcium chloride under refrigerated. The result revealed that fresh algae plume contained 1.44% protein, 3.45% ash, 58.41% moisture, and 0.1% fat. The results showed that the processing method which obtained sensory acceptance was the treatment where the raw materials were cleaned and scrubbed in the filtered and water through ozone quenchless 0.05 for inhibit microorganism before draining and further fermenting process, after scald with sanitized sea water addition vinegar 3 ml. for 3 min. It was found that the formulation of seasoning solution for marine algae 500 g was that:- filtered sea water 90 %, sodium chloride (with iodine supplement) 3 % and calcium carbonate 2 % by weight. Packed in glass bottles size 18x 28 cm incubated in the refrigerator (4 ° C) for about two months. It was found that pH between 5.21 to 6.50 and salinities of 4.21 to 6.50 with no statistically significant difference ($p \leq 0.05$). As a result of algae plume was used to make fish cracker. It was dried in the sun and grinded thoroughly. After that, 15% algae plume was added to fish cracker. The tactile feedback revealed that the satisfaction towards fish cracker adding algae plume was high. The chemical composition consisted of 11.84% protein, 2.02% ash, 46.94% moisture and 1.17% fat. No microbe was found from the microbiological quality test. Fish cracker adding algae plume was then accepted by the examiner.

Keywords : Pickled Salt calcium chloride and marine algae *(Caulerpa racemosa)*

บทนำ

ความสำคัญและที่มา

ในประเทศไทยจะพบสาหร่ายสกุล *Caulerpa sp.* ขึ้นบนก้อนหินและซากปะการังในเขตน้ำขึ้นน้ำลง หรือในคลองสาขาตามป่าชายเลนตามพื้นโคลนหรือโคลนปนทราย และอาจพบขึ้นตามรากแสมโกงกาง พบได้ในบริเวณน้ำทะเลค่อนข้างใส ท้องน้ำที่มีทราย น้ำสะอาดและคลื่นลมไม่รุนแรงนัก มักพบที่ความลึกประมาณ 2-5 เมตร สาหร่ายชนิดนี้มีการเจริญเติบโตหนาแน่นในบริเวณที่มีปริมาณสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน (แอมโมเนีย ไนไตรท ไนเตรท) และธาตุอาหารอนินทรีย์อื่นๆ สูงและขึ้นอยู่ได้ในช่วงความเค็มค่อนข้างแคบ โดยสามารถเจริญเติบโตได้ในช่วงความเค็ม 30-40 ppt (ค่าความเค็มของน้ำ วัดเป็นหน่วย ppt (Part per thousand หมายถึง หนึ่งส่วนในพันส่วน)โดยทั่วไปแหล่งน้ำจืดจะมีปริมาณ เกลือน้อยกว่าร้อยละ 0.1 หรือน้อยกว่า 1 ส่วนในพันส่วน ส่วนแหล่งน้ำเค็มจะมีเกลือโดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 3.5 หรือ 35 ส่วนในพันส่วน คุณค่าทางอาหารสูงของสาหร่ายขนนก มีไขมันต่ำร้อยละ 0.08 ไม่มีคอเลสเตอรอล มีโปรตีนร้อยละ 1.42 เกลือร้อยละ 2.60 กากใยร้อยละ 0.30 และฟอสฟอรัส 39.61 มิลลิกรัม และประโยชน์ทางยาอีกมากมาย สรรพคุณที่โดดเด่น คือ มีสารต้านอนุมูลอิสระป้องกันมะเร็ง มีวิตามินที่ร่างกายต้องการ เอ บี ซี ดี อี และ เค ไอโอดีน แมกนีเซียมช่วยให้ระบบประสาท และกล้ามเนื้อทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ แคลเซียมบำรุงกระดูก โพแทสเซียมควบคุมการทำงานของเซลล์ และสมดุลน้ำในร่างกาย แร่เหล็ก และทองแดงช่วยในการสร้างเม็ดเลือด สังกะสีช่วยเสริมภูมิคุ้มกัน อีกทั้งมีกรดอะมิโนหลายชนิดที่ไม่พบในพืชโดยทั่วไป มีฤทธิ์ในการรักษาโรคลำไส้อักเสบ รักษาโรคตับอักเสบเพราะช่วยในการสมานแผล เป็นอาหารที่เหมาะกับผู้ป่วยความดันโลหิตสูง เบาหวานและหัวใจ (อำไพ, 2548)

ปัญหาของการบริโภคสาหร่ายขนนกมีความจำกัดสามารถบริโภคได้ เป็นช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายน ด้วยเหตุจึงได้มีแนวคิดในการเก็บรักษาสาหร่ายขนนก ให้สามารถบริโภคได้ตลอดทั้งปี จึงได้มีแนวคิดนำมาเก็บรักษาโดยใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์และแคลเซียมคลอไรด์เพื่อเสมือนหนึ่งได้รับประทานสาหร่ายสดตลอดปี

ตรวจเอกสาร

1. สาหร่ายขนนก

สาหร่ายมีชื่อวิทยาศาสตร์ (*Caulerpa* paracemosa) ลักษณะทั่วไป ทัลลัสมีส่วนที่ตั้งตรงจากพื้น ลักษณะคลายขนนก สูง 10-15 เซนติเมตร โดยมีแกนตั้งตรง และรามูลัสเกิด 2 ข้าง รามูลัสเป็นแท่งกลมยาวประมาณ 1 เซนติเมตร ตรงปลายพองออกเป็นกระเปาะ สีเขียวสด ขึ้นบนพื้นกรวดปนทรายและโคลนในคลองบริเวณป่าชายเลนสาหร่ายเป็นแหล่งอุดมโปรตีนคล้ายเนื้อสัตว์มีอยู่ทั้งในน้ำจืด น้ำกร่อย น้ำเค็ม น้ำพุร้อน หรือที่ขึ้นตามต้นไม้ แต่สาหร่ายที่นำมาเป็นอาหาร ได้แก่ สาหร่ายทะเล และสาหร่ายน้ำจืด และมีสาหร่ายชนิดหนึ่งที่อุดมไปด้วยคุณค่า อาหารและสรรพคุณทางยา “สาหร่ายขนนก”

1.1 แหล่งที่อยู่

ในประเทศไทยจะพบสาหร่ายสกุล *Caulerpa sp.* ขึ้นบนก้อนหินและซากปะการังในเขตน้ำขึ้นน้ำลง หรือในคลองตามป่าชายเลนตามพื้นโคลนหรือโคลนปนทรายและอาจพบขึ้นตามรากแสม โกงกาง พบได้ในบริเวณน้ำทะเลค่อนข้างใส ท้องน้ำที่มีทราย น้ำสะอาดและคลื่นลมไม่รุนแรงนัก มักพบที่ความลึกประมาณ 2-5 เมตร สาหร่ายชนิดนี้มีการเจริญเติบโตหนาแน่นในบริเวณที่มีปริมาณ สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน (แอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท) และธาตุ อาหารอนินทรีย์อื่นๆ สูง และขึ้นอยู่ได้ในช่วงความเค็มค่อนข้างแคบ โดยสามารถเจริญเติบโตได้ในช่วงความเค็ม 30-40 ppt (ค่าความเค็มของน้ำวัดเป็นหน่วย ppt (Part per thousand หมายถึง หนึ่งส่วนในพันส่วน)โดยทั่วไปแหล่งน้ำจืดจะมีปริมาณ เกลือน้อยกว่าร้อยละ 0.1 หรือน้อยกว่า 1 ส่วนในพันส่วน ส่วนแหล่งน้ำเค็มจะมีเกลือ โดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 3.5 หรือ 35 ส่วนในพันส่วน) เพราะสาหร่ายชนิดนี้จะขึ้นในน้ำที่สะอาดเท่านั้น คุณค่าทางอาหารสูงของสาหร่ายขนนก มีไขมันต่ำร้อยละ 0.08 ไม่มีคอเรสเตอรอล มีโปรตีนร้อยละ 1.42 เกลือร้อยละ 2.60 กากใยร้อยละ 0.30 และ ฟอสฟอรัส 39.61 มิลลิกรัม และประโยชน์ทางยาอีกมากมาย (อำไพ, 2548)

การใช้ประโยชน์จากสาหร่ายทะเลในอุตสาหกรรม ในปัจจุบันยังมีน้อยเท่าที่เป็นอยู่เป็นการเก็บรักษาที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติมาใช้ตากแห้งเพื่อนำไปบริโภค และใช้ในการสกัดวุ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งเมื่อเทียบกับการนำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากสาหร่ายทะเลตามรายงานประจำปีของกรมศุลกากรแล้ว พบว่ามีการนำเข้าผลิตภัณฑ์ประเภทนี้เพิ่มขึ้นทุกปี ดังนั้นจึงควรให้ความสนใจแก่ทรัพยากรธรรมชาติชนิดนี้เพิ่มมากขึ้นเพื่อพัฒนาให้พืชเศรษฐกิจในอนาคต (ธนรรชน, 2537)

1.2 การเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนนก

สาหร่ายขนนกจะขึ้นตามธรรมชาติในท้องน้ำที่มีทราย น้ำไม่ลึก เช่น บริเวณริมคลองออกทะเล ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเมษายน ช่วงต้นหน้าฝน ตั้งแต่พฤษภาคม ถึงต้นหน้าหนาวจะไม่ค่อยมี เพราะน้ำจืดจะไหลลงละลายกับน้ำทะเลทำให้สาหร่ายขนนกเกิดไม่ได้ มีลักษณะทัลลัสเป็นท่อติดต่อกันตลอด ประกอบด้วยไรซอยด์ (Rhizoid) ทำหน้าที่ยึดเกาะคล้ายรากส่วนที่ทอดแขนงซึ่งมีลักษณะคล้ายไหเรียกว่า สโตลอน (Stolon) ส่วนที่ทำหน้าที่สังเคราะห์แสงมีลักษณะคล้ายใบเรียกว่า

รามูลัส (Ramulus) เป็นแท่งกลมยาวประมาณ 1 เซนติเมตร ตรงปลายพองออกเป็นกระเปาะสีเขียวสด ซึ่งมีรูปร่างเป็นเส้นเหมือนขนนกขึ้นบนพื้นกรวดปนทรายและโคลนในคลองบริเวณป่าชายเลน

1.3 คุณค่าทางอาหารสูงของสาหร่ายขนนก

มีไขมันต่ำร้อยละ 0.08 ไม่มีคอเรสเตอรอล มีโปรตีนร้อยละ 1.42 เกลือร้อยละ 2.60 กากใยร้อยละ 0.30 และ ฟอสฟอรัส 39.61 มิลลิกรัม และประโยชน์ทางยาอีกมากมายสรรพคุณที่โดดเด่น คือ มีสารต้านอนุมูลอิสระป้องกันมะเร็ง มีวิตามินที่ร่างกายต้องการ เอ บี ซี ดี อี และ เค ไอโอดีน แมกนีเซียมช่วยให้ระบบประสาทและกล้ามเนื้อทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ แคลเซียมบำรุงกระดูก โพแทสเซียมควบคุมการทำงานของเซลล์ และสมดุลน้ำในร่างกาย แร่เหล็ก และทองแดงช่วยในการสร้างเม็ดเลือด สังกะสีช่วยเสริมภูมิคุ้มกัน อีกทั้งมีกรดอะมิโนหลายชนิดที่พืชบกไม่มีฤทธิ์ในการรักษาโรคลำไส้อักเสบ รักษาโรคตับอักเสบเพราะช่วยในการสมานแผล เป็นอาหารที่เหมาะกับผู้ป่วยความดันโลหิตสูง เบาหวานและหัวใจสาหร่ายขนนกสามารถนำมาทำเวชสำอาง เพราะมีสารต้านอนุมูลอิสระและวิตามินอี และดี ที่ส่งผลทำให้ผิวพรรณเต่งตึง ชุ่มชื้น ซึ่งขณะนี้อยู่ในขั้นตอนการทดลองทำผลิตภัณฑ์เตรียมออกสู่ตลาด เช่น สบู่ ครีมบำรุงผิว เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีขนมคุกกี้สาหร่าย น้ำสาหร่ายและไอศกรีมสาหร่ายด้วย อย่างไรก็ตาม เมื่อความต้องการของตลาดมีมากขึ้น แต่สาหร่ายขนนกในธรรมชาติยังมีจำนวนจำกัด (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2553)

1.4 คุณค่าจากสาหร่ายทะเล

สาหร่ายทะเลเป็นอีกหนึ่งทางเลือกเพื่อสุขภาพและยังมีรสชาติอร่อยจึงนิยมใช้เป็นส่วนประกอบที่ช่วยเพิ่มรสชาติให้กับอาหารหลากหลายเมนูใส่แกงจืดหรือผัดผักต่างๆได้ นอกจากนี้สาหร่ายทะเลยังมีแร่ธาตุที่ร่างกายต้องการอยู่ 18 ชนิด อาทิ แคลเซียม เหล็กไอโอดีน แมกนีเซียม และโซเดียม เป็นต้น

1.5 วิธีการเก็บสาหร่าย

ในช่วงน้ำแห้งใช้มือ แล้วค่อย ๆ ช้อนขึ้นมาเพื่อป้องกันไม่ให้สาหร่ายขาดแต่จะต้องติดรากของสาหร่ายมาด้วยเพื่อเป็นการเก็บรักษาสาหร่ายให้อยู่ได้นานที่สุด (ประมาณ 4-5 วัน) ถ้าในช่วงน้ำมากหรือบริเวณที่น้ำลึกใช้วิธีการดำน้ำลงไปความอุดมสมบูรณ์ของป่าชายเลนนั้นให้คุณประโยชน์แก่มนุษย์อย่างอเนกอนันต์ไม่ว่าจะเป็นทางตรงหรือทางอ้อมสรรพชีวิตหลากหลายชนิดก็เข้ามาพึ่งพิงและใช้ประโยชน์จากป่าชายเลนในแง่ของแหล่งอาหารที่อยู่อาศัยแหล่งหลบภัยเช่นเดียวกับ สาหร่ายสาย หรือสาหร่ายขนนก ที่ยึดเอาป่าชายเลนยังคุณประโยชน์ให้แก่ชาวบ้านที่อาศัยอยู่ในบริเวณนั้นได้เก็บหามาบริโภคในครัวเรือนและยังสามารถขายเพื่อเป็นรายได้เจือจุนครอบครัว

1.6 ปัญหาที่เกิดขึ้นในการเก็บรักษา

ปัญหาในการเก็บรักษาของสาหร่ายขนนกพบว่าสาหร่ายมีปัญหาในการปนเปื้อนของแบคทีเรียในสาหร่าย ซึ่งทำให้สาหร่ายมีอายุการเก็บรักษาสั้นและไม่สดจึงไม่สามารถทำการขนย้ายได้ในระยะทางไกล ๆ และต้องรีบทำการแปรรูปเพื่อเพิ่มคุณค่าทางด้านโภชนาการ

2. เกลือ

เกลือเป็นเครื่องปรุงมีรสเค็มรู้จักกันมานาน โดยส่วนใหญ่นิยมใช้เกลือในการปรับปรุงอาหารคาว และอาหารหวาน รวมถึงใช้ในการถนอมอาหารด้วย เกลือที่ใช้ปรับปรุงอาหารมีสูตรทางเคมี คือ โซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride ; NaCl) เกลือที่บริสุทธิ์จะมีลักษณะสีขาวผลึกเป็นแบบ ลูกบาศก์ มีคุณสมบัติในการดูดความชื้น (อบเชย และขนิษฐา, 2551) แหล่งของเกลือที่ใช้บริโภคเกลือที่ใช้บริโภคมาจาก 2 แหล่งด้วยกัน คือ เกลือสมุทรและเกลือสินเธาว์

1. เกลือสมุทร (Solar salt) ได้จากการทำนาเกลือ โดยปล่อยให้น้ำทะเล ซึ่งมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นเกลือไหลเข้ามาในนาแล้วกักขังไว้ ปล่อยให้แสงแดดเป็นตัวการระเหยน้ำออกไปจนความเข้มข้นได้ระดับ เกลือจะตกผลึกลงมา เกลือที่ได้เรียกว่า เกลือสมุทร

2. เกลือสินเธาว์ (Sock salt) เป็นเกลือที่ได้จากน้ำเกลือใต้ดินจากบ่อบาดาล หรือจากเกลือหินซึ่งเป็นเกลือที่อยู่ใต้ดินเกิดเป็นชั้นแทรกอยู่ในหินดินดาน น้ำเกลือที่ได้จากบ่อบาดาลที่สูบขึ้นมาจะถูกนำมาต้มด้วยเชื้อเพลิง หรือตากแดดในรูปของการทำนาเกลือ

ชนิดของ

เกลือบริโภค เกลือที่ใช้บริโภค หมายถึง ผลึกของสารประกอบโซเดียมคลอไรด์ที่สะอาด และไม่มีสิ่งแปลกปลอมที่เป็นอันตรายแก่ผู้บริโภค แบ่งเป็น 3 ชนิด

1) เกลือปรุงอาหาร หมายถึง เกลือบริโภคที่เป็นผลึกละเอียดซึ่งทำให้บริสุทธิ์ขึ้น

2) เกลือโต๊ะ หมายถึง เกลือบริโภคที่เป็นผลึกไม่จับกันเป็นก้อนสามารถทำให้ผลึกแยกจากกันได้ง่าย

3) เกลืออุตสาหกรรมอาหาร หมายถึง เกลือบริโภคที่ใช้ในการประกอบอาหารและอุตสาหกรรมอาหารทั่วไป

2.1 การใช้เกลือในการถนอมอาหาร

มนุษย์รู้จักการใช้เกลือถนอมอาหารและปรุงแต่งรสมาตั้งแต่ก่อนสมัยประวัติศาสตร์ในสมัยโบราณมีการใช้เกลือเป็นตัวถนอมอาหารในการทำปลาเค็มจนเป็นที่แพร่หลายรู้จักกันในชื่อว่า Ukas และยังใช้เกลือเป็นเครื่องปรุงหลักในการประกอบอาหารและใช้การถนอมอาหารหลากหลายชนิด การเก็บรักษาสัตว์น้ำ โดยวิธีใดก็ตามมักมีการเติมเกลือลงไป เพื่อช่วยในการปรุงแต่งรสชาติ และเรียกว่าการทำเค็ม เกลือจะต้องเป็นหลักสำคัญในการป้องกันการเสื่อมเสียคุณภาพ (นงนุช, 2530) นอกจากนี้ยังใช้เกลือในอาหารเนื้อสัตว์ต่างๆ และสามารถลดรสขมได้ มักเติมลงในเบียร์ที่มีแอลกอฮอล์สูง (เสาวภา, 2538)

เกลือเป็นสิ่งสำคัญในการถนอมอาหารโดยเฉพาะอาหารจำพวกของเค็มเกลือมีบทบาทในอุตสาหกรรมอาหารเพราะว่าวิธีการใช้ไม่ยุ่งยาก เกลือที่มีแหล่งผลิตต่างกันก็จะมีสารเจือปน ซึ่งจะมีผลต่อคุณสมบัติต่างๆของอาหารเกลือที่ใช้ในการถนอมอาหารได้จากการระเหยเอาน้ำออกจนแห้งและตกผลึก เกลือมี 2 ชนิด

เกลือที่นำมาบริโภคใช้ในอุตสาหกรรมอาหารนั้นคือ เกลือแกง (Table salt หรือ Cooking salt) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่าโซเดียมคลอไรด์ (Sodium Chloride) มีสูตรโมเลกุล NaCl ประกอบด้วยโซเดียม (Na) ร้อยละ 39.39 และคลอไรด์ (Cl) ร้อยละ 60.61 มีลักษณะเป็นผลึกสีขาวรูปร่างไม่คงที่ส่วนใหญ่จะอยู่ในกลุ่มของผลึกแบบลูกบาศก์ ละลายน้ำได้ประมาณร้อยละ 26.5 โดยน้ำหนักที่อุณหภูมิห้องเมื่อละลายน้ำมีรสขมเล็กน้อย มีปฏิกิริยาเป็นกลาง ค่าความเป็นกรดด่าง 6.7 – 7.3 ความหนาแน่น 1.2 มีจุดหลอมเหลวที่ 108 องศาเซลเซียส นอกจากนี้แล้วสารเจือปนอื่นๆ เช่น แมกนีเซียมคลอไรด์ ($MgCl_2$)

แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) และเกลือซัลเฟตของโซเดียมคลอไรด์ ถ้ามีสารเหล่านี้ในปริมาณสูง จะทำให้การซึมของเกลือเข้าสู้เนื้อปลาช้าลง (นงนุช, 2530) โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าเนื้อปลาหนาอาจจะทำให้เนื้อปลาเสียได้ นอกจากนี้สารเจือปนจำพวกแคลเซียมและแมกนีเซียมและแมกเนียมคลอไรด์ที่มีอยู่ในเกลือ จะทำให้ปริมาณโซเดียมคลอดไรด์ต่ำเมื่อนำไปใช้อุตสาหกรรมปลาหมัก ทำให้ปลาเสียง่ายเพราะความเค็มไม่มากพอที่จะป้องกันการเน่าเสียของปลาได้จึงทำให้เกิดกลิ่นและรสไม่พึ่งประสงค์

คุณสมบัติของเกลือในการถนอมอาหาร

กล้าณรงค์ (2521) ได้อธิบายคุณสมบัติของเกลือในการถนอมอาหาร ดังนี้

1. เกลือเป็นตัวลดปริมาณน้ำ ความชื้นหรือ (a_w) ของอาหารให้ต่ำลงเนื่องจากเมื่อเกลือละลายน้ำเป็นสารละลายโมเลกุลน้ำถูกแรงดึงมาเกาะจับเกลือเกิดเป็นไอออนไฮเดรชันขึ้นมีผลทำให้คุณสมบัติหรือความเป็นอิสระของน้ำเปลี่ยนไป

2. ในสารละลายเกลือมีการสูญเสียน้ำ (Dehydration) ของเซลล์เกิดขึ้นจากแรงดันออสโมติก (Osmotic pressure) และเป็นเหตุทำให้เซลล์ของจุลินทรีย์เกิดการเสียน้ำอย่างแรง (Plasmolysis) และหยุดการเจริญเติบโต

3. น้ำเกลือช่วยลดการแพร่หรือ การแทรกซึมของออกซิเจนดังนั้นออกซิเจนจะซึมลงไปในสารละลายได้น้อยลง จุลินทรีย์ที่มีความต้องการออกซิเจนก็จะเจริญเติบโตยากขึ้นและลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน

4. เกลือมีความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์โดยตรงโดยเฉพาะอนุภาคพวกโซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม มีความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์เมื่อมีปริมาณมากเกินความต้องการ

แบบชนิดของการหมักเกลือ Kramlich และ คณะ (1973) ได้สรุปวิธีการหมักมีด้วยกัน 3 แบบ คือ

1. การหมักแบบแห้ง (dry salt curing) นำอาหารมาผสมกับเกลือ ปริมาณเกลือที่ใช้ขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบ ข้อสำคัญที่ควรคำนึงคือ ความสม่ำเสมอของการกระจายเกลือบนวัตถุดิบ ปกติใช้หมักประมาณ 7-10 วัน วัตถุดิบจะมีการสูญเสีย น้ำหนักมาก การหมักแบบนี้อาจมีการเติมน้ำตาลหรือสารให้ความหวานนอกเหลือจากที่เติมไนเตรท

2. การหมักแบบน้ำเกลือหรือการดองเกลือ (Wet curing or pickling curring) ส่วนผสมของ

การหมัก ซึ่งประกอบด้วย เกลือ น้ำตาล หรือ อาจเติมไนเตรท ส่วนผสมเหล่านี้จะอยู่ในรูปของสารละลาย แล้วจึงนำวัตถุดิบมาแช่ในเกลือ ซึ่งแบ่งออกเป็น

ก. แบบหมักเจือจาง คือ น้ำเกลือที่ใช้หมักวัตถุดิบจากเริ่มต้นจนสิ้นสุดจะเจือจางลงตามระยะเวลาการหมัก

ข. แบบหมักเข้มข้น คือ ความเข้มข้นของน้ำเกลือจะรักษาให้คงที่ตลอดเวลาโดยมีการเติม

น้ำเกลืออยู่เสมอ ระยะเวลาการหมักจะสั้นกว่าการหมักแบบน้ำเกลือนี้จะทำให้การหมักที่สม่ำเสมอ ผลิตภัณฑ์ไม่มีรสเค็มเกินไป และใช้แรงงานน้อยกว่า

3. การหมักแบบฉีดเข้าเส้นเลือด วิธีการนี้จะใช้กับการหมักแฮม โดยการใช้น้ำเกลือฉีดเข้าไป

ตามเส้นเลือดของเนื้อสัตว์ สำหรับน้ำหมักประกอบด้วย เกลือ น้ำตาล ไนเตรท ละลายในน้ำ และโดยปกติจะมีการเติมฟอสเฟตที่มีสภาพเป็นด่างในน้ำเกลือนี้ด้วย เพื่อเป็นการเพิ่มผลผลิต วิธีการนี้เป็นวิธีที่รวดเร็วมาก

3. แคลเซียมคลอไรด์

เกลือแคลเซียมคลอไรด์ในรูปที่ปราศจากน้ำละลายได้ในน้ำประมาณ 59 กรัมต่อน้ำ 100 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ขณะละลายจะคายความร้อนออกมาด้วย ส่วนเกลือแคลเซียมคลอไรด์ที่มีน้ำ 2 โมเลกุล (ไดไฮเดรต) ละลายได้ดีในน้ำประมาณ 97 กรัมต่อน้ำ 100 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส แคลเซียมคลอไรด์ใช้ประโยชน์เป็นสารเติมแต่งอาหารและเป็นสารช่วยให้ผักและผลไม้มีเนื้อสัมผัสแข็ง (Firming agent) นิยมใช้กับผลไม้ก่อนนำไปบรรจุกระป๋อง เช่น ลิ้นจี่ ลำไย แอปเปิล มะเขือเทศ และมันฝรั่ง ที่ความเข้มข้นไม่เกินร้อยละ 1 การใช้ปริมาณแคลเซียมคลอไรด์มากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับปริมาณเพกทินที่มีอยู่ในผักและผลไม้ชนิดนั้นนอกจากนี้ยังใช้เติมลงในน้ำนมระหว่างการผลิตเป็นน้ำนมระเหยน้ำที่ความเข้มข้นไม่เกินร้อยละ 0.1 เพื่อปรับภาวะสมดุลของเกลือ จะช่วยป้องกันไม่ให้น้ำนมตกตะกอนระหว่างการทำให้ปราศจากจุลินทรีย์

แคลเซียมคลอไรด์ ใช้สำหรับอาหารนิยมเติมลงในน้ำลวกหรือน้ำเช่ เพราะจะช่วยเพิ่มความคงตัวให้แก่ ลักษณะเนื้อสัมผัส ผลิตภัณฑ์จะมีเนื้อแน่นขึ้น (น้ำ 1 ลิตร ใช้แคลเซียมคลอไรด์ 5 กรัม แช่น 15-20 นาที) (นิตยสารเกษตรศาสตร์, 2546)

4. การดอง

การดองใช้กับอาหารทุกชนิด ทำได้โดยการใช้สารปรุงแต่งเพื่อเป็นตัวช่วยให้เกิดรสตามต้องการและเป็นตัวรักษาอาหาร เช่น การดองด้วยเกลือ น้ำส้มสายชู การดองหวาน หรือบางครั้งการดองด้วยเกลืออาจทำให้เกิดผลเป็นการดองเปรี้ยวได้ เพราะปริมาณของเกลือที่ใช้มีอัตราส่วนเหมาะสมที่จะเกิดการหมัก กรดเปรี้ยวในอาหารหรือกรดแลคติกทำให้อาหารมีรสเปรี้ยว และช่วยรักษาอาหารไม่ให้เน่าเปื่อยการถนอมอาหารโดยการหมักดองเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นเนื่องจากจุลินทรีย์ย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตหรือสารอื่น ภายใต้สภาวะที่มีหรือไม่มีอากาศ ซึ่งจะแตกต่างจากการถนอมอาหารอื่นที่มีวัตถุประสงค์ในการทำลายจุลินทรีย์ และเอนไซม์ธรรมชาติในอาหาร การหมักดองจะทำให้ค่าความเป็นกรดด่าง ของอาหารลดต่ำลง ซึ่งจะเป็นการป้องกันไม่ให้เชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคเจริญได้ (อารีและทศภฤศ, 2552)

การดอง (picking) หมายถึง การถนอมอาหารด้วยการแช่อาหารนั้นในน้ำเกลือ และอาจจะมีน้ำส้มเล็กน้อย อาจเติมเครื่องเทศและน้ำตาล เพื่อหยุดการทำปฏิกิริยาของเอนไซม์และน้ำในอาหารจนจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ ส่วนใหญ่การดองมักใช้กับผักและผลไม้ มากกว่าในสัตว์น้ำ สารช่วยในการดองเพื่อให้ผักกรอบ รสชาติดี เช่นใช้สารส้มคนกับน้ำเกลือแช่ผัก ส่วนการดองผลไม้นิยมแช่น้ำปูนก่อนดอง เพื่อจะช่วยให้ผักและผลไม้อร่อยขึ้น เช่น แตงกวาดอง มะม่วงดอง ขิงดอง และหน่อไม้ดอง เป็นต้น

4.1 คุณสมบัติของเกลือในการถนอมอาหาร

กล้าณรงค์ (2521) ได้อธิบายคุณสมบัติของเกลือในการถนอมอาหาร ดังนี้

1) **เกลือเป็นตัวลดปริมาณน้ำ** ความชื้นหรือ a_w ของอาหารให้ต่ำลง เนื่องจากเมื่อเกลือละลายน้ำ เกลือเป็นสารละลายขึ้นมาโมเลกุลน้ำถูกแรงดึงมาเกาะจับเกลือเกิดเป็นไอออนไฮเดรชันขึ้นมีผลทำให้คุณสมบัติหรือความเป็นอิสระของน้ำเปลี่ยนไป

2) ในสารละลายเกลือมีการสูญเสียน้ำ (Dehydration) ของเซลล์เกิดขึ้นจากแรงดันออสโมติก (Osmotic pressure) และเป็นเหตุทำให้เซลล์ของจุลินทรีย์เกิดการสูญเสียน้ำอย่างแรง (Plasmoly) และหยุดการเจริญเติบโต

3) น้ำเกลือช่วยลดการแพร่ หรือ การแทรกซึมของออกซิเจนดังนั้นออกซิเจนจะซึมลงไปในสารละลายได้น้อยลง จุลินทรีย์ที่มีความต้องการออกซิเจนก็จะเจริญเติบโตยากขึ้นและลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน

4) เกลือมีความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์โดยตรงโดยเฉพาะอนุภาคพวกโซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม มีความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ เมื่อมีปริมาณมากเกิดความต้องการ

5) **เกลือเป็นตัวทำลายเอนไซม์บางชนิดของจุลินทรีย์** เนื่องจากเมื่อละลายเกลือมีความเข้มได้ระดับหนึ่งก็สามารถทำให้โปรตีนบางตัวเกิดการเสื่อมสภาพและเสียคุณสมบัติเนื่องจากกระบวนการ salting-out จึงมีผลทำให้จุลินทรีย์หยุดการเจริญเติบโต

4.2 การแทรกซึมของสารละลายเกลือ

กระบวนการของสารละลายเกลือเข้าไปในอาหารนั้น มีอยู่ 3 ขั้นตอน คือ

1) **การเกิดแรงออสโมติก (Osmotic stage)** เมื่ออาหารถูกนำไปแช่ในสารละ

ลายเกลือ ซึ่งโดยปกติแล้วสารละลายจะมีความเข้มข้นของเกลือมากกว่าอาหาร ดังนั้น จึงมีแรงดันออสโมติก (Osmotic pressure) ดึงเอาน้ำออกมาจากอาหารตามหลักของออสโมซีส โดยผ่านเยื่อ permeable ของเซลล์ออกมาฉะนั้นในระยะแรกนี้จะทำให้อาหารมีน้ำหนักลดลงความเร็วของการเปลี่ยนแปลงน้ำขึ้นอยู่กับลักษณะของเซลล์และเนื้อสัมผัสของเซลล์ในชั้นนั้นอาหารที่มีโปรตีนอยู่สูงนั้นโปรตีนจะละลายได้ดีขึ้น (ในขณะที่เกลือยังแทรกซึมเข้ามาน้อย ๆ ในเซลล์) และละลายปนกับน้ำออกนอกเซลล์ อากาศที่อยู่ในช่องร่างกายในเซลล์จะเริ่มแทรกซึมออกมานอกเซลล์

2) การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของโปรตีน (Protein Denatured) ในขั้นนี้ยังมีแรงดันออสโมติก (Osmotic pressure) อยู่ในเกลือจะซึมเข้าไปแทนที่ จนกระทั่งความเข้มข้นของเกลือภายในอาหารสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงจุดหนึ่งโปรตีนในอาหารจะหยุดละลายและเสียรูปไปอากาศที่อยู่ในช่องว่างภายในเซลล์จะถูกแทนที่โดยเกลือหมด ในขั้นนี้อาหารจะมีสีทึบขึ้นอย่างชัดเจน

3) ขั้นสมดุล (Equilibrium stage) เกลือซึมเข้าไปในอาหารจนถึงจุดสมดุล คือ ความเข้มข้นของเกลือในอาหารจะเท่ากับความเข้มข้นของเกลือในสารละลายเกลือ น้ำหนักของอาหารจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากน้ำหนักของเกลือที่เข้าไปแทนอยู่ในอาหาร

4.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการแทรกซึมของเกลือในอาหาร

รายงานว่าปริมาณของเกลือที่แทรกซึมเข้าสู่อาหารได้เร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญต่าง ๆ ที่เป็นองค์ประกอบดังนี้ (นงนุช, 2530; เสาวภา, 2538)

1) **ชนิดของอาหาร** อาหารแต่ละชนิดจะมีปริมาณความชื้นที่แตกต่างกัน ซึ่งความชื้นของอาหารจะมีผลต่อการเกิดกระบวนการออสโมซีส ส่วนอาหารที่มีเปลือกหนาหรือที่มีสารเคลือบผิวที่ทำให้การแทรกซึมของเกลือเข้าได้ยาก (เสาวภา, 2538)

2) อุณหภูมิ เป็นตัวกำหนดอัตราการแทรกซึมของเกลือเข้าไปในอาหาร เมื่ออุณหภูมิจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้อากาศที่มีอยู่สูงขึ้น การแทรกซึมของเกลือ จะเข้าไปในกล้ามเนื้อได้เร็วยิ่งขึ้นทั้งนี้เพราะอุณหภูมิจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้อากาศที่มีอยู่ภายในช่องว่างของเซลล์แพร่ออกมานอกเซลล์ได้เร็วขึ้นทำให้เกลือซึมเข้าแทนที่ได้เร็ว (กล้าณรงค์, 2521)

3) ความเข้มข้นของสารละลายเกลือ ถ้าใช้สารละลายเกลือที่มีความเข้มข้นสูง การแทรกซึมของเกลือเข้าไปในอาหารจะมากขึ้น เนื่องจากเกลือที่มีความเข้มข้นสูงจะทำให้เกิดกระบวนการออสโมซิสและกำจัดน้ำออกจากเซลล์เนื้อสัตว์ได้เร็วขึ้น (เสาวภา, 2538)

4) ความบริสุทธิ์ของเกลือ อัตราการแทรกซึมของเกลือเข้าสู่เนื้อเยื่อในชิ้นเนื้อปูนั้นขึ้นอยู่กับความบริสุทธิ์ของเกลือที่ใช้ ถ้าหากเกลือที่ใช้มีแคลเซียม (Ca) และแมกนีเซียม (Mg) เจือปนอยู่ด้วยนั้น จะทำให้อัตราการดูดซึมของเกลือเข้าสู่เนื้อปูลดลง เช่น ปริมาณของแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.40 ที่อยู่เกลือจะไปขัดขวางการซึมของเกลือที่เข้าไปเนื้อปูแต่ถ้าใช้เกลือที่มีความบริสุทธิ์มากจะช่วยให้เกลือเข้าสู่เนื้อปูได้เร็วยิ่งขึ้น

5) ระยะเวลา ยิ่งใช้เวลาในการหมักอาหารด้วยเกลือที่นานขึ้น ก็จะทำให้ปริมาณของเกลือแทรกซึมเข้าในชิ้นอาหารได้นานมากขึ้น (กล้าณรงค์, 2521)

4.4 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับขบวนการหมัก

1. การกำจัดอากาศเพื่อให้เกิดสภาวะไร้อากาศ การหมักของกะหล่ำปลีเกิดจากแบคทีเรียซึ่งต้องการสภาวะไร้อากาศ ถ้าผักสัมผัสกับอากาศ จะทำให้พวกยีสต์และราเจริญได้ที่ผิวหน้า ทำให้มีการใช้กรดแลกติกที่ผลิตขึ้นมา เนื้อเยื่อเกิดการอ่อนตัวและเกิดกลิ่นรสที่ไม่มีขึ้นได้ ออกซิเจนให้อากาศยังทำให้เกิดการออกซิเดชั่นขึ้นทำให้ผักมีสีคล่ำด้วย หลังการหมักเสร็จสิ้นลงจึงต้องมีการปิดภาชนะให้สนิท

2. ปริมาณเกลือที่เหมาะสม เกลือทำหน้าที่ดูดน้ำ และสารอาหารออกจากผัก สำหรับจุลินทรีย์นำไปใช้การเจริญ การใช้ปริมาณเกลือที่เหมาะสม และจะต้องทำการกระจายเกลือจะยับยังการเจริยของจุลินทรีย์ พวกที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียและส่งเสริมให้พวกแบคทีเรียแลคติกเจริญได้ดี ทำให้ผลิตภัณฑ์มีรสชาติดี เกลือในปริมาณที่เหมาะสมร้อยละ 2.25 และจะต้องทำการกระจายเกลือ ให้เกิดความสม่ำเสมอด้วยเกลือในปริมาณที่น้อยเกินไป

3. อุณหภูมิในการหมัก อุณหภูมิมีผลต่ออัตราเร็วในการหมักและปริมาณกรดที่
ได้ การใช้อุณหภูมิต่ำ การหมักจนได้ผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปจะเกิดขึ้นช้า แต่ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีกลิ่นรสดี เช่น ถ้าใช้อุณหภูมิสูงกว่า 21 องศาเซลเซียส เชื้อ Leuconostoc ซึ่งเจริญได้ดีที่อุณหภูมิต่ำจะเจริญได้ช้ากว่าพวกไฮโมเฟอร์เมนเตตีป (Homofermentative) อัตราการหมักจะเกิดเร็วมากและมีการสร้างกรดขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้ยับยั้งการเจริญของ Leuconostoc ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีกลิ่นและรสชาติไม่มี เกิดสีคล้ำได้ง่ายและมีอายุการเก็บสั้น ปกติแล้วไม่ควรใช้อุณหภูมิในการหมักสูงกว่า 21 องศาเซลเซียส หรือ ต่ำกว่า 7 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดควรเป็น 13-18 องศาเซลเซียส (ประสิทธิ์ , 2527)

4.5 ชนิดของการดองแบบต่าง ๆ

4.5.1 การดองเปรี้ยว โดยการแช่อาหารในสารละลายที่เป็นกรดทำได้ 2 วิธีคือ

1) การใช้น้ำเกลือโดยมีน้ำเกลือมีความเข้มข้นร้อยละ 5-8 (เกลือ 5 กรัม น้ำ 95 กรัม) หมักอาหาร ไว้ประมาณ 3-5 วัน จะเกิดกรดแลคติกซึ่งมีรสเปรี้ยวและป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นอันตรายได้

2) การใช้น้ำส้มสายชู โดยการแช่อาหารในน้ำส้มสายชู หรือปรุงรสน้ำส้มสายชูด้วยน้ำตาล เกลือและเครื่องเทศเพื่อให้รสชาติกลมกล่อมมีรสเปรี้ยว เค็ม หวาน และมีกลิ่นหอมน่ารับประทานยิ่งขึ้น

3) การดองเค็มโดยแช่ชิ้นอาหารในน้ำเกลือที่มีความเข้มข้นร้อยละ 20-25 (เกลือ 20 กรัม น้ำ 80 กรัม) หรือการหมักอาหารกับเกลือ เช่น การทำน้ำปลา เป็นต้น ซึ่งวิธีการดองเค็มจะเก็บรักษาอาหารได้นานกว่าการดองเปรี้ยว

4.6 การเก็บรักษา

อาหารดอง ควรเก็บรักษาในที่สะอาด แห้ง และเย็น อากาศถ่ายเทสะดวกไม่ควรวางในที่ร้อน ชื้น และแสงแดดส่องถึง

4.7 ประโยชน์ของการดอง

1) ทำให้เกิดความปลอดภัยจากโรคอาหารเป็นพิษ เช่น อาหารหมักดองที่มี pH ต่ำกว่า 4.5 แบคทีเรียมีอันตรายชนิดหนึ่ง คือ *Clostridium botulinum* ไม่สามารถเจริญสร้างสารพิษได้ อาหารหมักดองจึงมีความปลอดภัย

2) ทำให้เกิดพลังงานความร้อนและก๊าซบางชนิดที่อาจนำไปใช้ในการหุงต้มได้

เช่น การหมักมูลสัตว์

3) การหมักดองนำมาใช้ผลิตอาหารและสารปฏิชีวนะได้ ดังนี้

- การหมักวิตามิน เช่น วิตามินบี 2 และ บี 12

-การผลิตกรดอะมิโนบางชนิด เช่น ไลซีน ซึ่งเป็นกรดอะมิโนที่สำคัญมากและจำเป็นต่อร่างกาย

-การผลิตเอนไซม์ เช่น อะไมเลสซึ่งใช้ในการย่อยธัญพืชในกระบวนการทำเบียร์และยังใช้ในการวิเคราะห์อาหารได้อีก

-การผลิตสารปฏิชีวนะ เช่น เพนิซิลลิน

4) การหมักดองทำให้อาหารที่มีคุณค่าถูกนำไปใช้ได้สะดวก เช่น การสกัดคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนจากเมล็ดธัญพืช ในส่วนเอนโดสเปิร์มสามารถทำได้ง่ายขึ้นโดยการหมัก กับเชื้อราบางชนิดที่มีสมบัติทำละลายสารเซลลูโลสที่ล้อมรอบเอนโดสเปิร์ม และการหมักที่เกี่ยวข้องกับการย่อยหญ้าในกระเพาะวัว เป็นต้น

5) ทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารมีรสชาติและกลิ่นรสเปลี่ยนไปในทางที่ดี เช่น ความหวานลดลง ความเปรี้ยวเพิ่มขึ้น และกลิ่นรสดีขึ้น (พรพล, 2545)

5. น้ำทะเล

น้ำทะเล คือ น้ำเค็มในทะเลและมหาสมุทร ซึ่งปกคลุมพื้นผิวของโลกอยู่ถึงสามในสี่ส่วน ในบรรดาแหล่งน้ำธรรมชาติทั้งปวง น้ำทะเลมีอยู่เป็นปริมาณมากที่สุด น้ำทะเลมีรสเค็ม เพราะมีเกลือและแร่ธาตุหลายชนิดละลายปนอยู่ เกลือที่มีมากที่สุดคือ เกลือแกง หรือโซเดียมคลอไรด์ ซึ่งมีรสเค็ม การทำนาเกลือใช้วิธีสูบน้ำทะเลเข้ามาขังไว้ในนา แล้วใช้ความร้อนจากดวงอาทิตย์เผาน้ำให้ระเหยแห้ง

ไปจนหมด ในที่สุดก็จะได้เกลือน้ำทะเลมีสีฟ้า (สีฟ้าทะเล) เหมือนกับสีท้องฟ้า ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากการกระจายแสงของโมเลกุลของน้ำทะเล น้ำทะเลเป็นของเหลวที่ได้จากทะเลหรือมหาสมุทร โดยทั่วไปมหาสมุทรทั่วโลกมีความเค็ม (Salinity) ประมาณร้อยละ 3.5 หรือ 35 ส่วนต่อพันส่วน นั่นหมายความว่าในน้ำทะเลทุกๆ 1 กิโลกรัม จะพบเกลืออยู่ 35 กรัม (ส่วนมากจะพบในรูปของไอออนโซเดียมคลอไรด์ (Na^+, Cl^-) ความหนาแน่นเฉลี่ยที่ผิวน้ำของมหาสมุทรอยู่ที่ 1.025 กรัมต่อมิลลิลิตร น้ำทะเลมีความหนาแน่นมากกว่าน้ำจืด (น้ำจืดมีความหนาแน่นสูงสุดที่ 1.000 กรัมต่อมิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส) เพราะน้ำทะเลมีความหนักของเกลือและ Electrostriction (ไฟฟ้าที่ไม่นำกระแส แต่อยู่ในเรื่องของสนามไฟฟ้า) จุดเยือกแข็งของน้ำทะเลอยู่ที่อุณหภูมิ -2 องศาเซลเซียสหรือ 28.4 องศาฟาเรนไฮต์ ในน้ำทะเลที่มีความเข้มข้น 35 ส่วนต่อพันส่วน

5.1 ความเค็ม

ถึงแม้ว่าน้ำทะเลส่วนใหญ่จะมีปริมาณเกลืออยู่ที่ระหว่างร้อยละ 3.1–3.8 แต่น้ำทะเลทั่วโลกก็ไม่ได้เหมือนกัน อาจมีการผสมกับน้ำจืดจากการไหลของแม่น้ำหรือแหล่งน้ำออกสู่ทะเล หรือจากการละลายของธารน้ำแข็ง จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้ความเค็มของน้ำทะเลในแต่ละพื้นที่แตกต่างกัน ทะเลเปิดที่มีความเค็มมากที่สุดคือ ทะเลแดง

5.2 องค์ประกอบของน้ำทะเล

ประมาณร้อยละ 97.2 ของน้ำบนผิวโลกทั้งหมดซึ่งมีอยู่ประมาณ 1,370 ล้านลูกบาศก์กิโลเมตรเป็นน้ำทะเล และในน้ำทะเลโดยน้ำหนักร้อยละ 96.5 ประกอบด้วยน้ำและประมาณร้อยละ 3.5จะเป็นสารต่างๆที่ละลายในน้ำทะเล น้ำทะเลมีคุณสมบัติเป็นสารละลายอีเลคโตรไลท์(Electrolytic solution) ซึ่งเป็นผลมาจากการละลายของเกลือแร่ต่าง ๆ สามารถจำแนกองค์ประกอบของธาตุที่มีอยู่ในน้ำทะเลออกได้เป็น 2 กลุ่มคือ

1. กลุ่มที่มีปริมาณมาก (Major constituents) มีอยู่ 14 ชนิด เกลือของธาตุเหล่านี้เมื่อนำมารวมกันจะคิดเป็นร้อยละ 99.9 ของเกลือที่ละลายในทะเลทั้งหมด

2. กลุ่มที่มีปริมาณน้อย (Minor constituents) ได้แก่ธาตุที่มีความเข้มข้นน้อยกว่า 1 ppm โดยน้ำหนัก แม้ว่าธาตุในกลุ่มนี้จะมีปริมาณน้อยในธรรมชาติจนไม่มีผลต่อการกำหนดคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำทะเล แต่ก็จัดว่ามีความสำคัญในขบวนการเกี่ยวกับอินทรีย์ และชีวเคมี

เกลือในมหาสมุทรมีกำเนิดมาจากแร่ธาตุบนพื้นโลก น้ำเป็นตัวทำละลายที่ดี น้ำฝนละลายแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศทำให้มีฤทธิ์เป็นกรดอ่อนๆ น้ำที่อยู่บนพื้นโลกละลายแร่ธาตุในหินและดิน ไหลรวมกันเป็นแม่น้ำลำธารไปสะสมกันในมหาสมุทร สารละลายเกลือเป็นประจุของแร่ธาตุที่สำคัญ ได้แก่ ประจุโซเดียม (Na^+) และประจุคลอไรด์ (Cl^-) เมื่อน้ำระเหยออกไปประจุเหล่านี้รวมตัวกันเป็นสารประกอบได้แก่ เกลือแกง (NaCl) และเกลืออื่นๆ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ประจุเกลือในน้ำทะเล

ประจุเกลือในน้ำทะเล	ปริมาณ (ร้อยละ)
คลอไรด์ (Cl^-)	54.3
โซเดียม (Na^+)	30.2
ซัลเฟต (SO_4^{++})	7.6
แมกนีเซียม (Mg^{++})	3.7
แคลเซียม (Ca^{++})	1.2
โปแตสเซียม (K^+)	1.1
ประจุอื่นๆ	1.9

ที่มา : นิรนาม , (2544)

6. โอโซน

โอโซน (Ozone) คืออะตอมของออกซิเจน 3 อะตอม รวมกันเป็น 1 โมเลกุลของโอโซน (O_3) ตามปกติออกซิเจนจะประกอบกันในลักษณะ 2 อะตอมเป็น 1 โมเลกุล (O_2) ซึ่งมีคุณสมบัติต่างกันมาก คือ ออกซิเจนจะสามารถคงสภาพอยู่ได้หลายสภาวะ หรือ กล่าวได้ว่ามีความเสถียร แต่ก๊าซโอโซน จะไม่คงตัวหรือไม่เสถียร เนื่องจากปัจจัย ต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิ ความร้อน ความดัน และการสัมผัสกับสารที่มีพลังงาต่ำกว่าจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น (Oxidation) อย่างรวดเร็ว เริ่มจากโมเลกุลของโอโซนเข้าไปสัมผัสที่ผนังเซลล์ของแบคทีเรีย แล้วเข้าไปทำปฏิกิริยากับ function group ของโปรตีนที่ผิวเซลล์ ได้แก่ sulfhydryl group ซึ่งโอโซนจะเข้าไปออกซิไดซ์บริเวณนี้ทำให้โมเลกุลของโปรตีนไม่สามารถคงรูปอยู่ได้ ถ้า sulfhydryl group ทำหน้าที่เป็น binding side ของเอนไซม์ก็จะทำให้เอนไซม์นั้นถูกยับยั้ง ต่อมาโอโซนจะเข้าไปออกซิไดซ์บริเวณ double bond ของ Polyunsaturated fatty acid ทำให้เกิดการแตกออกของเยื่อหุ้มเซลล์ และสารประกอบภายในเซลล์รั่วไหนออกมานอกเซลล์ นำไปสู่การแตกสลายของเซลล์ ซึ่งช่วยควบคุมเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อโรคบนผักและผลไม้ได้ (สุเทพ นิยมญาติ. 2551 ; ราณี และ คณะ , 2551) เช่น ผลมะม่วง โอโซนช่วยในการทำลายและยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อโรค เช่น แบคทีเรีย ไวรัส สปอร์ หรือ เชื้อรา จะถูกโอโซนเข้าไปทำลายทำให้เชื้อโรคไม่สามารถเจริญเติบโตได้ โอโซนช่วยในการขจัดกลิ่นเหม็น กลิ่นไม่พึงประสงค์ต่าง ๆ โดยส่วนประกอบไอระเหยของสารอินทรีย์จะถูกโอโซนขจัด ส่งผลให้กลิ่นไม่พึ่งประสงค์หรือกลิ่นอับชื้นต่าง ๆ ถูกขจัดได้อย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็ว โอโซนยังช่วยในการสลายก๊าซพิษ โดยจะเข้าไปทำลายโครงสร้างของก๊าซพิษต่าง ๆ เกิดการสลายตัว (กลไกการฆ่าเชื้อแบคทีเรียของโอโซน , 2559)

วิธีการดำเนินการวิจัย

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

วัสดุ

1. สาหร่ายขนนกโดยนำสาหร่ายขนนก จากฟาร์มหมู่บ้าน บ้านบางค้างคาว หมู่ที่ 4 ตำบลเขาไม้แก้ว อำเภอสิเกา จังหวัดตรัง

2. เกลือเสริมไอโอดีน (ประกาศกระทรวงสาธารณสุข, 2554)

อุปกรณ์

ในการดองสาหร่าย เป็นขวดแก้วพร้อมฝาปิดสนิท เครื่องครัวในการเตรียมและการล้างสาหร่ายขนนก เครื่องมือในห้องปฏิบัติการในการวิเคราะห์ความเค็ม ค่าความเป็นกรดด่าง ความชื้น เถ้า วิเคราะห์ไขมัน โปรตีน ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด อุปกรณ์สำหรับการตรวจสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

วิธีการเตรียมการดองสาหร่ายขนนก (ดัดแปลงจาก ไข่ขวัญ และ ปทุมทอง, 2544)

1) นำสาหร่ายขนนกมาล้างกับน้ำทะเลกรองให้สะอาดล้างประมาณ 3 ครั้ง

2) นำสาหร่ายมาสะเด็ดน้ำ

3) ชั่งสาหร่ายขนนก 500 กรัม ลวกสาหร่ายขนนกในน้ำทะเลกรองที่มีน้ำส้มสายชูผสมอยู่ โดยใช้เวลาประมาณ 180 วินาที

4) เตรียมน้ำทะเลกรองที่เตรียมไว้ แล้วนำสาหร่ายมาใส่ลงไปในในน้ำทะเลกรอง

5) นำไปใส่ในขวดแก้ว ขนาด (18 x 28 เซนติเมตร)

6) เก็บบ่มไว้ในอุณหภูมิตู้เย็น (4 องศาเซลเซียส) นานประมาณ 2 เดือน

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การศึกษาคุณภาพของการดองสาหร่ายขนนกในด้านโภชนาการก่อนการดองของสาหร่ายขนนก ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณไขมัน ปริมาณโปรตีนตาม โดยใช้วิธีของ A.O.A.C. (2000)

2. ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายโอโซนและระยะเวลาในการดองสาหร่ายขนนกที่เหมาะสม

โดยทำการทดลองทันที โดยแบ่งชุดการทดลองออกเป็น 4 ชุดการทดลอง

การทดลองที่ 1 ชุดควบคุม

การทดลองที่ 2 แช่ในสารละลายโอโซน ความเข้มข้น 0.5 ppm

การทดลองที่ 3 แช่ในสารละลายโอโซน ความเข้มข้น 1.0 ppm

การทดลองที่ 4 แช่ในสารละลายโอโซน ความเข้มข้น 1.5 ppm

หลังจากแช่ในสารละลายโอโซน ตามระดับความเข้มข้นและระยะเวลาที่กำหนด แล้วนำมาวางเพื่อให้สะเด็ดน้ำ ในตู้เย็นอุณหภูมิ 4-5 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที นำไปบรรจุในถุงปลอดเชื้อเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้เย็นเพื่อศึกษาคุณภาพ โดยสุ่มตัวอย่างเพื่อตรวจสอบทุก ๆ วัน เป็นระยะเวลา 7 วัน

โดยทำการตรวจวิเคราะห์คุณภาพของสาหร่ายขนนกดังนี้

คุณภาพทางกายภาพ เช่น สีปรากฏ กลิ่น น้ำหนักที่มีการสูญเสียน้ำ ลักษณะเปรียบเทียบกับของสด คุณภาพทางเคมี ได้แก่ พีเอช โดยใช้เครื่อง pH meter , วิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี 2,2 – diphenyl-1-picrylhyarazyl (DPPH) และ 2,2]-azinobis(3-ethlbenxothaianzoline-6-sulfonic acid) (ABTS) โดยดัดแปลงจากวิธีการของ Devi และ คณะ (2008) คุณภาพทางจุลินชีววิทยา ได้แก่ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และ *Vibrio parahaemalyticus , Samonellas* sp. *Staphylococcus* aureus และ E. coil (A.O.A.C, 2000) คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสโดยให้คะแนนแบบ 9 –point-hedonic scale โดยการให้คะแนน 1-9 (1 ไม่ชอบมากที่สุด 9 ชอบมากที่สุด) การทดสอบให้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน 30 คน ทำการคัดเลือกชุดการทดลองที่มีสารต้านอนุมูลอิสระใกล้เคียงกับสาหร่ายขนนกสดมากที่สุด แล้วนำมาศึกษาในข้อต่อไป โดยการวางแผนแบบ CRD วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (ANOVA)

3. การศึกษาอัตราส่วนของการดองสาหร่ายขนนก

โดยนำสภาวะที่ผ่านการทดลองในข้อที่ 2 มาทดลองต่อในการศึกษาอัตราส่วนของการดองสาหร่ายขนนก

โดยศึกษา 2 ปัจจัยได้แก่ ปริมาณโซเดียมคลอไรด์ และปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ที่เหมาะสมต่อการดองสาหร่ายขนนก โดยมีสูตรผสมควบคุมดังนี้

1. น้ำทะเลมากรองด้วยลำสี เพื่อเอาสิ่งสกปรกออก (น้ำทะเลไปฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งความดันไอน้ำ ในกรณีที่อยู่ใกล้กับน้ำทะเลถือได้ว่าเป็นการใช้ทรัพยากรที่คุ้มค่า เป็นการลดต้นทุนในการผลิต แต่หากไกลจากทะเลก็สามารถใช้เกลือสมุทรละลายให้ได้ความเค็ม 20 พีพีที)
2. โซเดียมคลอไรด์ โดยศึกษาระดับความเข้มข้นในการดองร้อยละ 0, 3 และ 10 ตามลำดับ
3. แคลเซียมคลอไรด์ โดยศึกษาระดับความเข้มข้นในการดองร้อยละ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ

จากค่าพารามิเตอร์ทั้งหมด นำมาวางแผนการทดลองแบบ CRD โดยจะพบว่ามีทั้งหมด 9 สูตรที่จะใช้ในการทดลองนี้ ในการระหว่างการดองชองสาหร่ายนั้น ทำการวิเคราะห์ค่าความเค็ม (A.O.A.C. , 2000) และค่าความเป็นกรดด่าง โดยเครื่อง pH meter โดยทำการสุ่มเป็นระยะเวลา 2 เดือนแล้วนำมาทดสอบทางประสาทสัมผัส โดย ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยการประเมินความชอบผลิตภัณฑ์ด้วยวิธี 9-point hedonic scale ในปัจจัยคุณภาพทางด้านสี ลักษณะปรากฏ กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัสและความชอบรวม โดยใช้ผู้ทดสอบชิมในระดับห้องปฏิบัติ
การจำนวน 30 คน ที่ผ่านการฝึกฝนการให้คะแนน เพื่อหาสูตรที่เป็นที่ยอมรับและนำไปทำการทดลองต่อไป

4.การศึกษาและพัฒนาโดยการนำสาหร่ายขนนกที่ผ่านกรรมวิธีการดองเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์
กือโป๊ะ

กระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์กือโป๊ะเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ โดย นำสาหร่ายที่ผ่านการดองแล้วจากสูตรที่เป็นที่ยอมรับมากที่สุด มาทำผลิตภัณฑ์กือโป๊ะ ซึ่งประกอบด้วยดังนี้ โดยใช้สาหร่ายขนนกอบแห้งเป็น 4 สูตร โดยมีการเสริมสาหร่ายขนนกที่ระดับ 0 5 10 และ 15 กรัม ตามลำดับ ผสมลงในส่วนผสมที่ใช้ในการทำกือโป๊ะ ดังนี้ นำสาหร่ายขนนกที่อบแห้งโดยใช้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มาเป็นส่วนผสมเป็นร้อยละดังนี้ ปลาทู 48.64 แป้งมันสำปะหลัง 38.91 กรัม เกลือ 1.46 กรัม น้ำตาลทราย 2.72 กรัม กระเทียมสับ 2.91 กรัม พริกไทยดำ 1.46 กรัม น้ำปลา 2.43 กรัม ผงฟู 1.46 กรัม

โดยมี 4 สูตร (ดังตารางที่ 4) วิธีการในการทำกือโป๊ะดังนี้ เริ่มจากการแกะเอาแต่เนื้อปลาทู แล้วนำเนื้อปลาทูมาผสมกับแป้งมันสำปะหลัง เกลือ น้ำตาลทราย คลุกเคล้าให้เข้ากัน จากนั้นนำเข้าเครื่องบด เมื่อได้เนื้อที่เนียนละเอียดแล้วก็นำมาแบ่งเป็นก้อนๆ แล้วกลึงให้เป็นเส้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5 เซนติเมตร ความยาวประมาณ 25 เซนติเมตร แล้วนำลงไปต้มในน้ำเดือดประมาณ 10 นาที ก็จะได้กระโป๊ะสด แล้วมาหั่นเป็นชิ้น วิเคราะห์หา คุณค่าทางโภชนาการ ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณไขมันและ ปริมาณโปรตีน โดยวิเคราะห์ตามวิธีของ A.O.A.C. (2000) คุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total viable count) (A.O.A.C. ,2000) คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยการประเมินความชอบผลิตภัณฑ์ด้วยวิธี 9-point hedonic scale ในปัจจัยคุณภาพทางด้านสี ลักษณะปรากฏ กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัสและความชอบรวม โดยใช้ผู้ทดสอบชิมในระดับห้องปฏิบัติการจำนวน 30 คน ที่ผ่านการฝึกฝนการให้คะแนน

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. ผลการศึกษาการดองสาหร่ายขนนก

สาหร่าย *Caulerpa racemosa* var. *corynephora* เป็นสาหร่ายทะเลในกลุ่มสีเขียว ชื่อวิชาการเรียกว่า สาหร่ายขนนก เนื่องจาก เป็นสาหร่ายทะเลที่มีทัลลัสเป็นท่อติดต่อกันตลอด ประกอบด้วย ไรซอยด์ (rhizoid) ทำหน้าที่ยึดเกาะคล้ายราก ส่วนที่ทอดแขนงซึ่งมีลักษณะคล้ายไหล เรียกว่า สโตลอน (stolon) ทำหน้าที่สังเคราะห์แสง มีลักษณะคล้ายใบ เรียกว่า รามูลัส (rumulus) เป็นแท่งกลมยาวประมาณ 1 เซนติเมตร ตรงปลายพองออกเป็นกระเปาะ สีเขียวสด (ดังภาพที่ 1) ลักษณะสาหร่ายขนนกตั้งตรงขึ้นพื้นลักษณะเหมือนขนนก ขึ้นบนพื้นกรวดปนทรายและโคลนในคลองบริเวณป่าชายเลน (ศูนย์ส่งเสริมการเรียนรู้และพัฒนาป่าชายเลนที่ 5 (สตูล), 2552; Lewmanomone และ Ogawa, 1995)

ภาพที่ 1 สาหร่ายนกสด

ภาพที่ 2 สาหร่ายขนนกจากฟาร์มจาก บ้านบางค้างคาว หมู่ที่ 4
ตำบลเขาไม้แก้ว อำเภอสิเกา จังหวัดตรัง

โดยส่วนใหญ่สาหร่ายขนนก หากพบในสภาพธรรมชาติตามแนวชายฝั่งจังหวัดตรัง สตูล กระบี่ จะมีลักษณะคล้ายคลึงกัน คือ มีลักษณะเป็นหินดินดาน เป็นโคลน เป็นทราย และสภาพพื้นที่ถือว่าไม่ค่อยมีความอุดมสมบูรณ์เท่าที่ควร นอกจากนี้พบสาหร่ายที่เกิดขึ้นในกระชังเลี้ยงปลา มีชาวบ้านนิยมเลี้ยงกันพบใน ตำบลเขาไม้แก้ว อำเภอสิเกา จังหวัดตรัง (ภาพที่ 2) สาหร่ายที่ขึ้นอยู่จะมีลักษณะที่ยาวและสวยงาม ซึ่งสามารถเลี้ยงได้ตลอดทั้งปี แต่จะมีปัญหาในเฉพาะฤดูฝนเพราะจะมีผลต่อการเจริญเติบโต ในเรื่องความเค็มของน้ำทะเล และ ความขุ่น จะพบสาหร่ายชนิดนี้ในปริมาณที่มากในช่วงฤดูแล้ง คือ เดือนมีนาคม ถึง พฤษภาคม และเริ่มลดลงเมื่อเข้าหน้าฝน คือ ช่วงเดือนมิถุนายน ถึง ตุลาคม (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2551)

1.1 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายขนนกก่อนทำการทดลองสาหร่ายขนนก

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายขนนกแบบสด

ผลิตภัณฑ์	องค์ประกอบทางเคมีปริมาณ (ร้อยละ)			
	ความชื้น	เถ้า	โปรตีน	ไขมัน
สาหร่ายสด	58.41	3.45	1.44	0.10

ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายก่อนดอง (ตารางที่ 2) พบว่า สาหร่ายก่อนดองมีปริมาณความชื้น เถ้า โปรตีน และไขมันร้อยละ 58.41 3.45 1.44 และ 0.10 ตามลำดับ สอดคล้องกับการศึกษาของ มัณฑนา (2553) พบว่าคุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายขนนกสดพบว่า มีไขมันต่ำ 0.08% ไม่มีคอเรสเตอรอล มีโปรตีน 1.42% เกลือ 2.60%กากใย 0.30% และ ฟอสฟอรัส 39.61 มิลลิกรัม มีวิตามินหลายชนิดที่ร่างกายต้องการเช่น วิตามินเอ บี ซี ดี อี และ เค เป็นต้น

2. ผลความเข้มข้นของสาระลายเกลือ สาระลายโอโซน แคลเซียมคลอไรด์ ที่เหมาะสมต่อคุณภาพของสาหร่ายขนนก

เมื่อนำสาหร่ายขนนกที่ผ่านการล้างแบบวิธีข้างบนดังกล่าว มาทำการวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์ทั้งหมด มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด $11X10^{-3}$ CFU/g ต่อจากนี้ นำมาทดลองศึกษาความเข้มข้นของสารละลายโอโซนและระยะเวลาในการดองสาหร่ายขนนกที่เหมาะสม

2.1. ผลศึกษาความเข้มข้นของสารละลายโอโซนและระยะเวลาในการแช่สาหร่ายขนนกที่เหมาะสม

2.1.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลชีววิทยา

ผลการทดลองพบว่า ตัวอย่างสาหร่ายขนนกที่ผ่านการแช่ในสารละลายโอโซน มี
ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่ากลุ่มตัวอย่างที่ไม่ใช้สารละลายโอโซน ปริมาณจุลินทรีย์ของสาหร่ายขนนนกระหว่างการเก็บรักษา พบว่าในการแช่โอโซน ที่ระดับ 0.5 1 และ 1.5 ppm พบว่า การใช้ระดับโอโซนน้อยที่สุด 0.5 ppm. ยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคได้ ดังแสงในตารางที่ 3 -6 ประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ของโอโซนขึ้นกับความเข้มข้นระยะเวลาที่สัมผัสกับจุลินทรีย์โดยโอโซนจะทำลายจุลินทรีย์บริเวณผนังเซลล์เป็นส่วนแรกทำให้เซลล์ของจุลินทรีย์แตกออก (cell lysis) ในขณะที่สารประกอบจำพวกลิโพโปรตีน (lipoprotein) และลิโพพอลีแซคคาไรด์ (lipopolysaccharide) ของแบคทีเรียแกรมลบเป็นตำแหน่งที่จะถูกทำลายโดยโอโซนและมีผลต่อเซลล์ของแบคทีเรียทำให้เซลล์แตกโอโซนมีผลต่อเอนไซม์ของจุลินทรีย์การทำลายเอนไซม์ของโอโซนพบว่าจะทำลายเอนไซม์ดีไฮโดรจีเนส (dehydrogenase) และรบกวนระบบการหายใจของจุลินทรีย์ นอกจากนี้โอโซนจะเข้าทำลายในส่วน plasmid DNA และลดสมบัติ transforming และลดปฏิกิริยา transcription ซึ่งเกิดจากโอโซนสลายตัวในน้ำเกิดอนุมูลอิสระ คือ ไฮโดรเพอร์โรซิล HO_2) ไฮโดรซิล (OH^-) และซูปเปอร์ออกไซด์ (O_2^-) ซึ่งมีประสิทธิภาพในการออกซิไดซ์สูงมาก สามารถทำปฏิกิริยากับสิ่งสกปรากต่าง ๆ เช่น เกลือของโลหะสารประกอบอินทรีย์ไฮโดรเจนและไฮดรอกไซด์ในน้ำ (kim et al., 1999)

ตารางที่ 3 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของสาหร่ายที่ผ่านการแช่ในสารละลายโอโซน ใช้ระยะเวลาในการดอง 2 เดือน

ระยะเวลาเก็บรักษา (สัปดาห์ที่)	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด CFU./g.)			
	Control	0.5 ppm	1.0 ppm	1.5 ppm
0	11	8	6	5
2	9	5	4	3
4	7	2	2	2
6	5	0	0	0
8	3	0	0	0

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ *Vibrio parahaemolyticus* ของสาหร่ายที่ผ่านการแช่ในสารละลายโอโซน ใช้ระยะเวลาในการดอง 2 เดือน

ระยะเวลาเก็บรักษา (สัปดาห์ที่)	ผลผลการวิเคราะห์ *Vibrio parahaemolyticus* (CFU./g.)			
	Control	0.5 ppm	1.0 ppm	1.5 ppm
0	ND	ND	ND	ND
2	ND	ND	ND	ND
4	ND	ND	ND	ND
6	ND	ND	ND	ND
8	ND	ND	ND	ND

ND หมายถึง Non detect

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ *E.coil* ของสาหร่ายขนนกที่ผ่านการแช่ในสารละลายโอโซน ใช้ระยะเวลาในการดอง 2 เดือน

ระยะเวลาเก็บรักษา (สัปดาห์ที่)	ผลการวิเคราะห์ *E.coil* (CFU./g.)			
	Control	0.5 ppm	1.0 ppm	1.5 ppm
0	ND	ND	ND	ND
2	ND	ND	ND	ND
4	ND	ND	ND	ND
6	ND	ND	ND	ND
8	ND	ND	ND	ND

ND หมายถึง Non detect

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์ *Staphylococcus aureus* ของสาหร่ายขนนกที่ผ่านการแช่ใน สารละลายโอโซน ใช้ระยะเวลาในการดอง 2 เดือน

ระยะเวลาเก็บรักษา (สัปดาห์ที่)	ผลการวิเคราะห์ *S. aureus* (CFU./g.)			
	Control	0.5 ppm	1.0 ppm	1.5 ppm
0	ND	ND	ND	ND
2	ND	ND	ND	ND
4	ND	ND	ND	ND
6	ND	ND	ND	ND
8	ND	ND	ND	ND

ND หมายถึง Non detect

2.1.2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

ผลการวิเคราะห์ค่าพีเอช พบว่าค่าพีเอชมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยตามระยะเวลาการเก็บที่นานขึ้น อยู่ในช่วง 4.21 – 6.5

2.1.3 ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

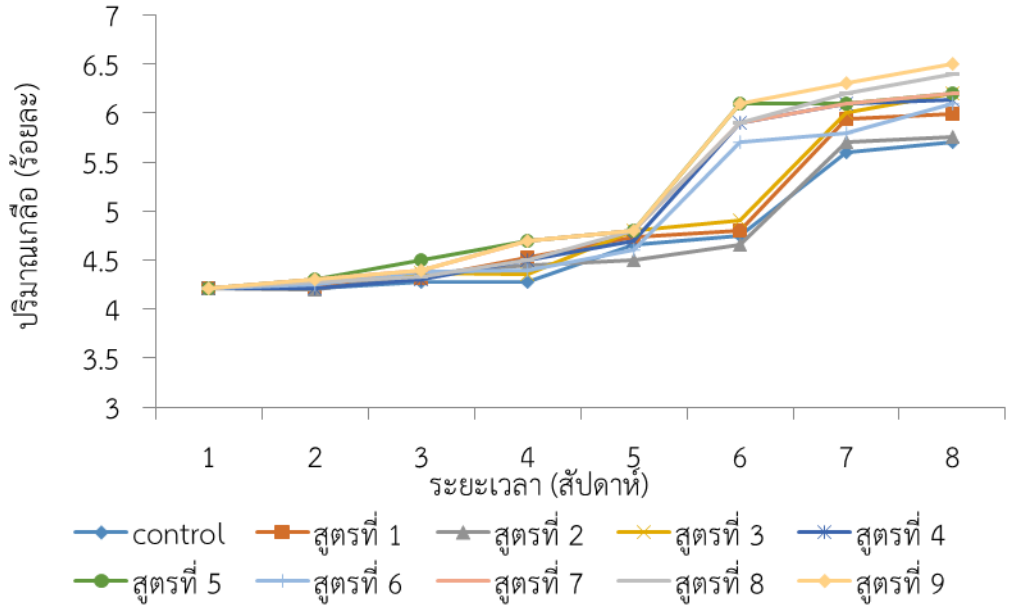
ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสพบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น คะแนนทางด้านกลิ่น สี ความชอบรวม เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมไม่มีความแตกต่างกันมากนักของระดับการใช้โอโซน แต่มีความแตกต่างอย่างชัดเจนกับกลุ่มควบคุม ($p< 0.5$) เมื่อพิจารณาคะแนนการประเมินทางประสาทสัมผัส พบว่า ตัวอย่างที่จุ่มในสารละลายโอโซนในทุกระดับมีอายุการเก็บรักษานาน 2 เดือน จึงพิจารณาในการคัดเลือกสูตรที่มีการใช้ระดับโอโซนน้อยที่สุด 0.5 ppm. ใช้ในการทดลองต่อไป ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Haraguchi และคณะ (1969) ได้ทำการศึกษาผลของโอโซนต่อการถนอมปลาสดโดยแช่ในน้ำที่ประกอบด้วยร้อยละ 3 ของโซเดียมคลอไรด์ร่วมกับโอโซนความเข้มข้นที่ 0.6 พีพีเอ็ม นาน 30-60 นาที สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ได้ถึง 2 ถึง 3 logs cycle และเมื่อใช้ก๊าซโอโซนในห้องเย็นทุก 2 วันพบว่า อายุการเก็บรักษาปลาเพิ่มมากขึ้นร้อยละ 20 ถึง 60 ได้มีการศึกษาของสดศรี และ คณะ พบว่า การแช่น้ำโอโซนความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ชั่วโมง นาน 15 นาที จากนั้นจึงจะสะเด็ดน้ำให้แห้ง ก่อนบรรจุลงในกล่องลูกฟูก และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้เย็น

3. การศึกษาอัตราส่วนของการดองสาหร่ายขนนก

จากการศึกษาเมื่อเปรียบเทียบสาหร่ายสดกับสาหร่ายที่ผ่านการดอง พบว่า มีลักษณะที่แตกต่างกันโดยสาหร่ายสดจะไม่แต่งน้ำเก็บได้ไม่เกิน 3 วัน สีก็จะไม่สวยและไม่สด แต่สาหร่ายขนนกที่ผ่านการดองโดยอัตราส่วนดังกล่าวพบว่าการดองสาหร่ายขนนกทั้ง 9 สูตร พบว่า การดองสาหร่ายขนนกซึ่งมีปริมาณโซเดียมคลอไรด์ ร้อยละ 3 และปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก เมื่อพิจารณาจากการวัด ค่าความเป็นกรดด่างและความเค็ม สาหร่ายขนนกที่ดองจะมีสีเขียวสด แต่งน้ำ โดยการเปรียบเทียบกับสาหร่ายสด เป็นสูตรที่ยอมรับมากที่สุด

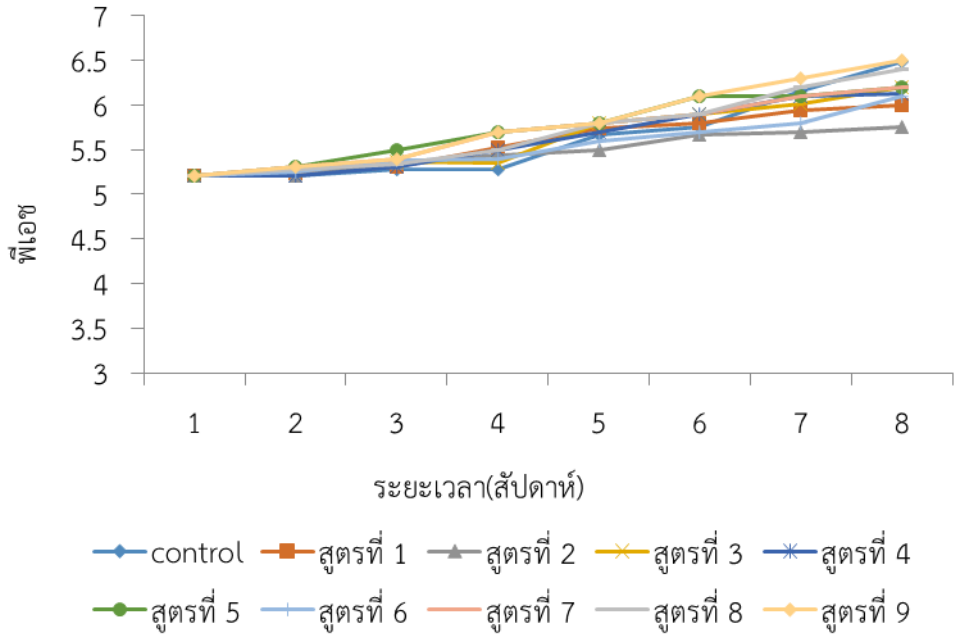
3.1 สูตรที่เหมาะสมในการดองสาหร่ายขนนก

จากการศึกษาปริมาณเกลือที่การดองสาหร่ายขนนกทั้ง 9 สูตร โดยใช้ปริมาณโซเดียมคลอไรด์และแคลเซียมคลอไรด์ในอัตราส่วนที่เหมาะสม โดยทำการบ่มที่ อุณหภูมิ ตู้เย็น (4 องศาเซลเซียส) ระยะเวลา 2 เดือน ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ผลของปริมาณเกลือในแต่ละสัปดาห์ของสาหร่ายขนนก

ผลจากการศึกษาค่าความเค็มที่การดองสาหร่ายขนนกทั้ง 9 สูตร ภาพที่ 3 อุณหภูมิตู้เย็น (4 องศาเซลเซียส) โดยใช้ปริมาณโซเดียมคลอไรด์และแคลเซียมคลอไรด์ในอัตราส่วนที่เหมาะสม โดยเมื่อเก็บระยะเวลาในการดองเป็นเวลา 2 เดือน มีค่าลดลงจากวันแรกที่มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 4.21 – 4.3 และในวันสิ้นสุดการเก็บรักษาในทุกการทดลองมีค่าความเค็ม อยู่ระหว่างร้อยละ 5.7 – 6.5 เมื่อเก็บรักษานานขึ้นในทุกสภาวะการทดลอง การทดลองระหว่างการเก็บรักษามีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)



ภาพที่ 4 ผลของค่าความเป็นกรดด่างของสาหร่ายขนนกโดยทำการดองด้วยแคลเซียมคลอไรด์และโซเดียมคลอไรด์โดยทำการบ่มที่ อุณหภูมิ ตู้เย็น (4 องศาเซลเซียส) ระยะเวลา 2 เดือน

ผลจากการศึกษาค่าความเป็นกรดด่าง (ภาพที่ 4) ในระยะเวลาในการดองเป็นเวลา 2 เดือนที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จะมีค่าลดลงจากวันแรกที่มีค่าอยู่ระหว่าง 5.21-5.25 และในวันสิ้นสุดการเก็บรักษาในทุกการทดลองมีค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ระหว่าง 6.49-6.52 จากการทดลองพบว่าสูตรที่ 9 มีความสดและสีเขียวเข้มเมื่อเก็บรักษานานขึ้นในทุกสภาวะการทดลอง การทดลองระหว่างการเก็บรักษามีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) สาหร่ายขนนกมีลักษณะสีเขียวเข้ม ไม่มีกลิ่น เต่งน้ำ ลักษณะคล้ายคลึงกับสาหร่ายสดมากที่สุด ผลจากการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดด่างและความเค็มของการดองสาหร่ายขนนก โดยระยะการดองเป็นเวลา 2 เดือน มีทั้งหมด 9 สูตร พบว่า ค่าความเป็นกรดด่างและความเค็ม แต่ละสูตรมีความแตกต่างกันแนว การทดลองระหว่างการเก็บรักษามีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับทุกสูตร พบว่าสูตรที่ดีที่สุดคือสูตรที่ 9 มีความสดและสีเข้ม และการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพน้อยที่สุด เป็นสูตรที่ได้รับการยอมรับมากที่สุด จึงใช้ในการทดลองขั้นตอนต่อไปในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์กึ่งโป๊ะ

การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในสาหร่ายขนนกแบบสดและผ่านการดองจากสูตรที่เหมาะสมในการดองเพื่อยืดอายุให้นานตามความต้องการ พบว่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (Zhang et al , 2011) ได้ผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 7 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสาหร่ายขนนกสด และ ผ่านการดอง ในสูตรที่เหมาะสม

สาหร่ายขนนก	ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH มิลลิกรัมสมมูล กรดแลกติก /100 กรัม น้ำหนักสด	
	สด	ลวก
แบบสด(ไม่ผ่านการดอง)	30.44±0.48	19.36±2.90
ผ่านการดอง(ในสูตรที่เหมาะสม (โดยดองเป็นระยะเวลา 7 สัปดาห์)	30.48±0.13	14.48±0.03

จากการทดลองพบว่าสาหร่ายขนนกหากบริโภคแบบสดจะมีความสามารถในการต้านสารอนุมูลอิสระมากกว่าการบริโภคแบบลวก ดังตารางที่ 7 ถึงแม้ในกระบวนการดองสาหร่ายขนนกดังกล่าวนี้ไม่ได้ใช้ระยะเวลาในการลวกนาน ก็มีผลทำให้ปริมาณสารดังกล่าวลงตามระยะเวลาที่ทำการดองเมื่อผ่านไป 7 สัปดาห์ เนื่องจากการให้ความร้อนด้วยการลวกมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสาหร่ายขนนกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เพราะฉะนั้น การบริโภคสาหร่ายขนนกแบบสดจะมีความสามารถในการต้านสารอนุมูลอิสระดีที่สุด แต่หากต้องการยืดอายุการเก็บรักษาเพื่อการบริโภคได้ตลอดทั้งปี และ สามารถนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ก็สามารถทำได้โดยการดอง ซึ่งซึ่งใช้สูตรที่ 9 ที่ได้ทดลองไป

4. การศึกษาและพัฒนาโดยการนำสาหร่ายขนนกที่ผ่านกรรมวิธีการดองเป็นส่วนผสมในกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์กือโป๊เพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ

โดยมีการเสริมสาหร่ายขนนกที่ระดับ 0 5 10 และ 15 กรัม ตามลำดับ โดยใช้สาหร่ายที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ผสมลงในส่วนผสมที่ใช้ในการทำกือโป๊ะ ดังนี้ นำสาหร่ายขนนกที่อบแห้งโดยใช้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มาเป็นส่วนผสมเป็นร้อยละดังนี้ ปลาทู 48.64 แป้งมันสำปะหลัง 38.91 กรัม เกลือ 1.46 กรัม น้ำตาลทราย 2.72 กรัม กระเทียมสับ 2.91 กรัม พริกไทยดำ 1.46 กรัม น้ำปลา 2.43 กรัม ผงฟู 1.46 กรัม นำมาผสมในการทำกือโป๊ะ นำมาทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคโดยการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยพิจารณาจากความชอบของผู้บริโภคในด้านสีเนื้อสัมผัส รสชาติ ลักษณะปรากฏ ความชอบรวม (ตารางที่ 8)

ตารางที่ 8 การทดสอบทางประสาทสัมผัส

ปัจจัย	สูตร			
	1	2	3	4
สี	7.80±1.12^{ns}	7.87±1.03^{ns}	7.87±1.03^{ns}	8.00±0.90^{ns}
เนื้อสัมผัส	6.90±1.11^{c}	7.47±0.96^{b}	7.47±0.96^{ab}	8.37±0.88^{a}
รสชาติ	7.07±1.15^{c}	7.37±0.80^{bc}	7.37±0.80^{b}	8.47±0.77^{a}
ลักษณะปรากฏ	7.60±1.05^{b}	7.53±0.77^{b}	7.53±0.77^{a}	8.47±0.77^{a}
ความชอบรวม	7.60±1.14^{b}	7.57±0.89^{b}	7.57±0.89^{b}	8.53±0.68^{a}

หมายเหตุ: อักษรเหมือนกันในแนวนอนแสดงความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

จากตารางที่ 8 การทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส สามารถอธิบายได้ว่าผลิตภัณฑ์กือโป๊ะที่มีการใส่สาหร่ายขนนกอบแห้งเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ คือ สูตร 1 2 3 และ 4 จะมีความชอบที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกล่าวคือ (P<0.05) โดยสูตรที่ 4 ใช้สาหร่ายอบแห้งร้อยละ 15 จะได้รับการยอมรับสูงสุด คือสี เนื้อสัมผัส รสชาติ ลักษณะปรากฏ ความชอบรวม โดยได้รับคะแนนความชอบเฉลี่ยสูงสุดคือ 8.00 8.37 8.47 8.47 และ 8.53 ตามลำดับ

4.1 ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมี

ผลขององค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์กือโป๊ะ จากสูตรที่ได้รับการยอมรับมากที่สุดนำมาวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ (ตารางที่ 9)

ตารางที่ 9 องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์กือโป๊ะ โดยมีการใส่สาหร่ายขนนกตากแห้ง

ผลิตภัณฑ์	องค์ประกอบทางเคมีปริมาณ (ร้อยละ)			
	ความชื้น	เถ้า	โปรตีน	ไขมัน
กือโป๊ะธรรมดา	44.34	2.66	12.22	1.06
กือโป๊ะใส่สาหร่ายขนนก	46.94	2.02	12.84	1.17

ผลการศึกษาขององค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์กือโป๊ะแบบธรรมดากับกือโป๊ะที่ใส่สาหร่ายขนนกตากแห้ง โดยมีปริมาณ ความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน ร้อยละ 44.34 2.66 12.22 และ 1.06 กือโป๊ะที่ใส่สาหร่ายนกตากแห้ง โดยมีปริมาณ ความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน ร้อยละ 46.94 2.02 11.84 และ 1.17

4.2 คุณภาพทางด้านจุลชีววิทยา

ผลของปริมาณจุลินทรีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ในผลิตภัณฑ์กือโป๊ะ โดยมีการใช่สาหร่ายขนนกตากแห้ง (ตารางที่ 10)

ตารางที่ 10 การวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในในผลิตภัณฑ์กือโป๊ะที่ทำการทอด และนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

ผลิตภัณฑ์	**ปริมาณจุลินทรีย์ (CFU/g)**
	จุลินทรีย์ทั้งหมด
กือโป๊ะธรรมดา	ไม่พบ
กือโป๊ะใส่สาหร่ายขนนก	ไม่พบ

จากการวิเคราะห์ทางด้านจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์กือโป๊ะ โดยมีการใส่สาหร่ายขนนกตากแห้ง แบบกือโป๊ะธรรมดา กือโป๊ะใส่สาหร่ายขนนก ไม่พบปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด ได้มีการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ที่ระดับการเจือจางที่ 10^3 เนื่องจากทุกกระบวนการต้องยึดหลักความปลอดภัยและเน้นความสดในการนำมาทำการดอง และการนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ดังกล่าว

สรุปผลการทดลอง

1. ศึกษาอัตราส่วนของสาหร่ายขนนกโดยการเติม โซเดียมคลอไรด์ แคลเซียมคลอไรด์ พบว่าองค์ประกอบทางเคมีบางประการของสาหร่ายขนนกก่อนดองมี ปริมาณโปรตีน เถ้า ไขมัน และความชื้นร้อยละ 1.44 3.45 0.10 และ 58.41 ตามลำดับ

2. ผลการศึกษาการใช้โอโซนในการล้างเพื่อยับยังเชื้อจุลินทรีย์ พบว่า ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสพบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น คะแนนทางด้านกลิ่น สี ความชอบรวมเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมไม่มีความแตกต่างกันมากนักของระดับการใช้โอโซนที่ระดับ0 0.5 1.0 และ 1.5 ppm พบว่ามีความแตกต่างอย่างชัดเจนกับกลุ่มควบคุม ($p< 0.5$) เมื่อพิจารณาคะแนนการประเมินทางประสาทสัมผัส พบว่า ตัวอย่างที่จุ่มในสารละลายโอโซนในทุกระดับมีอายุการเก็บรักษานาน 2 เดือน จึงพิจารณาในการคัดเลือกสูตรที่มีการใช้ระดับโอโซนน้อยที่สุด 0.5 ppm. ใช้ในการทดลองต่อไป

3. เมื่อทำการล้างสาหร่ายขนนกด้วยน้ำที่ผ่านการให้โอโซนที่ระดับ 0.05 ppm ศึกษาการดองในสูตร ต่าง ๆ โดยมีจำนวนทั้งหมด มี 9 สูตรโดยทำการบ่มที่ อุณหภูมิ ตู้เย็น (4 องศาเซลเซียส)นาน 2 เดือนและได้ทำการคัดเลือกสูตรที่ 9 พบว่า สูตรที่ 9 เหมาะสมที่สุด ความสามารถในการต้านสารอนุมูลอิสระในสาหร่ายที่ผ่านการดอง เท่ากับ 14.48 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิก/100 กรัม น้ำหนักสด สูตรที่เหมาะสมในการดองสาหร่ายขนนกประกอบด้วยน้ำทะเลกรองร้อยละ 95 เสริมเกลือร้อยละ 3 และแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก

4. ผลการทดดองสาหร่ายขนนกนำสาหร่ายขนนกที่ได้จากการดองคือสูตรที่ 9 นำมาตากแห้งโดยนำสาหร่ายขนนกที่ตากแห้งมาทำเป็นผลิตภัณฑ์กือโป๊ะ โดยแบ่งอัตราส่วนของสาหร่ายขนนกตากแห้ง เป็น 4 สูตร และประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสโดยประเมินความชอบผลิตภัณฑ์ ในปัจจัยคุณภาพทางด้านสี เนื้อสัมผัส รสชาติ ลักษณะปรากฏ ความชอบรวม โดยใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 30 คนที่ผ่านการฝึกฝนในการให้คะแนนผลที่ได้คือสูตรที่ 4 ซึ่งประกอบด้วยสาหร่ายขนนกที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เสริมสาหร่ายขนนกอบแห้งปริมาณ 15 กรัม นำมาเป็นส่วนผสม (ร้อยละ) ซึ่งประกอบด้วย ปลาทู 48.64 แป้งมันสำปะหลัง 38.91 กรัม เกลือ 1.46 กรัม น้ำตาลทราย 2.72 กรัม กระเทียมสับ 2.91 กรัม พริกไทยดำ 1.46 กรัม น้ำปลา 2.43 กรัม ผงฟู 1.46 กรัม ได้รับการยอมรับมากที่สุด

เอกสารอ้างอิง

กลไกการฆ่าเชื้อแบคทีเรียของโอโซน (ออนไลน์) www.ozoneapplications.com สืบค้นเมื่อ วันที่ 19 กรกฎาคม 2559.

กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. 2551. **รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการวิจัยฐานความรู้และภูมิปัญญาท้องถิ่นในการจัดการป่าชายเลน.** บริษัทแสงสว่างเวิลด์เพรส จำกัด. กรุงเทพฯ.

กาญจนภาชน์ ลิ่วมโนมนต์. 2527. **สาหร่าย** . มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 224 น.

การดอง. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : **http://www.snr.ac.th** (25 กรกฎาคม 2557).

ธนรรชน ยศราวุวรกุล. 2537. **การพัฒนากระบวนการผลิตวุ้นสำหรับเลี้ยงเชื้อแบคทีเรียจากสาหร่ายสกุลกราซิลาเรีย**. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมศาสตร์.
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ราณี สุรากาฐจน์กุลและคณะ. 2552. การใช้โอโซนเพื่อความปลอดภัยอาหาร. ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

นงนุช รักสกุลไทย. 2530. **กรรมวิธีการแปรรูปสัตว์น้ำ**. ภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง. คณะประมง. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 58 น.

นิรนาม. การเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนนก. 2548. (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก : **http://www.aquatoyou.com** (16 สิงหาคม 2557).

นิรนาม. แคลเซียมคลอไรด์. 2555. (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก : **http://www.foodnetworksolution.com** (24 กรกฎาคม 2557).

นิรนาม. **น้ำทะเล.** 2544. (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก : **http://th.wikipedia.org** (25 กรกฎาคม 2557).

นิตยสารเกษตรศาสตร์. 2559. การแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร. [ออนไลน์] แหล่งที่มา http://www.ku.ac.th/e magarzine/january 47 / agri/plant.html. 23 กรกฎาคม 2559.

ประสิทธิ์ อะติวีระดุล. 2527**. เทคโนโลยีของผักและผลไม้.** ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร. คณะทรัพยากรธรรมชาติ, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา. 96 น.

พงษ์ศักดิ์ จันทยศ. 2533. บทความพิเศษ : **สาหร่ายทะเลแหล่งอาหารในอนาคต** หน่วยวิจัยไบโอพอลิเมอร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, ประสานมิตร. 12 (31) : 56-62

พรพล รมย์นุกูล. 2545. **การถนอมอาหาร**. โอเดี้ยนสโตร์. กรุงเทพมหานคร. 106 - 109 น.

มัณฑนา นวลเจริญ. 2533. **สาหร่ายขนนก ต้านอนุมูลอิสระรักษาหลายโรค.** http://www.hiso.or.th/hiso/ghealth/newsx1735.php/29 กรกฎาคม 2553.

ศูนย์ส่งเสริมการเรียนรู้และพัฒนาทรัพยากรป่าชายเลนที่ 5 (สตูล) . 2552. **รายงานฉบับสมบรูณ์ภูมิปัญญาหาท้องถิ่น”** การใช้ประโยชน์สาหร่ายในพื้นที่หมู่บ้านแนวชายฝั่งจังหวัดสตูล. กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง.

สดศรี เนียมเปรม จิตตา สาตร์เพ๊ชร ศิริพงษ์ พัฒนาวิบูลย์ อนวัช สุวรรณกุล รุจิรา ดีวัฒนวงศ์ และชนะ พรหมทอง. 2554. การยืดอายุการเก็บรักษาและการรักษาสีผิวของลิ้นจี้ รายงานการวิจัยสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก http://fic.nfi.or.th/knowlegdedatabankResearch-detail.php?id=1023 (19 กรกฎาคม 2559)

สุเทพ นิยมญาติ 2553. ผลของโอโซนต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคในระหว่างการเก็บรักษา. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการอาหาร ภาคเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยศิลปากร.

เสาวภา ยุววุฒโฒ. 2538. **การพัฒนาดินสำเร็จรูปในการผลิตไข่เค็ม.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

อบเชย วงศ์ทอง และ ขนิษฐา พูนผลกุล. 2544. **หลักการประกอบอาหาร.** ภาควิชาคหกรรมศาสตร์, คณะเกษตรศาสตร์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ, 290 น.

อารี ชูวิสิฐกุล และ ทศภฤศ เอี่ยมธนาภรณ์. 2552. **เทคโนโลยีการถนอมอาหาร.** กรมวิทยาศาสตร์บริการ, กรุงเทพฯ. 48 น.

อำไพ ล่องลอย. 2548. **การเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนนก *(Caulerp aracemosa* var. *corynephora)* เพื่อการบริโภค.** *ในบทคัดย่อ* สัมมนาวิชาการด้านการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งประจำปี 2548 วันที่ 26-29 พฤษภาคม 2548. สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง กรมประมง. 34 น.

A.O.A.C. 2000. **Official Method of Analysis of AOAC International. 17th ed. Association of Official Analytical Chemist**. Washington DC.

Haraguchi, T., U. Shimidu, A. 1969. **Preserving effect of ozone on fish**. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.35 : 915-919.

Kim, J. G., Yousef, A. E. Chism, G. W. 1999. **Use of ozone to Inactivate microorganisms on** lettuce. J. Food Saf. 19:17-34.

Kramlich, W. E., Pearson, A. M., and Tauber, F. W. 1973. **Processed Meat**. The AVI Publ. Co., Inc, Westport. Connecticult.

Lewmanomont, K. and H. Ogawa. 1995. **Common Seaweeds and Seagrasses of Thailand.** Faculty of Fisheries, Kasetsart University. 164. Pp.

Zhang, R., Zeng, Q., Deng, Y., Zhang, M.Wei.Z., Zhang, Y, and Tang, X. 2013. **Phenolic profiles and antioxidant activity of litchi pulp of different cultivars cultivated in Southern China**. Food Chemistry. 136(3-4): 1169-1176.

.

ผลิตภัณฑ์และคุณค่าทางโภชนาการที่ได้จากการแปรรูป
สาหร่ายทะเลขนาดใหญ่ (*Caulerpa racemosa*)
Nutritional values and products derived from the processing of marine macroalgae (*Caulerpa racemosa*)

อุไรวรรณ วัฒนกุล Uraiwan Wattanakul
วัฒนา วัฒนกุล Wattana Wattanakul
พีรพงษ์ พึ่งแย้ม Peerapong Puengyam

บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณค่าทางโภชนาการ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแปรรูปสาหร่าย *Caulerpa racemosa* โดยวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้า คาร์โบไฮเดรต ปริมาณคลอโรฟิลล์ และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ผลการวิจัย พบว่า คุณค่าทางโภชนาการในสาหร่ายดังกล่าวต่อน้ำหนักฐานแห้งปริมาณ 100 กรัม มีปริมาณความชื้นร้อยละ 12.19 ปริมาณโปรตีนร้อยละ 17.58 ปริมาณไขมันร้อยละ 0.88 ปริมาณเถ้าร้อยละ 13.57 ปริมาณเยื่อใยร้อยละ 9.82 ปริมาณคาร์โบไฮเดรต มีค่าร้อยละ 45.96 สาหร่าย *C. racemosa* ให้ปริมาณสารสกัดและปริมาณพอลิแซคคาไรด์ เท่ากับร้อยละ 37.87 และ 16.12 ประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ในสาหร่ายสดและแห้งมีค่าแตกต่างกัน โดย มีค่า IC_{50} เท่ากับ 9.13 – 9.64 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ส่วนคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บี มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 3,422.41 – 10,352.04 และ 1,149 – 17,299.80 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ผลิตภัณฑ์ข้าวพองสังข์หยดเสริมสาหร่าย ในแต่ละสูตรมีองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกัน โดยปริมาณเยื่อใย และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในผลิตภัณฑ์ที่ใช้สาหร่ายร้อยละ 3 มีค่าสูงที่สุด แต่ปริมาณคลอโรฟิลล์เอและบี ในสูตรที่ใช้สาหร่ายร้อยละ 5 มีค่าสูงที่สุด ทั้งนี้ สูตรข้าวพองที่มีใช้สาหร่ายร้อยละ 3 ได้รับค่าคะแนนความชอบรวมสูงที่สุด คุกกี้ข้าวตอกสังข์หยดที่ใส่สาหร่าย คุณค่าทางโภชนการ ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และบี สูงกว่าสูตรที่ไม่เสริมสาหร่าย และการเสริมสาหร่ายร้อยละ 5% ให้คุณค่าดีที่สุด แต่ผลการทดสอบความชอบรวมในสูตรที่ใช้สาหร่ายร้อยละ 3 มีคะแนนความชอบเฉลี่ยสูงสุด องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ซอสสาหร่ายรสซีฟู้ด ซอสสาหร่ายรสสุกี้ และซอสสาหร่ายรสบาร์บีคิว ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และเถ้า มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 2.06-2.71, 5.16-6.26, 0.37-0.67, 77.01-83.33 และ 8.28-13.66 ส่วนฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในซอสสาหร่ายรสบาร์บีคิวมีค่าดีที่สุด

ผลิตภัณฑ์โจ๊กสาหร่ายขนนกกึ่งสำเร็จรูป ร้อยละ 10 ซึ่งเป็นสูตรที่ดีที่สุดมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี เปรียบเทียบกับสูตรที่ไม่มีสาหร่าย ผลการทดลองพบว่าสูตรที่ดีที่สุด มีคุณค่าทางอาหารสูง โดยเฉพาะโปรตีน เถ้า คลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บี ส่วนผลิตภัณฑ์สาหร่ายอบแห้งและสาหร่ายแผ่นทอดกรอบ ที่ผลิตได้มีปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้าและคาร์โบไฮเดรต อยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 5.60-7.05, 4.61-5.46, 0.64-32.35, 1.89-3.13, 0.84-13.93 และ 53.26-71.24 ตามลำดับ และมีคุณลักษณะตามข้อกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนสาหร่ายทะเลอบ ค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ในสาหร่ายอบแห้งมีค่าดีกว่าสาหร่ายแผ่นทอดกรอบ

คำสำคัญ : ผลิตภัณฑ์ คุณค่าทางโภชนาการ สาหร่ายทะเลขนาดใหญ่

Abstract

This research aims to study nutritional values and radical scavenging activity of products derived from the processing of marine macroalgae, *Caulerpa racemosa* Nutritional values analyzed including moisture, protein, lipid, fiber, ash, carbohydrate, chlorophyll and radical scavenging activity. The results showed that algae, *C. racemosa* amount 100 grams dry weight had percentage of moisture, protein, lipid, ash, fiber and carbohydrate were 12.19, 17.58, 0.88, 13.57, 9.82 and 45.96, respectively. *C. racemosa* gave extracted quantity and polysaccharide yield amount of 37.87 and 16.12 percentage. Efficiency of radical scavenging activity by IC_{50} DPPH in fresh and dry algae were range of between 9.13–9.64 mg/ml. Chlorophyll a and b were value in a range between 3.42–10.35 and 1.15–17.29 grams per liter, respectively.

Three formula of puffed Sangyod rice products add seaweed supplement have a different chemical composition. The amount of fiber and radical scavenging activity in products used 3 percentage of seaweed is the highest. But the amount of chlorophyll a and b in formula used 5 percentage of seaweed is the highest. Three percentage of seaweed in product like highest in sensory score. Popped Sangyod rice cookies mixed seaweed had a nutritionals, radical scavenging activity, chlorophyll a and b higher than control formula. Enhancing 5 percentage of seaweed showed the best value but the sensory score of the 3 percentage of seaweed have the highest average scores. The chemical composition of seafood, suki and barbeque sauce include moisture, protein, fat, carbohydrates and ash values ranged from 2.06-2.71, 5.16-6.26, 0.37-0.67, 8.28-13.66 and 77.01-83.33 percentages, respectively. The radical scavenging activity in barbeque sauce is the best.

Product instant 10 percentages of seaweed porridge rice which is the best formula to analyzed proximate analysis compared with no seaweed. This product was high quality in protein, ash, chlorophyll a and b. Dried and crispy seaweed formula was accepted by panelist. Moisture, protein, fat, fiber, ash and carbohydrate were 5.60-7.05, 4.61-5.46, 0.64-32.35, 1.89-3.13, 0.84-13.93 and 53.26-71.24 percentage, respectively. The ability to against free radicals in dried seaweed is better than crispy seaweed.

Keywords : products Nutritional values marine macroalgae

บทนำ

สาหร่ายทะเล

จากการสำรวจสาหร่ายทั้งในอ่าวไทยและฝั่งอันดามัน (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2553) พบว่ามีสาหร่ายทะเล 106 สกุล 260 ชนิด แต่ที่นำมาใช้ประโยชน์มีเพียง 17 ชนิด ซึ่งมีทั้งสาหร่ายทะเลสีเขียว สาหร่ายทะเลสีแดง สาหร่ายทะเลสีน้ำตาล ทั้งนี้ชายฝั่งทะเลของ จ. กระบี่ ภูเก็ต และสตูล เป็นแหล่งของสาหร่ายสาย หรือสาหร่ายขนนก โดยปัจจุบันสาหร่ายทะเลกำลังเป็นที่นิยมนำมาบริโภคเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ สาหร่ายจึงกลายเป็นสินค้าส่งออกที่มูลค่าสูง อีกทั้งสาหร่ายทะเลในประเทศไทยมีเป็นจำนวนมากและนำมาบริโภคได้ เช่น สาหร่ายผมนาง สาหร่ายขนนก ฯ

ในประเทศไทยพบสาหร่ายสกุล *Caulerpa* บนก้อนหินและซากปะการังในเขตนำขึ้นน้ำลง หรือในคลองสาขาป่าชายเลน ตามพื้นโคลนหรือโคลนปนทราย และอาจพบตามรากพืชป่าชายเลน เช่น แสม โกงกาง ฯ พบในบริเวณที่น้ำทะเลค่อนข้างใส มีความลึกประมาณ 2-5 เมตร ท้องน้ำมีทราย น้ำสะอาดและคลื่นลมไม่รุนแรง สาหร่ายชนิดนี้มีการเจริญเติบโตหนาแน่นในบริเวณที่มีปริมาณสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน (แอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท) และธาตุอาหารอนินทรีย์อื่นสูง มีช่วงความเค็มของน้ำค่อนข้างแคบ โดยสามารถเจริญเติบโตได้ในช่วงความเค็ม 30-40 ppt การพบสาหร่ายขนนกในทะเลสามารถบ่งชี้คุณภาพน้ำได้ เพราะสาหร่ายชนิดนี้จะขึ้นในน้ำที่สะอาดเท่านั้น

ตรวจเอกสาร

สาหร่าย *Caulerpa racemosa*

สาหร่าย *Caulerpa racemosa* เป็นสาหร่ายทะเลสีเขียวที่มีทัลลัสตั้งตรงจากพื้นคล้ายขนนก สูง 10-15 ซม. มีสีเขียวสดขึ้นบนพื้นกรวดปนทรายและโคลน (Lewmanomont and Ogawa, 1995) สาหร่ายชนิดนี้มีการบริโภคในรูปแบบสดเป็นผักสลัด หรือผักเครื่องเคียงกับน้ำพริก (อรกัญญาและคณะ, 2551) สาหร่ายที่นำมาบริโภคส่วนใหญ่เก็บเกี่ยวจากแหล่งธรรมชาติ โดยชาญยุทธ (2551) ทำการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการในสาหร่าย *Caulerpa racemosa* และผลิตภัณฑ์ พบว่ามีคุณค่าทางโภชนาการดังตารางที่ 1 สารอาหารที่สำคัญอื่นในสาหร่ายได้แก่ คลอโรฟิลล์ และเม็ดสี เบต้า-แคโรทีน รวมทั้งแร่ธาตุซึ่งเป็นแหล่งอาหารที่ดี และมีฤทธิ์ทางชีวภาพ ดังนั้นสาหร่ายหลายชนิดจึงใช้ผสมในอาหารเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการได้

จังหวัดในพื้นที่ภาคใต้จะเรียกว่า สาหร่ายขนนก หรือสาหร่ายสาย พบมากในช่วงฤดูแล้ง เดือนมีนาคม – พฤษภาคม และจะเริ่มลดลงเมื่อเข้าหน้าฝน ในช่วงเดือน มิถุนายน – ตุลาคม ทั้งนี้จากการตรวจวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารของสาหร่ายขนนกของ มัณฑนา นวลเจริญ หัวหน้าโครงการวิจัยการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสายมหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต พบว่า สาหร่ายมีปริมาณ ไขมัน โปรตีน เกลือ กากใย เท่ากับร้อยละ 0.08, 1.42, 2.60, 0.30 และฟอสฟอรัส 39.61 มิลลิกรัม ทั้งนี้สามารถนำสาหร่ายมาแปรรูปได้หลากหลาย เช่น ยำสาหร่าย ไอศกรีมสาหร่าย คุกกี้สาหร่ายและน้ำสาหร่าย (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2553)

สาหร่ายขนนกมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่โดดเด่นนอกจากที่กล่าวมา คือมีสารต้านอนุมูลอิสระป้องกันมะเร็ง มีวิตามินที่สำคัญ เช่น วิตามินเอ วิตามินบี วิตามินซี วิตามินดี วิตามินอี และวิตามินเค มีแร่ธาตุไอโอดีน แมกนีเซียมช่วยในการทำงานของระบบประสาทและกล้ามเนื้อ มีแคลเซียมบำรุงกระดูก โปตัสเซียมควบคุมสมดุลน้ำของร่างกาย แร่ธาตุเหล็กและทองแดงช่วยในการสร้างเม็ดเลือด สังกะสีช่วยเสริมภูมคุ้มกัน และมีกรดอะมิโนหลายชนิดที่พืชบกไม่มี ซึ่งมีฤทธิ์ในการรักษาลำไส้และตับอักเสบ (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2553)

ตารางที่ 1 ร้อยละของคุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายพวงองุ่น และผลิตภัณฑ์

สาหร่าย	คาร์โบไฮเดรต	โปรตีน	ไขมัน	ความชื้น	เถ้า
สด	2.27	0.94	-	93.2	3.59
อบแห้ง	49.49	18.5	5.26	9.57	17.18
ข้าวเกรียบผสมสาหร่าย	53.86	12.69	27.07	4.12	2.26
คุกกี้ผสมสาหร่าย	61.1	7.81	27.39	2.24	1.46

องค์ประกอบทางเคมีในสาหร่าย

คาร์โบไฮเดรต

สาหร่ายประกอบด้วยสารพอลิแซคคาไรด์จำนวนมาก โดยส่วนใหญ่เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์มีการนำสาหร่ายมาใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตไฮโดรคอลลอยด์ เช่น วุ้น และ คาราจีแนน จากสาหร่ายสีแดง สารพอลิแซคคาไรด์นี้ ไม่สามารถย่อยได้ในระบบทางเดินอาหารของมนุษย์ จึงเรียกว่า dietary fibres (Lahaye *et, al*., 1991) สารพอลิแซคคาไรด์ที่พบรองลงมาคือ fucoidans ในสาหร่ายสีน้ำตาล xylans ในสาหร่ายสีแดงและสีเขียว ulvans ในสาหร่ายสีเขียว อาหารสะสมของสาหร่ายสีแดงอยู่ในรูปของแป้งฟลอริเดียน (floridiean starch) นอกจากแป้งแล้วยังสะสมอาหารไว้ในรูปของน้ำตาลฟลอริโคไซด์ (floridoside) ทำหน้าที่เหมือนน้ำตาลซูโครสในพวกสาหร่ายสีเขียวและพืชชั้นสูง จากการเปรียบเทียบปริมาณคาร์โบไฮเดรตและเยื่อใย (fiber) ของสาหร่ายกับพืชอาหารทั่วไป พบว่าสาหร่ายมีปริมาณเยื่อใยที่ละลายน้ำ (suluble fiber) และเยื่อใยที่ไม่ละลายน้ำ (insoluble fiber) สูงกว่าพืชอาหารทั่วไปบางชนิด (Burtin, 2003; MacArtain *et,al.,* 2007)

โปรตีน

สาหร่ายมีปริมาณโปรตีนมาก ประมาณร้อยละ 5-15 ของน้ำหนักแห้ง สาหร่ายสีแดงบางชนิด เช่น *Palmaria palmate* (dulse) และ *Porphyra tenera* (nori) มีปริมาณโปรตีนสูงถึงร้อยละ 35-47 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ใกล้เคียงเท่ากับโปรตีนจากถั่วเหลือง (ร้อยละ 35 ของน้ำหนักแห้ง) (MacArtain *et, al*., 2007) ซึ่งปริมาณโปรตีนและกรดอะมิโนแตกต่างกันไปตามฤดูกาล และสายพันธุ์ โดยเฉพาะกรดอะมิโนกลูตามิกและแอสปาร์ติก สามารถพบได้ในสาหร่ายเกือบทุกสายพันธุ์ พบมากที่สุดในสาหร่ายสีน้ำตาลรองลงมาคือสาหร่ายสีแดง กรดอะมิโนทั้งสองชนิดนี้มีบทบาทในการเสริมรสชาติทำให้เกิดรสอร่อย หรือ รสอุมามิ ส่วนกรดอะมิโนที่จำเป็นที่พบในสาหร่าย ได้แก่ ฮิสติดีน ลิวซีน ไอโซลินซีน และ วาลีน แต่พบ ซิสทิอีนในปริมาณต่ำ (Fleurence, 1999)

ไขมัน

สาหร่ายประกอบด้วยไขมันเพียงร้อยละ 1-5 ของน้ำหนักแห้ง กรดไขมันที่พบในสาหร่ายมีทั้งกรดไขมันอิ่มตัว (saturated monounsaturated) และกรดไขมันไม่อิ่มตัว (polyunsaturated fatty acid) ในอัตราส่วนต่างกัน โดยกรดไขมันอิ่มตัวที่พบมากที่สุดคือ palmitic acid รองลงมาคือ myristic acid แต่พบ pentadecanoic acid และ heptadecanoic acid ปริมาณน้อย และปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวในสาหร่ายสีแดงมากกว่าสาหร่ายสีน้ำตาล กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวที่พบมากในสาหร่ายคือ oleic acid ส่วน palmitoleic acid พบในปริมาณต่ำ ปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวในสาหร่ายสีแดงเท่ากับหรือมากกว่าสาหร่ายสีน้ำตาล ส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนที่พบส่วนใหญ่อยู่ในรูปกรดไขมันสายยาวมีมากถึงร้อยละ 90 ของกรดไขมันทั้งหมด และไม่พบกรดไขมันสายสั้นในสาหร่ายแต่ละสายพันธุ์ นอกจากนี้สาหร่ายยังประกอบด้วยกรดไขมันจำเป็นเช่น omega-3 และ omega-6 มีสมบัติในการป้องกันโรคเส้นเลือดหัวใจอุดตัน โรคไขข้ออักเสบ และโรคเบาหวาน ในสาหร่ายสีเขียวพบในรูป alpha linolenic acid ส่วนในสาหร่ายสีแดงและสีน้ำตาล พบอยู่ในรูปของ eicosapentanoic acid และ arachidonic acid (Burtin, 2003; MacArtain *et, al*., 2007)

แร่ธาตุและวิตามิน

สาหร่ายประกอบด้วยแร่ธาตุหลายชนิด ที่สำคัญ ได้แก่ แคลเซียม โปแตสเซียม แมกนีเซียม โซเดียม คอปเปอร์ เหล็ก ไอโอดีน และสังกะสี โดยเฉพาะแคลเซียมและไอโอดีน มีปริมาณมากกว่าพืชอาหารทั่วไป ปริมาณของแร่ธาตุนี้ขึ้นกับสิ่งแวดล้อมและสายพันธุ์ สาหร่ายบางชนิดมีปริมาณแร่ธาตุถึงร้อยละ 36 ของน้ำหนักแห้ง ทั้งนี้ไอโอดีนและแมกนีเซียมเป็นแร่ธาตุที่สำคัญพบมากในสาหร่ายสีน้ำตาล จึงนำสาหร่ายสีน้ำตาลมาใช้ในการรักษาโรคไทรอยด์ (Suzuki *et, al*., 1965) สาหร่ายยังเป็นแหล่งของแคลเซียมที่ดี เนื่องจากปริมาณแคลเซียมในสาหร่ายสูงถึงร้อยละ 7 ของน้ำหนักแห้ง และอาจมากกว่าในสาหร่ายบางชนิด (Burtin, 2003)

วิตามินที่พบในสาหร่ายได้แก่ วิตามิน B1, B2, B3, B6, B8, B9, B12, วิตามินซี และวิตามินอี อาจมีปริมาณแตกต่างกันในสาหร่ายแต่ละสายพันธุ์ วิตามินซีมีสมบัติช่วยให้ระบบภูมิคุ้มกันดีขึ้น ช่วยดักจับอนุมูลอิสระ และเสริมสร้างการสร้างวิตามินอี ส่วนวิตามินอีมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระพบมากที่สุดในสาหร่ายสีน้ำตาล โดยพบในรูป alpha, beta และ gamma tocopherol ซึ่งช่วยในการป้องกันการเกิดโรคเส้นเลือดหัวใจอุดตัน (Burtin, 2003) ส่วนวิตามินบี 12 ช่วยป้องกันการแก่ของเซลล์ ใช้รักษาโรคอ่อนเพลียเรื้อรัง และมะเร็งเม็ดเลือดขาว สาหร่ายได้ชื่อว่าเป็นแหล่งของวิตามินบี (MacArtain *et, al*., 2007)

ความรู้เกี่ยวกับพอลิแซ็กคาไรด์

พอลิแซ็กคาไรด์เป็นคาร์โบไฮเดรต ประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวมากกว่า 10 โมเลกุล เชื่อมต่อด้วยพันธะไกลโคไซดิก(glycosidic bond) ซึ่งการเชื่อมต่อของโมเลกุลมอโนแซ็กคาไรด์ และจำนวนกิ่งก้านจะต่างกันไปตามชนิดโครงสร้างของพอลิแซ็กคาไรด์ (Yang and Zhang, 2008) นิธิยา (2553) กล่าวว่า พอลิแซ็กคาไรด์ที่พบในธรรมชาติมีโมเลกุลขนาดใหญ่และมีน้ำหนักโมเลกุลสูง เป็นสารประกอบที่มีรูปร่างไม่แน่นอน (amorphous) ไม่มีสี ส่วนใหญ่ไม่มีรสชาติ เมื่อละลายน้ำจะได้สารละลายคอลลอยด์ และสกัดแยกออกมาทำให้บริสุทธิ์ได้ยาก พอลิแซ็กคาไรด์ส่วนใหญ่ มีหน้าที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในโครงสร้างของเซลล์พืชและสัตว์ เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และเพกทิน เป็นองค์ประกอบอยู่ในผนังเซลล์ของพืช

พอลิแซ็กคาไรด์สามารถจำแนกได้หลายแบบ หากจำแนกออกตามลักษณะโครงสร้างของโมเลกุลได้เป็น 3 กลุ่ม (นิธิยา, 2553) ได้แก่

1. โฮโมพอลิแซ็กคาไรด์ (homo polysaccharide) เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ ที่ในโมเลกุลประกอบด้วยมอโนแซ็กคาไรด์เพียงชนิดเดียวเท่านั้น เช่น แป้ง ไกลโคเจน เซลลูโลส และอินนูลิน
2. เฮเทอโรพอลิแซ็กคาไรด์ (hetero polysaccharide) เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่ในโมเลกุลประกอบด้วยมอโนแซ็กคาไรด์ตั้งแต่ 2 หรือมากกว่า 2 ชนิด เช่น เพกทิน กัม มิวซิเลจ เฮมิเซลลูโลส และเรซิน
3. สารประกอบคอนจูเกต (conjugated compounds) เป็นพอลิแซ็กคาไรด์บางชนิดที่เกาะรวมอยู่กับสารอื่น เช่น รวมกับลิพิดเป็นไกลโคลิพิด หรือรวมกับโปรตีนเป็นไกลโคโปรตีน เป็นต้น

พอลิแซ็กคาไรด์จากสาหร่ายทะเลมีสมบัติเด่นด้านเภสัชกรรมหลายอย่าง เช่น ยับยั้งเนื้องอก เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ป้องกันเลือดจับตัวเป็นก้อน ลดน้ำตาลในเลือด ควบคุมไขมันในเลือด เป็นต้น จากคุณสมบัติเหล่านี้จึงนำไปสู่การใช้ยาเป็นยาใหม่ได้ (Wang and Hu, 2002) ผนังเซลล์ของสาหร่ายประกอบด้วยพอลิแซ็กคาไรด์จำนวนมาก โดยเฉพาะกลุ่ม sulphated polysaccharides มีคุณสมบัติในการต้านไวรัสได้ (Ghosh *et al*., 2004)

พอลิแซ็กคาไรด์จากสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว

สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว สามารถผลิตพอลิแซ็กคาไรด์ได้ (Slodki, 1987) 3 กลุ่ม (Painter, 1983) คือ เก็บไว้ภายในแซลล์ (storage) นำไปใช้ในการห่อหุ้มเซลล์ (cell envelope) และการปล่อยออกนอกเซลล์ (exocellular polysaccharide) ซึ่งพอลิแซ็กคาไรด์ที่ปล่อยออกนอกเซลล์ของสาหร่ายมีความสำคัญหลายอย่าง การใช้ประโยชน์จาก *Nostoc* มีหลากหลาย รวมทั้งมีการทดลองบริโภคเพื่อใช้เป็นแหล่งอาหาร (Lund and Lund, 1995) Chu และ Tsang (1988) รายงานว่ามีการใช้ *Nostoc* เป็นอาหารในประเทศจีนมาเป็นเวลานาน เช่น *Spilulina* เป็นแหล่งของวิตามินบี 12 รวมทั้งวิตามินบี 1 บี 2 และบางชนิดสามารถผลิตวิตามิน เอ ยิ่งกว่านั้น สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว ยังผลิตสารประกอบทางเคมี เช่น phycobilliprotein phosphoreseent dyes (Gudin and Thepenier, 1986)

Huang *et,al* (1998) ศึกษาองค์ประกอบของพอลิแซ็กคาไรด์จากกลุ่มเซลล์ของ *Nostoc* ทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ *N.commune. N.shareoides* และ *N.flagelliforme* ที่เจริญเติบโตในธรรมชาติและที่ได้จากการเพาะเลี้ยง พบว่าองค์ประกอบหลักของสารพอลิแซ็กคาไรด์จากกลุ่มเซลล์ของ *Nostoc* ทั้ง 3 ชนิดที่เก็บจากแหล่งธรรมชาติ ได้แก่ กลูโคส ไซโลส และกาแลคโตส ในสัดส่วน 2:1:1 ทั้งยังพบว่ามีแมนโนสในระดับต่ำ และมีความแปรปรวนระหว่างชนิดและพบว่าใน *N.flagelliforme* เท่านั้น ที่มีน้ำตาลอะราบิโนส ส่วนองค์ประกอบของพอลิแซ็กคาไรด์ที่ได้จากอาหารเพาะเลี้ยงเหลวและจากเซลล์สาหร่ายที่ได้จากการเพาะเลี้ยง พบว่าความซับซ้อนมากกว่าตัวอย่างที่เก็บจากธรรมชาติ และมีความแปรปรวนระหว่างชนิด (Huang *et,al*., 1998)

พอลิแซ็กคาไรด์จากสาหร่ายสีเขียว

สาหร่ายสีเขียวมีหลายกลุ่ม ทั้งนี้มีการศึกษา cell wall polysaccharide ของสาหร่ายผักกาดทะเล (*Ulva rigida*) ซึ่งมุ่งเน้นไปที่คุณสมบัติทางเคมีกายภาพ และคุณสมบัติทางชีวภาพ เพื่อนำคุณสมบัติที่น่าสนใจมาประยุกต์ใช้ทางด้านอาหาร เภสัชกรรม เกษตรกรรมและทางเคมี สาหร่ายผักกาดสามารถสังเคราะห์ water-soluble polysaccharide ซึ่งเรียกว่า ulvan (Ray and Lahaye, 1995) ซึ่งมีสมวัติด้นเคมีกายภาพและชีวภาพที่น่าสนใจ (Lahaye and Robic, 2007) เช่น สมบัติด้านการแข็งตัวของเลือด (Zhang *et al*., 2008) ต้านอนุมูลอิสระ (Morelli and Chiellini, 2010) เปฌนต้น พอลิแซคคาไรด์ชนิดนี้เป็น water-soluble dietary fiber ซึ่งไม่สามารถย่อยด้วยเอนไซม์ในลำไส้มนุษย์

สาหร่ายขนนก *Caulerpa racemosa* เป็นสาหร่ายสีเขียว ใน family Caulerpaceae สาหร่ายชนิดนี้ประกอบด้วย พอลิแซคคาไรด์ที่มีคุณสมบัติด้าน immunomodulatory effects 9อ T lymphocyte subgroup และ natural killer cell ในหนู (Tuo et al., 2007) ซึ่ง natural killer cell จะมีหน้าที่ในการยับยั้งเนื้องอกและเซลล์ที่ถูกจับโดยไวรัส อีกทั้งสารสกัดด้วยน้ำร้อนของสาหร่าย *Caulerpa racemosa* จะได้พอลิแซคคาไรด์ 3 กลุ่มคือ sulfated heteropolysacchrides, Xyloglucans และ skeletal xylans นอกจากนี้ยังพบว่า sulfated heteropolysacchrides มีคุณสมบัติในการยับยั้งไวรัส

วิธีการสกัดพอลิแซ็กคาไรด์

การสกัดด้วยเอทานอล 80%

นำพอลิแซ็กคาไรด์แห้ง มาสกัดด้วยเอทานอล 80 เปอร์เซ็นต์ (ปริมาตรต่อปริมาตร) โดยใช้เอทานอล 40 มิลลิลิตรต่อกรัมสาหร่ายแห้ง นำมาสกัดที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ทำการสกัดซ้ำ 2 ครั้ง โดยใช้เวลาในการสกัด 3 และ 1 ชั่วโมง ตามลำดับ กวนตลอดเวลาที่สกัดแล้วกรองสารละลายผ่าน glass – fiber นำสารละลายที่ได้จากการสกัดทั้งหมดมารวมกัน หาปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์ทั้งหมดด้วยวิธี Phenol-sulfuric acid (Dubois *et,al*., 1956) จากนั้นทำไดอะไลซ์ ในน้ำกลั่น 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส ปั่นเหวี่ยงที่ 4,000 รอบต่อนาที นาน 10 นาที เก็บส่วนใสนำไปทำแห้ง

การสกัดด้วยน้ำร้อน

เปลี่ยนตัวทำละลายเป็นน้ำร้อนอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส โดยใช้น้ำร้อน 100 มิลลิลิตรต่อกรัมสาหร่ายแห้ง ส่วนพอลิแซ็กคาไรด์ที่ปล่อยออกนอกเซลล์ที่ทำแห้งแข็ง ใช้น้ำร้อน 100 มิลลิลิตรต่อพอลิแซ็กคาไรด์แห้ง

สารต้านอนุมูลอิสระ

สารต้านออกซิเดชัน หรือสารต้านอนุมูลอิสระในร่างกายสิ่งมีชีวิต มีการจำแนกได้หลายกลุ่ม ตัวอย่างที่พบ คือกลุ่มเอนไซม์ (enzyme) เช่น catalase, glutathione peroxidase และ superoxide dismutase รวมทั้งสารกลุ่มโปรตีนหรือสารประกอบโปรตีนบางอย่างเช่น glutathione, urate, bilirubin, ubiquinol, albumin, ceruloplasmin และ transferrin เป็นต้น ซึ่งสารเหล่านี้ทำหน้าที่ในการควบคุมอนุมูลอิสระให้อยู่ในระดับที่สมดุลแต่หากมีอนุมูลอิสระเกิดขึ้นในปริมาณที่มากเกินกว่าที่ระบบป้องกันจะยับยั้งได้หมด ทำให้ส่งผลต่อสภาวะ oxidative stress ซึ่งทำให้อนุมูลอิสระทำอันตรายต่ออวัยวะและเนื้อเยื่อต่าง ๆ ของร่างกาย หากมีการสะสมในปริมาณมากอาจนำไปสู่ความผิดปกติหรือพยาธิสภาพหลายอย่าง เช่น โรคมะเร็ง โรคหลอดเลือดหัวใจ โรค Parkinson โรค Alzheimer ไขข้ออักเสบ และต้อกระจกเป็นต้น (Ames และคณะ, 1993)

อนุมูลอิสระเป็นสารที่มีอิเล็กตรอนอิสระอยู่ในวงนอกของอะตอม พบว่าสิ่งมีชีวิตทุกชนิดจะพบอนุมูลอิสระของออกซิเจน อย่างเช่น hydroxyl radical ($OH^{\cdot}$), Superoxide anion ($O_2^{\cdot-}$), hydroperoxyl radical ($HOO^{\cdot}$) และ alkoxyl radical ($RO^{\cdot}$) ฯลฯ ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการใช้ออกซิเจนในกระบวนการเมทาบอลิซึมของเซลล์ นอกจากนี้ ปัจจัยภายในจากภาวะแวดล้อมเป็นพิษสามารถเหนี่ยวนำให้เกิดการก่อตัวของอนุมูลอิสระได้เช่นกัน อนุมูลอิสระเป็นสารพิษต่อเซลล์ร่างกาย ถ้ามีมากในเซลล์ก็เป็นอันตรายโดยจะทำลายสารพันธุกรรมดีเอนเอ (DNA) เยื่อหุ้มเซลล์และอื่นๆ อนุมูลอิสระเชื่อว่ามีผลต่อการอักเสบและการทำลายเนื้อเยื่อในระยะสั้น แต่ร่างกายมีกลไกที่จะกำจัดอนุมูลอิสระ ได้แก่ 1) การใช้เอนไซม์ในร่างกาย เช่น Superoxide dismultase และ 2)การไม่ใช้เอนไซม์ เช่น วิตามิน อี เบตาคาโรทีน และ วิตามิน ซี สารที่ทำหน้าที่ในระบบกำจัดอนุมูลอิสระเรียกว่า สารต้านออกซิเดชัน (antioxidants) หากอนุมูลอิสระเกิดขึ้นมากกว่าที่ระบบป้องกันจะยับยั้ง

ได้หมดทำให้เกิดสภาวะ oxidative stress มีผลให้อนุมูลอิสระเข้าทำอันตรายต่ออวัยวะและเนื้อเยื่อในร่างกายจนนำไปสู่ความผิดปกติได้ (Ames และคณะ,1993)

จากการศึกษาพบว่า สารประกอบกลุ่มแทนนิน (tannins) หรือกลุ่ม polyphenols โดยเฉพาะกลุ่มแซนโทนิน (xanthones) และฟลาโวนอยด์ (flavonoids) ซึ่งพบในสารหลายชนิดสามารถออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้ดี ทั้งการทดลองในหลอดทดลองและในสัตว์ทดลอง (Rice-Evans และคณะ, 1996) นอกจากนี้ยังมีรายงานการสังเคราะห์สารกลุ่ม phenolic propyl gollate, 2-butylated hydroxyanisole, 3-butylate hydroxyanisole, butylated hydroxytoluene และ tertiary butyhydroquinone ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของไขมัน แม้ว่าสารสังเคราะห์มีประสิทธิภาพและความคงตัวสูงกว่าสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ แต่ยังมีข้อกังขาในแง่ความปลอดภัยในการบริโภค (Yang และคณะ, 2000) แตกต่างจากสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติที่มีความเชื่อมั่นว่าปลอดภัยกว่า สารต้านอนุมูลอิสระเหล่านี้สามารถพบได้ทั่วไปในจุลชีพ สัตว์ และพืช โดยเฉพาะกลุ่ม polyphenols ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการดักจับอนุมูลอิสระชนิดต่างๆ (Van Acker และคณะ, 2000)

วิธีการวิเคราะห์กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ

การตรวจวัดกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ สามารถทำได้หลายวิธี โดยที่ทุกวิธีต้องระบบของอนุมูลอิสระ (Free radical) และสารตั้งต้น (Substrate) ที่จะถูกเปลี่ยนแปลงไปโดยวิธีการกระทำของอนุมูลอิสระ ขึ้นอยู่กับการเลือกชนิดของตัวกำเนิดอนุมูลอิสระ และชนิดของตัวตรวจวัดอนุมูลอิสระ สำหรับการวิเคราะห์ความสามารถในการทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระนิยมใช้ 2 วิธีขึ้นไป เพื่อเป็นการยืนยันประสิทธิผลของการวิเคราะห์ (ประสาร, 2547)

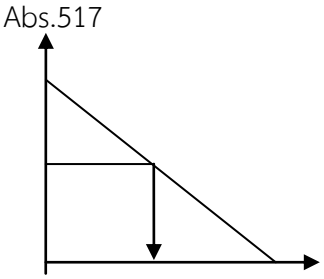
1. วิธี DPPH (Leong and Shui, 2002)

DPPH เป็นอนุมูลอิสระที่เสถียรและมีสีม่วง มีค่าการดูดกลืนแสงในช่วง 515-517 นาโมเมตร เมื่ออนุมูลอิสระ DPPH ได้รับอิเล็กตรอนจะกลับคืนสู่สภาพปกติซึ่งมีสีเหลือง DPPH เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการประเมินกิจกรรมของสานต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดที่มีคุณสมบัติในการจับอนุมูลอิสระที่ถูกกระตุ้นด้วย Chain-breaking mechanism เช่น สารประกอบ ฟีนอลิคและวิตามินซี (Niki, 1987; Lu and Foo, 2000) นิยมใช้วิธีกันมาก เนื่องจากความคงตัวของ DPPH ทำให้สามารถวิเคราะห์ผลได้ อีกทั้งใช้เวลาน้อยในการทดลอง (ประสาร, 2547)

Suttajitt และคณะ (2007) ทำการประเมินความสามารถในการจับอนุมูลอิสระในพืชพื้นบ้านของไทย 26 ชนิด แบ่งออกเป็นกลุ่มพืชเบอร์รี่และผลไม้ และกลุ่มพืชสมุนไพรและผัก โดยใช้วิธี DPPH Radical-scavenging พบว่าพืชจำพวกเบอร์รี่ และพืชพวกเคี้ยว (chewing plants) เช่น หมาก (Betel nut) ให้ผลของกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระที่ประเมินด้วยวิธี DPPH สูงที่สุด พืชจำพวกเบอร์รี่ที่ใช้เมล็ดในการผลิตไวน์นี้ จะมีปริมาณฟีนอลิคทั้งหมดและฟลาโวนอยด์ทั้งหมดสูงกว่าพืชสมุนไพรและผัก

การคำนวณค่า IC_{50} (Inhibitory concentration at 50%) ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH assay และHydroxyl radical scavenging ทำได้โดยสร้างกราฟระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (แกน Y) กับค่าความเข้มข้นของสารตัวอย่าง (แกนX) ได้สมการส้นตรงที่ใช้ทำนายค่า IC_{50} หรือสามารถหา

ความเข้มข้นที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงของสารตัวอย่างที่ทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระเป็นครึ่งหนึ่งของค่าสูงสุด (50%) (ประสาร, 2547)



การหาค่า IC_{50} (ความเข้มข้นในการยับยั้งร้อยละ 50) ที่มา : (ประสาร สวัสดิ์ซิตัง 2547)

ตัวอย่างการคำนวณหาค่า IC_{50} (ประสาร สวัสดิ์ซิตัง 2547)
จากสมการเส้นตรง $y = ax+c$.....(6)
เมื่อ $x = 0, y = c$
50% ของ $y = c/2 = D$, นำค่า $y = D$ ไปแทนในสมการที่ 6 เพื่อหาค่า x
จะได้ $x = E$
ดังนั้นการหาค่าความเข้มข้นของตัวอย่างที่สามารถยับยั้งการทำงานของอนุมูลอิสระได้ร้อยละ 50 มีค่าเท่ากับ E

ค่า IC_{50} (Inhibitory concentration at 50%) เป็นค่าความเข้มข้นของสารที่สามารถยับยั้งการทำงานของอนุมูลอิสระได้ร้อยละ 50 โดยที่ตัวอย่างใดๆ ที่มีค่า IC_{50} ต่ำ คือใช้ความเข้มข้นน้อยในการยับยั้งอนุมูลอิสระ แสดงว่าตัวอย่างนั้นมีประสิทธิภาพในการยับยั้งอนุมูลอิสระได้ดีกว่าตัวอย่างที่มีค่า IC_{50} สูง หรือที่ต้องใช้ความเข้มข้นมากในการยับยั้ง (สุวัชชัย และคณะ 2547)

2. วิธี ABTS assay (Rice-Evans และคณะ, 1999)

ABTS assay เป็นวิธีการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านสารอนุมูลอิสระโดยใช้รีเอเจนท์ (reagent) คือ 2, 2' –Azino-bis (3-ethylbenzthiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS) ซึ่งเมื่อละลายน้ำจะได้สารละลายสีเขียวอ่อน เมื่อทำให้เกิดเป็น stable radical ในตัวทำละลายน้ำ สารละลายจะมีสีเขียวเข้มของ $ABTS^{+}$ ซึ่งดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 414 นาโนเมตร และมีช่วงการดูดกลืนแสงรองลงมาที่ความยาวคลื่น 645, 734 และ 815 นาโนเมตร ส่วนใหญ่การทดลองจะวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร เพราะปฏิกิริยาจะถูกรบกวนจากภาวะต่างๆ น้อยมาก

ถ้าสารตัวอย่างที่ทดสอบมีความสามารถในการจับกับอนุมูลอิสระได้สูง ความเข้มของสีเขียวจะลดลง โดยรายงานผลการทดลองเป็นค่า IC_{50} ซึ่งหมายถึง ปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระที่ทำให้ความเข้มข้นของ ABTS เหลืออยู่ 50% หรือรายงานผลโดยเปรียบเทียบหาความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระกับสารต้านอนุมูลอิสระมาตรฐาน

ผลิตภัณฑ์ข้าวพอง

ข้าวพอง (Puffed Snacks หรือ Expanded Snacks) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากข้าวหรือแป้งมีลักษณะพองเบา มีรูพรุน และกรอบ อาจเตรียมได้จากข้าวทั้งเมล็ดหรือจากแป้ง โดยที่ข้าวที่ใช้ในการทำให้พอลตัว ควรมีค่าอะไมโลสค่อนข้างต่ำ ในช่วงร้อยละ 5-20 และในการทำให้เกิดการพองตัวเริ่มจากการใช้เทคนิคทำผลิตภัณฑ์ในรูปแบบแห้ง เมื่อต้องการจึงนำมาทอดหรืออบให้พองตัว การพอง

ตัวมีหลักการโดยสรุปได้ 2 แบบ คือ แบบแรกเป็นการทำให้พองตัวในบรรยากาศโดยทำให้น้ำที่มีอยู่ระเหยไปอย่างรวดเร็ว แบบที่ 2 เป็นการลดความดันของอาหารร้อนให้ต่ำลง จนทำให้น้ำในอาหารระเหยออกไป

การผลิตข้าวพองทุกชนิดมีขั้นตอนเหมือนกันคือ การทำให้แป้งสุก การปรับความสุก และการทำให้พองตัว ซึ่งการปรับความชื้นจะทำก่อนและหลังการทำให้สุก การปรับความชื้นก่อนทำสุกเป็นการช่วยให้แป้งสุกได้ง่ายเมื่อได้รับความร้อน ส่วนการปรับความชื้นหลังการทำสุกช่วยให้แป้งพองตัวได้มากขึ้นเมื่อนำมาทอดหรืออบ การปรับความชื้นจะทำเพียงครั้งเดียวในการผลิตแบบ extrusion ซึ่งเป็นการทำให้สุกและพองตัวพร้อมกัน (ณรงค์, 2532)

การแบ่งกลุ่มข้าวพองตามวิธีการพองตัว

1. ข้าวพองที่ผลิตโดยการอัดด้วยความดันสูง เป็นการผลิตโดยใช้เครื่อง extrusion ที่มีการใช้แรงอัดและความร้อนสูง โดยควบคุมอุณหภูมิและเวลาให้เหมาะสม แรงดันที่เกิดจากไอน้ำจะดันให้แป้งพองตัว การที่ไอน้ำระเหยอย่างรวดเร็วพร้อมการลดอุณหภูมิลง ทำให้แป้งที่พองตัวแล้วแข็งตัวและรักษารูปทรงไว้ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีรูพรุนและขนาดเล็ก เนื้อนุ่ม ความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ประมาณร้อยละ2-4 ไม่ควรอบแห้งเกินไป เพราะจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะกรอบร่วนและหืนได้ง่าย

2. ข้าวพองที่ผลิตโดยการอัดแป้งไว้ระหว่างแผ่นโลหะ เป็นวิธีที่นำแป้งที่ผสมแล้วมาวางบนแผ่นโลหะร้อน แล้วกดด้วยแผ่นโลหะอีกแผ่นหนึ่ง การกดแผ่นโลหะจะทำให้เกิดแรงอัดลงบนแป้ง และแรงอัดจะมีมากขึ้นเมื่อน้ำในแผ่นแป้งกลายเป็นไอแทรกอยู่ในเนื้อแป้งนั้น เมื่อยกแผ่นโลหะบนออกความดันไอน้ำจะลดลงทันที เนื่องจากได้ดันแป้งที่หลอมละลายให้พองตัวออกไป เมื่อไอน้ำระเหยไปหมดและอุณหภูมิของแป้งลดลงจะทำให้แป้งแข็งตัวและรักษารูปทรงไว้ได้ การผลิตวิธีนี้ควรใช้แรงกด 100-1,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว หรืออุณหภูมิระหว่าง 150-370 องศาเซลเซียส และกดนาน 1-30 วินาที ความชื้นที่เหมาะสมคือร้อยละ 8-16

3. ข้าวพองที่พองตัวโดยใช้ลมร้อน เป็นวิธีการใช้ลมร้อนทำให้พองตัวได้ 1.5-3.0 เท่า โดยก้อนแป้งจะต้องมีความชื้นร้อยละ 22-27 โดยนำส่วนผสมที่ปั้นเป็นก้อนใส่ลงในหม้อนึ่งความดัน ด้วยไอน้ำที่ความดัน 20 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว นาน 6-30 นาที นำแป้งมานวดและหั่นเป็นแผ่นบาง ทำให้ผิวแข็งโดยใช้ลมเป่าจนกระทั่งความชื้นลดลงเหลือร้อยละ 16-21 นำมารีดเป็นแผ่นบาง นำไปอบที่ 177-400 องศาเซลเซียส นาน 8-35 วินาที ข้าวที่พองตัวแล้วจะมีความชื้นเหลือร้อยละ 3-7 อาจทำให้ลดลงอีกโดยนำไปอบหรือคั่วที่อุณหภูมิ 107-290 นาที นาน 2-10 นาที

4. ข้าวที่พองตัวโดยใช้สุญญากาศ เริ่มจากการทำให้ข้าวอยู่ในสภาพที่เหนียวแข็งก่อน แล้วนำไปใส่ตู้สุญญากาศเพื่อให้พองตัว ขั้นแรกจะเตรียมสารละลายข้นจากน้ำตาล จากนั้นจึงเตรียมของผสมของส่วนที่เป็นของแห้ง นำมาผสมกัน นวดเป็นก้อน นำไปรีดเป็นแผ่นและทำให้เย็น ตัดเป็นชิ้นเล็กๆ ใส่ลงในตู้สุญญากาศ โดยวางบนโลหะที่รักษาอุณหภูมิไว้ที่ 62 องศาเซลเซียส จากนั้นจึงเดินเครื่องสุญญากาศ และรักษาระดับไว้ที่ 29 นิ้วแป้งจะพองตัวจนเป็นก้อนกลมและแห้งสนิท

5. ข้าวที่องตัวโดยไมโครเวฟ การพองตัวโดยความร้อนจากไมโครเวฟ น้ำที่ใส่ลงไปจะต้องกระจายตัวสม่ำเสมอ ปริมาณความชื้นควรควบคุมที่ร้อยละ 12-26 โดยน้ำหนัก เมื่อนำเข้าเครื่องไมโครเวฟ น้ำที่อยู่ในส่วนผสมจะระเหยออกไปทันที และทำให้แป้งพองตัว

6. ข้าวที่พองตัวโดยใช้เตาอบ เป็นวิธีที่เหมาะสำหรับแป้งสุกผงที่ทำจากพืชหัวหรือพืชอื่นๆ ที่มีคุณสมบัติคล้ายกัน แป้งที่ใช้ผลิตควรมีค่า granule swelling power มากกว่า 44 การใช้แป้งสุกจะช่วยให้ค่านี้สูงขึ้น ญี่ปุ่นใช้วิธีการนี้ไปทำข้าวเกรียบแซมเบ้และอาราเร่ โดยส่วนผสมมีความชื้นไม่เกินร้อย

ละ 25 นำมาตัดเป็นแท่งหรือรูปกลมด้วยเครื่องแรงอัดสูง นำไปอบที่อุณหภูมิ 150-260 องศาเซลเซียส นาน 3-15 นาที

7. ข้าวที่พองตัวโดยการทอด ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากวิธีนี้มีหลายชนิด ข้าวพองในกลุ่มนี้ที่รู้จักกัน คือ ข้าวเกรียบต่างๆ โดยเมื่อนำส่วนผสมต่างๆ ผสมเข้ากันดี มีการจับตัวเป็นก้อนและอัดเป็นรูปร่างได้ นำไปนึ่งสุก ลดความชื้นให้เหลือร้อยละ 8 ก่อนนำไปทอดให้พองตัว หรือเก็บไว้ทอดเมื่อจะนำไปรับประทาน

จริยา (2541) เตรียมข้าวพองจากวัตถุดิบข้าวกล้องหักพันธุ์หอมมะลิ ที่เหลือจากขั้นตอนการสีข้าวของโรงสีข้าวในโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา ได้ปริมาณข้าวกล้องหักร้อยละ 85.9 และสิ่งเจือปนอื่น ร้อยละ 14.1 มีสีครีมถึงน้ำตาลอ่อนหรือสีเหลืองหม่น ลักษณะขุ่น ทึบแสง มีองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า เยื่อใย และคาร์โบไฮเดรต ได้ปริมาณร้อยละ 9.61, 9.14, 10.27, 1.29, 3.89 และ 65.80 ตามลำดับ และตรวจไม่พบสารอะฟลาทอกซิน

วิธีการเตรียมข้าวพอง เริ่มจากการนำข้าวมาล้างทำความสะอาด นำมาหุงสุกด้วยหม้อข้าวไฟฟ้า อัตราส่วนข้าวต่อน้ำ เท่ากับ 1:1.3 ทั้งนี้ ข้าว 1 ส่วน เท่ากับน้ำหนัก 175 กรัม และน้ำ 1 ส่วน เท่ากับ 200 กรัม ใช้เวลาหุงระหว่าง 18-22 นาที (งามชื่น, 2531) และนำมาอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส 180 นาที ได้ความชื้นหลังอบแห้งร้อยละ 8.92 นำไปทอดในน้ำมันปาล์มที่ อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที จนผิวด้านนอกพองกรอบ มีสีเหลืองทองจากปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชั่น (Pyler, 1973) จากนั้นซับน้ำมันออก ทำให้เมล็ดที่เกาะกันแตกออกจากกัน ซึ่งเป็นลักษณะที่เกิดง่ายในข้าวเจ้ากล้อง เมื่อความชื้นลดลงมากเพราะเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวทำให้การยึดเกาะติดของข้าวน้อยลง ดังนั้นข้าวพองจึงเป็นเมล็ดไม่เกาะกัน

ผลิตภัณฑ์คุกกี้ข้าวตอกสังข์หยด

ข้าวสังข์หยดพัทลุงจัดเป็นกลุ่มข้าวที่มีสีแดงหรือม่วง มีลักษณะที่สำคัญคือเป็นพันธุ์ข้าวที่ไวต่อช่วงแสง ข้าวเปลือกมีขนาดความยาวเมล็ดเฉลี่ย 9.33 มิลลิเมตร กว้าง 2.11 มิลลิเมตร หนา 1.77 มิลลิเมตร ส่วนขนาดเมล็ดข้าวกล้องมีความยาวเฉลี่ย 6.70 มิลลิเมตร กว้าง 1.81 มิลลิเมตร หนา 1.64 มิลลิเมตร เมื่อสีเป็นข้าวสารจะมีลักษณะสีแดงเข้มปน สีขาวในเมล็ดเดียวกัน เมื่อหุงสุกมีลักษณะนิ่มค่อนข้างเหนียว ลักษณะของเยื่อหุ้มเมล็ดสีแดงเข้ม มีวิตามินบีสูง ซึ่งมีคุณค่าทางโภชนาการที่ดี คุณภาพหุงต้มได้ข้าวหุงสุกนุ่ม และคงสภาพความนุ่มได้นาน เนื่องจากมีปริมาณอะมิโลสต่ำ ร้อยละ 14.25 (ปรีชา, 2548) การที่ข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงมีสีแดงหรือม่วงปนแดง เป็นเพราะมีสารสี หรือรงควัตถุ (pigment) ของแอนโทไซยานินปรากฏอยู่ในเยื่อชั้นนอกของข้าวกล้อง (จำรัส, 2534) สีของข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงนอกจากจะสร้างความสะดุดตาให้แก่ผู้บริโภคแล้ว ยังเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติด้านการต้านอนุมูลอิสระ เป็นกลไกที่ช่วยป้องกันและยับยั้งการเกิดโรค นอกจากนี้ในสารสีพวกแอนโทไซยานินยังประกอบไปด้วยสารต้านอนุมูลอิสระที่ช่วยลดหรือชะลอความแก่ (Min, 2004) นอกจากนี้ในข้าวกล้อง ยังประกอบด้วยวิตามินและแร่ธาตุซึ่งช่วยให้ร่างกายทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ในงานวิจัยพบว่ารำข้าวมีสารแกมมาออริซานอล (gramma orysanol) ซึ่งช่วยลดปริมาณคอเลสเตอรอลในเลือด ในจมูกข้าวมีสารแกมมา อะมิโนบิวทิริก แอซิด ซึ่งเป็นโปรตีนชนิดหนึ่งที่ช่วยบำรุงเซลล์ประสาท (สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, 2548) ดังนั้นการบริโภคข้าวกล้องจึงได้รับคุณค่าทางอาหารของข้าวอย่างครบสมบูรณ์

ข้าวตอก (popped rice) (กษมา และ วรางคณา, 2545)

ข้าวตอกเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากข้าวเปลือกมีการทำกันมาตั้งแต่อดีตในประเทศไทย กระบวนการผลิตเป็นการทำแบบพื้นบ้านไม่ใช้เทคโนโลยีที่ซับซ้อนในการผลิต ขั้นตอนการผลิตสามารถทำได้โดยนำข้าวเปลือกมาคั่วด้วยไฟที่อุณหภูมิประมาณ 240 องศาเซลเซียส เมื่อเมล็ดข้าวเปลือกได้รับความร้อนจะทำให้ส่วนของแป้งที่อยู่ภายในเกิดการเปลี่ยนแปลง ทำให้แป้งสุก เกิดแรงดันเปลือกข้าวทำให้แตกออก มีลักษณะเบา สีขาว เรียก ข้าวตอก (popped rice) การแปรรูปข้าวตอกที่มีอยู่ในท้องตลาด เช่น กระยาสารท นอกจากนี้ยังนำข้าวตอกมาใช้ในงานพิธีการ ข้าวตอกเป็นส่วนของเมล็ดข้าวที่เอาเฉพาะเมล็ดข้าวและแยกเอาเปลือกนอก ดังนั้น ข้าวตอกจึงเป็นส่วนข้าวกล้อง ซึ่งส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ดที่ประกอบด้วยใยอาหารที่ยังมีอยู่ในเมล็ดข้าวตอกจะมีส่วนของใยอาหารสูงกว่าธัญพืชอื่น 2-5 เท่า นอกจากนี้ยังมีโปรตีน ไขมัน วิตามิน และเกลือแร่ อยู่ด้วย (อุลัย, 2544)

คุกกี้ (อุลัย และ ปฏิยุทธ์, 2547)

คุกกี้เป็นผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ที่มีรูปร่างขนาดเล็ก แบนและมีรสหวาน มีรูปร่างและกลิ่นรสต่างๆกันคุกกี้บางชนิดบาง บางชนิดหนา บางชนิดมีสีอ่อน และแก่ ซึ่งได้แบ่งชนิดคุกกี้ตามวิธีการทำแบ่งได้เป็น 6 ชนิด

1) คุกกี้หยอด (dropped cookie) จะมีรูปร่างไม่คงที่และไม่สม่ำเสมอ มีวิธีการทำง่าย โดยหยอดแป้งผสมลงบนถาดให้เป็นรูปร่างต่าง ๆ ตามต้องการ

2) คุกกี้กด (pressed cookie) เป็นคุกกี้ที่เข้มข้นที่สุด ทำด้วยเนย แล้วกดผ่านกระบอกกดคุกกี้ ปริมาณความเหลวควรเพิ่มเล็กน้อยเพื่อให้ส่วนผสมอ่อนตัว และกดง่าย แต่ก็ยังรูปร่างอยู่ได้ในระหว่างการอบ

3) คุกกี้ม้วน ทำจากโดที่ได้นำมารีดเป็นแผ่นแล้วตัดด้วยที่ตัดคุกกี้ เพื่อทำเป็นรูปร่างต่าง ๆหรือม้วนให้เป็นแท่งแล้วตัดตามขวาง

4) คุกกี้แท่ง ทำมาจากโดที่ค่อนข้างแข็ง นำมารีดออกเป็นเส้น ๆ บนถาด ทาด้วยไข่หรือไม่ทาก็ได้ แล้วจึงอบ บางชนิดก็ทาด้วยฟัดจ์ไอซิ่ง แล้วจึงนำมาตัดให้เป็นแท่ง หลังจากน้ำตาลไอซิ่งแห้งดีแล้ว

5) คุกกี้บาร์ (bar cookie) คุกกี้ชนิดนี้มีลักษณะสองอย่างผสมกันคือ มีลักษณะของเค้กและคุกกี้อยู่ในตัวคุกกี้แบบนี้

6.) คุกกี้ปั้น (Moded Cookie) คุกกี้ชนิดนี้มีวิธีการทำคล้ายกับคุกกี้ม้วน มีข้อแตกต่างกันตรงที่คลึงแป้งโดยการใช้ฝ่ามือ หรือเรียกว่าคุกกี้ที่ปั้นด้วยมือ วิธีการคลึง คือใช้แป้งสาลีทาที่มือบางๆ แล้วจึงตักแป้งขนมวางบนฝ่ามือ คลึงเบาๆ ให้หนาตามต้องการแล้วจึงใช้พิมพ์ตัดเป็นรูปร่างต่างๆ หรือปั้นเป็นก้อนกลมแล้วนำไปอบ ถ้าต้องการให้ขนมกรอบร่วน เมื่อปั้นเป็นก้อนกลม แล้วใช้มือชุบแป้งสาลีแตะขนมปังเป็นรูปกากบาท แล้วกดลงบนขนมเบา

วัตถุดิบที่ใช้ในการทำคุกกี้ (จิตธนา และ อรอนงค์, 2541)

1. แป้งเค้ก มีเปอร์เซ็นต์โปรตีนต่ำประมาณร้อยละ 7-9 โม่จากแป้งสาลีชนิดอ่อนมาก ใช้ทำเค้ก คุกกี้ ลักษณะแป้งเมื่อถูด้วยนิ้วมือ จะรู้สึกอ่อนนุ่มเนียน ละเอียด มีสีขาวกว่าแป้งขนมปังและแป้งอเนกประสงค์ เมื่อกดนิ้วลงไปบนแป้ง แป้งจะเกาะรวมกันเป็นก้อนและคงรอยนิ้วมือไว้ แป้งชนิดนี้ใช้สารเคมีทำให้ขึ้นฟูเท่านั้นได้แก่ ผงฟู เบคิงโซดา เป็นต้น

2. ไขมันผสมหรือมาการีน (compound land or magarine) ทำจากไขมันพืชหรือสัตว์ที่นำมาผสมกับนมหรือครีม หรืออาจจะไม่ใส่นม และไขมันสัตว์ ก็ได้เพื่อให้เหมาะสมกับความต้องการในด้านการลดไขมันของผู้บริโภค มาการีนนั้นมีสีขาวและสีเหลือง ผลิตขึ้นมาใช้แทนเนยสดซึ่งในสมัยหนึ่งเกิดการขาดแคลนขึ้น โดยมีการปรับปรุงแต่งให้มีรูปร่างลักษณะและกลิ่นรสใกล้เคียงกับเนยสดมากที่สุด จึงเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า“เนยเทียม” มีลักษณะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง และมีปริมาณไขมันร้อยละ 80-85

3. ไข่ (egg) โดยปกติใช้ไข่ทั้งฟอง ซึ่งจะช่วยเสริมโครงร่างของคุกกี้ไข่แดงจะช่วยสร้างทั้งโครงร่างและอ่อนนุ่มของคุกกี้ เนื่องจากไข่แดงมีไขมันอยู่ด้วย ไข่ขาวจะช่วยสร้างโครงร่างคุกกี้นอกจากนั้นยังช่วยควบคุมความหนืดของโดอีกด้วย

4. น้ำตาล (sugar) โดยมากใช้น้ำตาลทรายละเอียดหรือน้ำตาลไอซิ่ง เพื่อให้ส่วนผสมกระจายทั่วกับส่วนผสมแป้งการใช้น้ำตาลทรายเม็ดหยาบจะทำให้คุกกี้มีเนื้อสัมผัสที่นุ่ม และขยายตัวได้มากกว่าน้ำตาลชนิดละเอียดแต่น้ำตาลละเอียดละลายง่าย และช่วยทำให้โดมีความคงตัวดีขึ้น

5. ผงฟู (baking powder) เป็นสารที่ช่วยให้ผลิตภัณฑ์ขึ้นฟูที่ผลิตขึ้นจากการผสม ของเบคกิ้งโซดาหรือโซเดียมไบคาร์บอเนตกับสารเคมีที่ทำหน้าที่เป็นกรด ซึ่งในการผสมนี้จะเติมแป้งข้าวโพดลงไปด้วยส่วนหนึ่งเพื่อป้องกันมิให้สารทั้งสองชนิดนี้สัมผัสโดยตรง ซึ่งทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีขึ้นได้และแป้งข้าวโพดที่เติมลงไปทำหน้าที่เป็นตัวดูดความชื้นไว้ ทำให้ผงฟู ไม่จับกันเป็นก้อน หน้าที่ต่อผลิตภัณฑ์ คือ ช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีความเบา ขึ้นฟู ง่ายต่อการขบเคี้ยว ผลิตภัณฑ์จะมีลักษณะเนื้อในเป็นรูโปร่ง ดังนั้นน้ำย่อยจึงสัมผัสกับอาหารได้ทั้งหมด ทำให้ย่อยง่ายขึ้น

ขั้นตอนการทำคุกกี้ข้าวตอก (อุลัย และ ปฏิยุทธ์, 2547)

คุกกี้ข้าวตอกจัดอยู่ในประเภทคุกกี้หยอด เนื่องจากเพิ่มข้าวตอกซึ่งมีชิ้นใหญ่ลงไปในผสมทำให้ไม่สามารถใช้กระบอกกดหรือหัวบีบรูปต่าง ๆ ได้ ขั้นตอนในการทำคุกกี้ข้าวตอกมีดังนี้

1. การผสม ใช้วิธีการผสมครั้งเดียว โดยจะตีเนยกับน้ำตาลจนเป็นครีมฟู แล้วจึงเติมไข่ทีละฟอง ตีต่อไปจนเข้ากันดี แล้วจึงใส่แป้งลงไปผสมเบา ๆ เพื่อไม่ให้เกิดการผสมมากเกินไปทำให้เกิดกลูเตนเกิดขึ้นได้ เมื่อเกิดกลูเตนจะทำให้แป้งที่ผสมเหนียวจนเกินไป เมื่อนำไปอบจะทำให้ได้คุกกี้ที่แข็ง วิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายและผสมทีเดียว แต่ก็อาจจะได้โดที่ข้น เมื่อผสมนานเกินไปจะทำให้การขยายตัวของคุกกี้ลดลง สามารถแก้ไขโดยแบ่งน้ำตาลส่วนหนึ่งไว้ขั้นตอนสุดท้ายของการผสม

2. การอบ โดยทั่วไปคุกกี้จะใช้เวลาในการอบสั้น สำหรับคุกกี้ข้าวตอกจะใช้เวลาในการอบ 25-30 นาที เมื่อนำคุกกี้เข้าเตาอบ ด้านนอกของคุกกี้จะเริ่มสุกจึงเกิดลักษณะเป็นฟิล์มแข็ง หรือมีผิวนอกแข็งขึ้น ความร้อนที่ได้รับจากเตาอบจะทำให้ไขมันในคุกกี้ละลาย ทำให้คุกกี้ขยายตัว และเพิ่มปริมาตรขึ้น ช่วงสุดท้ายของการอบคุกกี้จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล เนื่องจากปฏิกิริยาเมล์ลาดของน้ำตาลและโปรตีนทำให้คุกกี้มีสีน้ำตาล กลิ่นหอมและรสชาติดี

3. การทำให้เย็น เมื่อนำคุกกี้ออกจากตู้อบ คุกกี้จะยังร้อน อ่อน และมีความชื้นอยู่มาก ในระหว่างการทำให้เย็นโครงสร้างของคุกกี้จะกลับแข็งขึ้น เมื่อน้ำตาลแข็งตัวและหลังจากนั้นไขมันจะแข็งตัวขึ้นเช่นกัน เนื่องจากไอน้ำภายในจะระเหยออกไป จนถึงจุดสมดุลระหว่างความชื้นภายในและภายนอกของคุกกี้ เพราะถ้าความชื้นไม่สมดุล ก็จะเกิดเป็นรอยเส้นบาง ๆ คล้ายรอยร้าวขึ้นที่ผิวของคุกกี้

ซอส

ซอส (sauce) เป็นสารปรุงรสอาหารชนิดเหลว (สายสนม, 2541) รวมถึงผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสที่มีลักษณะเหลวข้นหรือแห้ง อาจเป็นเนื้อเดียวกันหรือไม่ก็ได้ โดยทั่วไป แบ่งเป็น 2 ชนิด

1. ซอสชนิดใส คือซอสที่มีน้ำปริมาณมาก เช่น ซอสถั่วเหลือง ซอสปรุงรส ฯ
2. ซอสข้น รวมถึงซอสที่ทำจากพืช มีผัก ผลไม้เป็นส่วนประกอบทำให้มีลักษณะข้น เช่น ซอสมะเขือเทศ ซอสพริก ฯ ซอสข้นมักปรุงรสจัด และส่วนมากมีรสเปรี้ยว และมีกลิ่นหอมกลมกลืนกัน

การแบ่งซอสตามหลักเกณฑ์ของสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาในประเทศไทย แบ่งได้ 2 กลุ่ม ได้แก่

1. ซอสที่ได้กำหนดมาตรฐาน ได้แก่ซอสพริก ซอสมะเขือเทศอซอสมะละกอ ซอสแป้งหรือซอสแป้งผสมสี รวมทั้ง ซอสถั่วเหลือง ซีอิ้ว น้ำปลา ซึ่งจัดเป็นอาหารควบคุมเฉพาะหรือไม่ก็เป็นอาหารกำหนดมาตรฐาน จึงต้องเครื่องหมาย อย. และต้องส่งตัวอย่างวิเคราะห์ตามคุณภาพหรือมาตรฐานที่กำหนดไว้ในประกาศกระทรวงสาธารณสุข
2. ซอสที่ยังไม่ได้กำหนดมาตรฐาน ได้แก่ น้ำจิ้มทุกชนิด ซอสเปรี้ยว ซอสหวาน น้ำสลัด วูสเตอร์ซอส ฯ จัดอยู่ในกลุ่มอาหารพร้อมบริโภค ต้องขอเครื่องหมาย อย. แต่ไม่ต้องส่งตัวอย่างอาหารตรวจวิเคราะห์

เครื่องปรุงรสพื้นฐานของซอส นอกเหนือจากวัตถุดิบแล้วยังมีองค์ประกอบอื่นดังนี้

1. พริก ต้องเป็นพริกที่สุกแดงจัดทั้งผล นิยมใช้พริกชี้ฟ้า
2. กระเทียม ควรใช้กระเทียมขนาดเล็ก เพราะกลิ่นรสฉุนและแรงมากกว่ากระเทียมใหญ่
3. น้ำตาลทราย ควรเลือกใช้น้ำตาลทรายที่ผ่านการฟอกสีและปราศจากสิ่งปนเปื้อนต่างๆ (กล้าณรงค์, 2532) การเติมน้ำตาลเร็วเกินไปจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีคล้ำ
4. น้ำส้มสายชู ควรใช้น้ำส้มสายชูหมัก เนื่องจากกลิ่นหอม และรสชาติดี (Lopez, 1975)
5. เกลือ ต้องมีความสะอาดเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกลือบริโภค
6. สารที่ทำให้อยู่ตัว ช่วยป้องกันการแยกชั้นของซอส เช่น แป้งสาลี แป้งข้าวโพดฯ
7. เครื่องเทศ ได้แก่ อบเชย กระวาน กานพลู ลูกจันทร์ ฯ คุณภาพดี ไม่มีโลหะหนักปน

จิราภรณ์ (2549) พัฒนาผลิตภัณฑ์ซอสสาหร่ายข้นปรุงรส โดยศึกษาชนิดสาหร่ายที่เหมาะสมในการผลิตซอสจากสาหร่าย 3 ชนิด คือ สาหร่ายใบ สาหร่ายกลวง และสาหร่ายไก และศึกษาค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) 2.0-6.50 อุณหภูมิและเวลาในการเคี่ยวที่ 70 และ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2-3 ชั่วโมง พบว่า ผลิตภัณฑ์จากสาหร่ายสายใบ ได้รับคะแนนความชอบสูงกว่าผลิตภัณฑ์จากสาหร่ายชนิดอื่น สภาวะที่เหมาะสมในการเคี่ยวคือ ค่า pH 5 มีค่าความหนืดสูงที่สุด ส่วนการเคี่ยวที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าความหนืดสูงและได้รับความชอบรวมสูงสุด

โจ๊ก

โจ๊กจัดเป็นอาหารกึ่งสำเร็จรูป หมวดควบคุมเฉพาะ ต้องมีคุณภาพมาตรฐานตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 88 (2528) คือ ไม่มีกลิ่นหืน มีความชื้นไม่เกินร้อยละ 10 ของน้ำหนัก โปรตีนไม่น้อยกว่าร้อยละ 8 ของน้ำหนัก ไม่มีเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้ก่อโรค และไม่มีสารพิษจากเชื้อจุลินทรีย์ในปริมาณที่อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพ มีแบคทีเรียและเชื้อราในปริมาณไม่เกินเกณฑ์ที่

กำหนดตามประกาศฯ ผลิตภัณฑ์โจ๊กที่มีจำหน่ายส่วนใหญ่ ประกอบด้วยข้าวขาวบดอบแห้ง ทำให้ได้สารอาหารหลักคือคาร์โบไฮเดรต ส่วนผสมอื่น ได้แก่ โปรตีนถั่วเหลือง เนื้อไก่อบแห้ง ซึ่งให้สารอาหารโปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมันในปริมาณไม่สูงนัก

ดังนั้นการเพิ่มคุณค่าสารอาหารจึงควรมีการเติมเนื้อสัตว์หรือผลิตภัณฑ์ที่ให้โปรตีน เพื่อให้ร่างกายผู้บริโภคได้รับสารอาหารครบถ้วน และการใช้ข้าวกล้อง ซึ่งเป็นข้าวที่จากการกะเทาะเปลือกแข็งที่หุ้มเมล็ดออก จึงทำให้ข้าวมีสารอาหารครบถ้วน มีจมูกข้าวและเยื่อหุ้มเมล็ดที่อุดมไปด้วยวิตามิน แร่ธาตุ และเส้นใยอาหารติดอยู่ จึงให้คุณค่าอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณโปรตีน และใยอาหารในข้าวกล้องและข้าวขาว พบว่า มีค่าเท่ากับร้อยละ 7.1, 2.1 และ 6.7, 0.7 ตามลำดับ (ข้าวกล้องของดีของไทย, 2544) การผลิตโจ๊กกึ่งสำเร็จรูป จะเตรียมจากการนำวัตถุดิบแห้งแต่ละชนิด นำมาผสมแล้วคืนรูปโดยการเติมน้ำและนำไปต้มซึ่งใช้ระยะเวลาสั้นๆ เพียง 1 นาที เริ่มโดยการใช้ปลายข้าวนำมาหุงสุกก่อน เพื่อทำให้การคืนรูปเกิดได้รวดเร็ว ใช้ขิงอ่อนเพื่อให้เคี้ยวได้ง่าย มีเส้นใยน้อย ต้นหอมใช้ทั้งส่วนที่เป็นต้นมีสีขาวและสีเขียวในส่วนของใบ ใช้โปรตีนจากเนื้อสันในไก่ ซึ่งเปื่อยยุ่ยได้ง่าย และคืนรูปเร็ว แม่เพียงการเติมน้ำร้อน ใช้การทำให้แห้งโดยการอบแห้งแบบพาความร้อนแบบถาด ซึ่งมีราคาอุปกรณ์ถูก เหมาะกับการใช้งาน

สารต้านออกซิเดชันจากข้าวและผลิตภัณฑ์ข้าว

เมล็ดข้าวเป็นแหล่งของพลังงาน โปรตีน กากใยอาหาร แร่ธาตุ กรดฟีนอลิก กรดไฟติก ลิกนิน และไฟโตเอสโตรเจน โดยกรดฟีนอลิกที่พบส่วนใหญ่ได้แก่ กรดเฟอรูลิก กรดคูมาริก และกรดวานิลิก พบมากในชั้นรำข้าวของเมล็ดข้าว (Choi *et al.,* 2007*)* Chen และ Bergman (2005) พบว่า รำข้าวมีพฤกษเคมีที่สำคัญในปริมาณสูงได้แก่ วิตามินอี แอลฟาโทโคฟีรอล เบต้าโคโทฟีรอล แกมมาโทโคฟีรอล เดลต้าโทโคฟีรอล และโทโคไตรอินอลเป็นต้น อีกทั้ง Tian *et al*. (2004) ศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในข้าวขาว ข้าวกล้อง และข้าวกล้องงอก พบว่าในข้าวมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่ไม่ละลายน้ำสูงกว่าสารประกอบฟีนอลิกที่ละลายได้ในน้ำ และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่พบในข้าวกล้องงอกและข้าวกล้องมากกว่าของข้าวขาว โดยสารประกอบฟีนอลิกที่ละลายได้ในน้ำส่วนใหญ่พบในข้าวกล้อง นอกจากนี้ในระหว่างการงอกพบว่ามีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเพิ่มมากขึ้น โดยปริมาณกรดเฟอรูลิกเพิ่มขึ้นจาก 0.32 มิลลิกรัม/100กรัมของแป้ง เป็น 0.48 มิลลิกรัม/100 กรัมของแป้ง และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่ไม่ละลายน้ำเพิ่มขึ้นจาก 18.47 มิลลิกรัม/100 กรัมของแป้งเป็น 24.78 มิลลิกรัม/100 กรัมของแป้ง

Choi *et al*. (2007) ศึกษากิจกรรมการต้านออกซิเดชั่นของสารสกัดในเมทานอลจากเมล็ดธัญพืชบางชนิดในประเทศเกาหลี ได้แก่ ข้าวขาว ข้าวดำ ข้าวฟ่างแดง ข้าวกล้อง ถั่วเขียว และข้าวบาร์เลย์ พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในข้าวขาว ข้าวดำ ข้าวฟ่างแดง ข้าวไม่ขัดสี ถั่วเขียว และข้าวบาร์เลย์ เท่ากับ 18 313 733 54 45 และ 50 มิลลิกรัม/100กรัม ตามลำดับ ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมด เท่ากับ 1 77 22 14 102 และ 15 ไมโครกรัม/100กรัม ตามลำดับ และปริมาณแอลฟาโทโคฟีรอลเท่ากับ 0.07 1.24 0.14 0.42 0.05และ 0.2 3มิลลิกรัม/100กรัม ตามลำดับ ส่วน Zhou *et al*. (2004) ได้ทำการทดลองจำแนกประเภทของสารประกอบฟีนอลิกในข้าวจำนวน 3 สายพันธุ์ ได้แก่ Koshihikari Kyeema และ Doongara เปรียบเทียบทั้งข้าวเก่าและข้าวใหม่ พบว่ามีปริมาณกรดเฟอรูลิกสูงในข้าวไม่ขัดสีทั้ง 3 สายพันธุ์ คือ มีปริมาณในช่วง 255-362 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมเมล็ดข้าว และพบกรดคูมาริกในปริมาณ 70-152 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมเมล็ดข้าวซึ่งมากกว่าในข้าวขัดสีที่มีปริมาณกรด

เฟอรูริกเพียง 61-84 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมเมล็ดข้าว และพบว่าข้าวกล้องมีปริมาณกรดฟีนอลิกชิดที่อยู่ภายในโครงสร้างผนังเซลล์ (Bound phenolic acids) ทั้งหมดร้อยละ 80-90ของกรดฟีนอลิกทั้งหมด ส่วนข้าวขาวมีปริมาณกรดฟีนอลิกร้อยละ 53-74 ของกรดฟีนอลิกทั้งหมด แต่เมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในข้าวลดลง และเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 37องศาเซลเซียส ปริมาณสารประกอบ ฟีนอลิกในข้าวจะลดลงเร็วกว่าการเก็บที่ 4 องศาเซลเซียส

Lloyd *et al*. (2004) ศึกษาผลของสารต้านออกซิเดชันในรำข้าวที่ได้จากการขัดสีข้าวหลายขั้นตอน สารต้านออกซิเดชันที่ทำการศึกษาได้แก่ โทโคฟีรอล โทโคไตรอินอลและโอไรซานอล โดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงสารต้านออกซิเดชันในรำข้าว 2 ชนิดตามความยาวของเมล็ด คือ รำข้าวจากข้าวเมล็ดยาวและรำข้าวจากข้าวเมล็ดปานกลาง พบว่า มีปริมาณของโทโคฟีรอลและโทโคไตรอินอลสูงที่สุดในรำข้าวที่ผ่านการสีขั้นตอนที่ 2 จากทั้งหมด 3 ขั้นตอน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ผลที่ได้ยังพบว่ารำข้าวเมล็ดยาวมีปริมาณสารต้านออกซิเดชันประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีมากกว่ารำของข้าวเมล็ดยาวปานกลาง

ความสำคัญ ที่มาและวัตถุประสงค์

สาหร่ายและผลิตภัณฑ์จากสาหร่ายมีบทบาทในชีวิตประจำวันและเศรษฐกิจของประเทศไทยเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เพราะสาหร่ายประกอบด้วยสารอาหารที่มีประโยชน์ โดยจีนเป็นชาติแรกที่ใช้ประโยชน์จากสาหร่ายสำหรับเป็นยาและอาหาร (กาญจนภาชน์, 2527) ส่วนญี่ปุ่นใช้สาหร่ายทะเลเป็นอาหารมาก โดยใช้ในรูปผัก เครื่องปรุงรส เครื่องเคียง ห่อซูชิ นอกจากนั้นยังนำมาใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อาหาร ยา และเครื่องสำอาง ฯลฯ (Burtin, 2003) การบริโภคสาหร่ายจึงส่งผลดีต่อสุขภาพสำหรับประเทศไทยพบสาหร่ายได้ทั่วไปบริเวณภาคใต้ชายฝั่งทะเลอ่าวไทยและอันดามัน ซึ่งสาหร่ายมีสัดส่วนของคุณค่าทางอาหารแตกต่างกันไปในแต่ละกลุ่ม สารอาหารสำคัญที่พบเจอในสาหร่ายได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน กรดอะมิโนจำเป็น กรดไขมันจำเป็น เยื่อใย วิตามินและแร่ธาตุ ซึ่งให้ปริมาณสูงกว่าพืชอาหารที่ปลูกทั่วไป (Burtin, 2003) โดยเฉพาะกลุ่มสาหร่ายสีเขียวสกุล Caulerpa ได้แก่ สาหร่ายเขากวาง *(Caulerpa racemosa)* หรือสาหร่ายพวงองุ่นมีรงควัตถุคาโรทีนอยด์ เช่นเดียวกับในพืชชั้นสูงทั่วไป แต่สาหร่ายประกอบด้วยสารโพลีแซคคาไรด์ และ ไฟเบอร์ชนิดไม่ละลายน้ำปริมาณมาก ซึ่งย่อยในระบบทางเดินอาหารได้น้อย การบริโภคสาหร่ายในรูปสดหรือปรุงอาหาร ทำให้ร่างการรับสารอาหารชนิดอื่นๆ ที่มีในสาหร่ายน้อย ดังนั้นการแปรรูปสาหร่ายให้มีความหลากหลาย เช่น การผลิตโปรตีนไฮโดรไลเซท นอกจากจะทำให้ได้สารอาหารที่มีประโยชน์ เช่น โปรตีนเปปไทด์ กรดอะมิโนจำเป็น และแร่ธาตุจำนวนมากแล้ว โปรตีนไฮโดรไลเซทยังให้กลิ่นรสที่ดีแก่อาหารและสามารถใช้เป็นสารปรุงแต่งกลิ่นรสได้อีกด้วย (Levinson and Basa, 1976) อีกทั้งชาญยุทธ (2551) ได้ทำการแปรรูปสาหร่ายไปเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบและคุกกี้ พบว่าผู้บริโภคให้ความยอมรับผลิตภัณฑ์อยู่ในเกณฑ์ดี

ดังนั้นการวิจัยนี้ จึงสนใจนำสาหร่ายเขากวาง *(Caulerpa racemosa)* มาทำการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ให้หลากหลายขึ้น และทดสอบการยอมรับ รวมถึงวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการและสารทางชีวภาพอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องในผลิตภัณฑ์เหล่านี้เพื่อหาความเหมาะสมในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ต่อไป คาดว่าผลการวิจัยเบื้องต้นจะนำไปสู่การพัฒนาการใช้ประโยชน์จากสาหร่ายชนิดนี้เพิ่มมากขึ้นทั้งในอาหารมนุษย์ เพื่อส่งเสริมอาชีพการเลี้ยงสาหร่ายและการใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์ได้อย่างกว้างขวางขึ้น

วิธีดำเนินการวิจัย

แบ่งการดำเนินการวิจัยออกเป็นขั้นตอน ดังนี้

1. การเตรียมตัวอย่างสาหร่าย

นำสาหร่ายสดที่ได้จากการเก็บตัวอย่าง มาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำประปา แล้วอบให้แห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นนำตัวอย่างมาบดให้ละเอียดด้วยเครื่อง hammer mill ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 40 เมช (ภาพผนวกที่ 1) จากนั้นบรรจุในถุงสุญญากาศ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อรอการวิเคราะห์ โดยการนำกากสาหร่ายที่ได้มาวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพ–ทางเคมี ได้แก่ ลักษณะปรากฏ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า เยื่อใย และคาร์โบไฮเดรต ตามวิธีของ AOAC (2000) สารออกฤทธิ์สำคัญได้แก่ การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลสารอิสระโดยวิธี DPPH radical scavenging assay ตามวิธีของ Fenglin (2004) และคลอโรฟิลล์ เปรียบเทียบกับคุณค่าทางโภชนาการในสาหร่ายแบบสด (ภาพผนวกที่ 1, 7-13)

วิธีการวิเคราะห์

1) โปรตีน โดยวิธี Kjeldahl method (AOAC, 2000)

2) ไขมัน โดยวิธี Soxhlet extraction method (AOAC, 2000)

3) เถ้า โดยวิธี dry ashing method (AOAC, 2000)

4) ความชื้น โดยวิธี Loss on drying at 135°C (AOAC, 2000)

5) เยื่อใย โดยวิธี Glass crucible method (AOAC, 2000)

6) คาร์โบไฮเดรต โดยวิธีการคำนวณ (Calculation)

7) ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และ บี ตามวิธีการ Nayek (2014)

8) ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ โดยการทดสอบความสามารถในการดักจับอนุมูลอิสระ DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging capacity assay) ดัดแปลงจากวิธีการของ Fengiln (2004)

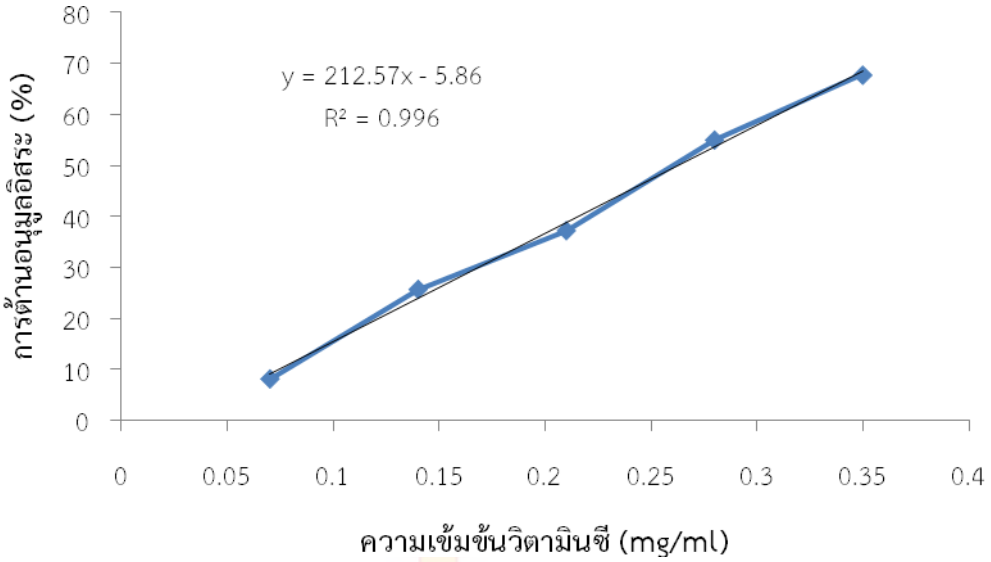
วิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระโดยนำสารสกัดแต่ละชนิดในเมทานอลที่มีความเข้มข้นต่างๆ กัน ปริมาตร 100 ไมโครลิตรแล้วเติมสารละลาย 1 mM DPPH ในเมทานอลปริมาตร 900 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันบ่มที่อุณหภูมิห้องในที่มืดนาน 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ค่าความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร (ภาพผนวกที่ 12) เปรียบเทียบกับชุดควบคุมซึ่ง ใส่เมทานอลเท่านั้นแทนสารสกัดเป็น blank และสารละลาย 10 mM ascorbic acid เป็น positive control การทดลองทำซ้ำ 3 ชุดการทดลอง นำค่าที่วัดได้มาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การดักจับอนุมูลอิสระ DPPH° จากสมการ

$$\% \text{ scavenging} = [(A_{control} - A_{sample}) / A_{control}] \times 100$$

A_{sample} = ค่าการดูดกลืนแสงของชุดทดสอบ

$A_{control}$ = ค่าการดูดกลืนแสงของชุดควบคุม

จากนั้นคำนวณหาค่า IC_{50} (ค่าความเข้มข้นของสารสกัดที่สามารถดักจับอนุมูลอิสระ DPPH° ได้ 50 เปอร์เซ็นต์) จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง % scavenging กับความเข้มข้นของสารละลาย (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 กราฟมาตรฐานสารต้านอนุมูลอิสระ DPPH scavenging activity

วิเคราะห์คลอโรฟิลล์โดยการชั่งตัวอย่างสาหร่าย 0.5 กรัม บดละเอียดด้วยตัวทำละลาย 80% อะซีโตน ปริมาตร 10 มิลลิลิตร แล้วนำไปเซนตริฟิวจ์ ด้วยความเร็ว 10,000 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที นำส่วนใสที่ได้มา 0.5 มิลลิลิตร ผสมกับตัวทำละลาย 80% อะซีโตน ปริมาตร 4.5 มิลลิลิตร วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 663.2 nm และ 646.8 nm (ภาพผนวกที่ 12) นำค่าที่วัดได้มาคำนวณหาปริมาณคลอโรฟิลล์ A และ คลอโรฟิลล์ B จากสมการ

$$\text{คลอโรฟิลล์ A (มิลลิกรัม)} = 12.25A_{663.2} - 2.79A_{646.8}$$

$$\text{คลอโรฟิลล์ B (มิลลิกรัม)} = 21.52.79A_{646.8} - 5.1A_{663.2}$$

$$\text{คลอโรฟิลล์ A หรือ B (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร)} = \frac{C \times v}{dV}$$

เมื่อ : $A_{663.2}$ = ค่า absorbance ที่คลื่นแสง 663.2 นาโนเมตร

$A_{646.8}$ = ค่า absorbance ที่คลื่นแสง 646.8 นาโนเมตร

C = ค่าคลอโรฟิลล์ A หรือ B หน่วยเป็นมิลลิกรัม

v = ปริมาตรของอะซีโตน หน่วยเป็นมิลลิลิตร

V = ปริมาตรของตัวอย่าง หน่วยเป็นลิตร

d = เส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดที่ใช้วัดหาค่า absorbance หน่วยเป็นเซนติเมตร

2. การสกัดโพลีแซคคาไรด์จากสาหร่าย

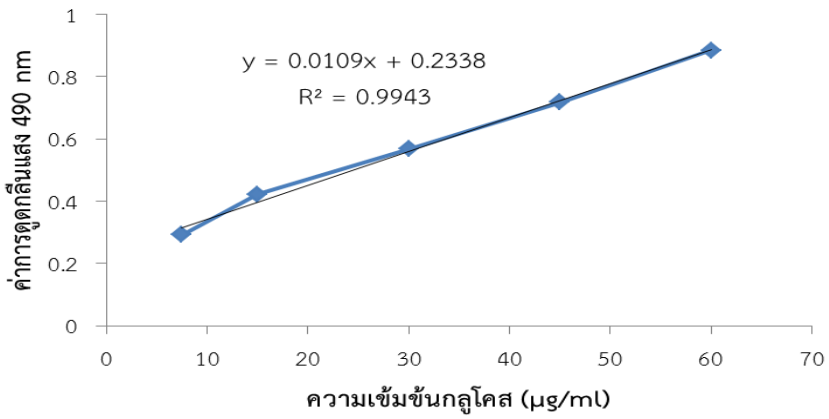
นำสาหร่ายบดแห้ง 16 กรัม ใส่ในขวดฝาเกลียว ปริมาตร 1 ลิตร เติมน้ำกลั่น 800 มิลลิลิตร ให้ความร้อนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ตามวิธีของ Marinho-Soriano (2001) กรองผ่าน nylon filter (รูกรอง 50 มม.) ขณะร้อน ล้างกากสาหร่ายด้วยน้ำร้อน บีบให้แห้ง แล้วนำไป

สกัดซ้ำ นำสารละลายที่ได้จากการสกัดทั้งสองครั้งรวมกัน แล้วทำให้เข้มข้นขึ้นโดยเครื่องระเหยแห้ง (evaporator) ให้เหลือปริมาตรของสารละลาย 1 ใน 4 ส่วนของปริมาตรเดิม ทำการปั่นเหวี่ยงสารละลายที่เหลือด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง ด้วยความเร็ว 4,500 rpm เป็นเวลา 5 นาที เพื่อกำจัดตะกอนของสารปนเปื้อนออก นำสารละลายส่วนใสมาตกตะกอนพอลิแซคคาไรด์ด้วยเอทานอล 95% โดยเติมเอทานอลในอัตราส่วนสารละลายต่อเอทานอล 1:2 โดยปริมาตร แล้วนำไปแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปแช่ที่ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เก็บตะกอนพอลิแซคคาไรด์โดยการปั่นเหวี่ยง ปั่นเหวี่ยงความเร็ว 6,000 rpm เป็นเวลา 10 นาที นำตะกอนที่ได้อบที่ 55 องศาเซลเซียส นำมาวิเคราะห์ร้อยละผลผลิต จากนั้นนำมาบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช (ภาพผนวกที่ 2-3) นำมาวิเคราะห์ลักษณะปรากฏ และวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนในสารละลายส่วนใสที่ได้จากการกรอง ตามวิธี Kjeldahl และวิเคราะห์ปริมาณสารพอลิแซคคาไรด์

2.1 การหาปริมาณพอลิแซคคาไรด์ในสาหร่าย

ศึกษาหาปริมาณพอลิแซคคาไรด์โดยใช้วิธี phenol Sulfuric acid assay (Dubois, 1956) โดยเตรียมตัวอย่างสารสกัดในน้ำกลั่น แช่ในน้ำร้อนอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที เขย่าด้วยเครื่องเขย่าเป็นเวลา 10 วินาที แล้วนำไปหมุนเหวี่ยงที่ 3,000 rpm เป็นเวลา 10 นาที นำตัวอย่างส่วนใสมาใช้ในการวิเคราะห์ (ภาพผนวกที่ 7)

การศึกษาครั้งนี้ใช้กลูโคสเป็นสารละลายมาตรฐาน เตรียมสารละลายมาตรฐาน (stock solution) ความเข้มข้น 150 µg/ml จากนั้นนำสารละลายมาตรฐานที่เตรียมได้มาเตรียมสารละลายมาตรฐานความเข้มข้นต่างๆ โดยใช้ stock solution 50-200 µl ผสมกับ 2.5% phenol ปริมาตร 950-800 µl สำหรับสารละลายตัวอย่าง ดูดสารละลายตัวอย่างมา 200 µl เติมสารละลาย 2.5% phenol ปริมาตร 800 µl จากนั้นเติมกรดซัลฟูริก (conc.H_2SO_4) ปริมาตร 2.5 ml นำไปเขย่าให้เข้ากันด้วย vortex mixer ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นนำไปวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 490 nm. คำนวณปริมาณสารพอลิแซคคาไรด์ที่ได้ โดยการเปรียบเทียบกับกราฟของสารละลายมาตรฐาน (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 กราฟมาตรฐานกลูโคสในการหาปริมาณพอลิแซคคาไรด์

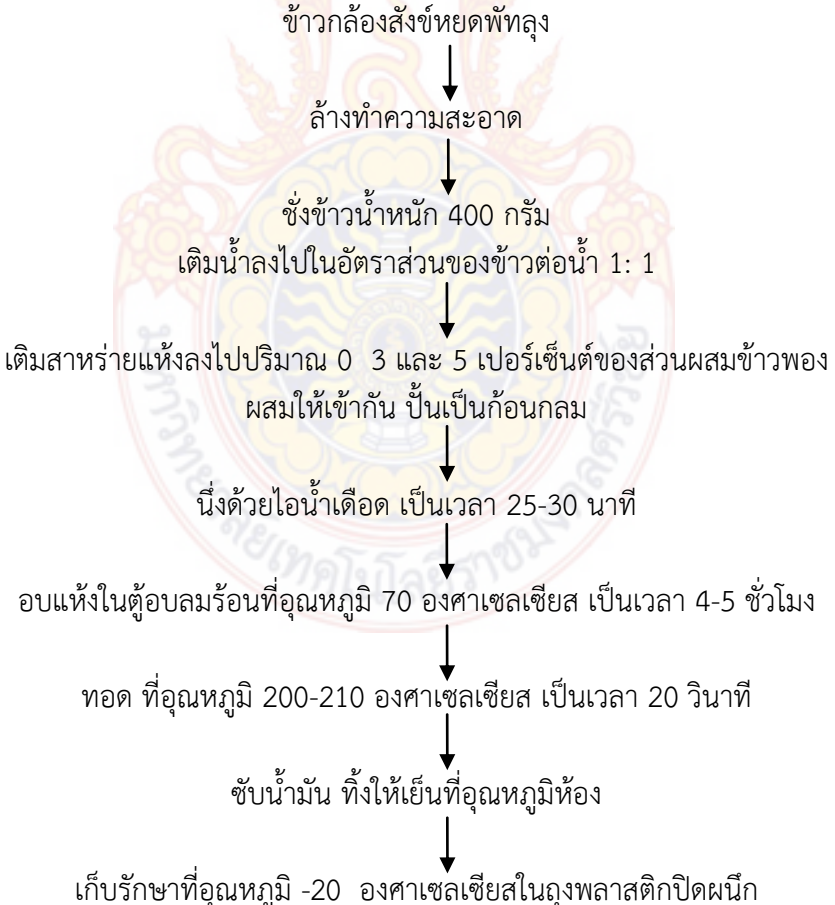
3. ศึกษาการแปรรูปสาหร่ายเป็นผลิตภัณฑ์ขบเคี้ยว

3.1 ข้าวพองสังข์หยดเคลือบสาหร่าย

นำสาหร่ายอบแห้งปริมาณแตกต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ 0 3 5 เปอร์เซ็นต์ นำมาป่นให้ละเอียดใส่ในผลิตภัณฑ์ข้าวพองจากข้าวสังข์หยด (ภาพผนวกที่ 4) โดยดัดแปลงวิธีการผลิตข้าวพองจากสูตรผสมของ จริยา (2552) และนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปวิเคราะห์คุณลักษณะปรากฏทางกายภาพ และทางเคมี ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า เยื่อใย และคาร์โบไฮเดรต ตามวิธีของ AOAC (2000) ทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลสารอิสระโดยวิธี DPPH radical scavenging assay ดัดแปลงตามวิธีของ Fenglin (2004) และ คลอโรฟิลล์ (Nayek, 2014) วางแผนการทดลองแบบ CRD ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ผลโดยโปรแกรมสำเร็จรูป

วิธีการผลิตข้าวพอง

นำข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงมาล้างทำความสะอาด ชั่งข้าวน้ำหนัก 400 กรัม เติมน้ำลงไปในอัตราส่วนของข้าวต่อน้ำ 1: 1 นึ่งด้วยไอน้ำเดือด เป็นเวลา 25-30 นาที เติมสาหร่ายแห้งลงไป ปริมาณ 0 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ของส่วนผสมข้าวพองผสมให้เข้ากัน ปั้นเป็นก้อนกลม อบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4-5 ชั่วโมง นำไปทอด ที่อุณหภูมิ 200-210 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 วินาที ซับน้ำมัน ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้องและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียสในถุงพลาสติกปิดผนึก



แผนภาพขั้นตอนการผลิตข้าวพองสังข์หยดเคลือบสาหร่าย

3.2 คุกกี้ข้าวตอกสังข์หยดหน้าสาหร่าย

นำสาหร่ายอบแห้งปริมาณแตกต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ 0 3 5 เปอร์เซ็นต์ นำมาป่นให้ละเอียดใส่ในผลิตภัณฑ์คุกกี้ข้าวตอกสังข์หยด (ภาคผนวกที่ 5) โดยดัดแปลงวิธีการผลิตคุกกี้ข้าวตอกสังข์หยดสูตรผสมของ ชูไหวนัะ (2556) และนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปวิเคราะห์คุณลักษณะปรากฏทางกายภาพ และทางเคมี ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า เยื่อใย คาร์โบไฮเดรต ตามวิธีของ AOAC (2000)และทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลสารอิสระโดยวิธี DPPH radical scavenging assay ตามวิธีของ Fenglin (2004) และ คลอโรฟิลล์ วางแผนการทดลองแบบ CRD ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ผลโดยโปรแกรมสำเร็จรูป

วิธีการผลิตคุกกี้ข้าวตอกสังข์หยดหน้าสาหร่าย

ส่วนผสม

1. แป้งเค้ก ตราบัวแดง	480	กรัม
2. ผงฟู	9.6	กรัม
3. เนยสด	390	กรัม
4. น้ำตาลไอซิ่ง	300	กรัม
5. เกลือ	1	กรัม
6. ข้าวตอก	60	กรัม
7. ไข่ไก่	2	ฟอง

วิธีทำ

1. ร่อนแป้งเค้กตราบัวแดง และผงฟูด้วยกัน เคล้าให้เข้ากัน พักไว้

2. ตีเนยสด , เกลือ , น้ำตาลไอซิ่ง ด้วยความเร็วปานกลาง จนกระทั่งเข้ากันดี ค่อยๆใส่ไข่ไก่ (เฉพาะไข่แดง) ลงไปตีด้วยความเร็วปานกลาง จนเข้ากันดี

3. ใส่ส่วนผสมแป้งกับผงฟูที่พักไว้ลงไป ผสมด้วยความเร็วต่ำของเครื่อง ใส่ข้าวตอกและสาหร่ายขนนกแห้ง ตามปริมาณต่างๆ ลงไป ลงไปตีด้วยด้วยความเร็วต่ำหรือใช้ไม้พายคนให้เข้ากัน

4. ปั้นเป็นก้อนกลม วางบนถาดที่ทาเนยขาวไว้แล้ว ใช้ช้อนส้อมกดให้แบน แล้วโรยหน้าด้วยข้าวตอก

5. นำไปอบด้วยอุณหภูมิ 180 °C หรือ 350 ฟาเรนไฮด์ ประมาณ 15 นาที หรือจนกระทั่งเหลือง

ร่อนแป้งเค้กและผงฟูด้วยกัน เคล้าให้เข้ากัน ตั้งพักไว้

↓

ตีเนยสด , เกลือ , น้ำตาลไอซิ่ง ด้วยความเร็วปานกลาง จนเข้ากันดี ค่อยๆใส่ไข่ไก่ (เฉพาะไข่แดง) ลงไปตีด้วยความเร็วปานกลาง จนเข้ากันดี

↓

ใส่ส่วนผสมแป้งกับผงฟูที่พักไว้ลงไป ผสมด้วยความเร็วต่ำของเครื่อง ใส่ข้าวตอกและสาหร่ายขนนกแห้ง ตามปริมาณต่างๆ ลงไป ตีด้วยด้วยความเร็วต่ำหรือใช้ไม้พายคนให้เข้ากัน

↓

ปั้นเป็นก้อนกลม วางบนถาดที่ทาเนยขาวไว้แล้ว ใช้ช้อนส้อมกดให้แบน แล้วโรยหน้าด้วยข้าวตอก

↓

นำไปอบด้วยอุณหภูมิ 180 °C หรือ 350 ฟาเรนไฮต์ ประมาณ 15 นาที หรือจนกระทั่งเหลือง

<u>แผนภาพขั้นการผลิตคุกกี้ข้าวตอกสังข์หยดหน้าสาหร่าย</u>

3.3 ประเมินคุณค่าทางประสาทสัมผัสต่อผลิตภัณฑ์

ใช้การทดลองทางด้านประสาทสัมผัส โดยการวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) ใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ได้รับการฝึกฝน จำนวน 30 คน โดยวิธีการให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9 Point Hedonic Scale) และพิจารณาลักษณะทางประสาทสัมผัส ด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัสและความชอบรวม

4. ศึกษาการแปรรูปสาหร่ายเป็นผลิตภัณฑ์ขั้นหนึด

4.1 ซอสสาหร่าย

นำสาหร่ายอบแห้งมาผลิตเป็นซอสสาหร่าย 3 รสชาติ ได้แก่ ซอสสาหร่ายรสซีฟู้ด ซอสสาหร่ายรสสุกี้ และซอสสาหร่ายรสบาร์บีคิวซีฟู้ด (ภาคผนวกที่ 5) โดยดัดแปลงวิธีการผลิตและการทดสอบผลิตภัณฑ์ จากงานวิจัยของ อังคนาวรรณ และคณะ (2553) และนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพ –ทางเคมี ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า คาร์โบไฮเดรต ตามวิธีของ AOAC (2000) และ ทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลสารอิสระโดยวิธี DPPH radical scavenging assay ตามวิธีของ Fenglin (2004) วิเคราะห์ผลโดยโปรแกรมสำเร็จรูป

วิธีการผลิตซอสสาหร่าย

นำสาหร่าย มาบดด้วยเครื่องบดให้ละเอียด แล้วแช่น้ำด้วยสัดส่วนของสาหร่าย : น้ำ เป็น 1:30 เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นต้มในอ่างควบคุมอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง เพื่อให้สาหร่ายได้สารสกัดสาหร่าย แล้วนำสารสกัดสาหร่ายบดผสมรวมกับส่วนผสมอื่นๆในการผลิตซอสสาหร่ายรสต่างๆ ได้แก่ รสซีฟู้ด รสสุกี้ และรสบาร์บีคิว โดยใช้สารสกัดสาหร่ายคิดเป็นร้อยละ 30 ของส่วนผสมเครื่องปรุงทั้งหมด บรรจุผลิตภัณฑ์ในขวดแก้วฝาล็อคที่ผ่านการล้างทำความสะอาด หลังจากนั้นนึ่งผลิตภัณฑ์พร้อมขวดที่อุณหภูมิ 90-100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที

สูตรส่วนผสมในการผลิตซอสสาหร่ายรสซีฟู้ด

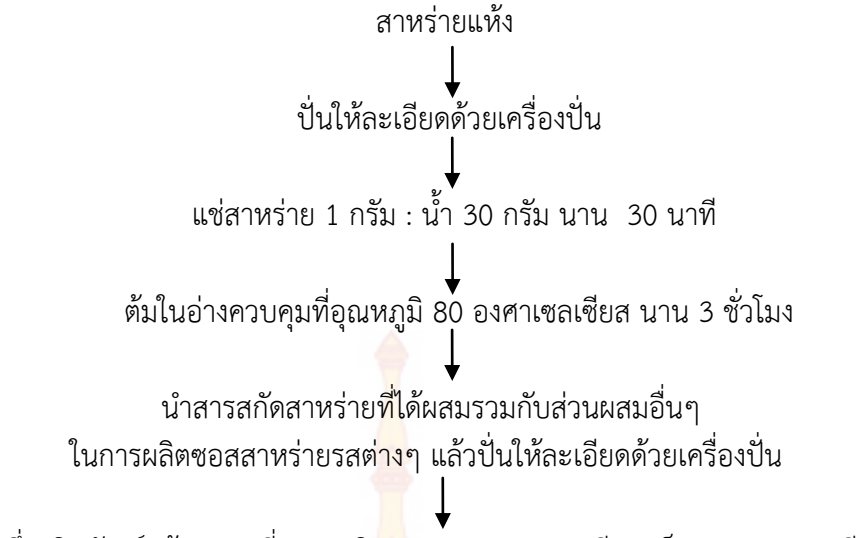
1.พริกขี้หนู	7.80	กรัม
2. กระเทียม	17.90	กรัม
3. กรดซิตริก	1.20	กรัม
4. น้ำส้มสายชู	13.70	กรัม
5. น้ำตาลทราย	11.40	กรัม
6. เกลือ	3.40	กรัม
7. น้ำ	44.60	กรัม

สูตรส่วนผสมในการผลิตซอสสาหร่ายรสสุกี้

1. ซอสพริก	36.00	กรัม
2. ซอสมะเขือเทศ	19.80	กรัม
3. เต้าหู้ยี้	9.00	กรัม
4. น้ำมันงา	7.20	กรัม
5. กระเทียมดอง	3.50	กรัม
6. น้ำกระเทียมดอง	2.00	กรัม
7. งาขาว	1.80	กรัม
8. กระเทียม	1.40	กรัม
9. พริกขี้หนู	1.40	กรัม
10. น้ำส้มสายชู	6.30	กรัม
11. เต้าเจี้ยว	2.70	กรัม
12. น้ำตาลทราย	9.00	กรัม

สูตรส่วนผสมในการผลิตซอสสาหร่ายรสบาร์บีคิว

1. ซอสมะเขือเทศ	40.00	กรัม
2. หอมหัวใหญ่	16.50	กรัม
3. กระเทียม	2.50	กรัม
4. น้ำมันพืช	2.50	กรัม
5. พริกขี้หนู	2.00	กรัม
6. ซีอิ้วญี่ปุ่น	9.50	กรัม
7. ซอสเปรี้ยว	3.80	กรัม
8. พริกไทย	0.20	กรัม
9. น้ำส้มสายชู	9.40	กรัม
10. น้ำตาลทราย	12.70	กรัม
11. เกลือ	0.90	กรัม



แผนภาพวิธีการผลิตซอสสาหร่าย

4.2 โจ๊กสาหร่ายกึ่งสำเร็จรูป

นำสาหร่ายอบแห้งปริมาณแตกต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ 0 5 10 เปอร์เซ็นต์ นำมาเป็นส่วนผสมในการผลิตโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปจากข้าวกล้องผสมสังข์หยดพัทลุง (ภาพผนวกที่ 6)โดยดัดแปลงสูตรการผลิต วิธีการผลิตและการทดสอบผลิตภัณฑ์จากงานวิจัยของ ช่อลัดดา และกัญญา (2553) และนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพ –ทางเคมี ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า เยื่อใย และคาร์โบไฮเดรต ตามวิธีของ AOAC (2000) ทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลสารอิสระโดยวิธี DPPH radical scavenging assay ตามวิธีของ Fenglin (2004)

วิธีการผลิตโจ๊กสาหร่าย

วัตถุดิบ ได้แก่ ปลายข้าวกล้องสังข์หยด สาหร่ายขนนกแห้ง ซีอิ้วขาว แป้งมันสำปะหลัง แป้งสาลี พริกไทย เนื้อสันในไก่ ขิง ต้นหอมและผงชูรส

วิธีการผลิต

1. ข้าวแห้ง นำปลายข้าวกล้องสังข์หยด มาล้างด้วยน้ำ แล้วนำไปเติมน้ำ 3 เท่า ของน้ำหนักข้าว นำมาหุงในหม้อหุงข้าว หลังจากนั้นนำมาแผ่บนถาดอลูมิเนียม อบแห้งในตู้อบลมร้อน 60 องศาเซลเซียส ประมาณ 5 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็น นำออกจากถาด และบดให้ละเอียด หาปริมาณผลผลิต และวิเคราะห์ค่าน้ำอิสระ

2. เนื้อสันในไก่แห้ง โดยนำเนื้อสันในไก่มาล้างน้ำ แล่เอ็นทิ้ง หั่นหยาบ นำมาใส่หม้อต้ม เติมน้ำ 1.4 เท่า โดยน้ำหนักของเนื้อสันในไก่ เติมเกลือร้อยละ 1 ของน้ำหนักเนื้อสันในไก่ และน้ำตาลร้อยละ 1 ของน้ำหนักเนื้อสันในไก่ ต้มเคี่ยวด้วยไฟอ่อนจนเกือบแห้ง จึงใส่ซีอิ้วขาวสูตร 1 ร้อยละ 5 ของน้ำหนักเนื้อสันในไก่ ต้มจนแห้ง แล้วนำมาอบแห้งในตู้อบลมร้อน 60 องศาเซลเซียส จนแห้งสนิท (ประมาณ 7 ชั่วโมง)

3. ขิงแห้ง นำขิงอ่อนมาปอกเปลือก ล้างน้ำ หั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ อบแห้งในตู้อบลมร้อน 60 องศาเซลเซียส จนแห้ง ประมาณ 5 ชั่วโมง หาปริมาณผลผลิต และวิเคราะห์ค่าน้ำอิสระ

4. ต้นหอมแห้ง นำต้นหอมมาล้างน้ำทั้งต้น และหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆทั้งหมด อบแห้งในตู้อบลมร้อน 60 องศาเซลเซียส จนแห้ง ประมาณ 5 ชั่วโมง หาปริมาณผลผลิต และวิเคราะห์ค่าน้ำอิสระ

5. ชั่งส่วนผสมที่ได้จากการเตรียมในข้อ 1-4 เพื่อผลิตโจ๊กแห้งกึ่งสำเร็จรูปปรุงรส 100 กรัม ดังนี้

- ข้าวกล้องสังข์หยดบดอบแห้ง 72.10 กรัม (กรณีไม่มีสาหร่าย)
- เนื้อสันในไก่บดอบแห้ง 20.00 กรัม
- แป้งข้าวเจ้า 2.50 กรัม
- สาหร่ายแห้ง ทำ 3 สูตร (ทดแทนน้ำหนักข้าว) 0, 5, 10 กรัม
- เกลือ 3.00 กรัม
- ขิง 0.70 กรัม
- ต้นหอม 0.70 กรัม
- ผงชูรส 1.00 กรัม

บริโภคโดยการเติมน้ำ 8 เท่า คนให้เข้ากัน ต้ม 1 นาที (คนตลอดเวลา) เติมสาหร่าย คนให้เข้ากัน

5. ศึกษาการแปรรูปสาหร่ายเป็นผลิตภัณฑ์อบแห้ง

นำสาหร่ายสดมาแปรรูปเป็นสาหร่ายอบแห้ง และสาหร่ายแผ่นทอดกรอบ (ภาพผนวกที่ 7) โดยดัดแปลงสูตรการผลิต ตามวิธีการ จีรภา และคณะ (2554) และนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปวิเคราะห์คุณลักษณะปรากฏและทางเคมี ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า เยื่อใย และคาร์โบไฮเดรต ตามวิธีของ AOAC (2000) ทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลสารอิสระโดยวิธี DPPH radical scavenging assay ตามวิธีของ Fenglin (2004) และ คลอโรฟิลล์ ประเมินคุณค่าทางประสาทสัมผัสต่อผลิตภัณฑ์ ด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัสและความชอบรวม วิเคราะห์ผลโดยโปรแกรมสำเร็จรูป

วิธีการผลิตสาหร่ายแผ่นทอดกรอบ

การผลิตสาหร่ายแผ่นทอดกรอบ เริ่มจากการต้มสาหร่ายขนนกสด 20 กรัม ในน้ำ 200 กรัม นาน 5 นาที กรองและทิ้งให้สะเด็ดน้ำ 2 นาที จากนั้นนำสาหร่ายต้มกับน้ำ 100 กรัม ปั่น 2 นาที เติมแป้งเปียกที่เป็นส่วนผสมของแป้งมันกับแป้งข้าวเหนียว 5 กรัม ในอัตราส่วน (กรัม) 3.5 : 1.5 ผสมในน้ำ 10 กรัม ตั้งไฟจนมีลักษณะเป็นแป้งเปียก ปั่นสาหร่ายและแป้งเปียกต่ออีก 1 นาที จากนั้นนำสาหร่ายที่ปั่นผสมแล้ว 100 กรัม เทลงในถาด ที่มีแผ่นพลาสติกรองอยู่ นำไปอบในตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 10 ชั่วโมง เมื่อครบเวลานำออกจากตู้อบ แล้วทิ้งไว้ให้เย็น ตัดเป็นแผ่น ทอดในน้ำมันอุณหภูมิ 70 °C นาน 5 วินาที ซับน้ำมัน แล้วบรรจุใส่ถุงปิดปากถุงให้เรียบร้อยไม่ให้อากาศเข้า

ต้มสาหร่ายขนนกสด 20 กรัม ในน้ำ 200 กรัม นาน 5 นาที

↓

กรองและทิ้งให้สะเด็ดน้ำ 2 นาที นำมาต้มกับน้ำ 100 กรัม ปั่น 2 นาที

↓

เติมแป้งเปียกที่เป็นส่วนผสมของแป้งมันกับแป้งข้าวเหนียว 5 กรัม
ในอัตราส่วน (กรัม) 3.5 : 1.5 ผสมในน้ำ 10 กรัม ตั้งไฟจนมีลักษณะเป็นแป้งเปียก

↓

ปั่นสาหร่ายและแป้งเปียกต่ออีก 1 นาที

↓

นำสาหร่ายที่ปั่นผสมแล้ว 100 กรัม เทลงในถาด ที่มีแผ่นพลาสติกรองอยู่

↓

อบในตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 10 ชั่วโมง

↓

นำออกจากตู้อบ ทิ้งไว้ให้เย็น ตัดเป็นแผ่น
ทอดในน้ำมันอุณหภูมิ 70 °C นาน 5 วินาที ซับน้ำมัน

↓

บรรจุใส่ถุงปิดปากถุงให้เรียบร้อยไม่ให้อากาศเข้า

<u>แผนภาพขั้นตอนการผลิตสาหร่ายแผ่นทอดกรอบ</u>

การวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ CRD แต่ละการทดลองมี 3 ชุดการทดลอง ๆ ละ 3 ซ้ำ นำผลที่ได้มาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของข้อมูลตามแผนการทดลองโดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่าง treatment ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ผลการทดลอง

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในสาหร่าย *Caulerpa racemosa*

การหาอัตราส่วนน้ำหนักของสาหร่ายสดกับสาหร่ายแห้ง

จากการนำสาหร่ายสดมาวิเคราะห์หาปริมาณน้ำหนักแห้งของสาหร่าย (ภาพผนวกที่ 1) โดยการนำสาหร่ายสดอบแห้ง จากนั้นทำการชั่งน้ำหนักของสาหร่ายแห้ง ที่ได้ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง พบว่า น้ำหนักของสาหร่ายสด 221.00 กรัม ได้สาหร่ายแห้งเฉลี่ย 23.667 กรัม คิดเป็น 10.71% DW ทั้งนี้ลักษณะสาหร่ายสดจะมีรูปลักษณะเป็นแท่งกลมยาวแตกออกเป็นเส้นเหมือนขนนก มีสีเขียวโปร่ง มีความหยุ่น ดังแสดงในภาพที่ 3

ภาพที่ 3 สาหร่ายทะเล *Caulerpa racemosa* ทั้งในรูปแบบสดและแห้ง

องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่าย *Caulerpa racemosa*

องค์ประกอบทางเคมีในสาหร่าย *Caulerpa racemosa* ทั้ง 2 รูปแบบได้แก่ สาหร่ายสด และสาหร่ายแห้ง เมื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน เยื่อใย และคาร์โบไฮเดรต (AOAC., 2000) ได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 2 พบว่า สาหร่ายแห้งมีค่าความชื้นร้อยละ 12.19 ต่ำกว่าสาหร่ายสด ประมาณ 7.6 เท่า ทั้งนี้สาหร่ายสดมีปริมาณความชื้นสูงถึง ร้อยละ 92.89 ส่งผลให้ปริมาณเถ้า โปรตีน ไขมัน เยื่อใย และคาร์โบไฮเดรตในสาหร่ายแห้ง มีค่าสูงกว่าสาหร่ายสด แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยปริมาณเถ้า โปรตีน ไขมัน เยื่อใย และคาร์โบไฮเดรตในสาหร่ายสด มีค่าเท่ากับร้อยละ 1.69, 2.29, 0.58, 0.84 และ 1.71 ตามลำดับ ส่วนปริมาณเถ้า โปรตีน ไขมัน เยื่อใย และคาร์โบไฮเดรตในสาหร่ายแห้ง มีค่าเท่ากับร้อยละ 13.57, 17.58, 0.88, 9.82 และ 45.96 ตามลำดับ หรือคุณค่าทางโภชนาการในสาหร่ายแห้งมีค่าสูงกว่าในสาหร่ายสด คิดเป็น 8.0, 7.7, 1.5, 11.7 และ 26.8 เท่า ตามลำดับ

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนาการในสาหร่ายทะเล *Caulerpa racemosa*

องค์ประกอบทางเคมี	สาหร่ายทะเล *Caulerpa racemosa*	
	สาหร่ายสด	สาหร่ายแห้ง
ความชื้น (%)	92.89±0.16[a]	12.19±0.74[b]
เถ้า (%)	1.69±0.22[b]	13.57±3.72[a]
โปรตีน (%)	2.29±0.23[b]	17.58±0.75[a]
ไขมัน (%)	0.58±0.32[b]	0.88±0.09[a]
เยื่อใย (%)	0.84±0.18[b]	9.82±0.25[a]
คาร์โบไฮเดรต (%)	1.71±0.28[b]	45.96±0.31[a]

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกันในแนวนอน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบโดยวิธี Duncan's multiple test (DMRT)

ผลการวิเคราะห์ฤทธิ์ทางชีวภาพ

กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระและปริมาณคลอโรฟิลล์ในสาหร่าย *C. racemosa*

กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของสาหร่าย *Caulerpa racemosa* ตรวจสอบโดยวิธี DPPH radical scavenging assay และรายงานผลในหน่วยค่าความเข้มข้นที่ให้ผลต้านออกซิเดชันครึ่งหนึ่ง (IC50) หากมีค่าต่ำแสดงถึงฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูง (ตารางที่ 3) พบว่าสาหร่ายแห้งมีค่าเท่ากับ 9.64 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร สูงกว่าสาหร่ายสด (9.13 mg/ml) แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) แสดงว่า สาหร่ายสดให้ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระที่ดีกว่าสาหร่ายแห้ง เพราะให้ค่าต่ำกว่า ส่วนปริมาณคลอโรฟิลล์ที่วิเคราะห์พบว่า ในสาหร่ายแห้งมีปริมาณคลอโรฟิลล์ A และคลอโรฟิลล์ B เท่ากับ 10,352.04 และ 17,299.80 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ สูงกว่าค่าการวิเคราะห์ในสาหร่ายสดซึ่งมีค่าเท่ากับ 3,422.41 และ 1,149.08 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องจากสาหร่ายแห้งมีความชื้นต่ำกว่าสาหร่ายสด

ตารางที่ 3 สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสกัดสาหร่ายทะเล *Caulerpa racemosa*

สาหร่ายทะเล *C. racemosa*	สารชีวกิจกรรม		
	ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH (IC_{50}, mg/ml)	คลอโรฟิลล์ A (mg/L)	คลอโรฟิลล์ B (mg/L)
สาหร่ายสด	9.13±1.36[a]	3,422.41±52.18[b]	1,149.08±70.18[b]
สาหร่ายแห้ง	9.64±0.46[b]	10,352.04±232.69[a]	17,299.80±2,700.45[a]

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบโดยวิธี Duncan's multiple test (DMRT)

ตารางที่ 4 ปริมาณสารสกัดและร้อยละพอลิแซคคาไรด์ทั้งหมดและปริมาณโปรตีนในส่วนใส ที่ได้จากสาหร่ายทะเล *Caulerpa racemosa*

ตัวอย่าง	ปริมาณสารสกัด (%)	ร้อยละพอลิแซคคาไรด์ทั้งหมด(g/100 สารสกัด)	ปริมาณโปรตีนในส่วนใส (mg/ml)
สาหร่ายทะเล *C. racemosa*	37.87	16.12	ND

การสกัดพอลิแซ็กคาไรด์จากสาหร่าย *C. racemosa*

การสกัดพอลิแซ็กคาไรด์จากสาหร่ายแห้ง *C. racemosa* ด้วยน้ำร้อน โดยไม่กำจัดสี พบว่า ได้พอลิแซ็กคาไรด์มีลักษณะสีขาวใสปนเขียวเล็กน้อย เมื่อถูกน้ำจะมีลักษณะเป็นเมือกหยุ่น ละลายน้ำได้เล็กน้อย ไม่พบโปรตีนในส่วนใส แสดงว่า การสกัดพอลิแซคคาไรด์ ไม่เกิดการปนเปื้อน (ภาพผนวกที่ 2-3) เมื่อนำสารสกัดพอลิแซ็กคาไรด์จาก *C. racemosa* มาหาปริมาณสารสกัดและร้อยละพอลิแซ็กคาไรด์ (ตารางที่ 3) พบว่า สาหร่ายให้ปริมาณสารสกัด เท่ากับร้อยละ 37.87 โดยน้ำหนัก (% w/w) และให้ปริมาณพอลิแซคคาไรด์ทั้งหมด เท่ากับร้อยละ 16.12 กรัมต่อ 100 กรัมสารสกัด ทั้งนี้เมื่อนำสาหร่ายสดน้ำหนัก 1 กิโลกรัม (น้ำหนักสดจากการเก็บทันที) นำมาตั้งทิ้งไว้ 30 นาที จะมีการไหลออกของน้ำในสาหร่ายจนได้ส่วนเนื้อสาหร่ายที่แห้งและสะเด็ดน้ำ ชั่งได้น้ำหนัก 221 กรัม นำมาสกัดหาปริมาณพอลิแซคาไรด์และนำไปทำระเหยแห้ง (freeze dryer) พบว่า สาหร่ายสด 1 กิโลกรัม ให้ปริมาณผงพอลิแซคคาไรด์ เท่ากับ 2.51 กรัม

ผลิตภัณฑ์แปรรูปจากสาหร่ายทะเล *C. racemosa*

ผลิตภัณฑ์ข้าวพองสังข์หยดเสริมสาหร่าย

การทดลองแปรรูปข้าวพองเคลือบสาหร่าย เตรียมข้าวพองเป็นแผ่นกลม ข้าวพองมีลักษณะกลม สีน้ำตาล การเคลือบสาหร่ายลงไปแต่ละระดับ จะได้สีของสาหร่ายเพิ่มความสวยงามของข้าวพอง เมื่อนำมาทอดจะได้แผ่นข้าวพองเมล็ดกลม เกาะตัวกันดี มีความพองกรอบ และความหอมของสาหร่าย มีสีน้ำตาลแดงเข้มจากปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชั่น โดยข้าวที่อบแห้งก่อนนำไปทอดกรอบมีค่าความชื้นในช่วงระหว่างร้อยละ 8 - 9 และข้าวสังข์หยดพัทลุงมีปริมาณอะไมโลสต่ำ ปริมาณอะไมโลเพคตินสูง จึงมีการพองตัวได้ดีใกล้เคียงกับข้าวเหนียว การทอดด้วยน้ำมันที่จะทำให้พองต้องใช้อุณหภูมิสูงและปริมาณน้ำมันมาก ทั้งนี้หากอุณหภูมิไม่เหมาะสม ข้าวจะไม่พอง หรือพองได้น้อยและอมน้ำมัน (ภาพผนวกที่ 4) ทั้งนี้ลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความนุ่มน้อยกว่าข้าวเหนียว เมื่อนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในผลิตภัณฑ์ข้าวพองเสริมสาหร่าย ทั้ง 3 สูตร (ตารางที่ 5) พบว่า ปริมาณเถ้า ปริมาณโปรตีน คลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี มีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณการเสริมสาหร่าย โดยข้าวพองเคลือบสาหร่าย 5% ให้ค่าสูงที่สุด แต่ในทางตรงข้าม ปริมาณความชื้นและปริมาณไขมันกลับมีค่าลดต่ำลง เมื่อการเสริมสาหร่ายในผลิตภัณฑ์ข้าวพองเพิ่มขึ้น แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ส่วนปริมาณเยื่อใยและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระมีค่าดีที่สุดในสูตรข้าวพองสังข์หยดเคลือบสาหร่าย 3% ทำให้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตมีค่าต่ำกว่าสูตรอื่นด้วย

แม้ว่าองค์ประกอบทางเคมี ในแต่ละสูตรมีค่าแตกต่างกันแต่ยังคงอยู่ในช่วงใกล้เคียงกัน ดังนี้ ปริมาณความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต มีค่าอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 6.38-6.89, 1.08-1.41, 9.33-9.80, 0.44-0.78 และ 80.23-81.58 ตามลำดับ ยกเว้นปริมาณเยื่อใยที่มีค่าแตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยสูตรข้าวพองสังข์หยดเคลือบสาหร่ายปริมาณ 3% มีปริมาณเยื่อในสูงที่สุด เท่ากับร้อยละ 1.28 รองลงมาคือข้าวพองสังข์หยดเคลือบสาหร่าย 5% และ 0% เท่ากับร้อยละ 0.40 และ 0.35 ตามลำดับ ส่วนปริมาณคลอโรฟิลล์เอและบี มีค่าเพิ่มขึ้นเป็นไปในทำนองเดียวกัน โดยสูตรข้าวพองสังข์หยดเคลือบสาหร่ายปริมาณ 5% มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอและบีสูงที่สุด เท่ากับ 461.96 และ 570.38 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ รองลงมาคือข้าวพองสังข์หยดเคลือบสาหร่าย 3% มีค่าเท่ากับ 318.69 และ 425.90 มิลลิกรัมต่อลิตร ทั้งนี้สูตรข้าวพองสังข์หยดเคลือบสาหร่าย 0% มีค่าต่ำที่สุด เท่ากับ 295.44 และ 374.25 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ พบว่าสูตรข้าวพองสังข์หยดเคลือบสาหร่ายปริมาณ 3% ให้ค่าประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระดีที่สุด มีค่า IC_{50} เท่ากับ 12.07 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติกับสูตรข้าวพองสังข์หยดเคลือบสาหร่ายปริมาณ 5% ซึ่งมีค่า IC_{50} เท่ากับ 14.05 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ส่วนสูตรที่ไม่เสริมสาหร่ายจะให้ประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระต่ำสุด มีค่า IC_{50} เท่ากับ 17.32 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ดังนั้นการเสริมสาหร่ายลงไปในข้าวพองสามารถเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการได้โดย สูตรที่เสริมสาหร่ายทั้งร้อยละ 3 และ 5 ให้คุณค่าทางโภชนาการใกล้เคียงกัน ยกเว้นปริมาณเยื่อใย และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในสูตรที่เสริมสาหร่ายร้อยละ 3 จะให้ค่าสูงกว่า แต่หากพิจารณารวมไปถึงในแง่ต้นทุนการผลิต สูตรข้าวพองเสริมสาหร่ายร้อยละ 3 มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มากกว่า เพราะมีต้นทุนค่าการผลิตต่ำกว่า

ตารางที่ 5 องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ข้าวพองสังข์หยดเคลือบสาหร่าย

คุณภาพทางเคมี	ผลิตภัณฑ์แปรรูปสาหร่าย		
	ข้าวพองสังข์หยดเคลือบสาหร่าย 0%	ข้าวพองสังข์หยดเคลือบสาหร่าย 3%	ข้าวพองสังข์หยดเคลือบสาหร่าย 5%
ความชื้น (%)	6.89±0.09^{a}	6.71±0.03^{b}	6.38±0.08^{c}
เถ้า (%)	1.08±0.12^{b}	1.35±0.03^{a}	1.41±0.06^{a}
โปรตีน (%)	9.33±0.16^{b}	9.77±0.07^{a}	9.80±0.51^{a}
ไขมัน (%)	0.78±0.09^{a}	0.66±0.01^{a}	0.44±0.07^{b}
เยื่อใย (%)	0.35±0.00^{b}	1.28±0.00^{a}	0.40±0.00^{b}
คาร์โบไฮเดรต (%)	81.58±0.06^{a}	80.23±0.11^{b}	81.56±0.50^{a}
ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH (IC_{50}, mg/ml)	17.32±2.16^{b}	12.07±2.68^{a}	14.05±1.08^{ab}
คลอโรฟิลล์ A (mg/L)	295.44±2.31^{b}	318.69±20.03^{b}	461.96±23.52^{a}
คลอโรฟิลล์ B (mg/L)	374.25±10.25^{c}	425.90±31.54^{b}	570.38±18.17^{a}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบโดยวิธี Duncan’s multiple test (DMRT)

ผลิตภัณฑ์คุกกี้ข้าวตอกสังข์หยดหน้าสาหร่าย

การทดลองแปรรูปคุกกี้ข้าวตอกสังข์หยดหน้าสาหร่าย เตรียมจาการผลิตจากสูตรคุกกี้ ที่มีการใส่ข้าวตอกสังข์หยดลงไปด้วย และนำสาหร่ายบดแห้งมาโรยคลุกผสมบนผิวหน้าก่อนการอบ จะได้ขนมคุกกี้แผ่นกลมที่มีข้าวตอกและสาหร่ายปนอยู่ มีความกรอบร่วน สีเหลืองนวล แซมด้วยเมล็ดข้าวตอกสังข์หยดสีน้ำตาลแดง และสาหร่ายให้สีเขียวอ่อน ให้กลิ่นหอมของข้าวตอกและกลิ่นสาหร่าย คุกกี้มีลักษณะเป็นก้อนกลม สีเหลือง เมื่อผสมสาหร่ายแห้งในปริมาณต่างๆ คุกกี้มีสีเขียวอมเหลือง สีเขียวจะเข้มขึ้นตามระดับของการผสมสาหร่าย คุกกี้มีความกรอบ มีกลิ่นหอมของสาหร่าย (ภาพผนวกที่ 5) เมื่อนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในคุกกี้ข้าวตอกสังข์หยดหน้าสาหร่ายทั้ง 3 สูตร (ตารางที่ 6) พบว่าการเสริมสาหร่ายลงไปในคุกกี้ข้าวตอกสังข์หยดมีผลให้องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์สูงกว่าสูตรควบคุม (เสริมสาหร่าย 0%) และการเสริมสาหร่ายที่ 5% ให้คุณค่าที่ดีกว่าการเสริมสาหร่ายพียง 3% ทั้งนี้คุกกี้ข้าวตอกสังข์หยดหน้าสาหร่ายร้อยละ 5 มีค่าปริมาณความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน เยื่อใย และคาร์โบไฮเดรต เท่ากับร้อยละ 2.84, 1.47, 5.32, 26.52, 0.65 และ 63.20 ตามลำดับ ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ มีค่า IC_{50} เท่ากับ 97.54 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บี มีค่าเท่ากับ 1,602.08 และ 3,033.47 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) รองลงมาคือ คุกกี้ข้าวตอกสังข์หยดหน้าสาหร่ายร้อยละ 3 มีปริมาณความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน เยื่อใย และ คาร์โบไฮเดรต เท่ากับร้อยละ 2.06, 1.60, 5.36, 26.00, 0.63 และ 64.36 ตามลำดับ ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ มีค่า IC_{50} เท่ากับ 107.28 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บี เท่ากับ 1,150.88 และ 2,172.70 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนสูตรไม่เสริมสาหร่าย (0%) มีปริมาณความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน เยื่อใย และ คาร์โบไฮเดรต เท่ากับร้อยละ 2.71, 1.22, 5.17, 27.20, 0.61 และ 63.05 ตามลำดับ ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ มีค่า IC_{50} เท่ากับ 105.42 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บี เท่ากับ 29.17 และ 50.62 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ แม้ว่าองค์ประกอบทางเคมีในแต่ละสูตรมีค่าแตกต่างกัน แต่จากการทดลองจะพบว่าผลิตภัณฑ์คุกกี้ข้าวตอกซึ่งเป็นสูตรควบคุมก็มีคุณค่าทางโภชนาการอยู่ในเกณฑ์ที่ดี การเสริมสาหร่ายลงไปจึงทำให้สามารถเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้ดียิ่งขึ้นไปอีก โดยสูตรที่เสริมสาหร่ายทั้งร้อยละ 3 และ 5 ให้คุณค่าทางโภชนาการใกล้เคียงกัน ยกเว้นปริมาณเยื่อใย และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในสูตรที่เสริมสาหร่ายร้อยละ 5 จะให้ค่าสูงกว่า แต่หากพิจารณาในแง่ต้นทุนการผลิต แม้ว่าสูตรที่ใช้สาหร่ายร้อยละ 5 จะมีต้นทุนการผลิตสูงกว่า แต่การมีคุณค่าทางโภชนาการที่สูงกว่าก็จะทำให้ผลิตภัณฑ์สามารถจำหน่ายในราคาที่คุ้มทุนเช่นเดียวกัน

ตารางที่ 6 องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์คุกกี้ข้าวตอกสังข์หยดหน้าสาหร่าย

คุณภาพทางเคมี	ผลิตภัณฑ์แปรรูปสาหร่าย		
	คุกกี้ข้าวตอกสังข์หยดหน้าสาหร่าย 0%	คุกกี้ข้าวตอกสังข์หยดหน้าสาหร่าย 3%	คุกกี้ข้าวตอกสังข์หยดหน้าสาหร่าย 5%
ความชื้น (%)	2.71±0.17 [a]	2.06±0.16 [b]	2.84±0.43 [a]
เถ้า (%)	1.22±0.13 [b]	1.60±0.19 [a]	1.47±0.11 [ab]
โปรตีน (%)	5.17±0.16 [b]	5.36±0.06 [a]	5.32±0.07 [a]
ไขมัน (%)	27.20±0.16 [a]	26.00±0.05 [c]	26.52±0.08 [b]
เยื่อใย (%)	0.61±0.00 [c]	0.63±0.00 [b]	0.65±0.00 [a]
คาร์โบไฮเดรต (%)	63.05±0.15 [b]	64.36±0.33 [a]	63.20±0.49 [b]
ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH (IC_{50}, mg/ml)	105.42±6.51 [b]	107.28±2.24 [b]	97.54±1.89 [a]
คลอโรฟิลล์ A (mg/L)	29.17±5.84 [c]	1150.88±12.07 [b]	1602.08±22.73 [a]
คลอโรฟิลล์ B (mg/L)	50.62±10.13 [c]	2172.70±10.14 [b]	3033.47±39.46 [a]

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบโดยวิธี Duncan's multiple test (DMRT)

ผลการประเมินปริมาณสาหร่ายที่ 3 ระดับ คือร้อยละ 0, 3 และ 5 ในผลิตภัณฑ์ข้าวพองเคลือบสาหร่าย โดยทดสอบคุณลักษณะทางด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบรวม พบว่าทั้ง 3 สูตร มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ทั้งนี้ สูตรข้าวพองที่มีส่วนผสมของสาหร่ายร้อยละ 3 ได้รับค่าคะแนนด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบรวมสูงที่สุด รองลงมาคือ สูตรข้าวพองที่มีส่วนผสมของสาหร่ายร้อยละ 5 และ 0 ตามลำดับ ทั้งนี้เมื่อพิจารณาผลการทดสอบในแต่ละด้าน (ตารางที่ 7) มีดังนี้

จากตารางที่ 7 เมื่อพิจารณาลักษณะปรากฏ พบว่าผลิตภัณฑ์ข้าวพองสังข์หยดเคลือบสาหร่ายมีคะแนนความชอบเฉลี่ยอยู่ในช่วงปานกลางถึงมาก จากตารางสูตรข้าวพองสังข์หยดเคลือบสาหร่ายร้อยละ 3 ของน้ำหนักรวม มีคะแนนความชอบเฉลี่ยสูงสุด รองลงมาคือ ชุดการทดลองที่ใช้สาหร่ายร้อยละ 5 และ 0 ตามลำดับ มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$) แสดงว่าปริมาณสาหร่ายมีผลต่อความชอบด้านลักษณะปรากฏ

ผลการทดสอบด้านสี พบว่าผลิตภัณฑ์ข้าวพองสังข์หยดเคลือบสาหร่ายมีคะแนนความชอบเฉลี่ยอยู่ในช่วงปานกลางถึงมาก โดยสูตรใช้สาหร่ายร้อยละ 3 ของน้ำหนักรวม มีคะแนนความชอบเฉลี่ยสูงสุด รองลงมาคือชุดการทดลองที่ใช้สาหร่ายร้อยละ 5 และ 0 ตามลำดับ มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$) แสดงว่าปริมาณสาหร่ายมีผลต่อความชอบด้านสี

ผลการทดสอบด้านกลิ่น พบว่าผลิตภัณฑ์ข้าวพองสังข์หยดเคลือบสาหร่ายมีคะแนนความชอบเฉลี่ยอยู่ในช่วงปานกลางถึงมาก โดยสูตรที่ใช้สาหร่ายร้อยละ 3 ของน้ำหนักรวม มีคะแนนความชอบเฉลี่ยสูงสุด รองลงมาคือชุดการทดลองที่ใช้สาหร่ายร้อยละ 5 และ 0 ตามลำดับ มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$) แสดงว่าปริมาณสาหร่ายมีผลต่อความชอบด้านกลิ่น

ผลการทดสอบด้านรสชาติ พบว่าผลิตภัณฑ์ข้าวพองสังข์หยดเคลือบสาหร่ายมีคะแนนความชอบเฉลี่ยอยู่ในช่วงปานกลางถึงมาก โดยสูตรที่ใช้สาหร่ายร้อยละ 3 ของน้ำหนักรวม มีคะแนนความชอบเฉลี่ยสูงสุด รองลงมาคือชุดการทดลองที่ใช้สาหร่ายร้อยละ 5 และ 0 ตามลำดับ มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$) แสดงว่าปริมาณสาหร่ายมีผลต่อความชอบด้านรสชาติ

ผลการทดสอบด้านเนื้อสัมผัส พบว่าผลิตภัณฑ์ข้าวพองสังข์หยดเคลือบสาหร่ายมีคะแนนความชอบเฉลี่ยอยู่ในช่วงปานกลางถึงมาก โดยสูตรที่ใช้สาหร่ายร้อยละ 3 ของน้ำหนักรวม มีคะแนนความชอบเฉลี่ยสูงสุด($P \leq 0.05$) ส่วนชุดการทดลองที่ใช้สาหร่ายร้อยละ 0 และ 5 ของน้ำหนักรวม ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \geq 0.05$) แสดงว่าปริมาณสาหร่ายไม่มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์

ผลการทดสอบด้านความชอบรวม พบว่าผลิตภัณฑ์ข้าวพองสังข์หยดเคลือบสาหร่ายมีคะแนนความชอบเฉลี่ยอยู่ในช่วงปานกลางถึงมาก โดยสูตรที่ใช้สาหร่ายร้อยละ 3 ของน้ำหนักรวม มีคะแนนความชอบเฉลี่ยสูงสุด รองลงมาคือชุดการทดลองที่ใช้สาหร่ายร้อยละ 5 และ 0 ตามลำดับ มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$) แสดงว่าปริมาณสาหร่าย มีผลต่อลักษณะความชอบรวมของผลิตภัณฑ์ข้าวพอง

ตารางที่ 7 คะแนนความชอบด้านคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของข้าวพองสังข์หยดเคลือบสาหร่ายที่ปริมาณแตกต่างกัน

คุณลักษณะ	คะแนนเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	ข้าวพองสังข์หยดเคลือบสาหร่าย 0%	ข้าวพองสังข์หยดเคลือบสาหร่าย 3%	ข้าวพองสังข์หยดเคลือบสาหร่าย 5%
ลักษณะปรากฏ	7.05 ± 0.69^{c}	8.20 ± 0.71^{a}	7.70 ± 0.65^{b}
สี	6.83 ± 0.59^{c}	8.11 ± 0.61^{a}	7.69 ± 0.69^{b}
กลิ่น	6.67 ± 0.91^{c}	8.10 ± 0.89^{a}	7.13 ± 0.92^{b}
รสชาติ	6.70 ± 0.83^{c}	8.33 ± 0.86^{a}	7.67 ± 0.79^{b}
ลักษณะเนื้อสัมผัส	7.53 ± 0.84^{b}	8.20 ± 0.77^{a}	7.55 ± 0.85^{b}
ความชอบรวม	7.05 ± 0.73^{c}	8.47 ± 0.76^{a}	7.79 ± 0.81^{b}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกันในแนวนอน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบโดยวิธี Duncan's multiple test (DMRT)

ผลการประเมินปริมาณสาหร่ายที่เสริมในผลิตภัณฑ์คุกกี้ข้าวตอกสังข์หยดหน้าสาหร่าย 3 ระดับ คือร้อยละ 0, 3 และ 5 โดยทดสอบคุณลักษณะทางด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบรวม พบว่าทั้ง 3 สูตร มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ทั้งนี้คุกกี้ข้าวตอกสังข์หยดหน้าสาหร่าย ร้อยละ 3 ได้รับค่าคะแนนด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบรวมสูงที่สุด รองลงมาคือ คุกกี้ข้าวตอกสังข์หยดหน้าสาหร่าย ร้อยละ 5 และ 0 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาผลการทดสอบในแต่ละด้าน (ตารางที่ 8) มีดังนี้

จากตารางที่ 8 เมื่อพิจารณาลักษณะปรากฏ พบว่าผลิตภัณฑ์คุกกี้ข้าวตอกสังข์หยดหน้าสาหร่ายมีคะแนนความชอบเฉลี่ยอยู่ในช่วงชอบมาก โดยทั้ง 3 สูตร มีคะแนนเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P \geq 0.05$) แสดงว่าปริมาณสาหร่ายไม่มีผลต่อความชอบด้านลักษณะปรากฏ

ผลการทดสอบด้านสี พบว่าผลิตภัณฑ์คุกกี้ข้าวตอกสังข์หยดหน้าสาหร่าย มีคะแนนความชอบเฉลี่ยอยู่ในช่วงปานกลางถึงมาก โดยสูตรที่ใช้สาหร่ายร้อยละ 3 ของน้ำหนักรวม มีคะแนนความชอบเฉลี่ยสูงสุด รองลงมาคือชุดการทดลองที่ใช้สาหร่ายร้อยละ 5 และ 0 ตามลำดับ มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$) แสดงว่าปริมาณสาหร่ายมีผลต่อความชอบด้านสี

ผลการทดสอบด้านกลิ่น พบว่าผลิตภัณฑ์คุกกี้ข้าวตอกสังข์หยดหน้าสาหร่าย มีคะแนนความชอบเฉลี่ยอยู่ในช่วงชอบมาก โดยทั้ง 3 สูตร มีคะแนนเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P \geq 0.05$) แสดงว่าปริมาณสาหร่ายไม่มีผลต่อความชอบด้านกลิ่น ส่วนผลการทดสอบด้านรสชาติ พบว่าผลิตภัณฑ์คุกกี้ข้าวตอกสังข์หยดหน้าสาหร่าย มีคะแนนความชอบเฉลี่ยอยู่ในช่วงปานกลางถึงมาก โดยสูตรที่ใช้สาหร่ายร้อยละ 3 ของน้ำหนักรวม มีคะแนนความชอบเฉลี่ยสูงสุด รองลงมาคือชุดการทดลองที่ใช้สาหร่ายร้อยละ 5 และ 0 ตามลำดับ มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$) แสดงว่าปริมาณสาหร่ายมีผลต่อความชอบด้านรสชาติ

ผลการทดสอบด้านเนื้อสัมผัส พบว่าผลิตภัณฑ์คุกกี้ข้าวตอกสังข์หยดหน้าสาหร่าย มีคะแนนความชอบเฉลี่ยอยู่ในช่วงปานกลางถึงมาก โดยสูตรที่ใช้สาหร่ายร้อยละ 3 ของน้ำหนักรวม มีคะแนนความชอบเฉลี่ยสูงสุด ($P \leq 0.05$) ส่วนชุดการทดลองที่ใช้สาหร่ายร้อยละ 0 และ 5 ของน้ำหนักรวม ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \geq 0.05$) แสดงว่าปริมาณสาหร่ายไม่มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ดังนั้น ผลการทดสอบด้านความชอบรวม พบว่าผลิตภัณฑ์คุกกี้ข้าวตอกสังข์หยดหน้าสาหร่าย มีคะแนนความชอบเฉลี่ยอยู่ในช่วงปานกลางถึงมาก โดยสูตรที่ใช้สาหร่ายร้อยละ 3 ของน้ำหนักรวม มีคะแนนความชอบเฉลี่ยสูงสุด รองลงมาคือชุดการทดลองที่ใช้สาหร่ายร้อยละ 5 และ 0 ตามลำดับ มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$) แสดงว่าปริมาณสาหร่ายมีผลต่อลักษณะความชอบรวมของผลิตภัณฑ์คุกกี้

ตารางที่ 8 คะแนนความชอบด้านคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของคุกกี้ข้าวตอกสังข์หยดหน้าสาหร่ายที่ปริมาณแตกต่างกัน

คุณลักษณะ	คะแนนเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	คุกกี้ข้าวตอกสังข์หยดหน้าสาหร่าย 0%	คุกกี้ข้าวตอกสังข์หยดหน้าสาหร่าย 3%	คุกกี้ข้าวตอกสังข์หยดหน้าสาหร่าย 5%
ลักษณะปรากฏ	8.13±0.61	8.30±0.65	8.21±0.70
สี	6.93±0.59^{c}	8.13±0.66^{a}	7.63±0.63^{b}
กลิ่น	8.01±0.79	8.13±0.74	8.07±0.68
รสชาติ	6.90±0.89^{c}	8.43±0.75^{a}	7.60±0.71^{b}
ลักษณะเนื้อสัมผัส	7.07±0.86^{c}	8.23±0.91^{a}	7.50±0.80^{b}
ความชอบรวม	7.07±0.74^{c}	8.57±0.59^{a}	7.77±0.63^{b}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกันในแนวนอน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบโดยวิธี Duncan's multiple test (DMRT)

ตารางที่ 9 องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ซอสสาหร่ายหลังอบแห้ง

คุณภาพทางเคมี	ผลิตภัณฑ์แปรรูปสาหร่าย		
	ซอสสาหร่ายรสซีฟู้ด	ซอสสาหร่ายรสสุกี้	ซอสสาหร่ายรสบาร์บีคิว
ความชื้น (%)	2.71±0.17 [a]	2.06±0.16 [b]	2.84±0.43 [a]
เถ้า (%)	13.66±0.19 [a]	8.28±0.02 [c]	9.77±0.11 [b]
โปรตีน (%)	6.26±0.12 [a]	5.78±0.42 [a]	5.16±0.20 [b]
ไขมัน (%)	0.37±0.11 [a]	0.55±0.05 [b]	0.67±0.17 [b]
คาร์โบไฮเดรต (%)	77.01±0.21 [c]	83.33±0.58 [a]	81.56±0.62 [b]
ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH (IC_{50}, mg/ml)	48.73±1.93 [c]	16.97±5.10 [b]	4.87±0.71 [a]

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบโดยวิธี Duncan's multiple test (DMRT)

ผลิตภัณฑ์ซอสสาหร่าย

ลักษณะปรากฏทางกายภาพ

ซอสสาหร่ายรสซีฟู้ด มีลักษณะข้นหนืด สีเขียว มีรสชาติเปรี้ยว ซอสสาหร่ายรสสุกี้ มีลักษณะข้นหนืด สีส้ม มีรสชาติเปรี้ยวอมหวาน และซอสสาหร่ายรสบาร์บีคิว มีลักษณะข้นหนืด สีส้มเข้ม มีรสชาติเปรี้ยวอมหวาน การเพิ่มสาหร่ายลงไปในผลิตภัณฑ์ ทำให้ผลิตภัณฑ์ดูมีสีสันสวยขึ้น ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์ที่มีรสชาติดีสุด ได้แก่ ซอสสาหร่ายรสสุกี้ ผู้บริโภคมีความพึงพอใจในรสชาติมากกว่าสูตรอื่น

องค์ประกอบทางเคมี

เมื่อนำซอสสาหร่ายรสซีฟู้ด ซอสสาหร่ายรสสุกี้ และซอสสาหร่ายรสบาร์บีคิวไปอบแห้ง ด้วยตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เพื่อลดความชื้นก่อนการวิเคราะห์(ตารางที่ 9) ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ซอสสาหร่ายรสซีฟู้ด ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และเถ้า พบว่า มีค่าปริมาณร้อยละ 2.71, 6.26, 0.37, 77.01 และ 13.66 ตามลำดับ ซอสสาหร่ายรสสุกี้ มีค่าเท่ากับร้อยละ 2.06, 5.78, 0.55, 83.33 และ 8.28 ตามลำดับ ส่วนซอสสาหร่ายรสบาร์บีคิว มีค่าเท่ากับร้อยละ 2.84, 5.16, 0.67, 81.56 และ 9.77 ตามลำดับ ทั้งนี้ ซอสสาหร่ายรสสุกี้มีความชื้นต่ำกว่าสูตรอื่นๆ ส่วนปริมาณโปรตีนและเถ้าในสาหร่ายรสซีฟู้ดมีค่าสูงกว่าสูตรอื่นๆ ในทางตรงกันข้ามปริมาณไขมันและคาร์โบไฮเดรตในสาหร่ายรสซีฟู้ด มีค่าต่ำกว่าสูตรอื่น ซอสสาหร่ายรสสุกี้มีปริมาณเถ้าต่ำที่สุด มีปริมาณไขมันปานกลาง และคาร์โบไฮเดรตสูงที่สุด ส่วนสาหร่ายรสบาร์บีคิว มีความชื้นและไขมันสูงที่สุด แต่ปริมาณโปรตีนต่ำที่สุด ทั้งนี้เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ พบว่า ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในซอสสาหร่ายรสบาร์บีคิวมีค่าดีที่สุด รองลงมาได้แก่ ซอสสาหร่ายรสสุกี้ และซอสสาหร่ายรสซีฟู้ด ซึ่งมีค่า IC_{50} เท่ากับ 4.87, 16.97 และ 48.73 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ

ตารางที่ 10 องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์โจ๊กสาหร่ายกึ่งสำเร็จรูป

คุณภาพทางเคมี	ผลิตภัณฑ์แปรรูปสาหร่าย		
	โจ๊กสาหร่ายกึ่งสำเร็จรูป 0%	โจ๊กสาหร่ายกึ่งสำเร็จรูป 5%	โจ๊กสาหร่ายกึ่งสำเร็จรูป 10%
ความชื้น (%)	6.37±0.33	6.88±0.81	6.70±0.40
เถ้า (%)	5.27±0.20^{b}	5.81±0.02^{a}	6.01±0.05^{a}
โปรตีน (%)	23.74±0.61^{b}	23.75±0.70^{b}	24.66±0.33^{a}
ไขมัน (%)	1.88±0.01^{b}	2.11±0.11^{a}	1.85±0.03^{b}
เยื่อใย (%)	2.08±0.00^{b}	2.30±0.00^{a}	1.86±0.00^{c}
คาร์โบไฮเดรต (%)	60.66±1.12^{b}	58.95±1.17^{a}	58.92±0.34^{a}
ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH (IC_{50}, mg/ml)	53.22±3.56^{b}	38.23±2.61^{a}	50.31±0.48^{b}
คลอโรฟิลล์ A (mg/L)	172.36±7.27^{c}	1837.57±28.10^{b}	2059.40±29.10^{a}
คลอโรฟิลล์ B (mg/L)	298.84±12.62^{c}	2508.48±48.77^{b}	2902.98±50.50^{a}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกันในแนวนอน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบโดยวิธี Duncan's multiple test (DMRT)

ผลิตภัณฑ์โจ๊กสาหร่ายกึ่งสำเร็จรูป

โจ๊กสาหร่ายกึ่งสำเร็จรูป มีลักษณะเป็นผง สีน้ำตาลอ่อนจากข้าวสังข์หยด ในสูตรที่มีการเติมสาหร่ายในระดับต่างๆ จะมีสีน้ำตาลปนเขียว เมื่อเติมน้ำร้อนลงไป 1 นาที โจ๊กมีลักษณะข้นหนืด มีกลิ่นหอม สีเขียวจะเข้มขึ้นจากการเติมสาหร่ายในระดับที่มากขึ้น ทั้งนี้สูตรที่ใส่สาหร่าย 5% ผู้บริโภคมีความพึงพอใจในรสชาติมากกว่าสูตรอื่น

องค์ประกอบทางเคมี

เมื่อนำโจ๊กสาหร่ายกึ่งสำเร็จรูป มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีทั้ง 3 สูตร (ตารางที่ 10) พบว่า การเสริมสาหร่ายลงไปในโจ๊กสาหร่ายกึ่งสำเร็จรูป มีผลให้องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์สูงกว่าสูตรควบคุม (เสริมสาหร่าย 0%) โดยผลิตภัณฑ์มีค่าความชื้นไม่แตกต่างกันทั้ง 3 สูตร การเสริมสาหร่าย 10% มีผลให้ ปริมาณเถ้า โปรตีน คลอโรฟิลล์ เอ และคลอโรฟิลล์บี มีค่าสูงกว่าการเสริมสาหร่ายที่ 5% แต่ปริมาณไขมัน เยื่อใยและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ของโจ๊กสาหร่ายกึ่งสำเร็จรูปเสริมสาหร่ายที่ 10% กลับมีค่าต่ำกว่าการเสริมสาหร่ายที่ 5% ทั้งนี้องค์ประกอบทางเคมีของโจ๊กสาหร่ายกึ่งสำเร็จรูปสูตรควบคุม (เสริมสาหร่าย 0%) มีค่าปริมาณความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน เยื่อใย และคาร์โบไฮเดรต เท่ากับร้อยละ 6.37, 5.27, 23.74, 1.88, 2.08 และ 60.65 ตามลำดับ ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ มีค่า IC_{50} เท่ากับ 53.22 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บี มีค่าเท่ากับ 172.36 และ 298.84 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนสูตรโจ๊กสาหร่ายกึ่งสำเร็จรูปที่เสริมสาหร่ายที่ 5% มีปริมาณความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน เยื่อใย และ คาร์โบไฮเดรต เท่ากับร้อยละ 6.88, 5.81, 23.75, 2.11, 2.30 และ 58.95 ตามลำดับ ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ มีค่า IC_{50} เท่ากับ 38.23 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บี เท่ากับ 1837.57 และ 2508.48 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และสูตรข้าวโจ๊กเสริมสาหร่าย 10% มีปริมาณความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน

เยื่อใย และ คาร์โบไฮเดรต เท่ากับร้อยละ 6.70, 6.01, 24.66, 1.85, 1.86 และ 58.92 ตามลำดับ ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระมีค่า IC_{50} เท่ากับ 50.31 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บี เท่ากับ 2059.40 และ 2902.98มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ แม้ว่าองค์ประกอบทางเคมีในแต่ละสูตรมีค่าแตกต่างกัน แต่ ผลิตภัณฑ์โจ๊กสาหร่ายกึ่งสำเร็จรูป สูตรควบคุมซึ่งใช้ข้าวสังข์หยดแทนข้าวขาว ก็มีคุณค่าทางโภชนาการอยู่ในเกณฑ์ที่ดี การเสริมสาหร่ายลงไปจึงทำให้สามารถเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้ดียิ่งขึ้นไปอีก โดยสูตรที่เสริมสาหร่ายทั้งร้อยละ 5 และ 10 ให้คุณค่าทางโภชนาการใกล้เคียงกัน ยกเว้นปริมาณไขมัน เยื่อใย และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในสูตรที่เสริมสาหร่ายร้อยละ 5 จะให้ค่าที่ดีกว่า

ดังนั้น ผลิตภัณฑ์โจ๊กที่ใส่สาหร่ายมีค่าโปรตีน เถ้า เยื่อใย ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และ บี มากกว่าตัวอย่างที่ไม่ใส่สาหร่าย แต่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตต่ำกว่า ส่วนปริมาณไขมันในสูตรในสูตรใส่สาหร่าย 10% มีค่าไม่แตกต่างจากสูตรไม่ใส่สาหร่าย แต่สูตรที่ใส่สาหร่าย 5% มีค่าสูงที่สุด แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ที่มีสาหร่าย ให้โปรตีน เถ้า เยื่อใยเพิ่มขึ้น และมากกว่าที่ประกาศไว้ในกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 88 โดยโปรตีนให้ค่าสูงกว่าถึง 3 เท่า และความชื้นไม่เกินร้อยละ 10 อีกทั้งยังมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าสูตรควบคุม

ผลิตภัณฑ์สาหร่ายแผ่นอบแห้ง

สาหร่ายแผ่นอบแห้ง มีลักษณะแข็ง สีเขียวเข้ม เมื่อนำไปทอด มีสีเขียวอ่อนลง มีความกรอบและหอมกลิ่นสาหร่ายทะเลอย่างชัดเจน เมื่อนำสาหร่ายแผ่นอบแห้งและสาหร่ายแผ่นทอดกรอบ มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (ตารางที่ 11) พบว่า การอบแห้งและการทอดมีผลต่อคุณค่าทางโภชนาการและองค์ประกอบทางเคมีในผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 ผลิตภัณฑ์ โดยสาหร่ายอบแห้งจะมีปริมาณเถ้า โปรตีน เยื่อใย คาร์โบไฮเดรต ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ และคลอโรฟิลล์เอสูงกว่า ส่วนสาหร่ายทอดกรอบ จะมีความชื้น ปริมาณไขมัน และคลอโรฟิลล์บีสูงกว่า ทั้งนี้องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายอบแห้ง มีค่าปริมาณความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน เยื่อใย และ คาร์โบไฮเดรต เท่ากับร้อยละ 5.60, 13.93, 5.46, 0.64, 3.13 และ 71.24 ตามลำดับ ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ มีค่า IC_{50} เท่ากับ 210.05 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บี มีค่าเท่ากับ 2,823.26 และ 1,759.14 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนผลิตภัณฑ์สาหร่ายแผ่นทอดกรอบ มีปริมาณความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน เยื่อใย และ คาร์โบไฮเดรต เท่ากับร้อยละ 7.05, 0.84, 4.61, 32.35, 1.89 และ 53.26 ตามลำดับ ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระมีค่า IC_{50} เท่ากับ 329.43 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บี เท่ากับ 1,760.97 และ 2,228.98 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ผลการประเมินสาหร่ายและกระบวนการแปรรูป ในผลิตภัณฑ์สาหร่ายแผ่นอบแห้ง และสาหร่ายแผ่นทอดกรอบ โดยทดสอบคุณลักษณะทางด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบรวม พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ทั้งนี้ สาหร่ายแผ่นทอดกรอบ ได้รับค่าคะแนนด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบรวมสูงที่สุด รองลงมาคือ สาหร่ายแผ่นอบแห้ง ทั้งนี้เมื่อพิจารณาผลการทดสอบในแต่ละด้าน (ตารางที่ 12) มีดังนี้

จากตารางที่ 12 เมื่อพิจารณาลักษณะปรากฏ พบว่าผลิตภัณฑ์สาหร่ายแผ่นอบแห้ง และสาหร่ายแผ่นทอดกรอบ มีคะแนนความชอบเฉลี่ยอยู่ในปานกลางถึงมาก โดยสูตรสาหร่ายแผ่นทอด

กรอบ มีคะแนนความชอบเฉลี่ยสูงกว่าสาหร่ายแผ่นอบแห้ง แสดงว่าสาหร่าย และกระบวนแปรรูป (อบแห้ง และทอด) มีผลต่อความชอบด้านลักษณะปรากฏ

ผลการทดสอบด้านสี พบว่าผลิตภัณฑ์สาหร่ายแผ่นอบแห้ง และสาหร่ายแผ่นทอดกรอบ มีคะแนนความชอบเฉลี่ยอยู่ในช่วงปานกลางถึงมาก โดยสาหร่ายแผ่นทอดกรอบ มีคะแนนความชอบเฉลี่ยสูงสุด รองลงมา คือสาหร่ายแผ่นอบแห้ง มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$) แสดงว่าสาหร่าย และกระบวนแปรรูป (อบแห้ง และทอด) มีผลต่อความชอบด้านสี

ผลการทดสอบด้านกลิ่น พบว่าผลิตภัณฑ์สาหร่ายแผ่นอบแห้ง และสาหร่ายแผ่นทอดกรอบ มีคะแนนความชอบเฉลี่ยอยู่ในช่วงชอบมาก มีคะแนนเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P \geq 0.05$) แสดงว่าสาหร่าย และกระบวนแปรรูป (อบแห้ง และทอด) ไม่มีผลต่อความชอบด้านกลิ่น

ผลการทดสอบด้านรสชาติ พบว่าผลิตภัณฑ์สาหร่ายแผ่นอบแห้ง และสาหร่ายแผ่นทอดกรอบ มีคะแนนความชอบเฉลี่ยอยู่ในช่วงปานกลางถึงมาก โดยสาหร่ายแผ่นทอดกรอบ มีคะแนนความชอบเฉลี่ยสูงกว่าสาหร่ายแผ่นอบแห้ง ($P \leq 0.05$) แสดงว่าสาหร่าย และกระบวนแปรรูป มีผลต่อความชอบด้านรสชาติ

ผลการทดสอบด้านเนื้อสัมผัส พบว่าผลิตภัณฑ์สาหร่ายแผ่นอบแห้ง และสาหร่ายแผ่นทอดกรอบ มีคะแนนความชอบเฉลี่ยอยู่ในช่วงปานกลางถึงมาก โดยสาหร่ายแผ่นทอดกรอบ มีคะแนนความชอบเฉลี่ยสูงกว่าสาหร่ายแผ่นอบแห้ง ($P \leq 0.05$) แสดงว่า สาหร่ายและกระบวนแปรรูป มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์

ผลการทดสอบด้านความชอบรวม พบว่าผลิตภัณฑ์สาหร่ายแผ่นอบแห้ง และสาหร่ายแผ่นทอดกรอบ มีคะแนนความชอบเฉลี่ยอยู่ในช่วงปานกลางถึงมาก โดยสาหร่ายแผ่นทอดกรอบ มีคะแนนความชอบเฉลี่ยสูงสุด รองลงมาคือสาหร่ายแผ่นอบแห้ง แตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$) แสดงว่าสาหร่ายและกระบวนแปรรูป มีผลต่อลักษณะความชอบรวมของผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 11 องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์สาหร่ายแผ่น

คุณภาพทางเคมี	ผลิตภัณฑ์แปรรูปสาหร่าย	
	สาหร่ายแผ่นอบแห้ง	สาหร่ายแผ่นทอดกรอบ
ความชื้น (%)	5.60±0.44[b]	7.05±0.25[a]
เถ้า (%)	13.93±0.63[a]	0.84±0.11[b]
โปรตีน (%)	5.46±0.08[a]	4.61±0.01[b]
ไขมัน (%)	0.64±0.05[b]	32.35±0.55[a]
เยื่อใย (%)	3.13±0.00[a]	1.89±0.00[b]
คาร์โบไฮเดรต (%)	71.24±0.24[b]	53.26±0.48[a]
ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH (IC_{50}, mg/ml)	210.05±7.45[a]	329.43±8.10[b]
คลอโรฟิลล์ A (mg/L)	2823.26±33.66[a]	1760.97±23.63[b]
คลอโรฟิลล์ B (mg/L)	1759.14±22.41[b]	2228.98±55.98[a]

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกันในแนวนอน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบโดยวิธี Duncan's multiple test (DMRT)

ตารางที่ 12 คะแนนความชอบด้านคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์สาหร่ายแผ่น

คุณลักษณะ	คะแนนเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	สาหร่ายแผ่นอบแห้ง	สาหร่ายแผ่นทอดกรอบ
ลักษณะปรากฏ	7.33±0.49[b]	8.15±0.57[a]
สี	6.63±0.61[b]	8.16±0.56[a]
กลิ่น	6.77±0.72[b]	8.10±0.80[a]
รสชาติ	6.30±0.55[b]	8.21±0.67[a]
ลักษณะเนื้อสัมผัส	7.15±0.82[b]	8.32±0.79[a]
ความชอบรวม	7.11±0.48[b]	8.55±0.41[a]

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกันในแนวนอน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบโดยวิธี Duncan's multiple test (DMRT)

วิจารณ์ผลการทดลอง

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในสาหร่าย *Caulerpa racemosa*

อัตราส่วนน้ำหนักของสาหร่ายสดกับสาหร่ายแห้ง

การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำหนักแห้งจากสาหร่ายสด พบว่า น้ำหนักสาหร่ายสด 221.00 กรัม ได้สาหร่ายแห้งเฉลี่ย 23.667 กรัม คิดเป็น 10.71%DW ทั้งนี้ลักษณะสาหร่ายสดจะมีรูปลักษณะเป็นแท่งกลมยาวแตกออกเป็นเส้นเหมือนขนนก มีสีเขียวโปร่ง มีความหยุ่น ต่างจากการทดลองในสาหร่ายน้ำจืดของอุไรวรรณ และคณะ (2557) พบว่าน้ำหนักของสาหร่ายสด *Nostoc commune* 155.16 กรัม ได้สาหร่ายแห้งเฉลี่ย 30.16 กรัม คิดเป็น 19.43%DW ทั้งนี้สาหร่ายทั้งสองชนิดจัดอยู่ในกลุ่มสาหร่ายที่มีศักยภาพและบริโภคได้ แต่ใกล้เคียงกับการทดลองของกิติยา (2555) ในการศึกษาสาหร่ายน้ำจืด ได้แก่ สาหร่ายเตา [Spirogyra neglecta (Hassall) Kutzing] พบว่า น้ำหนักสาหร่ายเตาสด 20.71 กรัม ได้สาหร่ายเตาแห้ง 2.16 กรัม คิดเป็น 10.43%DW และ สาหร่ายเตาแห้ง 1 กรัมจะเท่ากับสาหร่ายเตาสด 10.43 กรัม

องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่าย *C. racemosa*

องค์ประกอบทางเคมีในสาหร่าย *C. racemosa* ทั้งรูปแบบสดและแห้ง พบว่า สาหร่ายแห้งมีความชื้นร้อยละ 12.19 ต่ำกว่าสาหร่ายสด ประมาณ 7.6 เท่า ส่วนปริมาณเถ้า โปรตีน ไขมัน เยื่อใย และคาร์โบไฮเดรตในสาหร่ายแห้ง มีค่าสูงกว่าสาหร่ายสด ($P \leq 0.05$) โดยปริมาณเถ้า โปรตีน ไขมัน เยื่อใย และคาร์โบไฮเดรตในสาหร่ายสด มีค่าเท่ากับร้อยละ 1.69, 2.29, 0.58, 0.84 และ 1.71 ตามลำดับ ส่วนสาหร่ายแห้ง มีค่าเท่ากับร้อยละ 13.57, 17.58, 0.88, 9.82 และ 45.96 ตามลำดับ ทั้งนี้คุณค่าทางโภชนาการในสาหร่ายแห้งมีค่าสูงกว่าในสาหร่ายสด คิดเป็น 8.0, 7.7, 1.5, 11.7 และ 26.8 เท่าตามลำดับ โดยชาญยุทธ (2551) ทำการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการในสาหร่าย *C. racemosa* พบว่ามีปริมาณความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรตในสาหร่ายแห้ง เท่ากับร้อยละ 9.57, 17.18, 18.5, 5.26 และ 49.49 ตามลำดับ คุณค่าทางโภชนาการที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน ยกเว้นปริมาณไขมันในสาหร่ายที่วิเคราะห์ได้ครั้งนี้มีค่าต่ำกว่า เช่นเดียวกับรายงานของสมปอง (2509) และ Sanford (1958) กล่าวว่าคุณค่าทางอาหารของสาหร่ายพวงองุ่น มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นความชื้นและคาร์โบไฮเดรต ส่วนโปรตีน ไขมัน เถ้า และเส้นใย มีอยู่ในปริมาณน้อย ความชื้นที่พบในสาหร่ายพวงองุ่นมีในปริมาณค่อนข้างสูงและมีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าสูงสุดถึง 97.8% (น้ำหนักสด) ส่วนปริมาณคาร์โบไฮเดรตซึ่งเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ของสาหร่ายพวงองุ่น มีค่าสูงสุดอยู่ในช่วง 54.05-78.15% และ 54.67-79.49% สอดคล้องกับองค์ประกอบส่วนใหญ่ที่พบในสาหร่าย *Caulerpa taxifolia* ซึ่งมีปริมาณคาร์โบไฮเดรต 65.8% (Hasni *et al.,* 1986) โดยสมปอง (2509) ได้รายงานเกี่ยวกับคุณค่าทางโภชนาการอาหารของสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล 8 ชนิด และสาหร่ายสีแดง 1 ชนิด บริเวณอ่าวศรีราชา จ. ชลบุรี ซึ่งองค์ประกอบส่วนใหญ่ของสาหร่าย เป็นความชื้นและคาร์โบไฮเดรตมีค่าอยู่ในช่วง 34.65-89.99 % และ 44.57-76.93 % ตามลำดับ ส่วนโปรตีน ไขมัน เถ้า และเส้นใย มีปริมาณน้อยและพบมีค่าอยู่ในช่วง 4.86-19.76%, 0.56-1.88%, 5.88-29.96%, 5.05–15.15% ตามลำดับ ส่วน Sanford (1958) พบว่าองค์ประกอบส่วนใหญ่ของสาหร่ายทะเลเป็นพวกคาร์โบไฮเดรต และส่วนน้อย เป็นพวกโปรตีน ไขมัน วิตามิน และแร่ธาตุ โดยเฉพาะธาตุฟอสฟอรัสและโปแตสเซียมมีเป็นปริมาณสูง ใกล้เคียงกับ Dawes and Goddard (1978) พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่าย *C. racemosa* มีระดับ

เฉลี่ยของคาร์โบไฮเดรต ไขมัน เถ้า และ โปรตีน เท่ากับ 42.5%, 5.3%, 14.9% และ 5.6% ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ส่วน Hasni *et al.,* (1986) พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายสีเขียว *caulerpa taxifolia* และสาหร่ายสีแดง *Hypnea musciformis* ประกอบด้วยร้อยละของ โปรตีนเท่ากับ 5.8 และ 12.5 , คาร์โบไฮเดรตเท่ากับ 65.8 และ 25.0 ,เถ้าเท่ากับ 14.8 และ 35.3, ไขมันเท่ากับ 0 และ 3.7

เมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองในสาหร่ายชนิดอื่น ดังเช่นอาภารัตน์ (2549) ศึกษา *N. commune* จากแหล่งธรรมชาติมีความชื้น 95-96% เมื่อนำไปอบจนแห้งที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ความชื้นจะมีค่า 12.97% ความชื้นดังกล่าวสามารถเก็บตัวอย่างสาหร่ายที่อุณหภูมิต่ำได้นานกว่าสาหร่ายสด ส่วนปริมาณเถ้ามีค่าสูงกว่าในสาหร่าย *N. commune* ซึ่งมีค่าร้อยละ 7.73 (อุไรวรรณ และคณะ, 2557) และร้อยละ 9.14 (อาภารัตน์, 2549) ทั้งนี้ปริมาณเถ้าแปรผันตามความชื้น ซึ่งปริมาณเถ้าสามารถใช้เป็นดัชนีบ่งชี้คุณภาพของอาหารและผลิตภัณฑ์ได้

ปริมาณโปรตีนในสาหร่ายแห้ง *C. racemosa* มีค่าต่ำกว่า สาหร่ายแห้ง *N. commune* ซึ่งให้ค่าร้อยละ 20.84 (ความชื้นร้อยละ 12.97) (อาภารัตน์, 2549) และปริมาณโปรตีนแปรผกผันกับค่าความชื้น คือเมื่อความชื้นสูง ปริมาณโปรตีนในตัวอย่างจะลดลง ปริมาณเยื่อใยและคาร์โบไฮเดรตในสาหร่ายแห้ง *C. racemosa* มีค่าสูงกว่าการวิเคราะห์ในสาหร่ายแห้ง *N. commune* ของ อุไรวรรณ และคณะ (2557) เช่นเดียวกับการทดลองของ กิติยา (2555) วิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายเตาสด พบว่า ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เส้นใย เถ้า และคาร์โบไฮเดรต มีค่าร้อยละ 92.76 1.84 0.51 0.84 0.74 และ 3.30 ตามลำดับ ส่วนในสาหร่ายเตาแห้ง พบว่าปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เส้นใย เถ้า และคาร์โบไฮเดรต มีค่าร้อยละ 10.66 20.90 4.95 6.90 7.42 และ 49.17 ตามลำดับ ซึ่งจะสาหร่ายแห้งจะให้องค์ประกอบทางเคมีสูงกว่าสาหร่ายสด แสดงให้เห็นว่าในสาหร่ายอบแห้ง และสาหร่ายสดมีคุณค่าทางโภชนาการแตกต่างกัน แม้ว่าสาหร่ายที่ทำการทดลองจะมีปริมาณโปรตีนและไขมันต่ำกว่าสาหร่ายเตา แต่ก็มีเยื่อใยสูงกว่า ซึ่งจะมีผลดีต่อสุขภาพ อีกทั้ง Joubert and Fleurence, (2008) กล่าวว่า องค์ประกอบทางเคมีในสาหร่ายอาจแตกต่างกันไปตามฤดูกาล สายพันธุ์ และระบบการเพาะเลี้ยง ซึ่งการทดลองครั้งนี้จะให้ปริมาณโปรตีนสูงกว่าสาหร่ายสาหร่ายสีแดง ซึ่งมีโปรตีนร้อยละ 5-15 น้ำหนักแห้ง (MacArtian *et.al*, 2007) และใกล้เคียงกับสาหร่ายผมนาง (ร้อยละ 18.04) (อรพรรณ, 2553) แม้ว่าสาหร่ายจะมีโปรตีนสูงไม่มากนักแต่ก็อุดมไปด้วยกรดอะมิโนจำเป็นครบถ้วน และมีข้อดีคือไขมันต่ำกว่าสาหร่ายหลายชนิด จึงเหมาะในการนำไปใช้เป็นอาหารเสริมสุขภาพและลดน้ำหนัก ใกล้เคียงกับรายงานของ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (2548) พบว่าสาหร่ายเห็ดลาบที่พบในธรรมชาติ มีปริมาณโปรตีน 20 เปอร์เซ็นต์ มีกรดอะมิโนจำเป็นครบถ้วน มีไขมันต่ำ และมีใยอาหารสูงถึง 43 เปอร์เซ็นต์

ทั้งนี้จากการทดลองพบว่า ปริมาณไขมันทั้งในสาหร่ายสด และแห้ง มีค่าไม่เกินร้อยละ 1 ซึ่งอาจเป็นกลุ่มไขมันชนิดดีที่พบในสาหร่ายทั่วไป โดย Burtin (2003) กล่าวว่า สาหร่ายประกอบด้วยไขมันเพียงร้อยละ 1-5 ของน้ำหนักแห้ง กรดไขมันที่พบในสาหร่ายมีทั้งกรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่มตัวในอัตราส่วนแตกต่างกัน สาหร่ายมีกรดไขมันจำเป็น เช่น โอเมก้า-3 และโอเมก้า-6 มีสมบัติในการป้องกันโรคเส้นเลือดหัวใจอุดตัน โรคไขข้ออักเสบ และในสาหร่ายสีเขียวพบในรูป alpha linolenic acid ดังนั้น แม้ว่าสาหร่ายที่นำมาศึกษาครั้งนี้จะมีปริมาณไขมันเพียงเล็กน้อย แต่ก็จัดเป็นข้อดีของสาหร่ายที่สามารถนำมาพัฒนาเป็นอาหารเชิงสุขภาพได้ ส่วนปริมาณโปรตีนที่มีค่าต่ำกว่าในสาหร่ายสีแดงบางชนิด แต่ก็นับว่ายังมีปริมาณสูง ทั้งนี้ Fleurence (1990) พบว่าสาหร่ายมีปริมาณโปรตีนประมาณร้อยละ 5-15 ของน้ำหนักแห้ง โดยโปรตีนและกรดอะมิโนแตกต่างกันไปตามฤดูกาลและสาย

พันธุ์ มีชนิดกรดอะมิโนกลูตามิกและแอสปาร์ติกในสาหร่ายเกือบทุกสายพันธุ์ ซึ่งมีบทบาทในการเสริมรสชาติทำให้เกิดรสอร่อย และกรดอะมิโนจำเป็นที่พบในสาหร่าย ได้แก่ ฮีสติดีน ไอโซลิวซีน ลิวซีน และวาลีน

ผลการวิเคราะห์ฤทธิ์ทางชีวภาพ

กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระและปริมาณคลอโรฟิลล์ในสาหร่าย *C. racemosa*

กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของสาหร่ายสด *C. racemosa* แสดงฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระที่ดีกว่าสาหร่ายแห้ง ทั้งนี้อาจเพราะความร้อนในระหว่างการอบแห้งส่งผลต่อการสลายหายไปของกลุ่มสารต้านอนุมูลอิสระบางกลุ่ม ทั้งนี้จากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระของสาหร่าย *C. racemosa* ซึ่งเป็นกลุ่มสาหร่ายสีเขียว มีค่าต่ำกว่าสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน โดยจากงานทดลองของ รจนา และคณะ (2550) ที่พบว่าสาหร่ายสไปรูลินามีค่า IC_{50} อยู่ในช่วง 0.552-2.045 mg/ml ขณะที่สาหร่าย *C. racemosa* มีค่า IC_{50} ในช่วง 9.13-9.64 mg/ml อีกทั้งปริมาณสารสีหรือ รงควัตถุสารสีในสาหร่ายก็ส่งผลต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระเช่นเดียวกับสารสีในพืชอื่น (Suttajit *et al.,* 2006) ดังนั้นสาหร่ายสดจึงแสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้ดีกว่าสาหร่ายแห้งเพราะรงควัตถุยังคงมีสภาพธรรมชาติ ไม่ถูกทำลายโดยความร้อนและการแปรรูป ส่วนปริมาณคลอโรฟิลล์ในสาหร่ายแห้งมีคลอโรฟิลล์ A และคลอโรฟิลล์ B สูงกว่าในสาหร่ายสดเท่ากับ 3 และ 15 เท่า ตามลำดับ ($P \leq 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องจากสาหร่ายแห้งมีความชื้นต่ำกว่าสาหร่ายสด การทดลองครั้งนี้เป็นไปในทำนองเดียวกับ การทดลองของพันธุ์ทิพย์ และคณะฯ (2556) วิเคราะห์สารสกัดจากกลุ่มสาหร่ายสีเขียว คือสาหร่าย *Neomeris vanbosseae* ออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ได้ถึงร้อยละ 49.62 และสารสกัดจากสาหร่ายสีแดง *Acanthophora spicifera* ออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ร้อยละ 47.07 นอกจากนี้ยังพบว่าสาหร่ายกลุ่มสีน้ำตาลออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ได้ดีเช่นกัน โดยสารสกัดจากสาหร่าย *Lobophora variegata*, *Sargassum polycystum* และ *Turbinaria conoides* มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH คิดเป็นร้อยละ 73.13, 60.85 และ 53.79 ตามลำดับ ซึ่งฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสาหร่าย *L. variegata* ใกล้เคียงกับ BHT และกรดแอสคอร์บิค คิดเป็นร้อยละ 93.47 และ 95.13 ตามลำดับ ใกล้เคียงกับ Zubia *et al*. (2007) ที่พบว่าสาหร่าย *L. variegata* ออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ได้ดีที่สุด โดยมีค่า EC_{50} เท่ากับ 0.32±0.01 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และสาหร่าย *Sargassum* เป็นสาหร่ายที่มีการกล่าวถึงในด้านออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้ดีเช่นกัน (Matsukawa *et al*., (1967); Lim *et al*., (2002) ; Park *et al*., (2005) ; Chandia *et al.,* (2008)) อีกทั้ง การศึกษาของ Kumar *et al.,* (2008) พบว่าสารสกัดด้วยเอทธิลอะซีเตทของสารสกัดจาก *Solanum marginatum* ออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ได้ดีที่สุด เท่ากับร้อยละ 23.16 นอกจากนั้นสาหร่าย *Turbinaria conoides* ก็พบว่าออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ได้ดีคล้ายคลึงกับรายงานการศึกษาของ Boonchum *et al*., (2011) ที่พบว่าสารสกัดด้วยน้ำจาก *Turbinaria conoides* ออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ได้ดีที่สุด โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ 0.128 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และ Zhang *et al*. (2007) พบว่าสารสกัดจากสาหร่ายสีแดง *Symphyocladia latiuscula* มีค่าการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงถึงร้อยละ 88.32 เช่นเดียวกับ วสันต์ และคณะ (2556) ศึกษากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบจากสาหร่ายพวงองุ่น (*C. lintilliferra*) สาหร่ายทุ่น (*Sargassm oilgocystum*) และสาหร่ายเขากวาง (*Garcilaria chongii*) พบว่า สารสกัดหยาบด้วยน้ำร้อนและสารสกัดหยาบด้วยเอทานอลจากสาหร่าย

ทุ่นมีประสิทธิภาพในการขจัดอนุมูล DPPH (EC_{50}) มากที่สุด เท่ากับ 118.24±9.76 µg/ml และ 121.33±4.89 µg/ml ตามลำดับ

การทดลองในสาหร่ายสด *C. racemosa* ครั้งนี้ ให้ค่า IC_{50} เท่ากับ 9.13 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร บ่งชี้ว่าประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระดีกว่ารายงานของ พันธุ์ทิพย์และคณะ (2556) ที่ทำการทดลองในสาหร่าย *L. variegata* ออกฤทธิ์ได้สูงสุดมีค่า IC_{50} เท่ากับ 35.33 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระในสาหร่ายแห้งต่ำกว่าสาหร่ายสด บ่งชี้ว่าความร้อนจากการอบแห้งมีผลต่อกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ จากผลการทดลองจึงกล่าวได้กว่า สาหร่ายมีบทบาทสำคัญในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ โดยมีสารกลุ่มหนึ่งที่มีประสิทธิภาพ ได้แก่ สารฟีนอล (Phenol) (Matsukawa *et al*., 1997; Lim *et al*., 2002; Li *et al*., 2007; Zhang *et al*., 2007; Zubia *et al*. 2007; Kumar *et al*., 2008; Boonchum *et al*., 2011) มีรายงานการศึกษาที่ชี้ให้เห็นว่าสาหร่ายทะเลเป็นแหล่งที่สำคัญของสารต้านอนุมูลอิสระที่มีศักยภาพในการพัฒนาใช้ในการรักษาสุขภาพของมนุษย์ อาหารเสริม เครื่องสำอาง และอุตสาหกรรมต่างๆ (วนิดา, 2545; Cornish and Garbary, 2010; Boonchum *et al*., 2011) อีกทั้งการวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระในตัวอย่างอาจทำได้หลายวิธีการ โดยพันธุ์ทิพย์ และคณะ (2556) วิเคราะห์สารสกัดจากสาหร่ายสีเขียว 6 ชนิด สาหร่ายสีน้ำตาล 5 ชนิด และสาหร่ายสีแดง 5 ชนิด พบว่าออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยมีค่าการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS ระหว่างร้อยละ 5.89±0.46 – 73.13±1.26 และ 41.19±1.65 – 85.85±0.43 สารสกัดที่มีประสิทธิภาพในการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงสุด คือ สารสกัดจากสาหร่ายสีน้ำตาล *Lobophora variegata* ออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS มีค่า IC_{50} เท่ากับ 35.33 และ61.33 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และยังพบว่าสารสกัดจากกลุ่มสาหร่ายสีน้ำตาลมีการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ได้สูงกว่าสาหร่ายอีกสองกลุ่ม ดังนั้นสาหร่ายจึงน่าจะมีศักยภาพในการใช้เป็นสารเสริมสุขภาพจากธรรมชาติได้ดีอีกทางเลือกหนึ่ง เพราะผู้บริโภคมีความต้องการสารต้านอนุมูลอิสระที่มาจากธรรมชาติ (natural antioxidants) ซึ่งมีความปลอดภัยและไม่เป็นพิษเพิ่มมากขึ้น (วัชรี, 2549; สุภามาศ, 2547; สุพร, 2549)

ปริมาณคลอโรฟิลล์ในสาหร่ายแห้งได้แก่ ปริมาณคลอโรฟิลล์ A และคลอโรฟิลล์ B เท่ากับ 10.3520 และ 17.2998 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ สูงกว่าสาหร่ายสดประมาณ 3 และ 17 เท่า ตามลำดับ เพราะสาหร่ายแห้งมีความชื้นต่ำกว่าสาหร่ายสด ทั้งนี้คลอโรฟิลล์จัดเป็นรงควัตถุที่มีบทบาทและหน้าที่สำคัญ ในการดูดซับพลังงานแสงเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช(Gross, 1991) ดังนั้นปริมาณของคลอโรฟิลล์ในเนื้อเยื่อของพืชจึงสามารถใช้เป็นดัชนีบ่งชี้ถึงความสามารถในการสร้างอาหารเพื่อการเจริญเติบโตของพืช ตลอดจนการตอบสนองต่อปัจจัยด้านต่างๆ (วิรัตน์, 2539) โดยเฉพาะในสาหร่ายสีเขียวประกอบด้วยคลอโรฟิลล์ชนิด เอ และ บี ซึ่งคลอโรฟิลล์ เอ จัดเป็น primary photosynthetic pigment ส่วนคลอโรฟิลล์ บีและคลอโรฟิลล์อื่นๆ จัดเป็น secondary Photosynthetic pigment ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ที่พบในสาหร่ายมีประมาณ 0.1-2.0 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักแห้ง (Stewart, 1974) ซึ่ง Round (1970) กล่าวว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ของสาหร่ายมีประมาณ 0.5-1.5 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักแห้ง คลอโรฟิลล์เอ จะมีคุณสมบัติละลายในแอลกอฮอล์ ไดเอทธิลอีเทอร์ เบนซีน และอะซีโตน แต่ไม่ละลายในน้ำ ทั้งนี้ ปริมาณคลอโรฟิลล์ในสาหร่ายชนิดต่างๆ จะเป็นปฏิภาคกลับกับความเข้มแสง ซึ่งแสงจะเป็นตัวกำหนดการสร้างคลอโรฟิลล์ เช่น *Chlorella vulgaris* คลอโรฟิลล์จะถูกทำลายถ้าได้รับแสงที่ความเข้มแสงสูงเป็นเวลานานๆ แต่ที่ความเข้มแสงต่ำ ปริมาณคลอฟิลล์จะสูง (Fogg, 1975)

Hayatsu *et al.,* (1993) กล่าวว่าประโยชน์ที่ได้รับประทานคลอโรฟิลล์ คือ ช่วยเพิ่มปริมาณเม็ดเลือดแดงในร่างกาย ช่วยในผิวพรรณสดใส ลดปัญหากลิ่นตัว ช่วยให้ภูมิต้านทานร่างกายแข็งแรงขึ้น ป้องกันตับอักเสบ มีฤทธิ์ต้านสารพิษในการก่อมะเร็งต่างๆ เช่น มะเร็งตับ มะเร็งลำไส้ และมะเร็งเต้านม เป็น pro-biotics ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย และควบคุมหรือกำจัดปริมาณจุลินทรีย์ก่อโรคในร่างกาย ช่วยให้ระบบขับถ่ายดีขึ้น ป้องกันหรือลดความรุนแรงของโรคติดเชื้อในทางเดินทางอาหาร เช่น ท้องเสีย ช่วยเพิ่มการดูดซึมแคลเซียมของร่างกาย ทำให้บาดแผลหายเร็ว เพิ่มปริมาณเลือดในผู้ป่วยโรคโลหิตจาง ระงับปวด เช่น ปวดจากบาดแผล ริดสีดวงทวาร และอาการอักเสบในร่างกาย เสริมสมรรถภาพการทำงานของตับ รวมทั้งบรรเทาโรคตับอักเสบ ควบคุมความเป็นกรดในกระเพาะอาหาร ควบคุมการย่อยอาหาร ปรับระดับน้ำตาลในเลือดในผู้ป่วยที่เป็นเบาหวาน และสำคัญ คือ มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ดังนั้นการที่สาหร่ายทั้งแบบสดและแห้งยังคงมีปริมารณคลอโรฟิลล์ในระดับที่สูง ก็จะเป็นการดีต่อการนำสาหร่ายไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารส่งเสริมสุขภาพในอนาคต

การสกัดพอลิแซ็กคาไรด์จากสาหร่าย *C. racemosa*

การสกัดพอลิแซ็กคาไรด์จากสาหร่ายแห้ง *C. racemosa* ด้วยน้ำร้อน ได้พอลิแซ็กคาไรด์มีลักษณะสีขาวใสปนเขียวเล็กน้อย เมื่อถูกน้ำจะมีลักษณะเป็นเมือกหยุ่น ละลายน้ำได้เล็กน้อย ไม่พบโปรตีนในสารละลายส่วนใส เช่นเดียวกับการสกัดพอลิแซ็กคาไรด์จากสาหร่ายแห้ง *N. commune* ด้วยน้ำร้อน ได้พอลิแซ็กคาไรด์ที่มีความขุ่น เมื่อถูกน้ำจะมีลักษณะเป็นเมือก ละลายน้ำได้เล็กน้อย (อุไรวรรณ และคณะ, 2557) และพบว่าสาหร่าย *C. racemosa* ให้ปริมาณสารสกัดและปริมาณพอลิแซคคาไรด์ เท่ากับร้อยละ 37.87 และ 16.12 ทั้งนี้ปริมาณพอลิแซคคาไรด์ที่ได้ครั้งนี้น้อยกว่า การสกัดจากสาหร่าย *N. commune* ซึ่งให้ปริมาณพอลิแซคคาไรด์ เท่ากับร้อยละ 28.68 (อุไรวรรณ และคณะ, 2557) ขณะที่ปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์ที่ได้จากการทดลองครั้งนี้มีค่าใกล้เคียงกับ กิตติยา (2555) ซึ่งทำการสกัดพอลิแซ็กคาไรด์จากสาหร่ายเตาสดและแห้งด้วยน้ำร้อน พบว่าได้ปริมาณ พอลิแซ็กคาไรด์จากสาหร่ายเตาสดคิดเป็น 12.96% และสาหร่ายเตาแห้งคิดเป็น 15.89% ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์ที่สกัดได้นี้ มีปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่วิเคราะห์ได้ (45.60% และ 55.04% ในสาหร่ายเตาสดและสาหร่ายเตาแห้งตามลำดับ) ทั้งนี้อาจเนื่องจากการสกัดด้วยน้ำร้อนสามารถสกัดพอลิแซ็กคาไรด์เฉพาะในส่วนที่สามารถละลายน้ำได้ออกมาเท่านั้น แต่เนื่องจากสาหร่ายเตายังมีสารประกอบพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดอื่นที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ (นิธิยา, 2553) ทำให้ไม่สามารถสกัดพอลิแซ็กคาไรด์ประเภทที่ไม่ละลายน้ำด้วยวิธีการสกัดนี้ได้ จึงควรมีขั้นตอนการสกัดจากตัวทำละลายอื่นๆ เพิ่มขึ้นเพื่อให้ได้ปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์เพิ่มขึ้นด้วย เช่น ส่วนกากที่เหลือจากการสกัดด้วยน้ำร้อนแล้วมาสกัดด้วยกรดหรือด่างอีกครั้ง ดังเช่นงานวิจัยของ Ray and Lahaye (1995) ทำการสกัดพอลิแซ็กคาไรด์จากสาหร่ายทะเลสีเขียว *Ulva rigida* โดยใช้สารละลายในการสกัดหลายชนิด คือ oxalate, KOH 1 M และ 4 M และ sodium chlorite ทำให้ได้พอลิแซ็กคาไรด์เพิ่มมากขึ้น ซึ่งแบ่งเป็นกลุ่มได้ 3 กลุ่ม คือ sulfated glucuronorhamnoxylo-glycans (ulvan), hemicellulosic ประกอบด้วย glucuronans และ glucoxylans และ sulfated polysaccharides (ประกอบด้วย glucose, xylose, mannose และ protein)

แม้ว่าปัจจุบัน จะมีการศึกษาสารสกัดโพลีแซคคาไรด์จากสาหร่ายอย่างแพร่หลายในสาหร่ายหลายชนิด ทั้งในกลุ่มของสาหร่ายสีเขียว สาหร่ายสีแดง และสาหร่ายสีน้ำตาล ด้วยวิธีการที่แตกต่างกัน

ทำให้ปริมาณและองค์ประกอบทางเคมีของสารสกัดจากสาหร่ายแต่ละชนิดแตกต่างกันไปด้วย ในการศึกษาสารสกัดหยาบโพลีแซคคาไรด์และประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์จาก *Caulerpa racemosa* var. *macrophysa* นั้นพบว่ายังมีการศึกษาน้อย โดยงานวิจัยของโศรดากรณ์ (2552) รายงานสารสกัดหยาบโพลีแซคคาไรด์ที่ได้จากการสกัดด้วยน้ำกลั่น ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นั้นไม่มีการเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาที่ทดลองทั้ง 12 เดือน แต่พบว่ามีค่าเฉลี่ยปริมาณสารสกัดมากที่สุดจากสาหร่ายในจุดสำรวจแสมสารในเดือนกุมภาพันธ์ 2549 แต่ก็มีค่าค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของ Ghosh *et al*., (2004) ที่รายงานว่า *C. racemosa* ในประเทศอินเดียให้ปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์ร้อยละ 20 เมื่อสกัดด้วยน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

การทดลองครั้งนี้ สาหร่าย *C. racemosa* ให้ปริมาณสารสกัดหรือปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด เท่ากับร้อยละ 37.87 สอดคล้องกับการทดลองของ โศรดากรณ์ (2552) รายงานถึงปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดในสารสกัดหยาบโพลีแซคคาไรด์ มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 30.27- 37.31 ใกล้เคียงกับปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่มีการศึกษาใน *C. racemosa* จากชายฝั่งประเทศอินเดีย (ร้อยละ 33) (Ghosh *et al*., 2004) นอกจากนั้นยังมีค่ามากกว่าปริมาณคาร์โบไฮเดรตจาก *C. racemosa* (ร้อยละ 14.7) และ *C. lentillifera* (ร้อยละ 12.8) จากบริเวณ Darwin Harbour ทางตอนเหนือของออสเตรเลีย (Renaud and Luong-Van,2006) และมีค่ามากกว่า *Caulerpa racemosa* var. *macrophysa* ที่เคยมีรายงานในสาหร่ายที่ศึกษาในประเทศไทย (ร้อยละ 25.83) (Chirapart *et al*., 2007) แต่จากการทดลองครั้งนี้กลับพบปริมาณน้อยกว่าเมื่อเทียบกับสาหร่ายในกลุ่มสีเขียวชนิดอื่น เช่น *Ulva pertusa* (Pengzhan *et al*., 2003) *Codium vermilara* (Ciancia *et al*., 2007) โดยเฉพาะจากรายงานของ Athukorala (2007) ที่พบว่าใน *Codium* มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงถึงร้อยละ 80 ซึ่ง Renaud and Luong-Van (2006) รายงานไว้ว่าปริมาณคาร์โบไฮเดรตจาก *Caulerpa racemosa* และ *Neomeris* van-bosseae Howe มีความแตกต่างกันในช่วงฤดูที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

การทดลองครั้งนี้ใช้การสกัดพอลิแซ็กคาไรด์ด้วยน้ำร้อน แต่จากหลายรายงานยังสามารถสกัดได้อีกหลายวิธีที่แตกต่างกัน ซึ่งการใช้วิธีการที่ต่างกันย่อมมีผลต่อปริมาณของพอลิแซ็กคาไรด์ที่สกัดได้ด้วย โดย นพรัตน์และคณะ (2553) ทำการสกัดสาหร่าย 3 ชนิด ด้วยวิธีการต่างกัน พบว่าปริมาณสารสกัดจากสาหร่ายผมนางก่อนทำแห้ง แบบกำจัดสี สกัดด้วยเอทานอล ความเข้มข้นร้อยละ 80 เวลา 2 ชั่วโมง ให้ปริมาณสารสกัดมากที่สุด ปริมาณสารสกัดจากสาหร่ายผักกาดทะเลก่อนทำแห้ง ทั้งการกำจัดสีและไม่กำจัดสี สกัดด้วยเอทานอล ความเข้มข้นร้อยละ 80 เวลา 2 ชั่วโมง ให้ปริมาณสารสกัดมากที่สุด และปริมาณสารสกัดในสาหร่ายขนนก สกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอล ความเข้มข้นร้อยละ 20 เวลา 2 ชั่วโมง ให้ปริมาณสารสกัดมากที่สุด เมื่อนำมาหาปริมาณสารพอลิแซ็กคาไรด์ พบว่าจากสาหร่ายผมนาง และสาหร่ายผักกาดทะเล ที่สกัดในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เวลาสกัด 1 ชั่วโมง ให้ปริมาณสารพอลิแซ็กคาไรด์มากที่สุด ทั้งที่กำจัดสีและไม่กำจัดสี อีกทั้ง วสันต์ และคณะ (2556) พบว่าการใช้น้ำร้อนในการสกัดสารจากสาหร่ายจะทำให้ได้สารพอลิแซ็กคาไรด์ (Jiao *et al*., 2011) ซึ่งสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่สกัดได้จากสาหร่ายล้วนมีความสามารถในการเป็นสารแอนติออกซิแดนซ์ที่มีประสิทธิภาพสูง (Ganesan *et al*.,2008; Nalin *et al*., 2005) โดยประสิทธิภาพในการเป็นสารแอนติออกซิแดนซ์ของสารสกัดจากสาหร่ายที่แตกต่างกันเป็นผลมาจากชนิดและปริมาณของสารประกอบฟินอลิก ชนิดของโพลีแซคคาไรด์ รงควัตถุ แคโรทีนอยด์ เช่น fucoxanthin เป็นต้น รวมทั้งโปรตีน ที่แตกต่างกันในสาหร่ายแต่ละชนิด (Farvin and Jacobsen, 2013)

ทั้งนี้พอลิแซ็กคาไรด์จากสาหร่ายทะเลมีคุณสมบัติเด่นทางด้านเภสัชกรรมหลายอย่าง เช่น ยับยั้งเนื้องอก เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ป้องกันเลือดจับตัวเป็นก้อน ลดน้ำตาลในเลือด ควบคุมไขมันในเลือด และปรับปรุงภูมิคุ้มกันของร่างกาย ในสาหร่ายขนนก *Caulerpa racemosa.* เป็นสาหร่ายสีเขียวประกอบด้วยพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีคุณสมบัติด้าน immunomodulatory effects ต่อ T lymphocyte subgroup และ natural killer cell ในหนู (Tuo *et al*., 2007) ซึ่ง natural killer cell จะมีหน้าที่ในการยับยั้งเนื้องอก และเซลล์ที่ถูกจับโดยไวรัส และจากการศึกษาของ Ghosh *et al*., (2004) พบว่าการสกัดพอลิแซ็กคาไรด์จากสาหร่าย *Caulerpa racemosa* ด้วยน้ำร้อนได้พอลิแซ็กคาไรด์ 3 กลุ่มคือ 1) sulfated heteropolysaccharides 2) พอลิเมอร์ซึ่งประกอบด้วย xylose และ glucose(xyloglucans) และ 3) skeletal xylans นอกจากนั้นยังพบว่า sulfated heteropolysaccharide มี คุณสมบัติในการยับยั้งไวรัสได้

ผลิตภัณฑ์แปรรูปจากสาหร่ายทะเล *C. racemosa*

ผลิตภัณฑ์ข้าวพองสังข์หยดเสริมสาหร่าย

ข้าวพองเคลือบสาหร่าย สูตรที่มีการเสริมสาหร่ายร้อยละ 3 จะมีลักษณะปรากฏเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคที่สุด สีของสาหร่ายเพิ่มความสวยงาม และความหอมสาหร่ายของข้าวพอง มีสีน้ำตาลแดงเข้มจากปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชั่น ทั้งนี้ข้าวตังก่อนนำไปทอดกรอบมีค่าความชื้นในช่วงระหว่างร้อยละ 8 - 9 และข้าวสังข์หยดพัทลุงมีปริมาณอะไมโลสต่ำ ปริมาณอะไมโลเพคตินสูง จึงมีการพองตัวได้ดีใกล้เคียงกับข้าวเหนียว ลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความนุ่มน้อยกว่าข้าวเหนียว การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในผลิตภัณฑ์ข้าวพองเสริมสาหร่าย ทั้ง 3 สูตร พบว่า ปริมาณเถ้า ปริมาณโปรตีน คลอโรฟิลล์เอ และ บี มีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณการเสริมสาหร่าย โดยข้าวพองเคลือบสาหร่าย 5% ให้ค่าสูงที่สุด แต่ในทางตรงข้าม ปริมาณความชื้นและปริมาณไขมันกลับมีค่าลดต่ำลงตามการเสริมสาหร่ายในผลิตภัณฑ์ข้าวพองที่เพิ่มขึ้น ($P \leq 0.05$) ปริมาณเยื่อใย และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระมีค่าดีที่สุดในสูตรข้าวพองสังข์หยดเคลือบสาหร่าย 3% ส่งผลให้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตมีค่าต่ำกว่าสูตรอื่นด้วย เมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองของ จริยา (2542) ที่ศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารว่างจากข้าวพองที่ทำจากข้าวกล้องหักหอมมะลิผสมถั่วลิสง พบว่า การทดลองครั้งนี้มีค่าความชื้นในผลิตภัณฑ์สูงกว่าคือมีค่าอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 6.38-6.89 แต่ของจริยา (2542) มีค่าความชื้นเพียงแค่ร้อยละ 1.21 ส่งผลให้คุณค่าทางโภชนาการอื่นมีค่าแตกต่างกันด้วย โดย จริยา (2542) พบว่า ค่าความชื้นร้อยละ 1.21 เป็นความชื้นที่ต่ำนี้มีผลจากปริมาณของของแข็งภายในน้ำเชื่อมที่มาก โปรตีนร้อยละ 12.63 มีปริมาณมากกว่าร้อยละ 10 ตามข้อกำหนด ปริมาณไขมันร้อยละ 17.74 ซึ่งถ้ามีการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ทำจากเนยถั่วลิสงไขมันเต็ม ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีปริมาณไขมันเท่ากับร้อยละ 23.58 ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้จะมีปริมาณไขมันลดลงจากเดิมร้อยละ 25.49 ซึ่งจากคำนิยามที่ใช้ในการกำหนดระดับโภชนาการอาหารของ FDA (Komolprascrt, 1996) พบว่าอาหารที่มีการดัดแปลงหรือไม่ก็ตามที่มีคุณค่าทางอาหารหรือพลังงานลดลงอย่างน้อยร้อยละ 25 จากผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้ลดหรือผลิตภัณฑ์อ้างอิง สามารถใช้คำว่า “น้อยกว่า” (Less หรือ Fewer) ได้ ผลิตภัณฑ์มีปริมาณเถ้าร้อยละ 1.78 ปริมาณเยื่อใยร้อยละ 0.91 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 65.73 ทั้งนี้ปริมาณโปรตีนในข้าวพองสังข์หยดเคลือบสาหร่าย มีค่าใกล้เคียงกับค่ากำหนดมาตรฐาน ปริมาณไขมันมีค่าต่ำกว่ามากเพราะไม่มีส่วนผสมของไขมัน ส่วนปริมาณเยื่อใยมีค่าใกล้เคียงกัน และการเสริมสาหร่ายลงไปในผลิตภัณฑ์สามารถเพิ่มฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระได้ดีกว่าโดยสาหร่ายมีสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีความสามารถในการเป็นสารแอนติออกซิแดนซ์ที่มีประสิทธิภาพสูง

(Ganesan *et al*.,2008; Nalin *et al*., 2005) และสาหร่ายมีสารฟินอลิก ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Matsukawa *et al*., 1997; Lim *et al*., 2002; Li *et al*., 2007; Zhang *et al*., 2007; Zubia *et al*. 2007; Kumar *et al*., 2008; Boonchum *et al*., 2011) โดยมีการทดลองที่ชี้ให้เห็นว่าสาหร่ายทะเลเป็นแหล่งที่สำคัญของสารต้านอนุมูลอิสระที่มีศักยภาพในการพัฒนาใช้ในการรักษาสุขภาพของมนุษย์ อาหารเสริม เครื่องสำอาง และอุตสาหกรรมต่างๆ (วนิดา, 2545; Cornish and Garbary, 2010; Boonchum *et al*., 2011) ดังนั้นการเสริมสาหร่ายลงไปในข้าวพองสามารถเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการได้โดย สูตรที่เสริมสาหร่ายทั้งร้อยละ 3 และ 5 ให้คุณค่าทางโภชนาการใกล้เคียงกัน ยกเว้นปริมาณเยื่อใย และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในสูตรที่เสริมสาหร่ายร้อยละ 3 จะให้ค่าสูงกว่า แต่หากพิจารณารวมไปถึงในแง่ต้นทุนการผลิต สูตรข้าวพองเสริมสาหร่ายร้อยละ 3 มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มากกว่า เพราะมีต้นทุนค่าการผลิตต่ำกว่า

จากผลการประเมินปริมาณสาหร่ายที่ 3 ระดับ คือร้อยละ 0, 3 และ 5 ในผลิตภัณฑ์ข้าวพองเคลือบสาหร่าย โดยทดสอบคุณลักษณะทางด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบรวม พบว่าทั้ง 3 สูตร มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ทั้งนี้ สูตรข้าวพองที่มีส่วนผสมของสาหร่ายร้อยละ 3 ได้รับค่าคะแนนด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบรวมสูงที่สุด รองลงมาคือ สูตรข้าวพองที่มีส่วนผสมของสาหร่ายร้อยละ 5 และ 0 ตามลำดับ แสดงว่าการใส่สาหร่ายในข้าวพองส่งผลต่อความชอบรวมของผลิตภัณฑ์ โดยจริยา (2542) ศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารว่างจากข้าวพองที่ทำจากข้าวกล้องหักหอมมะลิผสมถั่วลิสง พบว่า เมื่อทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบรวมต่อผลิตภัณฑ์ข้าวพองที่ทำจากข้าวกล้องหักหอมมะลิผสมถั่วลิสงที่พัฒนาแล้ว มีค่าเท่ากับ 7.10 หรือมีระดับปานกลาง ลักษณะการเกาะตัว ลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความแข็ง ความกรอบและความร่วน และกลิ่นรสเนยถั่วลิสงมีคะแนนระดับปานกลาง

ผลิตภัณฑ์คุกกี้ข้าวตอกสังข์หยดหน้าสาหร่าย

คุกกี้ข้าวตอกสังข์หยดหน้าสาหร่าย มีลักษณะเป็นก้อนกลม มีความกรอบร่วน สีเหลืองนวล แซมด้วยเมล็ดข้าวตอกสังข์หยดสีน้ำตาลแดง และสาหร่ายให้สีเขียวอ่อน ให้กลิ่นหอมของข้าวตอกและกลิ่นสาหร่าย การผสมสาหร่ายแห้งในปริมาณต่างกันทำให้คุกกี้มีสีเขียวเข้มขึ้นตามระดับของการผสมสาหร่าย และการเสริมสาหร่ายในคุกกี้ข้าวตอกสังข์หยดมีผลให้องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์สูงกว่าสูตรที่ไม่เสริมสาหร่าย โดยการเสริมสาหร่ายร้อยละ 5 ให้คุณค่าที่ดีที่สุด คือ มีค่าปริมาณความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน เยื่อใย และ คาร์โบไฮเดรต เท่ากับร้อยละ 2.84, 1.47, 5.32, 26.52, 0.65 และ 63.20 ตามลำดับ ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ มีค่า IC_{50} เท่ากับ 97.54 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บี มีค่าเท่ากับ 1,602.08 และ 3,033.47 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ การเสริมสาหร่ายในผลิตภัณฑ์ สามารถเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้ดีกว่าสูตรควบคุม โดยเฉพาะการเสริมสาหร่ายร้อยละ 5 ให้ปริมาณเยื่อใย และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระที่ดีกว่า แม้ว่าจะมีต้นทุนการผลิตสูงกว่าก็ตาม ทั้งนี้ ซูไหวนิ๊ะ (2556) พบว่า คุกกี้ผสมข้าวตอกปริมาณ 15 กรัม มีความชื้นต่ำกว่าชุดควบคุม เนื่องจากคุกกี้มีการเติมข้าวตอกทำให้มีผลของความชื้นลดลง ปริมาณเถ้าในคุกกี้สูตรควบคุม มีค่าร้อยละ 1.43 ใกล้เคียงคุกกี้ข้าวตอกสังข์หยดหน้าสาหร่ายที่ทดลองครั้งนี้ แต่พบว่าสูงกว่าคุกกี้ผสมข้าวตอก 15 กรัม ที่มีค่าร้อยละ 1.28 ซึ่งต่ำกว่าการทดลองครั้งนี้ ทั้งนี้เพราะการเติมสาหร่ายจะส่งผลต่อปริมาณเถ้าหรือแร่ธาตุที่อาจเพิ่มขึ้นจากวัตถุดิบสาหร่ายเอง ปริมาณโปรตีนในคุกกี้ข้าวตอกสังข์หยด

หน้าสาหร่าย มีค่าร้อยละ 5.32 สูงกว่าโปรตีนในคุกกี้ผสมข้าวตอก 15 กรัม และสูตรควบคุม ซึ่งมีค่าร้อยละ 4.47 และ 4.03 ตามลำดับ ซูไหวน๊ะ (2556) ทั้งนี้ปริมาณโปรตีนที่เพิ่มขึ้นน่าจะมาจากการโปรตีนของสาหร่ายที่เติมลงไปในผลิตภัณฑ์ ส่วนปริมาณไขมันของคุกกี้ชุดควบคุมและ คุกกี้ผสมข้าวตอก 15 กรัม จากการทดลองของซูไหวน๊ะ (2556) มีค่าต่ำกว่าปริมาณไขมันที่ได้จากการทดลองครั้งนี้ คือมีค่าร้อยละ 22.44 และ 21.79 ตามลำดับ ส่วนความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ มีค่าร้อยละ 77.54 แม้ว่าจะไม่สามารถเปรียบเทียบกับการทดลองครั้งนี้ได้ เนื่องจากการทดลองครั้งนี้รายงานผลการต้านอนุมูลอิสระ ในรูปแบบ IC_{50} แต่การทดลองแสดงให้เห็นว่าการเติมสาหร่ายลงไปในผลิตภัณฑ์สามารถเพิ่มฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระได้ ทำให้คุณค่าทางโภชนาการของคุกกี้ข้าวตอกสังข์หยดหน้าสาหร่ายเพิ่มขึ้น

ผลการประเมินปริมาณสาหร่ายที่เสริมในผลิตภัณฑ์คุกกี้ข้าวตอกสังข์หยดหน้าสาหร่าย 3 ระดับ คือร้อยละ 0, 3 และ 5 พบว่าทั้ง 3 สูตร มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) ทั้งนี้ คุกกี้ข้าวตอกสังข์หยดหน้าสาหร่าย ร้อยละ 3 ได้รับค่าคะแนนด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบรวมสูงที่สุด รองลงมาคือ คุกกี้ข้าวตอกสังข์หยดหน้าสาหร่าย ร้อยละ 5 ส่วนกลุ่มควบคุม (ไม่เติมสาหร่าย) ให้ค่าผลการประเมินต่ำสุด เช่นเดียวกับ ซูไหวน๊ะ (2556) ทำการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสต่อผลิตภัณฑ์คุกกี้ข้าวตอก พบว่า คุกกี้ผสมข้าวตอกปริมาณ 15 กรัม มีค่าคะแนนเฉลี่ยในการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสดีที่สุด

ผลิตภัณฑ์ซอสสาหร่าย

ผลของการเพิ่มสาหร่าย *Caulerpa racemosa* ลงไปในผลิตภัณฑ์ ทำให้ผลิตภัณฑ์ดูมีสีสันสวยขึ้น ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์ที่มีรสชาติดีสุด ได้แก่ ซอสสาหร่ายรสสุกี้ ผู้บริโภคมีความพึงพอใจในรสชาติมากกว่าสูตรอื่น เมื่อนำซอสสาหร่ายแต่ละสูตรอบแห้งลดความชื้น และวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พบว่า ผลิตภัณฑ์ซอสสาหร่ายรสซีฟู้ด มีค่าปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และเถ้า เท่ากับร้อยละ 2.71, 6.26, 0.37, 77.01 และ 13.66 ตามลำดับ ทั้งนี้แตกต่างจากผลิตซอสสาหร่ายรสซีฟู้ดจากสาหร่ายโพรงของ อังคนาวรรณ (2553) วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในรูปน้ำหนักสด ให้ค่าความชื้น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และเถ้า เท่ากับร้อยละ 83.33, 0.75, 0.13, 11.53 และ 4.27 ตามลำดับ ซอสสาหร่ายรสสุกี้จากการทดลองครั้งนี้ให้ค่า ความชื้น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และเถ้า เท่ากับร้อยละ 2.06, 5.78, 0.55, 83.33 และ 8.28 ตามลำดับ แตกต่างจากผลิตซอสสาหร่ายรสสุกี้จากสาหร่ายสายใบของ อังคนาวรรณ (2553) ที่มีค่าองค์ประกอบทางเคมีของน้ำหนักสด เท่ากับ ร้อยละ 67.14, 1.17, 3.76, 24.20 และ 3.74 ตามลำดับ ส่วนซอสสาหร่ายรสบาร์บีคิว จากการทดลองครั้งนี้ที่ความชื้นร้อยละ 2.84 ให้ค่าปริมาณโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และเถ้า เท่ากับร้อยละ 5.16, 0.6, 81.56 และ 9.77 ตามลำดับ สูงกว่าการวิเคราะห์ซอสสาหร่ายรสบาร์บีคิวจากสาหร่ายผมนาง ของ อังคนาวรรณ (2553) ที่ความชื้นร้อยละ 74.19 พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของซอสสาหร่ายรสบาร์บีคิวที่พัฒนาสูตรแล้ว มีค่าร้อยละ 0.72, 0.19, 22.50 และ 2.41 ตามลำดับ แม้ว่าซอสสาหร่ายทั้ง 3 สูตร จากการทดลองครั้งนี้ มีองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างจากการทดลองของ อังคนาวรรณ (2553) ทั้งนี้เป็นเพราะสาหร่ายที่ใช้มีความต่างสายพันธุ์กัน โดยการทดลองครั้งนี้ใช้สาหร่าย *C. racemosa* ที่มีปริมาณโปรตีน และไขมันต่ำกว่าสาหร่ายสายใบและสาหร่ายโพรง แต่มีปริมาณเยื่อใยสูงกว่า ส่วนปริมาณเถ้าใกล้เคียงกับสาหร่ายผมนาง ส่งผลให้คุณค่าทางโภชนาการที่ได้มีความต่างกัน โดยปริมาณโปรตีนและเถ้าในซอสสาหร่ายรสซีฟู้ดมีค่าสูง แต่ปริมาณไขมันและคาร์โบไฮเดรตมีค่าต่ำกว่าสูตรอื่น

ซอสสาหร่ายรสสุกี้มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงที่สุด และสาหร่ายรสบาร์บีคิวมีไขมันสูงที่สุด แต่ปริมาณโปรตีนต่ำที่สุด จากการวิเคราะห์วัตถุดิบสาหร่ายทั้ง 3 ชนิด ของ อังคนาวรรณ (2553) พบว่ามีองค์ประกอบทางเคมีที่โดดเด่นต่างกัน จึงเหมาะในการผลิตซอสแต่ละรสชาติได้ต่างกันด้วย โดยเฉพาะสาหร่ายผมนางจะมีไขมันต่ำใกล้เคียงกับสาหร่าย *C. racemosa* แต่สาหร่ายสายใบจะมีโปรตีนปริมาณสูง และสาหร่ายโพรงจะมีเยื่อใยสูง เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ พบว่า ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในซอสสาหร่ายรสบาร์บีคิวมีค่าดีที่สุด รองลงมาได้แก่ ซอสสาหร่ายรสสุกี้ และซอสสาหร่ายรสซีฟู้ด อาจเป็นเพราะวัตถุดิบชนิดอื่นในส่วนผสมของซอสสาหร่ายรสบาร์บีคิวให้ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วย ซึ่งการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเติมสาหร่ายลงไปในผลิตภัณฑ์สามารถเพิ่มฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระได้ ทำให้คุณค่าทางสารอาหารของซอสสาหร่ายดีกว่าเดิม โดยมีผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าสาหร่ายทะเลเป็นแหล่งที่สำคัญของสารต้านอนุมูลอิสระที่มีศักยภาพในการพัฒนาใช้ในการรักษาสุขภาพของมนุษย์ อาหารเสริม เครื่องสำอาง และอุตสาหกรรมต่างๆ (Cornish and Garbary, 2010; Boonchum *et al*., 2011) และพันธุ์ทิพย์ และคณะ (2556) วิเคราะห์สารสกัดจากสาหร่ายสีเขียว 6 ชนิด สาหร่ายสีน้ำตาล 5 ชนิด และสาหร่ายสีแดง 5 ชนิด พบว่าออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ผลิตภัณฑ์โจ๊กสาหร่ายกึ่งสำเร็จรูป

โจ๊กสาหร่ายกึ่งสำเร็จรูปในสูตรที่มีการเติมสาหร่ายในระดับต่างกัน มีสีน้ำตาลปนเขียว มีความข้นหนืด กลิ่นหอม สีเขียวจะเข้มเพิ่มขึ้นตามระดับการเติมสาหร่าย ทั้งนี้ผู้บริโภคมีความพึงพอใจในรสชาติของโจ๊กสาหร่ายกึ่งสำเร็จรูป ที่ใส่สาหร่ายร้อยละ 5 มากที่สุด เมื่อนำโจ๊กสาหร่ายกึ่งสำเร็จรูป ทั้ง 3 สูตร มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ที่ค่าความชื้นไม่แตกต่างกัน พบว่า การเสริมสาหร่ายมีผลทำให้องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์สูงกว่าสูตรที่ไม่เติมสาหร่าย และการเสริมสาหร่ายร้อยละ 10 มีผลให้ ปริมาณเถ้า โปรตีน คลอโรฟิลล์ เอ และคลอโรฟิลล์บี มีค่าสูงกว่าการเสริมสาหร่ายที่ร้อยละ 5 แต่ปริมาณไขมัน เยื่อใยและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ของโจ๊กสาหร่ายกึ่งสำเร็จรูปที่เสริมสาหร่ายร้อยละ 5 กลับมีค่าสูงกว่าการเสริมสาหร่ายที่ร้อยละ 10

โจ๊กสาหร่ายที่ได้จากการทดลองครั้งนี้ มีค่าความชื้นและโปรตีนเหมาะสม คือ อยู่ในช่วงร้อยละ 6.37-6.88 และ 23.74-24.66 ตามลำดับ ทั้งนี้โจ๊กจัดเป็นอาหารกึ่งสำเร็จรูป หมวดควบคุมเฉพาะ ต้องมีคุณภาพมาตรฐานตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 88 (2528) คือ ไม่มีกลิ่นหืน มีความชื้นไม่เกินร้อยละ 10 ของน้ำหนัก และโปรตีนไม่น้อยกว่าร้อยละ 8 ของน้ำหนัก อีกทั้งจากงานวิจัยของ ช่อลัดดา และคณะ (2553) ศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์โจ๊กสาหร่ายไกกึ่งสำเร็จรูป พบว่าโจ๊กแห้งที่ไม่ใส่สาหร่าย มีปริมาณความชื้น และ โปรตีน เท่ากับร้อยละ 9.22 และ 22.79 ตามลำดับ และโจ๊กสาหร่ายแห้งสูตรใส่สาหร่าย 10% มีปริมาณความชื้น และ โปรตีน เท่ากับร้อยละ 9.54 และ23.69 ตามลำดับ ดังนั้น การเสริมสาหร่ายลงไปในผลิตภัณฑ์ข้าวโจ๊กกึ่งสำเร็จรูป สามารถเพิ่มปริมาณโปรตีนให้กับผลิตภัณฑ์ได้ เมื่อพิจารณาปริมาณไขมัน เถ้า เยื่อใย และคาร์โบไฮเดรต พบว่าการเสริมสาหร่าย *C. racemosa* ส่งผลให้ปริมาณไขมัน และเยื่อใยในสูตรที่ใช้สาหร่ายร้อยละ 5 เพิ่มขึ้น แต่สูตรสาหร่ายร้อยละ 10 ไม่ต่างจากชุดควบคุม ปริมาณคาร์โบไฮเดรตในสูตรควบคุมที่ไม่ใส่สาหร่ายมีค่าสูงกว่าสูตรที่เสริมสาหร่าย แตกต่างจากปริมาณเถ้า ที่พบว่า สูตรที่เสริมสาหร่ายทั้ง 2 ระดับมีค่ามากกว่าสูตรที่ไม่ใส่สาหร่าย เช่นเดียวกับผลการวิจัยของ ช่อลัดดา และคณะ (2553) พบว่าผลิตภัณฑ์โจ๊กสาหร่ายไกกึ่งสำเร็จรูปที่ไม่ใส่สาหร่าย มีปริมาณไขมัน เถ้า เยื่อใย และคาร์โบไฮเดรต เท่ากับร้อยละ 3.06, 7.79,

1.07 และ 66.36 ตามลำดับ และโจ๊กสาหร่ายแห้งสูตรใส่สาหร่าย 10% มีปริมาณไขมัน เถ้า เยื่อใย และคาร์โบไฮเดรต เท่ากับร้อยละ 2.93, 9.05, 2.42 และ 63.63 ตามลำดับ

ประสิทธิภาพของต้านอนุมูลอิสระในโจ๊กสาหร่ายแห้งสูตรใส่สาหร่าย *C. racemosa* มีค่าดีกว่าสูตรที่ไม่ใส่สาหร่าย เช่นเดียวกับปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บี บ่งชี้ว่าการเสริมสาหร่ายลงไปสามารถเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้ดียิ่งขึ้นกว่าเดิม โดยเฉพาะสูตรที่เสริมสาหร่ายร้อยละ 5 ให้ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระดีที่สุด ทั้งนี้ Boonchum *et al*., (2011) กล่าวว่าสาหร่ายทะเลเป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระที่มีศักยภาพในการพัฒนาใช้ในการรักษาสุขภาพของมนุษย์ อาหารเสริม เครื่องสำอาง และอุตสาหกรรมต่างๆ

ผลิตภัณฑ์สาหร่ายแผ่นอบแห้ง

สาหร่ายแผ่นอบแห้ง มีลักษณะปรากฏทางกายภาพที่ดี มีกลิ่นหอมสาหร่ายทะเลชัดเจน เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในผลิตภัณฑ์สาหร่ายแผ่นอบแห้งและสาหร่ายแผ่นทอดกรอบ พบว่ากระบวนการอบแห้ง และการทอด ส่งผลต่อองค์ประกอบทางเคมีในผลิตภัณฑ์ โดยสาหร่ายอบแห้งมีปริมาณโปรตีน เถ้า เยื่อใย คาร์โบไฮเดรต ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ และคลอโรฟิลล์เอ สูงกว่าสาหร่ายทอดกรอบ ขณะที่ส่วนสาหร่ายทอดกรอบ จะมีค่าความชื้น ไขมัน และคลอโรฟิลล์บีสูงกว่าสาหร่ายแผ่นอบแห้ง แม้ว่าผลิตภัณฑ์ทั้งสองชนิดจะมีความแตกต่างกัน แต่ก็จัดได้ว่ามีสมบัติตรงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ โดยคุณลักษณะที่ต้องการตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของสาหร่ายทะเลอบ คือ มีสีที่ดีตามธรรมชาติของส่วนประกอบที่ใช้ กลิ่นรสเป็นกลิ่นที่ดีตามธรรมชาติของส่วนประกอบที่ใช้ปราศจากกลิ่นรสอื่นที่ไม่พึงประสงค์ ลักษณะเนื้อสัมผัสไม่เหนียวหรือแข็งกระด้าง และไม่มีสิ่งแปลกปลอมที่ไม่ใช่ส่วนประกอบที่ใช้ เช่น เส้นผม ดิน ทราย กรวด ชิ้นส่วนหรือปฏิกูลจากสัตว์ (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2547) ทั้งนี้องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายแผ่นทอดกรอบ มีปริมาณความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน เยื่อใย และ คาร์โบไฮเดรต เท่ากับร้อยละ 7.05, 0.84, 4.61, 32.35, 1.89 และ 53.26 ตามลำดับ แตกต่างจากงานของจีรภา (2554) ศึกษาการผลิตสาหร่ายผักกาดทะเล (*Ulva rigida*) แผ่นทอดกรอบ พบว่าผลิตภัณฑ์สาหร่ายผักกาดทะเลแผ่นทอดกรอบมีปริมาณความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน เยื่อใย และ เท่ากับ 4.65±0.87, 17.83±1.00, 15.62± 0.65, 2.76±0.38 และ 9.79±0.18% ตามลำดับ อาจเนื่องมาจากวัตถุดิบสาหร่ายที่ใช้มีองค์ประกอบทางเคมีเริ่มต้นไม่เหมือนกัน อีกทั้งองค์ประกอบทางเคมีส่วนใหญ่ของสาหร่ายแผ่นทอดกรอบมีค่าลดลง หรือน้อยกว่าสาหร่ายแผ่นอบแห้ง การลดลงของปริมาณโปรตีน น่าจะมาจากการเติมส่วนผสมอื่นเข้าไปได้แก่ แป้งและเครื่องปรุง ส่วนเยื่อใยมีปริมาณลดลง เพราะสัดส่วนของสาหร่ายในสาหร่ายแผ่น 100 กรัมลดลงและถูกแทนที่ด้วยส่วนผสมอื่น นอกจากนี้ปริมาณไขมันที่เพิ่มขึ้นนั้น มาจากน้ำมันที่ใช้ในการทอด โดยปริมาณน้ำมันและเวลาในการทอดมีความสัมพันธ์กันในทางเดียวกัน คือ เมื่อเวลาในการทอดเพิ่มขึ้นปริมาณน้ำมันจะมีค่าเพิ่มขึ้น (Moreira *et al*., 1997) และ DuPont *et al*. (1992) ทดลองทอดมันฝรั่งแช่แข็ง พบว่าปริมาณน้ำมันจะสูงขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นในช่วง 4 นาทีแรกของการทอด ปริมาณน้ำมันยังมีผลต่ออายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ด้วย แต่สาหร่ายแผ่นทอดกรอบที่ผลิตจาก สาหร่ายขนนกนี้ไม่อมน้ำมัน เนื่องจากใช้กระบวนการอบแห้งก่อนการทอด เช่นเดียวกับ Moreira *et al*. (1997) กล่าวว่าปริมาณความชื้นเริ่มต้นและขนาดของตัวอย่างมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำมัน ตัวอย่างที่มีความชื้นสูงและมีขนาดเล็กจะมีการดูดซับน้ำมันปริมาณสูง

ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในสาหร่ายแผ่นทอดกรอบมีค่าลดลง ทั้งนี้เนื่องมาจากปริมาณสาหร่ายที่ใช้ในการผลิตมีน้ำหนักน้อยกว่าการผลิตสาหร่ายแผ่นอบแห้ง เพราะมีส่วนผสมของวัตถุดิบเติมเต็มลงไปด้วย อีกทั้งกระบวนการทอดเป็นการให้ความร้อนที่สามารถทำลายกลุ่มสารต้านอนุมูลอิสระให้ลดลงได้ เช่นเดียวกับปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บี เป็นไปตามที่ Suttajit *et al.* (2006) กล่าวว่า ปริมาณสารสีหรือ รงควัตถุสารสีในสาหร่ายส่งผลต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระเช่นเดียวกับสารสีในพืชอื่น ดังนั้นจากการทดลองครั้งนี้ สาหร่ายสดจึงแสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้ดีกว่าสาหร่ายแห้ง เพราะรงควัตถุยังคงมีสภาพธรรมชาติ ไม่ถูกทำลายโดยความร้อนและการแปรรูป

ผลการประเมินคุณลักษณะทางด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบรวม พบว่าสาหร่ายแผ่นทอดกรอบ ได้รับค่าคะแนนด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบรวมสูงดีกว่าสาหร่ายแผ่นอบแห้ง โดยมีช่วงค่าคะแนนในระดับปานกลางถึงมาก แสดงว่ากระบวนแปรรูปสาหร่ายมีผลต่อลักษณะความชอบรวมของผลิตภัณฑ์ เช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์สาหร่ายทอดกรอบของ จีรภา (2554) ทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของสาหร่ายแผ่นทอดกรอบ พบว่า สาหร่ายแผ่นทอดกรอบซึ่งใช้สาหร่าย 30 กรัม ได้รับคะแนนสีและความชอบรวมสูงที่สุด

สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลอง เรื่อง ผลิตภัณฑ์และคุณค่าทางโภชนาการที่ได้จากการแปรรูปสาหร่ายทะเลขนาดใหญ่ (*Caulerpa racemosa*) สรุปได้ว่า

1. น้ำหนักของสาหร่ายสด 221.00 กรัม ได้สาหร่ายแห้งเฉลี่ย 23.67 กรัม คิดเป็น 10.71%DW ทำให้ทราบว่าสาหร่ายแห้ง 1 กรัม จะเท่ากับสาหร่ายสด 9.34 กรัม

2. องค์ประกอบทางเคมีในสาหร่าย *Caulerpa racemosa* ที่ค่าความชื้นแตกต่างกัน จะส่งผลให้องค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกันด้วย โดยปริมาณความชื้นมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 12.19 – 92.89 ปริมาณโปรตีนมีค่าระหว่างร้อยละ 2.29 - 17.58 ปริมาณเถ้ามีค่าระหว่างร้อยละ 1.69 -13.57 ปริมาณเยื่อใย มีค่าระหว่างร้อยละ 0.84 - 9.82 และปริมาณคาร์โบไฮเดรต มีค่าระหว่างร้อยละ 1.71 - 45.96

3. สาหร่าย *Caulerpa racemosa* ให้ปริมาณสารสกัดและปริมาณพอลิแซคคาไรด์ เท่ากับร้อยละ 37.87 และ 16.12

7. ประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระในสาหร่ายสดและแห้งมีค่าแตกต่างกัน โดย มีค่า IC_{50} อยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 9.13 – 9.64 ส่วนคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บี มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 3,422.41 – 10,352.04 และ 1,149 – 17,299.80 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

8. ผลิตภัณฑ์ข้าวพองสังข์หยดเสริมสาหร่าย ในแต่ละสูตรมีองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกัน โดยมีค่า ปริมาณความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต อยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 6.38-6.89, 1.08-1.41, 9.33-9.80, 0.44-0.78 และ 80.23-81.58 ตามลำดับ ยกเว้นปริมาณเยื่อใยในผลิตภัณฑ์ที่ใช้สาหร่ายร้อยละ 3 มีปริมาณเยื่อในสูงสุด ปริมาณคลอโรฟิลล์เอและบี ในสูตรที่ใช้สาหร่ายร้อยละ 5 มีค่าสูงที่สุด ส่วนฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในสูตรที่ใช้สาหร่ายร้อยละ 3 ให้ค่าประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระดีที่สุด ทั้งนี้ สูตรข้าวพองที่มีส่วนผสมของสาหร่ายร้อยละ 3 ได้รับค่าคะแนนด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบรวมสูงที่สุด รองลงมาคือ ร้อยละ 5 และ 0 ตามลำดับ

9. การเสริมสาหร่ายลงไปในคุกกี้ข้าวตอกสังข์หยดมีผลให้ผลิตภัณฑ์ มีองค์ประกอบทางเคมีสูงกว่าสูตรที่ไม่เสริมสาหร่าย และการเสริมสาหร่ายร้อยละ 5% ให้คุณค่าที่ดีกว่าการเสริมสาหร่ายพียงร้อยละ 3 คุกกี้ข้าวตอกสังข์หยดหน้าสาหร่ายร้อยละ 5 มีค่าปริมาณความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน เยื่อใย และ คาร์โบไฮเดรต เท่ากับร้อยละ 2.84, 1.47, 5.32, 26.52, 0.65 และ 63.20 ตามลำดับ ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ มีค่า IC_{50} เท่ากับ 97.54 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บี มีค่าเท่ากับ 1,602.08 และ 3,033.47 มิลลิกรัมต่อลิตร ทั้งนี้ผลการทดสอบความชอบรวม พบว่าผลิตภัณฑ์มีค่าคะแนนความชอบเฉลี่ยอยู่ในช่วงปานกลางถึงมาก โดยสูตรที่ใช้สาหร่ายร้อยละ 3 มีคะแนนความชอบเฉลี่ยสูงสุด รองลงมาคือ ร้อยละ 5 และ 0 ตามลำดับ

10. องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ซอสสาหร่ายรสซีฟู้ด ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และเถ้า มีค่าเท่ากับร้อยละ 2.71, 6.26, 0.37, 77.01 และ 13.66 ตามลำดับ ซอสสาหร่ายรสสุกี้ มีค่าเท่ากับร้อยละ 2.06, 5.78, 0.55, 83.33 และ 8.28 ตามลำดับ และซอสสาหร่ายรสบาร์บีคิว มีค่าเท่ากับร้อยละ 2.84, 5.16, 0.67, 81.56 และ 9.77 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ พบว่า ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในซอสสาหร่ายรสบาร์บีคิวมีค่าดีที่สุด รองลงมาได้แก่ ซอสสาหร่ายรสสุกี้ และซอสสาหร่ายรสซีฟู้ด

11. การเสริมสาหร่ายลงไปในโจ๊กสาหร่ายกึ่งสำเร็จรูป มีผลให้องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์สูงกว่าสูตรที่ไม่เสริมสาหร่าย การเสริมสาหร่ายร้อยละ 10 มีผลให้ ปริมาณเถ้า โปรตีน คลอโรฟิลล์ เอ และคลอโรฟิลล์บี มีค่าสูงกว่าการเสริมสาหร่ายร้อยละ 5 ยกเว้นปริมาณไขมัน เยื่อใย และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ของโจ๊กสาหร่ายกึ่งสำเร็จรูปเสริมสาหร่ายร้อยละ 10 มีค่าต่ำกว่าการเสริมสาหร่ายร้อยละ 5

12. การอบแห้งและการทอดมีผลต่อคุณค่าทางโภชนาการและองค์ประกอบทางเคมีในผลิตภัณฑ์สารห่ายอบแห้งและสาหร่ายทอดกรอบ โดยสาหร่ายอบแห้งจะมีปริมาณเถ้า โปรตีน เยื่อใย คาร์โบไฮเดรต ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ และคลอโรฟิลล์เอสูงกว่า ส่วนสาหร่ายทอดกรอบ จะมีความชื้น ปริมาณไขมัน และคลอโรฟิลล์บีสูงกว่า ทั้งนี้ ผลการทดสอบคุณลักษณะทางด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบรวม พบว่า สาหร่ายแผ่นทอดกรอบ ได้รับค่าคะแนน และความชอบรวมสูงที่สุด

เอกสารอ้างอิง

กษมา ขันธโภค วรางคณา จุลวาทีเลิศ และอุลัย ศิริศรี. 2548. คุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของข้าวตอกจากข้าวพันธุ์ต่างๆ. วารสารเกษตรบางพระ . 40 (4) : 6-12

กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. 2553. ป่าชายเลนและการกักเก็บมลพิษริมฝั่งทะเลอ่าวไทยตอนบน. สำนักอนุรักษ์ทรัพยากรป่าชายเลน. 122 น.

กาญจนภาชน์ ลิ่วมโนมนต์. 2527. สาหร่าย (ALGAE). คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 343 น.

กล้าณรงค์ ศรีรอต. 2542. เทคโนโลยีของแป้ง. ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ, คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. น 9-34.

กิติยา ภิญโญ. 2555. ศักยภาพของพอลิแซ็กคาไรด์จากสาหร่ายเตา [Spirogyra neglecta(Hassall)Kutzing] ในการใช้เป็นพรีไบโอติก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาจุลชีววิทยาประยุกต์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

ข้าวกล้อง ของดีของไทย. 2544. อุตสาหกรรมสาร ปีที่ 44 เดือน กันยายน – ตุลาคม. น. 37-40.

งามชื่น คงเสรี. 2531. คุณภาพการหุงต้มรับประทานและปัจจัยที่เกี่ยวข้อง. เอกสารสถาบันวิจัยข้าว เรื่อง การปรับปรุงคุณภาพข้าวสำหรับผู้ดำเนินธุรกิจโรงสี. สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร , กรุงเทพฯ. น. 94-101.

จริยา คุระวิภากร. 2541. ข้าวพองจากข้าวกล้องหักพันธุ์หอมมะลิ. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี. ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

จริยา คุระวิภากร. 2542. การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารว่างจากข้าพองที่ทำจากข้าวกล้องหักหอมมะลิผสมเนยถั่วลิสง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

จิตธนา แจ่มเมฆ และ อรอนงค์ นัยวิกุล. 2541. เบอเกอรี่เทคโนโลยีเบื้องต้น. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร. 224 น.

จิราภรณ์ จิตต์ปราณี. 2549. การพัฒนาผลิตภัณฑ์สาหร่ายข้นปรุงรส. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จีรภา หินซุย อุษา มากช่วย และวิภาวรรณ โว้ยสิ้น. 2554. *ใน* การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 49: สาขาประมง, กรุงเทพฯ. น. 517-526.

จำรัส โปร่งศิริวัฒนา. 2534. ความรู้เรื่องข้าว. สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

ชาญยุทธ สุดทองคง. 2551. การเพาะเลี้ยงสาหร่ายพวงองุ่น *(Caulerpa racemosa* var corynephora) เชิงพาณิชย์ในจังหวัดตรัง. รายงานการวิจัย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย, วิทยาเขตตรัง, ตรัง.

ช่อลัดดา เที่ยงพุก และ กัญญา สุจริตวงศานนท์ . 2553. การพัฒนาผลิตภัณฑ์โจ๊กสาหร่ายไกกิ่งสำเร็จรูป. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ซูไหวนั๊ะ สะอิ และวิภาวัลย์ เขาบาท. 2556. คุณค่าทางโภชนาการของข้าวตอกสังข์หยดพัทลุงและผลิตภัณฑ์. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย, วิทยาเขตตรัง, ตรัง.

ณรงค์ นิยมวิทย์. 2532. การแปรรูปข้าว. *ใน* เอกสารประกอบการบรรยายสัมมนาการแปรรูปอาหารและคลินิกปรึกษาแนะนำ วันที่ 27-28 มิถุนายน 2532. ศูนย์พัฒนาอุตสาหกรรม กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ. น. 1-13

พันธุ์ทิพย์ วิเศษพงษ์พันธ์ พลชา จิตรมิตรสัมพันธ์ ชัชรี แก้วสุรลิขิต และอรรถวุฒิ กันทะวงศ์. 2556. ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากสาหร่ายทะเล. ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นพรัตน์ มะเห ปิยรัตน์ ศิริวงษ์ไพศาล และอุไรวรรณ วัฒนกุล. 2553. การสกัดและคุณสมบัติของพอลิแซ็กคาไรด์จากสาหร่ายผมนาง สาหร่ายผักกาดทะเล และสาหร่ายขนนก. รายงานการวิจัย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย. ตรัง.

นารินทร์ จันทร์สว่าง สุขใจ ชูจันทร์ และอาภารัตน์ มหาขันธ์. 2549. การศึกษาองค์ประกอบของน้ำตาลในพอลิแซ็กคาไรด์ที่ผลิตโดยสาหร่ายเห็ดลาบ (*Nostoc commune*, Cyanophyta). รายงานการวิจัยในโครงการ BRT 2549 : 94 - 104.

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2549. เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 2. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ. 487 น.

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2553. เคมีอาหาร. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ . 504 น.

ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 88. 2528.

ประสาร สวัสดิ์ชิตัง. 2547. การสำรวจความความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของน้ำผลไม้. รายงานการวิจัย, ภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น. 92 น.

ปรีชา เมียนเพชร. 2548. ข้าวสังข์หยด ข้าวสุขภาพ. เอกสารเผยแพร่ในการสัมมนาทางวิชาการเรื่องธุรกิจข้าวไทย อนาคตของคนรุ่นใหม่. วันที่ 2-3 กุมภาพันธ์ 2548 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วนิดา ศรีอินทร์. 2545. ประสิทธิภาพของสารสกัดจากสาหร่ายทะเลบางชนิดในการยับยั้งแบคทีเรียและการเป็นสารกันหืน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วสันต์ สุมินทิลี่ ปนิดา บรรจงสินศิริ จันทนา ไพรบูรณ์ และวรรณวิมล คล้ายประดิษฐ์. 2557. กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบจากสาหร่ายพวงองุ่น (*C. lintilliferra*) สาหร่ายทุ่น (*Sargassm oilgocystum*) และสาหร่ายเขากวาง (*Garcilaria chongii*). วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม ปีที่ 9 ฉบับที่ 1 มิถุนายน 2556- พฤษภาคม 2557. กรุงเทพฯ.

วัชรี หาญยิ่ง. 2549. อนุมูลอิสระและสารต้านอนุมูลอิสระในกลไกของการเกิดมะเร็ง. วารสารวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น. 34 (3) : 199-207

วิรัตน์ ภูวิวัฒน์. 2539. การศึกษาเปรียบเทียบวิธีการสกัดคลอฟิลล์จากใบพืช. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า, กรุงเทพฯ. 14(3) น. 3-7.

โศรดากรณ์ พิมลา. 2552. การผันแปรลักษณะทางฟีโนโลยี และมวลชีวภาพของสาหร่ายทะเลสีเขียว *Caulerpa racemosa* (Forsskal) J. Agardh var. *macrophysa* (Sonder ex Kützing) Taylor ที่พบบริเวณชายฝั่งทะเลจังหวัดชลบุรี และระยอง และการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์จากสารสกัดโพลีแซคคาไรด์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, สาขาวิทยาศาสตร์การประมง, ภาควิชาชีววิทยา, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

สายสนม ประดิษฐ์ดวง. 2541. ผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรส. เอกสารการสอนชุดวิชา ผลิตภัณฑ์อาหาร สาขาวิชาคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมธิราช, กรุงเทพฯ.

สุพร นุชดารงค์. 2549. อนุมูลอิสระ:คุณและโทษต่อมนุษย์. วารสารวิทยาศาสตร์ ม. ขอนแก่น. ขอนแก่น. 34(2) : 97-102.

สุภามาศ อินทฤทธิ์. 2547. สารแอนติออกซิแดนท์. วารสารวิทยาศาสตร์. 58 (3) : 156-163.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2547. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน : สาหร่ายทะเลอบ. กรุงเทพฯ.

สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย. 2548. แปรรูป โจทย์ใหม่ “ข้าวไทย” รับมือตลาดส่งออกแคบ คนกินน้อยลง. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก :http//www.trf.or.th/Content.asp?Art_ID=527. (7 มิถุนายน 2549).

อรกัญญา เม่งหยู่ บรรจง วิทยวีรศักดิ์ และธันวดี เตชะภัทรวรกุล. 2551. ปริมาณไนเตรทและไนไตรท์ในสาหร่ายเขากวาง ที่เพาะเลี้ยงด้วยน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งทะเลเปรียบเทียบกับที่เพาะเลี้ยงด้วยปุ๋ยเคมี. วารสารการประมง 61(1) : น. 43-50.

อรพรรณ เสลามาศสกุล. 2553. การผลิตโปรตีนไฮโดรไลเซทจากสาหร่ายด้วยเอนไซม์เพื่อใช้เป็นสารปรุงแต่งกลิ่นรสอาหารและสารเสริมสุขภาพ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวเคมี, คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี, ม. เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. กรุงเทพฯ.

อังคณาวรรณ สืบประดิษฐ์ จิราพร รุ่งเลิศเกรียงไกร และปัทมา ระตะนะอาพร. 2553. ความเหมาะสมของชนิดสาหร่ายและชนิดรสชาติในการผลิตซอสสาหร่าย. *ใน* การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48: สาขาประมง, กรุงเทพฯ. หน้า 176-183.

อาภารัตน์ มหาขันธ์. 2546. การเพาะเลี้ยงสาหร่ายน้ำจืด. ศูนย์จุลินทรีย์ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ. 47 น.

อุไรวรรณ วัฒนกุล วัฒนา วัฒนกุล และ พีรพงษ์ พึ่งแย้ม. 2557. ผลผลิตคุณภาพการบริโภคและการแปรรูปต่อสารอาหารในข้าวนึ่งสังข์หยดพัทลุงที่ปลูกนอกฤดูกาล. รายงานการวิจัย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย, วิทยาเขตตรัง. ตรัง.

อุลัย ศิริศรี. 2544. เอกสารเผยแพร่ คุกกี้ข้าวตอก. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตรคณะเกษตรศาสตร์บางพระ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีตะวันออก, ชลบุรี.

อุลัย ศิริศรี และ ปฏิยุทธ์ ขวัญอ่อน. 2547. การพัฒนาผลิตภัณฑ์จากข้าวตอก: คุณค่าทางโภชนาการ อายุการเก็บ และการบรรจุหีบห่อ. สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล, ชลบุรี. 125 น.

Ames, B.M., Shigena, M.K. and Hagen, T.M. 1993. Oxidants, antioxidants and the degenerative diseases of aging. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 90: 7915-7922.

AOAC (Association of official Analytical I Chemists). 2000. Official Methods of Analysis. Association of official Analytical I Chemists, Washington D.C.

Athukorala, Y., K. W. Lee., S. K., Kim and Y. J. Jeon. 2007. Anticoagulant activity of marine green and brown algae collected from Jeju Island in Korea. Bioresource Technology 98: 1711-1716.

Boonchum, W., Peerapornpisal, Y., Vacharapiyasophon, P., Pekkoh, J., Pumas, C., Jamjai, U., Amornlerdpison, D., Noiraksar, T. and Kanjanapothi, D. 2011. Antioxidant activity of some seaweed from the gulf of Thailand. Int. J. Agric. Biol., 13: 95–99

Burtin, P. 2003. Nutritional value of seaweeds. Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Chemistry. Vol. 2, No. 4, pp. 498-503.

Ciancia, M., I. Quintana, M. I. Vizcargüénaga,L. Kasulin, A. de Dios, J. M. Estevezand and A. S. Cerezo. 2007. Polysaccharides from the green seaweeds *Codium fragile* and *C. vermilara* with controversial effects on hemostasis. International Journal of Biological Macromolecules 41: 641-649.

Chu, H-J. and C.T. Tsang. 1988. Research and Utilization of Cyanobacteria in China :A Report. Arch Hydrobio. Supply. 5(80):573-584.

Chen, M. and C.J. Bergman. 2005. A Rapid Procedure for Analyzing Rice Bran Tocopherol, Tocotrienol and g-Oryzanol Contents. Journal of Food Composition and Analysis. 18 : 139-151.

Choi, Y., Jeong, H. S. and Lee, J. 2007. Antioxidant activity of methanolic extracts from some grain consumed in Korea. Food Chem. 103:130-138.

Chandía, N. P. and B. Matsuhiro. 2008. Characterization of a fucoidan from *Lessonia Vadosa* (Phaeophyto) and its anticoagulant and elicitor properties. International journal of biological macromolecules. 42: 235-240.

Chirapart, A., K. Boonprab., J. Priboon., O. Bhumibhamon., J. Phothikasikorn., Y. Akakabe., K. Matsui and T. Kajiwara. 2007. Production and compositions of sulfated polysaccharides as physiological active substance from marine algae of Thailand. pp. 121-122. *In* Summary book JSPS-NRCT Unversity Program (1998-2008) on Development of Themotolerant Microbial Resources and Their Applications. 17-20 October 2007. 94 Japan Society for the Promotion of Science. (JSPS) and National Research Council of Thailand. (NRCT).

Cornish, M.L. and Garbary, D.J. 2010. Antioxidants from macroalgae: potential applications in human health and nutrition. Algae 25(4): 000-000 DOI: 10.4490/algae.2010.25.4.000

Dawes, C. J. and R. H. Goddard. 1978. Chemical composition of the wound plug and entire plants for species of the coenocytic green algae, *Caulerpa*. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 35 : 259-263.

Dubois, M. K. A. Gaillis, J. K. Haminlton,P.A. Rebers and Smith. F. 1956. Coolorimetric method for determination of sugars and related subtancea. Analytical Chemistry 28: 350- 356.

Farvin, K. H. S. and Jacobsen C. 2013. Phenolic compounds and antioxidant activities of selected species of seaweeds from Danish Coast. Food Chemistry. 138: 1670-1681.

Fenglin, H., Ruili, L., Bao, H. and Liang, M. 2004. Free radical scavenging activity of extracts prepared from fresh leaves of selected Chinese medicinal plants. Fitoterapia 75: 14-23.

Fleurence, J. 1990. Seaweed protein: biochemical, nutritional aspects and potentioa uses. Trends in Food Science and Technology. Vol. 10 (1). Pp 25-28.

Fogg, G.E. 1966. Algae Culture and and Phytoplankton Ecology. London : The University of Wisconsin Press.

Foo, L.Y., Lu, Y., Molan, A.L., Wood ®eld, D.R., McNabb, W.C. 2000. The phenols and prodelphinidins of white clover towers. Phytochemistry. 54, 539-548.

Ganesan, P., Chandini, S. and Bhaskar, N. 2008. Antioxidant properties of methanol extract and its solvent fractions obtained from seleted Indian red seaweeds. Bioresource Technology. 99: 2717-2723.

Ghosh, P., Adhikari, U., Ghosal, P.K. , Pujol, C.A., Carlucci, M.J. , Damonte, E.B., Ray, B. 2004. In vitro anti-herpetic activity of sulfated polysaccharide fractions from Caulerpa racemosa. Phytochemistry 65: 3151–3157.

Gross, J. 1991. Pigments in Vegetables : Chlorophylls and Carotenoid. Van Nostrand Reinhold. Newyork.

Gudin, C., and Thepenier, C. 1986. Bioconversion of solar energy into organic chemical by microalgae. Adv. Biotech. Proc. 6 : 73-110.

Hayatsu, H., Negishi, T. & Arimoto, S. 1993. Porphyrins as potential inhibitors against exposure to carcinogens and mutagens. Journal of Mutation Research. 29: 79-85.

Hasni, S., P. B. Zahid and B. Bawani. 1986. Taxonmy and some biochemical values of *Caulerpa taxifolia* and *Hypnea musciformis* collected from Karachi coast. Pakistan Journal of Scientific and Industrial Research. 29 (4) : 284-287.

Huang, Z, L., Youngdin., Paulsen B. S. and Klaveness, D. 1998. Studies on polysaccharides from three edible species of *Nostoc* (eyanobacteria) with different colony morphologies : comparison of monosaccharide compositions and viscosities of polysaccharide from field colonies and suspension cultures. Jounal of Phycology. 34:962- 968.

Jiao, G., Yu, G., Zhang, J. and Ewart, H.S. 2011. Chemical structures and bio activities of sulfated polysaccharide from marine algae. Marine Drugs. 9: 196-223.

Joubert, Y., Fleurence, J. 2005. Simultaneous extraction of proteins and DNA by an enzymatic treatment of the cell wall of Palmaria palmate (Rhodophyta). J. Appl. Phycol. 20, 55-61.

Kumar Chandini, S., Ganesan, P. and Bhaskar, N. 2008. In vitro antioxidant activities of three selected brown seaweeds of India. Food Chemistry. 107: 707-713.

Komolprasert, V. 1996. Food Packing. Department of Food Science Thammasart University, Bangkok. 143 p.

Lim, S.N., Cheung ,P.C.K., Ooi, V.E.C. and Ang, P.O. 2002. Evaluation of antioxidative activity of extracts from a brown seaweed, *Sargassum siliquastrum*. J. Agric. Food. Chem. 50: 3862–3866.

Lahaye, M. and C. Rochas. 1991. Chemical structure and physico-chemical properties of agar. Hydrobiologia. 221: 137-148.

Lahaye, M. and A. Robic. 2007. Structure and functional properties of ulvan, a polysaccharide from green seaweeds. Biomacromolecules 8(6): 1765-1774.

Levinson, A.A. and Basa, K.B. 1976. Vegetable protein product and process. United States patent 3966977. App. No. 05/405201.

Lewmanomont, K. and H. Ogawa. 1995. Common seaweeds and seagrasses of Thailand. Faculty of Fisheries, Kasatsart Universityy. 164p.

Leong, L. P. and Shui, G. 2002. An investigation of antioxidant capacity of fruits in Singapore markets. Food Chemistry, 76: 69-75.

Lloyed, J. B., Seibenmorgan, J. T. and Beers, W. K. 2004. Effect of commercial processing on antioxidants in rice bran. Cereal Chem. 77 : 551-555.

Lopez, R. 1975. A Complate Course in Canning. 10th ed.,Baltimore, Maryland.

Matsukawa, R., Dubinsky, Z., Kishimoto, E., Masaki, K., Masuda, Y.,Takeuchi, T., Chihara, M., Park, P.J., Heo, S.J., Park, E.J., Kim, S.K., Byun, H.G., Jeon, B.T. and Jeon, Y.J. 2005. Reactive oxygen effect of enzymatic extracts from *Sargassum thunbergii*. J. Agric. Food. Chem. 53: 6666–6672.

Min,S. 2004. Rice rich in essential amino acids: researcher. Rice News. Retrieved June 13, 2006. from http://www.riceonline.com/NewsNov04.htm.

MacArtain, P., PhD, Gill, C.I.R., Brooks, M., Campbell, R. and Rowland, I.R., PhD,. 2007. Nutritional Value of Edible Seaweeds. Nutrition Reviews, Vol, 65. No.12, pp. 535-543.

Marinho-Soriano, E., Silva, T. S. F., and Moreira, W. S. C. 2001. Seasonal variation in the biomass and ager yield from *Gracilaria ceruicornis* and *Hydropuntia cornea* from brazil.Bioresour. Technol. 77, 115-120.

Morelli, A., and Chiellini, F. 2010. Ulvan as a new type of biomaterial from renewable resources: Functionalization and hydrogel preparation. Macromolecular Chemistry and Physics. 211: 821–832.

Nalin, S., Wan, L. K. and Jin, J. Y. 2005. Radical scavenging potential of hydrophilic phlorotanins of *Hizikia fusiformis.* Alges. 20:69-75.

Nayek Sumanta, Choudhury Imranul Haque, Jaishee Nishika and Roy Suprakash. 2014. Spectrophotometric Analysis of Chlorophylls and Carotenoids from Commonly Grown Fern Species by Using Various Extracting Solvents. Research Journal of Chemical Sciences. Vol. 4(9), 63-69.

Niki, E. 1987. Antioxidants in relation tolipid peroxidation. Chem. and Phys. of Lipid. 44: 227-253.

Painter, T. J. 1983. Algal polysaccharides. In : G. O. Aspinall (Ed.) The polysaccharides, Vol. 2. Academic Press, New York, pp. 195-285.

Pengzhan, Y., Q. Zhang, N. Li, Z. H. Xu, Y. M. Wang and Z. L. Li. 2003. Polysaccharide from *Ulva pertusa* (Chlorophyta) and preliminary studies on their antihyperlipidemia activity. Journal of Applied Phycology. 15: 21-27.

Pyler, E. J. 1973. Baking Science & Technology, Vol. 2 Siebel Publishing Company, Chicago. 111 p.

Ray, B. and Lahaye, M. 1995. Cell-wall polysaccharides from the marine green algae *Ulva rigida* (Ulvales, Chlorophyta) – 1.Extaction and chemical composition. Carbohydrate Research. 274: 251–261.

Renaud, S. M. and J. T. Luong-Van. 2006. Seasonal variation in the chemical composition of tropical Australian marine macroalgae. Journal of Applied Phycology. 18: 381-387.

Round, F. E. 1970. The Biology of Algae. London : Edward Arnold (Publisher) Ltd.

Rice-Evans C.A., Miler N.J., Paganga G. 1996. Structure-antioxidant activity relationship of flavonoids and phenolic acids. Free Radical Biology & Medicine. 20: 933–956.

Sanford, F. B. 1958. Seaweed and their uses. FAO. World Fisheries Abstracts 10 (6) : 39 – 40.

Slodki, M. E., Stivala, S. S.., Crescenzi, V. and Dea, I. C. M. (eds.). 1987. Industrial Polysaccharide. Gordon Breach, New York. pp. 3-13.

Stewart, W.D. P. 1974. Editor. Algae Physiology and Bio-Chemistry. Oxford : Blackwell Scientific Publications.

Suttajit M., S. Immark, S. Teerajan, S. Suttajit and C. Chiyasut. 2006. Antioxidative activity and polyphenol content in different varieties of Thai rice grains. Proceedings of Asia Pacific Clinical Nutrition Society. Joint 8th ISCN and 5th APCNS conference 2006. [Online] http://www.healthy eating club.com/APJCN/ Volume15/Vol15 apcns/ Vol15 apcns.htm.June 2007.

Suzuki, M., Y. EGAWA, and T. OKUDA . 1965. Studies on Streptomyces antibiotic, cycloheximide. XV. Hydroxycarbonylation of optically active 2,4-dimethylcyclohexanones with glutarimide-β-acetaldehyde. (Synthesis of isocycloheximide and its isomers.) Chem. Pharm. Bull. 11, 582-588 .

Tian, S., Nakamura, K., and Kayahara, H. 2004. Analysis of phenolic compounds in white rice, brown rice and germinated brown rice. J. Agri. Food Chem. 52 (10) : 4808-4813.

Tuo, J. J., Guo, G. Q., Shen, W. Z. and Huang, R.M. 2007. The immune modulatory effect of the *Caulerpa racemosa* var peltata polysaccharides on T lymphocyte subgroup and Natural killer cell in mice. Journal of Jinan University (Medicine Edition). 28: 129-131.

Van Acker, B. A., Hulsewe, K. W., Wagenmakers, A. J., Von Meyenfeldt, M. F. & Soeters, P. B. 2000. Response of glutamine metabolism to glutamine supplemented parenteral nutrition. Am. J. Clin. Nutr. 72: 790–795.

Wang, A. L., Hu, J. R. 2002. Advances in studies on biological activities of alga polysaccharide. Marine Science. 26: 36–40.

Yang, C. Y., Hua, Q. H., Shimizu, K., 2000. Energetics and carbon metabolism during growth of microalgal cells under photoautotrophic, mixotrophic and cyclic light-autotrophic/ dark-heterotrophic conditions. Biochem. Eng. J. 6, 87-102.

Yang, J. X.,Yuan, J. F. Z. Q. Zhang, Z. C. Fan. 2008. Antioxidant effecta and cytotoxicity of three purified polysaccharides from *Ligusticum chuanxiong* Hort. *Carbohydr polym* 74 : 822-827.

Yamamoto, Y., Niki, E. and Karube, I. 1997. A comparison of screening methods for antioxidant activity in seaweeds. J. Appl. Phycol. 9:29–35.

Zhang, M.W., Guo, B.J. Zhang, R. – F., Chi, J. W., Wei, Z. C., Xu, Z. H., Zhang, Y .and Tang,X. J. 2006. Separation, purification and indentification of antioxidant compositions in black rice . J. Agric. Food Sci. 5: 431-440.

Zhang, W-W, Duan, X.-J., Huang, H.-L., Zhang, Y. and Wang, B.-G. 2007. Evaluation of 28 marine algae from the Qingdao coast for antioxidantive capacity and determination of antioxidant efficiency and total phenolic content of fractions and subfractions derived from *Symphyocladia latiuscula* (Rhodomelaceae). J. Appl. Phycol. 19:97-108.

Zhou, Z., Roard, K., Helliwell, S. and Blanchard, C. 2004. The distribution of phenolic acids in rice. Food Chem. 87 : 401-406.

Zubia, M., Robledo, D. and Freile-Pelegrin, Y. 2007. Antioxidant activities in tropical marine macroalgae from the Yucatan Peninsula, Mexico. J. Appl. Phycol. 19: 449-458.

การประยุกต์ใช้สาหร่ายทะเลขนาดใหญ่ (*Caulerpa racemosa*)
เป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตและสารเหนียวในอาหารปลาทับทิม
Application of a marine macroalgae (*Caulerpa racemosa*) as carbohydrate source and binder in the diet for *Oreochromis* sp.

วัฒนา วัฒนกุล Wattana Wattanakul
อุไรวรรณ วัฒนกุล Uraiwan Wattanakul
เจษฎา อิสเหาะ Jesada Ishaak

บทคัดย่อ

การทดลองใช้สาหร่ายขนนก (*Caulerpa racemosa*) เป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตทดแทนแป้งสาลีที่ระดับต่างกันในอาหารเลี้ยงปลาทับทิม (*Oreochromis* sp.) เพื่อศึกษาการเจริญเติบโต อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน ความคงทนของอาหารในน้ำ ลักษณะทางเนื้อเยื่อของตับ ค่าองค์ประกอบเลือด องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อปลา ระดับสีของปลา และอัตราการรอดตาย โดยได้ศึกษาระดับของการใช้สาหร่ายขนนกทดแทนแป้งสาลีในสูตรอาหารต่างกัน 6 ระดับ (สูตรที่ 1-6) คือ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 เปอร์เซ็นต์ โดยกำหนดให้มีระดับโปรตีน 30 เปอร์เซ็นต์ และพลังงานที่ย่อยได้ (DE) ไม่ต่ำกว่า 2,500 kcal/kg. เท่ากันทุกสูตร นำไปเลี้ยงปลาทับทิม น้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 22.24$\pm$1.47 กรัม ในบ่อคอนกรีตขนาด 1 X 4 X 0.5 เมตร ความหนาแน่น 20 ตัวต่อตารางเมตร เป็นเวลา 120 วัน พบว่า ที่ระดับ 30% มีการเจริญเติบโตสูงที่สุด ทั้งน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ รองลงมาคือ ที่ระดับ 40% แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) แต่มีการเจริญเติบโตสูงกว่าที่ระดับ 50, 20, 10 และ 0% ตามลำดับ (p<0.05) การเพิ่มระดับของการใช้สาหร่ายขนนกทดแทนแป้งสาลีในอาหารส่งผลให้ความคงทนของอาหารในน้ำ และระดับสีของปลาทับทิมเพิ่มสูงขึ้น ส่วนคุณค่าทางโภชนาการของเนื้อปลา พบว่า ค่าความชื้น และปริมาณเถ้า ในทุกระดับของการใช้สาหร่ายขนนก ไม่มีความแตกต่างกัน (p>0.05) แต่ปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารที่ผสมสาหร่ายมีปริมาณ โปรตีน และไขมันน้อยกว่าปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารควบคุม และทุกระดับของใช้สาหร่ายขนนกในอาหารไม่มีผลต่อเนื้อเยื่อตับ และอัตราการรอดตายของปลาทับทิม (p>0.05) และจากผลการทดลองสรุปได้ว่า การใช้สาหร่ายขนนกทดแทนแป้งสาลีในสูตรอาหารที่ระดับ 30 เปอร์เซ็นต์ เป็นระดับที่เหมาะสมต่อการการเจริญเติบโตของปลาทับทิม

คำสำคัญ : สาหร่ายทะเลขนาดใหญ่ (*Caulerpa racemosa*) อาหารปลา ปลาทับทิม

Abstract

The experiment were designed to study on replacement of wheat flour with marine macroalgae (*Caulerpa racemosa*) as carbohydrate source in diet at different levels on growth performance, feed conversion rate (FCR), protein efficiency ratio (PER), durability of the pellets, liver histology, hematology, chemical composition, color level and survival rate of Red Tilapia (*Oreochromis* sp.). The diets were contained 30% protein and not less than 2,500 Kcal/Kg of DE in six formulas with varying levels; 0, 10, 20, 30, 40 and 50% of marine macroalgae replacement (formula 1-6), respectively. The diets were given to fishes with initial average weight 22.24$\pm$1.47 g. They were reared in 1 X 4 X 0.5 m. concrete pond at density of 20 ind/m^2. They were fed to apparent satiation twice daily for 120 days. The result showed that at 30% level was highest growth performance in term of weight gain and specific growth rate and was not significantly different with 40% (p>0.05). These value were higher than level at 50%, 20% and 10% respectively (p<0.05). Increasing level of macroalgae replacement in all formulas diet to effects of pellets durability and color level increase (p<0.05). The nutritional values of fish meat is found that the moisture and ash content at all levels were not significant differences (p>0.05). Fishes fed with algae mixed has protein and fat less than control diet group (p<0.05). All of the diet formulas were no effect on liver histology, hematology and survival rate. The current study concluded that at 30% of wheat flour replacement with macroalgae in diet was optimum for Red Tilapia feed taking into growth performance.

Keywords : marine macroalgae (*Caulerpa racemosa*), Fish Diet, *Oreochromis* sp.

บทนำ

ปลาทับทิม (*Oreochromis* sp.) ปัจจุบัน จัดได้ว่าเป็นปลาน้ำจืดเศรษฐกิจมีความสำคัญมากชนิดหนึ่ง เพราะมีรสชาติดี ตลอดจนสีสันสวยงามเป็นที่น่ารับประทาน และมีคุณค่าทางโภชนาการสูง เช่น ปลาทับทิมที่เลี้ยงด้วยอาหารสำเร็จรูปคุณภาพสูงจะมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัว ชนิดโอเมก้า-3 สูงกว่าปลาน้ำจืดปลาน้ำกร่อยทั่วไปถึง 4 เท่า จึงเป็นที่ต้องการของตลาดทั้งใน และต่างประเทศ แต่ปัญหาของการเลี้ยงปลาทับทิมที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน คือ ต้นทุนการผลิตที่เพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะราคาอาหารปลาทำให้ไม่คุ้มค่ากับการลงทุน ซึ่งในการเลี้ยงสัตว์น้ำนั้น อาหารนับได้ว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดปัจจัยหนึ่ง เนื่องจากต้นทุนในการเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยเฉพาะในเรื่องอาหารจะตกอยู่ประมาณ 50-70 % ของต้นทุนทั้งหมด (Blyth and Dodd, 2002; Kongkeo and Phillips, 2002) ฉะนั้นหากผู้เลี้ยงไม่ให้ความสำคัญต่อการให้อาหารสัตว์น้ำ โอกาสที่จะเกิดความล้มเหลวในการเลี้ยงก็จะสูงตามไปด้วย สาเหตุสำคัญที่ทำให้อาหารสัตว์น้ำมีราคาสูงขึ้นเป็นอย่างมากในปัจจุบัน เนื่องจากผลผลิตวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตอาหารสัตว์น้ำ ทั้งส่วนที่เป็นแหล่งโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต มีจำนวนลดลงเนื่องจากสภาวะภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงจากสภาวะโลกร้อน ส่งผลให้ราคาวัตถุดิบสัตว์น้ำดังกล่าวมีราคาค่อนข้างสูง สำหรับประเทศไทยนั้น มีปริมาณการนำเข้าวัตถุดิบอาหารสัตว์จากต่างประเทศสูงขึ้นทุกปี จึงส่งผลให้ต้นทุนการผลิตสัตว์น้ำสูงตามไปด้วย ด้วยเหตุดังกล่าวนี้ จึงเป็นเหตุให้นักวิจัยอาหารสัตว์น้ำ หันมาศึกษา และพยายามที่จะนำวัตถุดิบอื่นที่หาได้ง่าย มีคุณค่าทางโภชนาการ และราคาถูกกว่ามาใช้ทดแทนในการผลิตอาหารปลาทับทิม เช่นการใช้วัตถุดิบอาหารจากพืชทดแทนโปรตีนจากสัตว์ หรือวัตถุดิบทดแทนคาร์โบไฮเดรตที่มีราคาแพงด้วยพืช โดยเฉพาะวัตถุดิบในท้องถิ่นที่มีผลผลิตจำนวนมาก หาได้ง่ายจากธรรมชาติมาทดแทน หรือ ลดการใช้วัตถุดิบอาหารที่มีราคาแพงเป็นบางส่วน ก็จะช่วยลดต้นทุนค่าอาหารในการเลี้ยงสัตว์น้ำลงได้ จึงเป็นที่มาของการทดลองที่จะใช้สาหร่ายทะเลมาใช้ผสมในสูตรอาหารปลาทับทิมในครั้งนี้ ทั้งนี้เพราะสาหร่ายมีคุณสมบัติเหมาะสมเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรต และเป็นสารเหนียวที่ดี โดยยังทำให้อาหารคงสภาพได้ดีในน้ำ จึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจ

ในอาหารสัตว์น้ำ นอกเหนือจากโปรตีนแล้ว คาร์โบไฮเดรตก็มีความสำคัญไม่ยิ่งหย่อนไปกว่ากัน คาร์โบไฮเดรตในอาหารสัตว์น้ำทำหน้าที่สำคัญในการเป็นแหล่งพลังงานที่มีราคาถูกกว่าแหล่งพลังงานจากโปรตีน และไขมัน นอกจากนี้คาร์โบไฮเดรตยังทำหน้าที่เป็นสารเหนียวในการผลิตอาหารสัตว์น้ำ สารเหนียวหรือสารประสานอาหาร (Binder) เป็นสารที่ช่วยทำให้อาหารสัตว์น้ำมีความคงทนอยู่ในน้ำได้นาน และทำให้น้ำตาลที่ได้จากการย่อยคาร์โบไฮเดรตเคลื่อนที่ในทางเดินอาหารช้าลง จึงทำให้สัตว์น้ำมีอัตราการเจริญเติบโตดีขึ้น (วีรพงศ์, 2536) การใช้สารเหนียวจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการทำอาหารสำหรับสัตว์น้ำที่กินอาหารช้า เช่น กุ้ง โดยสารเหนียวมีอยู่ในพืชทั่วไป เช่น สาหร่าย กล้วย ข้าวสาลี และแป้งข้าวเจ้า และในสาหร่ายหลายชนิด เช่น *Ulva, Sargassum, Polycavermosa* และ *Gracilaria* มีการศึกษาถึงความเป็นไปได้ และพบว่าสามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นสารเหนียวในการผลิตอาหารสัตว์น้ำได้หลายชนิด (Capinpin and Corre, 1996; Hashim and Mat Saat, 1992; Penaflorida and Goles, 1996, Valente *et al*., 2006) การวิจัยพบว่า มีการใช้สาหร่ายผสมในอาหารสัตว์น้ำทั้งในรูปของสาหร่ายอบแห้งและสาหร่ายสด เนื่องจากสาหร่ายมีโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตสูง นอกจากนั้นยังมีกรดอะมิโน กรดอินทรีย์ (สมรักษ์และคณะ, 2550) แคโรทีนอยด์ (carotenoid) ไฟโคบิลิน (phycocobilin) ส่งผลให้สัตว์น้ำเจริญเติบโตดี อัตราการรอดสูง มีภูมิคุ้มกันต่อโรคสูง นอกจากนั้นสาหร่ายบางชนิดสามารถใช้เร่งสีในสัตว์น้ำอีกด้วย ขจรเกียรติ์ และคณะ (2550) พบว่าการใช้สาหร่าย

Euglena sanguine สดผสมในอาหารสามารถเพิ่มสี ปริมาณแคโรทีนอยด์และประสิทธิการเจริญเติบโตของปลานิลแดง (*Oreochromis* sp.) สูง สอดคล้องกับ ธัชศึกและคณะ (2554) พบว่า สาหร่ายไก *Spirulina platensis* กับสาหร่าย *Cladophora* sp. สามารถช่วยในการกระตุ้นการสร้างภูมิคุ้มกันและปรับปรุงสีทำให้สีบนตัวปลาทองมีสีแดงและสีเหลืองเพิ่มสูงขึ้น เช่นเดียวกันกับจงกลและคณะ (2554) พบว่าการใช้สไปรูลิน่าสด (raw *Spirulina*; RS) และผง (powder *Spirulina*; PS) เป็นอาหารเลี้ยงปลาแฟนซีคาร์ฟมีผลทำให้ การเจริญเติบโต ดัชนีการเจริญพันธุ์ สารสี-แคโรทีนอยด์และภูมิคุ้มกันเพิ่มขึ้น ในการอนุบาลลูกปลาดุกบิ๊กอุย (*Clarias macrocephalus* x *Clarias gariepinus*) พบว่าอาหารสำเร็จรูปที่เสริมด้วยสาหร่าย *Spirulina platensis* สด มีอัตราการเจริญเติบโต และอัตราการรอดตายสูง ส่วนค่า FCR ต่ำ (จักรพงษ์, 2550)

ปัจจุบันสาหร่ายถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยเฉพาะการนำสาหร่ายมาผสมในอาหารสัตว์น้ำทั้งการเสริมแบบทดแทนสัดส่วนของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตอาหาร (เทพรัตน์ และคณะ, 2554) หรือการเสริมเพื่อปรับปรุงสีและกระตุ้นการสร้างภูมิคุ้มกัน (ธัชศึก และคณะ, 2554) ทั้งนี้หวังผลว่าจะสามารถช่วยเพิ่มอัตราการเจริญเติบโต อัตราการรอด เพิ่มประสิทธิภาพอัตราการแลกเนื้อ (feed conversion ratio; FCR.) เพิ่มภูมิคุ้มกัน (Peiiaflorida and Golez, 1996) และการเพิ่มสีแก่สัตว์น้ำ (จงกล และคณะ, 2554) โดยกลุ่มสาหร่ายทะเลขนาดใหญ่สีเขียว *Caulerpa racemosa* เป็นอีกชนิดหนึ่งที่น่าสนใจสำหรับการประยุกต์ใช้ในอาหารสำหรับสัตว์น้ำ เพราะ ชาญยุทธ (2551) รายงานถึงคุณค่าทางอาหารของสาหร่ายชนิดนี้ว่ามีปริมาณคาร์โบไฮเดรต และโปรตีน ค่อนข้างสูง จึงอาจจะนำไปทดแทนวัตถุดิบที่ให้คาร์โบไฮเดรตในสูตรอาหารสัตว์น้ำได้ ตลอดจนเป็นวัตถุดิบที่หาได้ง่ายในท้องถิ่น มีผลผลิตจำนวนมาก โดยเฉพาะในพื้นที่ทะเลจังหวัดตรัง กระบี่ และชายฝั่งอันดามัน

การศึกษาครั้งนี้จึงมุ่งเน้น เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำสาหร่าย *Caulerpa racemosa* มาผสมในอาหารเม็ดสำเร็จรูปทดแทนคาร์โบไฮเดรต และเป็นสารเหนียว สำหรับการเลี้ยงปลาทับทิม ซึ่งเป็นปลาน้ำจืดเศรษฐกิจที่สำคัญ โดยมีพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา ได้แก่ คุณค่าทางโภชนาการในอาหารเม็ดที่ผสมสาหร่าย และปลาทดลอง ความคงทนของอาหารในน้ำ การเจริญเติบโต อัตราการรอดตาย ประสิทธิภาพการใช้อาหาร การเกิดสีในตัวปลา การเปลี่ยนแปลงทางเนื้อเยื่อวิทยา และองค์ประกอบในเลือดในปลาทับทิม ทั้งนี้หวังว่าหากผลการทดลองเป็นไปในเชิงบวก ก็จะสามารถใช้ประโยชน์จากสาหร่ายเพื่อพัฒนาในสูตรอาหารสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำเชิงพาณิชย์ต่อไป

วิธีดำเนินการทดลอง

การศึกษาระดับของการผสมสาหร่าย *Caulerpa racemosa* ทดแทนคาร์โบไฮเดรต โดยศึกษาระดับของการผสมสาหร่าย *C. racemosa* ทดแทนแป้งสาลี และเป็นสารเหนียวในสูตรอาหารเม็ดสำเร็จรูปเลี้ยงปลาทับทิม มีวิธีดำเนินงาน ดังนี้

1. การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design; CRD) โดยศึกษาระดับของการผสมสาหร่าย *Caulerpa racemosa* ทดแทนคาร์โบไฮเดรต ซึ่งการทดลองครั้งนี้เป็นการผสมสาหร่ายทดแทนแป้งสาลีในสูตรอาหาร ที่ต่างกัน 6 ระดับคือ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 เปอร์เซ็นต์ และใช้ทดแทนสารเหนียว ดังนั้น มีชุดการทดลองทั้งสิ้น 6 ชุดการทดลอง ๆ ละ 4 ซ้ำ ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 ไม่ผสมสาหร่าย *C. racemosa* ทดแทนคาร์โบไฮเดรต (สูตรควบคุม)
ชุดการทดลองที่ 2 ผสมสาหร่าย *C. racemosa* ทดแทนคาร์โบไฮเดรต 10 เปอร์เซ็นต์
ชุดการทดลองที่ 3 ผสมสาหร่าย *C. racemosa* ทดแทนคาร์โบไฮเดรต 20 เปอร์เซ็นต์
ชุดการทดลองที่ 4 ผสมสาหร่าย *C. racemosa* ทดแทนคาร์โบไฮเดรต 30 เปอร์เซ็นต์
ชุดการทดลองที่ 5 ผสมสาหร่าย *C. racemosa* ทดแทนคาร์โบไฮเดรต 40 เปอร์เซ็นต์
ชุดการทดลองที่ 6 ผสมสาหร่าย *C. racemosa* ทดแทนคาร์โบไฮเดรต 50 เปอร์เซ็นต์

2. การเตรียมระบบเลี้ยง

บ่อที่ใช้ทดลองเลี้ยงเป็นบ่อซีเมนต์ขนาด 1 x 3 x 0.5 เมตร ทำความสะอาด เติมน้ำจืดที่สะอาดลึก 0.4 เมตร ดังนั้นจะมีปริมาตรน้ำในบ่อทดลองเท่ากับ 1.20 ลูกบาศก์เมตร มีการให้อากาศในบ่อทดลองตลอดเวลาโดยใช้สายยาง และหัวทราย ดังนั้นจะต้องใช้บ่อทั้งสิ้น 24 บ่อ ปิดปากบ่อด้วยมุ้งสีฟ้าเพื่อป้องกันปลาช่อนกระโดดหนีออกจากบ่อเลี้ยง

3. การเตรียมปลาทดลอง

ในการศึกษาครั้งนี้ ทำการทดลองในปลาทับทิมขนาด 3-5 นิ้ว อายุประมาณ 2 เดือน โดยก่อนเริ่มทำการทดลองจะนำลูกปลามาอนุบาลในบ่อซีเมนต์ขนาดความจุน้ำ 2 ตัน (1 x 4 x 0.5 เมตร) ให้อาหารสมทบ (สูตรควบคุม) ที่จะใช้เลี้ยงวันละ 2 ครั้ง จนกระทั่งลูกปลาเคยชินกับอาหารเม็ด เป็นระยะเวลา 10 วัน หลังจากนั้นสุ่มลูกปลาลงเลี้ยงในบ่อทดลอง จำนวน 60 ตัว/บ่อ (ความหนาแน่น 20 ตัว/ตารางเมตร) ทำการชั่งหาน้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้นของปลา

4. การเตรียมอาหารทดลอง

สาหร่าย *Caulerpa racemosa* ที่ใช้ทดลองนำมาจาก บ้านแหลมมะขาม อำเภอสิเกา จังหวัดตรัง ทำการเตรียมสาหร่าย ซึ่งประยุกต์มาจากรายงานของ หับเส๊าะ และ คณะ (2553) โดยล้างให้สะอาด ผึ่งแดดให้แห้ง เป็นเวลา 1 วัน นำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง นำมาบดให้ละเอียด ร่อนด้วยตะแกรงเบอร์ 40 mesh (ขนาดตา 0.793 มิลลิเมตร) และเก็บในถุงสีดำเพื่อ

ป้องกันแสง เก็บรักษาในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อรอการใช้งาน (ภาพผนวกที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ)

ขั้นตอนในการเตรียมอาหารทดลอง

นำสาหร่ายที่บดละเอียด และวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตอาหารที่ผ่านการบดละเอียดแล้ว ได้แก่ ปลาป่น กากถั่วเหลือง น้ำนึ่งปลา รำละเอียด ปลายข้าว สารเหนียว น้ำมันปลา น้ำมันพืช วิตามินผสม แร่ธาตุรวม (premix) ไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ โปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้า ความชื้น และคาร์โบไฮเดรต (ตารางที่ 1) เพื่อนำค่าที่ได้มาสร้างเป็นสูตรอาหารที่ใช้ทดลอง

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบอาหารโดยการวิเคราะห์ (% น้ำหนักแห้ง)

วัตถุดิบอาหาร	องค์ประกอบทางเคมี (%)					
	โปรตีน	ไขมัน	ความชื้น	เถ้า	เยื่อใย	NFE
ปลาป่น	56.11+0.65	7.27+0.05	6.31+0.03	24.62+0.07	-	3.29+0.25
กากถั่วเหลือง	44.56±0.87	1.32±0.08	8.99±0.13	7.35±0.10	7.43±0.21	30.35±0.92
น้ำนึ่งปลา	45.15±0.16	14.45±0.93	45.60±0.56	8.11±0.06	-	-
รำละเอียด	13.50±0.19	14.62±0.05	7.61±0.04	7.40±0.05	6.71±0.28	50.16±0.87
แป้งสาลี	11.98±0.19	0.97±0.19	10.96±0.19	1.54±0.19	2.41±0.19	72.11±0.19
สาหร่าย	7.73±0.19	-	6.80±0.04	69.28±0.05	2.36±0.28	75.46±0.87

อาหารอัดเม็ดสำเร็จรูปแบบชื้นที่สร้างสูตรขึ้นทุกสูตร ให้มีระดับโปรตีนไม่ต่ำกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ ไขมันไม่ต่ำกว่า 3 เปอร์เซ็นต์ ใกล้เคียงกันทุกสูตร โดยอาหารชุดควบคุม (สูตรที่ 1) ไม่ผสมสาหร่ายขนนก อาหารสูตรที่ 2, 3, 4, 5 และ 6 ใช้สาหร่ายทดแทนคาร์โบไฮเดรต ซึ่งก็คือแป้งสาลีที่ระดับ 10, 20, 30, 40 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และใช้ทดแทนสารเหนียว โดยการลดปริมาณของสารเหนียว (Alfa starch) ในสูตรอาหารลง (ดังแสดงในตารางที่ 2) ชั่งวัตถุดิบทั้งหมดตามสัดส่วน นำมาผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องผสมอาหาร (ภาพผนวกที่ 5 และ 6) หลังจากนั้นจึงนำเข้าเครื่องอัดเม็ดอาหาร (Mincer) ผ่านหน้าแว่นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร และ 4 มิลลิเมตร เพื่อเหมาะสมกับขนาดปากปลาตลอดระยะเวลาการทดลอง (ภาพผนวกที่ 7) จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ในตู้อบอาหารที่มีระบบการควบคุมอุณหภูมิ เป็นเวลา 24 – 48 ชั่วโมง (ภาพผนวกที่ 8) นำอาหารที่อบแห้งแล้ววางให้เย็น อาหารที่ผลิตแล้วบรรจุลงในถุงโพลีเอทธีลีน และเก็บในถุงสีดำเพื่อป้องกันแสง เก็บรักษาในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อรอการใช้งาน

นำอาหารทุกสูตรมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ โปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้า และความชื้น ตามวิธีมาตรฐานของ AOAC (1990) ส่วนปริมาณคาร์โบไฮเดรต (ไนโตรเจนฟรีเอกซ์แทรกซ์, NFE) คำนวณได้จากสูตร 100 – (ความชื้น + โปรตีน + ไขมัน + เถ้า + เยื่อใย) และคำนวณพลังงานในอาหาร โดยใช้ค่าต่าง ๆ คือ 4.5 กิโลแคลอรีสำหรับโปรตีน 1 กรัม 8.4 กิโลแคลอรีสำหรับไขมัน 1 กรัม และ 2.1 กิโลแคลอรีสำหรับคาร์โบไฮเดรต 1 กรัม (วิมล และคณะ, 2535) (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 2 สูตรอาหารทดลองจากการคำนวณ ที่มีการใช้สาหร่าย (เปอร์เซ็นต์) ทดแทนคาร์โบไฮเดรต โดยใช้ทดแทนแป้งสาลี และใช้เป็นสารเหนียวในสูตรอาหารทดลองเลี้ยงปลาทับทิม เป็นระยะเวลา 6 เดือน

วัตถุดิบ (กรัม)	สูตรอาหารที่ใช้สาหร่ายทดแทนคาร์โบไฮเดรตจากแป้งสาลีในสูตรอาหาร (%)					
	1 (0)	2 (10)	3 (20)	4 (30)	5 (40)	6 (50)
ปลาป่น	17.1	17.1	17.1	17.1	17.1	17.1
กากถั่วเหลือง	30.3	30.6	30.9	31.3	31.6	32.0
น้ำนึ่งปลา	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3
รำละเอียด	11.3	11.4	11.4	11.5	11.6	11.6
แป้งสาลี	25.0	22.5	20.0	17.5	15.0	12.5
สาหร่าย	**0.0**	**2.5**	**5.0**	**7.5**	**10.0**	**12.5**
น้ำมันปลา	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
น้ำมันพืช	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Alfa starch	4.0	3.6	3.2	2.8	2.4	2.0
วิตามินผสม	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Premix*	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
รวม	**100.00**	**100.00**	**100.00**	**100.00**	**100.00**	**100.00**
โปรตีน (%)	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
DE (Kcal/Kg)	2,770.0	2,726.5	2,682.6	2,639.0	2,595.4	2,551.5
ไขมัน (%)	7.29	7.25	7.17	7.12	7.05	6.98

* Premix (สารผสมล่วงหน้า) ประกอบด้วยวิตามินและแร่ธาตุในปริมาณ/อาหาร 1 กก. ดังนี้ vitamin A 1,000 หน่วยสากลต่อมิลลิกรัม; vitamin D_3 250 หน่วยสากลต่อมิลลิกรัม; vitamin E 5 หน่วยสากลต่อมิลลิกรัม; vitamin B_1 2,000 มิลลิกรัม; vitamin B_2 800 มิลลิกรัม; vitamin B_6 2,000 มิลลิกรัม; vitamin B_{12} 1 มิลลิกรัม; vitamin C 10,000 มิลลิกรัม; panthothenic acid 300 มิลลิกรัม; nicotinic acid 5,000 มิลลิกรัม; Folic acid 200 มิลลิกรัม; biotin 2 มิลลิกรัม; iron 500 มิลลิกรัม; zinc 7,000 มิลลิกรัม; manganese 800 มิลลิกรัม; selenium 10 มิลลิกรัม; lysine 15,000 มิลลิกรัม; methionine 3,000 มิลลิกรัม

ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง ที่ใช้สาหร่าย (เปอร์เซ็นต์) ทดแทนคาร์โบไฮเดรตโดยใช้ทดแทนแป้งสาลี ระดับต่าง ๆ และใช้เป็นสารเหนียวในสูตรอาหารทดลอง

สูตรอาหาร	องค์ประกอบทางเคมี (%)					
	โปรตีน	ไขมัน	ความชื้น	เถ้า	เยื่อใย	NFE
1 (0%)	30.82±0.10	7.25±0.63	6.72±0.09	8.32±0.11	1.78±0.12	45.56±0.15
2 (10%)	30.81±0.18	7.20±0.28	7.08±0.08	9.20±0.06	1.59±0.03	44.12±0.20
3 (20%)	31.35±0.22	7.15±0.24	7.44±0.23	11.00±0.07	1.30±0.14	41.76±0.16
4 (30%)	30.33±0.13	7.13±0.45	6.63±0.09	12.66±0.05	1.56±0.11	41.69±0.20
5 (40%)	30.96±0.23	7.09±0.48	7.25±0.06	14.12±0.04	1.99±0.15	38.59±0.18
6 (50%)	30.85±0.16	6.96±1.08	6.84±0.03	14.18±0.08	1.75±0.08	36.42±0.32

หมายเหตุ : ในวงเล็บ คือ ระดับการใช้สาหร่าย *C. racemosa* ทดแทนแป้งสาลีในสูตรอาหาร (%)

5. การทดลองและการเก็บรวบรวมข้อมูล

อาหารและการให้อาหาร

ให้อาหารทั้ง 6 ชุดการทดลองทุกวัน วันละ 2 มื้อ (เช้า – เย็น) ตลอดการทดลอง ให้จนอิ่ม โดยในครั้งแรกจะให้อาหาร 10 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว และปรับปริมาณตามการกินอาหารของปลา บันทึกข้อมูลน้ำหนักอาหารที่ให้ เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณหาอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR)

การศึกษาการเจริญเติบโต อัตราการรอดตาย และประสิทธิภาพการใช้อาหาร

ทำการสุ่มตัวอย่างปลาทับทิมจากทุกชุดการทดลอง จำนวน 20 ตัว/บ่อ เพื่อชั่งน้ำหนักทุก 1 เดือน เป็นเวลา 6 เดือน และนำมาศึกษาการเจริญเติบโต (ในรูปค่าเฉลี่ยของข้อมูล) นำมาคำนวณค่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (feed conversion rate: FCR) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (specific growth rate: SGR, % ต่อวัน) เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (weight gain, %) อัตรารอดตาย (survival rate, %) และประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (PER) โดยใช้สูตรในการคำนวณดังนี้

$$\text{อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR)} = \frac{\text{น้ำหนักอาหารที่ปลากินทั้งหมด (กรัม)}}{\text{น้ำหนักปลาทั้งหมดที่เพิ่มขึ้น (กรัม)}}$$

$$\text{น้ำหนักปลาทั้งหมดที่เพิ่มขึ้น} = \text{น้ำหนักปลาทั้งหมดเมื่อสิ้นสุดการทดลอง} - \text{น้ำหนักเริ่มต้น}$$

$$\text{อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (SGR, \% ต่อวัน)} = \frac{(\ln \text{น.น. ปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง} - \ln \text{น.น. ปลาเมื่อเริ่มต้นการทดลอง}) \times 100}{\text{ระยะเวลา (วัน)}}$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (weight gain, \%)} = \frac{(\text{น.น. ปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง} - \text{น.น. ปลาเมื่อเริ่มการทดลอง}) \times 100}{\text{น้ำหนักปลาเมื่อเริ่มการทดลอง}}$$

$$\text{อัตรารอดตาย (survival rate, \%)} = \frac{\text{จำนวนปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง}}{\text{จำนวนปลาเมื่อเริ่มการทดลอง}} \times 100$$

$$\text{ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน} = \frac{\text{น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัม)}}{\text{น้ำหนักโปรตีนที่ปลากิน (กรัม)}}$$

การทดสอบประสิทธิภาพความคงทนของอาหารในน้ำ

เตรียมอาหารทดลองสูตรละ 5.00 กรัม ใส่ตะแกรงมุ้งเขียวขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8.00 เซนติเมตร (สูตรละ 3 ซ้ำ) นำไปแช่ให้จมลึก 15.0 เซนติเมตรในถังน้ำที่บรรจุน้ำทะเลขนาด 30.0 ลิตร พร้อมเปิดระบบให้อากาศ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 2 ชั่วโมง 3 ชั่วโมง 4 ชั่วโมง และ 5 ชั่วโมง (ดัดแปลงจากวิธีของ Penaflorida and Golez, 1996) หลังจากได้เวลา อาหารทดลองในแต่ละตะแกรง (ซ้ำ) จะถูกทำให้แห้งและชั่งน้ำหนัก โดยมีสูตรคำนวณ ดังนี้

$$\text{ประสิทธิภาพความคงทนของอาหารในน้ำ (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักแห้งหลังการทดลอง}}{\text{น้ำหนักอาหารแห้งเริ่มต้น}} \times 100$$

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางเนื้อเยื่อวิทยา

เมื่อสิ้นสุดการทดลองทำการเก็บตัวอย่างโดยการสุ่มเก็บเนื้อเยื่อตับ จากตัวอย่างปลาของทุกชุดการทดลอง ๆ ละ 3 ตัว มาแช่ในสารละลายฟอร์มาลิน 10 เปอร์เซ็นต์ ก่อนนำไปผ่านกรรมวิธีเตรียมเนื้อเยื่อของ Humason (1972) เนื้อเยื่อตับถูกตัดให้มีความหนา 3-4 ไมโครเมตร แล้วย้อมด้วยสี Hematoxylin Eosin (HE) (Bancroft, 1967) จากนั้นนำตัวอย่างไปศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ เพื่อเปรียบเทียบกันในแต่ละชุดการทดลอง

การศึกษาองค์ประกอบเลือด

สุ่มปลาจากทุกชุดการทดลองๆ ละ 3 ตัวมาสลบด้วยน้ำยา 2-phenoxyethanol เจาะเลือดจากบริเวณโคนหาง โดยใช้เอทีลีนไดอะมีนเตตราอะซีติก (EDTA) 1.0% เคลือบหลอดทดลองเพื่อป้องกันการแข็งตัวของเลือด เพื่อศึกษาองค์ประกอบของเลือดคือ

- Haemoglobinโดยใช้วิธี Cyanmet-haemoglobin ของ Larsen and Snieszko (1961)
- Haematocrit โดยวิธีดัดแปลงจาก Blaxhall and Daisley (1973)
- Plasma protein โดยวิธีดัดแปลงจาก Lowry *et.al*. (1951)
- Blood cell count โดยวิธีการของ กิจการ และสิทธิ (2538)

การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของตัวปลา

เมื่อสิ้นสุดการทดลองทำการเก็บตัวอย่างโดยการสุ่มตัวอย่างปลาทับทิมของทุกชุดการทดลอง ๆ ละ 5 ตัว มาทำการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ โปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้า ความชื้น และคาร์โบไฮเดรต ตามวิธีการ AOAC (1990)

การศึกษาการเกิดสีผิวลำตัวและสีของเนื้อปลา

หลังสิ้นสุดการทดลอง ทำการประเมินสีลำตัว และสีของเนื้อปลาทับทิม โดยทำการสุ่มปลาในแต่ละชุดการทดลองจำนวนซ้ำละ 5 ตัว สำหรับสีตัวภายนอกเปรียบเทียบสีด้วยสายตากับแผ่นสีที่เตรียมไว้ โดยการทดลองครั้งนี้ใช้แผ่นสีส้มระดับต่าง ๆ (1-16) จากเครื่องพิมพ์ Cannon (Cannon Printer

Inkjet รุ่น MP 287) พร้อมทั้งถ่ายรูปในทุกชุดการทดลองเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของสีลำตัวและสีของเนื้อปลาทับทิม ใช้การวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสีมาตรฐานทางวิทยาศาสตร์ (Hunter lab Colorimeter) รุ่น Ultra scan Vis, Hunter Assoc, Lab, Inc., USA สอบเทียบเครื่องวัดสีตามคู่มือแนะนำก่อนการใช้งานทุกครั้ง ตั้งหมวดการวัดค่าสีเป็นระบบ CIE LAB; *L*a*b** โดยวัดค่าสีทั้งหมดจากเนื้อปลาบริเวณกล้ามเนื้อใต้โคนครีบหลังทั้งด้านซ้าย และด้านขวา 3 ครั้งต่อตัวอย่าง

การศึกษาคุณภาพน้ำ

ทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำ ในระหว่างการทดลอง ทุก 2 สัปดาห์ ตลอดการทดลอง โดยดัชนีที่จะใช้วิเคราะห์คุณภาพน้ำประกอบด้วย อุณหภูมิน้ำวัดด้วยเทอร์โมมิเตอร์แบบปรอท, ความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำ (pH) ด้วย pH meter, ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (DO) วัดด้วยเครื่องวัดคุณภาพน้ำแบบดิจิตอล YSI Model 650 MDS), ความเป็นด่างของน้ำ (ด้วยวิธีการ Titration)

6. การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ทำการหาค่า การเจริญเติบโต อัตราการเจริญเติบโต อัตราการรอดตาย อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน องค์ประกอบเลือด องค์ประกอบทางเคมีของตัวปลา และการศึกษาการเกิดสีผิวลำตัวและสีของเนื้อปลา ทำการวิเคราะห์ทางสถิติโดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (One-way ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ระหว่างชุดการทดลอง ด้วยวิธี Duncan's New multiple range test : DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

7. สถานที่ และระยะเวลาทำการวิจัย

ทำการทดลอง ณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง อำเภอสิเกา จังหวัดตรัง ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ในปีงบประมาณ 2558

ผลการทดลอง

ศึกษาระดับของการผสมสาหร่าย *Caulerpa racemosa* ทดแทนคาร์โบไฮเดรต ซึ่งการทดลองครั้งนี้เป็นการผสมสาหร่ายทดแทนแป้งสาลีในสูตรอาหาร ที่ต่างกัน 6 ระดับคือ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 เปอร์เซ็นต์ และใช้เป็นสารเหนียว ให้ผลการทดลอง ดังนี้

การเจริญเติบโต

น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว

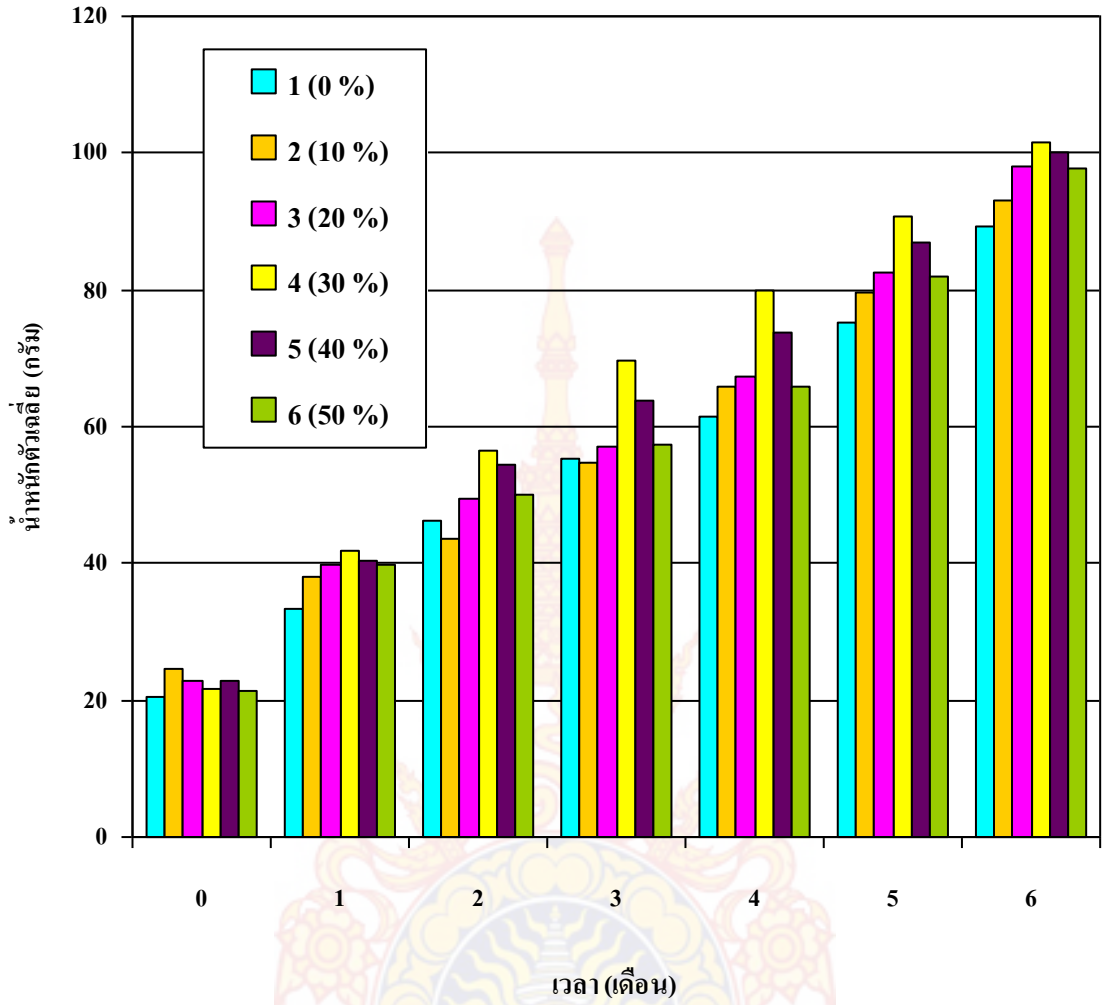
น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวของปลาทับทิม ที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 6 สูตร ตลอดระยะเวลาการทดลอง 6 เดือน พบว่า ปลาทับทิมมีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาของการทดลองเลี้ยง ดังแสดงในตารางที่ 4 และ รูปที่ 1 ซึ่งเมื่อเริ่มการทดลองปลาที่ใช้ทดลองทั้งหมดมีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว เท่ากับ 22.24±1.47 กรัม ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) โดยน้ำหนักปลาเริ่มมีความแตกต่างกันตั้งแต่เดือนที่ 2 จนกระทั้งสิ้นสุดการทดลอง ($p<0.05$) เมื่อพิจารณาแต่ละระดับของการใช้สาหร่ายขนนกทดแทนแป้งสาลีในอาหารที่ใช้เลี้ยงปลาทับทิมในเดือนที่ 4 ซึ่งสามารถเห็นความแตกต่างของปลาทับทิมในแต่ละชุดการทดลองอย่างชัดเจน พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 4 (30 เปอร์เซ็นต์) มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวสูงที่สุด (79.99±4.63 กรัม) สูงกว่าปลาในชุดการทดลองที่ 5 (40 เปอร์เซ็นต์) 3 (20 เปอร์เซ็นต์) 6 (50 เปอร์เซ็นต์) 2 (10 เปอร์เซ็นต์) และ 1 (0 เปอร์เซ็นต์) ตามลำดับ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งมีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว เท่ากับ 73.75±6.72, 67.41±5.29, 65.79±7.47 65.87±6.15 และ 61.44±5.10 กรัม ตามลำดับ และเมื่อสิ้นสุดการทดลองในเดือนที่ 6 ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 4 (30 เปอร์เซ็นต์) ยังคงมีมีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวสูงที่สุด (101.65±10.7 กรัม) สูงกว่าปลาในชุดการทดลองที่ 5 (40 เปอร์เซ็นต์) 3 (30 เปอร์เซ็นต์) 6 (50 เปอร์เซ็นต์) และ 2 (10 เปอร์เซ็นต์) ตามลำดับ แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ซึ่งปลาทดลองที่ได้รับอาหารสูตรดังกล่าวมีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว เท่ากับ 100.04±14.49, 97.91±12.57, 97.83±12.20 และ 93.12±11.24 กรัม ตามลำดับ แต่สูงกว่าปลาทับทิมในสูตรที่ 1 (0 เปอร์เซ็นต์) แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 (0 เปอร์เซ็นต์) มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว ต่ำที่สุด (89.24±12.99 กรัม) แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับสูตรที่ 3, 6 และ 2 ตามลำดับ (ตารางที่ 4 และรูปที่ 1)

ตารางที่ 4 การเจริญเติบโตโดยน้ำหนัก (น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว หน่วยเป็นกรัม) ของปลาทับทิม ที่ได้รับอาหารที่มีการใช้สาหร่าย (เปอร์เซ็นต์) ทดแทนคาร์โบไฮเดรต โดยใช้ทดแทนแป้งสาลี และใช้เป็นสารเหนียวในสูตรอาหารทดลองระดับต่าง ๆ เลี้ยงปลาทับทิม เป็นระยะเวลา 6 เดือน

ระยะเวลา (เดือน)	สูตรอาหาร					
	1 (0 %)	2 (10 %)	3 (20 %)	4 (30 %)	5 (40 %)	6 (50 %)
เริ่มทดลอง	20.38±7.68^{a}	24.54±2.45^{a}	22.93±2.48^{a}	21.60±2.39^{a}	22.73±2.19^{a}	21.28±1.59^{a}
1	33.36±8.35^{bc}	37.97±9.15^{abc}	39.67±6.87^{abc}	41.75±9.44^{a}	40.25±10.20^{ab}	39.88±8.62^{abc}
2	46.20±9.85^{bc}	43.64±7.83^{c}	49.40±6.75^{bc}	56.59±8.48^{a}	54.53±8.41^{ab}	50.13±7.89^{ab}
3	55.21±6.58^{bc}	54.75±6.92^{c}	56.97±5.85^{bc}	69.77±8.22^{a}	63.91±5.50^{a}	57.41±6.45^{bc}
4	61.44±5.10^{c}	65.87±6.15^{c}	67.41±5.29^{c}	79.99±4.63^{a}	73.75±6.72^{b}	65.79±7.47^{c}
5	75.34±7.94^{c}	79.50±9.57^{bc}	82.67±7.66^{ab}	90.82±6.76^{a}	86.90±6.41^{a}	81.81±6.61^{bc}
6	89.24±12.99^{b}	93.12±11.24^{ab}	97.91±12.57^{ab}	101.65±10.73^{a}	100.04±14.49^{a}	97.83±12.20^{ab}

หมายเหตุ : - ในวงเล็บ คือระดับของการใช้สาหร่าย *Caulerpa racemosa* ทดแทนแป้งสาลี (เปอร์เซ็นต์) ในสูตรอาหาร

- เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยในแนวนอนโดยใช้อักษร ถ้าอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (p>0.05)



ภาพที่ 1 การเจริญเติบโตของปลาทับทิมที่ได้รับอาหารที่มีการใช้สาหร่ายทดแทนแป้งสาลีในสูตรอาหารระดับต่าง ๆ กัน เป็นเวลา 6 เดือน

น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ อัตราการรอดตาย อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อและประสิทธิภาพการใช้โปรตีน

น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวเริ่มต้น และสิ้นสุดการทดลอง เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโต (%SGR : %/วัน) อัตราการรอดตาย (เปอร์เซ็นต์) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และประสิทธิภาพการใช้โปรตีน ของปลาทับทิมที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 6 สูตร ที่มีการใช้สาหร่ายทดแทนคาร์โบไฮเดรต โดยใช้แทนแป้งสาลี (เปอร์เซ็นต์) ในสูตรอาหาร ระดับแตกต่างกัน คือ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 เปอร์เซ็นต์ เป็นระยะเวลา 6 เดือน แสดงดังตารางที่ 5 พบว่า น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของปลาทับทิม ชุดการทดลองที่ใช้อาหารสูตรที่ 4 (30 เปอร์เซ็นต์) มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นสูงที่สุด (413.45±71.33 เปอร์เซ็นต์) สูงกว่าปลาทับทิมในชุดการทดลองที่ได้รับอาหารที่ใช้สาหร่ายขนนกทดแทนแป้งสาลีในสูตรอาหารที่ 5 (40 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งมีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น เท่ากับ 398.48±34.21

เปอร์เซ็นต์ แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) แต่ปลาทับทิมที่ได้รับอาหารสูตรที่ 4 และ 5 มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นสูงกว่าปลาทับทิมที่ได้รับอาหารสูตรที่ 6, 3, 2 และ 1 ตามลำดับ ซึ่งมีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น เท่ากับ 371.79±36.99, 356.84±23.86, 295.02±85.54 และ 261.40±22.98 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) ส่วนปลาทับทิมที่ได้รับอาหารสูตรที่ 6, 3 และ 2 มีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 4 (30 เปอร์เซ็นต์) มีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นสูงที่สุด 413.45±71.33 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ปลาทับทิมที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 (ใช้สาหร่ายขนนกทดแทนแป้งสาลีในอาหาร 0 เปอร์เซ็นต์) มีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นน้อยที่สุด เท่ากับ 261.40±22.98 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 5)

ผลการวิเคราะห์อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (SGR : %/วัน) ให้ผลการทดลองเช่นเดียวกับน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 5) โดยปลาทับทิมชุดการทดลองที่ได้รับอาหารสูตรที่ 4 (30 เปอร์เซ็นต์) มีอัตราการเจริญเติบโตสูงที่สุด (0.941±0.08 %/วัน) สูงกว่าชุดการทดลองที่ได้รับอาหารเม็ดทดลองทั้ง 5 สูตร แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) กับปลาทับทิมที่ได้รับอาหารสูตรที่ 6, 3, 2 และ 1 ตามลำดับ แต่แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) กับปลาทับทิมที่ได้รับอาหารทดลองสูตรที่ 5 (40 เปอร์เซ็นต์) กล่าวได้ว่า ปลาทับทิมจากชุดการทดลองที่ได้รับอาหารเม็ดทดลองทั้ง 6 สูตร มีอัตราการเจริญเติบโตแตกต่างกันระหว่างชุดการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.724±0.03 – 0.941±0.08 %/วัน โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 4 มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงที่สุด ในขณะที่ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 (ใช้สาหร่ายขนนกทดแทนแป้งสาลีในสูตรอาหาร 0 เปอร์เซ็นต์) มีอัตราการเจริญเติบโตน้อยที่สุด (0.724±0.03 %/วัน)

สำหรับอัตราการรอดตายของปลาทับทิมที่ได้รับอาหารเม็ดทดลองที่ผสมสาหร่ายขนนกทั้ง 6 สูตร พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (p>0.05) โดยอัตราการรอดตายของปลาทับทิมที่ใช้สาหร่ายขนนกทดแทนแป้งสาลีในอาหารสูตรที่ 5 (40 เปอร์เซ็นต์) มีอัตราการรอดตายสูงที่สุด (95.56±4.19 เปอร์เซ็นต์) ส่วนชุดการทดลองสูตรที่ 2 (ใช้สาหร่ายทดแทนแป้งสาลีในสูตรอาหาร 10 เปอร์เซ็นต์) มีอัตรารอดตายต่ำที่สุด เท่ากับ 88.33±5.00 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 5)

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของปลาทับทิมที่ได้รับอาหารเม็ดทดลองที่ผสมสาหร่ายขนนกทั้ง 6 สูตร แสดงในตารางที่ 5 พบว่า ปลาทับทิมที่ได้รับอาหารทดลองสูตรที่ 4 (ใช้สาหร่ายขนนกทดแทนแป้งสาลีในสูตรอาหาร 30 เปอร์เซ็นต์) มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อต่ำที่สุด เท่ากับ 2.47±0.45 ต่ำกว่าปลาทับทิมที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5 และ 3 ซึ่งมีค่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อเท่ากับ 2.57±0.11 และ 2.68±0.22 แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) แต่ปลาทับทิมในสูตรที่ 4 มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อต่ำกว่าปลาทับทิมที่ได้รับอาหารสูตรที่ 6, 2, และ 1 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ เท่ากับ 2.82±0.24, 2.80±0.89 และ 2.96±0.62 ตามลำดับ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) โดยปลาทับทิมที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 (ใช้สาหร่ายขนนกทดแทนแป้งสาลีในสูตรอาหาร 0 เปอร์เซ็นต์) มีอัตราการแลกเนื้อสูงที่สุด ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเป็น 2.96±0.62

ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของปลาทับทิมที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 6 สูตร พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารทดลองสูตรที่ 4 (ใช้สาหร่ายขนนกทดแทนแป้งสาลีในสูตรอาหาร 30 เปอร์เซ็นต์) มีค่าประสิทธิภาพการใช้โปรตีนสูงกว่าปลาทับทิมที่ใช้สาหร่ายขนนกทดแทนแป้งสาลีในสูตรอาหาร ที่ระดับ 40, 20, 50 และ 10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งมีค่าประสิทธิภาพการใช้โปรตีน เท่ากับ 1.24±0.05, 1.20±0.10, 1.15±0.10 และ 1.05±0.27 ตามลำดับ แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

แต่มีค่าสูงกว่าปลาทับทิมที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 (ใช้สาหร่ายขนนกทดแทนแป้งสาลีในสูตรอาหาร 0 เปอร์เซ็นต์) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) โดยปลาทับทิมในสูตรที่ 1 มีค่าประสิทธิภาพการใช้โปรตีนต่ำที่สุด เท่ากับ 0.98$\pm$0.22 (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 น้ำหนักเริ่มต้น น้ำหนักสุดท้าย น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ อัตราการรอดตาย อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของปลาทับทิม ที่ได้รับอาหารที่มีการใช้สาหร่ายทดแทนแป้งสาลีในสูตรอาหารระดับต่าง ๆ กัน เป็นเวลา 6 เดือน

สูตรอาหาร	น้ำหนักเริ่มต้น (กรัมต่อตัว)	น้ำหนักสุดท้าย (กรัมต่อตัว)	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (%)	อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (%/วัน)	อัตราการรอดตาย (%)	อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ	ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน
1 (0 %)	20.38±7.68^{a}	89.24±12.99^{b}	261.40±22.98^{c}	0.724±0.03^{c}	91.88±7.72^{a}	2.96±0.62^{c}	0.98±0.22^{b}
2 (10 %)	24.54±2.45^{a}	93.12±11.24^{ab}	295.02±85.54^{bc}	0.768±0.10^{bc}	88.33±5.00^{a}	2.80±0.89^{b}	1.05±0.27^{ab}
3 (20 %)	22.93±2.48^{a}	97.91±12.57^{ab}	356.84±23.86^{b}	0.789±0.01^{b}	95.00±4.41^{a}	2.68±0.22^{ab}	1.20±0.10^{ab}
4 (30 %)	21.60±2.39^{a}	101.65±10.73^{a}	413.45±71.33^{a}	0.941±0.08^{a}	92.78±2.55^{a}	2.47±0.45^{a}	1.30±0.21^{a}
5 (40 %)	22.73±2.19^{a}	100.04±14.49^{a}	398.48±34.21^{a}	0.842±0.04^{ab}	95.56±4.19^{a}	2.57±0.11^{ab}	1.24±0.05^{ab}
6 (50 %)	21.28±1.59^{a}	97.83±12.20^{ab}	371.79±36.99^{b}	0.795±0.04^{b}	90.00±1.67^{a}	2.82±0.24^{bc}	1.15±0.10^{ab}

หมายเหตุ : - ในวงเล็บ คือระดับของการใช้สาหร่าย *Caulerpa racemosa* ทดแทนแป้งสาลี (เปอร์เซ็นต์) ในสูตรอาหาร

- เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยในแนวนอนโดยใช้อักษร ถ้าอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (p>0.05)

ประสิทธิภาพความคงทนของอาหารในน้ำ

การทดสอบประสิทธิภาพความคงทนของเม็ดอาหารในน้ำทั้ง 6 สูตรอาหารที่ผสมสาหร่ายขนนกทดแทนแป้งสาลีในสูตรอาหาร โดยได้ทำการวัดประสิทธิภาพความคงทนของอาหารในน้ำที่เวลา 1, 2, 3, 4 และ 5 ชั่วโมง ตามลำดับ ผลการทดลอง พบว่า ประสิทธิภาพความคงทนของเม็ดอาหารในน้ำทั้ง 6 สูตรอาหารมีค่าลดลงตามระยะเวลาของการแช่เม็ดอาหารในน้ำที่นานขึ้น และประสิทธิภาพความคงทนของเม็ดอาหารทุกสูตรอาหารที่ทำการทดลอง จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับของการเพิ่มสาหร่ายขนนกที่ผสมในสูตรอาหาร ความคงทนของเม็ดอาหารสูตรอาหารที่ 6 มีประสิทธิภาพต่อความคงทนในน้ำดีที่สุด รองลงมาคือสูตรที่ 4, 5, 1, 3 และ 2 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 69.13±0.63, 68.93±1.30, 66.20±0.74, 65.49±1.14 และ 62.80±3.92 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติพบว่าประสิทธิภาพความคงทนของอาหารทุกการทดลองมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (ตารางที่ 6 และภาพที่ 2)

ลักษณะทางเนื้อเยื่อวิทยา

จากผลการศึกษาลักษณะของเนื้อเยื่อตามแนวยาวตับของปลาทับทิม ที่ได้รับอาหารเม็ดทดลองผสมสาหร่ายขนนกที่ระดับต่าง ๆ ทั้ง 6 สูตร เป็นระยะเวลา 6 เดือน พบว่า ตรวจไม่พบความผิดปกติของพยาธิสภาพในเซลล์ตับปลาทับทิมทุก ๆ ระดับของการใช้สาหร่ายขนนกทดแทนแป้งสาลีในอาหาร (สูตรอาหารที่ 1-6) โดยพบเซลล์ตับ (hepatocyte) เรียงตัวเป็นระเบียบ มีโครงสร้างปกติ และมีการสะสมอาหารปกติ และพบว่า มีช่องว่าง (V = hydropic vacuoles) ในเนื้อเยื่อตับ ทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ (ศรชี้) กระจายอยู่ภายในเนื้อเยื่อของตับปลาทับทิม แสดงว่ามีการสะสมเม็ดไขมัน (lipid droplets) ในตับเป็นปกติ (ภาพผนวกที่ 9-14)

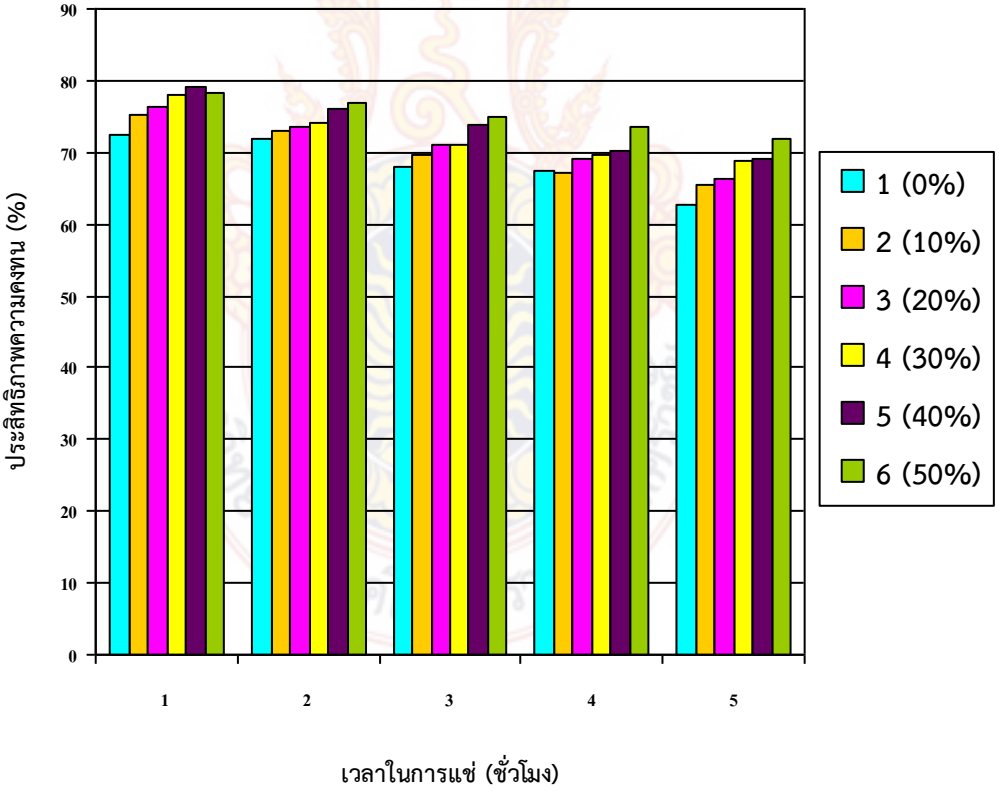
องค์ประกอบเลือดของปลาทดลอง

จากการวิเคราะห์ค่าองค์ประกอบเลือดของปลาทดลอง คือ องค์ประกอบของเม็ดเลือดได้แก่ ฮีโมโกลบิน ฮีมาโตคริต ปริมาณเม็ดเลือดแดง เม็ดเลือดขาว และองค์ประกอบทางเคมีของเลือด ได้แก่ พลาสมาโปรตีน ของปลาทับทิมที่เลี้ยงด้วยสูตรอาหารทดลองผสมสาหร่ายขนนกที่ระดับต่าง ๆ ทั้ง 6 สูตร เป็นระยะเวลา 6 เดือน พบว่า ค่าฮีโมโกลบิน ฮีมาโตคริต ปริมาณเม็ดเลือดแดง เม็ดเลือดขาว และพลาสมาโปรตีน ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างชุดการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าฮีโมโกลบิน ระหว่าง 5.08±0.66 - 6.58±0.87 กรัมต่อเดซิลิตร ค่าฮีมาโตคริตอยู่ในช่วง 20.33±1.53 - 26.33±1.53 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณเม็ดเลือดแดงอยู่ในช่วง 1.43±0.29 - 1.91±0.10 $\times 10^6$ เซลล์ต่อไมโครลิตร ปริมาณเม็ดเลือดขาวอยู่ในช่วง 9.00±2.18 - 13.00±4.33 $\times 10^3$ เซลล์ต่อไมโครลิตร และค่าพลาสมาโปรตีนอยู่ในช่วง 6.57±3.29 - 8.33±0.96 กรัมเปอร์เซ็นต์ ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 6 ประสิทธิภาพความคงทนของอาหารในน้ำของอาหารทดลอง ที่มีการใช้สาหร่ายทดแทนแป้งสาลีในสูตรอาหารระดับต่าง ๆ กัน

สูตรอาหาร	ประสิทธิภาพความคงทนของอาหารในน้ำที่เวลาต่าง ๆ (เปอร์เซ็นต์)				
	1 ชม.	2 ชม.	3 ชม.	4 ชม.	5 ชม.
1 (0 %)	72.55 ± 5.89^{b}	71.83 ± 0.57^{d}	68.05 ± 2.89^{c}	67.37 ± 1.40^{b}	62.80 ± 3.92^{d}
2 (10 %)	75.20 ± 1.14^{bc}	73.07 ± 0.75^{cd}	69.67 ± 1.68^{c}	67.17 ± 5.03^{b}	65.49 ± 1.14^{cd}
3 (20 %)	76.46 ± 1.85^{b}	73.69 ± 1.81^{cd}	70.99 ± 0.54^{bc}	69.19 ± 1.16^{c}	66.20 ± 0.74^{cd}
4 (30 %)	77.95 ± 7.78^{a}	74.24 ± 1.99^{b}	70.99 ± 0.23^{bc}	69.62 ± 1.45^{ab}	68.93 ± 1.30^{ab}
5 (40 %)	79.07 ± 5.91^{b}	76.01 ± 1.53^{ab}	73.81 ± 1.46^{b}	70.29 ± 0.70^{c}	69.13 ± 0.63^{ab}
6 (50 %)	78.28 ± 0.71^{a}	76.84 ± 1.80^{ab}	75.00 ± 1.34^{b}	73.46 ± 0.56^{ab}	72.01 ± 1.38^{a}

หมายเหตุ : ในวงเล็บ คือระดับของการใช้สาหร่าย *Caulerpa racemosa* ผสมในอาหารทดแทนแป้งสาลี (เปอร์เซ็นต์) ในสูตรอาหาร



ภาพที่ 2 ประสิทธิภาพความคงทนของเม็ดอาหารที่ใช้เลี้ยงปลาทับทิมที่ระยะเวลา 1 – 5 ชั่วโมง

ตารางที่ 7 ค่าองค์ประกอบเลือดของปลาทับทิม ที่ได้รับอาหารที่มีการใช้สาหร่ายทดแทนแป้งสาลีระดับต่าง ๆ กัน ในสูตรอาหารเป็นเวลา 6 เดือน

สูตรอาหาร	Hemoglobin (g/dl)	Hematocrit (%)	RBC ($\times 10^6$ cell/µl)	WBC ($\times 10^3$ cell/µl)	Plasma protein (g%)
1 (0 %)	5.08±0.66[a]	20.33±1.53[a]	1.43±0.29[a]	12.83±6.11[a]	6.57±3.29[a]
2 (10 %)	5.50±0.61[a]	22.00±1.65[a]	1.68±0.47[a]	13.00±4.33[a]	7.04±2.72[a]
3 (20 %)	5.92±0.38[a]	23.67±1.16[a]	1.71±0.84[a]	10.50±2.29[a]	7.71±1.32[a]
4 (30 %)	6.58±0.87[a]	26.33±1.53[a]	1.91±0.10[a]	11.67±1.61[a]	8.33±0.96[a]
5 (40 %)	6.25±0.63[a]	25.00±2.36[a]	1.56±0.48[a]	9.00±2.18[a]	7.59±0.84[a]
6 (50 %)	5.83±0.63[a]	23.33±1.51[a]	1.79±0.20[a]	10.67±1.53[a]	8.14±1.57[a]

หมายเหตุ : - ในวงเล็บ คือระดับของการใช้สาหร่ายทดแทนแป้งสาลีในสูตรอาหาร
- เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยในแนวตั้งโดยใช้ตัวอักษร ถ้าตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (p>0.05)

องค์ประกอบทางเคมีของปลาทดลอง

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อปลาทับทิมที่ได้รับอาหารทดลองผสมสาหร่ายขนนกที่ระดับต่าง ๆ ทั้ง 6 สูตร เป็นระยะเวลา 6 เดือน แสดงในตารางที่ 8 พบว่า ความชื้น และเถ้าของปลาทับทิมทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (p>0.05) ในทุกระดับของการใช้สาหร่ายขนนกทดแทนแป้งสาลีในสูตรอาหาร (สูตรที่ 1-6) โดยค่าความชื้นมีค่าอยู่ในช่วง 76.46±0.65 - 78.83±2.78 เปอร์เซ็นต์ และ ค่าของปริมาณเถ้ามีค่าอยู่ในช่วง 1.22±0.21 - 1.68±0.61 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ระดับโปรตีนในเนื้อปลาทับทิมที่ได้รับอาหารทั้ง 6 สูตร พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติ (p<0.05) โดยอาหารสูตรที่ 4 (30 เปอร์เซ็นต์) มีระดับโปรตีนในเนื้อสูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 21.05±0.42 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือปลาทับทิมสูตรที่ 3, 2, 5, 6 และ 1 ตามลำดับ โดยมีระดับโปรตีนในเนื้อเท่ากับ 20.67±1.93, 20.12±0.63, 19.52±0.38, 19.32±0.38 และ 17.44±0.96 เปอร์เซ็นต์ สำหรับไขมัน พบว่า ระดับไขมันในเนื้อปลาในทุกระดับของการใช้สาหร่ายขนนกทดแทนแป้งสาลีในสูตรอาหาร มีค่าแตกต่างกันทางสถิติ (p<0.05) โดยสูตรอาหารที่ 5 (40 เปอร์เซ็นต์) มีระดับไขมันสูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 0.76±0.19 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาได้แก่ปลาทับทิมในสูตรอาหารที่ 3, 6, 2, 4 และ 1 ตามลำดับ ซึ่งมีระดับไขมันในเนื้ออยู่ในช่วง 0.26±0.04 - 0.74±0.11 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 8)

ตารางที่ 8 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อปลาทับทิม ที่ได้รับอาหารที่มีการใช้สาหร่ายทดแทนแป้งสาลีระดับต่าง ๆ กัน ในสูตรอาหารเป็นเวลา 6 เดือน

สูตรอาหาร	องค์ประกอบทางเคมี (% น้ำหนักสด)			
	ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า
1 (0 %)	78.83±2.78[a]	17.44±0.96[b]	0.26±0.04[b]	1.42±0.01[a]
2 (10 %)	76.44±0.34[a]	20.12±0.63[a]	0.57±0.22[a]	1.36±0.25[a]
3 (20 %)	76.46±0.65[a]	20.67±1.93[a]	0.74±0.11[a]	1.27±0.06[a]
4 (30 %)	78.03±0.37[a]	21.05±0.42[a]	0.28±0.05[b]	1.72±0.07[a]
5 (40 %)	77.71±0.16[a]	19.52±0.38[ab]	0.76±0.19[a]	1.68±0.61[a]
6 (50 %)	77.37±0.51[a]	19.32±0.38[ab]	0.69±0.16[a]	1.22±0.21[a]

หมายเหตุ : - ในวงเล็บ คือระดับของการใช้สาหร่ายทดแทนแป้งสาลีในสูตรอาหาร
- เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยในแนวตั้งโดยใช้ตัวอักษร ถ้าตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (p>0.05)

ระดับสีที่ผิวลำตัว และสีเนื้อปลา

ผลการวิเคราะห์ค่าสีที่ผิวลำตัว และสีที่เนื้อของปลาทับทิมที่ได้รับอาหารทดลองผสมสาหร่ายขนนกที่ระดับต่าง ๆ ทั้ง 6 สูตร เป็นระยะเวลา 6 เดือน โดยค่าสีที่ผิวลำตัว ซึ่งใช้การวัดด้วยสายตาเปรียบเทียบกับแถบสีที่ทำขึ้นจากเครื่องพิมพ์ Cannon (Cannon Printer Inkjet รุ่น MP 287) พร้อมทั้งถ่ายรูปในทุกชุดการทดลองเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของสีลำตัว ซึ่งแทนค่าความเข้มของสีเป็นตัวเลขจากน้อยไปหามากตามระดับของความเข้มสีที่เพิ่มขึ้น (1–16) พบว่า ความเข้มของสีผิวปลาทับทิมที่ทดลองในแต่ละสูตรอาหารมีความแตกต่างกันทางสถิติ (p<0.05) ระดับความเข้มของสีผิวปลาทับทิมที่ทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณของการผสมสาหร่าย ซึ่งสามารถจัดแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีสีเข้ม ได้แก่ปลาทับทิมในสูตรที่ 4, 5 และ 6 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าระดับสีอยู่ระหว่าง 5.89±1.30 - 6.33±1.64 และกลุ่มที่มีสีอ่อน ได้แก่ปลาทับทิมในสูตรที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าระดับสีอยู่ระหว่าง 3.75±1.63 - 4.42±1.52 โดยทั้ง 2 กลุ่มมีระดับสีที่แตกต่างกันทางสถิติ (p<0.05) (แสดงในตารางที่ 9 และ ภาพผนวกที่ 15-20)

ส่วนค่าสีที่เนื้อปลาทับทิมจะใช้เครื่องมือในการวัดค่าสีมาตรฐานทางวิทยาศาสตร์ (Hunter lab Colorimeter) รุ่น Ultra scan Vis, Hunter Assoc, Lab, Inc., USA ตั้งหมวดการวัดค่าสีเป็นระบบ CIE LAB; $L^*a^*b^*$ พบว่า ค่า L^* ของปลาทับทิมที่เลี้ยงด้วยอาหารทั้ง 6 สูตร นาน 6 เดือน แสดงไว้ในตารางที่ 9 มีค่าอยู่ในช่วง 46.16±0.15 ถึง 53.07±0.11 โดยปลาทับทิมที่ได้รับอาหารสูตรที่ 6 (50 เปอร์เซ็นต์) มีค่ามากกว่าในปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ผสมสาหร่ายในชุดการทดลองอื่น ๆ มีค่าเท่ากับ 53.07±0.11 แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p< 0.05)

ค่า a^* พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 3.60±0.12 ถึง 4.84±0.21 โดยปลาทับทิมที่ได้รับอาหารสูตรที่ 4 (30 เปอร์เซ็นต์) มีค่ามากกว่าในปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ผสมสาหร่ายในชุดการทดลองอื่น ๆ มีค่าเท่ากับ 4.84±0.21 แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p< 0.05) (ตารางที่ 9)

ส่วนค่า *b** ในเนื้อปลาทับทิม มีค่าอยู่ในช่วง 16.69±0.33 ถึง 15.83±0.29 โดยปลาทับทิมที่ได้รับอาหารสูตรที่ 4 (30 เปอร์เซ็นต์) มีค่ามากกว่าในปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ผสมสาหร่ายในชุดการทดลองอื่น ๆ มีค่าเท่ากับ 16.69±0.33 แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (ตารางที่ 9)

ตารางที่ 9 ระดับสีที่ผิวลำตัว และสีเนื้อปลาทับทิมที่ได้รับอาหารที่มีการใช้สาหร่ายทดแทนแป้งสาลีระดับต่าง ๆ กัน ในสูตรอาหารเป็นเวลา 6 เดือน

ชุดการทดลอง	ระดับค่าสี			
	ระดับสีที่ผิวลำตัว	*L**	*a**	*b**
1 (0 %)	3.75±1.63^{a}	46.16±0.15^{e}	4.54±0.12^{b}	15.83±0.29^{cd}
2 (10 %)	4.14±1.29^{a}	50.82±0.54^{c}	4.39±0.18^{b}	16.43±0.21^{ab}
3 (20 %)	4.42±1.52^{a}	47.86±0.26^{d}	4.34±0.11^{b}	15.48±0.10^{d}
4 (30 %)	5.89±1.03^{b}	51.70±0.16^{b}	4.84±0.21^{a}	16.24±0.40^{abc}
5 (40 %)	6.11±1.58^{b}	52.92±0.57^{a}	3.99±0.06^{c}	16.69±0.33^{a}
6 (50 %)	6.33±1.64^{a}	53.07±0.11^{a}	3.60±0.12^{d}	16.09±0.14^{bc}

หมายเหตุ : - ในวงเล็บ คือระดับของการใช้สาหร่ายทดแทนแป้งสาลีในสูตรอาหาร
- เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยในแนวตั้งโดยใช้ตัวอักษร ถ้าตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p>0.05$)

คุณภาพน้ำ

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเฉลี่ยตลอดการทดลองเลี้ยงปลาทับทิม ด้วยอาหารที่มีการใช้น้ำนึ่งปลาทดแทนโปรตีนจากปลาป่นในสูตรอาหารระดับต่าง ๆ เป็นเวลา 6 เดือน พบว่า อุณหภูมิมีค่าอยู่ระหว่าง 27.50 - 29.00 ($^{\circ}$C) ความเป็นกรดเป็นด่าง 7.90 - 8.25 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ 6.00 - 7.35 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเป็นด่าง 89.60 - 108.40 มิลลิกรัมต่อลิตร แอมโมเนียรวม 0.25 - 0.76 มิลลิกรัมต่อลิตร และไนไตรท์ 0.20 - 0.71 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงที่ปลาทับทิมสามารถดำรงชีวิตได้อย่างปกติ (ตารางที่ 10)

ตารางที่ 10 คุณภาพน้ำเฉลี่ยตลอดการทดลองเลี้ยงปลาทับทิม ด้วยอาหารที่มีการใช้สาหร่ายทดแทนแป้งสาลีระดับต่าง ๆ กัน ในสูตรอาหาร เป็นเวลา 6 เดือน

สูตรอาหาร	อุณหภูมิ ($^{\circ}$C)	ความเป็นกรดเป็นด่าง	ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (mg/l)	ความเป็นด่าง (mg/l)	แอมโมเนีย (mg/l)	ไนไตรท์ (mg/l)
1 (0 %)	27.60-29.00	8.13-8.27	6.56-7.20	89.60-103.78	0.30-0.57	0.20-0.57
2 (10 %)	29.03- 29.50	8.15-8.26	6.96-7.30	90.56-108.40	0.32-0.62	0.37-0.69
3 (20 %)	28.64-29.70	8.06-8.28	6.25-7.15	90.78-105.73	0.25-0.50	0.35-0.50
4 (30 %)	28.36-29.75	7.90-8.25	6.33-7.20	92.17-102.00	0.36-0.76	0.43-0.69
5 (40 %)	29.04-29.83	7.98-8.29	6.10-7.40	90.60-105.39	0.31-0.72	0.24-0.65
6 (50 %)	28.85-29.20	8.04-8.16	6.40-7.10	92.86-105.34	0.43-0.67	0.30-0.71

หมายเหตุ : - ในวงเล็บ คือระดับของการใช้สาหร่ายทดแทนแป้งสาลีในสูตรอาหาร

วิจารณ์ผลการทดลอง

การทดลองนำสาหร่ายขนนก (*Caulerpa racemosa*) มาประยุกต์ใช้ในการผลิตอาหารสำหรับการเลี้ยงปลาทับทิม ซึ่งเป็นปลาน้ำจืดเศรษฐกิจที่สำคัญ โดยนำมาผสมในอาหารเม็ดสำเร็จรูปทดแทนคาร์โบไฮเดรต และเป็นสารเหนียว ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้จะเน้นในเรื่องของการใช้สาหร่ายขนนกทดแทนแป้งสาลีในสูตรอาหารที่ระดับ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับวัตถุดิบชนิดอื่น ๆ จากผลการทดลองครั้งนี้ พบว่า เมื่อพิจารณาค่าการเจริญเติบโต จะเห็นได้ว่า ปลาทับทิมที่ได้รับอาหารที่มีการใช้สาหร่ายขนนกทดแทนแป้งสาลีในสูตรอาหาร ที่ระดับ 30 เปอร์เซ็นต์ ให้การเจริญเติบโตสูงที่สุดสูงกว่าปลาทับทิมที่ได้รับอาหารสูตรควบคุม (0 เปอร์เซ็นต์) โดยสามารถพิจารณาได้น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และประสิทธิภาพการใช้โปรตีน ซึ่งมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) และมีการเจริญเติบโตสูงกว่าชุดการทดลองที่มีการใช้สาหร่ายขนนกทดแทนแป้งสาลีในสูตรอาหารที่ระดับ 40, 50, 20, 10 และ 0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (p<0.05) แสดงให้เห็นว่าระดับของการใช้สาหร่ายขนนกในอาหารมีผลต่อการเจริญเติบโตของปลาทับทิม โดยจะส่งผลให้มีการเจริญเติบโตเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าชุดควบคุมเมื่อเพิ่มปริมาณสาหร่ายขนนกทดแทนแป้งสาลีในอาหารจนถึงระดับ 30% แต่ถ้ามากกว่า 30% การเจริญเติบโตของปลาจะเริ่มลดต่ำลง ซึ่งจากการทดลองครั้งนี้สรุปได้ว่า สามารถทดแทนแป้งสาลีด้วยสาหร่ายขนนกได้สูงสุดไม่ควรเกิน 30% ในอาหารที่จะช่วยเสริมการเจริญเติบโตของปลาทับทิม ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับการศึกษาของ Hiskia *et. al*. (2011) ในปลา yellow croaker และ อานูวี (2555) ในปลานิลแดง รายงานว่า การใช้สาหร่ายผสมในอาหารเลี้ยงปลาทำให้ปลามีการเจริญเติบโตเพิ่มสูงขึ้น โดยการทดลองใช้สาหร่ายไส้ไก่ป่นแทนที่ปลาป่นในสูตรอาหาร ตั้งแต่ระดับ 0, 15, 30, 45, 60, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจากผลการทดลองดังกล่าวนี้สามารทดแทนปลาป่นด้วยสาหร่ายไส้ไก่ป่นได้สูงสุดไม่ควรเกิน 60 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณสาหร่ายที่สามารถเสริมลงไป เพราะเห็นได้ชัดเจนว่าเมื่อเสริมลงไปในอาหารตั้งแต่ 75 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นไปแนวโน้มการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารเริ่มลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการใช้วัตถุดิบพืชในปริมาณที่เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ขาดสารอาหารบางชนิดที่มีปริมาณน้อยในพืช เช่น เมทไธโอนีน ทำให้สัตว์น้ำสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้น้อย (NRC, 1993)

ประสิทธิภาพความคงทนของเม็ดอาหารในน้ำทั้ง 6 สูตรอาหารจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับของการเพิ่มสาหร่ายขนนกที่ผสมในสูตรอาหาร แต่มีค่าลดลงตามระยะเวลาของการแช่เม็ดอาหารในน้ำที่นานขึ้น สอดคล้องกับรายงานของ ปริศนา และคณะ (2545) ที่ทำการทดสอบความคงทนของเม็ดอาหารกุ้งในน้ำโดยใช้ polymethylocabamide เป็นสารยึดเกาะเม็ดอาหาร รายงานว่า ความคงทนของเม็ดอาหารมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับของการเพิ่มปริมาณสารยึดเกาะ ความคงทนของเม็ดอาหารมีค่าดีกว่าอาหารที่ไม่เติมสารยึดเกาะ และเมื่อเวลานานขึ้น ความคงทนของเม็ดอาหาร ก็จะลดลงตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ดังนั้น เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพความคงทนของเม็ดอาหารที่ใช้สาหร่ายขนนกจากทุกสูตรอาหารที่ทำการทดลอง แสดงให้เห็นว่าสามารถนำสาหร่ายขนนก (*Caulerpa racemosa*) มาประยุกต์ใช้เป็นสารเหนียวหรือสารประสานอาหาร (Binder) ในการผลิตอาหารสัตว์น้ำได้หลายชนิด (Capinpin and Corre, 1996; Hashim and Mat Saat, 1992; Penaflorida and Goles, 1996, Valente *et al*., 2006) นอกจากนี้ความคงทนของอาหารที่ทดลองแต่ละสูตรไม่ส่งผลต่ออัตราการกินอาหาร และอัตรารอดตายของปลา ซึ่งสังเกตได้จาก ปริมาณการกินอาหารและอัตราการรอดตายของปลาทดลอง

สำหรับลักษณะของเนื้อเยื่อตับของปลาทับทิมที่ได้รับอาหารทดลองที่มีการใช้สาหร่ายขนนกเป็นส่วนผสมในอาหารระดับต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 6 เดือน พบว่า เซลล์ตับเรียงตัวเป็นระเบียบ มีโครงสร้างปกติ

และมีการสะสมอาหารปกติ แสดงให้เห็นว่าระดับต่าง ๆ ของการใช้สาหร่ายขนนกผสมในอาหารจากการทดลองในครั้งนี้ (0–50 เปอร์เซ็นต์) ไม่ส่งผลให้เกิดความผิดปกติในพยาธิสภาพของเนื้อเยื่อตับของปลาทับทิม ซึ่งใช้ยืนยันผลได้ว่าสามารถใช้สาหร่ายขนนกผสมในอาหารทดแทนแป้งสาลีได้สูงถึง 50 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหารปลาทับทิม โดยไม่มีผลกระทบต่อการทำงานของระบบตับ

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเลือดของปลาทับทิม ได้แก่ ค่าฮีมาโตคริต ฮีโมโกลบิน พลาสมาโปรตีน ปริมาณเม็ดเลือดแดง และเม็ดเลือดขาวของปลาทับทิมที่เลี้ยงด้วยอาหารที่ใช้สาหร่ายขนนกทดแทนแป้งสาลีในสูตรอาหาร (สูตรที่ 1-6) เป็นเวลา 6 เดือน พบว่า ปลาทับทิมที่เลี้ยงด้วยอาหารทดลองทั้ง 6 สูตร มีค่าองค์ประกอบของเลือด ได้แก่ ค่าฮีมาโตคริต ฮีโมโกลบิน ปริมาณพลาสมาโปรตีน จำนวนเม็ดเลือดแดง และเม็ดเลือดขาว ไม่มีความแตกต่างกัน (p>0.05) ดังนั้น การใช้สาหร่ายขนนกทุกระดับ (0–50 เปอร์เซ็นต์) ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบเลือดในตัวปลา และเมื่อพิจารณาค่าองค์ประกอบเลือดของปลาที่ทดลอง พบว่า ค่าที่ได้มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของปลาปกติ (Wedemeyer and Yasutake, 1977)

ส่วนคุณค่าทางโภชนาการของเนื้อปลาทับทิม (บนฐานของน้ำหนักเปียก) ที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 6 สูตร โดยเฉพาะ ค่าความชื้น และปริมาณเถ้า ในทุกระดับของการใช้สาหร่ายขนนกทดแทนแป้งสาลีในสูตรอาหาร ไม่มีความแตกต่างกัน แสดงว่า ทุกระดับของการทดแทนคาร์โบไฮเดรตด้วยสาหร่ายขนนกไม่ได้ส่งผลต่อค่าความชื้น และปริมาณเถ้า ในเนื้อปลา แต่ส่งผลให้ปริมาณ โปรตีน และไขมันในเนื้อน้อยกว่าปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรควบคุมที่ไม่ได้ใช้สาหร่ายขนนกทดแทนคาร์โบไฮเดรต และเป็นไปในทิศทางเดียวกับการศึกษาของ Hiskia *et. al*. (2011) ในปลา yellow croaker และ อานูวี (2555) ในปลานิลแดง พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่มีการทดแทนด้วยสาหร่ายในระดับที่เพิ่มขึ้น มีแนวโน้มทำให้ปริมาณโปรตีน และไขมันในตัวปลาลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการใช้วัตถุดิบพืชในปริมาณที่เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ขาดสารอาหารบางชนิดที่มีปริมาณน้อยในพืช เช่น เมทไธโอนีน ทำให้สัตว์น้ำสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการสร้างโปรตีนได้น้อย (NRC, 1993) นอกจากนี้ Guillaume and Choubert (2001) ได้อธิบายว่า ไซโฟนิน ที่พบในสาหร่ายจะไปรบกวนและขัดขวางการดูดซึมของไขมันในอาหารและขัดขวางการแตกตัวของไขมันในถุงน้ำดีอีกด้วย ส่งผลทำให้ปลาไม่สามารถใช้ไขมันจากอาหารได้เต็มที่ ด้วยเหตุนี้ทำให้พบว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีการทดแทนสาหร่ายในระดับที่เพิ่มขึ้นทำให้การสะสมไขมันในตัวลดลง และจากผลการทดลองครั้งนี้ กล่าวได้ว่า สามารถใช้สาหร่ายขนนกป่นทดแทนแป้งสาลีในอาหารเม็ดสำเร็จรูป สำหรับเลี้ยงปลาทับทิมได้ถึง 40% ทำให้การเจริญเติบโต และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อดีที่สุด

ระดับความเข้มของสีผิวปลาทับทิมที่ทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณของการผสมสาหร่ายในทุก ๆ สูตรอาหารทดลอง และปลาจากทุกสูตรอาหารที่มีการใช้สาหร่ายขนนก (ที่ระดับ 10-50 เปอร์เซ็นต์) ผสมในอาหารให้ค่าสีของ *L*a*b** สูงกว่าปลาทับทิมที่ไม่ได้ใช้สาหร่ายขนนกผสมในอาหารในอาหาร ทั้งนี้เนื่องจากสาหร่ายขนนกมีสารสีที่เป็นรงควัตถุจำพวกคาโรทีนอยด์ (carotenoid) โดยเฉพาะสาหร่ายทะเลสีเขียวสกุล *Caulerpa* มีรงควัตถุคาโรทีนอยด์ เช่นเดียวกับในพืชชั้นสูงทั่วไป สอดคล้องกับรายงานของ Lewmanomont and Ogawa (1995) จึงส่งผลให้ปลาที่ได้รับอาหารผสมสาหร่ายขนนกดังกล่าวมีระดับของสีเข้มขึ้นมากกว่าปลาที่ไม่ได้รับสารสีจากสาหร่าย สอดคล้องกับรายงานของธัชศึก และคณะ (2554) รายงานผลการใช้สาหร่ายบางชนิดเร่งสีในสัตว์น้ำ และปรับปรุงสีของปลาสวยงาม พบว่า สาหร่ายไก *Spirulina platensis* กับสาหร่าย *Cladophora* sp. สามารถช่วยในการกระตุ้นการสร้างภูมิคุ้มกัน และปรับปรุงสีทำให้สีบนตัวปลาทองมีสีแดง และสีเหลืองเพิ่มสูงขึ้น

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเฉลี่ยตลอดการทดลองเลี้ยงปลาทับทิม ด้วยอาหารที่มีการใช้น้ำนึ่งปลาทดแทนโปรตีนจากปลาป่นในสูตรอาหารระดับต่าง ๆ เป็นเวลา 6 เดือน พบว่า อุณหภูมิมีค่าอยู่ระหว่าง

27.50-29.00 ($^{\circ}$C) ความเป็นกรดเป็นด่าง 7.90-8.25 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ 6.00-7.35 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเป็นด่าง 89.60-08.40 มิลลิกรัมต่อลิตร แอมโมเนียรวม 0.25-0.76 มิลลิกรัมต่อลิตร และไนไตรท์ 0.20-0.71 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นค่าอยู่ในช่วงที่ปลาทับทิมสามารถดำรงชีวิตได้อย่างปกติ และมีค่าที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงปลาในบ่อ (กองเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง และกองส่งเสริมการประมง, 2550)

สรุป

การประยุกต์ใช้สาหร่ายทะเลขนาดใหญ่ (*Caulerpa racemosa*) เป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตและสารเหนียวในอาหารปลาทับทิม โดยการใช้สาหร่ายขนนกผสมในอาหารระดับต่าง ๆ กัน นำไปเลี้ยงปลาทับทิมเป็นระยะเวลา 6 เดือน สรุปได้ว่า

1. การใช้สาหร่ายขนนกทดแทนแป้งสาลีในสูตรอาหารที่ระดับ 30 เปอร์เซ็นต์ เลี้ยงปลาทับทิม ที่มีน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 22.24$\pm$1.47 กรัม ส่งผลให้ปลามีการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อดีที่สุดเมื่อเทียบกับสูตรควบคุม (0 เปอร์เซ็นต์) และที่ระดับ 40, 50, 20 และ 10 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่ส่งผลต่ออัตราการรอดตาย

2. ประสิทธิภาพความคงทนของเม็ดอาหารที่มีการใช้สาหร่ายขนนกเป็นส่วนผสมในอาหารจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับของการเพิ่มสาหร่ายขนนกที่ผสมในสูตรอาหาร

3. การใช้สาหร่ายขนนกทดแทนแป้งสาลีในสูตรอาหารสำหรับการเลี้ยงปลาทับทิม ที่ทุกระดับของการทดแทนไม่ส่งผลให้เกิดความผิดปกติของเนื้อเยื่อตับ และองค์ประกอบเลือดของปลา แต่ส่งผลให้ระดับความเข้มของสีผิว และสีเนื้อของปลาทับทิมมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณของการทดแทนในทุก ๆ สูตรอาหารทดลอง

4. การใช้สาหร่ายขนนกทดแทนแป้งสาลีในสูตรอาหารสำหรับการเลี้ยงปลาทับทิม ที่ระดับ 10– 50 เปอร์เซ็นต์ ไม่ได้ส่งผลต่อค่าความชื้น และปริมาณเถ้า ในเนื้อปลา แต่ส่งผลให้ปริมาณ โปรตีน และไขมันในเนื้อน้อยกว่าปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรควบคุมที่ไม่ได้ใช้สาหร่ายขนนก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

เอกสารอ้างอิง

กองเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง และกองส่งเสริมการประมง. 2550. การเลี้ยงกุ้งก้ามกราม. โครงการพัฒนาพื้นที่ลุ่มน้ำปากพนัง อันเนื่องมาจากพระราชดำริ, กรมประมง. 16 น.

กิจการ ศุภมาตย์ และสิทธิ บุญยรัตผลิน. 2538. การศึกษาภูมิคุ้มกันโรคและแนวทางการใช้วัคซีนป้องกันโรคติดเชื้อแบคทีเรียและไวรัสในกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*). รายงานการวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ หน้า 1-17.

ขจรเกียรติ แซ่ตัน, ไพโรจน์ สมสอน, ทนงศักดิ์ สุปัน, บัญญัติ มนเทียรอาสน์ และจงกล พรหมยะ. 2550. การใช้ประโยชน์จากสาหร่ายยูกลีนา (*Euglena sanguine* Ehrenberg) ในการเพิ่มสีปลานิลแดง (*Oreochromis* sp.). การประชุมวิชาการสาหร่ายและแพลงก์ตอนแห่งชาติ. ครั้งที่ 3. คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ. 151 น.

จักรพงษ์ ศรีพนมยอม. 2550. การอนุบาลลูกปลาดุกบิ๊กอุย (*Clarias macrocephalus* x *Clarias gariepinus*) ด้วยอาหารสำเร็จรูปที่เสริมด้วยสาหร่ายสไปรูลิน่า *Spirulina platensis* สด. การประชุมวิชาการสาหร่ายและแพลงก์ตอนแห่งชาติ. ครั้งที่ 3. คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ. 151 น.

จงกล พรหมยะ, ขจรเกียรติ ศรีนวลสม และศิริเพ็ญ ตรัยไชยาพร. 2554. ผลของสาหร่ายสไปรูลิน่าต่อการเติบโต ดัชนีการเจริญพันธุ์ สารสีแคโรทีนอยด์ และการกระตุ้นการสร้างภูมิคุ้มกันในการเลี้ยงปลาแฟนซีคาร์ฟ. การประชุมวิชาการสาหร่ายและแพลงก์ตอนแห่งชาติ. ครั้งที่ 5. คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา. 157 น.

ชาญยุทธ สุดทองคง. 2551. การเพาะเลี้ยงสาหร่ายพวงองุ่น (*Caulerpa racemosa* var *corynephora*) เชิงพาณิชย์ในจังหวัดตรัง. รายงานการวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง, ตรัง.

เทพรัตน์ อึ้งเศรษฐพันธ์, ยุวดี พีรพรพิศาล และ นิวุฒิ หวังชัย. 2554. ผลของการเสริม *Spirulina platensis* ในอัตราที่ต่างกันต่อการเจริญเติบโตและโครงสร้างกรดไขมันของปลานิลแดง (*Oreochromis mossambicus x O. niloticus*). การประชุมวิชาการสาหร่ายและแพลงก์ตอนแห่งชาติ. ครั้งที่ 5. คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา. 157 น.

ธัชศึก พร้อมคุ้ม, จงกล พรหมยะ, เกลียงศักดิ์ เม่งอำพัน, นิวุฒิ และชนกันต์ จิตมนัส. 2554. ผลของสาหร่ายสไปรูลิน่า สาหร่ายไกต่อ การกระตุ้นการสร้างภูมิคุ้มกันและปรับปรุงสีของปลาทอง. การประชุมวิชาการสาหร่ายและแพลงก์ตอนแห่งชาติ. ครั้งที่ 5. คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา. 157 น.

ปริศนา สุวรรณาภรณ์, นที สังข์บุญลือ และธงชัย สุวรรณสิชณน์. 2545. การวัดค่าความคงทนในน้ำของกุ้ง : เปรียบเทียบวิธีของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม และวิธีวิเคราะห์ทางเมื่อสัมผัส, น. 351–358. *ใน*. เอกสารการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ครั้งที่40. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 420 น.

วิมล จันทโรทัย, ประเสริฐ สีตะสิทธิ์, ศิริมล ชุ่มสูงเนิน และสมฤกษ์ ชินมุข. 2535. อาหารที่มีระดับโปรตีนต่างกันแต่พลังงานคงที่ต่อการเจริญเติบโตและไขมันสะสมในปลาสวาย. สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ, กรมประมง. 13 น.

วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย. 2536. อาหารปลา. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

สมรักษ์ รอดเจริญ. 2550. การผลิตชีวมวล การสะสมแป้งและการผลิตกรดอินทรีย์โดยกระบวนการหมักด้วยแอนแอโรบิคแบคทีเรียจากชีวมวลสาหร่ายสีเขียวและไซยาโนแบคทีเรีย. การประชุมวิชาการสาหร่ายและแพลงก์ตอนแห่งชาติ. ครั้งที่ 3. คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ. 151 น.

หับเส๊าะ หมัดเหม, ธัญญา ดวงจินดา และ สุภฎา คีรีรัฐนิคม. 2553. การใช้สาหร่ายผมนาง (*Gracilaria fisheri*) เป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตและสารเหนียวในอาหารกุ้งก้ามกราม (Macrobrachium rosenbergii). วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ. 13 (1) : 31–39.

อานูวี บากา. 2555. ผลของสาหร่ายไส้ไก่ในอาหารต่อการเจริญเติบโต การใช้ประโยชน์จากอาหาร และการตอบสนองต่อภูมคุ้มกันของปลานิลแดง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวาริชศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. หาดใหญ่.

AOAC . 1990. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists, Fifteenth edition, Washington, D.C. 1298 pp.

Bancroft. J.D. 1967. Histochemical techniques. Butterworths, London.

Blaxhall, P.C. and Daisley, K.W. 1973. Routine hematological methods for use with fish blood. J.Fish Biol. 5 : 771-781.

Blyth, P.J. and R.A. Dodd. 2002. An economic assessment of current practice and methods to improve feed management of caged finish in several SE Asia regions. Akvasmart Pty. Ltd. Australia. 18 pp.

Capinpin, Jr. E. and Corre, K.G. 1996. Growth rate of the Philippine abalone, *Haliotis asinine* fed artificial diet and macroalgae. Aquaculture. 144 : 81-89.

Guillaume, J., and Choubert, G. 2001. Digestive physiology and nutrient digestibility in fishes. pp. 27-56. *In*, Guillaume J, Kaushik S, Bergot P, Me' tailler R (Eds): Nutrition and Feeding of Fish and Crustaceans. Springer, London, UK.

Hashim, R. and Mat Saat, N.A. 1992. The utilization of seaweed meals as binding agents in pelleted feeds for snakehead (*Channa striatus*) fry and their effects on growth. Aquaculture. 108 : 299-308.

Hiskia, asino., Qinghui, ai. And Kangsen Mai. 2011. Evaluation of *Enteromorpha prolifera* as a feed component in large yellow croaker (*Pseudosciaena crocra*, Richardson, 1846) diets. Aquaculture Res. 42 : 525-533.

Humason, G.L. 1972. Animal Tissue Technique, 4th ed. San Francisco. CA : W.H. Freeman And Company.

Kongkeo, H. and. Phillips. 2002. Regional overview of marine finish farming, with an emphasis on groupers and regional cooperation. *In* : Report of the Regional Workshop on Sustainable Seafarming and Grouper Aquaculture. 17-20 April 2000. Medan, Indonesia. pp 35-42.

Larsen, H.M. and Snieszko, S.F. 1961. Modification of the microhematocrit technique With trout blood. Trans. Am. Fish. Soc. 90 : 345-356.

Lewmanomont, K. and H. Ogawa. 1995. Common seaweeds and seagrasses of Thailand. Faculty of Fisheries, Kasatsart Universityy. 164 p.

Lowry, O.H., Rosebrough, N.J., Farr, A.L. and Randall, R.J. 1951. Protein measurement with the folin phenol reagent. Biol. Chem. 193 : 350-356.

NRC. 1993. Nutrient requirements of fish. Washington DC: National Academy Press, National Research Coumcil. 114 p.

Penaflorida, V.D and Golez, V.D. 1996. Use of seaweed meals from *Kappaphycus aluarezii* and *Gracilaria heteroclada* as binders in diets for juvenile shrimp *Penaeus monodon*. Aquaculture. 143:393-401.

Valente, L.M.P., Gouveia, A., Rema, P., Matos, J., Gomes, E.F. and Pinto, I.S. 2006. Evaluation of three seaweeds *Gracilaria bursapastoris*, *Ulva rigida* and *Gracilaria cornea* as dietary ingradients in European sea bass (*Dicentrachus labrax*) juveniles. Aquaculture. 252 : 85-91.

Wedemeyer, G. A. and W.T. Yasutake. 1977. Clinical methods for the assessment of the effects of environmental stress on fish health. U. S. Fish WildI. Serv. Tech. Pap. 89 : 1-18.