

สมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวพื้นถิ่นไทยที่ผ่านการอบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิดไดเซชันร่วมกับ
ไอน้ำร้อนยวดยิ่งสำหรับผลิตข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป

นางสาวปัทมา รุ่งวณิชธรรม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2554
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF THAI NATIVE RICE FROM FLUIDISATION
DRYING TECHNIQUE WITH SUPERHEATED STEAM FOR
INSTANT BROWN RICE PRODUCTION

Miss Pattama Rumruaytum

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Food Technology

Department of Food Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

สมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวพื้นถิ่นไทยที่ผ่าน
การอบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิดไดเซชันร่วมกับไอน้ำร้อน
ยวดยิ่งสำหรับผลิตข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป

โดย

นางสาวปัทมา ร่ำรวยธรรม

สาขาวิชา

เทคโนโลยีทางอาหาร

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

อาจารย์ ดร. ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรภา คงเป็นสุข

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ หรรหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(อาจารย์ ดร. ธนจันทร์ มหาณิช)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์ ดร. ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรภา คงเป็นสุข)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร. ดริษ กวักเพชญ์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐพล ภูมิสะอาด)

ปีพามา ร่ำรวยธรรมชาติ : สมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวพื้นถิ่นไทยที่ผ่านการอบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิดไอเซชันร่วมกับไอน้ำร้อนยวดยิ่งสำหรับผลิตข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป (PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF THAI NATIVE RICE FROM FLUIDISATION DRYING TECHNIQUE WITH SUPERHEATED STEAM FOR INSTANT BROWN RICE PRODUCTION) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : อ.ดร. ซาลีดา บรมพิชัยชาติกุล, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : ผศ. ดร. วรภา คงเป็นสุข, 177 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการอบแห้งข้าวเปลือกพันธุ์สังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อด้วยเทคนิคฟลูอิดไอเซชันร่วมกับไอน้ำร้อนยวดยิ่งต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวสำหรับผลิตข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป โดยศึกษาอุณหภูมิในการอบแห้งข้าวทั้งสองพันธุ์ที่ 170 °C เป็นเวลา 2.5, 3 และ 4 นาทีเปรียบเทียบกับข้าวที่ไม่ผ่านการอบแห้งให้เป็นตัวอย่างควบคุม เมื่อวิเคราะห์โครงสร้างความเป็นผลึก พบว่า ข้าวทั้งสองพันธุ์มี %ผลึกแบบวีเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งนานขึ้น การวิเคราะห์สมบัติด้านความหนืดพบว่าค่า pasting temperature ของข้าวทั้งสองพันธุ์ที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม ($p \leq 0.05$) แต่ค่า peak viscosity, breakdown, final viscosity และ setback ของข้าวทั้งสองพันธุ์หลังจากอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม ($p \leq 0.05$) จากภาพถ่าย SEM พบว่าลักษณะของเม็ดแป้งของตัวอย่างควบคุมมีรูปร่างสมบูรณ์ แต่เมื่อผ่านการอบแห้งพบว่าเม็ดแป้งจากข้าวทั้งสองพันธุ์มีการสูญเสียรูปร่างมากขึ้นเมื่อเพิ่มเวลาในการอบแห้งเนื่องจากเกิดการหลอมละลาย และ/หรือ partial gelatinization ของเม็ดแป้งในขณะอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง ปริมาณแอมิโลสของข้าวสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อในทุกภาวะการอบแห้งมีปริมาณไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อนำข้าวสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อมาวิเคราะห์ค่า EC_{50} โดยศึกษาภาวะการสกัดที่เหมาะสมพบว่า ระยะเวลาการสกัดที่เหมาะสมของข้าวสังข์หยดพัทลุงคือ 30 นาทีสำหรับการสกัดเพื่อวิเคราะห์ค่า EC_{50} และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ส่วนข้าวหน่วยเชื้อมีระยะเวลาการสกัดที่เหมาะสมเพื่อวิเคราะห์ค่า EC_{50} คือ 4 ชั่วโมง และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด คือ 24 ชั่วโมง ผลของระยะเวลาการต้มข้าวหักเพื่อผลิตข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปพบว่าข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อใช้เวลาในการต้ม 45 และ 55 นาทีตามลำดับ เมื่อศึกษาความสามารถในการคืนตัวของข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปโดยวัดจากค่าความหนืดพบว่า ตัวอย่างควบคุมของข้าวทั้งสองพันธุ์มีความสามารถในการคืนตัวดีกว่าข้าวที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และความสามารถในการคืนตัวของข้าวทั้งสองพันธุ์ที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งลดลงเมื่อระยะเวลาในการอบแห้งนานขึ้น ข้าวสังข์หยดพัทลุงมีความสามารถในการคืนตัวดีกว่าข้าวหน่วยเชื้อ ดังนั้นจึงเลือกข้าวสังข์หยดพัทลุงที่เป็นตัวอย่างควบคุม และที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาที มาพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป และศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์พบว่าผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปสังข์หยดพัทลุงที่เป็นตัวอย่างควบคุม และที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาทีสามารถเก็บรักษาได้มากกว่า 2 เดือน

ภาควิชา.....เทคโนโลยีทางอาหาร.....

ลายมือชื่อ.....

สาขาวิชา.....เทคโนโลยีทางอาหาร.....

ลายมือชื่อ.....ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา.....2554.....

ลายมือชื่อ.....ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....

##5272418123 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY

KEYWORDS : FLUIDISATION SUPERHEATED STEAM/NATIVE RICE/ INSTANT RICE

PATTAMA RUMRUJAYTUM : PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF THAI NATIVE RICE FROM FLUIDISATION DRYING TECHNIQUE WITH SUPERHEATED STEAM FOR INSTANT BROWN RICE PRODUCTION. ADVISOR : CHALEEDA BOROMPICHAICHARTKUL, Ph.D., CO-ADVISOR : .ASST. PROF. VARAPHA KONGPENSOK, Ph.D., 177 pp.

The purpose of this research is to study the effect of fluidization drying technique with superheated steam on the physicochemical properties of Thai Native rice, namely Sung Yod Phatthalung and Nauykaur, for making instant rice product. The drying temperature was set at 170 °C at different drying time i.e. 2.5, 3 and 4 min, respectively. The shade dried rice was employed as control sample. The crystallinity testing shows that %V-type crystallinity of both dried rice was increased when the drying time is longer. The result of pasting properties showed that the pasting temperature of both dried rice was significantly increased when compared to the control sample, while peak viscosity, breakdown, final viscosity and setback were lower than those of the control sample. The SEM images depicted that the starch granule of control samples was in normal shape but those of dried samples were changed with the increased drying time in such the ways that the starch granules were partially gelatinized and/or melted. For amylose analysis, the amylose contents of both dried rice were not different from all drying conditions. The EC₅₀ analysis was conducted to investigate the total optimum extraction time for EC₅₀ as well as for phenolic. It was found that optimum extraction time for EC₅₀ and total for phenolic content of Sung Yod Phatthalung rice were the same at 30 min, and for Nauykaur rice were 4 h and 24 h respectively. Effect of boiling time to obtain desired viscosity for both rice were investigated. The result showed that suitable boiling time of Sung Yod Phatthalung was 45 min and it took 55 min for Nauykaur. Rehydration capacity of both instant rice i.e. control and dried samples showed that the control sample had rehydration capacity more than those of dried samples. Moreover, when drying time under superheated steam was longer, this capacity was decreased. As the rehydration capacity of Sung Yod Phatthalung rice was better than Nauykaur. Therefore, Sung Yod Phatthalung in both control and after drying for 2.5 min sample were selected for product development of instant rice. The instant rice product from control and dried Sung Yod Phatthalung rice under superheated steam for 2.5 min can be stored in sealed laminated aluminium bag for more than 2 months.

Department:.....Food Technology.....

Student's Signature.....

Field of study:...Food Technology.....

Advisor's Signature.....

Academic Year:.....2011.....

Co-advisor's Signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ โดยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก อาจารย์ ดร. ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรภา คงเป็นสุข อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้กรุณาสละเวลาอันมีค่าในการให้ คำปรึกษา คำแนะนำ แนวคิด แนวทางการแก้ปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นตลอดระยะเวลาการ ดำเนินงานวิจัย รวมทั้งกรุณาช่วยแก้ไข ปรับปรุงวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร. ธนจันทร์ มหาวนิช ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร. ดริษ กวัคเพฑูรย์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐพล ภูมิสะอาด กรรมการสอบ วิทยานิพนธ์ ที่ได้สละเวลาอันมีค่ามาตรวจสอบ และให้คำแนะนำเพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความ สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร. ละมุล วิเศษ ที่สนับสนุนที่พักในการเดินทางไปทำงานวิจัย นอกสถานที่

ขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม และคณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ได้อนุเคราะห์ให้ใช้เครื่องมือ และห้องปฏิบัติการใน การดำเนินงานวิจัย

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนจากมูลนิธิชัยพัฒนาและกองทุนรัชดาภิเษกสมโภช จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย

ขอขอบคุณพี่ เพื่อน และน้องนิสิตปริญญาโท ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะ วิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจที่ดีตลอดการดำเนิน งานวิจัย รวมถึงเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการทุกท่าน ที่อำนวยความสะดวกในด้านอุปกรณ์และ เครื่องมือตลอดการดำเนินงานวิจัย

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดาที่ให้กำเนิด ให้ความช่วยเหลือในทุกๆ ด้าน และเป็นกำลังใจที่ดีแก่ข้าพเจ้าตลอดมา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ถ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
บทที่ 2 วารสารปริทัศน์.....	4
2.1 ข้าวพื้นถิ่น.....	4
2.2 สมบัติทางเคมีกายภาพ.....	6
2.3 สารต้านอนุมูลอิสระ.....	17
2.4 ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องสำเร็จรูป.....	19
2.5 การทำแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดเซชันร่วมกับไอน้ำร้อนยวดยิ่ง.....	21
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย.....	24
3.1 วัตถุประสงค์.....	24
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	24
3.3 สารเคมี.....	25
3.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	26
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	31
4.1 สมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อหลังการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่เวลาต่างๆ.....	31
4.2 ผลของระยะเวลาในการอบแห้งข้าวเปลือกสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งต่อลักษณะความเหนียวของข้าวกล้องสำเร็จรูป.....	62
4.3 พัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องสังข์สำเร็จรูปปรุงรส.....	70

4.4	ศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องที่สำเร็จรูปปรุงรสสังขี้หยดพัทลุง ที่ภาวะการอบแห้งต่างกัน.....	75
บทที่ 5	สรุปผลการทดลอง.....	92
	รายการเอกสารอ้างอิง.....	94
	ภาคผนวก.....	106
	ภาคผนวก ก	107
	ภาคผนวก ข	132
	ภาคผนวก ค	139
	ภาคผนวก ง	152
	ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	177

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	คุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้องพื้นถิ่นและข้าวกล้องทั่วไป.....	6
3.1	สูตรการพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป 2 สูตร.....	29
4.1	ค่าความชื้นของข้าวเปลือกสังข์หยดพัทลุง และหน่วยเชื้อ.....	31
4.2	ร้อยละต้นข้าวของข้าวสารสังข์หยดพัทลุง.....	32
4.3	ค่าดัชนีความขาวของข้าวสารสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อหลัง.....	33
4.4	ปริมาณไขมัน โปรตีน เถ้า คาร์โบไฮเดรตและความชื้นของแป้งข้าวกล้อง สังข์ หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อ.....	35
4.5	การจำแนกข้าวตามปริมาณแอมิโลส.....	37
4.6	ปริมาณแอมิโลสของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อ.....	38
4.7	ร้อยละผลึกแบบวีและร้อยละผลึกทั้งหมดของข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงและ หน่วยเชื้อ.....	40
4.8	กำลังการพองตัวของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อที่อุณหภูมิ 85 °C.....	46
4.9	การวิเคราะห์สมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงและ หน่วยเชื้อ.....	51
4.10	ค่า Ratio of absorbance height ของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงและ หน่วยเชื้อ.....	62
4.11	ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบต่อสูตรข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป ปรุงรส.....	72
4.12	การทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ข้าว กล้องกึ่งสำเร็จรูปสังข์หยดพัทลุง.....	74
4.13	การทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความเข้มของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ข้าว กล้องกึ่งสำเร็จรูปสังข์หยดพัทลุง.....	74
4.14	การเปรียบเทียบสมบัติทางเคมีกายภาพในด้านต่างๆ ของข้าวสังข์หยดพัทลุง ที่ภาวะการทำแห้งต่างกัน.....	75

ตารางที่	หน้า	
4.15	ค่าความขึ้นของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังข์หยดพัทลุงที่เป็นตัวอย่างควบคุม และที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาทีที่การเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์.....	76
4.16	ค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังข์หยดพัทลุงที่เป็นตัวอย่างควบคุม และที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาทีที่การเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์.....	78
4.17	ค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังข์หยดพัทลุงที่เป็นตัวอย่างควบคุม และที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาทีที่การเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์.....	80
4.18	ค่า L^* ของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังข์หยดพัทลุงที่เป็นตัวอย่างควบคุม และที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาทีที่การเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์.....	81
4.19	ค่า a^* ของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังข์หยดพัทลุงที่เป็นตัวอย่างควบคุม และที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาทีที่การเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์.....	82
4.20	ค่า b^* ของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังข์หยดพัทลุงที่เป็นตัวอย่างควบคุม และที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาทีที่การเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์.....	83
4.21	ค่า EC_{50} ของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังข์หยดพัทลุงที่เป็นตัวอย่างควบคุม และที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาทีที่การเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์.....	86
4.22	ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังข์หยดพัทลุงที่เป็นตัวอย่างควบคุม และที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาทีที่การเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์.....	87
4.23	การทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบของผู้บริโภคต่อข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังข์หยดพัทลุงตัวอย่างควบคุมโดยเก็บที่อุณหภูมิ 30 °C	89

ตารางที่		หน้า
4.24	การทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความเข้มของผู้บริโภคต่อข้าวกล้องที่สำเร็จรูปปรุงรสสังขียืดพัทลุงตัวอย่างควบคุมโดยเก็บที่อุณหภูมิ 30 °C	89
4.25	การทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบของผู้บริโภคต่อข้าวกล้องที่สำเร็จรูปปรุงรสสังขียืดพัทลุงที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นระยะเวลา 2.5 นาทีโดยเก็บที่อุณหภูมิ 30 °C.....	90
4.26	การทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความเข้มของผู้บริโภคต่อข้าวกล้องที่สำเร็จรูปปรุงรสสังขียืดพัทลุงที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นระยะเวลา 2.5 นาทีโดยเก็บที่อุณหภูมิ 30 °C.....	91
ก.1	Temperature profile ของ AACC method 61-02 (1999).....	119
ก.2	MPN สำหรับ 3 หลอดความเข้มข้น 0.1, 0.01 และ 0.001 MPN/กรัมที่ระดับนัยสำคัญ 95%.....	131
ค.1	ผลการวิเคราะห์สมบัติด้านความเหนียวของแป้งข้าวกล้องสังขียืดพัทลุงและหน่วยเชื้อ.....	140
ค.2	ค่า EC ₅₀ ของแป้งข้าวกล้องสังขียืดพัทลุงที่ระยะเวลาการสกัดต่างๆ กัน.....	141
ค.3	ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของแป้งข้าวกล้องสังขียืดพัทลุงที่ระยะเวลาการสกัดต่างๆ กัน.....	141
ค.4	ค่า EC ₅₀ ของแป้งข้าวกล้องหน่วยเชื้อที่ระยะเวลาการสกัดต่างๆ กัน.....	142
ค.5	ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของแป้งข้าวกล้องหน่วยเชื้อที่ระยะเวลาการสกัดต่างๆ กัน.....	142
ค.6	ค่าความเหนียวของข้าวกล้องหักสังขียืดพัทลุงที่ระยะเวลาการต้มต่างๆ.....	143
ค.7	อุณหภูมิของข้าวกล้องหักสังขียืดพัทลุงที่ระยะเวลาการต้มต่างๆ.....	143
ค.8	ค่าความเหนียวของข้าวกล้องหน่วยเชื้อที่ระยะเวลาการต้มต่างๆ.....	144
ค.9	อุณหภูมิของข้าวกล้องหน่วยเชื้อที่ระยะเวลาการต้มต่างๆ.....	144
ค.10	ผลของการอบแห้งข้าวเปลือกต่อความเหนียวเมื่อต้มข้าวกล้องหักสังขียืดพัทลุงและหน่วยเชื้อตามเวลาที่เลือก.....	145
ค.11	ความเหนียวของโจ๊กสำเร็จรูปในท้องตลาดเมื่อระยะเวลาขึ้น.....	145

ตารางที่	หน้า	
ค.12	ความสามารถในการคืนตัวของข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปสังข์หยดพัทลุงโดยวัดจากความหนืดเมื่อระยะเวลาขึ้น.....	146
ค.13	อุณหภูมิของข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปสังข์หยดพัทลุงเมื่อระยะเวลาขึ้น.....	146
ค.14	ความสามารถในการคืนตัวของข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปหน่วยเชื้อโดยวัดจากความหนืดเมื่อระยะเวลาขึ้น.....	147
ค.15	อุณหภูมิของข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปหน่วยเชื้อเมื่อระยะเวลาขึ้น.....	147
ค.16	การศึกษาความสามารถในการคืนตัวของข้าวกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังข์หยดพัทลุงตัวอย่างควบคุม และที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาทีในอัตราส่วนข้าวต่อน้ำ 1:7 เมื่อระยะเวลาขึ้นโดยวิเคราะห์จากค่าความหนืด.....	148
ค.17	อุณหภูมิของข้าวกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังข์หยดพัทลุงตัวอย่างควบคุม และที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาทีที่อัตราส่วนข้าวต่อน้ำ 1:7 เมื่อระยะเวลาขึ้น.....	148
ค.18	การศึกษาความสามารถในการคืนตัวของข้าวกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังข์หยดพัทลุงตัวอย่างควบคุม และที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาทีในอัตราส่วนข้าวต่อน้ำ 1:8 เมื่อระยะเวลาขึ้นโดยวิเคราะห์จากค่าความหนืด.....	149
ค.19	อุณหภูมิของข้าวกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังข์หยดพัทลุงตัวอย่างควบคุม และที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาทีที่อัตราส่วนข้าวต่อน้ำ 1:8 เมื่อระยะเวลาขึ้น.....	149
ค.20	การทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบของผู้บริโภคต่อใจักข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปตราเกษตร.....	150
ค.21	การทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความเข้มของผู้บริโภคต่อใจักข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปตราเกษตร.....	150
ค.22	การเปลี่ยนแปลงของปริมาณเชื้อ <i>E.coli</i> เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังข์หยดพัทลุงที่เป็นตัวอย่างควบคุมและที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาที.....	150

ตารางที่	หน้า
ค.23 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณยีสต์และราเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังขีหยดพัทลุงที่เป็นตัวอย่างควบคุมและที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาที.....	151
ง.1 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของร้อยละความชื้นของข้าวเปลือกสังขีหยดพัทลุงและหน่วยเชื้อ.....	153
ง.2 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของร้อยละข้าวต้นของข้าวสารสังขีหยดพัทลุง.....	153
ง.3 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของค่าดัชนีความขาวของข้าวสารสังขีหยดพัทลุงและหน่วยเชื้อที่ระยะเวลาการอบแห้งต่างๆ กัน (A) และพันธุ์ข้าว(B).....	154
ง.4 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของร้อยละความชื้นของแป้งข้าวกล้องสังขีหยดพัทลุงและหน่วยเชื้อที่ระยะเวลาการอบแห้งต่างๆ กัน (A) และพันธุ์ข้าว(B).....	154
ง.5 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของปริมาณไขมันของแป้งข้าวกล้องสังขีหยดพัทลุงและหน่วยเชื้อที่ระยะเวลาการอบแห้งต่างๆ กัน (A) และพันธุ์ข้าว(B).....	155
ง.6 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของปริมาณโปรตีนของแป้งข้าวกล้องสังขีหยดพัทลุงและหน่วยเชื้อที่ระยะเวลาการอบแห้งต่างๆ กัน (A) และพันธุ์ข้าว(B).....	155
ง.7 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของปริมาณเถ้าของแป้งข้าวกล้องสังขีหยดพัทลุงและหน่วยเชื้อที่ระยะเวลาการอบแห้งต่างๆ กัน (A) และพันธุ์ข้าว(B).....	156
ง.8 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของปริมาณคาร์โบไฮเดรตของแป้งข้าวกล้องสังขีหยดพัทลุงและหน่วยเชื้อที่ระยะเวลาการอบแห้งต่างๆ กัน (A) และพันธุ์ข้าว(B).....	156
ง.9 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของกำลังการพองตัวของแป้งข้าวกล้องสังขีหยดพัทลุงและหน่วยเชื้อที่ระยะเวลาการอบแห้งต่างๆ กัน (A) และพันธุ์ข้าว(B).....	157

ตารางที่	หน้า
ง.10 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของปริมาณ แอมิโลสของแป้งข้าวกึ่งสังข์หยดพัทลุงหลังการอบแห้ง.....	157
ง.11 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของปริมาณแอมิโลส ของแป้งข้าวกึ่งหน่วยเชื้อหลังการอบแห้ง.....	157
ง.12 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ค่า Ratio of absorbance height ของแป้งข้าวกึ่งสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อที่ระยะเวลาการอบแห้ง ต่างๆ กัน (A) และพันธุ์ข้าว(B).....	158
ง.13 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของค่า pasting properties ของแป้งข้าวกึ่งสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อหลังที่ระยะเวลา การอบแห้งต่างๆ กัน (A) และพันธุ์ข้าว(B).....	158
ง.14 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของค่า peak viscosity ของแป้งข้าวกึ่งสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อที่ระยะเวลาการ อบแห้งต่างๆ กัน (A) และพันธุ์ข้าว(B).....	159
ง.15 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของค่า breakdown ของแป้งข้าวกึ่งสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อที่ระยะเวลาการอบแห้งต่างๆ กัน (A) และพันธุ์ข้าว(B).....	159
ง.16 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์สมบัติด้านความหนืดของแป้ง ข้าวกึ่งสังข์หยดพัทลุง.....	159
ง.17 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์สมบัติด้านความหนืดของแป้ง ข้าวกึ่งหน่วยเชื้อ.....	159
ง.18 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของแป้ง ข้าวกึ่งสังข์หยดพัทลุง ที่ระยะเวลาการสกัดต่างกัน (A) และระยะเวลาการ อบแห้งต่างกัน (B).....	161
ง.19 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของแป้ง ข้าวกึ่งหน่วยเชื้อที่ระยะเวลาการอบแห้งต่างกัน (A) และระยะเวลาการสกัด ต่างกัน (B).....	161

ตารางที่	หน้า
ง.20 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ค่า EC_{50} ของแป้งข้าวกล้าง สังข์หยดพัทลุงที่ระยะเวลาการอบแห้งต่างกัน (A) และระยะเวลาการสกัด ต่างกัน (B).....	162
ง.21 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ค่า EC_{50} ของแป้งข้าวกล้างสังข์ หยดพัทลุงที่ระยะเวลาการอบแห้งต่างกัน (A) และระยะเวลาการสกัดต่างกัน (B).....	162
ง.22 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ระยะเวลาการต้มและอุณหภูมิ ของข้าวกล้างหักสังข์หยดพัทลุง.....	163
ง.23 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ระยะเวลาการต้มและอุณหภูมิ ของข้าวกล้างหักหน่วยเชื้อ.....	163
ง.24 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ค่าความหนืดของข้าวกล้างกึ่ง สำเร็จรูปหน่วยเชื้อที่อบแห้งด้วยเวลาต่างๆ กัน (A) และค่าความหนืดเมื่อเวลา เปลี่ยนไป (B).....	164
ง.25 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ค่าความหนืดของข้าวกล้างกึ่ง สำเร็จรูปสังข์หยดพัทลุงที่ค่าความหนืดเมื่อเวลาเปลี่ยนไป (A) และอบแห้ง ด้วยเวลาต่างๆ กัน (B).....	164
ง.26 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์อุณหภูมิของข้าวกล้างกึ่ง สำเร็จรูปสังข์หยดพัทลุงที่เวลาในการคั่วตัวต่างๆ กัน.....	165
ง.27 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์อุณหภูมิของข้าวกล้างกึ่ง สำเร็จรูปหน่วยเชื้อที่เวลาในการคั่วตัวต่างๆ กัน.....	165
ง.28 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสรสชาติความชอบโดยรวมต่อผลิตภัณฑ์ข้าวกล้าง กึ่งสำเร็จรูปสังข์หยดพัทลุงตัวอย่างควบคุม และที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง ยังเป็นเวลา 2.5 นาที.....	166
ง.29 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของร้อยละความชื้น ของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้างกึ่งสำเร็จรูปสังข์หยดพัทลุงที่เป็นตัวอย่างควบคุมและ ที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (A) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ (B).....	167

ตารางที่	หน้า
ง.30 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปสังขีหัดพัทลุงที่เป็นตัวอย่างควบคุมและที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (A) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ (B).....	167
ง.31 ความแปรปรวน (ANOVA) ของค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปสังขีหัดพัทลุงที่เป็นตัวอย่างควบคุมและที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (A) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ (B).....	168
ง.32 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของค่า L^* ของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปสังขีหัดพัทลุงที่เป็นตัวอย่างควบคุมและที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (A) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ (B).....	168
ง.33 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของค่า a^* ของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปสังขีหัดพัทลุงที่เป็นตัวอย่างควบคุมและที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (A) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ (B).....	169
ง.34 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของค่า b^* ของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปสังขีหัดพัทลุงที่เป็นตัวอย่างควบคุมและที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (A) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ (B).....	169
ง.35 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปสังขีหัดพัทลุงที่เป็นตัวอย่างควบคุมและที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (A) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ (B).....	170
ง.36 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปสังขีหัดพัทลุงที่เป็นตัวอย่างควบคุมและที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (A) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ (B).....	170

ตารางที่	หน้า	
ง.37	ความแปรปรวน (ANOVA) ของการทดสอบทางประสาทสัมผัสความชอบต่อสีของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปสังขียุคพัทลุงที่เป็นตัวอย่างควบคุมและที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (A) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ (B).....	171
ง.38	ความแปรปรวน (ANOVA) ของการทดสอบทางประสาทสัมผัสความชอบต่อลักษณะการพองตัวของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปสังขียุคพัทลุงที่เป็นตัวอย่างควบคุมและที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (A) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ (B).....	171
ง.39	ความแปรปรวน (ANOVA) ของการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความเข้มของระดับการพองตัวของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปสังขียุคพัทลุงที่เป็นตัวอย่างควบคุมและที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (A) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ (B).....	172
ง.40	ความแปรปรวน (ANOVA) ของการทดสอบทางประสาทสัมผัสความชอบต่อความเหนียวของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปสังขียุคพัทลุงที่เป็นตัวอย่างควบคุมและที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (A) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ (B).....	172
ง.41	ความแปรปรวน (ANOVA) ของการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความเข้มต่อระดับความเหนียวของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปสังขียุคพัทลุงที่เป็นตัวอย่างควบคุมและที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (A) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ (B).....	173
ง.42	ความแปรปรวน (ANOVA) ของการทดสอบทางประสาทสัมผัสความชอบต่อความชื้นของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปสังขียุคพัทลุงที่เป็นตัวอย่างควบคุมและที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (A) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ (B).....	173
ง.43	ความแปรปรวน (ANOVA) ของการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความเข้มต่อระดับความชื้นของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปสังขียุคพัทลุงที่เป็นตัวอย่างควบคุมและที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (A) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ (B).....	174

ตารางที่	หน้า
ง.44 ความแปรปรวน (ANOVA) ของการทดสอบทางประสาทสัมผัสของความชอบต่อ ความรสเค็มของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปสังขีหอยดพัทลุงที่เป็นตัวอย่าง ควบคุมและที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (A) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ (B).....	174
ง.45 ความแปรปรวน (ANOVA) ของการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความเข้ม ต่อระดับรสเค็มของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปสังขีหอยดพัทลุงที่เป็น ตัวอย่างควบคุมและที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (A) ตลอดระยะเวลาการ เก็บรักษา 8 สัปดาห์ (B).....	175
ง.46 ความแปรปรวน (ANOVA) ของการทดสอบทางประสาทสัมผัสความชอบต่อ กลิ่นเครื่องปรุงรสของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปสังขีหอยดพัทลุงที่เป็น ตัวอย่างควบคุมและที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (A) ตลอดระยะเวลา การเก็บรักษา 8 สัปดาห์ (B).....	175
ง.47 ความแปรปรวน (ANOVA) ของการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความเข้ม ต่อระดับกลิ่นแปลกปลอมของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปสังขีหอยดพัทลุง ที่เป็นตัวอย่างควบคุมและที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (A) ตลอดระยะเวลา การเก็บรักษา 8 สัปดาห์ (B).....	176
ง.48 ความแปรปรวน (ANOVA) ของการทดสอบทางประสาทสัมผัสความชอบ โดยรวมต่อผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปสังขีหอยดพัทลุงที่เป็นตัวอย่าง ควบคุมและที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (A) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ (B).....	176

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	(ก) ข้าวเปลือกสังข์หยดพัทลุง และ (ข) ข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุง.....	5
2.2	(ก) ข้าวเปลือกหน่วยเชื้อ และ (ข) ข้าวกล้องหน่วยเชื้อ.....	5
2.3	สัดส่วนระหว่างปริมาณน้ำ และอุณหภูมิโดยประมาณที่ทำให้สารแขวนลอย น้ำแป้งเกิดการ grlatinization.....	7
2.4	การเกิด gelatinization.....	8
2.5	การเกิด retrogradation ของสตาร์ช.....	8
2.6	กราฟ Rapid Visco Analyzer (RVA)	10
2.7	รูปแบบการเลี้ยวเบนของเม็ดสตาร์ช แบบเอ, บี และวี.....	12
2.8	2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH)	18
4.1	โครงสร้างของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสและไขมัน (Amylose-lipid complex)	39
4.2	กราฟ XRD ของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุง.....	39
4.3	กราฟ XRD ของแป้งข้าวกล้องหน่วยเชื้อ.....	40
4.4	ภาพถ่าย SEM ของข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงโดย a-d เป็นบริเวณขอบของ เมล็ดข้าว e-h เป็นเม็ดแป้ง จากซ้ายไปขวา a,e คือตัวอย่างควบคุม (b,f), (c,g), (d,h) เป็นข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็น เวลา 2.5, 3 และ 4 นาทีตามลำดับ.....	43
4.5	ภาพถ่าย SEM ของข้าวกล้องหน่วยเชื้อโดย a-d เป็นบริเวณขอบของเมล็ดข้าว e-h เป็นเม็ดแป้ง จากซ้ายไปขวา a,e คือตัวอย่างควบคุม (b,f), (c,g), (d,h) เป็นข้าวกล้องหน่วยเชื้อที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 3 และ 4 นาทีตามลำดับ.....	44
4.6	ค่า final viscosity ของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุง.....	52
4.7	ค่า final viscosity ของแป้งข้าวกล้องหน่วยเชื้อ.....	53
4.8	ค่า setback ของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุง.....	55
4.9	ค่า setback ของแป้งข้าวกล้องหน่วยเชื้อ.....	55
4.10	ค่า EC ₅₀ ของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุง.....	57

ภาพที่	หน้า
4.11 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุง.....	58
4.12 ค่า EC ₅₀ ของแป้งข้าวกล้องหน่วยเชื้อ.....	58
4.13 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของแป้งข้าวกล้องหน่วยเชื้อ.....	59
4.14 ความหนืดของข้าวกล้องหักสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อเมื่อต้มตามระยะเวลาที่เลือก.....	64
4.15 ความหนืดของไจกิ้งสำเร็จรูปในท้องตลาดเมื่อระยะเวลาเปลี่ยนแปลงไป.....	65
4.16 ความหนืดของข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปสังข์หยดพัทลุงในทุกภาวะการอบแห้ง...	66
4.17 คุณสมบัติของข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปสังข์หยดพัทลุงในทุกภาวะการอบแห้งเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น.....	67
4.18 ความหนืดของข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปหน่วยเชื้อ.....	68
4.19 คุณสมบัติของข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปหน่วยเชื้อ.....	68
4.20 ความหนืดของข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปสังข์หยดพัทลุงสูตร A ในอัตราส่วนข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปต่อน้ำที่แตกต่างกัน.....	71
4.21 คุณสมบัติของข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปสังข์หยดพัทลุงในอัตราส่วนข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปต่อน้ำที่แตกต่างกัน.....	72
ก.1 กราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก.....	122

บทที่ 1

บทนำ

ในหลายปีที่ผ่านมาการพัฒนาพันธุ์ข้าวของไทยเป็นการพัฒนาเพื่อเพิ่มผลผลิตทางการค้าเป็นหลัก ซึ่งทำให้เกษตรกรนิยมใช้ข้าวพันธุ์ที่รัฐบาลส่งเสริมให้ปลูกแทนพันธุ์ข้าวพื้นถิ่นของไทย และเปลี่ยนมาปลูกข้าวเชิงเดี่ยวมากขึ้น ทำให้ข้าวพื้นถิ่นไทยที่บรรพบุรุษปลูกสืบทอดกันมานานเริ่มสูญหายไปทั้งที่ข้าวพื้นถิ่นไทยมีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าพันธุ์ข้าวที่ใช้ปลูกกันในปัจจุบัน เช่น ข้าวสังข์หยดพัทลุงซึ่งเป็นข้าวพื้นถิ่นไทยที่มีอยู่เฉพาะในจังหวัดพัทลุง ข้าวกล็องสังข์หยดพัทลุงมีสีแดง เมื่อหุงสุกข้าวจะนุ่ม นอกจากนี้ข้าวสังข์หยดพัทลุงยังมีปริมาณไนอะซิน โปรตีน วิตามินบี 2 และฟอสฟอรัสสูงเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวกล็องทั่วไป (ศูนย์วิจัยข้าวพัทลุง, 2550) ข้าวหน่วยเชื้อเป็นข้าวพื้นถิ่นของจังหวัดนครศรีธรรมราช มีปริมาณวิตามินอี เบต้าแคโรทีน และทองแดงสูงกว่าข้าวกล็องหอมมะลิจากทุ่งกุลาร้องไห้ การที่ข้าวกล็องหน่วยเชื้อมีปริมาณวิตามินอี สูงส่งผลให้ข้าวกล็องหน่วยเชื้อมีฤทธิ์ในการยับยั้งอนุมูลอิสระ การส่งเสริมให้มีการรู้จัก และนำข้าวพื้นถิ่นมาแปรรูป จะช่วยเพิ่มมูลค่าข้าวพื้นถิ่นและช่วยอนุรักษ์พันธุ์ข้าวไว้ได้ ทั้งนี้ข้าวเปลือกหลังการเก็บเกี่ยวจะมีความชื้นสูงประมาณ 20.00-24.81%(w.b.) ซึ่งความชื้นนี้จะมึบทบาทสำคัญต่อราคาข้าวโดยเฉพาะข้าวเปลือกที่มีความชื้นเกินกำหนดจะถูกตัดราคา นอกจากนี้หากไม่นำข้าวเปลือกหลังการเก็บเกี่ยวมาลดความชื้นในทันทีจะเกิดการเสื่อมเสียจากเชื้อราและเกิดกลิ่นหืน วิธีที่ใช้ในการลดความชื้นข้าวเปลือกนั้นมีหลายวิธี เช่น การตากแห้งซึ่งเป็นการลดความชื้นของข้าวเปลือกโดยใช้แสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นวิธีที่ง่าย ใช้เงินในการลงทุนและค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานต่ำ แต่ต้องใช้เวลาในการลดความชื้น อีกทั้งการควบคุมภาวะในการทำแห้งทำได้ยาก (วิไล รังสาดทอง, 2547) การอบแห้งแบบเทคนิคฟลูอิดไดเซชันร่วมกับอากาศร้อนเป็นการอบแห้งที่ใช้อุณหภูมิสูง ซึ่งข้าวเปลือกมีการเคลื่อนที่ตลอดเวลา ทำให้สัมผัสอากาศร้อนได้อย่างทั่วถึง ดังนั้นความชื้นของข้าวเปลือกจึงลดลงอย่างรวดเร็ว นอกจากการใช้อากาศร้อนในการอบแห้งข้าวเปลือก ยังมีการใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งในการอบแห้งแทนที่อากาศร้อน ซึ่งการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งจะมีอัตราการอบแห้งที่เร็วกว่าอากาศร้อนทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งสั้นกว่าแบบอากาศร้อน แต่การใช้อุณหภูมิสูงในการลดความชื้นข้าวเปลือกจะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวเปลือกหลังการอบแห้ง (สมคิด โฆษิตพันธวงศ์, 2549; Rordprapat *et al.*, 2005; Taechapairoj *et al.*, 2003) ซึ่งทำให้ข้าวหรือแป้งข้าวที่ได้จากการอบแห้งโดยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีลักษณะการหุงต้มแตกต่างจากการอบแห้งข้าวตามปกติ โดยเมื่อนำข้าวไปหุงจะให้ข้าวที่มีลักษณะคล้ายข้าวเก่า ในระหว่างกระบวนการอบแห้งข้าวด้วยไอน้ำร้อน

ยวดยิ่งเม็ดแป้งในข้าวจะเกิด gelatinization บางส่วน ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมีกายภาพของข้าว โดยในระหว่างกระบวนการอบแห้งด้วยอุณหภูมิสูงจะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสและไขมัน (amylose-lipid complex) ซึ่งส่งผลทำให้ข้าวทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ ค่า Glycemic index (GI) มีค่าลดลง ซึ่งเหมาะกับการเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ โดยเฉพาะกับผู้ที่ต้องการควบคุมน้ำหนัก ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวพื้นถิ่นไทยที่ผ่านการอบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิดไอเซชันร่วมกับไอน้ำร้อนยวดยิ่งเพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปให้เป็นอาหารเพื่อสุขภาพ เพราะข้าวพื้นถิ่นไทยมีสารต้านอนุมูลอิสระและคุณค่าทางโภชนาการสูง ทั้งนี้การนำข้าวพื้นถิ่นไทยมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป ยังเป็นการอนุรักษ์ และเพิ่มมูลค่าให้แก่ข้าวพื้นถิ่นไทย

สมมติฐานงานวิจัย

การนำเทคนิคฟลูอิดไอเซชันร่วมกับไอน้ำร้อนยวดยิ่งมาใช้อบแห้งข้าวพื้นถิ่นส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวที่ส่งผลให้ เกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสกับไขมัน และเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ของสายแอมิโลส ซึ่งทำให้ข้าวทนต่อการย่อยของเอนไซม์ ด้วยเหตุนี้จึงมีแนวความคิดที่จะนำการอบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิดไอเซชันร่วมกับไอน้ำร้อนยวดยิ่งมาอบแห้งข้าวพื้นถิ่น เพื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปจากข้าวพื้นถิ่นให้เป็นอาหารเพื่อสุขภาพ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาผลของการอบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิดไอเซชันร่วมกับไอน้ำร้อนยวดยิ่งต่อสมบัติทางกายภาพของข้าวพื้นถิ่นไทย และผลิตภัณฑ์ประเภทข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป
2. พัฒนาผลิตภัณฑ์ประเภทข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป จากข้าวพื้นถิ่นไทยพันธุ์สังข์หยดพัทลุง และหน่วยเชื้อให้เป็นอาหารเพื่อสุขภาพ

ขอบเขตงานวิจัย

1. ศึกษาผลของระยะเวลาการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเทคนิคฟลูอิดไดเซชันร่วมกับไอน้ำร้อนยวดยิ่งต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวกล้อง และลักษณะของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป
2. พัฒนาผลิตภัณฑ์ประเภทข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปและศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป

บทที่ 2 วารสารปริทัศน์

2.1 ข้าวพื้นถิ่น

ข้าวพื้นถิ่น ข้าวพื้นเมือง หรือข้าวพื้นบ้าน เป็นพันธุ์ข้าวที่ปลูกเฉพาะถิ่น โดยเกษตรกรชาวนาจะปลูกสืบทอดกันมาเป็นระยะเวลาอันยาวนาน และมีความหลากหลายของพันธุ์ขึ้นกับความแตกต่างในแต่ละสภาพพื้นที่ ในการเลือกชนิดพันธุ์ข้าวที่จะปลูกให้เหมาะสมในแต่ละสภาพพื้นที่ จะมาจากภูมิปัญญาของเกษตรกรชาวนาที่สามารถเลือกปลูกพันธุ์ข้าวแต่ละพันธุ์ให้เหมาะสมตามสภาพของแต่ละพื้นที่ได้ แต่ในปัจจุบันเกษตรกรชาวนาได้หันมาปลูกข้าวสายพันธุ์ใหม่ที่นักปรับปรุงพันธุ์สร้างขึ้นเนื่องจากให้ผลผลิตที่สูง ด้านทานโรคและแมลง เป็นที่ต้องการของตลาด รวมทั้งปัญหาภัยธรรมชาติที่เกษตรกรชาวนาต้องประสบ ทำให้เกษตรกรชาวนาหันมาปลูกข้าวพันธุ์ใหม่ ส่งผลให้พันธุ์ข้าวพื้นถิ่นเริ่มสูญหายไปทั้งที่ข้าวพื้นถิ่นมีคุณค่าทางโภชนาการสูง อีกทั้งยังเป็นข้าวพื้นถิ่นพ่อแม่พันธุ์ข้าวที่จะพัฒนาต่อไป (ศุภนิเวศน์พันธุ์ข้าวอุบลราชธานี, 2552) ดังนั้นจึงต้องอนุรักษ์พันธุ์ข้าวพื้นถิ่นให้คงอยู่ ทั้งนี้มูลนิธิชัยพัฒนาได้มีโครงการพัฒนาที่ดินโดยปรับปรุงดินให้สามารถทำนาได้ และศึกษาพันธุ์ข้าวพื้นถิ่นที่เกษตรกรนิยมปลูก เพื่อเป็นการสนับสนุนให้เกษตรกรปลูกข้าวพื้นถิ่นของแต่ละพื้นที่มากขึ้น

2.1.1 ข้าวสังข์หยดพัทลุง

ข้าวสังข์หยดพัทลุงเป็นพันธุ์ข้าวพื้นถิ่นดั้งเดิมของภาคใต้ และเป็นพันธุ์ข้าวเฉพาะถิ่นของจังหวัดพัทลุง โดยข้าวสังข์หยดพัทลุงจะมีลักษณะเมล็ดเล็กเรียวยาว (ภาพที่ 2.1(ก)) มีปริมาณแอมิโลสต่ำ (14.25%) ข้าวสังข์หยดพัทลุงเมื่อนำมาแกะเทาะเปลือกจะได้ข้าวกล้องที่มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีแดง (ภาพที่ 2.1(ข)) ซึ่งเป็นคุณสมบัติพิเศษของข้าวพันธุ์นี้ โดยข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงจะมีรูปร่างเมล็ดเรียวยาว มีความยาว 6.70 มิลลิเมตร และเมื่อนำข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงไปหุงสุกจะนุ่ม มีรสชาติดี สำหรับคุณค่าทางโภชนาการเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุง กับข้าวกล้องเล็บนกปัตตานี พบว่าข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงมีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าข้าวกล้องเล็บนกปัตตานี โดยมีปริมาณไนอาซิน (Niacin) 6.46 มิลลิกรัม ไยอาหาร 4.81 กรัม และธาตุเหล็ก 0.52 มิลลิกรัมในตัวอย่างข้าวกล้อง 100 กรัม (สำเร็จ แซตัน, 2550)



(ก)



(ข)

ภาพที่ 2.1 (ก) ข้าวเปลือกสังข์หยดพัทลุง และ (ข) ข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุง

2.1.2 ข้าวหน่วยเชื้อ

ข้าวหน่วยเชื้อเป็นข้าวพื้นถิ่นของจังหวัดนครศรีธรรมราช มีเมล็ดค่อนข้างกลมและมีขนาดเล็กจึงมีลักษณะคล้ายข้าวหัก (ภาพที่ 2.2 (ก) และ (ข)) จุดเด่นของข้าวหน่วยเชื้อคือ มีปริมาณวิตามินอีสูง ซึ่งการมีวิตามินอีสูงจะทำให้ข้าวหน่วยเชื้อมีฤทธิ์การยับยั้งอนุมูลอิสระ นอกจากนี้ข้าวหน่วยเชื้อยังมีธาตุทองแดง และเหล็กสูงเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวพันธุ์อื่นๆ (ตารางที่ 2.1)



(ก)



(ข)

ภาพที่ 2.2 (ก) ข้าวเปลือกหน่วยเชื้อ และ (ข) ข้าวกล้องหน่วยเชื้อ

ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้องพื้นถิ่นและข้าวกล้องทั่วไป

ชื่อพันธุ์	คุณค่าทางโภชนาการ (หน่วย : มิลลิกรัม/100 กรัม)				
	เหล็ก	ทองแดง	เบต้าแคโรทีน	ลูทีน	วิตามินอี
ค่าเฉลี่ยข้าวทั่วไป	0.42	0.1	ไม่พบ	ไม่พบ	0.03
หน่วยเขื่อน-นครศรีธรรมราช	1.22	0.5	0.0052	0.0144	0.7873
กำแพงเพชร-ยโสธร	0.95	0.08	0.0118	0.2401	0.1946
หอมมะลิแดง-ยโสธร	1.2	0.43	0.0033	0.0091	0.3366
หอมมะลิ-ทุ่งกุลาร้องไห้	1.02	ไม่พบ	0.0031	0.0095	0.3766
ช่อชิง-สงขลา	0.8	ไม่พบ	0.0041	0.0103	0.1788

ที่มา : ดัดแปลงจากนิรนาม (2551)

2.2 สมบัติทางเคมีกายภาพของข้าว

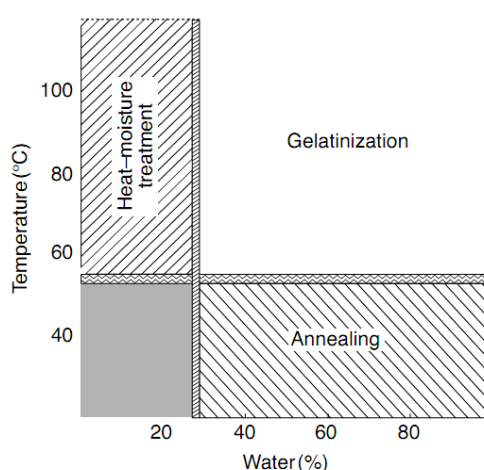
สมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวแต่ละชนิดจะมีความแตกต่างกันโดยขึ้นอยู่กับปัจจัยที่หลากหลายเช่น อัตราส่วนระหว่างปริมาณแอมิโลสและแอมิโลเพกทิน ซึ่งมีผลต่อเนื้อสัมผัส ลักษณะปรากฏของข้าวหลังการหุงต้ม สมบัติด้านความเหนียว การพองตัว การเกิด gelatinization และ retrogradation ของแป้งข้าว นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่ส่งผลต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าว เช่น ผลของการอบแห้งข้าวเปลือกที่อุณหภูมิสูง โดยความร้อนจะทำให้ผลึกของเม็ดแป้งในข้าวเกิดการหลอมละลาย ซึ่งเป็นผลมาจากการเกิด gelatinization บางส่วนระหว่างกระบวนการอบแห้ง และยังเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสและไขมัน (ภัทรพร คำผล และคณะ 2553; Varavinit *et al.*, 2003; Wiset *et al.*, 2005; Jaisut *et al.*, 2008)

2.2.1 สตาร์ชข้าว

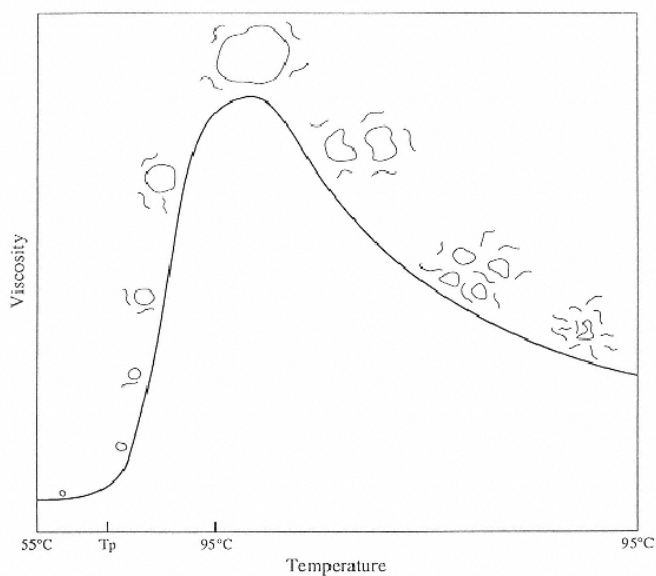
2.2.1.1 สมบัติด้านความเหนียวของแป้ง

สมบัติด้านความเหนียว เป็นสมบัติที่สำคัญของแป้ง ซึ่งสมบัติด้านความเหนียวของแป้งจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิด และสภาพแวดล้อมในการเพาะปลูกพืชที่นำมาผลิตแป้ง (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจ่อมขวัญ, 2550; Blazek and Copeland, 2008)

เมื่อนำสารแขวนลอยน้ำแป้งที่มีปริมาณน้ำมากเกินไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิการเกิด gelatinization ของแป้งชนิดนั้นๆ (ภาพที่ 2.3) เม็ดแป้งจะเกิดการพองตัว ทั้งนี้เนื่องจากเม็ดแป้งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl groups) ยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน ซึ่งมีสมบัติชอบน้ำ และเมื่อนำสารแขวนลอยน้ำแป้งไปให้ความร้อนพันธะไฮโดรเจนคลายตัวลง เม็ดแป้งดูดซึมน้ำ และพองตัวมากขึ้นทำให้โมเลกุลน้ำที่เป็นอิสระ บริเวณรอบๆ เม็ดแป้งลดลงเม็ดแป้งเคลื่อนตัวได้ยากขึ้น ทำให้สารแขวนลอยน้ำแป้งเกิดความหนืด เรียกว่าการเกิด gelatinization (ภาพที่ 2.4) ซึ่งเม็ดสตาร์ชจะสูญเสียสภาพความเป็นผลึก เกิดการพองตัวแบบผันกลับไม่ได้ (Eliasson, 2006) และเมื่อให้ความร้อนต่อไป เม็ดแป้งที่พองตัวจะแตกออก ทำให้โมเลกุลของแอมิโลสขนาดเล็กหลุดออกมาส่งผลให้สารแขวนลอยน้ำแป้งมีความหนืดลดลง เมื่อลดอุณหภูมิสารแขวนลอยน้ำแป้งลงให้เย็น แอมิโลสที่อยู่ใกล้กันจะจัดเรียงตัวใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนมีลักษณะเป็นร่างแหสามมิติ เกิดโครงสร้างที่ขับน้ำออก และไม่มีการดูดน้ำเข้ามาอีก ขณะนี้สารแขวนลอยน้ำแป้งจะเริ่มมีความหนืดเกิดขึ้นมาอีกครั้ง เรียกว่า การเกิด retrogradation (ภาพที่ 2.5) (Wu *et al.*, 2009) ซึ่งแอมิโลสจะมีผลโดยตรงต่อการเกิด retrogradation ส่วนแอมิโลเพกตินเป็นโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ และมีสายกิ่งซึ่งค่อนข้างเกาะกะ ส่งผลให้เกิด retrogradation เกิดได้ช้ากว่าเมื่อเทียบกับโมเลกุลของแอมิโลส (วรรณา ตูลยธัญ, 2549)

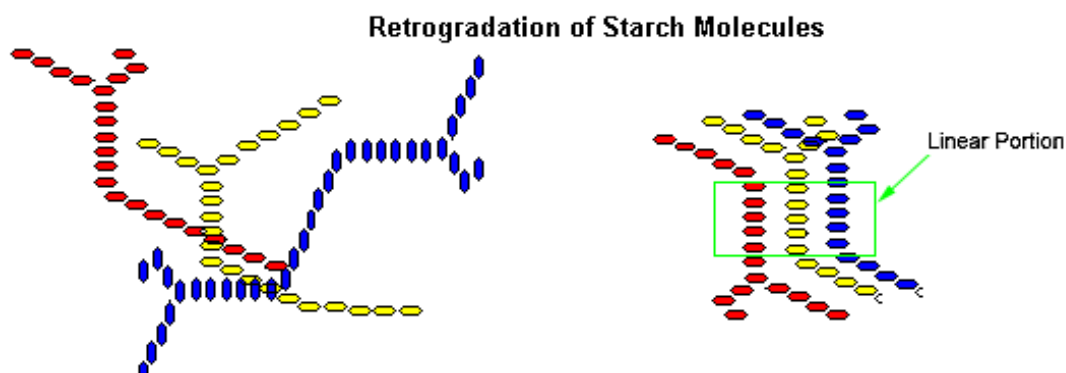


ภาพที่ 2.3 สัดส่วนระหว่างปริมาณน้ำ และอุณหภูมิโดยประมาณ
ที่ทำให้สารแขวนลอยน้ำแป้งเกิดการ gelatinization
ที่มา : Eliasson (2006)



ภาพที่ 2.4 การเกิด gelatinization

ที่มา : Fennema (1996)

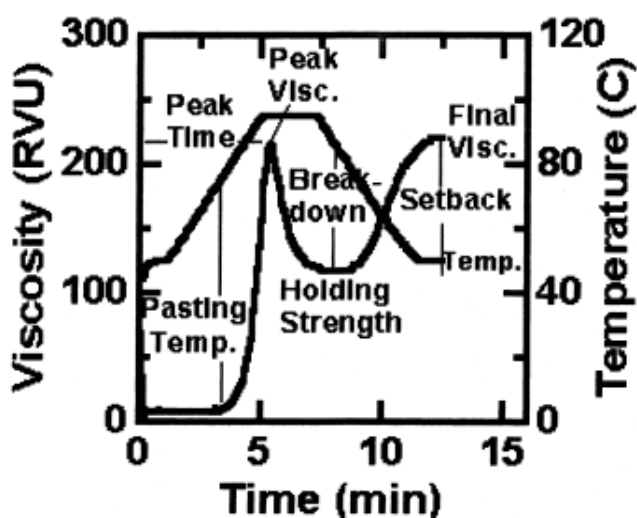


ภาพที่ 2.5 การเกิด retrogradation ของสตาร์ช

ที่มา : Anonymous (2012)

สำหรับสมบัติด้านความหนืดของสารแขวนลอยน้ำแป้งสามารถติดตามได้ด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) ซึ่งเครื่อง RVA เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์สมบัติด้านความหนืดของแป้ง และสตาร์ชในลักษณะของกระบวนการหุงต้ม (Blazek and Copeland, 2008) โดยเครื่อง RVA จะแสดงกราฟการเปลี่ยนแปลงความหนืดของสารแขวนลอยน้ำแป้ง (ภาพที่ 2.6) และค่าต่างๆ ดังนี้ ค่า pasting temperature เป็นค่าอุณหภูมิที่สารแขวนลอย

น้ำแป้งเริ่มเกิดความหนืด ค่า peak viscosity เป็นค่าความหนืดสูงสุดของสารแขวนลอยน้ำแป้ง ค่า breakdown เป็นค่าความแตกต่างของค่าความหนืดสูงสุดและต่ำสุดของสารแขวนลอยน้ำแป้ง และเป็นค่าที่ระบุถึงความคงตัวของเม็ดแป้งต่อแรงกวน โดยถ้าค่า breakdown สูงแสดงว่าเม็ดแป้งมีความคงทนต่อแรงกวนต่ำ ค่า final viscosity เป็นค่าความหนืดสุดท้ายของสารแขวนลอยน้ำแป้ง และค่า setback เป็นผลต่างของความหนืดสุดท้าย และความหนืดสูงสุด (วรรณมา ตูลยธัญ, 2549; กล้าณรงค์ ศิริรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2550) ทั้งค่า final viscosity และ setback viscosity เป็นค่าที่ระบุถึงคุณภาพของข้าวหุงสุก หลังจากทิ้งให้เย็นโดยถ้าค่า final viscosity และ setback viscosity เพิ่มขึ้น แสดงว่าข้าวหุงสุกเมื่อทิ้งให้เย็นจะมีลักษณะแข็ง (Swasdisevi *et al.*, 2010) และค่า setback ยังเป็นค่าที่ระบุถึงระดับการเกิด retrogradation ของแป้งชนิดนั้นๆ (Soponronnarit *et al.*, 2008) โดยค่าต่างๆ เหล่านี้จะมีประโยชน์ ต่อการนำแป้งชนิดต่างๆ ไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารชนิดต่างๆ นอกจากนี้การอบแห้งข้าวด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเม็ดแป้งภายในเม็ดข้าวจะเกิด gelatinization บางส่วนซึ่งส่งผลให้แป้งข้าวที่ได้จากการอบแห้งมีสมบัติคล้ายกับแป้งข้าวที่ดัดแปรด้วยวิธี heat moisture treatment ซึ่งเป็นวิธีการดัดแปรแป้งด้วยวิธีกายภาพ โดยการดัดแปรแป้งด้วยวิธีนี้จะจำกัดความชื้นของแป้งไม่เกิน 35%(w/w) และให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิสถานะกลาสส์ (glass transition temperature (Tg)) แต่ต่ำกว่าอุณหภูมิการเกิด gelatinization ตามระยะเวลาที่กำหนด (Jacobs and Delcour, 1998) ซึ่งการดัดแปรแป้งด้วยวิธี heat moisture treatment ส่งผลให้เม็ดแป้งเกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ดังนี้ การเกิด gelatinization บางส่วน (Jiranuntakul *et al.*, 2011) การเกิดอันตรกิริยาระหว่างแอมิโลสกับแอมิโลส และ/หรือแอมิโลสกับแอมิโลเพกติน ที่หลุดออกมา (Chung *et al.*, 2010; Li *et al.*, 2011) และการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสและไขมัน (Singh *et al.*, 2011) ซึ่งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสมบัติทางกายภาพของแป้งข้าวที่ผ่านการดัดแปรด้วยวิธี heat moisture treatment เช่น กำลังการพองตัวที่ลดลง เกิดการเปลี่ยนแปลงของสมบัติด้านความหนืด โดยค่า pasting temperature มีค่าเพิ่มขึ้น แต่ค่า peak viscosity, breakdown, setback และ final viscosity มีค่าลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งที่ไม่ผ่านการดัดแปร (Horndok and Noomhorm., 2007) รวมทั้งการลดลงของร้อยละความเป็นผลึกของแป้งที่ผ่านการดัดแปรเนื่องจากผลึกถูกทำลาย นอกจากนี้การดัดแปรแป้งด้วยวิธี heat moisture treatment สามารถเพิ่มระดับของ resistance starch ได้ (Zavareze *et al.*, 2010)



ภาพที่ 2.6 กราฟ Rapid Visco Analyzer (RVA)

ที่มา : Varavinit และคณะ (2003)

Horndok และ Noomhorm (2007) ศึกษาผลของการดัดแปรแป้งด้วยวิธี heat moisture treatment โดยปรับความชื้นของสตาร์ชข้าวเป็น 3 ระดับดังนี้ 15, 20 และ 25 %(w.b.) เก็บที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 4 วันเพื่อให้ความชื้นของสตาร์ชข้าวเข้าสู่สมดุล จากนั้นนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่างกัน 3 ระดับดังนี้ 100, 105 และ 110 °C เป็นเวลา 0.5, 1 และ 1.5 ชั่วโมง พบว่า สตาร์ชข้าวที่ผ่านการดัดแปรมีค่ากำลังการพองตัว ค่า peak viscosity และค่า breakdown ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับสตาร์ชข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปร เนื่องจากในระหว่างการดัดแปรเม็ดแป้ง จะเกิดการ gelatinization บางส่วนทำให้น้ำแทรกซึมเข้าสู่เม็ดแป้งได้ยาก และนอกจากนี้ยังเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างแอมิโลสกับแอมิโลส ส่งผลให้เม็ดแป้งของสตาร์ชที่ผ่านการดัดแปรพองตัวได้ยาก

Zavareze และคณะ (2010) ศึกษาผลของการดัดแปรสตาร์ชด้วยวิธี heat moisture treatment ต่อสตาร์ชข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสต่างกัน โดยใช้ข้าวพันธุ์ IRGA 417, Sasanishiki และ Motti มีปริมาณแอมิโลส 32, 23 และ 7% ตามลำดับแล้วนำข้าวแต่ละพันธุ์มาปรับความชื้นเป็น 3 ระดับดังนี้ 15, 20 และ 25 %(w.b.) เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 4 วัน เพื่อให้ความชื้นเข้าสู่สมดุล จากนั้นนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และนำสตาร์ชที่ผ่านการดัดแปรมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 °C จนสตาร์ชมีความชื้นประมาณ 11%(w.b.) พบว่า กำลัง

การพองตัวของสตาร์ชที่ผ่านการดัดแปรมีค่าลดลงเมื่อความชื้น และปริมาณแอมิโลสของสตาร์ชข้าวเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างแอมิโลสกับแอมิโลส และปริมาณแอมิโลสที่เพิ่มมากขึ้นจะขัดขวางการพองตัวของเม็ดแป้ง ค่า setback ของสตาร์ชที่ผ่านการดัดแปรมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับสตาร์ชข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปร เพราะการดัดแปรแป้งด้วยวิธีนี้จะสนับสนุนการเกิดอันตรกิริยาระหว่างแอมิโลสกับแอมิโลส และแอมิโลเพกตินกับแอมิโลเพกติน ส่งผลให้ปริมาณแอมิโลสที่หลุดออกมาของสตาร์ชข้าวที่ผ่านการดัดแปรลดลง ทำให้ค่า setback ลดลง นอกจากนี้การดัดแปรสตาร์ชข้าวด้วยวิธี heat moisture treatment ยังมีผลทำให้ร้อยละความเป็นผลึกของสตาร์ชข้าวลดลง

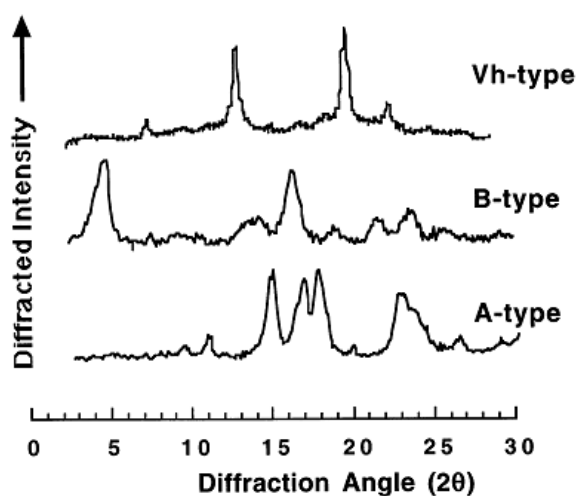
2.2.1.2 การพองตัวและการละลายของสตาร์ช

เมื่อนำแป้งดิบไปละลายน้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิของการเกิด gelatinization และตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำภายใต้ภาวะบรรยากาศที่อุณหภูมิห้อง จนเกิดสมดุลความชื้นขึ้นภายในเม็ดแป้งกับน้ำที่เติมและความชื้นในบรรยากาศ แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของสารละลายน้ำแป้งดิบให้สูงกว่าช่วงอุณหภูมิของการเกิด gelatinization เม็ดแป้งจะเกิดการพองตัวสูญเสียความเป็นผลึก และสมบัติการบิดระนาบโพลาไรซ์ (birefringence) และแอมิโลสจะเริ่มละลายออกมา ซึ่งกำลังการพองตัวของเม็ดแป้งจะแสดงเป็นปริมาตรหรือน้ำหนักของเม็ดแป้งที่เพิ่มขึ้นมากที่สุด เมื่อเม็ดแป้งพองตัวได้อย่างอิสระในน้ำ ส่วนความสามารถในการละลายจะแสดงเป็นน้ำหนักของแข็งทั้งหมดในสารละลายที่สามารถละลายได้ ซึ่งสมบัติทั้งสองจะมีความสัมพันธ์กัน ซึ่งเมื่อนำน้ำแป้งไปอบแห้งจะได้เม็ดแป้งที่มีขนาดเท่าเดิมกลับมา ทั้งนี้การพองตัว และความสามารถในการละลายของแป้งแต่ละชนิดจะมีหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อสมบัติทั้งสอง เช่น ชนิดของแป้ง สิ่งเจือปนในเม็ดแป้งที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต สมบัติการดัดแปรทางเคมี และปริมาณน้ำเป็นต้น (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2550; Bemiller and Huber, 2008)

2.2.1.3 โครงสร้างผลึกของเม็ดสตาร์ช

สตาร์ชมีสมบัติเป็นผลึกบางส่วน (semi-crystalline) โดยภายในเม็ดสตาร์ชจะประกอบด้วยส่วนแอมิโลส และแอมิโลเพกติน ซึ่งจะถูกสร้างออกไปตามแนวรัศมีจากจุดไฮลัม (hilum) ของเม็ดสตาร์ชสู่ขอบเม็ดสตาร์ช ซึ่งภายในจะประกอบด้วยบริเวณชั้นของผลึก (crystalline) สลับกับชั้นอสัณฐาน (amorphous) เป็นชั้นสลับกันไป โดยชั้นผลึกจะเกิดการรวมตัว

กันของสายกิ่งที่ขนานกันไปตามลักษณะโครงสร้างคลัสเตอร์ของแอมิโลเพกติน โดยแอมิโลสจะแทรกอยู่ในแอมิโลเพกติน ส่วนบริเวณอสัณฐานเกิดจากส่วนโมเลกุลแอมิโลเพกตินที่มีพันธะ α -1,6 (วรรณภา ตูลยธัญ, 2549) ซึ่งโครงสร้างผลึกของเม็ดสตาร์ชสามารถศึกษาได้ด้วยเครื่อง X-ray diffraction (XRD) โดยโครงสร้างผลึกของเม็ดสตาร์ชจะมีภาพแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ 3 แบบ (ภาพที่ 2.7) ดังนี้ แบบเอ (type A) พบมากในกลุ่มธัญพืช แบบบี (type B) พบในมันฝรั่ง สตาร์ชจากรากพืช และสตาร์ชที่เกิด retrogradation และแบบซี (type C) พบในพืชตระกูลถั่ว โดยแบบ C จะเป็นลักษณะที่รวมกันของแบบเอและบี นอกจากนี้ยังมีแบบวี (type V) ที่เกิดจากสารประกอบเชิงซ้อนของแอมิโลสและไขมันซึ่งเกิดในระหว่างการเกิด gelatinization (Delcour and Hosney, 2010) และปรากฏพีคที่ตำแหน่ง 20 องศา (Wu *et al.*, 2010) สำหรับแบบเอจะปรากฏพีคที่ตำแหน่ง 15 องศา 1 พีค ตำแหน่ง 17 และ 18 องศา ซึ่งเป็นพีคที่เชื่อมกัน และพีคที่ตำแหน่ง 23 องศา 1 พีค และแบบบีจะปรากฏพีคที่ตำแหน่ง 17 องศา (Wu *et al.*, 2010)



ภาพที่ 2.7 ภาพแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของเม็ดสตาร์ช แบบเอ, บีและวี
ที่มา : Buléon และคณะ (1998)

2.2.1.4 ผลของการอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าว

ข้าวเปลือกหลังการเก็บเกี่ยวจะมีความชื้นสูง จึงต้องนำข้าวเปลือกมาลดความชื้นเพื่อรักษาคุณภาพ และยืดอายุการเก็บรักษาของข้าวเปลือก เพราะการลดความชื้นของข้าวเปลือกช่วยลดการเข้าทำลายของแมลง การเสื่อมเสียจากเชื้อรา ชะลอการเสื่อมสภาพขององค์ประกอบ

ทางเคมีต่างๆ และการลดลงของคุณค่าทางโภชนาการของข้าวเปลือก (Imoudo and Olufayo, 2000) สำหรับความชื้นที่เหมาะสมของการเก็บรักษาข้าวเปลือกมีค่าประมาณ 13-15% (w.b.) (สมชาติ โสภณวรรณฤทธิ์, 2540) ซึ่งการลดความชื้นของข้าวเปลือกโดยกระบวนการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสมบัติทางเคมีกายภาพ เมื่อข้าวเปลือกที่มีความชื้นได้รับความร้อนสูงในระหว่างกระบวนการอบแห้งจะส่งผลให้เม็ดแป้งในข้าวเปลือกเกิด gelatinization บางส่วนทำให้เม็ดแป้งสูญเสียความเป็นผลึก นอกจากนี้แอมิโลสที่หลุดออกมาในระหว่างการเกิด gelatinization จะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับไขมัน (amylose-lipid complex) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการอบแห้งจะส่งผลต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าว เช่น สมบัติด้านความหนืด ค่าดัชนีน้ำตาล (glycemic index (GI) ร้อยละต้นข้าว เป็นต้น (Wiset *et al.*, 2005 และ Srisang *et al.*, 2011)

Wiset และคณะ (2005) ศึกษาผลของอุณหภูมิในการอบแห้งต่อข้าวชัณษาท 1 ต่อสมบัติทางเคมีกายภาพโดยแปรอุณหภูมิในการอบแห้งเป็น 3 ระดับดังนี้ 100, 125 และ 150 °C พบว่าอุณหภูมิในการอบแห้งมีผลต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าว เมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งสูงขึ้นจะมีผลทำให้ร้อยละข้าวต้นเพิ่มสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างอ้างอิง (ข้าวที่ตากแห้ง) แต่ค่าความขาวของข้าวที่ผ่านการอบแห้งมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งสูงขึ้น ซึ่งการลดลงของค่าความขาวจะมีผลต่อราคาการซื้อขายข้าว และความพึงพอใจของผู้บริโภค สำหรับสมบัติด้านความหนืดของข้าวชัณษาท 1 ที่ผ่านการอบแห้งพบว่าค่า peak viscosity และค่า breakdown มีค่าลดลง แต่ค่า pasting temperature มีค่าเพิ่มสูงขึ้น

Jaisut และคณะ (2008) ศึกษาผลของอุณหภูมิในการอบแห้งข้าวเปลือก และระยะเวลาในการเทมเปอริง ต่อความสามารถในการทนย่อยของข้าวกล้องหอมมะลิ โดยแปรอุณหภูมิการอบแห้งเป็น 2 ระดับดังนี้ 130 และ 150 °C และแปรระยะเวลาในการเทมเปอริงเป็น 3 ระดับดังนี้ 30, 60 และ 120 นาที พบว่าอุณหภูมิในการอบแห้งมีผลต่อการลดลงของค่า GI มากกว่าระยะเวลาการเทมเปอริง แต่อุณหภูมิในการอบแห้งที่สามารถลดค่า GI ได้นั้นจะต้องมีอุณหภูมิในการอบแห้งที่สูงกว่า 130 °C ทั้งนี้การลดลงของค่า GI เป็นผลมาจากการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสกับไขมัน ซึ่งสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสกับไขมันนี้จะช่วยด้านการย่อยของเอนไซม์ ทั้งนี้การเกิดขึ้นของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสกับไขมันยังมีผลต่อสมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าวกล้องหอมมะลิ เพราะสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสกับไขมันจะต้านการแทรกซึมของน้ำทำให้ต้องใช้อุณหภูมิสูง ในการทำให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัว ซึ่งจะเห็นได้จากการเพิ่มขึ้นของค่า pasting temperature ของข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้ง ส่วนการลดลง

ของค่า peak viscosity ของข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวเปลือกที่ตากแห้ง เป็นผลมาจากการเกิด gelatinization บางส่วนในระหว่างการอบแห้ง

Srisang และคณะ (2011) ศึกษาผลของตัวกลางในการอบแห้งของข้าวกล้องงอกหอมมะลิ 105 ระหว่างอากาศร้อนและไอน้ำร้อนยวดยิ่งด้วยเทคนิคฟลูอิดไดเซชัน โดยแปรอุณหภูมิการอบแห้งเป็น 2 ระดับ ดังนี้ 130 และ 150 °C เมื่อนำแป้งข้าวกล้องงอกไปวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเครื่อง XRD พบว่าแป้งข้าวกล้องงอกที่เป็นตัวอย่างอ้างอิง มีรูปแบบผลึกเป็นแบบเอ โดยมีตำแหน่งการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่มุม 15°, 17.3°, 18° และ 23° เช่นเดียวกับแป้งข้าวกล้องงอกที่อบแห้งด้วยอากาศร้อน ที่พบรูปแบบผลึกเป็นแบบเอนอกจากนี้ยังพบรูปแบบผลึกแบบบีที่มีตำแหน่งการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่มุม 20° ซึ่งแสดงถึงการเกิดขึ้นของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสกับไขมันที่เกิดระหว่างการเกิด gelatinization ในแป้งข้าวกล้องงอกที่อบแห้งด้วยอากาศร้อน แต่แป้งข้าวกล้องงอกที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งกับไม่พบรูปแบบผลึกแบบบี แม้ว่า จะเกิดการ gelatinization ในระหว่างกระบวนการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งอาจเป็นผลมาจากอุณหภูมิของเมล็ดข้าวกล้องงอกหลังจากการอบแห้งมีอุณหภูมิสูงประมาณ 111-118 °C ซึ่งอยู่ในช่วงอุณหภูมิที่จะสามารถทำลายผลึกแบบบี เพราะช่วงอุณหภูมิที่ผลึกถูกทำลายจะอยู่ในช่วง 102-118 °C ซึ่งส่งผลต่อค่า GI ของข้าวกล้องงอกที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีค่าสูงกว่าตัวอย่างอ้างอิง และข้าวกล้องงอกที่อบแห้งด้วยอากาศร้อน แต่เมื่อเปรียบเทียบค่า GI ของข้าวกล้องงอกที่อบแห้งด้วยอากาศร้อน กับตัวอย่างอ้างอิง พบว่าค่า GI ของข้าวกล้องงอกที่อบแห้งด้วยอากาศร้อนมีค่ามากกว่าตัวอย่างอ้างอิง อาจเป็นผลมาจากการเกิดการเปลี่ยนแปลงของสายสคาร์บ และไขมันจากสายยาวเป็นสายสั้น ส่งผลให้สารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสกับไขมันที่เกิดขึ้นไม่แข็งแรงง่ายต่อการย่อยของเอนไซม์ ดังนั้นการอบแห้งข้าวกล้องงอกด้วยตัวกลางทั้ง 2 ไม่ทำให้ค่า GI ลดลง

ชัยวัฒน์ รัตน์มีชัยสกุล สมเกียรติ ปรัชญาวรรการ และสมชาติ โสภณวรรณฤทธิ์ (2554) ศึกษาผลของการอบแห้งข้าวเปลือกพันธุ์พิษณุโลก 2 ทั้งแบบอากาศร้อน และอากาศร้อนชื้นด้วยเทคนิคฟลูอิดไดเซชัน ที่อุณหภูมิการอบแห้ง 100, 130 และ 150 °C เพื่อผลิตข้าวกล้องหนึ่งเพื่อสุขภาพ เมื่อนำข้าวไปวิเคราะห์ระดับความเป็นผลึกพบว่า ข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 มีรูปแบบผลึกเป็นแบบเอ แต่ข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 ที่ผ่านการอบแห้งทั้ง 2 แบบมีระดับความเป็นผลึกแบบเอลดลง และมีระดับความเป็นผลึกแบบบีเพิ่มมากขึ้น ซึ่งแสดงถึงการเกิดขึ้นของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสกับไขมัน โดยข้าวที่ผ่านการอบแห้งแบบอากาศร้อนชื้นมีระดับความเป็นผลึกแบบบีมากกว่าข้าวที่ผ่านการอบแห้งด้วยอากาศร้อน และค่าระดับความเป็นผลึกแบบบีของข้าวที่

อบแห้งด้วยอากาศร้อนขึ้นที่อุณหภูมิ 150 °C มีค่าสูงที่สุด ส่งผลให้ค่า GI ของข้าวพิษณุโลก 2 ที่อบแห้งด้วยอากาศร้อนขึ้นที่อุณหภูมิ 150 °C มีค่าต่ำสุด

ดลฤดี ใจสุทธิ และสมชาติ ไสภณรณฤทธิ (2554) ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิการอบแห้งแบบเทคนิคฟลูอิดไดเซชัน และระยะเวลาการเทมเปอริงต่อค่า GI ของแป้งข้าวกล้องสุพรรณบุรี 1 โดยแปรอุณหภูมิในการอบแห้งข้าวเปลือกสุพรรณบุรี 1 เป็น 2 ระดับดังนี้ 130 และ 150 °C และแปรระยะเวลาในการเทมเปอริงเป็น 3 ระดับดังนี้ 0.5, 1 และ 2 ชั่วโมง พบว่า เมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งเพิ่มมากขึ้น และระยะเวลาในการเทมเปอริงนานขึ้นมีผลทำให้ค่า GI ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับค่าระดับความเป็นผลึกของแบบเอทีลดลง และแบบบีทีที่เพิ่มขึ้นซึ่งเป็นผลมาจากการหลอมละลายของผลึก และการเกิด gelatinization บางส่วน ส่งผลให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสกับไขมันทำให้เกิดผลึกแบบบี และการเกิด gelatinization บางส่วนยังขัดขวางการดูดซึมน้ำของเม็ดแป้งซึ่งจะเห็นได้จากการเพิ่มขึ้นของค่า pasting temperature

จากงานวิจัยต่างๆ ที่กล่าวมา พบว่าการอบแห้งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าว ทั้งการเพิ่มความคงทนต่อการขัดสีทำให้ร้อยละข้าวตันของข้าวที่อบแห้งเพิ่มสูงขึ้น และการปรับปรุงข้าวกล้องให้มีสมบัติทนต่อการย่อยของเอนไซม์ เพื่อลดค่า GI นอกจากนี้ยังสามารถนำแป้งข้าวกล้องที่ได้จากข้าวที่ผ่านการอบแห้งไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ แต่การอบแห้งเพื่อปรับปรุงข้าวกล้องให้มีสมบัติทนต่อการย่อยของเอนไซม์ เพื่อลดค่า GI นั้นจะเหมาะกับข้าวบางชนิดเท่านั้น

2.2.2 โปรตีนในข้าว

ข้าว ประกอบด้วยโปรตีนหลายชนิดที่มีปริมาณแตกต่างกัน โดยโปรตีนที่พบมากที่สุดในการข้าวคือ โปรตีนที่ละลายในแอลกอฮอล์ หรือ oryzanin ซึ่งมีปริมาณถึง 66.10-78.00% เป็นโปรตีนหลักที่เป็นองค์ประกอบของโปรตีนสะสม (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2550) ในระหว่างการเก็บรักษาข้าว oryzanin จะเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยหมู่ thiol (-SH) ของ oryzanin จะถูกออกซิไดซ์เกิดพันธะไดซัลไฟด์ (S-S) ระหว่างกรดอะมิโน 2 หน่วยทั้งที่อยู่ในสาย polypeptide เดียวกันและระหว่างสาย polypeptide สายอื่น ซึ่งการเกิดขึ้นนี้จะทำให้น้ำหนักโมเลกุลของ oryzanin เพิ่มขึ้น (Chrastil and Zarins, 1992 อ้างอิงในยุวเรศ มลิลลา, 2550) ทั้งนี้การเกิดขึ้นของพันธะไดซัลไฟด์จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ในข้าวจากงานวิจัยของปัทมา เล้าประเสริฐ (2552) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสมบัติด้านการหุงต้มของข้าวเหนียวพันธุ์กข 6 ในระหว่างการเก็บรักษาพบว่า ค่าการดูดซึมน้ำ และอัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าวเหนียวในระหว่างการหุงต้มมีแนวโน้มลดลง

เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น เนื่องจากการเกิดขึ้นของพันธะไดซัลไฟด์ที่เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ดังนั้นการเกิดขึ้นของพันธะไดซัลไฟด์จึงมีผลต่อลักษณะข้าวหุงสุกทำให้ข้าวดูดซึมน้ำลดลง เพราะการเกิดพันธะไดซัลไฟด์จะทำให้เม็ดแป้งมีความแข็งแรงและคงตัวมากขึ้น และจากงานวิจัยของ Derycke และคณะ (2005b) ศึกษาผลของการเกิดพันธะไดซัลไฟด์ในข้าวหนึ่งต่อการพองตัวของแป้งข้าวหนึ่ง ด้วยการเติม dithiothreitol (DTT) เพื่อวิเคราะห์การเกิดพันธะไดซัลไฟด์ เพราะ DTT มีสมบัติรีดิวซ์ซึ่งจะทำลายพันธะไดซัลไฟด์ พบว่ากำลังการพองตัวของแป้งข้าวหนึ่งที่ไม่เติม DTT มีค่ามากกว่าแป้งข้าวหนึ่งที่ไม่ได้เติม DTT แสดงว่าพันธะไดซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นมีผลยับยั้งการพองตัวของแป้งข้าวหนึ่ง และเมื่อเปรียบเทียบกำลังการพองตัวของแป้งข้าวหนึ่ง และแป้งข้าวที่ไม่ผ่านการนึ่งซึ่งเติม DTT ทั้งคู่พบว่า กำลังการพองตัวของแป้งข้าวที่ไม่ผ่านการนึ่งมีกำลังการพองตัวมากกว่าแป้งข้าวหนึ่ง แสดงว่าพันธะไดซัลไฟด์สามารถเกิดขึ้นได้ในระหว่างกระบวนการทำข้าวหนึ่ง จากงานวิจัยที่กล่าวมาพบว่าพันธะไดซัลไฟด์สามารถเกิดขึ้นได้ทั้งในระหว่างกระบวนการเก็บรักษาและการผลิตข้าวหนึ่ง ซึ่งการเกิดขึ้นของพันธะไดซัลไฟด์ จะมีผลต่อสมบัติด้านการหุงต้มของข้าว และการพองตัวของแป้งข้าว

2.2.3 ไขมันในข้าว

ข้าวมีปริมาณไขมันประมาณ 3% (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2550) ซึ่งไขมันในข้าวมีลักษณะเป็นหยดกลม แทรกตัวอยู่ในชั้นแอลิวโรส (aleurone layer) มีขนาดเล็กกว่า 1.5 μm ส่วนไขมันที่อยู่ถัดจากชั้นแอลิวโรสมีขนาดเล็กกว่า 1 μm และไขมันในส่วนคัพภะมีขนาดเล็กกว่า 0.7 μm ทั้งนี้ไขมันส่วนใหญ่ในส่วนเยื่อหุ้มเมล็ดจะอยู่รวมกับกลุ่มโปรตีน (Godber and Juliano, 2006) ซึ่งไขมันในข้าวส่วนใหญ่เป็นไตรกลีเซอไรด์ รองลงมาคือ ฟอสโฟลิพิด (phospholipids), โกลโคลิพิด (glcolipids) และเทอร์พีนอยด์ (terpenoids) (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2550) ทั้งนี้ไขมันสามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิไลสและไขมัน ซึ่งการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิไลสและไขมันจะส่งผลต่อกำลังการพองตัว สมบัติด้านความหนืดของแป้ง เพราะการเกิดการประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิไลสและไขมันจะขัดขวางการแทรกซึมของน้ำ และการจัดเรียงตัวใหม่ระหว่างแอมิไลสกับแอมิไลสด้วยพันธะไฮโดรเจน จึงส่งผลทำให้กำลังการพองตัวของแป้งลดลง รวมทั้งเกิดการเปลี่ยนแปลงของสมบัติด้านความหนืดของแป้ง เช่น การลดลงของค่า peak viscosity และ setback (Noranizan; Dzulkify and Russly, 2010)

2.3 สารต้านอนุมูลอิสระ

สารประกอบฟีนอลิก จัดเป็นสารต้านอนุมูลอิสระพบได้มากในธรรมชาติ ได้แก่ พืชผัก ผลไม้ ชาเขียว ชาดำ ไวน์แดง เป็นต้น ในปัจจุบันพบสารประกอบฟีนอลิก มากกว่า 8,000 ชนิดในธรรมชาติ นับจากโมเลกุลอย่างง่าย เช่น กรดฟีนอลิก ฟีนิลโพรพานอยด์ และฟลาโวนอยด์ ไปจนถึงโครงสร้างทางพอลิเมอร์ที่ซับซ้อน เช่น ลิกนิน เมลานิน และแทนนิน เป็นต้น (โสภา วัชรคุปต์, 2549)

สารประกอบฟีนอลิกในธัญพืช ประกอบด้วย กรดฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และสารประกอบพอลิฟีนอลิก (polyphenolic compound) ซึ่งสารประกอบฟีนอลิกส่วนใหญ่อยู่ที่เยื่อหุ้มเมล็ด (pericarp) และอยู่ในรูป free form และ insoluble bound form โดย insoluble bound form พบในส่วนของผนังเซลล์อยู่ในรูปของ phenolic-carbohydrate ester จะถูกปลดปล่อยด้วยตัวทำละลาย สีของธัญพืชส่วนใหญ่ เป็นการสะสมของสารแอนโทไซยานินเป็นหลัก โดยสีของสารแอนโทไซยานินมีตั้งแต่สีชมพูไปจนถึงสีม่วงเข้ม ซึ่งสีของข้าวที่พบบ่อยๆ คือ สีแดง ม่วง และดำ ปัจจัยที่มีผลต่อสีของข้าวคือความเข้มแสง พื้นที่ที่ใช้ในการเพาะปลูก และสารอาหารที่ได้รับ (Sosulki, Krygier and Hogge, 1982; Grist, 1986 อ้างอิงใน วนิดา เทวารุทธิ์, 2550) ซึ่งองค์ประกอบหลักของสารต้านอนุมูลอิสระในข้าวคือ cyanidin-3-glucoside (Laokuldilok *et al.*, 2011)

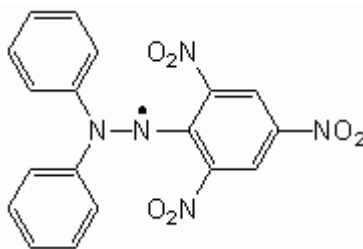
การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH

2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) เป็นอนุมูลไนโตรเจนที่คงตัว (ภาพที่ 2.8) มีสีม่วงอยู่ในรูปของอนุมูลไม่ต้องทำปฏิกิริยาเพื่อให้เกิดอนุมูล การวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้จัดเป็นปฏิกิริยาระบบยั้งอนุมูลอิสระแบบ single electron transfer โดยการวิเคราะห์วัดจากความสามารถในการรีดิวซ์ โดยใช้เครื่อง spectrophotometer วัดการลดลงของสีเมื่อเติมสารต้านอนุมูลอิสระลงไป ซึ่งร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระ (%inhibitor) โดยคำนวณจากสูตร (1)

$$\%inhibitor = 100 \times \left(1 - \left(\frac{A_{\text{sample}}}{A_{\text{blank}}} \right) \right) \quad (1)$$

โดยค่า EC₅₀ เป็นค่าความเข้มข้นของสารทดสอบ (สารต้านอนุมูลอิสระ) ที่สามารถลดปริมาณ DPPH เริ่มต้นลงได้ 50% สำหรับข้อดีของการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH คือเป็นวิธีที่ง่าย สามารถใช้อุปกรณ์สามัญทั่วไปได้ แต่ข้อด้อยของวิธีนี้คือ

โครงสร้างทางเคมีของ DPPH (ภาพที่ 2.8) มีอิเล็คตรอนเดี่ยวของอนุมูลอิสระถูกบดบังด้วยวงเบนซีน 3 วง และหมู่ไนโตร ส่งผลให้สารต้านอนุมูลอิสระที่มีฤทธิ์แรงแต่มีขนาดใหญ่บางสารไม่สามารถเข้าไปทำปฏิกิริยาขจัดอนุมูลอิสระหรือเกิดปฏิกิริยาช้า และสารรีดิวซ์สามารถทำให้สี DPPH จางลงได้ (โอภา วัชรคุปต์, 2549; วนิดา เทวารุทธิ์, 2550)



ภาพที่ 2.8 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH)

ที่มา: ดัดแปลงจาก โอภา วัชรคุปต์ (2549)

Shen และคณะ (2009) ศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี 2,2-azino-bis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid) diammonium salt (ABTS) ในข้าวที่มีสีต่างกันซึ่งได้แก่ ข้าว แดง และดำ พบว่าปริมาณฟีนอลิก และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระจะขึ้นอยู่กับสีของเมล็ดข้าว ซึ่งข้าวที่มีสีเข้มมีปริมาณฟีนอลิกและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมากกว่าข้าวที่มีสีอ่อน และปริมาณฟีนอลิกยังมีความสัมพันธ์กับสารต้านอนุมูลอิสระ จากการวิเคราะห์ปริมาณฟลาโวนอยด์พบว่าปริมาณฟลาโวนอยด์เพิ่มขึ้นเมื่อสีของข้าวเข้มขึ้น เช่นเดียวกับปริมาณฟีนอลิก เนื่องจากสีของข้าวที่ปรากฏขึ้นเป็นผลมาจากการสะสมของสารประกอบแอนโทไซยานิน ซึ่งสารประกอบแอนโทไซยานินเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ดังนั้นเมื่อสีของข้าวเข้มขึ้นจึงมีปริมาณสารประกอบแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้น

Butsat และ Siriamornpun (2010) ศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ และสารประกอบฟีนอลิกของส่วนต่างๆ ของข้าวเปลือกหอมมะลิ 105 ได้แก่ รำข้าว เปลือกข้าว ข้าวกล้อง และข้าวสารที่ปลูกในสถานที่ต่างกันพบว่า เมื่อวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging และ ferric reducing ability power (FRAP) พบว่าส่วนของรำข้าว และเปลือกข้าวมีความสามารถในการต้าน

อนุมูลอิสระมากกว่าส่วนอื่นๆ ของข้าว ทั้งนี้ยังพบว่าพื้นที่ที่ใช้ในการปลูกข้าวจะมีผลต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของข้าว

Tananuwong และ Tawaruth (2010) ศึกษาภาวะการสกัดสารต้านอนุมูลอิสระที่เหมาะสมจากข้าวเหนียวดำ โดยมีภาวะการสกัดดังนี้ ตัวทำละลายอะซิโตน 70%(v/v) ที่ pH 2-6.8 ระยะเวลาในการสกัด 2, 4, และ 8 ชั่วโมง พบว่าเมื่อสกัดแป้งข้าวเหนียวดำเป็นเวลา 4 ชั่วโมงด้วยตัวทำละลายอะซิโตน 70%(v/v) ที่ pH 6.8 จะได้สารต้านอนุมูลอิสระที่มีความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระสูง เมื่อวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ ferric reducing ability power (FRAP) แต่ระยะเวลาในการสกัดไม่มีผลต่อปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณโมโนเมอริกแอนโทไซยานินทั้งหมด และยังพบว่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่วิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH และ FRAP ไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณโมโนเมอริกแอนโทไซยานินทั้งหมด เนื่องจากโครงสร้างทางเคมีของสารประกอบฟีนอลิกอาจมีโครงสร้างไม่เหมาะสมที่จะสามารถต้านอนุมูลอิสระได้ และนอกจากสารประกอบฟีนอลิกที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระหลักแล้ว ในสารสกัดยังมีสารอื่นๆ ที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยเช่น แคโรทีนอยด์ ไทโคฟีรอล และแร่ธาตุอื่นๆ ซึ่งสารเหล่านี้อาจมีผลต่อการวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระจึงมีผลทำให้ไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างการวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ FRAP กับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณโมโนเมอริกแอนโทไซยานินทั้งหมด

2.4 ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องสำเร็จรูป

ข้าวกล้องสำเร็จรูป (instant rice) เป็นข้าวที่ถูกทำให้สุกบางส่วนในน้ำหรือไอน้ำ ทำให้เกิด gelatinization ที่ระดับหนึ่ง อาจเกิดบางส่วนหรือเกิดอย่างสมบูรณ์ แล้วทำให้แห้ง ผลิตภัณฑ์หลังอบแห้งมีลักษณะโครงสร้างเป็นรูพรุนเพื่อให้ดูดน้ำกลับได้ง่ายในเวลาสั้น (Luh et al., 1980 อ้างอิงในวิภาวดี สงัดกิจ, 2547)

โจ๊กข้าวกล้องสำเร็จรูป หมายถึงผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำข้าวกล้องไปอบแห้งให้สุกเป็นบางส่วน นำมาปรุงแต่งกลิ่นรสด้วยเครื่องปรุงแต่งกลิ่นรส เช่น เกลือ พริกไทย อาจเติมส่วนประกอบอื่นเช่น ผัก ผลไม้ เนื้อสัตว์ ที่ทำให้สุก และแห้งแล้วก่อนการบริโภคต้องเติมน้ำร้อนแล้วคนให้เข้ากัน (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2547)

โจ๊กสำเร็จรูป หมายถึงผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากข้าว ซึ่งทำให้สุกบางส่วน มีลักษณะเป็นเม็ดเล็ก ๆ อาจผสมกับเนื้อสัตว์ ที่ทำให้สุกและแห้งพร้อมด้วยเครื่องปรุงแต่งกลิ่นรสอื่นๆ โดยรักษาคุณค่า และกลิ่นรสเดิมของส่วนประกอบไว้ และทำให้สุกรับประทานได้ในระยะสั้นไม่เกิน 10

นาที่ โดยใ้กึ่งสำเร็จรูปต้องม่ก่ล่นและสี ตามธรรมชาติ ของส่วนประกอบที่ใ้และไม่ม่ก่ล่นที่ไม่ ฟ่งประสงค์ (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2548)

จรัสพรพน ต้นหยง (2544) ได้พัฒนาผลิตภัณฑ์ใ้ก่ข้วกล่งกึ่งสำเร็จรูป เพื่อเพิ่มมูลค่า ใ้กับข้วกล่งหอมมะลิห้ก โดยม่ส่วนประกอบได้แก่ข้วกล่ง ลูกเดือย ถั่วแดง ถังเขียว แครอท ฟักทอง ชุปผงปรุงรสหมู และเกลือร้อยละ 31, 14, 30, 8, 8, 7 และ 2 ตามลำดับ ซึ่งบรรจุในถ้ว พลาสติก 1 ถ้วหนัก 70 กรัม วิธีรับประทานคือเติมน้าเดือด 300 มิลลิลิตร รอ 3-5 นาที จากนั้นจึง รับประทาน สำหรับอายุการเก็บรักษาของใ้ก่ข้วกล่งกึ่งสำเร็จรูปนี้สามารถเก็บรักษาได้ที่ อุณหภูมิห้องไม่น้อยกว่า 2 เดือน

นรีเทพ เรืองทิพย์ (2544) ศึกษาวิธีการเตรียมวัตถุดิบ สำหรับผลิตใ้ก่ข้วกล่งสำเร็จรูป พบว่าผู้บริโภคยอมรับข้วกล่งสำเร็จรูปที่เตรียมโดยวิธีการแช่เยือกแข็ง และยอมรับเศษเนื้อปลาที่ เตรียมโดยน้าเค็มเนื้อปลาน้ามาต้มในน้าขิง แล้วอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง โดยใ้ก่ข้วกล่ง กึ่งสำเร็จรูปประกอบด้วยปลาน้าอบแห้ง 4 กรัม ข้วกล่งสำเร็จรูป 72 กรัม แป้งข้าวเจ้า 8 กรัม โปรตีนถั่วเหลือง 3.5 กรัม เกลือ 5.5 กรัม น้าตาล 3.5 กรัม พริกไทย 0.5 กรัม ใบหอมอบแห้ง 1 กรัม และชุบผง 2 กรัม บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟลอยด์ลามิเนตสามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 และ 35 °C ได้ตลอด 3 เดือนโดยไม่ม่การเปลี่ยนแปลง

พยุงศักดิ์ ท้าม่สุข (2546) ศึกษาผลของการอบแห้งข้วหุงสุกเพื่อผลิตข้วกล่งสำเร็จรูป โดยน้าข้วหอมมะลิไปหุงสุกแล้วน้าข้วที่หุงสุกไปอบแห้งซึ่งงานวิจัยนี้ได้ศึกษารูปแบบการอบแห้ง ต่างๆ ดังนี้ การอบแห้งด้วยไอน้าร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 140, 150 และ 160 °C บ้มความร้อนที่ อุณหภูมิ 50 °C และ 60 °C และอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 50, 60, 70, 140, 150 และ 160 °C พบว่า การหดตัวของข้วหุงสุกม่ขึ้นอยู่กัอุณหภูมิที่ใ้ใช้ในการอบแห้ง แต่ขึ้นอยู่กัปริมาณ ความชื้นของข้วหุงสุก โดยข้วหุงสุกที่มีปริมาณความชื้นน้อยจะหดตัวมากกว่าข้วหุงสุกที่มี ความชื้นสูง การเปลี่ยนแปลงสีของข้วหุงสุกหลังการอบแห้ง พบว่าค่า L แสดงถึงค่าความสว่างมี ค่าลดลง ค่า a แสดงถึงค่าสีแดง และ b แสดงถึงค่าสีเหลือง มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการ อบแห้งเพิ่มขึ้น สำหรับการคืนรูปของข้วหลังการอบแห้งด้วยน้าร้อนที่อุณหภูมิ 95-100 °C จะ ขึ้นอยู่กัความชื้นสุดท้ายของข้วหลังการอบแห้ง พบว่าข้วที่มีความชื้นน้อยสามารถคืนตัวได้ ดีกว่าข้วที่มีความชื้นมาก ทั้งนี้การอบแห้งด้วยบ้มความร้อนที่อุณหภูมิ 50 °C จนกระทั่งความชื้น สุดท้ายอยู่ในช่วง 6-8 % (d.b) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ดีที่สุดม่ว่าจะเป็นการเปลี่ยนแปลงด้านสีซึ่งมี ลักษณะขาวนวล และการคืนตัวของข้วหุงสุก

วิภาวดี สงัดกิจ (2547) ศึกษาระยะเวลาในการหุงข้าวที่ 4, 6, 8, และ 10 นาที และวิธีการอบแห้งได้แก่ การอบด้วยระบบไมโครเวฟร่วมกับสุญญากาศที่ความดัน 500, 600 และ 700 mmHg การอบด้วยระบบแผ่นร้อนร่วมกับสุญญากาศที่อุณหภูมิ 70 , 80 และ 90 °C และการอบแห้งด้วยอากาศร้อนแบบ 2 ชั้นตอนที่อุณหภูมิต่างกันคือ 135 และ 70 °C ต่อคุณภาพของข้าว กึ่งสำเร็จรูป พบว่าการหุงข้าวเป็นเวลา 8 นาที และอบแห้งข้าวด้วยระบบไมโครเวฟร่วมกับสุญญากาศโดยอบที่ความดัน 700 mmHg เป็นกรรมวิธีการผลิตข้าว กึ่งสำเร็จรูปที่เหมาะสม เนื่องจากเป็นกรรมวิธีการอบแห้งที่รวดเร็ว ใช้เวลาน้อย ประหยัดพลังงาน และให้คุณภาพผลิตภัณฑ์ข้าว กึ่งสำเร็จรูปที่ดี คือมีการหดตัวน้อยทำให้ยังคงโครงสร้างรูพรุน ส่งผลให้อัตราการดูดน้ำสูงซึ่งเป็นที่ต้องการของข้าว กึ่งสำเร็จรูป เพราะต้องการข้าวที่สามารถคืนรูปได้อย่างรวดเร็วและผลิตภัณฑ์หลังคืนรูปเมล็ดข้าวร่วน มีรูปทรงเมล็ดที่ดี มีลักษณะเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับข้าวหุงสุกทั่วไป

2.5 การทำแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไอเซชันร่วมกับไอน้ำร้อนยวดยิ่ง

2.5.1 ฟลูอิดไอเซชัน

เป็นกระบวนการที่ทำให้ของแข็งซึ่งมีรูปร่างลักษณะเป็นเม็ดหรือชิ้น สัมผัสกับกระแสอากาศ ก๊าซ หรือของไหลที่มีความเร็วสูง จนทำให้เม็ดของแข็งเหล่านี้ขยับตัวได้อย่างอิสระและมีสมบัติคล้ายของไหล ในกระบวนการฟลูอิดไอเซชันเริ่มแรกเม็ดหรือชิ้นของแข็งดังกล่าวถูกวางไว้บนตะแกรงในหอตลอดซึ่งมักมีรูปร่างเป็นทรงกระบอก ของไหล เช่น ก๊าซ หรือของเหลว ปล่อยให้ผ่านมาจากด้านล่างของตะแกรงที่รองรับเม็ดของแข็งแล้วไหลออกทางส่วนบนของหอตลอด เมื่อเพิ่มความเร็วของไหลมากขึ้นเรื่อยๆ เม็ดของแข็งจะเริ่มขยับตัวและลอยตัวขึ้นเป็นอิสระไม่เกาะติดกัน ของแข็งที่อยู่在这种สถานะจะมีสมบัติคล้ายของไหล กล่าวคือ มีการไหลหมุนเวียนของเม็ดของแข็งภายในเบตหรือภายในหอตลอดหรือระหว่างเบตต่อบเกตก็ได้ จึงเรียกพฤติกรรมในสถานะนี้ว่า ฟลูอิดไอเซชัน (สมคิด โฆษิตพันธ์วงศ์, 2549) ซึ่งการทำแห้งแบบฟลูอิดไอเซชัน มีข้อดีหลายประการได้แก่ สามารถควบคุมภาวะการทำแห้งได้ดี มีประสิทธิภาพด้านความร้อน และอัตราการทำแห้งสูง การกระจายความชื้นของข้าวเปลือกหลังการอบแห้ง และอุณหภูมิภายในเบตมีความสม่ำเสมอ เนื่องจากขณะทำงานข้าวเปลือกมีการเคลื่อนที่คล้ายของไหลตลอดเวลา จึงทำให้อากาศร้อนสัมผัสกับข้าวเปลือกได้อย่างทั่วถึงขณะที่เกิดฟลูอิดไอเซชันเบตให้อัตราการลดความชื้นสูง เนื่องจากอัตราส่วนของการไหลของอากาศต่อมวลของข้าวเปลือกมีค่าสูง ทำให้ระยะเวลาในการ

อบสั้น และสามารถประยุกต์ใช้กับแหล่งพลังงานความร้อนได้อย่างหลากหลาย (กรกช ภูไพบูลย์ สมชาติ ไสภณภรณ์ และวารุณ เตีย, 2546; วิไล รังสาดทอง, 2547)

2.5.2 เทคนิคฟลูอิดเซชันด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง

ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (superheated steam) เป็นไอน้ำที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไอน้ำอิ่มตัว (saturated steam) ณ ความดันค่าหนึ่ง (Elliott and and Lira, 1998) เนื่องจากไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีอุณหภูมิสูงกว่าจุดเดือดทำให้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีสถานะที่ไม่เสถียร ดังนั้นไอน้ำร้อนยวดยิ่งจึงต้องการกลับมาเป็นอุณหภูมิเท่ากับจุดเดือดเพื่อเป็นไอน้ำอิ่มตัวซึ่งมีสถานะที่เสถียร ดังนั้นในกระบวนการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยวิธีนี้ ไอน้ำร้อนยวดยิ่งจะคายความร้อนให้แก่ข้าวเปลือกส่งผลให้ข้าวเปลือกมีอุณหภูมิสูง น้ำในข้าวเปลือกจึงเกิดการระเหยกลายเป็นไอ ทำให้ระบบมีไอน้ำเพิ่มมากขึ้น แต่ในระบบอุณหภูมิของไอน้ำร้อนยวดยิ่งสูงกว่า 100 °C ตลอดเวลา ทำให้ไม่เกิดการควบแน่นของไอน้ำแล้วกลั่นตัวกลายเป็นน้ำ น้ำในข้าวเปลือกจึงกลายเป็นไอน้ำและระเหยออกไป จึงส่งผลให้ข้าวเปลือกมีความชื้นลดลง ช่วงแรกของการอบแห้งโดยใช้ฟลูอิดเซชันด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง อุณหภูมิของเมล็ดข้าวเปลือกจะเพิ่มขึ้นถึงอุณหภูมิเจลาตีไนเซชันได้อย่างรวดเร็ว (ประมาณ 73-86 °C)

ข้อดีของการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง

- สามารถลดพลังงานที่ใช้ในการทำแห้งโดย การนำเอาไอน้ำที่ระเหยออกมากลับมาใช้ใหม่ และไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม (Taechapairoj *et al.*, 2003)
- อัตราการอบแห้งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของไอน้ำร้อนยวดยิ่ง ถ้าอุณหภูมิลบแห้งสูงกว่า อุณหภูมิอินเวอร์ชัน อัตราการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งจะเร็วกว่าอากาศร้อน (สมคิด โฆษิตพันธุ์วงศ์, 2549)

Taechapairoj และคณะ (2003) ศึกษาการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเทคนิคฟลูอิดเซชันร่วมกับไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิการอบแห้ง 150-170 °C พบว่าการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง จะทำให้ข้าวมีร้อยละต้นข้าวสูงกว่าข้าวที่อบแห้งด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 150 °C โดยร้อยละต้นข้าวของข้าวที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งจะมีค่าที่สูงเมื่อความชื้นของข้าวเปลือกหลังการอบแห้งไม่ต่ำกว่า 18%(w.b.) แต่ข้าวที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งจะมีค่าดัชนีความขาวของข้าวต่ำ ซึ่งมีผลกระทบต่อคุณภาพของข้าวสารในการซื้อขาย

Rodprapat และคณะ (2005) ศึกษาการอบแห้งข้าวเปลือก ด้วยเทคนิคฟลูอิดไอเซชัน ร่วมกับไอน้ำร้อนยวดยิ่งเปรียบเทียบกับอากาศร้อนที่อุณหภูมิการอบแห้ง 150 °C ต่อสมบัติทางกายภาพพบว่า ร้อยละต้นข้าวของข้าวที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีร้อยละต้นข้าวสูงกว่าข้าวที่อบแห้งด้วยอากาศร้อน เนื่องจากในขณะที่อบแห้งอุณหภูมิของเมล็ดข้าวเปลือกที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งจะเพิ่มสูงขึ้นจนถึงอุณหภูมิที่สามารถเกิดการ gelatinization (73-86 °C) ได้เร็ว เมื่อเปรียบเทียบกับอากาศร้อน ขณะที่ความชื้น (24-25%(w.b.)) ยังอยู่ในช่วงที่สามารถเกิด gelatinization ได้ ซึ่งการเกิด gelatinization จะช่วยประสานรอยแตกข้าวทำให้ข้าวทนต่อการขัดสี ร้อยละต้นข้าวจึงเพิ่มสูงขึ้น ค่าดัชนีความขาวของข้าวที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งจะมีค่าต่ำกว่าข้าวที่อบแห้งด้วยอากาศร้อน สำหรับสมบัติด้านความหนืดพบว่า ค่า pasting temperature ของแป้งข้าวที่ได้จากข้าวที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีค่ามากกว่าแป้งข้าวที่ได้จากข้าวที่อบแห้งด้วยอากาศร้อน แต่ค่า peak viscosity ของแป้งข้าวที่ได้จากข้าวที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีค่าต่ำกว่าแป้งข้าวที่ได้จากข้าวที่อบแห้งด้วยอากาศร้อน เป็นผลมาจากการเกิด gelatinization บางส่วน

Soponronnarit และคณะ (2006) ศึกษาการทำข้าวกล้องึ่งด้วยเทคนิคฟลูอิดไอเซชัน ร่วมกับไอน้ำร้อนยวดยิ่ง โดยแปรปัจจัยต่างๆ ดังนี้ ระยะเวลาในการแช่ข้าว 0.5-2 ชั่วโมง อุณหภูมิที่ใช้แช่ข้าว 70-90 °C อุณหภูมิของไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 120-160 °C และความสูงของชั้นเบตนิ่ง 8-12 เซนติเมตร พบว่า ระยะเวลาในการแช่ข้าวเปลือกมีผลต่อร้อยละต้นข้าว ร้อยละข้าวท้องไข โดยเมื่อระยะเวลาในการแช่ข้าวนานขึ้นจะทำให้ร้อยละต้นข้าวเพิ่มสูงขึ้น และร้อยละข้าวท้องไขลดลง เนื่องจากความชื้นเริ่มต้นที่เพิ่มสูงขึ้น เกิดการ gelatinization ของเม็ดแป้งในข้าวเปลือกเพิ่มมากขึ้น ค่าดัชนีความขาวของข้าวจะลดลงเมื่อความชื้นสุดท้ายของข้าวต่ำกว่า 15.25% (w.b.) อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งจะผลต่ออัตราการอบแห้งข้าวเปลือกมากกว่าความสูงของชั้นเบตนิ่ง เมื่อพิจารณาสมบัติด้านความหนืดโดยเปรียบเทียบกับแป้งข้าวที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งกับอากาศร้อน พบว่า ค่า peak viscosity, setback และ final viscosity ของแป้งข้าวที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งจะต่ำกว่าอากาศร้อน

จากงานวิจัยต่างๆ ที่กล่าวมา พบว่าการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเทคนิคฟลูอิดไอเซชัน ร่วมกับไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีผลทำให้ข้าวทนต่อการขัดสี ส่งผลให้ร้อยละต้นข้าวเพิ่มสูงขึ้น แต่ค่าดัชนีความขาวมีค่าลดลง และการอบแห้งด้วยวิธีนี้ยังมีผลต่อสมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าวโดยค่า pasting temperature เพิ่มขึ้น ค่า peak viscosity และค่า final viscosity มีค่าลดลงซึ่งเป็นผลมาจากการเกิด gelatinization บางส่วน

บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย

3.1 วัตถุดิบ

ข้าวเปลือกพันธุ์สังข์หยดพัทลุงได้รับมาจากศูนย์วิจัยพันธุ์ข้าวพัทลุง จังหวัดพัทลุงซึ่งบรรจุในถุงกระสอบส่งมาที่ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และข้าวเปลือกพันธุ์หน่วยเชื้อเชื้อจากตัวแทนเกษตรกรที่สวนจตุจักร จังหวัดกรุงเทพมหานคร นำข้าวเปลือกทั้งสองพันธุ์มาเก็บที่อุณหภูมิ 4 °C ในระหว่างรอการวิเคราะห์

ผลิตภัณฑ์ผักรวมอบกึ่งสำเร็จรูปรส shiitake ตราเออร์เบิร์น ฟาร์ม ผลิตโดยบริษัท นิธิฟู๊ดส์ จำกัด จังหวัดเชียงใหม่

ผงรสไก่ สูตรไม่ใส่ผงชูรส ตราคนอร์ ผลิตโดยบริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย ไฮลดีนส์ จำกัด จังหวัดฉะเชิงเทรา

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดแบบใช้น้ำร้อนยวดยิ่ง (คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม)

เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง (Sartorius รุ่น CP320S, Germany) (คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี)

เครื่องกะเทาะเปลือกชนิดลูกกลิ้งยาง (Jircas, Japan) (คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี)

เครื่องขัดขาวชนิดหินขัด (Jircas, Japan) (คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี)

เครื่องคัดขนาดเมล็ดข้าว (Jircas, Japan) (คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี)

เครื่องวัดสี (Minolta Chroma Meter รุ่น CR300, Japan และ Minolta Chroma Meter รุ่น CR400)

เครื่องวิเคราะห์สมบัติด้านความเหนียว (RVA) (Newport Scientific รุ่น RVA-4, Australia)

เครื่องวัดความเหนียว (Fungilab รุ่น Alpha, Spain)

เครื่อง Spectrophotometer (Spectronic 20, USA)
 ตู้อบลมร้อน (Yeu Heng รุ่น HA-100S, Thailand)
 เครื่องเขย่า (Gyrotory Shaker รุ่น model G2, Canada)
 เครื่องต้มระเหยแบบหมุนภายใต้สภาวะสูญญากาศ (Buchi Rotavapor รุ่น R-200 Flat, Switzerland)
 เครื่องเหวี่ยงแยก (Rotanta รุ่น 460R, Germany และ Centrifugal Thermo IEC รุ่น IEC MultiRF, USA)
 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Julabo Shake Temp รุ่น SW23, Germany)
 เครื่องวัด water activity (a_w) (Novasina รุ่น MS1, Switzerland)
 เครื่องชั่งตวงวัด 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo รุ่น AB204, Switzerland)
 ตู้อบลมร้อน (Heraeus รุ่น ST 5042, Germany)
 เครื่อง Scanning Electron Microscope (JEOL รุ่น JSM-5800LV, Oxford) (ศูนย์เครื่องมือวิจัย วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)
 เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometer (Perkin-Elmer รุ่น Spectrum One, USA) (ศูนย์เครื่องมือวิจัย วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)
 เครื่อง X-ray diffraction (Bruker AXS รุ่น D8 Discover, Germany) (ศูนย์เครื่องมือวิจัย วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)
 ตะแกรงขนาด 120 mesh

3.3 สารเคมี

เอทิลแอลกอฮอล์ (C_2H_5OH) 95% (Grade AR, Mallinckrodt Chemical, Malaysia)
 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) (Grade AR, QRèC Quality Reagent Chemical, New Zealand)
 กรดแอสติติก (glacial acetic acid) (Grade AR, QRèC Quality Reagent Chemical, New Zealand)
 ไอโอดีน (I_2) (Grade AR, Ajex Finechem, Thailand)
 โพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) (Grade AR, Ajex Finechem, Thailand)
 Bromocresol green (Grade AR, QRèC Quality Reagent Chemical, New Zealand)
 Methyl red (Grade AR, QRèC Quality Reagent Chemical, New Zealand)

กรดบอริก (H_3BO_3) (Grade AR, QRèC Quality Reagent Chemical, New Zealand)
 กรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 37% (HCl) (Grade AR, QRèC Quality Reagent Chemical, New Zealand)
 โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) (Grade AR, QRèC Quality Reagent Chemical, New Zealand)
 คอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4$) (Grade AR, QRèC Quality Reagent Chemical, New Zealand)
 โพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) (Grade AR, Carlo Erba Reagents, Italy)
 ปีโตรเลียมอีเทอร์ (Grade AR, QRèC Quality Reagent Chemical, New Zealand)
 เมทานอล (CH_3OH) (Grade AR, QRèC Quality Reagent Chemical, New Zealand)
 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazal (DPPH) (Grade AR, Sigma chemical Co., USA)
 Folin-Ciocalteu's phenol reagent (Grade AR, Merck, Germany)

3.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.4.1 ศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเขือก่อนและหลังการอบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิดาเซชันร่วมกับไอน้ำร้อนยวดยิ่ง

วิเคราะห์ความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือกทั้งสองพันธุ์ จากนั้นนำมาปรับความชื้นให้ได้ 24-26 % (w.b.) (ภาคผนวก ก.1) และเก็บไว้ที่อุณหภูมิ $4^{\circ}C$ โดยบรรจุในกล่องพลาสติกมีฝาปิดสนิท แล้วคลุกเคล้าข้าวเปลือกให้เข้ากับน้ำอย่างทั่วถึงทุกๆ วันเป็นเวลา 7 วัน ก่อนการอบแห้ง ข้าวเปลือกด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งนำข้าวเปลือกออกมาวางทิ้งไว้ให้อุณหภูมิข้าวเปลือกเท่ากับอุณหภูมิห้อง จากนั้นนำข้าวเปลือกไปอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ $170^{\circ}C$ โดยแปรเวลาเป็น 3 ระดับดังนี้ 2.5, 3 และ 4 นาที ตากข้าวเปลือกที่อบแห้งมาในที่ร่มจนกระทั่งความชื้นของข้าวเปลือกลดลงอยู่ในช่วง 13-14 % (w.b) เมื่อได้ความชื้นตามต้องการให้นำข้าวเปลือกไปเก็บที่ $4^{\circ}C$ บรรจุในถุงกระสอบพลาสติกในระหว่างรอการวิเคราะห์ สำหรับข้าวเปลือกอีกส่วนเป็นข้าวที่ไม่ผ่านการปรับความชื้นและอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งโดยมีความชื้นอยู่ในช่วง 9-10 % (w.b.) ให้เป็นตัวควบคุม วางแผนการทดลองแบบ 2x4 factorial ปัจจัยในการทดลองคือ พันธุ์ข้าว 2 ระดับ และวิธีการอบแห้ง 4 ระดับคือ อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5, 3, 4 นาทีและตากแห้ง ดังนั้นในงานวิจัยนี้มีข้าวเปลือกทั้งหมด 8 ชุดการทดลองดังนี้

- 1) ข้าวสังข์หยดพัทลุงที่ไม่ผ่านการปรับความชื้นและอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นตัวอย่างควบคุม (Scon)
- 2) ข้าวสังข์หยดพัทลุงที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาที (S2.5min)
- 3) ข้าวสังข์หยดพัทลุงที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 3 นาที (S3min)
- 4) ข้าวสังข์หยดพัทลุงที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 4 นาที (S4min)
- 5) ข้าวหน่วยเชื้อที่ไม่ผ่านการปรับความชื้นและอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นตัวอย่างควบคุม (Ncon)
- 6) ข้าวหน่วยเชื้อที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาที (N2.5min)
- 7) ข้าวหน่วยเชื้อที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 3 นาที (N3min)
- 8) ข้าวหน่วยเชื้อที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 4 นาที (N4min)

วิเคราะห์คุณภาพของข้าวสารและสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวกล้อง ดังนี้

3.4.1.1 วิเคราะห์คุณภาพของข้าวสารโดยกะเทาะเปลือกด้วยเครื่องกะเทาะเปลือกชนิดลูกกลิ้งยาง ขัดสีด้วยเครื่องเครื่องขัดขาวชนิดหินขัด และคัดขนาดด้วยเครื่องคัดขนาดเมล็ดข้าวเพื่อวิเคราะห์ร้อยละต้นข้าว (ภาคผนวก ก.2) และค่าดัชนีความขาว (ภาคผนวก ก.3)

3.4.1.2 วิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวกล้อง โดยกะเทาะเปลือก แล้วนำข้าวกล้องไปโม่แห้งด้วยเครื่องโม่แห้ง จนได้เป็นแป้งข้าวกล้อง แล้วร่อนแป้งข้าวกล้องที่ได้ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 120 mesh เพื่อวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพดังนี้

- ปริมาณโปรตีน (ภาคผนวก ก.4) ปริมาณเถ้า (ภาคผนวก ก.5) ความชื้น (ภาคผนวก ก.6) ปริมาณไขมัน (ภาคผนวก ก.7) ตามวิธีของ AOAC (2000)
- ปริมาณแอมิโลส ตามวิธีของ Juliano (1985) (ภาคผนวก ก.8)
- ปริมาณสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสกับไขมัน (amylose – lipid complex) ด้วยเครื่อง X-ray diffraction (ภาคผนวก ก.9)
- ภาพถ่ายตัดขวางด้วยเครื่อง SEM (ภาคผนวก ก.10)
- กำลังการพองตัว ตามวิธีของ Scoch (1967) (ภาคผนวก ก.11)
- สมบัติด้านความหนืดโดยใช้เครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) ตามวิธีของ AACC method 61-02 (AACC, 1995) (ภาคผนวก ก.12)
- ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (total phenolic contents) ดัดแปลงจากวิธีของ Tananuwong และ Tewartuth (2010) (ภาคผนวก ก.13)

- ค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) ดัดแปลงจากวิธีของ Tananuwong และ Tewaruth (2010) และ Sompong และคณะ (2011) (ภาคผนวก ก.13)

- วิเคราะห์พันธะโคvalent ด้วยเครื่อง FTIR (ภาคผนวก ก.14)

ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป

3.4.2 ศึกษาผลของระยะเวลาในการอบแห้งข้าวเปลือกโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไอเซชันร่วมกับไอน้ำร้อนยวดยิ่งต่อลักษณะของข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป

นำข้าวกล้องมาปั่นด้วยเครื่องปั่นให้เป็นข้าวกล้องหักเพื่อผลิตข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป และศึกษาปัจจัยต่างๆ ดังนี้

3.4.2.1 ศึกษาระยะเวลาในการต้มข้าวกล้องหัก ต้มข้าวกล้องหักโดยใช้อัตราส่วนข้าวต่อน้ำ 1:15 เพื่อให้มีปริมาณน้ำมากพอที่ทำให้เกิดการ gelatinization แล้วต้มข้าวหักโดยจับเวลาตั้งแต่เริ่มต้มเป็นเวลา 30 นาทีวัดความหนืด หลังจากนั้นวัดความหนืดทุกๆ 5 นาทีด้วยเครื่องวัดความหนืด (ภาคผนวก ก.15) ต้มจนได้ความหนืดประมาณ 4000 cP แล้วบันทึกเวลาที่ใช้ในการต้ม

3.4.2.2 เปรียบเทียบผลของการอบแห้งข้าวเปลือกต่อความหนืดเมื่อต้มข้าวกล้องหักตามเวลาที่เลือก

3.4.2.3 ศึกษาความหนืดของโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปในท้องตลาด 5 ตัวอย่าง โดยเติมน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 100 ± 5 °C ในอัตราส่วนโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปต่อน้ำตามที่แต่ละตัวอย่างกำหนด โดยวัดความหนืดทุกๆ 3 นาที เป็นเวลา 21 นาที

3.4.2.4 ศึกษาความสามารถในการคืนตัวของผงข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปโดยนำข้าวกล้องหักที่ต้มแล้ว (จากข้อ 3.4.2.1) มาอบที่อุณหภูมิ 60 °C ด้วยตู้อบลมร้อน เป็นเวลาประมาณ 20 ชั่วโมง แล้วปั่นด้วยเครื่องปั่นจะได้ผงของข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปวัดความหนืดหลังจากเติมน้ำร้อน 100 ± 5 °C อัตราส่วนข้าวต่อน้ำ 1:10 ซึ่งเป็นอัตราส่วนโดยเฉลี่ยของโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปในท้องตลาด วัดความหนืดด้วยเครื่องวัดความหนืดทุกๆ 3 นาที เป็นเวลา 21 นาที

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบ CRD วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป

3.4.3 พัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรส

คัดเลือกข้าวเพื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสโดยพิจารณาระยะเวลาในการต้ม ความสามารถในการคืนตัวของข้าว (จากข้อ 3.4.2) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของข้าว (ข้อ 3.4.1.2)

3.4.3.1 นำผงข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปที่คัดเลือกได้โดยเตรียมตามข้อ 3.4.2.4 มาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรส (สูตร A ตารางที่ 3.1) หาภาวะการคืนตัวที่เหมาะสม โดยแปรสัดส่วนของผงข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปต่อน้ำร้อน (100 ± 5 °C) เป็น 2 ระดับคือ 1:7 และ 1:8 แล้ววัดความหนืดทุกๆ 3 นาที เป็นเวลา 21 นาที (ภาคผนวก ก.15) เลือกสัดส่วนข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปต่อน้ำที่เหมาะสม โดยใช้ความหนืดเป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจ จากนั้นแปรสัดส่วนผงปรุงรสต่อเกลือเป็น 2:1 (สูตร A) และ 1:2 (สูตร B) ดังแสดงดังตารางที่ 3.1 คัดเลือกสูตรโดยการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี Preference test ใช้ผู้บริโภคร่วม 30 คน

ตารางที่ 3.1 สูตรการพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรส 2 สูตร

ส่วนประกอบ	ร้อยละของส่วนประกอบ	
	สูตร A	สูตร B
ผงข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป	79	79
ผักอบแห้ง	15	15
น้ำตาล	3	3
ผงปรุงรส	2	1
เกลือ	1	2

3.4.3.2 ทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสโดยใช้สูตรและอัตราส่วนน้ำร้อน (100 ± 5 °C) จากข้อ 3.4.3.1 โดยใช้ผู้บริโภคร่วม 50 คน ทำแบบทดสอบด้านความชอบแบบ 9-point hedonic scale (แบบทดสอบในภาคผนวก ข.1)

วิเคราะห์ความแตกต่างของการยอมรับของผู้บริโภคต่อภาวะการอบแห้งข้าวใช้การทดสอบทางสถิติแบบ t-test โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป

3.4.4 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสที่อุณหภูมิห้อง (30 °C)

ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสจากสูตรที่คัดเลือกได้จากข้อ 3.4.3 บรรจุในซองลามิเนต AL/LLDPE ปริมาณ 30 กรัม เก็บที่อุณหภูมิห้อง (30 °C) เป็นเวลา 8 สัปดาห์สุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสมาตรวจวิเคราะห์สมบัติด้านต่างๆ ดังนี้

3.4.4.1 วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสุ่มตัวอย่างทุก 1 สัปดาห์

- ค่าความชื้น ตามวิธีของ AOAC (2000) (ภาคผนวก ก.16)
- ค่า a_w (ภาคผนวก ก.17)
- ค่าสีของวัตถุดิบ L^* , a^* , b^* (ภาคผนวก ก.18)

3.4.4.2 วิเคราะห์สมบัติทางเคมีของข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรส

- ปริมาณกรดไทโอบาร์บิทูริก (Thiobarbituric acid (TBA)) ตามวิธีของ David (1976) (ภาคผนวก ก.19) สุ่มตัวอย่างทุก 1 สัปดาห์

วางแผนการทดลองแบบ 2x9 factorial in CRD ปัจจัยในการทดลองคือ วิธีการอบแห้งข้าว 2 ระดับ และระยะเวลาในการเก็บรักษา 9 ระดับ ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป

- ค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (ภาคผนวก ก.11) สุ่มตัวอย่างทุก 4 สัปดาห์

3.4.4.3 วิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์

- ยีสต์และรา และ *E.coli* ตามวิธีของ Bacteriological Analytical Manual (2001) (ภาคผนวก ก.20) สุ่มตัวอย่างทุก 4 สัปดาห์

วางแผนการทดลองแบบ 2x4 factorial in CRD ปัจจัยในการทดลองคือ วิธีการอบแห้งข้าว 2 ระดับ และระยะเวลาในการเก็บรักษา 4 ระดับ ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป

3.4.4.4 ทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคโดยใช้จำนวนผู้ทดสอบ 30 คน ทำแบบทดสอบด้านความชอบแบบ 9-point hedonic scale ทุก 4 สัปดาห์ (แบบสอบถามแสดงในภาคผนวก ข.2)

วางแผนการทดลองแบบ 2x4 factorial in RCBD ปัจจัยในการทดลองคือ วิธีการอบแห้งข้าว 2 ระดับ และระยะเวลาในการเก็บรักษา 4 ระดับ ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 สมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อหลังการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่เวลาต่างๆ

4.1.1 คุณภาพของข้าวสารสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อ

4.1.1.1 ร้อยละต้นข้าวของข้าวสาร

จากตารางที่ 4.1 พบว่าค่าความชื้นของข้าวเปลือกที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีค่าลดต่ำลง เมื่อเวลาการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งนานขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.1 ค่าความชื้นของข้าวเปลือกสังข์หยดพัทลุง และหน่วยเชื้อ

ภาวะการอบแห้ง	ค่าความชื้น (%w.b.)	
	ข้าวสังข์หยดพัทลุง	ข้าวหน่วยเชื้อ
ตัวอย่างควบคุม	10.28 ^d ±0.04	9.01 ^h ±0.12
ข้าวเปลือกหลังปรับความชื้น	25.70 ^a ±0.27	26.09 ^a ±0.10
ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 2.5 นาที	16.79 ^c ±0.77	18.16 ^b ±0.23
ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 3 นาที	16.40 ^c ±0.40	15.050 ^d ±0.18
ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 4 นาที	14.52 ^e ±0.22	13.82 ^f ±0.05

ตัวอักษร a, b, c, ... ที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$)

นำข้าวเปลือกไปกะเทาะเปลือก ขัดสี และคัดขนาด เพื่อศึกษาร้อยละต้นข้าว จากตารางที่ 4.2 พบว่า เมื่อระยะเวลาในการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งนานขึ้นร้อยละต้นข้าวของข้าวสารสังข์หยดพัทลุงที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และร้อยละต้นข้าวของข้าวสารสังข์หยดพัทลุงที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีค่าต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) สำหรับข้าวหน่วยเชื้อไม่สามารถวิเคราะห์ร้อยละต้นข้าวด้วยเครื่องคัดขนาดเมล็ดข้าวได้ เนื่องจากเมล็ดมีลักษณะกลมเล็กจึงไม่ได้วิเคราะห์ในงานวิจัยนี้

ตารางที่ 4.2 ร้อยละต้นข้าวของข้าวสารสังข์หยดพัทลุง

ภาวะการอบแห้ง	ร้อยละต้นข้าวสังข์หยดพัทลุง
ตัวอย่างควบคุม	60.49 ^a ±0.39
ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 2.5 นาที	48.30 ^b ±0.27
ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 3 นาที	41.19 ^c ±0.41
ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 4 นาที	30.13 ^d ±0.52

ตัวอักษร a, b, c, ... ที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$)

โดยความชื้นของข้าวเปลือกสังข์หยดพัทลุงหลังการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งในทุกระยะเวลาการอบแห้งมีค่าอยู่ในช่วง 14.31-17.56 % (w.b.) ซึ่งมีค่าต่ำกว่า 19 % (w.b.) เป็นผลทำให้เมล็ดข้าวเกิดการแตกหัก (Taweerattanapanish *et al.*, 1999) เนื่องจากเกิดความแตกต่างของความชื้น (moisture gradient) ทำให้เกิดความเค้นของแรงดึง (stress) ขึ้นภายในเมล็ดข้าวระหว่างการอบแห้ง และเกิดความเค้นของแรงอัดที่ผิวเมล็ดข้าว เพราะเกิดการสูญเสียความชื้นอย่างรวดเร็วของเมล็ดข้าว ถ้าความเค้นของแรงดึงภายในเมล็ดเกิดมากกว่าความเค้นของแรงอัดที่ผิวเมล็ดข้าวส่งผลให้เมล็ดข้าวไม่ทนต่อการขัดสีเกิดการแตกหักทำให้ร้อยละต้นข้าวลดลง (Poomsa-ad *et al.*, 2005; Srisang *et al.*, 2011) ดังนั้นหลังการอบแห้งข้าวเปลือกจึงควรนำข้าวเปลือกมาเทมเปอริง เพื่อลดความแตกต่างของความชื้นที่ผิว และแกนกลางของเมล็ดข้าว ส่งผลให้ข้าวทนต่อการขัดสีทำให้ร้อยละต้นข้าวเพิ่มสูงขึ้น (Cnossen, Jiménez and Siebenmorgen, 2003) แต่ในงานวิจัยนี้ต้องการใช้ข้าวหักในการวิเคราะห์จึงไม่ต้องนำข้าวเปลือกไปเทมเปอริง สำหรับตัวอย่างควบคุมเป็นข้าวเปลือกที่ได้จากการตากแห้งเพื่อให้ความชื้นลดลงไม่ได้ผ่านกระบวนการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่ส่งผลให้ความชื้นลดลงอย่างรวดเร็ว ดังนั้นร้อยละข้าวต้นจึงสูงกว่าข้าวที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง

4.1.1.2 ผลของค่าดัชนีความขาว (whiteness index) ของข้าวสารสังข์หยดพัทลุง และหน่วยเชื้อ

ข้าวสารได้จากการนำข้าวกล้องไปขัดขาว ซึ่งความขาวของข้าวสารขึ้นอยู่กับระดับการขัดสี จากการศึกษาผลของวิธีการทำแห้งและพันธุ์ข้าว (สังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อ) พบว่า

ระยะเวลาการอบแห้งข้าวด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง พันธุ์ข้าว และอิทธิพลร่วมของวิธีการทำแห้งและพันธุ์ข้าวมีผลต่อค่าดัชนีความขาวของข้าวสารสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อ (ตารางที่ 4.3)

จากตารางที่ 4.3 แสดงถึงค่าดัชนีความขาวของข้าวสารสังข์หยดพัทลุงและข้าวสารหน่วยเชื้อในทุกภาวะการอบแห้ง พบว่าค่าดัชนีความขาวข้าวสารสังข์หยดพัทลุงที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีค่าลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับค่าดัชนีความขาวของตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และข้าวสารสังข์หยดพัทลุงที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 3 และ 4 นาที มีค่าดัชนีความขาวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่มีค่าดัชนีความขาวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กับข้าวสารสังข์หยดพัทลุงที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาที ส่วนค่าดัชนีความขาวของข้าวสารหน่วยเชื้อในทุกภาวะการอบแห้ง ข้าวสารหน่วยเชื้อที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีค่าดัชนีความขาวลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และข้าวสารหน่วยเชื้อที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 3 และ 4 นาทีมีค่าดัชนีความขาวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กับค่าดัชนีความขาวของข้าวสารหน่วยเชื้อที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาที เมื่อเปรียบเทียบค่าดัชนีความขาวของข้าวสารสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่ระยะเวลาต่างๆ กัน พบว่า ค่าดัชนีความขาวของข้าวสารสังข์หยดพัทลุงมีค่าดัชนีความขาวต่ำกว่าข้าวสารหน่วยเชื้อในทุกระยะเวลาการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง

ตารางที่ 4.3 ค่าดัชนีความขาวของข้าวสารสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อ

ภาวะการอบแห้ง	ค่าดัชนีความขาว	
	ข้าวสังข์หยดพัทลุง	ข้าวหน่วยเชื้อ
ตัวอย่างควบคุม	76.19 ^a ±0.22	71.02 ^b ±0.26
ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 2.5 นาที	60.40 ^f ±0.72	66.24 ^{cd} ±1.06
ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 3 นาที	61.71 ^{ef} ±0.90	65.20 ^d ±0.88
ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 4 นาที	62.09 ^e ±0.42	67.06 ^c ±1.16

ตัวอักษร a, b, c, ... ที่ต่างกันตามแสดงถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$)

สำหรับการลดลงของค่าดัชนีความขาวของข้าวสารสังข์หยดพัทลุงและข้าวสารหน่วยเชื้อที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง เป็นผลมาจากปฏิกิริยา Maillard หรือ non-enzymatic browning

reaction ระหว่าง free amino acid และ reducing sugar ซึ่งการลดลงของค่าดัชนีความขาวจะส่งผลต่อความชอบของผู้บริโภค (Rodprepat *et al.*, 2005; Taweerattanapanish *et al.*, 1999) ดังนั้นปฏิกิริยา Maillard จึงมีผลต่อการลดลงของค่าดัชนีความขาว ส่วนค่าดัชนีความขาวของข้าวสารสังข์หยดพัทลุงที่มีค่าดัชนีความขาวต่ำกว่าข้าวสารหน่วยเชื้อ อาจเป็นผลมาจากสีของเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวโดยข้าวสังข์หยดพัทลุงมีเยื่อหุ้มเมล็ด สีแดง และข้าวหน่วยเชื้อมีเยื่อหุ้มเมล็ดสีขาว เมื่อนำข้าวทั้งสองพันธุ์ไปอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งจะเกิดปฏิกิริยา Maillard ขึ้นในระหว่างกระบวนการอบแห้ง ทำให้ข้าวสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อหลังการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีสีเข้มขึ้น แต่ข้าวสังข์หยดพัทลุงมีเยื่อหุ้มเมล็ดสีแดงซึ่งมีสีเข้มกว่าข้าวหน่วยเชื้อมีเยื่อหุ้มเมล็ดสีขาว ดังนั้นค่าดัชนีความขาวของข้าวสารสังข์หยดพัทลุงหลังการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งนั้นมีค่าดัชนีความขาวต่ำกว่าข้าวสารหน่วยเชื้อ

4.1.1.3 ปริมาณไขมัน โปรตีน เถ้า คาร์โบไฮเดรตและความชื้นของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อ

ข้าวแต่ละพันธุ์จะมีปริมาณไขมัน โปรตีน เถ้า คาร์โบไฮเดรตและความชื้นที่แตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 4.4 ซึ่งองค์ประกอบต่างๆ เหล่านี้จะมีผลต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าว

จากการศึกษาผลของวิธีการทำแห้งและพันธุ์ข้าว (สังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อ) พบว่าวิธีการทำแห้งมีผลต่อร้อยละความชื้น ปริมาณไขมัน โปรตีนและคาร์โบไฮเดรต พันธุ์ข้าวมีผลต่อร้อยละความชื้น ปริมาณไขมัน เถ้า และคาร์โบไฮเดรต ส่วนอิทธิพลร่วมของวิธีการอบแห้งและพันธุ์ข้าวมีผลต่อร้อยละความชื้น ปริมาณไขมัน และคาร์โบไฮเดรต (ตารางที่ 4.4- 4.8)

ตารางที่ 4.4 ปริมาณไขมัน โปรตีน เถ้า คาร์โบไฮเดรตและความชื้นของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อ

ตัวอย่าง	ร้อยละความชื้น (%w.b.)	ปริมาณโปรตีน (%w.b.)	ปริมาณไขมัน (%w.b.)	ปริมาณเถ้า ^{ns} (%w.b.)	ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (%w.b.)
Scon	11.40 ^{cb} ±0.22	9.26 ^c ±0.39	3.76 ^c ±0.20	1.39±0.07	85.74 ^{ab} ±0.46
S2.5min	11.72 ^{cb} ±0.20	9.80 ^{ab} ±0.21	4.40 ^b ±0.07	1.37±0.01	84.45 ^d ±0.30
S3min	10.20 ^d ±0.18	9.63 ^{bc} ±0.08	4.12 ^b ±0.01	1.36±0.09	84.92 ^{cd} ±0.01
S4min	10.60 ^d ±0.56	10.22 ^{ab} ±0.36	4.76 ^a ±0.20	1.37±0.09	83.76 ^e ±0.09
Ncon	12.82 ^a ±0.19	9.66 ^{bc} ±0.25	2.48 ^d ±0.33	1.54±0.11	86.06 ^a ±0.30
N2.5min	11.94 ^b ±0.34	9.64 ^{bc} ±0.37	3.77 ^c ±0.22	1.46±0.05	85.18 ^{bc} ±0.30
N3min	11.49 ^{bc} ±0.29	9.80 ^{ab} ±0.24	3.74 ^c ±0.03	1.48±0.09	84.98 ^{cd} ±0.42
N4min	11.34 ^c ±0.37	9.99 ^{ab} ±0.01	3.50 ^c ±0.03	1.40±0.09	85.12 ^{bcd} ±0.10

ตัวอักษร a, b, c, ... ที่ต่างกันตามแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$)

ns คือค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.4 แสดงถึงค่าร้อยละความชื้น ปริมาณโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรตและเถ้าของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงในทุกภาวะการอบแห้ง โดยร้อยละความชื้นของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาทีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กับร้อยละความชื้นของตัวอย่างควบคุมและความชื้นของแป้ง ข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 3 และ 4 นาทีที่มีค่าความชื้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ซึ่งความชื้นของแป้งมีข้อกำหนดไม่ควรเกินร้อยละ 13.00%(w.b.) (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2529) และแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงมีค่าความชื้นอยู่ในช่วง 10.02-11.93%(w.b.) จึงถือว่าอยู่ในข้อกำหนด ปริมาณโปรตีนของตัวอย่างควบคุมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กับปริมาณโปรตีนของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 3 นาที แต่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 และ 4 นาที ปริมาณไขมันพบว่าแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีปริมาณไขมันเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณไขมันของตัวอย่างควบคุม โดยปริมาณไขมันของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 และ 3 นาทีมีปริมาณไขมันที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และปริมาณเถ้าของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ในแต่ละภาวะการอบแห้ง และปริมาณคาร์โบไฮเดรตของตัวอย่างควบคุมมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กับปริมาณคาร์โบไฮเดรตของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งในทุกระยะเวลาการอบแห้ง ปริมาณคาร์โบไฮเดรตของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นระยะเวลา 2.5 นาทีมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กับปริมาณคาร์โบไฮเดรตของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นระยะเวลา 3 นาที ทั้งนี้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตในงานวิจัยนี้จะรวมถึงปริมาณเส้นใยของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุง

จากตารางที่ 4.4 ร้อยละความชื้นของแป้งข้าวกล้องหน่วยเชื้อที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาในการอบแห้งนานขึ้น และลดลงต่ำกว่าร้อยละความชื้นของตัวอย่างควบคุม โดยร้อยละความชื้นของแป้งข้าวกล้องหน่วยเชื้อในทุกภาวะการอบแห้งอยู่ในช่วง 10.97-13.01 % (w.b.) ปริมาณโปรตีนและปริมาณเถ้าของข้าวกล้องหน่วยเชื้อไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ในทุกภาวะการอบแห้ง และปริมาณไขมันของแป้งข้าวกล้องหน่วยเชื้อที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีปริมาณไขมันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

($p \leq 0.05$) ที่ทุกระยะเวลาในการอบแห้ง แต่มีปริมาณไขมันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กับปริมาณไขมันของตัวอย่างควบคุม ปริมาณคาร์โบไฮเดรตของแป้งข้าวกล้องหน่วยเชื้อที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในทุกระยะเวลาการอบแห้ง แต่แป้งข้าวกล้องหน่วยเชื้อที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กับตัวอย่างควบคุม สำหรับปริมาณคาร์โบไฮเดรตของแป้งข้าวกล้องหน่วยเชื้อในงานวิจัยนี้จะรวมถึงปริมาณเส้นใยของแป้งข้าวกล้องหน่วยเชื้อ

4.1.2 ปริมาณแอมิโลสของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อ

ปริมาณแอมิโลสในข้าวจะมีปริมาณแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของข้าวซึ่งปริมาณแอมิโลสในข้าวสามารถแบ่งได้เป็น 5 กลุ่ม ดังตารางที่ 4.5 (Sompong *et al.*, 2011)

ตารางที่ 4.5 การจำแนกข้าวตามปริมาณแอมิโลส

ประเภทข้าว	ปริมาณแอมิโลส (%)
ข้าวเหนียว	1.00-2.00
ข้าวแอมิโลสต่ำมาก	2.00-9.00
ข้าวแอมิโลสต่ำ	10.00-20.00
ข้าวแอมิโลสปานกลาง	20.00-25.00
ข้าวแอมิโลสสูง	25.00-33.00

ที่มา : Sompong และคณะ (2011)

เมื่อพิจารณาตารางที่ 4.6 พบว่าปริมาณแอมิโลสของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงเป็นข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำและแป้งข้าวกล้องหน่วยเชื้อเป็นข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสปานกลางจึงได้วิเคราะห์ผลทางสถิติแยกกันระหว่างแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อ โดยการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งไม่มีผลต่อปริมาณแอมิโลสในข้าวทั้งสองพันธุ์ ($p > 0.05$)

ทั้งแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุง และหน่วยเชื้อมีปริมาณแอมิโลสที่ต่างกัน โดยปริมาณแอมิโลสจะมีผลต่อสมบัติด้านความหนืด ลักษณะของข้าวหุงสุก และการพองตัวของเมล็ดแป้ง (Varavinit *et al.*, 2003; Li *et al.*, 2008)

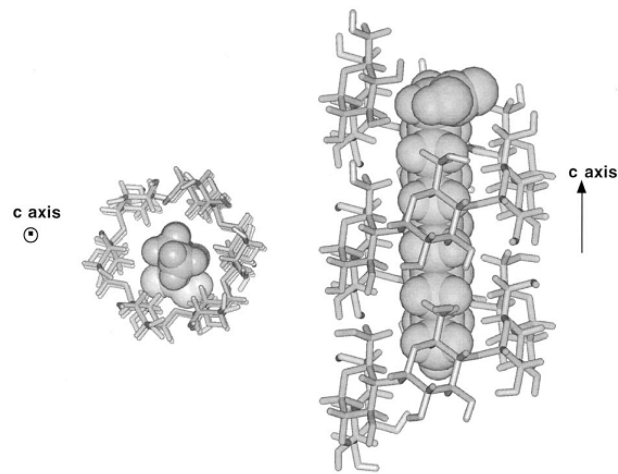
ตารางที่ 4.6 ปริมาณแอมิโลสของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อ

ภาวะการอบแห้ง	ปริมาณแอมิโลส (%)	
	ข้าวสังข์หยดพัทลุง ^{ns}	ข้าวหน่วยเชื้อ ^{ns}
ตัวอย่างควบคุม	13.48±0.29	20.43±0.54
ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 2.5 นาที	13.18±0.84	20.87±0.25
ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 3 นาที	13.21±0.22	20.33±0.19
ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 4 นาที	13.55±0.09	20.80±0.37

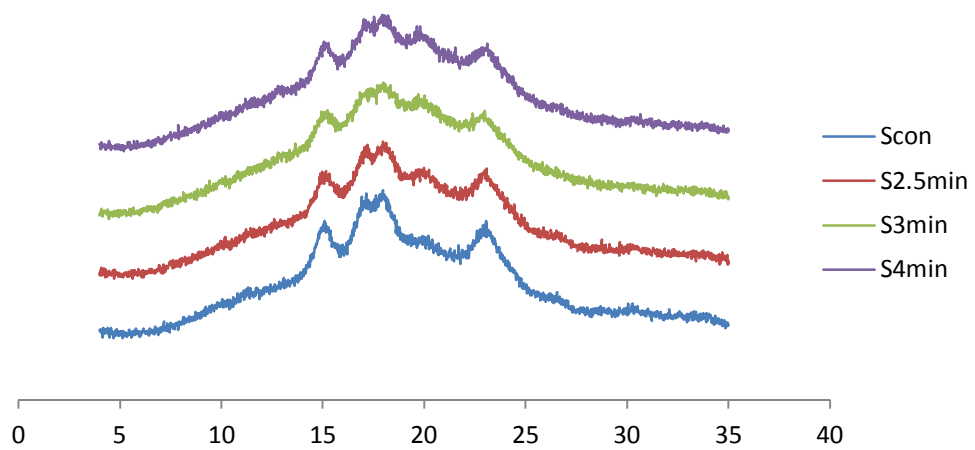
ns คือค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญตามแนวดิ่ง ($p > 0.05$)

4.1.3 ปริมาณสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสและไขมัน

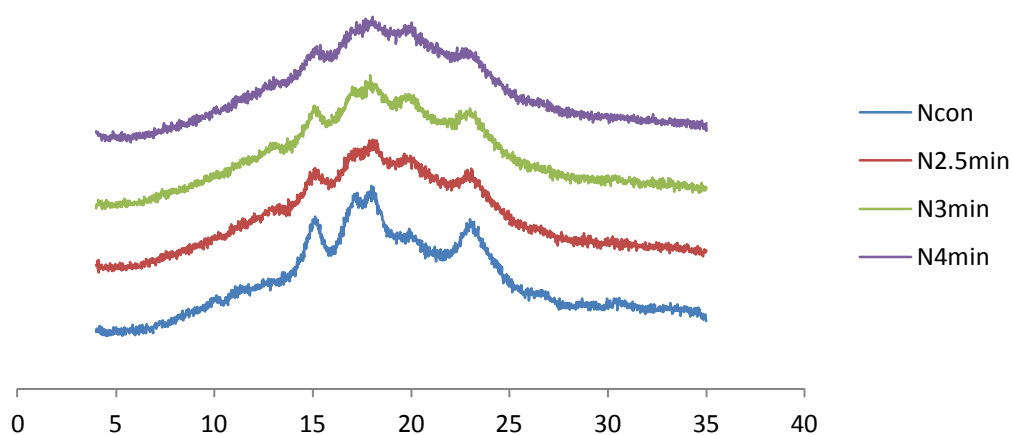
โครงสร้างความเป็นผลึกของแป้งข้าวสามารถวิเคราะห์ได้ด้วยเครื่อง X-ray-diffraction (XRD) ในระหว่างกระบวนการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเม็ดแป้งภายในเมล็ดข้าวเกิดการ gelatinization บางส่วนส่งผลให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสและไขมัน โดยเกิดจากการที่ไขมันส่วนที่ไม่ชอบน้ำเข้าไปอยู่ในเกลียวของแอมิโลส ซึ่งภายในเกลียวของแอมิโลสจะมีสมบัติไม่ชอบน้ำ แต่ภายนอกชอบน้ำเนื่องจากมีหมู่ไฮดรอกซิลโดยโครงสร้างการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสและไขมันจะมีลักษณะดังภาพที่ 4.1 โดยสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสและไขมันที่เกิดขึ้น จะปรากฏพีคที่ตำแหน่ง 20 องศา 1 พีค ดังภาพที่ 4.2 และ 4.3 ซึ่งจากภาพที่ 4.2 และ 4.3 พบว่าเมื่อระยะเวลาในการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งนานขึ้นทั้งแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อมีพีคที่ตำแหน่ง 20 องศาชัดเจนขึ้น และเมื่อคำนวณร้อยละผลึกแบบวี พบว่าร้อยละผลึกแบบวี มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น เมื่อระยะเวลาในการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งนานขึ้นทั้งแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อ ดังตารางที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่า การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีผลต่อการเกิดและการเพิ่มขึ้นของผลึกแบบวีทั้งนี้ผลึกแบบวียังมีผลต่อค่า GI ซึ่งเป็นค่าที่บอกถึงอัตราเร็วในการย่อย และการดูดซึมของอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรต (Wolever *et al.*, 1991) ทำให้ค่า GI ลดลง ซึ่งเห็นได้จากงานวิจัยต่างๆ ดังนี้



ภาพที่ 4.1 โครงสร้างของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสและไขมัน
(Amylose-lipid complex)
ที่มา : Belton (2007)



ภาพที่ 4.2 กราฟ XRD ของแป้งข้าวกล้องดัดแปลงด้วยคลื่นเสียง



ภาพที่ 4.3 กราฟ XRD ของแป้งข้าวกล้องหน่วยเชื้อ

ตารางที่ 4.7 ร้อยละผลึกแบบวีและร้อยละผลึกทั้งหมดของข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อ

ภาวะการอบแห้ง	ข้าวสังข์หยดพัทลุง		ข้าวหน่วยเชื้อ	
	ร้อยละผลึกแบบวี	ร้อยละผลึกทั้งหมด	ร้อยละผลึกแบบวี	ร้อยละผลึกทั้งหมด
ตัวอย่างควบคุม	0.30	27.43	0.23	27.51
ไอน้ำร้อนนวดที่ยัง 2.5 นาที	0.33	26.24	0.59	22.99
ไอน้ำร้อนนวดที่ยัง 3 นาที	0.42	22.66	0.76	21.95
ไอน้ำร้อนนวดที่ยัง 4 นาที	0.70	24.70	1.53	22.12

Derycke และคณะ (2005a) ศึกษาการผลิตข้าวหนึ่งจากข้าว 2 พันธุ์คือ puntal มีปริมาณแอมิโลสเท่ากับ 24 และ Jacinto มีปริมาณแอมิโลสเท่ากับ 12 และกระบวนการผลิตข้าวหนึ่ง 2 กระบวนการดังนี้ กระบวนการแรกแช่ข้าวเปลือกในน้ำที่อุณหภูมิ 112 °C เป็นเวลา 90 นาที และกระบวนการที่สองคือ แช่ข้าวเปลือกในน้ำที่อุณหภูมิ 121 °C เป็นเวลา 360 นาที พบว่าการแช่ข้าวเปลือกในน้ำที่อุณหภูมิสูงเป็นระยะเวลาสั้นจะมีผลึกแบบวีเกิดขึ้น

ชัยวัฒน์ รัตนมีชัยสกุล สมเกียรติ ปรัชฎาวรรการ และสมชาติ ไสภณรณฤทธิ์ (2554) ศึกษาผลของการอบแห้งข้าวเปลือกพันธุ์พิษณุโลก 2 ทั้งแบบอากาศร้อน และอากาศร้อนขึ้นด้วยเทคนิคฟลูอิดไอเซชัน ที่อุณหภูมิการอบแห้ง 100, 130 และ 150 °C พบว่า ข้าวที่ผ่านการอบแห้งแบบอากาศร้อนขึ้นมีระดับความเป็นผลึกแบบวี มากกว่าข้าวที่ผ่านการอบแห้งด้วยอากาศร้อน

และค่าระดับความเป็นผลิตภัณฑ์แบบวีของข้าวที่อบแห้งด้วยอากาศร้อนขึ้นที่อุณหภูมิ 150 °C มีค่าสูงที่สุด ส่งผลให้ค่า GI ของข้าวพิษณุโลก 2 ที่อบแห้งด้วยอากาศร้อนขึ้นที่อุณหภูมิ 150 °C มีค่าต่ำสุด

ดลฤดี ใจสุทธิ และสมชาติ โสภณภณฤทธิ (2554) ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิการอบแห้งแบบเทคนิคฟลูอิดไดเซชัน และระยะเวลาการเทมเปอร์ริงต่อค่า GI ของแป้งข้าวกล้องสุพรรณบุรี 1 พบว่า เมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งสูงขึ้น และระยะเวลาในการเทมเปอร์ริงนานขึ้นค่าระดับความเป็นผลิตภัณฑ์แบบเอลดลง และค่าระดับความเป็นผลิตภัณฑ์แบบวีเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิของการอบแห้งและระยะเวลาการเทมเปอร์ริงนานขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับค่า GI ที่ลดลงเมื่อค่าระดับความเป็นผลิตภัณฑ์แบบวีเพิ่มขึ้น

ดังนั้นจากงานวิจัยที่กล่าวมาแสดงให้เห็นว่าการเกิดขึ้นของผลิตภัณฑ์แบบวีมีความสัมพันธ์กับค่า GI โดยค่า GI ที่ลดลงของข้าวจะเป็นผลมาจากค่าระดับความเป็นผลิตภัณฑ์แบบวีที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้การเกิดขึ้นของผลิตภัณฑ์แบบวีจะต้องเกิดที่อุณหภูมิ และภาวะการทำแห้ง หรือการแปรรูปข้าวที่เหมาะสม

นอกจากนี้การอบแห้งข้าวเปลือกที่อุณหภูมิสูงจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างความเป็นผลิตภัณฑ์ (Wiset *et al.*, 2005) ของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อ ซึ่งแป้งทั้งสองพันธุ์เป็นแป้งจากธัญพืชจะมีรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์แบบเอ โดยจะปรากฏพีคที่ตำแหน่ง 2 θ ที่องศาต่างๆ ดังนี้ ปรากฏพีคที่ตำแหน่ง 15 องศา 1 พีค ตำแหน่ง 17-18 องศา 2 พีคมีลักษณะเชื่อมติดกัน และตำแหน่งที่ 23 องศา 1 พีคดังภาพที่ 4.2 และ 4.3 เมื่อพิจารณาตารางที่ 4.7 พบว่าร้อยละผลิตภัณฑ์ทั้งหมดของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม ซึ่งการลดลงของร้อยละผลิตภัณฑ์ทั้งหมดอาจเป็นผลมาจากในระหว่างกระบวนการอบแห้งได้ใช้ความร้อนสูงซึ่งความร้อนอาจทำลายโครงสร้างส่วนผลิตภัณฑ์ทำให้ร้อยละผลิตภัณฑ์ทั้งหมดลดลง (Khunae, Tran and Sirivongpaisal, 2007; Chunh, Liu and Hoover, 2010)

เมื่อพิจารณา ร้อยละผลิตภัณฑ์แบบวีของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งจากตารางที่ 4.7 พบว่า ร้อยละผลิตภัณฑ์แบบวีของแป้งข้าวกล้องหน่วยเชื้อที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมี ร้อยละผลิตภัณฑ์แบบวีเกิดขึ้นมากกว่าแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง อาจเป็นผลมาจากปริมาณแอมิโลสของแป้งข้าวกล้องหน่วยเชื้อที่มีปริมาณมากกว่าแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงจึงส่งผลให้มีร้อยละผลิตภัณฑ์แบบวีของแป้งข้าวกล้องหน่วยเชื้อที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีค่ามากกว่าร้อยละผลิตภัณฑ์แบบวีของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยต่างๆ ดังนี้

Derycke และคณะ (2005a) พบว่ากระบวนการผลิตข้าวหนึ่งที่ใช้ระยะเวลาในการแช่ข้าวเปลือก 360 นาทีที่อุณหภูมิ 121 °C มีผลึกแบบวีเกิดขึ้นกับข้าว Puntal และ Jacinto แต่ปริมาณผลึกแบบวีของข้าว Puntal มีปริมาณผลึกแบบวีมากกว่าข้าว Jacinto ซึ่งข้อแตกต่างของข้าว 2 พันธุ์นี้คือปริมาณแอมิโลสโดยข้าว Puntal มีปริมาณแอมิโลสมากกว่าข้าว Jacinto

Na Nakorn, Tongdang และ Sirivongpaisal (2009) ศึกษาการผลิตสตาร์ชแบบ pre-gelatinize โดยใช้สตาร์ชข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสต่างกันดังนี้ สตาร์ชข้าวเหนียวมีปริมาณแอมิโลส 1.40% สตาร์ชข้าวหอมมะลิ 105 มีปริมาณแอมิโลส 15.00% และสตาร์ชข้าวเจ้ามีปริมาณแอมิโลส 20.20% พบว่าเมื่อนำสตาร์ชข้าวชนิดต่างๆ ไปผลิตสตาร์ชแบบ pre-gelatinize สตาร์ชข้าวเจ้า แบบ pre-gelatinize มีผลึกแบบวีเกิดขึ้นในขณะที่สตาร์ชข้าวเหนียวและข้าวหอมมะลิ 105 แบบ pre-gelatinize ไม่พบผลึกแบบวีเกิดขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากความแตกต่างของปริมาณแอมิโลสโดยสตาร์ชข้าวเจ้ามีปริมาณแอมิโลสมากที่สุด

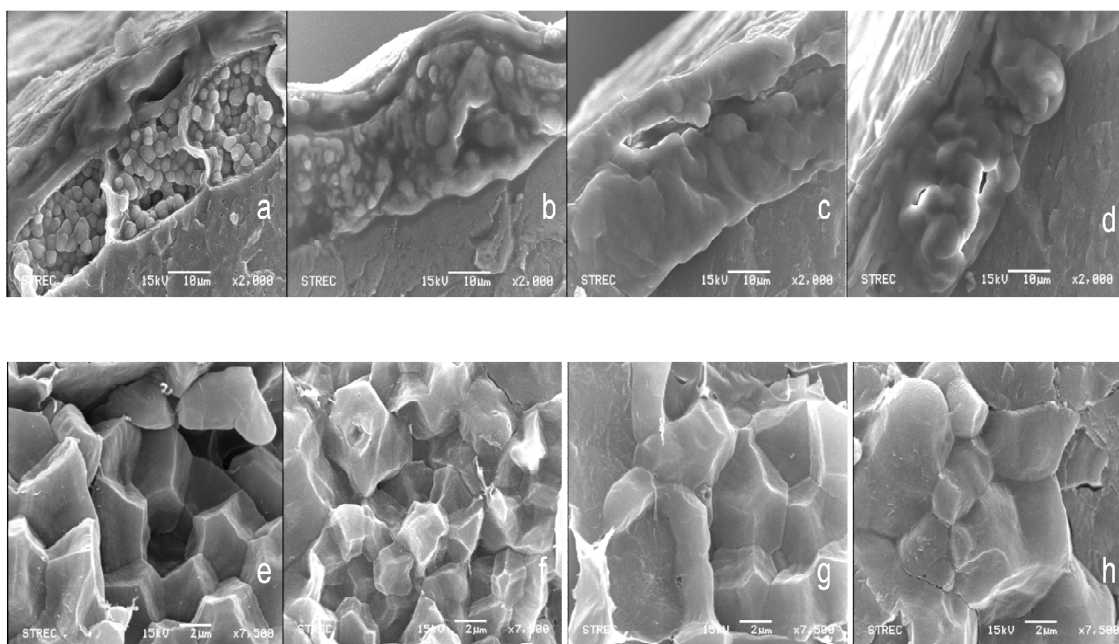
จากงานวิจัยที่กล่าวมาแสดงให้เห็นว่าปริมาณแอมิโลสมีผลต่อการเกิดผลึกแบบวีโดยถ้าสตาร์ชหรือข้าวมีปริมาณแอมิโลสมาก เมื่อนำสตาร์ชหรือข้าวไปผ่านกระบวนการให้ความร้อนไม่ว่าจะเป็นกระบวนการอบแห้ง หรือการผลิตข้าวหนึ่งจะทำให้เกิดผลึกแบบวีมากกว่าสตาร์ชหรือข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำ ดังนั้น ร้อยละผลึกแบบวีของข้าวหน่วยเชื้อเมื่อผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งจึงมี ร้อยละผลึกแบบวีมากกว่าข้าวสังข์หยดพัทลุงที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง

4.1.4 ภาพถ่าย SEM แบบตัดขวางของข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อ

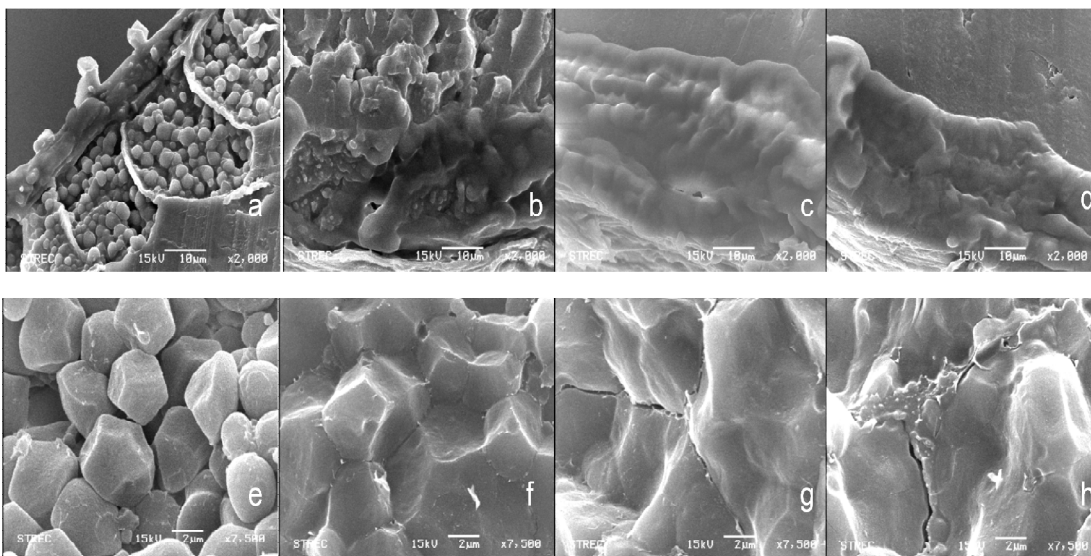
การเกิด gelatinization ของเม็ดแป้งภายในข้าวสามารถตรวจสอบได้จากภาพถ่ายจากเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) (Tirawanichakul *et al*, 2004) จากภาพที่ 4.4a และ 4.5a เป็นภาพตัดขวางของเมล็ดข้าวตัวอย่างควบคุมของข้าวทั้งสองพันธุ์ตามลำดับ พบว่าเม็ดแป้งของข้าวทั้ง 2 พันธุ์มีรูปร่างเป็นเหลี่ยมสมบูรณ์ แต่เมื่อนำข้าวสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อไปอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 170 °C เป็นระยะเวลา 2.5, 3 และ 4 นาที พบว่าเมื่อระยะเวลาในการอบแห้งนานขึ้น เม็ดแป้งจะเกิดการเสียรูปร่างมากขึ้น แต่ยังมีเม็ดแป้งบางส่วนที่ไม่เกิดการเสียรูปร่างซึ่งเห็นได้ว่าเม็ดแป้งจะเกิดการเสียรูปร่างจากบริเวณขอบของเมล็ดข้าวมาก ในทุกระยะเวลาการอบแห้ง เพราะขอบของเมล็ดข้าวเป็นส่วนที่ได้รับความร้อนมาก เมื่อพิจารณาบริเวณถัดจากขอบเข้ามาจะพบว่า เม็ดแป้งบางส่วนเกิดการ gelatinization และ/หรือหลอม

ละลายซึ่งจะเห็นว่าเมื่อระยะเวลาในการอบแห้งนานขึ้นการเกิด gelatinization และ/หรือหลอมละลายจะมากขึ้นดังภาพที่ 4.4 และ 4.5

จากงานวิจัยของ Tirawanichakul และคณะ (2004) ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิในการอบแห้งข้าวแบบอากาศร้อนด้วยเทคนิคฟลูอิดไอเซชัน โดยข้าวเปลือกมีความชื้นเริ่มต้น 20.00-24.00 % (w.b.) พบว่าการอบแห้งข้าวเปลือกที่อุณหภูมิสูงกว่า 90°C จะทำให้อุณหภูมิของเมล็ดข้าวเปลือกสูงถึงระดับการเกิด gelatinization แต่การเกิด gelatinization นั้นจะเกิดเพียงบางส่วน ของเมล็ดข้าว (partial gelatinization) เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Taechapiroj, Prachayawarakorn and Soponronnarit (2004) ได้อบแห้งข้าวเปลือกด้วยเทคนิคฟลูอิดไอเซชัน ร่วมกับไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ $150-170^{\circ}\text{C}$ พบว่าการเกิด gelatinization ของเมล็ดแป้งเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิการอบแห้งเพิ่มขึ้น ดังนั้นการอบแห้งข้าวสังข์หยดพัทลุง และหน่วยเชื้อด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 170°C เป็นระยะเวลา 2.5, 3 และ 4 นาทีจะทำให้เมล็ดแป้งภายในเมล็ดข้าวเกิดการ gelatinization เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการอบแห้งนานขึ้น



ภาพที่ 4.4 ภาพถ่าย SEM ของข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงโดย a-d เป็นบริเวณขอบของเมล็ดข้าว e-h เป็นเม็ดแป้ง จากซ้ายไปขวา a,e คือตัวอย่างควบคุม (b,f), (c,g), (d,h) เป็นข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5, 3 และ 4 นาทีตามลำดับ



ภาพที่ 4.5 ภาพถ่าย SEM ของข้าวกล้องหน่วยเชื้อโดย a-d เป็นบริเวณขอบของเมล็ดข้าว e-h เป็นเม็ดแป้ง จากซ้ายไปขวา a,e คือตัวอย่างควบคุม (b,f), (c,g), (d,h) เป็นข้าวกล้องหน่วยเชื้อที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนนวดถึงเป็นเวลา 2.5 3 และ 4 นาทีตามลำดับ

4.1.5 กำลังการพองตัวของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อ

กำลังการพองตัวของแป้งแต่ละชนิดจะมีความแตกต่างกัน ทั้งนี้กำลังการพองตัวของแป้งจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่างๆ ของเม็ดแป้งแต่ละชนิด เช่น อัตราส่วนระหว่างปริมาณแอมิโลสและแอมิโลเพกติน ปริมาณสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสกับไขมันและองค์ประกอบทางเคมีต่างๆ เป็นต้น การศึกษาผลของวิธีการทำแห้งและพันธุ์ข้าว พบว่าวิธีการทำแห้งและพันธุ์ข้าวมีผลต่อกำลังการพองตัวของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุง และหน่วยเชื้อ แต่อิทธิพลร่วมของวิธีการอบแห้งและพันธุ์ข้าวไม่มีผลต่อกำลังการพองตัวของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อ (ตารางที่ 9)

จากตารางที่ 4.8 พบว่ากำลังการพองตัวของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนนวดถึง มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกำลังการพองตัวของตัวอย่างควบคุม ค่ากำลังการพองตัวของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนนวดถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในทุกระยะเวลาการอบแห้ง แต่แนวโน้มของกำลังการพองตัวที่เกิดขึ้นไม่สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ค่า peak viscosity อาจเป็นผลมาจากอุณหภูมิที่ใช้วิเคราะห์กำลังการพองตัวนั้นไม่เหมาะสมกับแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุง เพราะจากผลการทดสอบสมบัติด้านความหนืด (ข้อ 4.1.6) ของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุง พบว่าค่า

pasting temperature ของตัวอย่างควบคุมมีค่า pasting temperature เท่ากับ 83.07 ± 0.47 °C ซึ่งต่ำกว่าค่า pasting temperature ของแป้งข้าวกึ่งสังข์หยดพัทลุงที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งซึ่งมีค่า pasting temperature อยู่ในช่วง 86.148– 88.54 °C แต่อุณหภูมิที่ใช้ในการวิเคราะห์คือ 85 °C ส่งผลให้ตัวอย่างควบคุมสามารถพองตัวได้มาก เพราะอุณหภูมิที่ใช้ในการวิเคราะห์นั้นมีค่าสูงกว่าค่า pasting temperature ของตัวอย่างควบคุม แต่แป้งข้าวกึ่งสังข์หยดพัทลุงที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีค่า pasting temperature สูงกว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการวิเคราะห์ รวมทั้งค่า pasting temperature ของแป้งข้าวกึ่งสังข์หยดพัทลุงที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในทุกระยะเวลาการอบแห้ง จึงอาจมีผลทำให้กำลังการพองตัวของแป้งข้าวกึ่งสังข์หยดพัทลุงมีการพองตัวที่จำกัด และทำให้กำลังการพองตัวนั้นมีค่าไม่เป็นไปตามแนวโน้มของค่า peak viscosity และจากตารางที่ 4.8 พบว่าค่ากำลังการพองตัวของแป้งข้าวกึ่งสังข์หยดพัทลุงที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีค่าลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับกำลังการพองตัวของตัวอย่างควบคุม ค่ากำลังการพองตัวของแป้งข้าวกึ่งสังข์หยดพัทลุงที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในทุกระยะเวลาการอบแห้ง ค่ากำลังการพองตัวของแป้งข้าวกึ่งสังข์หยดพัทลุงที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาทีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กับค่ากำลังการพองตัวของตัวอย่างควบคุม ถึงแม้ว่ากำลังการพองตัวจะมีแนวโน้มลดลงตามค่า peak viscosity แต่กำลังการพองตัวของแป้งข้าวกึ่งสังข์หยดพัทลุงที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาทีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กับกำลังการพองตัวของตัวอย่างควบคุม แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการวิเคราะห์นั้นไม่เหมาะสมเพราะค่า pasting temperature ของแป้งข้าวกึ่งสังข์หยดพัทลุงที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีค่าอยู่ในช่วง 87.35 - 90.91 °C ซึ่งมากกว่าอุณหภูมิ 85 °C จึงส่งผลให้ค่ากำลังการพองตัวของแป้งข้าวกึ่งสังข์หยดพัทลุงที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งไม่แตกต่างกัน และทำให้แป้งข้าวกึ่งสังข์หยดพัทลุงที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีการพองตัวที่จำกัด เพราะอุณหภูมิที่ใช้วิเคราะห์มีค่าต่ำกว่าค่า pasting temperature ของแป้งข้าวกึ่งสังข์หยดพัทลุงที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง

ตารางที่ 4.8 กำลังการพองตัวของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อที่อุณหภูมิ 85 °C

ภาวะการอบแห้ง	กำลังการพองตัว (%)	
	ข้าวสังข์หยดพัทลุง	ข้าวหน่วยเชื้อ
ตัวอย่างควบคุม	10.07 ^a ±0.09	9.30 ^{bc} ±0.04
ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 2.5 นาที	9.53 ^{bc} ±0.04	9.01 ^{cd} ±0.36
ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 3 นาที	9.67 ^b ±0.01	8.78 ^d ±0.08
ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 4 นาที	9.61 ^{ab} ±0.05	8.66 ^d ±0.45

ตัวอักษร a, b, c, ... ที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$)

สำหรับกำลังการพองตัวที่ลดลงของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง เมื่อเปรียบเทียบกับกำลังการพองตัวของตัวอย่างควบคุมของแป้งข้าวกล้องทั้งสอง เป็นผลมาจากการอบแห้งข้าวเปลือกที่มีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 25.70-26.09% (w.b.) ด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 170 °C มีลักษณะคล้ายกับการตัดแปรแป้งด้วยวิธีความร้อนชื้น (heat moisture treatment) เพราะการตัดแปรแป้งด้วยวิธีนี้จะปรับความชื้นแป้งให้ต่ำกว่า 35% (w.b.) และเก็บรักษาไว้เป็นเวลาประมาณ 15 นาทีถึง 16 ชั่วโมงจากนั้นจึงนำมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิสถานะกลาสส์ (glass transition temperature (T_g)) แต่ต่ำกว่าอุณหภูมิการเกิด gelatinization ซึ่งการตัดแปรแป้งด้วยวิธีนี้แป้งจะเกิดการ gelatinization บางส่วน (Jacobs and Delcour, 1998) เช่นเดียวกับการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง ทำให้แอมิโลสเป็นอิสระและเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจน (Hormdok and Noomhorm, 2007) มีผลทำให้ความสามารถในการจับน้ำลดลง ส่งผลให้กำลังการพองตัวของแป้งลดลง (Li, Ward and Gao, 2011) นอกจากนี้ยังมีการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสและไขมันขึ้นดังจะเห็นได้จากข้อ 4.1.3 ซึ่งการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสและไขมันจะขัดขวางการแทรกซึมของน้ำและการพองตัว (Noranizan; Dzulkiily and Russly, 2010) ด้วยเหตุนี้กำลังการพองตัวของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีกำลังการพองตัวต่ำกว่ากำลังการพองตัวของตัวอย่างควบคุมของแป้งข้าวกล้องทั้งสอง และเมื่อเปรียบเทียบกำลังการพองตัวของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง พบว่ากำลังการพองตัวของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงมีค่ามากกว่ากำลังการพองตัวของแป้งข้าวกล้องหน่วยเชื้อทั้งนี้เป็นผลมาจากปริมาณแอมิโลสของแป้ง

ข้าวกล้องหน่วยเชื้อที่มีมากกว่าแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุง (ข้อ 4.1.2) ซึ่งแอมิโลสจะยับยั้งการพองตัวของเม็ดแป้ง (Wei *et al.*, 2011) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Noosuk และคณะ (2003) ได้ศึกษาผลของสตาร์ชข้าวต่างชนิดที่มีปริมาณแอมิโลสต่างกันต่อความสามารถในการพองตัวของสตาร์ช พบว่าความสามารถในการพองตัวของสตาร์ชจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อสตาร์ชมีปริมาณแอมิโลสต่ำ ซึ่งเห็นได้จากสตาร์ชข้าวเหนียวหกข 6 มีปริมาณแอมิโลสต่ำ จึงมีความสามารถในการพองตัวสูงสุดเมื่อเทียบกับสตาร์ชข้าวหอมมะลิ ที่มีปริมาณแอมิโลสปานกลาง และสตาร์ชข้าวสุพรรณบุรี 1 ที่มีปริมาณแอมิโลสสูง ดังนั้นสตาร์ชที่มีปริมาณแอมิโลเพกตินสูงหรือแอมิโลสต่ำ เม็ดสตาร์ชจะพองตัวง่ายกว่าสตาร์ชที่มีปริมาณแอมิโลสสูง (Jane *et al.*, 1999) และเมื่อพิจารณาปริมาณการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสและไขมัน (ข้อ 4.1.3) พบว่า การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสและไขมันของแป้งข้าวกล้องหน่วยเชื้อที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีมากกว่าแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง ดังนั้นแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง จึงมีกำลังการพองตัวมากกว่าแป้งข้าวกล้องหน่วยเชื้อที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง

4.1.6 สมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อ

4.1.6.1 ค่า pasting temperature ของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อ

ค่า pasting temperature เป็นอุณหภูมิที่เม็ดแป้งเริ่มพองตัว หรือเริ่มเกิดความหนืด เพราะเม็ดแป้งดูดซึมน้ำทำให้น้ำบริเวณรอบเม็ดแป้งลดลงจึงเกิดความหนืดขึ้น ทั้งนี้ค่า pasting temperature ของแป้งต่างชนิดกันจะมีค่าต่างกัน (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2550)

เมื่อพิจารณาผลของวิธีการทำแห้ง และพันธุ์ข้าว พบว่า วิธีการทำแห้ง พันธุ์ข้าว และอิทธิพลร่วมของวิธีการทำแห้งและพันธุ์ข้าวมีผลต่อค่า pasting temperature ของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อ (ตารางที่ ง.13)

จากตารางที่ 4.9 แป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีค่า pasting temperature เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีค่า pasting temperature ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในทุกระยะเวลาการอบแห้ง และจากตารางที่ 4.9

ค่า pasting temperature ของแป้งข้าวกึ่งหอยเชือกที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาที มีค่า pasting temperature ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กับค่า pasting temperature ของตัวอย่างควบคุม และค่า pasting temperature ของแป้งข้าวกึ่งหอยเชือกที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 3 และ 4 นาที มีค่า pasting temperature ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

สำหรับการเพิ่มขึ้นของค่า pasting temperature ของแป้งข้าวกึ่งหอยเชือกสังเคราะห์ดักและหน่วยเชื้อที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (ตารางที่ 4.9) อาจเป็นผลมาจากการเกิด gelatinization บางส่วนในระหว่างการอบแห้ง ซึ่งการเกิด gelatinization บางส่วนจะทำให้เม็ดแป้งสูญเสียความเป็นผลึก และการพองตัว (Jaisut *et al.*, 2008; Rodprapat *et al.*, 2005; Li *et al.*, 2008) ทั้งนี้ในระหว่างกระบวนการอบแห้งเม็ดแป้งบางส่วนในเมล็ดข้าวจะเกิด gelatinization บางส่วนซึ่งการเกิด gelatinization บางส่วนจะทำให้เม็ดแป้งบางส่วนที่ไม่เกิดการ gelatinization ถูกห้อมล้อมด้วยเม็ดแป้งที่เกิดการ gelatinization ซึ่งส่วนของเม็ดแป้งที่เกิดการ gelatinization ไปแล้วจะเป็นขัดขวางการส่งผ่านความร้อน และการแทรกซึมของน้ำที่จะแทรกตัวเข้าไปเพื่อทำให้เม็ดแป้งส่วนที่ไม่เกิดการ gelatinization พองตัว ดังนั้นในการทำให้เม็ดแป้งส่วนที่ไม่เกิดการ gelatinization พองตัวจึงต้องใช้อุณหภูมิสูง (ณัฐโสภิต ทองประไพ, 2551) ซึ่งเห็นได้จากค่า pasting temperature ของแป้งข้าวกึ่งหอยเชือกสังเคราะห์ดักและหน่วยเชื้อที่มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งนานขึ้น

จากตารางที่ 4.9 เมื่อเปรียบเทียบค่า pasting temperature ของแป้งข้าวกึ่งหอยเชือกสังเคราะห์ดักและหน่วยเชื้อพบว่า ค่า pasting temperature ของแป้งข้าวกึ่งหอยเชือกสังเคราะห์ดักมีค่าต่ำกว่าแป้งข้าวกึ่งหอยเชือกซึ่งเป็นผลมาจากปริมาณแอมิโลส โดยแป้งข้าวกึ่งหอยเชือกมีปริมาณแอมิโลสสูงกว่าแป้งข้าวกึ่งหอยเชือกสังเคราะห์ดัก ซึ่งแอมิโลสจะขัดขวางการแทรกซึมของน้ำ ดังนั้นจึงต้องใช้อุณหภูมิสูงในการทำให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัวเพื่อให้เกิดความหนืด ดังนั้นในกระบวนการหุงต้มข้าวกึ่งหอยเชือกจึงต้องใช้อุณหภูมิสูงในการทำให้ข้าวเกิดการพองตัว

4.1.6.2 ค่า peak viscosity ของแป้งข้าวกึ่งหอยเชือกสังเคราะห์ดักและหน่วยเชื้อ

ค่า peak viscosity เป็นค่าความหนืดสูงสุดของน้ำแป้ง เมื่อน้ำแป้งได้รับความร้อนเม็ดแป้งจะพองตัว และพองเต็มที่ทำให้เกิดความหนืดสูงสุด

เมื่อพิจารณาผลของวิธีการอบแห้งและพันธุ์ข้าว พบว่า วิธีการอบแห้ง พันธุ์ข้าว และอิทธิพลร่วมของวิธีการอบแห้งและพันธุ์ข้าวมีผลต่อค่า peak viscosity ของแป้งข้าวกึ่งสังข์หัดพัทลุงและหน่วยเชื้อ (ตารางที่ ง.14)

จากตารางที่ 4.9 แป้งข้าวกึ่งสังข์หัดพัทลุงที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีค่า peak viscosity ลดลงเมื่อระยะเวลาในการอบแห้งนานขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และค่า peak viscosity ของข้าวสังข์หัดพัทลุงที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีค่า peak viscosity ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และจากตารางที่ 4.9 แป้งข้าวกึ่งหน่วยเชื้อที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีค่า peak viscosity ลดลงเมื่อระยะเวลาในการอบแห้งนานขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และมีค่า peak viscosity ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

สำหรับค่า peak viscosity ของแป้งข้าวกึ่งสังข์หัดพัทลุง และหน่วยเชื้อที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง มีค่า peak viscosity ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมของแป้งข้าวกึ่งทั้งสอง เนื่องจากในระหว่างกระบวนการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเม็ดแป้งภายในเมล็ดข้าวจะเกิด gelatinization บางส่วน ทั้งนี้ในกระบวนการอบแห้งได้ใช้อุณหภูมิสูง แต่ความชื้นของข้าวเปลือกมีค่าต่ำส่งผลให้แป้งข้าวกึ่งสังข์หัดพัทลุงและหน่วยเชื้อที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีลักษณะคล้ายแป้งที่ผ่านการดัดแปรด้วยวิธีความร้อนขึ้น ซึ่งการเกิด gelatinization บางส่วนมีผลทำให้อะไมโลสเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจน รวมทั้งการจัดเรียงตัวของสายเกลียวคู่ของสายกิ่งแอมิโลเพกทิน (Li, Ward and Gao, 2011) มีผลทำให้แป้งข้าวกึ่งสังข์หัดพัทลุงและหน่วยเชื้อที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีลักษณะเป็นแป้งทนต่อการย่อยของเอนไซม์ประเภท 3 (Resistance starch 3 (RS3)) เพราะแป้งทนต่อการย่อยของเอนไซม์ประเภท 3 เกิดจากการเกิด retrogradation ของแป้ง (Haralampu, 2000) ซึ่งลดการจับน้ำของแป้ง (Hormdok and Noomhorm, 2007) นอกจากนี้แอมิโลสภายในเม็ดแป้งของเมล็ดข้าวรวมตัวกับไขมันเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสและไขมัน (amylose-lipid complex) ซึ่งการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสและไขมันจะขัดขวางการพองตัวของเม็ดแป้ง และการแทรกซึมของน้ำ ทำให้ความสามารถในการพองตัวของเม็ดแป้ง (Jaiboon *et al.*, 2009; Jaisuit *et al.*, 2008) และความสามารถในการจับน้ำของเม็ดแป้งลดลง (Soponronnarit *et al.*, 2008; Jaiboon *et al.*, 2011) ส่งผลให้ค่า peak viscosity ของแป้งข้าวกึ่งสังข์หัดพัทลุง และหน่วยเชื้อที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง มีค่า peak viscosity ลดลง เมื่อระยะเวลาในการอบแห้งนานขึ้น

4.1.6.3 ค่า Breakdown ของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อ

ค่า breakdown เป็นค่าความแตกต่างระหว่างค่า peak viscosity และค่าความหนืดต่ำสุด (กล้าวรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2550) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความคงตัวของเม็ดแป้งเมื่อได้รับแรงกวน โดยถ้าค่า breakdown สูง แสดงว่าเม็ดแป้งมีความคงทนต่อแรงกวนต่ำ

เมื่อพิจารณาผลของวิธีการทำแห้ง และพันธุ์ข้าว พบว่า วิธีการการทำแห้ง และอิทธิพลร่วมของวิธีการทำแห้งและพันธุ์ข้าวมีผลต่อค่า breakdown ของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อ แต่พันธุ์ข้าวไม่มีผลต่อค่า breakdown ของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อ (ตารางที่ ง.15)

จากตารางที่ 4.9 แป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีค่า breakdown ลดลงเมื่อระยะเวลาในการอบแห้งนานขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และมีค่า breakdown ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และจากตารางที่ 4.9 แป้งข้าวกล้องหน่วยเชื้อที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีค่า breakdown ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม และแป้งข้าวกล้องหน่วยเชื้อที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่เวลา 3 นาทีมีค่า breakdown ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวกล้องหน่วยเชื้อที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่เวลา 4 นาที

จากการทดลองพบว่าตัวอย่างควบคุมของแป้งข้าวกล้องทั้งสองพันธุ์มีค่า peak viscosity สูง เนื่องจากเม็ดแป้งไม่สูญเสียความเป็นผลึก จึงพองตัวได้มากส่งผลให้ไม่มีความคงทนต่อแรงกวนทำให้ค่า breakdown สูง ส่วนแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุง และหน่วยเชื้อที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีค่า breakdown ลดลงเมื่อระยะเวลาในการอบแห้งนานขึ้น เนื่องจากในระหว่างการอบแห้งเม็ดแป้งในเมล็ดข้าวเกิดการ gelatinization บางส่วนเม็ดแป้งภายในเมล็ดข้าวจึงสูญเสียความเป็นผลึกซึ่งเห็นได้จากการลดลงของร้อยละผลึกทั้งหมดหลังการอบแห้ง (ข้อ 4.1.3) ส่งผลให้ค่า peak viscosity ของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุง และหน่วยเชื้อที่หลังการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีค่า peak viscosity ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม ส่งผลให้ค่า breakdown ลดลงเมื่อผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง นอกจากนี้การเกิด gelatinization บางส่วนของเม็ดแป้งยังขัดขวางการส่งผ่านความร้อนและการแทรกซึมของน้ำไปยังเม็ดแป้งส่วนที่ไม่เกิด gelatinization จึงยับยั้งการเกิด gelatinization ทำให้ค่า peak viscosity ของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อลดลงเมื่อระยะเวลาในการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งนานขึ้น

ดังนั้นค่า breakdown ของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อลดลงเมื่อระยะเวลาในการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งนานขึ้นเช่นกัน (Horndok and Noomhorm, 2007)

ตารางที่ 4.9 การวิเคราะห์สมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อ

ตัวอย่าง	ค่า peak viscosity (cP)	ค่า pasting temperature (cP)	ค่า breakdown (cP)
Scon	844.00 ^b ±15.10	83.07 ^c ±0.47	343.00 ^b ±10.54
S2.5min	478.33 ^{de} ±6.66	88.10 ^b ±0.44	189.00 ^c ±3.61
S3min	338.67 ^f ±12.01	87.83 ^b ±1.69	173.67 ^d ±2.31
S4min	288.00 ^g ±13.23	87.85 ^b ±0.52	105.00 ^e ±2.65
Ncon	1641.33 ^a ±13.20	87.82 ^b ±0.47	425.67 ^a ±17.39
N2.5min	656.33 ^c ±18.15	88.40 ^b ±0.09	186.67 ^{cd} ±5.51
N3min	497.00 ^d ±5.57	90.53 ^a ±0.51	100.67 ^e ±1.53
N4min	464.00 ^e ±10.82	90.83 ^a ±0.08	108.00 ^e ±3.61

ตัวอักษร a, b, c, ... ที่ต่างกันตามแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$)

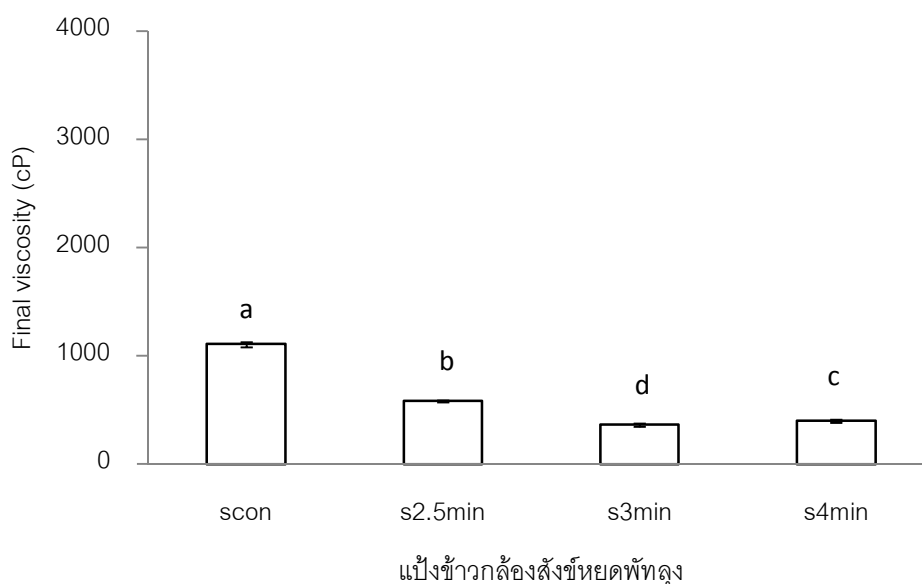
4.1.6.4 ค่า final viscosity ของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อ

ค่า final viscosity เป็นค่าความหนืดสุดท้าย โดยเมื่อแป้งพองตัวเต็มที่ และเม็ดแป้งแตกออกความหนืดของสารละลายน้ำแป้งจะลดลง และเมื่อลดอุณหภูมิของสารละลายน้ำแป้งลงจะทำให้เกิดการ retrogradation ความหนืดจึงเพิ่มขึ้น ซึ่งความหนืดที่เพิ่มขึ้นเกิดจากการจัดเรียงตัวใหม่ของแอมิโลส (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2550) จากภาพที่ 4.6 และ 4.7 พบว่าค่า final viscosity ของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อมีค่าแตกต่างกันอย่างชัดเจนจึงได้วิเคราะห์ผลทางสถิติแยกกันระหว่างข้าวสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อ

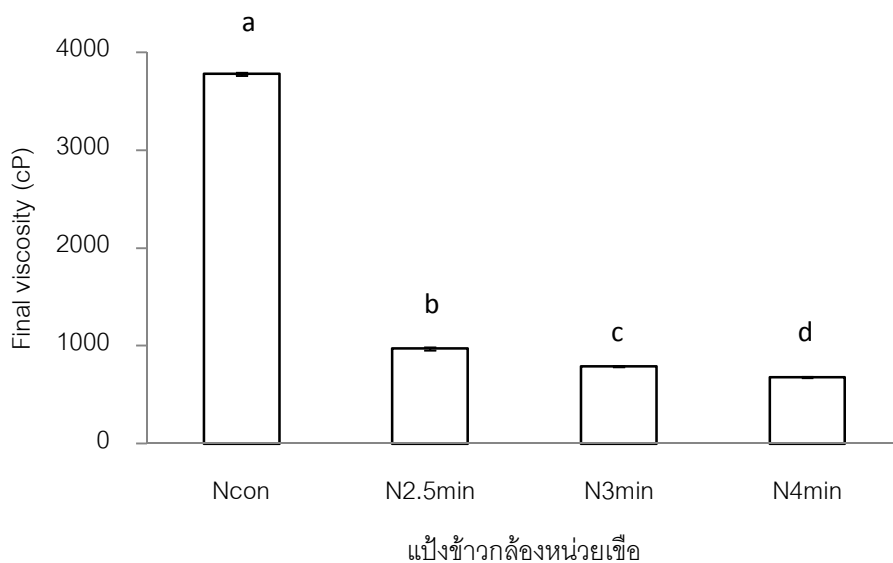
จากภาพที่ 4.6 พบว่าค่า final viscosity ของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีค่า final viscosity ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับค่า final viscosity ของตัวอย่างควบคุมและค่า final viscosity ของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 3 นาทีที่มีค่า final viscosity ต่ำกว่าแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงที่

อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 และ 4 นาที อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และจากภาพที่ 4.7 พบว่าค่า final viscosity ของแป้งข้าวกล้องหน่วยเชื่อมมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อระยะเวลาในการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งนานขึ้น และค่า final viscosity ของแป้งข้าวกล้องหน่วยเชื่อมที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งทุกระยะเวลาการอบแห้ง มีค่า final viscosity ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ค่า final viscosity ที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากการจัดเรียงตัวใหม่ของแอมิโลส นอกจากนี้แอมิโลเพกตินยังสามารถเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ได้เช่นเดียวกับแอมิโลสแต่ต้องใช้เวลานานและเกิดได้น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับแอมิโลส แต่การอบแห้งข้าวเปลือกด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีผลทำให้ค่า final viscosity ของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื่อมมีค่าลดลง อาจเนื่องมาจากการเกิดขึ้นของสารประกอบเชิงซ้อนของแอมิโลสและไขมันในระหว่างกระบวนการอบแห้งทำให้แอมิโลสมีความคงตัว เกิดการจัดเรียงตัวใหม่ได้ยากส่งผลให้ค่า final viscosity ลดลง นอกจากนี้ยังแอมิโลสในส่วนของอัสฐานยังเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ รวมทั้งเกิดการเปลี่ยนแปลงในส่วนผลึก (Zavareze *et al.*, 2010) ส่งผลให้แอมิโลสที่เป็นอิสระลดลงดังนั้นค่า final viscosity ของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื่อมที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งจึงมีค่าต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมของแป้งข้าวกล้องทั้งสองพันธุ์



ภาพที่ 4.6 ค่า final viscosity ของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุง



ภาพที่ 4.7 ค่า final viscosity ของแป้งข้าวกล้องหน่วยเชื้อ

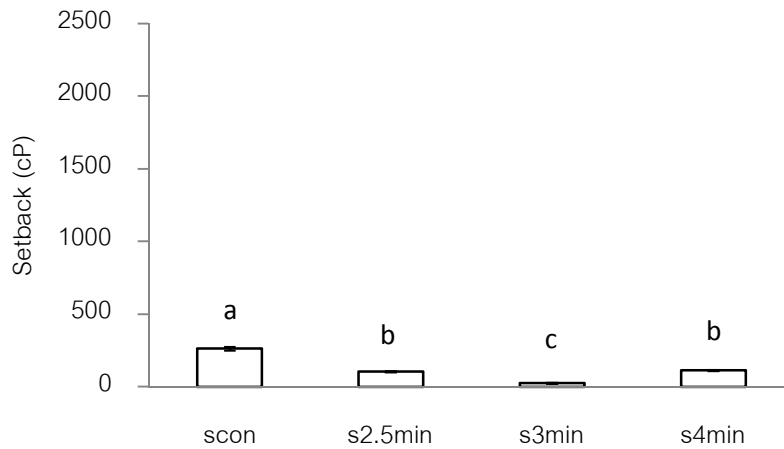
4.1.6.5 ค่า setback ของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อ

ค่า setback เป็นค่าความแตกต่างระหว่างค่า final viscosity และค่า peak viscosity (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2550)

จากภาพที่ 4.8 และ 4.9 พบว่าค่า setback ของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อมีค่าแตกต่างกันในแต่ละภาวะการอบแห้งอย่างชัดเจนจึงได้วิเคราะห์ผลทางสถิติแยกกันระหว่างแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อ

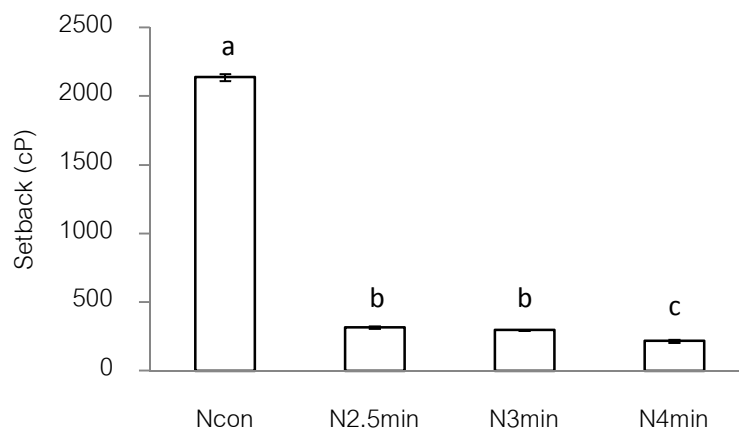
จากภาพที่ 4.8 พบว่าค่า setback ของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับค่า setback ของตัวอย่างควบคุม และค่า setback ของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงที่อบแห้งด้วยน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 3 นาทีมีค่า setback ต่ำกว่าแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงที่อบแห้งด้วยน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 และ 4 นาที อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และจากภาพที่ 4.9 ค่า setback ของแป้งข้าวกล้องหน่วยเชื้อที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งในทุกระยะเวลาการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ค่า setback ของแป้งข้าวกล้องหน่วยเชื้อที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่เวลา 2.5 และ 3 นาทีมีค่า setback ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ค่า setback เป็นค่าที่แสดงถึงระดับการเกิด retrogradation โดยถ้าค่า setback สูงจะเกิด retrogradation มาก (Varavinit *et al.*, 2003; Soponronnarit *et al.*, 2008) การเกิด retrogradation เกิดจากเมื่อสารแขวนลอยน้ำแข็งได้รับความร้อน เม็ดแข็งจะพองตัวเต็มที่ และแตกออกทำให้แอมิโลสหลุดออกมา และเมื่อให้ความเย็นแอมิโลสที่หลุดออกมาจะรวมตัวกันด้วยพันธะไฮโดรเจนเกิดการ retrogradation (Blazek and Copeland, 2008) ทั้งนี้การอบแห้งข้าวเปลือกที่อุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสและไขมัน (amylose-lipid complex) (Jaisuit *et al.*, 2008) ซึ่งการเกิดขึ้นของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสและไขมัน จะทำให้แอมิโลสมีความคงตัวทำให้การเกิด retrogradation เกิดขึ้นได้ยาก (Becker, Hill and Mitchell, 2001; Bemiller and Huber, 2008) ซึ่งเห็นได้จากค่า setback ของแป้งข้าวกึ่งสังข์หยดพัทลุง และหน่วยเชื้อที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีค่า setback ต่ำกว่าแป้งข้าวกึ่งสังข์หยดพัทลุง และหน่วยเชื้อที่เป็นตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และการลดลงของค่า setback ของแป้งข้าวกึ่งสังข์หยดพัทลุง และหน่วยเชื้อที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งสอดคล้องกับการเกิดขึ้นของร้อยละผลึกแบบวีที่แสดงถึงการเกิดขึ้นของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสและไขมันดังตารางที่ 4.7 ของทั้งแป้งข้าวกึ่งสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมี ร้อยละผลึกแบบวีเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการอบแห้งนานขึ้น นอกจากการเกิดขึ้นของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างอะไมโลสและไขมันมีผลทำให้ค่า setback ลดลงแล้ว ยังเกิดจากการจับกันระหว่างแอมิโลสกับแอมิโลส และหรือ แอมิโลเพกตินกับแอมิโลเพกตินซึ่งส่งผลให้แอมิโลสที่เป็นอิสระลดลงทำให้ค่า setback มีค่าลดลง (Zavareze *et al.*, 2010)



แป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุง

ภาพที่ 4.8 ค่า setback ของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุง



แป้งข้าวกล้องหน่วยเชื้อ

ภาพที่ 4.9 ค่า setback ของแป้งข้าวกล้องหน่วยเชื้อ

4.1.8 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อ

เมื่อพิจารณาตารางที่ ค.2 และค.4 พบว่า ค่า EC_{50} ของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุง และหน่วยเชื้อมีค่า EC_{50} แตกต่างกันอย่างชัดเจนจึงได้วิเคราะห์ผลทางสถิติแยกระหว่างแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อ เช่นเดียวกับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของแป้งข้าวกล้อง

สังข์หยดพัทลุง และหน่วยเชื้อที่มีปริมาณฟีนอลิกแตกต่างกันอย่างชัดเจนดังตารางที่ ค.3 และค.4 ได้วิเคราะห์ผลทางสถิติแยกระหว่างแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อเช่นกัน

4.1.8.1 ค่า EC_{50} และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุง

ค่า EC_{50} คือความเข้มข้นของสารทดสอบ (สารต้านอนุมูลอิสระ) ที่สามารถลดปริมาณ DPPH เริ่มต้นลงได้ 50% ดังนั้นถ้าค่า EC_{50} ของตัวอย่างต่ำแสดงว่าตัวอย่างมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูง

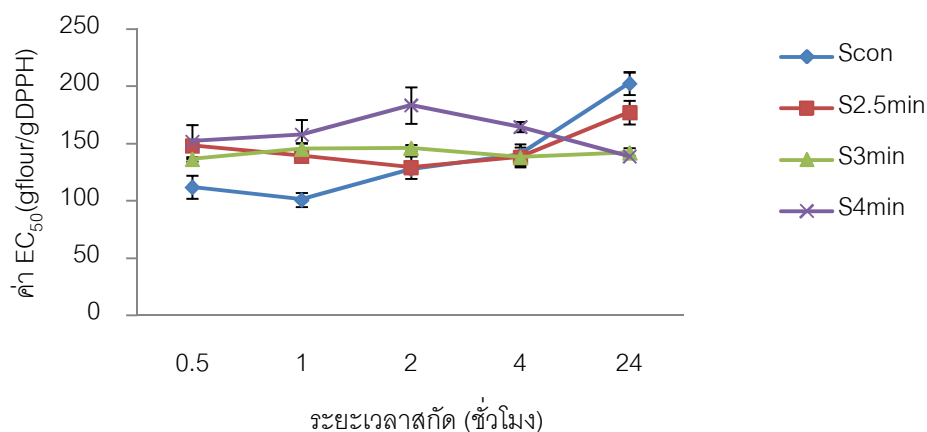
จากภาพที่ 4.10 แสดงถึงความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงในทุกภาวะการอบแห้ง (ค่า EC_{50}) และภาพที่ 4.11 แสดงถึงปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงในทุกภาวะการอบแห้ง จากภาพที่ 4.10 และ 4.11 พบว่าระยะเวลาการสกัดที่เหมาะสมเพื่อวิเคราะห์ค่า EC_{50} และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงในทุกภาวะการอบแห้ง คือ 30 นาที

เมื่อพิจารณาที่ภาวะสกัดที่เหมาะสมพบว่า เมื่อระยะเวลาในการอบแห้งข้าวด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งนานขึ้น ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงมีแนวโน้มลดลง อาจเป็นผลมาจากรงควัตถุส่วนใหญ่ของข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงเป็นรงควัตถุของแอนโทไซยานินเพราะข้าวสังข์หยดพัทลุงมีเยื่อหุ้มเมล็ดเป็นสีแดงซึ่งเป็นลักษณะที่บ่งบอกถึงการมีของสารแอนโทไซยานิน ประกอบด้วย peonidin, cyaniding-3-O- β -glucoside และ peonidin-3-O- β -glucoside (Shen *et al.*, 2009 และ Sompong *et al.*, 2011) ซึ่งในข้าวจะมี cyanidin-3-glucoside เป็นหลัก ทั้งนี้อุณหภูมิจะมีผลต่อสารแอนโทไซยานิน โดยถ้าอุณหภูมิสูงจะมีผลทำให้สารแอนโทไซยานิน เกิดการเสื่อมสลายส่งผลให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระลดลงเมื่ออบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลานาน โดยเปรียบเทียบกับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของตัวอย่างควบคุม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Laokuldilok และคณะ (2011) พบว่าสารแอนโทไซยานิน ในขนมปังรำข้าวมีค่าลดลงหลังจากการอบขนมปัง และจากงานวิจัยของณัฐินี ตั้งศรีอนุกุล (2551) ศึกษาผลของวิธีการทำแห้งข้าวหอมมะลิแดงต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งมีวิธีการทำแห้งต่างๆ ดังนี้ วิธีทำแห้งในที่ร่ม ทำแห้งโดยใช้แสงอาทิตย์ และทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไอเซชันโดยใช้อุณหภูมิมืดร้อนที่ 115 °C เป็นเวลา 215 วินาที พบว่าการทำแห้งข้าวหอมมะลิแดงด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไอเซชันส่งผลให้ความสามารถในการต้าน

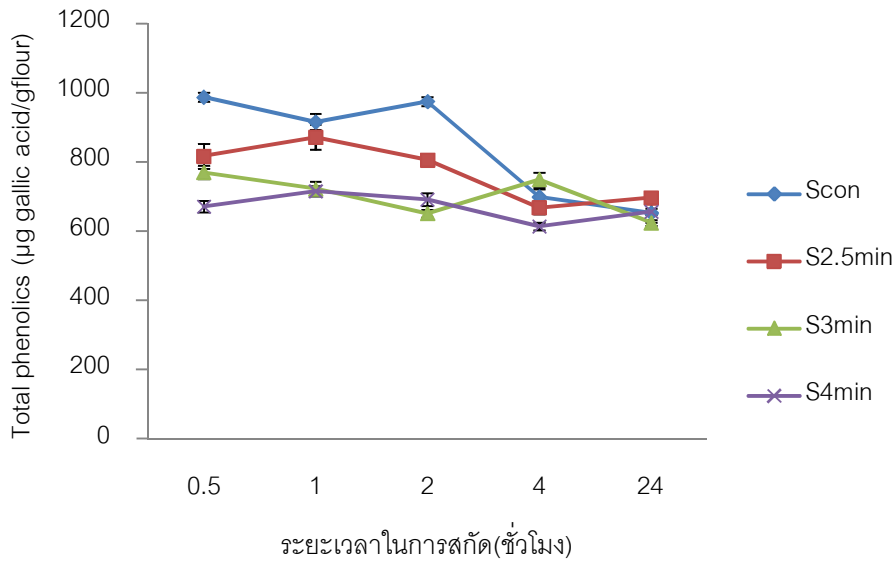
อนุมูลอิสระของข้าวหอมมะลิแดงลดลงมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งในที่ร่ม และทำแห้งโดยใช้แสงอาทิตย์อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ดังนั้นการลดลงของความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง เพราะความร้อนที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการอบแห้งจะทำลายสารแอนโทไซยานิน

จากภาพที่ 4.11 พิจารณาที่ภาวะสกัดที่เหมาะสม พบว่าปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดลดลงเมื่อระยะเวลาการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งนานขึ้น แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิมีผลต่อปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของข้าว ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Pérez-Jiménez และ Saura-Calixto (2005) ได้ศึกษาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของธัญพืช และผลิตภัณฑ์จากธัญพืชได้แก่ ข้าวสุก ข้าวสาร รำข้าวโอ๊ต รำข้าวสาลี ขนมปังฝรั่งเศส และแป้งสาลี เมื่อเปรียบเทียบปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของขนมปังฝรั่งเศสและแป้งสาลี พบว่าปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของขนมปังฝรั่งเศสมีปริมาณลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งสาลี เพราะในกระบวนการผลิตขนมปังฝรั่งเศสต้องผ่านกระบวนการให้ความร้อนซึ่งมีอุณหภูมิสูงถึง 250°C จึงส่งผลให้ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของขนมปังฝรั่งเศสลดลง และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของข้าวสุก และข้าวสารพบว่าปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของข้าวสุกมีปริมาณลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวสาร เช่นเดียวกับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของขนมปังฝรั่งเศส และแป้งสาลี เพราะในกระบวนการหุงต้มข้าวจะมีการใช้ความร้อนเพื่อให้ข้าวสุก จากงานวิจัยที่กล่าวมาแสดงให้เห็นว่าความร้อนมีผลต่อปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ดังนั้นปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งจึงมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม



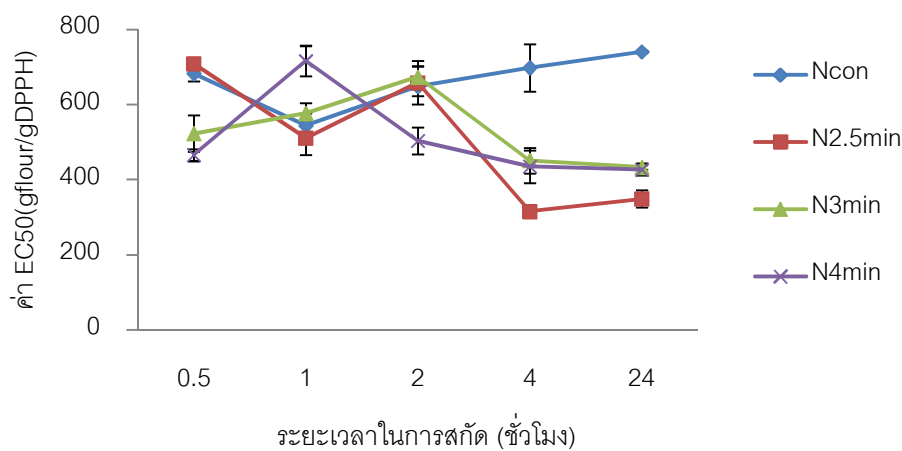
ภาพที่ 4.10 ค่า EC_{50} ของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุง



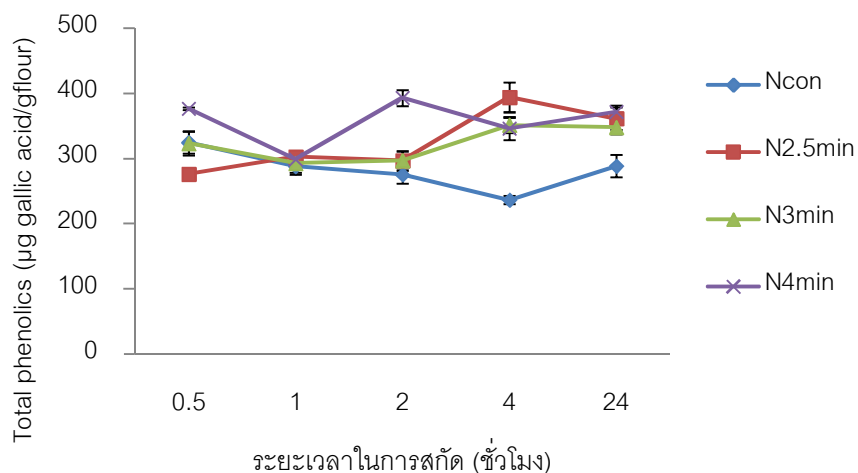
ภาพที่ 4.11 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของแป้งข้าวกล้องสังขี้หยดพัทลุง

4.1.8.2 ค่า EC_{50} และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของแป้งข้าวกล้องหน่วยเชื้อ

จากภาพที่ 4.12 แสดงถึงความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของแป้งข้าวกล้องหน่วยเชื้อในทุกภาวะการอบแห้ง (ค่า EC_{50}) และจากภาพที่ 4.13 แสดงถึงปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของแป้งข้าวกล้องหน่วยเชื้อในทุกภาวะการอบแห้ง จากภาพที่ 4.12 และ 4.13 พบว่าระยะเวลาการสกัดที่เหมาะสมเพื่อวิเคราะห์ค่า EC_{50} และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของแป้งข้าวกล้องหน่วยเชื้อในทุกภาวะการอบแห้ง คือ 4 ชั่วโมงและ 24 ชั่วโมงตามลำดับ



ภาพที่ 4.12 ค่า EC_{50} ของแป้งข้าวกล้องหน่วยเชื้อ



ภาพที่ 4.13 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของแป้งข้าวกล้องหน่วยเชื้อ

เมื่อพิจารณาที่ระยะเวลาการสกัดที่เหมาะสมพบว่า ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของแป้งข้าวกล้องหน่วยเชื้อที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีค่าเพิ่มขึ้น อาจเป็นผลมาจากในระหว่างกระบวนการอบแห้งข้าวเกิดปฏิกิริยา Maillard ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยานี้จะมีผลทำให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มมากขึ้น (Pérez-Jiménez and Saura-Calixto., 2005) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Pérez-Jiménez และ Saura-Calixto (2005) พบว่าขนมปังฝรั่งเศสมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มมากขึ้น เมื่อเทียบกับแป้งสาลี เนื่องจากในกระบวนการผลิตขนมปังฝรั่งเศสเกิดปฏิกิริยา Maillard ระหว่างกรดอะมิโน และน้ำตาลซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ และงานวิจัยของ Vega-Gálves และคณะ (2009) ศึกษาผลของอุณหภูมิการอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงของความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของพริกไทยแดงพบว่า ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของพริกไทยแดงเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งสูงขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยา Maillard จากงานวิจัยที่กล่าวมาแสดงให้เห็นว่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสามารถเพิ่มขึ้นได้หลังจากกระบวนการให้ความร้อน ดังนั้นแป้งข้าวกล้องหน่วยเชื้อที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งจึงมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมากกว่าตัวอย่างควบคุม

เมื่อพิจารณาที่ระยะเวลาการสกัดที่เหมาะสม พบว่าปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของแป้งข้าวกล้องหน่วยเชื้อที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม อาจเป็นผลมาจากความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการอบแห้งซึ่งทำลายพันธะเอสเทอร์ระหว่างกรดฟีนอลิกและองค์ประกอบของผนังเซลล์ (Zielinski, Kozłowska and

Lewczuk, 2001) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kyoung Ju และคณะ (2010) ศึกษาผล steam treatment ต่อปริมาณฟีนอลิกของ Chaga mushroom ที่อุณหภูมิ 120 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมงด้วยเครื่อง autoclave พบว่า Chaga mushroom ที่ผ่าน steam treatment มีปริมาณฟีนอลิกเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ผ่าน steam treatment เนื่องจากการ steam treatment มีผลทำให้ผนังเซลล์แตกเกิดการปลดปล่อยสารประกอบฟีนอลิกจึงส่งผลให้ปริมาณฟีนอลิกที่วิเคราะห์มีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้นแป้งข้าวกล้องหน่วยเชื้อที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งจึงมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระและปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อ พบว่าแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมากกว่าแป้งข้าวกล้องหน่วยเชื้อ รวมทั้งแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงยังมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดมากกว่าข้าวหน่วยเชื้อ อาจเป็นผลมาจากข้าวสังข์หยดพัทลุงมีเยื่อหุ้มเมล็ดสีแดงแสดงถึงการมีของปริมาณสารแอนโทไซยานิน ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ เพราะสารประกอบแอนโทไซยานิน จะสะสมอยู่ที่เยื่อหุ้มเมล็ดจึงส่งผลให้แป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมากกว่าแป้งข้าวกล้องหน่วยเชื้อ รวมทั้งปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดมากกว่าแป้งข้าวกล้องหน่วยเชื้อ (Shen *et al.*, 2009) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Laokuldilok และคณะ (2011) ได้ศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของรำข้าวสีต่างๆ กันดังนี้ รำข้าวสีขาว รำข้าวสีแดง และรำข้าวสีดำพบว่า เมื่อวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH free radical scavenging โดยรายงานเป็นค่า EC₅₀ (mg/ml) รำข้าวสีดำมีความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระมากที่สุด รองลงมาคือรำข้าวสีแดง และสุดท้ายคือสีขาว Shen และคณะ (2009) ศึกษาความแตกต่างของสีเมล็ดข้าวต่อปริมาณฟีนอลิกซึ่งได้แก่เมล็ดข้าวสีขาว แดง และดำ พบว่าข้าวที่มีสีเข้มจะมีปริมาณฟีนอลิกมากกว่าข้าวที่มีสีอ่อน จากงานวิจัยที่กล่าวมาแสดงให้เห็นว่า ข้าวหรือรำข้าวที่มีสีเข้มจะมีปริมาณฟีนอลิกสูงและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูง ดังนั้นแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงจึงมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระและปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดมากกว่าแป้งข้าวกล้องหน่วยเชื้อ

สำหรับผลการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระและปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อ พบว่าแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งจะมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระและปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดลดลง อาจเป็นผลมาจากองค์ประกอบส่วนใหญ่ของแป้งข้าวกล้อง

สังข์หยดพัทลุงเป็นสารประกอบแอนโทไซยานิน ซึ่งคุณหมุมิมีผลต่อสารประกอบแอนโทไซยานิน (Schwartz, Elbe and Giusti, 2008) ดังนั้นแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งจึงมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม สำหรับแป้งข้าวกล้องหน่วยเชื่อมมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระและปริมาณฟีนอลิกเพิ่มขึ้นเมื่อผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง อาจเป็นผลมาจากการแช่ข้าวเปลือกหน่วยเชื่อมก่อนการอบแห้งซึ่งตัวอย่างควบคุมไม่ได้ผ่านการแช่ข้าวเปลือก เพราะในระหว่างการแช่ข้าวเปลือกจะเกิดการปลดปล่อย conjugated phenolic glycosides โดยเอนไซม์ β -glucosidase ทั้งนี้ฟีนอลิกที่ถูกปลดปล่อยออกมาจะไม่แพร่กระจายออกจากข้าวเปลือก เนื่องจากเปลือกจะเป็นตัวขัดขวาง (Shahidi and Naczka, 2004) ดังนั้นแป้งข้าวกล้องหน่วยเชื่อมที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งจึงมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระและปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม

จากการเปรียบเทียบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื่อม แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยไม่ว่าจะเป็นพันธุ์ข้าว วิธีการแปรรูป วิธีการทำแห้ง รวมทั้งวิธีการวิเคราะห์และสกัดตัวอย่างล้วนแต่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของตัวอย่าง (Miranda *et al.*, 2010)

4.1.9 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงอินฟราเรดสเปกตรัมของโปรตีนในแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื่อม

การเปลี่ยนแปลงของพันธะไดซัลไฟด์สามารถวิเคราะห์ได้ด้วยเครื่อง FTIR ซึ่งเป็นเครื่องมือวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของสารประกอบอินทรีย์ โดยพันธะไดซัลไฟด์ จะดูดกลืนคลื่นอินฟราเรดในช่วง $400-500\text{ cm}^{-1}$ (ปราณอม ขาวเมฆ, 2549 อ้างอิงในปัทมา เล้าประเสริฐ, 2552) การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของพันธะไดซัลไฟด์ในเชิงปริมาณจะวิเคราะห์โดยการเปรียบเทียบระหว่างหมู่ฟังก์ชันที่เปลี่ยนแปลงในที่นี่คือพันธะไดซัลไฟด์กับหมู่ฟังก์ชันที่ไม่เปลี่ยนแปลง คือโครงสร้างของสตาร์ชในส่วนของอัสตึนฐานที่ดูดกลืนคลื่นอินฟราเรดที่ 1022 cm^{-1} สำหรับส่วนผลึกของสตาร์ชจะดูดกลืนคลื่นอินฟราเรดที่ 1047 cm^{-1} (Li *et al.*, 2008; Na Nakorn, Tongdang and Sirivongpaisal, 2009) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของพันธะไดซัลไฟด์ในข้าวด้วยเครื่อง FTIR เมื่อศึกษาผลวิธีการอบแห้ง และพันธุ์ข้าว พบว่าวิธีการอบแห้ง พันธุ์ข้าวและ

อิทธิพลร่วมของวิธีการอบแห้งและพันธุ์ข้าวไม่มีผลต่อ ค่า Ratio of absorbance height ของทั้ง แป้งข้าวกล้องสังข์หยดและหน่วยเชื้อ (ตารางที่ ง.12) จากตารางที่ 4.10 พบว่าค่า Ratio of absorbance height ของทั้งแป้งข้าวกล้องสังข์หยดและหน่วยเชื้อมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ในแต่ละภาวะการอบแห้ง แสดงว่าพันธะไดซัลไฟด์ในข้าวไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่ออบแห้งข้าวด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Tang และคณะ (2002) ได้ศึกษาผลของการอบแห้งและเทมเปอริงข้าวต่อการเกิดพันธะไดซัลไฟด์โดยอบข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ 60 °C จนมีความชื้นสุดท้ายคือ 4 และ 5 % (w.b.) แล้วแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกนำไปเทมเปอริง และส่วนที่สองไม่นำไปเทมเปอริง สำหรับข้าวอ้างอิงทำแห้งที่อุณหภูมิ 25 °C พบว่า พันธะไดซัลไฟด์ของแต่ละตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) กับตัวอย่างอ้างอิง ดังนั้นการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งไม่มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของพันธะไดซัลไฟด์ขึ้นในข้าว

ตารางที่ 4.10 ค่า Ratio of absorbance height ของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อ

ภาวะการอบแห้ง	Ratio of absorbance height	
	ข้าวสังข์หยดพัทลุง ^{ns}	ข้าวหน่วยเชื้อ ^{ns}
ตัวอย่างควบคุม	0.04±0.01	0.04±0.00
ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 2.5 นาที	0.04±0.01	0.03±0.01
ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 3 นาที	0.03±0.00	0.03±0.02
ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 4 นาที	0.03±0.01	0.03±0.01

ns คือค่าเฉลี่ยของข้อมูลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

4.2 ผลของระยะเวลาในการอบแห้งข้าวเปลือกสังข์หยดพัทลุง และหน่วยเชื้อด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งต่อลักษณะความหนืดของข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป

4.2.1 ศึกษาระยะเวลาในการต้มข้าวกล้องหักสังข์หยดพัทลุงและข้าวกล้องหักหน่วยเชื้อเพื่อให้ได้ความหนืดที่ต้องการ

การศึกษาระยะเวลาในการต้มข้าวกล้องหักสังข์หยดพัทลุงและข้าวกล้องหักหน่วยเชื้อโดยใช้อัตราส่วนข้าวต่อน้ำ 1:15 เพื่อให้ข้าวกล้องหักทั้งสองพันธุ์เกิด gelatinization อย่างสมบูรณ์ โดยจะต้มข้าวกล้องหักทั้งสองพันธุ์จนกระทั่งได้ความหนืดตามต้องการคือ 4000 cP ซึ่งความหนืด

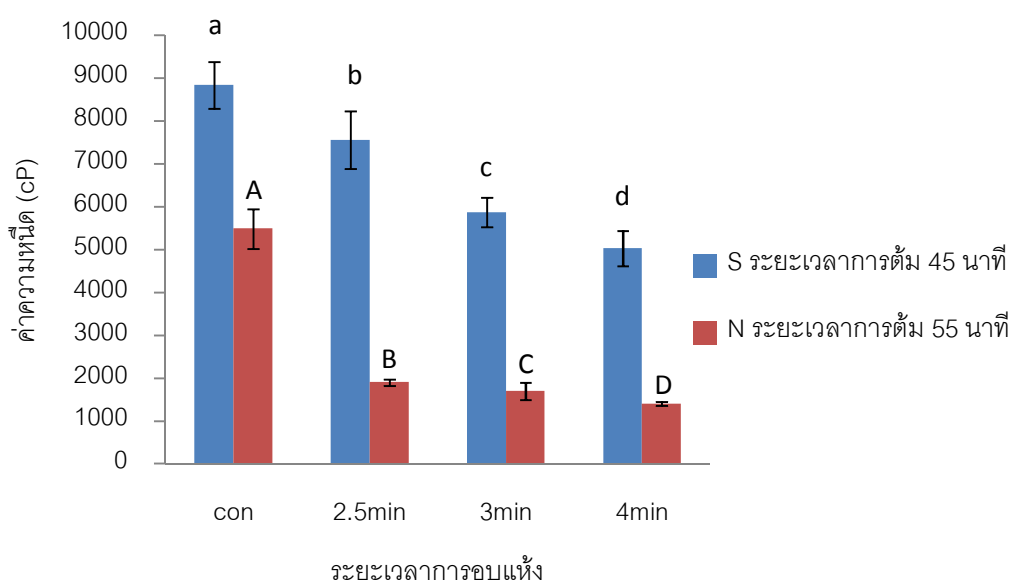
ที่ใช้เป็นเกณฑ์มาจากการวัดความหนืดของข้าวอบแห้งกิ่งสำเร็จรูปตราลูกเต๋า (โรงงานโภชนาหาร เชียงศิริ, กรุงเทพฯ) พบว่าเวลาที่ใช้ในการต้มข้าวกล้องหักสังข์หยดพัทลุง 45 นาที และข้าวกล้องหักหน่วยเชื้อ 55 นาที ดังภาคผนวก ค.6 และค.8

4.2.2 เปรียบเทียบผลของการอบแห้งข้าวเปลือกต่อความหนืดเมื่อต้มข้าวกล้องหักตามเวลาที่เลือก

จากภาพที่ 4.14 ข้าวกล้องหักสังข์หยดพัทลุงเมื่อต้มที่เวลา 45 นาที ในอัตราส่วนข้าวต่อน้ำ 1:15 มีค่าความหนืดลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อระยะเวลาในการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งนานขึ้น และมีค่าความหนืดต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และจากภาพที่ 4.14 ข้าวกล้องหักหน่วยเชื้อเมื่อต้มที่เวลา 55 นาที พบว่าค่าความหนืดของข้าวกล้องหักหน่วยเชื้อมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาในการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งนานขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และมีค่าความหนืดต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เช่นเดียวกับข้าวกล้องหักสังข์หยดพัทลุง ซึ่งความหนืดที่ลดลงของข้าวทั้งสองพันธุ์สอดคล้องกับผลการทดลองสมบัติด้านความหนืดในข้อ 4.1.6 ของแป้งข้าวกล้องทั้งสองพันธุ์ที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง โดยแป้งข้าวกล้องทั้งสองพันธุ์ที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งจะมีค่า pasting temperature เพิ่มขึ้น และค่า peak viscosity ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมของแป้งข้าวกล้องทั้งสองพันธุ์

จากภาพที่ 4.14 พบว่าข้าวกล้องหักสังข์หยดพัทลุงใช้เวลาในการต้ม 45 นาที และข้าวกล้องหักหน่วยเชื้อใช้เวลาในการต้ม 55 นาทีจะเห็นว่าข้าวกล้องหักสังข์หยดพัทลุงใช้เวลาในการต้มน้อยกว่าข้าวกล้องหักหน่วยเชื้อในทุกภาวะการอบแห้ง อาจเป็นผลมาจากปริมาณแอมิโลสที่แตกต่างกันระหว่างข้าวหน่วยเชื้อและสังข์หยดพัทลุงโดยข้าวหน่วยเชื้อมีปริมาณแอมิโลสอยู่ในระดับปานกลาง และข้าวสังข์หยดพัทลุงมีปริมาณแอมิโลสอยู่ในระดับต่ำ (Sompong *et al.*, 2011) จะเห็นว่าข้าวกล้องหักหน่วยเชื้อมีปริมาณแอมิโลสมากกว่าข้าวสังข์หยดพัทลุง ซึ่งปริมาณแอมิโลสจะมีผลต่อการพองตัวและค่า pasting temperature โดยถ้าแป้งมีปริมาณแอมิโลสสูงจะมีผลทำให้เม็ดแป้งพองตัวได้ช้าและต้องใช้อุณหภูมิสูงเพื่อทำให้สารละลายน้ำแป้งเกิดความหนืด ทำให้ค่า pasting temperature มีค่าสูงขึ้น (Noosuk *et al.*, 2003 และ Li *et al.*, 2008) ดังนั้นข้าวกล้องหักหน่วยเชื้อจึงต้องใช้ระยะเวลาในการต้มข้าวเพื่อเกิด gelatinization อย่างสมบูรณ์มากกว่าข้าวกล้องหักสังข์หยดพัทลุง

จากภาพที่ 4.14 พบว่าความหนืดของข้าวกล้องหักหน่วยเชื้อที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีค่าต่ำกว่า 4000 cP ในทุกระยะเวลาการอบแห้ง เมื่อต้มเป็นเวลา 55 นาที เนื่องจากในกระบวนการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเม็ดแป้งภายในเมล็ดข้าวจะเกิดการ gelatinization บางส่วน เกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไขมันและแอมิโลส และเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ของสายแอมิโลส ซึ่งมีผลต่อการจำกัดการพองตัวของเม็ดแป้ง ทั้งนี้ข้าวกล้องหักหน่วยเชื้อที่มีปริมาณแอมิโลสมากกว่าข้าวสังข์หยดพัทลุงจึงมีโอกาสที่จะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสและไขมันมากกว่าข้าวสังข์หยดพัทลุง รวมทั้งการจัดเรียงตัวใหม่ของแอมิโลสส่งผลให้ข้าวกล้องหักหน่วยเชื้อที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีค่าความหนืดต่ำกว่า 4000 cP และมีความหนืดลดลงเมื่อระยะเวลาในการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งนานขึ้น



ภาพที่ 4.14 ความหนืดของข้าวกล้องหักสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อเมื่อต้มตามระยะเวลาที่เลือก

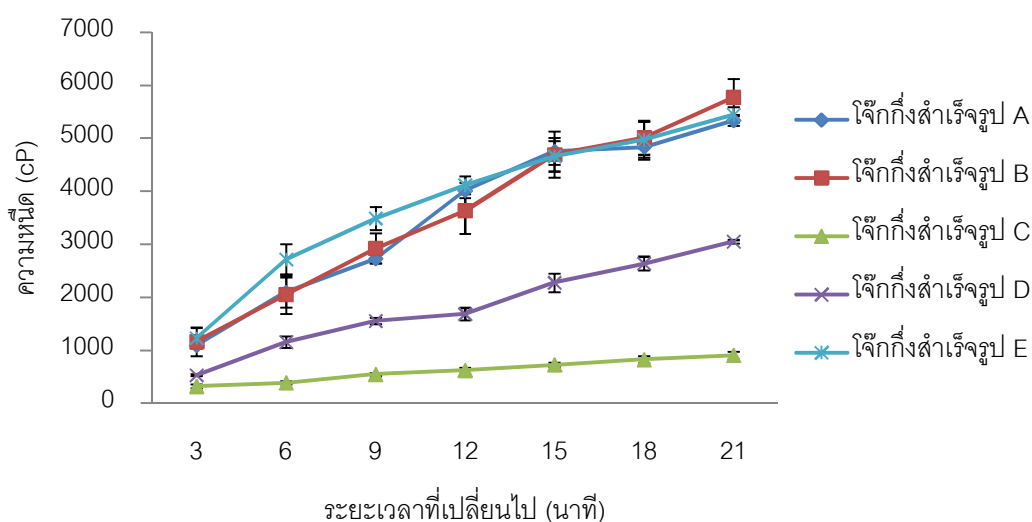
ตัวอักษร a,b,c,... ที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$) ของข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุง

ตัวอักษร A,B,C,... ที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$) ของข้าวกล้องหักหน่วยเชื้อ

4.2.3 ความหนืดของไฉ้กึ่งสำเร็จรูปในท้องตลาด

การศึกษาความหนืดของไฉ้กึ่งสำเร็จรูปในท้องตลาดโดยเติมน้ำร้อน (100 ± 5 °C) ทำโดยวัดความหนืดทุกๆ 3 นาทีเป็นเวลา 21 นาที เพื่อจำลองระยะเวลาการรับประทานไฉ้กึ่งสำเร็จรูปของผู้บริโภค

จากภาพที่ 4.15 สามารถแบ่งความหนืดของไฉ้กึ่งสำเร็จรูปได้เป็น 3 กลุ่มคือกลุ่มที่มีความหนืดสูงได้แก่ ไฉ้กึ่งสำเร็จรูปตราเทสโก้โลดัส (A) มาม่า (B) เกษตร (E) กลุ่มที่มีความหนืดปานกลางได้แก่ ไฉ้กึ่งสำเร็จรูปข้าวกล้องตราเกษตร (D) และกลุ่มที่มีความหนืดต่ำได้แก่ ไฉ้กึ่งสำเร็จรูปตราคนอร์ (C) จะเห็นได้ว่าไฉ้กึ่งสำเร็จรูปในแต่ละกลุ่มจะมีความหนืดเพิ่มมากขึ้นเมื่อระยะเวลาผ่านไป

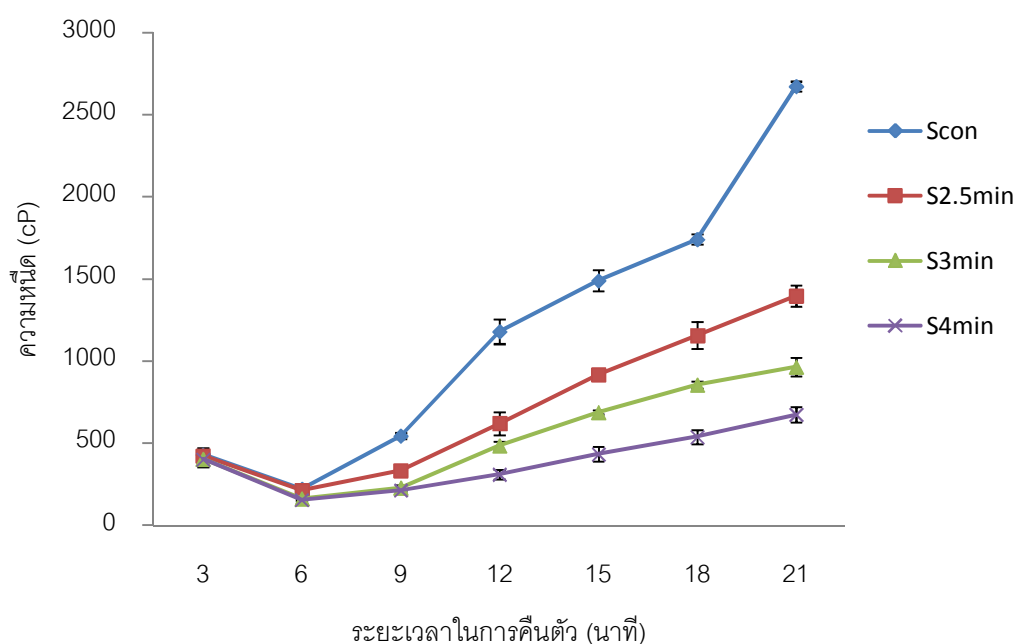


ภาพที่ 4.15 ความหนืดของไฉ้กึ่งสำเร็จรูปในท้องตลาดเมื่อระยะเวลาเปลี่ยนแปลงไป

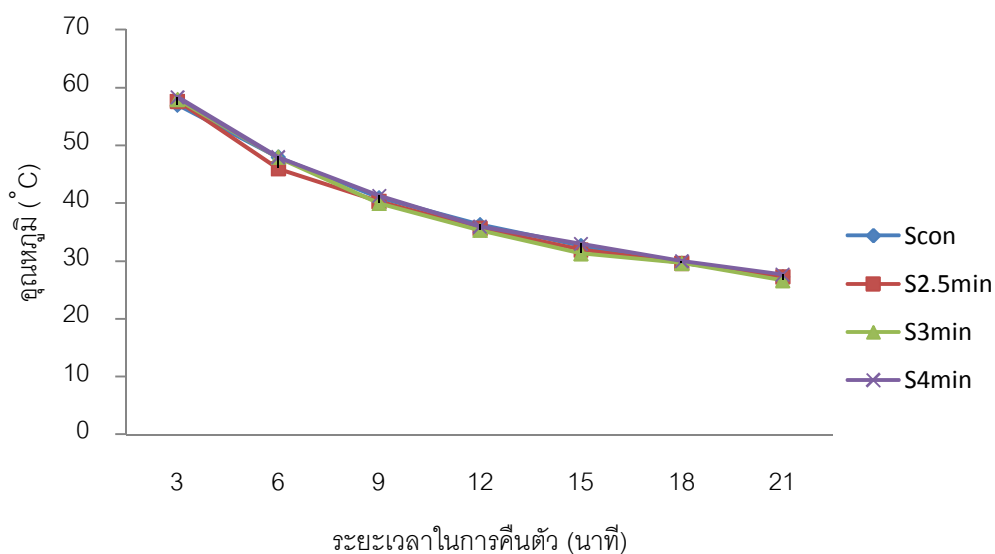
4.2.4 ความสามารถในการคืนตัวของข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปของข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเขือ

การศึกษาความสามารถในการคืนตัวของข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปของข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุง และหน่วยเขือเพื่อคัดเลือกพันธุ์ข้าว และภาวะการอบแห้งที่จะนำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป

จากภาพที่ 4.16 เป็นการวัดความหนืดเพื่อวิเคราะห์ความสามารถในการคืนตัวของข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปสังขียืดพัทลุงในทุกภาวะการอบแห้งใช้อัตราส่วนของข้าวต่อน้ำร้อน ($100 \pm 5^\circ \text{C}$) คือ 1:10 วัดความหนืดและอุณหภูมิ 3 นาทีโดยความหนืดที่ 3 นาทีแรกมีความหนืดสูงเนื่องจากในขณะทำการวัดความหนืดข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป ข้าวกำลังพองตัวส่งผลให้ความหนืดสูง เพราะขณะวัดไม่มีการคนให้ข้าวกระจายตัว และเมื่อวัดความหนืดข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ 6 นาที ความหนืดจึงลดลง เนื่องจากช่วงระยะเวลาได้คนให้ข้าวกระจายตัว และหลังจากนาทีที่ 6 ความหนืดของข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปจะเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาผ่านไป และจากภาพที่ 4.16 ยังพบว่าค่าความหนืดของข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปสังขียืดพัทลุงที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีค่าความหนืดต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม และค่าความหนืดของข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปสังขียืดพัทลุงที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีค่าความหนืดลดลงเมื่อระยะเวลาในการอบแห้งนานขึ้น และจากภาพที่ 4.17 พบว่าอุณหภูมิของข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปสังขียืดพัทลุงมีอุณหภูมิลดลงเมื่อระยะเวลาผ่านไป ซึ่งสัมพันธ์กับความหนืดของข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปสังขียืดพัทลุงที่มีความหนืดเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาผ่านไป

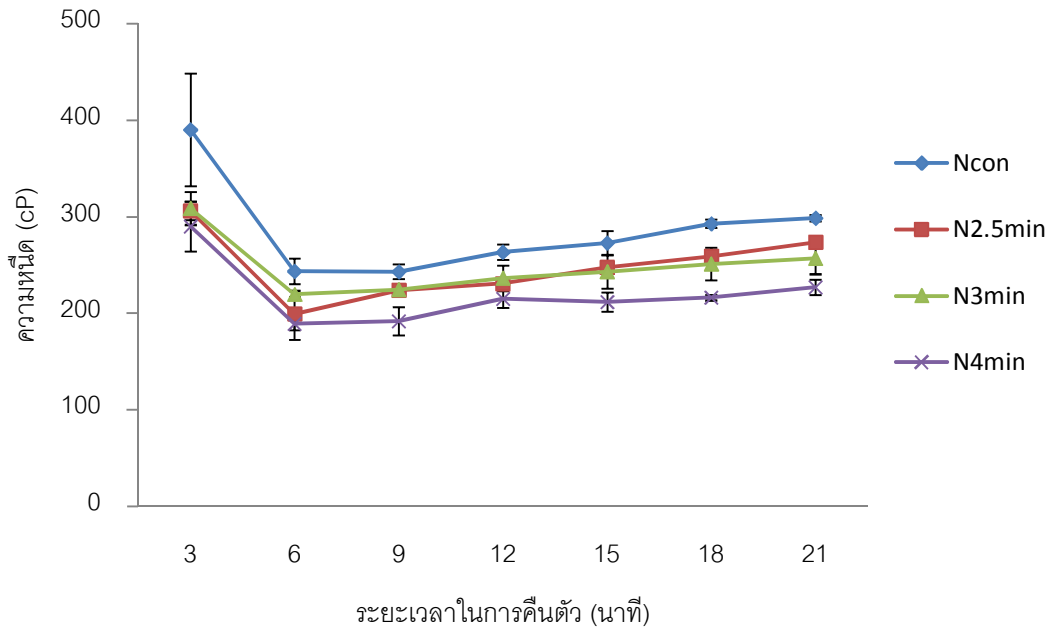


ภาพที่ 4.16 ความหนืดของข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปสังขียืดพัทลุงในทุกภาวะการอบแห้ง

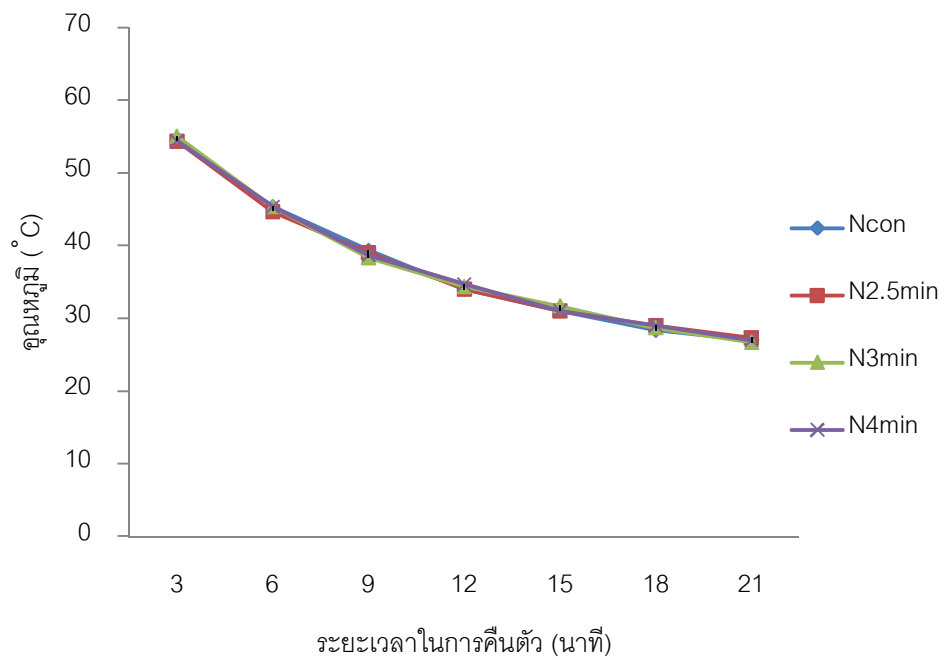


ภาพที่ 4.17 อุณหภูมิของข้าวกล็องกิ่งสำเร็จรูปสังข์หยดพัทลุงในทุกภาวะการอบแห้งเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น

จากภาพที่ 4.18 เป็นการวัดความชื้นเพื่อดูความสามารถในการคั่วตัวของข้าวกล็องกิ่งสำเร็จรูปหน่วยเชื้อในทุกภาวะการอบแห้งทุกๆ 3 นาทีพบว่า ค่าความชื้นของข้าวกล็องกิ่งสำเร็จรูปหน่วยเชื้อที่ 3 นาทีแรกมีลักษณะคล้ายกับข้าวกล็องกิ่งสำเร็จรูปสังข์หยดพัทลุงคือมีค่าความชื้นสูง และลดลงเมื่อวัดค่าความชื้นในนาที่ที่ 6 และจะเห็นว่าหลังจากนาที่ที่ 6 ความชื้นจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และจากภาพที่ 4.19 พบว่าอุณหภูมิของข้าวกล็องกิ่งสำเร็จรูปหน่วยเชื้อมีอุณหภูมิลดลงเมื่อระยะเวลาอบแห้งเพิ่มขึ้น ซึ่งสัมพันธ์กับความชื้นของข้าวกล็องกิ่งสำเร็จรูปหน่วยเชื้อที่มีความชื้นเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาอบแห้งเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับข้าวกล็องกิ่งสำเร็จรูปสังข์หยดพัทลุง



ภาพที่ 4.18 ความหนืดของข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปหน่วยเชื้อ



ภาพที่ 4.19 อุณหภูมิของข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปหน่วยเชื้อ

จากภาพที่ 4.16 และ 4.17 พบว่าความสามารถในการคืนตัวของผงข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปสังขียืดพัทลุงและหน่วยเชื้อลดลงเมื่อระยะเวลาในการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งนานขึ้น อาจเป็นผลมาจากการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งทำให้เกิดการจัดเรียงตัวใหม่ของสายแอมิโลสในบางส่วนของข้าวกล้องหักทั้งสองพันธุ์ และเมื่อนำข้าวกล้องหักทั้งสองพันธุ์มาต้มจะเกิดการ gelatinization อาจมีผลทำให้แอมิโลสเป็นอิสระมากขึ้น รวมทั้งเม็ดแป้งอาจเกิดการเสียสภาพมากขึ้น และหลังจากการต้มได้นำข้าวที่ต้มไปอบแห้งซึ่งในส่วนนี้แอมิโลสที่เป็นอิสระอาจเกิดการ จัดเรียงตัวใหม่มากขึ้น ซึ่งอาจมากกว่าข้าวที่ไม่ได้ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง และข้าวที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งยังเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสกับไขมันซึ่งขัดขวางการพองตัวของเม็ดแป้งและการแทรกซึมของน้ำ ส่งผลให้ผงข้าวกล้องสังขียืดพัทลุงและหน่วยเชื้อที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีความสามารถในการคืนตัวลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม ทั้งนี้จากกระบวนการต้มข้าวหักและนำไปอบแห้งที่กล่าวมาทำให้ผงข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปสังขียืดพัทลุงและหน่วยเชื้อมีสมบัติทนต่อการย่อยของเอนไซม์ประเภท 3 (Resistance starch 3 (RS3)) เนื่องจาก RS3 เป็นแป้งที่ทนย่อยต่อเอนไซม์ซึ่งเกิดจากการจัดเรียงตัวใหม่ของสายแอมิโลสหลังจากการเกิด gelatinization (Haralampu, 2000) ดังนั้นผงข้าวกล้องหักสังขียืดพัทลุงและหน่วยเชื้อมีสมบัติทนต่อการย่อยของเอนไซม์

เมื่อเปรียบเทียบค่าความหนืดของผงข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปสังขียืดพัทลุงและหน่วยเชื้อหลังนาที่ที่ 6 พบว่าผงข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปหน่วยเชื้อมีความหนืดต่ำกว่า อาจเป็นผลมาจากสายแอมิโลสของผงข้าวกล้องหน่วยเชื้อมีการจัดเรียงตัวใหม่มากกว่าผงข้าวกล้องสังขียืดพัทลุง เพราะข้าวหน่วยเชื้อมีปริมาณแอมิโลสมากกว่าข้าวสังขียืดพัทลุงดังนั้นความหนืดของผงข้าวกล้องหน่วยเชื้อจึงต่ำกว่าผงข้าวกล้องสังขียืดพัทลุง นอกจากนี้ข้าวกล้องสังขียืดพัทลุง ยังมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมากกว่าข้าวกล้องหน่วยเชื้อ รวมทั้งเมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาการต้มข้าวกล้องหักพบว่า ข้าวกล้องหักสังขียืดพัทลุงใช้ระยะเวลาในการต้มน้อยกว่าข้าวกล้องหักหน่วยเชื้อ ดังนั้นจึงเลือกข้าวสังขียืดพัทลุงมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรส เมื่อพิจารณาข้าวกล้องสังขียืดพัทลุงในแต่ละภาวะการอบแห้งพบว่า ตัวอย่างควบคุมมีความสามารถในการคืนตัวมากที่สุด รองลงมาคือข้าวกล้องสังขียืดพัทลุงที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นระยะเวลา 2.5, 3 และ 4 นาทีตามลำดับด้วยเหตุนี้จึงเลือกตัวอย่างควบคุมและข้าวกล้องหักสังขียืดพัทลุงที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาที สำหรับการเลือกตัวอย่างควบคุมเนื่องจากมีวิธีการลดความชื้นข้าวเปลือกที่ง่ายคือ การตากแห้งซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ต้นทุนต่ำจึงสามารถดำเนินการได้ง่ายในระดับครัวเรือน สำหรับการเลือกข้าวกล้องหักสังขียืด

พัทลุงที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาที เพราะการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นวิธีการลดความชื้นของข้าวเปลือกได้อย่างรวดเร็วใช้เวลาสั้น และสามารถควบคุมสภาวะได้ เหมาะกับอุตสาหกรรมทั้งนี้การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งจะทำให้เกิดผลึกแบบวี ซึ่งแสดงถึงสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไขมันกับแอมิโลส ซึ่งสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไขมันกับแอมิโลสจะมีความสัมพันธ์กับค่า GI โดยร้อยละผลึกแบบวีที่เพิ่มขึ้นหรือสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไขมันกับแอมิโลสที่เพิ่มขึ้นจะช่วยลดค่า GI รวมทั้งการเกิดขึ้นของการจัดเรียงตัวใหม่ของสายแอมิโลสที่ส่งผลให้ข้าวทนต่อการย่อยของเอนไซม์ซึ่งเหมาะที่จะนำมาผลิตอาหารเพื่อสุขภาพสำหรับผู้บริโภคเฉพาะกลุ่ม เช่น ผู้ที่ต้องการควบคุมน้ำหนัก เนื่องจากในงานวิจัยนี้ต้องการพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องสำเร็จรูปปรุงรสเพื่อเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ จึงเลือกข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาทีมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกล้องสำเร็จรูปปรุงรส และเพื่อเป็นประโยชน์สำหรับการผลิตระดับครัวเรือนจึงเลือกตัวอย่างควบคุมมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกล้องสำเร็จรูปปรุงรสด้วยเช่นกัน

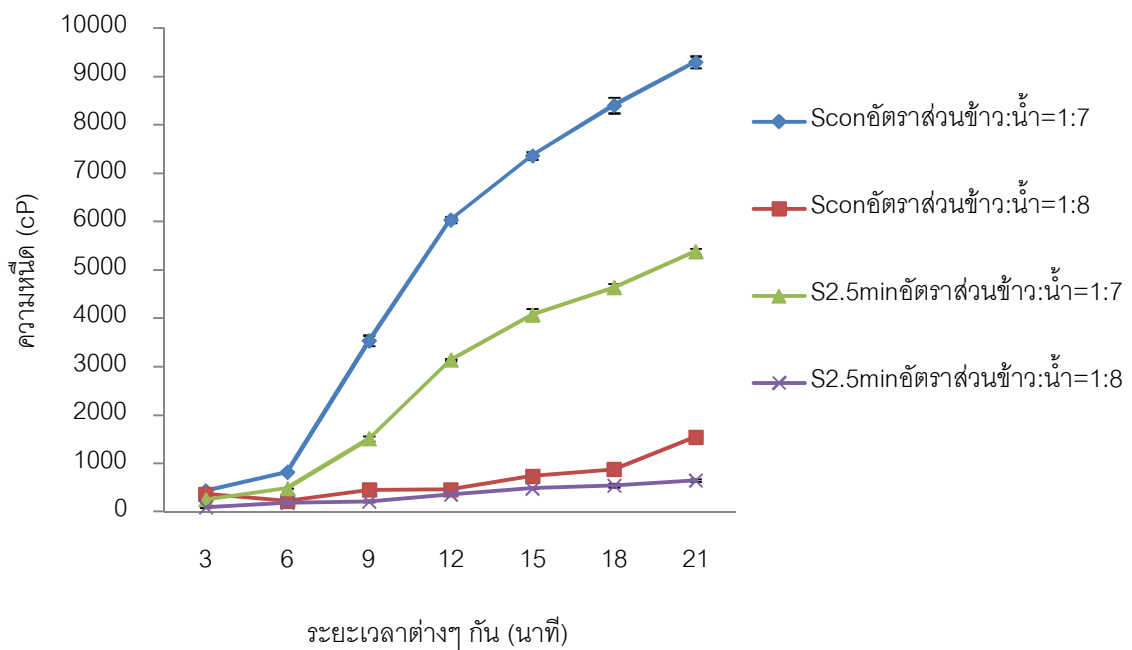
4.3 พัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกล้องสำเร็จรูปปรุงรส

4.3.1 พัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกล้องสำเร็จรูปปรุงรสและปรับอัตราส่วนข้าวกล้องกล้องสำเร็จรูปปรุงรสและน้ำให้เหมาะสม

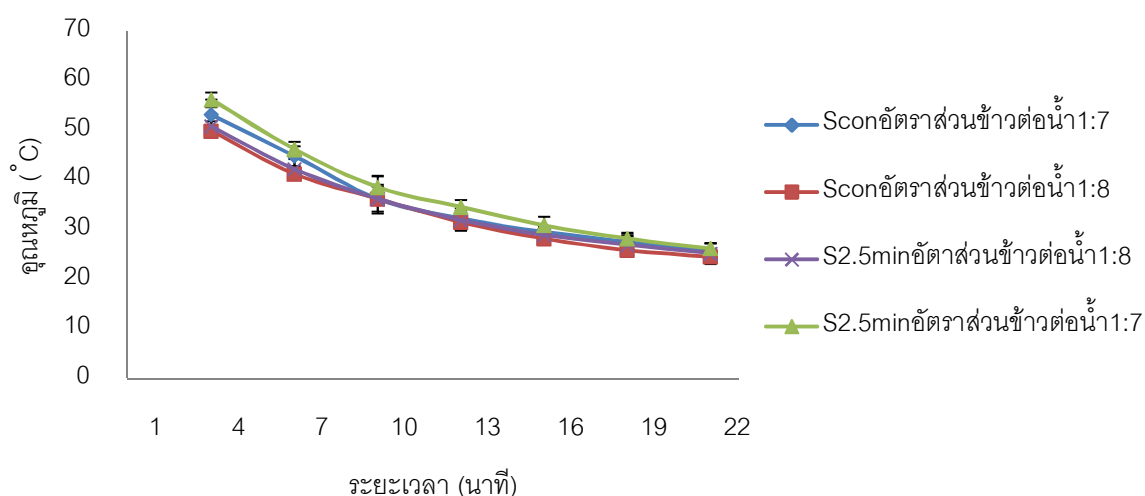
การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกล้องสำเร็จรูปปรุงรสจากข้าวสังข์หยดพัทลุงอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาทีเปรียบเทียบกับข้าวตากแห้งโดยแปรสัดส่วนเกลือ และผงปรุงรสเป็น 2 สูตรคือสูตร A และสูตร B ซึ่งมีส่วนประกอบดังนี้ ผงข้าวกล้องกล้องสำเร็จรูปร้อยละ 79 ผงอบแห้งร้อยละ 15 น้ำตาลร้อยละ 3 ผงปรุงรสร้อยละ 1 และเกลือร้อยละ 2 แต่สูตร A มีปริมาณผงปรุงรสร้อยละ 2 และเกลือร้อยละ 1 สำหรับส่วนประกอบอื่นๆ ของสูตร A มีปริมาณเท่ากับสูตร B และแปรอัตราส่วนข้าวกล้องกล้องสำเร็จรูปปรุงรสต่อน้ำร้อน (100 ± 5 °C) เป็น 2 ระดับคือ 1:7 และ 1:8 ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้สูตร A หาอัตราส่วนของข้าวกล้องกล้องสำเร็จรูปปรุงรสต่อน้ำร้อน (100 ± 5 °C) ที่เหมาะสมดังภาพที่ 4.20 พบว่าอัตราส่วนข้าวกล้องกล้องสำเร็จรูปปรุงรสต่อน้ำที่เหมาะสมคือ 1:7 เพราะข้าวกล้องกล้องสำเร็จรูปปรุงรสมีลักษณะพองตัวมากขึ้น เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น ส่วนอัตราส่วนข้าวกล้องกล้องสำเร็จรูปปรุงรสต่อน้ำ 1:8 นั้นมีปริมาณน้ำที่มากเกินไป แม้ว่าข้าวกล้องกล้องสำเร็จรูปปรุงรสจะพองตัวเต็มที่แล้ว ส่งผลให้ข้าวกล้องกล้องสำเร็จรูปปรุงรสมี

ความหนืดต่ำเกินไป และจากภาพที่ 4.20 พบว่าเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นคุณสมบัติของข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสลดลง แต่มีความหนืดเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลานานขึ้นดังภาพที่ 4.21

จากการทดลองพบว่า อัตราส่วนข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสต่อน้ำที่เหมาะสมคือ 1:7 จึงนำอัตราส่วนข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสต่อน้ำที่เหมาะสมไปทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบต่อสูตรของผู้บริโภคในขั้นตอนต่อไป



ภาพที่ 4.20 ความหนืดของข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังขี้หยดพัทลุงสูตร A ในอัตราส่วนข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสต่อน้ำที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 4.21 อุณหภูมิของข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังขียคัพทลุงในอัตราส่วนข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสต่อน้ำที่แตกต่างกัน

4.3.2 การทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคเพื่อคัดเลือกสูตรในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรส

จากข้อ 4.3.1 จะได้อัตราส่วนข้าวต่อน้ำที่เหมาะสมคือ 1:7 จึงนำอัตราส่วนข้าวต่อน้ำนี้มาทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบต่อสูตรของผู้บริโภค

ตารางที่ 4.11 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบต่อสูตรข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรส

สูตร	จำนวนคน
A	7
B	23

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบของผู้บริโภคจำนวน 30 คนต่อสูตรข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรส พบว่า ผู้บริโภคชอบสูตร B มากกว่าสูตร A ดังตารางที่ 4.11 และจะเห็นว่าจำนวนผู้บริโภคที่ชอบสูตร B มี 23 คน และผู้บริโภคที่ชอบสูตร A มี 7 คน ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เพราะต้องมีผู้บริโภตั้งแต่ 21

คนขึ้นไปจึงจะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (Meilgaard *et al.*, 2007) ดังนั้นจึงเลือกสูตร B เป็นสูตรที่ใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรส

4.3.3 การทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังขสิทธิ์หอยพิทลุงที่ภาวะการอบแห้งต่างกัน

เมื่อนำสูตร B ไปทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคโดยใช้อัตราส่วนผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสต่อน้ำ 1:7 (แบบทดสอบดังภาคผนวก ข.1) จาก ตารางที่ 4.12 พบว่าผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังขสิทธิ์หอยพิทลุงที่เป็นตัวอย่างควบคุม และที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาทีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ในด้านความชอบต่างๆ ดังนี้ ความชอบต่อสี ความชอบต่อลักษณะการพองตัว ความชอบต่อความเหนียวของผลิตภัณฑ์ ความชอบต่อความชื้นของผลิตภัณฑ์ ความชอบต่อรสเค็ม ความชอบต่อกลิ่นเครื่องปรุงรส และความชอบโดยรวมต่อผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรส อีกทั้งยังรวมถึงระดับการพองตัวของข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรส ระดับความเหนียวของผลิตภัณฑ์ ระดับความชื้นของผลิตภัณฑ์ และระดับความเค็ม ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ระหว่างผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังขสิทธิ์หอยพิทลุงที่เป็นตัวอย่างควบคุม และที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาที ดังตารางที่ 4.13 เมื่อพิจารณาระดับคะแนนความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสทั้งที่เป็นตัวอย่างควบคุมและที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาที พบว่ามีระดับคะแนนประมาณ 5 แสดงว่าผู้บริโภครู้สึกเฉยๆ กับผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรส ซึ่งระดับคะแนนประมาณ 5 เป็นระดับคะแนนที่ใกล้เคียงกับระดับคะแนนความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์โຈឹกกึ่งสำเร็จรูปในท้องตลาดดังภาคผนวก ค.18 แสดงให้เห็นว่าผู้บริโภครู้สึกเฉยๆ กับผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสหรือโຈឹกกึ่งสำเร็จรูปถึงแม้ว่าผลิตภัณฑ์นั้นจะเป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้า ดังนั้นผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสจึงมีคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับเดียวกับผลิตภัณฑ์โຈឹกกึ่งสำเร็จรูปทางการค้า

ตารางที่ 4.12 การทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ข้าวกล้อง
กึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังขสิทธิ์หัดพัทลุง

ความชอบด้านต่างๆ	ข้าวสังขสิทธิ์หัดพัทลุง	
	ตัวอย่าง ควบคุม	อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง เป็นเวลา 2.5 นาที
ความชอบต่อสี ^{ns}	6.1±1.4	6.1±1.4
ความชอบต่อลักษณะการพองตัวของผงใจึก ^{ns}	5.8±1.7	5.8±1.4
ความชอบต่อความเหนียวของผลิตภัณฑ์ ^{ns}	5.6±1.4	5.7±1.5
ความชอบต่อความชื้นของผลิตภัณฑ์ ^{ns}	5.5±1.4	6.0±1.4
ความชอบต่อรสเค็ม ^{ns}	4.1±1.3	4.6±1.6
ความชอบต่อกลิ่นเครื่องปรุงรส ^{ns}	5.3±1.5	5.9±1.4
ความชอบโดยรวมต่อผลิตภัณฑ์ใจึกกึ่งสำเร็จรูป ^{ns}	5.3±1.3	5.7±1.3

ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ตามแนวนอน

ตารางที่ 4.13 การทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความเข้มของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ข้าวกล้อง
กึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังขสิทธิ์หัดพัทลุง

ระดับความเข้มในด้านต่างๆ	ข้าวสังขสิทธิ์หัดพัทลุง	
	ตัวอย่าง ควบคุม	อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง เป็นเวลา 2.5 นาที
ระดับการพองตัวของผงใจึก ^{ns}	6.1±1.7	6.3±1.8
ระดับความเหนียวของผลิตภัณฑ์ ^{ns}	5.7±2.0	6.0±1.8
ระดับความชื้นของผลิตภัณฑ์ ^{ns}	6.0±1.8	6.3±1.7
ระดับความเค็ม ^{ns}	3.0±1.9	3.5±2.0

ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ตามแนวนอน

จากตารางที่ 4.14 จะเห็นว่าข้าวสังขสิทธิ์หัดพัทลุงที่เป็นตัวอย่างควบคุมมีสมบัติต่างๆ ส่วนใหญ่ดีกว่าข้าวสังขสิทธิ์หัดพัทลุงที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาที ยกเว้นร้อยละผลึกแบบวี ซึ่งผลึกแบบวีแสดงถึงการเกิดขึ้นของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไขมันกับแอมิโลส และการเกิดขึ้นของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไขมันกับแอมิโลสจะมีผลทำให้ค่า GI ต่ำลง

ดังนั้นข้าวสังข์หยดพัทลุงที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาทีจึงเหมาะที่จะไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรส และศึกษาอายุการเก็บรักษาแต่จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่าข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังข์หยดพัทลุงตัวอย่างควบคุม มีคะแนนความชอบในด้านต่างๆ ไม่แตกต่างอย่างนัยสำคัญ ($p>0.05$) กับคะแนนความชอบของข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังข์หยดพัทลุงที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาที ดังนั้นจึงเลือกข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังข์หยดพัทลุงที่เป็นตัวอย่างควบคุม และที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาทีมาศึกษาอายุการเก็บรักษา

ตารางที่ 4.14 การเปรียบเทียบสมบัติทางเคมีกายภาพในด้านต่างๆ ของข้าวสังข์หยดพัทลุงที่ภาวะการทำแห้งต่างกัน

สมบัติทางเคมีกายภาพในด้านต่างๆ ของข้าวสังข์หยดพัทลุง	เปรียบเทียบข้าวสังข์หยดพัทลุงที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 2.5 นาทีกับตัวอย่างควบคุม
ร้อยละข้าวตัน	น้อยกว่า
กำลังการพองตัว	น้อยกว่า
ค่า breakdown	น้อยกว่า
ค่า final viscosity	น้อยกว่า
ค่า setback	น้อยกว่า
ค่า peak viscosity	น้อยกว่า
ค่า pasting temperature	มากกว่า
ค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ	น้อยกว่า
ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด	น้อยกว่า
ร้อยละผลึกแบบวี	มากกว่า
ความสามารถในการคืนตัวของข้าวกึ่งสำเร็จรูป	น้อยกว่า
ค่าความหนืดของการต้มข้าวกล้องหักเป็นเวลา 45 นาที	น้อยกว่า

4.4 ศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังข์หยดพัทลุงที่ภาวะการอบแห้งต่างกัน

เมื่อศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังข์หยดพัทลุงที่เป็นตัวอย่างควบคุม และที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาที โดยบรรจุผลิตภัณฑ์ลงในซองลามิเนต (LLDPE/AL) ปริมาณ 30 กรัม เก็บที่อุณหภูมิห้อง (30 °C) เป็นเวลา 2 เดือน โดย

ทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส คุณภาพทางเคมี ได้แก่ ค่าความชื้น ปริมาณไทโอบาร์บิทูริก (TBA) ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ค่าสี L^* , a^* , b^* และค่า a_w และคุณภาพทางจุลินทรีย์ ได้แก่ ยีสต์และรา และ *E.coli*

4.4.1 การเปลี่ยนแปลงของค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรส

ค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ต้องมีค่าความชื้นไม่เกิน 10%(w.b.) จากตารางที่ 4.15 พบว่าค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังขียอดพัทลุงที่เป็นตัวอย่างควบคุมและที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาที่มีค่าความชื้นไม่เกินค่าที่มาตรฐานกำหนด (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2547)

ตารางที่ 4.15 ค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังขียอดพัทลุงที่เป็นตัวอย่างควบคุม และที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาที่ที่การเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์

ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)	ค่าความชื้น (%w.b.)	
	Scon30	S2.5min30
0	5.35 ^{abcd} ±0.07	5.84 ^{ab} ±0.30
1	5.04 ^{ae} ±0.53	5.75 ^{bc} ±0.10
2	4.97 ^{cde} ±0.35	5.76 ^{abc} ±0.20
3	5.12 ^{bcd} ±0.41	5.74 ^{abc} ±0.29
4	5.12 ^{bcd} ±0.35	5.82 ^{ab} ±0.15
5	4.79 ^{de} ±0.12	5.05 ^{bcd} ±0.29
6	4.90 ^{de} ±0.12	4.77 ^{de} ±0.08
7	5.11 ^{bcd} ±0.16	5.94 ^a ±0.21
8	5.51 ^{abcd} ±0.05	5.71 ^{abc} ±0.09

ตัวอักษร a, b, c, ... ที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาวิธีการทำแห้ง โดยการตากแห้ง(ตัวอย่างควบคุม) และอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาที และระยะเวลาการเก็บรักษา พบว่าวิธีการทำแห้ง และระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อร้อยละความชื้นของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรส แต่อิทธิพลร่วมของวิธีการทำแห้งและระยะเวลาการเก็บรักษาไม่มีผลต่อร้อยละความชื้นของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรส (ตารางที่ ง.29) จากผลการทดสอบทางสถิติพบว่า ค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังขยดพัทลุงที่เป็นตัวอย่างควบคุมและที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาทีโดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 °C มีค่าความชื้นใกล้เคียงกันในแต่ละสัปดาห์ แต่ช่วงแรกความชื้นของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังขยดพัทลุงที่เป็นตัวอย่างควบคุมและที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาทีจะลดลงเล็กน้อยในสัปดาห์แรก ทั้งนี้เนื่องจากความชื้นของผลิตภัณฑ์เริ่มเข้าสู่สมดุล เพราะความชื้นของส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์มีค่าความชื้นต่างกัน รวมทั้งผลิตภัณฑ์มีค่าความชื้นต่ำจึงดูความชื้นภายในบรรจุภัณฑ์จนกว่าจะเข้าสู่สมดุล (ไพโรจน์ นรินทร์พุทธา, 2539)

4.4.2 การเปลี่ยนแปลงของค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรส

ค่า a_w (water activity) เป็นอัตราส่วนระหว่างความดันไอของน้ำในผลิตภัณฑ์ และความดันไอน้ำบริสุทธิ์ ค่า a_w จะมีค่าอยู่ในช่วง 0.00 (ของแห้ง) – 1.00 (น้ำบริสุทธิ์) ซึ่งผลิตภัณฑ์อาหารแห้งส่วนใหญ่จะมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.20-0.60 เช่น ธัญพืชพร้อมบริโภค ผลไม้อบแห้ง (Steele, 2004) นอกจากนี้ค่า a_w ยังมีความสัมพันธ์กับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี และอัตราการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเกิดการเน่าเสีย (นิธิยา รัตนานนท์, 2549)

เมื่อพิจารณาวิธีการทำแห้ง โดยการตากแห้ง(ตัวอย่างควบคุม) และอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาที และระยะเวลาการเก็บรักษา พบว่าวิธีการทำแห้ง ระยะเวลาการเก็บรักษา และอิทธิพลร่วมของวิธีการทำแห้งและระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรส (ตารางที่ ง.30)

จากตารางที่ 4.16 แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงค่า a_w ของข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังขยดพัทลุงตัวอย่างควบคุม และที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นระยะเวลา 2.5 นาทีที่อุณหภูมิ 30 °C พบว่า ค่า a_w ของข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังขยดพัทลุงที่เป็นตัวอย่างควบคุมและที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นระยะเวลา 2.5 นาที ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 °C มีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลา 8 สัปดาห์ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของค่า a_w ที่คงที่นั้น เนื่องจาก

บรรจุภัณฑ์ที่ใช้เป็นของลามิเนต LLDPE/AL ซึ่ง LLDPE ยังเป็นวัสดุที่ทนความร้อนได้ดี และไม่ทำปฏิกิริยาเคมีกับผลิตภัณฑ์ที่บรรจุลงไป เมื่อนำมาลามิเนตกับ AL จะทำให้ของลามิเนตมีสมบัติป้องกันแสง, ออกซิเจนและการแพร่ผ่านของความชื้น จึงส่งผลให้ค่า a_w ของข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปบรรจุรสสังข์หยดพัทลุงที่เป็นตัวอย่างควบคุมและที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นระยะเวลา 2.5 นาทีที่มีค่าค่อนข้างคงที่ (Man and Jones, 2000)

ตารางที่ 4.16 ค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปบรรจุรสสังข์หยดพัทลุงที่เป็นตัวอย่างควบคุม และที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาทีที่การเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์

ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)	ค่า a_w	
	Scon30	S2.5min30
0	0.21 ^f ±0.01	0.30 ^{abc} ±0.04
1	0.22 ^{ef} ±0.01	0.31 ^{ab} ±0.01
2	0.22 ^{ef} ±0.01	0.28 ^c ±0.00
3	0.23 ^{ef} ±0.01	0.30 ^{abc} ±0.03
4	0.23 ^{ef} ±0.01	0.30 ^{abc} ±0.01
5	0.25 ^{de} ±0.02	0.27 ^{cd} ±0.01
6	0.22 ^{ef} ±0.01	0.29 ^a ±0.03
7	0.27 ^{cd} ±0.01	0.32 ^a ±0.01
8	0.27 ^{cd} ±0.03	0.31 ^{abc} ±0.01

ตัวอักษร a, b, c, ... ที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$)

4.4.3 การเปลี่ยนแปลงของค่าความหืนของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป ปรุงรส

เมื่อพิจารณาวิธีการทำแห้ง โดยการตากแห้ง(ตัวอย่างควบคุม) และอบแห้งด้วยไอน้ำร้อน ยาวดิ่งเป็นเวลา 2.5 นาที และระยะเวลาการเก็บรักษา พบว่าวิธีการทำแห้ง ระยะเวลาการเก็บรักษา และอิทธิพลร่วมของวิธีการทำแห้งและระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อค่าความหืนของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรส (ตารางที่ ง.31) การวิเคราะห์ความหืนของผลิตภัณฑ์จะวิเคราะห์จากปริมาณ malonaldehyde ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยกรดโทโฮบาร์บิทริก จะจับกับ malonaldehyde หรือผลิตภัณฑ์อื่นที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ถ้าผลิตภัณฑ์มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวมากจะส่งผลให้ malonaldehyde สูง แสดงว่าผลิตภัณฑ์มีความหืนสูง (McClements and Decker, 2008) ในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเกิด 3 ขั้นตอน ดังนี้ขั้นตอนแรก Initiation เป็นขั้นตอนการเกิดอนุมูลอิสระ ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาของออกซิเจนและกรดไขมันไม่อิ่มตัว ขั้นตอนที่สอง Propagation เป็นปฏิกิริยาต่อเนื่องของอนุมูลอิสระ โดยอนุมูลที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนอย่างต่อเนื่อง ขั้นตอนที่สาม Termination เป็นปฏิกิริยาสุดท้ายที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นไม่ได้เป็นอนุมูลอิสระ โดยอนุมูลอิสระจะมาทำปฏิกิริยากันเอง เกิดเป็นสารประกอบใหม่ที่ไม่เป็นอนุมูลอิสระ ดังนั้นเมื่อไม่มีอนุมูลอิสระแต่ในปฏิกิริยายังมีออกซิเจนอยู่มากพอ ปฏิกิริยาจะเริ่มเกิดในขั้นตอนแรกอีกครั้ง (นิธิยา รัตนานนท์, 2549) ดังนั้นจากตารางที่ 4.17 ผลการวิเคราะห์ค่าความหืนของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังขยุดพัทลุง ตัวอย่างควบคุม และที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยาวดิ่งเป็นเวลา 2.5 นาที มีค่าความหืนเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งถึงสัปดาห์ที่ 4 แล้วลดลงในสัปดาห์ที่ 5 และสัปดาห์ที่ 6 ค่าความหืนจึงเพิ่มขึ้นอีกครั้ง อาจเป็นผลมาจากลักษณะการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเพราะในช่วง 4 สัปดาห์แรก ค่าความหืนหรือปริมาณ malonaldehyde ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาออกซิเดชันมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วแสดงให้เห็นว่าในช่วงนี้เป็นการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในขั้นตอนที่ 1 และ 2 เมื่อถึงสัปดาห์ที่ 5 ค่าความหืนหรือปริมาณ malonaldehyde ลดลงแสดงว่าในช่วงนี้ปฏิกิริยาดำเนินเข้าสู่ขั้นตอนที่ 3 เพราะเป็นช่วงที่อนุมูลอิสระเริ่มจับกันเอง ทำให้กรดโทโฮบาร์บิทริกจับกับอนุมูลอิสระได้น้อย และเมื่อถึงสัปดาห์ที่ 6 ค่าความหืนหรือปริมาณ malonaldehyde เริ่มเพิ่มขึ้นอีกครั้งอาจเป็นไปได้ว่าปฏิกิริยาออกซิเดชันเริ่มเข้าสู่ขั้นตอนที่ 1 และ 2 อีกครั้ง

ตารางที่ 4.17 ค่าความหืนของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังขยุดพัทลุงที่เป็นตัวอย่างควบคุม และที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาทีที่การเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์

ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)	ค่าความหืน (มิลลิกรัม Malonaldehyde ต่อ กิโลกรัม)	
	Scon30	S2.5min30
0	0.14 ^l ±0.00	0.12 ^m ±0.00
1	0.22 ⁱ ±0.00	0.07 ⁿ ±0.00
2	0.58 ^c ±0.00	0.19 ^k ±0.00
3	0.63 ^b ±0.00	0.22 ^j ±0.00
4	1.03 ^a ±0.00	0.24 ⁱ ±0.00
5	0.03 ^o ±0.00	0.03 ^o ±0.00
6	0.28 ^g ±0.00 ⁱ	0.24 ⁱ ±0.01
7	0.29 ^f ±0.00	0.27 ^h ±0.00
8	0.45 ^d ±0.00	0.39 ^e ±0.00

ตัวอักษร a, b, c, ... ที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$)

4.4.4 การเปลี่ยนแปลงของค่าสีของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรส

เมื่อพิจารณาวิธีการทำแห้ง โดยการตากแห้ง (ตัวอย่างควบคุม) และอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาที) และระยะเวลาการเก็บรักษา พบว่าวิธีการทำแห้งมีผลต่อค่า L^* แต่ไม่มีผลต่อค่า a^* และ b^* ระยะเวลาการเก็บรักษาไม่มีผลต่อค่า L^* และค่า a^* แต่ไม่มีผลต่อค่า b^* และอิทธิพลร่วมของวิธีการทำแห้งและระยะเวลาการเก็บรักษาไม่มีผลต่อค่า L^* , a^* และ b^* (ตารางที่ ง.32, ง.33 และง.34)

ค่า L^* เป็นค่าที่แสดงถึงความสว่าง โดยถ้าค่า L^* มีค่ามากแสดงว่ามีความสว่างมาก หรือผลิตภัณฑ์มีสีอ่อน แต่ถ้าค่า L^* มีค่าน้อยแสดงว่ามีความสว่างลดลง หรือผลิตภัณฑ์มีสีคล้ำ (Taub and Singh, 1997)

จากตารางที่ 4.18 พบว่าค่า L^* ของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสที่เป็นตัวอย่างควบคุม มีค่าลดลงหลังสัปดาห์ที่ 4 และผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสที่อบแห้งด้วยไอน้ำ

ร้อนนวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาทีที่มีค่าลดลงตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2 เก็บที่อุณหภูมิ 30 °C เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยา Maillard ซึ่งเป็นปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลกับกรดอะมิโน โดยผลิตภัณฑ์สุดท้ายของปฏิกิริยาจะได้ผลิตภัณฑ์ที่ทำให้เกิดสีคือ melanoidin (Bemiller and Huber, 2008) ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนนวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาทีที่มีค่า L^* ลดลงในระยะเวลาที่เร็วกว่าค่า L^* ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสที่เป็นตัวอย่างควบคุม เนื่องจากผลิตภัณฑ์ทั้งสองมีค่า a_w ที่แตกต่างกันโดยผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสที่เป็นตัวอย่างควบคุมมีค่า a_w ต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนนวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาที และมีค่า a_w อยู่ในช่วงที่ไม่สามารถเกิดปฏิกิริยา Maillard ได้ ส่วนผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนนวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาที มีค่า a_w อยู่ในช่วงที่สามารถเกิดปฏิกิริยา Maillard ได้อย่างรวดเร็วส่งผลให้ค่า L^* ลดลงอย่างรวดเร็วเพราะ การเกิดปฏิกิริยา Maillard จะเกิดได้อย่างรวดเร็วค่า a_w ต้องมีค่าอยู่ในช่วง 0.25-0.30 (Steele, 2004)

ตารางที่ 4.18 ค่า L^* ของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังขสิทธิ์หัดพัทลุงที่เป็นตัวอย่างควบคุม และที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนนวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาทีที่การเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์

ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)	ค่า L^*	
	Scon30	S2.5min30
0	51.43 ^a ±1.32	51.06 ^{ab} ±0.37
1	51.44 ^a ±0.54	49.45 ^{bcd} ±1.03
2	50.42 ^b ±0.46	47.12 ^{efg} ±1.08
3	49.79 ^{abc} ±0.13	48.01 ^{def} ±1.34
4	48.35 ^{cde} ±1.53	46.49 ^{fgh} ±0.31
5	48.30 ^{cde} ±0.39	46.27 ^{gh} ±0.29
6	49.78 ^{abc} ±0.89	46.94 ^{fgh} ±0.81
7	48.13 ^{cdef} ±1.51	45.62 ^{gh} ±0.19
8	47.09 ^{efg} ±0.61	45.36 ^h ±1.09

ตัวอักษร a, b, c, ... ที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$)

ค่า a^* เป็นค่าที่แสดงถึงสีเขียว และสีแดงของผลิตภัณฑ์โดยถ้าค่า a^* เป็นบวกคือสีแดง และเป็นลบคือสีเขียว (Taub and Singh, 1997)

จากตารางที่ 4.19 พบว่าผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังขี้หยดพัทลุงที่เป็นตัวอย่างควบคุมและที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาทีที่มีค่า a^* เป็นบวกแสดงว่าผลิตภัณฑ์มีสีแดง และค่า a^* มีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น อาจเป็นผลมาจากปฏิกิริยา Maillard ที่เกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา เช่นเดียวกับงานวิจัยของนรีเทพ เรืองทิพย์ (2544) ซึ่งพบว่าค่า a^* ของโจ๊กทูนึ่งกึ่งสำเร็จรูปมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่นานขึ้น

ตารางที่ 4.19 ค่า a^* ของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังขี้หยดพัทลุงที่เป็นตัวอย่างควบคุม และที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาทีที่การเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์

ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)	ค่า a^*	
	Scon30	S2.5min30
0	10.59 ^{bc} ±1.28	9.85 ^{bc} ±0.37
1	9.92 ^{bc} ±0.07	9.17 ^c ±0.60
2	10.62 ^{bc} ±1.36	10.56 ^{bc} ±1.45
3	10.70 ^{bc} ±1.59	10.74 ^{bc} ±1.07
4	10.76 ^{bc} ±0.88	10.55 ^{bc} ±1.45
5	11.17 ^{ab} ±0.55	11.49 ^{ab} ±1.19
6	10.12 ^{bc} ±0.36	10.86 ^{bc} ±0.25
7	10.99 ^{abc} ±0.84	11.46 ^{ab} ±0.79
8	12.79 ^a ±0.62	11.28 ^{ab} ±0.68

ตัวอักษร a, b, c, ... ที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$)

ค่า b^* เป็นค่าที่แสดงถึงค่าสีเหลืองและสีน้ำตาล โดยถ้าค่า b^* เป็นบวกคือสีเหลือง และเป็นลบคือสีน้ำตาล

จากตารางที่ 4.20 พบว่าค่า b^* มีค่าเป็นบวก และพบว่าค่า b^* ของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่ง

สำเร็จรูปปรุงรสที่เป็นตัวอย่างควบคุมมีค่าคงที่ ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับงานวิจัยของงานวิจัยของ Ramírez-Jiménez, Guerra-Hernández และ García-Villanova (2003) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีของอาหารทารกจากข้าวธัญพืช โดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 32 °C เป็นเวลา 12 เดือน พบว่า ค่า b^* ไม่มีการเปลี่ยนแปลงในช่วง 0-3 เดือนแรก แต่มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในเดือนที่ 6 และ 12 ส่วนผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาที จากตารางที่ 4.20 มีแนวโน้มที่ไม่ชัดเจน เช่นเดียวกับจากงานวิจัยของนริเทพ เรืองทิพย์ (2544) ได้พัฒนาผลิตภัณฑ์โจ๊กหนูกึ่งสำเร็จรูปพบว่าค่า b^* ของผลิตภัณฑ์โจ๊กหนูกึ่งสำเร็จรูปที่เก็บที่อุณหภูมิ 25 °C มีการเปลี่ยนแปลงค่า b^* ที่ไม่ชัดเจน

ตารางที่ 4.20 ค่า b^* ของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังขยดพัทลุงที่เป็นตัวอย่างควบคุม และที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาทีที่การเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์

ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)	ค่า b^*	
	Scon30	S2.5min30
0	15.58 ^{bc} ± 1.27	16.55 ^{abc} ± 0.48
1	16.61 ^{abc} ± 0.84	17.97 ^{ab} ± 3.45
2	15.68 ^{abc} ± 0.76	15.02 ^c ± 1.17
3	15.82 ^{abc} ± 0.41	15.20 ^c ± 0.42
4	16.49 ^{abc} ± 0.67	17.39 ^{abc} ± 3.08
5	15.38 ^{bc} ± 0.81	15.87 ^{bc} ± 1.30
6	15.41 ^{bc} ± 0.85	14.87 ^c ± 0.59
7	15.03 ^c ± 0.14	18.26 ^a ± 1.08
8	16.08 ^{abc} ± 0.12	15.89 ^{abc} ± 0.86

ตัวอักษร a, b, c, ... ที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$)

4.4.5 การเปลี่ยนแปลงของความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรส

วิธีการทำแห้ง โดยการตากแห้ง(ตัวอย่างควบคุม) และอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาที และระยะเวลาการเก็บรักษา พบว่า วิธีการทำแห้ง ระยะเวลาการเก็บรักษา และอิทธิพลร่วมของวิธีการทำแห้งและระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อค่า EC_{50} หรือค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ แต่ไม่มีผลต่อปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรส

เมื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสทั้งที่เป็นตัวอย่างควบคุม และที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาที ดังตารางที่ 4.21 พบว่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสที่เป็นตัวอย่างควบคุม และที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นในสัปดาห์ที่ 4 ซึ่งการที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น หรือค่า EC_{50} ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับสัปดาห์ที่ 0 ซึ่งการเพิ่มขึ้นของความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้นมีลักษณะเช่นเดียวกับบางวิจัยต่างๆ ดังนี้

จากงานวิจัยของ Del Caro และคณะ (2004) ได้ศึกษาผลของการอบแห้ง และการเก็บรักษาต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของลูกพรุนที่วิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH โดยในการอบแห้งลูกพรุนจะศึกษาอุณหภูมิในการอบแห้งดังนี้ 75 และ 80 °C และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 °C เป็นเวลา 12 เดือนพบว่าในเดือนที่ 12 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของลูกพรุนเพิ่มขึ้นทั้งตัวอย่างที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 75 และ 80 °C ซึ่งการเพิ่มขึ้นของความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของลูกพรุน เป็นผลมาจากการรวมตัวของผลิตภัณฑ์ใหม่ที่เกิดขึ้น กับสารต้านอนุมูลอิสระ เช่นผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยา Maillard ทำให้ลูกพรุนมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมากขึ้น

ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระอาจเป็นผลมาจากการเกิดขึ้นของสารต้านอนุมูลอิสระจากผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยา Maillard เช่น melanoidin (Kayitesi *et al.*, 2012) ในระหว่างการเก็บรักษา

จากตารางที่ 4.22 พบว่าปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสที่เป็นตัวอย่างควบคุม และที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาทีมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดมีแนวโน้มไม่ชัดเจน เช่นเดียวกับงานวิจัยของณัฐณี ตั้งศรีอนุกุล (2551) ได้ศึกษาผลของวิธีการทำแห้ง และภาวะการเก็บรักษาต่อปริมาณ

ฟีนอลิก และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของข้าวกล้องหอมมะลิแดง โดยเก็บข้าวกล้องที่อุณหภูมิ 15 °C และอุณหภูมิห้อง ด้วยบรรจุภัณฑ์ที่มีชนิดต่างกัน พบว่าปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของข้าวกล้องหอมมะลิแดงมีการเปลี่ยนแปลงที่ไม่เป็นแนวโน้มตลอดอายุการเก็บรักษา 12 เดือน

จากงานวิจัยของ Dimderg และคณะ (1996) ศึกษาผลของระยะเวลาการเก็บรักษาของโอ๊ต 3 สายพันธุ์โดยเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 3.5 และ 15.5 เดือน พบว่าระยะเวลาการเก็บรักษาไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และงานวิจัยของ Zhou และคณะ (2004) ศึกษาปริมาณฟีนอลิกของข้าวสามสายพันธุ์ทั้งข้าวกล้อง และข้าวที่ผ่านการขัดสีโดยเก็บที่อุณหภูมิ 4 และ 37 °C เป็นเวลา 6 เดือนพบว่าปริมาณ bound phenolic acid ลดลงตั้งแต่เดือนที่ 4 และ 6 ของข้าวทั้ง 3 สายพันธุ์ทั้งข้าวกล้อง และข้าวขัดสีโดยข้าวที่เก็บที่อุณหภูมิ 37 °C ปริมาณ bound phenolic acid จะลดลงมากกว่าที่ 4 °C ซึ่งการลดลงของปริมาณ bound phenolic acid เป็นผลมาจากการเกิดปฏิกิริยา oxidation แต่ปริมาณ free phenolic acid มีปริมาณเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาซึ่งเป็นผลมาจากปฏิกิริยา enzymatic และ non-enzymatic ที่ปลดปล่อย bound phenolic acid ดังนั้นปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของข้าวจึงลดลง

เมื่อเปรียบเทียบค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระหรือค่า EC_{50} และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังขียอดพัทลุงในระหว่างการเก็บรักษาพบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นผลิตภัณฑ์มีค่า EC_{50} ลดลงหรือมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มมากขึ้นซึ่งเป็นข้อดี เพราะแสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์มีความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระได้ทั้งนี้ค่า EC_{50} ของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสตั้งแต่สัปดาห์ที่ 0-8 ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังขียอดพัทลุงที่เป็นตัวอย่างควบคุมมีค่า EC_{50} อยู่ในช่วง 816.02-1213.25 g sample/g DPPH และผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังขียอดพัทลุงที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาทีมีค่า EC_{50} อยู่ในช่วง 792.21-1456.72 g sample/g DPPH ซึ่งค่า EC_{50} ของทั้งผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังขียอดพัทลุงที่เป็นตัวอย่างควบคุม และที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาที มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระต่ำกว่าข้าวสุกซึ่งมีค่า EC_{50} อยู่ในช่วง 436.28-563.62 g/g (Pérez-Jiménez and Saura-Calixto, 2005) และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสตั้งแต่สัปดาห์ที่ 0-8 ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังขียอดพัทลุงที่เป็นตัวอย่างควบคุมมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดอยู่ในช่วง 73.06-173.73 $\mu\text{g gallic acid/g sample}$ ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังขียอดพัทลุงที่อบแห้งด้วย ไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาทีมีปริมาณ

ฟีนอลิกทั้งหมดอยู่ในช่วง 93.48-147.90 $\mu\text{g gallic acid/g sample}$ ซึ่งมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดต่ำกว่าข้าวสุกที่มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดอยู่ในช่วง 190.00-230.00 gallic acid equivalent (Pérez-Jiménez and Saura-Calixto, 2005)

ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นหรือลดลงของค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสอาจเป็นผลมาจากองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสที่หลากหลาย รวมทั้งวิธีการวิเคราะห์ การเตรียมตัวอย่างในแต่ละงานวิจัยมีความแตกต่างกันดังนั้นแนวโน้มของค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระและ ปริมาณฟีนอลิกที่วิเคราะห์ได้จึงแตกต่างกัน

ตารางที่ 4.21 ค่า EC_{50} ของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังขยดพัทลุงที่เป็นตัวอย่างควบคุม และที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาทีที่การเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์

ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)	ค่า EC_{50} (g sample/g DPPH)	
	Scon	S2.5min
0	1192.18 ^b ±21.07	951.05 ^c ±0.69
1	953.75 ^c ±5.69	1451.50 ^a ±5.21
4	836.08 ^d ±20.07	794.44 ^d ±2.23
8	916.09 ^c ±34.49	831.04 ^d ±10.24

ตัวอักษร a, b, c, ... ที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.22 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังขียืดพัทลุงที่เป็นตัวอย่างควบคุม และที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาทีที่การเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์

ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)	ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (μg gallic acid/g flour)	
	Scon ^{ns}	S2.5min ^{ns}
0	74.00 \pm 0.94	91.83 \pm 1.65
1	173.50 \pm 0.24	142.50 \pm 5.42
4	69.50 \pm 3.06	103.00 \pm 10.84
8	58.17 \pm 0.24	124.33 \pm 10.37

ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

4.4.6 คุณภาพทางจุลินทรีย์

ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังขียืดพัทลุงที่เป็นตัวอย่างควบคุม และที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาทีที่มีค่า a_w 0.20-0.36 จากการทดลองพบว่าตลอดการศึกษาอายุการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์ที่อุณหภูมิ 30 °C ไม่พบยีสต์ รา และ *E.coli* ในผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังขียืดพัทลุงที่เป็นตัวอย่างควบคุม และที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาที (ตารางที่ ค.21 และค.22) เนื่องจากยีสต์ รา และ *E.coli* สามารถเจริญได้ในช่วง a_w 0.8-0.95 (Steele, 2004) แต่ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังขียืดพัทลุงตัวอย่างควบคุม และที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาทีที่มีค่า a_w ต่ำจึงไม่พบ ยีสต์ รา และ *E.coli* ตลอดระยะเวลา 8 สัปดาห์ เช่นเดียวกับงานวิจัยของ จรัสพรรณ ต้นหยง (2544) ได้ศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไอ้กข้าวกล้องผสมกึ่งสำเร็จรูปเป็นเวลา 2 เดือนที่อุณหภูมิห้องพบว่า ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 2 เดือนไม่พบยีสต์ รา และ *E.coli* เนื่องจากค่า a_w มีค่าอยู่ในช่วง 0.39-0.43 ซึ่งต่ำกว่าระดับต่ำสุดที่จุลินทรีย์จะเจริญได้และ นริเทพ เรื่องทิพย์ (2544) ได้ศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไอ้กทუნ่ากึ่งสำเร็จรูปเป็นเวลา 3 เดือนที่อุณหภูมิ 35 °C พบว่า ไม่พบยีสต์ รา ในผลิตภัณฑ์ไอ้กทუნ่ากึ่งสำเร็จรูปตลอดระยะเวลา 3 เดือน เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีค่า a_w ต่ำคือไม่เกิน 0.3 ซึ่งเป็นค่าที่ยีสต์และราไม่สามารถเจริญได้

4.8 คุณภาพทางประสาทสัมผัส

เมื่อพิจารณาวิธีการทำแห้ง (การตากแห้ง(ตัวอย่างควบคุม) และอบแห้งด้วยไอน้ำร้อน ยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาที) และระยะเวลาการเก็บรักษา พบว่าวิธีการอบแห้งมีผลต่อความชอบโดยรวม ระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อความชอบต่อรสเค็ม ระดับกลิ่นแปลกปลอมและความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรส ส่วนอิทธิพลร่วมของวิธีการอบแห้ง และระยะเวลาการเก็บรักษาไม่มีผลต่อความชอบในด้านต่างๆ รวมทั้งระดับความเข้มในด้านต่างๆ (ตารางที่ ง.37-ง.48) จากตารางที่ 4.23 แสดงถึงความชอบต่อผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสที่เป็นตัวอย่างควบคุมเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 เป็นเวลา 8 สัปดาห์พบว่าความชอบต่อสี, ความชอบต่อลักษณะการพองตัว, ความชอบต่อความหนืด, ความชอบต่อความชื้น, ความชอบต่อรสเค็มและความชอบต่อกลิ่นเครื่องปรุงรสมีคะแนนด้านความชอบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ตลอดระยะเวลา 8 สัปดาห์ จากตารางที่ 4.23 พบว่าความชอบโดยรวมต่อผลิตภัณฑ์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในแต่ละสัปดาห์โดยความชอบโดยรวมต่อผลิตภัณฑ์ที่สัปดาห์ที่ 1 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กับสัปดาห์ที่ 4 และความชอบโดยรวมต่อผลิตภัณฑ์ที่สัปดาห์ที่ 0 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กับสัปดาห์ที่ 4 และ 8 ซึ่งความชอบโดยรวมต่อผลิตภัณฑ์มีคะแนนความชอบลดลงเมื่อระยะเวลาผ่านไป จากตารางที่ 4.24 พบว่าระดับการพองตัว, ระดับความหนืดของผลิตภัณฑ์, ระดับความชื้นของผลิตภัณฑ์, ระดับความเค็ม และระดับกลิ่นแปลกปลอมมีระดับความเข้มไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ตลอด 8 สัปดาห์

ตารางที่ 4.23 การทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบของผู้บริโภคต่อข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังขสิทธิ์หอยทงตัวอย่างควบคุมโดยเก็บที่อุณหภูมิ 30 °C

ความชอบด้านต่างๆ	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)			
	0	1	4	8
ความชอบต่อสี ^{ns}	6.2±1.7	6.0±1.6	5.9±1.3	5.5±1.1
ความชอบต่อลักษณะการพองตัวของผงใจ้ก ^{ns}	5.1±1.6	5.5±1.8	5.6±1.3	5.5±1.7
ความชอบต่อความหนืดของผลิตภัณฑ์ ^{ns}	5.5±1.7	5.6±1.9	5.6±1.5	5.2±1.3
ความชอบต่อความชื้นของผลิตภัณฑ์ ^{ns}	5.6±1.5	5.6±1.6	5.6±1.6	5.4±1.4
ความชอบต่อรสเค็ม ^{ns}	4.4±1.4	5.1±1.4	4.9±1.2	4.8±1.4
ความชอบต่อกลิ่นเครื่องปรุงรส ^{ns}	5.5±1.6	5.9±1.2	5.6±1.1	5.3±1.1
ความชอบโดยรวมต่อผลิตภัณฑ์	5.1 ^b ±1.1	6.2 ^a ±1.3	5.7 ^{ab} ±1.5	5.2 ^b ±1.6

ตัวอักษร a, b, c, ... ที่ต่างกันตามแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$)

ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.24 การทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความเข้มของผู้บริโภคต่อข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังขสิทธิ์หอยทงตัวอย่างควบคุมโดยเก็บที่อุณหภูมิ 30 °C

ระดับความเข้มในด้านต่างๆ	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)			
	0	1	4	8
ระดับการพองตัวของผงใจ้ก ^{ns}	5.7±2.0	5.6±1.9	5.7±1.9	5.3±1.9
ระดับความหนืดของผลิตภัณฑ์ ^{ns}	5.3±1.5	5.5±1.8	6.2±1.7	5.7±1.9
ระดับความชื้นของผลิตภัณฑ์ ^{ns}	6.1±1.9	6.4±1.7	6.2±1.9	5.6±2.0
ระดับความเค็ม ^{ns}	3.0±1.9	2.8±2.0	3.1±1.7	2.8±1.9
ระดับกลิ่นแปลกปลอม ^{ns}	1.2±1.4	1.2±1.3	1.8±1.8	2.0±1.8

ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากตารางที่ 4.25 แสดงถึงความชอบต่อผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาทีที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 พบว่าความชอบต่อสี, ความชอบต่อลักษณะการพองตัว, ความชอบต่อความหนืดของผลิตภัณฑ์, ความชอบต่อความชื้น

ของผลิตภัณฑ์ และความชอบต่อกลิ่นเครื่องปรุงรสมีคะแนนความชอบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ตลอด 8 สัปดาห์ รวมทั้งระดับคะแนนความชอบในด้านต่างๆ ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ผู้บริโภคยอมรับได้ และระดับความเข้มต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ข้าวกลิ้งกึ่งสำเร็จรูปที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาทีเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 °C (ตารางที่ 4.19) พบว่าระดับการพองตัว, ระดับความชื้นของผลิตภัณฑ์ และระดับกลิ่นแปลกปลอมมีระดับความเข้มไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ตลอด 8 สัปดาห์ จากตารางที่ 4.25 พบว่าความชอบต่อรสเค็มของสัปดาห์ที่ 1 มีระดับคะแนนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq 0.05$) กับสัปดาห์ที่ 4 และ 8 สำหรับความชอบโดยรวมต่อผลิตภัณฑ์พบว่าระดับคะแนนความชอบโดยรวมของสัปดาห์ที่ 1 มีระดับคะแนนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq 0.05$) กับสัปดาห์ที่ 0 และจากตารางที่ 4.26 พบว่าระดับความเค็มของสัปดาห์ที่ 1 มีระดับความเค็มแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระดับความเค็มของสัปดาห์ที่ 0, 4, และ 8

ตารางที่ 4.25 การทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบของผู้บริโภคต่อข้าวกลิ้งกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังขียุคพัทลุงที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นระยะเวลา 2.5 นาทีโดยเก็บที่อุณหภูมิ 30 °C

ความชอบด้านต่างๆ	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)			
	0	1	4	8
ความชอบต่อสี ^{ns}	6.1±1.5	6.4±0.9	6.2±1.3	5.8±1.5
ความชอบต่อลักษณะการพองตัวของผงใจ้ก ^{ns}	5.7±1.4	5.9±1.2	5.9±1.5	5.4±1.6
ความชอบต่อความหนืดของผลิตภัณฑ์ ^{ns}	5.6±1.8	5.6±1.3	5.6±1.3	5.9±1.3
ความชอบต่อความชื้นของผลิตภัณฑ์ ^{ns}	5.9±1.3	5.5±1.5	5.7±1.3	5.3±1.4
ความชอบต่อรสเค็ม	4.9 ^{ab} ±1.5	5.5 ^a ±1.5	4.7 ^b ±1.5	4.6 ^b ±1.4
ความชอบต่อกลิ่นเครื่องปรุงรส ^{ns}	5.5±1.6	5.9±1.3	5.6±1.2	5.3±1.5
ความชอบโดยรวมต่อผลิตภัณฑ์	5.5 ^b ±1.6	6.2 ^a ±1.1	6.1 ^{ab} ±1.1	5.7 ^{ab} ±1.2

ตัวอักษร a, b, c, ... ที่ต่างกันตามแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$)

ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางที่ 4.26 การทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความเข้มของผู้บริโภคต่อข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังขี้หยดพัทลุงที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นระยะเวลา 2.5 นาทีโดยเก็บที่อุณหภูมิ 30 °C

ระดับความเข้มในด้านต่างๆ	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)			
	0	1	4	8
ระดับการพองตัวของผงใ้จ้ก ^{ns}	5.5±1.8	5.7±1.9	6.3±1.8	5.6±2.0
ระดับความหนืดของผลิตภัณฑ์ ^{ns}	5.9±1.9	5.7±1.3	6.0±1.6	5.5±1.7
ระดับความชื้นของผลิตภัณฑ์ ^{ns}	5.8±1.6	5.8±1.8	5.9±1.6	5.7±1.7
ระดับความเค็ม	3.5 ^b ±1.9	2.2 ^a ±1.8	3.2 ^b ±1.9	3.2 ^b ±1.7
ระดับกลิ่นแปลกปลอม ^{ns}	1.2±1.5	1.3±1.6	1.5±1.9	1.7±1.9

ตัวอักษร a, b, c, ... ที่ต่างกันตามแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$)

ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากผลการทดลองที่กล่าวมาพบว่าความชอบในด้านต่างๆของข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสตัวอย่างควบคุม และที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาที โดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 °C มีระดับคะแนนความชอบในด้านต่างๆ ไม่ต่ำกว่า 5 ตลอด 8 สัปดาห์แสดงว่าผู้บริโภคยอมรับผลิตภัณฑ์ตลอด 8 สัปดาห์ ดังนั้นผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสตัวอย่างควบคุมและที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาทีสามารถเก็บรักษาได้ไม่ต่ำกว่า 2 เดือนโดยผลิตภัณฑ์ยังเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

การอบแห้งข้าวเปลือกสังข์หยดพัทลุง และหน่วยเชื้อด้วยเทคนิคฟลูอิดไดเซชันร่วมกับไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 170 °C เป็นระยะเวลา 2.5, 3 และ 4 นาที จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวทั้ง 2 สายพันธุ์ไม่ว่าจะเป็นสมบัติด้านความเหนียวโดยแบ่งข้าวกล้องที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งจะมีค่า pasting temperature เพิ่มขึ้น แต่มีค่า setback breakdown final viscosity และ peak viscosity ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับแบ่งข้าวกล้องตัวอย่างควบคุม เมื่อนำแบ่งข้าวกล้องทั้ง 2 สายพันธุ์ไปวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างความเป็นผลึกพบว่า แบ่งข้าวกล้องทั้ง 2 สายพันธุ์มีการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างความเป็นผลึกโดยแบ่งข้าวกล้องที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งจะมีผลึกแบบวีเกิดขึ้น และระดับความเป็นผลึกลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับแบ่งข้าวกล้องตัวอย่างควบคุมทั้ง 2 สายพันธุ์ทั้งนี้ผลึกแบบวีแสดงถึงการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสกับไขมันในระหว่างกระบวนการอบแห้ง และเมื่อพิจารณาร้อยละต้นข้าวพบว่าร้อยละต้นข้าวของข้าวสารสังข์หยดพัทลุงมีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาในการอบแห้งนานขึ้น และมีร้อยละต้นข้าวต่ำกว่าข้าวสารสังข์หยดพัทลุงตัวอย่างควบคุม

นอกจากนี้การอบแห้งยังมีผลต่อการหุงต้มข้าวกล้องหัก และความสามารถในการคั้นตัวของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปทั้ง 2 สายพันธุ์โดยข้าวกล้องหักที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งจะมีความเหนียวหลังการหุงต้ม และความสามารถในการคั้นตัวต่ำทั้ง 2 สายพันธุ์ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสจะคัดเลือกจากระยะเวลาในการหุงต้มความสามารถในการคั้นตัว และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ จึงเลือกข้าวกล้องหักสังข์หยดพัทลุงตัวอย่างควบคุม และที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาทีมาพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรส เมื่อนำผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังข์หยดพัทลุงตัวอย่างควบคุม และที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาทีไปทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบพบว่า ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังข์หยดพัทลุงตัวอย่างควบคุม และที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาทีมีความชอบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ดังนั้นจึงนำผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังข์หยดพัทลุงตัวอย่างควบคุม และที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาทีไปศึกษาอายุการเก็บรักษาพบว่าทั้งผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังข์หยดพัทลุงตัวอย่างควบคุม และที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาที สามารถเก็บได้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลาไม่ต่ำกว่า 2 เดือน ทั้งนี้การศึกษาวิธีการทำแห้งทั้งสองเนื่องจากเพื่อเป็นประโยชน์ต่อระดับครัวเรือนและอุตสาหกรรม

เนื่องการตากแห้งเป็นวิธีที่ง่าย ต้นทุนต่ำ ส่วนการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นวิธีที่รวดเร็วและสามารถควบคุมภาวะการอบแห้งได้ง่ายกว่าการตากแห้ง

ข้อเสนอแนะ

เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวของข้าวสารหน่วยเชื้อควรวีเคราะห์ด้วยการวัดขนาดแต่ละเมล็ดเป็นจำนวน 100 เมล็ดเพื่อวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ต้นข้าว

การอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเทคนิคฟลูอิดไดเซชันร่วมกับไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิสูงเป็นระยะเวลาสั้นจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าว โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงของร้อยละผลึกแบบวี และร้อยละผลึกทั้งหมด รวมทั้งการเกิดขึ้นของการจัดเรียงตัวใหม่ของแอมิโลส ควรวีการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimeters (DSC) เพื่อยืนยันการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นการเปลี่ยนแปลงร้อยละผลึกทั้งหมด และการจัดเรียงตัวใหม่ของแอมิโลส รวมทั้งวิเคราะห์ค่า GI เพื่อยืนยันว่าการเกิดขึ้นของผลึกแบบวีสามารถลดค่า GI ได้ รวมทั้งควรวีวิเคราะห์ร้อยละผลึกแบบวี ร้อยละผลึกทั้งหมดและวิเคราะห์ค่า GI ของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป เพื่อยืนยันการมีอยู่ของร้อยละผลึกแบบวี และผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีค่า GI ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปที่เป็นตัวอย่างควบคุม

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. 2550. เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- กชกร ภูไพบูลย์ สมชาติ ไสภณรณฤทธิ์ และวารุณ เตีย. 2546. เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกพัลฟ์ฟลูอิดไชน์เบด. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย, วันที่ 13-14 มีนาคม 2546 ณ เค ยู โสม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- จรัสพรรณ ดันหยง. 2544. การพัฒนาผลิตภัณฑ์จากข้าวกล้องผสมกับสำเร็จรูป. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต สาขาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- จันวิภา ภูรินทร์. 2551. ผลของวิธีการอบแห้ง อุณหภูมิ และปริมาณแอมิโลสต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและความคงทนของเมล็ดข้าวสาร. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชัยวัฒน์ รัตนมีชัยสกุล สมเกียรติ ปรัชญาวรรการ และสมชาติ ไสภณรณฤทธิ์. 2554. ผลของเทคนิคฟลูอิดไชน์เบดแบบอากาศร้อนขึ้นต่อคุณภาพของข้าวกล้องหนึ่งสุภาพ. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 42 (กันยายน-ธันวาคม 2554): 561-564.
- ณัฐินี ตั้งศรีอนุกุล. 2551. ผลของวิธีการทำแห้งและภาวการณ์เก็บรักษาต่อปริมาณของสารกลุ่มฟีนอลิกและฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารสกัดจากข้าวกล้องหอมมะลิแดง *Oryza sativa* L. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ณัฐโสภิต ทองประไพ. 2551. สมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวเจ้าจากข้าวเปลือกที่ทำแห้งโดยวิธีการต่างกันและการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ดลฤดี ใจสุทธิ และสมชาติ ไสภณรณฤทธิ์. 2554. อิทธิพลของอุณหภูมิอบแห้งและเวลาการเก็บในที่อับอากาศที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงค่า Glycemic index ของแป้งข้าวกล้อง. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 42 (กันยายน-ธันวาคม 2554): 609-612.

- พยุงค์ศักดิ์ ท่าไม้สุข. 2546. การอบแห้งข้าวสุกเพื่อผลิตเป็นข้าวกึ่งสำเร็จรูป. วิทยานิพนธ์ปริญญา
มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าธนบุรี.
- ไพโรจน์ นิรันทรพุทธา. 2539. การผลิตอาหารเข้าธัญชาติเสริมใยอาหารจากรำสกัด. วิทยานิพนธ์
ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะ
วิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นริเทพ เรื่องทิพย์. 2544. ใ้ก้กทูน่ากึ่งสำเร็จรูป. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต (ผลิตภัณฑ์
ประมง) สาขาผลิตภัณฑ์ประมง ภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นิตยา รัตนานนท์. 2549. เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.
- นิรนาม. 2551. แผนงานฐานทรัพยากรอาหาร, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ.
มหัศจรรย์ พันธุ์ข้าวพื้นบ้าน คุณค่าทางโภชนาการของสายพันธุ์ข้าวท้องถิ่น. มหกรรม
สมุนไพรแห่งชาติครั้งที่ 5. “ข้าวไทย ชีวิตไทย ชีวิตโลก” ระหว่างวันที่ 3-7 กันยายน 2551
ณ อิมแพค เมืองทองธานี.
- ปัทมา เล้าประเสริฐ. 2552. ผลของการเก็บข้าวในถังแบบมีการเป่าอากาศต่อสมบัติทางเคมี
กายภาพและคุณภาพของข้าวเหนียวพันธุ์ กข6. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปรานอม ขาวเมฆ. 2549. คู่มือหลักสูตรเข้มข้นการวิเคราะห์โดยใช้ Fourier transform infrared
spectrometer. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ภัทราพร คำผล, ศศิวิมล จิตรากร, ปวีณา น้อยทัพ และเหรียญทอง สิงห์จางูสงค์. 2553. สมบัติ
ทางกายภาพและเคมีของข้าวชัณษาท 1 และพิษณุโลก 2 ที่ผสมกับข้าวปทุมธานี 1 และกข
6 ก่อนหุงต้ม. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 41(กันยายน-ธันวาคม 2553): 113-116.
- ยุวเรศ มลิลดา. 2550. ผลของวิธีการอบแห้งและภาวะการเก็บรักษาต่อคุณภาพของข้าวกล้องหอม
มะลิแดง *Oryza sativa* L. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทาง
อาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วรรณดา ตูลย์ธัญ. 2549. เคมีอาหารของคาร์โบไฮเดรต. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร:
สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- วนิดา เทวารุทธิ์. 2550. ฤทธิ์ด้านออกซิเดชันของสารสกัดจากข้าวเหนียวดำ. วิทยานิพนธ์ปริญญา
มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะ
วิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วิภาวดี สังกัดกิจ. 2547. ผลของการเตรียมข้าวและการอบแห้งที่มีต่อคุณภาพของข้าวกล้องสำเร็จรูป.
วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- วีไล รัชสาดทอง. 2547. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร: เท็กซ์
แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น.
- สมคิด โฆษิตพันธุ์วงศ์. 2549. อิทธิพลของเวลาและอุณหภูมิของการแช่ที่มีผลต่อการผลิตข้าวหนึ่ง
โดยใช้เทคนิคฟลูอิดิเซชันที่ใช้ไอน้ำร้อนนวดยึ่ง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขา
วิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- สมชาติ ไสภณภณฤทธิ์. 2540. การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท. พิมพ์ครั้งที่ 7.
กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2529. แป้งข้าวเจ้า. มอก. 638-2529.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2547. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนใจักข้าวกล้องกึ่ง
สำเร็จรูป. มผช. 689/2547.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2548. ใจักกึ่งสำเร็จรูป. มอก. 315-2548.
- สำเร็จ แซ่ตัน. ศูนย์วิจัยข้าวพัทลุง. 2550. ข้าวสังข์หยดพัทลุง. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา:
http://ptl.brrd.in.th/web/images/stories/news/s_yod.pdf [2555, มีนาคม 6]
- ศูนย์วิจัยข้าวพัทลุง. 2550. ข้าวเพื่อสุขภาพ : พันธุ์สังข์หยดพัทลุง [ออนไลน์]. แหล่งที่มา:
http://ptl.brrd.in.th/web/images/stories/news/s_yod5.pdf [2555, มีนาคม 6]
- ศูนย์วิจัยข้าวอุบลราชธานี. 2552. ข้าวพื้นเมืองยังคงอยู่กับเรา [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://ubn-rrc.ricethailand.go.th/document/jarunjit/conserv/conserv.htm> [2555, มีนาคม 6]
- อรอนงค์ นัยวิกุล. 2550. ข้าว : วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร:
สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- โสภา วัชรคุปต์. 2549. สารต้านอนุมูลอิสระ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: พี.เอส.พี.รินทร์.

ภาษาอังกฤษ

- AACC. 1995 Approved method of the American association of cereal chemistry. 9th ed. St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists, AACC.
- Anonymous. 2012. Retrogradation of Starch Molecules [Online]. Available from <http://www.landfood.ubc.ca/>. [2012, March 5].
- AOAC. 2000. Official Methods of Analysis of AOAC International. 17th ed. AOAC International, Gaithersburg, Maryland.
- Bacteriological Analytical Manual (BAM). 2001. Chapter 4 Enumeration of *Escherichia coli* and the Coliform Bacteria [online]. Available: <http://www.fda.gov/Food/ScienceResearch/LaboratoryMethods/BacteriologicalAnalyticalManualBAM/ucm064948.htm> [2012, March 5]
- Bacteriological Analytical Manual (BAM). 2001. Chapter 18 Yeasts, Molds and Mycotoxins [Online]. Available: <http://www.fda.gov/Food/ScienceResearch/LaboratoryMethods/BacteriologicalAnalyticalManualBAM/ucm071435.htm>. [2012, March 5]
- Becker, A., Hill, S., and Mitchell, J. 2001. Relevance of amylose-lipid complexes to the behaviour of thermally processed Starches. Starch/Stärke. 53 : 121-130.
- Belton, P. 2007. The chemical physics of food. 1st ed. Oxford: Blackwell Publishing.
- Bemiller, J.N. and Huber, K.C. 2008. Carbohydrates. In Damodaran, S., Parkin, K. and Fennema, O.R. (eds.), Fennema's food chemistry, pp. 83-164. Great Britain: Taylor & Francis Group
- Blazek, J. and Copeland, L. 2008. Pasting and swelling properties of wheat flour and starch in relation to amylose content. Carbohydrate Polymers. 71: 380-387.
- Bul on, A., Colonna, P., Planchot, V. and Ball, S. 1998. Starch granule structure and biosynthesis. International Journal of Biological Macromolecules. 23 : 85-112.
- Butsat, S. and Siriamornpun, S. 2010. Antioxidant capacities and phenolic compounds of the husk, bran and endosperm of Thai rice. Food Chemistry. 119: 606-613.
- Chrastil, J. and Zarins, Z.M. 1992. Influence of storage on peptide subunit composition of rice oryzenin. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 40:927-930.

- Chung, H., Liu, Q. and Hoover, R. 2010. Effect of single and dual hydrothermal treatments on the crystalline structure thermal properties and nutritional fractions of pea lentil and navy bean starches. Food Research International. 43: 501-508.
- Crossen, A., Jiménez, M. and Siebenmorgen, T. 2003. Rice fissuring response to high drying and tempering temperature. Journal of Food Engineering. 59: 61-69.
- David, P. 1976. The Chemical analysis of foods. 7th ed. New York: Chemical Publishing.
- Del Caro, A., Piga, A., Pinna, I., Fenu, P. and Agabbio, M. 2004. Effect of drying conditions and Storage Period on Polyphenolic Content, Antioxidant Capacity, and Ascorbic Acid of Prunes. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 52: 4780-4784.
- Derycke, V., Vandeputte, G.E., Vermeulen, R., Man, W., Goderis, B., Koch, M. and Delcour, J.A. 2005a. Starch gelatinization and amylase-lipid interactions during rice parboiling investigated by temperature resolved wide angle X-ray scattering and differential scanning calorimetry. Journal of Cereal Science. 42: 334-343.
- Derycke, V., Vandeputte, G.E., Veraverbeke, W.S., Man, W., Hosney, R.C. and Delcour, J.A. 2005b. Impact of proteins on pasting and cooking properties of nonparboiled and parboiled Rice. Cereal Chemistry. 82(4): 468-474
- Delcour, J and Hosney, R. 2010. Principles of cereal science and technology. 3rd ed. AACC International.
- Dimberg, L., Molteberg††, E., Solheim†, R. and Frølich†§w. 1996. Variation in oat groats due to variety, storage and heat treatment. I: phenolic compounds. Journal of Cereal Science. 24: 263-272.
- Elliott, J. R. and Lira, C. T. 1998. Introductory chemical engineering thermodynamics. USA. Prentice Hall PTR.
- Eliasson, A. 2006. Carbohydrates in food. 2nd ed. USA: Taylor & Francis Group.
- Fennema, O. 1996. Food Chemistry. 3th ed. USA: Marcel Dekker.
- Godber, J. S. and Juliano, B. O. 2006. Rice lipids. In Champagne, E. T. (ed.), Rice : Chemistry and technology, pp.163-190. USA: American association of cereal chemists, Inc.

- Grist, D. 1986. Rice. 6th ed. New York: Longman.
- Haralampu, S.G. 2000. Resistant starch-a review of the physical properties and biological impact of RS₃. Carbohydrate Polymers. 41: 285-292.
- Horndok, R. and Noomhorm, A. 2007. Hydrothermal treatments of rice starch for improvement of rice noodle quality. LWT. 40: 1723-1731.
- Imoudu, P. and Olufayo, A. 2000. The effect of sun-drying on milling yield and quality of rice. Bioresource Technology. 74: 267-269.
- Iyota, H., Nishimura, N., Nomura, T., Konishi, Y. and Yoshida, K. 2002. Effect of initial steam condensation on color changes of potatoes during drying in superheated steam. Proceedings of the 13th International Drying Symposium. Beijing, China, 27-30 August. Vol. B. pp.1352-1359.
- Jacobs, H. and Delcour, J. A. 1998. Hydrothermal modifications of granular starch with retention of the granular structure a review. Journal of Agricultural and Food Chemistry. Vol. 46, No 8. 2895-2905.
- Jaiboon, P., Prachayawarakorn, S., Devahastin, S. and Soponronnarit, S. 2009. Effects of fluidized bed drying temperature and tempering time on quality of waxy rice. Journal of Food Engineering. 95: 517-524.
- Jaiboon, P., Prachayawarakorn, S., Devahastin, S., Tungtrakul, P. and Soponronnarit, S. 2011. Effect of high-temperature fluidized-bed drying on cooking textural and digestive properties of waxy rice. Journal of Food Engineering. 105: 89-97.
- Jaisut, D., Prachayawarakorn, S., Varayanond, W., Tungtrakul, P. and Soponronnarit, S. 2008. Effects of drying temperature and tempering time on starch digestibility of brown fragrant rice. Journal of Food Engineering. 86: 251-258.
- Jane, J., Chen, Y.Y., Lee, L.F., McPherson, A.E., Wong, K.S., Radosavljevic, M. and Kasemsuwan, T. 1999. Effects of amylopectin branch chain length and amylose content on the gelatinization and pasting properties of starch. Cereal Chemistry. 76(5):629-637.

- Jiranuntakul, W., Puttanlek, C., Rungsardthong, V., Puncha-arnon, S. and Uttapap, D. 2011. Microstructural and physicochemical properties of heat-moisture treated waxy and normal starches. Journal of Food Engineering. 104: 246-258.
- Juliano, B.O. 1985. Critical and testing for qualities, 441-542. In B.O. Juliano (ed.). Rice : Chemistry and Technology. American Association of Cereal Chemistry. St. Paul, Inc., Minnessota.
- Kayitesi, E., Kock, H., Minnaar, A. and Duodu, K. 2012. Nutritional quality and antioxidant activity of marama-sorghum composite flours and porridges. Food Chemistry. 131: 837-842.
- Khunae, P., Tran, T. and Sirivongpaisal, P. 2007. Effect of heat moisture treatment on structural and thermal properties of rice starches differing in amylase content. Starch/Stärke. 59: 593-599.
- Kyoung Ju, H., Chung, H., Hong, S., Park, J., Lee, J. and Kwon, S. 2010. Effect of steam treatment on soluble phenolic content and antioxidant activity of the chaga mushroom (*Inonotus obliquus*). Food Chemistry. 119: 619-625.
- Laokuldilok, T., Shoemaker, C.F., Jongkaewwattana, S. and Tulyathan, V. 2011. Antioxidants and antioxidant activity of several pigmented rice brans. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 59: 193-199.
- Li, Y., Shoemaker, C.F., Ma, J., Moon, K.J. and Zhong, F. 2008. Structure-viscosity relationships for starches from different rice varieties during heating. Food chemistry. 106: 1105-1112.
- Li, S., Ward, R. and Gao, Q. 2011. Effect of heat-moisture treatment on the formation and physicochemical properties of resistant starch from mung bean (*Phaseolus radiates*) starch. Food Hydrocolloids. 25: 1702-1709.
- Luh, B., Roberts, R. and Li, C. 1980. Quick-cooking, In Rice : Production and Utilization, The AVI Publishing, Conneticut, pp. 566-586
- Man, D. and Jones, A. 2000. Shelf-life Evaluation of Foods. 2nd ed. USA: Aspen Publishers.

- Mcclements, D.J. and Decker, E. A. 2008. Lipids. In Damodaran, S., Parkin, K. and Fennema, O.R. (eds.), Fennema's food chemistry, pp.155-216. Great Britain: Taylor&Francis Group.
- Meilgaard, M., Civille, G. and Carr, T. 2007. Sensory evaluation techniques. 4th ed. Boca Raton: Taylor & Francis.
- Miranda, M., Vega-Gálvez, A., López, J., Parada, G., Sanders, M., Aranda, M., Uribe, M. and Scala, K. 2010. Impact of air-drying temperature on nutritional properties total phenolic content and antioxidant capacity of quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd.). Industrial Crops and Products. 32: 258-263.
- Na Nakorn, K., Tongdang, T. and Sirivongpaisal, P. 2009. Crystallinity and rheological properties of pregelatinized rice starches differing in amylose content. Starch/Stärke. 61:101-108.
- Noosuk, P., Hill, S., Pradipasena, P. and Mitchell, J. 2003. Structure-viscosity relationships for Thai Rice Starches. Starch/Stärke. 55: 337-344.
- Noranizan, M.A., Dzulkifly, M.H. and Russly, A.R. 2010. Effect of heat treatment on the physic-chemical properties of starch from different botanical sources. International Food Research Journal.17: 127-135.
- Pérez-Jiménez, J. and Saura-Calixto, F. 2005. Literature data may underestimate the actual antioxidant capacity of cereals. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 53: 5036-5040.
- Poomsa-ad, N., Terdyothin, A., Prachayawarakorn, S. and Soponronnarit, S. 2005. Investigations on head-rice yield and operating time in the fluidized-bed drying process: experiment and simulation. Journal of Stored Products Research. 41: 387-400.
- Ramírez-Jiménez, A., Guerra-Hernández, E. and García-Villanova, B. 2003. Evolution of non-enzymatic browning during storage of infant rice cereal. Food Chemistry. 83: 219-225.

- Rordprapat, W., Nathakaranakule, A., Tia, W. and Soponronnarit, S. 2005. Comparative study of fluidized bed paddy drying using hot air and superheated steam. Journal of Food Engineering. 71: 28-36.
- Schwartz, S.J., Elbe, J.H. and Giusti, M.M. 2008. Colorants. In Damodaran, S., Parkin, K. and Fennema, O.R. (eds), Fennema's food chemistry, pp. 571-638. Great Britain: Taylor&Francis Group.
- Scoch, T.J. 1967. Swelling power and solubility of granular starch. In R. L. Whisler, R. J. Smith and J.N. Bemiller (eds). Method in Carbohydrate Chemistry Vol. IV. Academic Press, New York.
- Shahidi, F. and Naczk, M. 2004. Phenolics in food and nutraceuticals. USA. CRC Press LLC.
- Shen, Y., Jin, L., Xiao, P., Lu, Y. and Bao, J. 2009. Total phenolics flavonoids antioxidant capacity in rice grain and their relations to grain color size and weight. Journal of Cereal Science. 49: 106-111.
- Singh, H., Chang, Y.H., Lin, J., Singh, N. and Singh, N. 2011. Influence of heat-moisture treatment and annealing on functional properties of sorghum starch. Food Research International. 44: 2949-2954.
- Steele, R. 2004. Understanding and measuring the shelf-life of food. 1st ed. England: TJ International Limited.
- Sompong, R., Siebenhandl-Ehn, S., Linsberger-martin, G. and Berghofer, E. 2011. Physicochemical and antioxidative properties of red and black rice varieties from Thailand, China and Sri Lanka. Food Chemistry. 124: 132-140.
- Soponronnarit, S., Wetchacama, S., Swasdisevi, T. and Poomsa-ad, N. 1999. Managing moist paddy by drying, tempering and ambient air ventilation. Drying Technology-An International Journal. 17(1&2): 335-344.
- Soponronnarit, S., Nathakaranakule, A., Jirajindalert, A. and Taechapairoj, C. 2006. Parboiling brown rice using super heated steam fluidization technique. Journal of Food Engineering. 75: 423-432 .

- Soponronnarit, S., Chiawwet, W., Prachayawarakorn, S., Tungtrakul, P. and Taechapairoj, C. 2008. Comparative study of physicochemical properties of accelerated and naturally aged rice. Journal of Food Engineering. 85: 268-276.
- Sosulski, F., Krygier, K. and Hogge, L. 1982. Free, esterified, and insoluble-bound phenolics acid. 1. Extraction and Purification. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 30: 330-334
- Srisang, N., Varayanond, W., Soponronnarit, S. and Prachayawarakorn, S. 2011. Effects of heating media and operating conditions on drying kinetics and quality of germinated brown rice. Journal of Food Engineering. 107: 385-392.
- Swasdisevi, T., Sriariyakula, W., Tia, W. and Soponronnarit, S. 2010. Effect of pre-steaming on production of partially-parboiled rice using hot-air fluidization technique. Journal of Food Engineering. 96: 455-462.
- Taechapairoj, C., Dhuchakallya, I., Soponronnarit, S., Wetchacama, S. and Prachayawarakorn, S. 2003. Superheated steam fluidized bed paddy drying. Journal of Food Engineering. 58: 67-73.
- Taechapairoj, C., Prachayawarakorn, S. and Soponronnarit, S. 2004. Characteristics of rice dried in superheated-steam fluidized-bed. Drying Technology. Vol.22. 4pp. 719-743.
- Tananuwong, K. and Tewaruth, W. 2010. Extraction and application of antioxidants from black glutinous rice. LWT-Food Science and Technology, 43: 476-481.
- Tang, S., Hettiarachchy, Z., Ju, Z. and Cnossen, A. 2002. Surface hydrophobicity and protein cross-linking in rice subjected to varying drying and tempering conditions. JFS: Food Chemistry and Toxicology. Vol. 67. pp.2930-2933.
- Taweerattanapanish, A., Soponronnarit, S., Wetchakama, S., Kongseri, N. and Wongpiyachon, S. 1999. Effects of drying on head rice yield using fluidization technique. Drying technology. 17(1&2): 345-353.
- Taub, I. and Paul Singh, R. 1997. Food storage stability. USA: CRC Press LLC

- Tirawanichakul, S., Prachayawarakorn, S., Varayanond, W., Tungtrakul, P. and Soponronnarit, S. 2004. Effect of fluidized bed drying temperature on various quality attributes of paddy. Drying Technology. Vol. 22. 7pp. 1731-1754.
- Varavinit, S., Shobsngob, S., Varayanond, W., Chinachoti, P. and Naivikul, O. 2003. Effect of amylose content on gelatinization, retrogradation and pasting properties of flours from different cultivars of Thai Rice. Starch/Stärke. 55: 410-415.
- Vega-Gálvez, A., Scala, K., Rodriguez, K., Lemus-Mondaca, R., Miranda, M., López, J. and Perez-Won, M. 2009. Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties, antioxidant capacity, colour and total phenolic content of red pepper. Food Chemistry. 117: 647-653.
- Wei, C., Qin, F., Zhou, W., Xu, B., Chen, C., Chen, Y., Wang, Y., Gu, A and Liu, Q. 2011. Comparison of the crystalline properties and structural changes of starches from high-amylose transgenic rice and its wild type during heating. Food Chemistry. 128: 645-652.
- Wiset, L., Szrednicki, G., Wootton, M., Driscoll, R. and Blakeney, A. 2005. Effects of high-temperature drying on physicochemical properties of various cultivars of rice. Drying Technology. 23: 2227-2237.
- Wolever, M., Jenkins, D., Jenkins, A. and Josse, R. 1991. The glycemic index : methodology and clinical implications. The American Journal of Clinical Nutrition. 54: 846-854.
- Wu, Y., Chen, Z., Li, X. and Li, M. 2009. Effect of tea polyphenols on the retrogradation of rice starch. Food Research International. 42: 221-225.
- Wu, Y., Chen, Z., Li, X. and Wang, Z. 2010. Retrogradation properties of high amylose rice flour and rice starch by physical modification. LWT-Food Science and Technology. 43: 492-497.
- Zavareze, E. R., Storck, C. R., Castro, L. A. S., Schirmer, M. A. and Dias, A. R. G. 2010. Effect of heat moisture treatment on rice starch of varying amylose content. Food Chemistry. 121: 358-365.

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

Zielinski, H. Kozłowska, H. and Lewczuk, B. 2001. Bioactive compounds in the cereal grains before and after hydrothermal processing. Innovation Food Science & Emerging Technologies. 2: 159-169.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์

ก.1 วิธีการปรับความชื้นข้าวเปลือก (Rewetting)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ตู้อบลมร้อน (Heraeus รุ่น ST 5042, Germany)
2. ตู้เย็นควบคุมอุณหภูมิ 4 °C

วิธีการทดลอง

1. หาความชื้นของข้าวเปลือก
2. คำนวณปริมาณน้ำที่ต้องเติมลงไปให้ข้าวตามสูตร ดังนี้

$$W_w = W_f - W_i \quad \text{————— (1)}$$

$$W_f = W_i \left[\frac{1 - MC_i}{1 - MC_f} \right] \quad \text{————— (2)}$$

เมื่อ W_w คือ ปริมาณน้ำที่ต้องเติมลงไป (กรัม)

W_f คือ น้ำหนักเมล็ดข้าวและน้ำหนักน้ำ (กรัม)

W_i คือ น้ำหนักเมล็ดข้าวเริ่มต้น (กรัม)

MC_i คือ ความชื้นของข้าวเปลือกเริ่มต้น (%wb/100)

MC_f คือ ความชื้นของข้าวเปลือกที่ต้องการ (%wb/100)

3. เติมน้ำลงในข้าวเปลือกตามปริมาณที่คำนวณได้จากข้อ 2
4. คลุกเคล้าข้าวเปลือกและน้ำให้ทั่วถึงกัน
5. เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C และนำข้าวเปลือกออกมาคลุกเคล้าทุกวันเป็นเวลา 7 วัน เพื่อให้ข้าวเปลือกทั้งหมดมีความชื้นเท่ากัน

ก.2 การวิเคราะห์ร้อยละต้นข้าว

ซึ่งนำหนักข้าวขาวที่ได้จากการขัดสีแล้ว ซึ่งเป็นเมล็ดข้าวขาวที่มีความยาวมากกว่า 80% ของข้าวเต็มเมล็ด

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องกะเทาะเปลือกชนิดลูกกลิ้งยาง (Jircas, Japan)
2. เครื่องขัดขาวชนิดหินขัด (Jircas, Japan)
3. เครื่องคัดขนาดเมล็ดข้าว (Jircas, Japan)
4. เครื่องชั่งตวงวัด 2 ตำแหน่ง (Sartorius รุ่น CP320S, Germany)

วิธีการทดลอง

1. ทำความสะอาดข้าวเปลือก เพื่อเอาสิ่งเจือปนต่างๆ ออก
2. ชั่งน้ำหนักข้าวเปลือกที่ทำความสะอาดแล้วตัวอย่างละ 250 กรัม แล้วบันทึกค่าไว้
3. นำข้าวเปลือกมากะเทาะเปลือกด้วยเครื่องกะเทาะเปลือกจนเปลือกหลุดออกหมด
4. ชั่งน้ำหนักข้าวกล้องที่ได้จากการกะเทาะเปลือกออกแล้วบันทึกค่าไว้
5. นำข้าวกล้องมาขัดขาวด้วยเครื่องขัดขาวชนิดหินขัด เป็นเวลา 45 วินาที ทิ้งข้าวสารไว้ให้เย็น
6. ชั่งน้ำหนักข้าวสารที่ได้จากการขัดขาวแล้วบันทึกค่าไว้
7. นำข้าวสารที่ได้ทั้งหมดไปแยกส่วนที่เป็นข้าวตัน และข้าวหักออกจากกันด้วยเครื่องคัดขนาดเมล็ดข้าว
8. ชั่งน้ำหนักต้นข้าวที่ได้แล้วบันทึกค่าไว้
9. นำค่าน้ำหนักที่ได้ไปคำนวณร้อยละข้าวตัน


$$\text{ร้อยละข้าวตัน} = \frac{\text{น้ำหนักต้นข้าว}}{\text{น้ำหนักข้าวเปลือก}} \times 100 \quad \text{————— (3)}$$

ก.3 การวัดค่าดัชนีความขาว

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่อง Chroma meter (Minolta Chroma Meter CR300)

วิธีการทดลอง

1. กดปุ่ม ON และกดปุ่ม All DATA กดค้างไว้จนหน้าจอเครื่องมือข้อความขึ้นมา
2. กดปุ่ม enter
3. กดปุ่ม index set แล้วเลือกแหล่งแสงโดยกดปุ่ม  ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งเจอแหล่งแสง D65 บนหน้าจอ

4. กดเลือกแหล่งแสง D65 โดยใช้ปุ่ม \Rightarrow แล้วกดปุ่ม enter
5. กดปุ่ม calibrate แล้วใส่ค่า Y, x, y (Y = 93.2, x = 0.3157, y = 0.3321)
6. วางหัววัดลงบนแผ่นสีมาตรฐาน (สีขาว) แล้วกดปุ่มที่หัววัด 1 ครั้ง เครื่องจะวัด 3 ครั้ง
7. กดปุ่ม color space
8. นำเมล็ดข้าวสารประมาณ 3-4 กรัม เกลี่ยลงบนกระดาษขาว
9. วางหัววัดบนเมล็ดข้าวสารให้แนบสนิท กดปุ่มที่หัววัด 1 ครั้ง
10. เครื่องจะแสดงค่า L^* a^* และ b^* ที่วัดได้
11. เมื่อวัดแต่ละตัวอย่างเสร็จแล้ว สามารถหาค่าเฉลี่ย ค่ามากที่สุด น้อยสุด และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานได้ โดยกดปุ่ม statistic แล้วกดปุ่ม enter เครื่องจะพิมพ์ผลทางสถิติออกมา
12. ก่อนวัดตัวอย่างต่อไปกดปุ่ม all data clear และกดปุ่ม enter เพื่อลบข้อมูลเก่าออก
13. นำค่า L^* a^* และ b^* ที่วัดได้ มาคำนวณหาค่าดัชนีความขาวดังนี้

$$\text{Whiteness Index (WI)} = 100 - [(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}]^{1/2} \quad \text{--- (4)}$$

ก.4 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (AOAC, 2000)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ชุดหลอดย่อย
2. เครื่องย่อยและเครื่องกลั่นหาไนโตรเจน
3. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo รุ่น AB204, Switzerland)
4. อุปกรณ์เครื่องแก้ว

สารเคมี

1. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 35% เตรียมโดยชั่ง NaOH หนัก 350 กรัม ละลายในน้ำกลั่นเติมลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 1000 มิลลิลิตร เก็บในภาชนะพลาสติก
2. สารละลาย Bromocresol green เตรียมโดยชั่ง Bromocresol green หนัก 0.1 กรัม ละลายในเอทานอล 100 มิลลิลิตร
3. สารละลาย Methyl red เตรียมโดยชั่ง Methyl red หนัก 0.1 กรัม ละลายในเอทานอล 100 มิลลิลิตร
4. สารละลายอินดิเคเตอร์ เตรียมโดยนำสารละลายในข้อ 2 และ 3 มาผสมกัน

5. สารละลายกรดบอริก (H_3BO_3) เข้มข้น 4% เตรียมโดยชั่ง H_3BO_3 40 กรัม ในน้ำกลั่น ประมาณ 500 มิลลิลิตร แล้วให้ความร้อน ต้มและคนจนละลายหมด ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นที่ร้อนจนได้ปริมาตรประมาณ 800 มิลลิลิตร ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 1 ลิตร

6. สารละลายกรดมาตรฐาน 0.1 M HCl เตรียมโดยตวงสารละลาย HCl เข้มข้น 37% มา 8.2 มิลลิลิตร เจือจางด้วยน้ำกลั่นเทลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตรแล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 1000 มิลลิลิตร

Standardize: ชั่ง Na_2CO_3 ประมาณ 5 กรัมบดให้ละเอียดอบไว้ที่อุณหภูมิ $265^\circ C$ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หรือที่ $200^\circ C$ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นในเดสิเคเตอร์เทใส่ในขวดที่มีฝาปิดแล้วเก็บไว้ในเดสิเคเตอร์

ชั่ง Na_2CO_3 ที่อบแล้วจากข้างต้นมาประมาณ 0.13 กรัม ใส่ในขวดลูกชมพู่เติมน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร และหยดอินดิเคเตอร์ลงไปประมาณ 5 หยด แล้วไตเตรทด้วยสารละลาย HCl จนสารละลายในขวดลูกชมพู่เปลี่ยนเป็นสีชมพู จุดปริมาตรของสารละลาย HCl ที่ใช้ไตเตรท (a1) นำสารละลายในขวดลูกชมพู่ไปต้มให้เดือด 2-3 นาที ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง (ขณะนี้สารละลายจะมีสีเขียว) แล้วไตเตรทด้วยสารละลาย HCl ต่อจนได้สีชมพูอีกครั้ง บันทึกปริมาตรสารละลาย HCl ที่ใช้ไตเตรท(a2) คำนวณความเข้มข้นของสารละลาย HCl ได้ดังนี้

$$HCl \left(\frac{\text{mol}}{L} \right) = \frac{2000 \times \text{น้ำหนักที่แน่นอนของ } Na_2CO_3}{\text{น้ำหนักโมเลกุลของ } Na_2CO_3 \times (a1+a2)} \quad \text{—————(7)}$$

วิธีการทดลอง

การย่อย

1. ชั่งแบ่งข้าวกลิ้งองให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 2 กรัม ลงบนกระดาษกรองเบอร์ 42 ใส่ลงในหลอดย่อย

2. ชั่ง $CuSO_4$ นึก 0.5 กรัม และ K_2SO_4 นึก 10 กรัม ลงในหลอดย่อย

3. เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้นปริมาตร 20 มิลลิลิตร ลงในหลอดย่อย

4. ทำ blank โดยใช้น้ำกลั่น 2 มิลลิลิตรแทนตัวอย่าง แล้วเติมสารตามข้อ 2 และ 3

5. ตั้งหลอดย่อยใน stand สวม exhaust manifold ลงบนส่วนของหลอดย่อย และเปิดเครื่องดักจับกรด

6. ตั้ง stand, หลอดย่อย และ exhaust ลงบนเตาย่อยเปิดไฟเบอร์ 8 ย่อยจนได้สาร

ละลายสีเขียวอ่อนใส

7. ยกออกจาก stand พร้อมหลอดย่อย และ exhaust มาตั้งไว้ข้างๆ ทิ้งให้เย็น
8. ปิดเตาย่อย แต่ยังคงเปิดเครื่องดักจับไอกรดอยู่ เพื่อดักจับไอกรดที่ยังมีอยู่ในหลอด
9. นำหลอดย่อยมาตั้งที่ตู้ควันทึมน้ำกลั่นปริมาตร 50 มิลลิลิตรลงในหลอดย่อย

การกลั่นและวิเคราะห์ปริมาณ

10. เปิดน้ำเข้าเครื่องกลั่น
11. คู่เครื่องกลั่นโดยเติมน้ำในหลอดย่อยประมาณ $\frac{3}{4}$ ของหลอดนำหลอดเข้าเครื่องกลั่นพร้อมทั้งวางขวดลูกผสมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตรที่ฐานกด start เมื่ออุ่นเสร็จนำหลอดย่อยและขวดลูกผสมพู่ออก
12. Distillation กด enter เพื่อตั้งค่า Delay = 0.00 , Distance เลือก time ใช้เวลาในการกลั่น 5 นาที, steam 100
13. ต่อก่อนน้ำเข้ากับถังน้ำกลั่น และต่อท่อต่างเข้ากับสารละลาย NaOH ที่เตรียมไว้
14. นำขวดลูกผสมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตรที่เติมสารละลายกรดบอริกเข้มข้น 4% ปริมาตร 50 มิลลิลิตร และหยดอินดิเคเตอร์ 1-2 หยด วางที่ฐานใส่ตัวอย่าง
15. นำหลอดย่อยที่มีตัวอย่าง และเติมน้ำกลั่นแล้วมาต่อเข้ากับเครื่องกลั่น กด start เพื่อเริ่มการกลั่น ในระหว่างการกลั่นจะเกิดแอมโมเนีย และแอมโมเนียที่เกิดขึ้นจะถูกจับไว้ด้วยสารละลายกรดบอริกได้สารละลายสีเขียวในขวดลูกผสมพู่
16. เมื่อกลั่นเสร็จนำขวดลูกผสมพู่ และหลอดย่อยออกจากเครื่องกลั่น
17. นำสารละลายสีเขียวในขวดลูกผสมพู่มาไตเตรทด้วยสารละลาย HCl ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล จนได้สารละลายสีม่วงแดง จดปริมาตรสารละลาย HCl ใช้ในการไตเตรทไปคำนวณหาปริมาณโปรตีนดังนี้

$$\%N = \frac{14 \times (A1 - A2) \times \text{normality of HCl} \left(\frac{\text{mol}}{\text{L}}\right)}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (มิลลิกรัม)}} \quad \text{--- (8)}$$

เมื่อ A1 = ปริมาตรของสารละลาย HCl ที่ใช้ไตเตรทตัวอย่าง

A2 = ปริมาตรของสารละลาย HCl ที่ใช้ไตเตรท blank

เมื่อได้ค่า ร้อยละ N นำมาคำนวณปริมาณโปรตีนโดยใช้การคำนวณดังนี้

$$\% \text{Protein} = \% \text{N} \times 5.95 \quad (\text{เป็น factor สำหรับตัวอย่างที่เป็นแป้งข้าว}) \quad \text{—————} \quad (9)$$

ก.5 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (AOAC, 2000)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ถ้วยกระเบื้องเคลือบ (crucible)
2. เตาเผา (muffle)
3. เดสิเคเตอร์ (desicator)
4. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo รุ่น AB 204, Switzerland)

วิธีการทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างประมาณ 2 กรัม ในถ้วยกระเบื้องเคลือบ ที่เผาและชั่งน้ำหนักแน่นอน
 2. นำตัวอย่างไปเผาบน hot plate หรือเปลวไฟ จนหมดควัน (เพื่อเผาส่วนที่เป็นสารประกอบอินทรีย์ออกไป)
 3. นำตัวอย่างไปเผาต่อในเตาเผา ที่อุณหภูมิ 500-550 °C จนกระทั่งได้เถ้าสีขาวหรือสีเทาอ่อน
 4. นำออกจากเตาใส่เดสิเคเตอร์ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้องแล้วชั่งน้ำหนักเผาตัวอย่างซ้ำนานครั้งละ 30 นาที จนกระทั่งชั่งได้น้ำหนักคงที่ (ต่างกันไม่เกิน 0.001 กรัม)
- คำนวณปริมาณร้อยละของเถ้าในตัวอย่างดังนี้

$$\text{ปริมาณเถ้าร้อยละของน้ำหนักรวม} = \frac{100 \times (W_2 - W)}{W_1 - W} \quad \text{—————} \quad (10)$$

W = น้ำหนักถ้วยกระเบื้องเคลือบ (กรัม)

W_1 = น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องเคลือบ และตัวอย่างก่อนเผา (กรัม)

W_2 = น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องเคลือบและตัวอย่างหลังเผา (กรัม)

ก.6 การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นแป้ง (AOAC, 2000)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ตู้อบลมร้อน (Heraeus รุ่น ST5042, Germany)
2. ถ้วยอลูมิเนียม
3. เดสิเคเตอร์

4. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo รุ่น AB204, Switzerland)

วิธีการทดลอง

1. อบด้วยอะลูมิเนียมในตู้อบที่อุณหภูมิ $100 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ประมาณ 30 นาที ทิ้งให้เย็นในเดสิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน
2. ชั่งตัวอย่างหนักประมาณ 2 กรัมให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน นำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ $100 \pm 5^{\circ}\text{C}$ นานประมาณ 5 ชั่วโมง นำออกมาใส่ในเดสิเคเตอร์ทิ้งไว้ให้เย็นประมาณ 30 นาที ชั่งน้ำหนักที่แน่นอน ทำการอบซ้ำนานครั้งละ 30 นาที แล้วชั่งน้ำหนักจนกว่าจะได้น้ำหนักแตกต่างกันไม่ควรเกิน 2 มิลลิกรัม คำนวณปริมาณร้อยละของความชื้นของตัวอย่าง

$$\text{ปริมาณความชื้นร้อยละของน้ำหนักรวม} = \frac{100(W_1 - W_2)}{W_1 - W} \quad (11)$$

เมื่อ $W =$ น้ำหนักของถ้วยอลูมิเนียม (กรัม)

$W_1 =$ น้ำหนักของถ้วยอลูมิเนียม และตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)

$W_2 =$ น้ำหนักของถ้วยอลูมิเนียม และตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

ก.7 การวิเคราะห์หาปริมาณไขมัน (AOAC, 2000)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องสกัดหาปริมาณไขมัน (Soxtech)
2. Timble
3. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo รุ่น AB204, Switzerland)

วิธีการทดลอง

1. นำ thimble ใส่ adapter (ควรใส่ถุงมือยาง) ชั่งตัวอย่างลงบนกระดาษกรองเบอร์ 1 หนักประมาณ 3 ± 1 กรัม ห่อกระดาษกรองที่มีตัวอย่างใส่ลงใน thimble โดยใช้ thimble support ช่วยในการชั่ง
2. นำ thimble ใส่ลงใน thimble stand โดยใช้ thimble handler ช่วย
3. นำสำลีใส่ใน thimble ที่มีตัวอย่างจนครบย้าย thimble ลงใน thimble support ที่ติดอยู่กับ holder ใส่ thimble ที่ extraction unit โดยใช้ holder

4. เมื่อใส่ thimble แล้วกด position control เพื่อยกก้านที่ยึดติดกับ thimble ขึ้นมาที่ condenser ตรวจสอบว่า thimble ถูกยกขึ้นครบหมด
5. เติมหันไดโรตารีปริมาณ 90 มิลลิลิตรลงในถ้วยอะลูมิเนียมนำถ้วยอะลูมิเนียมวางลงในที่จับถ้วยอะลูมิเนียม
6. นำถ้วยอะลูมิเนียมเข้าเครื่องโดยใช้ที่จับถ้วยอะลูมิเนียมกด position control เพื่อให้ condenser ลงมาติดกับถ้วยอะลูมิเนียม
7. เริ่มโปรแกรมกดที่ปุ่ม start/stop ที่ control unit
8. ตั้งโปรแกรมโดยใช้ปุ่มเพิ่มและลด จากนั้นใช้ปุ่ม set และปุ่มเพิ่มและลดในการตั้งอุณหภูมิ และเวลาในขั้นตอนการสกัดโดย เวลาต้มตัวอย่าง 15 นาที เวลาชะตัวอย่าง 30 นาที อุณหภูมิ 135 °C สามารถทำการอุ่นเครื่องก่อนการวิเคราะห์ได้โดยใช้ปุ่ม hotplate จะร้อนขึ้นจนถึงอุณหภูมิที่ตั้งไว้ในโปรแกรมที่แสดงบนหน้าจอ
9. เมื่อเสร็จการทำงานให้ถอดถ้วยอะลูมิเนียม โดยกดปุ่ม position control แล้วถอดถ้วยอะลูมิเนียมโดยใช้ที่จับถ้วยอะลูมิเนียมนำถ้วยอะลูมิเนียมที่นำออกมาไปอบที่อุณหภูมิ 105 °C ประมาณ 2 ชั่วโมง
10. กดปุ่ม position control อีกครั้งเพื่อนำ thimble ออกโดยใช้ thimble holder เอียง holder และดึง thimble ออกจากแม่เหล็ก
11. ปิดเครื่อง และนำปิโตรเลียมอีเทอร์ออกจากเครื่อง

คำนวณหาร้อยละของไขมันดังนี้

$$\text{ร้อยละไขมัน} = \frac{W_3 - W_2}{W_1} \times 100 \quad \text{—————} \quad (12)$$

W_1 = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

W_2 = น้ำหนักถ้วยอะลูมิเนียมก่อนอบ (กรัม)

W_3 = น้ำหนักถ้วยอะลูมิเนียมหลังอบ (กรัม)

ก.8 การวิเคราะห์ปริมาณแอมิโลส (Juliano, 1995)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ขวดปรับปริมาตรขนาด 1,000 และ 100 มิลลิลิตร
2. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectronic 20, USA)
3. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo รุ่น AB204, Switzerland)
4. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Julabo Shake Temp รุ่น SW23, Germany)

สารเคมี

1. เอทิลแอลกอฮอล์ (ethyl alcohol) 95%
2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 1 นอร์มัล เตรียมโดยชั่ง NaOH หนัก 40 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 800 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นในขวดปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตร
3. สารละลายกรดแอสติกกลั่น ความเข้มข้น 1 นอร์มัล เตรียมโดยตวงกรดแอสติกกลั่น (glacial acetic acid) ปริมาตร 60 มิลลิลิตร ใส่ลงในน้ำกลั่นที่อยู่ในขวดปรับปริมาตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 1 ลิตร
4. สารละลายไอโอดีน เตรียมโดยชั่งไอโอดีน (I_2) 0.2 กรัม และโปแตสเซียมไอโอไดด์ (KI) 2.0 กรัม ผสมสารทั้งสองให้เข้ากันแล้วละลายในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตรเก็บสารละลายนี้ไว้ในขวดสีชา

วิธีการทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างแป้ง 0.1 กรัม ใส่ในขวดลูกชมพูนขนาด 50 มิลลิลิตรที่แห้งสนิท
2. เติมเอทิลแอลกอฮอล์ 1 มิลลิลิตร เขย่าเบาๆ เพื่อเกลี่ยแป้งให้กระจายออก ระวังอย่าให้แป้งไปติดขึ้นมาเกาะข้างขวด
3. เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 นอร์มัล ประมาณ 9 มิลลิลิตร พร้อมทั้งล้างแป้งที่เกาะอยู่ข้างผนังขวด นำแป้งไปให้ความร้อนในอ่างน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาที แล้วทิ้งไว้ให้เย็น
4. ชะน้ำแป้งด้วยน้ำกลั่นใส่ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร โดยใช้น้ำชะประมาณ 2-3 ครั้ง แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 100 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน
5. ปิเปตสารละลายน้ำแป้งจากข้อ 5 มา 5 มิลลิลิตร ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมสารละลายกรดแอสติกความเข้มข้น 1 นอร์มัล ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และสารละลายไอโอดีนปริมาตร 2 มิลลิลิตร ลงในสารละลายจากข้อ 6

6. เติมน้ำกลั่นลงในสารละลายจากข้อ 7 แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร เขย่าและตั้งทิ้งไว้ 20 นาที
7. ทำ blank โดยนำขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร มาเติมสารละลายกรดแอสติกความเข้มข้น 1 นอร์มัล ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และสารละลายไอโอดีนปริมาตร 2 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 100 มิลลิลิตร
8. วัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร โดยปรับค่าการดูดกลืนแสงของ blank เป็น 0
9. นำค่าการดูดกลืนแสงไปคำนวณหาค่าปริมาณแอมิโลสโดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานในงานวิจัยนี้ใช้สมการ $y=0.191x$ (จันวิภา ภูมรินทร์, 2551)

ก.9 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างผลึก และปริมาณ amylose-lipid complex ของแป้งข้าวกล้องด้วยเครื่อง X-ray diffraction (ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่อง X-ray diffraction (Bruker รุ่น D8-Discover, Germany)

วิธีการทดลอง

1. นำแป้งข้าวกล้องโรยบน sample plate แล้วกด sample plate ให้แป้งข้าวกล้องเรียงตัวอัดแน่น
2. นำ sample plate ใส่เข้าเครื่อง X-ray diffraction ที่ช่อง sample holder แล้วเปิดเครื่องทิ้งไว้อย่างน้อย 15 นาที
3. วัดค่าในช่วงมุมที่ต้องการ โดยมีสภาวะดังนี้

Target	Cu	
Voltage	40	kV
Current	40	mA
Start Angle	4-35	degree
Increment	0.02	degree/step
Scan speed	0.3	sec/step
Detector	VANTEC-1 Detector (Super Speed Detector)	

4. วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างผลึก และคำนวณค่า ร้อยละ ความเป็นผลึก

(degree of crystallinity) ดังนี้

$$\text{ร้อยละความเป็นผลึก} = \frac{\text{พื้นที่ใต้กราฟส่วนผลึก}}{\text{พื้นที่ใต้กราฟทั้งหมด}} \times 100 \quad (14)$$

โดยร้อยละความเป็นผลึกแบบวิวิเคราะห์พื้นที่ใต้กราฟส่วนผลึกที่ปรากฏพีคที่ตำแหน่ง 20 องศา

ก.10 การหาลักษณะภาพตัดขวางของเม็ดแป้งด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) (ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) (JEOL รุ่น JSM-5800 LV, Japan)
2. เครื่องฉาบทอง (ion sputter) (Balzer Union รุ่น SCD 040, Liechtenstein)

วิธีการทดลอง

1. นำข้าวกล้องมาหั่นครึ่ง แล้วนำมาติดบน stub โดยใช้กาวน้ำทาเล็บ ทิ้งให้แห้ง
2. นำ stub ที่ติดข้าวกล้องแล้วมาฉาบด้วยทองหนาประมาณ 20-30 มิลลิเมตร ด้วยเครื่องฉาบทอง (ion sputter)
3. เมื่อฉาบทองที่ตัวอย่างเสร็จ นำตัวอย่างมาบันทึกภาพตัดขวางด้วยเครื่อง SEM ที่ 15 kV ใช้กำลังขยาย 2,000 และ 4,500 เท่า

ก.11 กำลังการพองตัว (ดัดแปลงจาก Scoch, 1967)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. หลอดเหวี่ยงพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร
2. อ่างน้ำร้อนควบคุมอุณหภูมิ (Julabo Shake Temp รุ่น SW23, Germany)
3. เครื่องเหวี่ยง (centrifuge) (Centrifugal Thermo IEC รุ่น IEC MultiRF, USA)
4. ตู้อบลมร้อน (Heraeus รุ่น ST 5042, Germany)
5. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo รุ่น AB204, Switzerland)
6. ถ้วยอลูมิเนียม

วิธีการทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างแป้ง 0.5 กรัมใส่หลอดเหวี่ยงพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร

2. เติมน้ำกลั่นปริมาตร 15 มิลลิลิตร
 3. แช่ในอ่างน้ำร้อนที่ควบคุมอุณหภูมิ 85 °C เขย่าตลอดเวลา 30 นาที ด้วยอัตราเร็ว 80 รอบต่อนาที
 4. นำไปเหวี่ยงในเครื่องเหวี่ยงที่ความเร็ว 2,200 รอบต่อนาที นาน 15 นาที
 5. ดูดน้ำส่วนบนใส่ในถ้วยอลูมิเนียมที่ทราบน้ำหนักให้มากที่สุด และนำไปอบให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 100 °C แล้วนำมาคำนวณกำลังการพองตัวดังนี้
- วิธีคำนวณกำลังการพองตัว

$$\text{ร้อยละการละลาย} = \frac{\text{น้ำหนักส่วนที่ละลายน้ำ} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง}} \quad (5)$$

$$\text{กำลังการพองตัว} = \frac{\text{น้ำหนักแบ่งที่พองตัวแล้ว} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง} \times (100 - \text{ร้อยละการละลาย})} \quad (6)$$

ก.12 การวิเคราะห์สมบัติทางด้านความหนืดด้วยเครื่อง Rigid Visco Analyzer อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่อง RVA (Newportscientific รุ่น RVA-4, Australia)
2. เครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับควบคุมเครื่อง RVA
3. ถ้วยสำหรับใส่ตัวอย่าง (can) และใบพัด (paddle)
4. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo รุ่น AB204, Switzerland)

วิธีการทดลอง

1. เปิดเครื่อง RVA และเครื่องคอมพิวเตอร์
2. ใส่ใบพัดที่เครื่อง RVA และเข้าโปรแกรม TCW คลิก \downarrow (Zero the instrument) เพื่อ calibrate เครื่อง RVA คลิก set zero และคลิก start ใบพัดจะหมุนพร้อมทั้งมีตัวเลขขึ้นมาค่าควรอยู่ในช่วง 0 ± 0.01 แล้วคลิก zero จากนั้นคลิกปิดหน้าต่าง
3. ปรับสภาวะการทำงานของเครื่อง RVA โดยใช้ temperature profile ของ AACC method 61-02 (1999) ดังตารางที่ ก.1

ตารางที่ ก.1 Temperature profile ของ AACC method 61-02 (1999)

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที : วินาที)
50 (อุณหภูมิเริ่มต้น)	
50	1.00
95	4.45
95	7.15
50	11.06
สิ้นสุดการทดสอบ	12.30

สำหรับความเร็วรอบเริ่มต้นที่ใช้คือ 960 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 10 วินาที แล้วจึงใช้ความเร็วรอบ 160 รอบต่อนาทีคงที่ตลอดการทดสอบ

4. ตวงน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตรลงในถ้วยสำหรับใส่ตัวอย่าง (สำหรับแป้งที่มีความชื้นร้อยละ 12) และชั่งแป้ง 3 กรัม (สำหรับแป้งที่มีความชื้นร้อยละ 12) เติมนลงในถ้วยสำหรับใส่ตัวอย่างที่มีน้ำกลั่นอยู่

5. นำใบพัดลงไปคน และตั้งขึ้นประมาณ 10 ครั้ง เพื่อให้แป้งและน้ำกลั่นเข้ากัน ป้อนแป้งจับกันเป็นก้อนที่ผิวน้ำหรือติดที่ใบพัด

6. นำถ้วยสำหรับใส่ตัวอย่างที่มีแป้งและน้ำกลั่นพร้อมใบพัด สอดเข้าไปในเครื่อง RVA กดมอเตอร์เพื่อให้เครื่อง RVA ทำงาน เมื่อเสร็จแล้วให้นำตัวอย่างออกจากเครื่อง RVA และเครื่องคอมพิวเตอร์จะรายงานค่าต่างๆ ดังนี้

6.1 เวลาที่เกิด peak ของความหนืด (peak time) มีหน่วยเป็นนาที

6.2 อุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนค่าความหนืด (pasting temperature) มีหน่วยเป็น °C

6.3 อุณหภูมิที่เกิด peak (peak temperature) มีหน่วยเป็น °C

6.4 ความแตกต่างของความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด (breakdown) มีหน่วยเป็น cP

6.5 ความหนืดสุดท้าย (final viscosity) มีหน่วยเป็น cP

6.6 ความหนืดต่ำสุด (though) มีหน่วยเป็น cP

ก.13 การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (ดัดแปลงจากวิธีของ Thananuwong and Tewaruth, 2010)

สารเคมี

1. สารละลายเมทานอลความเข้มข้น 85% (V/V) เตรียมโดยตวงเมทานอล 850 มิลลิลิตร มิลลิลิตรเติมลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 1000 มิลลิลิตร

2. สารละลาย 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) ความเข้มข้น 0.1 mM เตรียมโดยชั่ง DPPH หนักประมาณ 10 มิลลิกรัม ละลายในเมทานอลแล้วปรับปริมาตรด้วยเมทานอลให้ได้ 100 มิลลิลิตรในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C ควรเก็บไว้ไม่เกิน 5 วัน

การสกัดตัวอย่าง

1. ชั่งตัวอย่างหนัก 10 กรัม ใส่ลงในขวดลูกชมพูนขนาด 250 มิลลิลิตร เติมสารละลายเมทานอลความเข้มข้น 85% (V/V) ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

2. นำตัวอย่างจากข้อ 2 มาเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 150 rpm โดยแปรเวลาเป็นเวลายาวเป็น 5 ระดับดังนี้ 30 นาที, 1 ชั่วโมง, 2 ชั่วโมง, 4 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง

3. นำตัวอย่างมาปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 2500 เป็นเวลา 20 นาทีเลือกส่วนที่เป็นส่วนใส (supernatance) นำมาระเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่องต้มระเหยภายใต้สภาวะสูญญากาศที่อุณหภูมิ 40 °C

4. เก็บตัวอย่างที่ระเหยตัวทำละลายแล้วที่อุณหภูมิ -18 °C ควรเก็บไว้ไม่เกิน 7 วัน เพื่อรอการวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (total phenolic contents)

หมายเหตุ ถ้าเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปจะใช้ตัวอย่าง 15 กรัม สารละลายเมทานอลความเข้มข้น 85% (V/V) ปริมาตร 150 มิลลิลิตร แล้วเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 150 rpm เป็นเวลา 30 นาที สำหรับการวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (total phenolic contents) ด้วยวิธี Folin-Ciocalteu ให้ทำเช่นเดิม

การวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH

ปิเปตตัวอย่างปริมาณ 50 ไมโครลิตร ลงในหลอดทดลอง และปิเปตสารละลาย DPPH

ความเข้มข้น 0.1 mM ปริมาตร 950 ไมโครลิตรลงในหลอดทดลอง เก็บไว้ในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที แล้วจึงนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 570 นาโนเมตร ในการทดลองนี้ได้คำนวณค่า EC_{50} โดยแจกแจงตัวอย่างที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน

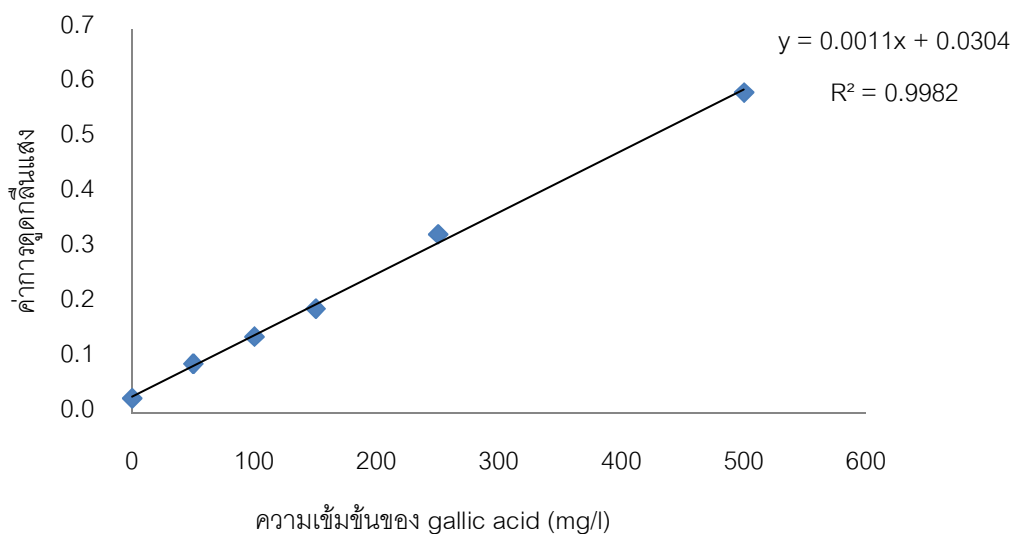
การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (total phenolic contents) ด้วยวิธี Folin-Ciocalteu

1. เตรียมสารละลายกรดแกลลิกมาตรฐาน โดยชั่งกรดแกลลิก 0.05 กรัม ละลายในเอทานอล 1 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 10 มิลลิลิตรในขวดปรับปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร

2. ปิเปตสารละลายจากข้อ 1 มา 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5 และ 1 มิลลิลิตร ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 10 มิลลิลิตร

3. เตรียมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตอิ่มตัว โดยชั่งโซเดียมคาร์บอเนต 200 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 800 มิลลิลิตรและให้ความร้อน หลังจากนั้นทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้องเติมโซเดียมคาร์บอเนตไปอีกเล็กน้อยเพื่อให้เกิดผลึก ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 1000 มิลลิลิตรในขวดปรับปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร

4. ปิเปต 0.1 มิลลิลิตรของตัวอย่าง หรือสารละลายมาตรฐานลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 7 มิลลิลิตร เติม Folin-Ciocalteu reagent ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 นาที หลังจากนั้นเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตอิ่มตัวปริมาณ 1.5 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 10 มิลลิลิตรในขวดปรับปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 765 นาโนเมตร



ภาพที่ ก.1 กราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก

ก.14 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสเปกตรัม (spectrum) ของโปรตีนในแป้งข้าวกล้องด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared (FT-IR) (Li *et al.*, 2008)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่อง Fourier Transform Infrared (FT-IR) (Perkin-Elmer รุ่น Spectrum One, USA)
2. เครื่องอัด (Hydraulic press)
3. สากและโม่ระฆะเกต (agate mortar)

สารเคมี

1. โปแตสเซียมโบรไมด์ (KBr)

วิธีการทดลอง

1. ชั่งแป้งข้าวกล้อง 1-2 มิลลิกรัม ใส่ในโม่ระฆะเกต แล้วบดให้ละเอียด
2. เติมโปแตสเซียมโบรไมด์ (KBr) 100-150 มิลลิกรัม ในอัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวกล้องกับโปแตสเซียมโบรไมด์ 1:100 บดแป้งข้าวกล้องกับโปแตสเซียมโบรไมด์ให้เข้ากัน
3. อัดส่วนผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน โดยใช้เครื่องอัดที่แรงอัด 10 ตัน ทิ้งไว้ประมาณ 1 นาที จะได้ตัวอย่างที่มีลักษณะแผ่นกลมบางใส (pellet)

4. เมื่อได้ตัวอย่างที่อัดเป็นแผ่นแล้ว วิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่อง FT-IR โดยตั้งค่ารายละเอียดดังนี้ Resolution เท่ากับ 4.0 cm^{-1} และจำนวน scan 16 ครั้ง

5. เมื่อได้สเปกตรัมออกมา คำนวณหา ratio of absorbance height ของหมู่ฟังก์ชันที่มีการเปลี่ยนแปลง เทียบกับหมู่ฟังก์ชันที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง โดยการลากเส้น base line และลากเส้นตรงตั้งฉากกับแนวแกน X วัดความสูงของ peak ในช่วงการดูดกลืนคลื่นอินฟราเรดที่ต้องการจะทราบค่า

การคำนวณ

$$\text{Ratio of absorbance height} = \frac{\text{peak height 1}}{\text{peak height 2}} \quad \text{————— (13)}$$

peak height 1 คือ ช่วงการดูดกลืนคลื่นอินฟราเรดของหมู่ฟังก์ชันที่เปลี่ยนแปลง

peak height 2 คือ ช่วงการดูดกลืนคลื่นอินฟราเรดของหมู่ฟังก์ชันที่ไม่เปลี่ยนแปลง

ก.15 การวิเคราะห์ค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปด้วยเครื่องวัดความหนืด

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องวัดความหนืด (Fungilab รุ่น Alpha, Spain)
2. หัววัดตัวอย่าง
3. ภาชนะสำหรับใส่ตัวอย่าง

วิธีการทดลอง

1. ปรับลูกน้ำด้านหลังเครื่องวัดความหนืดให้อยู่ตรงกลาง
2. เปิดสวิตซ์ด้านหลังเครื่องวัดความหนืดเพื่อเปิดเครื่อง
3. กดปุ่ม enter หน้าจอจะขึ้น testing..... จากนั้นรอจนเครื่อง testing เสร็จ เมื่อเสร็จแล้วจะเข้าสู่หน้าจอ

▶ Instrument Set up

Measurement

Information

4. กดปุ่ม ▽ เพื่อให้ลูกศรเลื่อนมาอยู่ที่ Instrument Set up กดปุ่ม enter เลื่อน

Language กดปุ่ม enter เลือกร English กดปุ่ม enter แล้วกดปุ่ม Quit และกดปุ่ม ∇ เพื่อให้

ลูกศรเลื่อนมาที่ unit กดปุ่ม enter จะปรากฏ viscosity เลือกร cP กด enter

5. กดปุ่ม ∇ เพื่อให้ลูกศรเลื่อนมาอยู่ที่ Measurement
6. ใส่หัววัดตามขนาดที่ต้องการ กดปุ่ม TAB ให้ SP ที่หน้าจอกระพริบกดปุ่ม ∇ เพื่อเลือกใส่ขนาดหัววัดให้ตรงกับขนาดหัววัดที่ใช้วัดตัวอย่าง และกดปุ่ม TAB ไปที่ RPM เพื่อเลือกความเร็วรอบที่ต้องการกดปุ่ม enter

7. เลื่อนหัววัดลงมาในตัวอย่างที่อยู่ในภาชนะ โดยตัวอย่างจะต้องท่วมหัววัด แล้วกดปุ่ม ON หัววัดจะหมุน บันทึกค่า

8. กดปุ่ม ON เพื่อให้หัววัดหยุดหมุน เลื่อนหัววัดขึ้นนำตัวอย่างออก และทำความสะอาดหัววัดเพื่อวัดตัวอย่างต่อไป

ก.16 การวิเคราะห์ค่าความชื้นของไขมันข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป (AOAC 2000)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ถ้วยอะลูมิเนียม
2. ตู้อบลมร้อน (Heraeus รุ่น ST5042, Germany)
3. เดสิเคเตอร์
4. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo รุ่น AB204, Switzerland)

วิธีการทดลอง

1. นำถ้วยอะลูมิเนียมที่อบ และทิ้งให้เย็นในเดสิเคเตอร์แล้วมาชั่งน้ำหนักถ้วยอะลูมิเนียมให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนบันทึกน้ำหนัก

2. ชั่งตัวอย่าง 2 กรัมลงในถ้วยอะลูมิเนียมที่ทราบน้ำหนักแน่นอนบันทึกค่า แล้วอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 130 ± 3 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

3. เมื่อครบ 1 ชั่วโมงนำตัวอย่างออกจากตู้อบทิ้งให้เย็นในเดสิเคเตอร์ เป็นเวลาประมาณ 30 นาที ชั่งน้ำหนักของตัวอย่างหลังอบบันทึกค่าแล้วคำนวณปริมาณร้อยละของความชื้นของตัวอย่าง

$$\text{ปริมาณความชื้นร้อยละของน้ำหนัก} = \frac{100(W_1 - W_2)}{W_1 - W} \quad \text{————— (15)}$$

- เมื่อ $W =$ น้ำหนักของถ้วยอะลูมิเนียม (กรัม)
 $W_1 =$ น้ำหนักของถ้วยอะลูมิเนียม และตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)
 $W_2 =$ น้ำหนักของถ้วยอะลูมิเนียม และตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

ก.17 การวิเคราะห์ค่า a_w

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ตลับวัด a_w
2. เครื่องวัดค่า a_w (Novasina รุ่น MS1, Switzerland)

วิธีการทดลอง

วิธี calibrate เครื่องวัด a_w

1. วางตลับเกลือมาตรฐาน (standard salt) ที่ต้องการเปรียบเทียบ (Calibrate) ลงในช่องใส่ตัวอย่าง เช่น ถ้าต้องการ calibrate ค่า 75% หรือ a_w 0.75 ที่เลือกตลับที่อ่านว่า 75 เป็นต้น
2. ปิดฝาให้แน่น
3. รอจนกระทั่งตัวเลขที่อ่านผลการวัดค่า (ตัวเลขล่าง) อ่านได้ใกล้เคียงกับค่าของเกลือมาตรฐานที่นำมาใช้และอยู่ในสถานะนิ่ง (เวลาที่ใช้นับตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งนิ่งหรือใกล้หยุดนิ่งจะประมาณได้ 3 ถึง 8 นาที)
4. ให้กดปุ่ม “select” ซึ่งอยู่ด้านล่างสุดซึ่งจอแสดงผลจะอ่านว่า [75.3 CAL] พร้อมๆ กับการกระพริบไปด้วย
5. ให้กดปุ่ม “MIN/MAX” จนกระทั่งตัวอ่านค่าที่กระพริบหายกระพริบ
6. จากนั้นให้รอ เพราะเครื่องจะทำการ calibrate อย่างอัตโนมัติ
7. เมื่อ calibrate เสร็จแล้วเครื่องจะกลับมาอยู่ในสภาพ standby mode (สภาพปกติของเครื่องเมื่อเปิดเครื่อง หรือในสภาพที่พร้อมจะวัดตัวอย่าง)

วิธีวิเคราะห์ค่า a_w ของตัวอย่าง

1. ให้ใส่ตัวอย่างไว้ในตลับตัวอย่างมีขนาดหรือปริมาณ 50% ของปริมาตรตลับกรุณาอย่าใส่จนเต็ม หรือพูนจนหนุนขึ้นมาสูงกว่าระดับขอบบนสุดของตลับพลาสติก
2. เปิดเครื่อง MS1 a_w เครื่อง a_w Data Logger และเครื่อง Printer ตามลำดับ
3. กดปุ่ม Mode (a_w Data Logger) เพื่อเข้า Menu ที่ 1
4. แล้วกดปุ่มลูกศร ▲ จนกระทั่งเข้าถึง Menu ที่ 6 ที่มีชื่อว่า Set System

5. กด Enter
6. กดปุ่ม ▲ เพื่อเลือกชื่อ company (ชื่อองค์กร) แล้วกด enter เมื่อเลือกชื่อได้แล้ว (ถ้าหากไม่มีก็ให้เลือกชื่อใดๆ ทดแทน)
7. กดปุ่ม ▲ เพื่อเลือกชื่อ I.D. (รหัสหรือชื่อของตัวอย่าง) เมื่อเลือกชื่อ Identification ได้แล้วให้กด enter (ถ้าหากไม่มีก็ให้เลือกชื่ออะไรก็ได้ทดแทน)
8. กดปุ่ม Enter
9. กดปุ่ม ▲ จนอ่านได้ 4.5 แล้วกด enter
10. กดปุ่ม ▲ จนอ่านได้ 0.0025 แล้วกด enter
11. กด ▲ เพื่อเลือกเข้า menu หลักที่ 8 ที่มีชื่อว่า "Printer"
12. ให้กด ▲ เพื่อเลือกว่า "Yes" และกด enter
13. ผลที่ได้ เครื่องทำการพิมพ์หัวรายงานที่มีชื่อองค์กร และ Date-Time-Identification (ID)-Duration-Temp- a_w ปรากฏให้เห็น
14. กดปุ่ม cancel เพื่อให้จอแสดงผลดังนี้
วันและเวลา
Print
15. กดปุ่ม enter แชน 3-5 วินาที เพื่อให้ขึ้นคำว่า start ปรากฏบนจอแสดงผลด้านซ้ายมือ เคียงคู่กับคำว่าพรินท์
16. ให้รอกจนกว่าเครื่องจะวิเคราะห์ a_w เสร็จสิ้นพร้อมกับพิมพ์รายงานผลที่ได้ทั้งหมดดังนี้
วันและเวลา ชื่อตัวอย่างระยะเวลาที่ใช้ทั้งหมด ค่าอุณหภูมิ และค่า a_w ของตัวอย่างที่ทำการวัดหา
ค่า
17. เมื่อได้ผลของตัวอย่างแรกแล้วให้ทำตัวอย่างที่ 2 ถัดไปดังนี้
 - 17.1 กดปุ่ม cancel แชน 3-5 วินาที เพื่อให้คำว่า start หายไปจากจอ
 - 17.2 กดปุ่ม ▲ แชน 3-5 วินาที จนกว่า ID ปรากฏ
 - 17.3 ให้กดปุ่มเดิม ▲ เพื่อเลือก ID ชื่อที่ต้องการ
 - 17.4 กดปุ่ม enter
 - 17.5 กดปุ่ม enter แชน 3-5 วินาที เพื่อให้ start ปรากฏขึ้น
 - 17.6 เครื่องจะวิเคราะห์ a_w จนกระทั่งได้ค่า a_w ที่ต้องการพร้อมกับค่า temp และผลที่ได้จะปรากฏที่เครื่องพิมพ์
18. ตัวอย่างที่ 3, 4, 5... ให้ทำแบบเดียวกับวิธีใช้ในข้อ 17

ก.18 การวัดค่าสีของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องวัดสี (Minolta chroma meter รุ่น CR400, Japan)
2. ตลับสำหรับใส่ตัวอย่าง

วิธีการทดลอง

1. เปิดเครื่องวัดสี (Minolta chroma meter รุ่น CR400, Japan)
2. กดปุ่ม index set เลือกลงแสง illuminate D65 แล้วกดปุ่ม ESC
3. กดปุ่ม calibrate ดูค่า D65 $Y = 93.8$ $x = .3158$ $y = .3323$ นำหัววัดทาบกับแผ่นสีขาวมาตรฐาน แล้วกดปุ่มที่หัววัด
4. นำตัวอย่างใส่ตลับสำหรับวัดตัวอย่าง นำหัววัดวางที่ตลับวัดกดปุ่มที่หัววัด หน้าจอเครื่องจะปรากฏค่า L^* , a^* และ b^* แล้วบันทึกค่า

ก.19 การวิเคราะห์ปริมาณกรดไทโอบาร์บิทูริก (TBA) (Pearson, 1976)

สารเคมี

1. สารละลายกรดไทโอบาร์บิทูริก (TBA reagent) เตรียมโดยชั่งกรดไทโอบาร์บิทูริก 2.883 กรัม ละลายในสารละลายกรดแอสซีติก ความเข้มข้นร้อยละ 90 แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตรด้วยสารละลายกรดแอสซีติก ความเข้มข้นร้อยละ 90
2. กรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้น 4 M

วิธีการทดลอง

1. ชั่งตัวอย่าง 10 กรัม ใส่ลงในโถปั่น เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร ปั่นเป็นเวลา 5 นาที เทใส่ขวดสำหรับกลั่น (Distillation flask) แล้วล้างเครื่องปั่นด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 47.5 มิลลิลิตร
2. เติมกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้น 4 M ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร เพื่อให้ได้ pH 1.5 แล้วใส่เศษกระดาษเพื่อป้องกันการเกิดฟอง
3. นำไปต้ม และคนด้วยแท่งแม่เหล็กตลอดเวลา เมื่อตัวอย่างเดือดให้จับเวลาต่อไป 10 นาที
4. ปิเปตสารที่กลั่นได้มา 5 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองที่มีฝาปิด เติมสารละลายกรดไทโอบาร์บิทูริก 5 มิลลิลิตร ปิดฝา เขย่าแล้วนำไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 35 นาที
5. เตรียม blank พร้อมไปด้วยโดยใช้น้ำกลั่นปริมาตร 5 มิลลิลิตร แทนตัวอย่าง

6. เมื่อครบ 35 นาที นำไปแช่ในน้ำเย็นเพื่อให้ตัวอย่างเย็นภายใน 10 นาที แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 538 นาโนเมตร แล้วนำมาคำนวณปริมาณ TBA โดยใช้สูตรดังนี้

$$\text{ปริมาณ TBA} = 7.8 \times \text{OD (มิลลิกรัม Malonaldehyde ต่อกลีโคกรัม)} \quad \text{--- (16)}$$

ก.20 วิเคราะห์ยีสต์และรา (yeast and mold) และ *E.coli* (Bacteriological Analytical Manual, 2001)

วิเคราะห์ยีสต์และรา (yeast and mold)

สารเคมี

1. 0.1% Peptone Water
2. Dichloran Rose Bengal Chloramphenical Agar

วิธีทดลอง

การเตรียมตัวอย่าง

1. ชั่งตัวอย่าง 50.0±0.1 กรัม ใส่ในถุง stomacher เติม 0.1% Peptone Water ปริมาตร 450 มิลลิลิตร
2. นำตัวอย่างเข้าเครื่อง stomacher เป็นเวลา 2 นาที เพื่อตีให้ตัวอย่างกระจายทั่วสารละลายจะได้สารละลายที่ระดับความเจือจาง 10^{-1}
3. เตรียมสารละลายตัวอย่างให้มีระดับความเจือจางที่เหมาะสม โดยปิเปตตัวอย่างที่มีระดับความเจือจาง 10^{-1} จำนวน 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดที่มี 0.1% Peptone Water 9 มิลลิลิตร จะได้ระดับความเจือจาง 10^{-2} นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าเพื่อให้เชื้อกระจายทั่วทั้งหลอด หากต้องการทำการเจือจางที่ระดับอื่นๆ ให้ทำในลักษณะเดียวกัน

การทดสอบตัวอย่าง

1. ปิเปตสารละลายตัวอย่างที่ระดับความเข้มข้นที่ต้องการทดสอบปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ลงบนผิวหน้าอาหารเลี้ยงเชื้อ Dichloran Rose Bengal Chloramphenical Agar ที่แข็งตัวแล้ว
2. เกลี่ยสารละลายตัวอย่างด้วยแท่งแก้วเพื่อให้สารละลายตัวอย่างกระจายทั่วผิวหน้าของอาหารเลี้ยงเชื้อ ทิ้งไว้จนกระทั่งสารละลายตัวอย่างซึมผ่านอาหารเลี้ยงเชื้อ ปิดจาน นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 25 ± 2 °C โดยไม่ต้องกลับจานนาน 5 วัน ถ้าไม่มีโคโลนีขึ้นบนจานให้นำไปบ่มต่ออีก 48 ± 2 ชั่วโมง

3. เมื่อป่มเชื้อครบตามระยะเวลาที่กำหนดนำจานมานับจำนวนโคโลนี และคำนวณเป็นหน่วยโคโลนีต่อกรัม (CFU/g)

วิเคราะห์ *E.coli* แบบ MPN

สารเคมี

1. Butterfield's phosphate-buffered dilution water
2. Lauryl tryptose broth (LST) บรรจุในหลอด หลอดละ 10 มิลลิลิตร
3. Brilliant Green Lactose Bile Broth 2^{ร้อยละ} (ใส่หลอดดักก๊าซ)
4. Levine's eosin-methylene blue (L-EMB) agar

วิธีทดลอง

การเตรียมตัวอย่าง

1. ชั่งตัวอย่าง 50±0.1 กรัม ใส่ในถุง stomacher เต็ม Butterfield's phosphate-buffered dilution water 450 มิลลิลิตร
2. นำตัวอย่างเข้าเครื่อง stomacher ตีเป็นเวลา 2 นาที เพื่อตีให้ตัวอย่างกระจายทั่วสารละลาย จะได้สารละลายที่ระดับความเจือจาง 10^{-1}
3. เตรียมสารละลายตัวอย่างให้มีระดับความเจือจางที่เหมาะสม โดยปิเปตตัวอย่างที่มีระดับความเจือจาง 10^{-1} จำนวน 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดที่มี Butterfield's phosphate-buffered dilution 9 มิลลิลิตร จะได้ระดับความเจือจาง 10^{-2} นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าเพื่อให้เชื้อกระจายทั่วทั้งหลอด หากต้องการทำการเจือจางที่ระดับอื่นๆ ให้ทำในลักษณะเดียวกัน

การทดสอบตัวอย่าง (แบบ MPN)

1. ปิเปตสารละลายตัวอย่างที่ระดับความเข้มข้นที่ต้องการทดสอบปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในหลอด LST ที่มีหลอดดักก๊าซคว่ำอยู่ ความเข้มข้นละ 3 หลอด นำไปป่มที่อุณหภูมิ 35±1 °C เป็นเวลา 24±2 ชั่วโมง คัดเลือกหลอดที่เกิดก๊าซบันทึกผล
2. ถ่ายเชื้อจากหลอด LST ที่เกิดก๊าซในหลอดดักก๊าซลงใน EC Medium ที่มีหลอดดักก๊าซคว่ำอยู่ หลอดละ 1 loop โดยถ่ายเชื้อหลอดต่อหลอด นำ EC Medium ไปป่มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 44.5±0.2 °C เป็นเวลา 24±2 ชั่วโมง คัดเลือกหลอด EC Medium ที่เกิดก๊าซในหลอดดักก๊าซ บันทึกผล สำหรับหลอดที่ไม่มีการสร้างก๊าซให้นำไปป่มต่อให้ครบ 48±2 ชั่วโมง คัดเลือกหลอดที่เกิดก๊าซ บันทึกผล
3. ใช้ loop ถ่ายเชื้อจาก EC Medium ที่เกิดก๊าซมา streak บนผิวหน้าอาหารเลี้ยงเชื้อ

Levine's eosin-methylene blue (L-EMB) agar นำไปป้อนที่อุณหภูมิ $35\pm 1^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 18-24 ชั่วโมง โดยคว่ำจานให้ด้านที่มีอาหารเลี้ยงเชื้ออยู่ด้านบน ลักษณะโคโลนีของ *E.coli* บน Levine's eosin-methylene blue (L-EMB) agar จะมีลักษณะแบน ตรงกลางดำ ลักษณะอาจไม่มันวาว คล้ายโลหะ เลือกลโคโลนีที่มีลักษณะดังกล่าว 5 โคโลนี streak บน NA slant นำไปป้อนที่อุณหภูมิ $35\pm 1^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 18-24 ชั่วโมง เพื่อนำไปทดสอบคุณสมบัติทางชีวเคมี ดังนี้

3.1 ทดสอบโดยใช้ Citrate ถ่ายเชื้อจาก Na slant ลงใน Koser's Citrate broth นำไปป้อนที่อุณหภูมิ $35\pm 1^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 96 ชั่วโมง ถ้าอาหารเลี้ยงเชื้ออ่านผลเป็นบวก อาหารเลี้ยงเชื้อไม่อ่านผลเป็นลบ ซึ่ง *E.coli* จะให้ผล citrate เป็นลบเสมอ

3.2 ทดสอบโดยใช้ methyl red ถ่ายเชื้อจาก NA slant ใส่ในหลอด MR-VP broth นำไปป้อนที่อุณหภูมิ $35\pm 1^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 48 ± 2 ชั่วโมง นำมาทดสอบ Methyl Red โดยค่อยๆ หยดสารทดสอบ Methyl Red 5 หยด ถ้าสารทดสอบ Methyl Red ยังคงมีสีแดงเหมือนเดิม อ่านผลเป็นบวก แต่ถ้าสีของ Methyl Red เปลี่ยนเป็นสีเหลืองอ่านผลเป็นลบ *E.coli* จะให้ผลทดสอบกับ Methyl Red เป็นบวกเสมอ

3.3 ทดสอบโดยใช้ Voges-Proskauer ถ่ายเชื้อจาก NA slant ใส่ในหลอด MR-VP broth นำไปป้อนที่อุณหภูมิ $35\pm 1^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 48 ± 2 ชั่วโมง จากนั้นนำมาหยดสาร alpha naphthol solution 0.6 มิลลิลิตร 40%KOH 0.2 มิลลิลิตร และเติมผง creatine เล็กน้อย เขย่าให้ผสมกัน อ่านผลภายใน 2 ชั่วโมง ถ้าเกิดสีชมพูแดงอ่านผลเป็นบวก ไม่มีสีเกิดขึ้นอ่านผลเป็นลบ โดย *E.coli* จะให้ผล Voges-Proskauer เป็นลบเสมอ

3.4 ทดสอบการสร้าง Indole โดยถ่ายเชื้อจาก NA slant ใส่ในหลอด Tryptone broth นำไปป้อนที่อุณหภูมิ $35\pm 1^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 24 ± 2 ชั่วโมง จากนั้นมาทดสอบการสร้าง Indole โดยหยดสารทดสอบ Kovac's reagent 0.2-0.3 มิลลิลิตร หากเชื้อสามารถสร้าง Indole ได้จะเกิดวงแหวนสีแดงอ่านผลเป็นบวก ส่วนผลลบจะไม่เกิดวงแหวนสีแดง

3.5 นับจำนวนหลอดที่พบ *E.coli* ของแต่ละความเข้มข้น นำไปอ่านค่าจากตาราง ก.2 MPN 3:3:3 รายงานผลเป็น MPN/g ตัวอย่าง

ตาราง ก.2 MPN สำหรับ 3 หลอดความเข้มข้น 0.1, 0.01 และ 0.001 MPN/กรัมที่ระดับ
นัยสำคัญ 95%

Pos.tubes			MPN/g	Pos.tubes			MPN/g
0.1	0.01	0.001		0.1	0.01	0.001	
0	0	0	<3.0	2	2	0	21
0	0	1	3	2	2	1	28
0	1	0	3	2	2	2	35
0	1	1	6.1	2	3	0	29
0	2	0	6.2	2	3	1	36
0	3	0	9.4	3	0	0	23
1	0	0	3.6	3	0	1	38
1	0	1	7.2	3	0	2	64
1	0	2	11	3	1	0	43
1	1	0	7.4	3	1	1	75
1	1	1	11	3	1	2	120
1	2	0	11	3	1	3	160
1	2	1	15	3	2	0	93
1	3	0	16	3	2	1	150
2	0	0	9.2	3	2	2	210
2	0	1	14	3	2	3	290
2	0	2	20	3	3	0	240
2	1	0	15	3	3	1	460
2	1	1	20	3	3	2	1100
2	1	2	27	3	3	3	>1100

ภาคผนวก ข

ภาคผนวก ข
แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

ภาคผนวก ข.1 แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบต่อผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป

ชื่อผู้ทดสอบ..... วันที่..... รหัสตัวอย่าง.....

คำแนะนำ : กรุณาประเมินความชอบ และความเข้มในด้านต่างๆที่มีต่อผลิตภัณฑ์ แล้วให้ทำเครื่องหมาย ลงบนช่องว่าง และบนเส้นสเกล

1. ลักษณะปรากฏก่อนรับประทาน

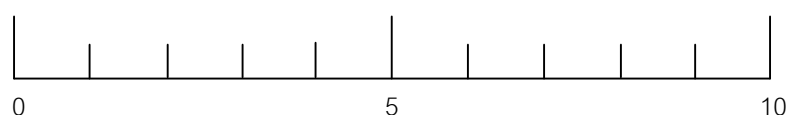
1.1 ความชอบต่อสี

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ไม่ชอบมากที่สุด	ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบปานกลาง	ไม่ชอบเล็กน้อย	เฉยๆ	ชอบเล็กน้อย	ชอบปานกลาง	ชอบมาก	ชอบมากที่สุด

1.2 ความชอบต่อลักษณะการพองตัวของผงใ้จ้ก

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ไม่ชอบมากที่สุด	ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบปานกลาง	ไม่ชอบเล็กน้อย	เฉยๆ	ชอบเล็กน้อย	ชอบปานกลาง	ชอบมาก	ชอบมากที่สุด

1.3 ระดับการพองตัวของผงใ้จ้ก



ไม่พองตัว

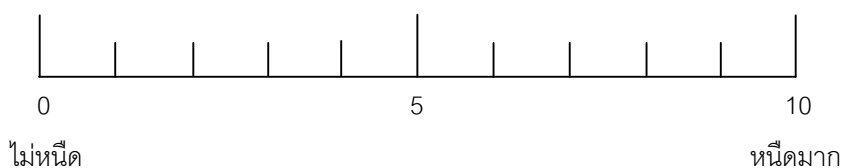
พองตัวมาก

2. ลักษณะเนื้อสัมผัสขณะรับประทาน

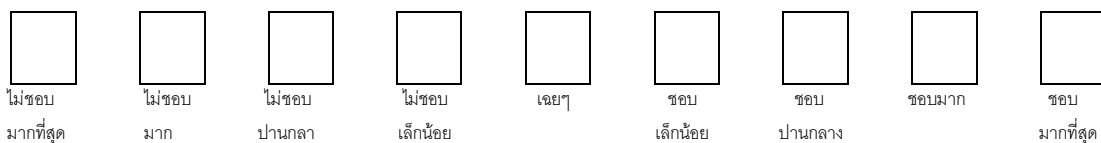
2.1 ความชอบต่อความหนืดของผลิตภัณฑ์ (ลักษณะการไหล)

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ไม่ชอบมากที่สุด	ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบปานกลาง	ไม่ชอบเล็กน้อย	เฉยๆ	ชอบเล็กน้อย	ชอบปานกลาง	ชอบมาก	ชอบมากที่สุด

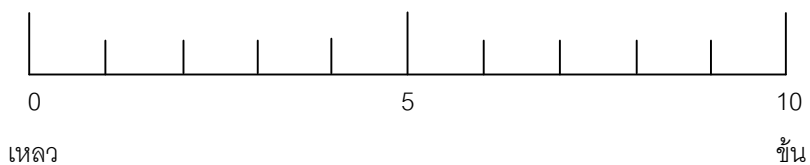
2.2 ระดับความหนืดของผลิตภัณฑ์ (ลักษณะการไหล)



2.3 ความชอบต่อความชื้น (ปริมาณข้าวต่อน้ำ) ของผลิตภัณฑ์

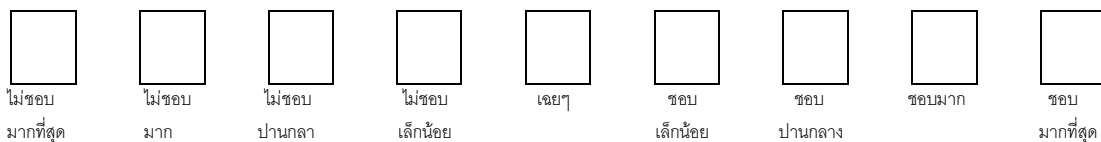


2.4 ระดับความชื้น (ปริมาณข้าวต่อน้ำ) ของผลิตภัณฑ์

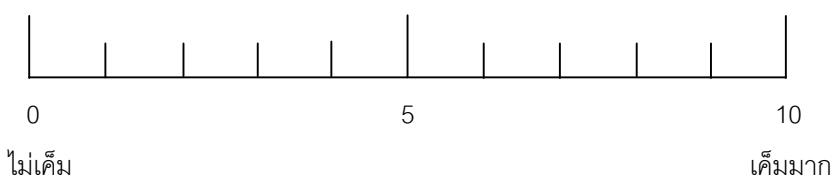


3. ลักษณะกลิ่นรสหลังรับประทาน

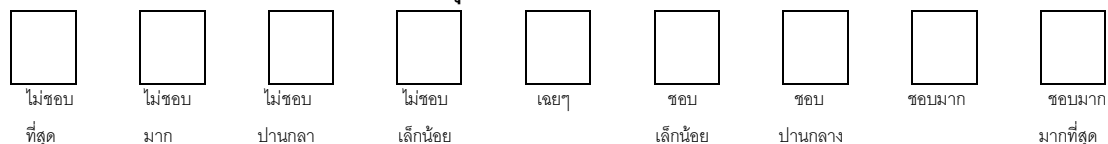
3.1 ความชอบต่อรสเค็ม



3.2 ระดับความเค็ม



3.3 ความชอบต่อกลิ่นเครื่องปรุงรส



4. กรุณาบอกความชอบโดยรวมต่อผลิตภัณฑ์ใจกึ่งสำเร็จรูป

ไม่ชอบ
ที่สุด

ไม่ชอบ
มาก

ไม่ชอบ
ปานกลาง

ไม่ชอบ
เล็กน้อย

เฉยๆ

ชอบ
เล็กน้อย

ชอบ
ปานกลาง

ชอบมาก

ชอบมาก
มากที่สุด

ข้อเสนอแนะ.....

.....

ขอบคุณค่ะ

ภาคผนวก ข.2 แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบต่อผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป

ชื่อผู้ทดสอบ..... วันที่..... รหัสตัวอย่าง.....

คำแนะนำ : กรุณาประเมินความชอบ และความเข้มในด้านต่างๆที่มีต่อผลิตภัณฑ์ แล้วให้ทำเครื่องหมาย ลงบนช่องว่าง และบนเส้นสเกล

1. ลักษณะปรากฏก่อนรับประทาน

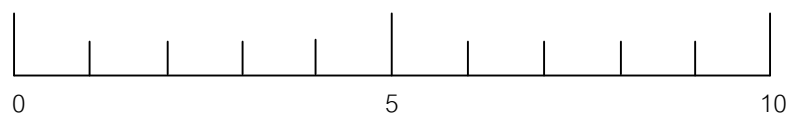
1.1 ความชอบต่อสี

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ไม่ชอบมากที่สุด	ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบปานกลาง	ไม่ชอบเล็กน้อย	เฉยๆ	ชอบเล็กน้อย	ชอบปานกลาง	ชอบมาก	ชอบมากที่สุด

1.2 ความชอบต่อลักษณะการพองตัวของผงไฉ้ก

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ไม่ชอบมากที่สุด	ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบปานกลาง	ไม่ชอบเล็กน้อย	เฉยๆ	ชอบเล็กน้อย	ชอบปานกลาง	ชอบมาก	ชอบมากที่สุด

1.3 ระดับการพองตัวของผงไฉ้ก



ไม่พองตัว

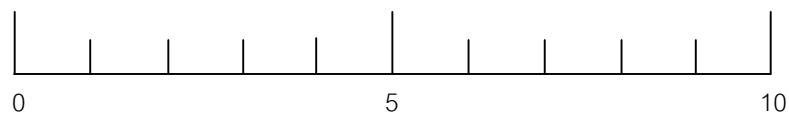
พองตัวมาก

2. ลักษณะเนื้อสัมผัสขณะรับประทาน

2.1 ความชอบต่อความเหนียวของผลิตภัณฑ์ (ลักษณะการไหล)

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ไม่ชอบมากที่สุด	ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบปานกลาง	ไม่ชอบเล็กน้อย	เฉยๆ	ชอบเล็กน้อย	ชอบปานกลาง	ชอบมาก	ชอบมากที่สุด

2.2 ระดับความเหนียวของผลิตภัณฑ์ (ลักษณะการไหล)



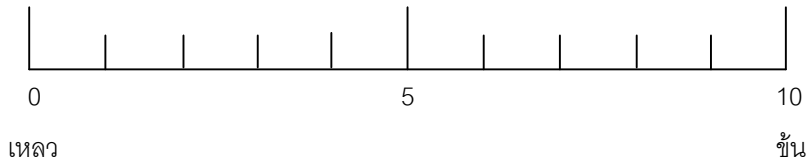
ไม่เหนียว

เหนียวมาก

2.3 ความชอบต่อความชื้น (ปริมาณข้าวต่อน้ำ) ของผลิตภัณฑ์

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ไม่ชอบ มากที่สุด	ไม่ชอบ มาก	ไม่ชอบ ปานกลาง	ไม่ชอบ เล็กน้อย	เฉยๆ	ชอบ เล็กน้อย	ชอบ ปานกลาง	ชอบมาก	ชอบ มากที่สุด

2.4 ระดับความชื้น (ปริมาณข้าวต่อน้ำ) ของผลิตภัณฑ์

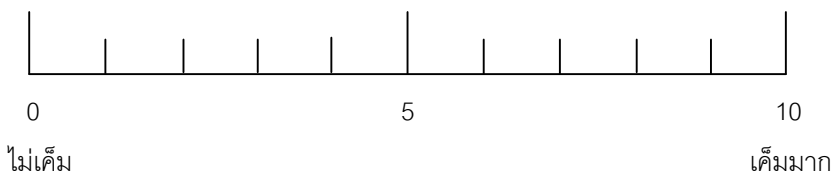


3. ลักษณะกลิ่นรสหลังรับประทาน

3.1 ความชอบต่อรสเค็ม

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ไม่ชอบ มากที่สุด	ไม่ชอบ มาก	ไม่ชอบ ปานกลาง	ไม่ชอบ เล็กน้อย	เฉยๆ	ชอบ เล็กน้อย	ชอบ ปานกลาง	ชอบมาก	ชอบ มากที่สุด

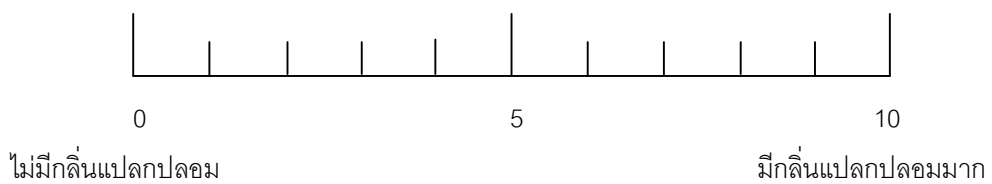
3.2 ระดับความเค็ม



3.3 ความชอบต่อกลิ่นเครื่องปรุงรส

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ไม่ชอบ ที่สุด	ไม่ชอบ มาก	ไม่ชอบ ปานกลาง	ไม่ชอบ เล็กน้อย	เฉยๆ	ชอบ เล็กน้อย	ชอบ ปานกลาง	ชอบมาก	ชอบมาก มากที่สุด

4. ระดับกลิ่นแปลกปลอม



4.1 โปรดระบุกลิ่นแปลกปลอมที่ท่านรู้สึกได้

.....

5. กรุณาบอกความชอบโดยรวมต่อผลิตภัณฑ์ใจกึ่งสำเร็จรูป

ไม่ชอบ
ที่สุด

ไม่ชอบ
มาก

ไม่ชอบ
ปานกลาง

ไม่ชอบ
เล็กน้อย

เฉยๆ

ชอบ
เล็กน้อย

ชอบ
ปานกลาง

ชอบมาก

ชอบมาก
มากที่สุด

ข้อเสนอแนะ.....

.....

ขอบคุณค่ะ

ภาคผนวก ค

ภาคผนวก ค
ข้อมูลการทดลองเพิ่มเติม

ตารางที่ ค.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อ

ตัวอย่าง	ค่า final viscosity (cP)		ค่า setback (cP)	
	สังข์หยดพัทลุง	หน่วยเชื้อ	สังข์หยดพัทลุง	หน่วยเชื้อ
con	1108.00 ^a ±23.39	3781.00 ^a ±15.10	264.00 ^a ±11.53	2139.67 ^a ±24.95
2.5min	585.00 ^b ±6.00	972.67 ^b ±16.04	106.67 ^b ±2.89	316.33 ^b ±7.57
3min	364.67 ^d ±13.87	793.67 ^c ±7.77	26.00 ^c ±3.00	296.67 ^b ±3.51
4min	403.00 ^c ±13.89	681.00 ^d ±6.25	115.00 ^b ±3.61	217.00 ^c ±9.64

ตัวอักษร a, b, c, ... ที่ต่างกันตามแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ค.2 ค่า EC₅₀ ของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงที่ระยะเวลาการสกัดต่างๆ กัน

ตัวอย่าง	ค่า EC ₅₀ (g flour/g DPPH) ที่ระยะเวลาการสกัดต่างๆ กัน (ชั่วโมง)				
	0.5	1	2	4	24
Scon	112.44 ^{ij} ±10.03	101.35 ^j ±6.19	127.92 ^{hi} ±1.00	140.52 ^{efgh} ±9.47	202.81 ^a ±10.03
S2.5min	148.42 ^{defg} ±3.74	139.33 ^{efgh} ±2.22	129.67 ^{ghi} ±9.67	138.52 ^{fgh} ±8.81	177.46 ^{bc} ±10.40
S3min	136.75 ^{fgh} ±1.82	145.50 ^{efgh} ±5.30	146.49 ^{defgh} ±2.69	138.24 ^{fgh} ±6.32	142.36 ^{efgh} ±4.01
S4min	152.16 ^{def} ±14.78	158.26 ^{de} ±12.95	183.82 ^b ±15.81	164.87 ^{cd} ±4.48	139.22 ^{efgh} ±0.87

ตัวอักษร a, b, c, ... ที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ค.3 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงที่ระยะเวลาการสกัดต่างๆ กัน

ตัวอย่าง	ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (phenolic contents)(µg gallic acid/g flour) ที่ระยะเวลาการสกัดต่างๆ กัน (ชั่วโมง)				
	0.5	1	2	4	24
Scon	987.33 ^a ±13.32	916.00 ^b ±22.63	974.89 ^a ±13.10	698.67 ^{gh} ±23.18	652.67 ^{lk} ±28.73
S2.5min	816.67 ^d ±35.80	871.33 ^c ±35.85	806.00 ^d ±14.42	668.00 ^{hij} ±19.08	696.67 ^{gh} ±6.11
S3min	770.00 ^e ±19.08	722.00 ^{fg} ±20.79	650.67 ^{ik} ±11.55	749.33 ^{ef} ±20.53	624.00 ^{kl} ±8.00
S4min	670.67 ^{ghi} ±17.01	716.00 ^{fg} ±14.00	691.33 ^{ghi} ±19.01	613.33 ^l ±11.37	656.00 ^{ijk} ±8.72

ตัวอักษร a, b, c, ... ที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ค.4 ค่า EC₅₀ ของแป้งข้าวกล็องหน่วยเชื้อที่ระยะเวลาการสกัดต่างๆ กัน

ตัวอย่าง	ค่า EC ₅₀ (g flour/g DPPH) ที่ระยะเวลาการสกัดต่างๆ กัน (ชั่วโมง)				
	0.5	1	2	4	24
Ncon	682.95 ^{cd} ±20.08	544.18 ^{ef} ±33.36	648.56 ^{cd} ±25.69	698.60 ^{bc} ±63.21	741.22 ^a ±2.96
N2.5min	708.41 ^{bc} ±12.46	510.71 ^{efgh} ±45.07	658.78 ^{bcd} ±57.41	315.78 ^j ±11.63	348.93 ^{ij} ±22.91
N3min	523.25 ^{efg} ±48.29	576.98 ^{de} ±27.20	673.96 ^{bc} ±28.52	451.22 ^{gh} ±33.63	433.23 ^{ghi} ±5.94
N4min	466.10 ^{fgh} ±16.01	716.17 ^{bc} ±40.76	503.47 ^{efgh} ±35.51	435.22 ^{ghi} ±43.60	427.54 ^{hi} ±16.18

ตัวอักษร a, b, c, ... ที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ค.5 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของแป้งข้าวกล็องหน่วยเชื้อที่ระยะเวลาการสกัดต่างๆ กัน

ตัวอย่าง	ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (phenolic contents)(µg gallic acid/gflour)				
	0.5	1	2	4	24
Ncon	324.67 ^{ef} ±17.01	288.00 ^{gh} ±12.49	275.33 ^h ±13.32	236.67 ⁱ ±6.11	288.67 ^{gh} ±17.01
N2.5min	276.00 ^h ±4.00	302.67 ^{fg} ±2.31	296.67 ^{gh} ±14.74	394.00 ^a ±22.72	361.33 ^{bcd} ±17.01
N3min	323.33 ^f ±18.58	292.67 ^{gh} ±14.05	297.11 ^{gh} ±3.42	351.33 ^{cd} ±12.06	348.00 ^d ±10.58
N4min	376.67 ^{ab} ±2.31	298.67 ^{gh} ±6.11	393.11 ^a ±12.15	346.00 ^{de} ±17.44	372.00 ^{abc} ±9.17

ตัวอักษร a, b, c, ... ที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ค.6 ค่าความหนืดของข้าวกล้องหักสังข์หยดพัทลุงที่ระยะเวลาการต้มต่างๆ

ตัวอย่าง	ความหนืด (cP)			
	30 นาที	35 นาที	40 นาที	45 นาที
Scon	181.70±13.43	613.07±87.26	4196.70±27.79	8836.83±542.92
S2.5min	194.43±17.38	306.20±48.74	1053.07±379.76	7562.87±669.08
S3min	246.47±15.63	337.17±26.55	1994.40±138.69	5877.40±345.87
S4min	147.73±8.29	235.83±17.04	632.97±240.42	5036.27±413.67

ตารางที่ ค.7 อุณหภูมิของข้าวกล้องหักสังข์หยดพัทลุงที่ระยะเวลาการต้มต่างๆ

ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (°C)			
	30 นาที	35 นาที	40 นาที	45 นาที
Scon	81.67±1.53	78.33±3.06	74.00±1.00	59.00±2.65
S2.5min	81.00±1.00	78.33±2.08	79.67±2.08	69.33±4.51
S3min	78.33±1.15	76.33±0.58	74.33±0.58	70.33±0.58
S4min	76.33±1.15	78.33±1.53	75.00±2.00	71.00±2.00

ตารางที่ ค.8 ค่าความหนืดของข้าวกล้องหน่วยเชื้อที่ระยะเวลาการต้มต่างๆ

ตัวอย่าง	ความหนืด (cP)					
	30 นาที	35 นาที	40 นาที	45 นาที	50 นาที	55 นาที
Ncon	ไม่สามารถวัดได้	ไม่สามารถวัดได้	ไม่สามารถวัดได้	ไม่สามารถวัดได้	830.6±36.50	5492.27±463.90
N2.5min	ไม่สามารถวัดได้	ไม่สามารถวัดได้	ไม่สามารถวัดได้	ไม่สามารถวัดได้	ไม่สามารถวัดได้	1915.90±74.50
N3min	ไม่สามารถวัดได้	ไม่สามารถวัดได้	ไม่สามารถวัดได้	ไม่สามารถวัดได้	ไม่สามารถวัดได้	1706.13±200.37
N4min	ไม่สามารถวัดได้	ไม่สามารถวัดได้	ไม่สามารถวัดได้	ไม่สามารถวัดได้	ไม่สามารถวัดได้	1416.20±48.57

ตารางที่ ค.9 อุณหภูมิของข้าวกล้องหน่วยเชื้อที่ระยะเวลาการต้มต่างๆ

ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (°C)					
	30 นาที	35 นาที	40 นาที	45 นาที	50 นาที	55 นาที
Ncon	ไม่สามารถวัดได้	ไม่สามารถวัดได้	ไม่สามารถวัดได้	ไม่สามารถวัดได้	78.33±0.58	69.00±1.00
N2.5min	ไม่สามารถวัดได้	ไม่สามารถวัดได้	ไม่สามารถวัดได้	ไม่สามารถวัดได้	ไม่สามารถวัดได้	75.00±3.00
N3min	ไม่สามารถวัดได้	ไม่สามารถวัดได้	ไม่สามารถวัดได้	ไม่สามารถวัดได้	ไม่สามารถวัดได้	74.67±2.52
N4min	ไม่สามารถวัดได้	ไม่สามารถวัดได้	ไม่สามารถวัดได้	ไม่สามารถวัดได้	ไม่สามารถวัดได้	76.67±1.53

ตารางที่ ค.10 ผลของการอบแห้งข้าวเปลือกต่อความหนืดเมื่อต้มข้าวกล้องหักสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อตามเวลาที่เลือก

ตัวอย่าง	ระยะเวลาในการต้มที่ 45 นาที		ตัวอย่าง	ระยะเวลาในการเวลาต้มที่ 55 นาที	
	ความหนืด (cP)	อุณหภูมิ (°C)		ความหนืด(cP)	อุณหภูมิ (°C)
Scon	8836.83±542.92	59.00±2.65	Ncon	5492.27±463.90	69.00±1.00
S2.5min	7562.87±669.08	69.33±4.51	N2.5min	1915.90±74.50	75.00±3.00
s3min	5877.40±345.87	70.33±0.58	N3min	1706.13±200.37	74.67±2.52
s4min	5036.27±413.67	71.00±2.00	N4min	1416.20±48.57	76.67±1.53

ตารางที่ ค.11 ความหนืดของโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปในท้องตลาดเมื่อระยะเวลาสั้นขึ้น

ตัวอย่าง	ความหนืด (cP)						
	3 นาที	6 นาที	9 นาที	12 นาที	15 นาที	18 นาที	21 นาที
โจ๊กตราเกษตรรสหมูข้าวกล้อง	533.40±21.82	1157.10±108.69	1556.07±61.25	1683.73±119.17	2275.13±177.84	2636.67±132.69	3050.27±32.03
โจ๊กตราคนอร์รสหมู	322.17±39.28	388.87±27.86	547.57±24.87	623.60±54.50	728.03±40.01	825.73±68.38	904.47±74.43
โจ๊กตราม้ารสหมู	1167.83±53.93	2053.57±369.14	2924.80±286.84	3633.10±431.39	4694.83±438.22	5011.30±322.29	5771.47±352.75
โจ๊กตราเกษตรรสหมู	1234.17±193.59	2718.93±281.65	3491.60±216.46	4117.13±170.32	4664.60±288.99	4974.80±338.62	5445.80±146.94
โจ๊กตราเทสโก้โลตัสรสหมู	1091.40±196.35	2095.57±286.64	2730.10±93.13	4017.37±144.77	4757.67±252.77	4834.63±236.02	5339.20±102.05

ตารางที่ ค. 12 ความสามารถในการคืนตัวของข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปสังขสิทธิ์หัดพัทลุงโดยวัดจากความหนืดเมื่อระยะเวลาผ่านไปนานขึ้น

ตัวอย่าง	ความหนืด (cP)						
	3 นาที	6 นาที	9 นาที	12 นาที	15 นาที	18 นาที	21 นาที
Scon	432.13±40.51	222.50±13.59	546.93±18.16	1181.20±74.42	1491.77±63.80	1743.2±31.47	2674.63±30.33
S2.5min	425.00±9.82	215.03±26.73	335.83±9.16	622.03±70.09	919.23±1.00	1159.33±83.26	1398.47±63.91
S3min	404.27±18.79	164.13±25.78	230.63±15.99	486.77±27.43	690.27±11.76	856.67±20.96	967.20±56.53
S4min	404.33±46.12	156.20±2.26	214.73±8.15	312.03±27.83	435.43±45.13	541.00±42.33	676.70±47.11

ตารางที่ ค. 13 อุณหภูมิของข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปสังขสิทธิ์หัดพัทลุงเมื่อระยะเวลาผ่านไปนานขึ้น

sample	อุณหภูมิ (C°)						
	3 นาที	6 นาที	9 นาที	12 นาที	15 นาที	18 นาที	21 นาที
Scon	57.00±1.00	48.00±1.00	41.00±1.73	36.33±2.08	32.67±0.58	29.67±0.58	27.33±0.58
S2.5min	57.67±1.53	46.00±1.00	40.33±0.58	35.67±1.15	32.00±1.00	29.67±1.15	27.33±1.53
S3min	58.00±1.00	48.00±0.00	40.00±1.00	35.33±1.15	31.33±0.58	29.67±1.15	26.67±0.58
S4min	58.33±0.58	48.00±0.00	41.33±0.58	36.00±1.00	33.00±1.00	30.00±0.00	27.67±0.58

ตารางที่ ค. 14 ความสามารถในการคืนตัวของข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปหน่วยเชื้อโดยวัดจากความหนืดเมื่อระยะเวลาผ่านไป

sample	ความหนืด (cP)						
	3 นาที	6 นาที	9 นาที	12 นาที	15 นาที	18 นาที	21 นาที
Ncon	390.03±58.16	243.53±13.23	243.07±7.77	263.3±8.13	272.87±12.19	292.80±4.50	298.53±3.59
N2.5min	306.13±9.59	199.43±17.19	223.90±5.73	230.83±0.21	247.60±1.82	259.23±3.66	273.67±2.58
N3min	308.53±16.96	219.63±3.62	224.60±3.77	236.43±13.23	243.07±17.24	251.07±16.89	256.93±16.40
N4min	290.07±25.83	189.2±16.45	191.77±14.84	215.03±9.41	211.83±9.91	216.27±2.92	226.97±7.83

ตารางที่ ค. 15 อุณหภูมิของข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปหน่วยเชื้อเมื่อระยะเวลาผ่านไป

sample	อุณหภูมิ (C°)						
	3 นาที	6 นาที	9 นาที	12 นาที	15 นาที	18 นาที	21 นาที
Ncon	54.33±0.58	45.33±0.58	39.33±2.52	34.00±2.00	31.00±2.00	28.33±1.53	27.00±1.00
N2.5min	54.33±0.58	44.67±0.58	39.00±1.00	34.00±0.00	31.00±0.00	29.00±0.00	27.33±0.58
N3min	55.00±1.00	45.33±0.58	38.33±0.58	34.33±0.58	31.67±0.58	28.67±0.58	26.67±0.58
N4min	54.33±0.58	45.33±0.58	38.67±0.58	34.67±0.58	31.00±0.00	29.00±0.00	27.00±0.00

ตารางที่ ค.16 การศึกษาความสามารถในการคืนตัวของข้าวกล้องสำเร็จรูปปรุงรสสังขี้หยดพัทลุงตัวอย่างควบคุม และที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาทีในอัตราส่วนข้าวต่อน้ำ 1:7 เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นโดยวิเคราะห์จากค่าความหนืด

ตัวอย่าง	ความหนืด (cP)						
	3 นาที	6 นาที	9 นาที	12 นาที	15 นาที	18 นาที	21 นาที
Scon	439.03±14.46	825.20±12.22	3541.87±109.87	6039.67±60.57	7368.40±78.61	8407.47±163.05	9300.83±122.27
S2.5min	256.57±31.16	490.67±4.10	1514.77±53.71	3142.87±21.18	4078.93±118.25	4640.43±79.93	5384.07±62.99

ตารางที่ ค.17 อุณหภูมิของข้าวกล้องสำเร็จรูปปรุงรสสังขี้หยดพัทลุงตัวอย่างควบคุม และที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาทีที่อัตราส่วนข้าวต่อน้ำ 1:7 เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น

ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (°C)						
	3 นาที	6 นาที	9 นาที	12 นาที	15 นาที	18 นาที	21 นาที
Scon	53.33±3.06	45.00±2.00	36.33±2.89	32.33±2.08	29.67±1.16	27.67±1.16	25.67±0.58
S2.5min	56.33±1.53	46.33±1.53	38.67±2.31	34.67±1.53	31±1.73	28.337±1.16	26.337±1.16

ตารางที่ ค.18 การศึกษาความสามารถในการคืนตัวของข้าวกล้องสำเร็จรูปปรุงรสสังขียืดพัทลุงตัวอย่างควบคุม และที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาทีในอัตราส่วนข้าวต่อน้ำ 1:8 เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นโดยวิเคราะห์จากค่าความหนืด

ตัวอย่าง	ความหนืด (cP)						
	3 นาที	6 นาที	9 นาที	12 นาที	15 นาที	18 นาที	21 นาที
Scon	367.47±12.11	227.97±11.36	456.73±12.04	463.13±9.95	745.23±40.02	881.40±29.66	1551.10±60.74
S2.5min	99.57±9.77	187.07±5.78	219.03±17.48	362.43±8.34	486.93±5.42	547.30±37.56	656.43±26.96

ตารางที่ ค.19 อุณหภูมิของข้าวกล้องสำเร็จรูปปรุงรสสังขียืดพัทลุงตัวอย่างควบคุม และที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาทีที่อัตราส่วนข้าวต่อน้ำ 1:8 เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น

ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (°C)						
	3 นาที	6 นาที	9 นาที	12 นาที	15 นาที	18 นาที	21 นาที
Scon	50.00 ±0.00	41.33±1.16	36.33±0.58	31.67±0.58	28.33±0.58	26.00±0.00	24.67±0.58
S2.5min	51.00±1.00	42.33±2.08	36.33±2.52	32.00±2.00	29.00±1.73	27.00±2.00	25.33±2.08

ตารางที่ ค. 20 การทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบของผู้บริโภคต่อโจ๊กข้าวกลิ้งกึ่งสำเร็จรูปตราเกษตร (คะแนนความชอบ 1-9)

ความชอบด้านต่างๆ	โจ๊กข้าวกลิ้งกึ่งสำเร็จรูปตราเกษตร
ความชอบต่อสี	6.1±1.1
ความชอบต่อลักษณะการพองตัวของผงโจ๊ก	4.7±1.6
ความชอบต่อความเหนียวของผลิตภัณฑ์	4.9±1.6
ความชอบต่อความชื้น	4.9±1.8
ความชอบต่อรสเค็ม	6.6±1.2
ความชอบต่อกลิ่นเครื่องปรุงรส	6.5±1.4
ความชอบโดยรวม	5.9±1.5

ตารางที่ ค. 21 การทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความเข้มข้นของผู้บริโภคต่อโจ๊กข้าวกลิ้งกึ่งสำเร็จรูปตราเกษตร (ระดับความเข้ม 0-10)

ระดับความเข้มในระดับต่างๆ	โจ๊กข้าวกลิ้งกึ่งสำเร็จรูปตราเกษตร
ระดับการพองตัวของผงโจ๊ก	4.7±1.7
ระดับความเหนียวของผลิตภัณฑ์	4.1±2.0
ระดับความชื้น	4.5±2.1
ระดับความเค็ม	5.9±1.4

ตารางที่ ค. 22 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณเชื้อ *E.coli* เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นของผลิตภัณฑ์ข้าวกลิ้งกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังขยดพืทลุงที่เป็นตัวอย่างควบคุมและที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาที

ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)	<i>E.coli</i> (MPN/กรัมของตัวอย่าง)	
	Scon	S2.5min
0	<3	<3
1	<3	<3
4	<3	<3
8	<3	<3

ตารางที่ ค. 23 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณยีสต์และราเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นของผลิตภัณฑ์ข้าวกลั่นกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังขีหัดพิทลุงที่เป็นตัวอย่างควบคุมและที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาที

ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)	ยีสต์และรา (CFU/กรัมของตัวอย่าง)	
	Scon	S2.5min
0	ND	ND
1	ND	ND
4	ND	ND
8	ND	ND

ND (not detected) ไม่พบยีสต์และรา

ภาคผนวก ง

ภาคผนวก ง
การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ตารางที่ ง.1 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของร้อยละความชื้นของข้าวเปลือกสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อ

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	856.443 ^a	9	95.160	1.297E3	<.001
Intercept	7496.421	1	7496.421	1.021E5	<.001
condition	856.443	9	95.160	1.297E3	<.001
Error	1.321	18	.073		
Total	8615.299	28			
Corrected Total	857.764	27			

ตารางที่ ง.2 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของร้อยละต้นข้าวของข้าวสารสังข์หยดพัทลุง

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1459.184	3	486.395	2.931E3	<.001
Within Groups	1.328	8	.166		
Total	1460.512	11			

ตารางที่ ง.3 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของค่าดัชนีความขาวของข้าวสารสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อที่วิธีการทำแห้งต่างกัน (A) และพันธุ์ข้าว(B)

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	586.416 ^a	7	83.774	137.898	<.001
Intercept	105300.801	1	105300.801	1.733E5	<.001
A	439.900	3	146.633	241.369	<.001
B	31.147	1	31.147	51.270	<.001
A * B	115.369	3	38.456	63.302	<.001
Error	9.720	16	.608		
Total	105896.937	24			
Corrected Total	596.136	23			

ตารางที่ ง.4 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของร้อยละความชื้นของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อที่วิธีการทำแห้งต่างกัน (A) และพันธุ์ข้าว(B)

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	13.491 ^a	7	1.927	19.387	<.001
Intercept	3140.829	1	3140.829	3.159E4	<.001
A	7.109	3	2.370	23.836	<.001
B	5.014	1	5.014	50.440	<.001
A * B	1.368	3	.456	4.586	.017
Error	1.591	16	.099		
Total	3155.910	24			
Corrected Total	15.081	23			

ตารางที่ ง.5 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของปริมาณไขมันของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อที่วิธีการทำแห้งต่างกัน (A) และพันธุ์ข้าว(B)

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	9.670 ^a	7	1.381	46.682	<.001
Intercept	349.324	1	349.324	1.180E4	<.001
A	4.035	3	1.345	45.448	<.001
B	4.730	1	4.730	159.853	<.001
A * B	.905	3	.302	10.192	.001
Error	.473	16	.030		
Total	359.468	24			
Corrected Total	10.143	23			

ตารางที่ ง.6 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของปริมาณโปรตีนของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อที่วิธีการทำแห้งต่างกัน (A) และพันธุ์ข้าว(B)

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1.675 ^a	7	.239	3.286	.023
Intercept	2281.110	1	2281.110	3.133E4	<.001
A	1.270	3	.423	5.812	.007
B	.013	1	.013	.178	.679
A * B	.392	3	.131	1.796	.189
Error	1.165	16	.073		
Total	2283.950	24			
Corrected Total	2.840	23			

ตารางที่ ง.7 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของปริมาณเถ้าของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อที่วิธีการทำแห้งต่างกัน (A) และพันธุ์ข้าว(B)

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.058 ^a	7	.008	1.284	.364
Intercept	32.234	1	32.234	4.983E3	<.001
A	.014	3	.005	.720	.568
B	.037	1	.037	5.729	.044
A* B	.007	3	.002	.367	.779
Error	.052	8	.006		
Total	32.344	16			
Corrected Total	.110	15			

ตารางที่ ง.8 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของปริมาณคาร์โบไฮเดรตของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อที่วิธีการทำแห้งต่างกัน (A) และพันธุ์ข้าว(B)

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	7.125 ^a	7	1.018	12.011	.001
Intercept	115671.581	1	115671.581	1.365E6	<.001
A	4.629	3	1.543	18.209	.001
B	1.535	1	1.535	18.108	.003
A * B	.961	3	.320	3.781	.059
Error	.678	8	.085		
Total	115679.384	16			
Corrected Total	7.803	15			

ตารางที่ ง.9 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของกำลังการพองตัวของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อที่วิธีการทำแห้งต่างกัน (A) และพันธุ์ข้าว(B)

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	4.723 ^a	7	.675	12.704	<.001
Intercept	2078.021	1	2078.021	3.913E4	<.001
A	1.168	3	.389	7.333	.003
B	3.258	1	3.258	61.349	<.001
A * B	.296	3	.099	1.859	.177
Error	.850	16	.053		
Total	2083.593	24			
Corrected Total	5.573	23			

ตารางที่ ง.10 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของปริมาณแอมิโลสของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงหลังการอบแห้ง

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ปริมาณแอมิโลส	Between Groups	2.432	3	.811	17.470	.001
	Within Groups	.371	8	.046		
	Total	2.803	11			

ตารางที่ ง.11 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของปริมาณแอมิโลสของแป้งข้าวกล้องหน่วยเชื้อหลังการอบแห้ง

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ปริมาณแอมิโลส	Between Groups	.643	3	.214	1.626	.259
	Within Groups	1.055	8	.132		
	Total	1.698	11			

ตารางที่ ง.12 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ค่า Ratio of absorbance height ของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อที่วิธีการทำแห้งต่างกัน (A) และพันธุ์ข้าว(B)

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.001 ^a	7	8.909E-5	.788	.607
Intercept	.027	1	.027	240.136	<.001
A	.000	3	.000	1.084	.384
B	4.004E-5	1	4.004E-5	.354	.560
A * B	.000	3	7.204E-5	.638	.602
Error	.002	16	.000		
Total	.030	24			
Corrected Total	.002	23			

ตารางที่ ง.13 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของค่า pasting properties ของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อหลังที่วิธีการทำแห้งต่างกัน (A) และพันธุ์ข้าว(B)

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	117.041 ^a	7	16.720	33.426	<.001
Intercept	186084.870	1	186084.870	3.720E5	<.001
A	58.777	3	19.592	39.168	<.001
B	43.202	1	43.202	86.367	<.001
A * B	15.062	3	5.021	10.037	.001
Error	8.003	16	.500		
Total	186209.915	24			
Corrected Total	125.045	23			

ตารางที่ ง.14 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของค่า peak viscosity ของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อที่วิธีการทำแห้งต่างกัน (A) และพันธุ์ข้าว(B)

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	4.008E6 ^a	7	572510.327	3.684E3	<.001
Intercept	1.017E7	1	1.017E7	6.544E4	<.001
A	2922367.458	3	974122.486	6.268E3	<.001
B	643210.042	1	643210.042	4.139E3	<.001
A* B	441994.792	3	147331.597	947.978	<.001
Error	2486.667	16	155.417		
Total	1.418E7	24			
Corrected Total	4010058.958	23			

ตารางที่ ง.15 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของค่า breakdown ของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงและหน่วยเชื้อที่วิธีการทำแห้งต่างกัน (A) และพันธุ์ข้าว(B)

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	298792.292 ^a	7	42684.613	705.045	<.001
Intercept	998376.042	1	998376.042	1.649E4	<.001
A	280526.458	3	93508.819	1.545E3	<.001
B	40.042	1	40.042	.661	.428
A * B	18225.792	3	6075.264	100.348	<.001
Error	968.667	16	60.542		
Total	1298137.000	24			
Corrected Total	299760.958	23			

ตารางที่ ง.16 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์สมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าว
กล้องสังข์หยดพัทลุง

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
final viscosity	Between Groups	1054679.00	3	351559.67	1.45E3	<.001
	Within Groups	1936.67	8	242.08		
	Total	1056615.67	11			
setback	Between Groups	88572.25	3	29524.08	723.04	<.001
	Within Groups	326.67	8	40.83		
	Total	88898.92	11			

ตารางที่ ง.17 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์สมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าว
กล้องหน่วยเขือ

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
final viscosity	Between Groups	1.99E7	3	6637675.19	4.54E4	<.001
	Within Groups	1169.33	8	146.17		
	Total	1.99E7	11			
setback	Between Groups	7825830.92	3	2608610.31	1.33E4	<.001
	Within Groups	1570.00	8	196.25		
	Total	7827400.92	11			

ตารางที่ ง.18 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของแป้งข้าว
กล้องสังข์หยดพัทลุง ที่ระยะเวลาการสกัดต่างกัน (A) และระยะเวลาการอบแห้งต่างกัน (B)

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	702113.002 ^a	19	36953.316	94.685	<.001
Intercept	3.271E7	1	3.271E7	8.382E4	<.001
A	247235.020	4	61808.755	158.372	<.001
B	261362.835	3	87120.945	223.229	<.001
A * B	204013.948	12	17001.162	43.562	<.001
Error	15220.735	39	390.275		
Total	3.344E7	59			
Corrected Total	717333.737	58			

ตารางที่ ง.19 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของแป้งข้าว
กล้องหน่วยเขือที่ระยะเวลาการอบแห้งต่างกัน (A) และระยะเวลาการสกัดต่างกัน (B)

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	108839.458 ^a	19	5728.393	33.862	<.001
Intercept	6226622.156	1	6226622.156	3.681E4	<.001
A	42144.828	3	14048.276	83.042	<.001
B	15287.461	4	3821.865	22.592	<.001
A * B	51407.169	12	4283.931	25.323	<.001
Error	6766.816	40	169.170		
Total	6342228.430	60			
Corrected Total	115606.274	59			

ตารางที่ ง.20 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ค่า EC_{50} ของแป้งข้าวกล้องสังข์หยด พืชลุงที่ระยะเวลาการอบแห้งต่างกัน (A) และระยะเวลาการสกัดต่างกัน (B)

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	21784.889 ^a	19	1146.573	15.508	<.001
Intercept	951344.361	1	951344.361	1.287E4	<.001
A	3135.883	3	1045.294	14.138	<.001
B	4798.154	4	1199.539	16.225	<.001
A * B	13833.797	12	1152.816	15.593	<.001
Error	1922.263	26	73.933		
Total	992729.718	46			
Corrected Total	23707.152	45			

ตารางที่ ง.21 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ค่า EC_{50} ของแป้งข้าวกล้องสังข์หยด พืชลุงที่ระยะเวลาการอบแห้งต่างกัน (A) และระยะเวลาการสกัดต่างกัน (B)

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	716419.409 ^a	19	37706.285	20.997	<.001
Intercept	1.400E7	1	1.400E7	7.797E3	<.001
A	182921.434	3	60973.811	33.954	<.001
B	154316.268	4	38579.067	21.483	<.001
A * B	423802.432	12	35316.869	19.667	<.001
Error	50281.981	28	1795.785		
Total	1.583E7	48			
Corrected Total	766701.390	47			

ตารางที่ ง.22 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ระยะเวลาการต้มและอุณหภูมิของข้าวกล้องหักสังข์หยดพัทลุง

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ค่าความหนืด	Between Groups	2.607E7	3	8689388.610	33.641	<.001
	Within Groups	2066379.540	8	258297.442		
	Total	2.813E7	11			
อุณหภูมิ	Between Groups	287.583	3	95.861	12.109	.002
	Within Groups	63.333	8	7.917		
	Total	350.917	11			

ตารางที่ ง.23 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ระยะเวลาการต้มและอุณหภูมิของข้าวกล้องหักหน่วยเชื้อ

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ค่าความหนืด	Between Groups	3.309E7	3	1.103E7	167.567	<.001
	Within Groups	526564.667	8	65820.583		
	Total	3.361E7	11			
อุณหภูมิ	Between Groups	100.333	3	33.444	7.167	.012
	Within Groups	37.333	8	4.667		
	Total	137.667	11			

ตารางที่ ง.24 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ค่าความหนืดของข้าวกล็องกิ่ง
สำเร็จรูปหน่วยเข็ที่อบแห้งด้วยเวลาต่างๆ กัน (A) และค่าความหนืดเมื่อเวลาเปลี่ยนไป (B)

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	150854.716 ^a	27	5587.212	22.140	<.001
Intercept	5289574.298	1	5289574.298	2.096E4	<.001
A	46377.880	3	15459.293	61.259	<.001
B	97088.336	6	16181.389	64.121	<.001
A*B	7388.500	18	410.472	1.627	.085
Error	14132.027	56	252.358		
Total	5454561.040	84			
Corrected Total	164986.742	83			

ตารางที่ ง.25 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ค่าความหนืดของข้าวกล็องกิ่ง
สำเร็จรูปสังข์หยดพัทลุงที่ค่าความหนืดเมื่อเวลาเปลี่ยนไป (A) และอบแห้งด้วยเวลาต่างๆ กัน (B)

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	2.689E7 ^a	27	995944.076	615.323	<.001
Intercept	4.246E7	1	4.246E7	2.623E4	<.001
A	1.421E7	6	2368893.119	1.464E3	<.001
B	7452412.901	3	2484137.634	1.535E3	<.001
A* B	5224718.437	18	290262.135	179.332	<.001
Error	90640.033	56	1618.572		
Total	6.944E7	84			
Corrected Total	2.698E7	83			

ตารางที่ ง.26 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์คุณสมบัติของข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป
 ดัชนีหยดพัทลุงที่เวลาในการคั่วตัวต่างๆ กัน

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	8486.476	27	314.314	310.616	<.001
Within Groups	56.667	56	1.012		
Total	8543.143	83			

ตารางที่ ง.27 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์คุณสมบัติของข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป
 หน่วยเชื้อที่เวลาในการคั่วตัวต่างๆ กัน

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	7037.905	27	260.663	295.888	<.001
Within Groups	49.333	56	.881		
Total	7087.238	83			

ตารางที่ ง.28 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสความชอบโดยรวมต่อผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องที่สำเร็จรูปปรุงรสสังขยดพื้ลูงตัวอย่างควบคุม และที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเวลา 2.5 นาที

		Paired Differences					
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	t	df	Sig. (2-tailed)
Pair 1	สีScon - สีS2.5min	.02000	2.17115	.30705	.065	49	.948
Pair 2	ความหนืดScon - ความหนืดS2.5min	.10000	1.89790	.26840	.373	49	.711
Pair 3	ความข้นScon - ความข้นS2.5min	-.42000	1.79671	.25409	-1.653	49	.105
Pair 4	ความเค็มScon - ความเค็มS2.5min	-.52000	2.17818	.30804	-1.688	49	.098
Pair 5	กลิ่นของเครื่องปรุงรสScon - กลิ่นของเครื่องปรุงรสS2.5min	-.52000	2.05277	.29031	-1.791	49	.079
Pair 6	ความชอบโดยรวมScon - ความชอบโดยรวมS2.5min	-.42000	1.86362	.26355	-1.594	49	.117
Pair 7	ระดับการพองตัวScon - ระดับการพองตัวS2.5min	-.11800	2.44003	.34507	-.342	49	.734
Pair 8	ระดับความหนืดScon - ระดับความหนืดS2.5min	-.29600	2.45830	.34766	-.851	49	.399
Pair 9	ระดับความข้นScon - ระดับความข้นS2.5min	-.31400	2.20510	.31185	-1.007	49	.319
Pair 10	ระดับความเค็มScon - ระดับความเค็มS2.5min	-.51600	3.16385	.44744	-1.153	49	.254

ตารางที่ ง.29 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของร้อยละความชื้นของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังขี้หยดพัทลุงที่เป็นตัวอย่างควบคุมและที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (A) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ (B)

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	11.387 ^a	17	.670	3.849	<.001
Intercept	1509.290	1	1509.290	8.672E3	<.001
A	5.238	1	5.238	30.098	<.001
B	3.857	8	.482	2.770	.017
type * time	2.292	8	.287	1.646	.146
Error	6.266	36	.174		
Total	1526.944	54			
Corrected Total	17.653	53			

ตารางที่ ง.30 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังขี้หยดพัทลุงที่เป็นตัวอย่างควบคุมและที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (A) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ (B)

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.068 ^a	17	.004	13.999	<.001
Intercept	3.848	1	3.848	1.341E4	<.001
A	.050	1	.050	175.432	<.001
B	.012	8	.001	5.008	<.001
A * B	.006	8	.001	2.809	.016
Error	.010	36	.000		
Total	3.927	54			
Corrected Total	.079	53			

ตารางที่ ง.31 ความแปรปรวน (ANOVA) ของค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังขี้หยดพัทลุงที่เป็นตัวอย่างควบคุมและที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (A) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ (B)

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	2.096 ^a	17	.123	1.228E4	<.001
Intercept	3.259	1	3.259	3.245E5	<.001
B	1.114	8	.139	1.386E4	<.001
A	.393	1	.393	3.911E4	<.001
B* A	.589	8	.074	7.333E3	<.001
Error	.000	18	1.004E-5		
Total	5.355	36			
Corrected Total	2.096	35			

ตารางที่ ง.32 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของค่า L^* ของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังขี้หยดพัทลุงที่เป็นตัวอย่างควบคุมและที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (A) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ (B)

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	196.324 ^a	17	11.548	14.454	<.001
Intercept	126458.555	1	126458.555	1.583E5	<.001
A	56.529	1	56.529	70.752	<.001
B	131.629	8	16.454	20.593	<.001
A * B	8.166	8	1.021	1.278	.286
Error	28.763	36	.799		
Total	126683.642	54			
Corrected Total	225.087	53			

ตารางที่ ง.33 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของค่า a^* ของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังขี้หยดพัทลุงที่เป็นตัวอย่างควบคุมและที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (A) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ (B)

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	30.718 ^a	17	1.807	1.948	.046
Intercept	6247.257	1	6247.257	6.734E3	<.001
A	.493	1	.493	.531	.471
B	24.273	8	3.034	3.270	.007
A * B	5.952	8	.744	.802	.605
Error	33.400	36	.928		
Total	6311.375	54			
Corrected Total	64.119	53			

ตารางที่ ง.34 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของค่า b^* ของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังขี้หยดพัทลุงที่เป็นตัวอย่างควบคุมและที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (A) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ (B)

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	49.905 ^a	17	2.936	1.648	.102
Intercept	13932.693	1	13932.693	7.822E3	<.001
A	4.084	1	4.084	2.293	.139
B	26.715	8	3.339	1.875	.095
A * B	19.107	8	2.388	1.341	.256
Error	64.128	36	1.781		
Total	14046.726	54			
Corrected Total	114.033	53			

ตารางที่ ง.35 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังขี้หยดพัทลุงที่เป็นตัวอย่างควบคุมและที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (A) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ (B)

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	716363.320 ^a	7	102337.617	188.885	<.001
Intercept	1.579E7	1	1.579E7	2.914E4	<.001
A	2968.615	1	2968.615	5.479	.047
B	390949.886	3	130316.629	240.526	<.001
A * B	322444.819	3	107481.606	198.379	<.001
Error	4334.388	8	541.799		
Total	1.651E7	16			
Corrected Total	720697.708	15			

ตารางที่ ง.36 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังขี้หยดพัทลุงที่เป็นตัวอย่างควบคุมและที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (A) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ (B)

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	22766.760 ^a	7	3252.394	1.366	.334
Intercept	169698.065	1	169698.065	71.261	<.001
A	1892.228	1	1892.228	.795	.399
B	15868.325	3	5289.442	2.221	.163
A * B	5006.207	3	1668.736	.701	.578
Error	19050.766	8	2381.346		
Total	211515.591	16			
Corrected Total	41817.526	15			

ตารางที่ ง.37 ความแปรปรวน (ANOVA) ของการทดสอบทางประสาทสัมผัสความชอบต่อสีของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังขีหุดพัทลุงที่เป็นตัวอย่างควบคุมและที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (A) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ (B)

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	57.617 ^a	36	1.600	.799	.785
Intercept	8640.000	1	8640.000	4.316E3	<.001
people	42.750	29	1.474	.736	.835
A	3.267	1	3.267	1.632	.203
B	9.767	3	3.256	1.626	.184
A * B	1.833	3	.611	.305	.822
Error	406.383	203	2.002		
Total	9104.000	240			
Corrected Total	464.000	239			

ตารางที่ ง.38 ความแปรปรวน (ANOVA) ของการทดสอบทางประสาทสัมผัสความชอบต่อลักษณะการพองตัวของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังขีหุดพัทลุงที่เป็นตัวอย่างควบคุมและที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (A) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ (B)

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	80.200 ^a	36	2.228	.963	.535
Intercept	7504.017	1	7504.017	3.243E3	<.001
people	64.483	29	2.224	.961	.528
A	5.400	1	5.400	2.333	.128
B	6.183	3	2.061	.891	.447
A*B	4.133	3	1.378	.595	.619
Error	469.783	203	2.314		
Total	8054.000	240			
Corrected Total	549.983	239			

ตารางที่ ง.39 ความแปรปรวน (ANOVA) ของการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความเข้มของระดับการพองตัวของผลิตภัณฑ์ข้าวกลิ้งกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังขี้หยดพัทลุงที่เป็นตัวอย่างควบคุมและที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (A) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ (B)

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	146.216 ^a	36	4.062	1.152	.267
Intercept	7706.667	1	7706.667	2.186E3	<.001
people	129.733	29	4.474	1.269	.173
A	2.091	1	2.091	.593	.442
B	8.987	3	2.996	.850	.468
A * B	5.405	3	1.802	.511	.675
Error	715.557	203	3.525		
Total	8568.440	240			
Corrected Total	861.773	239			

ตารางที่ ง.40 ความแปรปรวน (ANOVA) ของการทดสอบทางประสาทสัมผัสความชอบต่อความหนืดของผลิตภัณฑ์ข้าวกลิ้งกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังขี้หยดพัทลุงที่เป็นตัวอย่างควบคุมและที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (A) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ (B)

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	95.500 ^a	36	2.653	1.215	.201
Intercept	7459.350	1	7459.350	3.417E3	<.001
people	87.650	29	3.022	1.385	.102
A	2.017	1	2.017	.924	.338
B	.450	3	.150	.069	.977
A * B	5.383	3	1.794	.822	.483
Error	443.150	203	2.183		
Total	7998.000	240			
Corrected Total	538.650	239			

ตารางที่ ง.41 ความแปรปรวน (ANOVA) ของการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความเข้มต่อระดับความหนืดของผลิตภัณฑ์ข้าวกลิ้งกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังขีหยดพัทลุงที่เป็นตัวอย่างควบคุมและที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (A) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ (B)

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	97.385 ^a	36	2.705	1.009	.463
Intercept	7852.416	1	7852.416	2.928E3	<.001
people	80.746	29	2.784	1.038	.419
A	.171	1	.171	.064	.801
B	9.286	3	3.095	1.154	.328
A * B	7.181	3	2.394	.892	.446
Error	544.500	203	2.682		
Total	8494.300	240			
Corrected Total	641.884	239			

ตารางที่ ง.42 ความแปรปรวน (ANOVA) ของการทดสอบทางประสาทสัมผัสความชอบต่อความชื้นของผลิตภัณฑ์ข้าวกลิ้งกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังขีหยดพัทลุงที่เป็นตัวอย่างควบคุมและที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (A) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ (B)

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	70.417 ^a	36	1.956	.959	.542
Intercept	7459.350	1	7459.350	3.656E3	<.001
people	63.900	29	2.203	1.080	.365
A	.017	1	.017	.008	.928
B	5.250	3	1.750	.858	.464
A * B	1.250	3	.417	.204	.893
Error	414.233	203	2.041		
Total	7944.000	240			
Corrected Total	484.650	239			

ตารางที่ ง.43 ความแปรปรวน (ANOVA) ของการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความเข้มข้นต่อระดับความชื้นของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังขี้หยดพัทลุงที่เป็นตัวอย่างควบคุมและที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (A) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ (B)

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	154.022 ^a	36	4.278	1.464	.053
Intercept	8426.535	1	8426.535	2.884E3	<.001
people	136.881	29	4.720	1.615	.030
A	3.978	1	3.978	1.361	.245
B	8.790	3	2.930	1.003	.393
A * B	4.372	3	1.457	.499	.684
Error	593.212	203	2.922		
Total	9173.770	240			
Corrected Total	747.235	239			

ตารางที่ ง.44 ความแปรปรวน (ANOVA) ของการทดสอบทางประสาทสัมผัสความชอบต่อความรสเค็มของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังขี้หยดพัทลุงที่เป็นตัวอย่างควบคุมและที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (A) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ (B)

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	80.817 ^a	36	2.245	1.127	.297
Intercept	5664.817	1	5664.817	2.844E3	<.001
people	57.433	29	1.980	.994	.480
A	1.067	1	1.067	.535	.465
B	16.150	3	5.383	2.703	.047
A * B	6.167	3	2.056	1.032	.379
Error	404.367	203	1.992		
Total	6150.000	240			
Corrected Total	485.183	239			

ตารางที่ ง.45 ความแปรปรวน (ANOVA) ของการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความเข้มต่อระดับรสเค็มของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังขียุคพัทลุงที่เป็นตัวอย่างควบคุมและที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (A) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ (B)

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	209.927 ^a	36	5.831	1.914	.003
Intercept	2161.200	1	2161.200	709.504	<.001
people	179.817	29	6.201	2.036	.002
A	.600	1	.600	.197	.658
B	18.942	3	6.314	2.073	.105
A * B	10.568	3	3.523	1.156	.327
Error	618.353	203	3.046		
Total	2989.480	240			
Corrected Total	828.280	239			

ตารางที่ ง.46 ความแปรปรวน (ANOVA) ของการทดสอบทางประสาทสัมผัสความชอบต่อกลิ่นเครื่องปรุงรสของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังขียุคพัทลุงที่เป็นตัวอย่างควบคุมและที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (A) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ (B)

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	57.067 ^a	36	1.585	.899	.637
Intercept	7437.067	1	7437.067	4.219E3	<.001
people	46.933	29	1.618	.918	.591
A	.000	1	.000	.000	1.000
B	10.000	3	3.333	1.891	.132
A* B	.133	3	.044	.025	.995
Error	357.867	203	1.763		
Total	7852.000	240			
Corrected Total	414.933	239			

ตารางที่ ง.47 ความแปรปรวน (ANOVA) ของการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความเข้มต่อระดับกลิ่นแปลกปลอมของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังขียุคพัทลุงที่เป็นตัวอย่างควบคุมและที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (A) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ (B)

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	199.574 ^a	36	5.544	2.425	<.001
Intercept	520.971	1	520.971	227.858	<.001
people	179.599	29	6.193	2.709	.000
A	.468	1	.468	.205	.651
B	18.078	3	6.026	2.636	.051
A*B	1.429	3	.476	.208	.891
Error	464.135	203	2.286		
Total	1184.680	240			
Corrected Total	663.709	239			

ตารางที่ ง.48 ความแปรปรวน (ANOVA) ของการทดสอบทางประสาทสัมผัสความชอบโดยรวมต่อผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสสังขียุคพัทลุงที่เป็นตัวอย่างควบคุมและที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (A) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ (B)

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	125.750 ^a	36	3.493	2.158	<.001
Intercept	7854.704	1	7854.704	4.853E3	<.001
people	82.421	29	2.842	1.756	.013
A	7.004	1	7.004	4.328	.039
B	33.946	3	11.315	6.991	<.001
A* B	2.379	3	.793	.490	.690
Error	328.546	203	1.618		
Total	8309.000	240			
Corrected Total	454.296	239			

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวปัทมา ร่ำรวยธรรม เกิดเมื่อวันที่ 16 ธันวาคม พ.ศ. 2529 ที่จังหวัดลพบุรี สำเร็จ การศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิตจากภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร เมื่อปีการศึกษา 2551

เสนอผลงานผลงานทางวิชาการภาคโปสเตอร์ เรื่อง สมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวพื้น ถิ่นไทยที่อบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิดไอเซชันร่วมกับไอน้ำร้อนยวดยิ่ง ในการประชุมวิชาการหลังการ เก็บเกี่ยวแห่งชาติ ครั้งที่ 9 วันที่ 23-24 มิถุนายน พ.ศ. 2554 ณ โรงแรมพัทยาพาร์ค บีช รีสอร์ทที่ จังหวัดชลบุรี และผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิทยาศาสตร์เกษตร ปีที่ 42 ฉบับที่ 3 (พิเศษ) กันยายน- ธันวาคม 2554