# รายงานการวิจัย

# เปรียบเทียบสมบัติทางเคมี กายภาพ และสารอาหารของข้าวกล้องและข้าวนึ่งสังข์หยดที่ปลูกต่างพื้นที่

# Comparision the physicochemical properties and nutrients of Sangyod brown rice and parboiled rice in different growing areas


อุไรวรรณ วัฒนกุล Uraiwan Wattanakul

วัฒนา วัฒนกุล Wattana Wattanakul

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง



ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

งบประมาณรายได้ ประจำปี พ.ศ. 2559

# เปรียบเทียบสมบัติทางเคมี กายภาพ และสารอาหารของข้าวกล้อง และข้าวนึ่งสังข์หยดที่ปลูกต่างพื้นที่

**อุไรวรรณ วัฒนกุล[1] วัฒนา วัฒนกุล[1]**

## บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบสมบัติทางเคมี กายภาพ คุณค่าทางโภชนาการ สารประกอบฟินอลิก และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงที่ผลิตต่างพื้นที่ใน 6 จังหวัดภาคใต้ จากการเก็บตัวอย่างในจังหวัด พัทลุง ตรัง กระบี่ สตูล สงขลา และนครศรีธรรมราช ผลการทดลองพบว่า สภาพพื้นที่การปลูกแตกต่างกันส่งผลต่อสมบัติทางเคมี กายภาพ คุณค่าทางโภชนาการ สารประกอบฟินอลิก และ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในข้าวกล้องสังข์หยดแตกต่างตามไปด้วย โดยความชื้นในเมล็ดข้าวกล้องและข้าวนึ่งกล้องมีค่าแตกต่างกัน ($P \leq 0.05$) มีแนวโน้มปริมาณโปรตีนสูงที่สุดในตัวอย่างจาก จ.ตรัง และข้าวนึ่งมีแนวโน้มปริมาณโปรตีนสูงกว่าข้าวกล้อง ปริมาณเถ้ามีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และปริมาณไขมันในข้าวนึ่งมีค่าสูงกว่าในข้าวกล้อง ลักษณะทางกายภาพของเมล็ดข้าวและน้ำหนัก 1,000 เมล็ดของข้าวจาก จ. กระบี่มีค่ามากที่สุด แต่ปริมาณอะไมโลส ซึ่งเป็นสมบัติทางกายภาพที่บ่งชี้ความนุ่มของข้าว พบว่าข้าวจาก จ.พัทลุง และสงขลามีค่าดีที่สุด ความคงตัวของแป้งสุกในข้าวนึ่งต่ำกว่าข้าวกล้อง ปริมาณน้ำตาลรวมอยู่ในช่วงร้อยละ 0.97-3.60 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร การสลายตัวในด่างของข้าวกล้องมีค่าต่ำกว่าข้าวนึ่งกล้อง ข้าวกล้องแสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีกว่าข้าวนึ่งกล้อง รวมถึงข้าวกล้องจะมีสารประกอบฟินอลิกสูงกว่าข้าวนึ่ง ทั้งนี้ สารประกอบฟินอลิก และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของข้าวจากแหล่งผลิตจังหวัดนครศรีธรรมราชมีค่าสูงที่สุด ดังนั้นการทดลองบ่งชี้ว่าความชื้น การนึ่ง และความร้อน ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารสำคัญในข้าว แม้ว่าคุณค่าทางสารอาหารของข้าวที่ผลิตจากจังหวัดพัทลุงไม่ใช่ค่าที่ดีที่สุด แต่คุณภาพทุกด้านโดยรวมมีค่ารองลงมาเป็นลำดับที่สอง

**คำสำคัญ** : สมบัติทางเคมี-กายภาพ สารอาหาร ข้าวนึ่ง ข้าวสังข์หยด

---

[1] คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง

# Comparision the physicochemical properties and nutrients of Sangyod brown rice and parboiled rice in different growing areas

**Uraiwan Wattanakul**[1] **Wattana Wattanakul**[1]

## ABSTRACT

This study aimed to compare the physico-chemical properties, nutritional value, phenolic compound and radical scavenging activity in the Sungyod Phatthalung brown rices produced from different growing areas of six southern provinces. The paddy rices sample was collected in Phatthalung, Trang, Krabi, Satun, Songkhla and Nakorn Si Thammarat provinces. The results showed that the area planted with different properties has vary according to affect the physico-chemical properties, nutritional value, phenolic compound and radical scavenging activity. Moisture content of brown rice and parboiled brown rice were significantly difference ($p \geq 0.05$). Protein content in the samples from Trang province was likely highest. Parboiled brown rice was likely higher protein content than brown rice. Ash content was not significantly difference ($p \leq 0.05$). Lipid content in parboiled brown rice was higher than brown rice. The physical characteristics of grain and weight per 1,000 grains of Krabi shown the most valuable. Therefore, physical properties; amylase content, that indicate softness of rice from Phatthalung and Songkhla have the best. Gel consistency in parboiled brown rice was lower than brown rice. Total sugar was 0.97-3.60 milligrams per milliliter. Alkaline test of brown rice showed value level lower than parboiled brown rice. The brown rice showed radical scavenging activity better than parboiled rice. Included the phenolic compounds in brown rice were higher than parboiled rice. Thus, the both phytochemical in brown rices produced from Nakorn Si Thammarat was highest. The experiments indicate that moisture content, steaming and heating significantly affect the nutrition value and phytochemical of rice. However, nutrients in rice produced from Phatthalung is not the best but the overall quality of rice is the minor second

**Keywords** : Physico-chemical properties, nutrients, parboiled rice, Sangyod rice

---

[1] Faculty of Science and Fisheries Technology, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Trang

# กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง ประจำปีงบประมาณรายได้ 2559 คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง และขอขอบคุณที่อำนวยความสะดวกในการดำเนินการวิจัย ทำให้โครงการวิจัยเรื่องนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ ผู้ร่วมวิจัย ผศ.วัฒนา วัฒนกุล ที่ได้กรุณาร่วมทำการวิจัย ให้คำแนะนำปรึกษา ตลอดจนการแก้ไขปรับปรุง เอกสารโครงการวิจัยจนบรรลุตามวัตถุประสงค์ทุกประการ

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่คอยให้กำลังใจ และช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ ขอขอบคุณน้อง ๆ และ นางสาวอารียา หนูแหลม ที่ได้ช่วยเหลือจนรายงานฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

และท้ายที่สุด ความดีของรายงานฉบับนี้ ขอมอบแด่ อาจารย์ทุกท่านที่ได้คอยประสิทธิ์ประสาทวิชาการให้แก่ข้าพเจ้า

คณะผู้วิจัย

# สารบัญ

**หน้า**


| | |
|---|---|
| สารบัญ | (1) |
| สารบัญตาราง | (2) |
| สารบัญภาพ | (3) |
| คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อที่ใช้ในการวิจัย | (5) |
| บทนำ | 1 |
| วิธีดำเนินการวิจัย | 12 |
| ผลการวิจัย | 14 |
| วิจารณ์ผล | 26 |
| สรุปผลการวิจัย | 34 |
| บรรณานุกรม | 36 |
| ภาคผนวก | 41 |
| ภาคผนวก ก | 42 |
| ภาคผนวก ข | 57 |


มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

# สารบัญตาราง

**ตารางที่** **หน้า**


| | | |
|---|---|---|
| 1 | อัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้าง และน้ำหนักเมล็ดต่อ 1,000 เมล็ดของข้าวกล้องและข้าวนึ่งกล้องสังข์หยดที่ปลูกในจังหวัดทางภาคใต้ | 15 |
| 2 | คุณค่าทางโภชนาการในข้าวกล้องและข้าวนึ่งกล้องสังข์หยดที่ปลูกในจังหวัดทางภาคใต้ | 19 |
| 3 | สมบัติทางกายภาพของข้าวกล้องและข้าวนึ่งกล้องสังข์หยดที่ปลูกในจังหวัดทางภาคใต้ | 21 |
| 4 | สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของข้าวกล้องและข้าวนึ่งกล้องสังข์หยดที่ปลูกในจังหวัดทางภาคใต้ | 25 |

# สารบัญภาพ


| ภาพที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 1 | ความยาวเมล็ดของข้าวกล้องและข้าวนึ่งกล้องสังข์หยดที่ปลูกในจังหวัดทางภาคใต้ | 17 |
| 2 | ความกว้างเมล็ดของข้าวกล้องและข้าวนึ่งกล้องสังข์หยดที่ปลูกในจังหวัดทางภาคใต้ | 17 |
| 3 | ความหนาเมล็ดของข้าวกล้องและข้าวนึ่งกล้องสังข์หยดที่ปลูกในจังหวัดทางภาคใต้ | 18 |
| 4 | ปริมาณอะไมโลสของข้าวกล้องและข้าวนึ่งกล้องสังข์หยดที่ปลูกในจังหวัดทางภาคใต้ | 18 |
| 5 | ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ $IC_{50}$ DPPH ของข้าวกล้องและข้าวนึ่งกล้องสังข์หยดที่ปลูกในจังหวัดทางภาคใต้ | 23 |
| 6 | ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ $IC_{50}$ ABTS ของข้าวกล้องและข้าวนึ่งกล้องสังข์หยดที่ปลูกในจังหวัดทางภาคใต้ | 23 |

| ภาพผนวกที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 1 | ตัวอย่างข้าวเปลือกสังข์หยดที่ปลูกในจังหวัดทางภาคใต้ | 43 |
| 2 | ตัวอย่างข้าวกล้องกะเทาะเปลือกสังข์หยดที่ปลูกในจังหวัดทางภาคใต้ | 44 |
| 3 | ตัวอย่างข้าวนึ่งกล้องสังข์หยดที่ปลูกในจังหวัดทางภาคใต้ | 45 |
| 4 | การเตรียมข้าวกล้องนึ่งของข้าวกล้องสังข์หยดที่ปลูกในจังหวัดทางภาคใต้ | 46 |
| 5 | การวิเคราะห์อัตราส่วนความยาวกว้างของเมล็ดข้าวในข้าวกล้องและข้าวกล้องนึ่งสังข์หยดที่ปลูกในจังหวัดทางภาคใต้ | 47 |
| 6 | การวิเคราะห์ความคงตัวของแป้งสุกในข้าวกล้องและข้าวกล้องนึ่งสังข์หยดที่ปลูกในจังหวัดทางภาคใต้ | 48 |
| 7 | การวิเคราะห์ค่าการสลายตัวในด่างในข้าวกล้องและข้าวกล้องนึ่งสังข์หยดที่ปลูกในจังหวัดทางภาคใต้ | 49 |
| 8 | การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรวมในข้าวกล้องและข้าวกล้องนึ่งสังข์หยดที่ปลูกในจังหวัดทางภาคใต้ | 50 |
| 9 | การวิเคราะห์ปริมาณอะมัยโลสในข้าวกล้องและข้าวกล้องนึ่งสังข์หยดที่ปลูกในจังหวัดทางภาคใต้ | 51 |
| 10 | การวิเคราะห์ปริมาณฟิโนลิกในข้าวกล้องและข้าวกล้องนึ่งสังข์หยดที่ปลูกในจังหวัดทางภาคใต้ | 52 |
| 11 | การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนในข้าวกล้องและข้าวกล้องนึ่งสังข์หยดที่ปลูกในจังหวัดทางภาคใต้ | 53 |
| 12 | การวิเคราะห์ปริมาณไขมันในข้าวกล้องและข้าวกล้องนึ่งสังข์หยดที่ปลูกในจังหวัดทางภาคใต้ | 54 |

**ภาพผนวกที่** **หน้า**

13 การวิเคราะห์เถ้าและความชื้นในข้าวกล้องและข้าวกล้องนึ่งสังข์หยดที่ปลูกในจังหวัดทางภาคใต้ 55

14 การวิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในข้าวกล้องและข้าวกล้องนึ่งสังข์หยดที่ปลูกในจังหวัดทางภาคใต้ 56

# บทนำ

**สภาพพื้นที่ในการปลูกข้าว**

**การจำแนกชนิดของข้าว**

**จำแนกตามสภาพพื้นที่ปลูก**

แบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

**1. ข้าวไร่** (upland rice) หมายถึง ข้าวที่ปลูกในที่ดอนไม่มีน้ำขัง และไม่มีคันนา ปลูกโดยอาศัยน้ำฝนเพียงอย่างเดียว การปลูกเหมือนพืชไร่ทั่วไป มีการปลูกมากทางภาคเหนือ และภาคใต้

**2. ข้าวนาสวน** (lowland rice) เป็นข้าวที่ปลูกในที่ลุ่มมีระดับน้ำลึกไม่เกิน 80 ซม. เป็นข้าวที่ปลูกกันส่วนใหญ่ของประเทศ มีพื้นที่ปลูกมากที่สุดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคกลาง จะให้ผลผลิตต่อไร่สูงกว่าข้าวไร่ และข้าวขึ้นน้ำ

**3. ข้าวขึ้นน้ำ หรือ ข้าวฟางลอย** (floating rice) เป็นข้าวที่ปลูกในพื้นที่ที่มีน้ำท่วมลึกในฤดูน้ำหลาก โดยมีน้ำท่วมลึกเกินกว่า 80 ซม. บางที่น้ำอาจจะลึกถึง 3-4 เมตรก็ได้ พันธุ์ข้าวชนิดนี้จะปรับตัวได้ตามระดับน้ำที่สูงขึ้น เรียกว่าข้าวขึ้นน้ำ พบมากในพื้นที่ราบลุ่มภาคกลาง ส่วนภาคใต้ พบบางแห่ง ผลผลิตเฉลี่ย 200-300 กก./ไร่ เมล็ดข้าวเมื่อนำไปสีมักจะแตกหัก เนื่องจากข้าวสารมีท้องไข่หรือท้องปลาซิวมาก จึงนิยมเอาไปทำข้าวนึ่งเพราะเมื่อนำไปสีแล้วได้ข้าวสารที่มีคุณภาพดี

**จำแนกตามคุณสมบัติของเมล็ดข้าว**

เมล็ดข้าวจะประกอบด้วยแป้ง 2 กลุ่ม คือ อะไมโลเพคติน (amylopectin) ทำให้เมล็ดข้าวมีสีขาวขุ่น เวลาต้มสุกจะเหนียว และอะไมโลส (amylose) ที่ทำให้ข้าวมีสีขาวใส เมื่อต้มสุกจะมีสีขาวขุ่นและร่วน ข้าวเหนียว (glutinous rice) จะมีปริมาณอะไมโลเพคตินเป็นส่วนใหญ่ คือ 95% และมีปริมาณอะไมโลส น้อยมากหรือไม่มี ส่วนข้าวเจ้า (non-glutinous rice) มีอะไมโลสสูง 10-30% และอะไมโลเพคติน 70-90%

**จำแนกตามฤดูกาลหรือการตอบสนองต่อช่วงแสง**

แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

- **ข้าวพันธุ์ไวต่อช่วงแสง** (photoperiod sensitive varieties) เป็นพันธุ์ข้าวที่จะออกดอกได้ในช่วงวันสั้น (น้อยกว่า 12 ชั่วโมง) ในประเทศไทยจะอยู่ในช่วงเดือนกันยายน-ธันวาคม ข้าวพันธุ์ไวต่อช่วงแสงนี้จะปลูกได้เฉพาะนาปี ถ้าปลูกในนาปรังจะไม่ออกดอก พันธุ์ไวต่อช่วงแสงนี้ได้แก่ พันธุ์พื้นเมืองทั่วไป และพันธุ์ กข.ที่ไวต่อช่วงแสงได้ กข.5, กข.6, กข.8, กข.13, กข.15, กข.19, และ กข.17

- **ข้าวพันธุ์ไม่ไวต่อช่วงแสง** (photoperiod insensitive varieties) พันธุ์ข้าวจำพวกนี้จะออกดอกโดยไม่ขึ้นอยู่กับความยาวของช่วงวัน แต่จะขึ้นอยู่กับอายุเก็บเกี่ยวที่ค่อนข้างแน่นอน และใช้เป็นพันธุ์ข้าวที่ปลูกในนาปรัง ซึ่งต้องอาศัยน้ำชลประทาน ได้แก่ กข.1, กข.2, กข.3, กข.4, กข.7, กข.9, กข.10, กข.11, กข.17, กข.21, กข.23 และ กข.25 ส่วนพันธุ์พื้นเมือง ได้แก่ พันธุ์เหลืองทอง

**จำแนกตามการปรับปรุงพันธุ์พืช**

แบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่

- **พันธุ์พื้นบ้านหรือพันธุ์พื้นเมือง** (land race varieties) เป็นพันธุ์ที่เกษตรกรใช้ปลูกมาแต่ดั้งเดิม ส่วนมากมักเป็นพันธุ์ที่มีการปรับตัวดีในสภาพแวดล้อมของท้องถิ่น ปรับตัวในสภาพดินไม่อุดมสมบูรณ์ได้ดี ตอบสนองต่อปุ๋ยต่ำ ให้ผลผลิตต่ำถึงปานกลางในสภาพการปลูกของเกษตรกร

**- ข้าวพันธุ์ดีทางราชการ** คือ พันธุ์ข้าวที่ทางราชการได้ขยายพันธุ์และเผยแพร่ออกสู่เกษตรกร เป็นพันธุ์ข้าวที่คณะกรรมการพิจารณาพันธุ์ข้าวได้ตรวจสอบแล้ว และประกาศเป็นทางการ ซึ่งจะเป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูง ตอบสนองต่อปุ๋ยสูง ต้านทานโรคและแมลง คุณภาพการหุงต้มดี

ฤดูการทำนาในประเทศขึ้นอยู่กับช่วงของฤดูฝนเป็นส่วนใหญ่ นอกจากพื้นที่ที่มีการชลประทานดังนั้นจึงมีความแตกต่างกันตามภาคต่าง ๆ ดังนี้

1. ภาคกลาง ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคใต้ฝั่งตะวันตก ฤดูกาลทำนาปีจะเริ่มตั้งแต่เดือนเมษายน หรือพฤษภาคมจนถึงเดือนมกราคม ส่วนนาปรังจะเริ่มตั้งแต่เดือนมกราคมจนถึงเดือนเมษายน

2. ภาคใต้ฝั่งตะวันออก (ฝั่งอ่าวไทย) ฤดูกาลทำนาปีจะอยู่ในระหว่างเดือนกันยายน โดยจะมีการเตรียมดินในช่วงเดือนกรกฎาคมและสิงหาคม และเก็บเกี่ยวประมาณเดือนมีนาคม ส่วนการทำนาปรังนั้นอยู่ในช่วงเดือนเมษายนถึงเดือนสิงหาคม

**คุณภาพของเมล็ดข้าว**

1. คุณภาพของเมล็ดทางกายภาพ หมายถึงคุณสมบัติต่างๆ ของเมล็ดข้าวที่สามารถมองได้ด้วยตาเปล่า หรือชั่ง ตวง วัด ได้ เช่น สีของข้าว ขนาด รูปร่างและน้ำหนักเมล็ด รวมถึงความชื้นของเมล็ดข้าว ทั้งนี้ความชื้นมีผลต่ออายุการเก็บรักษา ถ้าเมล็ดข้าวมีความชื้นสูงทำให้เชื้อราและจุลินทรีย์เติบโตได้ ข้าวจะเสื่อมคุณภาพเร็วขึ้น ประเทศไทยกำหนดความชื้นในเมล็ดข้าวไม่เกิน 14 เปอร์เซ็นต์ (งามชื่น, 2538)

น้ำหนักเมล็ด ได้แก่ น้ำหนักต่อปริมาณ เช่น กรัม/ลิตร หรือกิโลกรัม/ถัง และน้ำหนักต่อจำนวนเมล็ด เช่น น้ำหนัก 100 เมล็ด หรือน้ำหนัก 1,000 เมล็ด เป็นต้น น้ำหนักเมล็ดเป็นลักษณะหนึ่งที่ใช้จำแนกพันธุ์ข้าว

สีของเมล็ดข้าวเปลือก เป็นลักษณะประจำพันธุ์ สมัยก่อนใช้ในการตั้งชื่อพันธุ์ข้าว เช่น ขาวพวง ขาวนางเนย เนื่องจากเปลือกมีสีฟางหรือสีขาว เป็นต้น

สีข้าวกล้อง การกะเทาะเปลือกข้าวออกจะพบข้าวกล้องที่มีสีขาว หรือ ข้าวบางพันธุ์มีข้าวกล้องสีแดงหรือสีม่วงจนเกือบดำ ข้าวกล้องมีสีมักนิยมบริโภคเพื่อเป็นอาหาร

ขนาดรูปร่างเมล็ด เป็นลักษณะ ที่นักปรับปรุงพันธุ์ใช้ในการจำแนกพันธุ์ข้าว ขนาดรูปร่างเมล็ด หมายถึง ความยาว ความกว้าง และความหนาของเมล็ด

ความยาวของเมล็ด หมายถึงระยะทางจากปลายยอดสุดเมล็ดถึงโคนเมล็ด

ความกว้างของเมล็ด หมายถึงระยะทางส่วนที่กว้างที่สุดของเมล็ดระหว่างเปลือกใหญ่ (Lemma) ถึงเปลือกเล็ก (Palea)

ความหนาของเมล็ด หมายถึงระยะทางที่มากที่สุดระหว่างเปลือกด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่ง

การเปรียบเทียบระหว่างข้าวกล้อง ข้าวสาร และข้าวเปลือก สามารถจำแนกรูปร่างของเมล็ดข้าวออกเป็น 3 แบบ คือ เรียว ปานกลาง ป้อม

2. คุณภาพของเมล็ดทางเคมี หมายถึง คุณสมบัติและส่วนประกอบต่างๆ ของเมล็ดที่มีผลต่อคุณภาพการหุงต้มโดยมีผลทำให้ข้าวสุกนั้นนุ่ม เหนียวหรือร่วนขึ้นหม้อ และมีผลต่อการนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้แก่ ชนิดและปริมาณของแป้ง โปรตีน ไขมัน และกลิ่นหอม เป็นต้น คุณภาพทางเคมีกายภาพของข้าว มีความสำคัญต่อการทดสอบและประเมินคุณภาพการหุงต้มและรับประทาน ปัจจัยที่สำคัญได้แก่ ความคงตัวของแป้งสุก ปริมาณอะมิโลส อุณหภูมิในการเกิดเจล การยืดตัวของเมล็ดข้าวสุก คุณสมบัติทางด้านความหนืด เป็นต้น

1) ปริมาณอมิโลส (Apparent amylose - content) ปริมาณอะมิโลส เป็นองค์ประกอบของสตาร์ช เกิดจากน้ำตาลกลูโคสเรียงต่อกันเป็นสายโซ่ตรง มีผลช่วยเพิ่มความแข็งแรงแก่โครงสร้างสตาร์ช และช่วยลดการพองตัวของเม็ดสตาร์ชด้วย แป้งข้าวจะมีอะมิโลเปคตินเป็นองค์ประกอบหลักและอะมิโลสเป็นองค์ประกอบรอง โดยทั่วไปมักนิยมแบ่งประเภทข้าวโดยกล่าวถึงอะมิโลสเป็นหลักสำคัญ อัตราส่วนของอะมิโลสและอะมิโลเปคติน เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ข้าวสุกมีคุณสมบัติแตกต่างกัน ข้าวที่มีอะมิโลสสูง ในระหว่างการหุงต้มจะดูดน้ำได้มากกว่าข้าวที่มีอะมิโลสต่ำ ปริมาณอะมิโลสทำให้ข้าวสุกมีความเหนียวลดลง หรือร่วนมากขึ้น ข้าวที่มีอะมิโลสสูงเมื่อหุงต้มสุก จึงร่วนกว่าและแข็งกว่าข้าวที่มีอะมิโลสต่ำ ข้าวเหนียวเป็นข้าวที่มีปริมาณอมิโลสต่ำ (0-2%) เมื่อหุงต้มลักษณะข้าวสุก จะเหนียวมาก ส่วนข้าวเจ้า เมื่อหุงต้มลักษณะข้าวสุกจะแตกต่างกัน แบ่งได้ 3 ประเภท ดังนี้

- ข้าวอะมิโลสต่ำ เป็นข้าวที่มีปริมาณอะมิโลส 10 – 19 % เมื่อหุงต้มลักษณะข้าวสุกจะนุ่มเหนียว เช่นข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ปทุมธานี 1 ข้าวเจ้าหอมสุพรรณบุรี ข้าวสังข์หยดพัทลุง ฯลฯ
- ข้าวอะมิโลสปานกลาง เป็นข้าวที่มะอมิโลส 20– 25 % เมื่อหุงต้มลักษณะข้าวสุกค่อนข้างนุ่มเหนียวเล็กน้อย เช่น สุพรรณบุรี 60 ขาวปากหม้อ เข็มทอง เล็บนกปัตตานี ไข่มดริ้น ฯลฯ
- ข้าวอะมิโลสสูง เป็นข้าวที่มีปริมาณอะมิโลส มากกว่า 25% เมื่อหุงต้มลักษณะข้าวสุกจะร่วนค่อนข้างแข็ง เช่น ข้าวนางพญา 132 เฉี้ยงพัทลุง ชัยนาท 1 สุพรรณบุรี 90 ปราจีนบุรี 1 ฯลฯ

ปริมาณอะมิโลสจะวิเคราะห์โดยทำปฏิกิริยาสตาร์ชข้าวกับสารละลายไอโอดีน และวัดความเข้มสีที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับอะมิโลสมาตรฐาน (Juliano, 1971)

2) ความคงตัวของแป้งสุก (Gel consistency) ข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสเท่ากันเมื่อหุงต้มอาจจะมีความแข็งของข้าวสุกแตกต่างกัน เนื่องจากคุณสมบัติของแป้งสุกมีอัตราการคืนตัวไม่เท่ากัน ทำให้แป้งสุกมีความแข็งและอ่อนแตกต่างกัน ข้าวที่มีความคงตัวของแป้งสุกอ่อน เมื่อหุงสุกข้าวที่ได้จะมีความนุ่มกว่าข้าวที่มีความคงตัวของแป้งสุกแข็ง การวิเคราะห์ค่าความคงตัวของแป้งสุกวัดได้จากระยะทางที่แป้งสุกเย็นไหล แบ่งออกได้ 3 ประเภทดังนี้

| | |
|---|---|
| ความคงตัวของแป้งสุกแข็ง (Hard) | ระยะทางที่แป้งไหล 26 – 40 มิลลิเมตร |
| ความคงตัวของแป้งสุกปานกลาง (Medium) | ระยะทางที่แป้งไหล 41 – 60 มิลลิเมตร |
| ความคงตัวของแป้งสุกอ่อน (Solf) | ระยะทางที่แป้งไหล 61–100 มิลลิเมตร |

หรืออาจแบ่งความคงตัวของแป้งสุก ได้อีกแบบ ดังนี้คือ แป้งข้าวสุกแข็ง แป้งข้าวสุกค่อนข้างแข็ง แป้งข้าวสุกปานกลาง และแป้งข้าวสุกอ่อน โดยการวัดระยะทางที่แป้งไหล เมื่อน้อยกว่า 35 มม. จัดเป็นแป้งข้าวสุกแข็ง และมากกว่า 60 มม. จัดเป็นแป้งข้าวสุกอ่อน ทำการวิเคราะห์โดยการต้มแป้ง

100 มก.ให้ใส เติมสารละลาย 0.2 N KOH ปริมาตร 2 มล. ต้มนาน 8 นาที ทำให้เย็นและวัดระยะทางที่แป้งไหล

3) อุณหภูมิแป้งสุก (Gelatinization temperature) เป็นอุณหภูมิที่ทำให้แป้งกลายเป็นเจล อุณหภูมิแป้งสุกมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาการหุงต้ม โดยทั่วไป การหุงต้มข้าวจะใช้เวลา 13-24 นาที ข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกสูงจะใช้เวลาในการหุงต้มนานกว่าข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ

4) การสลายเมล็ดในด่าง วิเคราะห์โดยแช่เมล็ดข้าว 10 เมล็ดในสารละลาย 1.7% KOH และประเมินค่าการสลายในด่างภายหลังการแช่ 23 ชั่วโมง พบว่าถ้าระดับการกระจายตัวสูงทำให้เวลาในการหุงต้มน้อยกว่าระดับการกระจายตัวต่ำ

5) อัตราการยืดตัวของข้าวสุกต่อข้าวดิบ ระหว่างการหุงต้มเมล็ดข้าวขยายออกรอบด้าน โดยเฉพาะด้ายยาว พันธุ์ข้าวที่อัตราการยืดเมล็ดข้าวสุกมากทำให้ข้าวสุกไม่เหนียวติดกัน เนื้อภายในโปร่งขึ้น ไม่อัดแน่น และช่วยให้ข้าวนุ่มมากกว่า จึงจัดเป็นข้าวที่หุงขึ้นหม้อ (งามชื่น, 2531)

6) กลิ่นหอม เป็นลักษณะประจำพันธุ์ กลิ่นหอมของข้าวเกิดจากภายในเมล็ดมีสาร 2-acetyl-1-pyrroline ในปริมาณแตกต่างกันไปในแต่ละพันธุ์ ข้าวหอมจะมีปริมาณสารนี้ 0.04-0.09 ไมโครกรัม/กรัม

7) โปรตีน (Protein content) โปรตีนจะเป็นตัวขัดขวางการดูดซึมของน้ำเข้าไปภายในเมล็ดข้าว มีส่วนทำให้ระยะเวลาการหุงสุกนานขึ้น นอกจากนี้ยังทำให้เมล็ดแกร่งขึ้น ขัดสีออกได้ยาก ข้าวที่มีโปรตีนสูงอาจจะมีสีคล้ำกว่าข้าวที่มีโปรตีนต่ำ ข้าวที่มีโปรตีนสูงจะทำให้ความเหนียวของข้าวลดลงด้วย ปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าวโดยเฉลี่ยร้อยละ 8 มากเป็นอันดับสองรองจากคาร์โบไฮเดรต โปรตีนส่วนใหญ่เป็นกลูเตลิน มีมากว่าร้อยละ 80 เป็นโปรตีนที่ละลายในด่าง การเพิ่มปริมาณโปรตีนส่งผลให้ปริมาณกลูเตลินเพิ่มขึ้น เมื่อวิเคราะห์หากรดอะมิโนระหว่างข้าวเจ้าและข้าวเหนียวพบว่าไม่แตกต่างกัน แสดงว่า ยีนข้าวเจ้าหรือข้าวเหนียวไม่มีผลต่อโครงสร้างของโปรตีน (Juliano, 1972)

8) คาร์โบไฮเดรท ข้าวมีคาร์โบไฮเดรทร้อยละ 75-80 ซึ่งอยู่ในรูปแป้ง (Starch) ที่เหลืออีกเล็กน้อยเป็นน้ำตาลซูโครส (Sucrose) และเด็กซ์ตริน (Dextrin) คาร์โบไฮเดรทที่ได้จากข้าวนี้ร่างกายสามารถย่อยและนำไปใช้เป็นพลังงานได้เกือบทั้งหมด

9) ไขมัน เป็นไขมันที่มีคุณภาพดี เนื่องจากมีปริมาณกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวสูง ช่วยในการควบคุมระดับคอเรสเตอรอลในเส้นเลือดและช่วยในการเจริญเติบโตของทารกในครรภ์ ไขมันในเมล็ดข้าว เมื่อผ่านกรรมวิธีการขัดสีจะหลุดไปอยู่ในส่วนของรำเกือบหมด มีติดเมล็ดเพียงร้อยละ 1-3 เท่านั้น

10) วิตามินและเกลือแร่ในข้าว จะอยู่ที่เยื่อหุ้มเมล็ดและที่จมูกข้าวหรือคัพภะ วิตามินที่พบมาก คือ บี 1 บี 2 และไนอาซีน ช่วยในการควบคุมการทำงานของระบบประสาท ส่วนเกลือแร่ที่พบในข้าวคือ เหล็ก ช่วยในการสร้างเมล็ดเลือดแดง และฟอสฟอรัสที่ช่วยในการสร้างกระดูกและฟัน วิตามินและเกลือแร่ในข้าวจะหลุดออกไปเกือบหมดในระหว่างการขัดสีจนเป็นข้าว เมล็ดข้าว ดังนั้น เพื่อให้ได้วิตามิน และเกลือแร่จากข้าว จึงควรเลือกบริโภคข้าว ประเภทข้าวนึ่งก่อนสี หรือข้าวที่ผ่านการขัดสีเพียงเล็กน้อย เช่น ข้าวซ้อมมือ หรือข้าวกล้อง

**การเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของข้าว**

ทำได้ 3 วิธี คือ

1. การขัดสีข้าวให้ชั้นรำข้าวออกไปน้อยลง (undermilling) เพื่อรักษาคุณค่าทางโภชนาการต่าง ๆ ที่มีในชั้นรำข้าว แต่วิธีนี้อายุการเก็บรักษาข้าวจะสั้นลงเพราะเกิดการออกซิเดชันได้ง่ายจากไขมันที่คงเหลืออยู่มากในชั้นรำข้าว และมีกลิ่นหืน

2. การทำเป็นข้าวนึ่ง (Parboiled rice) โดยการแช่ข้าวเปลือกในน้ำ น้ำไปนึ่งแล้วทำให้แห้งสีเอาเปลือกออกเป็นข้าวสาร ข้าวนึ่งมีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าข้าวธรรมดา เพราะการนึ่งทำให้สตาร์ชภายในเมล็ดข้าวเกิดเจลาติไนเซชัน ทำให้สารอาหารกระจายเข้าไปในเมล็ดข้าวและคงอยู่ อีกทั้งยังช่วยลดการแตกหักของเมล็ดข้าวในระหว่างการขัดสี แต่มีข้อเสียคือ ข้าวนึ่งมักมีกลิ่นและสีเหลืองทองไม่ถูกใจผู้บริโภค การนึ่งที่ผ่านการขัดสีแล้วจะมีปริมาณไทอะมีน และไนอะซินมากกว่าข้าวสารปกติ 2-4 เท่า

3. การเติมวิตามินและเกลือแร่จากการสังเคราะห์ลงในข้าวขัดขาว เรียกว่า พรีมิกซ์ เป็นการผลิตเมล็ดข้าวขัดขาวที่มีความเข้มข้นของสารอาหารสูง เพื่อนำไปผสมกับข้าวขาวปกติในอัตราส่วนที่เหมาะสม

**ข้าวนึ่ง (Parboiled Rice)**

ข้าวนึ่ง เป็นการนำข้าวเปลือกมาแช่น้ำจนอิ่มตัวแล้วนำไปอบด้วยไอน้ำ จากนั้นทำให้แห้งเพื่อจะนำไปสีเอาเปลือกออก ซึ่งกรรมวิธีนี้โครงสร้างของเซลล์เมล็ดข้าวจะเปลี่ยนไป โดยเซลลูโลสของผนังเซลล์เล็กๆ จะถูกทำลาย ส่วนที่เป็นแป้งจะเปลี่ยนสภาพเป็นสารเดกซ์ทริน (dextrinization) ผสมผสานเป็นเนื้อเดียวกัน จับตัวกัน ซึ่งในแต่ละปีประเทศไทยส่งข้าวนึ่งออกประมาณ 700,000-1,000,000 เมตริกตัน มูลค่าประมาณ 18,000-22,000 ล้านบาท หรือ คิดเป็นประมาณร้อยละ 20 ของมูลค่าการส่งออกข้าวทั้งหมดของไทย โดยเฉพาะในยุโรปตะวันตก มีการบริโภคข้าวนึ่งเกือบร้อยละ 40 และเป็นตลาดที่สำคัญของประเทศที่อยู่ในภูมิภาคตะวันออกเฉียงใต้ของเอเชีย แม้จะไม่มีการบริโภคภายในประเทศ ทั้งนี้ประเทศที่สั่งซื้อข้าวนึ่งจากไทยได้แก่ประเทศในแถบอัฟริกา และตะวันออกกลาง เช่น แคเมอรูน โซมาเลีย ไนจีเรีย ซาอุดิอาระเบีย เยเมน โอมาน คูเวต เลบานอน เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีอีกหลายประทศใน ยุโรป อเมริกา เช่น อิตาลี เยอรมัน ฝรั่งเศส วิธีทำข้าวนึ่งได้มีการพัฒนาเพื่อปรับปรุงคุณภาพได้ดีขึ้น วิธีการพัฒนาก่อนการใช้เครื่องจักรกลก็คือ Parboiled process ได้แก่

วิธีที่หนึ่ง คือ Cold soaking method หรือ Single boiling method คือ แช่ข้าวในถังน้ำเย็นธรรมดาโดยใช้ถังซีเมนต์ขนาดใหญ่ มีการหมุนเวียนน้ำ ตลอดเวลา เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง ตามด้วยนำข้าวเปลือกที่แช่แล้วไปต้มอุณหภูมิน้ำเดือด 2 ชั่วโมง ขณะต้มให้คนตลอดเวลาหรือทุก 20 นาที แล้วนำไปทำแห้งโดยตากแดด

วิธีที่สอง คือ Double boiling method พัฒนาจากวิธีแรก โดยครั้งแรกแช่ข้าวเปลือกในน้ำอุ่น (60°C) เพื่อให้แบคทีเรียและจุลินทรีย์อื่น ๆ ตาย จากนั้นลดอุณหภูมิเหลือ 30-40°C เพื่อให้สปอร์ของจุลินทรีย์ต่าง ๆ เกิดขึ้นมาอีกครั้ง แล้วจึงนำไปต้มฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ให้หมดจริง ๆ จากนั้นก็นำไปทำให้แห้ง วิธีนี้ช่วยลดกลิ่นลงสีข้าวเป็นสีเหลืองแดงแทนน้ำตาลคล้ำ และไม่เหม็นหืน

**ข้อดีของข้าวนึ่ง**

1. เพิ่มผลผลิต เนื่องจากมีความแข็งสูงกว่าข้าวเปลือก ทำให้ไม่แตกหักมากเวลานำไปสีเอาเปลือกออก ปกติอัตราส่วนการแตกหักข้าวเปลือก : ข้าวนึ่ง = 6:1
2. ลดการเสียวิตามิน ปกติวิตามินในข้าวเป็นชนิดละลายน้ำได้และ อยู่ชั้นนอกของเมล็ด ระหว่างนำมาแช่น้ำและต้ม วิตามินจะละลายและถูกดูดซับ แล้วเปลี่ยนสภาพผสมผสานเป็นเนื้อเดียวกับเมล็ดข้าว
3. เก็บได้นานกว่า โดยขณะที่นึ่งต้องให้ความร้อนสูง จุลินทรีย์จะถูกทำลาย นอกจากนี้ยังมีการควบคุมความชื้นในระบบการทำแห้งด้วย
4. คุณภาพเชิงรูปร่างเป็นที่ดึงดูดใจ เพราะเมล็ดข้าวสามารถทน ความร้อนในการหุงต้มได้สูง เมล็ดไม่เหนียวติดกัน
5. กลิ่นและสีของข้าวสารนึ่งจะดี เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

**กรรมวิธีการทำข้าวนึ่ง**

การแช่ (Soaking หรือ Steeping) นำข้าวเปลือกมาแช่น้ำให้มีความชื้นประมาณ 30-40% เพื่อให้แป้งอ่อนตัวลง น้ำที่แช่อาจเป็นน้ำเย็นหรือน้ำร้อนก็ได้ เวลาของการแช่ขึ้นอยู่กับน้ำ น้ำเย็นใช้เวลาแช่ 2-3 วัน น้ำอุ่นหรือน้ำร้อน เวลาการแช่ลดลง

1. การต้มหรือนึ่ง (Steaming) นำข้าวเปลือกขึ้นจากขั้นตอนแรกมาต้มหรือนึ่งให้สุก เพื่อให้แป้งภายในเมล็ดมีลักษณะเป็นวุ้น (gelatinize) สังเกตจากข้างนอกจะเห็นเปลือกเมล็ดข้าวปริมาณเล็กน้อย
2. การทำให้แห้ง (Drying) หลังจากต้มหรือนึ่งแล้วข้าวเปลือกจะถูกนำไปทำให้แห้งซึ่งอาจจะใช้ตากแดดธรรมดา หรือผ่านเครื่องอบแห้งก็ได้ การทำแห้งมีจุดประสงค์เพื่อลดความชื้นให้เหลือ 12-14% โดยอาจใช้หม้ออบแบบหมุน (rotary dryer) หม้ออบแบบลอยตัว (float dryer) หม้ออบแบบหมุนชนิดใช้สุญญากาศ (rotary vacuum dryer) หรือผึ่งในอากาศโล่งบนลานตากข้าว การทำแห้งจะต้องใช้อุณหภูมิค่อนข้างต่ำ (สูงกว่าอุณหภูมิของ?อากาศแวดล้อมเล็กน้อย) เพื่อป้องกันการเกิดการแตกหักของเมล็ดข้าว ปกติการอบแห้งจะใช้เวลา 3-4 ชั่วโมง ขึ้นกับลักษณะของหม้ออบแห้ง
3. สีข้าวเอาแกลบออก การที่จะทำให้ปริมาณที่แตกหักของเมล็ดข้าว ลดต่ำลงขึ้นกับระบบสีข้าวที่มีประสิทธิภาพ
4. อบแห้งเมล็ดข้าวขั้นสุดท้าย เมล็ดข้าวที่นำมาสีจะมีความชื้น ประมาณร้อยละ 15 ในระบบเครื่องสีข้าวจะติดตั้งหออบเมล็ดข้าวที่สีแล้ว ตรงทางออกเพื่อลดความชื้นลงเป็นร้อยละ 12-13 เพื่อให้สามารถเก็บรักษา ได้นาน

**คุณภาพข้าวนึ่ง**

ข้าวนึ่งคุณภาพดี พิจารณาจากสิ่งต่าง ๆ ดังนี้ คือ

1. สี ควรเป็นสีเหลืองอ่อน หรือน้ำตาลอ่อน
2. กลิ่น เมื่อหุงสุกแล้วควรมีกลิ่นน้อยที่สุด
3. คุณภาพการสี สีได้เนื้อ มีข้าวหักน้อย
4. ลักษณะเมล็ด ใส แกร่ง ไม่มีท้องไข่ ขนาดรูปร่างเมล็ดเหมือนข้าวธรรมดา
5. ลักษณะข้าวสุก เมื่อหุงสุกแล้วเมล็ดร่วนไม่ติดกัน

**สารต้านอนุมูลอิสระ**

สารต้านอนุมูลอิสระในร่างกายสิ่งมีชีวิต มีการจำแนกได้หลายกลุ่ม คือกลุ่มเอนไซม์ (enzyme) เช่น catalase, glutathione peroxidase และ superoxide dismutase รวมทั้งสารกลุ่มโปรตีนหรือสารประกอบโปรตีนบางอย่างเช่น glutathione, urate, bilirubin, ubiquinol, albumin, ceruloplasmin และ transferrin เป็นต้น สารเหล่านี้ทำหน้าที่ในการควบคุมอนุมูลอิสระให้อยู่ในระดับที่สมดุลแต่หากมีอนุมูลอิสระเกิดขึ้นในปริมาณที่มากเกินกว่าที่ระบบป้องกันจะยับยั้งได้หมด ทำให้ส่งผลต่อสภาวะ oxidative stress ซึ่งทำให้อนุมูลอิสระทำอันตรายต่ออวัยวะและเนื้อเยื่อต่าง ๆ ของร่างกาย หากมีการสะสมในปริมาณมากอาจนำไปสู่ความผิดปกติหรือพยาธิสภาพหลายอย่าง เช่น โรคมะเร็ง โรคหลอดเลือดหัวใจ โรค Parkinson โรค Alzheimer ไขข้ออักเสบ และต้อกระจก เป็นต้น (Ames *et.al.,* 1993) อนุมูลอิสระ มีที่มาทั้งแหล่งภายนอกร่างกาย และแหล่งภายในร่างกาย แต่ร่างกายก็มีกลไกที่จะกำจัด อนุมูลอิสระ เหล่านี้โดย 2 วิธี คือ ใช้เอนไซม์ต่างๆ ในร่างกาย เช่น Superoxide dismultase และไม่ใช้เอนไซม์ ได้แก่ วิตามิน อี เบตาคาโรทีน และวิตามิน ซี ในสิ่งมีชีวิตมีการควบคุมอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้น เรียก antioxidant defense system เพื่อรักษาสมดุลของอนุมูลอิสระภายในร่างกาย สารที่ทำหน้าที่ในระบบกำจัดอนุมูลอิสระเรียกว่า สารต้านออกซิเดชัน (antioxidants) ทำหน้าที่ในการควบคุมอนุมูลอิสระให้อยู่ในระดับที่สมดุล หากอนุมูลอิสระเกิดขึ้นมากเกินกว่าที่ระบบป้องกันจะยับยั้งได้หมดทำให้เกิดสภาวะ oxidative stress มีผลให้อนุมูลอิสระเข้าทำอันตรายต่ออวัยวะและเนื้อเยื่อในร่างกายจนนำไปสู่ความผิดปกติได้ (Ames และคณะ,1993)

จากการศึกษาสารต้านอนุมูลอิสระ พบว่าสารประกอบกลุ่มแทนนิน (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 ถึงแม้ว่าสารสังเคราะห์ดังกล่าวมีประสิทธิ์ภาพและความคงตัวสูงกว่าสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชา ติแต่ประสบกับปัญหาด้านความปลอดภัยในการบริโภค (Yang และคณะ, 2000) ซึ่งแตกต่างจากสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติที่มีความเชื่อมั่นว่ามีความปลอดภัยในการบริโภค สารต้านอนุมูลอิสระเหล่านี้สามารถพบได้ทั่วไปในจุลชีพ สัตว์ และพืช โดยเฉพาะกลุ่ม polyphenols เช่น แซนโทนและฟลาโวนอยด์ ซึ่งเป็นสารที่มีหมู่ aromatic hydroxyl ตั้งแต่ 2 หมู่ขึ้นไปเป็นหมู่ฟังก์ชั่น ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการดักจับอนุมูลอิสระชนิดต่างๆ (Van Acker และคณะ, 2000)

**วิธีการวิเคราะห์กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ**

การตรวจวัดกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ สามารถทำได้หลายวิธี โดยที่ทุกวิธีต้องระบบของอนุมูลอิสระ (Free radical) และสารตั้งต้น (Substrate) ที่จะถูกเปลี่ยนแปลงไปโดยวิธีการกระทำของอนุมูลอิสระ ขึ้นอยู่กับการเลือกชนิดของตัวกำเนิดอนุมูลอิสระ และชนิดของตัวตรวจวัดอนุมูลอิสระ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของสารตั้งต้นในกรณีที่มีและไม่มีสารตั้งต้นการเกิดออกซิเดชัน

และความแตกต่างของการเกิดออกซิเดชัน ณ ที่ความเข้มข้นต่างๆ ของสารต้านการเกิดออกซิเดชัน ทำให้สามารถบอกถึงความสามารถที่แตกต่างกันของสารต้านการเกิดออกซิเดชันชนิดต่างๆ ได้ 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)

การคำนวณค่า $IC_{50}$ (Inhibitory concentration at 50% ) ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH assay และHydroxyl radical scavenging ทำได้โดยสร้างกราฟระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (แกน Y) กับค่าความเข้มข้นของสารตัวอย่าง (แกนX) ได้สมการส้นตรงที่ใช้ทำนายค่า $IC_{50}$ หรือสามารถหาความเข้มข้นที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงของสารตัวอย่างที่ทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระเป็นครึ่งหนึ่งของค่าสูงสุด (50%) (ประสาร, 2547)

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

ตัวอย่างการคำนวณหาค่า $IC_{50}$ (ประสาร สวัสดิ์ชิตัง 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

**สารประกอบฟินอลิก (Phenolic compounds)**

สารประกอบฟีนอลิกพบได้ในพืชทั่วไป มีสูตรทางเคมี เป็นวงแหวนที่มีหมู่ไฮดรอกซิลอย่างน้อยหนึ่งหมู่ หรือมากกว่านั้น สามารถละลายน้ำได้ ในพืชมักจะรวมอยู่ในโมเลกุลของน้ำตาลในรูปของสารประกอบไกลโคไซด์ (Glycosides) และพบได้ในส่วนของช่องว่างภายในเซลล์ สารฟินอลิกที่พบในธรรมชาติมีมากมายหลายชนิด มีลักษณะสูตรโครงสร้างทางเคมีที่แตกต่างกัน ซึ่งกลุ่มใหญ่ที่สุดที่พบ จะเป็นสารประกอบพวกฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) นอกจากนั้นยังมีสารประกอบต่างๆ เช่น simple monocyclic phenol, phenyl propanoid , phenolic quinine และ polyphenolic ได้แก่พวก lignin, tannin เป็นต้น ทั้งยังพบว่ามีสารประกอบที่มีกลุ่มฟีนอลรวมอยู่ในโมเลกุลของโปรตีนอัลคาลอยด์ และเทอร์พีนอยด์ (Terpenoid) เป็นต้น อัญชนา (2544) พบว่า สารประกอบฟีโนลิกหลายชนิดมีสมบัติเป็นสารต้านออกซิเดชัน เช่น ฟลาโวนอยด์ กรดฟินอลิกและแทนนิน เป็นต้น สารเหล่านี้ทำหน้าที่เป็นตัวขับไล่อนุมูลอิสระที่สำคัญคืออนุมูล peroxyl โดยมีกลไก 2 แบบคือเมื่ออยู่ในสภาวะที่มีความเข้มข้นต่ำเมื่อเทียบกับสารออกซิไดซ์ สารประกอบฟีโนลิกจะป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน นอกจากนี้อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาจะถูกทำให้เป็นสารที่มีความเสถียร จึงสามารถป้องกันการเกิดขั้นตอนต่อเนื่องของปฏิกิริยาลูกโซ่ได้ สารประกอบกลุ่มนี้บางชนิดยังทำหน้าที่เป็นสารคีเลตดักจับไอออนของโลหะเข้าไว้ในโมเลกุล เช่น เคอร์ซิทิน และยังทำหน้าที่เป็นสารให้อิเล็กตรอน และกำจัดออกซิเจนที่อยู่ในรูปแอคทีฟ ดังนั้น จึงจัดให้สารฟีโนลิกเป็นสารต้านออกซิเดชันที่สำคัญชนิดหนึ่งในพืชทั่วไป

**ข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง**

ข้าวสังข์หยดเป็นข้าวเจ้าพันธุ์พื้นเมืองของภาคใต้ที่ไวต่อช่วงแสง มีความสูงประมาณ 140 ซม. น้ำหนักข้าวเปลือกต่อถัง 10.60 กิโลกรัม คุณภาพการสีดี มีลักษณะประจำพันธุ์ คือ มีลักษณะเมล็ดเรียวยาว อายุเบา ปริมาณอะไมโลสต่ำ ข้าวสารมีสีขาวขุ่น ข้าวกล้องมีเยื่อหุ้มเมล็ดสีขาวปนแดงจางๆ จนถึงแดงเข้ม เมื่อหุงสุกจะมีความนุ่มมาก ยังคงนุ่มอยู่เมื่อเย็นตัวลง อุดมไปด้วยสารอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการ การกินข้าวสังข์หยดต้องเป็นข้าวซ้อมมือ โดยถือกันว่าจะป้องกันการเกิดโรคเหน็บชา และโรคอัมพฤตได้ (ปรีชา, 2548) คุณภาพการหุงต้มข้าวสังข์หยดพัทลุง จะได้ข้าวหุงสุกนุ่มเพราะมีปริมาณอะไมโลสต่ำ นิยมบริโภคในรูปข้าวกล้องหรือซ้อมมือ หรือผสมกับข้าวขาวเพื่อให้ได้

รสชาติที่ดีขึ้น (สำเริง, 2548) ข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงมีสีแดงหรือ ม่วงปนแดง เพราะมีสารรงควัตถุ (pigment) ของแอนโทไซยานินปรากฏอยู่ในเยื่อชั้นนอกของข้าวกล้อง (จำรัส, 2534) สีของข้าวกล้องเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติด้านการต้านอนุมูลอิสระ อันเป็นกลไกที่ช่วยป้องกันและยับยั้งการเกิดโรค นอกจากสารสีพวกแอนโทไซยานิน แล้วข้าวกล้องยังมีสารต้านอนุมูลอิสระอื่นที่ช่วยลดหรือชะลอความแก่ได้ (Min, 2004) การขัดสีข้าวจนมีสีขาวจะทำให้โปรตีนสูญหายไปประมาณ 30% อุดมไปด้วยวิตามินและแร่ธาตุที่จำเป็น บางงานวิจัยกล่าวว่า รำข้าวมีสารแกมมาออริซานอล (gamma oryzanol) ช่วยลดคอเลสเตอรอลในเลือด จมูกข้าวมีสารแกมมา อะมิโนบิวทิริก แอซิด (gamma amionbutyric acid, GABA) ซึ่งเป็นโปรตีนที่ช่วยบำรุงเซลล์ประสาท (สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, 2548) ทั้งนี้ส่วนของรำและจมูกข้าว นอกจากมีสารพวกไขมัน โปรตีน และไฟเบอร์แล้ว ยังประกอบไปด้วยสารต้านอนุมูลอิสระจำนวนมากกว่า 100 ตัว

**ความสำคัญ และที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย**

ข้าวสังข์หยดพัทลุง เป็นข้าวเจ้าพันธุ์พื้นเมืองที่ปลูกในจังหวัดพัทลุงมากว่า 100 ปี มีลักษณะของเยื่อหุ้มเมล็ดสีแดงเข้ม เมื่อสีเป็นข้าวสารจะมีสีแดงปนขาวในเมล็ดเดียวกัน มีปริมาณวิตามินบีสูง ช่วยป้องกันโรคเหน็บชา โดยทั่วไปนิยมบริโภคในรูปข้าวกล้องหรือข้าวซ้อมมือ ปัจจุบันนี้ข้าวสังข์หยดเป็นที่ต้องการของผู้บริโภคเพิ่มมากขึ้น จังหวัดพัทลุงจึงกำหนดให้ข้าวพันธุ์สังข์หยดเป็นพันธุ์ข้าว 1 ใน 3 พันธุ์ ที่ได้รับการส่งเสริมการผลิตข้าวตามยุทธศาสตร์พัฒนาจังหวัด (ศูนย์วิจัยข้าวพัทลุง, 2548) และเป็นข้าวที่มีราคาขายข้าวเปลือกอยู่ที่เฉลี่ยเกวียนละ 20,000 บาท ซึ่งเป็นแรงจูงใจอย่างหนึ่งในการเพิ่มพื้นที่ปลูกของเกษตรกรในจังหวัดใกล้เคียงนอกเหนือจากจังหวัดพัทลุง จากการที่ข้าวสังข์หยดพัทลุงได้รับคำประกาศรับรองให้เป็นสินค้าบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ หรือข้าวจีไอ (GI) ตามพระราชบัญญัติคุ้มครองสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ พ.ศ.2546 โดยใช้ชื่อว่า "ข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง " นั้น ส่งผลให้ราคาข้าวมีมูลค่าเพิ่มสูงขึ้นจนถึงกิโลกรัมละตั้งแต่ 50–100 บาท สร้างแรงจูงในการการปลูกของเกษตรกรในอีกหลายจังหวัดในภาคใต้ ได้แก่ สงขลา นครศรีธรรมราช ตรัง กระบี่ สุราษฎร์ธานี เป็นต้น อีกทั้งในภาคอื่นของประเทศไทย ก็เริ่มนิยมนำพันธุ์ข้าวสังข์หยดพัทลุงไปทดลองปลูก แต่จากสภาพภูมิศาสตร์ที่แตกต่างกันอาจส่งผลต่อผลผลิต และคุณค่าทางสารอาหาร อีกทั้งสมบัติทางเคมีกายภาพ คุณภาพการบริโภคแตกต่างกันได้ อีกทั้งสภาวะโลกร้อนซึ่งมีผลกระทบต่อฤดูกาลผลิต จนอาจส่งผลต่อคุณภาพข้าวได้ อีกทั้งยังไม่มีงานวิจัยที่แพร่หลายเกี่ยวกับการวิเคราะห์คุณภาพข้าว สมบัติทางเคมีกายภาพ คุณค่าทางโภชนาการของข้าวสังข์หยดที่ปลูกในต่างสภาพพื้นที่กัน ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงสนใจการวิเคราะห์ผลผลิตข้าวสังข์หยดที่ปลูกต่างพื้นที่กันในจังหวัดภาคใต้ 6 จังหวัด นำมาวิเคราะห์คุณภาพข้าวทั้งทางเคมี ทางกายภาพ คุณค่าทางโภชนาการ สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และแปรรูปเป็นข้าวนึ่งเพื่อเพิ่มคุณค่าสารอาหารบางประการ โดยคาดหวังว่าผลการทดลองจะก่อให้เกิดประโยชน์ทั้งทางการค้าและผู้บริโภคในเชิงข้าวเพื่อสุขภาพ

ดังนั้น การวิจัยนี้ จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณค่าทางโภชนาการในข้าวสังข์หยดพัทลุงที่ปลูกต่างพื้นที่ โดยศึกษาปริมาณโปรตีน ไขมัน เถ้า ความชื้น คาร์โบไฮเดรต น้ำตาลรวมทั้งหมด สารต้านอนุมูลอิสระ สารประกอบฟีโนลิก น้ำหนักเมล็ดข้าว ปริมาณอะมิโลส การสลายเมล็ดในด่าง ความคงตัวของแป้งสุก เพื่อนำผลที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการส่งเสริมการผลิตและแปรรูปข้าวให้มีมาตรฐาน

**วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย**

1. ศึกษาคุณค่าทางโภชนาการในข้าวสังข์หยดที่ปลูกต่างพื้นที่กันในจังหวัดภาคใต้
2. ศึกษาคุณภาพทางเคมี ลักษณะทางกายภาพ และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของตัวอย่างข้าวที่เก็บได้
3. ศึกษาคุณค่าทางโภชนาการและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในข้าวกล้องและข้าวนึ่ง

**ขอบเขตของโครงการ**

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณค่าทางโภชนาการ สมบัติทางเคมี ลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ โปรตีน ไขมัน เถ้า ความชื้น คาร์โบไฮเดรต น้ำตาลรวมทั้งหมด ปริมาณอะไมโลส การสลายเมล็ดในด่าง ความคงตัวของแป้งสุก น้ำหนักเมล็ดข้าว สารชีวกิจกรรม ได้แก่ สารต้านอนุมูลอิสระ สารประกอบฟินอลิกทั้งในข้าวกล้องและข้าวนึ่งกล้อง โดยจะได้เป็นข้อมูลเบื้องต้นเพื่อนำไปพัฒนากระบวนการแปรรูปต่อไป

# วิธีดำเนินการวิจัย

**วิธีการวิจัย แบ่งออกเป็นหัวข้อดังต่อไปนี้**

การทดลองนี้เป็นเปรียบเทียบสมบัติทางเคมี กายภาพ และสารอาหารของข้าวกล้องและข้าวนึ่งสังข์หยดที่ปลูกต่างพื้นที่ โดยใช้ตัวอย่างข้าวจาก 6 จังหวัด ได้แก่ พัทลุง สตูล กระบี่ ตรัง สงขลา และ นครศรีธรรมราช (ภาพผนวกที่ 1) มีขั้นตอนการวิจัยดังนี้

**การทดลอง 1 การเก็บตัวอย่างข้าวสังข์หยด**

1. การเก็บตัวอย่าง และเตรียมตัวอย่าง

ทำการเก็บตัวอย่างข้าวสังข์หยดพัทลุงที่ปลูกในจังหวัดทางภาคใต้ ได้แก่ นครศรีธรรมราช ตรัง พัทลุง กระบี่ สงขลา และสตูล โดยทำการเก็บตัวอย่างข้าวเปลือกมาชนิดละ 50 กิโลกรัม (ภาพผนวกที่ 1) นำมาเตรียมวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการโดยการสีเป็นข้าวกล้องแบบกะเทาะเปลือก และ แปรรูปเป็นข้าวนึ่ง

2. เก็บข้อมูลองค์ประกอบผลผลิตคือ ขนาดและน้ำหนักเมล็ด น้ำหนักต่อ 1,000 เมล็ด ดังนี้

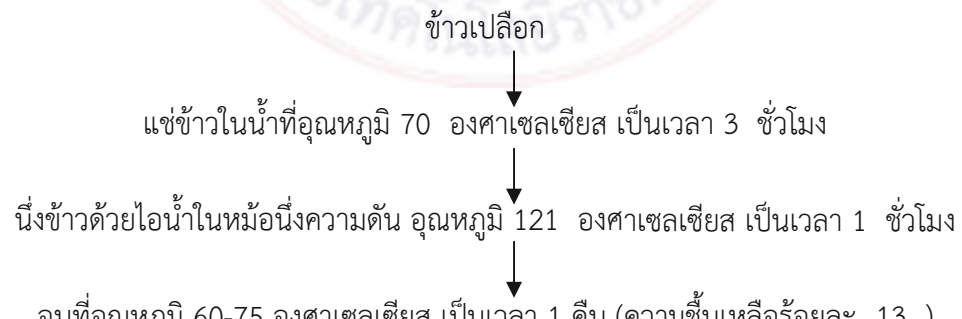
2.1 อัตราส่วนความยาวต่อความกว้างของเมล็ดข้าว โดยวิธีการของ Adair (1966)

2.2 น้ำหนักเมล็ดข้าว โดยวิธีการของ เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข (2534)

**การทดลอง 2 การผลิตข้าวนึ่ง**

1. การเตรียมและวิเคราะห์ข้าวนึ่งสังข์หยด

นำวัตถุดิบข้าวเปลือกสังข์หยดพัทลุง มาผลิตเป็นข้าวนึ่ง โดยนึ่งด้วยไอน้ำในหม้อนึ่งความดันอุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที หลังจากนั้นนำไปอบให้แห้ง ด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60-75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8-12 ชั่วโมง (ภาพผนวกที่ 4) นำข้าวไปวิเคราะห์ความชื้นหลังอบ ไม่ควรเกินร้อยละ 13 จากนั้นนำข้าวนึ่งไปสีเป็นข้าวกล้องแบบกะเทาะเปลือก (ภาพผนวกที่ 3) นำข้าวที่ได้จากทั้ง 6 จังหวัด วิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของผลผลิต ลักษณะทางกายภาพและเคมี และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ตามวิธีการในข้อที่ 3 เปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างข้าวที่ได้จากแต่ละพื้นที่ ทั้ง 6 จังหวัด และเปรียบเทียบกับข้าวกล้อง โดยการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยข้อมูลระหว่าง treatment ด้วยวิธี Duncan's New multiple range test: DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์




แผนภาพการเตรียมข้าวนึ่ง (ภาพผนวกที่ 4)

**การทดลอง 3 การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ สารชีวกิจกรรม สมบัติทางเคมี-กายภาพ**

นำข้าวกล้องและข้าวนึ่ง จากการทดลอง 1 และ 2 มาหาคุณค่าทางโภชนาการ ได้แก่ โปรตีน ไขมัน เถ้า ความชื้น คาร์โบไฮเดรต น้ำตาลรวมทั้งหมด สารต้านอนุมูลอิสระ สารประกอบฟีโนลิก ปริมาณอะมิโลส การสลายเมล็ดในด่าง ความคงตัวของแป้งสุก (ภาพผนวกที่ 6-14) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยข้อมูลระหว่าง treatment ด้วยวิธี Duncan's New multiple range test: DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ด้วยวิธีวิเคราะห์ดังนี้

1) โปรตีน โดยวิธี Kjeldahl method (AOAC, 1990)

2) ไขมัน โดยวิธี Soxhlet extraction method ( AOAC, 1990)

3) เถ้า โดยวิธี dry ashing method ( AOAC, 1990)

4) ความชื้น โดยวิธี Loss on drying at 135°C (AOAC, 1990)

5) คาร์โบไฮเดรต โดยวิธีการคำนวณ

6) ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ โดยการทดสอบความสามารถในการดักจับอนุมูลอิสระ DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical scavenging capacity assay) ตามวิธี Fengiln (2004) และ Trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC) assay (ABTS assay) ตามวิธี สุริสา และคณะ (2557)

7) สารประกอบฟินอลิก (phenolic compound) ตามวิธี Folin-ciocalteau method (AOAC, 1990)

8) ปริมาณ อะไมโลส ดัดแปลงจากวิธีของ Juliano (1971)

9) ความคงตัวของแป้งสุก ตามวิธีของ Yu and Wang (2007)

10) ค่าการสลายตัวในด่าง ตามวิธีของ Yu and Wang (2007)

**สถานที่ทำการทดลอง**

เก็บตัวอย่างข้าวในจังหวัดภาคใต้ 6 จังหวัด ได้แก่ อ. ควนโดน จ.สตูล, เขาคราม จ.กระบี่, อ. คลองหอยโข่ง จ.สงขลา, อ.นาโยง จ.ตรัง, อ.หัวไทร จ.นครศรีธรรมราช และ อ.ตะโหมด จ.พัทลุง และนำมาวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ สารชีวกิจกรรม ทดสอบทางเคมี กายภาพ วิเคราะห์ผล ณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง อำเภอสิเกา จังหวัดตรัง

# ผลการวิจัย

## ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ และคุณค่าทางโภชนาการ

### ลักษณะของเมล็ดทางกายภาพ

ผลการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดทางกายภาพ โดยการวัดขนาดของเมล็ดข้าวและเมล็ดข้าวนึ่ง ได้แก่ ความยาว ความกว้าง ความหนา ของข้าวสังข์หยดพัทลุงที่ผลิตจากต่างพื้นที่ ใน 6 จังหวัดภาคใต้ (ภาพที่ 1-3) ได้แก่ อ. ควนโดน จ.สตูล, เขาคราม จ.กระบี่, อ.คลองหอยโข่ง จ.สงขลา, อ.นาโยง จ.ตรัง, อ.หัวไทร จ.นครศรีธรรมราช และ อ.ตะโหมด จ.พัทลุง พบว่า ความยาว ความกว้าง ความหนาของเมล็ดข้าวกล้อง และข้าวกล้องนึ่งในจังหวัดเดียวกันมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P \geq 0.05$) แต่ความยาว ความกว้าง ความหนาของเมล็ดข้าวกล้องทั้ง 6 จังหวดมีค่าแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) โดยข้าวสังข์หยดจากแหล่งเก็บเขาคราม จ.กระบี่ มีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 8.25, 2.03 และ 1.76 มิลลิเมตร ตามลำดับ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับตัวอย่างอื่น ทั้งนี้ความยาวของเมล็ดข้าวรองลงมาได้แก่ ข้าวสังข์หยดจากสตูล ตรัง พัทลุง และนครศรีธรรมราช มีค่าเท่ากับ 7.07, 7.06, 6.93 และ 6.92 มิลลิเมตร ตามลำดับ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P \geq 0.05$) ส่วนข้าวสังข์หยดจากสงขลามีค่าต่ำที่สุด เท่ากับ 6.61 มิลลิเมตร ขณะที่ความกว้างของเมล็ดข้าว รองลงมา คือ สตูล พัทลุง สงขลา นครศรีธรรมราช และตรัง มีค่าเท่ากับ 1.96, 1.87, 1.81, 1.81 และ 1.75 มิลลิลิตร ตามลำดับ ส่วนความหนาของข้าวรองลงมา (ภาพที่ 3) คือ จังหวัดสตูล ตรัง นครศรีธรรมราช พัทลุง และ สงขลา มีค่าเท่ากับ 1.66, 1.64, 1.63, 1.61 และ 1.56 มิลลิลิตร ตามลำดับ แตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ส่งผลให้อัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้างของข้าวกล้องจากจังหวัดกระบี่ ตรัง และนครศรีธรรมราช มีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 4.06, 4.03 และ 3.82 ตามลำดับ แตกต่างทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับข้าวจากจังหวัดพัทลุง สงขลา และ สตูล ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.71, 3.65 และ 3.60 ตามลำดับ ส่วนข้าวนึ่งกล้องมีอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้างแตกต่างเช่นกัน โดย ข้าวจากจังหวัดกระบี่ และ ตรัง มีค่าสูงที่สุด รองลงมา ได้แก่ จังหวัดพัทลุง นครศรีธรรมราช สงขลาและสตูล มีค่า 3.78, 3.77, 3.70, และ 3.56 ตามลำดับ (ตารางที่ 1) ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบในจังหวัดเดียวกัน พบว่า ข้าวกล้องมีอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้างมากกว่าข้าวนึ่งกล้อง

เมื่อพิจารณาน้ำหนักต่อ 1,000 เมล็ด (ตารางที่ 1) พบว่า ข้าวสังข์หยดจากจังหวัดกระบี่ มีน้ำหนักเมล็ดมากที่สุดเท่ากับ 20.40 กรัม รองลงมา ได้แก่ สตูล พัทลุง ตรัง นครศรีธรรมราช และสงขลา มีค่าเท่ากับ 16.69, 16.13, 15.36, 14.77 และ 13.69 กรัม ตามลำดับ เช่นเดียวกับข้าวนึ่งกล้องของจังหวัด กระบี่มีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 19.26 กรัม รองลงมา คือ พัทลุง สตูล ตรัง นครศรีธรรมราช และ สงขลา เท่ากับ 16.13, 15.93, 14.80, 14.75 และ 14.50 กรัม ตามลำดับ ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบในจังหวัดเดียวกัน พบว่า ข้าวกล้องมีแนวโน้มน้ำหนักต่อ 1,000 เมล็ดสูงกว่าข้าวนึ่งกล้อง การทดลองครั้งนี้ แต่ค่าที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ อาจเนื่องมาจากปัจจัยภายนอก ได้แก่ วิธีการปลูก การใช้ปุ๋ย การเก็บเกี่ยวและสภาพพื้นที่ เป็นต้น

**ตารางที่ 1** อัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้าง และน้ำหนักเมล็ดต่อ 1,000 เมล็ดของข้าวกล้องและข้าวนึ่งกล้องสังข์หยดที่ปลูกในจังหวัดทางภาคใต้

| ข้าวสังข์หยด / จังหวัด | อัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้าง (มม.) | น้ำหนักต่อ 1,000 เมล็ด (กรัม) |
|---|---|---|
| ข้าวกล้อง | | |
| สตูล (ควนโดน) | 3.60±0.07$^{c}$ | 16.69±0.17$^{c}$ |
| กระบี่ (เขาคราม) | 4.06±0.15$^{a}$ | 20.40±0.16$^{a}$ |
| สงขลา (คลองหอยโข่ง) | 3.65±0.08$^{c}$ | 13.69±0.04$^{g}$ |
| ตรัง (นาโยง) | 4.03±0.17$^{a}$ | 15.36±0.96$^{e}$ |
| นครศรีธรรมราช (หัวไทร) | 3.82±0.15$^{ab}$ | 14.77±0.04$^{f}$ |
| พัทลุง (ตะโหมด) | 3.71±0.14$^{bc}$ | 16.13±0.15$^{d}$ |
| ข้าวนึ่งกล้อง | | |
| สตูล (ควนโดน) | 3.56±0.04$^{c}$ | 15.93±0.17$^{d}$ |
| กระบี่ (เขาคราม) | 3.88±0.05$^{ab}$ | 19.26±0.23$^{b}$ |
| สงขลา (คลองหอยโข่ง) | 3.70±0.14$^{bc}$ | 13.50±0.08$^{g}$ |
| ตรัง (นาโยง) | 3.97±0.22$^{ab}$ | 14.80±0.08$^{f}$ |
| นครศรีธรรมราช (หัวไทร) | 3.77±0.20$^{b}$ | 14.75±0.24$^{f}$ |
| พัทลุง (ตะโหมด) | 3.78±0.08$^{b}$ | 16.13±0.15$^{d}$ |

หมายเหตุ : เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยในแนวตั้งโดยใช้ตัวอักษร ถ้าตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($P \geq 0.05$)

**คุณค่าทางโภชนาการ**

จากการนำข้าวเปลือกพันธุ์สังข์หยดพัทลุงที่ผลิตจากต่างพื้นที่ ใน 6 จังหวัดภาคใต้ มาสีเป็นข้าวกล้อง และผลิตเป็นข้าวนึ่งกล้อง วิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการในข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุง พบว่าปริมาณความชื้นในเมล็ดข้าวกล้องและข้าวนึ่งกล้องมีค่าแตกต่างกัน ($P \leq 0.05$) โดยข้าวสังข์หยดจาก จ.ตรัง มีค่าสูงที่สุด เท่ากับร้อยละ 11.36 รองลงมาได้แก่ สงขลา สตูล นครศรีธรรมราช กระบี่ และพัทลุง มีค่าเท่ากับร้อยละ 10.65, 10.63, 10.58, 10.56 และ 9.83 ตามลำดับ เช่นเดียวกับข้าวนึ่งกล้อง พบว่า จังหวัดตรัง มีค่าสูงที่สุด เท่ากับร้อยละ 10.16 รองลงมา ได้แก่ สงขลา สตูล นครศรีธรรมราช กระบี่ และ พัทลุง มีค่าร้อยละ 10.13, 9.86, 9.83, 9.80 และ 9.03 ตามลำดับ โดยค่าที่ได้นี้มีแนวโน้มความชื้นในข้าวกล้องสูงกว่าข้าวนึ่งกล้อง เมื่อเปรียบเทียบในจังหวัดเดียวกัน จะเห็นได้ว่า ข้าวกล้องมีความชื้นสูงกว่าข้าวนึ่งกล้อง ส่วน ปริมาณโปรตีน ไขมัน และเถ้า มีค่าแตกต่างกันดังนี้ (ตารางที่ 2) ปริมาณโปรตีนในข้าวสังข์หยดที่ปลูกพื้นที่ จ.ตรัง มีค่าสูงที่สุด ($P \leq 0.05$) เท่ากับร้อยละ 9.09 รองลงมา คือ จ.กระบี่ สงขลา และพัทลุง ซึ่งมีค่าเท่ากับร้อยละ8.11, 8.09 และ 8.01 ตามลำดับ ไม่ต่างกันทางสถิติ ส่วนข้าวจาก นครศรีธรรมราช และ จ. สตูล มีปริมาณโปรตีนต่ำสุด

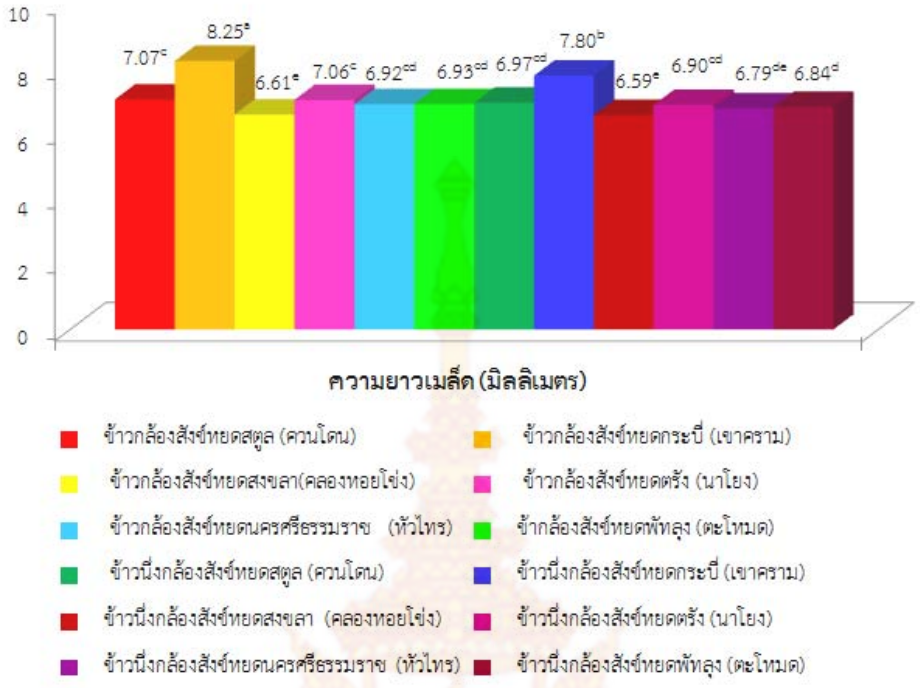
เท่ากับ 7.31 และ 6.09 ตามลำดับ ส่วนข้าวนึ่งมีแนวโน้มปริมาณโปรตีนสูงกว่าข้าวกล้อง โดย ข้าวนึ่งกล้องจากจังหวัดตรัง มีค่าสูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 9.42 รองลงมา ได้แก่ กระบี่ สงขลา พัทลุง นครศรีธรรมราช และ สตูล มีค่าเท่ากับร้อยละ 8.83, 8.23, 8.22, 7.38 และ 7.21 ตามลำดับ

ปริมาณไขมันในข้าวสังข์หยดพัทลุงที่ผลิตจากต่างพื้นที่ ใน 6 จังหวัดภาคใต้ พบว่าข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงที่ปลูกในพื้นที่ จ.พัทลุง มีค่าสูงที่สุด ($P \leq 0.05$) เท่ากับร้อยละ 2.73 รองลงมา ได้แก่ จ.ตรัง จ.สตูล จ.สงขลา จ.นครศรีธรรมราช และ กระบี่ มีค่าเท่ากับร้อยละ 2.00, 1.65, 1.52, 1.48 และ 1.03 ตามลำดับ ทั้งนี้ปริมาณไขมันในข้าวกล้องมีแนวโน้มต่ำกว่าข้าวนึ่งกล้อง โดยข้าวนึ่งกล้องจากแหล่งผลิตจังหวัดตรังมีค่าสูงที่สุด ($P \leq 0.05$) เท่ากับร้อยละ 3.26 รองลงมาคือ จ.นครศรีธรรมราช จ.พัทลุง จ.กระบี่ จ.สงขลา และ จ.สตูล มีค่าเท่ากับร้อยละ 3.02, 2.90, 2.34, 2.26 และ 1.50 ตามลำดับ

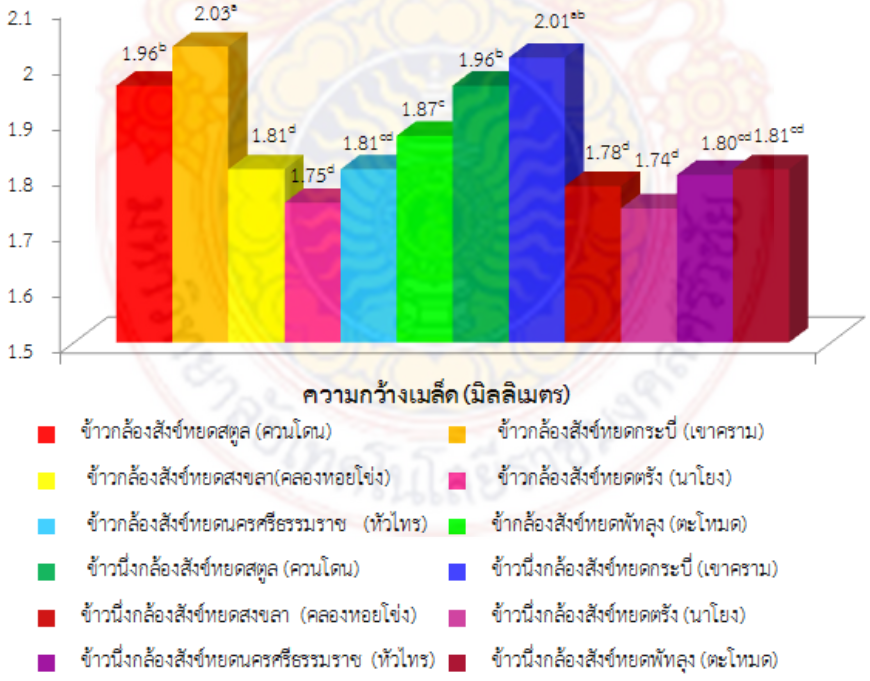
ส่วนปริมาณเถ้า เป็นองค์ประกอบที่สามารถใช้ในการบ่งชี้คุณภาพข้าว พบว่า ข้าวทั้ง 5 จังหวัด ได้แก่ กระบี่ ตรัง นครศรีธรรมราช สตูล และพัทลุง มีค่าไม่แตกต่างกัน โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 1.57, 1.54, 1.40, 1.33 และ 1.32 ตามลำดับ ยกเว้นข้าวจากจังหวัดสงขลามีปริมาณเถ้าต่ำที่สุด ($P \leq 0.05$) เท่ากับร้อยละ 1.23 (ตารางที่ 2) เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวนึ่งกล้อง พบว่ามีค่าไม่แตกต่างจากข้าวกล้อง โดยข้าวนึ่งกล้องทั้ง 5 จังหวัด ได้แก่ กระบี่ ตรัง นครศรีธรรมราช สตูล และพัทลุง มีค่าเท่ากับร้อยละ 1.52, 1.38, 1.37, 1.37 และ 1.33 ตามลำดับ ส่วนข้าวนึ่งกล้องจากจังหวัดสงขลา มีปริมาณเถ้าต่ำที่สุด เท่ากับร้อยละ 1.24

การทดลองนี้ บ่งชี้ว่าคุณค่าทางโภชนาการในข้าวซึ่งต่างแหล่งผลิตกัน มีคุณค่าทางโภชนาการแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีแนวโน้มว่าคุณค่าทางโภชนาการในข้าวสังข์หยดที่ผลิตจากแหล่ง จ.ตรัง จะมีค่าที่สูงกว่าจังหวัดอื่นๆ เมื่อนำมาผลิตเป็นข้าวนึ่งกล้อง พบว่าปริมาณโปรตีนในข้าวนึ่งกล้องมีแนวโน้มสูงกว่าข้าวกล้อง แสดงว่าการนึ่งข้าวมีผลต่อการเพิ่มปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าวได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

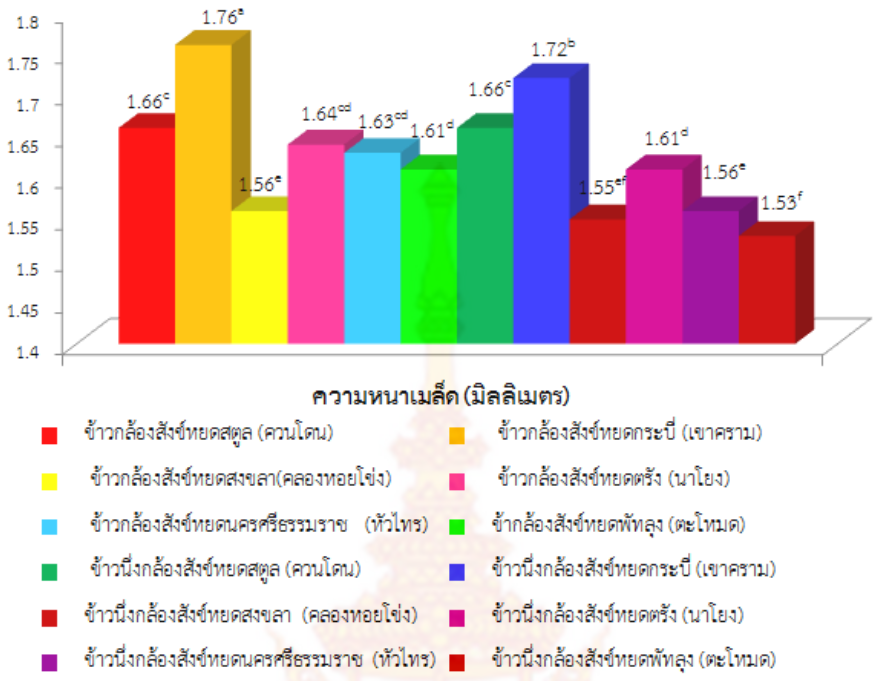
ที่เป็นเช่นนี้อาจเพราะ การผลิตข้าวในแต่ละพื้นที่มีกระบวนการปลีกย่อยที่แตกต่างกันออกไป เนื่องจากงานวิจัยนี้ใช้การเก็บตัวอย่างข้าวในพื้นที่ผลิตจริงตามแบบการผลิตของเกษตรกร โดยไม่ได้มีการควบคุมดูแลแปลงปลูกและการเก็บเกี่ยวให้เหมือนกัน จึงอาจมีผลต่อการสะสมโปรตีนในเมล็ดข้าว ซึ่งมีความแตกต่างกันได้ จากการใส่ปุ๋ยต่างชนิดกัน เมื่อนำมาแปรรูปเป็นข้าวนึ่ง ด้วยกระบวนการนำข้าวเปลือกไปแช่ในน้ำที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง นึ่งข้าวด้วยไอน้ำในหม้อนึ่งความดัน อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง อบที่อุณหภูมิ 60-75 องศาเซลเซียส ในตู้อบลมร้อนแบบถาด เป็นเวลา 1 คืน ก่อนนำมาสีเป็นข้าวกล้อง พบว่าข้าวนึ่งสามารถเพิ่มคุณค่าของสารอาหารทั้งปริมาณโปรตีนและไขมันให้สูงกว่าข้าวกล้องได้



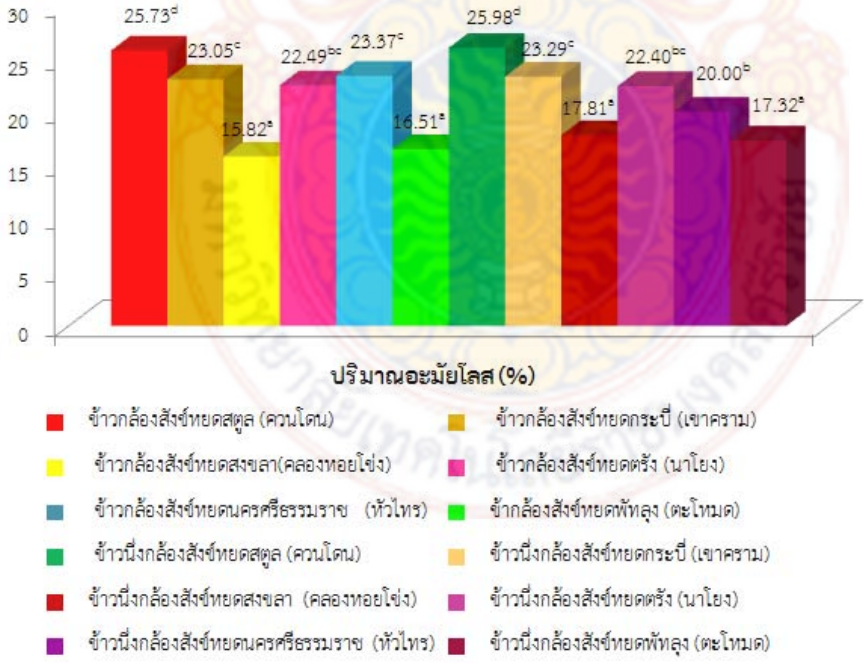

**ภาพที่ 1** ความยาวเมล็ดของข้าวกล้องและข้าวนึ่งกล้องสังข์หยดที่ปลูกในจังหวัดทางภาคใต้




**ภาพที่ 2** ความกว้างเมล็ดของข้าวกล้องและข้าวนึ่งกล้องสังข์หยดที่ปลูกในจังหวัดทางภาคใต้




**ภาพที่ 3** ความหนาเมล็ดของข้าวกล้องและข้าวนึ่งกล้องสังข์หยดที่ปลูกในจังหวัดทางภาคใต้




**ภาพที่ 4** ปริมาณอะไมโลสของข้าวกล้องและข้าวนึ่งกล้องสังข์หยดที่ปลูกในจังหวัดทางภาคใต้

**ตารางที่ 2** คุณค่าทางโภชนาการในข้าวกล้องและข้าวนึ่งกล้องสังข์หยดที่ปลูกในจังหวัดทางภาคใต้

| ข้าวสังข์หยด / จังหวัด | คุณค่าทางโภชนาการ | | | |
|---|---|---|---|---|
| | ความชื้น (%) | เถ้า (%) | โปรตีน (%) | ไขมัน (%) |
| ข้าวกล้อง | | | | |
| สตูล | 10.63±0.24$^{b}$ | 1.33±0.02$^{ab}$ | 6.90±0.05$^{g}$ | 1.65±0.41$^{f}$ |
| กระบี่ | 10.56±0.18$^{bc}$ | 1.57±0.23$^{a}$ | 8.11±0.01$^{d}$ | 1.03±0.09$^{g}$ |
| สงขลา | 10.65±0.52$^{b}$ | 1.23±0.14$^{b}$ | 8.09±0.01$^{d}$ | 1.52±0.11$^{f}$ |
| ตรัง | 11.36±0.25$^{a}$ | 1.54±0.21$^{a}$ | 9.09±0.05$^{b}$ | 2.00±0.02$^{e}$ |
| นครศรีธรรมราช | 10.58±0.27$^{bc}$ | 1.40±0.10$^{ab}$ | 7.31±0.33$^{ef}$ | 1.48±0.04$^{f}$ |
| พัทลุง | 9.83±0.15$^{d}$ | 1.32±0.07$^{ab}$ | 8.01±0.16$^{d}$ | 2.73±0.07$^{d}$ |
| ข้าวนึ่งกล้อง | | | | |
| สตูล | 9.86±0.04$^{d}$ | 1.37±0.04$^{ab}$ | 7.21±0.09$^{ef}$ | 1.50±0.04$^{f}$ |
| กระบี่ | 9.80±0.06$^{d}$ | 1.52±0.19$^{a}$ | 8.83±0.14$^{c}$ | 2.34±0.02$^{de}$ |
| สงขลา | 10.03±0.17$^{c}$ | 1.24 ±0.18$^{b}$ | 8.23±0.10$^{d}$ | 2.26±0.13$^{e}$ |
| ตรัง | 10.16±0.23$^{c}$ | 1.38±0.11$^{ab}$ | 9.42±0.07$^{a}$ | 3.26±0.05$^{ab}$ |
| นครศรีธรรมราช | 9.83±0.23$^{d}$ | 1.37±0.18$^{ab}$ | 7.38±0.05$^{e}$ | 3.02±0.21$^{b}$ |
| พัทลุง | 9.03±0.19$^{e}$ | 1.33±0.09$^{ab}$ | 8.22±0.05$^{c}$ | 2.90±0.16$^{c}$ |

หมายเหตุ : เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยในแนวตั้งโดยใช้ตัวอักษร ถ้าตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($P \geq 0.05$)

**สมบัติทางกายภาพของข้าวกล้องและข้าวนึ่งกล้อง**

**ปริมาณอะไมโลส (Amylose content)**

การวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลส ในข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงที่ผลิตจากต่างพื้นที่ ใน 6 จังหวัดภาคใต้ (ภาพที่ 4) พบว่า มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 15.82 - 25.98 แตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยข้าวกล้องสังข์หยดที่ผลิตจากจังหวัดพัทลุง และจังหวัดสงขลามีค่าต่ำที่สุด เท่ากับร้อยละ 15.82 และ 16.51 ตามลำดับ ส่วนข้าวสังข์หยดจากจังหวัดตรัง กระบี่ และนครศรีธรรมราช มีค่าสูงกว่า เท่ากับร้อยละ 22.49, 23.05 และ 23.37 ตามลำดับ และข้าวจากจังหวัดสตูลมีค่าสูงที่สุด คือร้อยละ 25.73 แต่ยังอยู่ในกลุ่มข้าวอะไมโลสปานกลาง ส่งผลให้ข้าวหุงสุกมีความแข็งกว่าข้าวสังข์หยดที่ปริมาณอะไมโลสต่ำกว่า ทั้งนี้จากผลการทดลองที่พบว่าการปลูกข้าวสังข์หยดต่างพื้นที่ มีผลต่อระดับปริมาณอะไมโลสมีค่าแตกต่างกัน จึงสามารถตอบข้อสงสัยของผู้บริโภคได้ถึงเนื้อสัมผัสของความนุ่มเหนียวของข้าวในแต่ละพื้นที่ ซึ่งมีความนุ่มแตกต่างกัน เพราะปริมาณอะไมโลสต่างกันนั่นเอง สอดคล้องกับลักษณะที่ปรากฏจากการหุงสุกคือปริมาณอะไมโลสต่ำ มีลักษณะเมล็ดนุ่ม เหนียว แต่ข้าวที่มี

ปริมาณอะไมโลสสูงกว่า จะมีความแข็งร่วนมากกว่า เมื่อนำข้าวไปแปรรูปเป็นข้าวนึ่งกล้อง พบว่า ข้าวนึ่งกล้องสังข์หยดที่ผลิตจากจังหวัดพัทลุง และจังหวัดสงขลามีค่าต่ำที่สุด เท่ากับร้อยละ 17.32 และ 17.81 ตามลำดับ ส่วนข้าวสังข์หยดจากจังหวัดนครศรีธรรมราช ตรัง กระบี่ มีค่าสูงกว่า เท่ากับร้อยละ 20.00, 22.40 และ 23.29 ตามลำดับ และข้าวจากจังหวัดสตูลมีปริมาณอะไมโลสสูงที่สุด คือร้อยละ 25.98 ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบระหว่างข้าวกล้องและข้าวนึ่งในจังหวัดเดียวกัน พบว่า การนึ่งไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณอะไมโลสในข้าว

**ปริมาณน้ำตาลรวม**

การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรวม (ตารางที่ 3) พบว่า ปริมาณน้ำตาลรวมในข้าวกล้องสังข์หยดที่ผลิตในจังหวัดนครศรีธรรมราชมีค่ามากที่สุด ($P \leq 0.05$) เท่ากับ 2.59 มก./มล. รองลงมาได้แก่ จังหวัดพัทลุง และตรัง มีค่าเท่ากับ 1.77 และ 1.52 มก./มล. ตามลำดับ ส่วนอีก 3 จังหวัด ได้แก่ สงขลา กระบี่ และสตูล มีปริมาณน้ำตาลรวมต่ำกว่า มีค่ากับ 1.19, 1.13 และ 0.97 มก./มล. ตามลำดับ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P \geq 0.05$) เมื่อนำข้าวไปแปรรูปเป็นข้าวนึ่งกล้อง พบว่า ข้าวนึ่งกล้องสังข์หยดมีแนวโน้มปริมาณน้ำตาลรวมสูงกว่าข้าวกล้อง โดยข้าวนึ่งกล้องที่ผลิตจากจังหวัดกระบี่ และจังหวัดสงขลามีปริมาณน้ำตาลรวมสูงที่สุด เท่ากับร้อยละ 3.60 และ 3.30 มก./มล. ตามลำดับ รองลงมา ได้แก่ ข้าวสังข์หยดจากจังหวัดพัทลุง และ ตรัง มีค่าเท่ากับร้อยละ 3.01 และ 2.49 มก./มล. ตามลำดับ และข้าวจากจังหวัดสตูล กับ นครศรีธรรมราช มีปริมาณน้ำตาลรวมต่ำที่สุด เท่ากับ 1.67 และ 1.71 มก./มล. ตามลำดับ ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบระหว่างข้าวกล้องและข้าวนึ่งในจังหวัดเดียวกัน พบว่า การนึ่งมีผลต่อการเพิ่มปริมาณน้ำตาลรวมในข้าว

**ความคงตัวของแป้งสุก (Gel consistency)**

การศึกษาความคงตัวของแป้งสุก ทดสอบโดยอ่านระยะทางที่แป้งไหล มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร ถ้าค่าความคงตัวของแป้งสุกลดลง แสดงว่าระยะทางการไหลของแป้งจะเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาความคงตัวของแป้งสุก (ตารางที่ 3) ในข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงที่ผลิตจากต่างพื้นที่ ใน 6 จังหวัดภาคใต้ พบว่า มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยอยู่ระหว่าง 66.00-69.67 มิลลิเมตร ทั้งนี้ทุกตัวอย่างมีค่าการไหลของแป้งสุกมากกว่า 60 หมายถึงเมล็ดข้าวสารมีลักษณะแป้งข้าวสุกอ่อน เมื่อนำข้าวไปแปรรูปเป็นข้าวนึ่งกล้อง พบว่า ข้าวนึ่งกล้องสังข์หยดมีแนวโน้มความคงตัวของแป้งสุกลดลงกว่าข้าวกล้อง เพราะมีค่าระยะทางการไหลมากกว่า โดยข้าวนึ่งกล้องที่ผลิตจากจังหวัดตรัง และจังหวัดนครศรีธรรมราช มีความคงตัวของแป้งสุกลดลงไม่แตกต่างกัน มีค่าระยะทางการไหลเท่ากับ 80.67-81.00 มิลลิเมตร และข้างสังข์หยดจากจังหวัดที่เหลือ ได้แก่ สตูล กระบี่ สงขลา และพัทลุงมีค่าลดลงมากกว่า คือมีระยะทางการไหล อยู่ในช่วงระหว่าง 85.67-90.00 มิลลิเมตร ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบระหว่างข้าวกล้องและข้าวนึ่งในจังหวัดเดียวกัน พบว่า การนึ่งมีผลต่อการลดลงของค่าความคงตัวแป้งสุก ส่งผลให้ความคงตัวของแป้งสุกในข้าวกล้องและข้าวนึ่งกล้องมีค่าต่างกัน แต่ทุกตัวอย่างมีค่าการไหลของแป้งสุกมากกว่า 60 ซึ่งหมายถึงเมล็ดข้าวสารมีลักษณะแป้งข้าวสุกอ่อน แม้ว่าจะเป็นข้าวกล้องเก็บเกี่ยวใหม่ หรือข้าวกล้องเก่า เมื่อนำมาทำให้เป็นข้าวนึ่ง ความร้อนจากการแปรรูปส่งผลต่อค่าความคงตัวของแป้งสุก ค่าที่ได้จึงแตกต่างกัน แต่ทุกตัวอย่างยังคงจัดอยู่ในกลุ่มแป้งข้าวสุกอ่อนเช่นเดียวกัน

**ตารางที่ 3** สมบัติทางกายภาพของข้าวกล้องและข้าวนึ่งกล้องสังข์หยดที่ปลูกในจังหวัดทางภาคใต้

| ข้าวสังข์หยด / จังหวัด | คุณค่าทางกายภาพ | | |
|---|---|---|---|
| | ความคงตัวของแป้งสุก (มม.) | น้ำตาลรวม (mg/ml) | การสลายตัวในด่าง (คะแนน) |
| ข้าวกล้อง | | | |
| สตูล (ควนโดน) | 68.00±3.46$^{c}$ | 0.97±0.14$^{e}$ | 4 |
| กระบี่ (เขาคราม) | 67.67±2.52$^{c}$ | 1.13±0.09$^{e}$ | 4 |
| สงขลา (คลองหอยโข่ง) | 69.67±3.79$^{c}$ | 1.19±0.02$^{e}$ | 3 |
| ตรัง (นาโยง) | 68.33±3.79$^{c}$ | 1.52±0.13$^{d}$ | 3 |
| นครศรีธรรมราช (หัวไทร) | 66.00±5.29$^{c}$ | 2.59±0.25$^{c}$ | 3 |
| พัทลุง (ตะโหมด) | 66.33±3.21$^{c}$ | 1.77±0.04$^{d}$ | 3 |
| ข้าวนึ่งกล้อง | | | |
| สตูล (ควนโดน) | 85.67±3.21$^{ab}$ | 1.67±0.03$^{d}$ | 7 |
| กระบี่ (เขาคราม) | 90.00±0.00$^{a}$ | 3.60±0.62$^{a}$ | 7 |
| สงขลา (คลองหอยโข่ง) | 85.67±0.58$^{ab}$ | 3.30±0.49$^{ab}$ | 7 |
| ตรัง (นาโยง) | 81.00±4.36$^{b}$ | 2.49±0.23$^{c}$ | 7 |
| นครศรีธรรมราช (หัวไทร) | 80.67±1.15$^{b}$ | 1.71±0.08$^{d}$ | 7 |
| พัทลุง (ตะโหมด) | 90.00±2.00$^{a}$ | 3.01±0.15$^{b}$ | 7 |

หมายเหตุ* : เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยในแนวตั้งโดยใช้ตัวอักษร ถ้าตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($P \geq 0.05$)

** : คะแนนค่าการสลายตัวในด่าง 3 คือ เมล็ดข้าวพองตัวและมีแป้งกระจายออกมาจากบางส่วนของเมล็ด

คะแนนค่าการสลายตัวในด่าง 4 คือ เมล็ดข้าวพองตัวและมีแป้งกระจายออกมารอบเมล็ดข้าวเป็นบริเวณกว้าง

คะแนนค่าการสลายตัวในด่าง 7 คือ เมล็ดข้าวสลายตัวตลอดทั้งเมล็ด และมีลักษณะเป็นแป้งเปียกใส

**ค่าการสลายตัวในด่าง (Alkaline test)**

ค่าการสลายตัวของเมล็ดในสารละลายด่าง สามารถใช้คาดคะเนคุณสมบัติข้าวหลังหุงสุก รวมทั้งระยะเวลาในการหุงสุก ระดับการสลายตัวบอกได้เป็นตัวเลข ถ้าข้าวมีระดับการกระจายตัวในด่างสูงทำให้เวลาในการหุงต้มน้อยกว่าระดับการกระจายตัวต่ำ ผลการศึกษาการสลายตัวของเมล็ดในด่าง ให้ผลการทดลองตามตารางที่ 3 พบว่า ข้าวกล้องและข้าวกล้องนึ่งสังข์หยดพัทลุงที่ผลิตจากต่าง

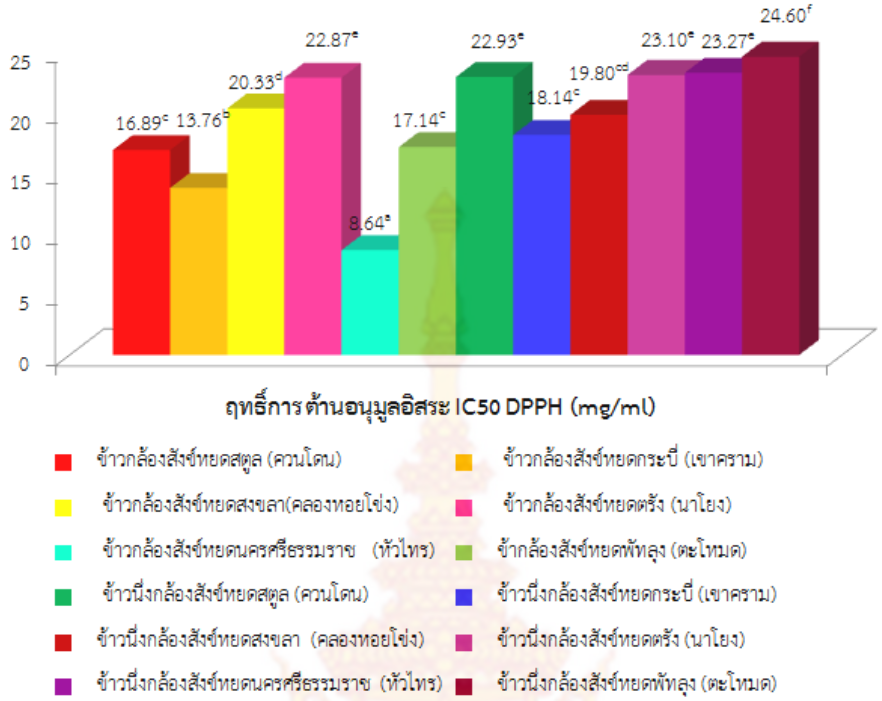
พื้นที่ ใน 6 จังหวัดภาคใต้ มีค่าการสลายตัวในด่างแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ข้าวนึ่งกล้องมีค่าการสลายตัวมากกว่าข้าวกล้อง โดยข้าวกล้องจากจังหวัดตรัง สงขลา นครศรีธรรมราช และพัทลุง มีค่าไม่ต่างกัน ($P \geq 0.05$) คือระดับ 3 และมีค่าต่ำกว่าข้าวจากจังหวัดสตูล และกระบี่ ซึ่งให้ค่าที่ระดับ 4 เมื่อนำข้าวไปแปรรูปเป็นข้าวนึ่งกล้อง พบว่า ข้าวนึ่งกล้องสังข์หยดมีค่าการสลายตัวในด่างสูงกว่าข้าวกล้อง และมีค่าไม่แตกต่างกันทั้ง 6 จังหวัด คืออยู่ในระดับ 7 เท่ากันหมด แสดงว่าการนึ่งมีผลต่อค่าการสลายตัวในด่าง ส่งผลให้ค่าที่ปรากฏในข้าวกล้องและข้าวนึ่งกล้องมีค่าต่างกัน ซึ่งการทดลองที่ได้ทำให้ทราบว่าระยะเวลาการหุงสุกข้าวนึ่งกล้องจะเร็วกว่าข้าวกล้อง

**ผลการวิเคราะห์สารพฤกษเคมี**

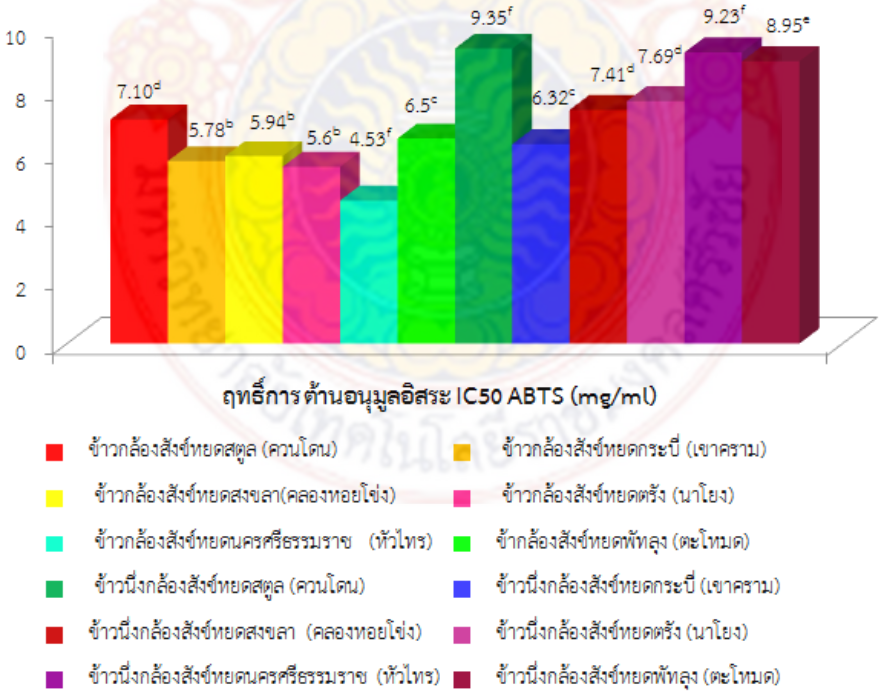
**กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ**

กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัด ตรวจสอบโดยวิธี DPPH radical scavenging assay รายงานผลในหน่วยค่าความเข้มข้นที่ให้ผลต้านออกซิเดชันครึ่งหนึ่ง ($IC_{50}$) หากค่า $IC_{50}$ ต่ำจะแสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูง ดังนั้น ผลการตรวจสอบกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของข้าวพันธุ์สังข์หยดที่ผลิตจากต่างพื้นที่ ใน 6 จังหวัดภาคใต้ (ภาพที่ 5) พบว่า ข้าวจากแหล่งผลิตนครศรีธรรมราช มีค่า $IC_{50}$ เท่ากับ 8.64 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร แสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีที่สุด รองลงมาคือ จังหวัดกระบี่ สตูล พัทลุง สงขลา และตรัง มีค่า $IC_{50}$ เท่ากับ 13.76, 16.89, 17.14, 20.33 และ 22.87 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ส่วนข้าวนึ่งกล้องที่ผลิตจากจังหวัดกระบี่ มีค่า $IC_{50}$ เท่ากับ 18.14 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร แสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีที่สุด รองลงมาคือจังหวัดสงขลา สตูล ตรัง นครศรีธรรมราช และพัทลุง มีค่า $IC_{50}$ เท่ากับ 19.80, 22.93, 23.10, 23.27 และ 24.60 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ทั้งนี้ ข้าวกล้องแสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีกว่าข้าวนึ่งกล้อง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

เมื่อตรวจสอบกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัด โดยวิธี ABTS assay จะให้ผลการทดสอบสอดคล้องกับวิธีการแบบ DPPH assay (ภาพที่ 6) โดยข้าวจากแหล่งผลิตนครศรีธรรมราช มีค่า $IC_{50}$ เท่ากับ 4.53 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร แสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีที่สุด รองลงมาคือ จังหวัดตรัง กระบี่ สงขลา พัทลุง และสตูล มีค่า $IC_{50}$ เท่ากับ 5.60, 5.78, 5.94, 6.5 และ 7.10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ($P \leq 0.05$) ส่วนข้าวนึ่งกล้องที่ผลิตจากจังหวัดกระบี่ มีค่า $IC_{50}$ เท่ากับ 6.32 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร แสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีที่สุด รองลงมาคือจังหวัดสงขลา ตรัง พัทลุง นครศรีธรรมราช และสตูล มีค่า $IC_{50}$ เท่ากับ 7.41, 7.69, 8.95, 9.23 และ 9.35 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ($P \leq 0.05$) ทั้งนี้ ข้าวกล้องแสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีกว่าข้าวนึ่งกล้องเช่นเดียวกัน จึงอาจกล่าวพื้นที่แหล่งปลูกต่างกัน ส่งผลให้ข้าวแสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้แตกต่างกัน อีกทั้งระยะเวลาในการเก็บรักษาข้าวเปลือกก่อนการเก็บตัวอย่างมาทำการวิเคราะห์ของตัวอย่างแต่ละจังหวัดต่างกัน อาจส่งผลต่อการลดลงของปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระได้ รวมถึงกระบวนการนึ่งข้าว มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระในข้าวสังข์หยดพัทลุงให้ลดลง โดยอาจมาจากความร้อนที่รุนแรงขณะทำการนึ่งส่งผลต่อการทำลายสารต้านอนุมูลอิสระบางส่วนหายไป จนอาจส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระหลังการนึ่งข้าว




**ภาพที่ 5** ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ $IC_{50}$ DPPH ของข้าวกล้องและข้าวนึ่งกล้องสังข์หยดที่ปลูกในจังหวัดทางภาคใต้




**ภาพที่ 6** ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ $IC_{50}$ ABTS ของข้าวกล้องและข้าวนึ่งกล้องสังข์หยดที่ปลูกในจังหวัดทางภาคใต้

**ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารฟินอลิกในข้าวสังข์หยดพัทลุง**

จากการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟินอลิกในข้าวกล้องพันธุ์สังข์หยดที่ผลิตจากต่างพื้นที่ใน 6 จังหวัดภาคใต้ พบว่า ข้าวกล้องจากแหล่งผลิตนครศรีธรรมราช มีปริมาณสารประกอบฟินอลิกมากที่สุด เท่ากับ 11.91 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิคต่อกรัมข้าว รองลงมาคือ จังหวัดกระบี่และพัทลุง มีค่าเท่ากับ 9.20 และ 9.13 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิคต่อกรัมข้าว ตามลำดับ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ส่วนจังหวัดสตูล สงขลา และตรัง มีค่าเท่ากับ 7.54, 4.74 และ 4.08 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิคต่อกรัมข้าว ตามลำดับ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวนึ่งกล้อง พบว่าข้าวกล้องมีแนวโน้มปริมาณสารประกอบฟินอลิกสูงกว่าข้าวนึ่งกล้อง โดย ข่าวนึ่งจากจังหวัดกระบี่ มีปริมาณสารประกอบฟินอลิกสูงที่สุด เท่ากับ 7.47 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิคต่อกรัมข้าว รองลงมาคือ จังหวัดตรัง พัทลุง สตูล สงขลา และนครศรีธรรมราช มีค่าเท่ากับ 6.66, 5.65, 5.48, 5.12 และ 4.33 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิคต่อกรัมข้าว ตามลำดับ ($P \leq 0.05$) จะเห็นได้ว่า ปริมาณสารประกอบฟินอลิก มีค่าสอดคล้องไปในทำนองเดียวกับปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ เมื่อพิจารณาผลการนึ่ง พบว่า ข้าวกล้องมีแนวโน้มปริมาณสารประกอบฟินอลิกสูงว่าข้าวนึ่งกล้อง ทั้งนี้การนึ่งต้องนำข้าวเปลือกมาผ่านกระบวนการแช่น้ำก่อนนำไปนึ่ง จึงอาจส่งผลต่อการลดลงของสารประกอบฟินอลิก ทั้งนี้ กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระและ ปริมาณสารประกอบฟินอลิก มีค่าไปในทิศทางเดียวกัน จึงกล่าวได้ว่าการแช่น้ำ การให้ความร้อนร่วมจากการนึ่ง มีผลต่อการลดลงของสารพฤกษเคมีในเมล็ดข้าว

**ตารางที่ 4** สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของข้าวกล้องและข้าวนึ่งกล้องสังข์หยดที่ปลูกในจังหวัดทางภาคใต้

| ข้าวสังข์หยด / จังหวัด | ปริมาณฟินอลิก (mg gallic / g sample) |
|---|---|
| ข้าวกล้อง | |
| สตูล | 7.54±0.83[c] |
| กระบี่ | 9.20±0.52[b] |
| สงขลา | 4.74±0.34[f] |
| ตรัง | 4.08±0.44[f] |
| นครศรีธรรมราช | 11.91±0.73[a] |
| พัทลุง | 9.13±0.80[b] |
| ข้าวนึ่งกล้อง | |
| สตูล | 5.48±0.23[e] |
| กระบี่ | 7.47±0.61[c] |
| สงขลา | 5.12±0.16[e] |
| ตรัง | 6.66±0.60[d] |
| นครศรีธรรมราช | 4.33±0.23[f] |
| พัทลุง | 5.65±0.01[e] |

หมายเหตุ* : เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยในแนวตั้งโดยใช้ตัวอักษร ถ้าตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($P \geq 0.05$)

# วิจารณ์ผล

## การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ และคุณค่าทางโภชนาการ

### ลักษณะของเมล็ดทางกายภาพ

การตรวจสอบคุณภาพเมล็ดทางกายภาพของข้าวสังข์หยดพัทลุงที่ผลิตจากต่างพื้นที่ ใน 6 จังหวัดภาคใต้ พบว่า ความยาว ความกว้าง ความหนาของเมล็ดข้าวกล้องและข้าวกล้องนึ่งในจังหวัดเดียวกันมีค่าไม่แตกต่างกัน ($P \geq 0.05$) แต่ความยาว ความกว้าง ความหนาของเมล็ดข้าวกล้องทั้ง 6 จังหวดมีค่าแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) โดยข้าวสังข์หยดจาก จ.กระบี่ มีค่าสูงที่สุด ($p \leq 0.05$) ความยาวของเมล็ดข้าว รองลงมา คือจังหวัดสตูล ตรัง พัทลุง และนครศรีธรรมราช ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P \geq 0.05$) ส่วนข้าวสังข์หยดจากสงขลามีค่าต่ำที่สุด ขณะที่ความกว้างของเมล็ดข้าว รองลงมา คือ สตูล พัทลุง สงขลา นครศรีธรรมราช และตรัง ส่วนความหนาของข้าวรองลงมา คือ จังหวัดสตูล ตรัง นครศรีธรรมราช พัทลุง และ สงขลา ส่งผลให้อัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้างของข้าวกล้องจากจังหวัดกระบี่ ตรัง และนครศรีธรรมราช มีค่าสูงที่สุด ($P \leq 0.05$) ค่าที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ อาจเนื่องมาจากปัจจัยภายนอก ได้แก่ วิธีการปลูก การใช้ปุ๋ย การเก็บเกี่ยวและสภาพพื้นที่ เป็นต้น เมื่อพิจารณาการนึ่ง พบว่า ข้าวนึ่งกล้อง มีอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้างแตกต่างกัน โดยข้าวจากจังหวัดกระบี่ และ ตรัง มีค่าสูงที่สุด รองลงมา ได้แก่ จังหวัดพัทลุง นครศรีธรรมราช สงขลาและสตูล การเปรียบเทียบในจังหวัดเดียวกัน พบว่า ข้าวกล้องมีอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้างมากกว่าข้าวนึ่งกล้อง การทดลองนี้ บ่งชี้ว่าเป็นข้าวทั้ง 6 จังหวัด เป็นชนิดอินดิกา (Indica) (วุฒิชัย, 2535) และอัตราส่วนความยาวและความกว้างของเมล็ดข้าวกล้องสังข์หยด จัดอยู่ในเกณฑ์รูปร่างเรียวเพราะมีค่าอัตราส่วนของเมล็ดมากกว่า 3.01 (อรอนงค์, 2550) เช่นเดียวกับรายงานผลของการวิจัยข้าวสังข์หยดพัทลุงของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2552) พบว่า ความยาวเมล็ด ความกว้าง และน้ำหนัก 100 เมล็ด มีค่าเท่ากับ 6.50 มิลลิเมตร 1.60 มิลลิเมตร และ 1.98 กรัม ตามลำดับ ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดลองครั้งนี้ แต่ต่างจากรายงานของสุรัตน์ และ กฤษณา (2551) ที่ศึกษาลักษณะกายภาพของข้าวหอมมะลิ 105 พบว่า ความยาวและความหนาของเมล็ดข้าวนึ่งมีค่าสูงกว่าข้าวกล้อง ทั้งนี้อาจเนื่องจากความชื้นในตัวอย่างข้าวมีค่าแตกต่างกัน ส่วนกรกฤต (2551) พบว่าข้าวเปลือกหอมมะลิที่ความชื้น 14% ที่ได้จากกระบวนการทำข้าวนึ่ง มีความยาว ความกว้าง และความหนา10.52, 2.40 และ 1.97 ซม. ส่วนอัตราความยาวต่อความกว้าง เท่ากับ 4.39 เมื่อสีเป็นข้าวนึ่งกล้องจะมีความยาว ความกว้าง และความหนาเท่ากับ 8.10, 2.02 และ 1.75 ซม. อัตราความยาวต่อความกว้างเท่ากับ 4.16 น้ำหนักเมล็ดข้าวนึ่งกล้อง เท่ากับ 23.30 มิลลิกรัมต่อเมล็ด แตกต่างจาการทดลองครั้งนี้ เพราะข้าวนึ่งและข้าวกล้องมีค่าไม่แตกต่างกัน

เมื่อพิจารณาน้ำหนักต่อ 1,000 เมล็ด พบว่า ข้าวกล้องและข้าวนึ่งกล้องสังข์หยดจากจังหวัดกระบี่ มีน้ำหนักเมล็ดมากที่สุด รองลงมา ได้แก่ สตูล พัทลุง ตรัง นครศรีธรรมราช และสงขลา ตามลำดับ ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบในจังหวัดเดียวกัน พบว่า ข้าวกล้องมีแนวโน้มน้ำหนักต่อ 1,000 เมล็ดสูงกว่าข้าวนึ่งกล้อง ต่างจากรายงานของกรกฤต (2551) ที่พบว่าข้าวหอมมะลิ 105 ที่ผ่านการผลิตเป็นข้าวนึ่งกล้อง มีน้ำหนักเมล็ดเพิ่มมากกว่ากลุ่มควบคุม โดยน้ำหนักเมล็ดข้าวนึ่งกล้อง มีน้ำหนักต่อเมล็ดสูงกว่าข้าวกล้องชุดควบคุม อาจเพราะ ขั้นตอนการแช่น้ำ อุณหภูมิที่ใช้แช่อาจกระตุ้นการทำงานของ

เอนไซม์บางกลุ่มที่สร้างสารต่างๆ หรือกระตุ้นการผลิตสิ่งต่างๆ ขึ้นในเมล็ดข้าวทำให้น้ำหนักมากขึ้น และขนาดของเมล็ดข้าวนึ่งกล้องมีความยาวสูงกว่าข้าวกล้องชุดควบคุม แต่ความกว้างและความหนาน้อยกว่า อาจเป็นเพราะ เมล็ดข้าวนึ่งกล้องมีการขยายตัวเพิ่มขึ้น ทำให้เมล็ดข้าวเรียวขึ้น กว้างและหนาน้อยลง Saif Suter and Lan (2004) ศึกษาผลของกระบวนการทำข้าวนึ่งต่อขนาดของข้าว พบว่ากระบวนการผลิตข้าวนึ่งทำให้ความกว้าง และความยาวของข้าวเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกันกับรายงานของ Thakor and Guptar (2005)

**คุณค่าทางโภชนาการ**

จากการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการในข้าวกล้อง และข้าวนึ่งกล้องสังข์หยดพัทลุง พบว่าปริมาณความชื้นในเมล็ดข้าวกล้องและข้าวนึ่งกล้องมีค่าแตกต่างกัน ($P \leq 0.05$) โดยข้าวกล้องและข้าวนึ่งกล้องสังข์หยดจาก จ.ตรัง มีความชื้นสูงที่สุด รองลงมา คือ สงขลา สตูล นครศรีธรรมราช กระบี่ และ พัทลุง ตามลำดับ ความชื้นในข้าวกล้องมีแนวโน้มสูงกว่าข้าวนึ่งกล้อง แม้ว่าความชื้นของข้าวแต่ละพื้นที่จะต่างกัน แต่ยังอยู่ในช่วงความชื้นที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษาให้คงคุณภาพที่ดี คือร้อยละ 10-18 หากมีค่าสูงกว่านี้ ข้าวอาจเกิดการเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์บนผิวเมล็ด (Hiromichi *et al*., 2003) และสอดคล้องกับการกำหนดระดับความชื้นของข้าวไว้ โดยประเทศไทยกำหนดความชื้นที่ปลอดภัยของข้าวเปลือกไว้ไม่เกินร้อยละ 14 (เครือวัลย์, 2534)

ปริมาณโปรตีน ไขมัน และเถ้า มีค่าแตกต่างกัน โดยปริมาณโปรตีนในข้าวสังข์หยดที่ปลูกพื้นที่ จ.ตรัง มีค่าสูงที่สุด ($P \leq 0.05$) รองลงมา คือ จ.กระบี่ สงขลา และพัทลุง ตามลำดับ ส่วนข้าวจากนครศรีธรรมราช และ สตูล มีปริมาณโปรตีนต่ำสุด และข้าวนึ่งมีแนวโน้มปริมาณโปรตีนสูงกว่าข้าวกล้อง โดย ข้าวนึ่งกล้องจากจังหวัดตรัง มีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือ กระบี่ สงขลา พัทลุง นครศรีธรรมราช และสตูล ตามลำดับ ใกล้เคียงกับรายงานของ อุไรวรรณ และคณะ (2552) ที่วิเคราะห์โปรตีนในข้าวพันธุ์สังข์หยดพัทลุงที่ระยะเก็บเกี่ยว 44 วันหลังออกดอก พบว่ามีค่าเท่ากับร้อยละ 8.10 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เช่นกัน ทั้งนี้ปริมาณโปรตีนที่ต่างกันอาจเนื่องมาจากกระบวนการปลูก ความอุดมสมบูรณ์ของอินทรีย์วัตถุในดิน การใช้ปุ๋ย และปัจจัยสิ่งแวดล้อมอื่นๆ เช่นเดียวกับ ศิริวรรณ (2557) ศึกษาความเหมาะสมของการเพาะปลูกข้าวสังข์หยดในอำเภอไชยา จังหวัดสุราษฎร์ธานี พบว่า ลักษณะทางกายภาพ เคมีและชีวภาพของดินในพื้นที่ศึกษา จ.พัทลุง และสุราษฎร์ธานีใกล้เคียงกัน ทำให้คุณค่าทางโภชนาการของข้าวจากแปลงทดลองทั้งสองแหล่งมีค่าแตกต่างกันไม่มากนัก โดยปริมาณโปรตีนของข้าวสังข์หยดที่ปลูกใน จ. สุราษฎร์ธานีมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 7.23-7.63 การทดลองครั้งนี้พบว่า ข้าวนึ่งมีแนวโน้มปริมาณโปรตีนสูงกว่าข้าวกล้อง สอดคล้องกับกรกฤต (2551) พบว่าข้าวหอมมะลิ 105 นึ่งกล้อง มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 7.84 สูงกว่าข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการนึ่งซึ่งมีค่าเท่ากับร้อยละ 7.41 อีกทั้งสอดคล้องกับสุรัตน์ และ กฤษณา (2551) ศึกษาข้าวหอมมะลิ 105 พบว่าปริมาณโปรตีนของข้าวนึ่งสูงกว่าข้าวกล้อง ทั้งนี้การที่ข้าวนึ่งมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าเป็นผลจากกระบวนการนึ่ง ทำให้เมล็ดแป้ง หรือสตาร์ชเกิดการเจลาทิไนซ์ (gelatinization) ทำให้โปรตีนเสียสภาพกระจายตัวแทรกอยู่ในเม็ดสตาร์ชที่เจลาทิไนซ์แล้ว (Bhattacharya, 1996) และโปรตีนที่เกาะกับสตาร์ชที่เจลาติไนซ์แน่น แยกออกจากเม็ดสตาร์ช ยากขึ้นในระหว่างกระบวนการขัดสี

จึงทำให้ข้าวนึ่งมีโปรตีนสูงกว่าข้าวกล้อง อีกทั้งตัวอย่างข้าวมีความชื้นต่างกัน อาจส่งผลให้ปริมาณโปรตีนที่ได้แตกต่างกันตามไปด้วย

ปริมาณไขมันในข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงที่ปลูกในพื้นที่ จ.พัทลุง มีค่าสูงที่สุด ($P \leq 0.05$) รองลงมา คือ จ.ตรัง จ.สตูล จ.สงขลา จ.นครศรีธรรมราช และ กระบี่ ตามลำดับ ทั้งนี้ปริมาณไขมันในข้าวกล้องมีแนวโน้มต่ำกว่าข้าวนึ่งกล้อง เมื่อเปรียบเทียบเฉพาะข้าวนึ่งกล้อง พบว่าข้าวนึ่งกล้องจากจังหวัดตรังมีค่าสูงที่สุด ($P \leq 0.05$) รองลงมาคือ จ.นครศรีธรรมราช จ.พัทลุง จ.กระบี่ จ.สงขลา และ จ.สตูล ตามลำดับ ทั้งนี้ ปริมาณไขมันในข้าวที่ทำการทดลองใกล้เคียงกันกับหลายงานวิจัย เช่น จากผลการศึกษาของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร เขต 9 (2553) อ้างอิงโดย ศิริวรรณ (2557) พบว่า ปริมาณไขมันในแปลงปลูก จ. พัทลุง มีค่าเท่ากับร้อยละ 2.42 ส่วนในแปลงปลูกจังหวัดสุราษฎร์ธานีที่ใช้ปุ๋ยแตกต่างกัน มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 2.33-2.45 และใกล้เคียงกับการวิเคราะห์ไขมันในข้าวสังข์หยดพัทลุงของ สุนันทาและคณะ (2549) อ้างอิงโดย สำเริง (2549) ซึ่งพบว่าที่ความชื้น 10.71 เปอร์เซ็นต์ เมล็ดมีปริมาณไขมันร้อยละ 2.42 การทดลองครั้งนี้มีแนวโน้มว่าปริมาณไขมันในข้าวนึ่งสูงกว่าข้าวกล้อง เช่นเดียวกับการทดลองของกรกฤต (2551) ที่วิเคราะห์ปริมาณไขมันในข้าวหอมมะลิ 105 พบว่า ข้าวนึ่งกล้องมีปริมาณไขมันเท่ากับร้อยละ 2.19 ซึ่งสูงกว่าข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการนึ่ง ที่มีค่าเท่ากับร้อยละ 1.99 ($p \leq 0.05$) ต่างจากการทดลองของ สุรัตน์ และกฤษณา (2551) พบว่าปริมาณไขมันของข้าวกล้องหอมมะลิ 105 มีค่ามากกว่าข้าวนึ่ง ทั้งนี้ ข้าวนึ่งกล้องมีปริมาณไขมันเพิ่มขึ้นจากข้าวกล้อง เพราะกระบวนการทำข้าวนึ่งกล้องกระตุ้นให้เกิดการสังเคราะห์กรดไขมันต่างๆ เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณไขมันรวมเพิ่มขึ้นด้วย เช่นเดียวกันกับองค์ประกอบอื่นที่มีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างกระบวนการผลิตข้าวนึ่งกล้อง Jung *et.al*., (2005) อีกทั้ง Lee *et.al*., (2007) รายงานสนับสนุนการทดลองไว้ว่า ปริมาณโปรตีนและปริมาณไขมันมีการเพิ่มขึ้นในระหว่างกระบวนการงอก อาจเป็นไปได้ว่า มีการสังเคราะห์ทางชีวภาพ (biosynthesis) ทำให้ปริมาณมีการเพิ่มขึ้นนั่นเอง ส่วนปริมาณกรดไขมันนั้น กระบวนการทำข้าวนึ่งกล้อง อาจมีผลกระตุ้นเอนไซม์ที่เกี่ยวกับการสังเคราะห์และการออกซิไดซ์กรดไขมัน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมัน

ส่วนปริมาณเถ้า ซึ่งสามารถใช้ในการบ่งชี้คุณภาพข้าว พบว่า ข้าวกล้องและข้าวนึ่งกล้องทั้ง 5 จังหวัด ได้แก่ กระบี่ ตรัง นครศรีธรรมราช สตูล และพัทลุง มีค่าไม่แตกต่างกัน ยกเว้นข้าวกล้องและข้าวนึ่งกล้องจากจังหวัดสงขลามีปริมาณเถ้าต่ำที่สุด ($P \leq 0.05$) การทดลองที่ได้ครั้งนี้ใกล้เคียงกับปริมาณเถ้าในข้าวสังข์หยดพัทลุงที่วิเคราะห์โดย สุนันทาและคณะ (2549) มีค่าเท่ากับร้อยละ 1.26 นอกจากนี้ อุไรวรรณ และคณะ (2555) วิเคราะห์ปริมาณเถ้าในข้าวกล้องที่ได้จากข้าวสังข์หยดในแปลงนาที่ฉีดพ่นสารละลายไคโตแซน มีปริมาณเถ้าสูงสุด เท่ากับร้อยละ 1.44 เช่นเดียวกับสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร เขต 9 (2553) อ้างอิงโดย ศิริวรรณ (2557) พบว่า ปริมาณเถ้าในแปลงปลูกข้าวสังข์หยดใน จ. พัทลุง มีค่าเท่ากับร้อยละ 1.26 ส่วนในแปลงปลูกจังหวัดสุราษฎร์ธานีที่ใช้ปุ๋ยแตกต่างกัน มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ1.35-1.45 ทั้งนี้ปริมาณเถ้าได้มาจากการเผาข้าวกล้องจนเหลือเพียงปริมาณแร่ธาตุและสารอนินทรีย์ ผลที่ได้แตกต่างจากการทดลองของ กรกฤต (2551) ซึ่งปริมาณเถ้าในข้าวหอมมะลิ 105 นึ่งกล้องมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 1.21 ต่ำกว่าข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการนึ่ง คือร้อยละ 1.34

และ Heinemann *et, al.* (2005) พบว่า กระบวนการนึ่งทำให้ข้าวสารนึ่ง มีปริมาณเถ้า และแร่ธาตุบางชนิดสูงกว่าข้าวสาร

ดังนั้น จากการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการในข้าวสังข์หยดพัทลุงที่ผลิตจากต่างพื้นที่ ใน 6 จังหวัดภาคใต้ พบว่าการผลิตต่างพื้นที่ส่งผลให้คุณค่าทางโภชนาการ มีค่าแตกต่างกันตามไปด้วย เพราะวิธีการผลิต แหล่งปลูก ความสมบูรณ์ของดิน การใช้ปุ๋ยและสารเพิ่มผลผลิตย่อมมีผลต่อข้าวและมีผลต่อการสะสมโปรตีนในเมล็ดข้าว การแปรรูปเป็นข้าวนึ่ง พบว่า การนึ่งสามารถเพิ่มคุณค่าของสารอาหารทั้งปริมาณโปรตีนและไขมันให้สูงกว่าข้าวกล้อง แม้ว่าข้าวกล้องจะให้คุณค่าทางโภชนาการบางประการต่ำกว่าข้าวนึ่ง แต่ข้าวกล้องก็ยังคงมีปริมาณกรดอะมิโนไลซีนสูงกว่าข้าวขาว จากรายงานการวิเคราะห์ข้าวของประเทศไทย 1,787 สายพันธุ์ พบว่า ปริมาณโปรตีนในข้าวกล้องมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 7.48 $\pm$ 1.65 น้อยกว่าธัญพืชอื่น แต่มีคุณค่าทางชีวภาพและการใช้ประโยชน์สุทธิได้สูงกว่า ร่างกายย่อยได้ดีกว่า เนื่องจากมีเส้นใยและแทนนินต่ำ (งามชื่น, 2542) นอกจากนี้การแบ่งข้าวตามลักษณะของสีเมล็ดคือ ข้าวขาว ข้าวแดง และข้าวดำ เป็นดรรชนีบ่งชี้ถึงความพิเศษของข้าวในการเป็นแหล่งสะสมธาตุอาหารและสารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย ทั้งนี้สัดส่วนร้อยละ 80 ของเมล็ดข้าวมีแป้งเป็นส่วนประกอบหลัก ที่เหลือคือโปรตีน วิตามินบี วิตามินอี และแร่ธาตุ อีกร้อยละ 20 เป็นรำและจมูกข้าว ข้าวมีสารอาหารที่เป็นประโยชน์ทั้งชนิดสารปฐมภูมิ คือ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน วิตามินบี แร่ธาตุ เช่น แคลเซียม ฟอสฟอรัส ฟอสฟอรัส เหล็ก และสังกะสี ไนอะซีน เส้นใยอาหาร และสารทุติยภูมิ คือ สารประกอบฟีนอลิก เช่น กรดเฟอรูลิก และสารกาบา แต่ปริมาณของสารอาหารดังกล่าวขึ้นอยู่กับชนิดพันธุ์ข้าว สภาวะการปลูก การขัดสี โดยจมูกข้าวเป็นแหล่งสะสมอาหารเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตของต้นอ่อน จึงมีปริมาณสารอาหาร เช่น โปรตีน ไขมัน แร่ธาตุ และ สารพฤกษเคมี สูงกว่าส่วนอื่นๆ (จิราภรณ์ และคณะ, 2555)

**สมบัติทางกายภาพ และคุณภาพการหุงต้ม**

**ปริมาณอะไมโลส (Amylose content)**

ปริมาณอะไมโลส ในข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงที่ผลิตจากต่างพื้นที่ ใน 6 จังหวัดภาคใต้ มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 15.82 - 25.98 ($P \leq 0.05$) โดยข้าวกล้องที่ผลิตจากจังหวัดพัทลุง และสงขลามีค่าต่ำที่สุด ใกล้เคียงกับรายงานของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2552) พบว่า ข้าวสังข์หยดพัทลุงมีปริมาณอะไมโลส เท่ากับร้อยละ 14.25-15.80 ส่วนข้าวสังข์หยดจากจังหวัดอื่น มีปริมาณอะไมโลสสูงกว่า แต่ยังอยู่ในกลุ่มข้าวอะไมโลสปานกลาง ส่งผลให้ข้าวหุงสุกมีความแข็งกว่าข้าวสังข์หยดที่ปริมาณอะไมโลสต่ำกว่า โดยพื้นที่ปลูกต่างกัน ส่งผลให้ระดับปริมาณอะไมโลสมีค่าแตกต่างกันตามไปด้วย สามารถตอบข้อสงสัยของผู้บริโภคได้ถึงความนุ่มของข้าวสังข์หยดหุงสุกแต่ละพื้นที่ ซึ่งมีความนุ่มแตกต่างกันเพราะปริมาณอะไมโลสต่างกันนั่นเอง ทั้งนี้สอดคล้องกับลักษณะที่ปรากฏจากการหุงสุก คือข้าวที่ทีปริมาณอะไมโลสต่ำ จะมีลักษณะเมล็ดนุ่ม เหนียว แต่ข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูงกว่า จะมีความแข็งร่วนมากกว่า เพราะข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูง จะดูดน้ำในระหว่างการหุงต้มได้มากกว่าข้าวสุกจึงมีความเหนียวลดลง ร่วนกว่าและแข็งกว่าข้าวที่มีอะไมโลสต่ำ (จิราภรณ์ และคณะ, 2555) ส่วนข้าวนึ่งกล้องสังข์หยดที่ผลิตจากจังหวัดพัทลุง และสงขลามีค่าต่ำที่สุด ส่วนข้าวสังข์หยดจากจังหวัดนครศรีธรรมราช ตรัง กระบี่ มีค่าสูงกว่า และข้าวจากจังหวัดสตูลมีปริมาณอะไมโลสสูงที่สุด ทั้งนี้เมื่อ

เปรียบเทียบระหว่างข้าวกล้องและข้าวนึ่งในจังหวัดเดียวกัน พบว่า การนึ่งไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณอะไมโลสในข้าว อย่างไรก็ตาม ปริมาณอะไมโลสในข้าวสังข์หยดพัทลุงจัดอยู่ในระดับต่ำเช่นเดียวกับข้าวหอมมะลิ 105 ซึ่งมีปริมาณอะไมโลสร้อยละ 12–16 ประเทศไทยมีปริมาณอะไมโลสในข้าวเจ้า ระหว่างช่วงร้อยละ 12–33 แต่ข้าวสังข์หยดพัทลุงจึงถูกจัดอยู่ในกลุ่มข้าวเจ้าที่หุงสุกนุ่ม ทั้งนี้ ประเทศไทยนิยมปลูกข้าวกลุ่มอินดิกา (Indica) แบ่งเป็น ข้าวเหนียวและข้าวเจ้า ซึ่งมีความแตกต่างของอัตราส่วนระหว่าง ปริมาณอะไมโลส (amylase) กับ อะมิโลเพคติน (amylopectin) และข้าวเหนียวจะมีอะไมโลสน้อยมาก ส่วนข้าวเจ้าจะมีปริมาณอะไมโลส ประมาณร้อยละ 15-30

**ปริมาณน้ำตาลรวม**

ปริมาณน้ำตาลรวมในข้าวกล้องสังข์หยดที่ผลิตในจังหวัดนครศรีธรรมราชมีค่ามากที่สุด ($P \leq 0.05$) รองลงมา คือ จังหวัดพัทลุง และตรัง ตามลำดับ ส่วนอีก 3 จังหวัด ได้แก่ สงขลา กระบี่ และสตูล มีปริมาณน้ำตาลรวมอยู่ในช่วงต่ำสุด การแปรรูปเป็นข้าวนึ่งกล้องมีแนวโน้มว่าจะให้ค่าปริมาณน้ำตาลรวมสูงกว่าข้าวกล้อง โดยข้าวนึ่งกล้องที่ผลิตจากจังหวัดกระบี่ และสงขลามีปริมาณน้ำตาลรวมสูงที่สุด รองลงมาคือ จังหวัดพัทลุง และ ตรัง ตามลำดับ และข้าวนึ่งจากจังหวัดสตูล กับนครศรีธรรมราช มีปริมาณน้ำตาลรวมต่ำที่สุด ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบระหว่างข้าวกล้องและข้าวนึ่งในจังหวัดเดียวกัน พบว่า การนึ่งมีผลต่อการเพิ่มปริมาณน้ำตาลรวมในข้าว เพราะก่อนการทำนึ่งต้องผ่านกระบวนการแช่น้ำ ซึ่งช่วยกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ α-อะไมเลส กล่าวคือ เมล็ดข้าวมีน้ำเข้าไปแทรกซึมในโครงสร้างเมล็ดข้าวระหว่างการแช่ กระตุ้นให้เกิดการทำงานของเอนไซม์ α-อะไมเลส ให้ทำหน้าที่ในการย่อยแป้ง ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างแป้งในเมล็ดข้าวเพื่อให้เป็นหน่วยที่เล็กที่สุด คือ น้ำตาลกลูโคส ดังนั้นการข้าวนึ่งจึงมีปริมาณน้ำตาลรวมเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้งานวิจัยของ จิรศักดิ์ (2547) พบว่า ในระหว่างการเก็บรักษาข้าวขาวดอกมะลิ105 ที่อุณหภูมิต่างกัน โดยเก็บรักษาภายหลังการเก็บเกี่ยวเป็นเวลา 7 เดือน ที่อุณหภูมิ 25 และ 37 องศาเซลเซียส ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในเมล็ดข้าว

**ความคงตัวของแป้งสุก (Gel consistency)**

ความคงตัวของแป้งสุกในข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงที่ผลิตจากต่างพื้นที่ มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ อยู่ระหว่าง 66.00-69.67 มิลลิเมตร ส่วนข้าวนึ่งกล้องมีแนวโน้มความคงตัวของแป้งสุกลดลงกว่าข้าวกล้อง ทั้งนี้ข้าวนึ่งกล้องที่ผลิตจากจังหวัดตรัง และนครศรีธรรมราช มีค่าความคงตัวของแป้งสุกลดลงไม่แตกต่างกัน มีระยะทางการไหลเท่ากับ 80.67-81.00 มิลลิเมตร และข้าวสังข์หยดจากจังหวัดอื่นๆ มีระยะทางการไหล อยู่ในช่วงระหว่าง 85.67-90.00 มิลลิเมตร เมื่อเปรียบเทียบระหว่างข้าวกล้องและข้าวนึ่งในจังหวัดเดียวกัน พบว่า การนึ่งมีผลต่อการลดลงของค่าความคงตัวแป้งสุก ส่งผลให้ความคงตัวของแป้งสุกในข้าวกล้องและข้าวนึ่งกล้องมีค่าต่างกัน ทั้งนี้ ทุกตัวอย่างมีค่าการไหลของแป้งสุกมากกว่า 60 หมายถึง เมล็ดข้าวสารมีลักษณะแป้งข้าวสุกอ่อน เช่นเดียวกับ การทดลองของอุไรวรรณ และคณะ (2558) พบว่า ข้าวกล้อง ข้าวซ้อมมือ ข้าวนึ่งกล้อง และข้าวนึ่งซ้อมมือสังข์หยดพัทลุง มีระยะทางการไหลอยู่ในช่วงระหว่าง 89.00 - 97.50 มิลลิเมตร อีกทั้งเพลงพิณ (2541) พบว่าความคงตัวของแป้งสุกของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ซึ่งเป็นข้าวอะไมโลสต่ำ มีระยะการไหลของแป้งสุกเท่ากับ 95 มิลลิลิตร ใกล้เคียงกันกับการทดลองครั้งนี้ อีกทั้ง สุนันทา (2538 ) พบว่าข้าวพันธุ์ขาว

ดอกมะลิ 105 มีอุณหภูมิแป้งสุกเท่ากับ 63.75 °C ส่วนข้าวขาวชัยนาท 1 มีอุณหภูมิแป้งสุกเป็น 79.94 °C ซึ่งอุณหภูมิแป้งสุกของข้าวกล้องโดยทั่วไปเท่ากับ 66 °C ถึง 79 °C

**ค่าการสลายตัวในด่าง (Alkaline test)**

การสลายตัวของเมล็ดในสารละลายด่าง พบว่า ถ้าข้าวมีระดับการกระจายตัวในด่างสูงทำให้เวลาในการหุงต้มน้อยกว่าระดับการกระจายตัวต่ำ ผลการศึกษา พบว่า ข้าวกล้องและข้าวกล้องนึ่งสังข์หยดพัทลุงที่ผลิตจากต่างพื้นที่ ใน 6 จังหวัดภาคใต้ มีค่าการสลายตัวในด่าง แตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยข้าวนึ่งกล้องมีค่าการสลายตัวในด่างมากกว่าข้าวกล้อง คือทั้ง 6 จังหวัดมีค่าอยู่ในระดับ 7 เท่ากันหมด ส่วนข้าวกล้อง มีค่าอยู่ในระดับ 3-4 แสดงว่าการนึ่งมีผลต่อค่าการสลายตัวในด่าง ส่งผลให้ค่าที่ปรากฏในข้าวกล้องและข้าวนึ่งกล้องมีค่าต่างกัน การทดลองนี้ ทำให้ทราบว่าระยะเวลาการหุงสุกข้าวนึ่งกล้องจะเร็วกว่าข้าวกล้อง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะข้าวนึ่ง มีการแช่น้ำก่อนนำไปนึ่ง ดังนั้นเม็ดสตาร์ชในเมล็ดข้าวจะสูญเสียโครงสร้างได้สูง ทำให้เกิดปฏิกิริยากับสารละลายด่าง และเกิดเจลาติไนซ์ได้ง่ายกว่า โดย วรรณวิไล (2551) ทดลองผลิตข้าวกล้องหอมมะลิงอก พบว่า มีค่าการสลายตัวในด่างอยู่ในระดับ 5-6 สูงกว่าตัวอย่างควบคุม ส่วนข้าวกล้องงอกมันปูมีระดับการสลายตัวของเมล็ดในช่วง 4-6 สูงกว่าตัวอย่างควบคุม ที่มีค่าเท่ากับ 3 และพบว่าการเพิ่มระยะเวลาในการแช่ ทำให้ระดับการสลายตัวในด่างเพิ่มขึ้นเช่นกัน

**ผลการวิเคราะห์สารพฤกษเคมี**

**กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ**

กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัด โดยวิธี DPPH radical scavenging assay พบว่าข้าวจากแหล่งผลิตนครศรีธรรมราช มีค่า $IC_{50}$ เท่ากับ 8.64 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร แสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีที่สุด รองลงมาคือ จังหวัดกระบี่ สตูล พัทลุง สงขลา และตรัง ตามลำดับ ($P \leq 0.05$) ทั้งนี้ข้าวกล้องจะแสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีกว่าข้าวนึ่งกล้อง เมื่อเปรียบเทียบเฉพาะข้าวนึ่งกล้อง พบว่า ข้าวนึ่งกล้องที่ผลิตจากจังหวัดกระบี่ แสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีกว่าตัวอย่างจากจังหวัดอื่น เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดโดยวิธี ABTS assay พบว่าข้าวจากแหล่งผลิตนครศรีธรรมราช มีค่า $IC_{50}$ เท่ากับ 4.53 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร แสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีที่สุด รองลงมาคือ จังหวัดตรัง กระบี่ สงขลา พัทลุง และสตูล ($P \leq 0.05$) ทั้งนี้ข้าวกล้องจะแสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีกว่าข้าวนึ่งกล้อง เมื่อเปรียบเทียบเฉพาะข้าวนึ่งกล้องในแต่ละจังหวัด พบว่าข้าวนึ่งกล้องที่ผลิตจากจังหวัดกระบี่ แสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีที่สุดเช่นเดียวกัน อาจกล่าวได้ว่า พื้นที่แหล่งปลูกต่างกัน ส่งผลให้ข้าวแสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้แตกต่างกัน อีกทั้งระยะเวลาในการเก็บรักษาข้าวเปลือกก่อนการเก็บตัวอย่างมาทำการวิเคราะห์ของตัวอย่างแต่ละจังหวัดต่างกัน อาจส่งผลต่อการลดลงของปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระได้ รวมถึงกระบวนการนึ่งข้าว อาจมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระในข้าวสังข์หยดพัทลุงให้ลดลง จากความร้อนที่รุนแรงขณะทำการนึ่งทำลายสารต้านอนุมูลอิสระบางส่วนจนหายไป ทำให้สามารถเปลี่ยนแปลงฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระหลังการนึ่งข้าวได้ สอดคล้องกับรายงานของอุไรวรรณ และคณะ (2556) พบว่า ข้าวเปลือกที่เก็บรักษาเป็นเวลา 7 เดือน อุณหภูมิ 25 และ 37 องศาเซลเซียส มีค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระลดลงตามระยะเวลาในการเก็บรักษาข้าวเปลือก อีกทั้ง อุไรวรรณ และคณะ (2555) พบว่า กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของข้าวมอลต์นึ่งสังข์หยดพัทลุง มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 86.51-94.13 รวมถึงจิราภรณ์

และคณะ (2555) พบว่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีการดักจับอนุมูลอิสระ DPPH ของข้าวกล้อง ข้าวกล้องงอก ขนมจีนข้าวกล้องงอก และขนมจีนข้าวกล้องงอกอบแห้ง มีค่า $IC_{50}$ อยู่ในช่วง 0.0043 –48.5215 mg/ml อีกทั้งการแปรรูปข้าวเป็นเป็นข้าวกล้องงอก ของทัศนีย์และคณะ (2551) พบว่าข้าวกล้องงอกมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระต่ำกว่าข้าวกล้อง และ Tian *et, al.* (2004) พบว่าปริมาณสารกลุ่มต้านอนุมูลอิสระ เช่น สารประกอบฟินอลิกที่ละลายน้ำได้ในข้าวกล้องมีมากกว่าข้าวกล้องงอก เนื่องจาก มีการสูญเสียสารสำคัญในกลุ่มสารฟินอลิกที่ละลายน้ำได้ ไปกับขั้นตอนการแช่ข้าวในน้ำก่อนการทำงอก เช่นเดียวกับการผลิตข้าวนึ่งกล้องครั้งนี้ ที่ต้องผ่านกระบวนการแช่น้ำและให้ความร้อนเช่นกัน แต่ต่างจากสุดารัตน์ (2549) รายงานว่า ข้าวกล้องมันปูที่ผ่านการแช่น้ำและเพาะงอกมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น

**ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารฟินอลิกในข้าวสังข์หยดพัทลุง**

ปริมาณสารประกอบฟินอลิกในข้าวกล้องจากแหล่งผลิตนครศรีธรรมราช มีปริมาณสารประกอบฟินอลิกมากที่สุด เท่ากับ 11.91 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิคต่อกรัมข้าว รองลงมาคือ จังหวัดกระบี่และ พัทลุง สตูล สงขลา และตรัง ตามลำดับ ($P\leq0.05$) ส่วนข้าวนึ่งกล้องจากจังหวัดกระบี่ มีปริมาณสารประกอบฟินอลิกสูงที่สุด เท่ากับ 7.47 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิคต่อกรัมข้าว รองลงมาคือ จังหวัดตรัง พัทลุง สตูล สงขลา และนครศรีธรรมราช ตามลำดับ ($P\leq0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวนึ่งกล้อง พบว่าข้าวกล้องมีแนวโน้มปริมาณสารประกอบฟินอลิกสูงกว่าข้าวนึ่งกล้อง จะเห็นได้ว่า ปริมาณสารประกอบฟินอลิก มีค่าสอดคล้องไปในทำนองเดียวกับปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณสารประกอบฟินอลิกมีค่าใกล้เคียงกับการศึกษาข้าวพื้นเมืองมีสีของภาคใต้ โดยสัญชัย (2552) วิเคราะห์กลุ่มข้าวมีสี ได้แก่ ข้าวเหนียวดำรหัส 96044 ข้าวเหนียวดำรหัส 96025 ช่อไม้ใผ่ ข้าวเหนียวแดงรหัส 96060 และ ข้าวสังข์หยด พบว่ามีค่า 320.24, 280.15, 208.42, 84.43 และ 82.01 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่าง ตามลำดับ สอดคล้องกับ อุไรวรรณ และคณะ (2558) พบว่าปริมาณสารประกอบฟินอลิกในข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงมีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 10.63 มก.สมมูลกรดแกลลิก/กรัม ส่วนข้าวนึ่งซ้อมมือ มีค่าต่ำกว่า เท่ากับ 0.34 มก.สมมูลกรดแกลลิก/กรัมข้าว ซึ่งปริมาณสารฟินอลิกในการทดลองครั้งนี้สูงกว่ารายงานของ วันพรรษา (2549) ที่วิเคราะห์สารประกอบฟินอลิกในข้าวกล้องหอมมะลิ พบว่ามีค่า 3.1 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/กรัมน้ำหนักแห้ง และปวีณา และคณะ (2555) พบว่าศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในข้าวกล้องของข้าวไทยบางสายพันธุ์มีค่าเท่ากับ 73.26 ไมโครกรัมต่อกรัมข้าว ทั้งนี้บ่งชี้ว่าเมล็ดข้าวกล้องที่มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีดำและสีแดงมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระสูงมากเมื่อเทียบกับเมล็ดข้าวกล้องขาว โดยประสิทธิภาพในการต้านอุมูลอิสระขึ้นอยู่กับปริมาณสารประกอบฟินอลิกในเมล็ดข้าว (Suttajit et al., 2006)

เมื่อพิจารณาผลการนึ่ง พบว่า การนึ่งส่งผลต่อการลดลงของปริมาณสารประกอบฟินอลิกในข้าว ทำให้ข้าวกล้องมีปริมาณสารประกอบฟินอลิกสูงว่าข้าวนึ่งกล้อง ทั้งนี้การนึ่ง ต้องมีการแช่น้ำและให้ความร้อนร่วมด้วย จึงอาจส่งผลต่อการลดลงของสารประกอบฟินอลิกดังกล่าว สอดคล้องกับทัศนีย์ และคณะ (2551) พบว่าข้าวกล้องงอกซึ่งต้องผ่านกระบวนการแช่น้ำ มีสารประกอบฟีนอลิกต่ำกว่าข้าวกล้อง และ วันพรรษา (2549) วิเคราะห์สารประกอบฟินอลิกในข้าวกล้องหอมมะลิ พบว่ามีค่าสูงกว่าข้าวกล้องหอมมะลิที่ผ่านการแช่น้ำก่อนการเพาะงอก ต่างจากรายงานในข้าวฮางที่มี

สารประกอบฟินอลิก และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด (ทัศนีย์และคณะ, 2551) รวมถึง จิราภรณ์และคณะ (2555) พบว่าตัวอย่างข้าวกล้องมีปริมาณฟินอลิกทั้งหมดสูงที่สุด สูงกว่าข้าวกล้องงอก อีกทั้ง นวลศรี และอัญชนา (2546) กล่าวว่าในส่วนของรำและจมูกข้าวประกอบไปด้วยสารต้านอนุมูลอิสระจำนวนมากกว่า 100 ชนิด ดังนั้น เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟินอลิก และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งมีค่าสอดคล้องไปในทำนองเดียวกัน อาจกล่าวสรุปได้ว่า ผลของการแช่น้ำ ความร้อนจากการนึ่ง มีผลต่อการลดลงของสารกลุ่มดังกล่าว อย่างไรก็ตาม เมล็ดข้าวกล้องสีแดงยังคงมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าข้าวกล้องสีขาว รวมถึงประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระยังขึ้นอยู่กับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในเมล็ดข้าว (Min, 2004)

# สรุปผลการวิจัย

1. คุณค่าทางโภชนาการ ทั้งในข้าวกล้องและข้าวนึ่งกล้องสังข์หยดพัทลุงที่ผลิตในพื้นที่แตกต่างกัน ใน 6 จังหวัดทางภาคใต้ มีค่าแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยความชื้นในเมล็ดข้าวกล้องและข้าวนึ่งกล้องมีค่าแตกต่างกัน ($P \leq 0.05$) ซึ่งข้าวกล้องและข้าวนึ่งกล้องจาก จ.ตรัง มีความชื้นและโปรตีนสูงที่สุด ความชื้นในข้าวกล้องมีแนวโน้มสูงกว่าข้าวนึ่งกล้อง แต่ข้าวนึ่งมีแนวโน้มปริมาณโปรตีนสูงกว่าข้าวกล้อง ปริมาณไขมันในข้าวกล้องที่ปลูกในพื้นที่ จ.พัทลุง มีค่าสูงที่สุด ($P \leq 0.05$) ทั้งนี้ปริมาณไขมันในข้าวกล้องมีแนวโน้มต่ำกว่าข้าวนึ่งกล้อง ส่วนปริมาณเถ้าในข้าวกล้องและข้าวนึ่งกล้องทั้ง 5 จังหวัด ได้แก่ กระบี่ ตรัง นครศรีธรรมราช สตูล และพัทลุง มีค่าไม่แตกต่างกัน ยกเว้นข้าวกล้องและข้าวนึ่งกล้องจากจังหวัดสงขลามีปริมาณเถ้าต่ำที่สุด ($P \leq 0.05$)

2. ลักษณะเมล็ดทางกายภาพ พบว่า ความยาว ความกว้าง ความหนาของเมล็ดข้าวกล้องและข้าวกล้องนึ่งในจังหวัดเดียวกันมีค่าไม่แตกต่างกัน ($P \geq 0.05$) แต่ความยาว ความกว้าง ความหนาของเมล็ดข้าวกล้องทั้ง 6 จังหวดมีค่าแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) โดยข้าวสังข์หยดจาก จ.กระบี่ มีค่าสูงที่สุด ($p \leq 0.05$) ส่งผลให้อัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้างของข้าวกล้องจากแต่ละจังหวัดมีค่าไม่เท่ากัน ส่วนน้ำหนักต่อ 1,000 เมล็ดของข้าวกล้องและข้าวนึ่งกล้องสังข์หยดจากจังหวัดกระบี่ มีน้ำหนักเมล็ดมากที่สุด รองลงมา ได้แก่ สตูล พัทลุง ตรัง นครศรีธรรมราช และสงขลา ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบในจังหวัดเดียวกัน พบว่า ข้าวกล้องมีแนวโน้มน้ำหนักต่อ 1,000 เมล็ดสูงกว่าข้าวนึ่งกล้อง

3. ปริมาณอะไมโลสในข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงที่ผลิตจากต่างพื้นที่ ใน 6 จังหวัดภาคใต้ มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 15.82 - 25.98 ($P \leq 0.05$) โดยข้าวกล้องและข้าวนึ่งกล้องที่ผลิตจากจังหวัดพัทลุงและสงขลามีค่าต่ำที่สุด

4. ปริมาณน้ำตาลรวมในข้าวกล้องสังข์หยดที่ผลิตในจังหวัดนครศรีธรรมราชมีค่ามากที่สุด ($P \leq 0.05$) การแปรรูปเป็นข้าวนึ่งกล้องมีแนวโน้มว่าจะให้ค่าปริมาณน้ำตาลรวมสูงกว่าข้าวกล้อง โดยข้าวนึ่งกล้องที่ผลิตจากจังหวัดกระบี่ และสงขลามีปริมาณน้ำตาลรวมสูงที่สุด ส่วนข้าวนึ่งจากจังหวัดสตูล กับนครศรีธรรมราช มีปริมาณน้ำตาลรวมต่ำที่สุด

5. ความคงตัวของแป้งสุกในข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงที่ผลิตจากต่างพื้นที่ มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ อยู่ระหว่าง 66.00-69.67 มิลลิเมตร ส่วนข้าวนึ่งกล้องมีแนวโน้มความคงตัวของแป้งสุกลดลงกว่าข้าวกล้อง เมื่อเปรียบเทียบระหว่างข้าวกล้องและข้าวนึ่งในจังหวัดเดียวกัน พบว่า การนึ่งมีผลต่อการลดลงของค่าความคงตัวแป้งสุก

6. การสลายตัวของเมล็ดในสารละลายด่าง พบว่า ข้าวกล้องและข้าวกล้องนึ่งสังข์หยดพัทลุงที่ผลิตจากต่างพื้นที่ ใน 6 จังหวัดภาคใต้ มีค่าการสลายตัวในด่างแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยข้าวนึ่งกล้องมีค่าการสลายตัวในด่างมากกว่าข้าวกล้อง อยู่ในระดับ 7 เท่ากันหมด ส่วนข้าวกล้องมีค่าใน

ระดับ 3-4 แสดงว่าการนึ่งมีผลต่อค่าการสลายตัวในด่าง ส่งผลให้ค่าที่ปรากฏในข้าวกล้องและข้าวนึ่งกล้องมีค่าต่างกัน

7. กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัด โดยวิธี DPPH assay และวิธี ABTS assay พบว่า ข้าวจากนครศรีธรรมราช แสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีที่สุด โดยข้าวกล้องจะแสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีกว่าข้าวนึ่งกล้อง เมื่อเปรียบเทียบเฉพาะข้าวนึ่งกล้อง พบว่า ข้าวนึ่งกล้องจากจังหวัดกระบี่ แสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีกว่าตัวอย่างจากจังหวัดอื่น

8. ปริมาณสารประกอบฟินอลิกในข้าวกล้องจากแหล่งผลิตนครศรีธรรมราช มีปริมาณสารประกอบฟินอลิกมากที่สุด รองลงมาคือ จังหวัดกระบี่และ พัทลุง สตูล สงขลา และตรัง ตามลำดับ ($P \leq 0.05$) ส่วนข้าวนึ่งกล้องจากจังหวัดกระบี่ มีปริมาณสารประกอบฟินอลิกสูงที่สุด รองลงมาคือ จังหวัดตรัง พัทลุง สตูล สงขลา และนครศรีธรรมราช ตามลำดับ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวนึ่งกล้อง พบว่าข้าวกล้องมีแนวโน้มปริมาณสารประกอบฟินอลิกสูงกว่าข้าวนึ่งกล้อง

## ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาบรรจุภัณฑ์ให้เหมาะสม เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาข้าวกล้องและข้าวนึ่งให้ปลอดภัย
2. ควรศึกษากระบวนการนึ่ง อุณหภูมิการแช่ และค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ที่เหมาะสมต่อการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการในข้าวนึ่ง

# บรรณานุกรม


กรกฤต สารีพวง. (2551). การพัฒนากระบวนการผลิต และคุณภาพด้านกายภาพ ด้านเคมี และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของข้าวนึ่งกล้อง. มหาสารคาม: วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.มหาสารคาม.

เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข. 2534. คุณภาพเมล็ดข้าวทางกายภาพและการแปรสภาพเมล็ด. ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร.กรุงเทพฯ.

งามชื่น คงเสรี. 2538. การปรับปรุงคุณภาพข้าวสารเพื่อการบริโภคและส่งออก. การฝึกอบรมหลักสูตรการวิเคราะห์คุณภาพข้าวทางเคมี, รุ่นที่ 1 และ 2 วันที่ 1-2 และ 15-16 มิถุนายน 2538. ปทุมธานี. 23 น.

งามชื่น คงเสรี. 2542. การปรับปรุงพันธุ์ข้าว. กรุงเทพฯ. จิรวัฒน์เอ็กเพรส.

งามชื่น คงเสรี. 2545. คุณภาพข้าวสวย. ใน คุณภาพข้าวและการตรวจสอบข้าวปนในข้าวหอมมะลิไทย. จิรวัฒน์เอ็กเพรส. กรุงเทพฯ. หน้า 11-30.

จิรศักด์ คงเกียรติขจร เพลงพิณ ศิวพรรัก และทรงศิลป์ พจน์ชนะชัย. 2547. การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีและเคมีกายภาพของข้าวขาวดอกมะลิสายพันธุ์ 105 ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างกัน. วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ. (27), 258-297.

จิราภรณ์ กระแสเทพ และ มัณฑนา นครเรียบ. 2555. การหาปริมาณรวมฟีนอลิก แอนโธไซยานิน และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของข้าวเหนียวไทย. ว.วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ฉบับพิเศษ การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยมหาสารคามครั้งที่ 8.; 269-273.

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

ทัศนีย์ ผลไม้, ขนิษฐา ทานี่ฮิล และ จอมพจน์ เกษมรุ่ง ชัยกิจ. 2551. ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของข้าวขาว ข้าวกล้อง ข้าวกล้องงอกและข้าวฮาง. โครงงานอุตสาหกรรม และวิจัยสำหรับนักศึกษาปริญญาตรี ประจำปี 2551.

นวลศรี รักอริยะธรรม และอัญชนา เจนวิถี. 2546. แอนติออกซิแดนท์สารต้านมะเร็งในผักสมุนไพรไทย. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่.

ปวีณา รัตนเสนา และ ประภัสสร บุษหมัน. 2555. กิจกรรมต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในข้าวกล้อง ข้าวกล้องงอกและข้าวฮางงอกของข้าวไทยบางสายพันธุ์. ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. มหาสารคาม

ปรีชา เมียนเพชร. 2548. ข้าวสังข์หยด ข้าวสุขภาพ. เอกสารเผยแพร่ในการสัมมนาทางวิชาการเรื่อง “ธุรกิจข้าวไทย อนาคตของคนรุ่นใหม่” วันที่ 2-3 กุมภาพันธ์ 2548 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.

ประสาร สวัสดิ์ชิตัง. 2547. การสำรวจความความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของน้ำผลไม้. ขอนแก่น: ภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 92 น.

เพลงพิณ ศิวาพรรักษ์. 2541. ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณอะไมโลส คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105. กรุงเทพฯ:วิทยานิพนธ์ปริญญาโท คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

วุฒิชัย นาครักษา. 2535. ข้าวเจ้า. เทคโนโลยีธัญพืช. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. น. 198.

วรรณวิไล ฤทธิเดช. 2551. ผลของการงอกที่มีต่อสมบัติทางเคมีกายภาพ คุณภาพการหุงต้ม และคุณภาพการรับประทานของข้าวกล้องหอมมะลิ และข้าวกล้องมันปู. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก. 159 น.

วันพรรษา ชุติปัญญา. 2549. การศึกษากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณฟีนอลิคทั้งหมด โทโค-เฟอรอล และแกมม่า-ออไรซานอลของข้าวกล้องงอกสมุนไพร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก. 105น.

ศิริวรรณ ประหารภาพ. 2557. ความเหมาะสมของการเพาะปลูกข้าวสังข์หยดในอำเภอไชยา จังหวัดสุราษฎร์ธานี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.สงขลา.

ศูนย์วิจัยข้าวพัทลุง. 2548. ข้าวพื้นเมืองยอดนิยม. แหล่งที่มา http//www.ptl.ricethailand.org/data /rainrice.paf. [28 มีนาคม 2548].

สัญชัย ยอดมณี. 2552. คุณภาพของข้าวพื้นเมืองมีสีภาคใต้ของประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ระดับวิทยาศาสตร์ มหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา.

สุรัตน์ นักหล่อ และ กฤษณา โยนสนิท. 2551. คุณภาพทางกายภาพและเคมีของข้าวกล้องและข้าวนึ่งพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 จากแหล่งปลูกจังหวัดบุรีรัมย์และจังหวัดสุรินทร์. Agicutural Sci, J. ว. วิทย กษ. 39 : 3 (พิเศษ) : 389-392.

สุนันทา วงศ์ปิยชน และ วัชรี สุขวิวัฒน์. 2549. ผลิตภัณฑ์ข้าว เครื่องดื่มน้ำข้าวกล้อง. กรุงเทพฯ: การประชุมวิชาการข้าวและธัญพืชเมืองหนาว ประจำปี 2549.

สุนันทา วงศ์ปิยชน. 2538. การใช้ประโยชน์จากข้าวสำหรับการผลิตไวน์และวิสกี้. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

สุริสา ศรีสุวรรณ์ อัณศยา ท่อนโพธิ์ และประสงค์ สีหานาม. 2547. สารสกัดจากผลองุ่นป่า : พฤษเคมีและฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน . วารสารฉบับพิเศษ ประชุมวิชาการ วารสารมหาวิทยาลัยมหาสารคาม. 10 : 373-382.

สุวัชชัย หาชื่น. 2547. การวิเคราะห์การเจริญเติบโต องค์ประกอบผลผลิตและผลผลิตของถั่วเหลืองสายพันธุ์ KKU 74 โดยเปรียบเทียบกับพันธุ์พ่อ-แม่ และพันธุ์มาตรฐาน สจ.5 /. ขอนแก่น :: มหาวิทยาลัยขอนแก่น,

สุดารัตน์ เจียมยั่งยืน. 2549. บทคัดย่อ. การศึกษาปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในเมล็ดข้าวและเมล็ดข้าวมีสีที่ผ่านการทำให้งอก สืบค้นเมื่อวันที่ 1 มีนาคม 2551, http://rde.blotec.or.th/rdedocs/Proposal/1234pp:AbstractCTh.doc.

สำเริง แซ่ตัน , ประสิทธิ์ ศรีทองแก้ว และ ขวัญใจ คชภักดี. 2549. สังข์หยดพัทลุงสู่ตลาดข้าวตรา สัญลักษณ์. การประชุมวิชาการข้าวและธัญพืชเมืองหนาว ประจำปี 2549. กรุงเทพฯ. หน้า 333-334.

สำเริง แซ่ตัน. 2548. ข้าวพันธุ์สังข์หยดพัทลุง. เอกสารเสนอในการสัมมนาโครงการเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารจัดการงานวิจัยและพัฒนาของสำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 8. วันที่ 29-30 มีนาคม 2548 ณ โรงแรมบีพี แกรนด์ ทาวเวอร์, สงขลา.

สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย. 2548. แปรรูปโจทย์ใหม่ข้าวไท รับมือตลาดส่งออกแคบคนกินน้อยลง. สืบค้นเมื่อ 7 มิถุนายน 49 http//www.trf.or.th/Content.asp?Art_ID=527.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2552. แนวทางการพัฒนาข้าวสังข์หยดพัทลุง ปี 2553-2556. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, กรุงเทพ.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร เขต 9 สงขลาและพัทลุง . 2553. คุณค่าทางโภชนาการของข้าวสังข์หยดและโครงสร้างการตลาดของข้าวสังข์หยด (ออนไลน์) สืบค้นจาก: http://www2.oae.go.th/zone9/rice_songyod/

อัญชนา เจนวิถีสุข. 2544. การตรวจหาและบ่งชี้ชนิดสารต้านอนุมูลอิสระจากผักพื้นบ้านและสมุนไพรไทย. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

อรอนงค์ นัยวิกุล. 2547. ข้าว : วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 366 หน้า.

อรอนงค์ นัยวิกุล. 2550. ข้าว : วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์,กรุงเทพฯ. 366 น.

อุไรวรรณ วัฒนกุล วัฒนา วัฒนกุล นพรัตน์ มะเห และ พิทูรย์ จรูญรัตน์. 2552. อายุการเก็บเกี่ยวและการเก็บรักษาต่อคุณค่าทางโภชนาการบางประการของข้าวกล้องสังข์หยดปลอดสารพิษและข้าวกล้องงอก. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ ม. เทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย, ตรัง.

อุไรวรรณ วัฒนกุล วัฒนา วัฒนกุล พีรพงษ์ พึ่งแย้ม และ พิทูรย์ จรูญรัตน์. 2555. ผลของไคโตแซนต่อการสร้างเอนไซม์ไคติเนสและเอนไซม์เบต้า-1,3- กลูคาเนสในข้าวสังข์หยดพัทลุง. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ ม. เทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย, ตรัง.

อุไรวรรณ วัฒนกุล วัฒนา วัฒนกุล และชุตินุช สุจริต. 2556. ผลของอุณหภูมิในการแช่ งอก และหุงต้มต่อปริมาณไทอะมีน, GABA, สารต้านอนุมูลอิสระในข้าวมอลต์และข้าวกล้องงอกนึ่งสังข์หยดพัทลุง. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ ม. เทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย, ตรัง.

อุไรวรรณ วัฒนกุล วัฒนา วัฒนกุล และพีรพงษ์ พึ่งแย้ม. 2558. คุณค่าทางโภชนาการ สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในผลิตภัณฑ์ข้าวสังข์หยดพัทลุงที่ผลิตต่างฤดูกาล และการยืดอายุการเก็บรักษา. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ ม. เทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย, ตรัง.

Adari, C. B., Beachell, H. M., Jodon, N. E., Johnst, T.H., Thysell, J. R., Green, V. E., Webb, B. D. and Atkins, J. G. 1996. Rice breeding and methods in the United States. *In* Rice in the United States : varieties and production. P. 124. Agricultural Research Service, U.S. Department of Agriculture.

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). 1990. Official Methods of Analysis.Association of officialAnalytical I Chemists, Arlington. VA. 1298 PP.

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

Bhattacharya, S. 1996. Kinetics on Color Changes in Rice due to Parboiling. Journal of Food Engineering, 29 : 99–106.

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.

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.

Heinemann , R. J. B., Fagundes, P.L., Pinto, E. A., Penteado, M.V.C., and Lanfer-Marquez, U.M. 2005. Comparative study of nutrient composition of commercial brown, parboiled and milled rice from Brazil. Journal of Food Composition and Analysis. 18 : 287-296.

Hiromichi ,A.,Tomoni,S.,Hirto,S.,Aya,M.,Mitsuo,K.,Sachiyuki,T.,Sachilo,S.,Keiko,T. and Kenichi,I. 2003. Germinated brown rice., United States Patent No.US 6,630,193 B2.

Juliano, B.O. 1971. A simplified assay for milled rice amylase. Cereal Sci. Today 16: 334-338.

Juliano, B.O. 1972. An international survey of method used for evaluation of the cooking and Eating qualities of milled rice. IRRI Research Paper,Series No. 77 pp. 1-28.

Jung, G.H. and others. 2005. “Effects of Germination in Brown Rice by Addition Chitosan/Glutamic Acid,” Korean Journal of Food Preservative. 4 : 538-543.

Lee, Youn Ri and others. 2007. “Changes in the Chemical and Functional Components of Korean Rough Rice Before and After Germination,” Food Science and Biotechnology. 6 : 1006-1010.

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

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

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

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

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.

Rice-Evans , C. 1999. Implications of the mechanisms of action of tea polyphenols as anti-oxidations in vitro for chemoprevention in humans. Proc. Soc. Exp. Biol. Med. 220, 262-266.

Saif, Saifullah M.H., Dwayne A. Suter and Yubin Lan. 2004. “Effects of Processing Conditions and Environmental Exposure on the Tensile Properties of Parboiled Rice,”Biosystems Engineering. 89(3) : 321–330

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. http://www.healthy eating club.com/APJCN/ Volume15/Vol15 apcns/ Vol15 apcns.htm.June 2007.

Thakur, Abhay Kr. and A.K. Gupta. 2005. “Water Absorption Characteristics of Paddy, Brown Rice and Husk during Soaking,” Journal of Food Engineering. 75 : 252–257.

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.

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

Wolfe, K., Wu, X., and Liu, R.H. 2003. Antioxidant activity of apple peels. Journal of Agriculture and Food Chemistry 51: 609- 614.

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.

Yu, Y., & Wang, J. 2007. Effect of γ -ray irradiation on starch granule structure and physicochemical properties of rice. Food Research International, 40, 297–303.

# ภาคผนวก

# ภาคผนวก ก

ข้าวเปลือกสังข์หยดสงขลา (อ.คลองหอยโข่ง)

ข้าวเปลือกสังข์หยดนครศรีฯ (อ.หัวไทร)

ข้าวเปลือกสังข์หยดกระบี่ (อ.เขาคราม)

ข้าวเปลือกสังข์หยดสตูล (อ.ควนโดน)

ข้าวเปลือกสังข์หยดตรัง (อ.นาโยง)

ข้าวเปลือกสังข์หยดพัทลุง (อ.ตะโหมด)

**ภาพผนวกที่ 1** ตัวอย่างข้าวเปลือกสังข์หยดที่ปลูกในจังหวัดทางภาคใต้

ข้าวกล้องสังข์หยดสงขลา (อ.คลองหอยโข่ง)

ข้าวกล้องสังข์หยดนครศรีฯ (อ.หัวไทร)

ข้าวกล้องสังข์หยดกระบี่ (อ.เขาคราม)

ข้าวกล้องสังข์หยดสตูล (อ.ควนโดน)

ข้าวกล้องสังข์หยดตรัง (อ.นาโยง)

ข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุง (อ.ตะโหมด)

**ภาพผนวกที่ 2** ตัวอย่างข้าวกล้องกะเทาะเปลือกสังข์หยดที่ปลูกในจังหวัดทางภาคใต้

ข้าวนึ่งกล้องสังข์หยดสงขลา (อ.คลองหอยโข่ง)

ข้าวนึ่งกล้องสังข์หยดนครศรีฯ (อ.หัวไทร)

ข้าวนึ่งกล้องสังข์หยดกระบี่ (อ.เขาคราม)

ข้าวนึ่งกล้องสังข์หยดสตูล (อ.ควนโดน)

ข้าวนึ่งกล้องสังข์หยดตรัง (อ.นาโยง)

ข้าวนึ่งกล้องสังข์หยดพัทลุง (อ.ตะโหมด)

**ภาพผนวกที่ 3** ตัวอย่างข้าวนึ่งกล้องสังข์หยดที่ปลูกในจังหวัดทางภาคใต้

เตรียมข้าวเปลือก

แช่ข้าวเปลือกในน้ำอุณหภูมิ 70 นาน 3 ชม.

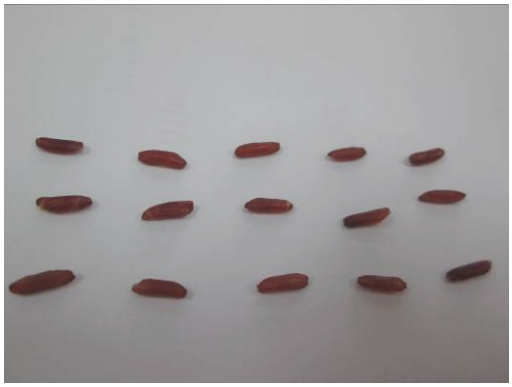
นึ่งข้าวด้วยหม้อนึ่งความดัน

ข้าวเปลือกหลังนึ่ง

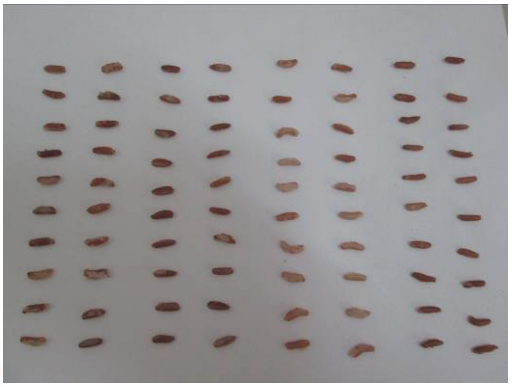
เกลี่ยข้าวเปลือกลงในถาด

อบแห้งที่อุณหภูมิ 60-75 °C

**ภาพผนวกที่ 4** การเตรียมข้าวกล้องนึ่งของข้าวกล้องสังข์หยดที่ปลูกในจังหวัดทางภาคใต้



อัตราส่วนความยาวกว้างของเมล็ดข้าว



อัตราส่วนความยาวกว้างของเมล็ดข้าว

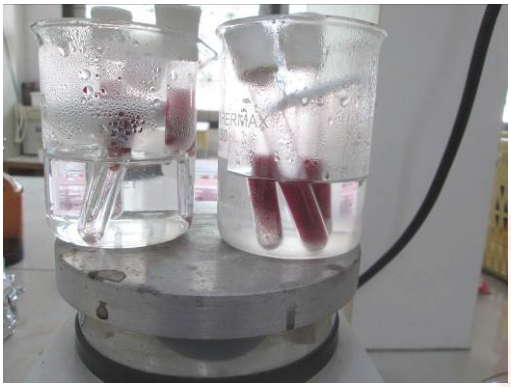
อัตราส่วนความยาวกว้างของเมล็ดข้าว

อัตราส่วนความยาวกว้างของเมล็ดข้าว

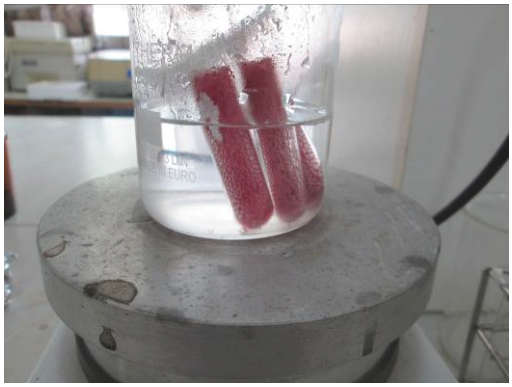
อัตราส่วนความยาวกว้างของเมล็ดข้าว

อัตราส่วนความยาวกว้างของเมล็ดข้าว

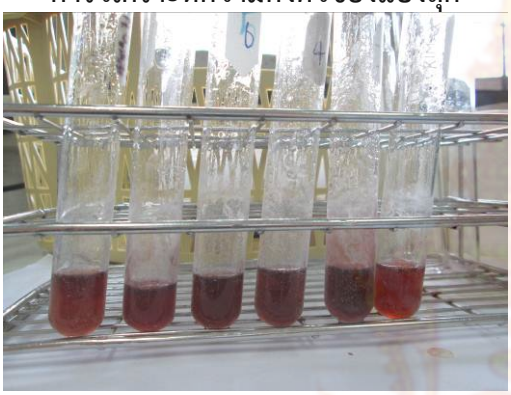
**ภาพผนวกที่ 5** การวิเคราะห์อัตราส่วนความยาวกว้างของเมล็ดข้าวในข้าวกล้องและข้าวกล้องนึ่งสังข์หยดที่ปลูกในจังหวัดทางภาคใต้



การวิเคราะห์ความคงตัวของแป้งสุก

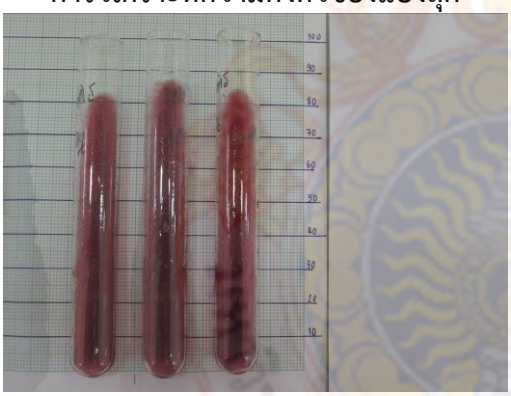


การวิเคราะห์ความคงตัวของแป้งสุก

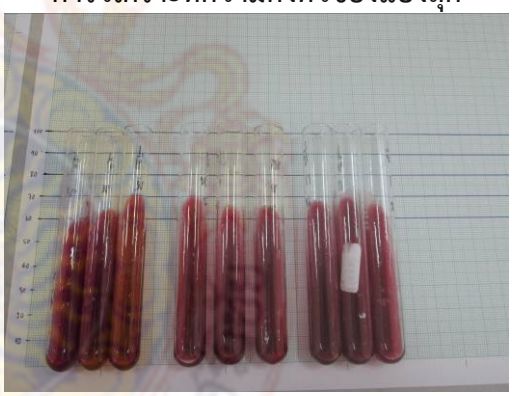


การวิเคราะห์ความคงตัวของแป้งสุก

การวิเคราะห์ความคงตัวของแป้งสุก

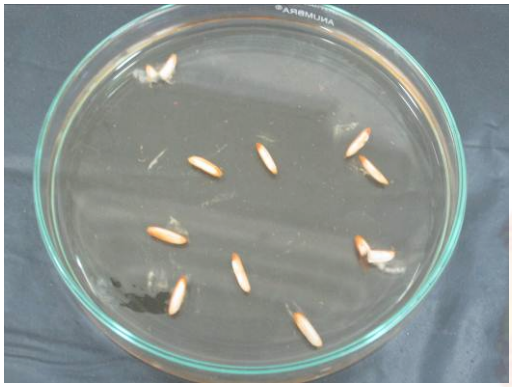


การวิเคราะห์ความคงตัวของแป้งสุก

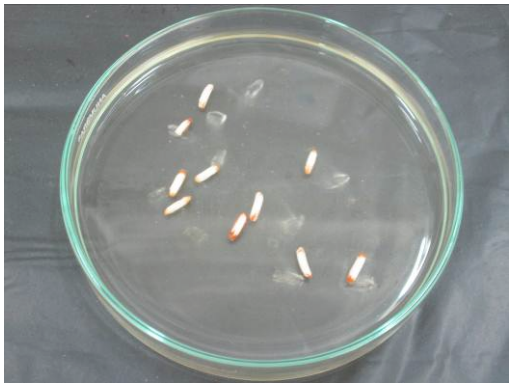


การวิเคราะห์ความคงตัวของแป้งสุก

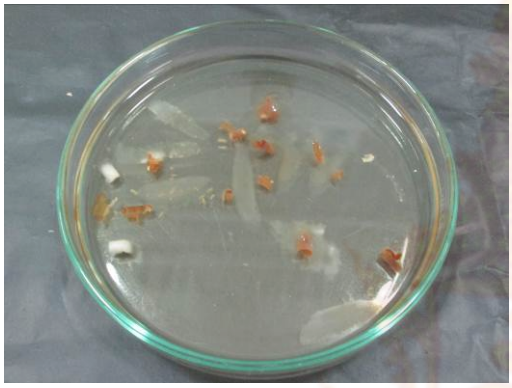
**ภาพผนวกที่ 6** การวิเคราะห์ความคงตัวของแป้งสุกในข้าวกล้องและข้าวกล้องนึ่งสังข์หยดที่ปลูกในจังหวัดทางภาคใต้



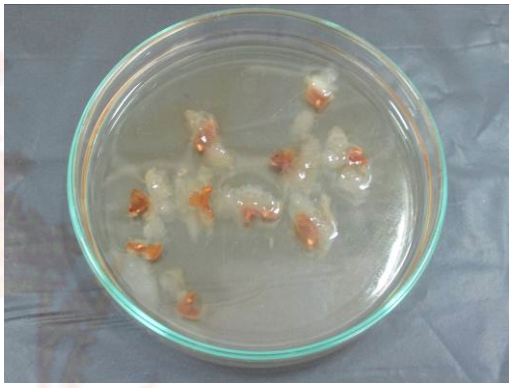
การวิเคราะห์ค่าการสลายตัวในด่าง



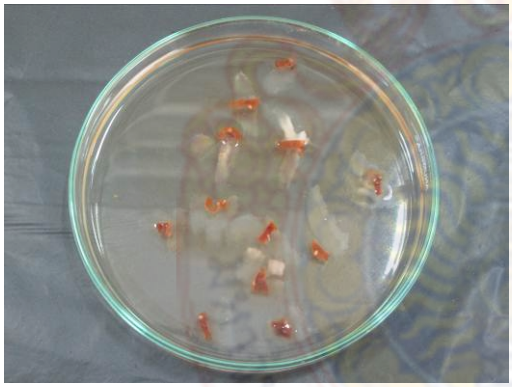
การวิเคราะห์ค่าการสลายตัวในด่าง



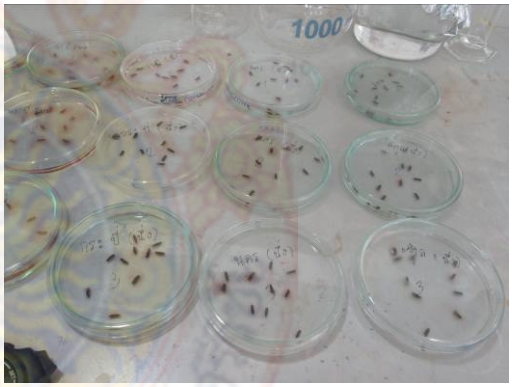
การวิเคราะห์ค่าการสลายตัวในด่าง



การวิเคราะห์ค่าการสลายตัวในด่าง



การวิเคราะห์ค่าการสลายตัวในด่าง

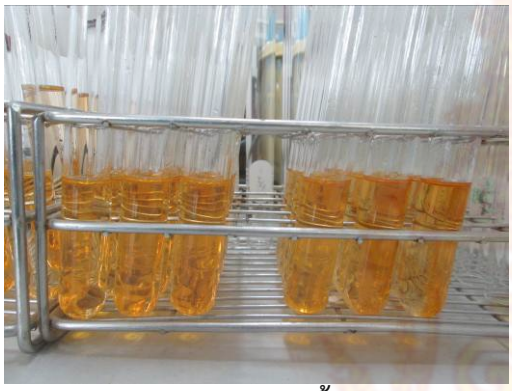



การวิเคราะห์ค่าการสลายตัวในด่าง

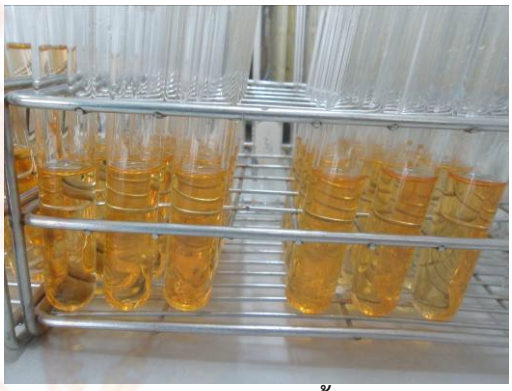
**ภาพผนวกที่ 7** การวิเคราะห์ค่าการสลายตัวในด่างในข้าวกล้องและข้าวกล้องนึ่งสังข์หยดที่ปลูกในจังหวัดทางภาคใต้

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรวม

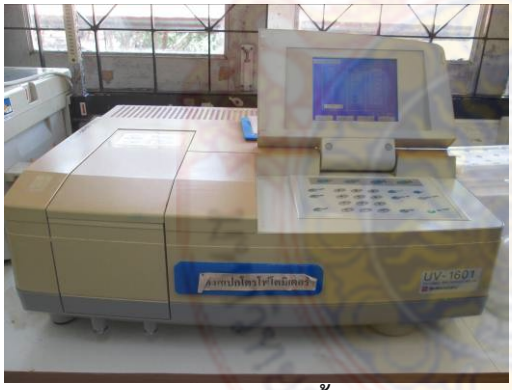
การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรวม



การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรวม



การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรวม



การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรวม

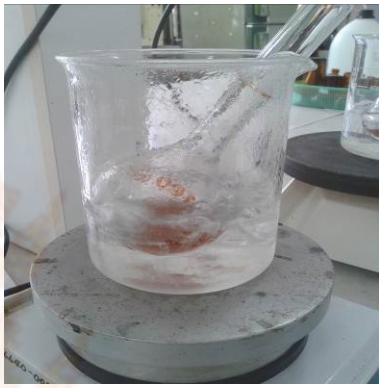
การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรวม

**ภาพผนวกที่ 8** การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรวมในข้าวกล้องและข้าวกล้องนึ่งสังข์หยดที่ปลูกในจังหวัดทางภาคใต้

การวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลส

การวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลส

การวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลส

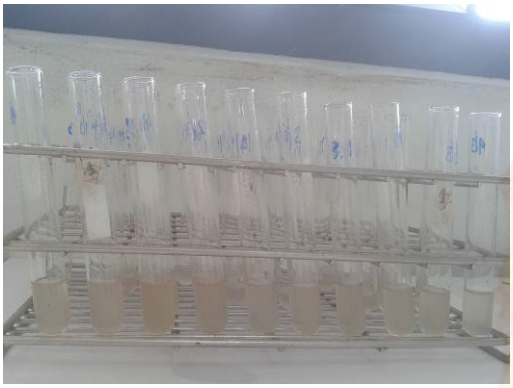


การวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลส

การวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลส

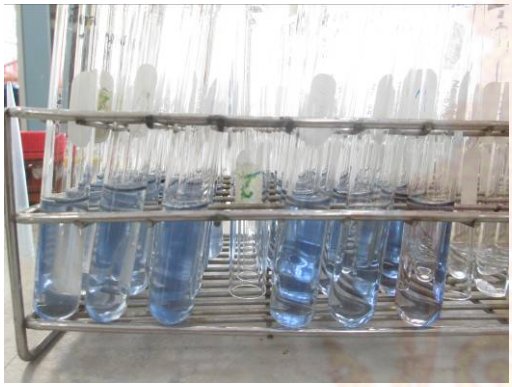
การวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลส

**ภาพผนวกที่ 9** การวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลสในข้าวกล้องและข้าวกล้องนึ่งสังข์หยดที่ปลูกในจังหวัดทางภาคใต้



การวิเคราะห์ปริมาณฟีโนลิก

การวิเคราะห์ปริมาณฟีโนลิก



การวิเคราะห์ปริมาณฟีโนลิก

การวิเคราะห์ปริมาณฟีโนลิก

การวิเคราะห์ปริมาณฟีโนลิก

การวิเคราะห์ปริมาณฟีโนลิก

**ภาพผนวกที่ 10** การวิเคราะห์ปริมาณฟีโนลิกในข้าวกล้องและข้าวกล้องนึ่งสังข์หยดที่ปลูกในจังหวัดทางภาคใต้

การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน

การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน

การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน

การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน

การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน

การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน

**ภาพผนวกที่ 11** การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนในข้าวกล้องและข้าวกล้องนึ่งสังข์หยดที่ปลูกในจังหวัดทางภาคใต้

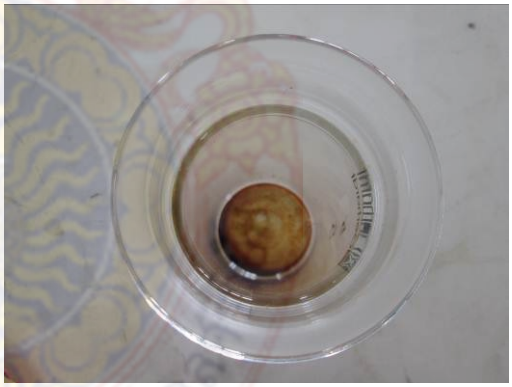
การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน

การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน

การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน

การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน

การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน



การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน

**ภาพผนวกที่ 12** การวิเคราะห์ปริมาณไขมันในข้าวกล้องและข้าวกล้องนึ่งสังข์หยดที่ปลูกในจังหวัดทางภาคใต้

การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า

การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า

การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า

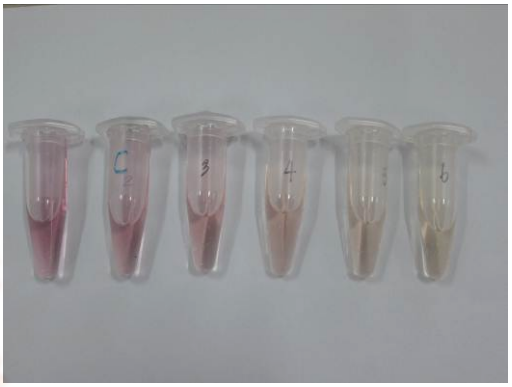
การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

**ภาพผนวกที่ 13** การวิเคราะห์เถ้าและความชื้นในข้าวกล้องและข้าวกล้องนึ่งสังข์หยดที่ปลูกในจังหวัดทางภาคใต้

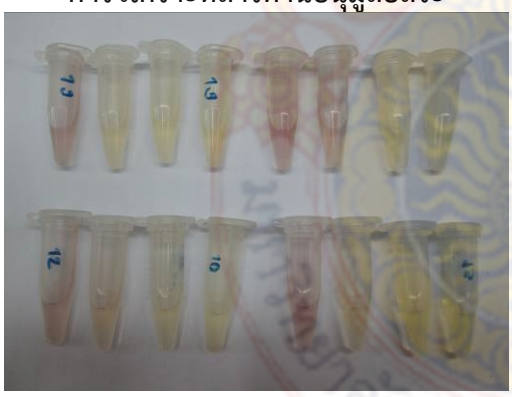
การวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระ



การวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระ

การวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระ

การวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระ



การวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระ

การวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระ

**ภาพผนวกที่ 14** การวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระในข้าวกล้องและข้าวกล้องนึ่งสังข์หยดที่ปลูกในจังหวัดทางภาคใต้

# ภาคผนวก ข

## การวิเคราะห์ทางเคมี

**1. การวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลส (Juliano (1971)**

**สารเคมี**

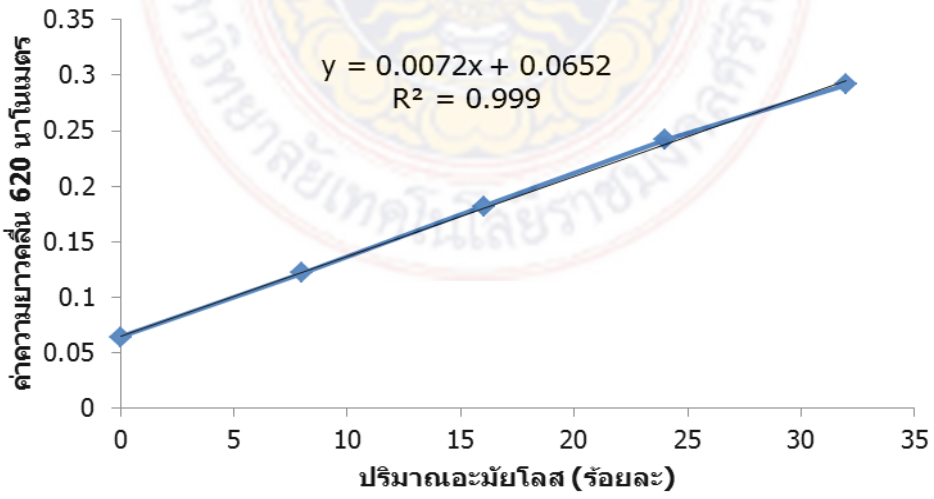
1 N NaoH

1 N glacial acetic acid

สารละลายไอโอดีน (ชั่งไอโอดีน 0.2 g และ KI 2.0 g ละลายในน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 100 ml)

**วิธีการวิเคราะห์**

ชั่งตัวอย่างแป้งข้าว 0.1 กรัม ใส่ใน volumetric flask ขนาด 100 ml เติม 95 % ethyl alcohol จำนวน 1 ml เขย่าเบาๆ เพื่อให้แป้งกระจายตัว นำสารละลายแป้งมา 1 ml เติม 1 N NaoH จำนวน 9 ml นำไปต้มในน้ำเดือดนาน 10 นาที ทิ้งให้เย็น ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 100 ml ทิ้งไว้ค้างคืน ใช้ปิเปตดูดสารละลายแป้งที่เตรียมไว้มา 5 ml ใส่ใน volumetric flask ขนาด 100 ml ที่มีน้ำกลั่น 50 ml 1 N glacial acetic acid จำนวน 1 ml และสารละลายไอโอดีน จำนวน 2 ml แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100 ml เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 20 นาที นำไปวัดค่าความเข้มสีของสารละลาย โดยใช้เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร อ่านค่าการดูดกลืนสี โดย blank เป็นสารละลายที่เตรียมโดยไม่มีตัวอย่างข้าว ปริมาณ amylose หาได้โดยการเปรียบเทียบค่าที่ได้กับกราฟมาตรฐาน แล้วแสดงค่าเป็นร้อยละของน้ำหนัก สำหรับกราฟมาตรฐานเตรียมโดยชั่ง potato amylase 0.04 g เตรียมให้เป็นสารละลายแป้งเช่นเดียวกับตัวอย่าง เขย่าให้เข้ากันดูดสารละลายแป้งมา 1,2,3,4 และ 5 ml ใส่ใน volumetric flask ขนาด 100 ml ที่มีน้ำกลั่นประมาณ 50 ml 1 N glacial acetic acid จำนวน 1 ml ตามลำดับ และสารละลายไอโอดีน จำนวน 2 ml แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100 ml ทิ้งไว้ประมาณ 20 นาที อ่านค่าการดูดกลืนสี ที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร เขียนกราฟระหว่าง ความเข้มข้นของ amylase กับค่าการดูดกลืนแสง




กราฟมาตรฐานของอะมิโลส (ร้อยละ)

**2. วิเคราะห์ความคงตัวของแป้งสุก (Yu and Wang, 2007)**

ชั่งตัวอย่างแป้งข้าว 0.1 กรัม ใส่หลอดแก้วขนาด 13 × 100 มิลลิลิตร เติมเอธานอลร้อยละ 95 ที่ละลายเมทิลีนบลูร้อยละ 0.025 ปริมาณ 0.2 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.2 นอร์มอล ปริมาณ 2 มิลลิลิตร ปั่นของเหลวในหลอดให้กระจายตัวเข้ากันดีจึงปิดฝาหลอดด้วยลูกแก้ว นำไปต้มในน้ำเดือดนาน 8 นาที จึงนำขึ้นจากน้ำเดือด ปั่นของเหลวในหลอดให้เข้ากันดีและนำหลอดไปแช่ในช่องแช่แข็งนาน 20 นาที ต่อจากนั้นจึงนำหลอดมาวางในแนวนอนบนกระดาษกราฟ นาน 30 นาที และวัดระยะทางที่แป้งไหลเป็นมิลลิลิตร เปรียบเทียบค่าที่ได้กับค่าความคงตัวของแป้งสุกดังนี้

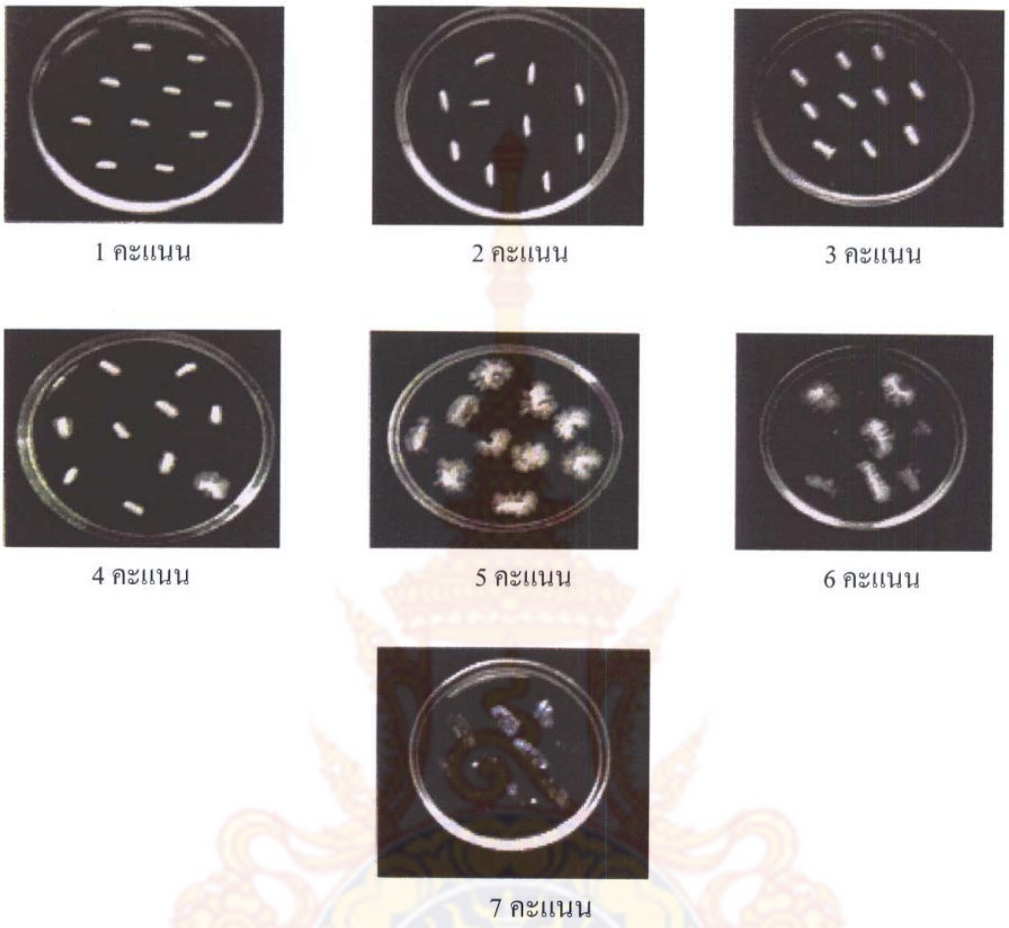
| ลักษณะ | ระยะทางที่แป้งไหล (มิลลิลิตร) |
|---|---|
| แป้งข้าวสุกแข็ง | น้อยกว่า 35 |
| แป้งข้าวสุกค่อนข้างแข็ง | 35-40 |
| แป้งข้าวสุกปานกลาง | 41-60 |
| แป้งข้าวสุกอ่อน | มากว่า 60 |

**3. การวิเคราะห์ค่าการสลายตัวในด่าง (Yu and Wang , 2007)**

สุ่มเมล็ดข้าวซ้ำละ 10 เมล็ด ใส่ลงในจานแก้วทดสอบ เติมสารละลายโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) 1.7 เปอร์เซ็นต์ ประมาณ 30 มิลลิลิตร หรือจนกว่าเมล็ดข้าวทั้งเมล็ดจะจมในสารละลาย ปิดฝาทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 23 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดตรวจสอบการสลายของเมล็ดข้าวและให้คะแนน 1-7 (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547)

ตารางระดับการสลายตัวในด่างของแต่ละเมล็ด (งามชื่น คงเสรี ,2545)

| ค่าการสลาย | ลักษณะของเมล็ดข้าวที่สลายในด่าง |
|---|---|
| 1 | ลักษณะของเมล็ดข้าวไม่เปลี่ยนแปลง |
| 2 | เมล็ดข้าวพองตัว |
| 3 | เมล็ดข้าวพองตัวและมีแป้งกระจายออกมาจากบางส่วนของเมล็ด |
| 4 | เมล็ดข้าวพองตัวและมีแป้งกระจายออกมารอบเมล็ดข้าวเป็นบริเวณกว้าง |
| 5 | ผิวของเมล็ดข้าวปริทางขวางหรือทางยาว และมีแป้งกระจายออกรอบเมล็ดเป็นบริเวณกว้าง |
| 6 | เมล็ดข้าวสลายตัวทั้งเมล็ด มีลักษณะเป็นเมือกขาวขุ่น |
| 7 | เมล็ดข้าวสลายตัวตลอดทั้งเมล็ด และมีลักษณะเป็นแป้งเปียกใส |




ระดับการสลายตัวในด่างของเมล็ดข้าว (อรอนงค์ นัยวิกุล,2547)

**4. ความกว้าง ยาว อัตราส่วนความยาวต่อความกว้างเมล็ด (Adair *et al.*, 1966)**

**อุปกรณ์**

- เวอร์เนียร์

**วิธีการ**

สุ่มข้าวสารวัดความกว้าง ยาว (มิลลิเมตร) ตัวอย่างละ 10 เมล็ด จำนวน 3 ซ้ำ เฉลี่ย แล้วคำนวณหาอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างของเมล็ด

**5. น้ำหนักเมล็ด (เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข, 2534)**

**อุปกรณ์**

- เครื่องชั่งไฟฟ้า 4 ตำแหน่ง

**วิธีการ**

สุ่มข้าวสาร ตัวอย่างละ 100 เมล็ด ชั่งน้ำหนัก (กรัม) จำนวน 3 ซ้ำ คิดค่าเฉลี่ยแล้วคำนวณและรายงานผลในรูปน้ำหนักต่อ 1,000 เมล็ด

**6. การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (AOAC , 1990)**

**อุปกรณ์เครื่องมือ**

1. หลอดย่อยโปรตีน (kjeldalh flask)
2. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง
3. ชุดย่อยโปรตีน
4. ชุดกลั่นโปรตีน
5. ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 และ 500 มิลลิลิตร
6. ปิเปต ขนาด 25 มิลลิลิตร
7. บิวเรต (burret) ขนาด 25 มิลลิลิตร
8. กระบอกตวงขนาด 100 มิลลิลิตร

**สารเคมี**

1. กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid ,$H_2SO_4$) เข้มข้น 98%
2. โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 40 (Sodium hydroxide ,NaOH)
   - เตรียมโดยชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 กรัม ละลายในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร
3. สารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1 นอร์มัล
   - เตรียมโดยใช้ปิเปตดูดกรดเกลือ 8.28 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร
4. สารเร่งรวม (catalyst mixture)
   - เตรียมโดยชั่ง คอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4$ ) 7 กรัม และ โพแทสเซียมซัลเฟต ($K_2SO_4$ ) 100 กรัม ผสมให้เข้ากัน
5. สารละลายกรดบอริกเข้มข้นร้อยละ 4 ( boric acid , $H_3BO_3$)
   - เตรียมโดยต้มน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร ให้ร้อน ใส่กรดบอริกลงไป 4 กรัม คนจนละลายหมด เมื่อสารละลายเย็นลง แล้วจึงเติมน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร mixed indicator (methyl red 0.1 กรัม ผสมกับ bromocresol green 0.1 กรัม ละลายใน ethyl alcohol 95 เปอร์เซ็นต์ ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร
6. อินดิเคเตอร์รวม (mixed indicator)
   - เตรียมโดย ละลาย methyl red 0.2 กรัม ในแอลกอฮอล์ 95% ปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร และละลาย methylene blue 0.2 กรัมในแอลกอฮอล์ 95% ปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร จากนั้นนำสารละลาย methyl red 2 ส่วน ผสมกับสารละลาย methylene blue 1 ส่วน เขย่าให้เข้ากัน

**วิธีการวิเคราะห์**

1. ขั้นตอนการย่อย (digestion)

1.1 ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักแน่นอน 0.5 - 1 กรัม ใส่ลงในหลอดย่อยโปรตีน

1.2 เติมสารเร่งปฏิกิริยา 3 กรัม และเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร

1.3 นำ insert rack ที่มีหลอดย่อยตัวอย่างวางครบทุกช่องวางประกอบเข้ากับเครื่องย่อย และเปิดเครื่องกำจัดไอกรด ตั้งอุณหภูมิในการย่อยตัวอย่างที่อุณหภูมิ 350 เซลเซียส ทำการย่อยตัวอย่างจนได้สารละลายใส ใช้เวลาประมาณ 90 นาที ทิ้งให้เย็น

2. ขั้นตอนการกลั่น (distillation)

2.1 เมื่อสารละลายเย็นลง ต่อหลอดย่อยโปรตีนเข้ากับเครื่องกลั่นที่มีขวดปากแคบวัดปริมาตร ซึ่งบรรจุสารละลายกรดบอริกเข้มข้น 4 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 25 มิลลิลิตร และหยด mixed indicator 2 – 3 หยด โดยให้ส่วนปลายของอุปกรณ์ควบแน่นจุ่มอยู่ในสารละลาย

2.2 เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์ ลงไปในหลอดย่อยจนได้สารละลายสีดำ

2.3 ทำการกลั่นจนกระทั่งไม่มีแก๊สแอมโมเนียออกมา ประมาณ 7 นาที

3. ขั้นตอนการไตเตรท (titrion)

3.1 นำสารละลายที่กลั่นได้ ไปไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 นอร์มอล จนกระทั่งสีของสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วงอมชมพู (ทำตัวอย่างละ 3 ซ้ำ)

3.2 บันทึกปริมาตรที่ได้ เพื่อใช้คำนวณต่อไป

3.3 ทำ blank ตามวิธีการในข้อ 2 - 10 โดยไม่ใส่ตัวอย่าง

**การคำนวณ**

$$\text{ปริมาณไนโตรเจน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)} = \frac{(A-B) \times N\ HCL \times 1.4 \times 100}{W \times 100}$$

ปริมาณโปรตีนทั้งหมด (ร้อยละโดยน้ำหนัก) = ปริมาณไนโตรเจน x F

เมื่อ A = ปริมาณสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไทเทรตตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

B = ปริมาตรสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไทเทรต blank (มิลลิลิตร)

N = ความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (นอร์มอล)

Wt = น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)

F = 5.95

แฟกเตอร์ที่ใช้คำนวณปริมาณโปรตีนสำหรับอาหารชนิดต่างๆ

| อาหาร | แฟกเตอร์ |
|---|---|
| ธัญพืช | |
| แป้งสาลีจากข้าวทั้งเมล็ด | 5.83 |
| มักกะโรและสปาเก็ตตี้ | 5.70 |
| ข้าวเจ้าและผลิตภัณฑ์ | 5.95 |
| ข้าวไรน์และผลิตภัณฑ์ | 5.83 |
| ข้าวบาเลย์และผลิตภัณฑ์ | 5.83 |
| นัทและเมล็ดพืช | |
| ถั่วเหลืองและผลิตภัณฑ์ | 5.71 |
| แอลมอนด์ | 5.18 |
| บราซิลนัท | 5.46 |
| มะพร้าว | 5.30 |
| เมล็ดงา ทานตะวัน คำฝอย | 5.30 |
| และอื่นๆ | |
| นมและผลิตภัณฑ์ | 6.38 |
| อาหารอื่นๆ | 6.25 |

7. **การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น** (A.O.A.C., 1990)

**. อุปกรณ์และเครื่องมือ**

1) ตู้อบไฟฟ้า (hot air oven)
2) ภาชนะอะลูมิเนียมสำหรับหาปริมาณความชื้น (aluminium can/moisture can)
3) โถดูดความชื้น (desiccator)
4) เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง

**วิธีการวิเคราะห์**

1) อบถ้วยอะลูมิเนียมพร้อมฝา ในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 100 -105 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง วางให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักแล้วนำไปอบซ้ำเป็นเวลา 30 นาที จนทราบน้ำหนักที่แน่นอน

2) ชั่งน้ำหนักให้ได้ตัวอย่างแน่นอนประมาณ 1 - 3 กรัม ใส่ลงในถ้วยอะลูมิเนียมเกลี่ยตัวอย่างให้กระจาย

3) นำไปอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง นำออกมาวางให้เย็นในโถดูดความชื้นนาน 30 นาที แล้วชั่งน้ำหนัก นำไปอบซ้ำครั้งละ 30 นาที จนได้น้ำหนักที่

แน่นอนชั่งทั้งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 0.001 - 0.003 มิลลิกรัม แล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณปริมาณความชื้นจากสูตร

**การคำนวณ**

$$\text{ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)} = \frac{(W_1-W_2) \times 100}{W_2}$$

$W_1$ = น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)

$W_2$ = น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

**8. การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (A.O.A.C., 1990)**

**อุปกรณ์และเครื่องมือ**

1) เตาเผา ( muffle furnace)
2) ถ้วยกระเบื้องเคลือบ ( porcelain crucible)
3) โถดูดความชื้น (desiccator)
4) เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง

**วิธีการวิเคราะห์**

1) เผาถ้วยกระเบื้องเคลือบเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 3 ชั่วโมง ปิดสวิตซ์เตาเผาแล้วรอประมาณ 30 – 45 นาที เพื่อให้อุณหภูมิภายในเตาเผาลดลงก่อน แล้วนำออกจากเตาเผาใส่โถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้องแล้วชั่งน้ำหนัก

2) เผาซ้ำอีกครั้งละประมาณ 1 ชั่วโมงและกระทำเช่นข้อ 1 จนได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งติดต่อกัน 2 ครั้ง ไม่เกิน 0.001 - 0.003 มิลลิกรัม

3) ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักแน่นอน (4 ตำแหน่ง) ประมาณ 2 กรัม ใส่ในถ้วยกระเบื้องเคลือบที่รู้น้ำหนักแน่นอน แล้วนำไปเผาในตู้ดูดควันจนควันหมด แล้วจึงนำเข้าเตาเผาอุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส และกระทำซ้ำเช่นเดียวกันกับข้อ 1-2

**การคำนวณ**

$$\text{ปริมาณเถ้า (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}}$$

9. **การวิเคราะห์หาปริมาณไขมัน** (ดัดแปลงจาก A.O.A.C., 2000)

**อุปกรณ์ เครื่องมือและสารเคมี**

1) เครื่องวิเคราะห์ไขมัน

2) เครื่องทำความเย็น (cooling bath)

3) บีกเกอร์สาหรับวิเคราะห์หาปริมาณไขมัน (glass extraction beader)

4) หลอดใส่ตัวอย่าง (thimble)

5) ตู้อบไฟฟ้าทศนิยม 4 ตาแหน่ง

6) โถดูดความชื้น (desiccator)

7) ปิโตรเลียมอีเทอร์

**วิธีการวิเคราะห์**

1) อบบีกเกอร์สาหรับวิเคราะห์หาปริมาณไขมันในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 2-3 ชั่วโมง แล้วทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนัก และทำซ้ำจนได้น้ำหนักคงที่ (ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 0.001-0.003 กรัม บันทึกน้ำหนักที่ได้

2) ชั่งตัวอย่างที่อบแห้งแล้ว 1-2 กรัม ลงบนกระดาษกรอง บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน แล้วห่อใส่ใน ทิมเบิล (thimble) นาทิมเบิลใส่ลงในลวดรองแล้ววางลงในบีกเกอร์สำหรับวิเคราะห์หาปริมาณไขมัน เติมปิโตรเลียมอีเทอร์ 150 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์สำหรับวิเคราะห์หาปริมาณไขมัน

3) ประกอบบีกเกอร์เข้ากับตัวเครื่องวิเคราะห์ไขมัน ทำการสกัดเป็นเวลา 30 นาที และชะล้างเป็นเวลา 60 นาที

4) จากนั้นนำบีกเกอร์ไปอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที วาง บีกเกอร์ให้เย็นในโถดูดความชื้นหรือจนกระทั่งอุณหภูมิของภาชนะลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้อง ชั่งน้ำหนัก แล้วคำนวณปริมาณไขมัน ดังสมการ

**การคำนวณ**

$$\text{ปริมาณไขมัน (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักไขมันหลังอบ} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}}$$

**10. การวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระ (DPPH scavenging activity method)ดัดแปลงจาก Fengiln (2004)**

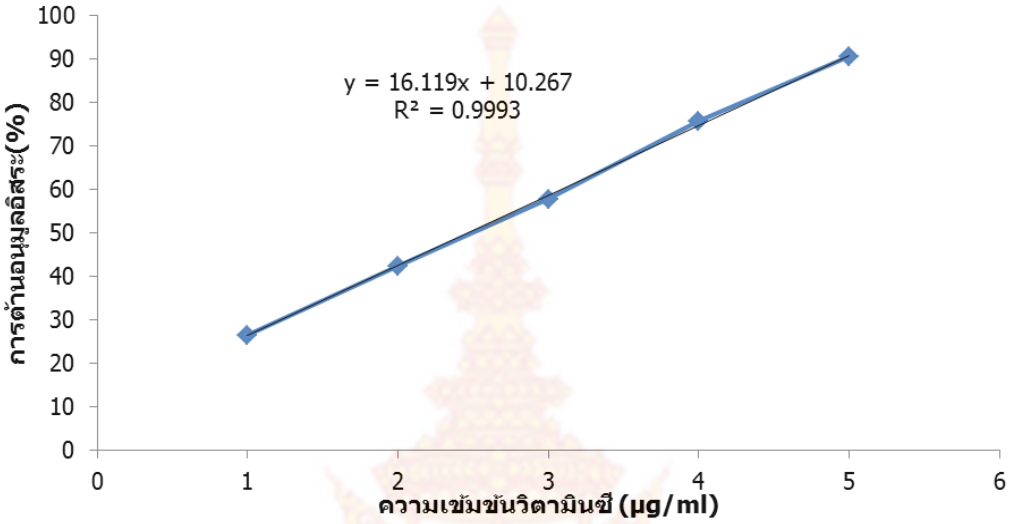
วิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระโดยนำสารสกัดแต่ละชนิดในเมทานอลที่มีความเข้มข้นต่างๆ กัน ปริมาตร 100 ไมโครลิตรแล้วเติมสารละลาย 1 mM DPPH ในเมทานอลปริมาตร 900 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันบ่มที่อุณหภูมิห้องในที่มืดนาน 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ค่าความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับชุดควบคุมซึ่ง ใส่เมทานอลเท่านั้นแทนสารสกัดเป็น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

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

$A_{sample}$ = ค่าการดูดกลืนแสงของชุดทดสอบ

$A_{control}$ = ค่าการดูดกลืนแสงของชุดควบคุม

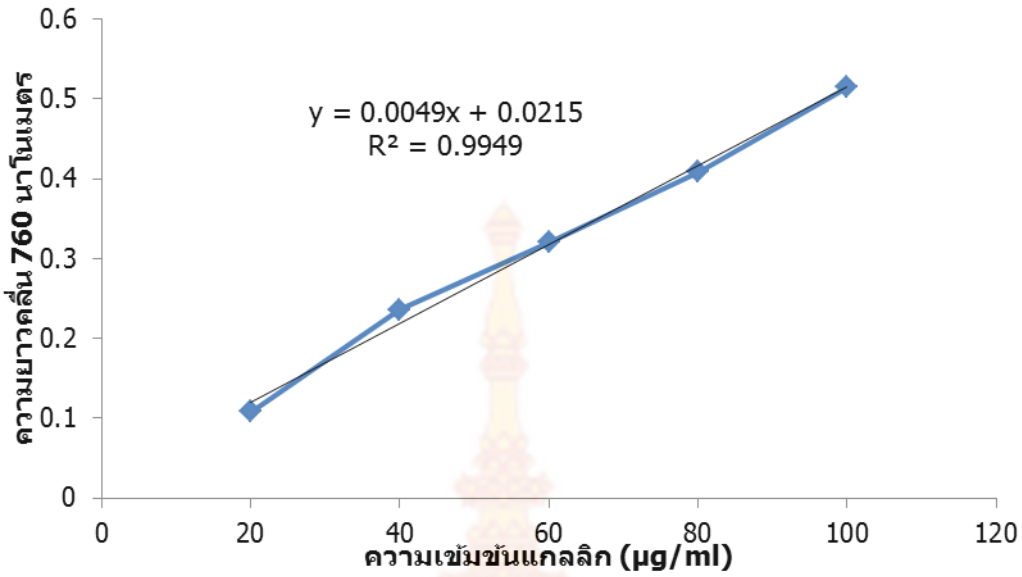
จากนั้นคำนวณหาค่า $IC_{50}$ (ค่าความเข้มข้นของสารสกัดที่สามารถดักจับอนุมูลอิสระ DPPH° ได้ 50 เปอร์เซ็นต์ ) จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง % scavenging กับความเข้มข้นของสารละลาย




กราฟมาตรฐานสารต้านอนุมูลอิสระ DPPH scavenging activity

**11. ปริมาณสารฟีนอลิก**

วิเคราะห์ปริมาณของสารฟีนอลิกโดยดัดแปลงวิธี Folin-Ciocalteu colorimetric method ตามวิธีของ Wolfe *et al.*(2003) โดยนำตัวอย่างสารสกัดมา 125 ไมโครลิตร เติมลงในหลอดทดลองที่มีน้ำกลั่นอยู่ 500 ไมโครลิตร แล้วเติม Folin-Ciocalteu reagent 125 ไมโครลิตร ทิ้งไว้ในที่มืดนาน 6 นาที หลังจากนั้นเติมโซเดียมคาร์บอเนตร้อยละ 7 ปริมาตร 1250 ไมโครลิตร และน้ำกลั่น 1000 ไมโครลิตร วางไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 90 นาที นำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร นำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก




กราฟมาตรฐานปริมาณของสารฟีนอลิก

12. **การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรวม** (Dubois et al.1956)

**สารเคมี**

1. 5% phenol solution
2. Standard glucose solution

**การเตรียมสารเคมี**

1. 5% phenol solution เตรียมโดยชั่ง phenol ปริมาณ 5 กรัม ใส่ใน volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น
2. การเตรียม stock solution สารละลายกลูโคสมาตรฐาน โดยชั่ง glucose anhydrous มาจำนวน 0.01 กรัม ใส่ลงใน volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันจะได้ stock solution เข้มข้น 100 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร

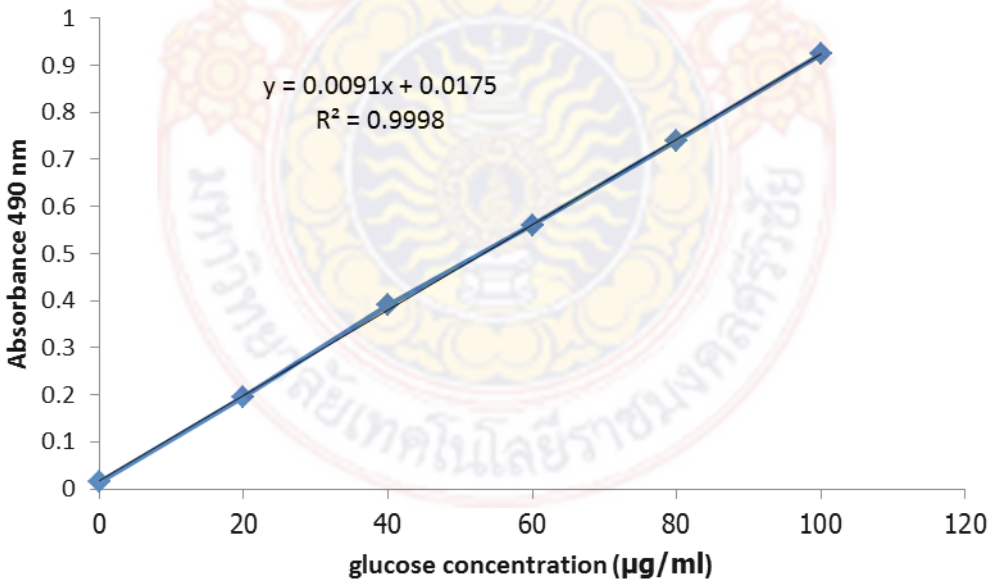
วิธีการทำ Standard Curve

1. ปิเปต stock solution มาจำนวน 0 , 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 มิลลิลิตรใส่หลอดทดลองแล้วเติมน้ำกลั่นปริมาตร 1.0 , 0.8, 0.6 ,0.4, 0.2 และ 0 มิลลิลิตร จะได้สารละลายกลูโคสที่มีความเข้มข้น 0,20,40,60,80 และ 100 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ จากนั้นปิเปตสารละลายกลูโคสมาตรฐานแต่ละความเข้มข้นมา 1.0 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลองที่สะอาด
2. เติม 5% phenol solution ลงไป 1.0 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วย vortex mixer ตั้งทิ้งไว้ 2-3 นาที

3. เติม Conc. $H_2SO_4$ 5 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที ผสมให้เข้ากันด้วย vortex mixer จากนั้นนำไปวางไว้ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที ผสมด้วย vortex mixer อีกครั้ง นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 490 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Spectrophotometer โดยใช้น้ำกลั่นแทนตัวอย่างเพื่อทำชุดควบคุม (blank) อ่านค่า Absorbance ของสารละลายกลูโคสมาตรฐาน นำค่า Absorbance ที่อ่านได้และความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสมาตรฐานมาทำ Standard Curve

**วิธีการวิเคราะห์**

1. เจือจางตัวอย่างให้มีปริมาณน้ำตาลอยู่ในช่วง 0-100 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ดูดสารละลายแต่ละความเจือจางแล้ว ใส่หลอดทดลองหลอดละ 1 มิลลิลิตร
2. เติม 5% phenol solution ลงไป 1.0 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วย vortex mixer ตั้งทิ้งไว้ 2-3 นาที
3. เติม Conc. $H_2SO_4$ 5 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที ผสมให้เข้ากันด้วย vortex mixer จากนั้นนำไปวางไว้ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที ผสมด้วย vortex mixer อีกครั้ง นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 490 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Spectrophotometer โดยใช้น้ำกลั่นแทนตัวอย่างเพื่อทำชุดควบคุม (blank) อ่านค่า Absorbance ของสารละลายกลูโคสมาตรฐาน นำค่า Absorbance ที่อ่านได้และความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสมาตรฐานมาทำ Standard Curve




กราฟมาตรฐานปริมาณน้ำตาลรวม

**13. การวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี ABTS ทำตามวิธี สุริสา และคณะ (2557)**

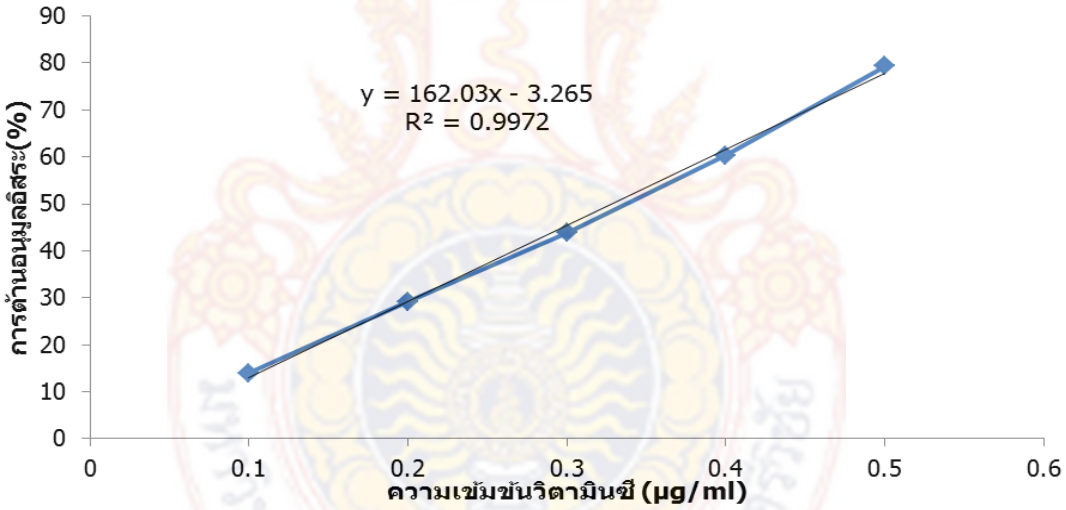
วิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระโดยนำสารสกัดแต่ละชนิดในเมทานอลที่มีความเข้มข้นที่ 200, 400, 600, 800, 1000 $\mu$g/ml อย่างละ 2 ml และละลาย Vitamin C เพื่อใช้เป็นสารมาตรฐาน ด้วยตัวทำละลายเมทานอล ให้มีความเข้มข้นที่ 1, 2, 3, 4, 5, 6 $\mu$g/ml อย่างละ 2 ml ผสมสารละลายตัวอย่างหรือสารมาตรฐาน ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร และสารละลาย ABTS cation radical ปริมาตร 1 มิลลิลิตร แล้วนำสารผสมที่ได้เก็บไว้ในที่มืดเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร นำค่าที่วัดได้มาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การยับยั้ง จากสูตร

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

$A_{sample}$ = ค่าการดูดกลืนแสงของชุดทดสอบ

$A_{control}$ = ค่าการดูดกลืนแสงของชุดควบคุม

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




กราฟมาตรฐานสารต้านอนุมูลอิสระ ABTS scavenging activity

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อที่ใช้ในการวิจัย

| | | |
|---|---|---|
| ก. | = | กรัม |
| กก. | = | กิโลกรัม |
| ชม. | = | ชั่วโมง |
| ซม. | = | เซนติเมตร |
| มล. | = | มิลลิลิตร |
| มม. | = | มิลลิเมตร |
| มก./ก. | = | มิลลิกรัมต่อกรัม |
| มทร. | = | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล |
| วข. | = | วิทยาเขต |
| % | = | เปอร์เซ็นต์ |
| A | = | Absorbance |
| ABTS | = | 2, 2’ –Azino-bis (3-ethylbenzthiazoline-6-sulfonic acid) |
| Abs.517 | = | Absorbance 517 |
| AOAC | = | Association of Official Analytical Chemists |
| $^{\circ}C$ | = | degree Celsius |
| CRD | = | Analysis of Variance in Completely Randomized Design |
| DMRT | = | Duncan’s New multiple range test: |
| DPPH | = | 2,2-dipheyl-l-picrylhydrazl |
| Kg | = | kilograms |
| $IC_{50}$ | = | Inhibitory concentration at 50% |
| N | = | Normal |
| µl | = | microliter |
| µg/ml | = | micrograms/ milliliter |
| HPLC | = | High Performance Liquid Chromatography |
| KOH | = | Potassium hydroxide |
| M | = | Molar |
| ml | = | milliliter |
| mg/g | = | micrograms/grams |
| mM | = | millimolar |
| nm | = | nanometre |
| w/w | = | weight / weight |
| pH | = | Potential of Hydrogen ion |
| ppt | = | Part Per thaosand |
| rpm | = | Revolutions per minute |