



คุณภาพของข้าวหอมใบเตยและผลิตภัณฑ์ข้าวพร้อมบริโภคระหว่างการเก็บรักษา
Quality of Hom Bai Toie Rice and Its Ready-to-Eat Rice Product during Storage

หทัยรัตน์ ทองปันจา

Hatairat Thongpanja

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

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

Prince of Songkla University

2560

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์



คุณภาพของข้าวหอมใบเตยและผลิตภัณฑ์ข้าวพร้อมบริโภคระหว่างการเก็บรักษา
Quality of Hom Bai Toie Rice and Its Ready-to-Eat Rice Product during Storage

หทัยรัตน์ ทองปันจา
Hatairat Thongpanja

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

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

Prince of Songkla University

2560

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ คุณภาพของข้าวหอมใบเตยและผลิตภัณฑ์ข้าวพร้อมบริโภคระหว่างการศึกษา
ผู้เขียน นางสาวหทัยรัตน์ ทองปั้นจา
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มุกิตา มีนุ่น)

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยรัตน์ ศิริวงศ์ไพศาล)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มุกิตา มีนุ่น)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรพิมล มะยะเฉียว)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
อาหาร

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.ดำรง ฟ้างู่งสง)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้เป็นผลมาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณ
ผู้มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มุกิตา มีนุ่น)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ.....
(นางสาวหทัยรัตน์ ทองปิ่นจา)
นักศึกษา

(4)

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน
และไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....

(นางสาวหทัยรัตน์ ทองปันจา)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์	คุณภาพของข้าวหอมใบเตยและผลิตภัณฑ์ข้าวพร้อมบริโภคระหว่างการเก็บรักษา
ผู้เขียน	นางสาวหทัยรัตน์ ทองปิ่นจา
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร
ปีการศึกษา	2560

บทคัดย่อ

ข้าวหอมใบเตย (พันธุ์ C 85) เป็นพันธุ์ข้าวไทยที่มีกลิ่นหอมของใบเตยเป็นกลิ่นเฉพาะตัว เมื่อหุงสุกข้าวจะมีลักษณะอ่อนนุ่ม การบริโภคข้าวหอมใบเตยจะอยู่ในรูปข้าวกล้องและข้าวขัดขาวทั้งในรูปข้าวใหม่และเก่า ซึ่งทำได้โดยนำข้าวเปลือกภายหลังจากการเก็บเกี่ยวนำมาตากแดดเพื่อลดความชื้นให้เหลือน้อยกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 14 จากนั้นนำข้าวเปลือกมาผ่านเครื่องกะเทาะเปลือกออก จะได้ข้าวกล้อง ข้าวกล้องเมื่อถูกนำมาขัดสีโดยผ่านเครื่องขัดสีเพื่อแยกรำและคัพพะออก จะได้เป็นข้าวขัดขาว ความใหม่-เก่าของข้าวตามระยะเวลาการเก็บรักษาจะมีผลต่อการใช้อัตราส่วนข้าวต่อน้ำในการหุงสุกของข้าวเพื่อให้ได้คุณภาพข้าวหุงสุกที่ดี ในปัจจุบันการดำเนินชีวิตในสังคมมีความเร่งรีบจึงทำให้อาหารพร้อมบริโภคได้รับความนิยมและมีบทบาทสำคัญเป็นอย่างมาก ข้าวหุงสุกสำเร็จรูปจึงมีความต้องการเพิ่มขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาผลของระยะเวลาการเก็บรักษาต่อคุณภาพข้าว อัตราส่วนข้าวต่อน้ำที่เหมาะสมต่อการหุงสุกข้าว และศึกษากระบวนการแปรรูปข้าวเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวพร้อมบริโภคในลักษณะปิดสนิทและติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษา

ข้าวกล้องและข้าวขัดขาว (ข้าวใหม่) ถูกนำมาบรรจุในถุงพลาสติก Nylon/LLDPE เก็บรักษาที่ 2 สภาวะ คือ สภาวะปกติ (Non-vacuum) และสภาวะสุญญากาศ (Vacuum) ที่อุณหภูมิห้อง นาน 6 เดือน จากนั้นตรวจสอบสมบัติทางกายภาพ เคมี และเคมีเชิงฟิสิกส์ทุกเดือน พบว่า ข้าวกล้องและข้าวขัดขาวที่บรรจุในสภาวะแบบปกติและสุญญากาศมีการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ เคมี และเคมีเชิงฟิสิกส์ระหว่างการเก็บรักษา ($p < 0.05$) ข้าวกล้องที่บรรจุในสภาวะสุญญากาศมีค่าความหืนน้อยกว่าข้าวที่บรรจุในสภาวะปกติตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p < 0.05$) ค่าความหืนในข้าวกล้องเริ่มต้นเท่ากับ 0.55 มิลลิกรัมมาลอนแอลดีไฮด์ต่อกิโลกรัมตัวอย่าง ขณะที่ข้าวกล้องที่บรรจุในสภาวะปกติและสภาวะสุญญากาศในเดือนที่ 6 มีค่าความหืนสูงขึ้นโดยเท่ากับ 1.15 และ 0.97 มิลลิกรัมมาลอนแอลดีไฮด์ต่อกิโลกรัมตัวอย่าง ตามลำดับ ส่วนข้าวขัดขาวเริ่มต้นมีค่าความหืนเท่ากับ 0.46 มิลลิกรัมมาลอนแอลดีไฮด์ต่อกิโลกรัมตัวอย่าง ขณะที่ข้าวขัดขาวบรรจุในสภาวะปกติและสภาวะสุญญากาศในเดือนที่ 6 มีค่าความหืนสูงขึ้นโดยเท่ากับ 1.07 และ 0.84 มิลลิกรัมมาลอนแอลดีไฮด์ต่อกิโลกรัมตัวอย่าง ตามลำดับ ส่วนปริมาณ Hexanal ซึ่งเป็นสารระเหยที่ให้กลิ่นหืนของข้าวเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p < 0.05$) ขณะที่ปริมาณ 2-Acety-1-pyrroline (2AP) ซึ่งแสดงเอกลักษณ์ความหอมกลิ่นใบเตยลดลง ($p < 0.05$)

นอกจากนี้ทั้งข้าวกล้องและข้าวขัดขาวบรรจุในสภาวะปกติและสุญญากาศมีค่าความหนืดสูงสุด ค่าความหนืดสุดท้าย และค่าการคืนตัวลดลง ($p < 0.05$) ขณะที่ปริมาณผลึกและพลังงานเอนทัลปีเพิ่มสูงขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p < 0.05$)

การศึกษาอัตราส่วนข้าวต่อน้ำต่อคุณภาพข้าวสุก ซึ่งข้าวกล้องและข้าวขัดขาว (ข้าวใหม่) จะถูกนำมาบรรจุในถุงพลาสติกชนิด Nylon/LLDPE ในสภาวะสุญญากาศ (Vacuum) เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเมื่อครบ 6 เดือน จะถือเป็นข้าวเก่า นำข้าวกล้องและข้าวขัดขาวใหม่และเก่ามาหุงสุกด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า โดยข้าวกล้องใหม่และเก่าจะใช้อัตราส่วนข้าวต่อน้ำ 3 ระดับ ได้แก่ 1:1.5, 1:2 และ 1:2.5 ส่วนข้าวขัดขาวใหม่และเก่าจะใช้อัตราส่วนข้าวต่อน้ำ 3 ระดับ ได้แก่ 1:1, 1:1.5 และ 1:2 ซึ่งอัตราส่วนข้าวต่อน้ำที่เหมาะสมของข้าวกล้องและข้าวขัดขาวจะพิจารณาจากผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส ด้วยวิธี 9-point Hedonic scale เป็นหลัก พบว่า ข้าวกล้องและข้าวขัดขาวเก่าจะได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ ด้านสี กลิ่น เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบ โดยรวมมากกว่าข้าวใหม่ ($p < 0.05$) ซึ่งอัตราส่วนข้าวต่อน้ำที่เหมาะสมของข้าวกล้องเก่าคือ 1:2 ส่วนข้าวขัดขาวเก่า คือ 1:1.5 เนื่องจากได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส และความชอบ โดยรวมสูงสุด ($p < 0.05$) ข้าวกล้องเก่ามีค่าความแข็งและค่าการเกาะติดเท่ากับ 54.81 และ 2.61 นิวตัน ตามลำดับ ส่วนข้าวขัดขาวมีค่าความแข็งและค่าการเกาะติดเท่ากับ 27.05 และ 2.90 นิวตัน ตามลำดับ นอกจากนี้ พบว่า ข้าวกล้องและข้าวขัดขาวเก่ามีปริมาณ 2AP น้อยกว่าข้าวใหม่ ขณะที่ปริมาณ Hexanal มากกว่า และเมื่อทดลองเพิ่มอัตราส่วนข้าวต่อน้ำมากขึ้นพบว่าทั้งข้าวกล้องและข้าวขัดขาวใหม่และเก่ามีปริมาณความชื้น ความสามารถในการดูดซับน้ำ และอัตราการยืดตัวเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$)

ขั้นตอนกระบวนการผลิตข้าวพร้อมบริโภคในภาชนะปิดสนิทจะประกอบด้วย การศึกษาระยะเวลาแช่ข้าวที่เหมาะสม การหุงระยะเวลาฆ่าเชื้อ และติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพข้าวพร้อมบริโภคระหว่างการเก็บรักษา ข้าวกล้องและข้าวขัดขาวจะถูกนำมาแช่ในน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส สุ่มตัวอย่างทุก 2 นาที จากนั้นคัดเลือกระยะเวลาที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากปริมาณความชื้นและร้อยละการเกิดเจลลิตีในเซชัน พบว่า ระยะเวลาการแช่ที่เหมาะสมของข้าวกล้องคือ 8, 10 และ 12 นาที ส่วนข้าวขัดขาวคือ 6 และ 8 นาที ซึ่งข้าวกล้องและข้าวขัดขาวมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 60.01-64.64 และการเกิดเจลลิตีในเซชันอยู่ในช่วงร้อยละ 70.78-89.93 จากนั้นบรรจุข้าวกล้องและข้าวขัดขาวน้ำหนักถุงละ 125 กรัม ในถุงรีทอร์ทเพาซ์ ปิดผนึกและกำหนดอุณหภูมิฆ่าเชื้อเท่ากับ 118 องศาเซลเซียส ความดัน 23 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และระยะเวลาฆ่าเชื้อที่เหมาะสม พบว่า ระยะเวลาการให้ความร้อนในการฆ่าเชื้อของข้าวกล้องคือ 26.30 นาที (F_0 Formula เท่ากับ 4.29 นาที) ส่วนระยะเวลาการให้ความร้อนในการฆ่าเชื้อของข้าวขัดขาวคือ 23.30 นาที (F_0 Formula เท่ากับ 4.08 นาที) จากการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point Hedonic scale ของข้าวกล้องและข้าว

ข้าวพร้อมบริโภคในภาวะบรรจุปิดสนิท พบว่า ข้าวกล้องและข้าวขัดขาวพร้อมบริโภคในภาวะบรรจุปิดสนิทที่เตรียมจากการแช่ข้าวนาน 10 และ 6 นาที และทำให้สุกโดยใช้หม้อฆ่าเชื้อความดันสูง ได้รับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมสูงสุด ($p < 0.05$) โดยข้าวกล้องพร้อมบริโภคในภาวะบรรจุปิดสนิทที่เตรียมจากการแช่ข้าวนาน 10 นาที และทำให้สุกโดยใช้หม้อฆ่าเชื้อความดันสูง มีค่าความแข็งและค่าการเกาะติดเท่ากับ 54.80 และ 2.62 นิวตัน ตามลำดับ ส่วนข้าวขัดขาวพร้อมบริโภคในภาวะบรรจุปิดสนิทที่เตรียมจากการแช่ข้าวนาน 6 นาที และทำให้สุกโดยใช้หม้อฆ่าเชื้อความดันสูง มีค่าความแข็งและค่าการเกาะติดเท่ากับ 26.88 และ 2.89 นิวตัน ตามลำดับ เมื่อนำข้าวกล้องและข้าวขัดขาวพร้อมบริโภคในภาวะบรรจุปิดสนิทถูกนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง 6 เดือน และตรวจสอบสมบัติทางกายภาพ เคมี เคมีเชิงฟิสิกส์และการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส ด้วยวิธี 9-point Hedonic scale พบว่า ข้าวกล้องและข้าวขัดขาวพร้อมบริโภคในภาวะปิดสนิทเกิดริโทเรเดชันเพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษา พิจารณาจากค่าพลังงานเอนทัลปีและค่าความแข็งที่เพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) ขณะที่ปริมาณความชื้นและค่าการเกาะติดลดลง ($p < 0.05$) ข้าวกล้องและข้าวขัดขาวพร้อมบริโภคในภาวะบรรจุปิดสนิทมีคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษานาน 6 เดือน ($p < 0.05$) ดังนั้นข้าวกล้องที่ผ่านการแช่ในน้ำเดือดนาน 10 นาที และข้าวขัดขาวที่ผ่านการแช่ในน้ำเดือดนาน 6 นาที และนำมาบรรจุในถุงรีทอร์ทเพาซ์และผ่านการให้ความร้อนจะมีคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมสูงสุดดีกว่าสภาวะอื่น ($p < 0.05$)

Thesis Title	Quality of Hom Bai Toie Rice and Its Ready-to-Eat Rice Product during Storage
Author	Ms. Hatairat Thongpanja
Major Program	Food Science and Technology
Academic Year	2017

ABSTRACT

Hom Bai Toei rice (Cultivar 85) is specific-pandan flavour rice from Thailand that has soft texture when it was cooked. Hom Bai Toei rice can be consumed either in a form of brown or milled rice. After harvested, paddy rice is dehydrated by sun light to reduce the moisture content until it reached 14% or below. Then, paddy rice is dehulled to obtain brown rice. Furthermore, brown rice is removed bran and germ to obtain milled rice. The quality of cooked rice was affected by rice and water ratio and also the duration of aged rice. At present, ready-to-eat foods are of important and the market share has been increased rapidly. Since people do not have time for cooking. Therefore, this research was to study the effect of storage time on the rice quality, rice to water ratio on cooking quality as well as to investigate the sterilization process to produce ready-to-eat rice in a retort pouch and to monitor the quality of cooked rice during storage.

Fresh Hom Bai Toei brown and milled rice was packed in Nylon/LLDPE plastic bag under vacuum and non-vacuum packaging and stored at room temperature for 6 months. Each month, Hom Bai Toei brown rice and milled rice grain was determined for physical, chemical and physicochemical properties. It was found that the properties of Hom Bai Toei brown and milled rice that was kept under vacuum and non-vacuum packaging changed during storage ($p < 0.05$). Hom Bai Toei brown rice that was kept under vacuum packaging had lower rancidity than the one that was kept under non-vacuum packaging during storage ($p < 0.05$). The thiobarbituric acid value (TBA) of fresh Hom Bai Toei brown rice was 0.55 mg of malonaldehyde/kg sample, while the TBA values of non-vacuum and vacuum Hom Bai Toei brown rice that was stored for 6 months were 1.15 and 0.97 mg of malonaldehyde/kg sample, respectively. In addition, the TBA values of fresh Hom Bai Toei milled rice was 0.46 mg of malonaldehyde/kg sample, while the TBA values of non-vacuum and vacuum Hom Bai Toei milled rice that was stored for 6 months were 1.07 and 0.84 mg of

malonaldehyde/kg sample, respectively. Hexanal that acts as a main volatile oxidative product increased during storage ($p < 0.05$). While, the specific pandan flavor compound, 2-acetyl-1-pyrroline (2AP) decreased during storage ($p < 0.05$). The peak viscosity, final viscosity and setback viscosity of Hom Bai Toei brown and milled rice that was kept under non-vacuum and vacuum packaging decreased during storage ($p < 0.05$) with an increasing of crystallinity and enthalpy of gelatinization during storage ($p < 0.05$).

The effect of rice to water ratio on the quality of cooked rice either fresh or stored Hom Bai Toei brown and milled rice were investigated. Fresh Hom Bai Toei brown and milled were packed in a Nylon/LLDPE plastic bag under vacuum packaging and stored at room temperature for 6 months (Stored rice). Fresh and stored brown rice (the 6th month) were cooked with rice cooker by using various ratios between rice and water (1:1.5, 1:2 and 1:2.5 w/w). Meanwhile, fresh and stored milled rice were cooked by using various ratios between rice and water as 1:1, 1:1.5 and 1:2 w/w. The suitable ratio between rice and water was selected according to the sensory evaluation score (9-point Hedonic scale). The result showed that appearance, colour, flavour, texture, taste and overall liking scores of stored Hom Bai Toei brown and milled rice were higher than the fresh rice ($p < 0.05$). In addition, the stored Hom Bai Toei brown rice with the ratio of 1:2.0 (rice: water) and stored Hom Bai Toei milled rice with the ratio of 1:1.5 (rice: water) was selected. This was due to the highest score in appearance, texture and overall liking scores ($p < 0.05$). The hardness and adhesiveness of stored Hom Bai Toei brown rice were 54.81 and 2.61 N, respectively. While, the hardness and adhesiveness of stored Hom Bai Toei milled rice were 27.05 and 2.90 N, respectively. In addition, it was found that stored Hom Bai Toei brown and milled rice had lower 2AP than the fresh ones ($p < 0.05$). However, high hexanal content was noticed. Fresh and stored Hom Bai Toei brown and milled rice which was cooked with high water content had higher in moisture content, water uptake and elongation ratio than those with low water content ($p < 0.05$).

In order to produce ready-to-eat rice, this research was aimed (1) to optimize the soaking time, (2) to investigate the heating process time (F_0) and (3) to monitor the quality of the ready-to-eat rice product during storage. Firstly, Hom Bai Toei brown and milled rice were soaked in boiling water and monitored moisture content and degree of gelatinization every 2 min in order to find the optimum soaking time. The result showed that the optimum conditions for brown rice were 8, 10 and 12 min and milled rice were 6 and 8 min. The moisture content and degree of gelatinization of Hom Bai Toei

brown and milled rice were in the ranges of 60.01-64.64% and 70.78-89.93%, respectively. Next step, the sterilization process of cooked Hom Bai Toei brown and milled rice was investigated. Rice was packed in a retort pouch 125 grams/bag, then sealed and sterilized in a retort at 118°C with pressure 23 pound/square inches. The heating process time of Hom Bai Toei brown rice was 26.30 min (F_0 Formula = 4.29 min), while heating process time of Hom Bai Toei milled rice was 23.30 min (F_0 Formula = 4.08 min). The sensory evaluation 9-point Hedonic scale was monitored for Hom Bai Toei brown and milled rice that was packed in a retort pouch. The result showed that Hom Bai Toei brown rice in a retort pouch that was soaked for 10 min under boiling water and Hom Bai Toei milled rice in a retort pouch that was soaked for 6 min under boiling water had the highest score in texture and overall liking scores. The hardness and adhesiveness of cooked Hom Bai Toei brown rice were 54.83 and 2.62 N, respectively. While, the hardness and adhesiveness of cooked Hom Bai Toei milled rice were 26.88 and 2.89 N, respectively. Finally, Hom Bai Toei brown and milled rice in a retort pouch was stored under room temperature for 6 months. The changes in physical, chemical, physicochemical properties as well as sensory evaluation in each month were determined. It was found the retrogradation increased in all treatments during storage ($p < 0.05$). It was considered as the increasing of enthalpy and hardness ($p < 0.05$) and the decreasing of moisture content and adhesiveness ($p < 0.05$). Texture and overall liking scores of Hom Bai Toei brown and milled rice in a retort pouch decreased during storage ($p < 0.05$). Therefore Hom Bai Toei brown rice that was soaked for 10 min and Hom Bai Toei milled rice that was soaked for 6 min before packing in a retort pouch and sterilization had the highest in texture and overall liking scores ($p < 0.05$).

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มุกิตา มีนุ่น อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำในการค้นคว้าตลอดระยะเวลาการทำวิจัย ทั้งยังสละเวลาในการตรวจทานและแก้ไขเล่มวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยรัตน์ ศิริวงศ์ไพศาล ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรพิมล มะยะเนี้ยว กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณบุคลากร เพื่อนๆ นักศึกษาในคณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ความช่วยเหลือในการทำงานวิจัย

ขอขอบคุณนายนัด อ่อนแก้ว และสมาชิกกลุ่มเกษตรกรวิสาหกิจชุมชนบ้านเขากลาง จังหวัดพัทลุง ที่อนุเคราะห์วัสดุดิบบางส่วน และให้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในการทำงานวิจัย

ขอขอบคุณทุนอุดหนุนการวิจัยบัณฑิตศึกษา (โครงการวิจัยเรื่อง คุณภาพข้าวหอมใบเตยและผลิตภัณฑ์ข้าวพร้อมบริโภคระหว่างการเก็บรักษา ประจำปี 2559) สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ บัณฑิตวิทยาลัย และคณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ที่ให้ทุนอุดหนุนในการค้นคว้าวิจัย

หทัยรัตน์ ทองป็นจา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(5)
Abstract	(8)
กิตติกรรมประกาศ	(11)
สารบัญ	(12)
List of Tables	(13)
List of Figures	(17)
List of Appendix Tables	(20)
List of Appendix Figures	(21)
บทที่	
1 บทนำ	
- บทนำตั้งเรื่อง	1
- การตรวจเอกสาร	3
- วัตถุประสงค์	31
2 วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง	
- วัสดุที่ใช้ในการวิจัย	32
- สารเคมี	32
- อุปกรณ์และเครื่องมือ	33
- วิธีการทดลอง	34
3 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	43
4 สรุปผลการทดลอง	130
เอกสารอ้างอิง	132
ภาคผนวก	141
ประวัติผู้เขียน	177

LIST OF TABLES

Table		Page
1	Classification of rice grain size	6
2	Chemical properties of brown rice, milled rice, bran and hull	14
3	Grain weight and density of Hom Bai Toie brown rice in a vacuum and non-vacuum Nylon/LLDPE packaging during storage under room temperature for 6 months	45
4	Grain weight and density of Hom Bai Toie milled rice in a vacuum and non-vacuum Nylon/LLDPE packaging during storage under room temperature for 6 months	47
5	Chemical properties of Hom Bai Toie brown rice in a vacuum and non-vacuum Nylon/LLDPE packaging during storage under room temperature for 6 months	50
6	Chemical properties of Hom Bai Toie milled rice in a vacuum and non-vacuum Nylon/LLDPE packaging during storage under room temperature for 6 months	52
7	Type and content of volatile compounds of Hom Bai Toie brown rice in a vacuum and non-vacuum Nylon/LLDPE packaging during storage under room temperature for 6 months	55
8	Physicochemical properties of Hom Bai Toie brown rice in a vacuum and non-vacuum Nylon/LLDPE packaging during storage under room temperature for 6 months	61
9	Thermal properties of Hom Bai Toie brown rice in a vacuum and non-vacuum Nylon/LLDPE packaging during storage under room temperature for 6 months	62
10	Physicochemical properties of Hom Bai Toie milled rice in a vacuum and non-vacuum Nylon/LLDPE packaging during storage under room temperature for 6 months	63
11	Thermal properties of Hom Bai Toie milled rice in a vacuum and non-vacuum Nylon/LLDPE packaging during storage under room temperature for 6 months	64

LIST OF TABLES (Continued)

Table	Page
12 Length, breadth, L/B, elongation ratio, moisture and water uptake of cooked rice that prepared from fresh rice and stored Hom Bai Toie brown rice with different rice to water ratios	73
13 Type and content of volatile compound of cooked rice that prepared from fresh and stored Hom Bai Toie brown rice with rice to water ratio as 1:2 and fresh and stored Hom Bai Toie milled rice with rice to water ratio as 1:1.5	75
14 Length, breadth, L/B, elongation ratio, moisture and water uptake of cooked rice that prepared from fresh rice and stored Hom Bai Toie milled rice with different rice to water ratios	79
15 Sensory evaluation of cooked rice that prepared from fresh and stored Hom Bai Toie brown rice with different rice to water ratios	86
16 Sensory evaluation of cooked rice that prepared from fresh and stored Hom Bai Toie milled rice with different rice to water ratios	87
17 Length, width, water uptake, moisture content and starchy core of soaked Hom Bai Toie brown rice with different soaking times	89
18 Thermal properties of soaked Hom Bai Toie brown rice with different soaking times	90
19 Length, width, water uptake, and moisture content and starchy core of soaked Hom Bai Toie milled rice with different soaking times	91
20 Thermal properties of soaked Hom Bai Toie milled rice with different soaking time	91
21 F_0 for cooked Hom Bai Toie brown and milled rice in boiling water at different soaking times	95
22 Length, breadth, L/B and elongation ratio of cooked Hom Bai Toie brown rice that packed in a retort pouch under heating temperature at 118°C for 26.30 min	97

LIST OF TABLES (Continued)

Table		Page
23	Colour of cooked Hom Bai Toie brown rice that packed in a retort pouch under heating temperature at 118°C for 26.30 min	97
24	Length, breadth, L/B and elongation ratio of cooked Hom Bai Toie milled rice that packed in a retort pouch under heating temperature at 118°C for 23.30 min	99
25	Colour of cooked Hom Bai Toie milled rice that packed in retort pouch under heating temperature at 118°C for 23.30 min	99
26	Type and content of volatile compounds of cooked Hom Bai Toie brown rice that packed in a retort pouch under heating temperature at 118°C for 26.30 min	101
27	Type and content of volatile compounds of cooked Hom Bai Toie milled rice that packed in a retort pouch under heating temperature at 118°C for 23.30 min	103
28	Sensory evaluation of cooked Hom Bai Toie brown rice that packed in a retort pouch under heating temperature at 118°C for 26.30 min	104
29	Sensory evaluation of cooked Hom Bai Toie milled rice that packed in a retort pouch under heating temperature at 118°C for 23.30 min	105
30	Type and content of volatile compounds of cooked Hom Bai Toie brown rice that packed in a retort pouch under heating temperature at 118°C for 26.30 min during storage under room temperature for 6 months	115
31	Type and content of volatile compounds of cooked Hom Bai Toie milled rice that packed in a retort pouch under heating temperature at 118°C for 23.30 min storage under room temperature for 6 months	119
32	Retrogradation of cooked Hom Bai Toie brown rice that packed in a retort pouch during storage under room temperature for 6 months	122
33	Retrogradation of cooked Hom Bai Toie milled rice that packed in a retort pouch during storage under room temperature for 6 months	123

LIST OF TABLES (Continued)

Table		Page
34	Sensory evaluation of cooked Hom Bai Toie brown rice that packed in a retort pouch during under room temperature storage for 6 months	126
35	Sensory evaluation of cooked Hom Bai Toie milled rice that packed in a retort pouch during under room temperature storage for 6 months	128

LIST OF FIGURES

Figure		Page
1	Structure of rice grain	4
2	The crystal structure of A-type (A) and B- type (B) and X-ray diffraction of crystal A-type, B- type and V _h -type (C)	11
3	Analysis of changes in the viscosity of starch with Rapid visco analyzer (RVA)	12
4	Changes in the chemical composition of rice grain during storage	18
5	Thermal conductivity (A) and convection (B) of can food	21
6	Retrogradation of starch	26
7	Hom Bai Toie brown rice (A) and milled rice (B)	43
8	Lightness (A), redness (B), yellowness (C), hue angle (D) and chroma (E) of Hom Bai Toie brown rice in a vacuum and non-vacuum Nylon/LLDPE packaging storage during under room temperature for 6 months	46
9	Lightness (A), redness (B), yellowness (C), hue angle (D) and chroma (E) of Hom Bai Toie milled rice in a vacuum and non-vacuum Nylon/LLDPE packaging during storage under room temperature for 6 months	48
10	TBA value of Hom Bai Toei brown rice in a vacuum and non-vacuum Nylon/LLDPE packaging during storage under room temperature for 6 months	51
11	TBA value of Hom Bai Toei milled rice in a vacuum and non-vacuum Nylon/LLDPE packaging during storage under room temperature for 6 months	53
12	Lightness (A), redness (B), yellowness (C), hue angle (D) and chroma (E) of cooked rice that prepared from fresh and stored Hom Bai Toei brown rice with different rice to water ratios	67
13	Hardness (A) and adhesiveness (B) of cooked rice that prepared from fresh and stored Hom Bai Toei brown rice with different rice to water ratios	68
14	Lightness (A), redness (B), yellowness (C), hue angle (D) and chroma (E) of cooked rice that prepared from fresh and stored Hom Bai Toei milled rice with different rice to water ratios	70

LIST OF FIGURES (Continued)

Figure		Page
15	Hardness (A) and adhesiveness (B) of cooked rice that prepared from fresh and stored Hom Bai Toei milled rice with different rice to water ratios	71
16	Cross section of raw HBTBR (A), cooked HBTBR with rice to water ratios as 1:1.5 (E), 1:2.0 (I) and 1:2.5 (M), cross section of raw HBTBR (B), cooked HBTBR with rice to water ratios as 1:1.5 (F), 1:2.0 (J) and 1:2.5 (N), cross section of outer layer of raw HBTBR (C), cooked HBTBR with rice to water ratios as 1:1.5 (G), 1:2.0 (K) and 1:2.5 (O), starch granule of raw HBTBR (D), cooked HBTBR with rice to water ratios as 1:1.5 (H), 1:2.0 (L) and 1:2.5 (P) observed by SEM (accelerating voltage 20kV, magnification 50X, 100X, 2000X and 5000X)	81
17	Cross section of raw HBTMR (A), cooked HBTMR with rice to water ratios as 1:1.0 (E), 1:1.5 (I) and 1:2.0 (M), cross section of raw HBTMR (C), cooked HBTMR with rice to water ratios as 1:1.0 (F), 1:1.5 (J) and 1:2.0 (N), cross section of outer layer of raw HBTMR (D), cooked HBTMR with rice to water ratios as 1:1.0 (G), 1:1.5 (K) and 1:2.0 (O), starch granule of raw HBTMR (D), cooked HBTMR with rice to water ratios as 1:1.0 (H), 1:1.5 (L) and 1:2.0 (P) observed by SEM (accelerating voltage 20kV, magnification 50X, 100X, 2000X and 5000X)	83
18	Hardness (A) and adhesiveness (B) of cooked Hom Bai Toie brown rice that packed in a retort pouch under heating temperature at 118°C for 26.30 min	98
19	Hardness (A) and adhesiveness (B) of cooked Hom Bai Toie milled rice that packed in a retort pouch under heating temperature at 118°C for 23.30 min	99
20	Moisture content and water uptake of cooked Hom Bai Toie brown rice that packed in a retort pouch under heating temperature at 118°C for 26.30 min	100
21	Moisture content and water uptake of cooked Hom Bai Toie milled rice that packed in a retort pouch under heating temperature at 118°C for 23.30 min	102
22	Lightness (A), redness (B), yellowness (C), hue angle (D) and chroma (E) of 3 different soaking times of cooked Hom Bai Toie brown rice that packed in a retort pouch during storage under room temperature for 6 months	109

LIST OF FIGURES (Continued)

Figure		Page
23	Hardness (A) and adhesiveness (B) of 3 different soaking times of cooked Hom Bai Toie brown rice that packed in a retort pouch during storage under room temperature for 6 months	110
24	Lightness (A), redness (B), yellowness (C), hue angle (D) and chroma (E) of 2 different soaking times of cooked Hom Bai Toie milled rice that packed in a retort pouch during storage under room temperature for 6 months	111
25	Hardness (A) and adhesiveness (B) of 2 different soaking times of cooked Hom Bai Toie milled rice that packed in a retort pouch during storage under room temperature for 6 months	112
26	Moisture content of 3 different soaking times of cooked Hom Bai Toie brown rice that packed in a retort pouch during storage under room temperature for 6 months	113
27	Moisture content of 2 different soaking times of cooked Hom Bai Toie milled rice that packed in a retort pouch during storage under room temperature for 6 months	118

LIST OF APPENDIX TABLES

Table		Page
1	The condition for analysis volatile compound of raw rice by GC-MS	163
2	The condition for analysis volatile compound of cooked rice by GC-MS	164

LIST OF APPENDIX FIGURES

Figure		Page
1	Chromatograms of volatile compound of fresh (A), stored (B) Hom Bai Toie brown rice (the 6 th month) in a vacuum Nylon/LLDPE and a non-vacuum Nylon/LLDPE packaging (C)	142
2	Chromatograms of volatile compound of fresh (A), stored (B) Hom Bai Toie milled rice in a (the 6 th month) vacuum Nylon/LLDPE and a non-vacuum Nylon/LLDPE packaging (C)	143
3	Chromatograms of volatile compound of cooked fresh (A) and stored (B) Hom Bai Toie brown rice (the 6 th month) with rice to water ratio as 1:2.0 in an electric rice cooker	144
4	Chromatograms of volatile compound of cooked fresh (A) and stored (B) Hom Bai Toie milled rice (the 6 th month) with rice to water ratio as 1:1.5 in an electric rice cooker	145
5	Chromatograms of volatile compound of cooked Hom Bai Toie brown rice that packed in a retort pouch prepared by soaking temperature under 100 ^o C for 8 (A), 10 (B) and 12 min (C)	146
6	Chromatograms of volatile compound of cooked Hom Bai Toie milled rice that packed in a retort pouch prepared by soaking temperature under 100 ^o C for 6 (A) and 8 min (B)	147
7	Chromatograms of volatile compound of cooked fresh Hom Bai Toie brown rice that packed in a retort pouch prepared by soaking temperature under 100 ^o C for 8 (A), 10 (C) and 12 min (E) and cooked stored Hom Bai Toie brown rice (the 6 th month) that packed in a retort pouch prepared by soaking temperature under 100 ^o C for 8 (B), 10 (D) and 12 min (F)	148

LIST OF APPENDIX FIGURES (Continued)

Figure		Page
8	Chromatograms of volatile compound of cooked fresh Hom Bai Toie milled rice that packed in a retort pouch prepared by soaking temperature 100°C for 6 (A) and 8 min (C) and cooked stored Hom Bai Toie milled rice (the 6 th month) that packed in a retort pouch prepared by soaking temperature under 100°C for 6 (B) and 8 min (D)	149
9	Texture evaluation of cooked rice	170
10	Monitoring of heating process time (F_0) of cooked rice in a retort pouch, inserting thermometer needle into a retort pouch (A), sample weighting (B), sample sealing (C), thermocouple connection with computer for recording temperature (D) and sample loading into a retort (E)	171
11	Position of temperature monitoring using thermocouple of samples at the 9 th layer of the aluminum tray in a horizontal retort	172
12	Semi-logarithmic graph between temperature and time of cooked brown rice in a retort pouch that prepared by soaking temperature under 100°C for 8 min for calculating F_0 Formula	175
13	Label of commercial ready-to-eat Jasmine brown rice (A) and milled rice (B)	178

บทที่ 1

บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

ข้าวหอมใบเตยพันธุ์ (Cultivar 85; C85) เป็นข้าวนาปรังพันธุ์ใหม่ ที่มีลักษณะเด่นคือ มีกลิ่นหอมใบเตย เมื่อหุงสุก ข้าวจะมีลักษณะอ่อนนุ่ม (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2554) ข้าวหอมใบเตยนิยมบริโภคทั้งในรูปแบบข้าวกล้องและข้าวขัดขาว เนื่องจากข้าวกล้องจะอุดมไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการ ในขณะที่ส่วนข้าวขัดขาวมีกลิ่นหอมและความอ่อนนุ่ม กระบวนการแปรรูปข้าวเบื้องต้นเพื่อให้ได้ข้าวกล้องและข้าวขัดขาวหอมใบเตย ทำได้โดยนำข้าวเปลือกผ่านเครื่องกะเทาะเปลือกออกเหลือเมล็ดที่มีรำข้าวติดอยู่ จะได้ ข้าวกล้อง (Brown rice) จากนั้นเมื่อนำข้าวกล้องผ่านเครื่องขัดสีเพื่อแยกรำข้าวและคัพพะออก จะได้เป็นข้าวขัดขาว (Milled rice) ภายหลังกระบวนการเก็บเกี่ยวจะได้ ข้าวใหม่ เมื่อนำข้าวใหม่มาผ่านการเก็บรักษาจะได้ ข้าวเก่า โดยอัตราส่วนข้าวต่อน้ำที่เหมาะสมสำหรับการหุงสุกข้าวใหม่และข้าวเก่าเป็นปัจจัยสำคัญที่จะต้องทำการวิจัย ความใหม่-เก่าของข้าวจะส่งผลต่อคุณภาพข้าวสุก งานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาการใช้อัตราส่วนข้าวต่อน้ำในการหุงสุกของข้าวกล้องและข้าวขัดขาว ปัจจุบันตลาดข้าวพร้อมบริโภคมีมูลค่าการส่งออกประมาณเท่ากับ 6.7 พันล้านบาท (ศูนย์วิจัยระยะอุตสาหกรรมอาหาร, 2559) ประกอบกับสังคมในปัจจุบันเป็นสังคมที่มีความเร่งรีบ จึงทำให้ข้าวพร้อมบริโภคมีบทบาทสำคัญในการดำเนินชีวิต ประกอบงานวิจัยนี้จะสนองต่อความต้องการกลุ่มวิสาหกิจชุมชนบ้านเขากลาง จังหวัดพัทลุง ซึ่งเกษตรกรกลุ่มนี้มีการปลูกข้าวพันธุ์นี้เพื่อจำหน่ายมาก ข้าวเปลือกและข้าวขัดสีหอมใบเตยจะจำหน่ายในราคาประมาณ 20 และ 40 บาทต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และปัจจุบันกลุ่มเกษตรกรหาแนวทางในการแปรรูปข้าวเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าข้าว และพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ให้มีความหลากหลายและน่าสนใจมากยิ่งขึ้น โดยการผลิตข้าวพร้อมบริโภคจะนำข้าวเก่าและการให้ความร้อนเบื้องต้นในการผลิตเพื่อลดปัญหาในเรื่องเมล็ดข้าวแตกและนิ่มละ งานวิจัยนี้จึงได้มีการศึกษาระยะเวลาการให้ความร้อนเบื้องต้นที่เหมาะสมแก่ข้าวเพื่อนำไปใช้ในการผลิตข้าวพร้อมบริโภค โดยการให้ความร้อนเบื้องต้นที่เหมาะสมของข้าว คือ ข้าวจะต้องมีความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 60-76 และมีร้อยละการเกิดเจลาตินในเซชันมากกว่าร้อยละ 65 แต่ไม่เกินร้อยละ 90 (อนลักษ์ณ์ โอพาริโกวิท, 2546) พร้อมทั้งได้ศึกษาระยะเวลาฆ่าเชื้อเพื่อทำให้ข้าวพร้อมบริโภคมีความปลอดภัยสามารถเก็บรักษาได้เป็นระยะเวลานานที่อุณหภูมิห้อง อย่างไรก็ตามภายหลังจากการผลิตข้าวพร้อมบริโภคสามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวพร้อมบริโภคในระหว่างการเก็บรักษา

ในงานวิจัยนี้จึงได้ติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวพร้อมบริโภคระหว่างการเก็บรักษา นอกจากนี้นำข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้จะสามารถนำไปใช้ในการหุงสุกข้าวเก่าและข้าวใหม่ด้วยอัตราส่วนข้าวต่อน้ำที่เหมาะสม และสามารถนำข้อมูลสถานะและระยะเวลาแช่เชื้อที่เหมาะสมมาประยุกต์ใช้ในการผลิตข้าวหุงสุกพร้อมบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิทในระดับอุตสาหกรรม เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาข้าวสุกต่อไป

การตรวจเอกสาร

1. ข้าว

ข้าวเป็นธัญพืชที่มีความสำคัญและมีคุณประโยชน์ต่อชีวิตและความเป็นอยู่ของมนุษย์ ข้าวเป็นอาหารหลักของประชากร 1 ใน 5 ของประชากรทั้งหมดในโลก ข้าวมีสารอาหารหลัก เช่น คาร์โบไฮเดรตเป็นสารอาหารสำคัญที่ให้พลังงาน (Buggenhout *et al.*, 2013) ข้าวเป็นพืชวงศ์หญ้า (Family Gramineae) พันธุ์โอไรซี (*Oryzae*) มีอยู่ประมาณ 25 ชนิด ในจำนวนนี้มีอยู่ 2 ชนิดเท่านั้นที่ปลูกเพื่อใช้เป็นอาหาร คือ โอไรซา ซาติวา (*Oryza sativa*) ที่ปลูกกันอย่างแพร่หลายในทวีปเอเชีย และ โอไรซา กลาเบอร์ริมา (*Oryzae glaberrima*) ที่ปลูกกันบางส่วนในทวีปแอฟริกา การผลิตและการบริโภคข้าวส่วนใหญ่อยู่ในทวีปเอเชีย เช่น ประเทศไทย เวียดนาม มาเลเซีย และญี่ปุ่น เป็นต้น เนื่องจากมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการผลิตและมีพฤติกรรมการบริโภคข้าวเป็นหลัก นอกจากนี้การขยายตัวของประชากรอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้มีการสนับสนุนการผลิตข้าวเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการใช้ของผู้บริโภคทั้งภายในและต่างประเทศ

การผลิตข้าวของประเทศไทยแบ่งออกเป็นการผลิตข้าวนาปีและข้าวนาปรัง ผลผลิตข้าวของประเทศไทยในปี 2559 มีรายละเอียดดังนี้ การผลิตข้าวนาปี มีผลผลิตเท่ากับ 25.10 ล้านตัน ข้าวเปลือก ส่วนการผลิตข้าวนาปรัง มีผลผลิตเท่ากับ 12.24 ล้านตันข้าวเปลือก การส่งออกข้าว มีปริมาณ 9.20 ล้านตันข้าวสาร ประเทศไทยส่งออกข้าวเป็นอันดับ 2 ของโลกในปี 2559 (กรมการข้าว, 2559) กระทรวงพาณิชย์ได้ประกาศใช้ มาตรฐานสินค้าข้าว พ.ศ. 2540 มาตรฐานสินค้าข้าว หมายถึง ข้อกำหนดขั้นต่ำสำหรับข้าวแต่ละประเภท ใช้สำหรับการค้าภายในและการค้าระหว่างประเทศ โดยมาตรฐานสินค้าข้าว ได้กำหนดคุณภาพของข้าวในด้านระดับการขัด ความยาวเมล็ด ปริมาณอะไมโลส และปริมาณความชื้นของข้าวเพื่อใช้เป็นข้อกำหนดที่สำคัญในการซื้อขายข้าว (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2555)

1.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว

เมล็ดข้าวประกอบด้วยส่วนต่างๆ คือ เปลือกนอก (Hull) เยื่อหุ้มเมล็ด (Pericarp) เนื้อแป้ง (Starchy endosperm) และคัพภะ (Embryo) (Marshall and Wadsworth, 1994; Juliano, 1985) ดังแสดงในภาพที่ 1

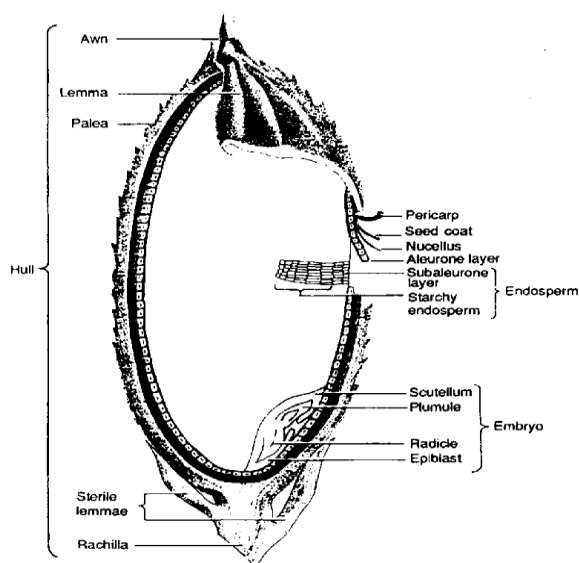


Figure 1 Structure of rice grain

Source: Juliano (1985)

1.1.1 เปลือกนอกหรือแกลบ ซึ่งเป็นใบประดับ (Bract) ที่เปลี่ยนรูปมาเป็นแกลบมี 2 แผ่น แผ่นหนึ่งใหญ่และอีกแผ่นหนึ่งเล็กอยู่ชั้นนอกสุดของเมล็ดข้าวคิดเป็นร้อยละ 18-20 ของน้ำหนักเมล็ดข้าว มีหน้าที่ป้องกันการกักกินของแมลง และป้องกันการเปลี่ยนแปลงความชื้นของเมล็ดข้าว มีองค์ประกอบหลักเป็นเส้นใยประมาณร้อยละ 40.1-53.4 และเถ้าประมาณร้อยละ 15.3-24.4 (Juliano, 1985)

1.1.2 เยื่อหุ้มเมล็ด เป็นส่วนที่ห่อหุ้มแป้งแต่อยู่ภายในแกลบจะประกอบด้วยเยื่อหุ้มเมล็ด 3 ชั้น ได้แก่ 1. ชั้นคิวทิเคิล (Cuticular layer) จะประกอบด้วยชั้นเพอร์ริคาร์ป (Pericarp) และชั้นเทสตา (Testa) 2. ชั้นแอลิวโลน (Aleurone layer) 3. เนื้อแป้ง (Endosperm) เมื่อกะเทาะเปลือกนอกของเมล็ดออกจะได้เมล็ดข้าวเรียกว่าข้าวกล้อง (Brown rice) ซึ่งมีสีที่แตกต่างกันตั้งแต่สีขาว สีน้ำตาลอ่อนจนถึงสีแดง สีเหล่านั้นคือสีของเยื่อหุ้มเมล็ดชั้นเพอร์ริคาร์ปเมื่อนำข้าวกล้องไปขัดสีเปลือกเมล็ดจะถูกแยกออกไปอยู่ในส่วนของรำมีปริมาณร้อยละ 5-8 ของข้าวกล้อง ประกอบด้วยโปรตีน ไขมัน และเส้นใย ประมาณร้อยละ 13.2-17.3, 17.0-22.9 และ 9.5-13.2 ตามลำดับ โดยมีแร่ธาตุสะสมอยู่ในชั้นแอลิวโลน ดังนั้นการสีข้าวจะขัดเอาชั้นแอลิวโลนออกไปมากส่งผลให้แร่ธาตุใยอาหาร และโปรตีนลดลง โดยทั่วไปข้าวกล้องมีโปรตีนและใยอาหารประมาณร้อยละ 8 และ 5 ตามลำดับ เมื่อขัดให้ขาวจนเป็นข้าวขัดขาวแล้วจะมีโปรตีนและใยอาหารเหลืออยู่เพียงร้อยละ 6-7 และ 2-3 ตามลำดับ ทำให้คุณค่าทางอาหารลดลง (Lamberts *et al.*, 2007; Zhou *et al.*, 2002; Juliano, 1985)

1.1.3 เนื้อแป้ง (Endosperm) เป็นส่วนที่เป็นแป้งที่เรบริโกลเป็นอาหาร ได้จากการนำข้าวกล้องมาขัดสีเอาเปลือกเมล็ดออกจนหมด เนื้อแป้งนี้ประกอบด้วยสตาร์ชและโปรตีนประมาณร้อยละ 48.3-55.4 และ 6.3-7.1 ตามลำดับ โปรตีนในเมล็ดข้าวจะอยู่รอบนอกใกล้ๆ กับชั้นในของชั้นแอลลิวโลน ส่วนเซลล์เม็ดแป้งจะอยู่ด้านในเข้าไป (Marshall and Wadsworth, 1994; Juliano, 1985)

1.1.4 คัพพะ (Embryo) คือส่วนที่เรียกว่าจุมข้าวเป็นตำแหน่งรวมของส่วนที่จะงอกเป็นต้นข้าวต้นใหม่ คัพพะประกอบด้วยส่วนที่จะงอกเป็นยอดอ่อน (Plumule) ส่วนที่งอกเป็นรากแรกกำเนิด (Radicule) ทั้งสองส่วนนี้ยึดติดกันด้วยปล้องที่สั้นมากเรียกว่ามีโซคอททิล (Mesocotyl) ยอดอ่อนจะห่อหุ้มด้วยลักษณะที่คล้ายใบเรียกว่าเยื่อหุ้มยอดอ่อน (Coleoptile) ส่วนของคัพพะทั้งหมดจะอยู่ในเนื้อเยื่อแอลลิวโลน (Marshall and Wadsworth, 1994; Juliano, 1985)

1.2 ข้าวหอมใบเตย

ข้าวหอมใบเตยพันธุ์ (C85) ที่มีลักษณะเด่นคือ มีกลิ่นหอมใบเตย ข้าวหอมใบเตยเพาะปลูกทั่วไปในภาคกลางและภาคใต้ ข้าวหอมใบเตยเป็นข้าวนาปรัง เพาะปลูก 2 ครั้งต่อปี โดยจะเพาะปลูกครั้งที่ 1 ในเดือน มกราคม-มีนาคม และครั้งที่ 2 จะเพาะปลูกในเดือนมิถุนายน-สิงหาคม อายุเก็บเกี่ยวของข้าวหอมใบเตยคือ 80 วัน หลังเพาะปลูก โดยผลผลิตต่อไร่ เท่ากับ 517 กิโลกรัมต่อไร่ ข้าวหอมใบเตยเป็นข้าวเจ้าไวต่อแสง จัดเป็นข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ โดยลำต้นและใบสีเขียว ต้นแข็ง ไม่ล้มง่าย ลำต้นมีความสูงเฉลี่ย 166 เซนติเมตร รวงใหญ่ เมล็ดรูปร่างเรียวยาว เปลือกสีฟาง ท้องไข่น้อย ปัจจุบันข้าวพันธุ์นี้ได้รับความนิยม เนื่องจากมีกลิ่นหอมและให้ผลผลิตที่ดี เมื่อหุงเป็นข้าวสุกแล้ว ข้าวจะมีลักษณะอ่อนนุ่ม (อนรรฆพล บุญช่วย, 2559; กรมส่งเสริมการเกษตร, 2554) ข้าวเปลือกและข้าวขัดสีหอมใบเตยจะจำหน่ายในราคาประมาณ 20 และ 40 บาทต่อกิโลกรัมตามลำดับ

2. สมบัติทางกายภาพ เคมี และเคมีเชิงฟิสิกส์ของข้าวดิบ

2.1 สมบัติทางกายภาพ

สมบัติทางกายภาพของเมล็ดข้าวสามารถประเมินได้จากการมองเห็น สัมผัส ชั่ง และตวง องค์ประกอบทางกายภาพของข้าว ได้แก่ น้ำหนัก ขนาดเมล็ด ความหนาแน่น และสี เป็นต้น โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1.1 ขนาดเมล็ด เป็นลักษณะประจำพันธุ์ เพื่อการจำแนกพันธุ์และใช้เป็นเกณฑ์ในการซื้อขายข้าวของประเทศไทย โดยวัดเป็นความยาวและความกว้าง โดยคำนวณรูปร่างจาก

อัตราส่วนระหว่างความยาวต่อกว้าง โดยรูปร่างของเมล็ดสามารถแบ่งได้เป็น 3 แบบ คือ เรียวปานกลาง และป้อม ซึ่งข้าวไทยอยู่ในเกณฑ์ที่มีรูปร่างเรียว โดยข้าวกล้องและข้าวขัดขาวหอมมะลิของไทยจะมีความยาวอยู่ในช่วง 7.00-7.50 มิลลิเมตร และ 6.50-7.00 มิลลิเมตร ตามลำดับ (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2546) เกณฑ์ของขนาดเมล็ดข้าวขัดขาวแสดงดังตารางที่ 1 (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2550; Payakapol *et al.*, 2011; Lamberts *et al.*, 2007)

2.1.2 น้ำหนักเมล็ด น้ำหนักเมล็ดเป็นคุณภาพที่มีความสม่ำเสมอ โดยน้ำหนักเมล็ดจะแปรผันตามขนาด รูปร่าง ความชื้น ชนิดของดิน การใส่ปุ๋ย และสภาพภูมิอากาศ โดยข้าวสารปริมาณ 100 เมล็ด จะมีน้ำหนักอยู่ในช่วง 2.25-3.67 กรัม การวิเคราะห์น้ำหนักเมล็ดข้าว สามารถประเมินได้ 2 รูปแบบ (เครือวัลย์ อัดตะวีริยะสุข, 2536) ดังนี้ น้ำหนักต่อปริมาตร หมายถึง การชั่งน้ำหนักข้าวด้วยปริมาตรคงที่ เช่น กรัมต่อลิตร หรือ กิโลกรัมต่อถัง และน้ำหนักต่อจำนวนเมล็ด หมายถึง การชั่งน้ำหนักข้าวด้วยจำนวนเมล็ด เช่น กรัมต่อ 100 เมล็ด หรือกรัมต่อ 1000 เมล็ด (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2550; Payakapol *et al.*, 2011; Lamberts *et al.*, 2007)

Table 1 Classification of rice grain size

Size of rice grain	Length (mm)
Long	7.06-7.50
Medium	6.10-6.60
Short	< 5.5

Source: Naivikul (2013)

2.1.3 ความหนาแน่น ความหนาแน่นของเมล็ดข้าวเป็นการวิเคราะห์น้ำหนักต่อปริมาตรของเมล็ดข้าว ซึ่งแสดงในหน่วย กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2550; Payakapol *et al.*, 2011; Lamberts *et al.*, 2007) Kanjanapumpa (2014) ศึกษาผลของระดับการขัดสีต่อความหนาแน่นของข้าวสังข์หยดระหว่างการเก็บรักษา โดยนำข้าวสังข์หยดที่การขัดสีร้อยละ 0 (ข้าวกล้อง), 5 และ 9 มาเก็บรักษาในถุงพลาสติก Nylon/LLDPE ในสภาวะสุญญากาศ ที่อุณหภูมิห้อง นาน 6 เดือน จากนั้นวัดความหนาแน่นทุกเดือน พบว่า ข้าวสังข์หยดที่การขัดสีร้อยละ 0 (ข้าวกล้อง), 5 และ 9 มีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 0.76, 0.76 และ 0.75 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรตามลำดับ ซึ่งระดับการขัดสีไม่มีผลต่อค่าความหนาแน่น ($p \geq 0.05$) นอกจากนี้เมื่อพิจารณา

ระยะเวลาการเก็บรักษา พบว่า ระยะเวลาการเก็บรักษาไม่มีผลต่อความหนาแน่นของข้าวสังข์หยด ($p \geq 0.05$)

2.1.4 สีของข้าว สีของเมล็ดข้าวจะขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ ระดับการขัดสี และอายุการเก็บรักษา โดยสีของข้าวกล้องเกิดจากสารสีที่เชื่อมเมล็ดย่อย สีข้าวกล้องของพันธุ์ข้าวในประเทศไทยจัดกลุ่มได้ 4 สี คือ ขาว แดง น้ำตาลเข้ม และม่วงเกือบดำ (เครือวัลย์ อัดตะวีริยะสุข, 2536) ส่วนสีข้าวขัดขาวขึ้นอยู่กับระดับการขัดสี โดยระดับการขัดสีเป็นตัวกำหนดเกรดของข้าว องค์ประกอบทางเคมีและระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวส่งผลต่อสีของข้าวกล้องและข้าวขัดขาว โดยข้าวที่เก็บรักษาไว้นานจะมีสีคล้ำกว่าข้าวใหม่ นอกจากนี้ข้าวที่มีโปรตีนสูงจะมีสีคล้ำกว่าข้าวที่มีโปรตีนต่ำ (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2550; Payakapol *et al.*, 2011) Lamberts และคณะ (2007) ศึกษาผลของระดับการขัดสี (Degree of milling; DOM) ต่อสีของเมล็ดข้าว โดยนำข้าวกล้องไปขัดสีระยะเวลา 0-100 วินาที (ระดับการขัดสีร้อยละ 0-25) ส่วนที่แยกได้จากการขัดสีข้าวที่ 4 ระดับ ดังนี้ ร้อยละ 0-9, 9-15, 15-25 และ 25 ตามลำดับ พบว่า เมื่อระดับการขัดสีเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ข้าวมีค่าความสว่าง (L^*) เพิ่มขึ้น ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) และ สีแดง (a^*) ลดลง ($p < 0.05$)

2.2 สมบัติทางเคมี

สมบัติทางเคมีของข้าว ได้แก่ สตาร์ช ความชื้น โปรตีน ไขมัน และสารระเหย เป็นต้น (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2555; อรอนงค์ นัยวิกุล, 2550; กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2543; Singh *et al.*, 1998; Juliano, 1985) โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.2.1 สตาร์ช

สตาร์ชประกอบด้วยอะไมโลสและอะไมโลเพกทิน โดยที่อะไมโลสเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดจากการรวมตัวของกลูโคสต่อกันเป็นเส้นตรง (Linear chain) ด้วยพันธะกลูโคซิดิก α -1, 4 ส่วนอะไมโลเพกทินเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดจากการรวมตัวของกลูโคส และมีโครงสร้างเชื่อมต่อกันแบบกิ่งก้านสาขา (Branch chain) ด้วยพันธะกลูโคซิดิก α -1, 4 และ α -1, 6 (Hoseney, 1986) โดยข้าวที่มีอะไมโลสสูงจะดูดน้ำและขยายปริมาตรในระหว่างการหุงสุกได้ดีกว่าข้าวอะไมโลสต่ำ ซึ่งสัดส่วนระหว่างอะไมโลสและอะไมโลเพกทินจะมีผลต่อคุณภาพการหุงสุกของข้าว (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2550)

2.2.2 ความชื้น

ความชื้นของข้าว ใช้เป็นเกณฑ์มาตรฐานสำคัญเพื่อการซื้อขายข้าว เนื่องจากปริมาณความชื้นสามารถบ่งชี้ถึงน้ำหนักของข้าว นอกจากนี้ความชื้นสามารถบอถึงอายุการเก็บรักษาข้าว โดยข้าวที่มีความชื้นสูงจะส่งผลให้เกิดการเสื่อมสภาพเร็วกว่าข้าวที่มีความชื้นต่ำ โดย

ข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวขัดขาวมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 14 จึงจะสามารถเก็บรักษาได้นาน 6 เดือนขึ้นไป (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2555)

2.2.3 โปรตีน

โปรตีนในเมล็ดข้าวมีค่าเฉลี่ยประมาณร้อยละ 8 โปรตีนที่พบในข้าวแบ่งชนิดตามสมบัติการละลายในตัวทำละลาย ได้แก่ ออริเซนิน (Oryzenin) คือโปรตีนที่สามารถละลายได้ในตัวทำละลายต่าง เป็นโปรตีนที่พบมากที่สุดในการข้าว โดยมีปริมาณร้อยละ 80-85 อัลบูมิน (Albumin) เป็นโปรตีนที่ละลายได้ดีในน้ำ โปรตีนจะถูกพบบริเวณของเมล็ดสตาร์ชหรือแป้งอยู่ภายในเมล็ดสตาร์ช ซึ่งข้าวขัดขาวมีปริมาณโปรตีนอยู่ร้อยละ 6.3-7.1 ปริมาณโปรตีนมีผลต่อคุณภาพการหุงสุก ข้าวที่มีปริมาณโปรตีนสูงทำให้การดูดซึมน้ำของเมล็ดช้าลง เนื่องจากโปรตีนที่อยู่รอบโมเลกุลของสตาร์ชจะขัดขวางการดูดซึมน้ำของข้าว และทำให้เกิดอันตรกิริยาระหว่างโปรตีนและสตาร์ช ทำให้ความนุ่ม ความเหนียว และความเลื่อมมันลดลง (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2550; Payakapol *et al.*, 2011)

2.2.4 ไขมัน

ปริมาณของไขมันที่พบในข้าวจะขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของข้าว สิ่งแวดล้อมในการเพาะปลูก และกระบวนการจัดสี ประเภทไขมันที่พบในข้าวส่วนใหญ่คือ ไตรกลีเซอไรด์ รองลงมาคือ ฟอสโฟลิปิด โกลโคไลปิด และเทอร์พีนอยด์ (Henry and Kettlewell, 1996) ไขมันส่วนใหญ่จะอยู่บริเวณเยื่อหุ้มเมล็ดมากกว่าส่วนภายในเมล็ดโดยข้าวกล้องมีปริมาณไขมันประมาณร้อยละ 2 ส่วนข้าวขัดขาวมีไขมันร้อยละ 0.3-0.5 (Hoseney, 1986) ปริมาณไขมันที่อยู่ในข้าวจะส่งผลกระทบต่อสมบัติของสตาร์ช เช่น ความหนืด ความสามารถในการพองตัวและการละลาย เป็นต้น (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2550; Payakapol *et al.*, 2011)

2.2.5 สารระเหยในข้าว

ข้าวที่มีกลิ่นหอมจัดเป็นข้าวคุณภาพสูงเป็นที่ต้องการของตลาดทั้งในและต่างประเทศ สารระเหยภายในข้าวจะขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของข้าว โดยมีการเพาะปลูกในหลายประเทศ เช่น ข้าวสายพันธุ์บาสมาติของประเทศอินเดียและปากีสถาน ข้าวสายพันธุ์ Malagkit, Sungsong และ Milagrosa ของประเทศฟิลิปปินส์ ข้าวสายพันธุ์ Seratus malam ของประเทศอินโดนีเซีย พันธุ์ Goolarah ของประเทศออสเตรเลีย พันธุ์ Hieri ของประเทศญี่ปุ่น พันธุ์ Della และ Dellmont ของประเทศสหรัฐอเมริกา และในประเทศไทย คือ พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เป็นต้น สารระเหยที่พบในเมล็ดข้าวกล้อง ได้แก่ 2,4- Decadienal, Nonanal, Hexanal, 2-Nonenal, Octanal และ 2-Acetyl-1-pyrroline (2AP) เป็นต้น ซึ่งสาร 2AP เป็นสารหลักที่ให้กลิ่นหอมในข้าว ให้กลิ่นหอม

ชนิดนี้จะมีปริมาณสูงมากในพืชตระกูลไบเบต (*Pandanus amaryllifolius* Roxb.) สาร 2AP เป็นสารประกอบในกลุ่ม Pyrrole มีลักษณะโครงสร้างทางเคมีเป็นวงแหวนห้าเหลี่ยม ที่มีไนโตรเจนเกาะอยู่ในวง มีพันธะระหว่างคาร์บอนกับไนโตรเจนเป็นพันธะคู่หนึ่งพันธะ และมีหมู่ Acetyl เกาะอยู่กับคาร์บอนตำแหน่งที่สองของวง สาร 2AP มีสูตรโมเลกุล คือ C_8H_9NO มีสมบัติทางเคมีเป็นของเหลวใสไม่มีสี และมีความเป็นด่างเล็กน้อย เมื่อเก็บไว้นานจะเปลี่ยนเป็นสีแดงหรือสีน้ำตาลเข้ม และสามารถระเหยได้ง่ายเมื่ออยู่ในรูปสารบริสุทธิ์ โดยในข้าวกล้องหอมมะลิจะมีสาร 2AP นี้อยู่ประมาณ 0.1-0.2 ไมโครกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ส่วนข้าวขัดขาวหอมมะลิเท่ากับ 0.04-0.09 ไมโครกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2550; Mahattanatawee and Rouseff, 2014; Tananuwong *et al.*, 2010)

Hien และคณะ (2006) ศึกษาปริมาณสาร 2AP ในข้าวหอมดอกมะลิ 105 โดยใช้เครื่อง Gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) พบว่า ข้าวขัดขาวหอมดอกมะลิ 105 มีปริมาณ 2AP เท่ากับ 0.33 ppm ส่วน Wongpornchai และคณะ (2004) ศึกษาหาปริมาณสาร 2AP ในข้าวหอมดอกมะลิ 105 โดยใช้ SPME-GC-MS พบว่า ข้าวกล้องหอมดอกมะลิ 105 มีปริมาณ 2AP เท่ากับ 4.02 ppm อุณหภูมิในการเก็บรักษาอาจส่งผลต่อปริมาณสารระเหยที่มีอยู่ในข้าวได้ Maneenuam และคณะ (2014) ศึกษาผลของอุณหภูมิการเก็บรักษาต่อปริมาณสาร 2AP ในข้าวหอมมะลิ โดยนำข้าวหอมมะลิที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส ในถุงพลาสติกพอลิเอทิลีน จากนั้นตรวจวัดสารระเหย โดยใช้ Headspace-gas chromatography (HS-GC) พบว่า สาร 2AP ในข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ มีปริมาณสูง (4.28 ppm) กว่าข้าวที่เก็บรักษาในอุณหภูมิห้อง (3.10 ppm) ($p < 0.05$) เนื่องจากการเก็บรักษาข้าวที่อุณหภูมิต่ำ จะส่งผลให้สาร 2AP เกิดการเคลื่อนที่ต่ำและแพร่กระจายได้ลดลง ดังนั้นการเก็บรักษาข้าวหอมมะลิที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส จะสามารถลดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสาร 2AP ได้ นอกจากนี้อุณหภูมิในการทำแห้งส่งผลต่อปริมาณสาร 2AP จากการศึกษาก่อนของ Wongpornchai และคณะ (2004) ศึกษาผลของอุณหภูมิในการทำแห้งต่อปริมาณสารระเหยในข้าวกล้องหอมดอกมะลิ 105 ในระหว่างการเก็บรักษา โดยนำข้าวกล้องหอมมะลิมาทำแห้งที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 70 องศาเซลเซียส โดยเครื่องเป่าลมร้อน จนความชื้นสุดท้ายเท่ากับร้อยละ 13-14 จากนั้นนำมาวัดปริมาณสาร 2AP วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง GC-MS พบว่า การทำแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จะยังคงมีปริมาณสาร 2AP สูงสุด ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิในการทำแห้งที่ระดับอื่น

2.3 สมบัติทางเคมีฟิสิกส์

2.3.1 ลักษณะทางโครงสร้างผลึก

เม็ดสตาร์ชมีโครงสร้างเป็นแบบกึ่งผลึก (Semi-crystalline) โดยโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพกทินจะจัดเรียงตัวในเม็ดสตาร์ชเป็นโครงสร้างทั้งส่วนที่เป็นผลึก (Crystallite) โดยเป็นส่วนของสายโซ่อะไมโลเพกทินจะจัดเรียงตัวในลักษณะเกลียวม้วนคู่ (Double helices) ซึ่งมีความเป็นระเบียบ ส่วนอสัณฐาน (Amorphous) จะประกอบด้วยโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพกทินซึ่งเกิดจากการจัดเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ โดยพบว่า ร้อยละ 80-90 ของจำนวนอะไมโลเพกทินจะอยู่ในส่วนที่เป็นผลึก ส่วนร้อยละ 10-20 ที่เหลือจะอยู่ในส่วนของอสัณฐาน (กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546) เม็ดสตาร์ชจะมีโครงสร้างผลึก 3 แบบ ดังแสดงในภาพที่ 2 ขึ้นกับความหนาแน่นในการจัดเรียงตัวของเกลียวคู่ ถ้าเกิดการจัดเรียงตัวหนาแน่นจะเกิดเป็นผลึกแบบ A (A-type) ซึ่งพบได้ในสตาร์ชจากข้าวฟ่างและราก ถ้าจัดเรียงตัวกันอย่างหลวมๆ จะเกิดผลึกแบบ B (B-type) ซึ่งพบได้ในสตาร์ชจากพืชหัว (กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546) นอกจากผลึกแบบ A และ B แล้ว บางครั้งยังปรากฏลักษณะผลึกแบบ V (V-type) ซึ่งเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดจากการรวมตัวกันระหว่างอะไมโลสกับไขมัน (Amylose-lipid complex) (Jacobs and Delcour, 1998) โครงสร้างผลึกในรูปแบบต่างๆ สามารถตรวจสอบได้โดยใช้เทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน (X-ray diffraction, XRD) สตาร์ชที่มี X-ray diffraction pattern ชนิด A-type จะพบพีกคู่ (Double peak) มุมหักเหที่ตำแหน่ง 2θ ที่ 15° , 17° และ 18° และพีกเดี่ยวที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 23° ส่วนสตาร์ช ชนิด B-type จะพบพีกขนาดเล็กที่ตำแหน่ง 2θ ที่ 5.6° และ 17° และมีพีกคู่ที่ตำแหน่ง 2θ ที่ 22° และ 24° ส่วนสตาร์ชชนิด V-type จะพบพีกเดี่ยวที่ตำแหน่ง 2θ ที่ 13° และ 20° (กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546)

Colussi และคณะ (2014) ศึกษาสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ของข้าวกล้อง 3 สายพันธุ์ที่มีปริมาณอะไมโลสแตกต่างกัน ได้แก่ ข้าวสายพันธุ์ IRGA 417 มีปริมาณอะไมโลสสูง (ร้อยละ 32) ข้าวสายพันธุ์ IRGA 416 มีปริมาณอะไมโลสปานกลาง (ร้อยละ 20) และข้าวสายพันธุ์ Motti มีปริมาณอะไมโลสดำ (ร้อยละ 8) มาวัดปริมาณผลึกด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน พบว่า ข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูง ปานกลาง และต่ำจะมีรูปแบบของการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์เป็นแบบ A มีพีกที่มุม 2θ เท่ากับ 15.2° , 17.0° , 17.8° และ 23° ข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูง ปานกลาง และต่ำ และมีปริมาณผลึก เท่ากับร้อยละ 22.86, 27.26 และ 33.71 ตามลำดับ ข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูงจะมีปริมาณผลึกต่ำ ส่วนข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสดำจะมีปริมาณผลึกสูง ทั้งนี้ Noosuk และคณะ (2003) รายงานว่า ข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูง ปานกลาง และต่ำ และมีปริมาณผลึก เท่ากับร้อยละ 23.00, 25.70 และ 34.62 ข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูงจะมีปริมาณผลึกต่ำ เนื่องจากผลึกของสตาร์ชเกิดจาก

โครงสร้างของอะไมโลเพกทินที่มีการจัดเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบ โดยข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำจะมีปริมาณอะไมโลเพกทินสูง จึงส่งผลให้มีความเป็นผลึกสูง

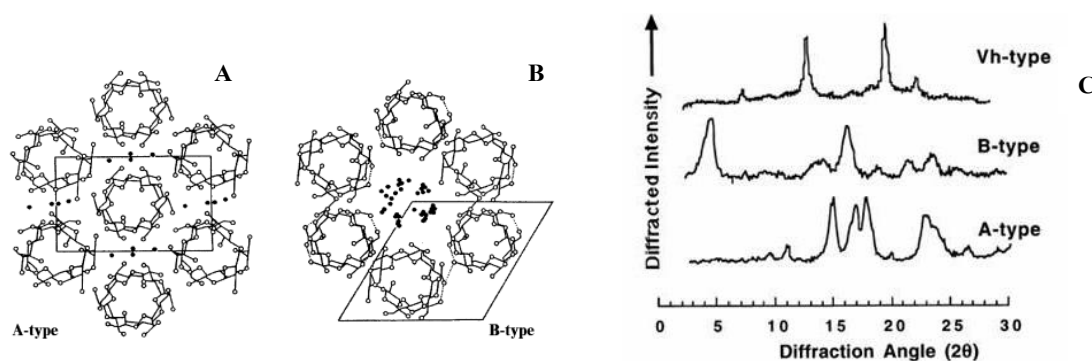


Figure 2 The crystal structure of A-type (A) and B- type (B) and X-ray diffraction of crystal A-type, B- type and Vh-type (C)

Source: Buleon (1998)

2.3.2 สมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืด

การเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของความหนืดวัดจากเครื่องมือ Rapid Visco Analyzer (RVA) แสดงผลในรูปแบบ Pasting curve (ภาพที่ 3) ความหนืดของสตาร์ชเกิดเนื่องจากเม็ดสตาร์ชได้รับความร้อนจะดูดซึมน้ำและพองตัวใหญ่ขึ้น ทำให้เม็ดสตาร์ชเคลื่อนไหวได้ยากและเกิดความหนืดขึ้น อุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืด เรียกว่า อุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนค่าความหนืด (Pasting temperature) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้นความหนืดจะเพิ่มจนถึงจุดที่มีความหนืดสูงสุด (Peak viscosity) เป็นจุดที่เม็ดสตาร์ชพองตัวเต็มที่ และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาต่อไปอีก รวมทั้งมีการกวนอย่างต่อเนื่อง จะทำให้โครงสร้างภายในของสตาร์ชแตกออกจะทำให้ความหนืดลดลงจนถึงระดับความหนืดต่ำสุด เรียกว่า Trough viscosity ความแตกต่างระหว่างความหนืดสูงสุด และความหนืดต่ำสุด เรียกว่า Breakdown มีหน่วยเป็น RVU จากนั้นเมื่อสิ้นสุดการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส จะเข้าสู่ช่วงการทำให้เย็น โดยลดอุณหภูมิลงไปเป็น 50 องศาเซลเซียส ทำให้โมเลกุลของอะไมโลสเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ (มาถิติ ผ่องพิพัฒน์พงศ์ และ จุฬาลักษณ์ จารุณูช, 2550; Keawpeng *et al.*, 2012)

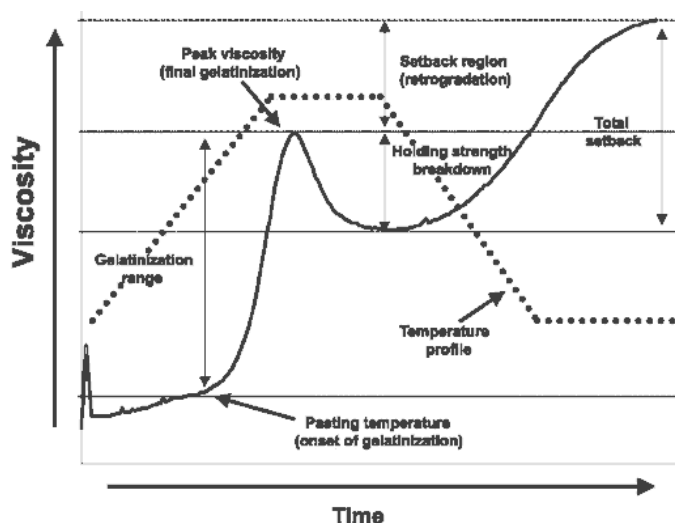


Figure 3 Analysis of changes in the viscosity of starch with Rapid visco analyzer (RVA)

Source: Dengate (1984)

2.3.3 การเกิดเจลาตินในเซชัน (Gelatinization)

โมเลกุลของสตาร์ชจะประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group) จำนวนมาก มีสมบัติชอบน้ำ (Hydrophilic) ยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน โดยสตาร์ชมีการจัดเรียงตัวแบบกิ่งผลึก ส่งผลให้เม็ดแป้งละลายในน้ำเย็นได้ยาก แต่เมื่อให้ความร้อน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเม็ดสตาร์ช เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้สตาร์ชเกิดการพองแล้วดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น เนื่องจากความร้อนทำให้พันธะไฮโดรเจนที่อยู่ในส่วนของบริเวณอสัณฐานจะคลายตัวลงและสามารถจับตัวกับ โมเลกุลน้ำได้ ส่งผลให้เม็ดแป้งพองตัว และความหนืดของน้ำแป้งเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การเกิดเจลาตินในเซชัน (Gelatinization) (กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546) ซึ่งการเกิดเจลาตินในเซชันสามารถตรวจสอบโดยใช้เครื่องวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเชิงความร้อน (Differential Scanning Calorimeter; DSC) เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงพลังงานของสาร โดยอาศัยหลักการให้ความร้อนแก่สารตัวอย่างและสารอ้างอิงซึ่งแสดงผลเป็น Thermal curve ในรูปค่าพลังงานเรียกว่า ค่าเอนทัลปี (Enthalpy; ΔH) โดยเม็ดสตาร์ชดูดพลังงานความร้อนเข้าไปเพื่อสลายพันธะไฮโดรเจน โดยเรียกอุณหภูมิเริ่มต้นในการเจลาตินในเซชัน (Onset temperature; T_o) อุณหภูมิสูงสุดในการเกิดเจลาตินในเซชัน (Peak temperature; T_p) และอุณหภูมิสุดท้ายในการเกิดเจลาตินในเซชัน (Conclusion temperature; T_c) (Bao *et al.*, 2004) จากการศึกษาของ Zhong และคณะ (2013) ศึกษาผลของสมบัติทางความร้อนของข้าวกล้องและข้าวขัดขาวดิบสายพันธุ์ Simiao (ที่ระดับการขัดสีร้อยละ 3, 6 และ 10) โดยนำตัวอย่างมา 2-4 มิลลิกรัม ใส่ในน้ำกลั่นในอัตราส่วนข้าวต่อน้ำเท่ากับ 1:3 ใส่ในอะลูมิเนียมแพน ปิดผนึกและเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 20

องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง จากนั้นนำไปวิเคราะห์โดยกำหนดอุณหภูมิในการให้ความร้อนเริ่มตั้งแต่ 20 ถึง 100 องศาเซลเซียส และกำหนดอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิเท่ากับ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที พบว่า ข้าวขัดขาวมีพลังงานเอนทัลปีสูงกว่าข้าวกล้อง เนื่องจากพลังงานเอนทัลปีวัดจากการเปลี่ยนสถานะของสตาร์ช เมื่อระดับการขัดสีเพิ่มขึ้นทำให้เมล็ดข้าวมีปริมาณสตาร์ชเพิ่มขึ้นส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงค่าพลังงานในการเกิดเจลาตินไนซ์เซชันของสตาร์ชเพิ่มขึ้น

2.3.5 ความสามารถในการพองตัวและการละลาย

ความสามารถในการพองตัวและการละลายคือ เมื่อสารละลายน้ำแข็งได้รับความร้อนเม็ดแข็งจะเกิดการพองตัว และบางส่วนของแข็งจะละลายออกมา กำลังการพองตัวของแข็งจะแสดงถึงปริมาตรหรือน้ำหนักของเม็ดแข็งที่เพิ่มขึ้นมากที่สุดเมื่อเม็ดแข็งพองตัวได้อย่างอิสระในน้ำ สำหรับความสามารถในการละลายจะแสดงเป็นน้ำหนักของของแข็งทั้งหมดในสารละลายที่สามารถละลายได้ ปัจจัยที่มีผลต่อการพองตัวและละลายน้ำของแข็ง มีหลายประการ เช่น ปริมาณสตาร์ช องค์ประกอบทางเคมีของแข็ง และสมบัติหลังการคัดแปรทางเคมี (มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์ และ จุฬาลักษณ์ จารุณูช, 2550; Lai, 2001)

3. ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของข้าวกล้อง และข้าวขัดสีระหว่างการเก็บรักษา

การเปลี่ยนแปลงของข้าวเกิดขึ้นตลอดเวลาตั้งแต่การเก็บเกี่ยวจนถึงผู้บริโภค โดยเมล็ดข้าวเกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ เคมี และเคมีเชิงฟิสิกส์ในระหว่างการเก็บรักษา (ภาพที่ 4) การเปลี่ยนแปลงทางสมบัติกายภาพของข้าวในระหว่างการเก็บรักษา จะเกิดการเปลี่ยนแปลงสีของข้าวเนื่องปฏิกิริยาเมลลาร์ดทำให้เมล็ดข้าวมีสีเข้มขึ้น ส่วนการเปลี่ยนแปลงทางสมบัติเคมีของข้าวในระหว่างการเก็บรักษา ประกอบด้วยการเปลี่ยนแปลงของสตาร์ช ไชมัน และโปรตีน โดยสตาร์ชสร้างพันธะที่แข็งแรงขึ้น และโปรตีนเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้เกิดพันธะไดซัลไฟด์ จะส่งผลกระทบต่อคุณภาพการหุงสุก จะทำให้แข็งเกิดการดูดซับน้ำและพองตัวได้ลดลง และเมื่อนำไปหุงสุกข้าวมีเนื้อสัมผัสแข็งขึ้น และการเปลี่ยนแปลงของไขมันในเมล็ดข้าวจะทำให้เกิดการเสื่อมคุณภาพของข้าวโดยเกิดกลิ่นหืน กลิ่นหืนเกิดเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน ซึ่งเกิดได้ 2 ลักษณะ คือ การเกิดโอโตออกซิเดชัน และการไฮโดรไลซิสจากเอนไซม์ไลพอกซิเนส การเกิดออกซิเดชันของไขมันเกิดขึ้นโดยมีแสงและออกซิเจนเป็นตัวเร่งทำให้เกิดการออกซิเดชันของกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว ส่วนการไฮโดรไลซิสจากเอนไซม์ไลพอกซิเนส เกิดจากเอนไซม์ไลพอกซิเนสเข้าไปย่อยสลายไตรกลีเซอไรด์ทำให้เกิดเป็นกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น กรดไขมันดังกล่าวจะถูกออกซิไดซ์เป็นสารเพอร์ออกไซด์ แล้วเกิดการสลายตัวต่อไปเป็นแอลดีไฮด์และคีโตน (Shahidi and Zhong, 2005; Zhout *et al.*, 2002) ซึ่งเมล็ดข้าวเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพ เคมี และเคมีเชิง

ฟิสิกส์ในระหว่างการเก็บรักษา เนื่องจากปัจจัยของกระบวนการกะเทาะเปลือกและการขัดสี ชนิดของพลาสติก อุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษา โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 ผลของกระบวนการกะเทาะเปลือกและการขัดสี

กระบวนการขัดสีข้าว มีวัตถุประสงค์เพื่อนำส่วนของรำและคัพพะออกจากเมล็ดข้าว โดยข้าวเปลือกผ่านเครื่องกะเทาะเปลือกออก จะได้เป็นข้าวกล้อง (Brown rice) จากนั้นข้าวกล้องผ่านเครื่องขัดสีเพื่อแยกรำและคัพพะออก จะได้เป็นข้าวขัดขาว (Milled rice) (Buggenhout *et al.*, 2004) ซึ่งกระบวนการขัดสีจะส่งต่อสมบัติทางกายภาพและเคมีของข้าวแสดงดังตารางที่ 2

Table 2 Chemical properties of brown rice, milled rice, bran and hull

Rice	Protein (%)	Lipid (%)	Fiber (%)	Ash (%)	Carbohydrate (%)
Brown rice	7.1-8.3	1.6-2.8	2.9-3.9	1.0-1.5	73-87
Milled rice	6.3-7.1	0.3-0.5	0.7-2.3	0.3-0.8	77-89
Bran	11.3-14.9	15.0-19.7	24-29	6.6-9.9	34-62
Hull	2.0-2.8	0.3-0.8	66-74	13.2-21.0	22-34

Source: Juliano (1993)

กระบวนการขัดสีจะทำให้คุณภาพของข้าวเปลี่ยนแปลงไป โดยข้าวกล้องจะมีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าข้าวขัดขาว เนื่องจากการขัดสีจะทำให้เมล็ดข้าวมีปริมาณ โปรตีน ไขมัน และเยื่อใยลดลง Monks และคณะ (2013) ศึกษาผลระดับการขัดสีต่อสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของข้าว โดยจะใช้ข้าวพันธุ์ Brazil จำนวน 100 กรัม มาผ่านกระบวนการขัดสี 4 ระดับ คือ ร้อยละ 0 (ข้าวกล้อง), 8, 10, 12 และ 14 แล้ววิเคราะห์สมบัติทางเคมี พบว่า เมื่อระดับขัดสีเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ข้าวมีปริมาณไขมันและโปรตีนลดลง ขณะที่ปริมาณอะไมโลสเพิ่มขึ้น เนื่องจากการขัดสีจะมีการกำจัดชั้นของรำซึ่งมีโปรตีน ไขมันเป็นองค์ประกอบอยู่บริเวณเยื่อหุ้มเมล็ดออกไป ทำให้สัดส่วนของสตาร์ชในเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้น (Liu *et al.*, 2009; Lamberts *et al.*, 2007; Park *et al.*, 2001) ส่วน Payakapol และคณะ (2011) ศึกษาผลระดับการขัดสีต่อสมบัติทางกายภาพ เคมีและเคมีเชิงฟิสิกส์ของข้าวหอมมะลิ โดยนำข้าวหอมมะลิมาผ่านการขัดสี 6 ระดับ ได้แก่ร้อยละ 0 (ข้าวกล้อง), 1.75, 4.50, 6.50, 8.50 และ 10.90 พบว่า เมื่อระดับการขัดสีเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณ โปรตีน ไขมัน เยื่อใย และไขมันลดลง ส่งผลให้ค่าความแข็งของเมล็ดข้าวลดลง ($p < 0.05$) นอกจากนี้เมื่อระดับการขัด

สีเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความหนืดและพลังที่ใช้ในการเกิดเจลลาติโนเซชันเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ Mariotti และคณะ (2009) ที่ศึกษาสมบัติทางเคมีและเคมีเชิงฟิสิกส์ของข้าวกล้องและข้าวขัดขาว 11 สายพันธุ์ โดยนำข้าวกล้องและข้าวขัดขาวที่มีกลิ่นหอม 5 สายพันธุ์ ได้แก่ Apollo (AP) Asia (AS) Gange (GA) Giano (GI) และ Fragrance (FR) และข้าวที่ไม่มีกลิ่น 6 สายพันธุ์ ได้แก่ Augusto (AU) Balilla (BA) Gladio (GL) Roma (RO) Selenio (SE) และ Vialone Nano (VN) พบว่า ข้าวกล้องมีความหนืดสูงสุด ความหนืดสุดท้ายและค่าการคืนตัวต่ำกว่าข้าวขัดขาว ($p < 0.05$) เนื่องจากข้าวขัดขาวจะมีปริมาณสตาร์ชสูงกว่าข้าวกล้อง โดยข้าวที่มีปริมาณสตาร์ชสูงส่งผลให้เกิดการพองตัวและเกิดความหนืดได้ดี (Mariotti *et al.*, 2005)

3.2 ผลของชนิดพลาสติก

บรรจุภัณฑ์จะทำหน้าที่ห่อหุ้มผลิตภัณฑ์ สามารถเก็บรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไว้ตลอดอายุการเก็บรักษา บรรจุภัณฑ์จะมีบทบาทสำคัญในการยืดอายุการเก็บรักษาและสามารถลดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวได้ สำหรับพลาสติกที่ใช้ในการบรรจุข้าวควรทำด้วยวัสดุที่มีสมบัติการป้องกันออกซิเจน การซึมผ่านของความชื้น การปนเปื้อนของจุลินทรีย์ และการซึมผ่านของกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ (บุณชาติภา รัตนตรัยวงศ์, 2548; Zhaou *et al.*, 2007) ถุงพลาสติก Nylon/LDPE มีความเหนียวสูง ป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำและความชื้นได้ดี สามารถป้องกันการซึมผ่านของก๊าซเป็นคุณสมบัติที่เหมาะสมในการเก็บรักษาข้าว โดยถุงนี้将有ความหนาเท่ากับ 70 ไมโครเมตร มีความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำเท่ากับ 57.25 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร.วัน และความสามารถในการซึมผ่านก๊าซออกซิเจนเท่ากับ 25.34 มิลลิลิตรต่อลูกบาศก์เมตร (ขนิษฐาคำวงศ์, 2547; Tananuwong and Malila, 2011; Tananuwong and Lertsiri, 2010) Tananuwong และ Lertsiri (2010) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสารให้กลิ่นในข้าวที่มีกลิ่นหอมในสภาวะการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน โดยนำข้าวหอมแดงมาบรรจุในบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด ได้แก่ Oriented polypropylene/aluminium/linear low-density polyethylene (OPP/Al/LLDPE) และ Nylon/linear low-density polyethylene (Nylon/LLDPE) บรรจุแบบสุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (28-35 องศาเซลเซียส) และอุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส นาน 12 เดือน พบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ไขมันในข้าวปฏิบัติการออกซิเดชันจะทำให้เกิดสารระเหยในกลุ่มของสารแอลดีไฮด์เป็นผลิตภัณฑ์ ได้แก่ 1-Octen-3-ol และ 2-Pentylfuran มากขึ้น ดังนั้นจึงควรเก็บรักษาข้าวโดยบรรจุในถุงพลาสติก Nylon/LLDPE ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส เพื่อลดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นของข้าวในระหว่างการเก็บรักษา นอกจากนี้ควรใช้ถุงพลาสติก Nylon/LLDPE เนื่องจากการถุงพลาสติก Nylon/LLDPE มีสมบัติที่ดีในการป้องกันความชื้นและอากาศเข้าไปในผลิตภัณฑ์และมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่าถุงพลาสติก OPP/Al/LLDPE (Tananuwong and Lertsiri, 2010)

ปัจจุบันมีใช้การบรรจุภัณฑ์แบบสุญญากาศ (Vacuum packaging) ในอาหารชนิดต่างๆ เช่น ข้าว เป็นต้น การบรรจุแบบสุญญากาศ คือ การบรรจุที่มีการดูดอากาศในบรรจุภัณฑ์ออกไปก่อนปิดผนึก ทำให้ภายในมีสถานะเป็นสุญญากาศ ซึ่งวัตถุประสงค์ของการบรรจุแบบสุญญากาศ เพื่อป้องกันการเสื่อมเสียของอาหารจากจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจน เช่น รา และแบคทีเรียที่ต้องการออกซิเจน (Aerobic bacteria) อย่างไรก็ตามแบคทีเรียที่ไม่ต้องการออกซิเจน (Anaerobic bacteria) ยังสามารถเจริญได้ ดังนั้นต้องควบคุมความชื้น นอกจากนี้สามารถป้องกันการเสื่อมเสียจากปฏิกิริยาทางเคมีที่ต้องการออกซิเจน เช่น การเกิดกลิ่นหืน เนื่องปฏิกิริยาจากออกซิเดชัน (Sharp and Timme, 1986)

3.3 ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษา

อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งในการยืดหรือลดอายุการเก็บข้าว เนื่องจากการเก็บรักษาข้าวที่อุณหภูมิต่ำจะสามารถยืดอายุการเก็บรักษาของข้าวได้ เนื่องจากอุณหภูมิต่ำสามารถลดการเกิดอันตรกิริยาระหว่างสตาร์ชกับไขมัน และโปรตีน ส่วนการเก็บรักษาข้าวที่อุณหภูมิสูงจะเร่งการเสื่อมเสียโดยเกิดกลิ่นหืนในข้าวได้ (Kim *et al.*, 2004) Park และคณะ (2012) ที่ศึกษาผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและการทดสอบทางประสาทสัมผัสของข้าว โดยนำข้าวบรรจุในถุงพอลิเอทิลีน ถุงละ 5 กิโลกรัม เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4, 20, 30 และ 40 องศาเซลเซียส นาน 4 เดือน พบว่า เมื่ออุณหภูมิในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ค่าความสว่าง (L^*) ลดลง ($p < 0.05$) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่าสีของข้าวในระหว่างการเก็บรักษาเกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เกิดจากระหว่างโปรตีนและน้ำตาลในเมล็ดข้าวส่งผลให้ข้าวมีสีคล้ำขึ้น (Soponronmarit *et al.*, 2008; Kim *et al.*, 2004) จากนั้นนำข้าวที่ผ่านเก็บรักษาในแต่ละอุณหภูมิมาหุงสุกและทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส ด้านกลิ่นรส ลักษณะปรากฏ รสชาติ เนื้อสัมผัส และลักษณะโดยรวม พบว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงจะส่งผลให้คะแนนการยอมรับของผู้บริโภค ลดลง ($p < 0.05$) สอดคล้องกับ Zhou และคณะ (2002) ที่ศึกษาผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของข้าวกล้อง โดยนำข้าวกล้องมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส พบว่า เมื่ออุณหภูมิในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นสูงจะทำให้กรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) อุณหภูมิในการเก็บรักษา ยังส่งผลต่อปริมาณ 2AP ซึ่งเป็นสารที่ให้กลิ่นรสในข้าว Yoshihashi และคณะ (2006) ศึกษาผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อปริมาณ 2AP ในข้าวกล้องหอมดอกมะลิ โดยนำข้าวกล้องหอมดอกมะลิเก็บรักษาในถุง Low-density polyethylene/nylon (LDPE/nylon) ที่อุณหภูมิ 5, 20, 25 และ 30 องศาเซลเซียส นาน 14 สัปดาห์ พบว่า การเก็บรักษาของข้าวกล้องหอมดอกมะลิที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส สามารถรักษาความคงตัวของสาร 2AP ได้ดีที่สุด โดยเริ่มต้นของการเก็บรักษามีปริมาณ 2AP เท่ากับ 4.15 ppm และเมื่อผ่านการเก็บรักษานาน 14 สัปดาห์ มีปริมาณ 2AP เท่ากับ 3.59 ppm ในขณะที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นาน 14

สปีดาร์ จะมีปริมาณ 2AP เท่ากับ 3.08 ppm ($p < 0.05$) เนื่องจากที่อุณหภูมิต่ำสามารถลดการเกิดปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลได้ และสามารถชะลอการระเหยของสาร 2AP ได้

ระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวนานขึ้นจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าว เช่น ความหนืด และปริมาณสารระเหยได้ดังแสดงในภาพที่ 4 Kewpeng (2012) ศึกษาผลของระยะเวลาการเก็บรักษาต่อสมบัติของข้าวกล้องสังข์หยด โดยนำข้าวกล้องสังข์หยดมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องนาน 12 เดือน และตรวจวิเคราะห์ทุกๆ เดือน พบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นมีผลให้ค่าความหนืดลดลง ($p < 0.05$) เนื่องจากในระหว่างการเก็บรักษาจะทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างอะไมโลสกับไขมัน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะขัดขวางการพองตัวของสตาร์ชและในระหว่างการเก็บรักษาโปรตีนในเมล็ดข้าวเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้โปรตีนเกิดพันธะไดซัลไฟด์เพิ่มขึ้นจึงทำให้ค่าความหนืดลดลง (Keawpeng and Venkatachalam, 2015; Ohno and Ohisa, 2005; Zhou *et al.*, 2002) ซึ่งสอดคล้องกับ Zhou และคณะ (2010) ที่ศึกษาผลของระยะเวลาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวกล้องระหว่างระยะเวลาการเก็บรักษา โดยนำข้าวกล้องมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 4, 12 และ 16 เดือน พบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นจะทำให้ค่าความหนืดลดลง ($p < 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Kanjanumpa (2014) ที่ศึกษาผลของระยะเวลาต่อคุณภาพของข้าวสังข์หยด โดยนำข้าวสังข์หยดชนิดสี ร้อยละ 0 (ข้าวกล้อง), 5 และ 9 มาเก็บรักษานาน 6 เดือน พบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าความหนืดลดลง ($p < 0.05$) นอกจากนี้ค่าพลังงานเอนทัลปีเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) เนื่องจากโครงสร้างของอะไมโลสและอะไมโลเพกทินเกิดการยึดเกาะกันระหว่างโมเลกุล ทำให้เม็ดแป้งมีความแข็งแรงขึ้น (Keawpeng and Venkatachalam, 2015; Zhou *et al.*, 2010) ส่วน Wongpornchai และคณะ (2004) ศึกษาผลของระยะเวลาต่อคุณภาพของข้าวขัดขาวหอมดอกมะลิ โดยนำข้าวขัดขาวหอมดอกมะลิมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นาน 10 เดือน และตรวจวัดกลิ่นภายหลังการเก็บรักษาในเดือนที่ 1, 4 และ 10 โดยใช้ SPME-GC-MS พบว่า ข้าวขัดขาวหอมดอกมะลิจะมีปริมาณ 2AP ลดลงอย่างต่อเนื่อง จะมีปริมาณ 2AP ในเดือนที่ 1, 4 และ 10 เท่ากับ 4.02, 1.88 และ 0.89 ppm ตามลำดับ ($p < 0.05$) Kongkiattikajorn (2008) ศึกษาผลของระยะเวลาและอุณหภูมิต่อกลิ่นในข้าวหอมดอกมะลิ โดยการนำข้าวกล้อง และข้าวขัดขาวหอมดอกมะลิ มาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 และ 37 องศาเซลเซียส นาน 7 เดือน และตรวจวัด Hexanal ภายหลังการเก็บรักษาทุกๆ เดือน พบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ส่งผลให้สาร Hexanal เพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเนื่องจากไขมันในข้าวเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยเกิดจากการทำงานของเอนไซม์ไลเปสในข้าว (Tananuwong and Lertsiri, 2010; Marsili, 2002; Lasekan *et al.*, 2001) ข้าวกล้องจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้มากกว่าข้าวขัดขาว เนื่องจากข้าวขัดขาวถูกขัดเอื้อหุ้มเมล็ดซึ่งอุดมไปด้วยกรดไขมัน

ออกไปในกระบวนการขัดสี เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิ พบว่า การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จะทำให้สาร Hexanal เพิ่มขึ้นได้น้อยกว่า การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ซึ่งการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำจะสามารถลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยจะสามารถชะลอการทำงานของเอนไซม์ได้ (Kongkiattikajorn, 2008; Zhou *et al.*, 2002)

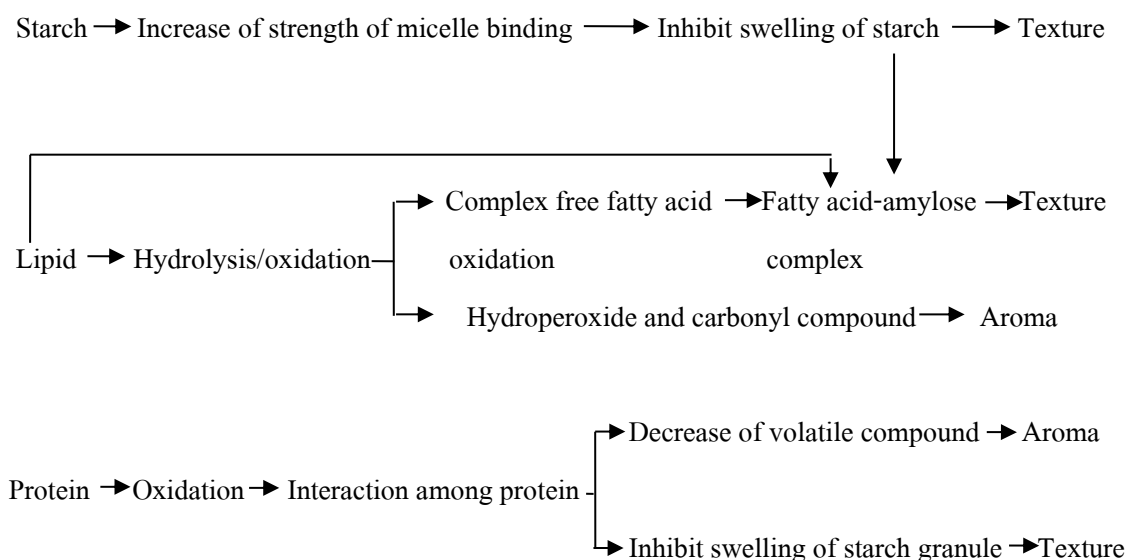


Figure 4 Changes in the chemical composition of rice grain during storage

Source: Maritaka and Yasumatsu (1972)

4. ข้าวสุก

ข้าวเป็นธัญพืชอาหารหลักที่ผู้บริโภคให้ความสำคัญ ซึ่งข้าวที่นำมาบริโภคต้องผ่านการหุงสุกด้วยวิธีต่างๆ โดยลักษณะของข้าวสุกในด้านลักษณะปรากฏ กลิ่นรส และเนื้อสัมผัส เช่น เหนียวนุ่ม แข็งร่วน ส่งผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค

4.1 วิธีการทำให้ข้าวสุก

ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาการทำให้ข้าวสุกหลากหลายรูปแบบ เพื่อให้เกิดความสะดวกแก่ผู้บริโภค ได้แก่ วิธีการทำให้ข้าวสุกโดยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า วิธีการทำให้ข้าวสุกโดยใช้หม้อฆ่าเชื้อความดันสูง และวิธีการทำให้ข้าวสุกโดยใช้ไมโครเวฟ ทั้งนี้วิธีการทำให้ข้าวสุกที่แตกต่างกันอาจส่งผลต่อคุณภาพของข้าวสุกได้

4.1.1 วิธีการทำให้ข้าวสุกโดยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากที่สุด เนื่องจากมีความสะดวกสามารถเตรียมได้ง่าย โดยการนำข้าวมาล้างทำความสะอาดและเติมน้ำ โดยปริมาณน้ำที่เติมจะขึ้นกับความเก่าใหม่ของข้าว ซึ่งการหุงข้าวโดยทั่วไปจะใช้หม้อหุงข้าวไฟฟ้าเป็น

การหุง หม้อหุงข้าวไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ความร้อนความที่ทำให้ข้าวสุกได้อย่างรวดเร็วโดยอาศัยพลังงานไฟฟ้าทำให้เกิดความร้อน หม้อหุงข้าวที่ใช้ในครัวเรือนโดยทั่วไปใช้แรงเคลื่อนไฟฟ้า 220 โวลต์ โดยส่วนประกอบของหม้อหุงข้าว ได้แก่ ฝาหม้อ หม้อชั้นใน หม้อชั้นนอก และชุดควบคุมการทำงาน (ศิริขวัญ เพิ่มศรี, 2553; วิไล รังสาดทอง, 2543)

- ฝาหม้อ ทำหน้าที่ปิดหม้อชั้นในป้องกันความร้อนออกสู่ภายนอกในขณะที่หุงตลอดจนรักษาความร้อนเอาไว้เมื่อหุงข้าวสุกแล้ว

- หม้อชั้นใน เป็นภาชนะบรรจุข้าวและเป็นส่วนทำหน้าที่รับความร้อนจากแผ่นความร้อนและแพร่กระจายความร้อนเพื่อทำให้ข้าวสุก

- หม้อชั้นนอก ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างเพื่อใช้วางหม้อชั้นในและเป็นที่ติดตั้งชุดควบคุมการทำงาน

- ชุดควบคุมการทำงาน ทำหน้าที่ในการควบคุมอุณหภูมิและการทำงานของหม้อหุงข้าว โดยมีสวิทช์ในการกด เพื่อให้หม้อหุงข้าวทำงาน และหลอดไฟแสดงสถานะกำลังหุงข้าวหรืออุ่นข้าว

- อุปกรณ์ให้ความร้อน มีลักษณะเป็นแผ่นให้ความร้อนจะอยู่ที่ก้นหม้อ ทำหน้าที่ในการให้ความร้อนในการหุงข้าว

หลักการให้ความร้อนของหม้อหุงข้าว คือการส่งผ่านความร้อนจากอุปกรณ์ให้ความร้อนไปยังหม้อหุงข้าวชั้นในซึ่งมีข้าวและน้ำอยู่ในหม้อ ข้าวจะเกิดกระบวนการเจลาติไนเซชันในระหว่างการให้ความร้อนจึงทำให้ข้าวหุงสุก (วิไล รังสาดทอง, 2543) ศิริขวัญ เพิ่มศรี (2553) ที่ศึกษาหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการหุงข้าวกล้องและการเปลี่ยนแปลงคุณค่าทางโภชนาการของข้าวสุก โดยนำข้าวกล้องหอมมะลิมาหุงโดยใช้อัตราส่วนข้าวต่อน้ำ 3 ระดับ คือ 1:1.7, 1:2.0 และ 1:2.5 โดยใช้หม้อหุงข้าว จากนั้นนำมาทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า การหุงข้าวหอมมะลิโดยอัตราส่วนข้าวต่อน้ำเท่ากับ 1:2 ได้รับคะแนนการยอมรับสูงสุด ($p < 0.05$) ส่วน Chakkaravarthi และคณะ (2008) ศึกษาการผลของการแช่ข้าวต่อระยะเวลาการหุงสุก โดยนำข้าวขัดขาว จำนวน 300 กรัม แช่ในน้ำปริมาณมากเกินไปที่อุณหภูมิห้อง นาน 30 นาที เมื่อครบเวลา นำข้าวที่ผ่านการแช่และไม่ผ่านการแช่ มาเติมน้ำ ตัวอย่างละ 730 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปหุงสุกด้วยหม้อไฟฟ้า พบว่า ข้าวที่ผ่านการแช่จะใช้ระยะเวลาในการหุงสุกน้อยกว่าข้าวที่ไม่ผ่านการแช่ ($p < 0.05$) เนื่องจากการแช่ข้าวก่อนการหุงสุกจะทำให้น้ำแพร่กระจายเข้าสู่เมล็ดข้าว ทำให้เมล็ดข้าวเกิดการพองตัวและง่ายต่อการเกิดการเจลาติไนเซชันในระหว่างการหุงสุก (Bhattacharya, 2011)

4.1.2 วิธีการทำให้ข้าวสุกโดยใช้หม้อฆ่าเชื้อความดันสูง หรือ รีทอร์ท (Retort) การทำให้ข้าวสุกโดยใช้หม้อฆ่าเชื้อความดันสูงเป็นการผลิตอาหารในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท โดยอาหาร

จะผ่านกรรมวิธีเพื่อทำลายหรือยับยั้งจุลินทรีย์ด้วยความร้อนภายหลังการบรรจุปิดผนึกภาชนะบรรจุ และสามารถเก็บรักษาอาหารไว้ที่อุณหภูมิปกติ (อนลักษ์ณ์ โอพาริ โกวิท, 2546; วิไล รังสาดทอง, 2543; ประกาศสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2535) อาหารในบรรจุปิดสนิทจะต้องฆ่าเชื้อโดยใช้หม้อฆ่าเชื้อความดันสูง ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้เพื่อฆ่าเชื้ออาหารด้วยความร้อนสูง (Thermal processing) โดยใช้น้ำร้อนหรือไอน้ำอ้อมตัวเป็นตัวกลางถ่ายเทความร้อน องค์ประกอบและความเป็นกรด-ด่างของอาหารเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อระยะเวลาในการฆ่าเชื้อ ข้าวจัดเป็นอาหารที่มีค่าความเป็นกรดต่ำ (ความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 6.0-6.8) จะถูกกำหนดให้มีค่า F_0 อยู่ในช่วง 3-6 นาที (Lewis and Heppell, 2000)

4.1.2.1 หม้อฆ่าเชื้อความดันสูง (Retort) เป็นอุปกรณ์สำคัญในการผลิตอาหารที่บรรจุในภาชนะบรรจุปิดสนิทโดยเฉพาะอาหารที่มีความเป็นกรดต่ำ (ความเป็นกรด-ด่างน้อยกว่า 4.6) ผลิตภัณฑ์อาหารประเภทนี้จะต้องมีกระบวนการผลิตที่มีการควบคุมอุณหภูมิ เวลา และความดันที่ถูกต้องตามที่กำหนด เพื่อให้ได้อาหารที่มีคุณภาพและความปลอดภัย โดยประเภทของเครื่องฆ่าเชื้อ 3 ประเภท ได้แก่

- หม้อฆ่าเชื้อความดันสูงแบบไอน้ำ (Steam retort) เป็นหม้อฆ่าเชื้อใช้ไอน้ำอ้อมตัวเป็นตัวกลางถ่ายเทความร้อนเพื่อใช้ฆ่าเชื้ออาหารที่ปิดผนึกสนิท ซึ่งการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิสูงเช่น การฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส มีความดันไอกภายใน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว บรรจุภัณฑ์ต้องทนต่อแรงดันได้ดี เช่น กระจ่าง ตัวหม้อฆ่าเชื้อสร้างจากโลหะหนา ซึ่งความดันภายในหม้อระหว่างการฆ่าเชื้อมีความดันสูงมาก

- หม้อฆ่าเชื้อความดันสูงแบบใช้น้ำท่วม (Full water immersion heating retort) เป็นหม้อฆ่าเชื้อที่ใช้น้ำร้อนเป็นตัวกลางในการให้ความร้อน โดยมีการอัดความดันภายในหม้อระหว่างการฆ่าเชื้อเพื่อให้น้ำร้อนมีอุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส ใช้ไอน้ำอ้อมตัวน้ำในการควบคุมความดันภายในหม้อ การให้ความร้อนกับน้ำสามารถทำได้โดยการพ่นไอน้ำโดยตรงเพื่อทำน้ำร้อน และปั๊มน้ำร้อนเข้าสู่หม้อฆ่าเชื้อ เมื่อน้ำร้อนท่วมภาชนะของตัวอย่างทั้งหมด จะใช้ไอน้ำเพื่อให้ความดันเพิ่มขึ้นและฆ่าเชื้อ

- หม้อฆ่าเชื้อความดันแบบพ่นน้ำหรือโปรยน้ำ (Water spray retort) เป็นหม้อฆ่าเชื้อที่ใช้น้ำร้อนเป็นตัวกลางในการให้ความร้อน เป็นการใช้น้ำร้อนในการฆ่าเชื้อโดยการปล่อยน้ำร้อนออกจากส่วนบนของหม้อ โดยน้ำร้อนจะถูกปั๊มจากด้านล่างของหม้อเข้าสู่หัวพ่นทั้งด้านบนและด้านข้าง การกระจายน้ำด้านบนหม้อเพื่อโปรยน้ำร้อนลงบนภาชนะที่บรรจุอาหารและควบคุมความดันด้วยอากาศ โดยใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่แบบแผ่น (Plate heat exchanger) เพื่อให้ความ

ร้อนแก่น้ำ ซึ่งการใช้หม้อฆ่าเชื้อความดันแบบพ่นน้ำหรือโปรยน้ำมีข้อดีคือ ประหยัดพื้นที่ในการฆ่าเชื้อและสามารถลดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลัน

4.1.2.2 หลักการการถ่ายโอนความร้อน

- การถ่ายโอนความร้อนแบบการนำ (Conductive heating packs) ความร้อนจะถูกถ่ายเททุกทิศทางผ่านผนังภาชนะบรรจุ แล้วผ่านโมเลกุลของอาหารที่ไม่เคลื่อนที่ อาหารที่เป็นของแข็ง บรรจุแน่น จุดที่ร้อนช้าที่สุดจะอยู่ที่กึ่งกลางภาชนะบรรจุ (ภาพที่ 5) (วิไล รังสาตทอง, 2543)

- การถ่ายโอนความร้อนแบบการพา (Convection heating packs) ความร้อนจะถูกถ่ายเทโดยที่โมเลกุลของอาหารเคลื่อนที่ไปด้วย เช่น อาหารเหลวที่มีความข้นหนืดต่ำหรือผลิตภัณฑ์ที่มีชิ้นอาหารขนาดเล็กในน้ำเกลือ เมื่อได้รับความร้อนส่วนที่เป็นของเหลวจะได้รับความร้อนก่อน ทำให้ความหนาแน่นน้อยลงซึ่งเคลื่อนที่ขึ้นด้านบน ในขณะที่อุณหภูมิที่ต่ำกว่าและความหนาแน่นต่ำกว่าจะเคลื่อนที่ลงด้านล่าง ทำให้เกิดการหมุนเวียน ของอาหารภายในภาชนะบรรจุ โดยจุดที่ร้อนช้าที่สุดจะอยู่ที่ปริมาตร $\frac{3}{4}$ นิ้วจากด้านล่างภาชนะบรรจุ (ภาพที่ 5) (วิไล รังสาตทอง, 2543)

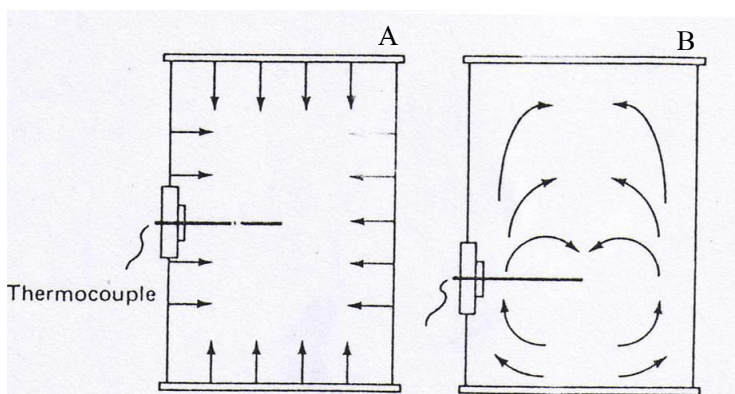


Figure 5 Thermal conductivity (A) and convection (B) of can food

Source: Rungsardthong (2000)

4.1.2.3 ปัจจัยที่มีส่งผลต่อการให้ความร้อนอาหาร (วิไล รังสาตทอง, 2543)

- ความเป็นกรด-ด่างของอาหาร โดยความเป็นกรด-ด่างของอาหารเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อชนิดจุลินทรีย์ที่จะเจริญได้และปริมาณความร้อนที่ต้องการในการฆ่าเชื้อ อาหารที่มีความเป็นกรดต่ำ (ความเป็นกรด-ด่างมากกว่า 4.6) จะต้องการความร้อนในการฆ่าเชื้อสูงกว่าอาหารที่มีความเป็นกรดสูง (ความเป็นกรด-ด่างน้อยกว่า 4.6)

- ปริมาณน้ำอิสระ (A_w) ของอาหาร โดยค่าปริมาณน้ำอิสระแสดงปริมาณน้ำในอาหารที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ได้ อาหารในภาชนะบรรจุปิดสนิทส่วนใหญ่ที่มีค่าปริมาณน้ำอิสระมากกว่า 0.98 ดังนั้นจุลินทรีย์ และสปอร์จึงสามารถเจริญได้ดี ถ้าปริมาณน้ำอิสระน้อยกว่า 0.98 จุลินทรีย์บางชนิดถูกยับยั้งได้ ดังนั้นจะทำให้ความร้อนที่ต้องการในการฆ่าเชื้อ

- ความชื้นหนืดของอาหาร ความชื้นหนืดจะส่งผลต่ออัตราการถ่ายโอนความร้อน อาหารที่มีความชื้นหนืดสูงจะทำให้การถ่ายโอนความร้อนลดลง

- ขนาดชิ้นอาหาร ชิ้นอาหารที่มีขนาดใหญ่จะใช้เวลาในการฆ่าเชือนานกว่าชิ้นอาหารขนาดเล็ก

- น้ำหนักบรรจุ การบรรจุอาหารในน้ำหนักที่มากเกินไปจะทำให้อัตราการถ่ายโอนความร้อนลดลง ในการทดลองให้ใช้น้ำหนักที่มากที่สุดที่จะเกิดขึ้นในการผลิตจริง

- การเตรียมวัตถุดิบ เช่น การลวก โดยการลวกเป็นการเพิ่มอุณหภูมิเริ่มต้นของอาหาร ซึ่งอาหารที่มีอุณหภูมิเริ่มต้นต่ำจะให้ความร้อนและระยะเวลาฆ่าเชื้อที่สูงกว่าอาหารที่มีอุณหภูมิเริ่มต้นสูงกว่า

- ขนาดบรรจุภัณฑ์ การส่งผ่านความร้อนไปยังจุดกึ่งกลางในบรรจุภัณฑ์ขนาดเล็กจะทำได้เร็วกว่าในบรรจุภัณฑ์ขนาดใหญ่กว่า

- ชนิดของบรรจุภัณฑ์ บรรจุภัณฑ์ชนิดโลหะจะส่งผ่านความร้อนได้ดีกว่า แก้วหรือพลาสติก

- อุณหภูมิของหม้อนึ่งฆ่าเชื้อ การกำหนดให้อุณหภูมิของหม้อนึ่งฆ่าเชื้อสูง ส่งผลให้ความร้อนจะส่งผ่านไปยังอาหารได้เร็ว และทำให้อุณหภูมิของอาหารถึงอุณหภูมิฆ่าเชื้อได้เร็ว

การทำให้ข้าวสุกโดยใช้หม้อนึ่งฆ่าเชื้อความดันสูง เป็นผลิตภัณฑ์ที่พร้อมบริโภค จัดเป็นอาหารที่มีความเป็นกรดต่ำ (Low acid food) โดยมีค่าความเป็นกรด-ด่าง ประมาณ 6.3-6.4 (ประกาศสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2535) ซึ่งการฆ่าเชื้ออาหารประเภทนี้จะต้องควบคุมอุณหภูมิและความดันให้เหมาะสมเพื่อจะทำให้ข้าวพร้อมบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิทมีความปลอดภัยจากเชื้อจุลินทรีย์ บรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในการผลิตข้าวพร้อมบริโภคในภาชนะบรรจุปิดมีหลายชนิด เช่น กระป๋อง และ ถุงรีทอร์ทเพาซ์ (Retort pouch) โดยถุงรีทอร์ทเพาซ์ เป็นภาชนะบรรจุอ่อนตัว ทำจากฟิล์มหลายชนิด โดยขึ้นรูปเป็นถุงมีความแข็งแรง สามารถทนต่อความร้อนและความดันสูงได้ สามารถขนส่งได้ง่าย มีน้ำหนักเบา ประหยัดพื้นที่ในการขนส่ง นอกจากนี้ยังใช้ระยะเวลาสั้นในการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน และช่วยทำให้รักษาคุณภาพของอาหารในด้านต่างๆ ได้แก่ สี กลิ่น รส และเนื้อสัมผัสของอาหารได้ดี (ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก, 2554) อนลักษ์ณธ์ โอฟารีโกวิท (2546) ศึกษาการผลิตข้าวพร้อมบริโภคในรีทอร์ทเพาซ์ โดยการนำข้าวขัดขาวหอม

ดอกมะลิ 105 มาแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง 50 และ 60 องศาเซลเซียส นาน 60, 120, 180 และ 240 นาที จากนั้นนำไปแช่ในน้ำเดือด นาน 2, 3, 4 และ 5 นาที ตามลำดับ ทำให้เย็นและสะเด็ดน้ำในตะแกรง นาน 5 นาที จากนั้นนำไปบรรจุลงถุงรีทอร์ทเพาซ์ ถุงละ 120 กรัม ปิดผนึก และฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส 15 นาที ซึ่งข้าวเป็นอาหารกรดต่ำ (ความเป็นกรดต่ำกว่า 4.6) โดยจะกำหนดค่า F_0 เท่ากับ 4 นาที จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสข้าวพร้อมบริโภคในรีทอร์ทเพาซ์ พบว่า ข้าวที่ผ่านการแช่นาน 60 และ 120 นาที ที่อุณหภูมิห้องและ 60 องศาเซลเซียส และข้าวที่ผ่านการแช่ในน้ำเดือด นาน 3 และ 4 นาที ได้รับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสและคะแนนความชอบโดยรวมสูง ซึ่งข้าวพร้อมบริโภคในรีทอร์ทเพาซ์มีความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 60-76 ส่วนข้าวหอมดอกมะลิ 105 ที่เตรียมจากการแช่ข้าวที่อุณหภูมิห้องและนำไปแช่ในน้ำเดือดนาน 2 นาที ได้รับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสและการยอมรับ โดยรวมต่ำกว่าระยะเวลาแช่ข้าวอื่นๆ เนื่องจากระยะเวลาแช่ข้าวในน้ำเดื่อน้อยเกินไป เมล็ดข้าวจะมีค่าความชื้นไม่เพียงพอที่จะเกิดเจลลิตินในเซชันได้อย่างสมบูรณ์ ส่งผลให้ด้านในของเมล็ดข้าวไม่สุก ส่วนการแช่ข้าวหอมดอกมะลิที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 180 และ 240 นาที ก่อนนำมาแช่ในน้ำเดือดนาน 5 นาที ได้รับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสลดลง เนื่องจากข้าวมีลักษณะที่นุ่มเกินไป ซึ่งเกิดจากข้าวที่ได้รับความชื้นมากเกินไป เมื่อผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งความดันสูง ข้าวจะมีลักษณะค่อนข้างเหนียว และ Byun และคณะ (2010) ศึกษาผลของสารเคลือบถุงทนร้อนสูงต่อคุณภาพข้าวหุงสุก โดยการนำข้าวขัดขาวมาผสมกับน้ำอัตราส่วนข้าวต่อน้ำเท่ากับ 1:2 ต้มในน้ำเดือดนาน 15 นาที และนำข้าวมาแช่ในน้ำเย็น 5 นาที มาบรรจุในถุงทนความร้อนสูงที่เคลือบด้วยสารอินทรีซ์ (Chitosan/polyethylene terephthalate (PET)/ biaxially oriented nylon (BON)/cast polypropylene (CPP) และ อลูมินทรีซ์ (Aluminum oxide/PET/ BON/ CPP) โดยนำข้าวมาทำให้สุกด้วยหม้อฆ่าเชื้อความดันสูงที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 28 นาที จากนั้นนำข้าวมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องนาน 12 สัปดาห์ พบว่า ข้าวที่บรรจุในถุงทนความร้อนสูงที่เคลือบด้วยสารอินทรีซ์จะมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นและค่าสีต่ำกว่าข้าวบรรจุในถุงทนความร้อนสูงที่เคลือบด้วยสารออลูมินทรีซ์ ($p < 0.05$) เนื่องจากสารอินทรีซ์ที่ใช้ในการเคลือบถุงทนร้อนสูง คือ ไคโตซาน ซึ่งเป็นสารที่มีสมบัติไม่ละลายน้ำและมีความยืดหยุ่นที่ดีสามารถลดการหดตัวของถุงพลาสติกและสามารถลดการระเหยน้ำออกจากตัวอย่างระหว่างการจัดเก็บรักษาได้

4.1.3 การทำให้ข้าวสุกโดยใช้ไมโครเวฟ การใช้ไมโครเวฟในการแปรรูปอาหารได้รับความนิยมนำมาใช้อย่างต่อเนื่องในอุตสาหกรรมอาหาร ซึ่งถูกนำมาใช้ในกระบวนการต่างๆ ได้หลายกระบวนการ เช่น การลวก (Blanching) การทำให้สุก (Cooking) การทำแห้ง (Drying) การทำละลาย (Thawing) และการอบ (Baking) (Chandrasekaran *et al.*, 2013) ทั้งนี้การทำให้ข้าวสุก

โดยใช้ไมโครเวฟเป็นเทคนิคที่ทำให้เกิดความร้อนขึ้นอย่างรวดเร็วและสามารถลดเกิดการสูญเสียคุณภาพด้านต่างๆ เช่น กลิ่นรส สีและเนื้อสัมผัส (สายสนม ประดิษฐ์ดวง, 2543) โดยหลักการให้ความร้อนของเครื่องไมโครเวฟ คือ เครื่องไมโครเวฟจะผลิตพลังงานความร้อนโดยการไ้คลื่นไมโครเวฟที่มีความถี่สูงทำให้โมเลกุลของน้ำเกิดการสั่นสะเทือน ส่งผลให้โมเลกุลน้ำชนกับโมเลกุลน้ำข้างเคียงทำให้เกิดความร้อนขึ้น ความร้อนจะกระจายออกไปยังส่วนต่างๆ อย่างต่อเนื่อง ดังนั้นการใช้ไมโครเวฟจะทำให้เกิดความร้อนอย่างรวดเร็วเมื่อเทียบกับวิธีการให้ความร้อนอื่น (สายสนม ประดิษฐ์ดวง, 2543) Horrungsawat and Therdthai1 (2015) ศึกษาผลของวิธีการทำให้ข้าวสุกต่อคุณภาพของข้าวหอมมะลิ โดยนำข้าวหอมมะลิมาทำให้ข้าวสุกด้วย 3 วิธี ได้แก่ 1. การทำให้ข้าวสุกโดยใช้หม้อหุงข้าว 2. การทำให้ข้าวสุกโดยใช้ไมโครเวฟ 3. การทำให้ข้าวสุกโดยหม้อความดัน โดยใช้ข้าวขัดขาว 100 กรัม และใช้อัตราส่วนข้าวต่อน้ำ เท่ากับ 1:1.8 และกำหนดสภาวะการทำให้สุกดังนี้ การทำให้สุกโดยหม้อหุงข้าวที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 13 นาที การทำให้สุกโดยไมโครเวฟ ที่ระดับกำลัง 900 วัตต์ นาน 8 นาที และการทำให้สุกโดยหม้อความดันที่ระดับความดัน 0.8 บาร์ นาน 5 นาที พบว่า ข้าวหอมมะลิที่ผ่านการหุงด้วยไมโครเวฟจะมีความแข็งและความเหนียวมากกว่าข้าวหุงสุกที่ผ่านการทำให้ข้าวสุกด้วยวิธีอื่นๆ ($p < 0.05$) เนื่องจากการทำให้ข้าวสุกโดยใช้ไมโครเวฟทำให้เกิดความร้อนสูงและน้ำเกิดการระเหยออกจากเมล็ดข้าวมากกว่าการทำให้ข้าวสุกโดยหม้อหุงข้าวไฟฟ้าและหม้อความดัน (Lakshmi *et al.*, 2007) แต่จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า คะแนนความชอบโดยรวมของข้าวสุกจากการทำให้สุกโดยหม้อหุงข้าวไฟฟ้าและไมโครเวฟไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$)

4.2 คุณภาพของข้าวสุก

คุณภาพของข้าวสุก (Cooking quality) คุณภาพของข้าวสุกส่งผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค โดยคุณภาพของข้าวสุกที่ผลต่อการตัดสินใจเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค คุณภาพของข้าวสุก พิจารณาจาก อัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าว การอุ้มน้ำของข้าวสุก สี เนื้อสัมผัส และการทดสอบทางประสาทสัมผัส เป็นต้น (งามชื่น คงเสรี, 2547) มีรายละเอียดดังนี้

4.2.1 อัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าว (Elongation ratio) การยืดตัวของเมล็ดข้าวสุกในระหว่างหุงสุก เมล็ดข้าวมีการขยายตัวทุกด้าน อัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าวจะขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของข้าว เมื่อหุงสุกเมล็ดข้าวเกิดการขยายตัว เนื่องจากเมล็ดข้าวซึมน้ำเข้าไปในโครงสร้างของเมล็ดจึงทำให้ข้าวเกิดการขยายตัว การขยายขนาดเมล็ดข้าวสุกจะช่วยให้ข้าวขึ้นหม้อดียิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยให้ข้าวนุ่มมากขึ้น เพราะการขยายตัวทำให้น้ำข้าว โปร่งขึ้น ไม่อัดกันแน่น (งามชื่น คงเสรี, 2547)

4.2.2 การอุ้มน้ำของข้าวสุก (Water uptake) การวิเคราะห์ความสามารถในการอุ้มน้ำของเมล็ดข้าว เป็นการวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับน้ำในระหว่างการหุงสุก (งามชื่น คงเสรี, 2547; Juliano, 1985; Zhou *et al.*, 2007; Singh *et al.*, 2005)

4.2.3 สี (Colour) เป็นคุณภาพที่สำคัญของข้าวสุก ซึ่งสีของข้าวสุกเป็นคุณภาพที่ผู้บริโภคยอมรับต่อผลิตภัณฑ์ข้าวสุก โดยจะขึ้นอยู่กับชนิดของพันธุ์ข้าว (งามชื่น คงเสรี, 2547; Zhou *et al.*, 2007; Singh *et al.*, 2005)

4.2.4 เนื้อสัมผัส (Texture) การวิเคราะห์ค่าเนื้อสัมผัสของข้าวสุกจะรายงานในรูปของค่าความแข็ง (Hardness) และค่าความเหนียว (Stickiness) วิธีการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุกมี 2 แบบ คือ วิธีการวัดโดยตรง (Objective measurement) และวิธีการวัดโดยอ้อม (Subjective measurement) วิธีการวัดโดยตรงเป็นการวัดโดยใช้เครื่องมือวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร เช่น การใช้เครื่อง Texture analyzer ส่วนวิธีการวัดโดยอ้อมเป็นการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส (Sensory evaluation) โดยอาศัยมนุษย์เป็นเครื่องมือในการวัดเนื้อสัมผัสของข้าวสุก (Juliano, 1982; Zhou *et al.*, 2007; Singh *et al.*, 2005)

4.2.5 กระบวนการรีโทรเกรเดชัน (Retrogradation) หรือการคืนตัวของสตาร์ช เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อนำสตาร์ช ที่ผ่านกระบวนการเจลาติไนซ์แล้ว มาปล่อยให้เย็นตัวลง โมเลกุลของอะไมโลสที่อยู่ใกล้กันจะเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลอะไมโลสและอะไมโลเพกทิน โดยอะไมโลสและอะไมโลเพกทินจะเกิดการจัดเรียงตัวของโครงสร้างแน่นมากขึ้น ซึ่งโมเลกุลของน้ำอิสระอยู่ภายในโมเลกุลจะถูกบีบออกมาจากโครงสร้าง เรียกว่า การเกิดซินเนอริซิส (Syneresis) ดังแสดงในภาพที่ 6 การเกิดรีโทรเกรเดชันจะมีผลต่อเนื้อสัมผัสของข้าวสุกและผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทำให้สุก ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ ชนิดแป้ง ความเข้มข้นของแป้ง กระบวนการให้ความร้อน กระบวนการให้ความเย็น อุณหภูมิระยะเวลา ปริมาณของอะไมโลสและอะไมโลเพกทิน รวมถึงองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ ในข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูงจะเกิดการคืนตัวได้มาก และเร็วกว่าข้าวที่มีปริมาณอะไมโลเพกทินสูง (มาฤดี ผ่องทิพัฒน์พงษ์ และ จุฬาลักษณ์ จารุณูช, 2550; อรอนงค์ นัยวิกุล, 2550; กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546)

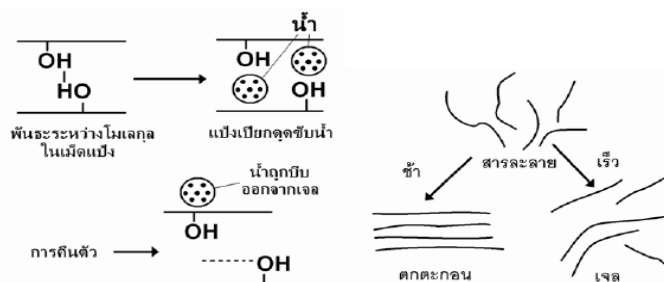


Figure 6 Retrogradation of starch

Source: Fruton and Simmonds (1958)

4.2.6 การทดสอบทางประสาทสัมผัส (Sensory evaluation) สามารถแสดงถึงค่าการยอมรับของผู้บริโภคได้ ซึ่งการประเมินความชอบโดยใช้ 9-point Hedonic scale เป็นการทดสอบทางประสาทสัมผัสประเภทหนึ่งที่จะประเมินความชอบข้าวสุก โดยพิจารณาจาก ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม (ไพโรจน์ วิริยจารี, 2545)

4.3 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพข้าวสุก

คุณภาพของข้าวสุกจะขึ้นกับอัตราส่วนข้าวต่อน้ำ และระยะเวลาการเก็บรักษา เป็นปัจจัยสำคัญต่อการยอมรับของผู้บริโภค

4.3.1 ผลของระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวดิบต่อคุณภาพข้าวสุก

เก็บรักษาข้าวดิบจะส่งผลต่อคุณภาพข้าวสุก โดยข้าวดิบที่ผ่านการเก็บรักษานานกว่า 6 เดือนเรียกว่า ข้าวเก่า (ศูนย์ส่งเสริมอุตสาหกรรมการแปรรูปข้าว, 2551) เมื่อนำมาหุงเมล็ดของข้าวสุกจะไม่เกาะติดกัน ส่วนข้าวที่เพิ่งผ่านการเก็บเกี่ยวเรียกว่า ข้าวใหม่ เมื่อนำมาหุงเมล็ดข้าวสุกเกาะติดกันเป็นก้อนและค่อนข้างแฉะ ความใหม่-เก่าของข้าวจะส่งผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุก Ohno และ Ohisa (2005) ศึกษาผลของการเก็บรักษาต่อเนื้อสัมผัสของข้าวใหม่และเก่า โดยนำข้าวพันธุ์ Japonica ที่ผ่านการเก็บเกี่ยว มาขัดสีเพื่อให้ได้ข้าวขัดขาวใหม่ จากนั้นนำข้าวขัดขาวใหม่ เก็บรักษาในถุงพลาสติก บรรจุแบบสุญญากาศ ที่อุณหภูมิห้อง นาน 5 เดือน เพื่อให้ได้ข้าวขัดขาวเก่า และนำข้าวมาทำให้สุกโดยนำข้าวใหม่และข้าวเก่าอย่างละ 10 กรัม ใส่ในถ้วยอะลูมิเนียม เติมน้ำ 16 มิลลิลิตร แช่ข้าวไว้ นาน 1 ชั่วโมง จากนั้นนำถ้วยอะลูมิเนียมวางในหม้อที่มีน้ำเดือด นาน 12 นาที พบว่า ข้าวเก่ามีเนื้อหาค่าความแข็งมากกว่าข้าวใหม่ และมีค่าการเกาะติดที่น้อยกว่าข้าวใหม่ เนื่องจากในระหว่างการเก็บรักษา โปรตีนในเมล็ดข้าวเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้โปรตีนเกิดพันธะไดซัลไฟด์เพิ่มขึ้น (Ohno *et al.*, 2007) นอกจากนี้การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างอะไมโลสและไขมันในระหว่างการเก็บรักษาข้าวส่งผลให้เมล็ดข้าวดูดซับน้ำและการพองตัวได้

น้อยทำให้ข้าวเก่ามีค่าความแข็งสูงกว่าข้าวใหม่ (Keawpeng and Venkatachalam, 2015; Zouh *et al.*, 2002) ขณะที่ข้าวเก่ามีค่าการเกาะติดน้อยกว่าข้าวใหม่ ข้าวจะเกิดการเจลาติไนเซชันในระหว่างการหุงสุก ส่งผลให้อะไมโลสถูกปลดปล่อยออกจากสตาร์ชเกรนูล และมาเคลือบเมล็ดข้าวเป็นฟิล์มบางๆ ซึ่งทำให้ข้าวมีความสามารถในการเกาะติด โดยจะแสดงในค่า Adhesiveness ในเมล็ดข้าว โดยข้าวเก่าจะมีความสามารถในการละลายต่ำ จึงส่งผลให้ปริมาณอะไมโลสถูกปลดปล่อยออกเคลือบเป็นฟิล์มได้น้อย จึงทำให้มีค่า Adhesiveness ลดลง (Bhattacharya, 2011; Zhou *et al.*, 2007; Kohyyama *et al.*, 2005; Jinshui *et al.*, 1999)

4.3.2 ผลของอัตราส่วนข้าวต่อน้ำต่อคุณภาพการสุก

อัตราส่วนน้ำที่ใช้ในการหุงสุกจะส่งผลต่อคุณภาพข้าวสุก ซึ่งอัตราส่วนข้าวต่อน้ำ ส่งผลต่อเนื้อสัมผัส อัตราการยืดตัว และความสามารถในการดูดซับน้ำของข้าวสุก โดยอัตราส่วนน้ำที่ใช้ในการหุงสุกข้าวจะขึ้นอยู่กับชนิดของพันธุ์ข้าว ปริมาณอะไมโลส ระดับการขัดสี และอายุการเก็บรักษาของข้าว โดยปริมาณน้ำที่ใช้ในการหุงข้าวจะส่งผลต่อการยอมรับของผู้บริโภคและคุณภาพของข้าวสุก Keawpeng (2012) ศึกษาผลของการเก็บรักษาและอัตราส่วนข้าวต่อน้ำต่อคุณภาพหุงสุก โดยนำข้าวกล้องสังข์หยดที่บรรจุแบบสุญญากาศในถุง Nylon/LLDPE มาทดลองหุงสุกในทุกๆ 2 เดือน ระหว่างการเก็บรักษานาน 6 เดือน โดยใช้อัตราส่วนข้าวต่อน้ำ เท่ากับ 1:1.0, 1:1.5 และ 1:2.0 นาน 20 นาที แล้ววิเคราะห์คุณภาพการหุงสุก พบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นจะทำให้ข้าวมีความสามารถในการดูดซับน้ำลดลง ($p < 0.05$) เนื่องจากในระหว่างการเก็บรักษา โปรตีนในเมล็ดข้าวเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้โปรตีนเกิดพันธะไดซัลไฟด์ (Ohno and Ohisa, 2005) และการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างอะไมโลสและไขมัน (Keawpeng and Venkatachalam, 2015; Zouh *et al.*, 2002) ส่งผลให้เมล็ดข้าวมีความสามารถในการดูดซับน้ำลดลง ทั้งนี้ข้าวสุกที่หุงโดยใช้อัตราส่วนข้าวต่อน้ำเท่ากับ 1:2 จะมีการดูดซับน้ำและอัตราการยืดตัวสูงสุด เนื่องจากอัตราส่วนน้ำที่เพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดการแทรกตัวเข้าไปในเกรนูลของข้าวได้มากขึ้นส่งผลให้เมล็ดข้าวสามารถดูดซับน้ำและยืดตัวได้มากขึ้นมาก สอดคล้องกับ Billiris และคณะ (2012) ที่ศึกษาผลของระดับการขัดสีและอัตราส่วนน้ำต่อข้าวต่อคุณลักษณะของการดูดซับน้ำ เนื้อสัมผัส และผลทางด้านประสาทสัมผัสของข้าวสุก โดยใช้ข้าวขัดสีที่ระดับร้อยละ 0 (ข้าวกล้อง), 0.15, 0.20, 0.40 และ 0.55 จำนวน 300 กรัม ทำให้สุกโดยใช้หม้อหุงข้าวไฟฟ้าในอัตราส่วนน้ำ 1.5, 1.75, 2.00, 2.25 และ 2.5 พบว่า เมื่อระดับการขัดสีและอัตราส่วนน้ำเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ระยะเวลาในการหุงและความแข็งของเมล็ดข้าวลดลง ($p < 0.05$) เนื่องจากระดับการขัดสีเพิ่มขึ้นจะทำให้ชั้นรำของเมล็ดข้าวลดลงและอัตราส่วนน้ำที่เพิ่มขึ้นทำให้น้ำสามารถแทรกเข้าสู่เมล็ดข้าวได้เพิ่มขึ้นส่งผลให้สามารถลดระยะเวลาการหุงสุกข้าวได้ และเมื่ออัตราส่วนน้ำเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความชื้น

เพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) เนื่องจากอัตราส่วนน้ำเพิ่มขึ้นจะทำให้น้ำแทรกตัวเข้าสู่ในเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความชื้นในเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้น ส่วนศิริขวัญ เพิ่มศรี (2553) ศึกษาอัตราส่วนน้ำต่อข้าวที่เหมาะสมในการหุงสุกข้าวกล้อง โดยนำข้าวกล้องหอมมะลิมาหุงด้วยอัตราส่วนข้าวต่อน้ำเท่ากับ 1:1.7, 1:2.0 และ 1:2.2 โดยใช้หม้อหุงข้าวไฟฟ้า จากนั้นนำมาทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยใช้วิธี 9-point Hedonic scale พบว่า การหุงข้าวโดยใช้อัตราส่วนข้าวต่อน้ำเท่ากับ 1:2.2 ได้รับคะแนนการยอมรับสูงสุด ($p < 0.05$) เนื่องจากทำให้เมล็ดข้าวสุกมีการขยายปริมาตรมากที่สุดและเมื่ออบคั่วให้ความรู้สึกรุ่นมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนอื่นๆ ข้าวที่หุงด้วยอัตราส่วนข้าวต่อน้ำเท่ากับ 1:1.7 ได้รับคะแนนการยอมรับต่ำ เนื่องจากเมื่ออบคั่วข้าวหุงสุกมีความแข็งมาก ส่วนข้าวที่หุงสุกด้วยอัตราส่วนข้าวต่อน้ำเท่ากับ 1:2.0 เมื่ออบคั่วให้ความรู้สึกรุ่นข้าวสุกมีความแข็งเล็กน้อยจึงทำให้ได้รับคะแนนการยอมรับต่ำ ส่วน Kohyyama และคณะ (2005) ศึกษาผลของอัตราส่วนข้าวต่อน้ำที่มีผลต่อเนื้อสัมผัส โดยนำข้าวพันธุ์ Koshihikari มาหุงสุกด้วยอัตราส่วนข้าวต่อน้ำเท่ากับ 1:1.5, 1:2.0, 1:3.0 และ 1:4.0 พบว่า เมื่ออัตราส่วนน้ำเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความแข็งลดลงและค่าการเกาะติดของเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) เนื่องจากในขณะที่หุงสุกเมล็ดข้าวจะดูดซับน้ำเข้าไปเพื่อเกิดการเจลาติไนเซชัน ซึ่งจะทำให้สตาร์ชแกรนูลถูกทำลายส่งผลให้เมล็ดมีค่าความแข็งลดลง (Billiris *et al.*, 2012; Kerdpiboon and Charoendee, 2012) นอกจากนี้ พบว่า อัตราส่วนข้าวต่อน้ำมีผลต่อโครงสร้างทางจุลภาคของข้าวขัดขาวและข้าวกล้องหุงสุก Tamura และ Ogawa (2012) ศึกษาปริมาณน้ำต่อการเกิดชั้นฟิล์มของข้าวสุก โดยนำข้าวขัดขาวมาหุงด้วยหม้อหุงข้าวที่อัตราส่วนข้าวต่อน้ำเท่ากับ 1:1.0, 1:1.5 และ 1:2.0 พบว่า ข้าวขัดขาวที่หุงด้วยอัตราส่วนข้าวต่อน้ำ เท่ากับ 1:1.0 เกิดชั้นฟิล์มน้อยมากและไม่ชัดเจน ข้าวขัดขาวที่หุงด้วยอัตราส่วนข้าวต่อน้ำ เท่ากับ 1:1.5 และ 1:2.0 จะเกิดชั้นฟิล์มเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับ Wu และคณะ (2016) ที่ศึกษาผลของการหุงสุกต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางจุลภาคของข้าว โดยนำข้าวขัดขาวและข้าวกล้องมาหุงสุกที่อุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียส นาน 23 และ 35 นาที ตามลำดับ พบว่า ข้าวขัดขาวเมื่อผ่านการหุงสุกจะเกิดชั้นฟิล์มเกิดขึ้นเคลือบเมล็ดข้าว เนื่องจากในระหว่างการหุงสุกเมล็ดข้าวจะเกิดการเจลาติไนเซชันส่งผลให้อะไมโลสและอะไมโลเพกทินถูกปลดปล่อยออกมาจากสตาร์ชแกรนูลและเกิดเป็นฟิล์มมาเคลือบเมล็ดข้าวหุงสุก (Bhattacharya, 2011; Leelayuthsoontorn and Thipayarat, 2006) ส่วนข้าวกล้องหุงสุก พบว่า เยื่อหุ้มเมล็ดของข้าวกล้องเกิดช่องว่างระหว่างชั้นเพอร์ริคาร์ป (Pericarp) และชั้นเทสตา (Testa) นอกจากนี้ชั้นแอลิวโลน (Aleurone layer) เกิดการขยายตัวในระหว่างการหุงสุก และสตาร์ชแกรนูลจะถูกทำลายเนื่องจากกระบวนการเจลาติไนเซชัน (Wu *et al.*, 2016; Leelayuthsoontorn and Thipayarat, 2006) Srisawas และ Jindal (2006) ศึกษาผลของอัตราส่วนข้าวต่อน้ำต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยนำข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูงเท่ากับ 33 (ข้าวสุพรรณบุรี)

อะไมโลส ปานกลางเท่ากับ 20 (ข้าวพิษณุโลก) และอะไมโลสต่ำเท่ากับ 14 (ข้าวหอมดอกมะลิ) มาหุงสุกด้วยอัตราส่วนข้าวต่อน้ำที่แตกต่างกัน 1:1.3, 1:1.2, 1:1.7, 1:1.9, 1:2.1, 1:2.3 และ 1:2.5 และนำไปทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยใช้ 9-point Hedonic scale ประเมินความชอบด้านสี เนื้อสัมผัส กลิ่นรส และความชอบโดยรวม พบว่า อัตราส่วนข้าวต่อน้ำที่เหมาะสมข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูง (ข้าวสุพรรณบุรี) คือ 1:2.1 ข้าวที่มีปริมาณอะไมโลส ปานกลาง (ข้าวพิษณุโลก) คือ 1:1.7 และข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ (ข้าวหอมดอกมะลิ) คือ 1:1.5 ซึ่งอัตราส่วนข้าวต่อน้ำดังกล่าวได้รับคะแนนความชอบด้านสี เนื้อสัมผัส กลิ่นรส และความชอบโดยรวมของข้าวสุกสูงสุด ($p < 0.05$) โดยข้าวที่มีอะไมโลสสูงต้องการน้ำปริมาณมากในระหว่างการหุงสุกเนื่องจากข้าวจะสามารถดูดน้ำได้มาก ส่วนข้าวที่มีอะไมโลสต่ำต้องการน้ำน้อยในการหุงสุกเนื่องจากข้าวจะสามารถดูดน้ำได้น้อย หากใส่น้ำมากเกินไปจะได้ข้าวสุกแฉะและ ดังนั้นปริมาณน้ำที่ใช้ในการหุงสุกจึงมีผลต่อคุณภาพข้าวสุก

4.3.3 ผลของระยะเวลาการเก็บรักษาของข้าวสุก

การเก็บรักษาข้าวสุกจะส่งผลต่อคุณภาพของข้าวหุงสุก เช่น การเกิดรีโทรเกรเดชัน การลดลงของกลิ่นหอม และค่าสีของข้าวสุก Yu และคณะ (2009) ศึกษาผลของปริมาณอะไมโลสต่อการเกิดรีโทรเกรเดชันและเนื้อสัมผัสของข้าวสุก โดยนำข้าวหอมมะลิ (TJ) มีปริมาณอะไมโลสต่ำ ข้าว Simia 6 (SM6) มีปริมาณอะไมโลสปานกลาง และข้าว Keyou 21 (KY21) มีปริมาณอะไมโลสปานสูง มาหุงโดยใช้ข้าวจำนวน 1000 กรัม ใส่น้ำปริมาณ 1300 มิลลิลิตร และหุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้าจนกระทั่งข้าวสุก จากนั้นนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และตรวจคุณภาพของข้าวสุกในวันที่ 0, 1, 4, 7, 11 และ 14 วัน พบว่า ข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูงจะมีค่าความแข็งสูง ขณะที่ค่าการเกาะติดต่ำกว่าข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นส่งผลให้ข้าวเกิดรีโทรเกรเดชันและมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้น ส่วนค่าการเกาะติดลดลงสอดคล้องกับ Narkrugsa1 และ Saeleaw (2009) ที่ศึกษาผลของการเกิดรีโทรเกรเดชันของข้าวบรรจุกระป๋องในระหว่างการเก็บรักษา โดยนำข้าวขัดขาวหอมมะลินึ่งด้วยน้ำที่ปริมาณมากเกินไปที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที จากนั้นนำข้าวที่ผ่านการนึ่ง 180 กรัม มาบรรจุลงในกระป๋องขนาด 307x113 และผ่านการพ่นไอน้ำที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที จากนั้นฆ่าเชื้อด้วยหม้อฆ่าเชื้อความดันภายใต้สูงที่อุณหภูมิ 116 องศาเซลเซียส โดยมีค่า F_0 เท่ากับ 5 เมื่อเสร็จสิ้นการฆ่าเชื้อจะเปิดน้ำเพื่อหล่อเย็นตัวอย่าง แล้วนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง นาน 8 เดือน จะพบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความแข็งและการเกิดรีโทรเกรเดชันเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเก็บรักษาข้าวหุงสุกจะทำให้ข้าวเกิดรีโทรเกรเดชัน ซึ่งสตาร์ชที่ผ่านกระบวนการเจลาติไนซ์แล้ว เมื่อปล่อยให้เย็นตัวลงและเก็บรักษาในระยะเวลาที่นานขึ้น โมเลกุลของ

อะไมโลสที่อยู่ใกล้กันจะเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลโดยอะไมโลสและอะไมโลเพกทินเกิดการจัดเรียงตัวของโครงสร้างจะแน่นมากขึ้น จึงทำให้ข้าวสุกที่ผ่านการเก็บรักษาจะมีเนื้อสัมผัสที่แข็งเพิ่มขึ้น (Wong *et al.*, 2015; Yu *et al.*, 2010; Ma and Sun, 2007)

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ เคมี และเคมีเชิงฟิสิกส์ของข้าวกล้องและข้าวขัดขาวหอมใบเตยระหว่างการเก็บรักษา
2. เพื่อศึกษาหาอัตราส่วนข้าวต่อน้ำต่อคุณภาพข้าวสุก
3. เพื่อศึกษาการผลิตข้าวพร้อมบริโภคในภาชนะปิดสนิทและคุณภาพของข้าวระหว่างการเก็บรักษา

บทที่ 2

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

วัตถุดิบที่ใช้ในการวิจัย

ข้าวหอมมะลิโดยใช้ข้าวกล้องและข้าวขัดขาว จากวิสาหกิจชุมชนบ้านเขากลาง จังหวัดพัทลุง ที่เก็บเกี่ยวในปี พ.ศ. 2557 และ 2558

วัสดุและสารเคมี

1. Potassium sulfate เกรดวิเคราะห์ (ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.50, Fisher Chemicals)
2. Copper (II) sulfate pentahydrate เกรดวิเคราะห์ (ความบริสุทธิ์ร้อยละ 98, Fisher Chemicals)
3. Sodium hydroxide เกรดวิเคราะห์ (ความบริสุทธิ์ร้อยละ 98, Fisher Chemicals)
4. Boric acid เกรดวิเคราะห์ (ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.7, Rankem)
5. Sulfuric acid เกรดวิเคราะห์ ความเข้มข้นร้อยละ 98 (ความบริสุทธิ์ร้อยละ 97.5-98.5, RCI Labscan)
6. Hydrochloric acid เกรดวิเคราะห์ ความเข้มข้นร้อยละ 37 (RCI Labscan)
7. Disodium tetraborate decahydrate
8. Petroleum ether เกรดวิเคราะห์ ความเข้มข้นร้อยละ 99.5 (ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.98, RCI Labscan)
9. Ethanol เกรดวิเคราะห์ ความเข้มข้นร้อยละ 95 (QRec)
10. Glacial acetic acid เกรดวิเคราะห์ (ความเข้มข้นร้อยละ 99.7, RCI Labscan)
11. Iodine เกรดวิเคราะห์ (ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.8, Univar)
12. Potassium iodide เกรดวิเคราะห์ (ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99, Univar)
13. Thiobarbituric acid เกรดวิเคราะห์ (ความบริสุทธิ์ร้อยละ 98, Sigma-Aldrich)
14. Amylose from potato เกรดวิเคราะห์ (Sigma-Aldrich)
15. Peptone water เกรดวิเคราะห์ (Sigma-Aldrich)
16. Chopped liver เกรดวิเคราะห์ (Sigma-Aldrich)
17. Bromocresol purple dextrose broth เกรดวิเคราะห์ (Sigma-Aldrich)

18. ถุง Nylon/LLDPE ขนาด 15x15 เซนติเมตร อัตราการซึมผ่านก๊าซออกซิเจน 30-120 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน และอัตราการซึมผ่านไอน้ำ 15 กรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน
19. ถุงรีทอร์ทเพาว์ช ขนาด 11x13 เซนติเมตร

อุปกรณ์และเครื่องมือ

อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ เคมี เคมีเชิงฟิสิกส์ จุลินทรีย์และประสาทสัมผัส

1. เตาย่อยโปรตีน (Foss, Tecator, U.S.A)
2. เครื่องดักจับไอกรด (Foss, Tecator scrubber, U.S.A)
3. เครื่องกลั่นโปรตีน (Foss, Kjeltac TM8200 Auto Distillation, U.S.A)
4. เครื่องสกัดไขมัน (Electrothermal, Model EME6, England)
5. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Hitachi, Model U-1500, Japan)
6. เครื่องวิเคราะห์เชื้อใย (Ankom, U.S.A.)
7. เครื่องชั่งน้ำหนักไฟฟ้า ทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Sartorius, BP310S, Germany)
8. เครื่องหมุนเหวี่ยง (Sanyo, Harrier 18/80, England)
9. เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (TA-TX2, Texture Technologies, Scarsdale, U.S.A.)
10. เครื่อง Differential scanning calorimeter (DSC) (Perkin Elmer, U.S.A)
11. เครื่อง Rapid visco-analyzer (Scientific Newport, RVA 4D, Australia)
12. เครื่องวัดสี (Hunter Lab Reston, VA, U.S.A)
13. เครื่อง Gas Chromatograph-Mass Spectrometer (GC-MS) (Hewlett Packard, 5890 series II, U.S.A)
14. เครื่อง X-ray Diffractometer (XRD) (Philip, X'pret MPD, Netherlands)
15. เครื่องรีทอร์ท (Owener foods machinery, AT 2000, Thailand)
16. เวอร์เนียร์ ยี่ห้อ Mitutoyo รุ่น 530-118 ประเทศญี่ปุ่น
17. ตะแกรงร่อน ขนาด 250 ไมโครเมตร
18. โถดูดความชื้น
19. อุปกรณ์สำหรับทดสอบทางประสาทสัมผัส
20. อุปกรณ์การทดสอบเชื้อจุลินทรีย์

วิธีการทดลอง

ตอนที่ 1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ เคมี และเคมีเชิงฟิสิกส์ของข้าวกล้องและข้าวขัดขาวพันธุ์ข้าวหอมใบเตยระหว่างการเก็บรักษา

1.1 การเตรียมตัวอย่าง

ข้าวเปลือกพันธุ์หอมใบเตยที่เก็บเกี่ยวในเดือนสิงหาคม ปี 2557 จะถูกนำมาลดความชื้นโดยการตากแดด จนความชื้นลดลงเหลือประมาณร้อยละ 14 จากนั้นนำมากะเทาะเปลือกได้เป็นข้าวกล้องและขัดสีได้เป็นข้าวขัดขาว การกะเทาะเปลือกและขัดสีข้าวทำที่วิสาหกิจชุมชนบ้านเขากลางจังหวัดพัทลุง จากนั้นนำข้าวกล้องและข้าวขัดขาวมาศึกษาต่อไป

1.2 วิเคราะห์สมบัติของข้าวกล้องและข้าวขัดขาวหอมใบเตยในระหว่างการเก็บรักษา

1.2.1 วิธีการทดลอง

นำข้าวกล้องและข้าวขัดขาวหอมใบเตยจากข้อ 1.1 บรรจุในถุงพลาสติก Nylon/LLDPE ขนาด 15x15 เซนติเมตร บรรจุน้ำหนักถุงละ 500 กรัม เก็บรักษาที่ 2 สภาวะ คือ สภาวะปกติ (Non-vacuum) และสภาวะสุญญากาศ (Vacuum) ที่อุณหภูมิห้อง นาน 6 เดือน วิเคราะห์คุณภาพทุกเดือน ข้าวกล้องและข้าวขัดขาวจะถูกนำมาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพในรูปแบบของข้าวเต็มเมล็ดและบางส่วนจะถูกนำไปบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดของแห้ง (Grinder) แล้วร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 250 ไมโครเมตร จากนั้นบรรจุตัวอย่างในถุง Nylon/LLDPE ปิดสนิทเก็บไว้ในโถดูดความชื้นก่อนการนำไปใช้วิเคราะห์สมบัติทางเคมี และเคมีเชิงฟิสิกส์ต่อไป โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1.2.2 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

- น้ำหนักเมล็ดข้าว (Wadsworth *et al.*, 1982)
- ความหนาแน่น (Wadsworth *et al.*, 1982)
- ค่าสี วัดในรูปค่า L^* , a^* และ b^*

1.2.3 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี

- ปริมาณความชื้น (A.O.A.C., 2000)
- ปริมาณโปรตีน (A.O.A.C., 2000)
- ไขมัน (A.O.A.C., 2000)
- เถ้า (A.O.A.C., 2000)
- อะไมโลส (Juliano *et al.*, 1985)

- ค่าความหืน (Thiobarbituric acid value (TBA value)) (Woods and Aurand, 1977)
- ชนิดและปริมาณสารระเหยได้ในข้าวคิบ (วิเคราะห์เฉพาะเดือนที่ 0 และ 6)
(ดัดแปลง Tananuwong and Lertsiri, 2010)

1.2.4 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์

- สมบัติการเกิดเจลลาตินในเซชัน (Teo *et al.*, 2000)
- พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความหนืด (Zhou *et al.*, 2007)
- รูปแบบโครงสร้างผลึกและปริมาณผลึก (Kim *et al.*, 2001)
- ค่ากำลังการพองตัวและค่าการละลาย (Schoch, 1964)

1.2.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลของข้าวกล้องและข้าวขัดขาวหอมใบเตยในระหว่างการเก็บรักษาที่ได้จากการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ เคมี และเคมีเชิงฟิสิกส์ มาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยกำหนด 2 ปัจจัยการทดลอง คือ สภาพการบรรจุ และระยะเวลาการเก็บรักษา สำหรับสภาพการบรรจุจะแบ่งเป็น 2 ระดับทดลองได้แก่ สภาพปกติและสภาพสุญญากาศ และกำหนดระยะเวลาการเก็บรักษานาน 6 เดือน และมีการวางแผนการทดลองแบบ 2x7 Factorial ใน Completely Randomized Design (CRD) (ตัวอย่างข้าวกล้องและข้าวขัดขาวหอมใบเตยจะไม่ถูกนำมาเปรียบเทียบกัน) วิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ ยกเว้น ค่าสี และน้ำหนักเมล็ดข้าว วิเคราะห์ตัวอย่างละ 10 ซ้ำ จากนั้นนำข้อมูลทั้งหมดที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) และความแตกต่างของค่าเฉลี่ยสิ่งทดลองโดยวิธี Duncan's New Multiple Ranges Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 วิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม SPSS

ตอนที่ 2 ศึกษาหาอัตราส่วนข้าวต่อน้ำต่อคุณภาพข้าวหุงสุก

2.1 การเตรียมตัวอย่าง

ข้าวเปลือกหอมใบเตยที่เก็บเกี่ยวในเดือนมีนาคมปี 2558 ถูกนำมาลดความชื้นโดยการตากแดด จนความชื้นลดลงเหลือร้อยละ 14 จากนั้นนำมากะเทาะเปลือกได้เป็นข้าวกล้องและขัดสีได้เป็นข้าวขัดขาว และใช้เป็นชุดการทดลองของวัตถุดิบข้าวกล้องและข้าวขัดขาวข้าวใหม่มาศึกษาอัตราส่วนข้าวต่อน้ำต่อคุณภาพข้าวหุงสุกที่เหมาะสม บางส่วนถูกนำมาบรรจุในถุงพลาสติกชนิด Nylon/LLDPE ขนาด 15x15 เซนติเมตร บรรจุน้ำหนักถุงละ 800 กรัม ในสถานะสุญญากาศ (Vacuum) เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง นาน 6 เดือน และถือเป็นชุดการทดลองของวัตถุดิบที่เป็นข้าวกล้องและข้าวขัดขาวเก่า จากนั้นนำข้าวที่ผ่านการเก็บรักษามาศึกษาอัตราส่วนข้าวต่อน้ำต่อคุณภาพข้าวหุงสุกที่เหมาะสม

2.2 วิธีการทดลอง

นำข้าวกล้องและข้าวขัดขาวทั้งข้าวใหม่และข้าวเก่า มาหุงสุก ข้าวกล้องจะใช้อัตราส่วนข้าวกล้องต่อน้ำ 3 ระดับ ได้แก่ 1:1.5, 1:2 และ 1:2.5 ส่วนข้าวขัดขาวจะใช้อัตราส่วนข้าวขัดขาวต่อน้ำ 3 ระดับ ได้แก่ 1:1, 1:1.5 และ 1:2 หุงข้าวด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า เมื่อข้าวสุกจะนำมาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ เคมี เคมีเชิงฟิสิกส์ และการทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.2.1 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

- ค่าสี วัดในรูปค่า L^* , a^* และ b^*
- ปริมาณ Starchy core (Juliano, 1985)
- เนื้อสัมผัส วัดในรูปค่าความแข็ง (Hardness) และค่าการเกาะติด (Adhesiveness) (Singh *et al.*, 2005)

2.2.2 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี

- ความชื้น (A.O.A.C., 2000)
- ชนิดและปริมาณสารระเหยได้ในข้าวสุก (Mahattanatawee and Rouseff, 2014)

2.2.3 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์

- อัตราการยืดตัวของข้าวสุก (Singh *et al.*, 2005)
- ความสามารถในการดูดซับน้ำของข้าวสุก (Singh *et al.*, 2005)
- โครงสร้างทางจุลภาค (Luangmalawat *et al.*, 2008)

2.2.4 การทดสอบทางประสาทสัมผัส

การทดสอบการยอมรับของผลิตภัณฑ์ข้าวหุงสุกโดยใช้วิธีการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point Hedonic scale โดยใช้ผู้ทดสอบชิม 30 คน โดยผู้ทดสอบชิมมีช่วงอายุ 20-30 ปี และเป็นผู้ที่ไม่ปฏิเสธการรับประทานข้าวกล้อง ก่อนการทดสอบชิมจะควบคุมอุณหภูมิของข้าวสุกโดยการอุ่นข้าวไว้ในหม้อหุงข้าว เมื่อทดสอบชิมจะตักข้าวหุงสุก 20 กรัม (2 ช้อนโต๊ะ) ใส่ถ้วยแก้วใสขนาด 50 มิลลิลิตร ปิดฝาแก้วด้วยแผ่นฟลอยด์ ตัวอย่างที่จะทดสอบประกอบด้วยข้าวกล้อง 3 ตัวอย่าง และข้าวขัดขาว 3 ตัวอย่าง โดยจัดเสิร์ฟให้แก่ผู้ทดสอบชิมครั้งละ 1 ตัวอย่าง โดยจะให้ผู้ทดสอบชิมบ้วนปากด้วยน้ำเปล่าที่อุณหภูมิห้องก่อนระหว่างตัวอย่างทุกครั้ง (ไพโรจน์ วิริยะจารี, 2545; Srisawas and Jindal, 2006) ผู้ทดสอบชิมจะประเมินคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม (แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสในภาคผนวก ข)

2.2.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลของข้าวกล้องและข้าวขัดขาวใหม่และเก่าที่หุงสุกด้วยอัตราส่วนข้าวต่อน้ำที่แตกต่างกันที่ได้จากการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ เคมี และเคมีเชิงฟิสิกส์มาวิเคราะห์ข้อมูลทาง

สถิติ โดยกำหนด 2 ปัจจัยการทดลอง ได้แก่ ระยะเวลาการเก็บรักษาข้าว และอัตราส่วนข้าวต่อน้ำ กำหนดระยะเวลาการเก็บรักษาข้าว 2 ระดับการทดลอง ได้แก่ ข้าวใหม่และข้าวเก่า และกำหนดอัตราส่วนข้าวต่อน้ำ 3 ระดับ โดยการวางแผนการทดลองแบบ 2x3 Factorial ใน Completely Randomized Design (CRD) ส่วนการทดสอบทางประสาทสัมผัสจะวางแผนการทดลองแบบ 2x3 Factorial ใน Randomized Complete Block Design (RCBD) (ตัวอย่างข้าวกล้องและข้าวขัดขาวจะไม่ถูกนำมาเปรียบเทียบกัน) จากนั้นนำข้อมูลทั้งหมดที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) และหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยสิ่งทดลองโดยวิธี Duncan's New Multiple Ranges Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 วิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม SPSS

ตอนที่ 3 ศึกษาการผลิตข้าวพร้อมบริโภคในภาชนะปิดสนิท

3.1 การเตรียมตัวอย่างและการให้ความร้อนเบื้องต้นแก่ข้าว

นำข้าวเปลือกหอมใบเตยที่เก็บเกี่ยวในเดือนมีนาคมปี 2558 ถูกนำมาลดความชื้นโดยการตากแดด จนความชื้นลดลงเหลือร้อยละ 14 จากนั้นนำมากะเทาะเปลือกได้เป็นข้าวกล้องและขัดสีได้เป็นข้าวขัดขาว จากนั้นนำข้าวกล้องและข้าวขัดขาวเก่ามาห่อด้วยผ้าขาวบาง ห่อละ 100 กรัม ข้าวกล้องและข้าวขัดขาวจะถูกแช่ในน้ำอัตราส่วนข้าวต่อน้ำเท่ากับ 1:2 (ข้าวกล้อง 25 ถุง ถุงละ 100 กรัม รวมน้ำหนัก 2,500 กรัม ถูกแช่ในน้ำปริมาตร 5,000 มิลลิลิตร ส่วนข้าวขัดขาว 15 ถุง ถุงละ 100 กรัม รวมน้ำหนัก 1,500 กรัม ถูกแช่ในน้ำปริมาตร 3,000 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส โดยสุ่มตัวอย่างทุก 2 นาที ทำให้เย็นโดยแช่ตัวอย่างในน้ำที่มีปริมาณมากเกินไปและเปิดน้ำไหลผ่านตัวอย่างจนอุณหภูมิตัวอย่างลดลงเท่ากับอุณหภูมิน้ำ และสะเด็ดน้ำนาน 1 นาที จะวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ เคมี และเคมีเชิงฟิสิกส์ จากนั้นคัดเลือกตัวอย่างที่มีความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 60-76 และมีการเกิดเจลลิตีในเซชันมากกว่าร้อยละ 65 แต่ไม่เกินร้อยละ 90 (ตามวิธีของอนลักษ์ณ์ โอปารีโกวิท, 2546) และนำตัวอย่างในสภาวะที่ผ่านการคัดเลือกไปเตรียมตัวอย่างเพื่อศึกษากระบวนการนำเชื้อ เพื่อศึกษาหาค่า F_0 ต่อไป โดยกำหนด F_0 เท่ากับ 4 (Lewis and Heppell, 2000) ต่อไป

3.1.1 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

- ปริมาณ Starchy core (Juliano, 1985)

3.1.2 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี

- ความชื้น (A.O.A.C., 2000)

3.1.3 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์

- ความสามารถในการดูดซับน้ำ (Zhou *et al.*, 2007)
- สมบัติการเกิดเจลลิตีในเซชัน (Teo *et al.*, 2000)

3.1.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลของข้าวกล้องและข้าวขัดขาวหอมไบเตยที่ได้จากการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ เคมี และเคมีเชิงฟิสิกส์มาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) วิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ (ตัวอย่างข้าวกล้องและข้าวขัดขาวจะไม่ถูกนำมาเปรียบเทียบกัน) จากนั้นนำข้อมูลทั้งหมดที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) และหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยสิ่งทดลองโดยวิธี Duncan's New Multiple Ranges Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรม SPSS (SPSS Bass 17.0 for windows EDU, SPSS Inc, Chicago, IL)

3.2 ศึกษาระยะเวลาในการฆ่าเชื้อ (F_0) โดยใช้หม้อฆ่าเชื้อความดันสูง

นำข้าวกล้องและข้าวขัดขาวหอมไบเตยที่ผ่านการคัดเลือกสถานะการแช่ที่เหมาะสมตามข้อ 3.1 มาใช้เพื่อศึกษาระยะเวลาในการฆ่าเชื้อ (จะวัดค่าความเป็นกรด-ด่างของข้าวก่อนการฆ่าเชื้อด้วย) จากนั้นนำข้าวมาบรรจุในถุงรีทอร์ทเพาเวอร์ขนาด 11x13 เซนติเมตร โดยจะเจาะรูที่ตำแหน่ง $\frac{1}{2}$ ของความสูงพร้อมกับเสียบเข็มวัดอุณหภูมิแล้วยึดให้แน่นกับถุงข้าว จากนั้นจะบรรจุข้าวลงในถุงน้ำหนักถุงละ 125 กรัม ปิดผนึก และเชื่อมต่อสายเทอร์โมคัปเปิลกับเครื่องอ่านอุณหภูมิและบันทึกอุณหภูมิของตัวอย่าง จากนั้นตัวอย่างจะถูกวางเรียงในตะกร้าที่มีถาดบรรจุตัวอย่างในหม้อฆ่าเชื้อความดันสูง ซึ่งหม้อฆ่าเชื้อความดันสูงมีขนาดความกว้างxความยาวxความสูง เท่ากับ 2,300x3,600x2,200 ลูกบาศก์เซนติเมตร ภายในหม้อฆ่าเชื้อความดันสูงจะมีตะกร้าอะลูมิเนียมจำนวน 2 ตะกร้า ซึ่งแต่ละตะกร้าอะลูมิเนียมมีขนาดความกว้างxความยาวxความสูง เท่ากับ 90x100x90 ลูกบาศก์เซนติเมตร แต่ละตะกร้าจะมีชั้นสำหรับวางถาดอะลูมิเนียมสำหรับบรรจุตัวอย่าง จำนวน 16 ถาด ถาดอะลูมิเนียมมีลักษณะเป็นถาดที่มีการเจาะรู โดยแต่ละถาดอะลูมิเนียมมีขนาดความกว้างxความยาวxความสูง เท่ากับ 90x100x4 ลูกบาศก์เซนติเมตร จากนั้นจะวางตัวอย่างและสายเทอร์โมคัปเปิลสำหรับวัดอุณหภูมิของเครื่องหม้อฆ่าเชื้อความดันสูง จำนวน 3 สายที่ตะกร้าที่ 2 ในถาดอะลูมิเนียมวางตัวอย่างชั้นที่ 9 ซึ่งเป็นจุดที่มีการกระจายความร้อนซ้ำที่สุด ส่วนสายเทอร์โมคัปเปิลเสียบที่เทอร์โมมิเตอร์ของเครื่องหม้อฆ่าเชื้อความดันสูง (Mercury in glass thermometer, MIG) จำนวน 1 สาย และจัดวางตัวแทนตัวอย่าง (Dummy) ให้เต็มทุกถาดอะลูมิเนียมถาดอะลูมิเนียมละ 30 ถู จากนั้นปิดฝาหม้อฆ่าเชื้อความดันสูง และตั้งค่าโปรแกรมของหม้อฆ่าเชื้อความดันสูง โดยกำหนดอุณหภูมิฆ่าเชื้อเท่ากับ 118 องศาเซลเซียส ความดัน 23 ปอนด์ กำหนดระยะเวลาในการฆ่าเชื้อ (F_0) เท่ากับ 4 จากนั้นเปิดเครื่องผลิตไอน้ำ และเติมน้ำที่อุณหภูมิห้องเข้าสู่หม้อฆ่าเชื้อความดันสูง จากนั้นจะเปิดท่อไอน้ำเพื่อทำให้น้ำในหม้อฆ่าเชื้อความดันสูงมีอุณหภูมิ

เพิ่มขึ้น และเปิดต่อระบายอากาศ จากนั้นกดปุ่มเริ่มทำงาน บั๊มจะทำงานโดยการสเปรย์น้ำร้อนที่อยู่ ในหม้อฆ่าเชื้อความดันสูงลงไปทีตัวอย่าง และจะบันทึกเวลาที่นำอุณหภูมิของหม้อฆ่าเชื้อความดัน สูงไปสู่อุณหภูมิฆ่าเชื้อ (Come up time) จากนั้นปิดต่อระบายอากาศ ซึ่งสภาวะดังกล่าวจะทำให้ อุณหภูมิและความดันเพิ่มขึ้น และให้ความร้อนจนกระทั่งระยะเวลาในการฆ่าเชื้อ (F_0) สูงกว่า 4 จากนั้นจะเปิดต่อระบายอากาศและหล่อเย็นตัวอย่างด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้เครื่องแลกเปลี่ยน ความร้อนแบบแผ่น (Plate heat exchange) จนกระทั่งอุณหภูมิอาหารลดลงเหลือประมาณ 40 องศา เซลเซียส จะปิดต่อระบายน้ำเพื่อระบายน้ำออกจากหม้อฆ่าเชื้อความดันสูง (ภาพภาคผนวกที่ 18) ภายหลังจากการฆ่าเชื้อจะนำผลิตภัณฑ์ข้าวพร้อมบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิทไปการทดสอบ ความปราศจากเชื้อ (Sterility test) (Landry *et al.*, 2001) เพื่อทดสอบการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยนำตัวอย่างไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 และ 55 องศาเซลเซียส นาน 14 วัน การทดลองนี้จะหาระยะเวลา ในการฆ่าเชื้อจำนวน 2 ชั่วโมงการทดลอง

3.3 การผลิตข้าวพร้อมบริโภคโดยใช้หม้อฆ่าเชื้อความดันสูง

นำข้าวกล้องและข้าวขัดขาวหอมใบเตยเก่ามาห่อด้วยผ้าขาวบาง ห่อละ 100 กรัม มาแช่ ในน้ำตามสภาวะการแช่ที่เหมาะสมจากข้อ 3.1 เมื่อครบกำหนดเวลานำตัวอย่างไปแช่น้ำที่ อุณหภูมิห้อง และสะเด็ดน้ำนาน 1 นาที จากนั้นนำมาบรรจุในถุงรีทอร์ทเพาซ์ขนาด 11x13 เซนติเมตร น้ำหนักถุงละ 125 กรัมและปิดผนึก ตัวอย่างละจำนวน 70 ถุง และฆ่าเชื้อด้วยหม้อฆ่าเชื้อ ความดันสูง ที่อุณหภูมิ 118 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 23 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว โดยกำหนดระยะเวลา ในการฆ่าเชื้อตามข้อมูลที่ได้จากข้อ 3.2 และเมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการให้ความร้อนจะเปิดน้ำเพื่อ หล่อเย็นตัวอย่างและค่อยๆ ลดความดันลง จนกระทั่งอุณหภูมิอาหารลดลงเหลือประมาณ 40 องศา เซลเซียส จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ข้าวพร้อมบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิทมาวิเคราะห์สมบัติทาง กายภาพ เคมี เคมีเชิงฟิสิกส์ และการทดสอบทางประสาทสัมผัสดังนี้

3.3.1 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

- ค่าสีวัดในรูปค่า L^* , a^* และ b^*
- เนื้อสัมผัส วัดในรูปค่าความแข็ง (Hardness) และค่าการเกาะติด (Adhesiveness) (Singh *et al.*, 2005)

3.3.2 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี

- ความชื้น (A.O.A.C., 2000)
- ชนิดและปริมาณสารระเหยได้ในข้าวสุก (Mahattanatawee and Rouseff, 2014)

3.3.3 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์

- อัตราการยึดตัวของข้าวสุก (Singh *et al.*, 2005)

- ความสามารถในการดูดซับน้ำของข้าวสุก (Singh *et al.*, 2005)

หมายเหตุ: ข้าวกล้องและข้าวขัดขาวหอมมะลิเชิงการค้ายี่ห้อหงส์ทองจะถูกนำมาวิเคราะห์เฉพาะค่าเนื้อสัมผัสเปรียบเทียบกับข้าวกล้องและข้าวขัดขาวหอมใบเตยพร้อมบริโภคนาในภาชนะบรรจุปิดสนิท โดยวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแบบ T-test

3.3.4 การทดสอบทางประสาทสัมผัส

การทดสอบการยอมรับของผลิตภัณฑ์ข้าวพร้อมบริโภคโดยใช้วิธีการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point Hedonic scale โดยใช้ผู้ทดสอบชิม 30 คน โดยผู้ทดสอบชิมมีช่วงอายุ 20-30 ปี และเป็นผู้ที่ไม่ปฏิบัติราชการรับประทานข้าวกล้อง โดยนำข้าวกล้องและข้าวขัดขาวพร้อมบริโภคที่บรรจุอยู่ในถุงรีโอร์ทเพาซ์ มาตัดถุง และให้ความร้อนโดยใช้ไมโครเวฟที่กำลัง 850 วัตต์ นาน 90 วินาที ชุบน้ำร้อนคือข้าวหุงสุกด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า เมื่อทดสอบชิมจะตักข้าวหุงสุก 20 กรัม (2 ช้อนโต๊ะ) ใส่ถ้วยแก้วใสขนาด 50 มิลลิลิตร ปิดฝาแก้วด้วยแผ่นฟลอยด์ จะจัดเสิร์ฟให้แก่ผู้ทดสอบชิมครั้งละ 1 ตัวอย่าง โดยจะให้ผู้ทดสอบชิมบ้วนปากด้วยน้ำเปล่าที่อุณหภูมิห้องก่อนระหว่างตัวอย่างทุกครั้ง (ไพโรจน์ วิริยะจารี, 2545; Srisawas and Jindal, 2006) ผู้ทดสอบชิมจะประเมินคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม (แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสในภาคผนวก ข)

3.3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลของข้าวกล้องและข้าวขัดขาวพร้อมบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิทที่ได้จากการทดลองวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ เคมี และเคมีเชิงฟิสิกส์มาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยการวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ส่วนการทดสอบทางประสาทสัมผัสจะวางแผนการทดลอง Randomized Complete Block Design (RCBD) (ตัวอย่างข้าวกล้องและข้าวขัดขาวหอมใบเตยจะไม่ถูกนำมาเปรียบเทียบกัน) จากนั้นนำข้อมูลทั้งหมดที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) และหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยสิ่งทดลองโดยวิธี Duncan's New Multiple Ranges Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 วิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม SPSS

ตอนที่ 4 ศึกษาคุณภาพของข้าวพร้อมบริโภคในภาชนะปิดสนิทระหว่างการเก็บรักษา

4.1 วิธีการทดลอง

นำข้าวกล้องและข้าวขัดขาวหอมใบเตยพร้อมบริโภคจากตอนที่ 3 มาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องนาน 6 เดือน ทุกๆ เดือนตัวอย่างจะถูกนำมาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ เคมี เคมีเชิงฟิสิกส์และการทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1.1 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

- ค่าสีวัดในรูปค่า L^* , a^* และ b^*
 - วัดในรูปค่าความแข็ง (Hardness) และค่าการเกาะติด (Adhesiveness)
- (Singh *et al.*, 2005)

4.1.2 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี

- ความชื้น (A.O.A.C., 2000)
 - ชนิดและปริมาณสารระเหยได้ในข้าวสุก (Mahattanatawee and Rouseff, 2014)
- (วิเคราะห์เฉพาะเดือนที่ 0 และ 6)

4.1.3 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์

- สมบัติการเกิดรีโทรเกรเดชัน (Retrogradation) (Teo *et al.*, 2000)

4.1.4 การทดสอบทางประสาทสัมผัส

การทดสอบการยอมรับของผลิตภัณฑ์ข้าวพร้อมบริโภคโดยใช้วิธีการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point Hedonic scale โดยใช้ผู้ทดสอบชิม 30 คน โดยผู้ทดสอบชิมมีช่วงอายุ 20-30 ปี และเป็นผู้ที่ไม่ปฏิเสธการรับประทานข้าวกล้อง โดยนำข้าวกล้องและข้าวขัดขาวพร้อมบริโภคที่บรรจุอยู่ในถุงรีโพรทเพาว์ชมาตัดถุง และให้ความร้อนโดยใช้ไมโครเวฟกำลัง 850 วัตต์ นาน 90 วินาที เมื่อทดสอบชิมจะตักข้าวหุงสุก 20 กรัม (2 ช้อนโต๊ะ) ใส่ถ้วยแก้วใสขนาด 50 มิลลิลิตร ปิดฝาแก้วด้วยแผ่นฟลอยด์ โดยมี 2 ตัวอย่างคือ ข้าวกล้องพร้อมบริโภค 1 ตัวอย่าง และข้าวขัดขาวพร้อมบริโภค 1 ตัวอย่าง (การจัดเสิร์ฟให้แก่ผู้ทดสอบชิมจะจัดครั้งละ 1 ตัวอย่าง โดยผู้ทดสอบชิมจะบ้วนปากด้วยน้ำเปล่าที่อุณหภูมิห้องครั้งละครั้งระหว่างตัวอย่างทุกครั้ง (ไพโรจน์ วิริยะจรี, 2545; Srisawas and Jindal, 2006) ผู้ทดสอบชิมจะประเมินคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม (แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสในภาคผนวก ข)

4.1.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลของข้าวกล้องและข้าวขัดขาวพร้อมบริโภคระหว่างการเก็บรักษาที่ได้จากวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ เคมี เคมีเชิงฟิสิกส์ และการทดสอบทางประสาทสัมผัสมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยกำหนด 2 ปัจจัยการทดลอง คือ ระยะเวลาการแช่ข้าวและระยะเวลาการเก็บรักษา ข้าวกล้องพร้อมบริโภคจะถูกกำหนดให้มีระยะเวลาแช่ 3 ระดับการทดลอง ส่วนข้าวขัดขาวพร้อมบริโภคจะถูกกำหนดให้มีระยะเวลาแช่ 2 ระดับการทดลอง กำหนดระยะเวลาในการเก็บรักษานาน 6 เดือน และมีการวางแผนการทดลองแบบ 3x7 Factorial ใน Completely Randomized Design (CRD) ส่วนข้าวขัดขาวพร้อมบริโภคมีการวางแผนการทดลองแบบ 2x7 Factorial ใน Completely Randomized Design (CRD) การทดสอบทางประสาทสัมผัสข้าวกล้องพร้อมบริโภคการวางแผน

แผนการทดลองแบบ 3x7 Factorial และข้าวขัดขาวพร้อมบริโภครววางแผนการทดลองแบบ 2x7 Factorial ใน Randomized Complete Block Design (RCBD) จากนั้นนำข้อมูลทั้งหมดที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) และหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยสิ่งทดลองโดยวิธี Duncan's New Multiple Ranges Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 วิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม SPSS

บทที่ 3

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ เคมี และเคมีเชิงฟิสิกส์ของข้าวกล้องและข้าวขัดขาว

ข้าวเปลือกหอมใบเตยใหม่ที่เก็บเกี่ยวในเดือนสิงหาคมปี 2557 ถูกนำมาลดความชื้นโดยการตากแดด จนความชื้นลดลงเหลือประมาณร้อยละ 14 จากนั้นนำมากะเทาะเปลือกได้เป็นข้าวกล้องและขัดสีได้เป็นข้าวขัดขาวดิบ จากนั้นนำข้าวกล้องและข้าวขัดขาวมาบรรจุตัวอย่างในถุงพลาสติก Nylon/LLDPE ขนาด 15x15 เซนติเมตร บรรจุน้ำหนักถุงละ 500 กรัม เก็บรักษาที่ 2 สภาวะ คือ สภาวะปกติ (Non-vacuum) และสภาวะสุญญากาศ (Vacuum) ที่อุณหภูมิห้อง นาน 6 เดือน ข้าวกล้องและข้าวขัดขาวถูกนำมาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพในรูปแบบของข้าวเต็มเมล็ดและบางส่วนจะถูกนำไปบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดของแห้ง (Grinder) แล้วร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 250 ไมโครเมตร จากนั้นบรรจุตัวอย่างในถุงพลาสติก Nylon/LLDPE ปิดสนิทเก็บไว้ในโถดูดความชื้นก่อนการนำไปใช้วิเคราะห์สมบัติทางเคมี และเคมีเชิงฟิสิกส์ทุกเดือน โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1.2.2 สมบัติทางกายภาพ

ข้าวที่ผ่านเครื่องกะเทาะเปลือกออกเหลือเมล็ดข้าวที่มีรำข้าวติดอยู่ เรียกว่า ข้าวกล้อง จากนั้นข้าวกล้องผ่านเครื่องขัดสีเพื่อแยกรำข้าวและคัพพะออก จะได้เป็น ข้าวขัดขาว ดังแสดงในภาพที่ 7



Figure 7 Hom Bai Toie brown rice (A) and milled rice (B)

ข้าวกล้อง

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพของข้าวกล้องและข้าวขัดขาวหอมใบเตย ในเรื่องน้ำหนักเมล็ด ความหนาแน่น และค่าสีในระหว่างการเก็บรักษา พบว่า สภาวะในการบรรจุและอายุการเก็บรักษาไม่มีผลต่อน้ำหนักและความหนาแน่นของเมล็ด ($p \geq 0.05$) เมื่อพิจารณาผลของสภาวะในการบรรจุทั้ง 2 สภาวะ พบว่า การบรรจุแบบสภาวะปกติและสภาวะสุญญากาศมีค่าน้ำหนักและความหนาแน่นของเมล็ด ไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) เมื่อพิจารณาผลของอายุการเก็บรักษาของข้าวกล้องในแต่ละสภาวะการบรรจุต่อน้ำหนักและความหนาแน่น พบว่า เมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นทำให้น้ำหนักและความหนาแน่นของเมล็ดข้าวกล้องลดลง ($p < 0.05$) (ตารางที่ 3)

จากการวิเคราะห์ค่าสีของเมล็ดข้าวกล้องในระหว่างการเก็บรักษา พบว่า สภาวะในการบรรจุและอายุการเก็บรักษามีผลต่อค่าสีของเมล็ดข้าว ($p < 0.05$) เมื่อพิจารณาผลของสภาวะในการบรรจุทั้ง 2 สภาวะ พบว่า การบรรจุแบบสภาวะปกติ ส่งผลให้ค่า L* ลดลง ส่วนค่า b* และ Chroma เพิ่มขึ้นสูงกว่าการเก็บรักษาข้าวกล้องในสภาวะสุญญากาศ ($p < 0.05$) และเมื่อพิจารณาผลของอายุการเก็บรักษาต่อค่าสีของเมล็ดข้าว พบว่า เมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นส่งผลให้ L* ลดลง ขณะที่ค่า b* และ Chroma เพิ่มขึ้นสูงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p < 0.05$) เมล็ดข้าวมีสีที่เข้มขึ้นเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดระหว่างกรดอะมิโนกับน้ำตาลในข้าว (Kim *et al.*, 2004; Soponronnarit *et al.*, 2008; Park *et al.*, 2012) ส่วนค่า Hue angle ของข้าวกล้องไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) (ภาพที่ 8)

ข้าวขัดขาว

จากการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของข้าวขัดขาวระหว่างการเก็บรักษา พบว่า สภาวะในการบรรจุและอายุการเก็บรักษาไม่มีผลต่อน้ำหนักและความหนาแน่นของเมล็ด ($p \geq 0.05$) เมื่อพิจารณาผลของสภาวะในการบรรจุทั้ง 2 สภาวะ พบว่า การบรรจุแบบสภาวะปกติ และสภาวะสุญญากาศมีค่าน้ำหนักและความหนาแน่นของเมล็ดไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) และเมื่อพิจารณาผลของอายุการเก็บรักษาของข้าวขัดขาวในแต่ละสภาวะการบรรจุต่อน้ำหนักและความหนาแน่น พบว่า เมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นจะทำให้น้ำหนักและความหนาแน่นของเมล็ดข้าวขัดขาวลดลง ($p < 0.05$) (ตารางที่ 4)

จากการวิเคราะห์ค่าสีของเมล็ดข้าวขัดขาวในระหว่างการเก็บรักษา พบว่า สภาวะในการบรรจุและอายุการเก็บรักษามีผลต่อค่าสีของเมล็ด ($p < 0.05$) เมื่อพิจารณาผลของสภาวะในการบรรจุทั้ง 2 สภาวะ พบว่า การบรรจุแบบสภาวะปกติส่งผลให้ค่า L* ลดลง ขณะที่ค่า b* และ Chroma

เพิ่มขึ้นมากกว่าการเก็บรักษาในสภาวะสุญญากาศ ($p<0.05$) และเมื่อพิจารณาผลของอายุการเก็บรักษาต่อค่าสีของเมล็ดข้าว พบว่าเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นส่งผลให้ L^* ลดลง ส่วนค่า b^* และ Chroma เพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p<0.05$) ส่วนค่า Hue angle ของข้าวขัดขาวไม่แตกต่างกัน ($p\geq 0.05$) (ภาพที่ 9)

Table 3 Grain weight and density of Hom Bai Toie brown rice in a vacuum and non-vacuum Nylon/LLDPE packaging during storage under room temperature for 6 months

Storage period (Months)	Package	Weight (g)	Density (g/cm ³)
0	Non-vacuum	2.34±0.03 ^{NS,A}	0.1009±0.0006 ^{NS,A}
1		2.30±0.02 ^{NS,B}	0.1007±0.0006 ^{NS,A}
2		2.28±0.02 ^{NS,BC}	0.1006±0.0007 ^{NS,A}
3		2.27±0.00 ^{NS,C}	0.1006±0.0002 ^{NS,AB}
4		2.25±0.01 ^{NS,C}	0.1004±0.0002 ^{NS,B}
5		2.24±0.05 ^{NS,C}	0.1004±0.0001 ^{NS,B}
6		2.23±0.04 ^{NS,C}	0.1004±0.0001 ^{NS,B}
0	Vacuum	2.34±0.03 ^{NS,A}	0.1009±0.0006 ^{NS,A}
1		2.25±0.03 ^{NS,B}	0.1007±0.0007 ^{NS,A}
2		2.24±0.01 ^{NS,B}	0.1007±0.0007 ^{NS,A}
3		2.24±0.01 ^{NS,B}	0.1006±0.0006 ^{NS,B}
4		2.24±0.00 ^{NS,B}	0.1006±0.0003 ^{NS,B}
5		2.24±0.00 ^{NS,B}	0.1006±0.0004 ^{NS,B}
6		2.24±0.00 ^{NS,B}	0.1006±0.0004 ^{NS,B}

Note: NS in the same column is non-significantly different ($p\geq 0.05$).

Means with different capital letters in the same column in each packaging are significantly different within storage period ($p<0.05$).

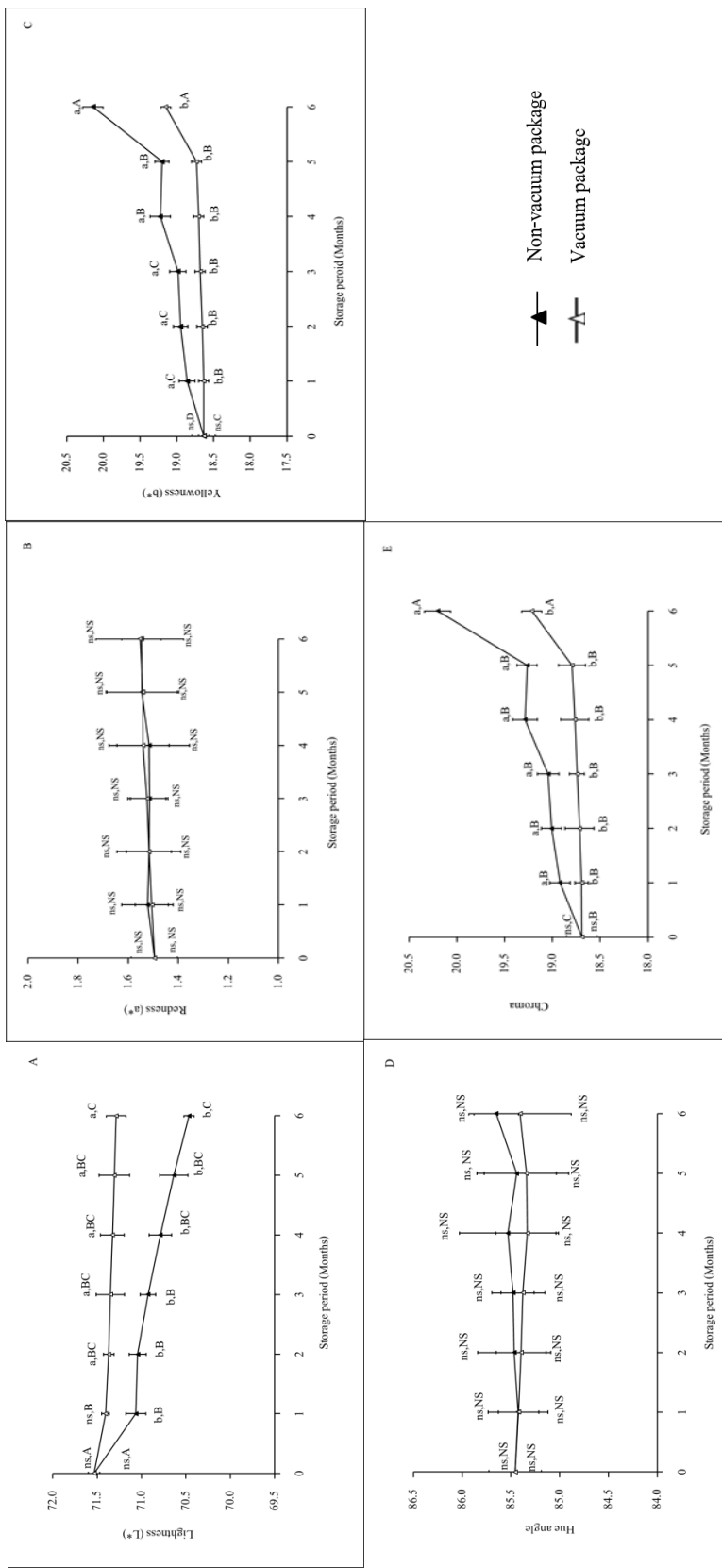


Figure 8 Lightness (A), redness (B), yellowness (C), hue angle (D) and chroma (E) of Hom Bai Toie brown rice in a vacuum and non-vacuum

Nylon/LLDPE packaging during storage under room temperature for 6 months

Note: Means with different small letters in each month are significantly different within two packaging conditions ($p < 0.05$).

Means with different capital letters in each line are significantly different within storage period for 6 months ($p < 0.05$).

NS and ns are non-significantly different ($p > 0.05$).

Table 4 Grain weight and density of Hom Bai Toie milled rice in a vacuum and non-vacuum Nylon/LLDPE packaging during storage under room temperature for 6 months

Storage period (Months)	Package	Weight (g)	Density (g/cm ³)
0	Non-vacuum	2.24±0.03 ^{NS,A}	0.1001±0.0014 ^{NS,A}
1		2.23±0.01 ^{NS,A}	0.0992±0.0006 ^{NS,A}
2		2.21±0.00 ^{NS,AB}	0.0982±0.0007 ^{NS,AB}
3		2.19±0.04 ^{NS,AB}	0.0969±0.0007 ^{NS,B}
4		2.15±0.03 ^{NS,B}	0.0966±0.0008 ^{NS,B}
5		2.13±0.02 ^{NS,B}	0.0958±0.0007 ^{NS,BC}
6		2.10±0.01 ^{NS,B}	0.0952±0.0004 ^{NS,C}
0	Vacuum	2.24±0.03 ^{NS,A}	0.1001±0.0014 ^{NS,A}
1		2.23±0.03 ^{NS,A}	0.0993±0.0008 ^{NS,A}
2		2.22±0.15 ^{NS,A}	0.0986±0.0002 ^{NS,AB}
3		2.20±0.03 ^{NS,AB}	0.0979±0.0005 ^{NS,B}
4		2.19±0.05 ^{NS,AB}	0.0975±0.0002 ^{NS,B}
5		2.18±0.03 ^{NS,B}	0.0969±0.0008 ^{NS,BC}
6		2.16±0.02 ^{NS,B}	0.0965±0.0002 ^{NS,C}

Note: NS in the same column is non-significantly different ($p \geq 0.05$).

Means with different capital letters in the same column in each packaging are significantly different within storage period ($p < 0.05$).

1.2.3 สมบัติทางเคมี

ข้าวกล้อง

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของข้าวกล้องหอมใบเตยที่เก็บรักษาในสถานะปกติ และสถานะสุญญากาศ ในเรื่องปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า อะไมโลส เยื่อใย และความหืน พบว่า สถานะการบรรจุและอายุการเก็บรักษาไม่มีผลต่อปริมาณโปรตีน ไขมัน เถ้า อะไมโลส และเยื่อใยของเมล็ด ($p \geq 0.05$)

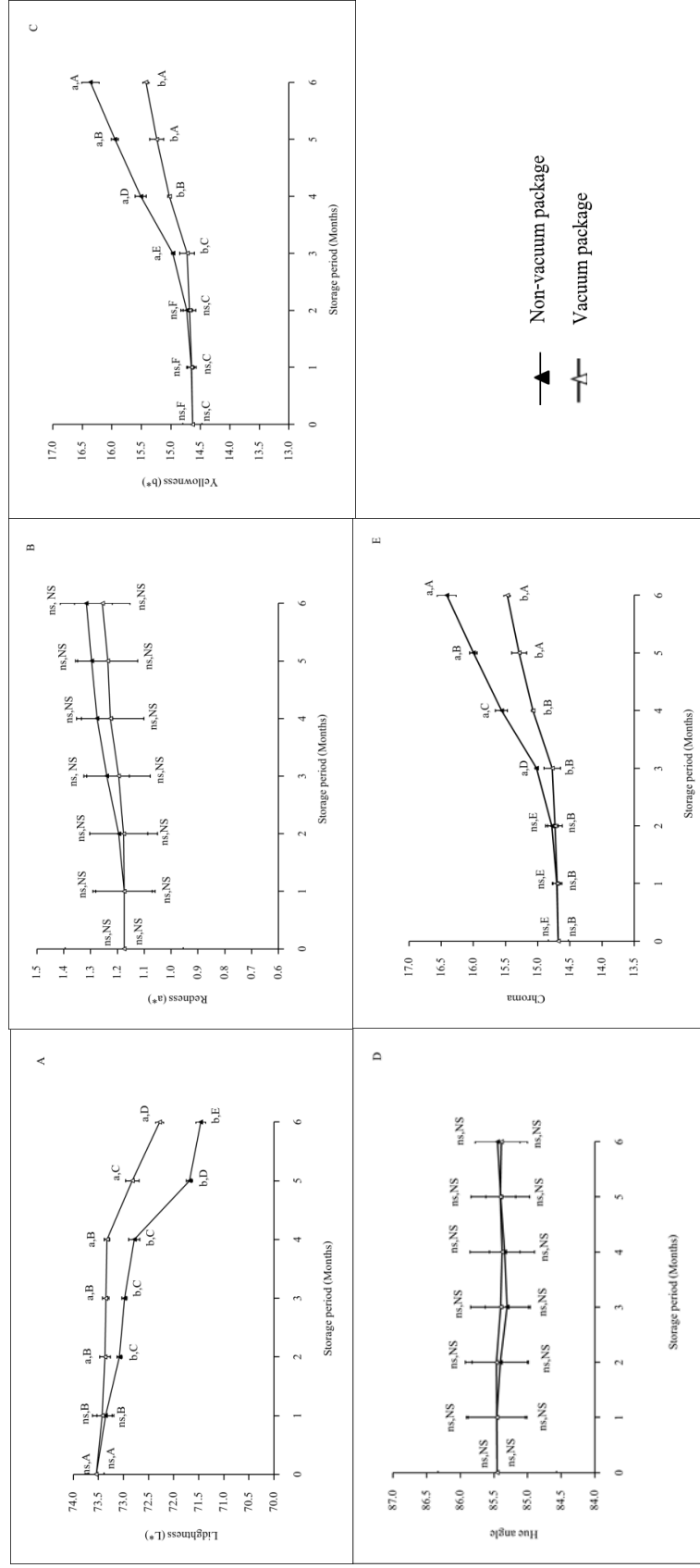


Figure 9 Lightness (A), redness (B), yellowness (C), hue angle (D) and chroma (E) of Hom Bai Toie milled rice in a vacuum and non-vacuum Nylon/LLDPE packaging during storage under room temperature for 6 months

Nylon/LLDPE packaging during storage under room temperature for 6 months

Note: Means with different small letters in each month are significantly different within two packaging conditions ($p < 0.05$).

Means with different capital letters in each line are significantly different within storage period for 6 months ($p < 0.05$).

NS and ns are non-significantly different ($p > 0.05$).

และเมื่อพิจารณาผลของสภาวะการบรรจุและระยะเวลาการเก็บรักษา พบว่า ข้าวกล้องที่บรรจุแบบสภาวะปกติและสุญญากาศมีปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า อะไมโลส และเยื่อใยไม่แตกต่างกันตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p \geq 0.05$) (ตารางที่ 5) จากการวิเคราะห์ค่าความหืน (TBA) ของข้าวกล้องในระหว่างการเก็บรักษา พบว่า สภาวะในการบรรจุและอายุการเก็บรักษามีผลต่อค่า TBA ($p < 0.05$) เมื่อพิจารณาผลของสภาวะในการบรรจุทั้ง 2 สภาวะ พบว่า การบรรจุแบบสภาวะปกติส่งผลให้ค่า TBA เพิ่มขึ้นมากกว่าการเก็บรักษาในสภาวะสุญญากาศ ($p < 0.05$) ค่า TBA ของข้าวกล้องที่บรรจุในสภาวะปกติและสภาวะสุญญากาศในเดือนที่ 6 มีค่าเท่ากับ 1.15 และ 0.97 มิลลิกรัมมาลอนดีไฮด์ต่อกรัมตัวอย่าง ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากการเก็บรักษาข้าวในสภาวะปกติมีปริมาณออกซิเจนอยู่มากกว่าการเก็บรักษาในสภาวะสุญญากาศ ซึ่งออกซิเจนเป็นปัจจัยสำคัญในการเร่งให้ไขมันเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และเมื่อพิจารณาผลของอายุการเก็บรักษาต่อค่า TBA ของเมล็ดข้าว พบว่า เมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า TBA เพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p < 0.05$) (ภาพที่ 10) โดยค่า TBA ของข้าวกล้องที่บรรจุในสภาวะสุญญากาศในเดือนที่ 0 และเดือนที่ 6 เท่ากับ 0.55 และ 0.97 มิลลิกรัมมาลอนดีไฮด์ต่อกรัมตัวอย่าง ตามลำดับ ในขณะที่ข้าวกล้องที่บรรจุในสภาวะปกติในเดือนที่ 0 และเดือนที่ 6 เท่ากับ 0.55 และ 1.15 มิลลิกรัมมาลอนดีไฮด์ต่อกรัมตัวอย่าง ตามลำดับ เนื่องจากในระหว่างการเก็บรักษาไขมันที่สะสมอยู่มากในส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ดและเนื้อเมล็ดข้าวจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันทั้งแบบออโตออกซิเดชันและการไฮโดรไลซิสของเอนไซม์ไลพอกซิเจเนส ทำให้เกิดสารเปอร์ออกไซด์ จากนั้นสารเปอร์ออกไซด์ถูกเปลี่ยนไปเป็นสารฟอสมัลแอลดีไฮด์ซึ่งเป็นสารที่ทำให้เกิดกลิ่นหืน (Shahidi and Zhong, 2005; Zhou *et al.*, 2002)

ข้าวขัดขาว

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของข้าวขัดขาวหอมใบเตยในระหว่างการเก็บรักษา พบว่า สภาวะในการบรรจุและอายุการเก็บรักษาไม่มีผลต่อปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า อะไมโลส และเยื่อใย ($p \geq 0.05$) เมื่อพิจารณาผลของสภาวะการบรรจุและอายุการเก็บรักษา พบว่า ข้าวขัดขาวที่บรรจุแบบสภาวะปกติและสุญญากาศมีปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า อะไมโลส และเยื่อใยไม่แตกต่างกันตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p \geq 0.05$) (ตารางที่ 7)

Table 5 Chemical properties of Hom Bai Toie brown rice in a vacuum and non-vacuum Nylon/LLDPE packaging during storage under room temperature for 6 months

Storage period (Months)	Package	Moisture (%)	Ash (%)	Protein (%)	Lipid (%)	Fiber (%)	Amylose (%)
0	Non-vacuum	11.05±0.23 ^{NS}	1.51±0.04 ^{NS}	10.75±0.40 ^{NS}	2.89±0.73 ^{NS}	0.32±0.13 ^{NS}	18.34±0.85 ^{NS}
1		11.08±0.65 ^{NS}	1.52±0.10 ^{NS}	10.74±0.21 ^{NS}	2.86±0.17 ^{NS}	0.32±0.07 ^{NS}	18.89±0.87 ^{NS}
2		10.82±0.49 ^{NS}	1.52±0.23 ^{NS}	10.71±0.40 ^{NS}	2.86±0.37 ^{NS}	0.36±0.01 ^{NS}	18.90±0.32 ^{NS}
3		10.71±0.08 ^{NS}	1.51±0.35 ^{NS}	10.73±0.29 ^{NS}	2.86±0.39 ^{NS}	0.36±0.40 ^{NS}	18.88±0.55 ^{NS}
4		10.69±0.52 ^{NS}	1.50±0.35 ^{NS}	10.71±0.29 ^{NS}	2.85±0.34 ^{NS}	0.35±0.08 ^{NS}	18.89±0.97 ^{NS}
5		10.63±0.18 ^{NS}	1.50±0.05 ^{NS}	10.70±0.14 ^{NS}	2.83±0.47 ^{NS}	0.36±0.06 ^{NS}	18.87±0.21 ^{NS}
6	10.61±0.34 ^{NS}	1.50±0.17 ^{NS}	10.70±0.09 ^{NS}	2.75±0.41 ^{NS}	0.35±0.03 ^{NS}	18.90±0.31 ^{NS}	
0	Vacuum	11.05±0.23 ^{NS}	1.51±0.04 ^{NS}	10.75±0.40 ^{NS}	2.89±0.73 ^{NS}	0.32±0.13 ^{NS}	18.34±0.85 ^{NS}
1		11.01±0.43 ^{NS}	1.51±0.08 ^{NS}	10.73±0.50 ^{NS}	2.88±0.16 ^{NS}	0.36±0.08 ^{NS}	18.81±0.68 ^{NS}
2		10.80±0.30 ^{NS}	1.52±0.08 ^{NS}	10.71±0.38 ^{NS}	2.87±0.48 ^{NS}	0.36±0.42 ^{NS}	18.80±0.10 ^{NS}
3		10.73±0.82 ^{NS}	1.50±0.06 ^{NS}	10.70±0.27 ^{NS}	2.85±0.14 ^{NS}	0.36±0.30 ^{NS}	18.82±0.12 ^{NS}
4		10.72±0.06 ^{NS}	1.51±0.39 ^{NS}	10.72±0.23 ^{NS}	2.85±0.46 ^{NS}	0.35±0.23 ^{NS}	18.81±0.31 ^{NS}
5		10.71±0.61 ^{NS}	1.50±0.02 ^{NS}	10.70±0.05 ^{NS}	2.84±0.43 ^{NS}	0.35±0.05 ^{NS}	18.83±0.54 ^{NS}
6	10.71±0.27 ^{NS}	1.52±0.31 ^{NS}	10.71±0.25 ^{NS}	2.71±0.24 ^{NS}	0.36±0.01 ^{NS}	18.81±0.08 ^{NS}	

Note: NS in the same column is non-significantly different ($p \geq 0.05$).

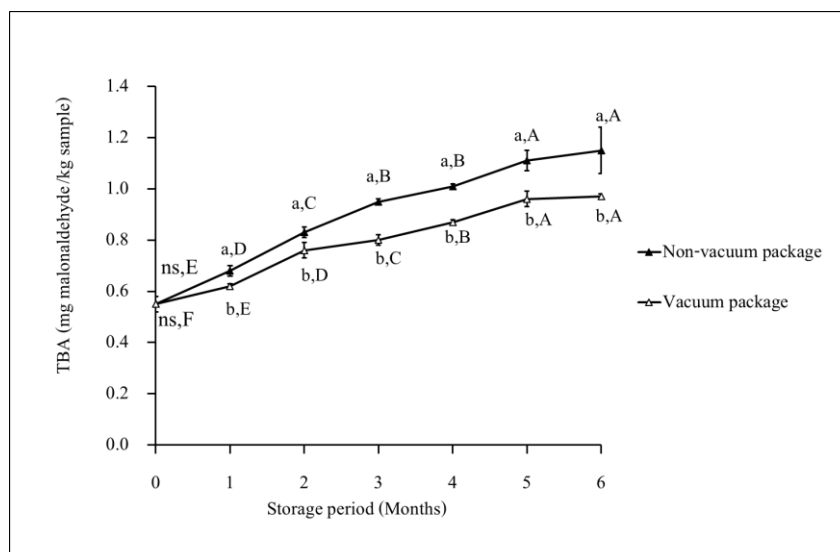


Figure 10 TBA value of Hom Bai Toei brown rice in a vacuum and non-vacuum Nylon/LLDPE packaging during storage under room temperature for 6 months

Note: Means with different small letters in each month are significantly different within two packaging conditions ($p < 0.05$).

Means with different capital letters in each month are significantly different within storage period for 6 months ($p < 0.05$).

ns is non-significantly different ($p \geq 0.05$).

จากการวิเคราะห์ค่า TBA ของข้าวขัดขาวในระหว่างการเก็บรักษา พบว่า สภาวะในการบรรจุและอายุการเก็บรักษามีผลต่อค่า TBA ($p < 0.05$) เมื่อพิจารณาผลของสภาวะในการบรรจุทั้ง 2 สภาวะ พบว่า การบรรจุแบบสภาวะปกติส่งผลให้ค่า TBA เพิ่มขึ้นมากกว่าการเก็บรักษาในสภาวะสุญญากาศ ($p < 0.05$) ค่า TBA ของข้าวขัดขาวที่บรรจุในสภาวะปกติและสภาวะสุญญากาศในเดือนที่ 6 เท่ากับ 1.07 และ 0.84 มิลลิกรัมมาลอนดีไฮด์ต่อกรัมตัวอย่าง และเมื่อพิจารณาผลของอายุการเก็บรักษาต่อค่าสีของเมล็ดข้าว พบว่า เมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า TBA เพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) ค่า TBA ของข้าวขัดขาวที่บรรจุในสภาวะสุญญากาศในเดือนที่ 0 และเดือนที่ 6 เท่ากับ 0.46 และ 0.84 มิลลิกรัมมาลอนดีไฮด์ต่อกรัมตัวอย่าง ตามลำดับ ในขณะที่ค่า TBA ของข้าวขัดขาวที่บรรจุในสภาวะปกติเดือนที่ 0 และเดือนที่ 6 เท่ากับ 0.46 และ 1.07 มิลลิกรัมมาลอนดีไฮด์ต่อกรัมตัวอย่าง ตามลำดับ (ภาพที่ 11)

Table 6 Chemical properties of Hom Bai Toie milled rice in a vacuum and non-vacuum packaging during storage under room temperature for 6 months

Storage period (Months)	Package	Moisture (%)	Ash (%)	Protein (%)	Lipid (%)	Fiber (%)	Amylose (%)
0	Non-vacuum	11.15±0.60 ^{NS}	0.70±0.01 ^{NS}	9.10±0.32 ^{NS}	2.28±0.78 ^{NS}	0.22±0.01 ^{NS}	20.23±0.80 ^{NS}
1		11.06±0.16 ^{NS}	0.71±0.69 ^{NS}	9.08±0.26 ^{NS}	0.27±0.02 ^{NS}	0.21±0.01 ^{NS}	20.28±0.49 ^{NS}
2		10.98±0.37 ^{NS}	0.70±0.03 ^{NS}	9.02±0.26 ^{NS}	2.27±0.05 ^{NS}	0.23±0.03 ^{NS}	20.25±0.69 ^{NS}
3		10.82±0.04 ^{NS}	0.70±0.06 ^{NS}	9.07±0.02 ^{NS}	2.27±0.69 ^{NS}	0.21±0.02 ^{NS}	20.26±0.19 ^{NS}
4		10.78±0.57 ^{NS}	0.70±0.14 ^{NS}	9.07±0.17 ^{NS}	2.26±0.28 ^{NS}	0.23±0.11 ^{NS}	20.27±0.55 ^{NS}
5		10.73±0.54 ^{NS}	0.72±0.07 ^{NS}	9.09±0.41 ^{NS}	2.25±0.09 ^{NS}	0.22±0.07 ^{NS}	20.27±0.26 ^{NS}
6	Vacuum	10.70±0.39 ^{NS}	0.70±0.05 ^{NS}	9.05±0.52 ^{NS}	2.24±0.14 ^{NS}	0.21±0.07 ^{NS}	20.26±0.12 ^{NS}
0	Vacuum	11.15±0.60 ^{NS}	0.70±0.01 ^{NS}	9.10±0.32 ^{NS}	2.28±0.78 ^{NS}	0.22±0.01 ^{NS}	20.23±0.80 ^{NS}
1		11.11±0.29 ^{NS}	0.70±0.44 ^{NS}	9.10±0.30 ^{NS}	2.28±0.32 ^{NS}	0.21±0.01 ^{NS}	20.22±0.25 ^{NS}
2		10.83±0.96 ^{NS}	0.71±0.06 ^{NS}	9.08±0.42 ^{NS}	2.27±0.26 ^{NS}	0.22±0.09 ^{NS}	20.22±0.71 ^{NS}
3		10.79±0.96 ^{NS}	0.71±0.02 ^{NS}	9.10±0.35 ^{NS}	2.26±0.31 ^{NS}	0.21±0.15 ^{NS}	20.22±0.65 ^{NS}
4		10.78±0.24 ^{NS}	0.70±0.20 ^{NS}	9.09±0.63 ^{NS}	2.26±0.65 ^{NS}	0.21±0.03 ^{NS}	20.24±0.62 ^{NS}
5		10.78±0.58 ^{NS}	0.70±0.03 ^{NS}	9.09±0.24 ^{NS}	2.26±0.84 ^{NS}	0.22±0.13 ^{NS}	20.23±0.60 ^{NS}
6		10.77±0.13 ^{NS}	0.70±0.07 ^{NS}	9.07±0.48 ^{NS}	2.25±0.31 ^{NS}	0.21±0.01 ^{NS}	20.22±0.33 ^{NS}

Note: NS in the same column is non-significantly different ($p \geq 0.05$).

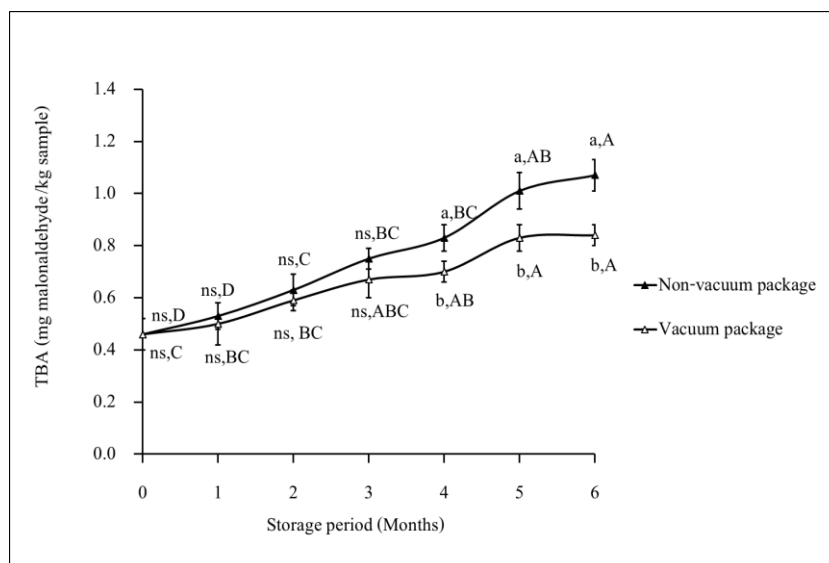


Figure 11 TBA value of Hom Bai Toei milled rice in a vacuum and non-vacuum Nylon/LLDPE packaging during storage under room temperature for 6 months

Note: Means with different small letters in each month are significantly different within two packaging conditions ($p < 0.05$).

Means with different capital letters in each month are significantly different within storage period for 6 months ($p < 0.05$).

ns is non-significantly different ($p \geq 0.05$).

จากการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารระเหยในข้าวกล้องและข้าวขัดขาวหอมใบเตยที่บรรจุในสภาวะแบบปกติและสุญญากาศในระหว่างการเก็บรักษา พบว่า สารระเหยในข้าวกล้องและข้าวขัดขาวหอมใบเตยที่บรรจุในสภาวะแบบปกติและสุญญากาศในเดือนที่ 0 และ 6 ได้แก่ Hexanal, 1 - Pentanol, 2 - Pentylfuran, Tetradeane, 2 - Acethyl-1 - pyrroline, Nonadecane, Pentacosane, Octadecane, Heneicosane, Benzathaizone, 2-Methyl-4-vivnylphenol และ Vanillin เมื่อพิจารณาระยะเวลาการเก็บรักษา พบว่า ระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นส่งผลให้ข้าวกล้องและข้าวขัดขาวหอมใบเตยมีปริมาณ Hexanal, 1-Pentanol, 2-Pentylfuran, Tetradeane, Nonadecane และ Octadecane เพิ่มขึ้น โดยปริมาณสารระเหยในข้าวกล้องและข้าวขัดขาวหอมใบเตยจะแสดงเป็นค่าพื้นที่พีคของสารระเหย ข้าวกล้องหอมใบเตยที่บรรจุในสภาวะปกติ (เดือนที่ 0) มีปริมาณ Hexanal, 1-Pentanol, 2-Pentylfuran, Tetradeane, Nonadecane และ Octadecane เท่ากับ 5.14×10^5 ,

9.82×10^5 , 7.81×10^5 , 6.31×10^5 , 12.16×10^5 และ 10.03×10^5 ตามลำดับ เมื่อเก็บรักษานาน 6 เดือนมี ปริมาณ Hexanal, 1-Pentanol, 2-Pentylfuran, Tetradecane, Nonadecane และ Octadecane เท่ากับ 16.65×10^5 , 12.66×10^5 , 10.49×10^5 , 8.15×10^5 , 14.25×10^5 และ 12.13×10^5 ตามลำดับ (ตารางที่ 7) โครมาโทแกรมของข้าวกล้อง (เดือน 0) และข้าวกล้องที่ผ่านการเก็บรักษาแบบปกติ และสุญญากาศ (เดือน 6) แสดงในภาพภาคผนวกที่ 1 โดย Hexanal, 1-Pentanol, 2-Pentylfuran, Tetradecane, Nonadecane และ Octadecane ซึ่งเป็นสารที่ให้กลิ่นหืน เนื่องจากกรดไขมันในข้าวเกิดปฏิกิริยา ออกซิเดชันในระหว่างการเก็บรักษาส่งผลให้ปริมาณ Hexanal, 1-Pentanol, 2-Pentylfuran, Tetradecane, Nonadecane และ Octadecane เพิ่มขึ้น (Tananuwong *et al.*, 2010; Marsili, 2002; Lasekan *et al.*, 2001) ขณะที่สาร 2-Acetyl-1-pyrroline, Pentacosane, Heneicosane, Benzothiazole, 2-Methyl-4-vinylphenol และ Vanillin ลดลงในระหว่างการเก็บรักษา นอกจากนี้เมื่อพิจารณาผล ของสภาวะในการบรรจุทั้ง 2 สภาวะ พบว่า ข้าวกล้องหอมใบเตยที่ถูกบรรจุแบบสภาวะปกติมี ปริมาณสารให้กลิ่นหืนมากกว่าข้าวที่บรรจุแบบสภาวะสุญญากาศ โดยข้าวกล้องหอมใบเตยที่บรรจุ ในสภาวะปกติ (เดือนที่ 6) มีปริมาณ Hexanal, 1-Pentanol, 2-Pentylfuran, Tetradecane, Nonadecane และ Octadecane เท่ากับ 16.65×10^5 , 12.66×10^5 , 10.49×10^5 , 8.15×10^5 , 14.25×10^5 และ สภาวะ สุญญากาศมีปริมาณ 12.13×10^5 ตามลำดับ และสภาวะสุญญากาศมีปริมาณ 5.40×10^5 , 10.09×10^5 , 7.98×10^5 , 7.14×10^5 , 13.76×10^5 และ 10.75×10^5 ตามลำดับ เนื่องจากการบรรจุข้าวแบบสภาวะปกติ ทำให้มีออกซิเจนอยู่ในภาชนะบรรจุ ซึ่งออกซิเจนเป็นปัจจัยสำคัญที่เร่งกรดไขมันในข้าวให้ เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Shahidi and Zhong, 2005)

Table 7 Type and content of volatile compounds of Hom Bai Toie brown and milled rice in a vacuum and non-vacuum Nylon/LLDPE packaging during storage under room temperature for 6 months

Storage period (Months)	Package	Compound	Odor description	Retention time (Min)	Peak area (x10 ⁵)	
					Brown rice	Milled rice
0	Non-vacuum and vacuum	Hexanal	Green, grass-like	4.84	5.14	4.99
		1-Pentanol	Green	8.30	9.82	5.14
	2-Pentylfuran	Green, nutty	9.02	7.81	1.53	
	Tetradecane	Green	10.75	6.13	4.29	
	2-Acetyl-1-pyrroline	Sweet	11.00	23.39	18.46	
	Nonadecane	Green	12.90	12.16	8.16	
	Pentacosane	Fruity	22.19	6.25	5.47	
	Octadecane	Green	24.15	10.03	4.71	
	Heneicosane	Fruity	31.14	7.65	5.10	
	Benzo[thiazole]	Fruity, floral	35.34	8.12	6.79	
	2-Methyl-4-vinylphenol	Apple-like	38.05	13.46	10.98	
	Vanillin	Vanilla-like	41.50	1.68	1.19	

Note: Odor description reference: <http://www.thegoodscentscompany.com/rawmatex.html>, <http://www.flavornet.org/flavornet.html>

Table 7 Continue

Storage period (Months)	Package	Compound	Odor description	Retention time (Min)	Peak area (x10 ⁵)	
					Brown rice	Milled rice
6	Non-vacuum	Hexanal	Green, grass-like	4.84	16.65	13.70
		1-Pentanol	Green	8.30	12.66	7.13
		2-Pentylfuran	Green, nutty	9.02	10.49	8.74
		Tetradecane	Green	10.75	8.15	5.17
		2-Acetyl-1-pyrroline	Sweet	11.00	21.50	15.47
		Nonadecane	Green	12.90	14.25	9.14
		Pentacosane	Fruity	22.19	5.11	3.47
		Octadecane	Green	24.15	12.13	4.92
		Heneicosane	Fruity	31.14	6.54	4.98
		Benzothiazole	Fruity, floral	35.34	7.64	5.26
		2-Methyl-4-vinylphenol	Apple-like	38.05	11.65	9.58
		Vanillin	Vanilla-like	41.50	1.43	1.04

Note: Odor description reference: <http://www.thegoodscentscompany.com/rawmatex.html>, <http://www.flavornet.org/flavornet.html>

Table 7 Continue

Storage period (Months)	Package	Compound	Odor description	Retention time (Min)	Peak area (x10 ⁵)	
					Brown rice	Milled rice
6	Vacuum	Hexanal	Green, grass-like	4.84	5.40	4.63
		1-Pentanol	Green	8.30	10.09	5.64
		2-Pentylfuran	Green, nutty	9.02	7.98	5.42
		Tetradecane	Green	10.75	7.14	5.02
		2-Acetyl-1-pyrroline	Sweet	11.00	22.44	16.67
		Nonadecane	Green	12.90	13.76	8.95
		Pentacosane	Fruity	22.19	5.98	5.11
		Octadecane	Green	24.15	10.75	4.98
		Heneicosane	Fruity	31.14	7.65	5.09
		Benzothiazole	Fruity, floral	35.34	8.11	6.51
		2-Methyl-4-vinylphenol	Apple-like	38.05	12.01	10.45
		Vanillin	Vanilla-like	41.5	1.57	1.10

Note: Odor description reference: <http://www.thegoodscentscompany.com/rawmatex.html>, <http://www.flavornet.org/flavornet.html>

1.2.4 สมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์

ข้าวกล้อง

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ของข้าวกล้องหอมใบเตยที่เก็บรักษาในสภาวะปกติ และสภาวะสุญญากาศ โดยศึกษาพฤติกรรมของการเปลี่ยนแปลงความหนืดรูปแบบโครงสร้างผลึกและปริมาณผลึก พบว่า พฤติกรรมของการเปลี่ยนแปลงความหนืดของข้าวกล้องในระหว่างการเก็บรักษา สภาวะในการบรรจุและอายุการเก็บรักษามีผลต่อพฤติกรรมของการเปลี่ยนแปลงความหนืด ($p < 0.05$) และเมื่อพิจารณาผลของสภาวะในการบรรจุทั้ง 2 สภาวะ พบว่าการบรรจุแบบสภาวะปกติส่งผลให้ค่าความหนืดสูงสุด ค่าความหนืดสุดท้าย และ ค่าการคืนตัวลดลงมากกว่าการเก็บรักษาในสภาวะสุญญากาศ ($p < 0.05$) เมื่อพิจารณาผลของอายุการเก็บรักษาต่อค่าความหนืดสูงสุด ค่าความหนืดสุดท้าย และ ค่าการคืนตัวเมล็ดข้าว พบว่า เมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความหนืดสูงสุด ค่าความหนืดสุดท้าย และ ค่าการคืนตัวลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p < 0.05$) (ตารางที่ 8) เนื่องจากในระหว่างการเก็บรักษา โปรตีนในเมล็ดข้าวเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้โปรตีนเกิดพันธะไดซัลไฟด์เพิ่มขึ้น (Ohno and Ohisa, 2005) นอกจากนี้การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างอะไมโลสและไขมันในระหว่างการเก็บรักษาข้าวส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับน้ำและฟองตัวของเมล็ดข้าวลดลงจึงทำให้ค่าความหนืดลดลง (Keawpeng and Venkatachalam, 2015; Zhou *et al.*, 2002)

จากการวิเคราะห์ค่ากำลังการพองตัวและค่าการละลายของข้าวกล้องในระหว่างการเก็บรักษา พบว่า สภาวะในการบรรจุและอายุการเก็บรักษามีผลต่อค่ากำลังการพองตัวและค่าการละลาย ($p < 0.05$) เมื่อพิจารณาผลของสภาวะในการบรรจุทั้ง 2 สภาวะ พบว่า การบรรจุแบบสภาวะปกติส่งผลให้ค่ากำลังการพองตัวและค่าการละลายลดลงมากกว่าการเก็บรักษาข้าวแบบสภาวะสุญญากาศ ($p < 0.05$) เมื่อพิจารณาผลของอายุการเก็บรักษาต่อค่ากำลังการพองตัวและค่าการละลาย พบว่า เมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่ากำลังการพองตัวและค่าการละลายลดลง ($p < 0.05$) (ตารางที่ 8)

จากการวิเคราะห์รูปแบบโครงสร้างและปริมาณผลึกของข้าวกล้องในระหว่างการเก็บรักษา พบว่า รูปแบบโครงสร้างผลึกของข้าวกล้องมีการจัดเรียงผลึกแบบ A (A-type) จะพบพีคที่มุมหักเห (Diffraction angle) ตำแหน่ง 2θ ที่ 15° , 17° และ 18° และ 23° สภาวะในการบรรจุและอายุการเก็บรักษาไม่มีผลต่อปริมาณผลึก ($p \geq 0.05$) เมื่อพิจารณาผลของสภาวะในการบรรจุทั้ง 2 สภาวะ พบว่า การบรรจุแบบสภาวะปกติและสภาวะสุญญากาศไม่มีผลต่อปริมาณผลึก ($p \geq 0.05$)

เมื่อพิจารณาผลของอายุการเก็บรักษาข้าวกล้องในแต่ละสภาวะการบรรจุต่อปริมาณผลึก พบว่า เมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณผลึกของข้าวกล้องเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) (ตารางที่ 8)

จากการวิเคราะห์สมบัติการเกิดเจลลิตีในเซชันของข้าวกล้องในระหว่างการเก็บรักษา โดยจะพิจารณาอุณหภูมิการเกิดเจลลิตีในเซชันของข้าว ได้แก่ อุณหภูมิเริ่มต้น (T_0) อุณหภูมิสูงสุด (T_p) และอุณหภูมิต่ำสุดท้ายในการเกิดเจลลิตีในเซชัน (T_c) และพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลลิตีในเซชัน พบว่า สภาวะในการบรรจุและอายุการเก็บรักษาไม่มีผลต่อค่าอุณหภูมิและพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลลิตีในเซชันของเมล็ดข้าว ($p \geq 0.05$) เมื่อพิจารณาผลของสภาวะในการบรรจุทั้ง 2 สภาวะ พบว่า การบรรจุแบบสภาวะปกติและสภาวะสุญญากาศไม่มีผลต่อค่าอุณหภูมิและพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลลิตีในเซชันสูง ($p \geq 0.05$) เมื่อพิจารณาผลของอายุการเก็บรักษาข้าวกล้องในแต่ละสภาวะการบรรจุต่อค่าอุณหภูมิและพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลลิตีในเซชันของเมล็ดข้าว พบว่า เมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าอุณหภูมิและพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลลิตีในเซชันของข้าวกล้องเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p < 0.05$) (ตารางที่ 9)

ข้าวขัดขาว

จากการวิเคราะห์พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความหนืดของข้าวขัดขาวในระหว่างการเก็บรักษา พบว่า สภาวะในการบรรจุและอายุการเก็บรักษามีผลต่อพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความหนืด ($p < 0.05$) เมื่อพิจารณาผลของสภาวะในการบรรจุ 2 สภาวะ พบว่า การบรรจุแบบสภาวะปกติส่งผลให้ค่าความหนืดสูงสุด ความหนืดสุดท้าย และ ค่าการคืนตัวลดลงสูงมากกว่าการเก็บรักษาข้าวกล้องในสภาวะสุญญากาศ ($p < 0.05$) เมื่อพิจารณาผลของอายุการเก็บรักษาต่อค่าความหนืดสูงสุด ความหนืดสุดท้าย และ ค่าการคืนตัวของข้าวขัดขาว พบว่า เมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความหนืดสูงสุด ความหนืดสุดท้าย และ ค่าการคืนตัวลดลง ($p < 0.05$) (ตารางที่ 10)

จากการวิเคราะห์ค่ากำลังการพองตัวและค่าการละลายของข้าวขัดขาวในระหว่างการเก็บรักษา พบว่า สภาวะในการบรรจุและอายุการเก็บรักษามีผลต่อค่ากำลังการพองตัวและค่าการละลาย ($p < 0.05$) เมื่อพิจารณาผลของสภาวะในการบรรจุทั้ง 2 สภาวะ พบว่า การบรรจุแบบสภาวะปกติส่งผลให้ค่ากำลังการพองตัวและค่าการละลายลดลงมากกว่าการเก็บรักษาข้าวสภาวะสุญญากาศ ($p < 0.05$) และเมื่อพิจารณาผลของอายุการเก็บรักษาต่อค่ากำลังการพองตัวและค่าการละลายเมล็ดข้าว พบว่า เมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่ากำลังการพองตัวและค่าการละลายลดลง ($p < 0.05$) (ตารางที่ 10)

จากการวิเคราะห์รูปแบบโครงสร้างและปริมาณผลึกของข้าวขัดขาวในระหว่างการเก็บรักษา พบว่า รูปแบบโครงสร้างผลึกของข้าวขัดขาวมีการจัดเรียงผลึกแบบ A (A-type) จะพบพีคที่มุมหักเห (Diffraction angle) ตำแหน่ง 2θ ที่ 15° , 17° และ 18° และ 23° สภาวะในการบรรจุและอายุการเก็บรักษาไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณผลึกของเมล็ดข้าว ($p \geq 0.05$) เมื่อพิจารณาผลของสภาวะในการบรรจุทั้ง 2 สภาวะ พบว่า การบรรจุแบบสภาวะปกติและสภาวะสุญญากาศไม่มีผลต่อปริมาณผลึก ($p \geq 0.05$) เมื่อพิจารณาผลของอายุการเก็บรักษาข้าวขัดขาวในแต่ละสภาวะการบรรจุต่อปริมาณผลึก พบว่า เมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณผลึกของข้าวขัดขาวเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p < 0.05$) (ตารางที่ 10)

จากการวิเคราะห์สมบัติการเกิดเจลลิตในเซชันของข้าวขัดขาวในระหว่างการเก็บรักษา พบว่า สภาวะในการบรรจุและอายุการเก็บรักษาไม่มีผลต่อค่าอุณหภูมิและพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลลิตในเซชันของข้าวขัดขาว ($p \geq 0.05$) เมื่อพิจารณาผลของสภาวะในการบรรจุทั้ง 2 สภาวะ พบว่า การบรรจุแบบสภาวะปกติและสภาวะสุญญากาศไม่มีผลต่อค่าอุณหภูมิและพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลลิตในเซชันสูง ($p \geq 0.05$) และเมื่อพิจารณาผลของอายุการเก็บรักษาข้าวขัดขาวในแต่ละสภาวะการบรรจุต่อค่าอุณหภูมิและพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลลิตในเซชัน พบว่า เมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าอุณหภูมิและพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลลิตในเซชันของข้าวขัดขาวเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) (ตารางที่ 11)

Table 8 Physicochemical properties of Hom Bai Toie brown rice in a vacuum and non-vacuum Nylon/LLDPE packaging during storage under

room temperature for 6 months											
Storage period (Months)	Package	Swelling (g/g dry sample)	Solubility (%)	Pasting properties						Crystallinity (%)	
				PV (RVU)	FV (RVU)	SBV (RVU)	P _{temp} (°C)				
0		20.74±0.43 ^a	7.32±0.03 ^a	124.18±0.06 ^a	256.20±0.20 ^a	162.71±0.33 ^a	91.18±0.07 ^o			36.42±0.02 ^{NS,G}	
1		20.34±0.54 ^b	6.96±0.09 ^{ab}	121.36±0.58 ^b	250.36±0.21 ^b	151.14±0.64 ^c	91.87±0.17 ^m			36.57±0.02 ^{NS,F}	
2		20.29±0.54 ^{bc}	6.63±0.09 ^{bc}	113.98±0.03 ^d	247.18±0.25 ^c	157.33±0.28 ^d	92.67±0.01 ^k			36.67±0.01 ^{NS,E}	
3	Non-vacuum	20.20±0.28 ^{bc}	6.26±0.22 ^c	109.68±0.46 ^e	241.90±0.66 ^d	149.04±0.85 ^e	93.03±0.02 ⁱ			36.75±0.03 ^{NS,D}	
4		19.96±0.46 ^{bc}	5.67±0.04 ^{de}	98.20±0.73 ^g	239.28±0.05 ^f	132.86±0.19 ^h	93.59±0.08 ^e			36.88±0.02 ^{NS,C}	
5		19.41±0.22 ^{cd}	5.31±0.12 ^{ef}	91.49±0.06 ⁱ	203.14±1.19 ^g	123.08±0.38 ⁱ	94.03±0.01 ^c			36.95±0.03 ^{NS,B}	
6		19.28±0.30 ^e	5.26±0.02 ^f	84.86±0.10 ^j	170.11±0.10 ^j	101.53±0.29 ^k	94.67±0.01 ^a			37.18±0.01 ^{NS,A}	
0		20.74±0.43 ^a	7.32±0.03 ^a	124.18±0.06 ^a	256.20±0.20 ^a	162.71±0.33 ^a	91.18±0.07 ^o			36.42±0.02 ^{NS,G}	
1		20.43±0.41 ^b	7.16±0.05 ^a	120.91±0.67 ^b	260.57±0.76 ^b	162.16±0.82 ^a	91.65±0.01 ⁿ			36.54±0.02 ^{NS,F}	
2		20.31±0.35 ^{bc}	6.98±0.16 ^{ab}	120.22±0.24 ^c	250.44±0.50 ^c	159.16±0.16 ^b	92.24±0.03 ^l			36.62±0.01 ^{NS,E}	
3	Vacuum	19.98±0.28 ^{bc}	6.64±0.20 ^{bc}	99.89±0.29 ^f	246.86±1.17 ^d	143.67±0.10 ^f	92.90±0.08 ^j			36.72±0.02 ^{NS,D}	
4		19.73±0.28 ^c	6.54±0.25 ^c	97.38±0.28 ^h	243.90±0.64 ^e	136.34±0.11 ^g	93.18±0.02 ^f			36.85±0.02 ^{NS,C}	
5		19.51±0.27 ^{cd}	5.80±0.52 ^d	91.03±0.59 ^j	193.49±0.54 ^h	120.08±0.81 ^j	93.75±0.01 ^d			36.93±0.02 ^{NS,B}	
6		19.39±0.53 ^{de}	5.57±0.38 ^{def}	84.46±0.14 ^j	172.69±0.85 ⁱ	101.45±0.20 ^k	94.43±0.01 ^b			37.05±0.01 ^{NS,A}	

Note: Means with different letters in the same column are significantly different (p<0.05).

NS in the same column is non-significantly different (p≥0.05).

Means with different capital letters in the same column in each packing are significantly different within storage period (p<0.05).

Table 9 Thermal properties of Hom Bai Toie brown rice in a vacuum and non-vacuum Nylon/LLDPE packaging during storage under room temperature for 6 months

Storage period (Months)	Package	Thermal properties			
		T _o (°C)	T _p (°C)	T _c (°C)	ΔH (J/g)
0	Non-vacuum	63.56±0.06 ^{NS,F}	68.27±0.02 ^{NS,E}	72.63±0.08 ^{NS,F}	3.17±0.02 ^{NS,G}
1		63.96±0.04 ^{NS,E}	68.58±0.02 ^{NS,D}	72.78±0.03 ^{NS,E}	3.29±0.08 ^{NS,F}
2		64.02±0.01 ^{NS,E}	68.65±0.04 ^{NS,C}	73.01±0.03 ^{NS,D}	3.42±0.02 ^{NS,E}
3		64.11±0.01 ^{NS,D}	68.77±0.02 ^{NS,B}	73.10±0.04 ^{NS,C}	3.64±0.03 ^{NS,D}
4		64.35±0.02 ^{NS,C}	68.82±0.03 ^{NS,B}	73.18±0.02 ^{NS,B}	3.69±0.01 ^{NS,C}
5		64.63±0.03 ^{NS,B}	68.87±0.02 ^{NS,B}	73.30±0.12 ^{NS,B}	3.75±0.03 ^{NS,B}
6		64.81±0.01 ^{NS,A}	69.40±0.48 ^{NS,A}	73.57±0.06 ^{NS,A}	3.92±0.01 ^{NS,A}
0	Vacuum	63.56±0.06 ^{NS,G}	68.27±0.02 ^{NS,G}	72.63±0.08 ^{NS,E}	3.17±0.02 ^{NS,G}
1		63.91±0.02 ^{NS,F}	68.56±0.02 ^{NS,F}	72.75±0.01 ^{NS,D}	3.25±0.03 ^{NS,F}
2		63.99±0.01 ^{NS,E}	68.62±0.02 ^{NS,E}	72.98±0.03 ^{NS,C}	3.40±0.01 ^{NS,E}
3		64.10±0.04 ^{NS,D}	68.74±0.02 ^{NS,D}	73.07±0.04 ^{NS,B}	3.63±0.02 ^{NS,D}
4		64.32±0.03 ^{NS,C}	68.80±0.01 ^{NS,C}	73.16±0.03 ^{NS,A}	3.68±0.01 ^{NS,C}
5		64.54±0.05 ^{NS,B}	68.84±0.02 ^{NS,B}	73.29±0.11 ^{NS,A}	3.74±0.02 ^{NS,B}
6		64.68±0.03 ^{NS,A}	68.92±0.01 ^{NS,A}	73.35±0.01 ^{NS,A}	3.79±0.02 ^{NS,A}

Note: NS in the same column is non-significantly different ($p \geq 0.05$).

Means with different capital letters in the same column in each packing are significantly different within storage period ($p < 0.05$).

Table 10 Physicochemical properties of Hom Bai Toie milled rice in a vacuum and non-vacuum Nylon/LLDPE packaging during storage under room temperature for 6 months

Storage period (Months)	Package	Swelling (g/g dry sample)	Solubility (%)	Pasting properties			Crystallinity (%)	
				PV (RVU)	FV (RVU)	SBV (RVU)		P _{temp} (°C)
0	Non-vacuum	24.85±0.14 ^a	8.75±0.09 ^a	176.37±0.54 ^a	307.91±0.0 ^a	166.34±0.03 ^a	38.58±0.01 ^{NS,G}	
1		24.75±0.17 ^{abc}	8.55±0.05 ^{abc}	168.33±0.62 ^b	290.36±0.2 ^b	160.63±0.15 ^b	91.93±0.07 ^j	38.69±0.02 ^{NS,F}
2		24.63±0.23 ^{abc}	8.49±0.17 ^{bcd}	139.61±0.56 ^d	276.55±0.4 ^d	152.36±0.25 ^d	92.70±0.03 ^h	38.78±0.02 ^{NS,E}
3		24.54±0.13 ^c	8.33±0.16 ^{cdef}	109.68±0.46 ^f	265.33±0.3 ^f	149.01±0.08 ^f	93.20±0.25 ^f	38.92±0.0 ^{NS,D}
4		24.37±0.23 ^{cd}	8.24±0.11 ^{ef}	102.53±0.35 ^h	255.32±0.0 ^h	147.26±0.17 ^h	93.61±0.07 ^e	38.98±0.01 ^{NS,C}
5		24.20±0.11 ^{cd}	8.14±0.04 ^f	95.49±0.06 ⁱ	203.14±1.1 ⁱ	140.75±0.33 ⁱ	94.03±0.02 ^c	39.16±0.03 ^{NS,B}
6	24.03±0.20 ^d	7.13±0.12 ^h	91.89±0.04 ⁱ	197.98±0.2 ⁱ	130.13±0.02 ⁱ	94.68±0.01 ^a	39.31±0.01 ^{NS,A}	
0	Vacuum	24.85±0.14 ^a	8.75±0.09 ^a	176.37±0.54 ^a	307.91±0.0 ^a	166.34±0.03 ^a	38.58±0.01 ^{NS,G}	
1		24.80±0.23 ^{ab}	8.63±0.04 ^{ab}	163.99±0.06 ^c	282.19±0.2 ^c	158.53±0.13 ^c	91.65±0.02 ^k	38.64±0.02 ^{NS,F}
2		24.77±0.04 ^{ab}	8.50±0.16 ^{bed}	136.94±0.05 ^e	268.51±0.5 ^e	150.23±0.02 ^e	92.25±0.02 ⁱ	38.76±0.01 ^{NS,E}
3		24.68±0.16 ^{abc}	8.46±0.09 ^{bcd}	107.04±0.15 ^g	260.66±0.3 ^g	145.77±0.22 ^g	92.96±0.03 ^g	38.86±0.02 ^{NS,D}
4		24.50±0.20 ^c	8.38±0.12 ^{cde}	100.60±0.27 ⁱ	251.18±0.2 ⁱ	142.93±0.64 ⁱ	93.19±0.01 ^f	38.95±0.02 ^{NS,C}
5		24.36±0.45 ^{cd}	8.26±0.22 ^{def}	95.45±0.01 ^k	198.85±0.3 ^k	139.42±0.29 ^k	93.77±0.02 ^d	39.09±0.02 ^{NS,B}
6	24.29±0.14 ^{cd}	7.85±0.18 ^g	90.17±0.05 ^m	187.98±0.2 ^m	128.13±0.02 ^m	94.44±0.03 ^b	39.26±0.02 ^{NS,A}	

Note: Means with different letters in the same column are significantly different (p<0.05).

NS in the same column is non-significantly different (p≥0.05).

Means with different capital letters in the same column in each packing are significantly different within storage period (p<0.05).

Table 11 Thermal properties of Hom Bai Toie milled rice in a vacuum and non-vacuum Nylon/LLDPE packaging during storage under room temperature for 6 months

Storage period (Months)	Package	Thermal properties			
		(T _o) (°C)	T _p (°C)	T _c (°C)	ΔH (J/g)
0	Non-vacuum	63.55±0.05 ^{NS,F}	69.27±0.02 ^{NS,G}	72.64±0.06 ^{NS,F}	3.17±0.02 ^{NS,G}
1		63.98±0.02 ^{NS,E}	69.58±0.02 ^{NS,F}	72.82±0.01 ^{NS,E}	4.27±0.02 ^{NS,F}
2		64.09±0.06 ^{NS,D}	69.95±0.04 ^{NS,E}	73.03±0.02 ^{NS,D}	4.43±0.02 ^{NS,E}
3		64.14±0.02 ^{NS,D}	70.13±0.02 ^{NS,D}	73.18±0.02 ^{NS,C}	4.70±0.06 ^{NS,D}
4		64.36±0.02 ^{NS,C}	70.37±0.04 ^{NS,C}	73.19±0.01 ^{NS,C}	5.02±0.01 ^{NS,C}
5		64.65±0.03 ^{NS,B}	70.55±0.01 ^{NS,B}	73.34±0.01 ^{NS,B}	5.12±0.02 ^{NS,B}
6		65.52±0.01 ^{NS,A}	70.70±0.02 ^{NS,A}	73.61±0.02 ^{NS,A}	5.27±0.02 ^{NS,A}
0	Vacuum	63.55±0.05 ^{NS,F}	69.27±0.02 ^{NS,G}	72.64±0.06 ^{NS,E}	3.17±0.02 ^{NS,E}
1		63.92±0.02 ^{NS,E}	69.50±0.02 ^{NS,F}	72.78±0.01 ^{NS,D}	4.21±0.01 ^{NS,D}
2		63.96±0.06 ^{NS,E}	69.86±0.01 ^{NS,E}	72.99±0.03 ^{NS,C}	4.40±0.01 ^{NS,C}
3		64.08±0.03 ^{NS,D}	70.06±0.04 ^{NS,D}	73.11±0.01 ^{NS,B}	4.56±0.23 ^{NS,C}
4		64.34±0.02 ^{NS,C}	70.33±0.02 ^{NS,C}	73.16±0.03 ^{NS,A}	4.95±0.06 ^{NS,B}
5		64.55±0.03 ^{NS,B}	70.41±0.02 ^{NS,B}	73.29±0.10 ^{NS,A}	5.06±0.01 ^{NS,A}
6		65.42±0.01 ^{NS,A}	70.54±0.04 ^{NS,A}	73.32±0.01 ^{NS,A}	5.17±0.10 ^{NS,A}

Note: NS in the same column is non-significantly different ($p \geq 0.05$).

Means with different capital letters in the same column in each packing are significantly different within storage period ($p < 0.05$).

จากการสังเกตในภาพรวมสรุปได้ว่า ข้าวกล้องและข้าวขัดขาวหอมใบเตยในระหว่างการเก็บรักษา พบว่า ข้าวกล้องจะมีปริมาณโปรตีน ไขมัน เกล็ดเยื่อใย และค่าความชื้นสูงกว่าข้าวขัดขาว นอกจากนี้ข้าวกล้องมีปริมาณสารระเหยมากกว่าข้าวขัดขาว โดยสาร 2-Acethyl-1-pyrroline เป็นสารที่ให้กลิ่นหอมที่สำคัญในข้าว โดยข้าวกล้องและข้าวขัดขาวมีปริมาณ 2-Acethyl-1-pyrroline เท่ากับ 23.39×10^5 และ 18.46×10^5 ตามลำดับ ซึ่งสารระเหยจะพบทั้งในส่วนเยื่อหุ้มเมล็ดและเนื้อเมล็ดของข้าว ข้าวขัดขาวจะถูกกำจัดเยื่อหุ้มเมล็ดออกในกระบวนการขัดสีจะส่งผลให้มีปริมาณสารระเขยน้อยกว่าข้าวกล้อง

2. อัตราส่วนข้าวต่อน้ำต่อคุณภาพข้าวสุก

ข้าวเปลือกหอมมะลิที่เคยเก็บเกี่ยวในเดือนมีนาคมปี 2558 ถูกนำมาลดความชื้นโดยการตากแดด จนความชื้นลดลงเหลือร้อยละ 14 จากนั้นนำมากะเทาะเปลือกได้เป็นข้าวกล้องและขัดสีได้เป็นข้าวขัดขาว และใช้เป็นชุดการทดลองนำข้าวกล้องของวัตถุดิบที่เป็นข้าวกล้องและข้าวขัดขาวใหม่ บางส่วนมาศึกษาอัตราส่วนข้าวต่อน้ำที่เหมาะสมโดยนำมาหุงสุกโดยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า โดยข้าวกล้องใหม่จะใช้อัตราส่วนข้าวกล้องต่อน้ำ 3 ระดับ ได้แก่ 1:1.5, 1:2 และ 1:2.5 ส่วนข้าวขัดขาวใหม่ จะใช้อัตราส่วนข้าวขัดขาวต่อน้ำ 3 ระดับ ได้แก่ 1:1, 1:1.5 และ 1:2 นอกจากนี้ข้าวกล้องและข้าวขัดขาวใหม่จะถูกนำมาบรรจุในถุงพลาสติกชนิด Nylon/LLDPE ขนาด 15x15 เซนติเมตร บรรจุ น้ำหนักถุง 800 กรัม ในสถานะสุญญากาศ (Vacuum) เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง นาน 6 เดือน ถือเป็นชุดการทดลองที่เป็นข้าวเก่า จากนั้นนำข้าวกล้องและข้าวขัดขาวเก่ามาศึกษาอัตราส่วนข้าวต่อน้ำที่เหมาะสมโดยนำมาหุงสุกโดยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า ข้าวกล้องเก่าจะใช้อัตราส่วนข้าวกล้องต่อน้ำ 3 ระดับ ได้แก่ 1:1.5, 1:2 และ 1:2.5 ส่วนข้าวขัดขาวเก่าจะใช้อัตราส่วนข้าวขัดขาวต่อน้ำ 3 ระดับ ได้แก่ 1:1, 1:1.5 และ 1:2 ข้าวกล้องและข้าวขัดขาวใหม่และเก่าจะถูกนำมาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ เคมี เคมีเชิงฟิสิกส์ และการทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.2.1 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

ข้าวกล้องสุก

ข้าวกล้องใหม่และเก่าจะถูกนำมาหุงโดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อข้าวที่แตกต่างกันและศึกษาสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี ปริมาณ Starchy core และเนื้อสัมผัส พบว่า ระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวและอัตราส่วนข้าวต่อน้ำต่อมีผลต่อค่าสี ($p < 0.05$) เมื่อพิจารณาผลของข้าวที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลานานต่างกัน พบว่า ข้าวเก่ามีค่า L^* ต่ำกว่าข้าวใหม่ ขณะที่ข้าวเก่ามีค่า b^* และ Chroma สูงกว่าข้าวใหม่ ($p < 0.05$) เนื่องจากข้าวที่ผ่านการเก็บรักษาจะสามารถเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด ส่งผลให้ข้าวกล้องมีสีที่เข้มขึ้น (Park *et al.*, 2012; Keawpeang, 2012) และเมื่อพิจารณาผลของอัตราส่วนข้าวต่อน้ำ พบว่า ข้าวกล้องที่หุงด้วยอัตราส่วนน้ำที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า L^* เพิ่มขึ้น ส่วนค่า b^* และ Chroma ลดลง ($p < 0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 12

จากการวิเคราะห์ปริมาณ Starchy core พบว่า ระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวและการใช้อัตราส่วนข้าวต่อน้ำต่างกัน ไม่มีผลต่อปริมาณ Starchy core ($p \geq 0.05$) เมื่อพิจารณาผลของข้าวที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลานานต่างกัน ได้แก่ ข้าวใหม่และข้าวเก่า และอัตราส่วนข้าวต่อน้ำ 3 ระดับ ได้แก่ 1:1.5, 1:2 และ 1:2.5 พบว่า มีปริมาณ Starchy core ไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) ซึ่งข้าวสุกโดยสมบูรณ์จะมีปริมาณ Starchy core เท่ากับ 0 (ตารางที่ 12)

จากการวิเคราะห์ค่าเนื้อสัมผัส พบว่า ระยะเวลาการรักษาข้าวและอัตราส่วนข้าวต่อน้ำมีผลต่อค่าเนื้อสัมผัสของเมล็ดข้าว ($p < 0.05$) เมื่อพิจารณาผลของข้าวที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลาานต่างกัน ได้แก่ ข้าวใหม่และข้าวเก่า พบว่า ข้าวเก่ามีค่าความแข็ง (Hardness) สูงกว่า และมีค่าการเกาะติด (Adhesiveness) ต่ำกว่า ข้าวใหม่ ($p < 0.05$) (ภาพที่ 13) เนื่องจากในระหว่างการเก็บรักษาโปรตีนในเมล็ดข้าวเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้โปรตีนเกิดพันธะไดซัลไฟด์เพิ่มขึ้น (Ohno *et al.*, 2007; Ohno and Ohisa, 2005) นอกจากนี้การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างอะไมโลสและไขมันในระหว่างการเก็บรักษา ส่งผลให้เมล็ดข้าวดูดซับน้ำและการพองตัวได้น้อย ทำให้ข้าวเก่ามีค่าความแข็งสูงกว่าข้าวใหม่ (Keawpeng and Venkatachalam, 2015; Zouh *et al.*, 2002) ขณะที่ข้าวเก่ามีค่าการเกาะติดน้อยกว่าข้าวใหม่ ข้าวจะเกิดการเจลาติไนเซชันในระหว่างการหุงสุก ส่งผลให้อะไมโลสถูกปลดปล่อยออกจากสตาร์ชแกรนูล และมาเคลือบเมล็ดข้าวเป็นฟิล์มบางๆ ซึ่งทำให้ข้าวมีความสามารถในการเกาะติด โดยจะแสดงผลในค่า Adhesiveness ของเมล็ดข้าว ข้าวเก่าจะมีความสามารถในการละลายต่ำจึงส่งผลให้ปริมาณอะไมโลสถูกปลดปล่อยออกเคลือบเป็นฟิล์มได้น้อย จึงมีผลให้ค่า Adhesiveness ลดลง (Bhattacharya, 2011; Zhou *et al.*, 2007; Kohyyama *et al.*, 2005; Jinshui *et al.*, 1999) เมื่อพิจารณาผลของอัตราส่วนข้าวต่อน้ำ พบว่า เมื่อปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความแข็งของเมล็ดข้าวลดลงและค่าการเกาะติดเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Kohyyama และคณะ (2005) ที่ศึกษาผลของอัตราส่วนข้าวต่อน้ำที่มีผลต่อเนื้อสัมผัสของข้าวพันธุ์ Koshihikari โดยนำมาหุงสุกด้วยอัตราส่วนข้าวต่อน้ำเท่ากับ 1:1.5, 1:2.0, 1:3.0 และ 1:4.0 พบว่า เมื่อใช้ปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความแข็งลดลงและค่าการเกาะติดของเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) เนื่องจากในขณะที่หุงสุกเมล็ดข้าวจะดูดซับน้ำเข้าไปเพื่อเกิดการเจลาติไนเซชัน ซึ่งจะทำให้สตาร์ชแกรนูลจะถูกทำลายส่งผลให้เมล็ดมีค่าความแข็งลดลง (Billiris *et al.*, 2012; Kerdpi boon and Charoendee, 2012)

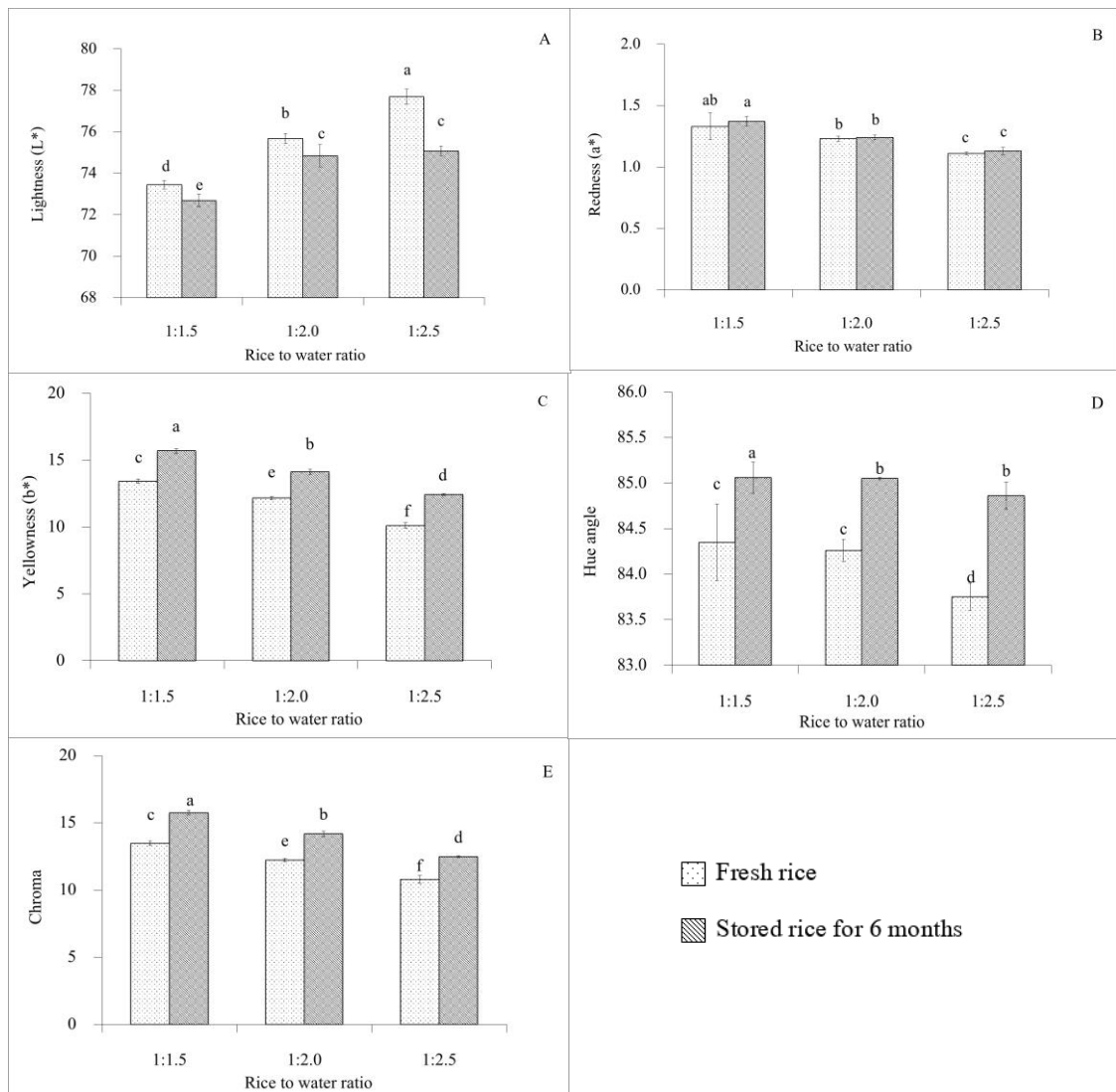


Figure 12 Lightness (A), redness (B), yellowness (C), hue angle (D) and chroma (E) of cooked rice that prepared from fresh and stored Hom Bai Toei brown rice with different rice to water ratios

Note: Means with different letters on each bar indicate significantly different ($p < 0.05$).

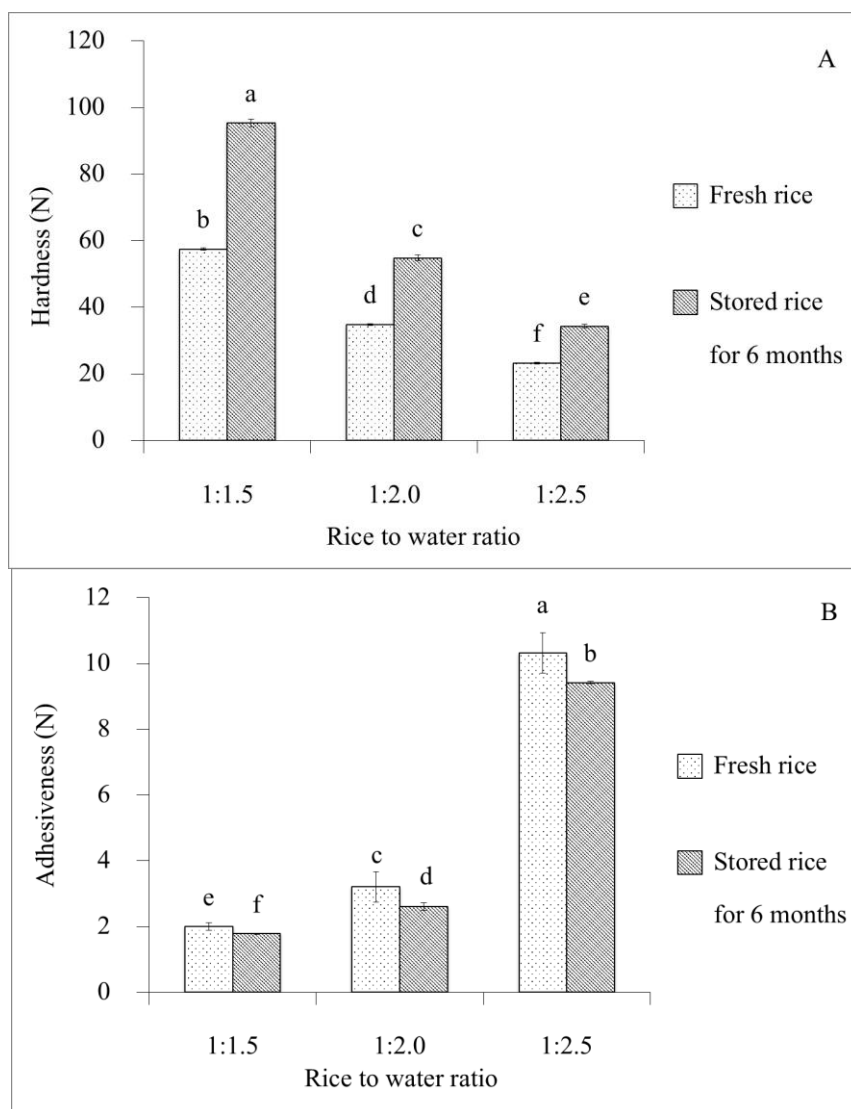


Figure 13 Hardness (A) and adhesiveness (B) of cooked rice that prepared from fresh and stored Hom Bai Toei brown rice with different rice to water ratios

Note: Means with different letters on each bar indicate significantly different ($p < 0.05$).

ข้าวขัดขาวสุก

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพของข้าวขัดขาวใหม่และเก่า โดยนำมาหุงและใช้อัตราส่วนข้าวต่อน้ำที่แตกต่างกัน แล้วติดตามศึกษาค่าสี ปริมาณ Starchy core และเนื้อสัมผัส พบว่าระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวและอัตราส่วนข้าวต่อน้ำมีผลต่อค่าสี ($p < 0.05$) เมื่อพิจารณาผลของข้าวที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลานานต่างกัน ได้แก่ ข้าวใหม่และข้าวเก่า พบว่า เมื่อนำข้าวเก่ามาหุงสุกจะทำให้มีค่า L^* ต่ำกว่าข้าวใหม่ ในขณะที่ข้าวเก่ามีค่า b^* และ Chroma สูงกว่าข้าวใหม่ ($p < 0.05$) และเมื่อ

พิจารณาผลของอัตราส่วนข้าวต่อน้ำ พบว่า ข้าวกล้องที่หุงด้วยอัตราส่วนน้ำที่เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ค่า L^* เพิ่มขึ้น ส่วนค่า b^* และ Chroma ลดลง ($p < 0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 14

จากการวิเคราะห์ปริมาณ Starchy core พบว่า ระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวและการใช้อัตราส่วนข้าวต่อน้ำต่างกัน ไม่มีผลต่อปริมาณ Starchy core ($p \geq 0.05$) เมื่อพิจารณาผลของข้าวที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลานานต่างกัน ได้แก่ ข้าวใหม่และข้าวเก่า และอัตราส่วนข้าวต่อน้ำ 3 ระดับ ได้แก่ 1:1.0, 1:1.5 และ 1:2.0 พบว่า มีปริมาณ Starchy core ไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) ข้าวที่สุกสมบูรณ์จะมีปริมาณ Starchy core เท่ากับ 0 (ตารางที่ 14)

จากการวิเคราะห์ค่าเนื้อสัมผัส พบว่า ระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวและอัตราส่วนข้าวต่อน้ำมีผลต่อค่าเนื้อสัมผัสของเมล็ดข้าว ($p < 0.05$) เมื่อพิจารณาผลของข้าวที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลานานต่างกัน ได้แก่ ข้าวใหม่และข้าวเก่า พบว่า ข้าวเก่ามีค่าความแข็ง (Hardness) สูงกว่า และมีค่าการเกาะติด (Adhesiveness) ต่ำกว่าข้าวใหม่ ($p < 0.05$) และเมื่อพิจารณาผลของอัตราส่วนข้าวต่อน้ำ พบว่า เมื่อปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความแข็งลดลงและค่าการเกาะติดเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) (ภาพที่ 15)

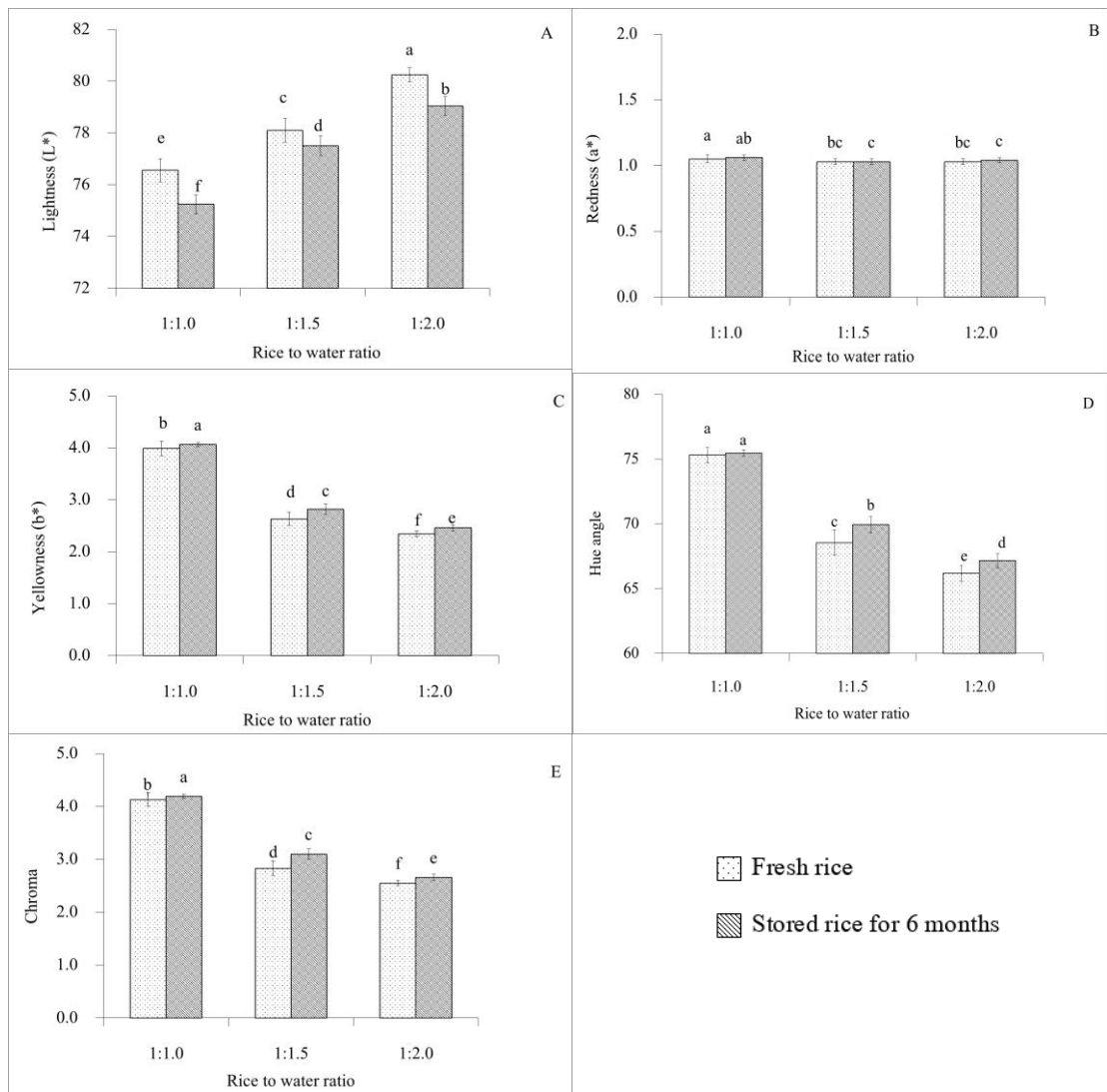


Figure 14 Lightness (A), redness (B), yellowness (C), hue angle (D) and chroma (E) of cooked rice that prepared from fresh and stored Hom Bai Toei milled rice with different rice to water ratios

Note: Means with different letters on each bar indicate significantly different ($p < 0.05$).

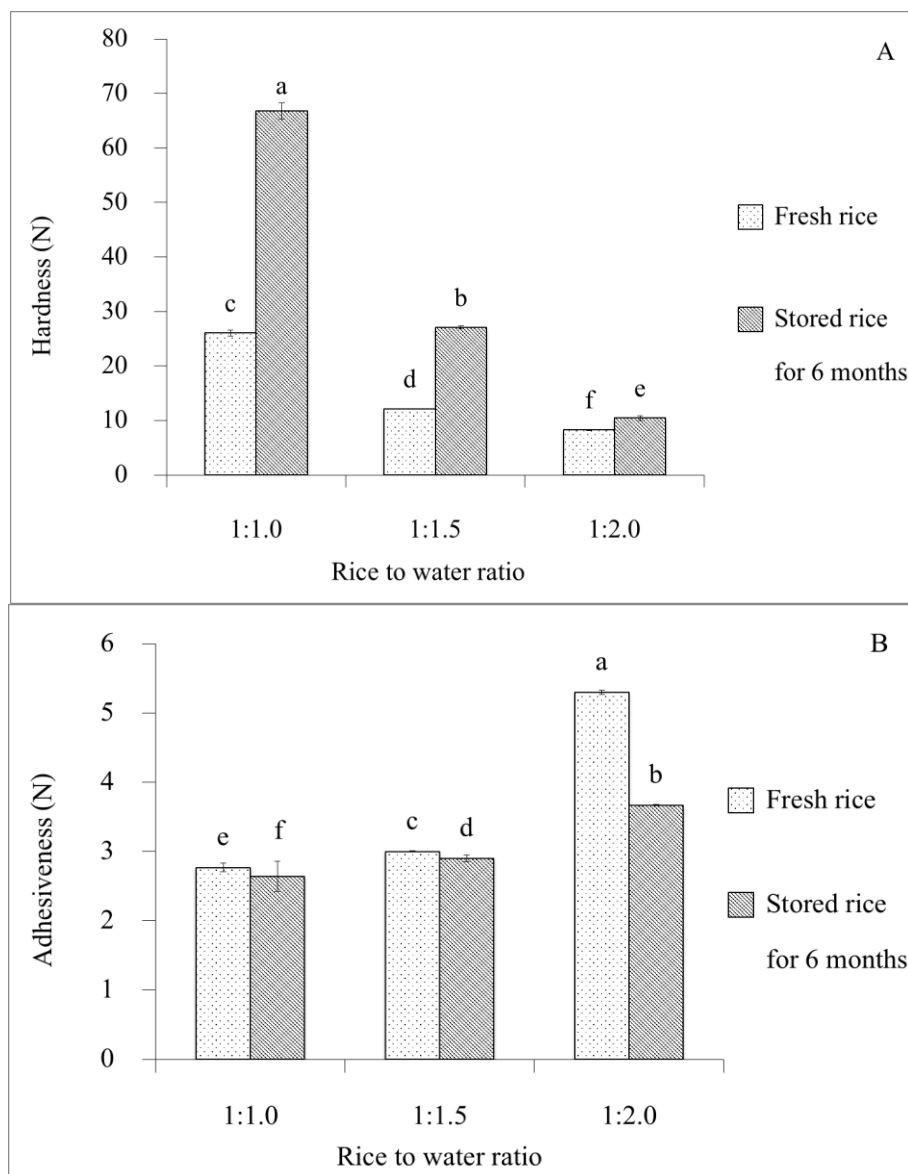


Figure 15 Hardness (A) and adhesiveness (B) of cooked rice prepared from fresh and stored Hom Bai Toei milled rice with different rice to water ratios

Note: Means with different letters on each bar indicate significantly different ($p < 0.05$).

2.2.2 สมบัติทางเคมี

ข้าวกล้องสุก

จากวิเคราะห์ความชื้นของข้าวกล้องสุก พบว่า ระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวและอัตราส่วนข้าวต่อน้ำมีผลต่อค่าความชื้นของเมล็ดข้าว ($p < 0.05$) เมื่อพิจารณาผลของข้าวที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลานานต่างกัน ได้แก่ ข้าวใหม่และข้าวเก่า พบว่า ข้าวใหม่มีปริมาณความชื้นสูงกว่าข้าวเก่า ($p < 0.05$) เนื่องจากในระหว่างการเก็บรักษาข้าวเกิดการเปลี่ยนแปลงระหว่าง โปรตีนจะเกิด

อันตรกิริยากับแกรนูลของสตาร์ช โดยโปรตีนสามารถเกิดพันธะไดซัลไฟด์ส่งผลให้ส่วนที่ไม่ชอบน้ำเพิ่มขึ้นส่งผลต่อการดูดซับน้ำเข้าสู่เมล็ดข้าวน้อย ทำให้ค่าความชื้นในเมล็ดข้าวแก่น้อยกว่าข้าวใหม่ (Keawpeng and Venkatachalam, 2015) เมื่อพิจารณาผลของอัตราส่วนข้าวต่อน้ำ พบว่า เมื่อปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความชื้นเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) (ตารางที่ 12) เนื่องจากอัตราส่วนน้ำที่ใช้ในการหุงเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้น้ำแทรกตัวเข้าสู่ในเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการทดลองของ โจทิพย์ วานิชชัง และคณะ (2556) ที่ศึกษาอัตราส่วนข้าวต่อน้ำที่เหมาะสมต่อการผลิตข้าวหุงสุกเร็ว โดยนำข้าวกล้องและข้าวขัดขาวพันธุ์ปทุมธานี 1 หุงสุกโดยใช้อัตราส่วนข้าวกล้องต่อน้ำเท่ากับ 1:2.0, 1:2.5 และ 1:3.0 ตามลำดับ ส่วนข้าวขัดขาวนำมาหุงโดยใช้อัตราส่วนข้าวขัดขาวต่อน้ำเท่ากับ 1:1.3, 1:1.6 และ 1:2.0 ตามลำดับ เมื่อปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความชื้นเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) และสอดคล้องกับการศึกษาของ Billiris และคณะ (2012) ที่ศึกษาอัตราส่วนข้าวต่อน้ำที่มีผลต่อคุณภาพของข้าวสุก โดยนำข้าวกล้องมาหุงโดยใช้อัตราส่วนข้าวกล้องต่อน้ำเท่ากับ 1:1.5, 1:1.75, 1:2, 1:2.25 และ 1:2.50 พบว่า เมื่อปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นจะทำให้ให้น้ำแทรกตัวเข้าสู่ในเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความชื้นในเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$)

จากการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารระเหยในข้าวกล้องหอมใบเตยใหม่และเก่า (เดือนที่ 6) ที่หุงสุกโดยใช้อัตราส่วนข้าวต่อน้ำเท่ากับ 1:2.0 พบว่า สารระเหยในข้าวกล้องใหม่และเก่า ได้แก่ Hexanal, Furan, 2-Acethyl-1-pyrroline, Pentacosane, Heneicosane, Benzothiazole, 2-Methyl-4-vinylphenol และ Vanillin โครมาโทแกรมของข้าวกล้องหอมใบเตยเก่า (เดือนที่ 6) และใหม่ที่หุงโดยใช้อัตราส่วนข้าวต่อน้ำเท่ากับ 1:2.0 แสดงในภาพภาคผนวกที่ 3 โดยปริมาณสารระเหยในข้าวกล้องและข้าวขัดขาวหอมใบเตยจะแสดงเป็นค่าพื้นที่พีคของสารระเหย การหุงสุกข้าวกล้องใหม่และเก่าจะทำให้มีสาร Furan เกิดขึ้น เนื่องจากกระบวนการให้ความร้อน (Piyachaiseth and Chaiseri, 2011) ปริมาณ Furan ของข้าวกล้องใหม่และเก่าเท่ากับ 4.08×10^5 และ 4.09×10^5 ตามลำดับ ข้าวกล้องใหม่จะมีปริมาณ 2-Acethyl-1-pyrroline สูงกว่าข้าวกล้องเก่า โดยปริมาณ 2-Acethyl-1-pyrroline ของข้าวกล้องใหม่และเก่า เท่ากับ 18.52×10^5 และ 14.11×10^5 ตามลำดับ ข้าวเก่าเป็นข้าวที่ผ่านการเก็บรักษาจึงทำให้มีปริมาณ 2-Acethyl-1-pyrroline ลดลง ขณะที่ปริมาณสาร Hexanal ของข้าวกล้องเก่าสูงกว่าข้าวใหม่ เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันของในเมล็ดข้าวระหว่างการเก็บรักษา ทำให้เกิดเป็นสารเพอร์ออกไซด์ จากนั้นสารเพอร์ออกไซด์จะถูกเปลี่ยนไปเป็นแอลดีไฮด์ (Tananuwong and Lertsiri, 2010; Shahidi and Zhong, 2005; Marsili, 2002; Zhou *et al.*, 2002) ปริมาณ Hexanal ของข้าวใหม่และเก่าเท่ากับ 4.02×10^5 และ 5.07×10^5 ตามลำดับ (ตารางที่ 13)

Table 12 Length, breadth, L/B, elongation ratio, moisture and water uptake of cooked rice that prepared from fresh rice and stored Hom Bai Toie brown rice with different rice to water ratios

Rice	Rice to water ratio	Length (L) (cm)	Breadth (B) (cm)	L/B	Elongation ratio	Moisture (%)	Water uptake	Starchy core (%)
Fresh rice	1:1.5	0.83±0.01 ^c	0.24±0.00 ^{bc}	3.46±0.06 ^d	1.14±0.02 ^e	53.47±0.24 ^c	1.94±0.04 ^c	0.00±0.00 ^{ns}
	1:2.0	0.89±0.03 ^c	0.25±0.01 ^b	3.63±0.16 ^c	1.23±0.04 ^c	60.70±0.23 ^c	2.40±0.02 ^b	0.00±0.00 ^{ns}
	1:2.5	0.99±0.00 ^a	0.26±0.01 ^a	3.85±0.12 ^b	1.37±0.01 ^a	66.83±0.16 ^a	2.57±0.05 ^a	0.00±0.00 ^{ns}
Stored rice for 6 months	1:1.5	0.79±0.05 ^f	0.23±0.00 ^e	3.38±0.20 ^d	1.09±0.07 ^f	51.36±0.20 ^f	1.83±0.02 ^d	0.00±0.00 ^{ns}
	1:2.0	0.87±0.01 ^d	0.24±0.00 ^c	3.62±0.06 ^c	1.20±0.02 ^d	56.72±0.12 ^d	1.91±0.01 ^c	0.00±0.00 ^{ns}
	1:2.5	0.95±0.01 ^b	0.24±0.00 ^c	3.93±0.08 ^a	1.31±0.03 ^b	63.39±0.27 ^b	2.46±0.05 ^b	0.00±0.00 ^{ns}

Note: Means with different letters in the same column are significantly different ($p < 0.05$).

ns in the same column is non-significantly different ($p \geq 0.05$).

จากวิเคราะห์ความชื้นของข้าวขัดขาวสุก พบว่า ระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวและอัตราส่วนข้าวต่อน้ำมีผลต่อความชื้นของเมล็ดข้าว ($p < 0.05$) เมื่อพิจารณาผลของข้าวที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลานานต่างกัน ได้แก่ ข้าวใหม่และข้าวเก่า พบว่า ข้าวใหม่มีปริมาณความชื้นสูงกว่าข้าวเก่า ($p < 0.05$) เมื่อพิจารณาผลของอัตราส่วนข้าวต่อน้ำ พบว่า เมื่อปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความชื้นเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 14

จากการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารระเหยในข้าวขัดขาวหอมใบเตยเก่าและใหม่ที่หุงโดยอัตราส่วนข้าวต่อน้ำเท่ากับ 1:1.5 พบว่า สารระเหยในข้าวขัดขาวใหม่ ได้แก่ Hexanal, Furan, 2-Acethyl-1-pyrroline, Pentacosane, Heneicosane, Benzothiazole, 2-Methyl-4-vinylphenol และ vanillin โครมาโทแกรมของข้าวขัดขาวหอมใบเตยใหม่และเก่า (เดือนที่ 6) ที่หุงโดยใช้อัตราส่วนข้าวต่อน้ำเท่ากับ 1:1.5 แสดงในภาพภาคผนวกที่ 4 ปริมาณ Furan ของข้าวขัดขาวเก่าและใหม่เท่ากับ 4.13×10^5 และ 4.10×10^5 ตามลำดับ โดยข้าวขัดขาวใหม่จะมีปริมาณ 2-Acethyl-1-pyrroline สูงกว่าข้าวขัดขาวเก่า ซึ่งปริมาณ 2-Acethyl-1-pyrroline ของข้าวขัดขาวใหม่และเก่า เท่ากับ 14.57×10^5 และ 12.35×10^5 ตามลำดับ ขณะที่ปริมาณสาร Hexanal ของข้าวกล้องเก่าสูงกว่าข้าวใหม่ ปริมาณ Hexanal ของข้าวใหม่และเก่าเท่ากับ 3.12×10^5 และ 4.12×10^5 ตามลำดับ (ตารางที่ 13)

Table 13 Type and content of volatile compound of cooked rice that prepared from fresh and stored Hom Bai Toie brown rice and milled rice with rice to water ratios as 1:2 and 1:1.5

Rice	Compound	Odor description	Retention time (Min)	Peak area ($\times 10^5$)	
				Brown rice	Milled rice
Fresh rice	Hexanal	Green, grass-like	4.84	4.02	3.12
	Furan	Caramel-like, Sweet	9.12	4.09	4.08
	2-Acetyl-1-pyrroline	Sweet	11.00	18.52	14.57
	Pentacosane	Fruity	22.19	4.01	3.12
	Heneicosane	Fruity	31.14	4.36	3.75
	Benzo[thiazole]	Fruity, floral	35.36	3.64	2.31
	2-Methyl-4-vinylphenol	Apple-like	38.02	15.64	12.07
	Vanillin	Vanilla-like	41.50	2.4	2.03

Note: Odor description reference: <http://www.thegoodscentscompany.com/rawmatex.html>, <http://www.flavornet.org/flavornet.html>

Table 13 Continue

Rice	Compound	Odor description	Retention time (Min)	Peak area (x10 ⁵)	
				Brown rice	Milled rice
Stored rice	Hexanal	Green, grass-like	4.84	5.07	4.12
	Furan	Caramel-like, Sweet	9.12	4.13	4.10
	2-Acetyl-1-pyrroline	Sweet	11.00	14.11	12.35
	Nonadecane	Green	12.90	10.43	5.11
	Pentacosane	Fruity	22.19	4.01	3.12
	Heneicosane	Fruity	31.14	4.12	3.75
	Benzothiazole	Fruity, floral	35.36	3.05	2.31
	2-Methyl-4-vinylphenol	Apple-like	38.02	15.34	12.07
	Vanillin	Vanilla-like	41.50	2.6	2.03

Note: Odor description reference: <http://www.thegoodscentscompany.com/rawmatex.html>, <http://www.flavornet.org/flavornet.html>

2.2.3 สมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์

ข้าวกล้องสุก

การวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับน้ำของข้าวกล้องสุก พบว่า ระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวและอัตราส่วนข้าวต่อน้ำมีผลต่อความสามารถในการดูดซับน้ำของเมล็ดข้าว ($p < 0.05$) เมื่อพิจารณาผลของข้าวที่เก็บรักษาเป็นเวลานานต่างกัน ได้แก่ ข้าวใหม่และข้าวเก่า พบว่า ข้าวใหม่มีความสามารถในการดูดซับน้ำสูงกว่าข้าวเก่า ($p < 0.05$) เนื่องจากข้าวเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างในระหว่างการเก็บรักษา ในระหว่างการเก็บรักษาโปรตีนในเมล็ดข้าวสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้โปรตีนเกิดพันธะไดซัลไฟด์เพิ่มขึ้น (Ohno and Ohisa, 2005) นอกจากนี้การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างอะไมโลสและไขมันในระหว่างการเก็บรักษาข้าว (Keawpeng and Venkatachalam, 2015; Zouh *et al.*, 2002) ส่งผลให้เมล็ดข้าวมีความสามารถในการดูดซับน้ำลดลง เมื่อพิจารณาผลของอัตราส่วนข้าวต่อน้ำ พบว่า เมื่อปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) (ตารางที่ 12)

จากวิเคราะห์อัตราการยืดตัวของข้าวกล้องสุก พบว่า ระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวและอัตราส่วนข้าวต่อน้ำมีผลต่ออัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าว ($p < 0.05$) เมื่อพิจารณาผลของข้าวที่เก็บรักษาเป็นเวลานานต่างกัน ได้แก่ ข้าวใหม่และข้าวเก่า พบว่า ข้าวใหม่มีอัตราการยืดตัวสูงกว่าข้าวเก่า ($p < 0.05$) เมื่อพิจารณาผลของอัตราส่วนข้าวต่อน้ำ พบว่า เมื่อปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการยืดตัวเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 12 สอดคล้องกับ Kerdpiboon และ Charoende (2012) ที่ศึกษาผลของอัตราส่วนข้าวต่อน้ำของข้าวฮางในระหว่างการหุงสุก โดยนำข้าวฮางมาหุงสุกโดยใช้อัตราส่วนข้าวต่อน้ำเท่ากับ 2:1, 1:1, 1:2 and 1:3 พบว่า เมื่อปริมาณน้ำที่ใช้ในการหุงสุกเพิ่มขึ้น ส่งผลให้อัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) เนื่องจากปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้แกรนูลของสตาร์ชดูดซับน้ำและเกิดการพองตัว ขยายตัวได้เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังส่งผลต่อการทำลายเยื่อหุ้มเมล็ด ส่งผลให้เมล็ดข้าวสามารถยืดตัวได้เพิ่มขึ้น (Briffaza *et al.*, 2014; Bett-Garber *et al.*, 2007)

ข้าวขัดขาวสุก

จากการวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับน้ำของข้าวขัดขาวสุก พบว่า ระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวและอัตราส่วนข้าวต่อน้ำมีผลต่อความสามารถในการดูดซับน้ำของเมล็ดข้าว ($p < 0.05$) เมื่อพิจารณาผลของข้าวที่เก็บรักษาเป็นเวลานานต่างกัน ได้แก่ ข้าวใหม่และข้าวเก่า พบว่า ข้าวใหม่มีความสามารถในการดูดซับน้ำสูงกว่าข้าวเก่า ($p < 0.05$) ลดลง เมื่อพิจารณาผลของอัตราส่วนข้าวต่อน้ำ พบว่า เมื่อปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) นอกจากนี้พบว่า ระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวและอัตราส่วนข้าวต่อน้ำมีผลต่ออัตราการยืดตัวของ

เมล็ดข้าว ($p < 0.05$) เมื่อพิจารณาผลของข้าวที่รักษาเป็นระยะเวลาต่างกัน ได้แก่ ข้าวใหม่และข้าวเก่า พบว่า ข้าวใหม่มีอัตราการยีสต์สูงกว่าข้าวเก่า ($p < 0.05$) เมื่อพิจารณาผลของอัตราส่วนข้าวต่อน้ำ พบว่า เมื่อปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นส่งผลให้ข้าวสุกมีอัตราการยีสต์เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 14)

ข้าวกล้องเก่าที่ไม่ผ่านการหุงสุกและข้าวกล้องเก่าสุกที่หุงด้วยอัตราส่วนข้าวต่อน้ำเท่ากับ 1:1.5, 1:2.0 และ 1:2.5 และข้าวขัดขาวเก่าที่ไม่ผ่านการหุงสุกและข้าวขัดขาวเก่าสุกที่หุงด้วยอัตราส่วนข้าวต่อน้ำเท่ากับ 1:1.0, 1:1.5 และ 1:2.0 ถูกนำมาการวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาคที่กำลังขยาย 50, 100, 2000 และ 5000 เท่า โดยมีรายละเอียดดังนี้

ข้าวกล้อง

จากการวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาคข้าวกล้องเก่าที่ไม่ผ่านการหุงสุกและข้าวกล้องเก่าสุกที่กำลังขยาย 50 เท่า พบว่า ข้าวกล้องสุกเกิดการขยายตัวได้มากกว่าข้าวกล้องเก่าที่ไม่ผ่านการหุงสุก นอกจากนี้ข้าวกล้องสุกเกิดรอยแยกที่ท้องข้าว (ภาพที่ 16A และ 16E) เนื่องจากในระหว่างการหุงสุก เมล็ดข้าวดูดซึมน้ำเข้าไปในเมล็ดและเกิดการเจลาติไนเซชัน เมื่อพิจารณาผลของอัตราส่วนข้าวต่อน้ำ พบว่า เมื่อปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นส่งผลให้ขนาดของเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้น ข้าวกล้องเก่าสุกมีรอยแยกที่ส่วนท้องข้าวเพิ่มขึ้น ซึ่งรอยแยกของเมล็ดข้าวมี 2 ลักษณะ คือ รอยแยกของเมล็ดขอบนอก และมีรอยลึกเข้าไปในเมล็ด โดยข้าวกล้องเก่าที่หุงสุกด้วยอัตราส่วนข้าวต่อน้ำเท่ากับ 1:1.5 มีรอยแยกและรอยลึกน้อยกว่าข้าวกล้องเก่าสุกที่หุงด้วยอัตราส่วนข้าวต่อน้ำเท่ากับ 1:2.0 และ 1:2.5 โดยรอยแยกของข้าวกล้องเก่าสุกที่หุงด้วยอัตราส่วนข้าวต่อน้ำ 1:1.5, 1:2.0 และ 1:2.5 มีความยาวเท่ากับ 458, 1,150 และ 1,580 ไมโครเมตร ตามลำดับ รอยลึกของข้าวกล้องเก่าสุกที่หุงด้วยอัตราส่วนข้าวต่อน้ำ 1:1.5 และ 1:2.0 มีความลึกเท่ากับ 600 และ 769 ไมโครเมตร ตามลำดับ ส่วนข้าวกล้องเก่าสุกที่หุงด้วยอัตราส่วนข้าวต่อน้ำ 1:2.5 มีรอยลึกเกิดขึ้น 2 รอย ซึ่งมีความลึกเท่ากับ 1,250 และ 50 ไมโครเมตร ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นส่งผลให้ขนาดของเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมล็ดข้าวเกิดการขยายตัวโดยขนาดของเมล็ดข้าวที่หุงด้วยอัตราส่วนข้าวต่อน้ำ 1:1.5, 1:2.0 และ 1:2.5 เท่ากับ 2,330, 2,460 และ 2,600 ไมโครเมตร ตามลำดับ (ภาพที่ 16E, 16I และ 16M)

Table 14 Length, breadth, L/B, elongation ratio, moisture and water uptake of cooked rice that prepared from fresh rice and stored Hom Bai Toie milled rice with different rice to water ratios

Rice	Rice to water ratio	Length (L) (cm)	Breadth (B) (cm)	L/B	Elongation ratio	Moisture (%)	Water uptake	Starchy core (%)
Fresh rice	1:1.0	0.88±0.04 ^c	0.24±0.01 ^b	3.64±0.26 ^c	1.22±0.05 ^c	54.48±0.82 ^c	2.02±0.03 ^d	0.00±0.00 ^{ns}
	1:1.5	1.16±0.02 ^c	0.24±0.01 ^{ab}	4.59±0.22 ^c	1.62±0.03 ^c	59.21±0.18 ^c	2.12±0.02 ^c	0.00±0.00 ^{ns}
	1:2.0	1.27±0.01 ^a	0.25±0.01 ^a	5.28±0.29 ^a	1.76±0.02 ^a	71.32±0.25 ^a	2.48±0.04 ^a	0.00±0.00 ^{ns}
Stored rice for 6 months	1:1.0	0.82±0.01 ^f	0.23±0.01 ^c	3.53±0.17 ^c	1.14±0.01 ^f	53.36±0.29 ^f	1.52±0.03 ^f	0.00±0.00 ^{ns}
	1:1.5	1.05±0.03 ^d	0.23±0.01 ^{bc}	4.51±0.30 ^d	1.46±0.04 ^d	60.67±0.27 ^d	1.97±0.04 ^c	0.00±0.00 ^{ns}
	1:2.0	1.25±0.01 ^b	0.24±0.01 ^{ab}	5.27±0.33 ^b	1.73±0.02 ^b	66.79±0.59 ^b	2.37±0.03 ^b	0.00±0.00 ^{ns}

Note: Means with the different letters in the same column are significantly different ($p < 0.05$).

ns in the same column is non-significantly different ($p \geq 0.05$).

เมื่อพิจารณาภาพตัดขวางของข้าวกล้องเก่าที่ไม่ผ่านการหุงสุกและข้าวกล้องเก่าสุกที่กำลังขยาย 100 เท่า พบว่า ข้าวกล้องเก่าที่ไม่ผ่านการหุงสุกมีความหนาของชั้นเยื่อหุ้มเมล็ดน้อยกว่าข้าวกล้องเก่าสุก (ภาพที่ 16B และ 16F) เมื่อพิจารณาผลของอัตราส่วนข้าวต่อน้ำ พบว่า เมื่อปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความหนาของเยื่อหุ้มเมล็ดของข้าวกล้องสุกเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 16F, 16J และ 16N) เมื่อพิจารณาภาพตัดขวางของข้าวกล้องเก่าที่ไม่ผ่านการหุงสุกและข้าวกล้องเก่าสุกที่กำลังขยาย 2000 เท่า พบว่า ข้าวกล้องเก่าที่ไม่ผ่านการหุงสุกจะประกอบด้วยเยื่อหุ้มเมล็ด 3 ชั้น ได้แก่ 1. ชั้นคิวทิคิล (Cuticular layer) ซึ่งประกอบด้วยชั้นเพอร์ริคาร์ป (Pericarp) และ ชั้นเทสตา (Testa) 2. ชั้นแอลิวโลน (Aleurone layer) 3. เนื้อแป้ง (Endosperm) ส่วนข้าวกล้องเก่าสุก พบว่า เยื่อหุ้มเมล็ดเกิดช่องว่างระหว่างชั้นเพอร์ริคาร์ป (Pericarp) และชั้นเทสตา (Testa) นอกจากนี้ชั้นแอลิวโลนเกิดการขยายตัว (ภาพที่ 16C และ 16G) เนื่องจากการให้ความร้อนในระหว่างการหุงสุก (Wu *et al.*, 2016) เมื่อปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นส่งผลให้เยื่อหุ้มเมล็ดของข้าวกล้องเก่าสุกเกิดช่องว่างระหว่างเยื่อหุ้มชั้นเพอร์ริคาร์ป (Pericarp) และชั้นเทสตา (Testa) และชั้นแอลิวโลน (Aleurone layer) เกิดการขยายตัวเพิ่มขึ้น เนื่องจากการให้ความร้อนในระหว่างการหุงสุก (Wu *et al.*, 2016) (ภาพที่ 16H, 16L และ 16P) เมื่อพิจารณาภาพสตัดร์ชของข้าวกล้องเก่าที่ไม่ผ่านการหุงสุกและข้าวกล้องเก่าสุกที่กำลังขยาย 5000 เท่า พบว่า รูปร่างของสตัดร์ชของข้าวกล้องเก่าที่ไม่ผ่านการหุงสุกจะมีลักษณะรูปร่างหลายเหลี่ยม จัดเรียงตัวกันแน่นภายในส่วนของเนื้อเมล็ด (Watson and Dikemen, 1997) (ภาพที่ 16D) ส่วนข้าวกล้องสุก พบว่า สตัดร์ชแกรนูลจะถูกทำลาย (ภาพที่ 16H) เนื่องจากกระบวนการ เกลาติไนเซชัน (Wu *et al.*, 2016; Leelayuthsoontorn and Thipayarat, 2006) และเมื่อพิจารณาผลของอัตราส่วนข้าวต่อน้ำ พบว่า เมื่อปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นส่งผลให้สตัดร์ชแกรนูลเกิดการเกลาติไนเซชันและมีลักษณะพื้นผิวของสตัดร์ชแกรนูลเรียบขึ้น (ภาพที่ 16H, 16L และ 16P)

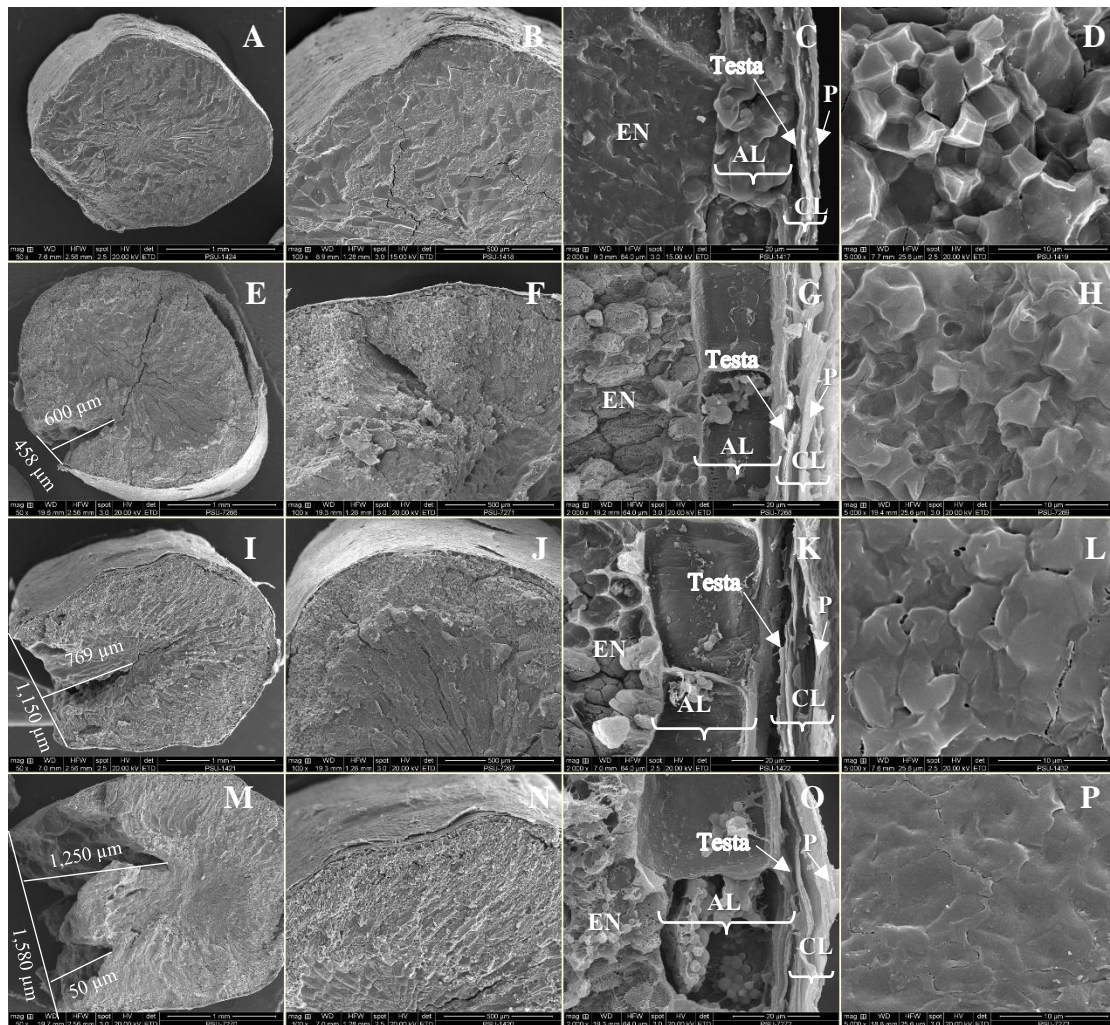


Figure 16 Cross section of raw HBTBR (A), cooked HBTBR with rice to water ratios as 1:1.5 (E), 1:2.0 (I) and 1:2.5 (M), cross section of raw HBTBR (B), cooked HBTBR with rice to water ratios as 1:1.5 (F), 1:2.0 (J) and 1:2.5 (N), cross section of outer layer of raw HBTBR (C), cooked HBTBR with rice to water ratios as 1:1.5 (G), 1:2.0 (K) and 1:2.5 (O), starch granule of raw HBTBR (D), cooked HBTBR with rice to water ratios as 1:1.5 (H), 1:2.0 (L) and 1:2.5 (P) observed by SEM (accelerating voltage 20 kV, magnification 50X, 100X, 2000X and 5000X)

Note: HBTBR; Hom Bai Toie brown rice, P; Pericarp, CL; Cuticular layer, AL; Aleurone layer, EN; Endosperm

ข้าวขัดขาวสุก

จากการวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาคของข้าวขัดขาวเก่าที่ไม่ผ่านการหุงสุกและข้าวขัดขาวเก่าสุกที่กำลังขยาย 50 เท่าพบว่า ข้าวขัดขาวสุกมีขนาดใหญ่กว่าข้าวขัดขาวเก่าที่ไม่ผ่านการหุงสุก (ภาพที่ 17A และ 17E) เนื่องจากเมล็ดข้าวดูดซับน้ำและเกิดการพองตัวในระหว่างการหุงสุก เมื่อพิจารณาผลของอัตราส่วนข้าวต่อน้ำ พบว่า เมื่อปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นส่งผลให้ขนาดของเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมล็ดข้าวเกิดการขยายตัวโดยขนาดของเมล็ดข้าวที่หุงด้วยอัตราส่วนข้าวต่อน้ำ 1:1.0, 1:1.5 และ 1:2.0 เท่ากับ 2,210, 2,310 และ 2,500 ไมโครเมตร ตามลำดับ ตามลำดับ (ภาพที่ 17E, 17I และ 17M) เมื่อพิจารณาภาพตัดขวางของข้าวขัดขาวเก่าที่ไม่ผ่านการหุงสุกและข้าวขัดขาวเก่าสุกที่กำลังขยาย 100 เท่าพบว่า ข้าวขัดขาวเก่าสุกเกิดชั้นฟิล์มมาเคลือบที่เมล็ดในระหว่างการหุงสุก (ภาพที่ 17B) แต่ไม่พบในข้าวขัดขาวเก่าที่ไม่ผ่านการหุงสุก (ภาพที่ 17F) เมื่อพิจารณาผลของอัตราส่วนข้าวต่อน้ำ พบว่า เมื่อปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นส่งผลให้ชั้นฟิล์มของข้าวขัดขาวสุกมีความหนาเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 17F, 17J และ 17N) เมื่อพิจารณาภาพตัดขวางของข้าวขัดขาวเก่าที่ไม่ผ่านการหุงสุกและข้าวขัดขาวเก่าสุกที่กำลังขยาย 2000 เท่า พบว่า ข้าวขัดขาวเก่าที่ไม่ผ่านการหุงสุกจะไม่มีชั้นเยื่อหุ้มเมล็ดแต่จะมีส่วนของเนื้อแป้ง (Endosperm) ส่วนข้าวขัดขาวเก่าสุกจะมีชั้นฟิล์มเคลือบเมล็ด (ภาพที่ 17C และ 17K) เมื่อพิจารณาผลของอัตราส่วนข้าวต่อน้ำ พบว่า ข้าวขัดขาวที่สุกด้วยอัตราส่วนข้าวต่อน้ำเท่ากับ 1:1.0 เกิดชั้นฟิล์มน้อยมาก และเมื่อปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นส่งผลให้ชั้นฟิล์มของข้าวขัดขาวสุกเพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกับ Tamura และ Ogawa (2012) ที่ศึกษาปริมาณน้ำต่อการเกิดชั้นฟิล์มของข้าวขัดขาวสุก โดยนำข้าวขัดขาวมาหุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้าที่อัตราส่วนข้าวต่อน้ำเท่ากับ 1:1.0, 1:1.5 และ 1:2.0 พบว่า ข้าวขัดขาวสุกที่หุงโดยใช้อัตราส่วนข้าวต่อน้ำ เท่ากับ 1:1.0 เกิดชั้นฟิล์มน้อยมากและไม่ชัดเจน ข้าวขัดขาวสุกที่หุงโดยใช้อัตราส่วนข้าวต่อน้ำ เท่ากับ 1:1.5 และ 1:2.0 จะเกิดชั้นฟิล์มเพิ่มขึ้น เนื่องจากในระหว่างการหุงสุกเมล็ดข้าวจะเกิดการเจลาติไนเซชันส่งผลให้อะไมโลสและอะไมโลเพกทินถูกปลดปล่อยออกมาจากสตาร์ชแกรนูลและเกิดเป็นฟิล์มมาเคลือบเมล็ดข้าวสุก (Bhattacharya, 2011; Leelayuthsoontorn and Thipayarat, 2006) (ภาพที่ 17G, 17K และ 17O) เมื่อพิจารณาภาพสตาร์ชแกรนูลของข้าวขัดขาวเก่าที่ไม่ผ่านการหุงสุกและข้าวขัดขาวเก่าสุกที่กำลังขยาย 5000 เท่า พบว่า ข้าวขัดขาวเก่าที่ไม่ผ่านการหุงสุกจะมีลักษณะรูปร่างของสตาร์ชรูปร่างหลายเหลี่ยม จัดเรียงตัวกันแน่นภายในส่วนของเนื้อเมล็ด (Watson and Dikemen, 1997) ดังแสดงในภาพที่ 17D ส่วนข้าวขัดขาวเก่าสุก พบว่า สตาร์ชแกรนูลจะถูกทำลาย (ภาพที่ 17H) เนื่องจากกระบวนการเจลาติไนเซชัน (Wu *et al.*, 2016; Leelayuthsoontorn and Thipayarat, 2006) และเมื่อพิจารณาผลของอัตราส่วนข้าวต่อน้ำ พบว่า เมื่อปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นส่งผลให้สตาร์ชแกรนูลเกิดการเจลาติไนเซชันและพื้นผิวของสตาร์ชแกรนูลมีลักษณะเรียบขึ้น (ภาพที่ 17H, 17L และ 17P)

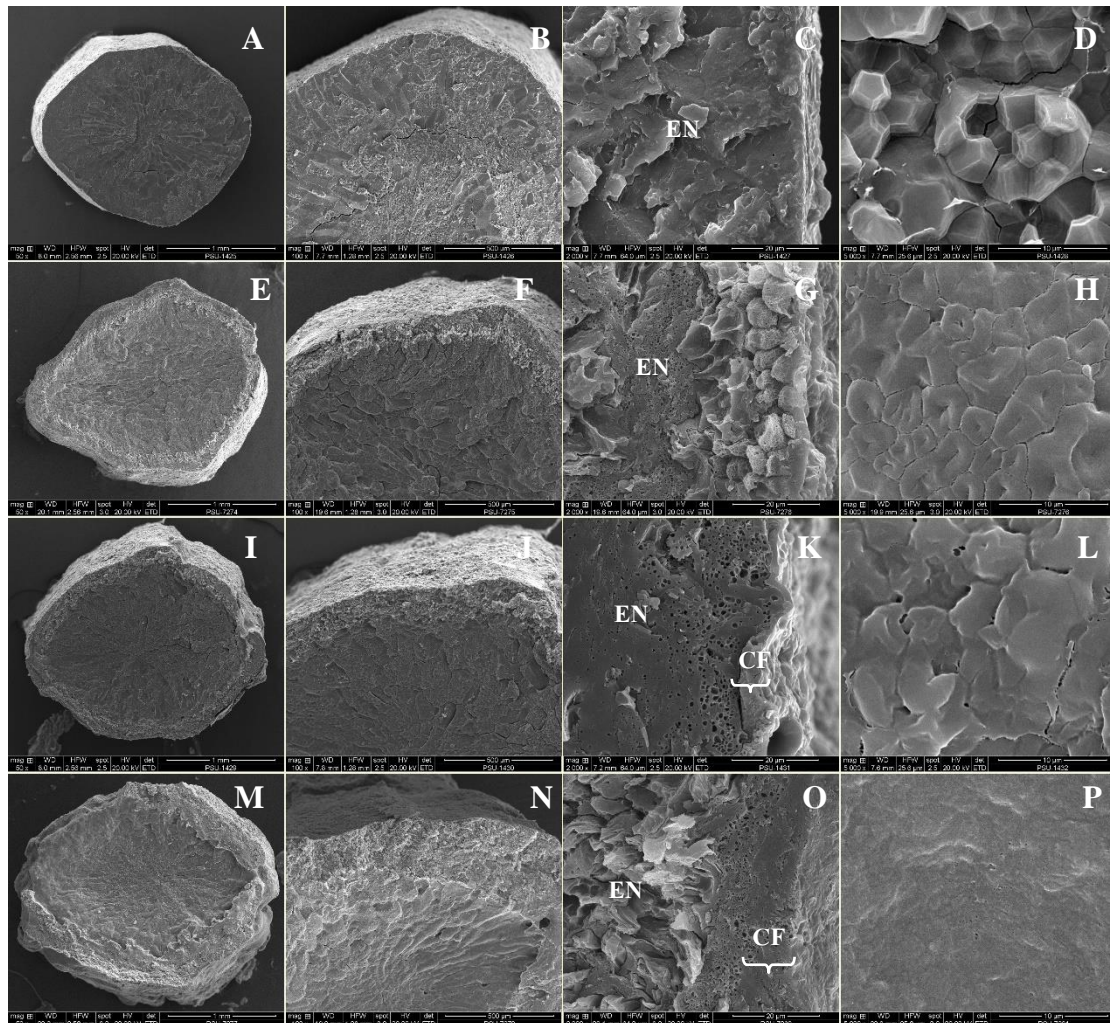


Figure 17 Cross section of raw HBTMR (A), cooked HBTMR with rice to water ratios as 1:1.0 (E), 1:1.5 (I) and 1:2.0 (M), cross section of raw HBTMR (B), cooked HBTMR with rice to water ratios as 1:1.0 (F), 1:1.5 (J) and 1:2.0 (N), cross section of outer layer of raw HBTMR (C), cooked HBTMR with rice to water ratios as 1:1.0 (G), 1:1.5 (K) and 1:2.0 (O), starch granule of raw HBTMR (D), cooked HBTMR with rice to water ratios as 1:1.0 (H), 1:1.5 (L) and 1:2.0 (P) observed by SEM (accelerating voltage 20 kV, magnification 50X, 100X, 2000X and 5000X)

Note: HBTMR; Hom Bai Toie milled rice, EN; Endosperm, CF; Coated film

2.2.4 การทดสอบทางประสาทสัมผัส

ข้าวกล้องสุก

การทดสอบทางประสาทสัมผัสของข้าวกล้องที่หุงด้วยอัตราส่วนข้าวต่อน้ำที่แตกต่างกัน ซึ่งจะพิจารณาจากคะแนนความชอบทางด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบโดยรวม ด้วยวิธี 9-point Hedonic scale จากการทดลอง พบว่า ระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวและอัตราส่วนข้าวต่อน้ำมีผลต่อคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น เนื้อสัมผัส รสชาติและความชอบโดยรวม ($p < 0.05$) เมื่อพิจารณาผลของข้าวที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลาต่างกัน ได้แก่ ข้าวใหม่และข้าวเก่า พบว่า ข้าวกล้องใหม่จะได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่นหอมใบเตยที่สูงกว่าข้าวกล้องเก่า ($p < 0.05$) อย่างไรก็ตามข้าวกล้องเก่าได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมสูงกว่าข้าวกล้องใหม่ ($p < 0.05$) เนื่องจากข้าวเก่าที่นำมาหุงสุกมีลักษณะที่ร้อน ไม้และ และไม้เกาะกันเป็นก้อน จึงทำให้ได้รับคะแนนความชอบสูงกว่าข้าวใหม่ และเมื่อพิจารณาอัตราส่วนน้ำต่อข้าว พบว่า ข้าวกล้องใหม่และเก่าที่หุงด้วยอัตราส่วนข้าวต่อน้ำ 1:2.0 และ 1:1.5 ตามลำดับได้รับคะแนนความชอบในด้านปรากฏ สี กลิ่น เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบโดยรวมสูงสุด ($p < 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 15

ข้าวขัดขาวสุก

การทดสอบทางประสาทสัมผัสของข้าวขัดขาวที่หุงด้วยอัตราส่วนข้าวต่อน้ำที่แตกต่างกัน พบว่า ระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวและอัตราส่วนข้าวต่อน้ำมีผลต่อคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบโดยรวม ($p < 0.05$) เมื่อพิจารณาผลของข้าวที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลาต่างกัน ได้แก่ ข้าวใหม่และข้าวเก่า พบว่า ข้าวใหม่จะได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่นหอมใบเตยที่สูงกว่าข้าวเก่า ($p < 0.05$) อย่างไรก็ตามข้าวขัดขาวเก่าได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมสูงกว่าข้าวขัดขาวใหม่ ($p < 0.05$) และเมื่อพิจารณาอัตราส่วนน้ำต่อข้าว พบว่า ข้าวขัดขาวใหม่และเก่าที่หุงด้วยอัตราส่วนข้าวต่อน้ำ 1:1.0 และ 1:1.5 ตามลำดับได้รับคะแนนความชอบในด้านปรากฏ สี กลิ่น เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบโดยรวมสูงสุด ($p < 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 16

จากการสังเกตในภาพรวมสรุปได้ว่าข้าวกล้องและข้าวขัดขาวใหม่และเก่าที่หุงด้วยอัตราส่วนข้าวต่อน้ำที่แตกต่างกัน พบว่า ข้าวกล้องจะมีค่าความแข็งสูงกว่า ขณะที่ปริมาณความชื้น ความสามารถในการดูดซับน้ำ อัตราการยืดตัว และค่าการเกาะติดต่ำกว่าข้าวขัดขาว นอกจากนี้ข้าวกล้องมีปริมาณสารระเหยลดลง ข้าวกล้องและข้าวขัดขาวหุงสุกเกิดสาร Furan ซึ่งเป็นสารประกอบซัลเฟอร์ที่ให้กลิ่นหอมในระหว่างกระบวนการหุงสุก เมื่อพิจารณาผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า ข้าว

กลัองที่หุงสุกด้วยอัตราส่วนข้าวต่อน้ำเท่ากับ 1:2.0 ได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น เนื้อสัมผัส รสชาติและความชอบโดยรวมสูงกว่าข้าวขัดขาวที่หุงด้วยอัตราส่วนข้าวต่อน้ำเท่ากับ 1:1.5

Table 15 Sensory evaluation of cooked rice that prepared from fresh and stored Hom Bai Toie brown rice with different rice to water ratios

Rice	Rice to water ratio	Sensory attribute						
		Appearance	Colour	Flavour	Texture	Taste	Overall Liking	
Fresh rice	1:1.5	8.03±0.76 ^b	7.47±0.82 ^{ab}	8.83±0.38 ^a	8.40±0.67 ^a	7.40±0.67 ^{ab}	8.17±0.70 ^a	
	1:2.0	7.33±0.55 ^{cd}	7.57±0.65 ^{ab}	8.50±0.68 ^{ab}	7.73±0.74 ^b	7.47±0.78 ^{ab}	7.47±0.63 ^{bc}	
	1:2.5	7.07±0.64 ^d	7.67±0.88 ^a	8.40±0.38 ^b	6.77±0.77 ^d	7.60±0.67 ^a	7.17±0.75 ^c	
Stored rice for 6 months	1:1.5	8.40±0.62 ^a	7.23±0.63 ^b	7.67±0.76 ^c	7.10±0.71 ^{cd}	7.13±0.73 ^b	7.13±0.68 ^c	
	1:2.0	7.67±0.84 ^c	7.33±0.66 ^{ab}	8.00±0.69 ^c	8.43±0.63 ^a	7.27±0.74 ^{ab}	8.50±0.63 ^a	
	1:2.5	7.07±0.64 ^d	7.47±0.78 ^{ab}	7.87±0.86 ^c	7.40±0.62 ^{bc}	7.43±0.73 ^{ab}	7.77±0.68 ^b	

Note: Means with different letters in the same column are significantly different ($p < 0.05$).

Table 16 Sensory evaluation of cooked rice that prepared from fresh rice and stored Hom Bai Toie milled rice with different rice to water ratios

Rice	Rice to water ratio	Sensory attribute						
		Appearance	Colour	Flavour	Texture	Taste	Overall Liking	
Fresh rice	1:1.0	7.90±0.61 ^b	7.40±0.50 ^{cd}	8.03±0.67 ^a	8.10±0.71 ^a	7.73±0.87 ^a	8.27±0.64 ^a	
	1:1.5	7.10±0.61 ^c	7.53±0.78 ^{ab}	7.70±0.75 ^{ab}	7.17±0.83 ^b	7.30±0.79 ^{ab}	7.40±0.67 ^b	
	1:2.0	5.47±0.82 ^d	7.83±0.70 ^a	7.67±0.66 ^c	5.37±0.83 ^c	7.37±0.85 ^{ab}	7.07±0.78 ^b	
Stored rice for 6 months	1:1.0	8.27±0.64 ^a	7.10±0.76 ^d	6.93±0.64 ^f	5.30±0.88 ^c	7.30±0.88 ^{ab}	7.37±0.89 ^b	
	1:1.5	7.30±0.65 ^c	7.20±0.76 ^{cd}	7.30±0.65 ^d	8.13±0.73 ^a	7.33±0.84 ^{ab}	8.07±0.74 ^a	
	1:2.0	5.56±0.79 ^d	7.57±0.86 ^{ab}	7.20±0.55 ^{de}	7.00±0.83 ^b	7.23±0.86 ^b	7.20±0.71 ^b	

Note: Means with different letters in the same column are significantly different ($p < 0.05$).

3. การผลิตข้าวพร้อมบริโภคในภาชนะปิดสนิท

กระบวนการผลิตข้าวพร้อมบริโภคในภาชนะปิดสนิทโดยใช้หม้อฆ่าเชื้อความดันสูง ประกอบด้วยการศึกษาสภาวะการให้ความร้อนเบื้องต้นแก่ข้าวก่อนนำไปทำให้สุกด้วยหม้อฆ่าเชื้อความดันสูง ทั้งนี้เนื่องจากการให้ความร้อนเบื้องต้นแก่ข้าวจะสามารถเพิ่มความชื้นและทำให้ข้าวสุกบางส่วนซึ่งจะส่งผลให้ข้าวพร้อมบริโภคมีเนื้อสัมผัสที่ดี ลดการปริแตกของเมล็ดข้าวระหว่างการทำให้สุกโดยใช้หม้อฆ่าเชื้อความดันสูง นอกจากนี้ศึกษาระยะเวลาดำเชื้อเพื่อจะทำให้ข้าวพร้อมบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิทที่มีความปลอดภัยปราศจากเชื้อจุลินทรีย์และสามารถเก็บรักษาไว้ได้นานที่อุณหภูมิห้อง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงแบ่งการทดลองเป็น 3 ส่วน คือ การศึกษาระยะเวลาการแช่ข้าวที่เหมาะสม การหาระยะเวลาในการฆ่าเชื้อ และการผลิตข้าวพร้อมบริโภคในภาชนะปิดสนิทโดยใช้หม้อฆ่าเชื้อความดันสูงในสภาวะที่เหมาะสม โดยมีรายละเอียดผลการทดลองดังต่อไปนี้

3.1 วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ เคมิ และเคมีเชิงฟิสิกส์ของข้าวที่ให้ความร้อนเบื้องต้น

ข้าวกล้องและข้าวขัดขาวเก่าจะถูกนำมาห่อด้วยผ้าขาวบาง ห่อละ 100 กรัม แล้วแช่ในน้ำเดือดที่มีปริมาณมากเกินพอ สุ่มตัวอย่างทุก 2 นาที และเมื่อครบกำหนดเวลา ข้าวจะถูกทำให้เย็นโดยการแช่ตัวอย่างในน้ำที่มีปริมาณมากเกินพอและเปิดน้ำไหลผ่านตัวอย่างจนอุณหภูมิตัวอย่างลดลงเท่ากับอุณหภูมิน้ำ จากนั้นสะเด็ดน้ำนาน 1 นาที ระยะเวลาการแช่น้ำที่เหมาะสมของข้าวจะพิจารณาจากค่าความชื้น (ซึ่งผู้วิจัยกำหนดให้ข้าวต้องมีความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 60-76 สอดคล้องกับงานวิจัยของอนลลักษ์ณ์ โอปารีโกวิท (2546) อย่างไรก็ตาม สภาวะการแช่ข้าวที่เหมาะสมจะต้องพิจารณาร้อยละการเกิดเจลาติโนเซชัน เนื่องจากข้าวที่มีร้อยละการเกิดเจลาติโนเซชันเท่ากับร้อยละ 100 เมื่อนำไปหุงสุกด้วยหม้อฆ่าเชื้อความดันสูงจะทำให้เมล็ดของข้าวพร้อมบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิทมีลักษณะนุ่มและ ไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค การทดลองนี้จะนำข้าวกล้องและข้าวขัดขาวเก่าที่มีระยะเวลาแช่แตกต่างกันมาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ เคมิ และเคมีเชิงฟิสิกส์ และหาร้อยละการเกิดเจลาติโนเซชันที่เหมาะสม โดยมีรายละเอียดดังนี้

ข้าวกล้อง

จากการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ เคมิ และเคมีเชิงฟิสิกส์ของข้าวกล้องที่ผ่านการแช่ในน้ำเดือดที่ระยะเวลาต่างกัน พบว่า เมื่อระยะเวลาการแช่ข้าวขัดขาวเพิ่มขึ้นส่งผลให้ข้าวกล้องมีความยาว ความกว้างของเมล็ด อัตราการยืดตัว ปริมาณความชื้น และความสามารถในการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) ส่วนปริมาณ Starchy core ลดลง ($p < 0.05$) (ตารางที่ 17) เนื่องจากระยะเวลาการแช่ในน้ำเดือดที่นานขึ้นส่งผลให้เมล็ดข้าวมีโอกาสสัมผัสกับน้ำได้นานขึ้น น้ำจะสามารถเคลื่อนที่แทรกตัวเข้าไปสู่

เมล็ดข้าวได้และทำให้พันธะไฮโดรเจนในเมล็ดแข็งเกิดการคลายตัวจึงทำให้แกรนูลของสตาร์ชสามารถดูดซับน้ำได้เพิ่มขึ้น (Kerdpi boon and Charoende, 2012; Tain *et al.*, 2014) เมื่อพิจารณาสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ พบว่า เมื่อระยะเวลาแช่ในน้ำเดือดเพิ่มขึ้นส่งผลให้อุณหภูมิเริ่มต้น (T_0) อุณหภูมิสูงสุด (T_p) และอุณหภูมิสุดท้ายของการเกิดเจลลาติไนเซชัน (T_c) และพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลลาติไนเซชันลดลง ($p < 0.05$) ขณะที่ร้อยละการเกิดเจลลาติไนเซชันเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) (ตารางที่ 18) เนื่องจากข้าวที่ผ่านจากการให้ความร้อนเป็นระยะเวลานานขึ้นจะส่งผลให้สตาร์ชแกรนูลถูกทำลายและน้ำจะแทรกตัวเข้าสู่สตาร์ชแกรนูลและทำให้เกิดการเกิดเจลลาติไนเซชันส่งผลให้ปริมาณ Starchy core ลดลง ซึ่งปริมาณ Starchy core จะสามารถบ่งบอกถึงระดับการสุกของข้าว (Shinde *et al.*, 2014) ระยะเวลาการแช่ข้าวกล้องที่เหมาะสมจะพิจารณาจากปริมาณความชื้นและร้อยละการเกิดเจลลาติไนเซชัน พบว่า ระยะเวลาการแช่ที่เหมาะสมของข้าวกล้องคือ 8, 10 และ 12 นาที ซึ่งมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 60.01-60.68 และมีร้อยละการเกิดเจลลาติไนเซชันอยู่ในช่วงร้อยละ 70.78-85.76

Table 17 Length, width, water uptake, moisture content and starchy core of soaked Hom Bai Toie brown rice in boiling water at different soaking times

Soaking time (Min)	Length (cm)	Width (cm)	Water uptake	Moisture content (%)	Starchy core (%)
2	0.72±0.01 ^k	0.21±0.00 ^d	1.25±0.08 ^k	48.23±0.17 ^k	100.00±0.00 ^a
4	0.74±0.01 ^j	0.21±0.01 ^d	1.44±0.11 ^j	48.82±0.05 ^j	98.89±3.33 ^a
6	0.78±0.02 ⁱ	0.22±0.01 ^c	1.48±0.05 ⁱ	53.36±0.06 ⁱ	96.67±5.00 ^a
8	0.82±0.01 ^h	0.22±0.01 ^c	1.67±0.03 ^h	60.01±0.13 ^h	85.56±5.27 ^b
10	0.85±0.01 ^g	0.23±0.01 ^b	1.75±0.04 ^g	60.29±0.07 ^g	65.56±5.27 ^c
12	0.87±0.02 ^f	0.23±0.01 ^b	1.81±0.01 ^f	60.68±0.05 ^f	41.11±3.33 ^d
14	0.89±0.03 ^e	0.23±0.01 ^b	1.93±0.01 ^e	61.07±0.05 ^e	35.56±5.27 ^c
16	0.91±0.03 ^d	0.23±0.01 ^b	1.98±0.00 ^d	61.26±0.19 ^d	26.67±5.00 ^f
18	0.93±0.01 ^c	0.24±0.01 ^a	2.07±0.09 ^c	61.64±0.23 ^c	15.56±5.27 ^g
20	0.94±0.01 ^b	0.24±0.01 ^a	2.26±0.06 ^b	62.16±0.08 ^b	6.67±5.00 ^h
22	0.95±0.00 ^a	0.24±0.01 ^a	2.39±0.01 ^a	63.36±0.10 ^a	0.00±0.00 ⁱ

Note: Means different letters in the same column are significantly different ($p < 0.05$).

Table 18 Thermal properties of soaked Hom Bai Toie brown rice in boiling water at different soaking times

Soaking time (Min)	Thermal properties				Gelatinization
	T _o (°C)	T _p (°C)	T _c (°C)	ΔH (J/g)	(%)
0	64.58±0.07 ^a	68.26±0.01 ^a	72.60±0.08 ^a	3.16±0.01 ^a	0.00±0.00 ^l
2	64.47±0.01 ^b	68.19±0.02 ^b	72.54±0.02 ^b	2.16±0.02 ^b	31.65±0.56 ^k
4	64.34±0.01 ^c	67.50±0.01 ^c	70.51±0.01 ^c	1.24±0.02 ^c	60.87±0.41 ^j
6	64.26±0.03 ^d	67.27±0.01 ^d	70.45±0.02 ^d	1.12±0.01 ^d	64.56±0.43 ⁱ
8	63.94±0.02 ^e	67.25±0.02 ^d	69.73±0.01 ^e	0.92±0.02 ^e	70.78±0.39 ^h
10	63.70±0.01 ^f	66.68±0.01 ^e	69.25±0.03 ^f	0.76±0.01 ^f	75.95±0.24 ^g
12	63.63±0.01 ^g	66.49±0.02 ^f	69.17±0.18 ^g	0.45±0.01 ^g	85.76±0.27 ^f
14	63.59±0.01 ^h	66.29±0.02 ^g	69.01±0.01 ^h	0.28±0.01 ^h	91.14±0.34 ^e
16	63.51±0.01 ⁱ	66.13±0.02 ^h	68.83±0.02 ⁱ	0.21±0.02 ⁱ	93.25±0.48 ^d
18	63.46±0.01 ^j	66.02±0.01 ⁱ	68.73±0.01 ^j	0.15±0.01 ^j	95.25±0.31 ^c
20	63.26±0.03 ^k	65.96±0.02 ^j	68.70±0.01 ^k	0.11±0.01 ^k	96.62±0.19 ^b
22	-	-	-	-	100.00±0.00 ^a

Note: Means different letters in the same column are significantly different (p<0.05).

ข้าวขัดขาว

จากการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ เคมี และเคมีเชิงฟิสิกส์ของข้าวขัดขาวที่ผ่านการแช่ในน้ำเดือดที่ระยะเวลาต่างกัน พบว่า เมื่อระยะเวลาการแช่ข้าวขัดขาวนานขึ้น ส่งผลให้ข้าวขัดขาวมีความยาว ความกว้างของเมล็ด อัตราการยืดตัว ความชื้น และความสามารถในการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น (p<0.05) ส่วนปริมาณ Starchy core ลดลง (p<0.05) (ตารางที่ 19) เมื่อพิจารณาสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ของข้าวขัดขาว พบว่า เมื่อระยะเวลาการแช่ข้าวขัดขาวนานขึ้นส่งผลให้ข้าวขัดขาวมีอุณหภูมิเริ่มต้น (T_o) อุณหภูมิสูงสุด (T_p) และอุณหภูมิต่ำสุดท้ายของการเกิดเจลลาตินในเซชัน (T_c) และพลังงานที่ใช้ในการเจลลาตินในเซชันลดลง (p<0.05) ขณะที่ร้อยละการเกิดเจลลาตินในเซชันเพิ่มขึ้น (p<0.05) (ตารางที่ 20) โดยระยะเวลาการแช่ข้าวขัดขาวที่เหมาะสมจะพิจารณาเช่นเดียวกับข้าวกล้อง ซึ่งระยะเวลาการแช่ข้าวขัดขาวที่เหมาะสม คือ 6 และ 8 นาที ซึ่งมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ อยู่ในช่วงร้อยละ 60.83-64.64 และมีร้อยละการเกิดเจลลาตินในเซชันอยู่ในช่วงร้อยละ 83.34-89.93

Table 19 Length, width, water uptake, moisture content and starchy core of soaked Hom Bai Toie milled rice in boiling water at different soaking times

Soaking time (Min)	Length (cm)	Width (cm)	Water uptake	Moisture content (%)	Starchy core (%)
2	0.82±0.01 ^f	0.21±0.01 ^d	1.62±0.01 ^f	54.76±0.10 ^f	100.00±0.00 ^a
4	0.85±0.03 ^c	0.23±0.01 ^c	1.91±0.02 ^e	55.19±0.11 ^e	98.89±3.33 ^a
6	0.98±0.01 ^d	0.23±0.01 ^c	2.17±0.03 ^d	60.83±0.08 ^d	97.78±4.41 ^a
8	1.04±0.03 ^c	0.23±0.01 ^b	2.32±0.05 ^c	64.64±0.12 ^c	86.67±5.00 ^b
10	1.10±0.21 ^b	0.24±0.06 ^a	2.41±0.03 ^b	67.48±0.11 ^b	47.78±4.41 ^c
12	1.19±0.24 ^a	0.24±0.09 ^a	2.56±0.02 ^a	69.20±0.15 ^a	0.00±0.00 ^d

Note: Means different letters in the same column are significantly different ($p < 0.05$).

Table 20 Thermal properties of soaked Hom Bai Toie milled rice in boiling water at different soaking times

Soaking time (Min)	Thermal properties				Gelatinization (%)
	T _o (°C)	T _p (°C)	T _c (°C)	ΔH (J/g)	
0	65.43±0.07 ^a	70.54±0.03 ^a	73.32±0.01 ^a	5.06±0.02 ^a	0
2	65.00±0.02 ^b	70.50±0.02 ^{ab}	73.30±0.01 ^b	3.43±0.02 ^b	32.32±0.49 ^f
4	64.53±0.02 ^c	70.49±0.03 ^b	73.29±0.02 ^b	1.96±0.02 ^c	61.29±0.39 ^e
6	64.25±0.01 ^d	68.74±0.01 ^c	73.26±0.02 ^c	0.84±0.02 ^d	83.34±0.47 ^d
8	64.16±0.04 ^e	67.38±0.05 ^d	73.23±0.02 ^d	0.52±0.01 ^e	89.93±0.23 ^c
10	63.77±0.02 ^f	67.13±0.02 ^e	73.21±0.01 ^e	0.16±0.02 ^f	96.77±0.32 ^b
12	-	-	-	-	100.00±0.00 ^a

Note: Means different letters in the same column are significantly different ($p < 0.05$).

จากการสังเกตสมบัติทางกายภาพของข้าวกล้องและข้าวขัดขาวที่ผ่านการแช่ในน้ำเดือดที่ระยะเวลาต่างกัน พบว่า เมื่อระยะเวลาการแช่นานขึ้น ข้าวกล้องมีค่าความยาว ความกว้างของเมล็ด อัตราในการยึดตัว ความชื้น และความสามารถในการดูดซับน้ำน้อยกว่าข้าวขัดขาว นอกจากนี้ พบว่า ข้าวขัดขาวใช้ระยะเวลาแช่น้อยกว่าข้าวกล้อง เนื่องจากข้าวกล้องมีเยื่อหุ้มเมล็ด ซึ่งเยื่อหุ้มเมล็ดเป็นชั้นของรำประกอบด้วยเยื่อใยและไขมันจะขัดขวางการดูดซับน้ำเข้าสู่เมล็ดข้าวในระหว่างการแช่

(Zhou *et al.*, 2002) ส่วนข้าวขัดขาวจะมีค่าอุณหภูมิเริ่มต้น (T_0) อุณหภูมิสูงสุด (T_p) และอุณหภูมิสุดท้ายของการเกิดเจลลิตีในเซชัน (T_c) ค่าพลังงานการเกิดเจลลิตีในเซชัน และร้อยละการเกิดเจลลิตีในเซชันสูงกว่าข้าวกล้อง

3.2 ศึกษาระยะเวลาในการฆ่าเชื้อ (F_0) โดยใช้หม้อฆ่าเชื้อความดันสูง

อุณหภูมิและระยะเวลาในการฆ่าเชื้อเป็นปัจจัยสำคัญของกระบวนการผลิตข้าวพร้อมบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิทโดยใช้หม้อฆ่าเชื้อความดันสูง ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อทำให้ความร้อนอาหาร คือ ความชื้นหนืดของอาหาร ปริมาณน้ำอิสระ ขนาดชิ้นอาหาร น้ำหนักบรรจุ ชนิดของบรรจุภัณฑ์ การทำให้ข้าวสุกบางส่วนและค่าความเป็นกรด-ด่าง ซึ่งข้าวกล้องและข้าวขัดขาวที่ผ่านการแช่ในน้ำเดือดมีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 6.15 และ 6.18 ตามลำดับ จัดเป็นอาหารที่มีค่าความเป็นกรดต่ำ (ค่าความเป็นกรด-ด่างมากกว่า 4.5) (ประกาศสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2535) จึงต้องกำหนดระยะเวลาในการฆ่าเชื้อ (F_0 Formula) เท่ากับ 4 (Lewis and Heppell, 2000) ซึ่งเป็นระยะเวลาการให้ความร้อนที่สามารถทำลายเชื้อ *C. botulinum* ได้ ในการทดลองนี้ศึกษาระยะเวลาในการฆ่าเชื้อ (F_0) โดยนำข้าวกล้องมาแช่ในน้ำเดือดเป็นระยะเวลา 8, 10 และ 12 นาที ส่วนข้าวขัดขาวจะแช่ในน้ำเดือดเป็นระยะเวลา 6 และ 8 นาที (ตามผลการทดลองที่ได้จากตอนที่ 3.1) จากนั้นข้าวจะถูกนำมาบรรจุชั่งน้ำหนัก 125 กรัมในถุงรีทอร์ทเพาว์ซิ่งขนาด 11x13 เซนติเมตร ขนาดน้ำหนัก 125 กรัมต่อถุง และเจาะถุงที่ตำแหน่ง $\frac{1}{2}$ ของความสูงพร้อมกับเสียบเข็มวัดอุณหภูมิ แล้วยึดให้แน่นกับถุงข้าว จากนั้นปิดผนึกและเชื่อมต่อสายเทอร์โมคัมกับเครื่องอ่านอุณหภูมิ และบันทึกอุณหภูมิของตัวอย่างตลอดระยะเวลาฆ่าเชื้อ (ภาพภาคผนวกที่ 10) ภายในหม้อฆ่าเชื้อความดันสูงที่ใช้ในการทดลองนี้จะประกอบด้วยตะกร้าอะลูมิเนียม 2 ตะกร้า ในแต่ละตะกร้าจะมีถาดอะลูมิเนียมที่มีลักษณะเป็นถาดเจาะรูที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 1.5 เซนติเมตรทั่วถาดจำนวน 16 ถาดวางเรียงซ้อนกัน จากนั้นนำตัวอย่างที่ต่อสายเทอร์โมคัมกับเปิดเพื่อวัดอุณหภูมิจำนวน 5 สาย ซึ่งประกอบด้วยตัวอย่างข้าวกล้องจำนวน 3 สาย ได้แก่ ข้าวกล้องที่ผ่านการแช่นาน 8, 10 และ 12 นาที และข้าวขัดขาวจำนวน 2 สาย ได้แก่ ข้าวขัดขาวที่ผ่านการแช่นาน 6 และ 8 นาที และสายเทอร์โมคัมกับเปิดวัดอุณหภูมิของเครื่องหม้อฆ่าเชื้อความดันสูงจำนวน 4 สาย โดยสายเทอร์โมคัมกับเปิดวัดอุณหภูมิของเครื่องหม้อฆ่าเชื้อความดันสูงจำนวน 3 สายจะถูกวางในถาดอะลูมิเนียมชั้นที่ 9 ซึ่งอยู่ในตะกร้าที่ 2 (ภาพภาคผนวกที่ 11) ซึ่งจุดนี้เป็นจุดที่มีการกระจายความร้อนช้าที่สุด ส่วนสายเทอร์โมคัมกับเปิดอีก 1 สายจะเสียบที่เทอร์โมมิเตอร์ของเครื่องหม้อฆ่าเชื้อความดันสูง (Mercury in glass thermometer, MIG) และจัดวางตัวแทนตัวอย่าง (Dummy) ให้เต็มทุกถาด ถาดละ 30 ถุง จากนั้นปิดฝาหม้อฆ่าเชื้อความดันสูง และตั้งค่าโปรแกรมของหม้อฆ่าเชื้อความดันสูง โดยกำหนด

อุณหภูมิมาเชื้อเท่ากับ 118 องศาเซลเซียส ความดัน 23 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว กำหนดระยะเวลาในการฆ่าเชื้อ (F_0 Formula) เท่ากับ 4 โดยเปิดเครื่องผลิตไอน้ำ และเติมน้ำที่อุณหภูมิห้องเข้าสู่หม้อฆ่าเชื้อ ความดันสูง จากนั้นเปิดท่อไอน้ำเพื่อทำให้น้ำในหม้อฆ่าเชื้อความดันสูงมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น และเปิดท่อระบายอากาศ จากนั้นกดปุ่มให้ปั๊มเริ่มทำงานโดยการพ่นฝอยน้ำร้อนที่อยู่ในหม้อฆ่าเชื้อความดันสูงลงไปที่ตัวอย่าง ระยะเวลาที่อุณหภูมิของตัวอย่างเพิ่มขึ้นสู่อุณหภูมิฆ่าเชื้อที่กำหนด เรียกว่า Come up time (CUT) จากนั้นปิดท่อระบายอากาศ ซึ่งสภาวะดังกล่าวจะทำให้อุณหภูมิและความดันเพิ่มขึ้น ซึ่งจะเข้าสู่ช่วงของการให้ความร้อนเพื่อฆ่าเชื้อ จากการศึกษาหาระยะเวลาฆ่าเชื้อของข้าวกล้องและข้าวขัดขาวพร้อมบริโภคนในภาชนะบรรจุปิดสนิท จำนวน 2 ซ้ำการทดลอง พบว่า ข้าวกล้องพร้อมบริโภคนในภาชนะบรรจุปิดสนิทที่เตรียมจากการแช่ข้าว นาน 8, 10 และ 12 นาที มีระยะเวลาการให้ความร้อนในการฆ่าเชื้อเท่ากับ 26.30, 24.30 และ 23.30 นาที ตามลำดับ ส่วนข้าวขัดขาวพร้อมบริโภคนในภาชนะบรรจุปิดสนิทที่เตรียมจากการแช่ข้าว นาน 6 และ 8 นาที มีระยะเวลาการให้ความร้อนในการฆ่าเชื้อเท่ากับ 23.30 และ 22.30 นาที (ตารางที่ 21) และคำนวณค่า F_0 Formula ของข้าวกล้องพร้อมบริโภคนในภาชนะบรรจุปิดสนิทที่เตรียมจากการแช่ข้าว นาน 8, 10 และ 12 นาที ได้เท่ากับ 4.29, 4.15 และ 4.11 นาที ตามลำดับ ส่วนค่า F_0 Formula ของข้าวขัดขาวพร้อมบริโภคนในภาชนะบรรจุปิดสนิทที่เตรียมจากการแช่ข้าว นาน 6 และ 8 นาที เท่ากับ 4.08 และ 4.04 นาที (ตัวอย่างการคำนวณ F_0 แสดงในภาคผนวก ก) ทั้งนี้เมื่อระยะเวลาการแช่ข้าวเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ระยะเวลาการให้ความร้อนเพื่อจะฆ่าเชื้อลดลง เนื่องจากระยะเวลาการแช่ข้าวจะทำให้ข้าวมีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีการส่งผ่านความร้อนได้ดี จากการศึกษาระยะเวลาฆ่าเชื้อ พบว่า ข้าวกล้องพร้อมบริโภคนในภาชนะบรรจุปิดสนิทที่เตรียมจากการแช่ นาน 8 นาที ซึ่งสภาวะที่มีการส่งผ่านความร้อนได้ช้าที่สุด (Worst case) มีค่า F_0 General เท่ากับ 7.36 นาที ระยะเวลาการให้ความร้อนในการฆ่าเชื้อเท่ากับ 26.30 นาที ซึ่งจะคำนวณ F_0 Formula ได้เท่ากับ 4.29 นาที ทั้งนี้เนื่องจากข้าวกล้องพร้อมบริโภคนในภาชนะบรรจุปิดสนิทที่แช่ นาน 8 นาที มีปริมาณความชื้นน้อยที่สุดและข้าวกล้องเป็นข้าวที่มีเยื่อหุ้มเมล็ดซึ่งมีไขมันเป็นองค์ประกอบจึงทำให้การส่งผ่านความร้อนได้ช้า ส่งผลให้ต้องใช้ระยะเวลาฆ่าเชื้อที่นานขึ้น ส่วนข้าวขัดขาวที่ผ่านการแช่ นาน 6 นาที ซึ่งสภาวะนี้มีการส่งผ่านความร้อนได้ช้าที่สุดของข้าวขัดขาว โดยมีค่า F_0 General เท่ากับ 7.17 นาที ระยะเวลาการให้ความร้อนในการฆ่าเชื้อเท่ากับ 23.30 นาที ซึ่งจะคำนวณ F_0 Formula ได้เท่ากับ 4.08 นาที ในการทดลองนี้จึงต้องใช้ระยะเวลาการให้ความร้อนในการฆ่าเชื้อเท่ากับ 26.30 นาที ในการผลิตข้าวกล้องพร้อมบริโภคนในภาชนะบรรจุปิดสนิทและใช้เวลา 23.30 นาที ในการผลิตข้าวขัดขาวพร้อมบริโภคนในภาชนะบรรจุปิดสนิท เพื่อให้ทุกตัวอย่างมีค่า F_0 Formula สูงกว่า 4 นาที เพื่อให้ข้าวกล้องและข้าวขัดขาวพร้อมบริโภคนในภาชนะบรรจุปิดสนิทมีความปลอดภัยและปราศจากเชื้อจุลินทรีย์ ทั้งนี้

จากการสังเกตลักษณะปรากฏของข้าวขัดขาวพร้อมบริโภคนในภาชนะบรรจุปิดสนิท ภายหลังจากการฆ่าเชื้อ พบว่า เมล็ดข้าวกล้องและข้าวขัดขาวพร้อมบริโภคนในภาชนะบรรจุปิดสนิทยังคงมีลักษณะที่ดี เมล็ดข้าวไม่ปริแตก เมื่อครบกำหนดระยะเวลาการให้ความร้อนในการฆ่าเชื้อจะเปิดต่อระบายอากาศและหล่อเย็นตัวอย่างด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น (Plate heat exchange) จนกระทั่งอุณหภูมิอาหารลดลงเหลือ 40 องศาเซลเซียส พบว่า ระยะเวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิของข้าวกล้องพร้อมบริโภคนในภาชนะบรรจุปิดสนิทเท่ากับ 34.30 นาที และใช้เวลา 29 นาที ในการลดอุณหภูมิข้าวขัดขาวพร้อมบริโภคนในภาชนะบรรจุปิดสนิท ซึ่งระยะเวลาการฆ่าเชื้อทั้งหมดของข้าวกล้องและข้าวขัดขาวพร้อมบริโภคนในภาชนะบรรจุปิดสนิทเท่ากับ 81.90 นาที และ 71.30 นาที ตามลำดับ จากนั้นจะเปิดต่อระบายน้ำเพื่อระบายน้ำออกจากหม้อฆ่าเชื้อความดัน และนำตัวอย่างออกมาจากหม้อฆ่าเชื้อความดันสูง

จากการวิเคราะห์ความปลอดภัยเชื้อ (Sterility test) ของข้าวกล้องพร้อมบริโภคนในภาชนะปิดสนิท (ข้าวกล้องที่ผ่านการแช่นาน 8, 10 และ 12 นาที ในน้ำเดือด) และข้าวขัดขาวพร้อมบริโภคนในภาชนะปิดสนิท (ข้าวขัดขาวที่ผ่านการแช่นาน 6 และ 8 นาที ในน้ำเดือด) พบว่า ไม่พบเชื้อ *C. botulinum* ในข้าวกล้องและข้าวขัดขาวพร้อมบริโภคนในภาชนะปิดสนิทภายหลังจากการฆ่าเชื้อ ซึ่งเป็นการยืนยันถึงความถูกต้องในการฆ่าเชื้อ

Table 21 F_0 for cooked Hom Bai Toie brown and milled rice in boiling water at different soaking times

Rice	Soaking time (Min)	Replication	Initial temperature of sample (°C)	Process time			Total process time (Min)	F_0 Formula (Min)	F_0 General (Min)
				Come up time (Min)	Heating time (Min)	Cooling time (Min)			
Brown rice	8	1	29.45	23.00	26.30	34.30	81.90	4.29	7.36
	8	2	29.46	22.30	26.00	33.00	81.60	4.25	7.29
	10	1	29.47	22.00	24.30	32.30	78.60	4.15	7.28
	10	2	29.48	21.30	23.00	31.00	75.60	4.13	7.24
	12	1	29.48	21.00	23.30	31.30	75.60	4.11	7.23
	12	2	29.49	20.30	23.00	30.00	73.30	4.09	7.21
Milled rice	6	1	29.47	19.00	23.30	29.00	71.30	4.08	7.17
	6	2	29.48	18.30	23.00	28.30	69.60	4.07	7.14
	8	1	29.48	17.00	22.30	27.00	66.30	4.04	7.12
	8	2	29.49	16.30	21.00	26.30	63.60	4.01	7.04

Note: F_0 Formula of cooked rice = 4 (Lewis and Heppell, 2000)

3.3 การผลิตข้าวพร้อมบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิทโดยใช้หม้อฆ่าเชื้อความดันสูง

การผลิตข้าวพร้อมบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิทโดยใช้หม้อฆ่าเชื้อความดันสูงเป็นการทำให้ข้าวสุกโดยผ่านกรรมวิธีการให้ความร้อนเพื่อทำลายจุลินทรีย์ทั้งหมด ซึ่งข้าวพร้อมบริโภคในภาชนะปิดสนิทสามารถเก็บรักษาได้นานที่อุณหภูมิห้อง โดยที่สามารถรักษาคุณภาพของข้าวสุก ซึ่งได้แก่ สี กลิ่น รส และเนื้อสัมผัสให้ใกล้เคียงกับข้าวสุกใหม่

การผลิตข้าวพร้อมบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิทโดยใช้หม้อฆ่าเชื้อความดันสูง ข้าวกล้องจะถูกนำมาแช่ในน้ำเดือดเป็นระยะเวลา 8, 10 และ 12 นาที ส่วนข้าวขัดขาวจะถูกแช่ในน้ำเดือดเป็นระยะเวลา 6 และ 8 นาที ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมจากการศึกษาในตอนต้นที่ 3.2 เมื่อครบกำหนดเวลานำตัวอย่างไปแช่ในน้ำที่อุณหภูมิห้อง และสะเด็ดน้ำนาน 1 นาที จากนั้นนำมาบรรจุในถุงรีทอร์ทเพาซ์ขนาด 11x13 เซนติเมตร น้ำหนักถุงละ 125 กรัม และปิดผนึก ตัวอย่างละจำนวน 70 ถุง โดยจะฆ่าเชื้อด้วยหม้อฆ่าเชื้อความดันสูงที่อุณหภูมิ 118 องศาเซลเซียส ความดัน 23 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว กำหนดระยะเวลาในการฆ่าเชื้อเท่ากับ 26.30 นาที และ 23.30 นาที สำหรับข้าวกล้องและขัดขาว (F_0 Formula เท่ากับ 4.29 และ 4.08 นาที ตามลำดับ) จากการศึกษาระยะเวลาฆ่าเชื้อในตอนต้นที่ 3.2 และเมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการให้ความร้อนจะเปิดน้ำเพื่อหล่อเย็นตัวอย่างและค่อยๆ ลดความดันลง จนกระทั่งอุณหภูมิอาหารลดลงเหลือประมาณ 40 องศาเซลเซียส จากนั้นจะติดตามคุณภาพของข้าวกล้องและข้าวขัดขาวพร้อมบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิทภายหลังจากการฆ่าเชื้อ

3.3.1 สมบัติทางกายภาพ

ข้าวกล้องพร้อมบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิท

จากการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของข้าวพร้อมบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิท พบว่า ข้าวกล้องพร้อมบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิทที่ผ่านการเตรียมจากการแช่นาน 12 นาที จะมีความยาว สัดส่วนความยาวต่อความกว้างของเมล็ด และอัตราการยึดตัวสูงสุด ($p < 0.05$) (ตารางที่ 22) เมื่อพิจารณาค่าสี พบว่า ข้าวกล้องพร้อมบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิทที่ผ่านการเตรียมจากการแช่นาน 12 นาที จะมีค่าความสว่าง (L^*) สูงสุด ($p < 0.05$) ในขณะที่ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ค่า Hue angle และ Chroma ต่ำสุด ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวกล้องที่ระยะเวลาการแช่อื่นๆ (ตารางที่ 23) จากการวิเคราะห์เนื้อสัมผัส พบว่า ข้าวกล้องพร้อมบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิทที่ผ่านการเตรียมจากการแช่นาน 12 นาที มีค่าความแข็ง (Hardness) ต่ำสุด ในขณะที่ค่าการเกาะติด (Adhesiveness) สูงสุด ($p < 0.05$) (ภาพที่ 18) เนื่องจากการแช่ข้าวที่นานขึ้นทำให้เมล็ดข้าวมีปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อนำข้าวมาทำให้สุกโดยใช้หม้อฆ่าเชื้อภายใต้ความดันสูงจะทำให้เมล็ดข้าวจะสามารถยึดตัวได้เพิ่มขึ้น ทั้งนี้การทำให้ข้าวสุกโดยใช้ความร้อนและความดันสูง

จะทำให้สสารซ์แกรนูลถูกทำลายและเกิดการเจลาติไนเซชันในระหว่างการหุงสุกซึ่งส่งผลให้ค่าความแข็งของข้าวสุกลดลง (Leelayuthsoontorn and Thipayarat, 2006; Tain *et al.*, 2014)

Table 22 Length, breadth, L/B and elongation ratio of cooked Hom Bai Toie brown rice that packed in a retort pouch under heating temperature at 118°C for 26.30 min

Soaking time (Min)	Length (L) (cm)	Breadth (B) (cm)	L/B	Elongation ratio
8	0.88±0.03 ^c	0.24±0.01 ^{NS}	3.69±0.19 ^{NS}	1.22±0.04 ^c
10	0.92±0.01 ^b	0.24±0.01 ^{NS}	3.76±0.16 ^{NS}	1.30±0.02 ^b
12	0.99±0.01 ^a	0.24±0.01 ^{NS}	4.05±0.22 ^{NS}	1.41±0.03 ^a

Note: Means with different letters in the same column are significantly different ($p < 0.05$).

NS in the same column is non-significantly different ($p \geq 0.05$).

Table 23 Colour of cooked Hom Bai Toie brown rice that packed in a retort pouch under heating temperature at 118°C for 26.30 min

Soaking time (Min)	Colour				
	L*	a*	b*	Hue angle	Chroma
8	74.85±0.66 ^c	1.23±0.03 ^{NS}	12.66±0.99 ^{NS}	84.46±0.46 ^{NS}	12.72±0.98 ^{NS}
10	75.20±0.30 ^b	1.24±0.05 ^{NS}	12.44±0.04 ^{NS}	84.34±0.24 ^{NS}	12.50±0.04 ^{NS}
12	75.67±0.27 ^a	1.24±0.07 ^{NS}	12.16±0.12 ^{NS}	84.22±0.34 ^{NS}	12.22±0.12 ^{NS}

Note: Means with different letters in the same column are significantly different ($p < 0.05$).

NS in the same column is non-significantly different ($p \geq 0.05$).

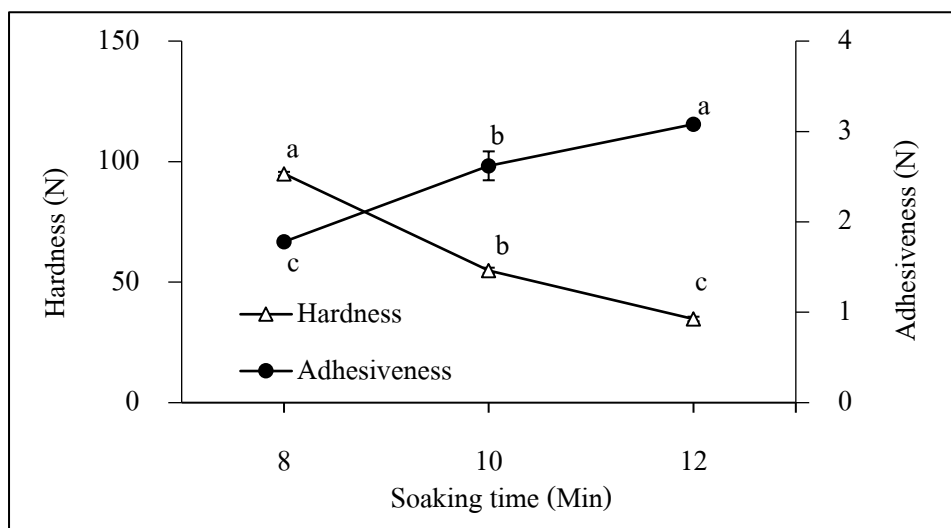


Figure 18 Hardness and adhesiveness of cooked Hom Bai Toie brown rice that packed in a retort pouch under heating temperature at 118°C for 26.30 min

Note: Means with different letters on each line indicate significantly different ($p < 0.05$).

Hardness and adhesiveness values of commercial ready-to-eat Jasmine brown rice are 52.85 and 2.74 N.

ข้าวขัดขาวพร้อมบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิท

จากการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของข้าวขัดขาวพร้อมบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิท พบว่า ข้าวขัดขาวพร้อมบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิทที่ผ่านการเตรียมจากการแช่นาน 8 นาที มีความยาว สัดส่วนความยาวต่อความกว้างของเมล็ด และอัตราการยืดตัวสูงสุด ($p < 0.05$) (ตารางที่ 24) เมื่อพิจารณาค่าสี พบว่า ข้าวขัดขาวพร้อมบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิทที่ผ่านการเตรียมจากการแช่นาน 8 นาที จะมีค่าความสว่าง (L^*) สูงสุด ($p < 0.05$) ในขณะที่ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ต่ำ ข้าวขัดขาวพร้อมบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิทที่ผ่านการเตรียมจากการแช่นาน 6 นาที ($p < 0.05$) (ตารางที่ 25) จากการวิเคราะห์เนื้อสัมผัส พบว่า ข้าวขัดขาวพร้อมบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิทที่ผ่านการเตรียมจากการแช่นาน 8 นาที มีค่าความแข็ง (Hardness) ต่ำ ในขณะที่ค่าการเกาะติด (Adhesiveness) สูงกว่าข้าวขัดขาวพร้อมบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิทที่ผ่านการเตรียมจากการแช่นาน 6 นาที ($p < 0.05$) (ภาพที่ 19)

Table 24 Length, breadth, L/B and elongation ratio of cooked Hom Bai Toie milled rice that packed in a retort pouch under heating temperature at 118°C for 26.30 min

Soaking time (Min)	Length (L) (cm)	Breadth (B) (cm)	L/B	Elongation ratio
6	1.25±0.01 ^b	0.25±0.02 ^{NS}	5.12±0.44 ^{NS}	1.63±0.01 ^b
8	1.30±0.01 ^a	0.25±0.01 ^{NS}	5.21±0.18 ^{NS}	1.79±0.08 ^a

Note: Means with different letters in the same column are significantly different ($p < 0.05$).

NS in the same column is non-significantly different ($p \geq 0.05$).

Table 25 Colour of cooked Hom Bai Toie milled rice that packed in a retort pouch under heating temperature at 118°C for 26.30 min

Soaking time (Min)	Colour				
	L*	a*	b*	Hue angle	Chroma
6	77.39±0.45 ^b	1.03±0.01 ^{NS}	2.85±0.10 ^a	70.17±0.60 ^a	3.02±0.10 ^a
8	77.64±0.26 ^a	1.04±0.02 ^{NS}	2.80±0.10 ^b	69.72±0.61 ^b	2.99±0.10 ^b

Note: Means with different letters in the same column are significantly different ($p < 0.05$).

NS in the same column is non-significantly different ($p \geq 0.05$).

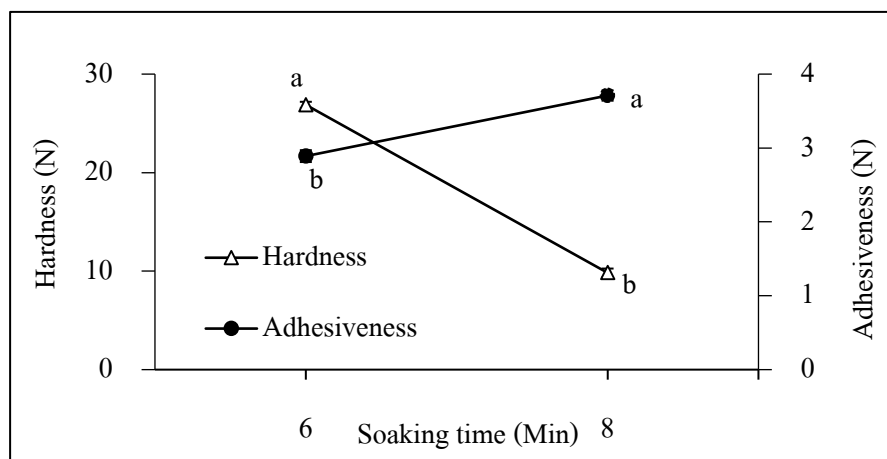


Figure 19 Hardness and adhesiveness of cooked Hom Bai Toie milled rice that packed in a retort pouch under heating temperature at 118°C for 26.30 min

Note: Means with different letters on each line indicate significantly different ($p < 0.05$).

Hardness and adhesiveness values of commercial ready-to-eat Jasmine milled rice are 25.98 and 2.94 N.

3.3.2 สมบัติทางเคมี

ข้าวกล้องพร้อมบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิท

จากการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของข้าวพร้อมบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิทพบว่า ข้าวกล้องพร้อมบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิทที่ผ่านการเตรียมจากการแช่นาน 12 นาที มีปริมาณความชื้น (Moisture content) และความสามารถในการดูดซับน้ำ (Water uptake) สูงสุด ($p < 0.05$) (ภาพที่ 20) จากการศึกษาชนิดและปริมาณสารระเหยของข้าวกล้องพร้อมบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิทที่เตรียมจากข้าวผ่านการแช่ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน ชนิดสารระเหยที่พบในข้าวกล้องพร้อมบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิทที่ผ่านการเตรียมจากการแช่นาน 8, 10 และ 12 นาที ได้แก่ Hexanal, Furan, 2-Acetyl-1-pyrroline, 2-Methyl-4-vinylphenol และ Vanillin (ตารางที่ 26) โครมาโทแกรมของข้าวกล้องพร้อมบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิทแสดงในภาพภาคผนวกที่ 5 เมื่อระยะเวลาการแช่นานขึ้น จะทำให้ปริมาณ 2-Acetyl-1-pyrroline และ Hexanal ลดลงเนื่องจากความร้อนในระหว่างการแช่และการทำให้สุกโดยใช้ความร้อนและความดันสูง (Yoshihashi *et al.*, 2002) ขณะที่ ปริมาณ Furan, 2-Methyl-4-vinylphenol และ Vanillin เพิ่มขึ้น โดย Furan เป็นสารให้กลิ่นหอมเกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบซัลเฟอร์ในระหว่างกระบวนการให้ความร้อน (Piyachaiseth *et al.*, 2011) นอกจากนี้ 2-Methyl-4-vinylphenol และ Vanillin เป็นสารให้กลิ่นหอมในข้าวสุกเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงของสาร Vanilic acid และ Feruric acid ในเมล็ดข้าวระหว่างการหุงสุก (Zeng *et al.*, 2009) ส่งผลให้ข้าวกล้องพร้อมบริโภคมีกลิ่นหอมเพิ่มขึ้น

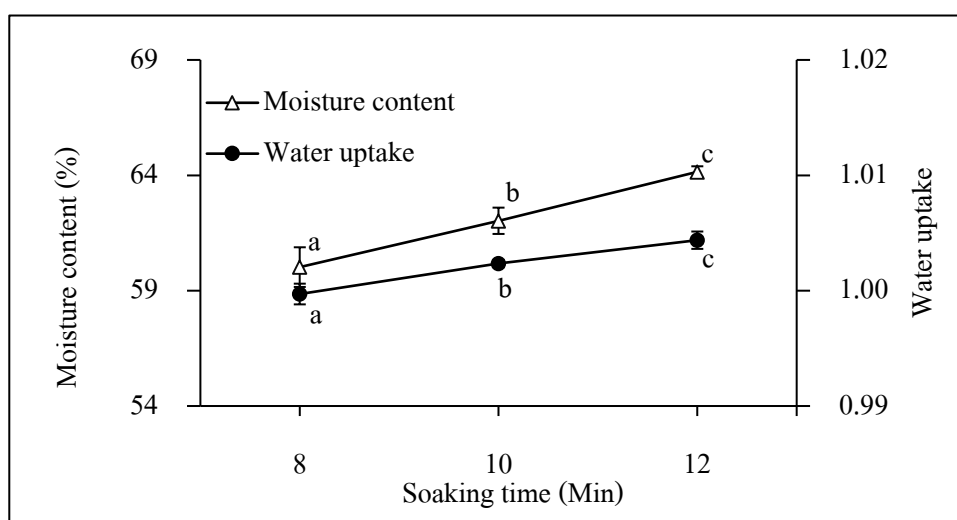


Figure 20 Moisture content and water uptake of cooked Hom Bai Toie brown rice that packed in a retort pouch under heating temperature at 118°C for 26.30 min

Note: Means with different letters on each line indicate significantly different ($p < 0.05$).

Table 26 Type and content of volatile compounds of cooked Hom Bai Toie brown rice that packed in a retort pouch under heating temperature at 118°C for 26.30 min

Soaking time (Min)	Compound	Odor description	Retention time (Min)	Peak area(x10 ⁵)
8	Hexanal	Green, grass-like	4.84	3.12
	Furan	Caramel-like, Sweet	9.12	5.59
	2-Acetyl-1-pyrroline	Sweet	11.00	9.58
	2-Methyl-4-vinylphenol	Apple-like	38.02	16.12
10	Vanillin	Vanilla-like	41.50	3.15
	Hexanal	Green, grass-like	4.84	2.8
	Furan	Caramel-like, Sweet	9.12	6.81
	2-Acetyl-1-pyrroline	Sweet	11.00	8.12
12	2-Methyl-4-vinylphenol	Apple-like	38.02	16.59
	Vanillin	Vanilla-like	41.50	3.76
	Hexanal	Green, grass-like	4.84	2.51
	Furan	Caramel-like, Sweet	9.12	7.03
	2-Acetyl-1-pyrroline	Sweet	11.00	7.13
	2-Methyl-4-vinylphenol	Apple-like	38.02	17.01
	Vanillin	Vanilla-like	41.50	4.03

Note: Odor description reference: <http://www.thegoodscentscompany.com/rawmatex.html>, <http://www.flavornet.org/flavornet.html>

ข้าวขัดขาวพร้อมบริโภคนในภาชนะบรรจุปิดสนิท

จากการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของข้าวพร้อมบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิท พบว่าข้าวขัดขาวพร้อมบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิทที่ผ่านการเตรียมจากการแช่นาน 8 นาที จะมีปริมาณความชื้นและความสามารถในการดูดซับน้ำสูงกว่าข้าวขัดขาวที่ผ่านการแช่นาน 6 นาที ($p < 0.05$) (ภาพที่ 21) จากการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารระเหยของข้าวขัดขาวพร้อมบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิทที่เตรียมจากข้าวผ่านการแช่ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน ชนิดสารระเหยที่พบในข้าวขัดขาวพร้อมบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิทที่ผ่านการเตรียมจากข้าวผ่านการแช่นาน 6 และ 8 นาที ได้แก่ Hexanal, Furan, 2-Acetyl-1-pyrroline, 2-Methyl-4-vinylphenol และ Vanillin (ตารางที่ 27) โครมาโทแกรมของข้าวขัดขาวพร้อมบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิทแสดงในภาพภาคผนวกที่ 6 เมื่อระยะเวลาการแช่นานขึ้น จะทำให้ปริมาณ 2-Acetyl-1-pyrroline และ Hexanal ลดลง ขณะที่ปริมาณ Furan, Vanillin และ 2-Methyl-4-vinylphenol เพิ่มขึ้น

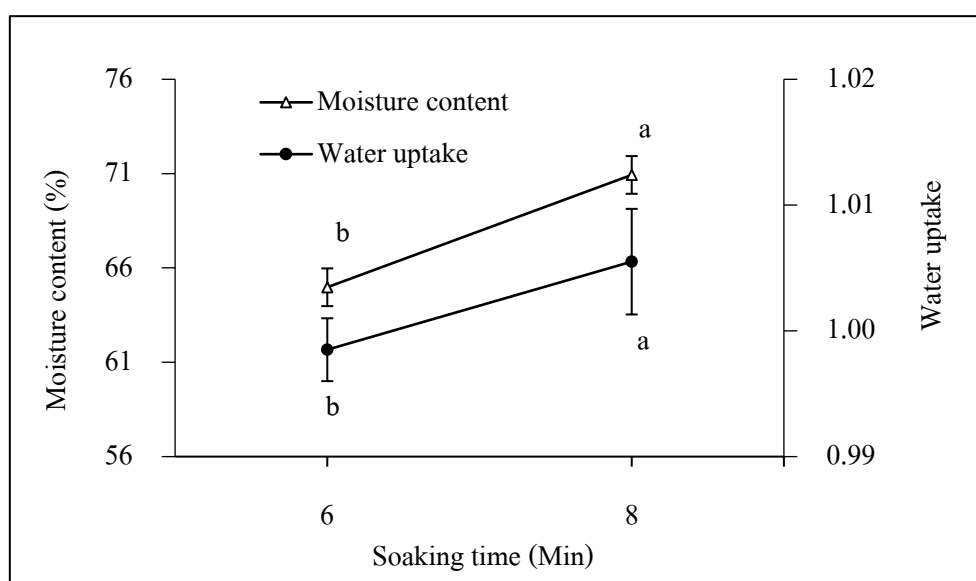


Figure 21 Moisture content and water uptake of cooked Hom Bai Toie milled rice that packed in a retort pouch under heating temperature at 118°C for 23.30 min

Note: Means with different letters on each line indicate significantly different ($p < 0.05$).

Table 27 Type and content of volatile compounds of cooked Hom Bai Toie milled rice that packed in a retort pouch under heating temperature at 118°C for 23.30 min

Soaking time (Min)	Compound	Odor description	Retention time (Min)	Peak area (x10 ⁵)
6	Hexanal	Green, grass-like	4.84	2.15
	Furan	Caramel-like, Sweet	9.12	5.53
	2-Acetyl-1-pyrroline	Sweet	11.00	8.74
	2-Methyl-4-vinylphenol	Apple-like	38.02	12.64
	Vanillin	Vanilla-like	41.50	2.14
8	Hexanal	Green, grass-like	4.84	2.03
	Furan	Caramel-like, Sweet	9.12	6.17
	2-Acetyl-1-pyrroline	Sweet	11.00	6.48
	2-Methyl-4-vinylphenol	Apple-like	38.02	12.95
	Vanillin	Vanilla-like	41.50	2.28

Note: Odor description reference: <http://www.thegoodscentscompany.com/rawmatex.html>, <http://www.flavornet.org/flavornet.html>

3.3.3 การทดสอบทางประสาทสัมผัส

ข้าวกล้องพร้อมบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิท

การทดสอบทางประสาทสัมผัสของข้าวกล้องพร้อมบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิทด้วยวิธี 9-point Hedonic scale พบว่า ระยะเวลาการแช่ข้าวและการทำให้สุกโดยใช้หม้อมาเชื่อมความดันสูงมีผลต่อคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ($p < 0.05$) (ตารางที่ 28) ข้าวกล้องพร้อมบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิทที่ผ่านการเตรียมจากการแช่ข้าว 10 นาที ได้รับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมสูงสุด ($p < 0.05$) ในขณะที่ข้าวกล้องพร้อมบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิทที่ผ่านการเตรียมจากการแช่ข้าว 8 นาที ได้รับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสน้อยที่สุด ($p < 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับค่าความแข็งที่มีสูงสุด (ภาพที่ 20) ส่วนข้าวกล้องพร้อมบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิทที่ผ่านการเตรียมจากการแช่ข้าว 12 นาที ได้รับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสน้อย ซึ่งสอดคล้องกับค่าการเกาะติดที่มีค่าสูงสุด (ภาพที่ 20) เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ พบว่า ข้าวที่หุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้าและข้าวที่หุงด้วยหม้อมาเชื่อมความดันสูงจะมีคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) เนื่องจากการแช่ข้าวในน้ำเดือดก่อนนำไปหุงสุกโดยใช้หม้อมาเชื่อมความดันสูงจะสามารถลดการปริแตกของเมล็ดข้าวได้ เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบด้านกลิ่น พบว่า ข้าวกล้องที่หุงสุกด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้าจะมีคะแนนความชอบด้านกลิ่นสูงกว่าข้าวกล้องพร้อมบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิท เนื่องจากการแช่ข้าวและการใช้ความร้อนและความดันสูงในระหว่างการหุงสุกจะทำให้ข้าวสุกมีกลิ่นหอมลดลงซึ่งสอดคล้องกับปริมาณสาร 2-Acetyl-1-pyrroline ที่ลดลง (ตารางที่ 26)

Table 28 Sensory evaluation of cooked Hom Bai Toei brown rice that packed in a retort pouch under heating temperature at 118°C for 26.30 min

Soaking time (Min)	Sensory attribute					Overall Liking
	Appearance	Colour	Flavour	Texture	Taste	
Control	7.35±0.60 ^{NS}	7.70±0.95 ^{NS}	8.00±0.69 ^a	7.63±0.61 ^b	7.30±0.60 ^{NS}	7.93±0.64 ^b
8	7.25±0.70 ^{NS}	7.73±0.94 ^{NS}	7.63±0.61 ^b	6.93±0.74 ^c	7.33±0.55 ^{NS}	7.57±0.68 ^c
10	7.18±0.59 ^{NS}	7.80±0.66 ^{NS}	7.30±0.60 ^c	8.17±0.90 ^a	7.33±0.66 ^{NS}	8.50±0.63 ^a
12	7.14±0.60 ^{NS}	7.63±0.72 ^{NS}	6.87±0.43 ^d	7.47±0.82 ^b	7.30±0.65 ^{NS}	7.50±0.73 ^c

Note: Means with different letters in the same column are significantly different ($p < 0.05$).

NS in the same column is non-significantly different ($p \geq 0.05$).

Control: Hom Bai Toei brown rice was cooked by an electric rice cooker.

ข้าวขัดขาวพร้อมบริโภคนอกในภาชนะบรรจุปิดสนิท

การทดสอบทางประสาทสัมผัสของข้าวกล้องพร้อมบริโภคนอกในภาชนะบรรจุปิดสนิทด้วยวิธี 9-point Hedonic scale พบว่า ระยะเวลาการแช่ข้าวและการหุงสุกโดยใช้หม้อมาเชื่อมความดันสูงมีผลต่อคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ($p < 0.05$) โดยข้าวขัดขาวพร้อมบริโภคนอกในภาชนะบรรจุปิดสนิทที่ผ่านการเตรียมจากการแช่ข้าว นาน 6 นาที ได้รับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมสูงกว่าข้าวขัดขาวพร้อมบริโภคนอกในภาชนะบรรจุปิดสนิทที่ผ่านการเตรียมจากการแช่ข้าว นาน 8 นาที ($p < 0.05$) (ตารางที่ 29) เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ พบว่า ข้าวที่หุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้าและข้าวพร้อมบริโภคนอกในภาชนะบรรจุปิดสนิทที่ผ่านการเตรียมจากการแช่ข้าว นาน 6 นาที มีคะแนนด้านลักษณะปรากฏไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) ส่วนข้าวพร้อมบริโภคนอกในภาชนะบรรจุปิดสนิทที่ผ่านการเตรียมจากการแช่ข้าว นาน 6 นาที จะมีคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏสูงกว่าข้าวพร้อมบริโภคนอกในภาชนะบรรจุปิดสนิทที่ผ่านการเตรียมจากการแช่ข้าว นาน 8 นาที ($p < 0.05$) เมื่อพิจารณาคะแนนด้านกลิ่น พบว่า ข้าวสุกที่หุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้าจะมีคะแนนความชอบด้านกลิ่นสูงกว่าข้าวขัดขาวพร้อมบริโภคนอกในภาชนะบรรจุปิดสนิท และเมื่อระยะเวลาการแช่ข้าวเพิ่มขึ้นส่งผลให้คะแนนด้านกลิ่นมีค่าลดลงซึ่งสอดคล้องกับปริมาณสาร 2-Acetyl-1-pyrroline (ตารางที่ 27)

Table 29 Sensory evaluation of cooked Hom Bai Toie milled rice that packed in a retort pouch under heating temperature at 118°C for 23.30 min

Soaking time (Min)	Sensory attribute					Overall Liking
	Appearance	Colour	Flavour	Texture	Taste	
Control	7.90±0.92 ^a	7.70±0.60 ^{NS}	7.87±0.73 ^a	7.57±0.86 ^b	7.87±0.78 ^{NS}	7.70±0.84 ^b
6	7.80±0.66 ^a	7.60±0.89 ^{NS}	7.67±0.40 ^b	8.13±0.70 ^a	7.70±0.65 ^{NS}	8.20±0.73 ^a
8	6.73±0.87 ^b	7.27±0.98 ^{NS}	7.30±0.60 ^c	6.67±0.88 ^c	7.57±0.86 ^{NS}	6.87±0.94 ^c

Note: Means with different letters in the same column are significantly different ($p < 0.05$).

NS in the same column is non-significantly different ($p \geq 0.05$).

Control: Hom Bai Toei milled rice was cooked by an electric rice cooker.

จากการสังเกตสมบัติทางกายภาพ เคมี และการทดสอบทางประสาทสัมผัสของข้าวกล้องและข้าวขัดขาวพร้อมบริโภคนอกในภาชนะบรรจุปิดสนิท พบว่า ข้าวกล้องพร้อมบริโภคนอกใน

ภาวะบรรจูปิดสนิทจะมีความยาว สัดส่วนความยาวต่อความกว้างของเมล็ด และอัตราการยืดตัว ค่าความชื้น ความสามารถในการดูดซับน้ำ และมีค่าการเกาะดินน้อยกว่าข้าวขัดขาวพร้อมบริโภคนอก ในภาวะบรรจูปิดสนิท ขณะที่ปริมาณสารระเหยและค่าความแข็งมีค่ามากกว่าข้าวขัดขาวพร้อมบริโภคนอกในภาวะบรรจูปิดสนิท ทั้งนี้เนื่องจากข้าวกล้องมีเยื่อหุ้มเมล็ดทำให้ขัดขวางดูดซับน้ำและการพองตัวของเมล็ดข้าวซึ่งผลต่อค่าเนื้อสัมผัส นอกจากนี้ พบว่า ข้าวกล้องพร้อมบริโภคนอกในภาวะบรรจูปิดสนิทจะได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงกว่าข้าวขัดขาวพร้อมบริโภคนอกในภาวะบรรจูปิดสนิท

จากการเปรียบเทียบค่าเนื้อสัมผัสข้าวกล้องและข้าวขัดขาวหอมมะลิพร้อมบริโภคนอกในภาวะบรรจูปิดสนิทเชิงการค้าตราหงส์ทองที่มีน้ำหนักบรรจุ 150 กรัม ซึ่งผลิตเมื่อวันที่ 3 เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2560 และหมดอายุเมื่อวันที่ 3 เดือนมีนาคม พ.ศ. 2562 หมดอายุเมื่อเก็บรักษานาน 2 ปี (ภาพภาคผนวกที่ 13) กับข้าวกล้องและข้าวขัดขาวหอมใบเตยพร้อมบริโภคนอกในภาวะบรรจูปิดสนิท โดยจะวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแบบ T-test พบว่า ข้าวกล้องหอมมะลิพร้อมบริโภคนอกในภาวะบรรจูปิดสนิทเชิงการค้าตราหงส์ทอง มีค่าความแข็งและค่าการเกาะดินเท่ากับ 52.85 และ 2.74 นิวตัน ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับข้าวกล้องหอมใบเตยพร้อมบริโภคนอกที่เตรียมจากการแช่ข้าว นาน 10 นาที ที่มีค่าความแข็งและค่าการเกาะดินเท่ากับ 54.83 และ 2.62 นิวตัน ตามลำดับ ($p \geq 0.05$) (ภาพที่ 18) นอกจากนี้ข้าวขัดขาวหอมมะลิพร้อมบริโภคนอกในภาวะบรรจูปิดสนิทเชิงการค้าตราหงส์ทองมีค่าความแข็งและค่าการเกาะดินเท่ากับ 25.98 และ 2.94 นิวตัน ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับข้าวขัดขาวหอมใบเตยพร้อมบริโภคนอกที่เตรียมจากการแช่ข้าว นาน 6 นาที ที่มีค่าความแข็งและค่าการเกาะดินเท่ากับ 26.88 และ 2.89 นิวตัน ตามลำดับ ($p \geq 0.05$) (ภาพที่ 19)

4. คุณภาพของข้าวพร้อมบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิทระหว่างการเก็บรักษา

คุณภาพที่ดีของข้าวสุกจะต้องเป็นข้าวที่มีเนื้อสัมผัสที่อ่อนนุ่ม คุณภาพของข้าวสุกมีผลต่อการตัดสินใจเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค การเก็บรักษาข้าวสุกจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของข้าวสุก ในเรื่อง สี การเกิดริโทเกรเดชัน และการลดลงของกลิ่นหอมของข้าวสุก ซึ่งคุณภาพดังกล่าวจะพิจารณาจากค่าสี เนื้อสัมผัส การเกิดริโทเกรเดชัน ชนิดและปริมาณสารระเหยในข้าวสุก และการทดสอบทางประสาทสัมผัส เป็นต้น ในการทดลองนี้ศึกษาคุณภาพของข้าวพร้อมบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิทระหว่างการเก็บรักษา ข้าวกล้องพร้อมบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิทที่ผ่านการเตรียมจากการแช่ข้าว นาน 8, 10 และ 12 นาที และข้าวขัดขาวพร้อมบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิทที่ผ่านการเตรียมจากการแช่ข้าว นาน 6 และ 8 นาที และผ่านการฆ่าเชื้อในสภาวะที่เหมาะสม (จากการศึกษาในตอนต้นที่ 3) ถูกนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง นาน 6 เดือน ทุกๆ เดือนตัวอย่างจะถูกสุ่มวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ เคมี เคมีเชิงฟิสิกส์ และการทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1.1 สมบัติทางกายภาพ

ข้าวกล้องพร้อมบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิท

จากการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของข้าวกล้องพร้อมบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิทที่ผ่านการเตรียมจากการแช่ข้าวที่ระยะเวลาแตกต่างกันและนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง นาน 6 เดือน พบว่า ระยะเวลาการแช่ข้าวและระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อค่าสีของข้าวกล้องพร้อมบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิท ($p < 0.05$) เมื่อพิจารณาผลของข้าวกล้องพร้อมบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิทที่ผ่านการเตรียมจากการแช่ข้าว นาน 8, 10 และ 12 นาที พบว่า เมื่อระยะเวลาการแช่ข้าว นานขึ้นส่งผลให้ค่า L^* เพิ่มขึ้น ขณะที่ค่า b^* และ Chroma ของข้าวกล้องพร้อมบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิทลดลง ($p < 0.05$) เนื่องจากการให้ความร้อนในระหว่างการแช่ข้าวสามารถทำลายเอนไซม์ไลพอกซิเจเนส ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่มีบทบาทในการสร้างกรดไขมันอิสระ ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยาออกซิเดชันในการสร้างสารแอลดีไฮด์ แล้วรวมตัวกับกรดอะมิโนทำให้เกิดสารประกอบสีน้ำตาลประเภทเมลานอยดิน (Sanchez and Raymundo, 1991) เมื่อพิจารณาผลของระยะเวลาการเก็บรักษาต่อค่าสี พบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า L^* ลดลง ส่วนค่า b^* และ Chroma เพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) (ภาพที่ 22) เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดในระหว่างการเก็บรักษา (Park *et al.*, 2012)

จากการวิเคราะห์ค่าเนื้อสัมผัส พบว่า ระยะเวลาการแช่ข้าวและระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อค่าเนื้อสัมผัสของข้าวกล้องพร้อมบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิท ($p < 0.05$) เมื่อพิจารณาผลของข้าวกล้องพร้อมบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิทที่ผ่านการเตรียมจากการแช่ข้าว นาน 8, 10 และ 12 นาที พบว่า เมื่อระยะเวลาแช่ข้าว นานขึ้นส่งผลให้ค่าความแข็งลดลง ส่วนค่าการเกาะติดเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) เมื่อพิจารณาผลของระยะเวลาการเก็บรักษาต่อค่าเนื้อสัมผัส พบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ส่งผลให้ค่า

ความแข็งเพิ่มขึ้น ส่วนค่าการเกาะติดลดลง ($p < 0.05$) (ภาพที่ 23) เนื่องจากการเก็บรักษาข้าวสุกจะทำให้ข้าวเกิดริโทเกรเดชัน โดยสตาร์ชที่ผ่านกระบวนการเจลาติไนเซชันแล้ว เมื่อปล่อยให้เย็นตัวลงและเก็บรักษานานขึ้น โมเลกุลของอะไมโลสที่อยู่ใกล้กันจะเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจน อะไมโลสและอะไมโลเพกทินเกิดการจัดเรียงตัวของโครงสร้างที่แน่นมากขึ้น จึงทำให้ข้าวสุกที่ผ่านการเก็บรักษามีเนื้อสัมผัสที่แข็งเพิ่มขึ้น (Wong *et al.*, 2015; Yu *et al.*, 2010; Yu *et al.*, 2009; Ma and Sun, 2007)

ข้าวขัดขาวพร้อมบริโภคนในภาชนะปิดสนิท

จากการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของข้าวขัดขาวพร้อมบริโภคนในภาชนะบรรจุปิดสนิทที่ผ่านการเตรียมจากการแช่ข้าวที่ระยะเวลาแตกต่างกันและนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องนาน 6 เดือน พบว่า ระยะเวลาแช่ข้าวและระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อค่าสีของข้าวขัดขาวพร้อมบริโภคนในภาชนะบรรจุปิดสนิทเช่นกัน ($p < 0.05$) เมื่อพิจารณาผลของข้าวขัดขาวพร้อมบริโภคนในภาชนะบรรจุปิดสนิทที่ผ่านการเตรียมจากการแช่ข้าว 6 และ 8 นาที พบว่า เมื่อระยะเวลาแช่ข้าวเพิ่มขึ้นและทำให้สุกโดยใช้หม้อฆ่าเชื้อความดันสูงจะส่งผลให้มีค่า L^* เพิ่มขึ้น ขณะที่ค่า b^* และ Chroma ลดลง ($p < 0.05$) เมื่อพิจารณาผลของระยะเวลาการเก็บรักษาต่อค่าสี พบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า L^* ลดลง ส่วนค่า b^* และ Chroma เพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) (ภาพที่ 24)

จากการวิเคราะห์ค่าเนื้อสัมผัส พบว่า ระยะเวลาการแช่ข้าวและระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อค่าเนื้อสัมผัสของข้าวขัดขาวพร้อมบริโภคนในภาชนะบรรจุปิดสนิท ($p < 0.05$) เมื่อพิจารณาผลของข้าวขัดขาวพร้อมบริโภคนที่ผ่านการเตรียมจากการแช่ข้าว 6 และ 8 นาที พบว่า เมื่อระยะเวลาแช่ข้าวเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความแข็งลดลง ส่วนค่าการเกาะติดเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) เมื่อพิจารณาระยะเวลาการเก็บรักษาต่อค่าเนื้อสัมผัส พบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ส่งผลให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้น ส่วนค่าการเกาะติดลดลง ($p < 0.05$) (ภาพที่ 25)

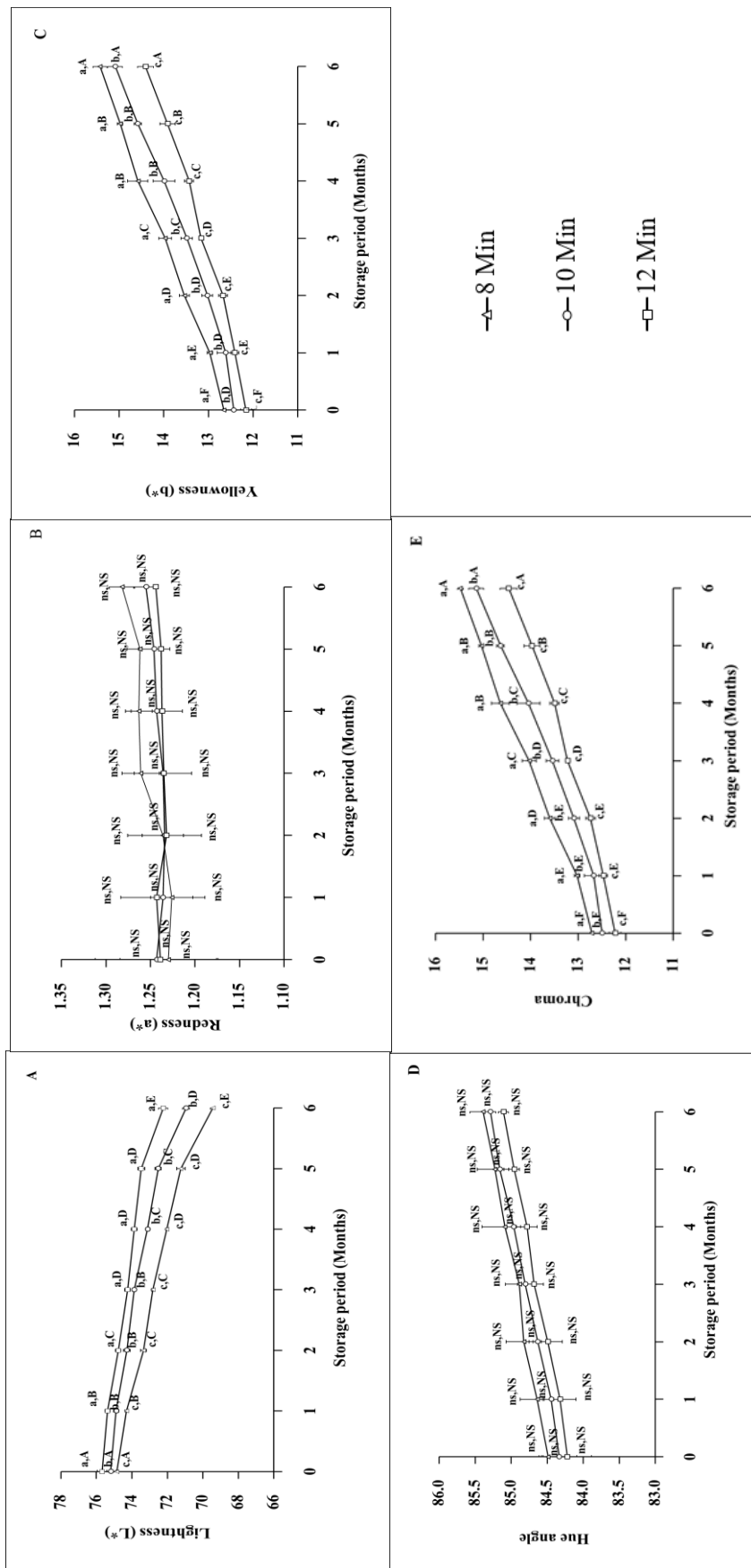


Figure 22 Lightness (A), redness (B), yellowness (C), hue angle (D) and chroma (E) of 3 different soaking times of cooked Hom Bai Toie brown rice that packed in a retort pouch during storage under room temperature for 6 months

Note: Means with different small letters in each month are significantly different within three different soaking time ($p < 0.05$).

Means with different capital letters in each line are significantly different within storage period for 6 months ($p < 0.05$).

NS and ns are non-significantly different ($p \geq 0.05$).

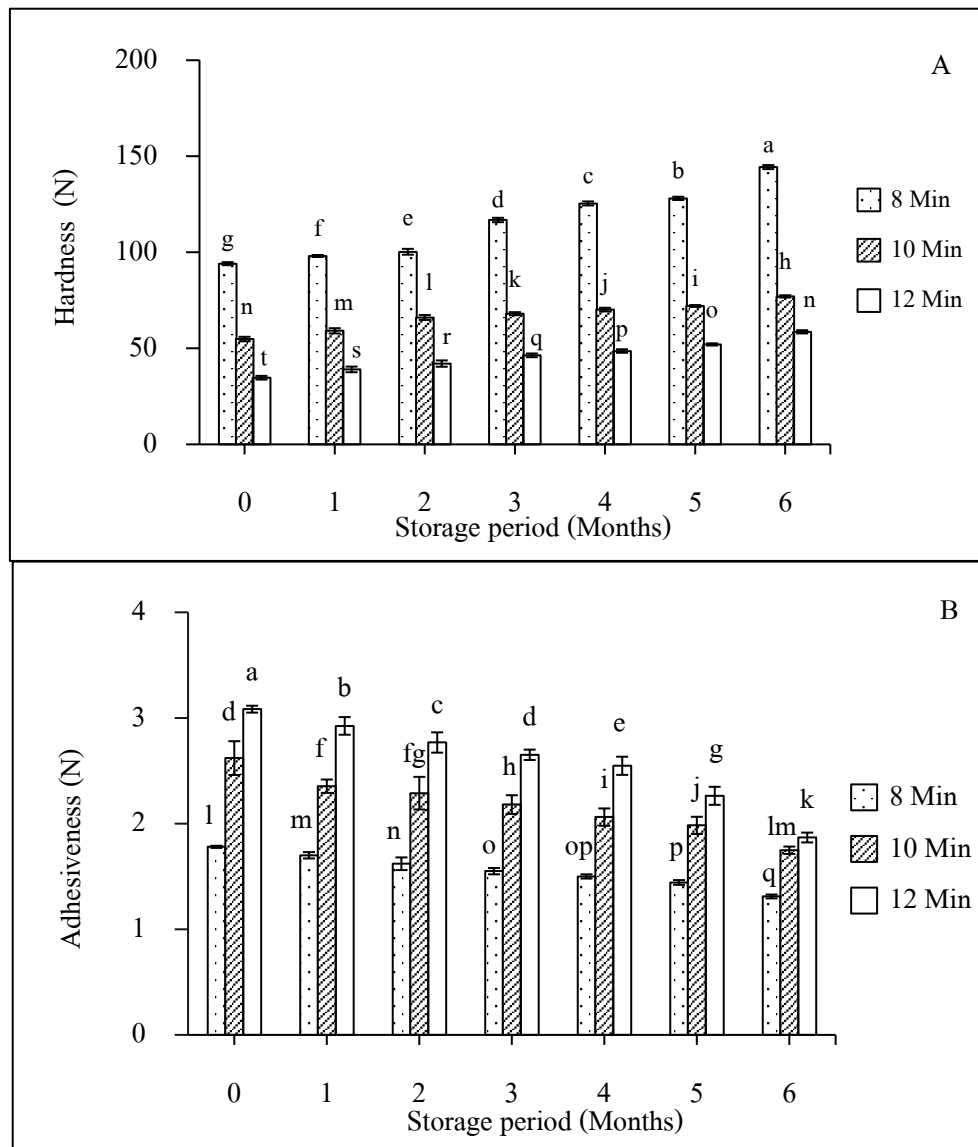


Figure 23 Hardness (A) and adhesiveness (B) of 3 different soaking times of cooked Hom Bai Toie brown rice that packed in a retort pouch during storage under room temperature for 6 months

Note: Means with different letters on each bar indicate significantly different ($p < 0.05$).

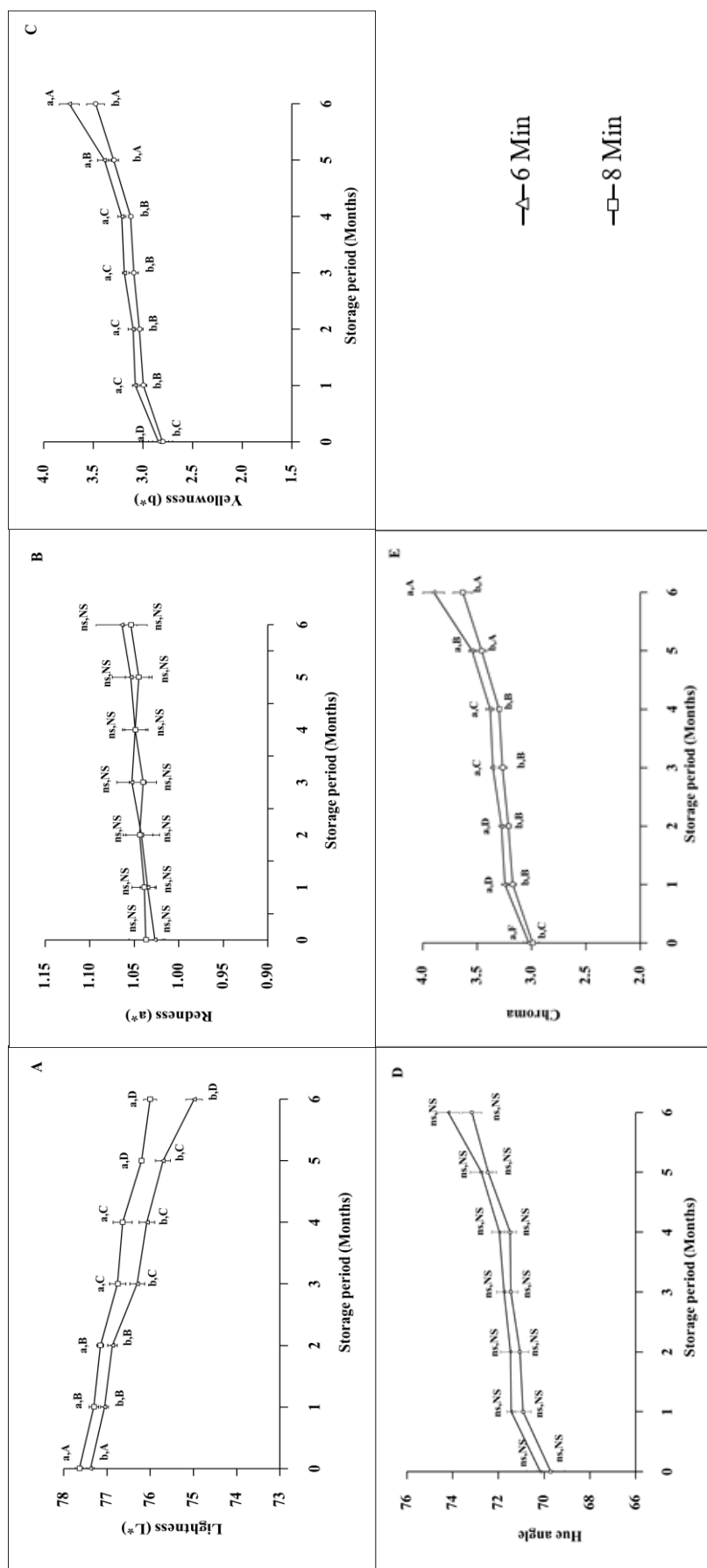


Figure 24 Lightness (A), redness (B), yellowness (C), hue angle (D) and chroma (E) of 2 different soaking times of cooked Hom Bai Toie milled rice that packed in a retort pouch during storage under room temperature for 6 months

Note: Means with different small letters in each line are significantly different within three different soaking time ($p < 0.05$).

Means with different capital letters in each line are significantly different within storage period for 6 months ($p < 0.05$).

NS and ns are non-significantly different ($p \geq 0.05$).

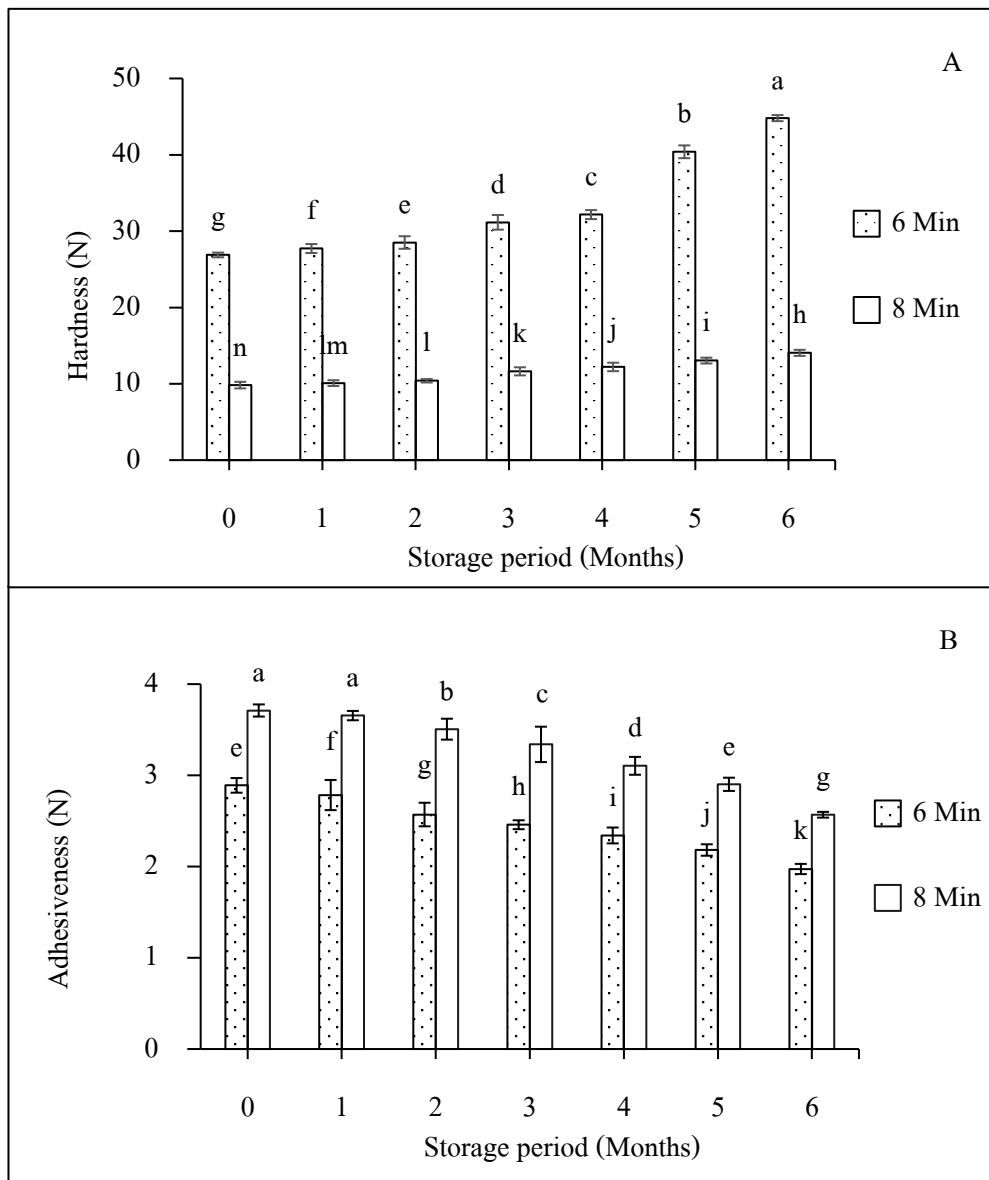


Figure 25 Hardness (A) and adhesiveness (B) of 2 different soaking times of cooked Hom Bai Toie milled rice that packed in a retort pouch during storage under room temperature for 6 months

Note: Means with different letters on each bar indicate significantly different ($p < 0.05$).

4.1.2 สมบัติทางเคมี

ข้าวกล้องพร้อมบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิท

จากการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของข้าวกล้องพร้อมบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิท พบว่า ระยะเวลาการแช่และระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อปริมาณความชื้น ($p<0.05$) เมื่อพิจารณาผลของข้าวกล้องพร้อมบริโภคที่ผ่านการเตรียมจากการแช่ข้าว นาน 8, 10 และ 12 นาที พบว่า เมื่อระยะเวลาการแช่ข้าวเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น ($p<0.05$) เนื่องจากการระยะเวลาแช่ข้าว นานขึ้นและ การทำให้สุกโดยหม้อฆ่าเชื้อความดันสูงจะทำให้เมล็ดข้าวมีปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาผลของ ระยะเวลาการเก็บรักษา พบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ส่งผลให้ปริมาณความชื้นลดลง ($p<0.05$) (ภาพที่ 26) เนื่องจากในระหว่างการเก็บรักษาข้าวสุกจะเกิดซินเนอริซิส (Syneresis) โมเลกุลของ น้ำอิสระอยู่ในเมล็ดข้าวจะถูกบีบออกมาออกโครงสร้าง จึงทำให้ปริมาณความชื้นลดลง (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2550; กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546)

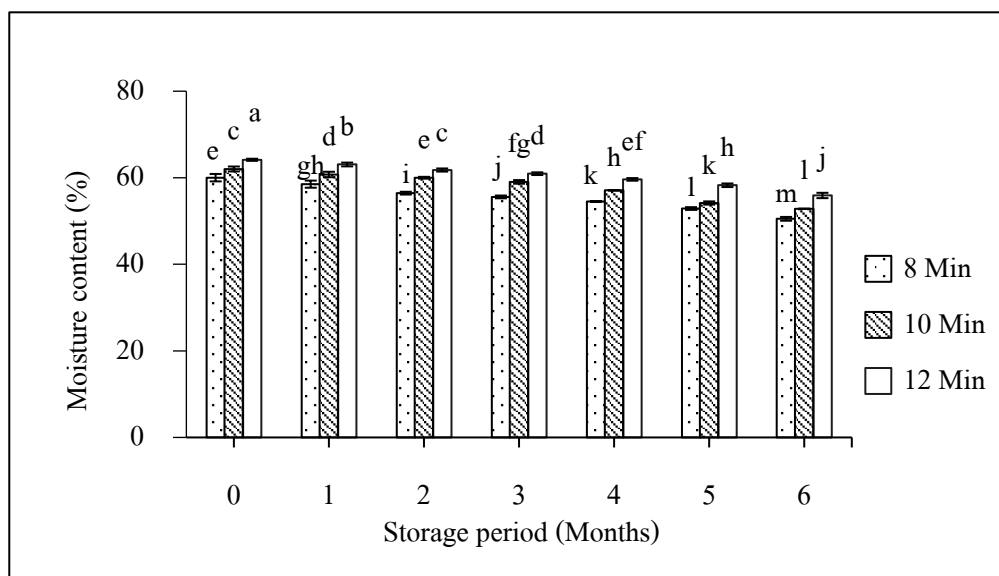


Figure 26 Moisture content of cooked Hom Bai Toie brown rice that packed in a retort pouch during storage for 6 months

Note: Means with different letters on each bar indicate significantly different ($p<0.05$).

จากการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารระเหยในข้าวกล้องพร้อมบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิท ที่ผ่านการเตรียมจากการแช่ข้าว นาน 8, 10 และ 12 นาที และนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง นาน 6 เดือน พบว่า ชนิดสารระเหยในข้าวกล้องพร้อมบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิทในเดือนที่ 0 และ 6 ได้แก่ Hexanal, Furan, 2-Acetyl-1-pyrroline, 2-Methyl-4-vinylphenol และ Vanillin (ตารางที่ 30)

โครมาโทแกรมของข้าวกล้องพร้อมบริโภคนในภาชนะปิดสนิทแสดงในภาพภาคผนวกที่ 7 เมื่อพิจารณาระยะเวลาการแช่ข้าว พบว่า เมื่อระยะเวลาการแช่ข้าวยาวนานขึ้นจะทำให้ข้าวกล้องพร้อมบริโภคนในภาชนะบรรจุปิดสนิทมีปริมาณ 2-Acetyl-1-pyrroline และ Hexanal ลดลง ขณะที่ปริมาณ Furan, 2-Methyl-4-vinylphenol และ Vanillin เพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาระยะเวลาการเก็บรักษา พบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นส่งผลให้ปริมาณ Furan, Acetyl-1-pyrroline, 2-Methyl-4-vinylphenol และ Vanillin ลดลง ขณะที่ปริมาณ Hexanal เพิ่มขึ้นและมี Benzaldehyde เกิดขึ้น เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันที่อยู่ในองค์ประกอบของข้าวซึ่งเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัว โดยกรดไขมันดังกล่าวจะถูกออกซิไดซ์โดยมีแสงและออกซิเจนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และทำให้เกิดสารเพอร์ออกไซด์แล้วเกิดการสลายตัวต่อไปเป็นสารแอลดีไฮด์และคีโตน (Tananuwong and Lertsiri, 2010; Shahidi and Zhoung, 2005; Marsili, 2002; Zhou *et al.*, 2002)

ข้าวขัดขาวพร้อมบริโภคนในภาชนะปิดสนิท

จากการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของข้าวขัดขาวพร้อมบริโภคนในภาชนะบรรจุปิดสนิท พบว่า ระยะเวลาการแช่ข้าวและระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อปริมาณความชื้น ($p < 0.05$) เมื่อพิจารณาผลของข้าวขัดขาวพร้อมบริโภคนที่ผ่านการเตรียมจากการแช่ข้าว 6 และ 8 นาที พบว่า เมื่อระยะเวลาการแช่ข้าวเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) เมื่อพิจารณาผลของระยะเวลาการเก็บรักษา พบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ส่งผลให้ปริมาณความชื้นลดลง ($p < 0.05$) (ภาพที่ 27)

Table 30 Type and content of volatile compounds of cooked Hom Bai Toie brown rice that packed in a retort pouch under heating temperature at 118°C for 26.30 min and storage under room temperature for 6 months

Soaking time (Min)	Storage period (Month)	Compound	Odor description	Retention time (Min)	Peak area (x10 ⁵)
8	0	Hexanal	Green, grass-like	4.84	3.12
		Furan	Caramel-like, Sweet	9.12	5.59
		2-Acetyl-1-pyrroline	Sweet	11.00	9.58
	2-Methyl-4-vinylphenol	Apple-like	38.02	16.12	
	Vanillin	Vanilla-like	41.50	3.15	
	6	6	Hexanal	Green, grass-like	4.84
Furan			Caramel-like, Sweet	9.12	3.59
2-Acetyl-1-pyrroline			Sweet	11.00	8.12
Benzaldehyde		Almond-like	12.75	3.13	
2-Methyl-4-vinylphenol		Apple-like	38.02	15.03	
Vanillin		Vanilla-like	41.50	3.02	

Note: Odor description reference: <http://www.thegoodscentscompany.com/rawmatex.html>, <http://www.flavornet.org/flavornet.html>

Table 30 Continue

Soaking time (Min)	Storage period (Month)	Compound	Odor description	Retention time (Min)	Peak area (x10 ⁵)
10	0	Hexanal	Green, grass-like	4.84	2.8
		Furan	Caramel-like, Sweet	9.12	6.81
		2-Acetyl-1-pyrroline	Sweet	11.00	8.12
		2-Methyl-4-vinylphenol	Apple-like	38.02	16.59
		Vanillin	Vanilla-like	41.50	3.76
6		Hexanal	Green, grass-like	4.84	3.10
		Furan	Caramel-like, Sweet	9.12	5.71
		2-Acetyl-1-pyrroline	Sweet	11.00	7.26
		Benzaldehyde	Almond-like	12.75	3.23
		2-Methyl-4-vinylphenol	Apple-like	38.02	15.42
		Vanillin	Vanilla-like	41.50	3.01

Note: Odor description reference: <http://www.thegoodscentscompany.com/rawmatex.html>, <http://www.flavornet.org/flavornet.html>

Table 30 Continue

Soaking time (Min)	Storage period (Month)	Compound	Odor description	Retention time (Min)	Peak area (x10 ⁵)
12	0	Hexanal	Green, grass-like	4.84	2.51
		Furan	Caramel-like, Sweet	9.12	7.03
		2-Acetyl-1-pyrroline	Sweet	11.00	7.13
		2-Methyl-4-vinylphenol	Apple-like	38.02	17.01
		Vanillin	Vanilla-like	41.50	4.03
	6	Hexanal	Green, grass-like	4.84	2.63
		Furan	Caramel-like, Sweet	9.12	6.34
		2-Acetyl-1-pyrroline	Sweet	11.00	7.13
		Benzaldehyde	Almond-like	12.75	3.39
		2-Methyl-4-vinylphenol	Apple-like	38.02	16.34
		Vanillin	Vanilla-like	41.50	3.67

Note: Odor description reference: <http://www.thegoodscentscompany.com/rawmatex.html>, <http://www.flavornet.org/flavornet.html>

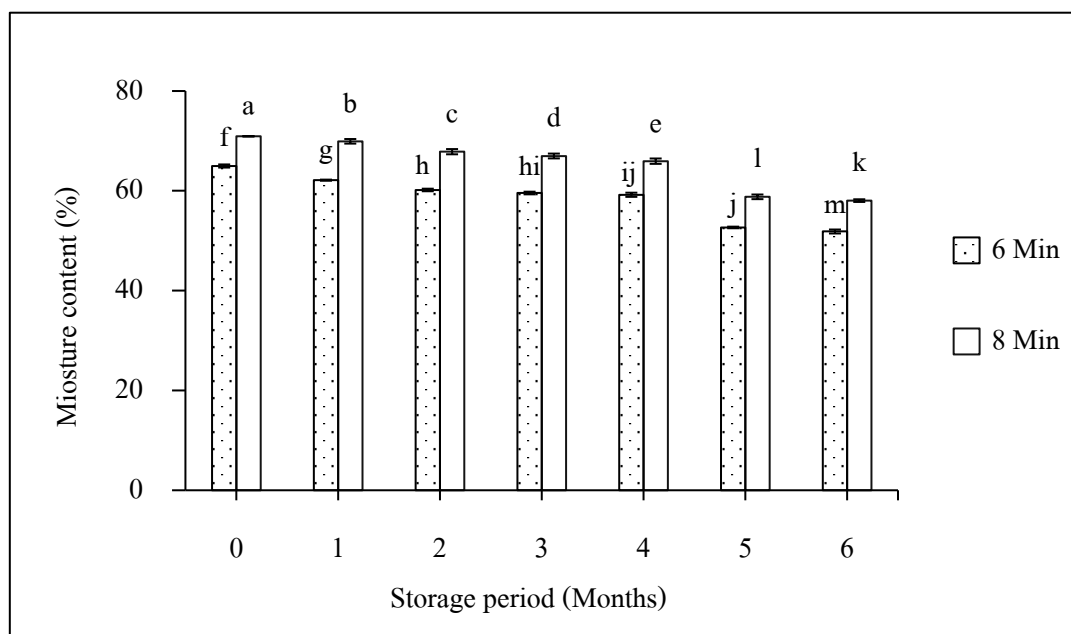


Figure 27 Moisture content of cooked Hom Bai Toie milled rice that packed in a retort pouch during storage for 6 months

Note: Means with different letters on each bar indicate significantly different ($p < 0.05$).

จากการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารระเหยในข้าวขัดขาวพร้อมบริโภคนในภาชนะบรรจุปิดสนิทที่ผ่านการเตรียมจากการแช่ข้าว นาน 6 และ 8 นาที และนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องนาน 6 เดือน พบว่า ชนิดสารระเหยในข้าวขัดขาวพร้อมบริโภคนในภาชนะบรรจุปิดสนิทในเดือนที่ 0 และ 6 ได้แก่ Hexanal, Furan, 2-Acetyl-1-pyrroline, 2-Methyl-4-vinylphenol และ Vanillin (ตารางที่ 31) โครมาโทแกรมของข้าวขัดขาวพร้อมบริโภคนในภาชนะปิดสนิทแสดงในภาพภาคผนวกที่ 8 เมื่อพิจารณาระยะเวลาการแช่ข้าว พบว่า เมื่อระยะเวลาการแช่นานขึ้น จะทำให้ 2-Acetyl-1-pyrroline และ Hexanal ลดลง ขณะที่ปริมาณ Furan, 2-Methyl-4-vinylphenol และ Vanillin เพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาระยะเวลาการเก็บรักษา พบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ส่งผลให้ปริมาณ Furan, Acetyl-1-pyrroline, Benzaldehyde, 2-Methyl-4-vinylphenol และ Vanillin ลดลง ขณะที่ปริมาณ Hexanal เพิ่มขึ้นและมีสาร Benzaldehyde เกิดขึ้นระหว่างการเก็บรักษา

Table 31 Type and content of volatile compounds of cooked Hom Bai Toie milled rice that packed in a retort pouch under heating temperature at 118°C for 23.30 min and storage under room temperature for 6 months

Soaking time (Min)	Storage period (Months)	Compound	Odor description	Retention time (Min)	Peak area (x10 ⁵)
6	0	Hexanal	Green, grass-like	4.84	2.15
		Furan	Caramel-like, Sweet	9.12	5.53
		2-Acetyl-1-pyrroline	Sweet	11.00	8.74
		2-Methyl-4-vinylphenol	Apple-like	38.02	12.64
		Vanillin	Vanilla-like	41.50	2.14
6		Hexanal	Green, grass-like	4.84	2.64
		Furan	Caramel-like, Sweet	9.12	4.01
		2-Acetyl-1-pyrroline	Sweet	11.00	7.11
		Benzaldehyde	Almond-like	12.75	2.16
		2-Methyl-4-vinylphenol	Apple-like	38.02	11.25
		Vanillin	Vanilla-like	41.50	2.10

Note: Odor description reference: <http://www.thegoodscentscompany.com/rawmatex.html>, <http://www.flavornet.org/flavornet.html>

Table 31 Continue

Soaking time (Min)	Storage period (Months)	Compound	Odor description	Retention time (Min)	Peak area (x10 ⁵) Milled rice
8	0	Hexanal	Green, grass-like	4.84	2.03
		Furan	Caramel-like, Sweet	9.12	6.17
		2-Acetyl-1-pyrroline	Sweet	11.00	6.48
		2-Methyl-4-vinylphenol	Apple-like	38.02	12.95
		Vanillin	Vanilla-like	41.50	2.28
	6	Hexanal	Green, grass-like	4.84	2.26
		Furan	Caramel-like, Sweet	9.12	5.84
		2-Acetyl-1-pyrroline	Sweet	11.00	5.13
		2-Methyl-4-vinylphenol	Apple-like	38.02	11.05
		Vanillin	Vanilla-like	41.50	2.06

Note: Odor description reference: <http://www.thegoodscentscompany.com/rawmatex.html>, <http://www.flavornet.org/flavornet.html>

4.1.3 สมบัติเคมีเชิงฟิสิกส์

ข้าวกล้องพร้อมบริโภคนในภาชนะบรรจุปิดสนิท

การเกิดรีโทเกรเดชันของข้าวกล้องพร้อมบริโภคนในภาชนะบรรจุปิดสนิทในระหว่างการเก็บรักษาจะส่งผลต่อเนื้อสัมผัสของข้าวสุก ซึ่งการเกิดรีโทเกรเดชันขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ กระบวนการให้ความร้อน กระบวนการให้ความเย็น อุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษา การเกิดรีโทเกรเดชันของข้าวพร้อมบริโภคนในภาชนะปิดสนิทในระหว่างการเก็บรักษาจะสามารถพิจารณาได้จากค่าพลังงานที่ใช้ในการเจลาติไนเซชัน (ΔH)

จากการวิเคราะห์สมบัติการเกิดรีโทเกรเดชันของข้าวกล้องพร้อมบริโภคนในภาชนะปิดสนิท พบว่า ระยะเวลาแช่ข้าวและระยะเวลาการเก็บรักษาไม่มีผลต่อการเกิดรีโทเกรเดชัน ($p \geq 0.05$) เมื่อพิจารณาระยะเวลาแช่ข้าว พบว่า ระยะเวลาแช่ที่ต่างกัน ไม่มีผลต่อค่าอุณหภูมิเริ่มต้น (T_0) อุณหภูมิสูงสุด (T_p) อุณหภูมิสุดท้าย (T_c) และค่าพลังงานที่ใช้ในการเจลาติไนเซชัน (ΔH) ($p \geq 0.05$) เมื่อพิจารณาระยะเวลาการเก็บรักษา พบว่า เมื่อระยะเวลารักษานานขึ้น ส่งผลให้ค่าอุณหภูมิเริ่มต้น (T_0) อุณหภูมิสูงสุด (T_p) อุณหภูมิสุดท้าย (T_c) และค่าพลังงานที่ใช้ในการเจลาติไนเซชัน (ΔH) เพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) (ตารางที่ 32) ค่าพลังงานที่ใช้ในการเจลาติไนเซชัน (ΔH) ของข้าวกล้องพร้อมบริโภคนในภาชนะบรรจุปิดสนิทที่ผ่านการเตรียมจากการข้าวแช่นาน 8 นาที ในเดือนที่ 1 และ 6 เท่ากับ 0.68 และ 0.97 จูลต่อกรัม ตามลำดับ ซึ่งค่าพลังงานที่ใช้ในการเจลาติไนเซชัน (ΔH) แสดงถึงการเกิดรีโทเกรเดชันของข้าวกล้องพร้อมบริโภคนในภาชนะปิดสนิทในระหว่างการเก็บรักษา ข้าวสุกถูกนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลานานจะทำให้โมเลกุลของอะไมโลสที่อยู่ใกล้กันจะเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจน ส่งผลให้โครงสร้างของอะไมโลสและอะไมโลเพกทินแน่นมากขึ้น (Wong *et al.*, 2015; Yu *et al.*, 2010; Ma and Sun, 2007) จึงทำให้นเนื้อสัมผัสของข้าวพร้อมบริโภคนในภาชนะปิดสนิทมีความแข็งเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับค่าความแข็งที่เพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพที่ 25)

Table 32 Retrogradation of cooked Hom Bai Toie brown rice that packed in a retort pouch during storage under room temperature for 6 months

Soaking time (Min)	Storage period (Months)	Thermal properties			
		T _o (°C)	T _p (°C)	T _c (°C)	ΔH (J/g)
8	0	-	-	-	-
	1	54.74±0.12 ^c	55.61±0.07 ^{ef}	58.39±0.15 ^c	0.68±0.01 ^{fg}
	2	54.76±0.01 ^e	55.63±0.01 ^{def}	58.47±0.05 ^d	0.71±0.02 ^{ef}
	3	54.88±0.02 ^{cd}	55.65±0.01 ^{cdef}	58.54±0.03 ^d	0.77±0.04 ^d
	4	54.93±0.01 ^c	55.72±0.02 ^{cd}	58.62±0.03 ^c	0.87±0.02 ^e
	5	55.30±0.07 ^b	55.87±0.07 ^b	58.77±0.09 ^b	0.93±0.01 ^b
	6	55.83±0.02 ^a	56.10±0.17 ^a	59.42±0.03 ^a	0.97±0.01 ^a
10	0	-	-	-	-
	1	54.75±0.02 ^e	55.61±0.01 ^{ef}	58.38±0.01 ^e	0.67±0.01 ^g
	2	54.76±0.13 ^e	55.63±0.03 ^{def}	58.46±0.01 ^d	0.71±0.02 ^{ef}
	3	54.82±0.01 ^{de}	55.65±0.02 ^{cdef}	58.42±0.02 ^{cd}	0.76±0.02 ^d
	4	54.94±0.01 ^c	55.73±0.06 ^c	58.62±0.01 ^c	0.86±0.01 ^c
	5	55.30±0.12 ^b	55.86±0.10 ^b	58.77±0.02 ^b	0.93±0.03 ^b
	6	55.83±0.01 ^a	56.11±0.01 ^a	59.41±0.01 ^a	0.97±0.01 ^a
12	0	-	-	-	-
	1	54.74±0.05 ^c	55.60±0.02 ^f	58.39±0.01 ^e	0.66±0.05 ^g
	2	54.76±0.02 ^e	55.62±0.07 ^{ef}	58.45±0.02 ^d	0.70±0.01 ^{ef}
	3	54.88±0.02 ^{cd}	55.65±0.02 ^{cdef}	58.54±0.01 ^d	0.74±0.03 ^{de}
	4	54.93±0.02 ^c	55.71±0.01 ^{cde}	58.61±0.01 ^c	0.84±0.02 ^c
	5	55.30±0.01 ^b	55.88±0.01 ^b	58.76±0.01 ^b	0.92±0.02 ^b
	6	55.82±0.05 ^a	56.10±0.01 ^a	59.40±0.00 ^a	0.96±0.01 ^a

Note: Means with different letters in the same column are significantly different (p<0.05).

ข้าวขัดขาวพร้อมบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิท

จากการวิเคราะห์สมบัติการเกิดรีโทรเกรเดชันของข้าวขัดขาวพร้อมบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิท พบว่า ระหว่างระยะเวลาแช่ข้าวและระยะเวลาการเก็บรักษาไม่มีผลต่อค่าการเกิดรีโทรเกรเดชัน

($p \geq 0.05$) เมื่อพิจารณาระยะเวลาการแช่ พบว่า ระยะเวลาแช่ข้าวที่ต่างกัน ไม่มีผลต่อค่าอุณหภูมิเริ่มต้น (T_o) อุณหภูมิสูงสุด (T_p) อุณหภูมิสุดท้าย (T_c) และค่าพลังงานที่ใช้ในการเจลาติไนเซชัน ($p \geq 0.05$) เมื่อพิจารณาระยะเวลาการเก็บรักษา พบว่า เมื่อระยะเวลารักษานานขึ้นส่งผลให้ข้าวขัดขาวพร้อมบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิทมีค่าอุณหภูมิเริ่มต้น (T_o) อุณหภูมิสูงสุด (T_p) อุณหภูมิสุดท้าย (T_c) และค่าพลังงานที่ใช้ในการเจลาติไนเซชัน (ΔH) เพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) ค่าพลังงานที่ใช้ในการเจลาติไนเซชัน (ΔH) ของข้าวขัดขาวพร้อมบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิทที่ผ่านการเตรียมจากข้าวแช่ข้าวานาน 6 นาทีในเดือนที่ 1 และ 6 เท่ากับ 0.67 และ 0.99 จูลต่อกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 33)

Table 33 Retrogradation of cooked Hom Bai Toie milled rice that packed in a retort pouch during storage for 6 months

Soaking time (Min)	Storage (Months)	Thermal properties			
		T_o (°C)	T_p (°C)	T_c (°C)	ΔH (J/g)
6	0	-	-	-	-
	1	55.03±0.08 ^e	56.60±0.13 ^{ef}	58.20±0.03 ^f	0.67±0.01 ^h
	2	55.24±0.27 ^d	56.65±0.09 ^{def}	58.36±0.02 ^e	0.71±0.01 ^g
	3	55.64±0.26 ^c	56.73±0.03 ^{cde}	58.42±0.04 ^e	0.74±0.02 ^{fg}
	4	55.79±0.20 ^{bc}	56.84±0.16 ^{bc}	58.61±0.02 ^d	0.78±0.02 ^{de}
	5	56.01±0.05 ^a	56.83±0.06 ^{bc}	58.73±0.12 ^c	0.84±0.03 ^c
	6	56.17±0.02 ^a	57.17±0.06 ^a	59.23±0.01 ^a	0.99±0.01 ^a
8	0	-	-	-	-
	1	55.00±0.02 ^e	56.58±0.13 ^f	58.18±0.04 ^g	0.66±0.06 ⁱ
	2	55.23±0.07 ^d	56.62±0.07 ^{cf}	58.34±0.01 ^f	0.69±0.03 ^h
	3	55.61±0.03 ^c	56.72±0.02 ^{bcd}	58.40±0.03 ^e	0.72±0.01 ^h
	4	55.75±0.02 ^c	56.81±0.01 ^b	58.59±0.01 ^d	0.77±0.01 ^{cf}
	5	55.99±0.01 ^{ab}	56.87±0.05 ^a	58.70±0.03 ^d	0.82±0.03 ^d
	6	56.13±0.01 ^a	57.15±0.04 ^a	59.20±0.03 ^b	0.98±0.01 ^b

Note: Means with different letters in the same column are significantly different ($p < 0.05$).

4.1.4 คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส

ข้าวกล้องพร้อมบริโภคนอกในภาชนะบรรจุปิดสนิท

ข้าวกล้องพร้อมบริโภคนอกในภาชนะปิดสนิทที่ผ่านการเตรียมจากข้าวแช่นาน 8, 10 และ 12 นาที และฆ่าเชื้อจะถูกนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและการทดสอบทางด้านด้านประสาทสัมผัสของในระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งการทดสอบทางด้านด้านประสาทสัมผัสจะประเมินคะแนนความชอบทางด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบโดยรวม ด้วยวิธี 9-point Hedonic scale พบว่าระยะเวลาการแช่ข้าวและระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบโดยรวม ($p < 0.05$) เมื่อพิจารณาผลของระยะเวลาการแช่ข้าว พบว่า ข้าวกล้องพร้อมบริโภคนอกที่ผ่านการเตรียมจากการแช่นาน 10 นาที ได้รับคะแนนความชอบเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมสูงกว่าข้าวกล้องพร้อมบริโภคนอกที่ผ่านการเตรียมจากการแช่นาน 8 และ 12 นาที ($p < 0.05$) เมื่อพิจารณาผลของระยะเวลาการเก็บรักษา พบว่า ข้าวกล้องพร้อมบริโภคนอกในภาชนะบรรจุปิดสนิทมีคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษานาน 6 เดือน ที่อุณหภูมิห้อง ($p < 0.05$) (ตารางที่ 34) ข้าวกล้องที่ผ่านการแช่ในน้ำเดือดนาน 10 นาที และถูกนำมาบรรจุในถุงรีโอร์ทอแพวซ์และผ่านการให้ความร้อนจะมีคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมสูงสุดดีกว่าสภาวะอื่น

ข้าวขัดขาวพร้อมบริโภคนอกในภาชนะบรรจุปิดสนิท

การทดสอบทางประสาทสัมผัสของของข้าวขัดขาวพร้อมบริโภคนอกในภาชนะบรรจุปิดสนิทในระหว่างการเก็บรักษา พบว่า ระยะเวลาการแช่ข้าวและระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบโดยรวม ($p < 0.05$) เมื่อพิจารณาผลของระยะเวลาการแช่ข้าว พบว่า ข้าวขัดขาวพร้อมบริโภคนอกที่ผ่านการเตรียมจากการแช่นาน 6 นาที ได้รับคะแนนความชอบเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมสูงกว่าข้าวกล้องพร้อมบริโภคนอกที่ผ่านการเตรียมจากการแช่นาน 8 นาที ($p < 0.05$) เมื่อพิจารณาผลของระยะเวลาการเก็บรักษา พบว่า ข้าวกล้องพร้อมบริโภคนอกในภาชนะบรรจุปิดสนิทมีคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษานาน 6 เดือน ที่อุณหภูมิห้อง ($p < 0.05$) (ตารางที่ 35) ข้าวกล้องที่ผ่านการแช่ในน้ำเดือดนาน 6 นาที และถูกนำมาบรรจุในถุงรีโอร์ทอแพวซ์และผ่านการให้ความร้อนจะมีคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมสูงสุดดีกว่าสภาวะอื่น

จากการสังเกตในภาพรวมสรุปได้ว่า สมบัติทางกายภาพ เคมี และเคมีเชิงฟิสิกส์ของข้าวกล้องและข้าวขัดขาวพร้อมบริโภคนอกในภาชนะบรรจุปิดสนิทระหว่างการเก็บรักษา พบว่า ข้าวกล้องพร้อมบริโภคนอกในภาชนะบรรจุปิดสนิทมีค่าความแข็งสูง ขณะที่ปริมาณความชื้น และค่าการเกาะติด

และการเกิดรีโทรเกรเดชันต่ำกว่าข้าวขัดขาวพร้อมบริโภคนอกจากรูปคสนิท นอกจากนี้ข้าวกล้องพร้อมบริโภคนอกจากรูปคสนิทได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงกว่าข้าวขัดขาวพร้อมบริโภคนอกจากรูปคสนิทระหว่างการเก็บรักษา

Table 34 Sensory evaluation of cooked Hom Bai Toei brown rice that packed in a retort pouch during storage for 6 months

Soaking time (Min)	Storage (Months)	Sensory attributes							
		Appearance	Colour	Flavour	Texture	Taste	Overall Liking		
Control	0	7.70±0.60 ^{NS}	7.70±0.95 ^{NS}	8.00±0.69 ^{NS}	7.63±0.61 ^c	7.30±0.60 ^{NS}	7.93±0.64 ^{def}		
	1	7.87±0.73 ^{NS}	7.67±0.96 ^{NS}	7.77±0.77 ^{NS}	7.60±0.62 ^{bcd}	7.67±0.66 ^{NS}	7.87±0.68 ^{efg}		
	2	7.90±0.66 ^{NS}	7.63±0.81 ^{NS}	7.70±0.70 ^{NS}	7.63±0.56 ^{bcd}	7.60±0.67 ^{NS}	7.80±0.61 ^{fgh}		
	3	7.93±0.58 ^{NS}	7.57±0.77 ^{NS}	7.63±0.56 ^{NS}	7.53±0.57 ^{cdef}	7.57±0.68 ^{NS}	7.77±0.68 ^{fgh}		
	4	7.97±0.61 ^{NS}	7.50±0.78 ^{NS}	7.57±0.57 ^{NS}	7.50±0.57 ^{cdef}	7.53±0.68 ^{NS}	7.73±0.58 ^{fgh}		
	5	8.00±0.64 ^{NS}	7.43±0.77 ^{NS}	7.50±0.51 ^{NS}	7.40±0.56 ^{efg}	7.47±0.68 ^{NS}	7.60±0.50 ^{ghi}		
	6	8.03±0.56 ^{NS}	7.37±0.72 ^{NS}	7.40±0.50 ^{NS}	7.30±0.47 ^{efghi}	7.37±0.61 ^{NS}	7.47±0.51 ^{ghi}		
8	0	7.90±0.66 ^{NS}	7.73±0.94 ^{NS}	7.63±0.61 ^{NS}	6.93±0.74 ^{ijkl}	7.33±0.55 ^{NS}	7.57±0.68 ^{ghi}		
	1	7.97±0.72 ^{NS}	7.63±0.89 ^{NS}	7.53±0.68 ^{NS}	6.77±0.68 ^{klm}	7.57±0.63 ^{NS}	7.20±0.41 ^{klnm}		
	2	8.00±0.69 ^{NS}	7.57±0.82 ^{NS}	7.47±0.63 ^{NS}	6.60±0.62 ^{lmn}	7.50±0.57 ^{NS}	7.07±0.25 ^{lm}		
	3	8.03±0.67 ^{NS}	7.50±0.82 ^{NS}	7.40±0.62 ^{NS}	6.50±0.57 ^{mn}	7.47±0.57 ^{NS}	7.00±0.25 ^m		
	4	8.07±0.64 ^{NS}	7.43±0.73 ^{NS}	7.23±0.43 ^{NS}	6.27±0.58 ^{no}	7.43±0.57 ^{NS}	6.90±0.31 ^m		
	5	8.13±0.57 ^{NS}	7.37±0.72 ^{NS}	7.13±0.43 ^{NS}	6.07±0.37 ^o	7.37±0.56 ^{NS}	6.33±0.61 ⁿ		
	6	8.20±0.55 ^{NS}	7.20±0.61 ^{NS}	7.00±0.37 ^{NS}	5.27±0.45 ^p	7.30±0.53 ^{NS}	6.13±0.43 ⁿ		

Note: Means with different letters in the same column are significantly different ($p < 0.05$).

NS in the same column is non-significantly different ($p \geq 0.05$).

Control: Hom Bai Toei brown rice was cooked by an electric rice cooker.

Table 34 Continue

Soaking time (Min)	Storage (Months)	Sensory attributes							Overall Liking
		Appearance	Colour	Flavour	Texture	Taste			
10	0	7.17±0.59 ^{NS}	7.80±0.66 ^{NS}	7.33±0.66 ^{NS}	8.17±0.90 ^a	7.33±0.66 ^{NS}	8.17±0.90 ^a	7.33±0.66 ^{NS}	8.50±0.63 ^a
	1	8.47±0.57 ^{NS}	7.77±0.63 ^{NS}	8.17±0.91 ^{NS}	8.10±0.84 ^a	7.97±0.85 ^{NS}	8.10±0.84 ^a	7.97±0.85 ^{NS}	8.43±0.68 ^{ab}
	2	8.40±0.62 ^{NS}	7.70±0.70 ^{NS}	8.13±0.94 ^{NS}	8.07±0.91 ^a	7.78±0.86 ^{NS}	8.07±0.91 ^a	7.78±0.86 ^{NS}	8.37±0.61 ^{ab}
	3	8.43±0.57 ^{NS}	7.63±0.67 ^{NS}	8.10±0.96 ^{NS}	8.03±0.93 ^a	8.00±0.83 ^{NS}	8.03±0.93 ^a	8.00±0.83 ^{NS}	8.27±0.58 ^{abc}
	4	8.47±0.51 ^{NS}	7.57±0.68 ^{NS}	8.00±0.91 ^{NS}	7.97±0.93 ^{ab}	7.97±0.85 ^{NS}	7.97±0.93 ^{ab}	7.97±0.85 ^{NS}	8.20±0.55 ^{abcd}
	5	8.50±0.57 ^{NS}	7.47±0.63 ^{NS}	7.93±0.87 ^{NS}	7.87±0.90 ^{abc}	7.93±0.83 ^{NS}	7.87±0.90 ^{abc}	7.93±0.83 ^{NS}	8.13±0.57 ^{bcde}
12	6	8.53±0.51 ^{NS}	7.43±0.63 ^{NS}	7.80±0.76 ^{NS}	7.80±0.81 ^{abcd}	7.87±0.78 ^{NS}	7.80±0.81 ^{abcd}	7.87±0.78 ^{NS}	8.00±0.45 ^{edef}
	0	6.77±0.50 ^{NS}	7.63±0.72 ^{NS}	6.87±0.43 ^{NS}	7.47±0.82 ^{defg}	7.30±0.65 ^{NS}	7.47±0.82 ^{defg}	7.30±0.65 ^{NS}	7.50±0.73 ^{hijk}
	1	7.93±0.91 ^{NS}	7.60±0.81 ^{NS}	7.57±0.77 ^{NS}	7.33±0.71 ^{efgh}	7.83±0.79 ^{NS}	7.33±0.71 ^{efgh}	7.83±0.79 ^{NS}	7.53±0.68 ^{hij}
	2	7.97±0.85 ^{NS}	7.53±0.68 ^{NS}	7.50±0.73 ^{NS}	7.20±0.66 ^{fghij}	7.80±0.66 ^{NS}	7.20±0.66 ^{fghij}	7.80±0.66 ^{NS}	7.37±0.67 ^{ijkl}
	3	8.00±0.74 ^{NS}	7.47±0.57 ^{NS}	7.47±0.68 ^{NS}	7.10±0.55 ^{ghijk}	7.73±0.64 ^{NS}	7.10±0.55 ^{ghijk}	7.73±0.64 ^{NS}	7.23±0.57 ^{ijklm}
	4	8.03±0.67 ^{NS}	7.43±0.57 ^{NS}	7.40±0.62 ^{NS}	7.00±0.45 ^{hijk}	7.67±0.66 ^{NS}	7.00±0.45 ^{hijk}	7.67±0.66 ^{NS}	7.10±0.61 ^{lm}
5	5	8.10±0.48 ^{NS}	7.37±0.49 ^{NS}	7.33±0.61 ^{NS}	6.87±0.35 ^{klm}	7.60±0.62 ^{NS}	6.87±0.35 ^{klm}	7.60±0.62 ^{NS}	7.00±0.53 ^m
	6	8.17±0.38 ^{NS}	7.30±0.47 ^{NS}	7.27±0.45 ^{NS}	6.73±0.45 ^{klm}	7.53±0.63 ^{NS}	6.73±0.45 ^{klm}	7.53±0.63 ^{NS}	6.90±0.40 ^m

Note: Means with different letters in the same column are significantly different ($p < 0.05$).

NS in the same column is non-significantly different ($p \geq 0.05$).

Table 35 Sensory evaluation of cooked Hom Bai Toie milled rice that packed in a retort pouch during storage for 6 months

Soaking time (Min)	Storage (Months)	Sensory attribute					
		Appearance	Colour	Flavour	Texture	Taste	Overall Liking
Control	0	7.90±0.31 ^{NS}	7.70±0.60 ^{NS}	7.87±0.73 ^{NS}	7.57±0.86 ^{cde}	7.87±0.78 ^{NS}	7.70±0.53 ^{bed}
	1	7.87±0.35 ^{NS}	7.67±0.61 ^{NS}	7.83±0.75 ^{NS}	7.50±0.82 ^{cdef}	7.83±0.75 ^{NS}	7.67±0.56 ^{cde}
	2	7.83±0.46 ^{NS}	7.63±0.56 ^{NS}	7.80±0.66 ^{NS}	7.30±0.70 ^{efgh}	7.73±0.04 ^{NS}	7.53±0.63 ^{def}
	3	7.77±0.50 ^{NS}	7.50±0.51 ^{NS}	7.67±0.66 ^{NS}	7.17±0.59 ^{fgh}	7.70±0.70 ^{NS}	7.47±0.63 ^{def}
	4	7.80±0.47 ^{NS}	7.47±0.51 ^{NS}	7.57±0.73 ^{NS}	7.07±0.58 ^{ghi}	7.67±0.71 ^{NS}	7.40±0.72 ^{ef}
	5	7.83±0.41 ^{NS}	7.40±0.50 ^{NS}	7.47±0.68 ^{NS}	7.00±0.53 ^{hij}	7.57±0.63 ^{NS}	7.30±0.70 ^{fg}
6	0	7.87±0.43 ^{NS}	7.33±0.55 ^{NS}	7.37±0.61 ^{NS}	6.93±0.45 ^{hijk}	7.53±0.68 ^{NS}	7.23±0.68 ^{fg}
	1	7.80±0.66 ^{NS}	8.03±0.85 ^{NS}	7.67±0.88 ^{NS}	8.13±0.70 ^a	7.70±0.65 ^{NS}	8.20±0.73 ^a
	2	7.83±0.70 ^{NS}	7.97±0.93 ^{NS}	7.60±0.81 ^{NS}	8.07±0.69 ^{ab}	7.60±0.81 ^{NS}	8.10±0.66 ^b
	3	7.89±0.82 ^{NS}	7.87±0.86 ^{NS}	7.43±0.68 ^{NS}	7.83±0.70 ^{abc}	7.60±0.72 ^{NS}	7.93±0.64 ^{ab}
	4	7.90±0.66 ^{NS}	7.80±0.85 ^{NS}	7.73±0.67 ^{NS}	7.73±0.74 ^{bed}	7.53±0.68 ^{NS}	7.87±0.63 ^{abc}
	5	7.93±0.69 ^{NS}	7.70±0.79 ^{NS}	7.50±0.68 ^{NS}	7.50±0.68 ^{cdef}	7.47±0.68 ^{NS}	7.67±0.66 ^{bed}
6	0	7.97±0.67 ^{NS}	7.60±0.81 ^{NS}	7.17±0.53 ^{NS}	7.43±0.57 ^{defg}	7.43±0.57 ^{NS}	7.57±0.57 ^{cde}
	1	8.03±0.61 ^{NS}	7.50±0.73 ^{NS}	7.10±0.48 ^{NS}	7.10±0.47 ^{ijkl}	7.30±0.53 ^{NS}	7.43±0.50 ^{ef}

Note: Means with different letters in the same column are significantly different ($p < 0.05$).

NS in the same column is non-significantly different ($p \geq 0.05$).

Control: Hom Bai Toei milled rice was cooked by an electric rice cooker.

Table 35 Continue

Soaking time (Min)	Storage (Months)	Sensory attribute						
		Appearance	Colour	Flavour	Texture	Taste	Overall Liking	
8	0	6.73±0.87 ^{NS}	7.47±0.86 ^{NS}	7.30±0.92 ^{NS}	6.67±0.88 ^{kl}	7.57±0.86 ^{NS}	6.87±0.94 ^{gh}	
	1	6.93±0.69 ^{NS}	7.40±0.81 ^{NS}	7.27±0.91 ^{NS}	6.57±0.77 ^{km}	7.50±0.73 ^{NS}	6.77±0.82 ^h	
	2	7.03±0.76 ^{NS}	7.33±0.71 ^{NS}	7.17±0.87 ^{NS}	6.50±0.78 ^{lm}	7.43±0.73 ^{NS}	6.67±0.71 ^{hi}	
	3	7.13±0.68 ^{NS}	7.23±0.64 ^{NS}	7.07±0.78 ^{NS}	6.40±0.67 ^{lm}	7.33±0.66 ^{NS}	6.60±0.72 ^{hij}	
	4	7.17±0.70 ^{NS}	7.27±0.64 ^{NS}	7.07±0.78 ^{NS}	6.33±0.66 ^{lm}	7.27±0.64 ^{NS}	6.53±0.73 ^{ij}	
	5	7.23±0.73 ^{NS}	7.20±0.61 ^{NS}	7.00±0.74 ^{NS}	6.27±0.64 ^{mn}	7.23±0.63 ^{NS}	6.43±0.68 ^j	
	6	7.30±0.65 ^{NS}	7.13±0.51 ^{NS}	6.97±0.72 ^{NS}	5.93±0.37 ⁿ	7.17±0.53 ^{NS}	6.37±0.67 ^k	

Note: Means with different letters in the same column are significantly different ($p < 0.05$).

NS in the same column is non-significantly different ($p \geq 0.05$).

บทที่ 4

สรุปผลการทดลอง

ข้าวกล้องและข้าวขัดขาวที่บรรจุในถุงพลาสติก Nylon/LLDPE ทั้งในสภาวะปกติและสุญญากาศมีการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ เคมี และเคมีเชิงฟิสิกส์ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษานาน 6 เดือน การเก็บรักษาข้าวกล้องและข้าวขัดขาวในสภาวะสุญญากาศจะทำให้ข้าวมีคุณภาพดี เนื่องจากข้าวกล้องและข้าวขัดขาวมีค่าความชื้นน้อยกว่าการเก็บรักษาในสภาวะปกติ โดยสัมพันธ์กับปริมาณ Hexanal ซึ่งเป็นสารระเหยที่ให้กลิ่นหืนของข้าวเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ขณะที่ปริมาณ 2-Acetyl-1-pyrroline (2AP) ซึ่งแสดงเอกลักษณ์ความหอมกลิ่นใบเตยลดลง และนอกจากนี้เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นมีผลทำให้ข้าวกล้องและข้าวขัดขาวที่บรรจุในสภาวะปกติและสภาวะสุญญากาศมีค่าความหนืดสูงสุด ค่าความหนืดสุดท้าย และค่าการคืนตัวลดลง ขณะที่ปริมาณผลึกและพลังงานเอนทัลปีเพิ่มสูงขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

อัตราส่วนข้าวต่อน้ำที่เหมาะสมสำหรับการหุงสุกข้าวกล้องใหม่และเก่าคือ 1:1.5 และ 1:2 ตามลำดับ ส่วนข้าวขัดขาวใหม่และเก่า คือ 1:1 และ 1:1.5 ตามลำดับ เนื่องจากได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ ด้านสี กลิ่น เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบโดยรวมสูง ข้าวกล้องและข้าวขัดขาวเก่าจะได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมสูงกว่าข้าวใหม่ ทั้งนี้เนื่องจากข้าวใหม่จะมีความนุ่มมากเกินไป โดยพิจารณาจากค่าความแข็ง และมีลักษณะเกาะกันเป็นก้อน จึงทำให้ได้รับคะแนนความชอบน้อยกว่าข้าวเก่า

สภาวะการผลิตข้าวกล้องพร้อมบริโภค ประกอบด้วย ระยะเวลาการแช่ข้าวที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ที่เหมาะสมคือ 8, 10 และ 12 นาที ส่วนข้าวขัดขาวคือ 6 และ 8 นาที จากนั้นข้าวกล้องและข้าวขัดขาวจะถูกนำมาบรรจุในถุงรีโอร์ทอเทพาวซ์ จำนวน 125 กรัม ปิดผนึกและกำหนดอุณหภูมิฆ่าเชื้อเท่ากับ 118 องศาเซลเซียส ความดัน 23 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว พบว่า ระยะเวลาการให้ความร้อนในการฆ่าเชื้อของข้าวกล้องคือ 26.30 นาที (F_0 เท่ากับ 4.29 นาที) ส่วนระยะเวลาการฆ่าเชื้อของข้าวขัดขาวคือ 23.30 นาที (F_0 เท่ากับ 4.08 นาที) ผลของการทดสอบทางประสาทสัมผัสของข้าวกล้องและข้าวขัดขาวพร้อมบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิทที่ผ่านจากการแช่ข้าวในน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 10 และ 6 นาที ตามลำดับ และนำมาทำให้สุกโดยใช้หม้อฆ่าเชื้อ ความดันสูงมีคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมสูงสุด

ข้าวกล้องและข้าวขัดขาวพร้อมบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิทมีการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ เคมี และเคมีเชิงฟิสิกส์ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องนาน 6 เดือน ข้าวกล้องและข้าวขัดขาวพร้อมบริโภคในภาชนะปิดสนิทเกิดรีโทรเกรเดชันเพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษา พิจารณาจากค่าพลังงานเอนทัลปีและค่าความแข็งที่เพิ่มขึ้น ขณะที่ปริมาณความชื้นและค่าการ

เกาะติดลดลง คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมของข้าวกล้องและข้าวขัดขาวพร้อมบริโภคนอกในภาชนะปิดสนิทลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษานาน 6 เดือนที่อุณหภูมิห้อง ข้าวกล้องที่ผ่านการแช่น้ำเดือดนาน 10 นาที และข้าวขัดขาวที่ผ่านการแช่น้ำเดือดนาน 6 นาที และนำมาบรรจุในถุงรีทอร์ทเพาซ์และผ่านการให้ความร้อนจะมีคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมสูงสุดดีกว่าสภาวะอื่นๆ

ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาการลดการเกิดรีโทเกรเดชันในข้าวกล้องและข้าวขัดขาวพร้อมบริโภคนอกในภาชนะบรรจุปิดสนิทระหว่างการเก็บรักษา
2. ควรศึกษาการผลิตข้าวพร้อมบริโภคนอกในภาชนะบรรจุปิดสนิทชนิดอื่นๆ ด้วย เช่น ถาดหรือถ้วยพลาสติก เพื่อความสะดวกในการบริโภค

เอกสารอ้างอิง

- กรมการข้าว. 2559. สถานการณ์การผลิตและการตลาดข้าวของโลก ปีการผลิต 2559. กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.
- กรมส่งเสริมการเกษตร. 2554. สถิติเพาะปลูกข้าวนาปี. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.
- กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. 2546. เทคโนโลยีแป้ง. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- ขนิษฐา คำวงศ์. 2547. ผลของบรรจุภัณฑ์ต่อคุณภาพข้าวสารพันธุ์หอมดอกมะลิ 105. สาขาวิชาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่.
- เครือวัลย์ อัดตะวิริยะสุข. 2536. คุณภาพเมล็ดข้าวทางกายภาพและการแปรสภาพเมล็ด. ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพฯ.
- งามชื่น คงเสรี. 2547. คุณภาพข้าวและการตรวจสอบข้าวหอมมะลิไทย. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.
- ใจทิพ วานิชชัง ผดุงศักดิ์ วานิชชัง และนฤมล บุญกระจ่าง และ เพ็ญขวัญ วานิชชัง. 2556. ข้าวहुงสุกเร็ว. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก. จังหวัดชลบุรี
- ประกาศสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. 2535. เรื่อง กำหนดชนิดของอาหารในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท. สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. ฉบับที่ 144. กรุงเทพฯ.
- ปทุมทริกา รัตนศรีวงศ์. 2548. หลักการบรรจุ. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยนเรศวร. พิษณุโลก.
- ไพบุลย์ ธรรมรัตน์วาสีก. 2545. กรรมวิธีการแปรรูปอาหาร. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา
- ไพโรจน์ วิริยจารี. 2545. การวางแผนและการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัส. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่.
- มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์ และ จุฬาลักษณ์ จารุณุช. 2550. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของปลายข้าวต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการผลิตแบบเอกซ์ทรูชัน. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย. กรุงเทพฯ.
- วิไล รัตตทอง. 2543. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. กรุงเทพฯ.

- ศิริขวัญ เพิ่มศรี. 2553. ปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการหุงข้าวกล้องและการเปลี่ยนแปลงคุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้องหุงสุก. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- ศูนย์ส่งเสริมอุตสาหกรรมการแปรรูปข้าว. 2551. การพัฒนาการผลิตข้าวใหม่ให้เป็นข้าวเก่า. กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ.
- ศูนย์วิจัยเพื่ออุตสาหกรรมอาหาร. 2559. ตลาดอาหารพร้อมบริโภคในประเทศไทย ปี 2559. ศูนย์วิจัยเพื่ออุตสาหกรรมอาหาร สถาบันอาหาร กระทรวงอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ.
- สายสนม ประดิษฐ์ดวง. 2543. การให้ความร้อนด้วยพลังงานไมโครเวฟและการฉายรังสีอาหาร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.
- สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติกระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2555. มาตรฐานข้าว. โรงพิมพ์คุรุสภา. กรุงเทพฯ.
- อนรรฆพล บุญช่วย. 2559. หอมใบเตยข้าวคุณภาพดีและการแก้ไขปัญหาการปะปนพันธุ์. การประชุมวิชาการข้าวแห่งชาติ ครั้งที่ 4. ณ โรงแรมเซนทารา ศูนย์ราชการและคอนเวนชันเซ็นเตอร์ กรุงเทพฯ. 1-3 กันยายน 2559. หน้า 266-269.
- อนลักษ์ณ โอพารีโกวิท. 2546. การผลิตข้าวพร้อมบริโภคในรีโอร์ตแพวซ์. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.
- อรอนงค์ นัยวิกุล. 2550. ข้าว. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- A.O.A.C. 2000. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists. 16th ed. Washington, DC.
- Ball, C.O. and Olson, F.C.W. 1957. Sterilization in food technology. (Ball, C.O., ed.). p. 654. McGraw-Hill Publishing. New York.
- Bao, J. and Bergman, C.J. 2004. The functionality of rice starch. *In*: Starch in Food. (Eliasson, A. C., ed.). p. 258-294. Woodhead Publishing. New York.
- Basak, S., Tyagi, R.S. and Srivastava, K.N. 2002. Biochemical characterization of aromatic and non-aromatic rice cultivars. *Journal of Food Science and Technology*. 39: 55-58.
- Bett-Garber, K.L., Champagne, E.T., Ingram, D.A. and McClung, A.M. 2007. Influence of water-to-rice ratio on cooked rice flavor and texture. *Cereal Chemistry*. 84: 614-619.

- Bhattacharya, K.R. 2011. Cooking quality of rice. *In: Rice quality.* (Bhattacharya, K.R., ed.). p. 164-192. Woodhead Publishing Series in Food Science. Technology and Nutrition. New York.
- Billiris, M.A., Siebenmorgen, T.J., Meullenet, J.F. and Mauromoustakos, A. 2012. Rice degree of milling effects on hydration, texture, sensory and energy characteristics. Part 1. Cooking using excess water. *Journal of Food Engineering.* 113: 559-568.
- Billiris, M.A., Siebenmorgen, T.J., Meullenet, J.F. and Mauromoustakos, A. 2012. Rice degree of milling effects on hydration, texture, sensory and energy characteristics. Part 2. Cooking using fixed, water-to-rice ratios. *Journal of Food Engineering.* 113: 589-597.
- Briffaz, A., Bohoun, P., Meot, J.M., Pons, B., Matencio, F., Dornier, M. and Mestres, C. 2014. Modelling of brown rice and limited-water cooking modes and its potential use for texture prediction. *Journal of Food Engineering.* 141: 99-106.
- Buggenhout, J., Brijs, K., Celus, I. and Delcour, J.A. 2013. The breakage susceptibility of raw and parboiled rice: A review. *Journal of Food Engineering.* 117: 304-315.
- Buleon, A., Colonna, P., Planchot, V. and Ball, S. 1998. Starch granules: structure and biosynthesis. *International Journal Biological Macrobiology.* 23: 85-112.
- Byun, Y., Hong, S.I., Mangalassay, S., Bae, H.J., Cooksey, K., Park, H.J. and Whiteside, S. 2010. The performance of organic and inorganic coated retort pouch materials on the shelf life of ready-to-eat rice products. *Food Science and Technology.* 43: 862-866.
- Chakkaravarthi, A., Lakshmi, S., Subramanian, R. and Hegde, V.M. 2008. Kinetics of cooking unsoaked and presoaked rice. *Journal of Food Engineering.* 84: 181-186.
- Chandrasekaran, S., Ramanathan, S. and Basak, T. 2013. Microwave food processing-A review. *Food Research International.* 52: 243-261.
- Colussi, R., Pinto, V.Z., Halal, S.L.M.E., Vanier, N.L., Villanova, F.A., Silva, R.M., Zavarezea, E.R. and Dias, A.R.G. 2014. Structural morphological and physicochemical properties of acetylated high-, medium-, and low-amylose rice. *Carbohydrate and Polymers.* 103: 405-413.
- Dengate, L.B. and Walker, C.E. 1984. Comparison of pasting properties in the brabender viscoamylograph and the rapid visco-analyzer. *Cereal Chemistry.* 66: 439-499.

- Hein, N.L., Yoshihashi, T., Sarhadi, W.A. and Hirata, Y. 2006. Sensory test for aroma and quality analysis of 2-acetyl-1-pyrroline in asian aromatic rice varieties. *Plant Production Science*. 9: 294-297.
- Henry, R.J. and Kettlewell, P.S. 1996. *Cereal Grain Quality*. Chapman and Hall. London.
- Hoseney, R.C. 1986. *Principles of Cereal Science and Technology*. The American Association of Chemists. St. Paul. Minnesota.
- Horrungsiwat, S. and Therdthai, N. 2015. Effect of cooking method on quality of jasmine rice. Ph.D. Dissertation. Kasetsart University, Thailand.
- Jacobs, H. and Delcour, J.A. 1998. Hydrothermal modification of granular starch with retention of the granular structure: A review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 46: 2895-2905.
- Jinshui, W., Youmei, Z. and Ke, B. 1999. Relation of insoluble amylose to texture characteristics of stored rice. *In: Proceeding of international working conference on stored rice protection*. Beijing. China. 14-19 October 1999. p. 1650-1659.
- Juliano, B.O. 1985. *Rice: Chemistry and Technology*. 2nd Ed. American Association of Cereal Chemistry. St. Paul. Minnesota.
- Juliano, B.O. 1993. *Rice in Human Nutrition*. FAO Food and nutrition Series, No.26. The International Rice Research Institute (IRRI), Laguna, and Food and Agriculture Organization of the United Nation (FAO), Rome. Italy.
- Kanjanalumpa, K. 2014. Properties of Phatthalung Sungyod rice as influenced by degree of milling and storage time. *In: Proceedings of Food Innovation Asia Conference*. Bangkok. Thailand. 12-13 June 2014. p. 50.
- Keawpeng, I. and Venkatachalam, K. 2015. Effect of aging on changes in rice physical qualities. *International Food Research Journal*. 22: 2180-2187.
- Keawpeng, I. 2012. Effect of storage and processing condition on properties of organic Sungyod rice and its extrudate product. Ph.D. Dissertation. Prince of Songkla University, Thailand.
- Kerdpiboon, S. and Charoendee, D. 2012. Comparative physical characterization of water ratio changes of Hang rice during cooking. *In: Proceedings of the International Conference on Nutrition and Food Sciences*, 23-24 July 2012. Singapore. p. 52-55.

- Kim, K.M., Jang, I.S., Ha, S.D. and Bae, D.H. 2004. Improved storage stability of brown rice by coating with rice bran protein. *Journal of Food Science and Technology*. 36: 490-500.
- Kim, Y.J., Suzuki, T., Hagiwara, T., Yamaji, I. and Takai, R. 2001. Ethalpy relaxation and glass to rubber transition of amorphous potato starch formed by ball-milling. *Carbohydrate Polymers*. 46:1-6.
- Kohyama, K., Yamaguchi, M., Kobori, C., Nakayama, Y., Hayakawa, F. and Sasaki, T. 2005. Mastication effort estimated by electromyography for cooked rice of differing water content. *Bioscience Biotechnology and Biochemistry*. 69: 1669-1676.
- Kongkiattikajorn. 2008. Effect of storage time and temperature on volatile aroma compounds and physicochemical properties of rice. *Kasetsart Journal*. 42: 111-117.
- Lai, H.M. 2001. Effects of hydrothermal treatment on the physicochemical properties of pregelatinized rice flour. *Food Chemistry*. 2001. 72: 455-463.
- Lakshmi, S., Chakkaravarthi, A., Subramanian, R. and Singh, V. 2007. Energy consumption in microwave cooking of rice and its comparison with other domestic appliances. *Journal of Food Engineering*. 78: 715-722.
- Lamberts, L., Bie, E.D., Vandeputte, G.E., Veraverbeke, W.S., Dercke, V., Man, W.D. and Delcour, J.A. 2007. Effect of milling on colour and nutritional properties of rice. *Food Chemistry*. 100: 1496-1503.
- Landry, W.L., Schwab, A.H. and Lancette, G.A. 2001. *Bacteriological Analytical Manual. In: BAM: Examination of Canned Foods*. U.S. Food and Drug Administration, Washington, D.C.
- Lasekan, O.O., Teixeira, J.P.F. and Salva, T.J.G. 2001. Volatile flavour compounds of cooked Acha. *Food Chemistry*. 75: 333-337.
- Leelayuthsoontorn, P. and Thipayarut, A. 2006. Texture and morphological changes of Jasmine rice under various elevated cooking conditions. *Food Chemistry*. 96: 606-613.
- Lewis, M. and Heppell, N. 2000. Continuous thermal processing of food. *In: Pasteurization and UHT sterilization*. (Gustavo, V., ed.). Aspen Publisher. Washington, D.C.

- Luangmalawat, P., Prachayawarakorn, S., Nathakaranakule, A. and Soponronnarit, S. 2008. Effect of temperature on drying characteristics and quality of cooked rice. *Food Science and Technology*. 716-723.
- Lui, K., Cao, X., Bai, Q., Wen, H. and Gu, Z. 2009. Relationships between physical properties of brown rice and degree of milling and loss of selenium. *Journal of Food Engineering*. 94: 69-74.
- Ma, Y. and Sun, D.W. 2007. Hardness of cooked as affected by varieties cooling method and chill storage. *Journal of Food Process Engineering*. 32: 161-176.
- Mahatheeranont, S., Keawsa-ard, S. and Dumri, K. 2001. Quantification of the rice aroma compound 2-Acetyl-1-pyrroline in uncooked Khao Dawk Mali 105 brown rice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 49: 773-779.
- Mahattanatawee, K. and Rouseff, R.L. 2014. Comparison of aroma active and sulfur volatiles in three fragrant rice cultivars using GC-Olfactometry and GC-PFPD. *Food Chemistry*. 154: 1-5.
- Maneenuam, T., Chanpraset, W., Rittrion, R., Prasertsak, A. and Wongpiyachon, S. 2014. Effect of storage temperatures and storage containers on 2-acetyl-1-pyrroline content in Hom Mali rice. *Journal of Agricultural Science*. 45: 377-380.
- Mariotti, M. 2009. Retrogradation behavior of milled and brown rice pastes during ageing. *Journal of Food Engineering*. 49: 171-177.
- Mariotti, M., Zardi, M., Lucisano, M. and Pagani, M.A. 2005. Influence of the heating rate on the pasting properties of various flours. *Starch*. 57: 564-572.
- Marshall, W.E. and Wadsworth, J.I. 1994. *Rice Science and Technology*. Agricultural Research Service. New Orleans.
- Marsili, R. 2002. Analysis of volatile compound in the headspace of rice using SPME/GC/MS. *In: Flavour, Fragrance and Odor analysis*. (Marsili, R., ed.). p. 229-248. New York.
- Monks, J.L.F., Vanier, N.L., Casaril, J., Berto, R.M., de Oliveira, M., Gomes, C.B., de Carvalho, M.P. and Elias, M.C. 2013. Effects of milling on proximate composition, folic acid, fatty acids and technological properties of rice. *Journal of Food Composition and Analysis*. 30: 73-79.

- Moritaka, S. and Yasumastu, K. 1972. The effect of sulfhydryl group on storage deterioration of milled rice. *In: Rice. Chemistry and Technology.* (Juliano, B.O. ed.). Am. Assoc. Cereal Chemistry. St. Paul. Minnesota.
- Narkrugsa1 , W. and Saeleaw, M. 2009. The retrogradation of canned rice during storage. *Kmitl Science and Technology Journal.* 9: 1-8.
- Noosuk, P., Hill, S.E., Pradipasena, P. and Mitchell, J.R. 2003. Structure-viscosity relationships for Thai rice starches. *Starch.* 55: 337-344.
- Ohno, T. and Ohisa, N. 2005. Studies on texture and chemical changes in aged rice grains. *Food Science and Technology.* 11: 385-389.
- Ohno, T., Tomatsu, M., Toeda, K. and Ohisa, N. 2007. Texture of cooked rice prepare from aged rice and its improvement by reducing agent. *Bioscience Biotechnal and Biochemistry.* 71: 2912-2920.
- Park, C.E., Kim, Y.S., Park, K.J. and Kim, B.K. 2012. Changes in physicochemical characteristics of rice during storage at different temperatures. *Journal of Stored Products Research.* 48: 25-29.
- Park, J. K., Kim S.S. and Kim, O. K. 2001. Effect of milling ratio on sensory properties of cooked rice and on physicochemical properties of milled and cooked rice. *Cereal Chemistry.* 78: 151-156.
- Payakapol, L., Moongngarm, A., Daomukda, N. and Noisuwan, A. 2011. Influence of degree of milling on chemical compositions and physicochemical properties of Jasmine rice. *In: Proceedings of the International Conference on Biology Environment and Chemistry.* Singapore. 28-30 December 2011. p. 83-86.
- Piyachaiseth, T., Jirapakkul, W. and Chaiseri, S. 2011. Aroma compounds of flash-fried rice. *Kasetsart Journal.* 45: 717-729.
- Sanchez, T.E. and Raymundo, L.C. 1991. The lipoxygenase activity of aromatic rice. *The Philippine Agriculturist.* 74: 79-87.
- Schoch, T.J. 1964. Swelling power and solubility of granule starches. *In: Method in Carbohydrate Chemistry.* Vol. 4th (Whisef, R.L., ed.). p. 106-108. Academic Press. New York.

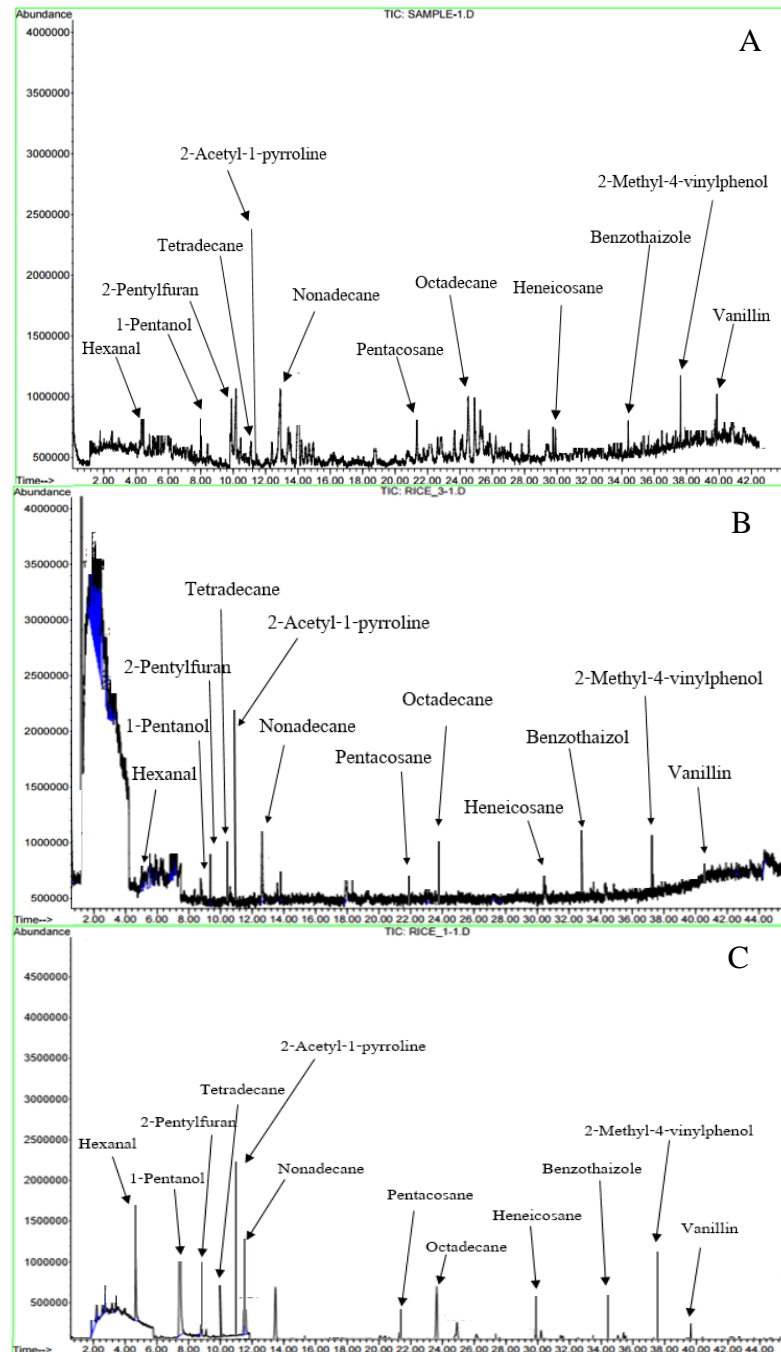
- Shahidi, F. and Zhong, Y. 2005. Measurement methods lipid oxidation. *In: Lipids*. (Shahidi, F., ed.). p. 357-385. John Wiley and Sons. New York.
- Sharp, R.N. and Timme, L.K. 1986. Effect of storage time, temperature and packaging method on shelf life of brown rice. *Cereal Chemistry*. 63: 247-251.
- Shinde, Y.H., Vijayadwhaja, A., Pandit, A.B. and Joshi, J.B. 2014. Kinetics of cooking of rice: A review. *Journal of Food Engineering*. 123: 113-129.
- Singh, N., Kaur, L., Sodhi, S.S. and Sekhon, K.S. 2005. Physicochemical, cooking and textural properties of milled rice from different Indian rice cultivars. *Food Chemistry*. 89: 253-259.
- Singh, S., Dhaliwal, Y.S., Nagi, H.P.S. and Kalia, M. 1998. Quality characteristics of six rice varieties of Himachal Pradesh. *Journal of Food Science and Technology*. 35: 74-78.
- Soponronnarit, S., Chiawwet, M., Prachayawaraorn, S., Tungtrakul, P. and Taechapiroj, C. 2008. Comparative study of physicochemical properties of accelerated and naturally aged rice. *Journal of Food Engineering*. 85: 286-276.
- Srisawas, W. and Jindal, V.K. 2006. Sensory evaluation of cooked rice in relation to water-to-rice and physicochemical properties. *Journal of Texture Studies*. 38: 21-41.
- Tain, Y., Zhao, J., Xie, Z., Wang, J., Xu, X. and Jin, Z. 2014. Effect of different pressure-soaking treatments on color, texture, morphology and retrogradation properties of cooked rice. *Food Science and Technology*. 55: 368-373.
- Tamura, M. and Ogawa, Y. 2012. Visualization of the coated layer at the surface of rice grain cooked with varying amounts of cooking water. *Journal of Cereal Science*. 56. 404-409.
- Tananuwong, K. and Lertsiri, S. 2010. Changes in volatile aroma compounds of organic fragrant rice during storage under different conditions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 90: 1590-1596.
- Tananuwong, K. and Malila, Y. 2011. Change in physicochemical properties of organic hulled rice during storage under different conditions. *Food Chemistry*. 125: 179-185.
- Teo, C.H., Karim, A.B.D.A. Cheah, P.B. Norziah, M.H. and Seow, C.C. 2000. On the roles of protein and starch in the aging of non-waxy rice flour. *Food Chemistry*. 69: 229-236.

- Wadsworth, J.I., Matthews, J. and Spadaro, J.J. 1982. Milling performance and quality characteristics of Starbonnet variety rice fractionated by rough rice kernel thickness. *Cereal Chemistry*. 59: 50-54.
- Watson, C.A. and Dikemen, E. 1977. Structure of the rice grain shown by scanning electron microscopy. *Cereal Chemistry*. 54: 120-130.
- Wong, S., CailiLi, L.C., Niu, Q. and Wang, S. 2015. Starch retrogradation: A comprehensive review. *Food Science and Food Safety*. 14: 1541-4337.
- Wongpornchai, S., Dumri, K., Jongkaewattana, S. and Siri, B. 2004. Effect of drying methods and storage time on the aroma and milling quality of rice (*Oryza sativa* L.) Khao Dawk Mali 105. *Food Chemistry*. 87: 407-414.
- Wood, A.E. and Aurand, L.W. 1977. Lipids. *In: Laboratory manual in Food Chemistry*. (Wood, A.E. and Aurand, L.W., eds.). p. 104-142. AVI Publishing, Westport.
- Wu, J., Chen, J., Liu, W., Liu, C., Zhong, Y., Lou, D., Li, Z. and Guo, X. 2016. Effects of aleurone layer on rice cooking: A histological investigation. *Food Chemistry*. 191: 28-35.
- Yoshihashi, T. 2002. Quantitative analysis on 2-Acetyl-1-pyrroline of an aromatic rice by stable isotope dilution method and model studies on its formation during cooking. *Food Chemistry and Toxicology*. 67: 619-622.
- Yoshihashi, T., Huong, N.T.T., Surojanametakul, V., Tuntrakul, P. and Varayanond, W. 2006. Effect of storage conditions on 2-acetyl-1-pyrroline content in aromatic rice variety, Khao Dawk Mali 105. *Journal of Food Science*. 70: 34-37.
- Yu, S., Ma, Y. and Sun, D.W. 2009. Impact of amylose content on starch retrogradation and texture of cooked milled rice during storage. *Journal of Cereal Science*. 50: 139-144.
- Yu, S., Ma, Y. and Sun, D.W. 2010. Effects of freezing rates on starch retrogradation and textural properties of cooked rice during storage. *Food Science and Technology*. 43: 1138-1143.
- Zeng, Z., Zhang, H., Zhong, T., Tamogami, S. and Chen, J.Y. 2009. Analysis of flavor volatiles of glutinous rice during cooking by combined gas chromatography-mass spectrometry with modified headspace solid-phase micro extraction method. *Journal of Food Composition and Analysis*. 22: 347-353.

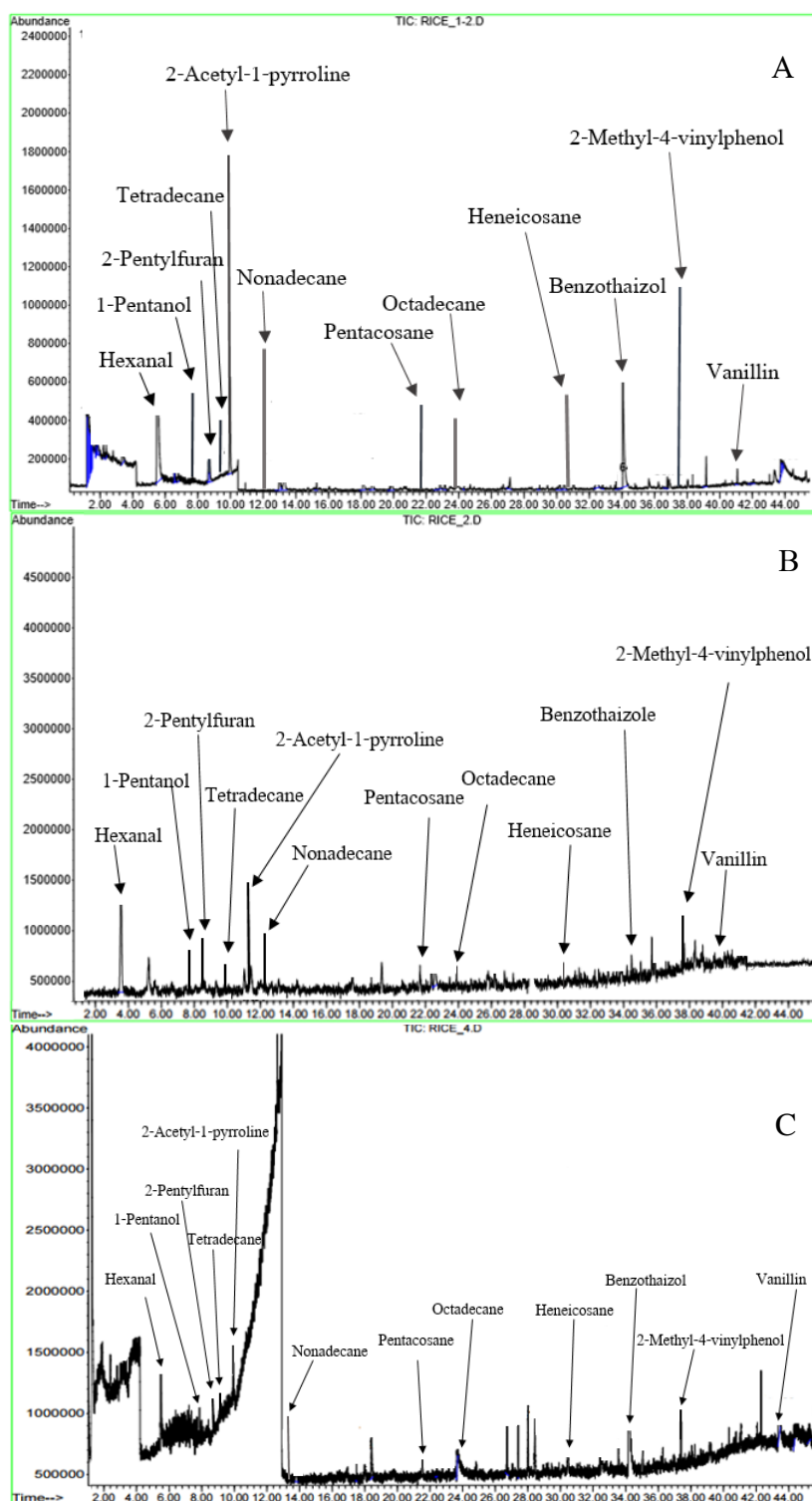
- Zhong, Y., Tu, Z., Liu, C., Liu, W., Xu, X., Ai, Y., Liu, W., Chen, J. and Wu, J. 2013. Effect of microwave irradiation on composition, structure and properties of rice with different milling degrees. *Journal of Cereal Science*. 58: 228-233.
- Zhou, Z., Robards, K., Helliwell, S. and Blanchard, C. 2002. Composition and functional properties of rice. *International Journal of Food Science and Technology*. 37: 849-868.
- Zhou, Z., Robards, K., Helliwell, S. and Blanchard, C. 2007. Effect of storage temperature on cooking behavior of rice. *Food Chemistry*. 105: 491-497.
- Zhou, Z., Robards, K., Helliwell, S. and Blanchard, C. 2010. Effect of storage temperature on rice thermal properties. *Food Research International*. 43: 709-715.

ภาคผนวก

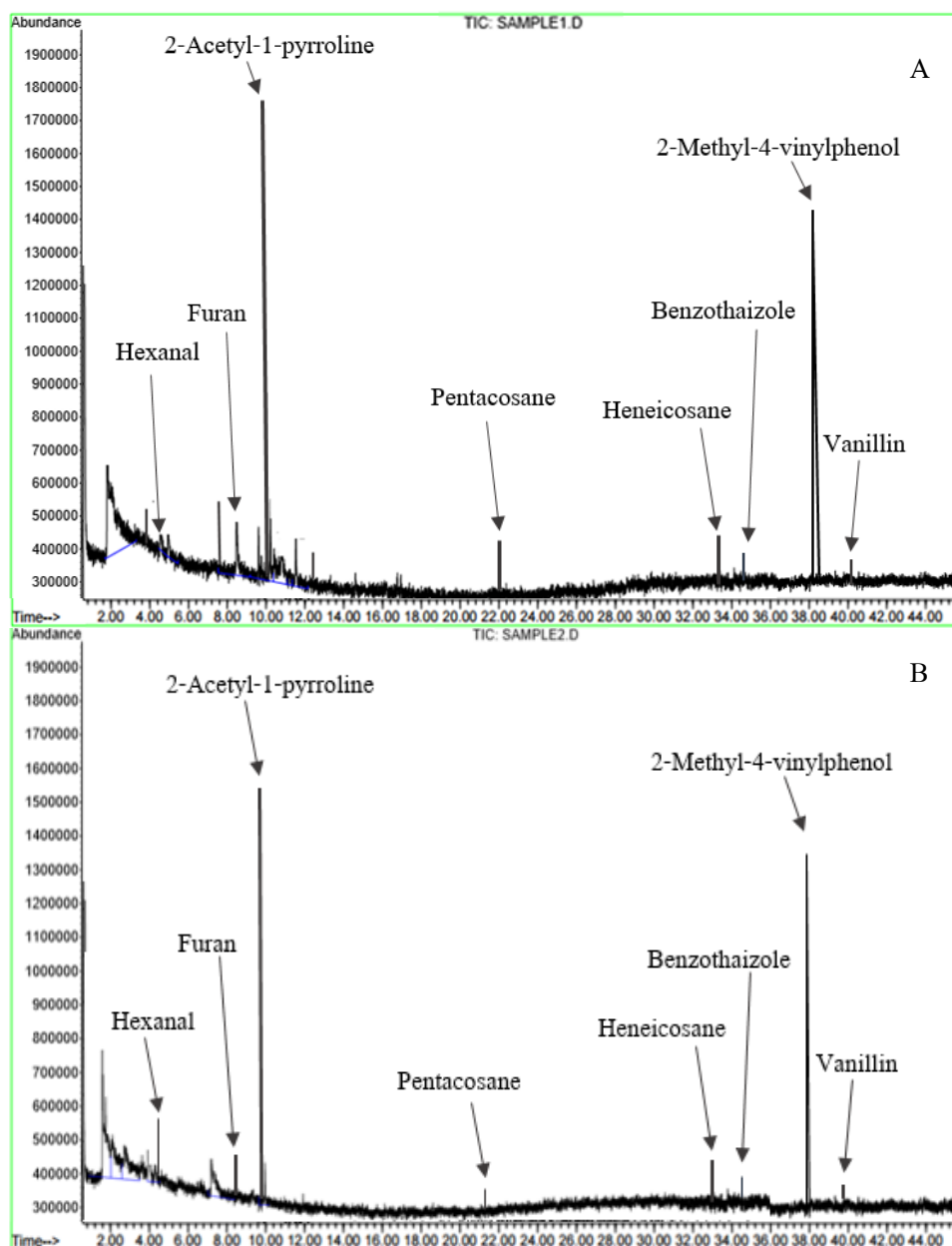
ภาคผนวก ก. ภาพประกอบการทดลอง



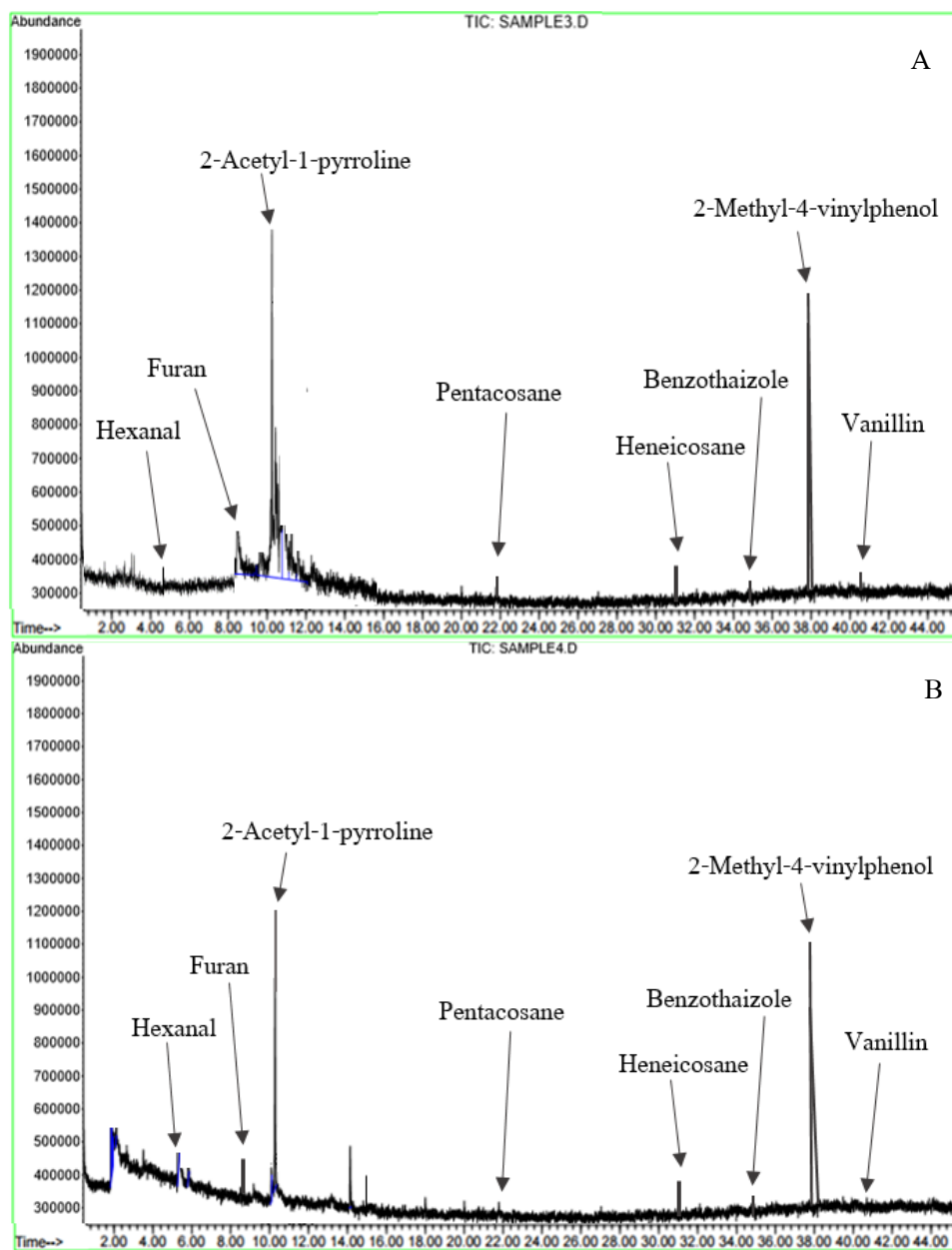
Appendix Figure 1 Chromatograms of volatile compound of fresh (A), stored (B) Hom Bai Toie brown rice (the 6th month) in a vacuum Nylon/LLDPE and a non-vacuum Nylon/LLDPE packaging (C)



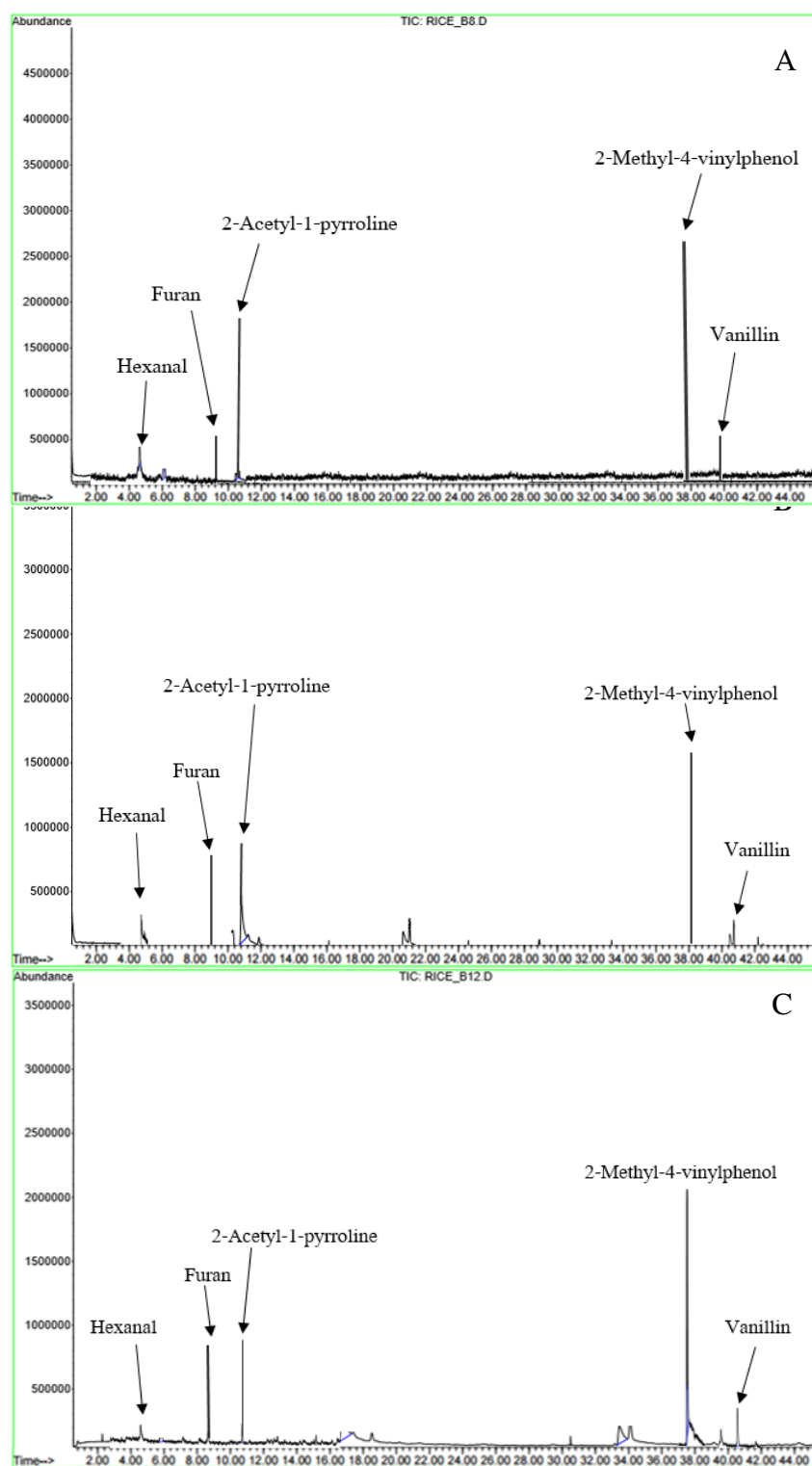
Appendix Figure 2 Chromatograms of volatile compound of fresh (A), stored (B) Hom Bai Toie milled rice (the 6th month) in a vacuum Nylon/LLDPE and a non-vacuum Nylon/LLDPE packaging (C)



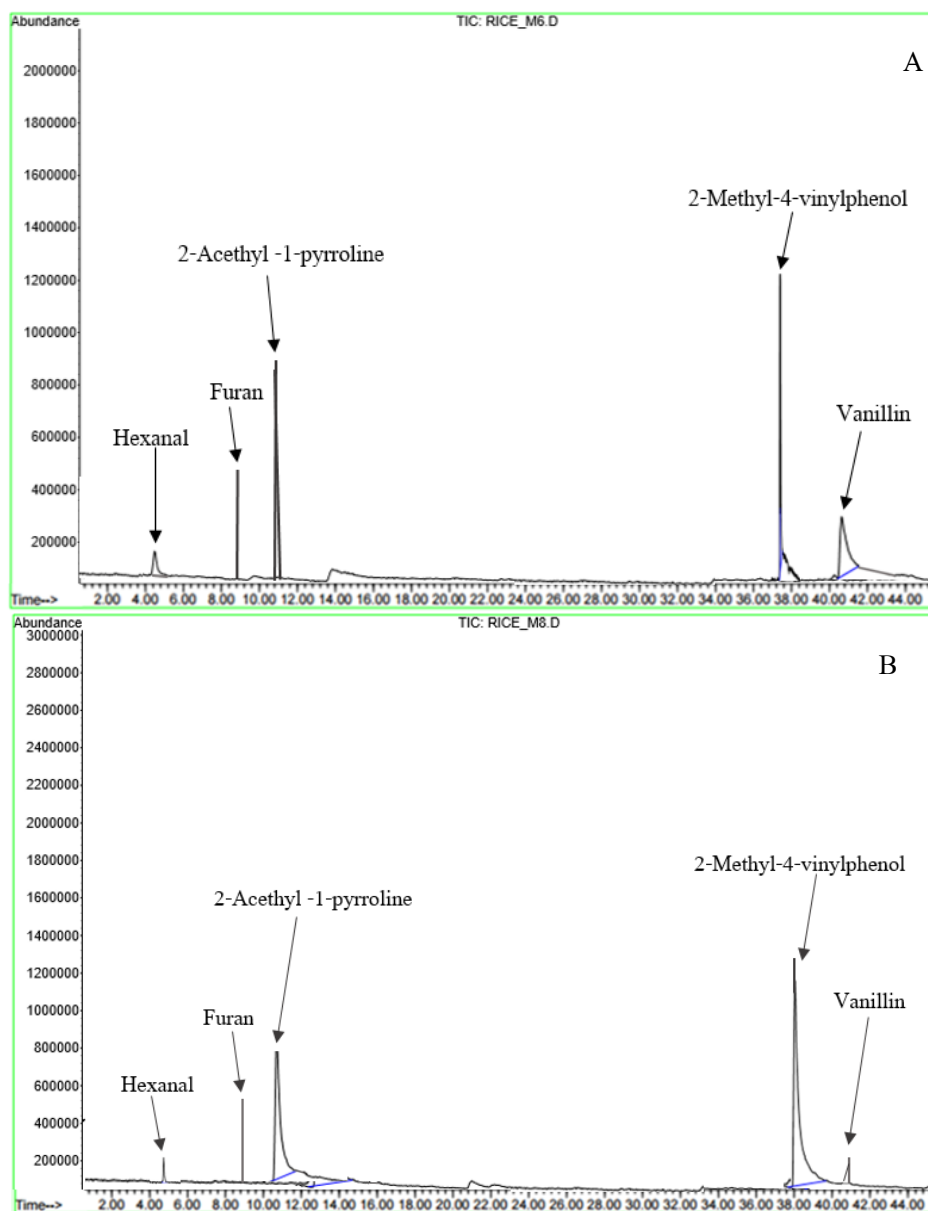
Appendix Figure 3 Chromatograms of volatile compound of cooked fresh (A) and stored (B) Hom Bai Toie brown rice (the 6th month) with rice to water ratio as 1:2.0 in an electric rice cooker



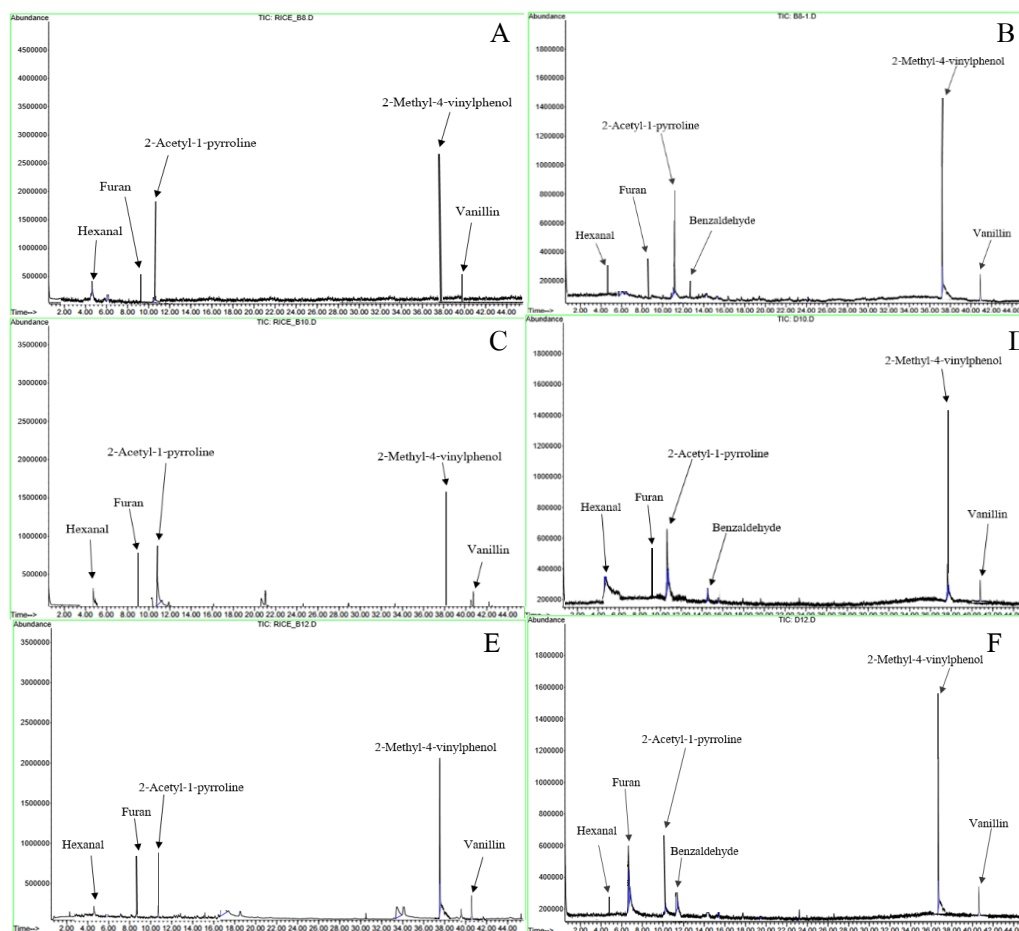
Appendix Figure 4 Chromatograms of volatile compound of cooked fresh (A) and stored (B) Hom Bai Toie milled rice (the 6th month) with rice to water ratio as 1:1.5 in an electric rice cooker



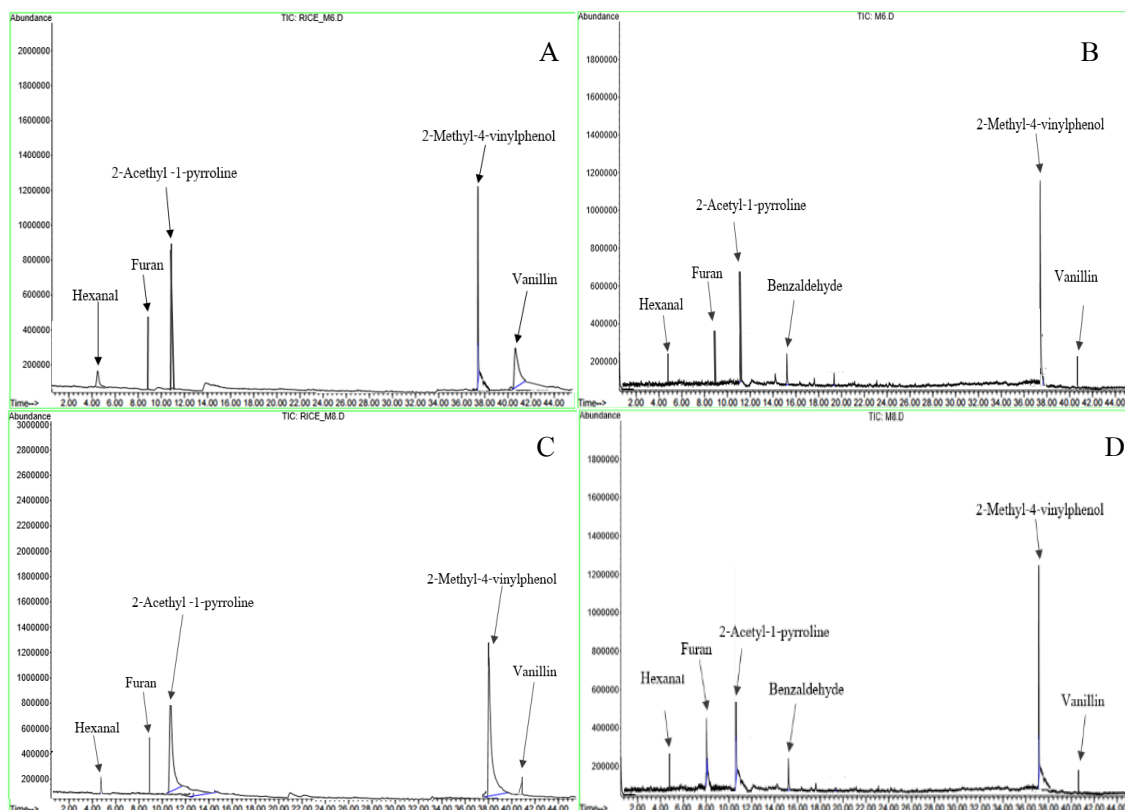
Appendix Figure 5 Chromatograms of volatile compound of cooked Hom Bai Toie brown rice that packed in a retort pouch prepared by soaking temperature under 100°C for 8 (A), 10 (B) and 12 min (C)



Appendix Figure 6 Chromatograms of volatile compound of cooked Hom Bai Toie milled rice that packed in a retort pouch prepared by soaking temperature under 100°C for 6 (A) and 8 min (B)



Appendix Figure 7 Chromatograms of volatile compound of fresh cooked Hom Bai Toie brown rice that packed in a retort pouch prepared by soaking temperature under 100°C for 8 (A), 10 (C) and 12 min (E) and stored cooked Hom Bai Toie brown rice (the 6th month) that packed in a retort pouch prepared by soaking temperature under 100°C for 8 (B), 10 (D) and 12 min (F)



Appendix Figure 8 Chromatograms of volatile compound of fresh cooked Hom Bai Toie

milled rice that packed in a retort pouch prepared by soaking temperature under 100°C for 6 (A) and 8 min (C) and stored cooked Hom Bai Toie milled rice (the 6th month) that packed in a retort pouch prepared by soaking temperature under 100°C for 6 (B) and 8 min (D)

ภาคผนวก ข. การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

1. ขนาดเมล็ดข้าว (Wadsworth *et al.*, 1982)

อุปกรณ์

เวอร์เนีย

วิธีการ

สุ่มข้าววัดขนาดความกว้างและความยาวของเมล็ดข้าว โดยการสุ่มข้าวตัวอย่างละ 10 เมล็ดและคำนวณในรูปค่าเฉลี่ย

2. น้ำหนักเมล็ดข้าว (Wadsworth *et al.*, 1982)

อุปกรณ์

เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง

วิธีการ

สุ่มเมล็ดสมบูรณ์ของข้าวตัวอย่างละ 100 เมล็ด นำมาชั่งน้ำหนักเป็นกรัม คำนวณค่าในรูปของค่าเฉลี่ยและรายงานผลในรูปน้ำหนักต่อ 100 เมล็ด

3. ความหนาแน่นรวม (Wadsworth *et al.*, 1982)

อุปกรณ์

1. ภาชนะทรงกระบอกขนาด 1 ลิตร
2. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง

วิธีการ

1. เทข้าวลงในภาชนะทรงกระบอกขนาด 1 ลิตร แล้วปาดส่วนที่เกินออก
2. ชั่งน้ำหนักข้าวแล้วคำนวณค่าความหนาแน่นรวมจากสมการ

$$\text{ความหนาแน่นรวม} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}}{\text{ปริมาตรของภาชนะ (ลูกบาศก์เซนติเมตร)}}$$

(กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)

4. ค่าสี

อุปกรณ์

เครื่องมือวัดค่าสี Hunter Lab รุ่น Color Quest XT

วิธีการ

1. เลือกโปรแกรม Hunter Lab ระบบ CIE วัดค่าในรูปแบบ (L*, a* และ b*) Illuminate = D65 และ Observe = 10°
2. ปรับมาตรฐานสีโดยใช้แผ่นเทียบค่ามาตรฐานและสีขาวมาตรฐาน
3. นำเมล็ดข้าวใส่ในคิวเวตประมาณ 1 ใน 4 ของคิวเวต
4. นำคิวเวตไปวางในตำแหน่งที่วัดค่าสี ค่าที่วัดได้เป็น L*, a* และ b*
 - L* บ่งบอกถึงความสว่างของสี (Lightness) โดยมีค่าตั้งแต่ 0 (สีดำ) ถึง 100 (สีขาว)
 - a* บ่งบอกถึงสีแดงและสีเขียว โดยค่าเป็นบวกก็จะเป็นสีแดงมากขึ้นและถ้าค่าเป็นลบก็จะเป็นสีเขียวมากขึ้น
 - b* บ่งบอกถึงสีเหลืองและสีน้ำเงิน โดยค่าเป็นบวกก็จะเป็นสีเหลือง และถ้าค่าเป็นลบก็จะเป็นสีน้ำเงินมากขึ้น
5. การคำนวณค่า Chroma และ Hue (Munsell, 1912) จากสูตร

$$\text{Chroma} = [(a^2 + b^2)]^{1/2}$$

$$\text{Hue} = \text{Arctan}(b/a)$$

ภาคผนวก ค. การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี

1. ปริมาณความชื้น (A.O.A.C., 2000)

อุปกรณ์

1. ภาชนะอะลูมิเนียมพร้อมฝาปิดสำหรับหาความชื้น
2. ตู้อบไฟฟ้า
3. โถดูดความชื้น
4. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง

วิธีการ

1. ล้างภาชนะอะลูมิเนียมสำหรับหาความชื้นให้สะอาด อบภาชนะอะลูมิเนียมพร้อมฝาปิดในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 2-3 ชั่วโมง ทำให้เย็นเท่ากับอุณหภูมิห้องในโถดูดความชื้น แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก
2. กระทำเช่นเดียวกับข้อ 1 จนผลต่างของน้ำหนักภาชนะอะลูมิเนียมพร้อมฝาปิดที่ชั่ง 2 ครั้งติดต่อกัน ไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม
3. ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 1-2 กรัม ใส่ในภาชนะอะลูมิเนียมพร้อมฝาปิดที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอนแล้ว

4. นำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 4-5 ชั่วโมง
5. ทิ้งให้เย็นเท่ากับอุณหภูมิห้องในโถดูดความชื้น แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก
6. นำไปอบซ้ำครั้งละ 30 นาที ทำซ้ำข้อ 5 จนผลต่างของน้ำหนักที่ชั่ง 2 ครั้งติดต่อกันไม่เกิน

1-3 มิลลิกรัม

7. คำนวณหาปริมาณความชื้นของตัวอย่างจากสูตร

วิธีการคำนวณ

$$\text{ปริมาณความชื้น (ร้อยละ โดยน้ำหนัก)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)}}$$

2. ปริมาณโปรตีน (A.O.A.C., 2000)

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์ย่อยโปรตีน ประกอบเตาย่อย
2. เครื่องดักจับไอกรด
3. อุปกรณ์กลั่นโปรตีน
4. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง
5. ตู้ดูดควัน
6. หลอดกลั่น 250 มิลลิลิตร
7. ขวดรูปชมพู่ 250 มิลลิลิตร
8. บีกเกอร์ 250 มิลลิลิตร
9. บิวเรตต์ 25 มิลลิลิตร
10. กระจกกรอง เบอร์ 1

สารเคมี

1. กรดซัลฟูริก ร้อยละ 98
2. คอปเปอร์ซัลเฟต
3. โพแทสเซียมซัลเฟต
4. โซเดียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 40
5. กรดบอริก ร้อยละ 4
6. กรดเกลือ 0.1 นอร์มอล
7. เมทิลเรด ร้อยละ 0.1
8. อินดิเคเตอร์ผสม

วิธีการ

ขั้นตอนการย่อย

1. ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักแน่นอน 1 กรัม บนกระดาษกรอง ใต้อในหลอดย่อย และทำแบลงค์
2. เติมคอปเปอร์ซัลเฟต 0.8 กรัม และโพแทสเซียมซัลเฟต 7 กรัม ลงในหลอดย่อย
3. เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 12 มิลลิลิตร ลงในหลอดย่อย
4. วางหลอดย่อยลงบนบดล็อกของเตาย่อย แล้วประกอบด้วยฝาครอบของเครื่องคักจับไอกรด และเปิดเครื่องคักจับ ไอกรด
5. ย่อยตัวอย่างในหลอดที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที จนได้สารละลายใส
6. ทิ้งไว้ให้เย็น

ขั้นตอนการย่อย

1. เปิดเครื่องกลั่นโปรตีน ตรวจสอบปริมาณค่า และน้ำในถังให้เพียงพอ
2. เปิดเครื่องคอนเดนเซอร์
3. ใต้อหลอดตัวอย่างที่ต่อเข้ากับเครื่องกลั่น และหยดอินดิเคเตอร์ผสม 3-5 หยด ในขวดรูปชมพู่นำไปวางที่รองรับตัวอย่าง
4. เติมน้ำกลั่น 80 มิลลิลิตร เติมค่า 50 มิลลิลิตร และเติมกรดบอริก 30 มิลลิลิตร ในหลอดตัวอย่าง
5. กลั่นโดยใช้ไอน้ำ นาน 4-6 นาที
6. เมื่อครบเวลา เอาขวดรองรับออกจากเครื่องกลั่น โดยฉีดล้างสารที่กลั่นได้ส่วนที่ติดอยู่ ปลายช่องปล่อยตัวอย่างลงในขวด
7. นำสารละลายที่กลั่นได้ไปไทเทรตด้วยกรดเกลือ ความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล (ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน) และบันทึกปริมาตรกรดที่ใช้
8. คำนวณปริมาณโปรตีน

วิธีการคำนวณ

$$\text{ปริมาณโปรตีน(ร้อยละ)} = \frac{(A-B) \times N \times 1.4007 \times F}{W}$$

เมื่อ A = ปริมาณกรดที่ใช้ไทเทรตตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

B = ปริมาณกรดที่ใช้ไทเทรตแบลงค์ (มิลลิลิตร)

N = ความเข้มข้นของกรดที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)

F = แฟกเตอร์ของแป้งข้าวเจ้าเท่ากับ 5.95 (FAO, 1986)

W = น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

3. ปริมาณไขมัน (A.O.A.C., 2000)

อุปกรณ์

1. ขวดก้นกลมขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เครื่องสกัดไขมัน
3. ตู้อบไฟฟ้า
4. โถดูดความชื้น
5. เครื่องระเหยแบบสูญญากาศ
6. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง

สารเคมี

ปิโตรเลียมอีเทอร์

วิธีการ

1. อบขวดก้นกลมขนาด 250 มิลลิลิตร ในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง แล้วนำมาใส่ในโถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็นอุณหภูมิของภาชนะลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้อง แล้วชั่งน้ำหนัก
2. กระทำเช่นเดียวกับข้อ 1 จนผลต่างของน้ำหนักขวดก้นกลมที่ชั่ง 2 ครั้งติดต่อกัน ไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม
3. ชั่งตัวอย่างที่บดละเอียดแล้ว 1-2 กรัม บนกระดาษกรองแล้วห่อให้มีมิติใส่ลงในหลอดใส่ตัวอย่าง กลุ่มด้วยสำลีเพื่อให้สารละลายกระจายในตัวอย่างสม่ำเสมอ
4. เติมห่วงทำละลายปิโตรเลียมอีเทอร์ประมาณ 150 มิลลิลิตร ลงในขวดก้นกลมที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน แล้ววางบนเตา
5. ประกอบอุปกรณ์ชุดสกัดไขมัน (ชอคเลตและเครื่องควบแน่น) พร้อมทั้งเปิดน้ำหล่ออุปกรณ์ควบแน่น แล้วเปิดสวิทซ์เตาให้ความร้อน
6. การสกัดไขมัน นาน 14 ชั่วโมง โดยปรับความร้อนให้หยดของสารละลายกลั่นตัวจากอุปกรณ์ควบแน่นด้วยอัตรา 150 หยดต่อนาที
7. เมื่อครบเวลา 14 ชั่วโมง นำหลอดใส่ตัวอย่างออกจากชอคเลต และระเหยสารละลายปิโตรเลียมอีเทอร์ออกด้วยเครื่องระเหยแบบสูญญากาศ
8. นำขวดก้นกลมมาอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนแห้ง นำออกจากตู้อบใส่ในโถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็นอุณหภูมิของภาชนะลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้อง แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก

9. กระทำเช่นเดียวกับข้อ 8 จนได้น้ำหนักคงที่ ซึ่งผลต่างของน้ำหนักที่ชั่ง 2 ครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม

10. คำนวณหาปริมาณไขมันของตัวอย่างจากสูตร

วิธีการคำนวณ

$$\text{ปริมาณไขมัน (ร้อยละ)} = \frac{(\text{น้ำหนักขูดรวมไขมัน (กรัม)} - \text{น้ำหนักขูด (กรัม)}) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)}}$$

4. ปริมาณเถ้า (A.O.A.C., 2000)

อุปกรณ์

1. เตาเผา
2. ถ้วยกระเบื้องเคลือบ
3. โถดูดความชื้น
4. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง

วิธีการ

1. หาน้ำหนักที่แน่นอนของถ้วยเคลือบ โดยการนำถ้วยกระเบื้องไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง เมื่อครบระยะเวลาปิดเตาเผาโดยรอให้อุณหภูมิเตาเผาตกลงเหลือ 200 องศาเซลเซียส แล้วนำถ้วยกระเบื้องเคลือบออกจากเตาเผา แล้วเอาใส่ในโถดูดความชื้นทิ้งไว้ให้เย็นในแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก

2. เผาซ้ำอีกครั้ง ครั้งละประมาณ 30 นาที แล้วนำถ้วยกระเบื้องเคลือบออกจากเตาเผา แล้วเอาใส่ในโถดูดความชื้นทิ้งไว้ให้เย็นในแล้วนำไปชั่งน้ำหนักและจนผลต่างของน้ำหนักถ้วยกระเบื้องที่ชั่ง 2 ครั้งติดต่อกัน ไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม

3. ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 1-2 กรัม ใส่ในถ้วยกระเบื้องเคลือบที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอนแล้ว นำไปเผาในตู้ควันจนหมดควัน

4. นำไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ทำเช่นเดียวกับข้อ 1-2

5. คำนวณหาปริมาณเถ้าของตัวอย่างจากสูตร

วิธีการคำนวณ

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

5. ปริมาณอะไมโลส (Juliano *et al.*, 1985)

อุปกรณ์

1. เครื่องวัดการดูดกลืนแสง
2. เครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า
3. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง
4. ขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร
5. ปิเปตขนาด 1 และ 10 มิลลิลิตร

สารเคมี

1. สารละลายเอทานอลร้อยละ 95
2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมลาร์
3. สารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น 1 โมลาร์
4. สารละลายไอโอดีน (ไอโอดีน 0.2 กรัม และโพแทสเซียมไอโอไดด์ 2.0 กรัม ในสารละลาย 100 มิลลิลิตร)
5. อะไมโลสบริสุทธิ์

วิธีการ

การเตรียมสารละลายมาตรฐานอะไมโลส

1. ชั่งอะไมโลสบริสุทธิ์ 0.04 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร
2. เติมสารละลายเอทานอลร้อยละ 95 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าเบาๆ อย่าให้อะไมโลสเกาะผนังบีกเกอร์
3. เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 9 มิลลิลิตร
4. กวนของเหลวโดยใส่แท่งแม่เหล็กลงในสารละลายและนำไปวางบนเครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้านาน 10 นาที
5. นำแท่งแม่เหล็กออกและล้างส่วนที่ติดมา (ถ้ามี) และนำเทกลับลงไปในบีกเกอร์ จากนั้นนำสารละลายใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร
6. ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ปริมาตรสุดท้ายเท่ากับ 100 มิลลิลิตร เขย่าให้ผสมให้เข้ากัน

การเตรียมตัวอย่าง

1. ชั่งตัวอย่าง 0.1 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร
2. เติมสารตามขั้นตอนการเตรียมสารละลายมาตรฐานอะไมโลสตามข้อ 2-5

การวิเคราะห์ตัวอย่าง

1. ปิเปตสารละลายจากการเตรียมตัวอย่าง ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ใส่ในปิเปกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำกลั่นประมาณ 70 มิลลิลิตร
3. ปิเปตสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร
4. ปิเปตสารละลายไอโอดีน 2 มิลลิลิตร
5. จากนั้นนำสารละลายใส่ขวดปรับปริมาตร 100 มิลลิลิตร แล้วปรับด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 100 มิลลิลิตร เขย่าและตั้งทิ้งไว้ 20 นาที ที่อุณหภูมิห้อง
6. ทำแบลนด์เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ตัวอย่างแต่ไม่ใส่สารตัวอย่าง
7. วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายโดยใช้เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร โดยปรับค่าสารละลายแบลนด์ เท่ากับ 0
8. นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปหาปริมาณอะไมโลส โดยเทียบจากกราฟมาตรฐาน

การเตรียมกราฟมาตรฐาน

1. ปิเปตสารละลายจากการเตรียมสารละลายมาตรฐานอะไมโลส ปริมาตร 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิลิตร ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำกลั่นประมาณ 70 มิลลิลิตร
3. ปิเปตสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 มิลลิลิตร (คิดเป็นร้อยละ 8, 16, 24, 32 และ 40 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง) ใส่ในขวดที่มีสารละลายมาตรฐานตามข้อ 1 ตามลำดับ
4. ปิเปตสารละลายไอโอดีน 2 มิลลิลิตร
5. ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 100 มิลลิลิตร เขย่าและตั้งทิ้งไว้ 20 นาที
6. วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายโดยใช้เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร และเขียนกราฟระหว่างปริมาณอะไมโลส (กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง) กับค่าการดูดกลืนแสง

6. ปริมาณเยื่อใย (A.O.A.C., 2000)

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์หาปริมาณเยื่อใย (ANKOM²⁰⁰) ประกอบด้วย เครื่องย่อย ชั้นสำหรับใส่ตัวอย่าง (Bag suspender)
2. ถุงกรองสำหรับใส่ตัวอย่าง
3. ปากกาสำหรับเขียนถุงกรอง (สามารถทนสารละลายกรด/ด่างได้)
4. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง
5. เครื่องปิดผนึกถุง
6. ตู้อบไฟฟ้า
7. เตาเผา
8. ถ้วยกระเบื้องเคลือบ
9. โถดูดความชื้น
10. บีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร
11. กระดาษลิตมัส

สารเคมี

1. กรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 1.25 (น้ำหนักต่อปริมาตร)
2. โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 1.25 (น้ำหนักต่อปริมาตร)
3. ปีโตรเลียมอีเทอร์
4. อะซิโตน

วิธีการ

1. ชั่งน้ำหนักถุงกรอง (W_1) ที่เขียนรหัสตัวอย่างเรียบร้อยแล้ว โดยใช้ปากกาสำหรับเขียนถุงกรอง (ถุงกรองไม่ต้องอบแห้งก่อนนำมาใส่ตัวอย่าง เนื่องจากมีการทำเบลนค์)
2. นำถุงกรองที่ทราบน้ำหนักมาบรรจุตัวอย่าง แล้วชั่งน้ำหนักให้อยู่ในอยู่ระหว่าง 0.3-0.5 กรัม (W_2)
3. ปิดผนึกถุงกรอง โดยใช้เครื่องปิดผนึกด้วยความร้อน โดยให้รอยปิดผนึกห่างจากขอบด้านบนของถุงกรองสำหรับใส่ตัวอย่างประมาณ 4 มิลลิเมตร ปิดผนึก 2 ชั้น (ต้องตรวจสอบให้แน่ใจว่ารอยปิดผนึกแนบสนิท)
4. ชั่งน้ำหนักถุงกรองที่นำมาทำเบลนค์ (C_1) ปิดผนึกถุงแบบเบลนค์ โดยใช้เครื่องปิดผนึกด้วยความร้อน

5. สกัดไขมันออกจากตัวอย่าง โดยนำถุงกรองที่บรรจุตัวอย่างเรียบร้อยแล้วใส่ในบีกเกอร์ ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำโตรเลียมอีเทอร์จนท่วมตัวอย่าง (ใส่ได้ไม่เกิน 8 ถุงต่อบีกเกอร์) แช่ไว้นาน 10 นาที จากนั้นนำถุงตัวอย่างออกมาวางให้แห้งในบีกเกอร์เปล่า

6. นำถุงกรองที่บรรจุตัวอย่างใส่ในชั้นสำหรับใส่ตัวอย่าง โดยชั้นสำหรับใส่ตัวอย่างประกอบด้วยชั้น 9 ชั้น แต่ละชั้นสามารถใส่ถุงกรองได้ 3 ถุง สามารถใส่ตัวอย่างได้ทั้งหมด 8 ชั้น ส่วนชั้นที่ 9 ห้ามใส่ถุงกรองแต่จะใส่แท่งเหล็ก เพื่อกดทับตัวอย่างให้จมอยู่ใต้สารละลาย

*หมายเหตุ หากช่องใส่ตัวอย่างมีอุณหภูมิสูงหรืออุ่นอยู่ให้เติมน้ำกรองลงไปแล้วปล่อยให้เย็นเพื่อให้อุณหภูมิปกติ ก่อนใส่ตัวอย่างลงไป

7. เติมน้ำสะอาดกรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 1.25 (น้ำหนักต่อปริมาตร) ลงในช่องใส่ตัวอย่างให้ท่วมชั้นใส่ตัวอย่างชั้นบนสุด (ประมาณ 1,900-2,000 มิลลิลิตร ขึ้นอยู่กับปริมาณตัวอย่าง)

8. กดปุ่ม Agitate และ Heat แล้วสังเกตแกนกลางของชั้นใส่ตัวอย่างจะมีการเคลื่อนที่ จากนั้นปิดฝาช่องใส่ตัวอย่าง รอให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึง 100 องศาเซลเซียส แล้วจับเวลาในการสกัด นาน 40 นาที

9. เมื่อครบกำหนดเวลาสกัด กดปุ่ม Heat และ Agitate จากนั้นเปิดวาล์วปล่อยสารละลายทิ้ง โดยช่วงแรกให้ค่อยๆ ปล่อย เนื่องจากยังมีแรงดันภายในเครื่อง เมื่อสังเกตว่าไม่มีแรงดันพุ่งออกมาแล้วจึงปล่อยสารละลายทิ้งได้ตามปกติ

10. ปิดวาล์วน้ำทิ้งให้เรียบร้อย เปิดช่องใส่ตัวอย่าง เติมน้ำร้อนให้ท่วมชั้นใส่ตัวอย่าง กดปุ่ม Agitate รอประมาณ 5 นาที จากนั้นเปิดวาล์วปล่อยน้ำทิ้ง ทำเช่นนี้จนหมดความเป็นกรด (ทดสอบโดยใช้กระดาษลิตมัส)

11. เติมน้ำสะอาดโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.25 (น้ำหนักต่อปริมาตร) ลงในช่องใส่ตัวอย่างให้ท่วมชั้นใส่ตัวอย่างชั้นบนสุด (ประมาณ 1,900-2,000 มิลลิลิตร ขึ้นอยู่กับปริมาณตัวอย่าง)

12. กดปุ่ม Agitate และ Heat แกนกลางของชั้นใส่ตัวอย่างจะมีการเคลื่อนที่ จากนั้นปิดฝาช่องใส่ตัวอย่าง รอให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึง 100 องศาเซลเซียส แล้วจับเวลาในการสกัด นาน 40 นาที

13. เมื่อครบกำหนดเวลาสกัด กดปุ่ม Heat และ Agitate จากนั้นเปิดวาล์วปล่อยสารละลายทิ้ง โดยช่วงแรกให้ค่อยๆ ปล่อย เนื่องจากยังมีแรงดันภายในเครื่อง เมื่อสังเกตว่าไม่มีแรงดันพุ่งออกมาแล้วจึงปล่อยสารละลายทิ้งได้ตามปกติ

14. ปิดวาล์วน้ำทิ้งให้เรียบร้อย เปิดช่องใส่ตัวอย่าง เติมน้ำร้อนให้ท่วมชั้นใส่ตัวอย่าง กดปุ่ม Agitate รอประมาณ 5 นาที จากนั้นเปิดวาล์วปล่อยน้ำทิ้ง ทำเช่นนี้จนหมดความเป็นด่าง (ทดสอบโดยใช้กระดาษลิตมัส)

15. นำชิ้นไม้ตัวอย่างออกจากเครื่องหาปริมาณเชื้อใย
16. นำถุงตัวอย่างทั้งหมดใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมอะซิโตนจนท่วมตัวอย่าง (ใส่ได้ไม่เกิน 8 ถุงต่อบีกเกอร์) แช่ไว้นาน 5 นาที แล้วนำออกมาวางให้แห้งในบีกเกอร์เปล่า
17. นำไปอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น
18. ชั่งน้ำหนักแล้วนำไปอบซ้ำครั้งละ 30 นาที จนกระทั่งได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่ง 2 ครั้ง ติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม (W_3)
19. นำตัวอย่างใส่ลงในถ้วยกระเบื้องเคลือบที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอนแล้ว เเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ปริมาณเถ้า ชั่งน้ำหนัก (W_4)
20. คำนวณหาปริมาณเชื้อใยจากสูตรคำนวณ

วิธีการคำนวณ

$$\text{ปริมาณเชื้อใย (ร้อยละ)} = \frac{[(W_3 - W_4) - (W_1 \times C_1)] \times 100}{W_2}$$

เมื่อ	W_1	=	น้ำหนักถุงกรอง (กรัม)
	W_2	=	น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)
	W_3	=	น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (กรัม)
	W_4	=	น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา (กรัม)
	C_1	=	ปริมาณเถ้าของเบลงค์ (กรัม)

7. ค่าความชื้น (Wood and Aurand, 1977)

อุปกรณ์

1. ชุดกลั่นตัวอย่าง
2. ลูกแก้ว
3. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง
4. เครื่องวัดการดูดกลืนแสง
5. ปิเปต
6. หลอดทดลองชนิดมีฝาปิด

สารเคมี

1. กรดเกลือ เข้มข้น 4 นอร์มอล
2. สารป้องกันการเกิดฟอง (Antifoam liquid)
3. สารละลายกรดไฮโอบาบิวทริก เตรียมโดยชั่งกรดไฮโอบาบิวทริก 0.0288 กรัม ละลายในกรดอะซิติกเข้มข้นร้อยละ 90 ปริมาตร 90 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 100 มิลลิลิตร

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่าง 10 กรัม เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร นำไปไฮโมจิไนซ์ นาน 2 นาที จากนั้นเทลงขวดชมพูและเติมน้ำกลั่น 47.5 มิลลิลิตร
2. เติมสารละลายกรดเกลือความเข้มข้น 4 นอร์มอล ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร เติมลูกแก้วและเติมสารป้องกันการเกิดฟอง
3. กลั่นให้ได้ของเหลว ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ภายใน 10 นาที
4. ดูดสารที่กลั่นได้ 5 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง
5. เติมสารละลายกรดไฮโอบาบิวทริก ปริมาตร 5 มิลลิลิตร เขย่าและให้ความร้อนที่อุณหภูมิ น้ำเดือด นาน 35 นาที
6. ทำแบลงค์โดยวิธีการเตรียมเดียวกันโดยใช้น้ำกลั่นแทนตัวอย่าง 5 มิลลิลิตร เขย่าและให้ความร้อนที่อุณหภูมิ น้ำเดือด นาน 35 นาที
7. นำตัวอย่างและแบลงค์ วัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 532 นาโนเมตร

การคำนวณ

$$\text{ค่าความหืน} = 7.8 \times \text{ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง}$$

(มิลลิกรัม มาลอนแอลดีไฮด์ต่อกิโลกรัมตัวอย่าง)

8. ชนิดและปริมาณสารระเหยได้ในข้าวดิบ (ดัดแปลง Tananuwoog and Lertsiri, 2010)

อุปกรณ์

1. เครื่อง Gas chromatography/mass spectrometry (GC-MS) (Agilent 6890 Plus GC/HP 5973)
2. ขวดบรรจุตัวอย่างขนาด 27 มิลลิลิตร
3. Polytetrafluoroethylene/silicone septum
4. Aluminium cap
5. Solid phase microextraction
6. Divinylbenzene/carboxen/polydimethylsiloxane fiber
7. ไมโครปิเปต ขนาด 1-100 ไมโครลิตร
8. เครื่องบดอาหาร
9. ตะแกรงร่อนขนาด 60 เมช

วิธีการ

1. บดข้าวด้วยเครื่องบดอาหาร แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 60 เมช
2. ชั่งตัวอย่างข้าว 7 กรัม ใส่ในขวดบรรจุตัวอย่างขนาด 27 มิลลิลิตร
3. ปิดผนึกด้วย Polytetrafluoroethylene/silicone septum และปิดด้วย Aluminium cap
4. นำตัวอย่างไปบ่มในอ่างน้ำมันที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที
5. ใช้ Solid phase microextraction โดยใช้ Divinylbenzene/carboxen/polydimethylsiloxane fiber ในการดูดซับกลิ่น ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที
6. นำสารที่สกัดได้มาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-MS (สถานะของเครื่องดังแสดงในรายละเอียดในตารางภาคผนวกที่ 1)

Appendix Table 1 The condition for analysis volatile compound of raw rice by GC-MS

Condition	DB-wax column
Length of column (m)	30
Diameter of column (m)	0.25
Film thickness (μm)	0.25
Carrier gas	purified helium gas
Flow rate of carrier gas (ml/min)	1.5
Mode of operation	splitless
Injection temperature ($^{\circ}\text{C}$)	200
Oven temperature ($^{\circ}\text{C}$)	<p style="text-align: center;">2 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$</p> <p style="text-align: center;">45$^{\circ}\text{C}$ \longrightarrow 80$^{\circ}\text{C}$</p> <p style="text-align: center;">4 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$</p> <p style="text-align: center;">80$^{\circ}\text{C}$ \longrightarrow 120$^{\circ}\text{C}$</p> <p style="text-align: center;">10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$</p> <p style="text-align: center;">120$^{\circ}\text{C}$ \longrightarrow 230$^{\circ}\text{C}$</p>
Interface temperature ($^{\circ}\text{C}$)	250
Ionization energy	70 eV
Mass range (amu)	Scan mode (20-350 amu, 4.33 scans/s)

9. ชนิดและปริมาณสารระเหยได้ในข้าวสุก (Mahattanatawee and Rouseff, 2014)

อุปกรณ์

1. เครื่อง Gas chromatography/mass spectrometry (GC-MS) (Agilent 6890 Plus GC/HP 5973)
2. ขวดบรรจุตัวอย่างขนาด 40 มิลลิลิตร
3. Teflon-coated septum
4. Screw cap
5. Solid phase microextraction
6. Divinylbenzene/carboxen/polydimethylsiloxane fiber

วิธีการ

1. นำตัวอย่างข้าวสุก 5 กรัม ใส่ในขวดบรรจุตัวอย่างขนาด 40 มิลลิลิตรและเติมน้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร
2. เติมหักซ์ในโตรเจนลงไปในส่วนของ Headspace ปิดผนึกด้วย Teflon-coated septum และ Screw cap
3. นำตัวอย่างไปต้มในอ่างน้ำที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที
4. ใช้ Solid phase microextraction โดยใช้ Divinylbenzene/carboxen/polydimethylsiloxane fiber ในการดูดซับกลิ่น นาน 30 นาที
5. นำสารที่สกัดได้มาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-MS (สถานะของเครื่องดังแสดงในรายละเอียดในตารางภาคผนวกที่ 2)

Appendix Table 2 The condition for analysis volatile compound of cooked rice by GC-MS

Condition	RTX-5 capillary column
Length of column (m)	60
Diameter of column (mm)	0.25
Film thickness (μm)	0.50
Carrier gas	purified helium gas
Flow rate of carrier gas (ml/min)	2
Mode of operation	positive ion
Injection temperature ($^{\circ}\text{C}$)	220
Oven temperature ($^{\circ}\text{C}$)	40 $^{\circ}\text{C}$ holding for 2 min 7 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 40 $^{\circ}\text{C}$ \longrightarrow 240 $^{\circ}\text{C}$ holding for 7.5 min 240 $^{\circ}\text{C}$ holding for 2 min
Interface temperature ($^{\circ}\text{C}$)	260
Ionization energy	70 eV
Mass range (amu)	Scan mode (25-350 amu)

ภาคผนวก ง. การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์

1. สมบัติการเกิดเจลลาตินในเซชัน (Teo *et al.*, 2000)

อุปกรณ์

1. เครื่อง Differential Scanning Calorimetry (DSC)
2. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง
3. ถ้วยอะลูมิเนียมแพน ขนาด 30 ไมโครลิตร พร้อมฝา

สารเคมี

1. อะซีโตน

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่าง 2 มิลลิกรัม (น้ำหนักแห้ง) ใส่ถ้วยอะลูมิเนียมแพนและเติมน้ำกลั่น 6 มิลลิกรัม ให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน ในถ้วยอะลูมิเนียมแพน จากนั้นปิดฝืนึก และเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง นาน 12 ชั่วโมง
2. นำตัวอย่างมาวิเคราะห์โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 30 ถึง 180 องศาเซลเซียส โดยกำหนดอัตราการให้ความร้อนที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น 10 องศาเซลเซียสต่อนาที
3. อ่านช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลลาตินในเซชันและค่าพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลลาตินในเซชันจากเทอร์โมแกรม (T_o = Onset temperature, T_p = Peak temperature, T_c = Conclusion temperature และ ΔH = Enthalpy)

วิธีการคำนวณร้อยละการเกิดเจลลาตินในเซชัน

$$\text{การเกิดเจลลาตินในเซชัน (ร้อยละ)} = 100 - \left(\frac{\Delta H \text{ ข้าวที่ผ่านการทำให้สุก}}{\Delta H \text{ ข้าวที่ไม่ผ่านการทำให้สุก}} \times 100 \right)$$

2. พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความหนืด (Zhou *et al.*, 2007)

อุปกรณ์

1. เครื่อง Rapid Viscosity Analyzer (RVA)

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่าง 3 กรัม (น้ำหนักแห้ง) และเติมน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร
2. ของผสมจะถูกกวนด้วย ความเร็ว 960 รอบต่อนาที เวลา 10 นาที หลังจากนั้นเปลี่ยนเป็น 160 รอบต่อนาที ตลอดการทดลอง ส่วนผสมจะถูกเก็บที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 1 นาที

จากนั้นให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส ด้วยอัตรา 12 องศาเซลเซียสต่อนาที และคงอุณหภูมิไว้ที่ 95 องศาเซลเซียส นาน 2.5 นาที ลดอุณหภูมิลงถึง 50 องศาเซลเซียส ด้วยอัตรา 12 องศาเซลเซียสต่อนาที และคงอุณหภูมิลงไว้ 5 นาที โดยแสดงผลเป็นค่าความหนืดสูงสุด (Peak viscosity; PV) อุณหภูมิที่เกิดความหนืดสูงสุด (Pasting temperature; P_{temp}) ความหนืดสุดท้าย (Final trough viscosity; FV) และ ค่าการคืนตัว (Setback viscosity; SBV)

3. รูปแบบโครงสร้างผลึกและปริมาณผลึก (Kim *et al.*, 2001)

อุปกรณ์

1. เครื่อง X-ray Diffractometer (XRD)
2. ภาชนะใส่ตัวอย่าง

วิธีการ

1. นำตัวอย่างใส่ในภาชนะใส่ตัวอย่าง
2. ตั้งค่าเครื่อง XRD โดยใช้แรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 40 กิโลโวลต์ และกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 30 มิลลิแอมแปร์ มุมที่ใช้ในการวิเคราะห์ (2θ) ระหว่าง 4-40 องศา สแกนด้วยอัตรา 0.05 องศาต่อนาที โดยใช้ทองแดงเป็นแหล่งกำเนิดรังสีเอ็กซ์
3. นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาปริมาณผลึกจากสูตร

วิธีการคำนวณ

$$\text{ปริมาณผลึก (ร้อยละ)} = \frac{\text{พื้นที่ใต้กราฟของส่วนที่เป็นผลึก} \times 100}{\text{พื้นที่ใต้กราฟทั้งหมด}}$$

4. โครงสร้างทางจุลภาค (Luangmalawat *et al.*, 2008)

อุปกรณ์

1. เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)

วิธีการ

1. นำเมล็ดข้าวหุงสุกไปแช่ในสารละลายเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 30, 50, 70, 90 และ Absolute ethanol ตามลำดับ แต่ละความเข้มข้นแช่นาน 10 นาที
2. นำเมล็ดข้าวไปทำแห้งด้วยวิธี Critical-point-dried โดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์
3. นำเมล็ดข้าวหักตามขวางขนาด 2 มิลลิเมตร แล้วฉาบผิวหน้าชิ้นตัวอย่างด้วยทองคำ
4. นำเมล็ดข้าวที่ผ่านการเตรียมตัวอย่างแล้วมาส่องผ่านกล้อง Scanning Electron Microscope

(SEM) ที่กำลังขยาย 50, 100, 2000 และ 5000 เท่า โดยกำหนดค่า kv=10

5. คำกำลังการฟองตัวและกำการละลาย (Schoch, 1964)

อุปกรณ์

1. หลอดเซินติพีวัจขนาด 50 มิลลิลิตร
2. อ่างน้ำร้อน
3. เครื่องหมุนเหวี่ยง
4. ตู้อบไฟฟ้า
5. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง
6. ถ้วยอะลูมิเนียมสำหรับวิเคราะห์ความชื้น
7. หลอดหยด

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่าง 0.5 กรัม ใส่หลอดเหวี่ยงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร ขนาด 50 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำกลั่น 15 มิลลิลิตร
3. แช่หลอดเหวี่ยงในอ่างน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เขย่าตลอด นาน 30 นาที
4. นำไปเหวี่ยงในเครื่องหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็วรอบ 2,200 รอบต่อนาที นาน 15 นาที
5. ดูดของเหลวชั้นบนใส่ถ้วยอะลูมิเนียมที่ทราบน้ำหนักแน่นอน นำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 8-10 ชั่วโมง หรือจนได้น้ำหนักคงที่ ชั่งน้ำหนักซึ่งเป็นน้ำหนักส่วนที่ละลายน้ำ ส่วนแบ่งเปียกในหลอดนำมาชั่งเป็นน้ำหนักแบ่งที่ฟองตัวแล้วคำนวณร้อยละการละลายและกำลังการฟองตัว

วิธีการคำนวณ

$$\text{การละลาย (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักส่วนที่ละลายน้ำ (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง (กรัม)}}$$

$$\text{กำลังการฟองตัว} = \frac{\text{น้ำหนักแบ่งที่ฟองตัวแล้ว (กรัม)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง (กรัม)}}$$

6. สมบัติการเกิดรีโทรเกรเดชัน (Teo *et al.*, 2000)

อุปกรณ์

1. เครื่อง Differential Scanning Calorimetry (DSC)
2. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง
3. ถ้วยอะลูมิเนียมแพน ขนาด 30 ไมโครลิตร พร้อมฝา

สารเคมี

1. อะซิโตน

วิธีการ

1. นำตัวอย่างข้าวสุกไปแช่ในอะซิโตน นาน 12 ชั่วโมง แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง จากนั้นนำตัวอย่างไปบดแล้วร่อนผ่านตะแกรง
2. ชั่งตัวอย่าง 2 มิลลิกรัม (น้ำหนักแห้ง) ใส่อะลูมิเนียมแพน และเติมน้ำกลั่น 6 มิลลิกรัม (ใช้อัตราส่วนน้ำต่อข้าวเท่ากับ 3:1) ปิดฝีกะอะลูมิเนียมแพน เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 12 ชั่วโมง
3. นำตัวอย่างมาวิเคราะห์ที่อุณหภูมิ 30-180 องศาเซลเซียส โดยกำหนดอัตราการให้ความร้อนที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น 10 องศาเซลเซียสต่อนาที
4. อ่านช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลลาติไนเซชันและค่าพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลลาติไนเซชันจากเทอร์โมแกรม (T_o = Onset temperature, T_p = Peak temperature, T_c = Conclusion temperature และ ΔH = Enthalpy)

ภาคผนวก จ. การวิเคราะห์คุณภาพการหุงสุก

1. อัตราการยืตัวของข้าวหุงสุก (Juliano, 1985)

อุปกรณ์

เวอร์เนียร์

วิธีการ

สุ่มข้าวดิบและข้าวสุก ตัวอย่างละ 10 เมล็ด วัดความยาว (มิลลิเมตร) จำนวน 3 ซ้ำ และคำนวณค่าในรูปของค่าเฉลี่ย

วิธีการคำนวณ

$$\text{อัตราการยืตัวของข้าวสุก} = \frac{\text{ความยาวเฉลี่ยของเมล็ดข้าวสุก (มิลลิเมตร)}}{\text{ความยาวเฉลี่ยของเมล็ดข้าวดิบ (มิลลิเมตร)}}$$

2. ความสามารถในการดูดซับน้ำของข้าวหุงสุก (Zhou *et al.*, 2007)

อุปกรณ์

เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง

วิธีการ

ชั่งน้ำหนักข้าวดิบและข้าวหุงสุก จำนวน 3 ซ้ำ และคำนวณค่าในรูปของค่าเฉลี่ย

วิธีการคำนวณ

$$\text{ความสามารถในการดูดซับน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักของเมล็ดข้าวสุก (กรัม)}}{\text{น้ำหนักของเมล็ดข้าวดิบ (กรัม)}}$$

3. ปริมาณ Starchy core (Juliano, 1985)

อุปกรณ์

1. กระจกนาฬิกา
2. ช้อน

วิธีการ

1. สุ่มข้าวหุงสุก 10 เมล็ด วางบนแผ่นกระจกนาฬิกา จากนั้นใช้ช้อนกดเมล็ดข้าว สังเกตลักษณะขาวขุ่นในส่วนของกลางของเมล็ด
2. คำนวณค่าในรูปของค่าเฉลี่ย

วิธีการคำนวณ

$$\text{ปริมาณ Starchy core} = \frac{\text{จำนวนเมล็ดข้าวที่มีส่วนขาวขุ่น (เมล็ด) x 100}}{\text{จำนวนเมล็ดข้าวทั้งหมด (เมล็ด)}}$$

4. ค่าเนื้อสัมผัส (Juliano, 1985)

อุปกรณ์

1. เครื่อง Texture analyzer รุ่น TA – XT2i
2. เพลท

วิธีการ

1. เลือกโปรแกรม Texture expert English
2. นำเมล็ดข้าว 10 เมล็ด วางบนเพลท โดยจัดเรียงเมล็ดในแนวนอน 5 แถว แถวละ 2 เมล็ด ตั้งแสดงในภาพผนวกที่ 3 จำนวน 10 ซ้ำ วัดโดยใช้ค้อนน้ำหนัก 50 กรัม และใช้หัววัดแบบ Cylinder probe P35 ใช้แรงกดสำหรับการวัดค่าความแข็ง (Hardness) มีหน่วยเป็น นิวตัน ด้วยความเร็ว

1 มิลลิเมตรต่อวินาที หลังจากนั้นเป็นการวัดค่าการเกาะติด (Adhesiveness) มีหน่วยเป็น นิวตัน โดยหัววัดจะถูกดึงขึ้นจากตัวอย่าง ดังแสดงในภาพที่ 1 ความเร็วสุดท้าย 10 มิลลิเมตรต่อวินาที

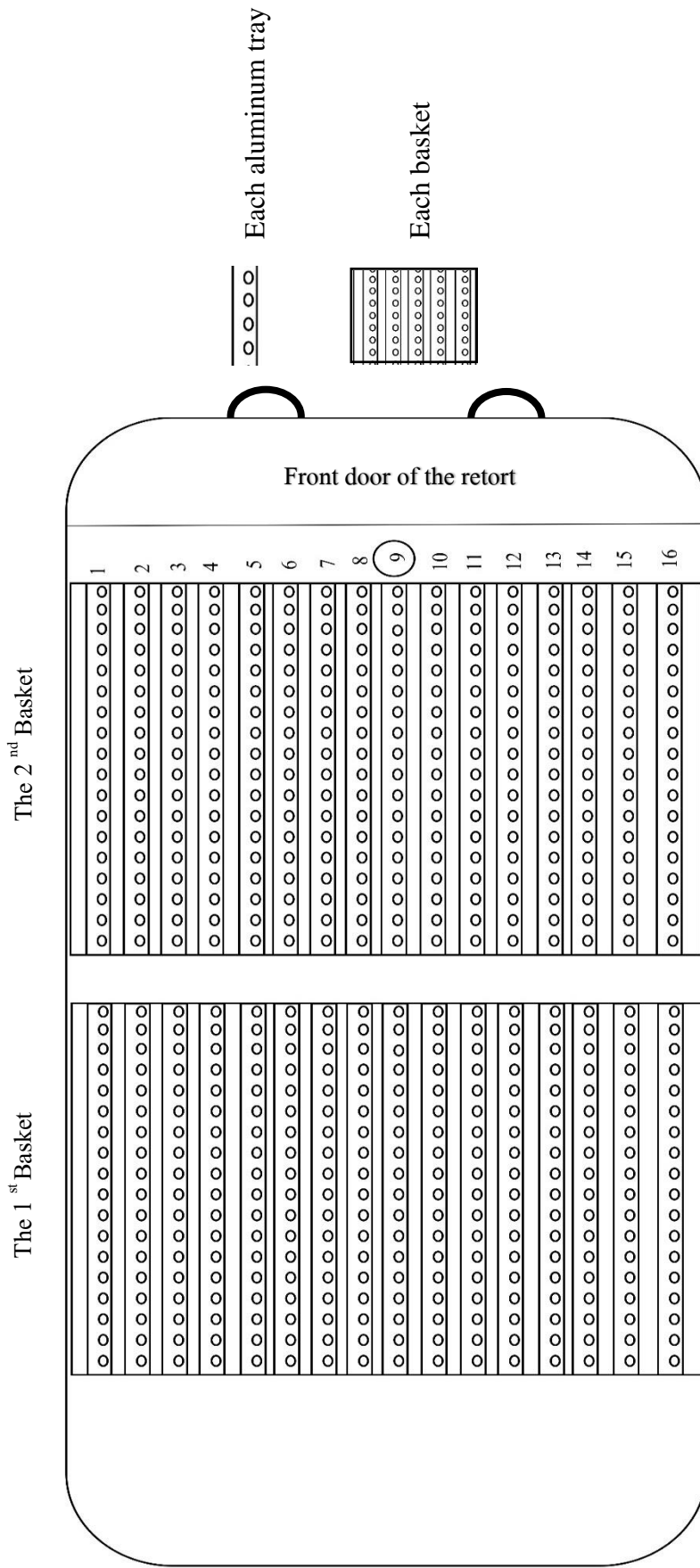


Appendix Figure 9 Texture evaluation of cooked rice

ภาคผนวก ฉ. การผลิตข้าวพร้อมบริโภค



Appendix Figure 10 Monitoring of heating process time (F_0) of cooked rice in a retort pouch, inserting thermometer needle into a retort pouch (A), sample weighting (B), sample sealing (C), thermocouple connection with computer for recording temperature (D) and sample loading into a retort (E)



Appendix Figure 11 Position of temperature monitoring using thermocouple of samples at the 9th layer of aluminum tray in a horizontal retort

การคำนวณหาระยะเวลาฆ่าเชื้อ (F_0) (Ball and Olson, 1957)

ตัวอย่าง ข้าวกล้องพร้อมบริโภคน้ำที่ผ่านการเตรียมจากการแช่ข้าวนาน 8 นาที (ครั้งที่ 1)

เวลาเริ่มต้นของกระบวนการให้ความร้อน Corrected zero (cz) คำนวณได้จากร้อยละ 58 ของระยะเวลาที่อุณหภูมิของตัวอย่างเพิ่มขึ้นไปถึงอุณหภูมิฆ่าเชื้อที่กำหนด (Come up time (CUT))

$$\text{Corrected zero} = \text{CUT} \times 0.58$$

$$= 23 \times 0.58$$

$$= 13.34 \text{ นาที}$$

อุณหภูมิเริ่มต้นของกระบวนการให้ความร้อน Pseudo-initial temperature (IT') เกิดจากการลากเส้นตรงจากจุด Corrected zero (cz) ไปตัดเส้นตรงของกราฟ แล้วลากจากจุดนี้ไปตัดที่แกนของอุณหภูมิ

$$\text{Pseudo-initial temperature} = 69 \text{ องศาเซลเซียส}$$

ระยะเวลาที่ทำให้กราฟการส่งผ่านความร้อนที่เป็นเส้นตรงเพิ่มขึ้นเป็น 1 log cycle (f_h)

$$f_h = 31 - 16 \text{ นาที}$$

$$= 15 \text{ นาที}$$

ระยะเวลาการให้ความร้อนในการฆ่าเชื้อ (B_p) เท่ากับ 26.30 นาที

กำหนดอุณหภูมิฆ่าเชื้อ (Retort Temperature (RT)) เท่ากับ 118 องศาเซลเซียส

วิธีการคำนวณ

$$F_0 = \frac{f_h}{((f_h/U) \times F_i)}$$

$$F_0 = \frac{15}{((f_h/U) \times F_i)}$$

ค่า F_i value ได้จากการนำอุณหภูมิฆ่าเชื้อ 118 องศาเซลเซียส ไปเปิดตารางหาค่า F_i value ซึ่ง F_i เท่ากับ 2.046 (Ball and Olson, 1957)

ค่า f_h/U ได้จากการนำค่า $\log g$ ไปเปิดตารางหาค่า f_h/U โดยค่า $\log g$ คำนวณได้จากสูตร

$$\log g = \log jI - \frac{B_B}{f_h}$$

$$\log g = \log jI - \frac{26.30}{15}$$

หาค่า $\log jI$ โดยค่า jI คำนวณได้จากสูตร $jI = RT - IT'$

$$= 118 - 69$$

$$= 49 \text{ องศาเซลเซียส}$$

$$jI = 49 \times 18 = 88.8 \text{ (เปลี่ยนหน่วย } jI \text{ จากองศาเซลเซียส}$$

เป็น องศาฟาเรนไฮต์)

แทนค่า jI ในสูตร

$$\log jI = \log 88.8$$

$$= 1.9454$$

แทนค่า $\log jI$ ในสูตร

$$\log g = 1.9454 - \frac{26.30}{14}$$

$$= 1.9208$$

นำค่า $\log g$ ไปเปิดตารางหาค่า f_h/U โดยค่า $f_h/U = 1.7063$ (Ball and Olson, 1957)

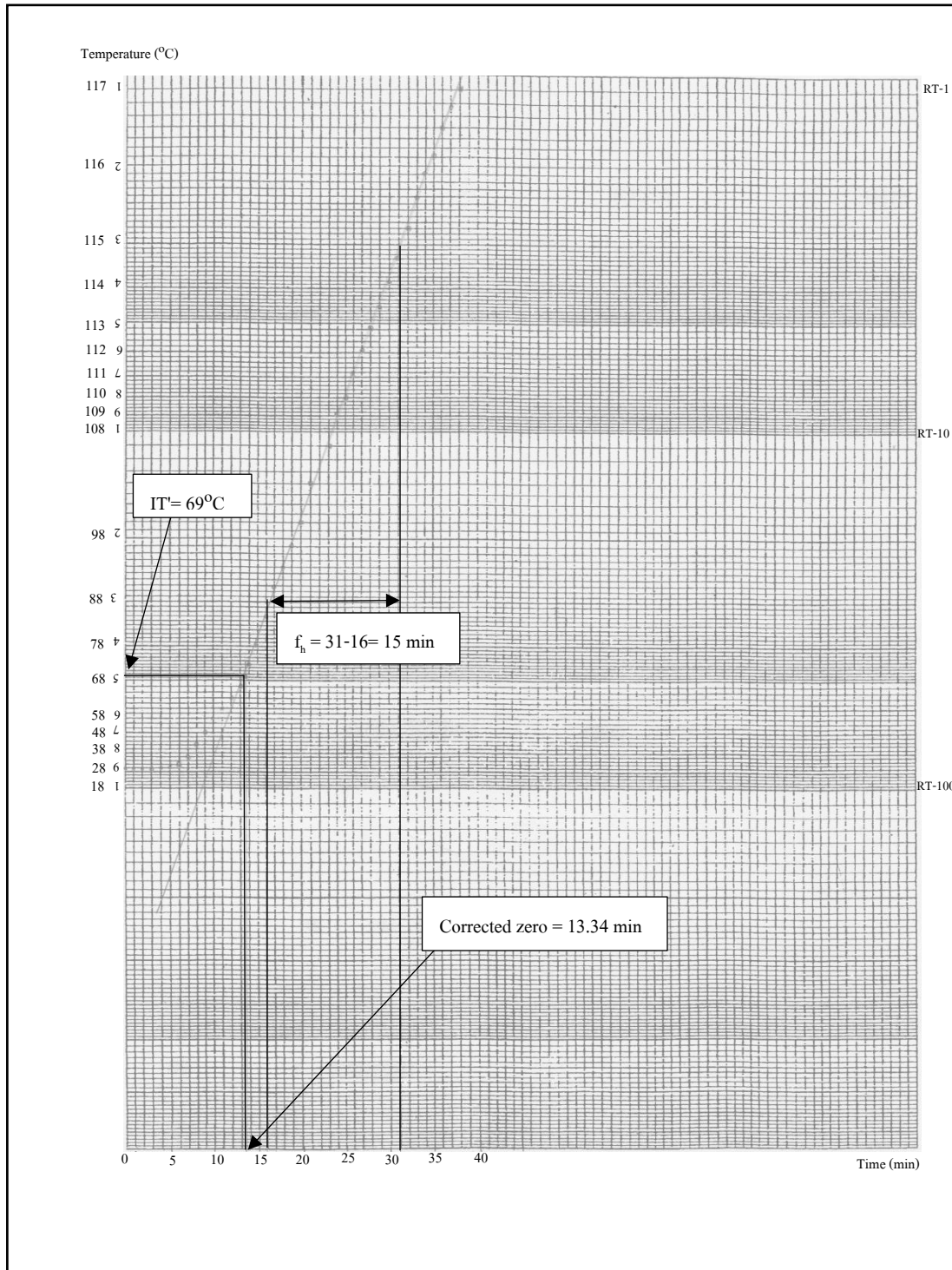
แทนค่า f_h/U ในสูตร

$$F_0 = \frac{f_h}{(f_h/U) \times Fi}$$

$$F_0 = \frac{15}{(1.7063 \times 2.046)}$$

$$F_0 = 4.29 \text{ นาที}$$

ดังนั้น ระยะเวลาการให้ความร้อนในการฆ่าเชื้อขนาน 26.30 นาที คำนวณ F_0 Formula เท่ากับ 4.29 นาที



Appendix Figure 12 Semi-logarithmic graph between temperature and time of cooked brown rice in a retort pouch that prepared by soaking temperature under $100^{\circ}C$ for 8 min for calculating F_0 Formula

2. การตรวจ Sterility test (Landry *et al.*, 2001)

อาหารเลี้ยงเชื้อ

1. Chopped liver
2. Bromcresol purple dextrose broth

วิธีการ

1. นำตัวอย่างมาบ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส นาน 14 วัน จากนั้นสุ่มแบ่งตัวอย่างเป็น 2 ส่วน
2. นำตัวอย่างส่วนแรกที่ผ่านการบ่มมา 1-2 กรัม ใส่ในอาหารเลี้ยงเชื้อ Chopped liver และ Bromcresol purple dextrose broth นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในสภาวะมีอากาศและไม่มีอากาศ นาน 5 วัน
3. นำตัวอย่างส่วนที่สองที่ผ่านการบ่มมา 1-2 กรัม ใส่ในอาหารเลี้ยงเชื้อ Chopped liver และ Bromcresol purple dextrose broth นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ในสภาวะมีอากาศและไม่มีอากาศ นาน 2 วัน
4. วิธีการตรวจเชื้อจุลินทรีย์ในอาหารเลี้ยงเชื้อ Chopped liver จะต้องไม่พบความขุ่น การสร้างแก๊ส และการเกิดกลิ่นเหม็น ส่วนในอาหารเลี้ยงเชื้อ Bromcresol purple dextrose broth จะต้องไม่พบการเปลี่ยนแปลงสีอาหารเลี้ยงเชื้อจากสีม่วงไปเป็นสีเหลือง

ภาคผนวก ข. การทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส

แบบทดสอบความชอบของข้าวสุก

ชื่อผู้ทดสอบชิม..... วันที่

คำอธิบาย : กรุณาทดสอบชิมตัวอย่างที่นำเสนอตามรหัสตัวอย่างที่ปรากฏในแบบสอบถาม แล้วให้คะแนนตามความชอบที่ใกล้เคียงกับความรู้สึกของท่านมากที่สุด โดยกำหนดคะแนน ดังต่อไปนี้

- 1 = ไม่ชอบมากที่สุด 2 = ไม่ชอบมาก 3 = ไม่ชอบปานกลาง
 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย 5 = ไม่สามารถระบุได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ 6 = ชอบเล็กน้อย
 7 = ชอบปานกลาง 8 = ชอบมาก 9 = ชอบมากที่สุด

ข้าวกล้อง

คุณลักษณะ	ตัวอย่าง		

ลักษณะปรากฏ			
สี			
กลิ่น			
เนื้อสัมผัส			
รสชาติ			
ความชอบ			

ข้าวขัดขาว

คุณลักษณะ	ตัวอย่าง		

ลักษณะปรากฏ			
สี			
กลิ่น			
เนื้อสัมผัส			
รสชาติ			
ความชอบ			

ข้อเสนอแนะ

.....



Appendix Figure 13 Label of commercial ready-to-eat Jasmine brown rice (A) and milled rice (B)

ประวัติส่วนตัวผู้เขียน

ชื่อ สกุล นางสาวหทัยรัตน์ ทองปันจา

รหัสนักศึกษา 5611020030

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	สถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตร์บัณฑิต (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2555

ทุนการศึกษาที่ได้รับระหว่างการศึกษา

ทุนอุดหนุนการวิจัย ประเภทบัณฑิตศึกษา สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

Thongpanja, H and Meenune, M. 2015. Physical and chemical properties of Hom Bai Toei brown rice during storage. *In*: Proceedings of 13th National Postharvest Technology conference, 18-19 June 2015. The Greenery resort, Nakhon Ratchasima, Thailand. pp. 199-202.

หทัยรัตน์ ทองปันจา และ มุทิตา มีนุ่น. 2557. สมบัติข้าวกล้องและข้าวขัดขาวหอมใบเตย. งานประชุมวิชาการข้าวแห่งชาติ ครั้งที่ 3. ณ โรงแรมมิราเคิลแกรนด์ คอนเวนชั่น กรุงเทพฯ. 11-12 กันยายน 2557. หน้า 258-262.