



คุณภาพของข้าวสังข์หยดระหว่างการเก็บรักษาและการผลิตเครื่องดื่มผง  
Quality of Sungyod Rice during Storage and Its Instant Drink Production

นฤชาติ บุญรัตน์

Naruchat Bunrat

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

2559

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ คุณภาพของข้าวสังข์หยดระหว่างการเก็บรักษาและการผลิตเครื่องดื่มผง

ผู้เขียน นายนฤชาติ บุญรัตน์

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร

---

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มุกิตา มีนุ่น)

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยรัตน์ ศิริวงศ์ไพศาล)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มุกิตา มีนุ่น)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกพันธ์ แก้วมณีชัย)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และ  
เทคโนโลยีอาหาร

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระพล ศรีชนะ)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้เป็นผลมาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณผู้มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มุกิตา มีนุ่น)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ.....

(นายนฤชาติ บุญรัตน์)

นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และ  
ไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....

(นายนฤชาติ บุณรัตน์)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์	คุณภาพของข้าวสังข์หยดระหว่างการเก็บรักษาและการผลิตเครื่องคั่วผง
ผู้เขียน	นายณฤชชาติ บุญรัตน์
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร
ปีการศึกษา	2558

### บทคัดย่อ

ข้าวสังข์หยด เป็นพันธุ์ข้าวท้องถิ่นที่นิยมปลูกในจังหวัดพัทลุง และจัดเป็นข้าวพื้นเมืองที่มีลักษณะเด่นของภาคใต้ ข้าวสังข์หยดมีลักษณะพิเศษคือ มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีแดง ซึ่งมีแอนโทไซยานินเป็นองค์ประกอบหลัก ในกระบวนการสีข้าวสังข์หยดจะได้ข้าวเต็มเมล็ดร้อยละ 62 รำร้อยละ 1.5 แกลบร้อยละ 29.2 และข้าวหักร้อยละ 7.3 ซึ่งข้าวหักจัดเป็นผลผลิตที่มีราคาต่ำเนื่องจากมีลักษณะไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค แต่ยังคงมีคุณค่าทางโภชนาการสูง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดนำเอาข้าวหักมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องคั่วผงสำเร็จรูปจากข้าว เพื่อเพิ่มมูลค่าของวัตถุดิบ งานวิจัยนี้ประกอบด้วยการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวสังข์หยดหักและข้าวสังข์หยดเต็มเมล็ดระหว่างการเก็บรักษา ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส ต่อคุณภาพน้ำสกัดจากข้าว รวมถึงการศึกษาสภาวะการผลิตที่เหมาะสมในการผลิตข้าวผงที่ผ่านการย่อยบางส่วนด้วยเอนไซม์และทำแห้ง โดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย และการคัดเลือกสูตรเครื่องคั่วผงจากข้าวสังข์หยดหัก เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าของข้าวสังข์หยดหัก

ข้าวเปลือกสังข์หยดถูกนำมากะเทาะเปลือกและขัดสี จนได้ข้าวสังข์หยดเต็มเมล็ดและข้าวสังข์หยดหักซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการขัดสี ข้าวสังข์หยดเต็มเมล็ดที่ผ่านการขัดสีใหม่และข้าวสังข์หยดหักใหม่ จะมีค่าความยาวเมล็ด น้ำหนักเมล็ด และความหนาแน่นรวมของเมล็ดแตกต่างกันอย่างชัดเจน ( $p < 0.05$ ) ข้าวสังข์หยดทั้ง 2 รูปแบบคือ ข้าวสังข์หยดเต็มเมล็ดที่ผ่านการขัดสีใหม่และข้าวสังข์หยดหักใหม่ จะถูกนำมาบรรจุในถุงพลาสติกชนิด Nylon/LLDPE ขนาด 25 เซนติเมตร x 15 เซนติเมตร จำนวน 500 กรัม ต่อบรรจุ แล้วปิดสนิทที่สภาวะสุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องนาน 6 เดือน และตรวจสอบคุณภาพทุก 2 เดือน พบว่า ข้าวสังข์หยดทั้ง 2 รูปแบบ จะมีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพ เคมี และเคมีเชิงฟิสิกส์ระหว่างเก็บรักษา ( $p < 0.05$ ) ข้าวสังข์หยดหักมีการเกิดกลิ่นหืนสูงขึ้นระหว่างเก็บรักษา ( $p < 0.05$ ) และมีปริมาณกลิ่นหืนมากกว่าข้าวสังข์หยดเต็มเมล็ดอย่างเด่นชัด ( $p < 0.05$ ) ส่วนความสว่าง ( $L^*$ ) ค่าสีแดง ( $a^*$ ) ความเข้มสี (Chroma) ปริมาณความชื้น ปริมาณแอนโทไซยานิน ค่าความหนืดสูงสุด ค่าความหนืดสุดท้าย และค่าการคืนตัวของข้าวสังข์หยดทั้ง 2 รูปแบบ จะมีค่าลดลงระหว่างเก็บรักษา ( $p < 0.05$ ) ขณะที่ค่าพลังงานเอนทัลปีเพิ่มขึ้น ( $p < 0.05$ )

ข้าวสังข์หยดหักจะถูกนำมาใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตเครื่องดื่มหง โดยจะถูกนำมาบดผงและร่อน จากนั้นนำมาผ่านกระบวนการย่อยบางส่วนด้วยเอนไซม์ ดังนั้นจึงต้องศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสต่อคุณภาพน้ำสกัดจากข้าว โดยนำแป้งข้าวมาผสมกับน้ำกลั่นให้มีความเข้มข้นร้อยละ 10 (น้ำหนักต่อปริมาตร) บ่มที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส ในอ่างน้ำร้อนควบคุมอุณหภูมิ จากนั้นเติมเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสที่ 3 ระดับความเข้มข้นคือ ร้อยละ 0.05, 0.1 และ 0.5 (ปริมาตรต่อน้ำหนัก) จากการทดลองพบว่า เมื่อความเข้มข้นเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสเพิ่มขึ้น ระยะเวลาการย่อยตัวอย่างก่อนเข้าสู่จุดสมดุลการย่อยลดลง ( $p < 0.05$ ) เอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.05, 0.1 และ 0.5 (ปริมาตรโดยน้ำหนัก) จะใช้เวลาเข้าสู่จุดสมดุลการย่อยนานเท่ากับ 60, 50 และ 40 นาที ตามลำดับ สภาวะที่เหมาะสมในการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสต่อคุณภาพน้ำสกัดจากข้าวคือ การใช้ความเข้มข้นเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสร้อยละ 0.5 (ปริมาตรโดยน้ำหนัก) นาน 60 นาที ที่อุณหภูมิเท่ากับ 85 องศาเซลเซียส ซึ่งสภาวะดังกล่าวทำให้น้ำสกัดจากข้าวมีปริมาณของแข็งทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 9.41 ( $p < 0.05$ ) และค่าระดับการย่อยสูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 36.57 ( $p < 0.05$ ) นอกจากนี้มีการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตข้าวผงด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย โดยนำน้ำสกัดจากข้าวที่ผ่านการย่อยบางส่วนมาทำแห้งโดยกำหนดอัตราการไหลระหว่างการพ่นฝอยของตัวอย่างเท่ากับ 480 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง และอุณหภูมิอากาศขาออกเท่ากับ 80 องศาเซลเซียส และศึกษาปัจจัยการผลิต 2 ปัจจัยคือ ความเข้มข้นของมอลโทเด็กซ์ทริน (ร้อยละ 0, 10 และ 20) และอุณหภูมิอากาศขาเข้า (150, 170 และ 190 องศาเซลเซียส) และกำหนดชุดการทดลองโดยได้จากการทำนาย (Prediction) โดยใช้โปรแกรม Design Expert เท่ากับ 13 ชุด และพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตข้าวผงด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย คือการใช้อุณหภูมิอากาศขาเข้าเท่ากับ 187 องศาเซลเซียส และใช้ปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินร้อยละ 15.2 โดยมีค่าร้อยละผลผลิตของข้าวผงเท่ากับ 70.94 และมีค่าความสามารถในการดูดซับน้ำเท่ากับ 0.3639 กรัมต่อกรัมตัวอย่าง ( $p < 0.05$ )

ขั้นตอนสุดท้ายเป็นการศึกษาหาสูตรการผลิตเครื่องดื่มหงจากข้าวสังข์หยดหักที่เหมาะสมและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค โดยกำหนดปริมาณแป้งข้าวผง (ในช่วงร้อยละ 45-65) และปริมาณครีมเทียม (ในช่วงร้อยละ 10-30) ด้วยโปรแกรม Design Expert ในการทำนายได้เท่ากับ 13 ชุด จากนั้นนำสูตรเครื่องดื่มหงมาทดสอบการยอมรับของผลิตภัณฑ์ทั้งก่อนและหลังละลายน้ำอุ่น ด้วยการให้คะแนนความชอบโดยใช้สเกลเท่ากับ 9 โดยใช้ผู้บริโภคจำนวน 50 คน พบว่า สูตรเครื่องดื่มหงที่มีการใช้ปริมาณแป้งข้าวผงร้อยละ 65 และปริมาณครีมเทียมร้อยละ 10 เป็นสูตรที่ผู้บริโภครยอมรับมากที่สุด ดังนั้นจึงนำมาเป็นสูตรพื้นฐานเพื่อพัฒนา เนื่องจากมีคะแนนความชอบในคุณลักษณะด้านกลิ่นข้าวของเครื่องดื่มหงก่อนละลายน้ำอุ่น คะแนนความชอบในคุณลักษณะด้าน

กลิ่นและกลิ่นรสข้าวของเครื่องต้มผงหลังละลายน้ำอุ่นสูง แต่อย่างไรก็ตามพบว่ายังมีคะแนนต่ำกว่า 6 คะแนน สูตรดังกล่าวจึงถูกปรับปรุงและพัฒนาโดยลดปริมาณส่วนผสมของโกโก้ โดยศึกษาผลของการเติมโกโก้ 6 ระดับคือ ร้อยละ 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 ต่อการทดสอบการยอมรับของผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค ด้วยการให้คะแนนความชอบแบบสเกลเท่ากับ 9 ของเครื่องต้มผงทั้งก่อนและหลังละลายน้ำอุ่น และพบว่า สูตรเครื่องต้มผงที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวผงร้อยละ 68 โกโก้ร้อยละ 2 น้ำตาลทรายร้อยละ 20 และครีมเทียมร้อยละ 10 เป็นสูตรที่ดีที่สุดและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค โดยเฉพาะมีคะแนนความชอบในคุณลักษณะด้านกลิ่นข้าวและความชอบโดยรวมสูงกว่าสูตรอื่น ( $p < 0.05$ )

<b>Thesis Title</b>	Quality of sungyod rice during storage and its instant drink production
<b>Author</b>	Mr. Naruchat Bunrat
<b>Major Program</b>	Food Science and Technology
<b>Academic Year</b>	2015

### ABSTRACT

Sungyod rice is a local rice variety which is mostly cultivated in Phatthalung province, southern part of Thailand. The red pericarp of sungyod rice mainly contains high anthocyanin. Milling process of sungyod rice yields 62% whole rice grain, together with by-products of 1.5% of bran, 29.2% of husk and 7.3% of broken rice. Broken rice is sold at low price even contains high nutritional values. Therefore, this research attempted to produce instant powder drink from broken rice in order to increase its value. This work consisted of 1. measurement of chemical properties in sungyod whole rice and broken rice grain during storage, 2. maximising alpha-amylase activity and study its effects on rice hydrolysate properties, 3. optimizing spray drying conditions for instant rice powder made from partially enzymatic hydrolyzed, and 4. investigating of the most liked formulation of instant mixed drink made from sungyod broken rice powder.

Sungyod paddy rice was de-husked and milled to obtain both sungyod whole rice and broken rice grain which are co-products from milling process. The length, grain weight and bulk density of broken rice grain was significantly different compared with the whole rice produced from the same batch ( $p < 0.05$ ). Both types of sungyod rice (whole rice and broken rice grain) were vacuum-packed in 25 cm x 15 cm of Nylon/LLDPE plastic bag for 500 grams/bag and stored at room temperature for 6 months. The samples were sampling for analyses every 2 months. Changes in physical, chemical and physicochemical properties were found in both samples during storage at 2, 4 and 6 month intervals ( $p < 0.05$ ). TBA value of sungyod broken rice grain increased during storage ( $p < 0.05$ ) which was significantly higher than those of sungyod whole rice ( $p < 0.05$ ). Moreover,  $L^*$ ,  $a^*$ , chroma, moisture content, anthocyanin content, peak viscosity, final viscosity and setback viscosity of both samples were decreased during storage ( $p < 0.05$ ) with increasing enthalpy of gelatinization ( $p < 0.05$ ).

Sungyod broken rice grain was processed to instant drink by firstly grounding and sieving to physically reduce the raw material size and increase areas for further chemical reactions before partially hydrolyzing using alpha-amylase. Therefore, alpha-amylase activity on rice hydrolysate



properties can be maximized. Sungyod broken rice flour then was mixed with 10% distilled water (w/v) and the mixture was incubated at 85°C in the temperature controlled bath. The three different concentrations 0.05, 0.1 and 0.5 (v/w) of alpha-amylase were applied to the mixtures. As a result, the equilibrium times of enzymatic reaction were 60, 50 and 40 min, respectively. The decreasing of the equilibrium times of enzymatic reaction was consistent with increasing alpha-amylase concentration ( $p < 0.05$ ). The recommended condition for rice hydrolysate producing was 0.5% (v/w) of alpha-amylase at 85°C for 60 min. Under this processing condition, rice hydrolysate presented the highest total solid yield of 9.41% and degree of hydrolysis at 9.41% and 36.57% ( $p < 0.05$ ). In addition, spray drying process was established in order to produce instant rice powder. The partially hydrolyzed rice hydrolysate was set at a 480 mL/h sample flow rate and outlet temperature 80°C. The spray drying conditions of rice powder were optimized using factorial 3 x 3 design with different maltodextrin concentrations (0%, 10% and 20%) and inlet temperatures (150°C, 170°C and 190°C). Thirteen conditions were generated from the design expert software, including 4 replications of the control point. The optimum condition between inlet temperature and maltodextrin concentration, maximizing the product yield of 70.94% yield and WAI 0.3639 g/g was 15.2% maltodextrin and inlet temperature at 187°C. Regarding to this condition, yield 70.94% and WAI 0.3639 g/g of rice powder were obtained ( $p < 0.05$ ). The thirteen mixed formulas were then generated varying concentrations of rice powder (45-65%) and creamer (10-30%) to test consumer acceptance. All formulas of instant drink before and after dissolving in warm water were tasted from 50 consumers using 9-point Hedonic scale. The instant drink from sungyod broken rice made from 65% rice powder and 10% creamer received the highest liking scores on rice odor in (both instant drink before and after dissolving), and rice flavor after dissolving. However, the liking score obtained from this formula was lower than 6. Therefore, the original formula was further developed to increase consumer acceptance by adding another ingredient-cocoa for 6 levels (0%, 1%, 2%, 3%, 4% and 5%). The instant mixed drink made from 68% rice powder, 2% cocoa, 20% sugar and 10% creamer gained the highest liking score of rice odor and overall acceptance, compared to other formulations ( $p < 0.05$ ).

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มุกิตา มีนุ่น อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำในการค้นคว้าตลอดระยะเวลาการทำงานวิจัย ทั้งยังสละเวลาในการตรวจทานและแก้ไขเล่มวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยรัตน์ ศิริวงศ์ไพศาล ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกพันธ์ แก้วมณีชัย กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณบุคลากร เพื่อนๆ นักศึกษาในคณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และนายทวีพงษ์ แซ่ลิว ที่ให้ความช่วยเหลือในการทำงานวิจัย

ขอขอบคุณนายนัด อ่อนแก้ว และสมาชิกกลุ่มเกษตรกรวิสาหกิจชุมชนบ้านเขากลาง จ.พัทลุง ที่อนุเคราะห์วัตถุดิบ และให้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในการทำงานวิจัย

ขอขอบคุณ โครงการทุนทักษะนักอุตสาหกรรมเกษตร บัณฑิตวิทยาลัย และคณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัย สงขลานครินทร์ ที่ให้ทุนอุดหนุนในการค้นคว้าวิจัย

นฤชาติ บุญรัตน์

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(5)
Abstract	(8)
กิตติกรรมประกาศ	(10)
สารบัญ	(11)
List of Tables	(12)
List of Figures	(14)
List of Appendix Tables	(16)
List of Appendix Figure	(17)
บทที่	
1 บทนำ	
- บทนำต้นเรื่อง	1
- การตรวจเอกสาร	2
- วัตถุประสงค์	40
2 วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง	
- วัสดุที่ใช้ในการวิจัย	41
- สารเคมี	41
- อุปกรณ์และเครื่องมือ	42
- วิธีการทดลอง	43
3 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	53
4 สรุปผลการทดลอง	96
เอกสารอ้างอิง	98
ภาคผนวก	112
ประวัติผู้เขียน	140

## LIST OF TABLES

<b>Table</b>		<b>Page</b>
1	Information related to Phatthalung sungyod rice during the year 2012-2014	4
2	Classification of rice grain size	7
3	Classification of rice grain according to amylose content	9
4	Experimental design for spray drying experiments	48
5	Ingredient of commercial instant drink from rice (Xongdur brand)	49
6	Formulations of instant drink from rice	50
7	Physical properties of Phatthalung sungyod whole rice grain and broken rice grain during storage under room temperature for 6 months	55
8	Color of Phatthalung sungyod whole rice grain and broken rice grain during storage under room temperature for 6 months	56
9	Chemical properties of Phatthalung sungyod whole rice grain and broken rice grain during storage under room temperature for 6 months	59
10	Fatty acid of fresh Phatthalung sungyod whole rice grain and broken rice grain and its content during storage under room temperature for 6 months	60
11	Swelling power, solubility and thermal properties of Phatthalung sungyod whole rice grain and broken rice grain during storage under room temperature for 6 months	63
12	Pasting properties of Phatthalung sungyod whole rice grain and broken rice grain during storage under room temperature for 6 months	64
13	Physical properties of rice hydrolysate with various enzyme concentrations	67
14	Chemical properties of rice hydrolysate with various enzyme concentrations	68
15	The regression parameter coefficients product properties using independent variables maltodextrin ( $X_1$ ) and inlet temperature ( $X_2$ ) of spray dried rice powder	74

**LIST OF TABLES (Continued)**

<b>Table</b>		<b>Page</b>
16	The regression parameter coefficients product properties using independent variables maltodextrin ( $X_1$ ) and inlet temperature ( $X_2$ ) of spray dried rice powder	80
17	Prediction of equation and experiment for optimization of spray dried rice powder	81
18	Sensory score of instant drink from sungyod broken rice before dissolving in warm water at 60°C	85
19	Sensory score of instant drink from sungyod broken rice after dissolving in warm water at 60°C	86
20	The regression parameter coefficients product properties using independent variables rice powder ( $X_1$ ) and creamer ( $X_2$ ) of instant drink from Sunyod broken rice production before dissolving in warm water at 60°C	87
21	The regression parameter coefficients product properties using independent variables rice powder ( $X_1$ ) and creamer ( $X_2$ ) of instant drink from Sunyod broken rice production after dissolving in warm water at 60°C	88
22	Formulation of instant drink of Sungyod broken rice	92
23	Sensory score of instant drink from sungyod broken rice before dissolving in warm water	92
24	Sensory score of instant drink from sungyod broken rice after dissolving in warm water	93
25	Properties of instant drink from sungyod broken rice	95

## LIST OF FIGURES

<b>Figure</b>		<b>Page</b>
1	Structure of rice grain	6
2	Amylose structure	8
3	Amylopectin structure	9
4	Hydrolysis and oxidation reactions of lipids in rice grain	11
5	X-ray diffraction patterns of A-type, B-type and V <sub>h</sub> -type starch	13
6	Crystalline polymorphs of hexagonal packing in A-type and B-type starch	14
7	Thermograph of rice flour from differential scanning calorimeter	16
8	Schematic model of the aging process in rice grain process	18
9	Schematic chart for dehulling and milling process of Phatthalung sungyod rice	22
10	Sungyod rice broken rice (a) and whole rice (b) grain	54
11	Thiobarbituric acid (TBA) of Phatthalung sungyod whole rice grain and broken rice grain during storage under room temperature for 6 months	58
12	X-ray diffractogram of fresh Phatthalung sungyod whole rice grain and broken rice grain and its diffractogram during storage under room temperature for 6 months	62
13	Degree of rice hydrolysis with various enzyme concentrations during incubation times	66
14	Scanning electron micrograph (2,000X) of rice hydrolysate by 0.5% alpha-amylase for 10 min (a), 30 min (b) and 60 min (c)	69
15	Effect of maltodextrin concentration and inlet temperature on yield of rice powder	72
16	Effect of maltodextrin concentration and inlet temperature on bulk density of rice powder	72

**LIST OF FIGURES (Continued)**

<b>Figure</b>		<b>Page</b>
17	Effect of maltodextrin concentration and inlet temperature on L* (A), a* (B) and b* (C) of rice powder	73
18	Effect of maltodextrin concentration and inlet temperature on moisture content of rice powder	76
19	Effect of maltodextrin concentration and inlet temperature on a <sub>w</sub> of rice powder	76
20	Effect of maltodextrin concentration and inlet temperature on WSI of rice powder	77
21	Effect of maltodextrin concentration and inlet temperature on WAI of rice powder	78
22	Instant drink from sungyod broken rice (A) and (B) after dissolve in warm water (powder : warm water (1 : 3)) at 65°C	95

**LIST OF APPENDIX TABLES**

<b>Table</b>		<b>Page</b>
1	Degree of rice hydrolysis with various enzyme concentrations at various incubation times	113
2	Physical properties of spray dried rice powder	114
3	Chemical and physiochemical properties of spray dried rice powder	115



**LIST OF APPENDIX FIGURE**

<b>Figure</b>		<b>Page</b>
1	Scanning electron micrographs of rice grinding from grinder at 50X (a) and 150X (b) and hammer mill at 50X (c) and 150X (d)	112

## บทที่ 1

### บทนำ

#### บทนำต้นเรื่อง

ข้าวสังข์หยด จัดเป็นข้าวพื้นเมืองของภาคใต้ ซึ่งเป็นพันธุ์ข้าวท้องถิ่นในจังหวัดพัทลุง มีลักษณะพิเศษคือ มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีแดงและคุณค่าทางโภชนาการสูงคือ แอนโทไซยานิน ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่สามารถยับยั้งการเกิดออกซิเดชัน และยังมีคุณสมบัติต่อต้านการเกิดมะเร็งได้นอกจากนี้ยังมีสาร โนอะซิน ที่ช่วยในการทำงานของระบบประสาทและผิวหนัง วิตามินบี 1 ช่วยในการป้องกันโรคเหน็บชา และวิตามินบี 2 ช่วยในการป้องกันโรคปากนกกระจอก เป็นต้น (สำเร็จ แซ่ตัน, 2553; Sompong *et al.*, 2011; Yawadio *et al.*, 2007) ข้าวสังข์หยด เป็นข้าวที่สามารถหาได้ง่ายและมีปริมาณมากในท้องถิ่นของจังหวัดพัทลุง จากกระบวนการสีข้าวจะได้ข้าวเต็มเมล็ดร้อยละ 62 รำร้อยละ 1.5 แกลบร้อยละ 29.2 และข้าวหักร้อยละ 7.3 ซึ่งข้าวหักจัดเป็นผลผลิตที่มีราคาต่ำเนื่องจากมีลักษณะไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค แต่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง ดังนั้นหากมีการนำเอาข้าวหักมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ จะเป็นการเพิ่มมูลค่าของวัตถุดิบทางการเกษตรในท้องถิ่นภาคใต้ได้ดีต่อไป การปลูกข้าวในประเทศไทยมีทั้งแบบ ระบบนาปี และระบบนาปรัง ข้าวสังข์หยดจะเป็นระบบนาปี (เพาะปลูกปีละ 1 ครั้ง) โดยเริ่มต้นเพาะปลูกในเดือนกันยายน และเก็บเกี่ยวในเดือนกุมภาพันธ์ของทุกปี หลังจากการเก็บเกี่ยวข้าวเปลือกจะถูกนำมาลดความชื้นโดยการตากแดดจนความชื้นเหลือไม่เกินร้อยละ 14 เป็นไปตามมาตรฐาน (มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2555) ระหว่างการเก็บรักษา ข้าวจะเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีเช่น ความชื้น ปริมาณรงควัตถุ การเกิดกลิ่นหืน และการเกิดสารประกอบเชิงซ้อน เป็นต้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้ส่งผลให้คุณภาพทางกายภาพของข้าวเปลี่ยนไป เช่น สี มีลักษณะสีที่เข้มขึ้น อีกทั้งมีผลต่อคุณภาพทางเคมีเชิงฟิสิกส์ เช่น การเกิดเจลาติโนเซชัน ความหนืด ความเป็นผลึก ความสามารถในการพองตัวและการละลาย ซึ่งเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ข้าวจะมีค่าอุณหภูมิในการเกิดเจลาติโนเซชัน ค่าพลังงานในการเปลี่ยนสถานะ และการเกิดกลิ่นหืนเพิ่มขึ้น ขณะที่ความสามารถในการพองตัว และความหนืดมีค่าลดลง นอกจากนี้การเกิดกลิ่นหืนของข้าวเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา จะเป็นปัจจัยสำคัญต่อการตัดสินใจยอมรับของผู้บริโภค จึงส่งผลให้มูลค่าของข้าวต่ำ ดังนั้นหากนำเอาข้าวหักมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ จะสามารถทำให้มูลค่าของข้าวเพิ่มขึ้น งานวิจัยนี้ทำร่วมกับกลุ่มวิสาหกิจชุมชนบ้านเขากลาง จังหวัดพัทลุง ซึ่งเป็นกลุ่มเกษตรกรที่เข้มแข็ง มีการเพาะปลูกข้าวสังข์หยด และแปรรูปผลิตภัณฑ์จากข้าว ทางกลุ่มวิสาหกิจชุมชนบ้านเขากลางจึง

สนใจจะเพิ่มมูลค่าของข้าวหัก โดยผลิตเป็นเครื่องดื่มพร้อมบริโภค ปัจจุบันผลิตภัณฑ์แปรรูปที่ทำจากข้าวมีหลากหลายรูปแบบเช่น เครื่องดื่มผงสำเร็จรูปจากข้าว แต่ยังมีปัญหาเรื่องการละลาย ดังนั้นงานวิจัยนี้นำเอาข้าวมาย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสบางส่วน เพื่อให้ข้าวมีความสามารถในการละลายน้ำได้มากขึ้น พร้อมทั้งนำเอากระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยมาใช้ เพื่อให้ได้ลักษณะของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มีสมบัติการละลายสูงและขนาดอนุภาคที่ได้มีความสม่ำเสมอ สามารถผลิตได้คราวละมากๆ และกระบวนการผลิตเป็นแบบต่อเนื่อง โดยอาศัยหลักการพาความร้อนของอากาศ ซึ่งเป็นวิธีการทำแห้งที่มีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงทำให้น้ำระเหยออกจากอาหารได้อย่างรวดเร็ว เวลาที่ใช้ในการทำแห้งสั้น และได้ผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในรูปของผงแห้ง ซึ่งจะเป็นการลดน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ลง ทำให้ง่ายต่อการขนส่งและการเก็บรักษา อย่างไรก็ตามในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารผงด้วยกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยเพื่อให้ได้คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ตามต้องการนั้น จะต้องมีการควบคุมปัจจัยหลายประการเช่น อุณหภูมิอากาศขาเข้า อุณหภูมิอากาศขาออก และอัตราการไหลของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย เป็นต้น ดังนั้นงานวิจัยนี้ผู้วิจัยต้องการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวสังข์หยดหักและข้าวสังข์หยดระหว่างกระบวนการเก็บรักษา รวมถึงศึกษาสภาวะการผลิตและการผลิตสูตรเครื่องดื่มที่เหมาะสมจากข้าวสังข์หยดหักโดยใช้การอบแห้งแบบพ่นฝอย เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าของข้าวสังข์หยดหัก

## การตรวจเอกสาร

### 1. ข้าว

ข้าวเป็นอาหารหลักของประชากรโลกมากกว่าครึ่ง โดยเฉพาะชาวเอเชียบริโภคมากถึงร้อยละ 90 ข้าวที่ปลูกสำหรับบริโภคทั่วโลกมี 2 ชนิดคือ ข้าวปลูกในเอเชีย (*Oryza sativa* Linn.) และข้าวปลูกในแอฟริกา (*Oryza glaberrima* Steud.) โดยทั่วไปข้าวมีจำนวนมากกว่า 120,000 สายพันธุ์ ซึ่งมีชื่อและลักษณะที่แตกต่างกัน ข้าวเป็นธัญชาติ (เมล็ด) ของพืชใบเลี้ยงเดี่ยววงศ์หญ้า (Family: Grammineae หรือ Poaceae) สกุลออริซา (Genus: *Oryza*) เจริญได้ดีในเขตร้อนและเขตอบอุ่น และสามารถขึ้นได้ตั้งแต่ระดับน้ำทะเลจนถึงระดับสูงประมาณ 3,000 เมตร นอกจากนี้ยังทนต่อสภาพดินหลากหลาย ตั้งแต่พื้นที่ดินที่น้ำท่วมสูงจนถึงพื้นที่สูงตามไหล่เขา ทนดินที่มีแร่ธาตุเหล็ก อะลูมิเนียม ดินเค็ม เป็นต้น ข้าวกลุ่ม *Oryza sativa* ยังแยกออกได้เป็นอินดิกา (Indica) มีปลูกมากในเขตร้อนรวมถึงประเทศไทยและจาปอนคา (Japonica) มีปลูกมากในเขตอบอุ่น (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547) ในประเทศไทยมีการปลูกข้าวทั่วทุกภูมิภาค โดยพันธุ์ข้าวที่ใช้ปลูกมีอยู่หลากหลายพันธุ์ การปลูกข้าวในแต่ละภาคของประเทศไทยขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของพันธุ์ข้าวต่อสภาวะแวดล้อมและค่านิยมในการบริโภคของประชากรที่มีอยู่ตามท้องถิ่นนั้นๆ กล่าวได้ว่า พันธุ์ข้าวที่นิยมปลูกในภาคต่างๆ

ในประเทศไทยมีทั้งข้าวเจ้าและข้าวเหนียว โดยภาคกลางมีการปลูกทั้งข้าวเจ้าและข้าวเหนียวและนิยมบริโภคข้าวเจ้ากันเป็นส่วนใหญ่ ภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือนิยมปลูกข้าวเหนียวและบริโภคข้าวเหนียวเป็นอาหารหลัก สำหรับภาคใต้นิยมปลูกและบริโภคข้าวเจ้าเกือบทั้งหมดและมีข้าวพื้นเมืองหลายพันธุ์เช่น ข้าวสังข์หยด ซึ่งปลูกมากในแถบจังหวัดพัทลุง (กรมการข้าว, 2550; สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร, 2555)

### 1.1. ข้าวสังข์หยด

#### 1.1.1. ลักษณะทั่วไป

ข้าวสังข์หยดเป็นพันธุ์ข้าวพื้นเมืองมีสีของภาคใต้ เป็นพันธุ์ข้าวเฉพาะท้องถิ่นในจังหวัดพัทลุงนิยมบริโภคในรูปแบบข้าวซ้อมมือ เนื่องจากมีประโยชน์ต่อสุขภาพมากกว่าข้าวขาวทั่วไป ข้าวสังข์หยดได้รับการพัฒนาพันธุ์ให้เป็นพันธุ์บริสุทธิ์โดยนักปรับปรุงพันธุ์ข้าวศูนย์วิจัยข้าวพัทลุง และเป็นข้าวจีไอ (GI) พันธุ์แรกของไทย ได้รับการประกาศรับรองให้เป็นสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ตามพระราชบัญญัติคุ้มครองสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ พ.ศ. 2546 (สำเร็จ แชนด์ัน, 2553) ลักษณะพิเศษคือ ข้าวกล้องมีสีแดงเข้มมีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน วิตามินอี และวิตามินบี 1 และบี 2 สูงกว่าข้าวขาว 2-3 เท่า (กรมการข้าว, 2555) ข้าวกล้องสังข์หยดมีปริมาณของแอนโทไซยานินเท่ากับ 15.50 มิลลิกรัมไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ต่อ 100 กรัมตัวอย่าง (น้ำหนักแห้ง) (Keawpeng and Meenune, 2012) ส่วนข้าวขัดสังข์หยดพัทลุงร้อยละ 5 และ 9 มีปริมาณของแอนโทไซยานินเท่ากับ 13.36 และ 9.11 มิลลิกรัมไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ต่อ 100 กรัมตัวอย่าง (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ (Kanjanumpha and Meenune, 2014) ขณะที่ Sompong และคณะ (2011) รายงานว่าข้าวกล้องสังข์หยดมีปริมาณของแอนโทไซยานินเท่ากับ 0.60 มิลลิกรัมไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ต่อ 100 กรัมตัวอย่าง (น้ำหนักแห้ง) ซึ่งมีฤทธิ์ในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant activity) เท่ากับร้อยละ 14.56 นอกจากนี้ยังมีสารโนอะซินสูง ซึ่งมีส่วนช่วยในการทำงานของระบบประสาทและผิวหนัง วิตามินบี 1 ช่วยในการป้องกันโรคเหน็บชา วิตามินบี 2 ช่วยในการป้องกันโรคปากนกกระจอก นอกจากนี้ยังมีแคลเซียมและฟอสฟอรัส ช่วยในการป้องกันโรคกระดูกเสื่อม (อมรรัตน์ ถนอมแก้ว, 2552)

#### 1.1.2. ข้อมูลการผลิตและข้อมูลการตลาด

ข้าวสังข์หยดพัทลุง เป็นข้าวนาปีปลูกได้เพียงปีละครั้ง จากข้อมูลในปี พ.ศ. 2555 จังหวัดพัทลุง มีพื้นที่เพาะปลูกข้าวสังข์หยดจำนวน 14,687.25 ไร่ (ตารางที่ 1) โดยปี พ.ศ. 2556

พื้นที่เพาะปลูกลดลงเหลือจำนวน 10,136.25 ไร่ และปี พ.ศ. 2557 เหลือจำนวน 3,735.50 ไร่ จะเห็นได้ว่าเกษตรกรมีพื้นที่เพาะปลูกข้าวสังข์หยดลดลงอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้ในปี พ.ศ. 2557 อำเภอที่มีการปลูกมากที่สุดคือ อำเภอกวนขนุน รองลงมาได้แก่ อำเภอปากพะยูน อำเภอเมือง และอำเภอป่าพะยอม ตามลำดับ สำหรับผลผลิตของข้าวสังข์หยดมีแนวโน้มลดลง โดยในปี พ.ศ.2555 มีผลผลิตเฉลี่ยเท่ากับ 465.14 กิโลกรัมต่อไร่ และในปี พ.ศ. 2557 มีผลผลิตเฉลี่ยเท่ากับ 435.17 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งมีผลผลิตลดลงคิดเป็นร้อยละ 6.44 เช่นเดียวกันกับจำนวนครัวเรือนเกษตรกรที่ปลูกข้าวสังข์หยด พัทลุงมีจำนวนลดลงอย่างต่อเนื่อง คือ ในปี พ.ศ.2555 มีจำนวน 2,135 ครัวเรือน แต่ในปี พ.ศ.2557 เหลือจำนวน 703 ครัวเรือน ซึ่งมีจำนวนครัวเรือนเกษตรกรลดลงคิดเป็นร้อยละ 67.07 ขณะที่ราคาข้าวเปลือกมีราคาผลผลิตค่อนข้างสูง โดยในปี พ.ศ. 2557 มีราคาข้าวเปลือกเฉลี่ยเท่ากับ 17.07 บาทต่อกิโลกรัม ส่วนในปี พ.ศ. 2555 มีราคาข้าวเปลือกเฉลี่ยเท่ากับ 11.37 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งมีราคาข้าวเปลือกเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 50.13 (สำนักงานเกษตรจังหวัดพัทลุง, 2558)

**Table 1** Information related to Phatthalung sungyod rice during the year 2012-2014

Information of Phatthalung sungyod rice	2012	2013	2014
Area of rice field (Rai)	14,687.25	10,136.25	3,735.50
Paddy rice yield per rice field area (kg/Rai)	465.14	439.66	435.17
Number of farmer household	2,135	1,278	703
Price of paddy rice (baht/kg)	11.37	13.66	17.07

**Source:** Phatthalung agriculture office (2015)

## 1.2. โครงสร้างของเมล็ดข้าว

เมล็ดข้าวเปลือกประกอบด้วยส่วนต่างๆ (Juliano, 1985) ดังแสดงในภาพที่ 1

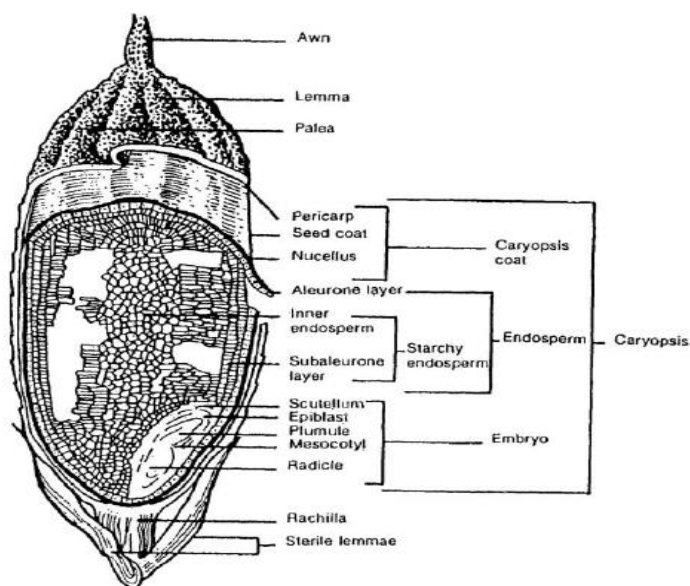
1.2.1. แกลบ (Hull หรือ Husk) มีประมาณร้อยละ 18-20 ของข้าวเปลือก จะเป็นส่วนที่ห่อหุ้มเมล็ดข้าว ซึ่งจะประกอบด้วย 5 ส่วนคือ (1) เปลือกใหญ่ (Lemma) เป็นเปลือกหุ้มเนื้อผลด้านท้อง (Dorsal side) มีขนาดใหญ่อาจมีหางหรือไม่มีก็ได้ ลักษณะของเปลือกใหญ่จะเป็นรอยเส้น (Nerves) ตามความยาวของเปลือกประมาณ 5 เส้น เปลือกใหญ่จะห่อหุ้มเปลือกเล็กไว้ทั้ง 2 ด้าน โดยมีลักษณะขบอยู่ข้างบนอย่างแน่นสนิท โดยมีประมาณ 2 ใน 3 ของเปลือกทั้งหมดตามแนวยาวของเมล็ด (2) เปลือกเล็ก (Palea) เป็นเปลือกหุ้มเนื้อผลด้านหลัง (Ventral side) ที่มีขนาดเล็กกว่าเปลือกใหญ่มีประมาณ 1 ใน 3 ของเปลือกทั้งหมด จะขบอยู่ใต้เปลือกใหญ่ตามแนวยาว ทำให้เปลือกทั้ง 2 ติดกันสนิท บนผิวเปลือกเล็กจะเป็นรอยเส้นตามความยาวของเปลือกประมาณ 3 เส้น (3) หาง

(Awn) เป็นส่วนปลายของเปลือกใหญ่ที่ยาวออกมาเกินตำแหน่งยอดดอก (Apiculus) ในบางพันธุ์ อาจสั้นหรือยาว หรือไม่มี ทำหน้าที่ในการกระจายพันธุ์ (4) ขั้วเมล็ด (Rachilla) เป็นก้านสั้นอยู่ระหว่างกลีบรองเมล็ดกับเปลือกใหญ่ และยังคงติดอยู่กับเมล็ดข้าวเปลือก และ (5) กลีบรองเมล็ด (Sterile lemmae) เป็นกลีบเล็ก 2 กลีบ อยู่ตรงกันข้ามใต้สุดของเมล็ด (กัญญา เชื้อพันธุ์, 2545; Julaino, 1985)

1.2.2. เยื่อหุ้มผล (Pericarp) เป็นส่วนที่ห่อหุ้มแข็งแต่อยู่ภายในแกลบ ประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 3 ส่วนคือ (1) เยื่อหุ้มเมล็ด (Seed coat) ประกอบด้วยเซลล์ 2 ชั้น รูปร่างยาวรี เรียงตามขวางภายในเซลล์ประกอบด้วยไขมันและรงควัตถุอยู่ ซึ่งทำให้ข้าวกล้องมีสีต่างๆ เช่น สีน้ำตาลอ่อน น้ำตาลแก่ น้ำตาลแดง น้ำตาลม่วงและน้ำตาลจนเกือบดำ เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีโปรตีน เสมิเซลลูโลสและเซลลูโลส เป็นองค์ประกอบสำคัญ ส่วนที่ (2) นิวเซลลัส (Nucellus) เป็นเซลล์ชั้นที่ติดกับเยื่อหุ้มเมล็ด ไม่ติดแน่น จึงแยกจากกันได้ง่าย มีความหนาประมาณ 0.8-2.5 ไมครอน และ (3) เยื่อชั้นแอลิวโรน (Aleurone layer) เป็นชั้นที่ห่อหุ้มทั้งเนื้อเมล็ด เมื่อรวมกับเยื่อหุ้มเมล็ดมีประมาณร้อยละ 4-6 ของข้าวกล้อง ซึ่งมีลักษณะเป็นเซลล์รูปสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ มีผนังเซลล์หนา มีนิวเคลียสอยู่ตรงกลาง เป็นชั้นที่สำคัญอุดมด้วยองค์ประกอบทางเคมี ภายในเซลล์แอลิวโรนภายในจะมีกรดไฟติกหรือมีเกลือโพแทสเซียม และแมกนีเซียม รวมทั้งโปรตีนอยู่ด้วย ในข้าวมีเซลล์ในชั้นแอลิวโรนตั้งแต่ 1 ถึง 7 แถว ผนังหนา ประกอบด้วยเมล็ดแอลิวโรน (แหล่งสะสมโปรตีนชนิดที่มีรูปร่างกลม) และไขมันที่มีขนาดกลม (กัญญา เชื้อพันธุ์, 2545; Julaino, 1985; Lamberts *et al.*, 2007; Pomeranz, 1992)

1.2.3. เนื้อเมล็ดหรือเนื้อข้าว (Endosperm) มีมากที่สุดภายในเมล็ดข้าวประมาณร้อยละ 80 ของน้ำหนักเมล็ดทั้งหมด แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนชั้นซับแอลิวโรน (Subaleurone layer) เป็นเซลล์ 2 ชั้น อยู่ถัดจากชั้นแอลิวโรน และส่วนที่เป็นสตาร์ชในเนื้อเมล็ด (Starchy endosperm) (กัญญา เชื้อพันธุ์, 2545; Julaino, 1985)

1.2.4. คัพพะ (Germ หรือ Embryo) มีประมาณร้อยละ 2-3 ของข้าวกล้องเป็นส่วนที่จะเจริญเป็นต้นอ่อนของเมล็ดหรือจุดกำเนิดของต้น จึงอยู่ด้านฐานใกล้กับรอยต่อของเมล็ด มีชั้นแอลิวโรนล้อมรอบอยู่ภายในคัพพะแบ่งเป็น 2 ส่วนใหญ่คือ ส่วนสกุเทลลัม (Scutellum) ซึ่งเป็นเกราะป้องกันอยู่ระหว่างเนื้อเมล็ดกับคัพพะ และคัพพะที่พร้อมจะเจริญเป็นยอด อ่อน ต้น และรากของพืชต่อไป ทำให้ส่วนคัพพะนี้อุดมไปด้วยสารอาหารเช่น โปรตีน ไขมัน แร่ธาตุ และวิตามิน (กัญญา เชื้อพันธุ์, 2545; Julaino, 1985)



**Figure 1** Structure of rice grain

**Source:** Juliano (1985)

## 2. คุณภาพทางกายภาพ เคมี และเคมีเชิงฟิสิกส์ของข้าว

### 2.1. คุณภาพทางกายภาพของเมล็ดข้าว

คุณภาพทางกายภาพของเมล็ดข้าว หมายถึงคุณภาพต่างๆ ของเมล็ดข้าวที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตา หรือสามารถชั่ง ตวง วัดได้ (เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข, 2534) ได้แก่

2.1.1. น้ำหนักเมล็ด สามารถกำหนดได้ 2 แบบคือ น้ำหนักต่อปริมาตรหมายถึงการชั่งน้ำหนักเมล็ดข้าวด้วยปริมาตรคงที่ เช่น กรัมต่อลิตร และแบบที่สองเป็นน้ำหนักต่อจำนวนเมล็ด หมายถึงการชั่งน้ำหนักข้าวด้วยจำนวนเมล็ดคงที่ เช่น กรัมต่อ 1,000 เมล็ด น้ำหนักเมล็ดจึงเป็นลักษณะประจำพันธุ์ที่ใช้ในการจำแนกพันธุ์ข้าวซึ่งควบคุมโดยลักษณะทางพันธุกรรมและมีความคงที่มากที่สุด จากการตรวจสอบพันธุ์ข้าวในเมืองไทยประมาณ 344 พันธุ์ จะมีน้ำหนักเมล็ดข้าวอยู่ในช่วง 16.20 - 41.68 กรัมต่อ 1,000 เมล็ด (เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข, 2534) โดยข้าวกล้องสังข์หยดมีน้ำหนักเมล็ดเฉลี่ยเท่ากับ 1.4437 กรัมต่อ 100 เมล็ด (Keawpeng, 2012)

2.1.2. สีของข้าวเปลือก เป็นลักษณะประจำของพันธุ์ข้าว ซึ่งแตกต่างกันไปในแต่ละพันธุ์ สำหรับพันธุ์ข้าวของประเทศไทยมีสีเปลือกส่วนใหญ่เป็นสีฟางและสีน้ำตาล ส่วนสีน้ำตาลแดง สีเขียวแกมเทา และดำมีเป็นส่วนน้อย (เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข, 2534) ในประเทศไทยจะแบ่งข้าวตามสีของเมล็ดข้าวเป็น 2 แบบคือ ข้าวขาวกับข้าวมีสี โดยสีของข้าวเปลือกทั้งข้าวขาวและข้าวมีสีส่วนใหญ่จะมีสีฟาง เช่น ข้าวหอมมะลิ ข้าวกำหยาน ข้าวหอมกะดังงา และข้าวสังข์หยด เป็นต้น ส่วนข้าวเปลือกที่มีสีม่วง จะพบในข้าวหอมนิล เป็นต้น

2.1.3. ขนาดและรูปร่างเมล็ด ใช้เป็นเกณฑ์ในการซื้อขายข้าวในประเทศไทย โดยวัดขนาดเป็นความยาว ได้แก่ ยาวมาก ยาว ปานกลาง และสั้น (ตารางที่ 2) นอกจากนั้นยังวัดขนาดในรูปของความกว้าง และความหนาของเมล็ดได้อีกด้วย ขณะที่สามารถจำแนกรูปร่างของเมล็ดข้าวเป็นเรียวยาว ปานกลางและป้อมโดยใช้เกณฑ์ค่าความยาวต่อความกว้างของเมล็ดข้าว โดยความยาวของเมล็ด จะวัดจากระยะทางจากปลายสุดของเมล็ดถึงโคนเมล็ด ส่วนความกว้างของเมล็ด จะวัดจากระยะทางที่กว้างที่สุดระหว่างเปลือกใหญ่ถึงเปลือกเมล็ด และความหนาของเมล็ด จะวัดจากระยะทางมากที่สุดจากเปลือกใหญ่ด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่ง (เครือวัลย์ อุตตะวิริยะสุข, 2534) โดยข้าวสังข์หยดเป็นพันธุ์ข้าวที่มีเมล็ดเรียวยาว เปลือกสีฟาง ขนาดข้าวเปลือกยาว 9.33 มิลลิเมตร กว้าง 2.11 มิลลิเมตร และหนา 1.77 มิลลิเมตร ส่วนข้าวกล้อง ยาว 6.70 มิลลิเมตร กว้าง 1.81 มิลลิเมตร และหนา 1.64 มิลลิเมตร (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรเขต 9, 2550)

**Table 2** Classification of rice grain size

Size of rice grain	Length (mm)
Very long	> 7.50
Long	6.61-7.50
Medium	5.51-6.60
Short	< 5.50

**Source:** Kongsaree (2003)

## 2.2. คุณภาพทางเคมีของข้าว

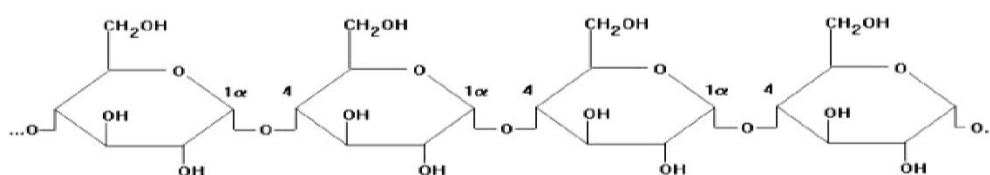
คุณภาพทางเคมีของเมล็ดข้าวมีผลมาจากพันธุ์ สภาพการปลูก การเก็บเกี่ยว และกระบวนการแปรรูปจากข้าวเปลือกเป็นข้าวกล้องและข้าวสาร คุณภาพทางเคมี ได้แก่ สตาร์ช โปรตีน ไขมัน และความชื้น เป็นต้น (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547)

### 2.2.1. สตาร์ช

เป็นองค์ประกอบสำคัญที่อยู่ในเอนโดสเปิร์มถึงร้อยละ 90 ซึ่งอนุภาคของสตาร์ชจะมีขนาด 3-9 ไมโครเมตร สตาร์ชเป็นคาร์โบไฮเดรตประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน มีสูตรเคมีโดยทั่วไปคือ  $(C_6H_{10}O_5)_n$  ซึ่งจะประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกลูโคส 2 ชนิดคือ อะไมโลส (Amylose) และอะไมโลเพกทิน (Amylopectin) โดยอะไมโลสเป็นพอลิเมอร์สายตรง ประกอบด้วยโมเลกุลกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะแอลฟา-หนึ่ง, สี่-ไกลโคซิดิก ( $\alpha$ -1, 4-Glycosidic linkage) แสดงดังภาพที่ 2 ซึ่งลักษณะของอะไมโลสเมื่ออยู่ใน

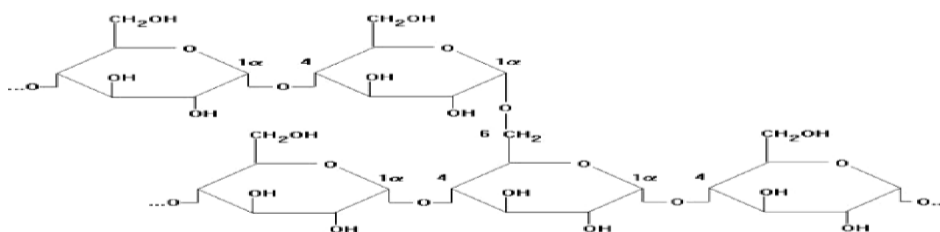


สารละลายจะมีลักษณะหลายรูปแบบเช่น แบบเกลียวม้วน (Helix) แบบคล้ายตัว (Interrupted) และแบบม้วนอิสระ (Random coil) (Whistler *et al.*, 1984) ทั้งนี้อะไมโลสสามารถรวมตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับไอโอดีนและสารประกอบอินทรีย์อื่นๆ ได้ เช่น บิวทานอล (Butanol) กรดไขมัน (Fatty acid) และไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon) เป็นต้น ซึ่งสารประกอบเชิงซ้อนเหล่านี้จะไม่ละลายน้ำ อะไมโลสที่มีความยาวสายโซ่มากกว่า 45 หน่วย เมื่อรวมตัวกับไอโอดีนจะให้สีน้ำเงินม่วง ซึ่งเป็นลักษณะที่ใช้บ่งชี้ถึงแป้งที่มีอะไมโลสเป็นองค์ประกอบ (Jane *et al.*, 1999) ส่วนอะไมโลเพกทิน เป็นพอลิเมอร์ของกลูโคสที่มีลักษณะเป็นกิ่งก้าน ซึ่งจะมีค่าประมาณ 2 ล้านหน่วย หรือมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1000 เท่าของอะไมโลส ประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกลูโคสสายตรงขนาดสั้นที่มีน้ำตาลกลูโคส ประมาณ 10-60 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะแอลฟา-หนึ่ง, สี่-ไกลโคสิติกและถูกเชื่อมต่อกันเป็นกิ่งก้านด้วยพันธะแอลฟา-หนึ่ง, หก-ไกลโคสิติก แสดงดังภาพที่ 3 ความยาวของโครงสร้างอะไมโลเพกทินจะมีความสัมพันธ์กับโครงสร้างที่เป็นผลึกของสตาร์ช อีกทั้งยังมีผลต่อการเกิดเจลในเซชัน รีโพรเกรเดชัน และสมบัติการเกิดเพสต์ (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2543; Jane *et al.*, 1999) โครงสร้างอะไมโลเพกทินประกอบด้วยสายโซ่ 3 แบบ คือ (1) สาย A (A-chain) เป็นสายที่สั้นที่สุด (DP เท่ากับ 6-15) เชื่อมต่อกับสายอื่นด้วยพันธะแอลฟา-หนึ่ง, หก-ไกลโคสิติก ไม่มีกิ่งเชื่อมต่อกับสายชนิดนี้ (2) สาย B (B-chain) มีโครงสร้างแบบกิ่งเชื่อมต่อกับสายอื่นๆ อาจไปต่อกับสาย A หรือสาย B ก็ได้ สายโซ่แบบ B นี้ยังแบ่งเป็นกลุ่มย่อย B1, B2, B3 และ B4 โดยการแบ่งจะขึ้นอยู่กับความยาวของสายโซ่และระยะห่างของคลัสเตอร์ (Cluster) และ (3) สาย C (C-chain) เป็นสายแกนซึ่งประกอบด้วยหมู่รีดิวซิง 1 หมู่ในอะไมโลเพกทิน แต่ละโมเลกุลประกอบด้วยสาย C หนึ่งสายเท่านั้น (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2543; Robin *et al.*, 1974)



**Figure 2** Amylose structure

**Source:** Caplin (2004)



**Figure 3** Amylopectin structure

**Source:** Caplin (2004)

โดยทั่วไปข้าวในแต่ละสายพันธุ์จะมีสัดส่วนของปริมาณอะไมโลสและอะไมโลเพกทินที่แตกต่างกัน ซึ่งข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูง (ร้อยละ 26-34) จะคุดน้ำและขยายปริมาตรในระหว่างการหุงต้มได้มากกว่าข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ ทำให้ข้าวสุกมีลักษณะที่บวมและแข็ง อีกทั้งข้าวสุกขยายตัวตามปริมาตรได้มากกว่าหรือที่เรียกกันว่าหุงขึ้นหม้อ ส่วนความนุ่มและความเหนียวของข้าวสุกจะขึ้นกับสัดส่วนปริมาณอะไมโลเพกทินในสตาร์ช (งามชื่น คงเสรี, 2546) ข้าวจะถูกแบ่งประเภทตามปริมาณอะไมโลส ดังรายละเอียดแสดงในตารางที่ 3 Sompong และคณะ (2011) รายงานว่าข้าวสังข์หยดพัทลุงมีปริมาณอะไมโลสต่ำ โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 18.58 สอดคล้องกันกับ Keawpeng and Meenune (2012) พบว่า ข้าวสังข์หยดพัทลุงมีปริมาณอะไมโลสเท่ากับร้อยละ 15.32 ซึ่งจัดเป็นข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ ทั้งนี้ปริมาณอะไมโลสในข้าวแต่ละสายพันธุ์จะส่งผลกระทบต่อคุณภาพข้าวหุงสุก ข้าวที่มีอะไมโลสสูง (มากกว่าร้อยละ 25) เมื่อหุงสุกแล้วจะมีเนื้อสัมผัสแห้งและนุ่ม แต่เมื่อเย็นแล้วจะแข็งเพราะเกิดรีโทรเกรเดชันในโมเลกุลอะไมโลสได้ง่าย ส่วนข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ (ร้อยละ 12-19) มีความนุ่ม เหนียว และแฉะง่ายหลังจากการหุง ในขณะที่ข้าวที่มีอะไมโลสปานกลาง (ร้อยละ 20-25) เมื่อสุกจะแห้งและมีเนื้อสัมผัสก่อนข้าวนุ่มและร่วน (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547)

**Table 3** Classification of rice grain according to amylose content

Amylose content (%)	Classification of rice grain	Cooked rice quality
0-3	Waxy rice grain	Very sticky texture
4-11	Very low amylose content of rice	Sticky texture
12-19	Low amylose content of rice	Soft, sticky and wet texture
20-25	Medium amylose content of rice	Soft texture and separated grain
26-34	High amylose content of rice	Separated grain, hard texture and fluffy rice

**Source:** Adapted from Kongsaree (2003) and Naiwikul (2004)

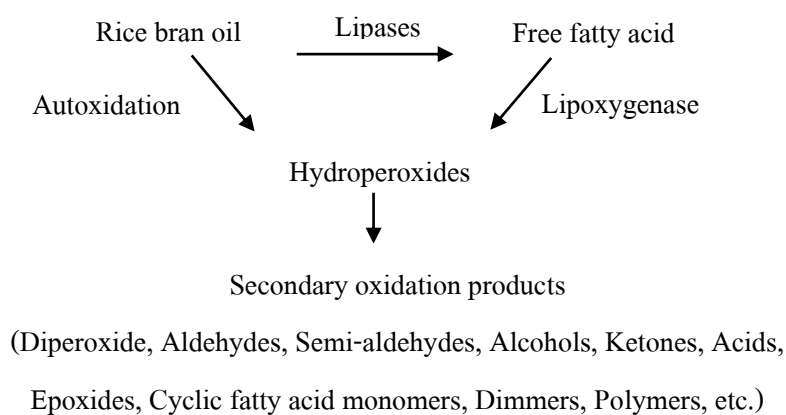
### 2.2.2. โปรตีนและเอนไซม์

โปรตีนจะพบมากในส่วนที่เป็นเอมบริโอ ข้าวสายพันธุ์ไทยมีโปรตีนอยู่ระหว่างร้อยละ 6.3-11.1 โดยในข้าวกล้องงอกสังข์หยดมีปริมาณโปรตีนเท่ากับร้อยละ 6.94-8.06 (สุนันทา วงศ์ปิยชน และคณะ, 2549; กรมการข้าว, 2550; Keawpeng and Meenune, 2012; เทวี ทองแดง คาร์ริลล่า และ พัชรินทร์ ภักดีฉนวน, 2551) โปรตีนที่พบในข้าวแบ่งได้เป็น 4 ชนิด ตามคุณสมบัติการละลายในตัวทำละลายได้แก่ ออริเซนิน (Oryzenin) คือ โปรตีนที่สามารถละลายได้ในตัวละลายต่าง เป็นโปรตีนที่พบมากที่สุดในการข้าว (ร้อยละ 80-85) อัลบูมิน (Albumin) เป็นโปรตีนที่ละลายได้ดีในน้ำ โกลบูลิน (Globulin) เป็นโปรตีนละลายในแอมโมเนียมซัลเฟต และโพรลามิน (Prolamin) คือ โปรตีนที่ละลายได้ในแอลกอฮอล์ ภายในเมล็ดสตาร์ชจะมีองค์ประกอบของโปรตีนอยู่ต่ำกว่าร้อยละ 1 ซึ่งโปรตีนที่เกาะอยู่บริเวณผิวของเมล็ดสตาร์ช ซึ่งส่งผลต่อลักษณะเมล็ดสตาร์ชโดยทำให้สตาร์ชมีอัตราการดูดซับน้ำ อัตราการพองตัว และอัตราการเกิดเจลลาติในเซชันต่างกันออกไป (กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546) โปรตีนที่แทรกอยู่ระหว่างเมล็ดสตาร์ชทำให้การพองตัวของเมล็ดสตาร์ชไม่เสถียรรูปร่างได้ง่ายและมีความหนืดต่ำ เนื่องจากโครงสร้างของโปรตีนออริเซนินจะเกาะเกี่ยวเมล็ดสตาร์ชด้วยพันธะไฮโดรเจนและขัดขวางการพองตัวของเมล็ดสตาร์ชโดยโมเลกุลของสตาร์ชจะลดการจับกันกับโมเลกุลของน้ำ แต่จะเกิดการจับกันกับโปรตีนแทนจึงส่งผลให้ความหนืดต่ำ (งามชื่น คงเสรี, 2546) นอกจากนี้ปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าวมีผลต่อเนื้อสัมผัสของข้าว ข้าวที่มีปริมาณโปรตีนสูงจะมีเนื้อสัมผัสแข็ง และมีอุณหภูมิในการเกิดเจลลาติในเซชันสูงกว่าข้าวที่มีปริมาณโปรตีนต่ำ และมีความสามารถในการดูดซับน้ำได้ช้ากว่า โปรตีนที่พบในข้าวแต่ละชนิดจะมีปริมาณแตกต่างกันไปตามสายพันธุ์ เนื่องมาจากปัจจัยทางพันธุกรรมและสิ่งแวดล้อมในการเพาะปลูก (งามชื่น คงเสรี, 2546) สำหรับเอนไซม์ที่พบในข้าวเช่น อะไมเลส โปรติเอส ไลเปส และเพอร์ออกซิเดส เป็นต้น (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547) กิจกรรมของเอนไซม์ส่วนใหญ่จะพบบริเวณผิวเมล็ดมากกว่ากลางเมล็ด ระดับกิจกรรมของเอนไซม์จะลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น

### 2.2.3. ไขมัน

ข้าวมีปริมาณไขมันร้อยละ 1-3 คล้ายกับธัญชาติชนิดอื่น โดยในข้าวกล้องงอกสังข์หยดมีปริมาณไขมันเท่ากับร้อยละ 1.65-2.85 (สุนันทา วงศ์ปิยชน และคณะ, 2549; กรมการข้าว, 2550; Keawpeng and Meenune, 2012; เทวี ทองแดง คาร์ริลล่า และ พัชรินทร์ ภักดีฉนวน, 2551) โดยไขมันจะพบบริเวณภายนอกของเมล็ดมากกว่าภายในเมล็ด ดังนั้นการขัดสีข้าวจึงทำให้ข้าวสารมีไขมันเหลืออยู่เพียงร้อยละ 0.3-0.5 (Morrison, 1988) ปริมาณไขมันที่รวมอยู่ในเมล็ดสตาร์ชจะส่งผลต่อลักษณะและสมบัติของสตาร์ช ในเรื่องของความสามารถในการพองตัว การละลาย และการจับตัวกับน้ำของสตาร์ช (กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2543) ชนิดของไขมัน

ในข้าวส่วนใหญ่คือ พวก Neutral lipids ร้อยละ 82-91 (ซึ่งประกอบด้วย ไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ร้อยละ 73-82 กรดไขมันอิสระ (Fatty acids) ร้อยละ 13-17 และ แอซิลสเตอรอลไกลโคไซด์ (Acyl sterol glycosides) ร้อยละ 2-4) รองลงมาคือฟอสโฟลิปิด (Phospholipids) ร้อยละ 7-10, ไกลโคลิปิด (Glycolipids) ร้อยละ 2-8 สำหรับองค์ประกอบของกรดไขมันประกอบด้วย กรดปาล์มิติก (Palmitic acid) กรดโอเลอิก (Oleic acid) และกรดลิโนเลนิก (Linolenic acid) เป็นส่วนใหญ่ (Ohashi *et al.*, 1980; Ito *et al.*, 1979) ทั้งนี้ปริมาณกรดไขมันแต่ละชนิดแตกต่างกันขึ้นกับพันธุ์ข้าวและการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษา (Yasumatsu and Moritaka, 1964) ส่วนการเกิดกลิ่นเหม็นหืนนั้นเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของไขมันโดยกระบวนการย่อยสลายไขมัน (Lipolytic hydrolysis) และ กระบวนการออกซิเดชัน (Oxidation) เนื่องจากเมล็ดข้าวกล้องมีปริมาณไขมันสูง ในระหว่างการเก็บรักษา ไขมันในข้าวกล้องจะถูกย่อยสลายด้วยเอนไซม์ไลเปสเป็นกรดไขมันอิสระที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ มีจำนวนคาร์บอน 4-12 อะตอม ซึ่งจะมีกลิ่นเหม็นหืนมาก จากนั้นกรดไขมันอิสระจะถูกออกซิไดส์โดยเอนไซม์ Lipoxygenase ความร้อน แสงและโลหะ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้เป็นสารประเภทไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydroperoxide) ซึ่งเป็นอนุมูลอิสระ (Peroxide free radical) และเป็นสารที่ไม่เสถียรจึงเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องเกิดปฏิกิริยาแบบลูกโซ่ และสลายตัวให้สารประกอบที่มีจำนวนคาร์บอนเช่น กรด แอลดีไฮด์ และคีโตน ซึ่งสารเหล่านี้สามารถระเหยและทำให้เกิดกลิ่นเหม็นหืน ดังแสดงในภาพที่ 4 (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2541; Champagne, 1994)



**Figure 4** Hydrolysis and oxidation reactions of lipids in rice grain

**Source:** Champagne (1994)

กลไกการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายไขมัน เป็นปฏิกิริยาการไฮโดรไลซิสไขมันและน้ำมันด้วยเอนไซม์ไลเปสและความชื้น ทำให้ไตรกลีเซอไรด์ในไขมันและน้ำมันเกิดการไฮโดรไลต์ได้

เป็นโคกลีเซอไรด์ โมโนกลีเซอไรด์ กลีเซอรอล และกรดไขมันอิสระ (นิธิยา รัตนปนนท์, 2541) เอนไซม์ไลเปสจะมีอยู่ในบริเวณเตสตาของเมล็ดข้าว หรือได้จากจุลินทรีย์ที่สามารถผลิตเอนไซม์ชนิดนี้ซึ่งปนเปื้อนอยู่ที่บริเวณผิวของเมล็ดข้าว (Champagne, 1994) การเกิดออกซิเดชันเป็นปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างออกซิเจนกับกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไขมันหรืออาหารที่มีไขมัน ทำให้อาหารเสียคุณภาพ (Deterioration) ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นเป็นไปอย่างต่อเนื่อง เมื่อลิปิดหรืออาหารสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศอัตราเร็วของปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยจะมีกลไกการเกิด 3 ขั้นตอน คือ

- ปฏิกิริยาขั้นที่ 1 (Initiation reaction) เป็นขั้นตอนการเกิดอนุมูลอิสระ (Free radical)
- ปฏิกิริยาขั้นที่ 2 (Propagation reaction) เป็นปฏิกิริยาของ Free-radical chain reaction
- ปฏิกิริยาขั้นที่ 3 (Termination reaction) เป็นปฏิกิริยาสุดท้ายที่ทำให้เกิด Non-radical products

ปฏิกิริยาเริ่มต้นของออกซิเจนกับกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว จะทำให้เกิด Hydroperoxide โดย Unsaturated hydrocarbon จะสูญเสียไฮโดรเจนอะตอม ทำให้เกิดเป็นอนุมูลอิสระ (Free radical) และออกซิเจนจะเข้าไปทำปฏิกิริยาที่พันธะคู่เกิดเป็น Diradical หลังจากนั้นก็จะเกิดปฏิกิริยาของอนุมูลอิสระกับออกซิเจนต่อเนื่องไปเรื่อยๆ ได้เป็น Peroxy radical (ROO•), Hydroperoxide (ROOH) และ Hydrocarbon radical (R•) Radical ที่เกิดขึ้นใหม่นี้ก็จะเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องกับออกซิเจนต่อไป และเมื่อ Free radical ทำปฏิกิริยากันเองเกิดและเป็นสารประกอบใหม่ที่ไม่ใช่ Free radical ปฏิกิริยาต่อเนื่องก็จะยุติลง เมื่อไม่มี Free radical เหลือสำหรับทำปฏิกิริยาต่อเนื่องกับออกซิเจนแล้ว หากยังมีออกซิเจนเหลืออยู่มากพอที่จะเริ่มต้นปฏิกิริยาขั้นที่ 1 เกิดเป็นอนุมูลอิสระสำหรับ Ketonic rancidity เป็นการเกิดปฏิกิริยา Enzymatic oxidation กรดไขมันชนิดอิ่มตัว ได้สารประกอบจำพวกคีโตน ปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย (Nawar, 1996)

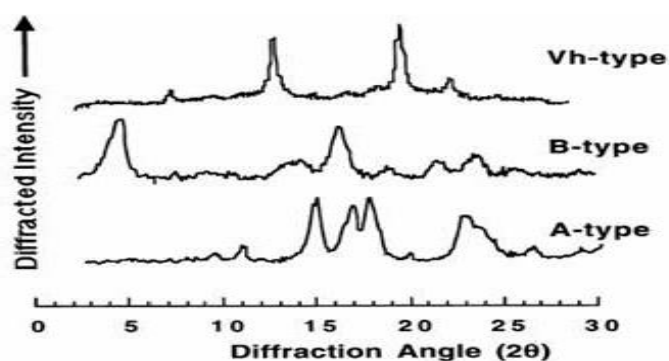
#### 2.2.4. ความชื้น

ความชื้นในข้าวเปลือกจะถูกใช้เป็นตัวบ่งชี้ความปลอดภัยในการเก็บรักษา ข้าวเปลือกที่มีความชื้นสูงจะเสื่อมเสียได้เร็วกว่าข้าวเปลือกที่มีความชื้นต่ำ ข้าวเปลือกที่มีความชื้นสูงทำให้เชื้อราและจุลินทรีย์ต่างๆ เจริญเติบโตได้ ทำให้ข้าวเปลือกจะเสื่อมคุณภาพเร็วขึ้น ความชื้นที่อยู่ในเกณฑ์ปลอดภัยต่อการเก็บรักษามีค่าไม่เกินร้อยละ 14 ความชื้นเหมาะสมจะทำให้ได้ข้าวเต็มเมล็ดสูงและปริมาณข้าวหักน้อยเมื่อผ่านการสี (งามชื่น คงเสรี, 2546) ความชื้นในข้าวกล้องสังข์หยดเท่ากับร้อยละ 6.67-10.71 (สุนันทา วงศ์ปิยชน และคณะ, 2549; กรมการข้าว, 2550; Keawpeng and Meenune, 2012; เทวี ทองแดง คาร์ริลล่า และ พชรินทร์ ภักดีฉนวน, 2551)

### 2.3. คุณภาพทางเคมีเชิงฟิสิกส์ของข้าว

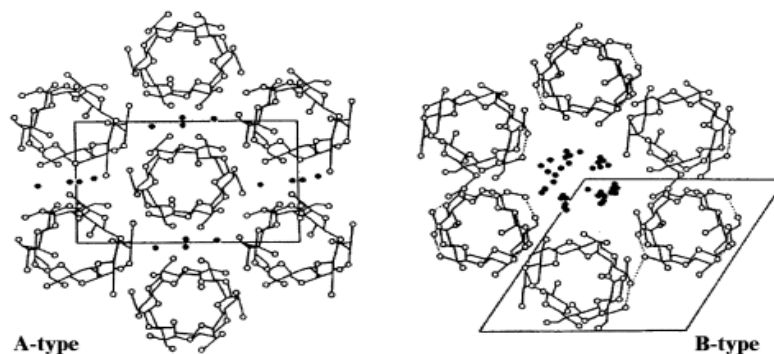
#### 2.3.1. ลักษณะทางโครงสร้างผลึก (Crystallinity)

เมล็ดสตาร์ชมีโครงสร้างแบบกึ่งผลึก (Semi-crystalline) คือจะประกอบด้วยส่วนที่เป็นผลึก (Crystalline) และส่วนที่เป็นอสัณฐาน (Amorphous) โดยส่วนที่เป็นผลึกเป็นส่วนสายสั้นของอะไมโลเพกทินที่มีการจัดเรียงตัวในลักษณะเกลียวม้วนคู่ (Double helice) อย่างเป็นระเบียบ ส่วนที่เป็นอสัณฐานจะประกอบด้วยอะไมโลเพกทินที่เป็นเส้นตรงของกิ่งและโมเลกุลของอะไมโลส ทั้งนี้การตรวจสอบโครงสร้างผลึกและปริมาณผลึกสามารถตรวจสอบได้ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์เรย์ (X-ray diffraction) ลักษณะทางโครงสร้างผลึกจำแนกตามรูปแบบของการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์เรย์ (X-ray diffraction pattern) สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 แบบคือ A, B, C และ  $V_h$  ซึ่งโครงสร้างผลึกแบบ A และ B แสดงดังภาพที่ 5 โดยโครงสร้างผลึกแบบ A พบในสตาร์ชจากธัญพืชเช่น ข้าวสาลี ข้าวโพด และข้าว โครงสร้างผลึกแบบ B พบในสตาร์ช จากพืชหัวหรือจากพืชที่มีปริมาณอะไมโลสสูงกว่าร้อยละ 49 โครงสร้างผลึกแบบ C เป็นแบบที่รวมกันระหว่างแบบ A และแบบ B จะพบในสตาร์ชจากพืชตระกูลถั่ว และ โครงสร้างผลึกแบบ  $V_h$  เป็นสตาร์ชที่ผ่านกระบวนการทางความร้อนจนทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างอะไมโลสกับไขมัน ลักษณะผลึกแบบ A และ B มีความแตกต่างกันที่การจัดเรียงตัวของสายเกลียวคู่และปริมาณผลึกในโครงสร้าง โดยโครงสร้างผลึกแบบ A การจัดเรียงตัวของสายเกลียวคู่เป็นแบบโมโนคลินิกยูนิทเซลล์ (Monoclinic unit cell) ซึ่งมีสายเกลียวคู่ตรงกลางของโครงสร้างโมเลกุลสามารถจับกับน้ำได้น้อย ส่วนโครงสร้างผลึกแบบ B มีการจัดเรียงตัวของสายเกลียวคู่เป็นแบบเฮกซะโกนอลยูนิทเซลล์ (Hexagonal unit cell) โดยมีช่องว่างขนาดใหญ่ตรงกลาง ซึ่งสามารถจับกับโมเลกุลของน้ำได้ 36 โมเลกุลต่อยูนิทเซลล์ (Buleon *et al.*, 1998) ปริมาณของผลึกของข้าวโดยทั่วไปอยู่ในช่วงร้อยละ 29.2-39.3 (Vandeputte *et al.*, 2003; Ong and Blanshard, 1995) ทั้งนี้ลักษณะผลึกที่เกิดขึ้นเกี่ยวข้องกับปริมาณของอะไมโลสและอะไมโลเพกทิน



**Figure 5** X-ray diffraction patterns of A-type, B-type and  $V_h$ -type starch

**Source:** Buleon *et al.* (1998)



**Figure 6** Crystalline polymorphs of hexagonal packing in A-type and B-type starch

**Source:** Eliasson (2004)

### 2.3.2. ความสามารถในการพองตัวและการละลาย (Swelling power and solubility)

แป้งโดยทั่วไปจะไม่ละลายน้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลาติไนเซชัน แต่จะสามารถดูดซับน้ำไว้ประมาณร้อยละ 25-30 แต่เมื่อให้ความร้อนแก่สารละลายแป้ง จะทำให้พันธะไฮโดรเจนที่ยึดโมเลกุลของแป้งเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยจะเกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำ โดยส่วนที่เป็นออสซิลลูมจะสามารถจับกับน้ำได้มากกว่าส่วนที่เป็นผลึก เนื่องจากมีความแข็งแรงมากกว่า จึงทำให้ส่วนที่เป็นออสซิลลูมพองตัวได้ก่อนและมากกว่าส่วนที่เป็นผลึก ปัจจัยที่มีผลต่อการพองตัวและละลายน้ำของแป้ง มีหลายประการ เช่น ชนิดของแป้ง ความแข็งแรง และลักษณะของร่างแหภายในเมล็ดแป้ง สิ่งเจือปนในเมล็ดแป้งที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต คุณสมบัติหลังการตัดแปรทางเคมี ปริมาณน้ำที่มีแป้งที่มีปริมาณอะไมโลสสูงจะมีจำนวนพันธะสูงสุด แต่ความสามารถในการละลายต่ำ เนื่องจากอะไมโลสจะทำให้โครงสร้างร่างแหในเมล็ดแป้งแข็งแรงขึ้น (มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์ และ จุฬาลักษณ์ จารุณูช, 2550; Phillips and Williams, 2000; Singh, *et al.*, 2006) ทั้งนี้ Keawpeng และ Meenune (2012) ศึกษาสมบัติความสามารถในการพองตัวและการละลายของข้าวสังข์หยดพัทลุงใหม่หลังเก็บเกี่ยว (เดือนที่ 0) และข้าวสังข์หยดเก่า (ผ่านการเก็บรักษานาน 6 เดือน) พบว่าข้าวสังข์หยดพัทลุงใหม่มีความสามารถในการพองตัวและการละลายสูงกว่าข้าวสังข์หยดพัทลุงเก่า ( $p < 0.05$ ) โดยข้าวสังข์หยดพัทลุงเก่าและใหม่มีความสามารถในการพองตัวเท่ากับ 11.03 และ 11.23 (กรัมต่อกรัมตัวอย่าง) ตามลำดับ ส่วนการละลายของข้าวสังข์หยดพัทลุงเก่าและใหม่มีค่าเท่ากับร้อยละ 7.45 และ 7.62 ตามลำดับ ทั้งนี้ Champagne *et al.* (1994) รายงานว่าโปรตีนในแป้งข้าวมีบทบาทสำคัญในการกำหนดสมบัติในการทำงานของแป้ง โดยโปรตีนจะส่งผลต่อการยับยั้งความสามารถในการพองตัวของแป้งข้าว โดยโปรตีนจะเป็นตัวขัดขวางในการเข้าทำปฏิกิริยาของแป้งกับน้ำ ทำให้ข้าวที่มีปริมาณโปรตีนสูงกว่าจะมีโอกาสในการขัดขวางการเกิดปฏิกิริยาได้สูง จึงทำให้ความสามารถในการพองตัวลดลงเมื่อข้าวมีปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้น

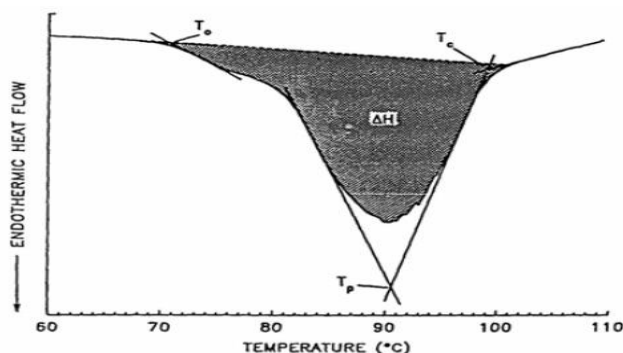
### 2.3.3. สมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืด (Pasting properties)

พฤติกรรมทางความหนืดเป็นสมบัติเฉพาะตัวที่สำคัญของสตาร์ช ซึ่งจะมีลักษณะที่แตกต่างกันออกไปตามชนิดและสายพันธุ์ของแป้ง การติดตามพฤติกรรมทางความหนืดของแป้ง นิยมใช้เครื่องมือวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว (Rapid viscosity analyzer, RVA) เนื่องจากใช้ปริมาณตัวอย่างน้อยและใช้ระยะเวลาสั้น โดยเมื่อให้ความร้อนกับสารแขวนลอยแป้งอย่างต่อเนื่อง จนอุณหภูมิของสารแขวนลอยสูงกว่าอุณหภูมิเจลาตินเซชัน เม็ดแป้งจะสามารถคูดน้ำไว้ได้ในปริมาณมาก และเกิดการพองตัวของเม็ดแป้งอย่างรวดเร็ว จนทำให้สารแขวนลอยมีความหนืดเพิ่มมากขึ้นในขณะกวน ซึ่งอุณหภูมิที่ทำให้ความหนืดมีค่าเพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็วเรียกว่า อุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (Pasting temperature) ทั้งนี้ความหนืดจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิ เนื่องจากเม็ดแป้งเกิดการพองตัวมากขึ้น ในขณะเดียวกันก็จะมีเม็ดแป้งบางส่วนที่แตกสลายอยู่เรื่อยๆ และเมื่อใดก็ตามส่วนที่แตกสลายมากกว่าส่วนที่พองตัวเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความหนืดลดลง ซึ่งจุดที่น้ำแป้งมีความหนืดสูงสุดเรียกว่า ความหนืดสูงสุด (Peak viscosity) ซึ่งค่าความหนืดสูงสุดเป็นค่าที่ใช้บอกถึงความสามารถในการจับกับน้ำของแป้ง และบอกถึงแรงหนืดที่ต้องใช้ในการผสมหรือกวนให้ความร้อน ทั้งนี้ถ้าเม็ดแป้งไม่คงตัวและแตกมากทำให้ความหนืดลดลง จนถึงระดับความหนืดต่ำสุดเรียกว่า ความหนืดต่ำสุด (Trough viscosity) โดยค่าผลต่างระหว่างความหนืดสูงสุดกับความหนืดต่ำสุดเรียกว่า Breakdown จากนั้นเมื่อสิ้นสุดการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส จะเข้าสู่ช่วงการทำให้เย็น โดยการลดอุณหภูมิลงไปเท่ากับ 50 องศาเซลเซียส จะเกิดการเรียงตัวใหม่ระหว่างพอลิเมอร์เกิดขึ้น โดยโมเลกุลของอะไมโลสจะเกิดการจัดเรียงตัวเป็น โครงร่างแห 3 มิติ โมเลกุลอะไมโลสที่หลุดออกจากเม็ดแป้งที่อยู่ใกล้กันจะเข้ามาเรียงตัวใกล้กันและเกาะเกี่ยวกันเอง และเกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้นระหว่างโมเลกุลของอะไมโลสทำให้ได้ลักษณะ โครงสร้างใหม่ที่เกิดเป็นเจล ทำให้ความหนืดของแป้งเพิ่มขึ้นจนได้ระดับหนึ่งเรียกว่า ความหนืดสุดท้าย (Final viscosity) ส่วนค่าการคืนตัว (Setback) เป็นค่าความหนืดเมื่อระบบเย็นลง (กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546) Keawpeng (2012) ศึกษาสมบัติทางความหนืดของข้าวสังข์หยดพัทลุง โดยใช้เครื่องวัดความหนืดอย่างรวดเร็ว (Rapid viscosity analyzer) โดยข้าวสังข์หยดจัดเป็นข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ (มีค่าเท่ากับร้อยละ 16.27) พบว่าข้าวสังข์หยดพัทลุงมีค่าความหนืดสูงสุดเท่ากับ 118.62 RVU อุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืดมีค่าเท่ากับ 82.92 องศาเซลเซียส ส่วนค่าความหนืดสุดท้ายมีค่าเท่ากับ 247.72 RVU ส่วน Sompong และคณะ (2011) ศึกษาสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดของข้าวสังข์หยด พบว่าข้าวสังข์หยดมีค่าความหนืดสูงสุดเท่ากับ 124.5 RVU อุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืดมีค่าเท่ากับ 76.0 องศาเซลเซียส และค่าความหนืดสุดท้ายมีค่าเท่ากับ 240.5 RVU



### 2.3.4. การเกิดเจลลิตินเซชัน (Gelatinization)

กระบวนการเจลลิตินเซชันจะบ่งบอกลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสตาร์ชระหว่างที่ได้รับความร้อนจนมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิหนึ่งที่ทำให้เม็ดแป้งพองตัวและเปลี่ยนแปลงโครงสร้างไป เมื่อได้รับความร้อน สตาร์ชในข้าวจะดูดซับน้ำแล้วพองตัวจนถึงจุดหนึ่งที่มีการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางรีโอโลยีอย่างสมบูรณ์ ซึ่งกระบวนการเกิดเจลลิตินเซชันเกิดขึ้นเมื่อสตาร์ชได้รับความร้อน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group) โดยที่พันธะไฮโดรเจนจะเกิดการคลายตัว ทำให้เม็ดแป้งสามารถดูดน้ำได้มากขึ้นพร้อมกับการพองตัวขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งโครงสร้างผลึกเม็ดแป้งสลายไปเกิดเป็นการพองตัวแบบผันกลับไม่ได้พร้อมกับสายโมเลกุลอะไมโลสแพร่ออกมาออกเม็ดแป้ง (Hermansson and Svegmak, 1996) กระบวนการเจลลิตินเซชันสามารถตรวจสอบโดยเครื่อง Differential scanning calorimeter (DSC) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสารที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงพลังงาน โดยอาศัยหลักการคือ ตัวอย่างและสารอ้างอิงจะต้องคงอยู่ที่อุณหภูมิเดียวกันในกระบวนการให้ความร้อนหรือทำให้เย็นลงในอัตราที่กำหนดไว้แสดงผลเป็นเทอร์โมแกรม (Thermogram) ดังภาพที่ 7 โดยเมื่อเม็ดสตาร์ชดูดพลังงานความร้อนเข้าไปเพื่อสลายพันธะ ทำให้พลังงานเอนทัลปี (Enthalpy;  $\Delta H$ ) มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถพิจารณาจาก อุณหภูมิที่เริ่มการสลายพันธะหรืออุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลลิตินเซชัน (Onset temperature;  $T_o$ ) อุณหภูมิสูงสุดในการเกิดเจลลิตินเซชัน (Peak temperature;  $T_p$ ) และ อุณหภูมิสุดท้ายในการเกิดเจลลิตินเซชัน (Conclusion temperature;  $T_c$ ) (กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2543; Bao *et al.*, 2006)



**Figure 7** Thermograph of rice flour from differential scanning calorimeter

**Source:** Bao *et al.* (2004)

สัญญา ขอดมณี (2552) ศึกษาการเกิดเจลลิตินเซชันของข้าวสังข์หยดพัทลุง พบว่าอุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจลลิตินเซชันมีค่าเท่ากับ 70.76 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดของการเกิดเจลลิตินเซชันมีค่าเท่ากับ 76.94 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสุดท้ายของการเกิดเจลลิตินเซชันมีค่า

เท่ากับ 81.33 องศาเซลเซียส และพลังงานเอนทัลปีเท่ากับ 14.36 จูลต่อกรัม ซึ่งช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลลิตีในเซชันและพลังงานเอนทัลปีมีค่าใกล้เคียงกันกับการศึกษาของ Keawpeng และ Meenune (2012) ที่ศึกษาการเกิดเจลลิตีในเซชันของข้าวสังข์หยดพัทลุง พบว่าข้าวสังข์หยดพัทลุงมีพลังงานเอนทัลปีเท่ากับ 8.11 จูลต่อกรัม อุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจลลิตีในเซชันเท่ากับ 75.29 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดของการเกิดเจลลิตีในเซชันเท่ากับ 79.16 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิสุดท้ายของการเกิดเจลลิตีในเซชันเท่ากับ 83.83 องศาเซลเซียส

### 2.3.5. การเกิดรีโทรเกรเดชัน (Retrogradation)

การเกิดรีโทรเกรเดชันหรือค่าการคืนตัว เป็นผลมาจากการเรียงตัวของโมเลกุลอะไมโลสหลังจากผ่านการเกิดเจลลิตีในเซชันแล้ว โดยโมเลกุลของอะไมโลสที่อยู่ใกล้กันจะเกิดการจับเรียงตัวใหม่และยึดกันด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล เกิดเป็นร่างแหสามมิติใหม่ที่สามารถที่สามารถอุ้มน้ำ ไม่มีการคูดน้ำเข้ามาอีกและมีความคงตัวมากขึ้น (Zhou *et al.*, 2002) ทั้งนี้ Qi และคณะ (2003) กล่าวว่า การเกิดรีโทรเกรเดชันเป็นการเปลี่ยนแปลงที่ขึ้นกับเวลา เป็นกระบวนการจัดเรียงตัวของโครงสร้างใหม่อีกครั้งให้มีความเป็นระเบียบมากขึ้น ซึ่งการเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้งจะเกิดหลังจากแป้งเกิดเจลลิตีในเซชัน โดยมีการจัดเรียงโครงสร้างที่เป็นระเบียบอีกครั้ง ปัจจัยที่เกี่ยวข้องและมีผลต่อการเกิดรีโทรเกรเดชันได้แก่ ปริมาณอะไมโลส ปริมาณน้ำและอุณหภูมิ โดยปริมาณและขนาดอะไมโลสและอะไมโลเพกทินมีความสำคัญต่อการคืนตัวของสตาร์ช สตาร์ชที่มีปริมาณอะไมโลสสูงจะเกิดการคืนตัวได้มากและเร็วกว่าสตาร์ชที่มีอะไมโลสต่ำ เนื่องจากเป็นโมเลกุลที่เป็นเส้นตรงเกิดการเชื่อมต่อกันได้ง่ายกว่า จนเป็นโครงสร้างที่หนาแน่นเป็นเจลหรือตะกอน (กล้านรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2543)

## 3. ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพข้าวกล้องและข้าวขัดสี

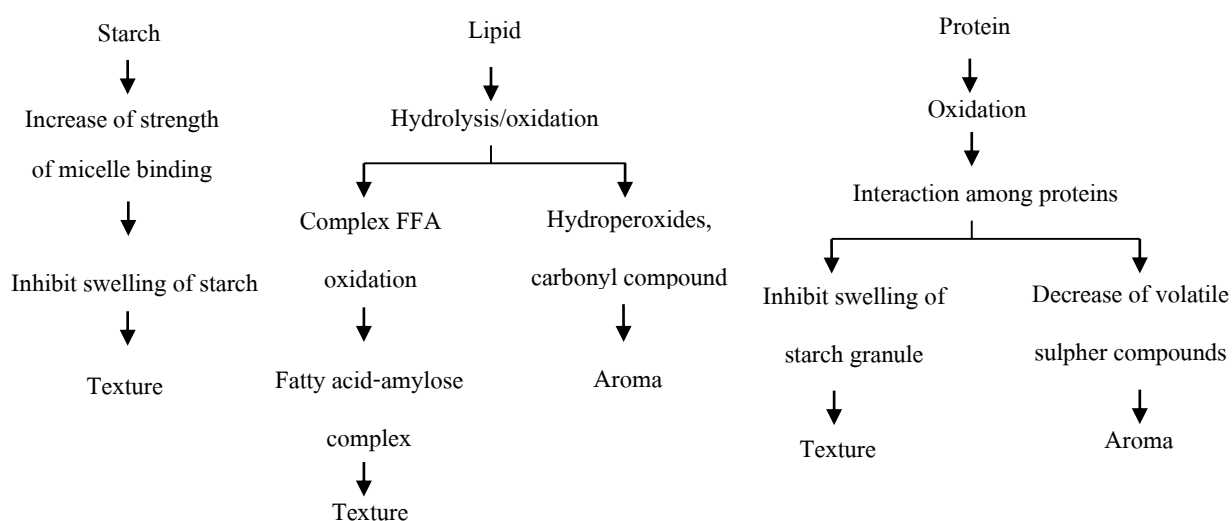
### 3.1. ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษา

อุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษา เป็นปัจจัยที่ทำให้ข้าวเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ โดยปัจจัยดังกล่าวจะส่งผลให้องค์ประกอบทางเคมีของข้าวเช่น โปรตีน ไขมัน และสตาร์ชเกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมี ส่งผลให้คุณภาพด้านกายภาพ และเคมีเชิงฟิสิกส์เกิดการเปลี่ยนแปลง ทั้งนี้ในระหว่างการเก็บรักษา หากเก็บในสภาวะที่อุณหภูมิสูงขึ้นก็จะส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพของข้าวเร็วขึ้น (Juliano, 1985; Moritaka and Yasumatru, 1972)

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพของเมล็ดข้าวระหว่างการเก็บรักษา ได้แก่ สีของเมล็ดข้าวที่เข้มขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดระหว่างกรดอะมิโนกับน้ำตาลในข้าว (Chrastil, 1994) จากงานวิจัยของ ละมุล วิเศษ (2541) ที่ศึกษาผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อค่าสีของ

ข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 ที่อุณหภูมิ 2 ระดับ ได้แก่ 25 และ 37 องศาเซลเซียส นาน 6 เดือน พบว่าเมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ค่าสีเหลืองของข้าวกล้องจะมีค่าเพิ่มขึ้น ( $p < 0.05$ )

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีของเมล็ดข้าว ประกอบด้วย การเปลี่ยนแปลงของสตาร์ช ไขมัน และ โปรตีน (ภาพที่ 8) ในระหว่างการเก็บรักษาเกิดการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบภายในเมล็ดข้าว โดยที่สตาร์ชจะมีความแข็งแรงของโครงสร้างมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลทำให้เกิดการยับยั้งการพองตัวของสตาร์ช ส่วนไขมันเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยปฏิกิริยาออกซิเดชันและไฮโดรไลซิสเกิดเป็นกรดไขมันอิสระและสามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับอะไมโลส นอกจากนี้สารประกอบคาร์บอนิลและไฮโดรเปอร์ออกไซด์ซึ่งเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของโปรตีน เกิดพันธะไดซัลไฟด์จากหมู่ซัลไฮดริลทำให้แรงในการยึดเกาะกันระหว่าง โมเลกุลของโปรตีนกับสตาร์ชเพิ่มขึ้น ยับยั้งการพองตัวของสตาร์ชและมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุก (Chrastil, 1994; Moritaka and Yasumatsu, 1972; Pomeranz, 1992; Tulyathan and Lecharatanaluk, 2007) นอกจากนี้ความชื้นของเมล็ดข้าวจะเกิดการเปลี่ยนแปลงระหว่าง การเก็บรักษา โดยข้าวจะมีความชื้นลดลงเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมล็ดข้าวมีคุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนความชื้นกับอากาศได้ ทำให้เกิดการถ่ายเทความชื้นของเมล็ดข้าวเข้าสู่บรรยากาศ (Marshall and Wadsworth, 1994)



**Figure 8** Schematic model of the aging process in rice grain process

**Source:** Adapted from Zhou *et al.* (2002)

Kanlayakrit และ Maweang (2008) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมีของข้าวเจ้าพันธุ์กาฬสินธุ์ 11 และข้าวดอกมะลิ 105 ระหว่างเก็บรักษาในรูปข้าวเปลือกและข้าวขัดขาว

เป็นระยะเวลา 10 เดือน พบว่า ปริมาณอะไมโลสและโปรตีนไม่เปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาทั้งที่เก็บในรูปของข้าวเปลือกและข้าวขัดขาว ( $p \geq 0.05$ ) นอกจากนี้เพลงพิน ศิวาพรักษ์ (2541) ศึกษาผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาต่อความคงตัวของปริมาณอะไมโลสของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 โดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 และ 37 องศาเซลเซียส นาน 7 เดือน พบว่าปริมาณอะไมโลสจะคงที่ตลอดเวลาการเก็บรักษา ( $p \geq 0.05$ ) Teo และคณะ (2000) รายงานว่าระหว่างการเก็บรักษาข้าวทั้งที่เก็บในรูปของข้าวเปลือกและข้าวสาร ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดไม่เปลี่ยนแปลง แต่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของมวลโมกุลเฉลี่ยของโปรตีนในเมล็ดข้าวจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากระหว่างเก็บรักษา กรดอะมิโนชนิด Cysteine ของโปรตีนในข้าว จะถูกออกซิไดซ์ตรงหมู่ซัลไฟด์ไรล (Sulphydryl group) ทำให้ตำแหน่งดังกล่าวไม่เสถียร แล้วเกิดการฟอร์มพันธะไดซัลไฟด์กับกรดอะมิโนชนิด Cysteine อีกตัวที่ถูกออกซิไดซ์เช่นเดียวกัน จึงส่งผลให้มวลโมกุลเฉลี่ยของโปรตีนในเมล็ดข้าวจะเพิ่มขึ้น (Chrastil, 1992) ส่วน Wiset และคณะ (2005) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของไขมันของข้าวกล้องหอมมะลิระหว่างการเก็บรักษา โดยเก็บรักษาข้าวกล้องหอมมะลิที่อุณหภูมิ 25 และ 37 องศาเซลเซียส บรรจุถุงพอลิโพรพิลีนในสถานะสุญญากาศ เป็นเวลา 7 เดือน พบว่าระยะเวลาและอุณหภูมิการเก็บรักษา ทำให้ปริมาณไขมันทั้งหมดลดลง ( $p \geq 0.05$ ) นอกจากนี้ Zhou และคณะ (2003) ศึกษาผลของระยะเวลาต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดไขมันในข้าวกล้อง โดยนำข้าวกล้องมาเก็บที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส แล้ววิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันในเดือนที่ 4 และเดือนที่ 7 พบว่าชนิดของกรดไขมันที่พบในเดือนที่ 4 และเดือนที่ 7 ประกอบด้วยกรดไมริสติก (C14:0) กรดสเตียริก (C18:0) กรดโอเลอิก (C18:1) กรดอีโนเลอิก (C18:2) กรดลิโนเลนิก (C18:3) และกรดอะราซิดิก (C20:0) เหมือนกันและปริมาณของกรดไขมันทุกชนิดของเดือนที่ 7 จะมีแนวโน้มลดลงในระหว่างการเก็บรักษา เมื่อเทียบกับเดือนที่ 4

คุณภาพทางเคมีเชิงฟิสิกส์จัดเป็นคุณสมบัติหลักที่มีการเปลี่ยนแปลงในเมล็ดข้าวระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งสาเหตุการเปลี่ยนแปลงอาจเกิดจากลักษณะการเกิดเจลของสตาร์ชและการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนให้กลายเป็นสารที่คงตัวขึ้นและไม่ละลายในน้ำมากขึ้น มีผลให้เมล็ดข้าวแข็งขึ้น อีกทั้งลักษณะข้าวสุกจะแข็งและร้อนมากกว่าข้าวใหม่ รวมถึงความคงตัวของเจลและความชื้นหนืดจะเพิ่มขึ้น (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547) Tananuwong และ Malila (2011) ศึกษาผลของสภาวะและระยะเวลาการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติการเกิดเจลลาติโนเซชันและความสามารถในการพองตัวของข้าวข้าวกล้องพันธุ์หอมแดง ที่เก็บรักษาในถุง Nylon/LLDPE ในสถานะสุญญากาศที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 12 เดือน พบว่าอุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลลาติโนเซชันและอุณหภูมิสูงสุดในการเกิดเจลลาติโนเซชันมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นหลังจากเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน ( $p < 0.05$ ) โดยข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีอุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิด

เจลาตินในเซชันและอุณหภูมิสูงสุดในการเกิดเจลาตินในเซชันสูงกว่าข้าวกล้องที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส ส่วนค่ากำลังการพองตัวของข้าวที่เก็บที่อุณหภูมิห้องมีค่ากำลังการพองตัวต่ำกว่าข้าวกล้องที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ทวิศักดิ์ ทองคำ (2554) ศึกษาผลของระยะเวลาการเก็บรักษาต่อคุณภาพการเกิดเจลาตินในเซชันของข้าวหักพันธุ์ชัยนาท โดยนำข้าวหักพันธุ์ชัยนาทมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ( $35 \pm 2$  องศาเซลเซียส) เป็นระยะเวลา 4 เดือน พบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น อุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลาตินในเซชัน พลังงานเอนทัลปีและความเป็นผลึกเพิ่มขึ้น ( $p < 0.05$ ) โดยข้าวหักพันธุ์ชัยนาทในเดือนที่ 4 ของการเก็บรักษา มีอุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลาตินในเซชันเท่ากับ 74.55 องศาเซลเซียส พลังงานเอนทัลปีเท่ากับ 7.91 จูลต่อกรัม และความเป็นผลึกเท่ากับร้อยละ 19.52 ทั้งนี้เนื่องจากไขมันเปลี่ยนเป็นกรดไขมันอิสระและเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับอะไมโลส รวมถึงการเกิดพันธะไดซัลไฟด์จากหมู่ซัลไฮดริลทำให้แรงในการยึดเกาะกันระหว่างโมเลกุลของโปรตีนกับสตาร์ชเพิ่มขึ้น เป็นผลให้อุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลาตินในเซชัน อุณหภูมิสูงสุดในการเกิดเจลาตินในเซชันและพลังงานเอนทัลปีเพิ่มขึ้น (Marshall and Wadsworth, 1994) Likitwattanasade และ Hongsprabhas (2010) ศึกษาผลของระยะเวลาการเก็บรักษาของข้าวต่อคุณภาพด้านความหนืดของแป้งข้าวปทุมธานี 1 พบว่า ในเดือนที่ 0 มีความหนืดสูงสุดเท่ากับ 3.61 Pa·s ความหนืดสุดท้ายเท่ากับ 2.78 Pa·s และค่าการคืนตัวเท่ากับ 1.07 Pa·s นอกจากนี้พบว่า เมื่ออายุการเก็บรักษาข้าวเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความหนืดสูงสุดของเจลแป้งลดลง ( $p < 0.05$ ) ในขณะที่ความหนืดสุดท้ายและค่าการคืนตัวจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มระยะเวลาการเก็บรักษา ( $p < 0.05$ ) ซึ่งสอดคล้องกันกับการศึกษาของทวิศักดิ์ ทองคำ (2554) ที่ศึกษาผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อคุณภาพด้านความหนืดของข้าวหักพันธุ์ชัยนาท โดยนำข้าวหักพันธุ์ชัยนาทมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ( $35 \pm 2$  องศาเซลเซียส) นาน 6 เดือน พบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ความหนืดสูงสุดและความหนืดสุดท้ายของข้าวหักมีแนวโน้มลดลง ( $p < 0.05$ )

### 3.1. ผลของการกะเทาะเปลือกและการขัดสี

#### 3.1.1. ความหมายของคำที่ใช้ในการเรียกข้าว

ความหมายของคำที่ใช้ในการเรียกข้าวลักษณะต่างๆ มีดังต่อไปนี้ (กัญญา เชื้อพันธุ์, 2545; มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์ และ จุฬาลักษณ์ จารุณูช, 2550; Chen *et al.*, 1998; Lamberts *et al.*, 2007)

- ข้าวกล้อง (Husked rice or brown rice or cargo rice or loonzain rice) หมายถึงเมล็ดข้าวที่ผ่านการกะเทาะเปลือกออกเท่านั้น ทั้งนี้กระบวนการกะเทาะเปลือกอาจทำให้เยื่อร่าบางส่วนหลุดออก

- ข้าวซ้อมมือ หมายถึง ข้าวที่ได้จากการนำข้าวกล้องไปขัดสีให้มีเชื้อหุ้มเมล็ดโดยเฉลี่ยไม่ต่ำกว่าร้อยละ 70 ของพื้นที่เมล็ดข้าว

- ข้าวขาวหรือข้าวสาร (White rice or milled rice or polished rice) หมายถึง เมล็ดข้าวที่ได้จากการนำข้าวกล้องไปขัดเชื้อรำออก มีประมาณร้อยละ 68-70 ของข้าวเปลือกประกอบด้วยแป้งร้อยละ 90 มีโปรตีนบ้างเล็กน้อย ข้าวสารที่ได้จากการขัดขาวจะถูกนำไปคัดแยกเป็น ข้าวเต็มเมล็ด ต้นข้าว และข้าวหัก ซึ่งปริมาณข้าวหักขึ้นอยู่กับคุณภาพข้าวเปลือกก่อนสี หากข้าวเปลือกมีคุณภาพดี จะให้ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวสูง และมีปริมาณข้าวหักน้อย เป็นต้น

- ข้าวเต็มเมล็ด (Whole kernel) หมายถึง เมล็ดข้าวที่อยู่ในสภาพเต็มเมล็ด ไม่มีส่วนใดหัก และรวมถึงเมล็ดข้าวที่มีความยาวตั้งแต่ 9 ส่วนใน 10 ส่วน

- ต้นข้าว (Head rice) หมายถึง เมล็ดข้าวหักที่มีความยาวมากกว่าข้าวหัก แต่ไม่ถึงความยาวของข้าวเต็มเมล็ด

- ข้าวหัก (Broken rice) หมายถึง เมล็ดข้าวหักที่มีความยาวตั้งแต่ 2.5 ส่วนขึ้นไปจาก 10 ส่วน แต่ไม่ถึงความยาวของต้นข้าว และให้รวมถึงเมล็ดข้าวแตกที่มีเนื้อที่อยู่ไม่ถึงร้อยละ 80 ของเมล็ด ซึ่งในกระบวนการอบแห้งเมล็ดข้าวเกิดเป็นรอยแตกของข้าว แล้วรอยแตกที่เกิดขึ้นนั้นจะทำให้เกิดข้าวหัก ในกระบวนการขัดสีข้าวจะเกิดข้าวหักร้อยละ 10-20

- ข้าวเมล็ดท้องไข หรือ ข้าวเมล็ดท้องปลาชิว (Chalky kernel) หมายถึง เมล็ดข้าวเจ้าที่มีจุดสีขาวขุ่นคล้ายชอล์ก ตั้งแต่ร้อยละ 50 ขึ้นไปของเนื้อที่เมล็ดข้าว

- ข้าวเมล็ดลีบ (Undeveloped or poorly developed kernel) หมายถึง เมล็ดข้าวที่ไม่เจริญเติบโตตามปกติที่ควรเป็น ข้าวเปลือกมีลักษณะแฟบและแบน

- ข้าวเมล็ดเสีย (Damaged kernel) หมายถึง เมล็ดข้าวที่เสียหายอย่างเห็นได้ชัดเจนด้วยตาเปล่า ซึ่งเกิดจากความชื้น ความร้อน เชื้อรา แมลง หรืออื่นๆ

### 3.1.2. กระบวนการกะเทาะเปลือกและการขัดสี

การผลิตข้าวกล้องและข้าวขัดสีทำได้โดย นำเมล็ดข้าวเปลือกมากะเทาะเปลือกด้วยเครื่องกะเทาะเปลือก (Huller) เพื่อเอาส่วนของเปลือกออก โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกะเทาะเปลือกคือ ข้าวกล้องและแกลบ จากนั้นข้าวกล้องจะผ่านกระบวนการขัดสี ซึ่งการขัดสีเป็นกระบวนการการขัดเนื้อเยื่อที่เป็นชั้นของรำของข้าวกล้องออก ซึ่งประกอบด้วยเชื้อหุ้มผล เชื้อหุ้มเมล็ด เยื่ออัลดูโรน และกัพกะ (พรทิพย์ อารีรัตน์, 2533) สำหรับกระบวนการขัดสีประกอบด้วย 4 ขั้นตอนดังนี้

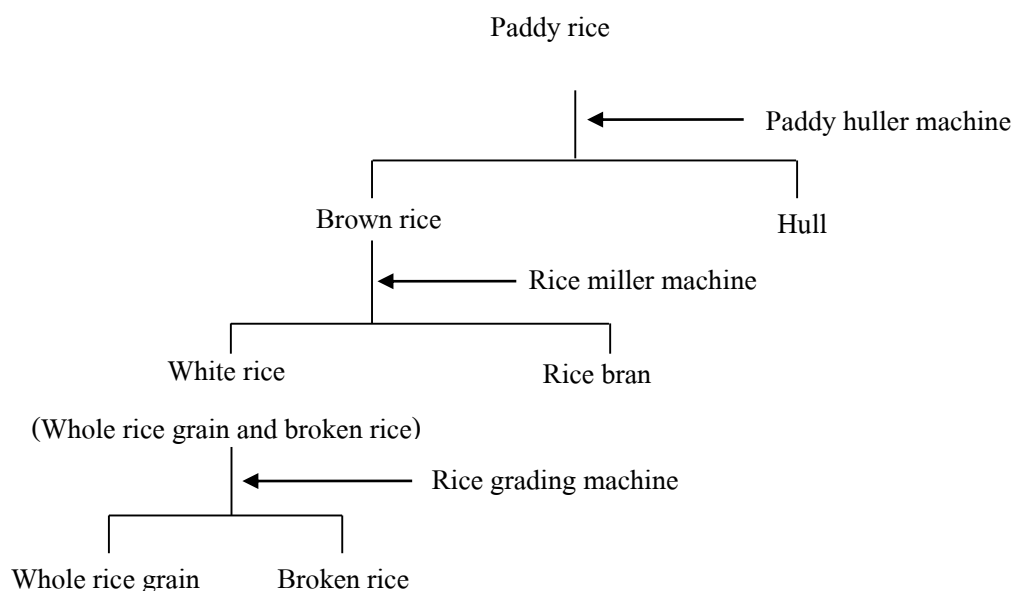
- การทำความสะอาดข้าวเปลือก เป็นการนำเอาข้าวเปลือกมาทำความสะอาด เพื่อกำจัดสิ่งปลอมปนเช่น ใบข้าว เมล็ดลีบ กรวด หิน ดิน ทราย และวัชพืชต่างๆ เป็นต้น

- การกะเทาะเปลือก เป็นขั้นตอนที่มีแรงกระทำต่อเมล็ดข้าวเปลือกเช่น แรงเฉือนและแรงกระแทก จนทำให้เปลือกข้าวหลุดออกจากเมล็ดข้าว ทั้งนี้แรงเฉือนและแรงกระแทกจะต้องมีความเหมาะสมต่อการกะเทาะเปลือกข้าวที่จะส่งผลให้เปลือกข้าวหลุดออก ซึ่งจะต้องไม่มากจนทำให้เกิดความเสียหายของเมล็ดข้าวกล้องจากการแตกหัก ผลผลิตที่ได้จากการการกะเทาะเปลือกได้แก่ แกลบ ข้าวกล้องเต็มเมล็ด และข้าวกล้องหัก ทั้งนี้ปริมาณของข้าวกล้องเต็มเมล็ดจะขึ้นกับกลไกในการกะเทาะ ชนิดของข้าว และคุณภาพข้าวเปลือก เป็นต้น

- การขัดสี เป็นกระบวนการที่ใช้แรงเฉือนเพื่อเอาส่วนที่เป็นสีเคลือบเมล็ดข้าวออก ทำให้ได้เมล็ดข้าวที่มีสีขาวเพิ่มขึ้น โดยส่วนที่ถูกขัดออกนั้นจะมีคุณค่าทางอาหารสูงเรียกว่า รำข้าว ซึ่งผลผลิตที่ได้จากกระบวนการดังกล่าวคือ ข้าวสาร รำข้าว และข้าวหัก เป็นต้น ในขั้นตอนนี้สามารถกำหนดระดับการขัดสีของข้าวกล้องได้โดยจากการวิเคราะห์น้ำหนักของข้าว (Gravimetric method) ซึ่งการวิเคราะห์น้ำหนักของข้าวสามารถคำนวณระดับการขัดสีได้ดังสมการ (Wadsworth *et al.*, 1982)

$$\text{ระดับการขัดสี (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักข้าวกล้อง (กรัม)} - \text{น้ำหนักข้าวขัดสี (กรัม)}}{\text{น้ำหนักข้าวกล้อง (กรัม)}} \times 100$$

- การคัดแยก เป็นกระบวนการในการแยกข้าวเต็มเมล็ด ออกจากข้าวหัก แกลบ และรำ



**Figure 9** Schematic chart for dehulling and milling process of Phatthalung sungyod rice

**Source:** Ban kao klang community enterprise, Phatthalung province (2015)

การพิจารณาประสิทธิภาพในกระบวนการกะเทาะเปลือกและการขัดสีข้าวเปลือก สามารถพิจารณาได้จากร้อยละของข้าวเต็มเมล็ดสูง ในขณะที่ร้อยละของข้าวหักต่ำ ซึ่งถ้าได้ร้อยละข้าวเต็มเมล็ดมากแสดงว่ามีประสิทธิภาพการขัดสีดี (งามชื่น คงเสรี, 2547) การประเมินประสิทธิภาพการขัดสีจากองค์ประกอบต่างๆ ของเมล็ดข้าวที่ได้จากกระบวนการขัดสีมีดังนี้

$$\text{ข้าวเต็มเมล็ด (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักข้าวสารเต็มเมล็ด (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักข้าวเปลือก (กรัม)}}$$

$$\text{ข้าวหัก (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักข้าวสาร (กรัม)} - \text{น้ำหนักข้าวสารเต็มเมล็ด (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักข้าวเปลือก (กรัม)}}$$

กลุ่มวิสาหกิจชุมชนบ้านเขากลาง จังหวัดพัทลุง (2558) รายงานว่ากระบวนการกะเทาะเปลือกและการขัดสีข้าวเปลือกสังข์หยดจำนวน 100 กรัม จะได้ข้าวสารเต็มเมล็ดประมาณ 62 กรัม ข้าวหักจำนวน 7.3 กรัม แกลบจำนวน 29.2 กรัม และรำจำนวน 1.5 กรัม

### 3.1.3. ระดับการขัดสี

ระดับการขัดสีข้าว (Degree of milling; DOM) หมายถึงร้อยละของชั้นรำที่ถูกกำจัดออกขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการขัดสี เมื่อระดับการขัดสีเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณไขมันที่เหลืออยู่ในเมล็ดข้าวมีปริมาณน้อยลง ระดับการขัดสีที่เหมาะสมควรพิจารณาจากทั้งคุณค่าทางอาหาร คุณภาพและความชอบในการบริโภค รวมถึงผลกำไรของผู้ผลิต ซึ่งระดับการขัดสีที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพเช่น สีของข้าว รวมถึงข้าวหุงสุกที่มีความเหนียวนุ่มเพิ่มขึ้น ขณะที่ความแข็งและคุณค่าทางอาหารของข้าวสุกลดลง (Park *et al.*, 2001; Lamberts *et al.*, 2007; Lui *et al.*, 2009) นอกจากนี้ระดับขัดสีส่งผลให้ปริมาณการแตกหักของเมล็ดข้าวเพิ่มสูงขึ้น (Jindal and Siebenmorgen, 1987) อย่างไรก็ตามเมล็ดข้าวได้ผ่านการขัดแยกนำส่วนที่อุดมไปด้วยสารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายออกไป (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2555) ดังนั้นข้าวขัดขาวจึงเป็นข้าวที่มีสารอาหารหรือประโยชน์น้อยกว่าข้าวกล้องซึ่งผ่านแค่การกะเทาะเปลือก จากการศึกษาของ Lamberts และคณะ (2007) ศึกษาผลของระดับการขัดสีต่อคุณภาพทางเคมีของข้าว โดยนำข้าวกล้องไปขัดสีในช่วงระยะเวลา 0-100 วินาที ซึ่งข้าวจะถูกขัดสีที่ระยะเวลาต่างกัน จากนั้นนำข้าวขัดสีที่ได้ในแต่ละระยะเวลามาคำนวณระดับการขัดสีจากผลต่างของน้ำหนักข้าวกล้องกับข้าวขัดสี ซึ่งจะได้ข้าวที่มีระดับการขัดสี 4 ระดับคือร้อยละ 0, 9, 15 และ 25 พบว่า เมื่อระดับการขัดสีเพิ่มขึ้น ข้าวจะมีปริมาณโปรตีน แร่ธาตุ และสตาร์ชลดลง โดยข้าวที่มีระดับการขัดสีร้อยละ 0 (ข้าวกล้อง), 9, 15 และ 25 มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 9.20, 7.74, 6.56 และ 5.24 ตามลำดับ มีปริมาณ



แร่ธาตุร้อยละ 1.60, 0.63, 0.25 และ 0.19 ตามลำดับ มีปริมาณสตาร์ชร้อยละ 76.40, 71.51, 69.37 และ 64.63 ตามลำดับ จากข้อมูลนี้แสดงให้เห็นว่าแร่ธาตุส่วนใหญ่ สะสมอยู่ในส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ด ในขณะที่สตาร์ชส่วนใหญ่สะสมอยู่ในส่วนของเอนโดสเปิร์มจะสูญเสียไปเมื่อระดับการขัดสีเพิ่มขึ้น ส่วน Kanjanumpha and Meenune (2014) ศึกษาผลของระดับการขัดสีต่อคุณภาพของข้าวสังข์หยดระหว่างเก็บรักษา ข้าวกล้องสังข์หยด (DOM = 0) ถูกนำมาขัดสี 2 ระดับคือ ข้าวขัดขาวร้อยละ 5 (DOM = 5) และร้อยละ 9 (DOM = 9) จากนั้นข้าวสังข์หยดถูกนำมาบรรจุและเก็บรักษาในถุง nylon/LLDPE ที่อุณหภูมิห้อง นาน 6 เดือน ทุกๆ เดือน ตัวอย่างจะถูกวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และเคมีเชิงฟิสิกส์ พบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น น้ำหนักเมล็ด ค่าความสว่าง ความชื้น แอนโทไซยานิน ความหนืดสูงสุด และความหนืดสุดท้ายของข้าวสังข์หยดทุกระดับการขัดสีมีค่าลดลง ( $p < 0.05$ ) ในขณะที่พลังงานเอนทัลปี ค่าการคินตัว และความเป็นผลึกของข้าวสังข์หยดทุกระดับการขัดสีมีค่าเพิ่มขึ้น ( $p < 0.05$ ) ทั้งนี้ข้าวที่มีระดับการขัดสีเพิ่มขึ้นและถูกเก็บรักษานานขึ้น ปริมาณอะไมโลสสามารถเกิดอันตรกิริยากับองค์ประกอบอื่นในแป้งข้าวเช่น ปริมาณ โปรตีน และไขมันได้มากขึ้น

### 3.2. ผลของชนิดบรรจุภัณฑ์

บรรจุภัณฑ์ (Packaging) ใช้เพื่อบรรจุผลิตภัณฑ์เพื่อรอการจำหน่ายและขนส่ง ซึ่งจะมีบทบาทสำคัญที่จะช่วยรักษาคุณภาพอาหาร วัตถุประสงค์การใช้บรรจุภัณฑ์เพื่อการยืดอายุการเก็บรักษาของอาหารให้นานขึ้น และสามารถรักษาคุณภาพของอาหารในระหว่างการบริโภค รวมถึงในแง่ของการส่งออกที่จำเป็นอย่างยิ่งที่บรรจุภัณฑ์ที่ช่วยรักษาคุณภาพของอาหารจนถึงมือผู้บริโภค ในปัจจุบันบรรจุภัณฑ์พลาสติก ถือเป็นวัสดุบรรจุภัณฑ์ที่นิยมกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีน้ำหนักเบา ป้องกันการซึมผ่านของอากาศได้ และสามารถป้องกันการเสื่อมเสียที่เกิดจากจุลินทรีย์ได้ อีกทั้งต้องเลือกใช้บรรจุภัณฑ์พลาสติกให้เหมาะสมของอาหาร โดยอาศัยสมบัติของพลาสติกเช่น อัตราการซึมผ่านของก๊าซและอัตราการซึมผ่านของความชื้น เป็นต้น (ปุ่น คงเจริญเกียรติ และ สมพร คงเจริญเกียรติ, 2541)

ภัทรพร รัชญาวิชกุล (2540) ศึกษาผลของบรรจุภัณฑ์ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพข้าวสาร ในบรรจุภัณฑ์พลาสติก 4 ชนิด คือพลาสติกแบบสาน ถุงพอลิเอทิลีน ถุงไนลอน และถุงพอยส์ ขนาดบรรจุ 2 กิโลกรัมต่อถุง นาน 6 เดือน พบว่าความขาวของข้าวสาร ปริมาณ โปรตีน ไขมัน เถ้า และอะไมโลส ไม่เปลี่ยนแปลงในบรรจุภัณฑ์พลาสติกทุกชนิด และเมื่อทดสอบทางประสาทสัมผัสของข้าวสุก พบว่าบรรจุภัณฑ์พลาสติกแบบสานจะเกิดกลิ่นสาบมากที่สุด ( $p < 0.05$ ) เนื่องจากบรรจุภัณฑ์ชนิดดังกล่าวจะทำให้ปริมาณก๊าซออกซิเจนซึมผ่านเข้ามาในบรรจุภัณฑ์ได้ใน

ระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งก๊าซออกซิเจนถือเป็นตัวเร่งในการเกิดออกซิเดชันของไขมันในข้าวที่จะส่งผลทำให้เกิดกลิ่นหืน (นิธิยา รัตนปนนท์, 2541)

#### 4. เอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส

##### 4.1. ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส

แอลฟา-อะไมเลส มีชื่อเรียกตามระบบว่า  $\alpha$ -1, 4-Glucanohydrolase (EC 3.2.1.1) มีชื่อสามัญว่า ไดเอสเทส (Diastase) ซึ่งจัดเป็น Extracellular enzyme คือเอนไซม์ที่ผลิตขึ้นภายในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตแล้วถูกขับออกมานอกเซลล์ ซึ่งมีมวลโมเลกุลประมาณ 50 กิโลดาลตัน แหล่งของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสจะพบในพืช ได้แก่ในข้าวบาร์เลย์ ข้าวสาลี และข้าวเจ้า เป็นต้น ในสัตว์ ได้แก่ น้ำลายและตับอ่อน และจุลินทรีย์ ได้แก่ *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens*, *B. stearotherophilus*, *B. licheniformis*, *A. oryzae*, *A. candidus* และ *Pseudomonas sacharophila* เป็นต้น เอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสจัดเป็นเอนไซม์ที่ทำงานโดยการย่อยแบบสุ่มภายในโมเลกุล (Endo-enzyme) ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยได้แก่ กลูโคสและสารโมเลกุลต่ำของโอลิโกแซคคาไรด์ เช่น มอลโตสถึงมอลโตเฮกซาออส ทั้งนี้เอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสจะไม่สามารถย่อยพันธะแอลฟา-1, 6 ไกลโคซิดิก ( $\alpha$ -1, 6 Glycosidic linkage) ที่ตำแหน่งกิ่งก้านของแป้งได้ โดยทั่วไปเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสจะมีความคงตัวที่ระดับความเป็นกรด-ด่างในช่วง 5.5-8.0 และจะสูญเสียประสิทธิภาพการทำงานอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิมากกว่า 50 องศาเซลเซียส (Naz, 2002) ทั้งนี้ค่าความเป็นกรด-ด่างและอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อกิจกรรมของเอนไซม์จะขึ้นกับแหล่งที่มาเช่น เอนไซม์จาก *B. subtilis* ความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมคือ 6.0-6.5 และอุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 80-85 องศาเซลเซียส เอนไซม์จาก *B. licheniformis* ความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมคือ 6.0-6.5 และอุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 85-90 องศาเซลเซียส และเอนไซม์จาก *A. oryzae* ความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมคือ 5.0 และอุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 55-60 องศาเซลเซียส (อรพิน ภูมิภมร และ ประเสริฐ อธิศิวกุล, 2535)

##### 4.2. กลไกการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส

กลไกการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส จะย่อยพันธะแอลฟา-1, 4 ของสตาร์ชแบบสุ่มภายในโมเลกุล โดยช่วงแรกการย่อยจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและเป็นแบบสุ่ม ต่อมาการย่อยจะช้าลงและมีความจำเพาะเจาะจงต่อการย่อยมากขึ้น โดยที่เอนไซม์นี้มีแนวโน้มที่จะย่อยแซคคาไรด์ชนิดสายยาวมากกว่าสายสั้น (Reilly, 1985) หรือมักจะย่อยพันธะแอลฟา-1, 4 ที่อยู่บริเวณใกล้ปลายรีดิวซ์ของโอลิโกแซคคาไรด์ ทั้งนี้กลไกการย่อยของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส เชื่อว่าเป็นกลไกแบบกรด-ด่าง (Acid-base mechanism) ซึ่งมีคาร์บอกซิเลตที่มีประจุลบ (Carboxylate anion) มีคุณสมบัติเป็นสารชอบนิวเคลียส (Nucleophiles) และอิมิดาโซเลียมที่มีประจุบวก (Imidazolium

cation) ที่มีคุณสมบัติเป็นสารชอบอิเล็กตรอน (Electrophiles) ปฏิกริยาเกิดเมื่อคาร์บอนซิเลทที่มีประจุลบเข้าทำปฏิกิริยาที่พันธะแอลฟา-1, 4-ไกลโคซิดิก เกิดเป็นสารประกอบที่ไม่คงตัวเรียกว่า อะซีตัลเอสเทอร์ (Acetal-ester intermediate) หลังจากนั้นจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสให้ผลิตภัณฑ์ที่เสถียร เช่น น้ำตาลกลูโคส น้ำตาลมอลโทส และเด็คซ์ทรินที่มีหน่วยกลูโคสประมาณ 2-6 หน่วย (Naz, 2002; Apar and Ozbek, 2005; Wong, 1995)

#### 4.3. ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส

##### 4.3.1. ชนิดและความเข้มข้นของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส

เอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสสามารถผลิตได้จากหลายแหล่งเช่น จากพืช สัตว์ และจุลินทรีย์ ทั้งนี้แหล่งที่มาของเอนไซม์จะมีผลต่อสมบัติและรูปแบบการทำงานของเอนไซม์ โดยเอนไซม์ที่ได้จากแบคทีเรียและเชื้อราบางชนิดสามารถทนอุณหภูมิสูงได้เป็นเวลานานกว่าเอนไซม์ที่มาจากแหล่งอื่นเช่น เอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสจาก *B. sterothermophilus* ซึ่งสามารถทนต่อความร้อนสูงได้นาน ซึ่งประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์มีค่าสูงถึงร้อยละ 70 ของสภาวะปกติ (Godfrey and Reichelt, 1983) นอกจากนี้ความเข้มข้นของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสที่ใช้จะต้องมีความเหมาะสมกับความเข้มข้นของน้ำแป้ง ซึ่งถ้าความเข้มข้นของเอนไซม์ต่ำ ในขณะที่ความเข้มข้นของน้ำแป้งสูง จะส่งผลให้อัตราการย่อยต่ำ ใช้เวลาในการย่อยนาน อีกทั้งส่งผลให้การย่อยแป้งอาจไม่สมบูรณ์ แต่ถ้าหากใช้ความเข้มข้นของเอนไซม์มากเกินไปจะส่งผลต่อค่าใช้จ่ายที่สูงในกระบวนการผลิตและอาจเกิดกลิ่นของเอนไซม์ในผลิตภัณฑ์ได้ (Yankov *et al.*, 1986)

อรพิน ภูมิภมร และ ประเสริฐ อธิศิวกุล (2535) ศึกษาผลของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสทางการค้า 4 ชนิด ต่อค่าสมมูลเด็คซ์โทรส (Dextrose equivalent; DE) ของสารละลายจากแป้งข้าวเจ้า โดยนำสารละลายแป้งที่มีความเข้มข้นร้อยละ 20 มาเติมเอนไซม์ทางการค้า 4 ชนิดคือ Termamyl (เอนไซม์ที่ผลิตจาก *B. licheniformis*) ร้อยละ 0.1 ที่สภาวะความเป็นกรด-ด่างในช่วง 6.0-6.5 และกำหนดอุณหภูมิในช่วง 85-90 องศาเซลเซียส, BAN 240L (เอนไซม์ที่ผลิตจาก *B. subtilis*) ร้อยละ 0.1 ที่สภาวะความเป็นกรด-ด่างในช่วง 6.0-6.5 ที่อุณหภูมิ 80-85 องศาเซลเซียส, Fungamyl (เอนไซม์ที่ผลิตจาก *A. oryzae*) ร้อยละ 0.1 ที่สภาวะความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 5 ที่อุณหภูมิเท่ากับ 55-60 องศาเซลเซียส และ  $\alpha$ -Amylase IV (เอนไซม์ที่ผลิตจาก *A. niger*) 80 มิลลิลิตรต่อแป้ง 400 กรัม ที่สภาวะความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 6 ที่อุณหภูมิเท่ากับ 55 องศาเซลเซียส โดยทุกสภาวะการทดลองจะบ่มนาน 120 นาที พบว่าการใช้เอนไซม์ Termamyl จะให้ค่าสมมูลเด็คซ์โทรสของสารละลายจากแป้งข้าวเจ้าสูงสุดคือเท่ากับ 23.1 ในขณะที่การใช้เอนไซม์ Fungamyl จะให้ค่าสมมูลเด็คซ์โทรสของสารละลายจากแป้งข้าวเจ้าต่ำสุดคือเท่ากับ 8.8

ฉัตรแก้ว วิรูปตรี (2550) ศึกษาผลของความเข้มข้นของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวิซ์และปริมาณร้อยละของของแข็งทั้งหมดของสารละลายน้ำแป้ง โดยนำแป้งข้าวกล้องหอมมะลิ 100 กรัมผสมน้ำกลั่น 370 มิลลิลิตร และเติมแคลเซียมคลอไรด์ 200 ส่วนในล้านส่วน ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้อยู่ในช่วง 6.5-7.0 ด้วย 0.5 นอร์มอล โซเดียมไฮดรอกไซด์ เติมเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสที่ 4 ระดับความเข้มข้น คือร้อยละ 0.025, 0.05, 0.075 และ 0.1 จากนั้นปิดภาชนะด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ และย่อยในอ่างน้ำร้อนควบคุมอุณหภูมิที่ 75 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 นาที พบว่าเมื่อระดับความเข้มข้นของเอนไซม์เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวิซ์และปริมาณร้อยละของของแข็งทั้งหมดเพิ่มขึ้น ( $p < 0.05$ )

#### 4.3.2. ชนิดและความเข้มข้นของน้ำแป้ง

แป้งในแต่ละชนิดจากข้าวโพด ข้าวโพดข้าวเหนียว ข้าวเจ้า มันสำปะหลัง มันฝรั่ง และข้าวโอ๊ต ซึ่งมีขนาด รูปร่าง องค์ประกอบทางเคมี อุณหภูมิในการเกิดเจลลาติไนเซชัน และค่ากำลังการพองตัวที่แตกต่างกัน (Swelling power) จะส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์ต่างกัน ดังนั้นทำให้ระดับการย่อยมีความแตกต่างกัน (Sukoncheun, 1994) นอกจากนี้ความเข้มข้นของสับเตรทจะมีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ อัตราเร็วของปฏิกิริยาการทำงานของเอนไซม์ในช่วงแรก จะขึ้นกับปริมาณสับเตรท ซึ่งจะเกิดการรวมตัวกันระหว่างโมเลกุลของสับเตรทกับเอนไซม์ เป็นเอนไซม์-สับเตรทคอมเพล็กซ์ จนกระทั่งเอนไซม์จับกับสับเตรทจนหมดหรือไม่มีบริเวณเร่งตรงโมเลกุลของเอนไซม์และสุดท้ายเมื่อเพิ่มปริมาณสับเตรทจะไม่มีผลต่ออัตราเร็วของปฏิกิริยาอีก (Morgan, 1994)

Orapin และ Prasert (1992) ศึกษาชนิดของน้ำแป้งต่อค่าสมมูลเดกซ์โทรสในการผลิตมอลโทเดกซ์ทริน โดยนำแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้าที่มีความเข้มข้นร้อยละ 30 มาเติมเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.05 พบว่าการย่อยของแป้งข้าวเจ้าใช้เวลานานกว่าการย่อยแป้งมันสำปะหลังที่จะให้ค่าสมมูลเดกซ์โทรสในระดับเดียวกัน ทั้งนี้เพราะมันสำปะหลังมีค่าการพองตัวสูงกว่าแป้งข้าวเจ้า ซึ่งลักษณะการพองตัวของแป้งนั้นจะทำให้เอนไซม์สามารถสัมผัสกับโมเลกุลของแป้งได้มากขึ้น นอกจากนี้ความเข้มข้นของน้ำแป้งจะมีผลต่อการทำงานของเอนไซม์เช่นเดียวกัน โดยการใช้น้ำแป้งที่มีความเข้มข้นสูงเกินไป ทำให้ตัวอย่างมีความหนืดสูงจนอาจจะส่งผลให้เกิดปัญหาในการผสมของน้ำแป้งกับเอนไซม์ อีกทั้งทำให้การทำงานของเอนไซม์ลดต่ำลงเนื่องจากเอนไซม์จะสัมผัสกับแป้งได้ไม่ทั่วถึงจึงทำให้อัตราการย่อยสลายแป้งต่ำลง (Komolprasert and Ofoli, 1991)

#### 4.3.3. อุณหภูมิและระยะเวลาในการย่อย

อุณหภูมิและระยะเวลาในการย่อยถือเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ อุณหภูมิจะมีอิทธิพลต่อการทำงานของเอนไซม์ คือเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะส่งผลให้อัตราเร็วของปฏิกิริยาที่เร่งในการทำงานของเอนไซม์เพิ่มขึ้น และเมื่ออุณหภูมิสูงจนถึงจุดๆ หนึ่งที่เอนไซม์สามารถทำงานได้ดีที่สุดเรียกว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำงานของเอนไซม์ (Optimum temperature) แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจากจุดดังกล่าวนี้ อัตราเร็วของปฏิกิริยาของเอนไซม์จะเริ่มลดลงตามลำดับ เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงเกินไปจะทำให้ลายโครงสร้างของเอนไซม์ซึ่งเป็นโปรตีนให้เกิดการสูญเสียสภาพทางธรรมชาติ นอกจากนี้ระยะเวลาในการย่อยก็จะมีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ โดยระยะเวลาในการย่อยเพิ่มขึ้น การทำงานของเอนไซม์ที่จะย่อยสลายสัสมก็จะเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยเพิ่มขึ้นเช่นกัน (นิธิยา รัตนานนท์, 2549)

พรรวิวิท ไชยคา (2554) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส ในการสกัดน้ำนมข้าวเหนียวดำ โดยใช้อัตราส่วนข้าวเหนียวดำต่อน้ำเท่ากับ 1:5 ที่ระยะเวลาแช่ 2 ชั่วโมง โดยใช้เอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสเข้มข้นร้อยละ 0.2 ที่ความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 6.5 เป็นระยะเวลานาน 30, 60 และ 120 นาที และอุณหภูมิ 60, 80 และ 90 องศาเซลเซียส พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำนมข้าวเหนียวดำจะใช้อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และระยะเวลานาน 60 นาที ส่งผลให้มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดสูงที่สุด ( $p < 0.05$ ) มีค่าเท่ากับ 98.90 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ร้อยละ 15.90 และ 22.93 องศาบริกซ์ตามลำดับ

#### 4.3.4. ค่าความเป็นกรด-ด่าง

การทำงานของเอนไซม์จะขึ้นกับความความเป็นกรด-ด่าง เนื่องจากเอนไซม์เป็นโปรตีน ความเป็นกรด-ด่างของเอนไซม์จะมีผลต่อประจุที่เกิดขึ้นบนโมเลกุลของโปรตีน โดยเฉพาะบริเวณเร่งซึ่งเป็นตำแหน่งที่สับสเตรตจะต้องเข้าทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ อีกทั้งถ้าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายสูงหรือต่ำกว่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมของเอนไซม์ จะทำให้ความเร็วของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นช้าลง ดังนั้นความเร็วของปฏิกิริยาจะเปลี่ยนแปลงไปตามค่าความเป็นกรด-ด่าง (Totoro, 1991) สำหรับเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส มีค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ในช่วง 5.5-8.0 (Fogarty, 1983)

### 5. เครื่องคั้นผง

เครื่องคั้น หมายถึง ผลิตภัณฑ์อาหารที่จัดเตรียมไว้สำหรับคั้น โดยจะมีน้ำเป็นองค์ประกอบหลัก บางชนิดก็จะให้คุณค่าทางโภชนาการ บางประเภทก็จะไปกระตุ้นระบบประสาท และบางประเภทก็ใช้คั้นเพื่อดับกระหาย (Varnam and Sutherland, 1994) ปัจจุบันได้มีการพัฒนาเครื่องคั้นให้มีความ

หลากหลายชนิดและรูปแบบ เช่น การผลิตเครื่องดื่มให้อยู่ในรูปของเครื่องดื่มผง เป็นต้น เครื่องดื่มผงคือการนำเอาเครื่องดื่มหรือของเหลวมาผ่านกระบวนการอบแห้ง ซึ่งการผลิตเครื่องดื่มผง ทำได้โดยนำเอาวัตถุดิบ มาผ่านกระบวนการทำให้เป็นของเหลวก่อน จากนั้นนำไปทำแห้งโดยเครื่องอบแห้ง ซึ่งการผลิตเครื่องดื่มผงได้รับความสนใจมากขึ้น เนื่องจากเครื่องดื่มผงเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความขึ้นตำไม่เกินร้อยละ 5 ละลายน้ำดี สามารถเก็บไว้ได้นานที่อุณหภูมิห้องและสะดวกต่อการขนส่ง อีกทั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ไม่สามารถเกิดขึ้นได้ (Benion and Scheule, 2004) ปัจจุบันการผลิตเครื่องดื่มผงมีความนิยมกันอย่างแพร่หลาย สามารถแยกประเภทได้ตามกรรมวิธีการผลิตได้ 3 แบบ (ไพโรจน์ วิริยาริ, 2535) คือ

### 1. เครื่องดื่มแช่ผง

เป็นเครื่องดื่มที่ผลิตจากการสกัดน้ำจากวัตถุดิบที่ต้องการ นำมาเข้าเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย เพื่อลดอาหารให้เป็นฝอย และกระทบกันกับความร้อนทำให้แห้งและเป็นผง ต่อมาได้มีการพัฒนาไปใช้เครื่องอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze dryer) โดยนำวัตถุดิบที่ต้องการอบแห้ง มาแช่แข็ง แล้วอบภายใต้สภาวะสุญญากาศ เพื่อทำให้น้ำแข็งในตัวอย่างระเหิดกลายเป็นไอ จึงทำให้ส่วนที่เป็นของแข็งยังมีลักษณะเดิม ดังนั้นลักษณะผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งจะมีลักษณะเป็นรูพรุน จึงทำให้คืนรูปได้ง่าย และเพิ่มคุณภาพการละลายได้มากขึ้น เช่น การผลิตนมผง กาแฟผง และน้ำผลไม้ผง เป็นต้น แต่วิธีดังกล่าวนี้มีการลงทุนค่อนข้างสูง (ไพโรจน์ วิริยาริ, 2535)

### 2. เครื่องดื่มผงคัดแปลงหรือเครื่องดื่มกึ่งแช่ผง

เป็นเครื่องดื่มที่ผลิตจากการเคลือบสารให้กลิ่นรสลงในสารที่เป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งนิยมใช้แป้งหรือนมผงเป็นสารเคลือบกลิ่นรส ซึ่งสารที่จะนำมาเคลือบเพื่อให้กลิ่นรสนี้ อาจเป็นสารสังเคราะห์หรือเป็นสารสกัดที่ได้จากธรรมชาติ ซึ่งการเคลือบสารให้กลิ่นรสบนส่วนประกอบหลักทำได้โดยการฉีดสารเคลือบลงบนส่วนประกอบหลัก เพื่อให้เกิดการดูดซับกลิ่นรสนั้นไว้ แล้วจึงนำไปอบแห้ง ซึ่งในขั้นตอนการเคลือบนี้จะต้องเคลือบจนกว่าจะได้กลิ่นรสของเครื่องดื่มตรงตามความต้องการ นอกจากนี้ อาจมีการผสมสารให้กลิ่นรสเข้าไปโดยตรง โดยนำตัวอย่างมาผสมกับองค์ประกอบอื่น เพื่อผลิตเป็นเครื่องดื่มผงตรงตามความต้องการ เช่น การผลิตเค้กชวยผงและการผลิตเครื่องดื่มขิงผง (ไพโรจน์ วิริยาริ, 2535)

### 3. เครื่องดื่มผงอัดก๊าซ

เป็นเครื่องดื่มที่ผลิตเลียนแบบเครื่องดื่มอัดลม แต่ผลิตให้อยู่ในรูปแบบของผง ซึ่งเป็นเครื่องดื่มที่มีสารโซเดียมไบคาร์บอเนตเป็นส่วนประกอบ เมื่อนำไปละลายน้ำ สารนี้จะทำปฏิกิริยากับกรด แล้วสลายตัวแล้วเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และทำให้ให้รู้สึกซ่า (ไพโรจน์ วิริยาริ, 2535)

### 5.1. คุณภาพของเครื่องต้มผง

คุณภาพของเครื่องต้มผงที่ดีนั้นจะต้องมีความสามารถในการละลายน้ำดี จมน้ำเร็ว มีผิวสัมผัสกับน้ำได้ดี และเกิดการกระจายตัวในของเหลวได้ง่ายไม่รวมตัวเป็นก้อนใหญ่ (ไพโรจน์ วิริยจารี, 2535) โดยโครงสร้างภายในของเครื่องต้มผง จะต้องมีความพรุนที่จะทำให้เกิดการสัมผัสกับน้ำแล้วเกิดการละลายขึ้น (Fazaeli *et al.*, 2012) ทั้งนี้การผลิตเครื่องต้มผงให้มีคุณภาพดีนั้นจะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น คุณภาพวัตถุดิบเริ่มต้น อุณหภูมิในการอบแห้ง สารเติมแต่งเพื่อช่วยในการอบแห้ง และวิธีการอบแห้ง เป็นต้น (Papadakis *et al.*, 2006; Goula and Adamopoulos, 2008; Tonon *et al.*, 2008) ปัจจุบันการผลิตเครื่องต้มผงได้มีการใช้กระบวนการอบแห้งหลายกระบวนการ เช่นการอบแห้งแบบลูกกลิ้ง (Drum dryer) และการอบแห้งแบบพ่นฝอย (Spray dryer) เป็นต้น แต่กระบวนการอบแห้งแบบลูกกลิ้งจะทำให้คุณภาพผงที่ได้มีคุณภาพด้านการละลายต่ำ เนื่องจากกระบวนการนี้เป็นกระบวนการอบแห้งที่ตัวอย่างจะสัมผัสกับความร้อนโดยตรง จึงทำให้ผิวหน้าของตัวอย่างเกิดการเสียดสีสภาพจึงส่งผลให้ผงที่ได้มีคุณภาพต่ำ จึงทำให้การผลิตเครื่องต้มผงนิยมใช้กระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอย เพราะทำให้ผงที่ได้มีคุณภาพด้านการละลายดี ซึ่งคุณภาพดังกล่าวนี้เป็นปัจจัยสำคัญที่ใช้ในการพิจารณาถึงลักษณะที่ดีของเครื่องต้มผง (วิไล รังสาดทอง, 2545; ไพโรจน์ วิริยจารี, 2535)

## 6. กระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอย

### 6.1. หลักการและกลไกกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอย

การทำแห้ง เป็นการกำจัดเอาน้ำซึ่งเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ที่มีอยู่ในอาหาร ด้วยการระเหยซึ่งเป็นวิธีหนึ่งที่ใช้กันมากในการถนอมอาหารให้มีอายุการเก็บที่ยาวนานยิ่งขึ้น สะดวกต่อการเก็บรักษา และการขนส่ง กรรมวิธีการทำแห้งมีหลายแบบ เช่นการใช้แสงแดด ลม หรือการใช้ตู้อบ ปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีการทำแห้งจนสามารถเอาอาหารแห้งกลับมาคืนรูปแล้วได้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ใกล้เคียงกับอาหารสด อีกทั้งอาหารที่เก็บรักษาด้วยการทำแห้งจึงมีอยู่อย่างแพร่หลาย การทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นการแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารหรือวัสดุที่มีลักษณะเป็นของเหลว ให้เป็นผงแห้ง สารละลายที่เป็นของเหลวจะถูกดูดโดยปั๊ม ผ่านอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดละอองฝอย ภายในห้องอบและละอองฝอยจะสัมผัสกับอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 150-300 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดการระเหยของน้ำอย่างรวดเร็วกลายเป็นอนุภาคผงแห้งซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10-200 ไมโครเมตร (Fellows, 2000) ผลิตภัณฑ์สุดท้ายจะมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 5 (Benion and Scheule, 2004; มาตรฐานอาหารผงตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข, 2545; มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, 2558) ทำให้สามารถเก็บไว้ได้นานและสะดวกต่อการเก็บรักษา

## 6.2. กระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอย

อาหารหรือตัวอย่างที่จะถูกนำมาทำแห้งแบบพ่นฝอยนั้นจะต้องเป็นของเหลวที่ละลายเป็นเนื้อเดียวกันทั้งหมด มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดร้อยละ 10 ขึ้นไป อีกทั้งอนุภาคของแข็งที่ละลายอยู่ในของเหลวมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 10-200 ไมโครเมตร (Fellows, 2000) สำหรับขั้นตอนในการอบแห้งแบบพ่นฝอยประกอบด้วย 4 ขั้นตอน (Masters, 1991) ดังนี้

6.2.1. การฉีดของเหลวเป็นละอองฝอย (Atomization of feed into a spray) ในขั้นตอนนี้ของเหลวจะถูกฉีดเป็นละอองฝอยโดยหัวฉีด (Atomizer) โดยขนาดของอนุภาคที่ได้จะขึ้นกับลักษณะในการป้อนและชนิดของหัวฉีดที่ใช้ ขั้นตอนนี้สำคัญที่สุดในการผลิตเนื่องจากมีผลต่อการระเหยน้ำ ส่งผลให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีพื้นที่ผิวของอนุภาคที่แตกต่างกัน หัวฉีดจะมี 3 ชนิดคือ

### 6.2.1.1. หัวฉีดแบบจานหมุน (Rotary atomizer)

หัวฉีดชนิดนี้อาหารเหลวจะไหลลงบนจานหมุนใกล้กับจุดศูนย์กลาง โดยจานหมุนจะมีความเร็วรอบประมาณ 5,000-10,000 รอบต่อนาที อาหารเหลวที่ป้อนเข้า (Feed) เมื่อตกลงบนจานหมุนจะถูกเหวี่ยงออกด้านข้างกระจายเป็นละอองขนาดเล็กประมาณ 30-120 ไมครอน ซึ่งขนาดเล็กละเอียดนี้จะแปรผันตรงกับอัตราการไหลของอาหารเหลวที่ป้อนเข้าและความหนืด แต่จะแปรผกผันกับอัตราการหมุนและเส้นผ่านศูนย์กลางของจานหมุน

### 6.2.1.2. หัวฉีดแบบใช้แรงอัดของของเหลว (Pressure nozzles atomizer)

หัวฉีดชนิดนี้จะป้อนอาหารเหลวโดยใช้แรงดันสูงอัดให้อาหารเหลวไหลผ่านช่องของหัวฉีด ทำให้อาหารเหลวที่ออกมาจากหัวฉีดกระจายเป็นละอองฝอยได้โดยไม่ต้องใช้อากาศ อนุภาคที่ได้จะมีขนาดเล็กละเอียดประมาณ 120-250 ไมครอน ซึ่งขนาดอนุภาคจะแปรผันตรงกับอัตราการไหลของอาหารที่ป้อนเข้าสู่หัวฉีดและความหนืด แต่จะแปรผกผันกับความดัน

### 6.2.1.3. หัวฉีดแบบใช้แรงอัดของอากาศ (Two-fluid nozzles atomizer)

หัวฉีดชนิดนี้จะป้อนอาหารเหลวและอากาศที่มีแรงอัดหรือแรงดันสูงไหลผ่านหัวฉีด ซึ่งทำให้อาหารเหลวที่ป้อนเข้ามาแตกเป็นละอองฝอย เนื่องจากการไหลผ่านของอากาศด้วยความเร็วสูงภายในหัวฉีด การปรับอัตราไหลของอากาศ ช่วยให้อาหารเหลวที่ไหลผ่านหัวฉีดกระจายเป็นละออง วิธีนี้จะนิยมใช้กับอาหารที่มีความหนืดสูง แต่จะได้ผลผลิตค่อนข้างต่ำ

## 6.2.2. การสัมผัสระหว่างของเหลวกับลมร้อน (Spray-air contact)

ของเหลวที่ถูกพ่นละอองฝอยจะสัมผัสกับลมร้อน ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวกลาง ทำให้น้ำระเหยออกจากของเหลว ซึ่งการกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศร้อนเป็นสิ่งสำคัญมาก เนื่องจากมีผลต่อการถ่ายเทความร้อน ทั้งนี้ขึ้นกับลักษณะของของเหลวหรืออาหารที่ต้องการ



ทำแห้ง คุณภาพและลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ สำหรับรูปแบบของการสัมผัสกันระหว่างของเหลวและลมร้อนประกอบด้วย

#### 6.2.2.1. การไหลทางเดียวกัน (Co-current flow)

ทิศทางการฉีดอาหารเหลวเป็นทิศทางเดียวกันกับการไหลของลมร้อน ละอองฝอยของอาหารเหลวจะสัมผัสและผสมเข้ากับลมร้อน ขณะที่ละอองฝอยของอาหารถูกพ่นออกมาจากหัวฉีดยังมีความชื้นสูงหรือมีน้ำภายในอนุภาคมากอยู่ หลังจากสัมผัสกับลมร้อนละอองฝอยของอาหารเหลวจะถูกทำให้ระเหยทันทีจนกลายเป็นผงแห้ง วิธีนี้การทำแห้งของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยทั่วไป

#### 6.2.2.2. การไหลผ่านสวนทางกัน (Counter-current flow)

ทิศทางการฉีดอาหารเหลวเป็นทิศทางตรงกันข้ามกับการไหลของอากาศร้อน โดยละอองฝอยของอาหารเหลวจะถูกฉีดลงมาทางด้านบน ในขณะที่อากาศร้อนจะไหลขึ้นจากด้านล่าง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะสัมผัสกับลมร้อนสูงมาก วิธีนี้จึงเหมาะเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่เสถียรต่อความร้อนสูงเท่านั้น

#### 6.2.2.3. การไหลผ่านแบบผสม (Mixed flow)

การไหลของอาหารเหลวจะเคลื่อนที่ผ่านอากาศร้อนทั้งแบบการไหลผ่านทางเดียวและการไหลผ่านแบบสวนทางกัน วิธีนี้เหมาะสำหรับทำแห้งผลิตภัณฑ์ที่เป็นผงหยาบ และทนความร้อนสูงมาก

#### 6.2.3. ช่วงการระเหย (Evaporation stage)

การระเหยของน้ำออกจากอนุภาคของเหลวที่ถูกพ่นฝอยจะมีการถ่ายเทความร้อนและมวลสาร การระเหยของน้ำเกิดขึ้นในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (Constant-rate period) ซึ่งกระบวนการนี้เป็นการทำให้อนุภาคร้อนขึ้นหรือมีอุณหภูมิสูงขึ้นจากการนำความร้อนและการพาความร้อน ซึ่งเกิดขึ้นที่ผิวของอนุภาคและเปลี่ยนแปลงไปอยู่ในรูปความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ จากนั้นไอน้ำจะถูกถ่ายเทมวลให้อากาศร้อนโดยการแพร่ (Diffusion) และการพา (Convection) ออกจากผิวหน้าของอนุภาคไปกับความร้อน อัตราการระเหยน้ำจะขึ้นกับอุณหภูมิของอากาศร้อน คุณสมบัติในการถ่ายเทของอากาศ ขนาดอนุภาค ความเร็วลมของลมร้อน และองค์ประกอบของแข็งในอนุภาค การทำแห้งวิธีนี้จะใช้เวลาสั้นเนื่องจากมีพื้นที่ผิวของอนุภาคที่มากจึงเกิดการระเหยน้ำได้อย่างรวดเร็ว (Masters, 1991)

#### 6.2.4. การแยกอาหารผงจากระบบทำแห้ง (Dry product recovery)

อาหารผงที่ได้จะตกลงสู่พื้นล่างของภาชนะทำแห้ง เนื่องจากอนุภาคดังกล่าวจะมีน้ำหนักเบาและจะถูกดูดออกไปโดยแรงจากพัดลม (Blower) ส่งออกมาตามท่อลมออก ผง

อาหารแห้งนี้ สามารถแยกออกจากลมร้อนด้วยระบบไซโคลน (Cyclone separator) ซึ่งสามารถแยกเอาอากาศกับอนุภาคของแข็งออกจากกันได้โดยอาศัยแรงเหวี่ยงและการถ่ายเทโมเมนตัม ข้อดีของวิธีการนี้คือ มีการสูญเสียผลิตภัณฑ์น้อย การปนเปื้อนจากอากาศภายนอกมีน้อยสามารถใช้ได้ดีทุกๆ อุณหภูมิ และมีต้นทุนในการดูแลรักษาต่ำ (Masters, 1991)

### 6.3. ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อบแห้งแบบพ่นฝอย

#### 6.3.1. องค์ประกอบของอาหาร

อาหารที่มีองค์ประกอบของน้ำตาลเช่น น้ำผลไม้ น้ำผึ้ง หรืออนุพันธ์ของน้ำตาลบางชนิด เช่น กลูโคสไซรัป จะนำมาผ่านกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยได้ยาก เนื่องจากน้ำตาลส่วนใหญ่เช่น กลูโคส ซูโครส และฟรักโทส จะมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ซึ่งจะมีอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature;  $T_g$ ) ที่ต่ำด้วย โดยมีค่าเท่ากับ 31, 62 และ 5 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ในกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยซึ่งเป็นกระบวนการผลิตที่ใช้อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วมาก ผลิตภัณฑ์เหล่านี้จึงเกิดการเหนียวและการเกาะติดได้ง่ายเนื่องจากผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วต่ำ (Bhandari *et al.*, 1997)

#### 6.3.2. ความเข้มข้นของมอลโทเด็กซ์ทริน

มอลโทเด็กซ์ทรินคือ สตาร์ชที่ผ่านการไฮโดรลิซิสบางส่วนด้วยกรด หรือ เอนไซม์ ที่มีค่า Dextrose equivalent (DE) น้อยกว่า 20 โดยปกติมอลโทเด็กซ์ทรินมีค่า DE น้อยกว่า 20 ซึ่งค่า DE ที่แตกต่างกัน จะส่งผลให้มีสมบัติทางเคมีกายภาพแตกต่างกัน เช่น ความสามารถในการละลาย อุณหภูมิเยือกแข็งและความหนืด อย่างไรก็ตามมอลโทเด็กซ์ทรินที่มีค่า DE เหมือนกันอาจจะมีสมบัติต่างกันก็ได้ขึ้นอยู่กับกระบวนการไฮโดรไลซิส นอกจากนี้ยังขึ้นกับแหล่งของสตาร์ช เช่น ข้าวโพด มันฝรั่ง และข้าว รวมถึงอัตราส่วนของอะไมโลสต่ออะไมโลเพกทิน (Klinkesorn *et al.*, 2004) การเติมมอลโทเด็กซ์ทรินในสารละลายก่อนการอบแห้งแบบพ่นฝอย จะช่วยลดการเหนียวติดพื้นผิวของเครื่องมือหรือเกาะกันเป็นก้อนกลม ดังนั้นมอลโทเด็กซ์ทรินจึงมักใช้เป็นตัวช่วยในการทำให้แห้ง นอกจากนี้มอลโทเด็กซ์ทรินยังเป็นตัวห่อหุ้มที่สามารถกักเก็บและป้องกันสารที่มีความไวต่อความร้อนได้ อีกทั้งทำให้อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของตัวอย่างเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งช่วยให้ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มีคุณภาพดีและลดการติดของผลิตภัณฑ์ผงในระหว่างการอบแห้งแบบพ่นฝอยได้ (Carolina *et al.*, 2007) เนื่องจากมอลโทเด็กซ์ทรินจะมีความสามารถในการก่อฟิล์มได้เร็วหรือมีสมบัติในการห่อหุ้มสารได้ดี และทำให้ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้หลังการอบแห้งจะมีความชื้นต่ำมีความสามารถในการกระจายตัวที่ดี อีกทั้งทำให้ผลิตภัณฑ์ผงมีอุณหภูมิในการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว ความสามารถในการละลายและขนาดอนุภาคเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความชื้นและความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ลดลง (Grabowski *et al.*, 2006; Goula *et al.*, 2008) เนื่องจากมอลโทเด็กซ์ทรินเป็น

สารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง จึงส่งผลให้อุณหภูมิในการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วสูงโดยมีค่าเท่ากับ 188 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ลักษณะความหนืดของอาหารจะมีผลต่อกระบวนการด้วยเช่นกัน โดยถ้าอาหารเหลวมีความหนืดสูง จะทำให้ละอองที่ได้มีขนาดอนุภาคที่ใหญ่ขึ้นและอาจส่งผลให้ของเหลวที่ฉีดออกมา มีลักษณะคล้ายเส้นด้าย ทั้งนี้ Fazaeli และคณะ (2012) ศึกษาผลของความเข้มข้นของมอลโทเด็กซ์ทรินต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์มัลเบอร์รี่ พบว่าเมื่อความเข้มข้นของมอลโทเด็กซ์ทรินเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความหนาแน่นของผลลดลง ( $p < 0.05$ ) เนื่องจากมอลโทเด็กซ์ทรินมีสมบัติในการละลายน้ำจึงส่งผลให้ผงที่ได้มีการละลายเพิ่มขึ้น (Cano-Chauca *et al.*, 2005; Grabowski *et al.*, 2006; Goula and Adamopoulos, 2010) อีกทั้งมอลโทเด็กซ์ทรินจะมีความสามารถในการก่อฟิล์มได้เร็วหรือมีสมบัติในการห่อหุ้มสารได้ดี จึงทำให้ปริมาตรของผงที่ได้เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความหนาแน่นลดลง สอดคล้องกันกับ Tonon และคณะ (2008) ที่รายงานว่าเมื่อความเข้มข้นของมอลโทเด็กซ์ทรินเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นของผลลดลง ( $p < 0.05$ ) เนื่องจากการเติมมอลโทเด็กซ์ทริน ทำให้ตัวอย่างเกิดความหนืดเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ในระหว่างขั้นตอนการฉีดของเหลวเป็นละอองฝอย (Atomization) เกิดการฟอรัมของอนุภาคผงที่มีขนาดใหญ่ ทำให้ลักษณะอนุภาคใหญ่มากขึ้น ความหนาแน่นจึงลดลง (Jinapong *et al.*, 2008)

### 6.3.3. อุณหภูมิของลมร้อนในการอบแห้ง

อุณหภูมิของลมร้อนในการอบแห้งทั้งขาเข้า (Inlet temperature) และขาออก (Outlet temperature) มีผลต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์ เมื่ออุณหภูมิขาเข้าเพิ่มขึ้น จะทำให้ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มีความชื้น และความหนาแน่นลดลง ในขณะที่ความสามารถในการละลาย อุณหภูมิในการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วและขนาดอนุภาคเพิ่มขึ้น (Chegini and Ghobadian, 2005; Grabowski *et al.*, 2006) เนื่องจากอุณหภูมิลมขาเข้าเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้เกิดการระเหยน้ำออกไปได้อย่างรวดเร็วทำให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลง อีกทั้งยังทำให้เกิดการขยายตัวของอนุภาคของตัวอย่างที่จะส่งผลให้เกิดการขยายตัวของเส้นผ่านศูนย์กลาง ทำให้ขนาดอนุภาคเพิ่มขึ้น และจะทำให้ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ลดลง ในขณะที่อุณหภูมิลมร้อนขาออกจะส่งผลต่อปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ โดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนขาออกให้สูงขึ้นมีผลให้ปริมาณความชื้นที่เหลือน้อยลง ดังนั้นการกำหนดอุณหภูมิลมร้อนขาออกจะขึ้นกับปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นสำคัญ ปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์สุดท้ายจะส่งผลต่อคุณภาพในด้านต่างๆ เช่น การละลาย ความหนาแน่นปรากฏ ขนาดอนุภาค และอายุการเก็บรักษา (Master, 1991; Boonyai and Indal, 2001)

Fazaeli และคณะ (2012) ศึกษาผลของอุณหภูมิของลมร้อนในการอบแห้งต่อคุณภาพของมัลเบอร์รี่ โดยนำมัลเบอร์รี่มาปั่น จากนั้นตัวอย่างจะถูกกรองด้วยระบบ Spiral ultrafiltration จนสุดท้ายปริมาณของแข็งทั้งหมดของน้ำมัลเบอร์รี่เท่ากับร้อยละ 16 แล้วนำตัวอย่างจะ

ผ่านกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอย ทั้งนี้กำหนดอุณหภูมิของลมร้อนเข้า 3 ระดับคือ 110, 130 และ 150 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิของอากาศขาออกเท่ากับ 80 องศาเซลเซียส จากนั้นผลิตภัณฑ์ผงจะถูกนำมาตรวจสอบคุณภาพพบว่า เมื่ออุณหภูมิของลมร้อนในการอบแห้งเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความชื้นและความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ลดลง ในขณะที่ความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิของลมร้อนในการอบแห้งสูง ระบบมีอัตราการทำแห้งสูงซึ่งส่งผลให้โครงสร้างมีรูพรุน (Porous) มากขึ้น และเกิดการหดตัว (Shrinkage) ของผงลดลง จึงทำให้ความหนาแน่นของผงลดลง ในขณะที่ความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้น

Grabowski และคณะ (2006) ศึกษาผลของการเติมมอลโทเด็กซ์ทริน ระดับความเข้มข้นของเอนไซม์อะไมเลส และอุณหภูมิของอากาศขาเข้าต่อการอบแห้งต่อคุณภาพของผงแป้งมันฝรั่ง (Sweet potato) โดยนำมันฝรั่งมาผ่านความร้อนจนถึงอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นเติมเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส 3 ระดับความเข้มข้นคือ 0, 3.75 และ 7.5 มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมตัวอย่าง เป็นระยะเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จากนั้นหยุดกิจกรรมของเอนไซม์ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที ต่อมานำตัวอย่างมาเติมมอลโทเด็กซ์ทริน 3 ระดับคือ ร้อยละ 0, 10 และ 20 แล้วนำมาผ่านกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอย โดยกำหนดให้อุณหภูมิเริ่มต้นของเหลวเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิของอากาศขาออกเท่ากับ 100 องศาเซลเซียส และกำหนดอุณหภูมิของอากาศขาเข้าในการอบแห้ง 3 ระดับคือ 150, 190 และ 220 องศาเซลเซียส จากนั้นผลิตภัณฑ์ผงจะถูกนำมาตรวจสอบคุณภาพพบว่า การเติมมอลโทเด็กซ์ทริน ปริมาณเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ค่าความสว่าง ( $L^*$ ) ของผงแป้งมันฝรั่งเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าสีแดง ( $a^*$ ) และค่าสีเหลือง ( $b^*$ ) ลดลง ส่วนความเข้มข้นของเอนไซม์และอุณหภูมิของลมร้อนในการอบแห้งจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าสีเพียงเล็กน้อย การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของลมร้อนในการอบแห้งและปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินจะทำให้ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ผงลดลง เนื่องจากการเติมมอลโทเด็กซ์ทริน มีผลให้ปริมาณของแข็งในระบบมีค่าเพิ่มขึ้นจึงส่งผลให้ปริมาณความชื้นในระบบมีค่าลดลง ในขณะที่ระดับความเข้มข้นของเอนไซม์ที่เพิ่มขึ้น ความชื้นของผลิตภัณฑ์ผงเพิ่มขึ้น ส่วนขนาดอนุภาคของผลิตภัณฑ์ผงลดลง เมื่อความเข้มข้นของเอนไซม์เพิ่มขึ้น ในขณะที่การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของลมร้อนในการอบแห้งและปริมาณมอลโทเด็กซ์ทริน จะส่งผลให้ขนาดอนุภาคของผลิตภัณฑ์ผงเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ผงเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณของมอลโทเด็กซ์ทรินเพิ่มขึ้น ในขณะที่อุณหภูมิของลมร้อนในการอบแห้งและความเข้มข้นของเอนไซม์ลดลง นอกจากนี้การเติมมอลโทเด็กซ์ทรินและการใช้อุณหภูมิอากาศขาเข้าเพิ่มขึ้น จะทำให้อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความเข้มข้นของเอนไซม์ลดลง

## 7. การทดสอบความชอบและการยอมรับของผู้บริโภค

การทดสอบความชอบและการยอมรับของผู้บริโภค เป็นวิธีการทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้วัดเชิงคุณภาพและปริมาณ โดยจะทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคที่มีการตอบสนองต่อลักษณะผลิตภัณฑ์ โดยวิเคราะห์และแปลความรู้สึกลงทางประสาทสัมผัสซึ่งได้แก่ การมองเห็น การดมกลิ่น การรับรส การสัมผัส และการได้ยินของผู้ทดสอบ เพื่อนำมาประเมินการยอมรับในคุณลักษณะต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ได้แก่ สี ขนาด รูปร่าง ลักษณะปรากฏ คำหนิ กลิ่น รส เนื้อสัมผัส เป็นต้น โดยอาศัยกลุ่มผู้ทดสอบชิม (Taste panel) โดยกลุ่มผู้ทดสอบชิมอาจเป็นกลุ่มที่ได้รับการฝึกฝนการทดสอบชิมมาเป็นอย่างดีแล้ว หรือไม่ก็ได้ ซึ่งทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์และวิธีการทดสอบ การทดสอบความชอบและการยอมรับของผู้บริโภคจะใช้ผลการประเมินจากมนุษย์ร่วมกับการใช้เทคนิคทางสถิติ มาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อให้ได้ผลการประเมินที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น วัตถุประสงค์ของการทดสอบความชอบและการยอมรับของผู้บริโภคคือ 1) เพื่อประเมินความชอบโดยรวมของผู้ประเมินที่มีต่อผลิตภัณฑ์ และ 2) เพื่อประเมินความชอบของผู้ประเมินที่มีต่อลักษณะต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ เช่น ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรส และเนื้อสัมผัส เป็นต้น (เพ็ญขวัญ ชมปริดา, 2550; รัตนา อัดตปัญญา, 2544) การทดสอบความชอบและการยอมรับของผู้บริโภค จะประเมินระดับความชอบของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ เพื่อประเมินถึงความแตกต่างของความชอบของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ที่ทดสอบและผลการประเมินดังกล่าวนี้จะสามารถนำไปสู่การยอมรับของผู้บริโภคได้ สำหรับการทดสอบความชอบและการยอมรับของผู้บริโภคที่ได้รับความนิยมมากที่สุดคือ การทดสอบความชอบโดยใช้สเกลแบบ Hedonic scaling ซึ่งเป็นการทดสอบโดยใช้สเกลความชอบมาใช้ในการประเมินความชอบและการยอมรับของผู้บริโภค ซึ่งสเกลความชอบที่ใช้มีหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับกรอบแบบให้เหมาะสมกับผู้ประเมิน หรือตามวัตถุประสงค์ของการทดลอง นอกจากนี้สเกลวัดความชอบระดับ 9 ยังมีสเกลวัดความชอบระดับ 7 และ 5 แต่สเกลระดับ 9 มีความไวและสามารถลดความแปรปรวนของการทดสอบได้มากกว่าสเกลที่สั้น (Cross *et al.*, 1978) จึงทำให้สเกลวัดความชอบระดับ 9 ได้รับการยอมรับที่กว้างขึ้นอีกทั้งสามารถวัดประสิทธิภาพของการตอบสนองที่ถูกต้องภายใต้สภาวะที่กำหนดให้ (Gatchalian, 1981) สเกลวัดความชอบแบ่งเป็นสเกลวัดความชอบระดับ 9 เป็นสเกลที่มีลักษณะเป็นสองขั้ว มีจุดกึ่งกลางอยู่ตรงกลาง และมีข้อความทั้งหมด 9 ข้อความอธิบายลักษณะของแต่ละจุดหรือช่วงของสเกล โดยกำหนดให้ 9 = ชอบมากอย่างยิ่ง 8 = ชอบมาก 7 = ชอบปานกลาง 6 = ชอบน้อยที่สุด 5 = ไม่แน่ใจว่าชอบหรือไม่ชอบ 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย 3 = ไม่ชอบปานกลาง 2 = ไม่ชอบมาก และ 1 = ไม่ชอบมากอย่างยิ่ง ทั้งนี้ข้อมูลที่ได้ยังสามารถนำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ซึ่งจะนำไปสู่การแสดงความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ที่ถูกทดสอบได้ (Stone and

Sidel, 1978) ทั้งนี้การประเมินความชอบของผลิตภัณฑ์โดยการใช้สเกลความชอบสามารถประเมินได้ดังนี้

- ประเมินความชอบโดยรวมซึ่งเป็นองค์รวมของลักษณะทั้งหมด ประกอบด้วย รูปร่าง สี กลิ่น รส และเนื้อสัมผัส ของตัวอย่างที่ผู้ประเมินสามารถรับรู้ได้
- ประเมินความชอบที่มีต่อลักษณะต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ โดยลักษณะที่ประเมินจะต้องสอดคล้องกับงานวิจัยที่ศึกษา
- ในกรณีที่มี 2 ตัวอย่าง ให้เลือกตัวอย่างที่ชอบมากที่สุด และถ้ามี 3 ตัวอย่างขึ้นไปอาจให้เรียงลำดับตามความชอบในผลิตภัณฑ์ที่ประเมิน ทั้งนี้จะประเมินอย่างไรจะต้องขึ้นกับวัตถุประสงค์ของการประเมินเป็นสำคัญ

ข้อดีของการทดสอบแบบใช้ทดสอบความชอบโดยการใช้สเกลแบบ Hedonic scaling ก็เป็นวิธีการทดสอบความชอบที่สามารถทดสอบความชอบของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ และสามารถแสดงถึงความแตกต่างของความชอบที่มีต่อผลิตภัณฑ์ ถึงแม้จะมีลักษณะคล้ายกันหรือต่างกันเพียงเล็กน้อยได้ สามารถทำได้ง่ายแม้ว่าผู้ทดสอบชิมจะมีจำนวนมาก รวมถึงสามารถตรวจสอบความแตกต่างได้อย่างคร่าวๆ แม้ว่าผู้ประเมินและสภาวะการทดสอบมีความแปรปรวน (Amerine *et al.*, 1965; Gatchalian, 1981)

ในการผลิตเครื่องดื่มผงให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคนั้น จะต้องมีการพัฒนาสูตรขึ้นมาใหม่เพื่อให้เกิดการยอมรับของผู้บริโภคมากขึ้น ทั้งนี้ในการพัฒนาเครื่องดื่มผงจึงจำเป็นต้องเตรียมสูตรขึ้นมาใหม่ โดยเป็นสูตรที่ผ่านการปรับปรุงเพื่อให้คุณลักษณะนั้นของเครื่องดื่มผงมีการยอมรับของผู้บริโภคมากขึ้น ทั้งนี้ในการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค เป็นวิธีการที่แสดงถึงความชอบของผลิตภัณฑ์ ซึ่งในระหว่างการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสนั้น ผู้บริโภคจำเป็นต้องพิจารณาถึงลักษณะปรากฏของผงก่อนละลายน้ำ โดยพิจารณาถึงความเป็นเนื้อเดียวกันของเครื่องดื่มผง จากนั้นคุณลักษณะอีกประการหนึ่งที่มีความสำคัญคือ ความสามารถในการละลายของเครื่องดื่มผง เพราะเครื่องดื่มผงที่ดีนั้นจะต้องมีความสามารถในการละลายที่ดี ถึงจะเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ดังนั้นปัจจัยที่ต้องควบคุมเพื่อลดความแปรปรวนของการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสคือ อุณหภูมิของน้ำร้อนที่ใช้ในการเสิร์ฟตัวอย่าง เพราะปัจจัยนี้จะมีผลต่อความสามารถในการละลายของเครื่องดื่มผง รวมถึงกลิ่นรส และรสชาติของเครื่องดื่มผงด้วย (เพ็ญขวัญ ชมปรีดา, 2550; ไพโรจน์ วิริยจารี, 2545)

ดวงจงกล สุทธิเนียม (2550) ศึกษาการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของเครื่องดื่มผงเพื่อสุขภาพจากข้าวกล้องหอมมะลิงอกสำหรับผู้บริโภคสูงอายุ โดยนำส่วนผสมประกอบด้วยแป้งข้าวหอมมะลิงอกร้อยละ 13.51 น้ำตาลร้อยละ 23.39 นมผงร้อยละ 57.69 วานิลลาผงร้อยละ 5.41 มา

ผสมให้เข้ากัน จากนั้นนำเครื่องดื่มผงที่ได้มาละลายกับน้ำร้อน โดยกำหนดอัตราส่วนเครื่องดื่มผง ต่อน้ำร้อนเท่ากับ 35 กรัม ต่อ 150 มิลลิลิตร แล้วเสิร์ฟตัวอย่างที่ละลายน้ำร้อนแล้วให้กับผู้บริโภค โดยใช้ผู้ทดสอบชิมทั้งหมด 50 คน และใช้การทดสอบโดยให้คะแนนแบบ Hedonic scaling ระดับ 9 ร่วมกันกับการทำ Just about right ต่อคุณลักษณะต่างๆ ได้แก่ สีขาว กลิ่นวานิลลา ความหวาน ความหนืด ความมัน และความชอบโดยรวม พบว่าคุณลักษณะสีขาว กลิ่นวานิลลา ความมันและความชอบโดยรวม อยู่ในระดับปานกลางถึงชอบมาก (ช่วงคะแนน 7-8) ส่วนคุณลักษณะรสหวานและความหนืดอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง (ช่วงคะแนน 6-7) นอกจากนี้มีการทดสอบความชอบของผลิตภัณฑ์โดยใช้วิธี Just about right ของเครื่องดื่มผงพบว่า ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนในระดับพอดีในทุกคุณลักษณะมากกว่าร้อยละ 50 อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ต้องการคะแนนความชอบของคุณลักษณะมากกว่า 7 คะแนน ดังนั้นผู้วิจัยจึงต้องปรับปรุงและพัฒนาสูตรเครื่องดื่มผงจากข้าวกล้องหอมมะลิผงออกพื้นฐาน เพื่อให้มีคะแนนความชอบในทุกคุณลักษณะมากกว่า 7 คะแนน โดยเพิ่มปริมาณส่วนผสมของแป้งข้าวหอมมะลิผงและลดปริมาณส่วนผสมของนมผง เพื่อเพิ่มคะแนนความชอบในคุณลักษณะด้านความหนืด และลดปริมาณส่วนผสมของน้ำตาล เพื่อเพิ่มคะแนนความชอบในคุณลักษณะด้านรสหวาน พบว่าสูตรเครื่องดื่มผงที่ผลิตโดยใช้แป้งข้าวหอมมะลิ ร้อยละ 20.0 น้ำตาล ร้อยละ 20.0 นมผง ร้อยละ 44.6 อินนูลิน ร้อยละ 10.0 และวานิลลา ร้อยละ 5.4 จะเป็นสูตรที่เหมาะสม เนื่องจากมีคะแนนความชอบในทุกคุณลักษณะของเครื่องดื่มผงมากกว่า 7 คะแนน ส่วนฉัตรแก้ว วิบุตร์ (2550) ศึกษาผลของสารให้ความหวานโดยใช้ซูคราโลส (Sucralose) ในเครื่องดื่มธัญญาหารสำเร็จรูปจากปลายข้าวกล้องหอมมะลิและถั่วอะซูกิ ต่อการยอมรับของผู้บริโภค โดยนำส่วนผสมซึ่งประกอบด้วย ธัญญาหารอบกรอบ ร้อยละ 23.66 น้ำตาล ร้อยละ 11.83 ครีมเทียม ร้อยละ 3.94 นมผงขาดมันเนย ร้อยละ 25.63 ถั่วอะซูกิ ร้อยละ 13.64 ข้าวกล้อง ร้อยละ 13.64 อินนูลิน ร้อยละ 6.25 และวานิลลา ร้อยละ 1.41 ผสมเข้าด้วยกันและนำส่วนผสมดังกล่าวมาเติมซูคราโลส 3 ระดับคือ ร้อยละ 0.0053, 0.0063 และ 0.0073 จากนั้นนำส่วนผสมมาผสมให้เข้ากัน เสิร์ฟตัวอย่างจำนวน 30 กรัม และน้ำร้อน ปริมาตร 150 มิลลิลิตร โดยให้ผู้ทดสอบละลายตัวอย่างเอง โดยใช้ผู้ทดสอบชิมทั้งหมด 50 คน ใช้แบบทดสอบโดยให้คะแนน Hedonic scaling ระดับ 9 ร่วมกันกับการทำ Just about right ต่อคุณลักษณะต่างๆ ได้แก่ กลิ่นรสวานิลลา กลิ่นรสธัญพืช รสหวาน ชื่นธัญพืช ความมัน และความชอบโดยรวม พบว่าผลิตภัณฑ์ที่เติมซูคราโลสที่ระดับร้อยละ 0.0062 มีคะแนนการยอมรับด้านความหวานสูงที่สุด ( $p < 0.05$ ) ส่วนในคุณลักษณะด้านกลิ่นรสวานิลลา กลิ่นรสธัญพืช ชื่นธัญพืช และความมันของผลิตภัณฑ์ทุกระดับความเข้มข้นของการเติมซูคราโลสไม่แตกต่างกัน ( $p \geq 0.05$ ) จากนั้นนำสูตรดังกล่าวมาทดสอบหาคะแนนความชอบด้วย Just about right พบว่าคุณลักษณะด้าน

กลิ่นรสวานิลลา กลิ่นรส กล้วยพีช รสหวาน ซึ้นกล้วยพีช และความมัน อยู่ในระดับพอดี ดังนั้นจึงเลือกผลิตภัณฑ์ที่ทำการเติมซูคราโลสที่ระดับร้อยละ 0.0063 ซึ่งเป็นจุดการทดลองที่มีคะแนนการยอมรับดีที่สุด



## วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพ เคมี และเคมีเชิงฟิสิกส์ของข้าวสังข์หยดหัก และข้าวสังข์หยดเต็มเมล็ดภายหลังการขัดสีระหว่างการเก็บรักษา
2. เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสต่อคุณภาพน้ำสกัดจากข้าว
3. เพื่อศึกษาหาสภาวะการผลิตและสูตรเครื่องดื่มผงที่เหมาะสมและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

## บทที่ 2

### วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

#### วัตถุดิบที่ใช้ในการวิจัย

- ข้าวสังข์หยดเต็มเมล็ดและข้าวสังข์หยดหักที่เป็นผลพลอยได้จากการขัดสี จากวิสาหกิจชุมชนบ้านเขากลาง จังหวัดพัทลุง ซึ่งผ่านการเก็บเกี่ยวในปี พ.ศ. 2556 และ 2557 ได้ถูกนำมาใช้ศึกษาในตอนที่ 1 และข้าวสังข์หยดหักในปี พ.ศ. 2557 ที่มีอายุการเก็บรักษา 6 เดือน ได้ถูกนำมาใช้ศึกษาในตอนที่ 2 และ 3 ได้ถูกเลือกนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตเครื่องคั้มผง
- ผงโกโก้ (ตราเวนฮูเด็น)
- น้ำตาลซูโครส (ตราลิน)
- ครีมเทียม (ตราคอฟฟี่เมต)
- มอลโทเด็กซ์ทริน (DE เท่ากับ 11) (จากบริษัทไทยฟูด แอนด์ เคมิคอล จำกัด)

#### สารเคมี

- โปแทสเซียมซัลเฟต
- คอปเปอร์ซัลเฟต
- โซเดียมไฮดรอกไซด์
- กรดบอริก
- เมทิลเรดิอินดิเคเตอร์
- กรดซัลฟูริก
- กรดไฮโดรคลอริก
- ไดโซเดียมเตตระโบเรตเดคะไฮเดรต
- ปีโตรเลียมอีเธอร์
- เอทานอลร้อยละ 95
- โซเดียมไฮดรอกไซด์
- กรดแกลเชียลอะซีติก
- ไอโอดีน
- โปแทสเซียมไอโอไดด์

- อะไมโลสบริสุทธิจากมันฝรั่ง
- กรดไฮโดรคลอริก
- เมทานอล
- เอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสจาก จาก *Bacillus amyloliquefaciens* (แอกติวิตี้ของเอนไซม์เท่ากับ  $\geq 500$  ยูนิตต่อมิลลิกรัมโปรตีน สภาวะการทำงานที่เหมาะสมคือ ที่ความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 6 และอุณหภูมิเท่ากับ 85 องศาเซลเซียส) จากบริษัท Sigma-Aldrich ประเทศไทย

### อุปกรณ์และเครื่องมือ

- เตาชอยโปรตีน (Gerhardt, Model Kjeldatherm, Germany)
- เครื่องดักจับไอกรด (Gerhardt, Model TURBO SOG, Germany)
- เครื่องกลั่นโปรตีน (Gerhardt, Model Vapodest 10 SN, Germany)
- เครื่องสกัดไขมัน (Electrothermal, Model EME6, United Kingdom)
- เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Hitachi, Model U-1500, Japan)
- เครื่องชั่งน้ำหนักไฟฟ้า (Sartorius, BP310S, Germany)
- กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (JEOL, United Kingdom)
- เครื่องหมุนเหวี่ยง (Sanyo, Harrier 18/80, United Kingdom)
- เครื่อง Differential scanning calorimeter (DSC) (Perkin Elmer, U.S.A.)
- เครื่อง Rapid visco-analyzer (Scientific Newport, RVA 4D, Australia)
- เครื่องวัดสี (Hunter Lab Reston, VA, U.S.A.)
- เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ (Aqualab รุ่น series, U.S.A.)
- ตะแกรงร่อนขนาด 250 ไมโครเมตร
- เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (Nitro A/S. Gladsaxevej 305, Denmark)
- เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (Mettler Toledo, PG-20, China)
- เครื่อง Rheometer (Haake, RheoStress RS75, Germany)
- เครื่อง X-ray Diffractometer (X'Pert MPD, Netherlands)
- เครื่องบดแบบค้อนเหวี่ยง (Hammer mill) (Zoneding, China)
- เครื่องบดของแห้ง (Phillip, HR 2061, Indonesia)

## วิธีการทดลอง

ตอนที่ 1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพ เคมี และ เคมีเชิงฟิสิกส์ของข้าวสังข์หยดหัก และข้าวสังข์หยดเต็มเมล็ดระหว่างการเก็บรักษา

### 1.1 การเตรียมตัวอย่าง

ข้าวเปลือกสังข์หยดที่เก็บเกี่ยวในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2556 จะถูกนำไปลดความชื้นโดยการตากแดด จนความชื้นลดลงเหลือประมาณร้อยละ 14 จากนั้นนำมาขัดสีจนได้ข้าวสังข์หยดเต็มเมล็ดและข้าวสังข์หยดหัก จากนั้นนำตัวอย่างข้าวบรรจุน้ำหนัก 500 กรัม ในถุงพลาสติกชนิด Nylon/LLDPE ขนาด 25 เซนติเมตร x 15 เซนติเมตร ปิดสนิทที่สภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิห้องแล้วเก็บรักษาในกล่องโฟมเป็นเวลานาน 6 เดือน โดยจะสุ่มตัวอย่างมาเพื่อวิเคราะห์ทุก 2 เดือน ซึ่งก่อนการวิเคราะห์ตัวอย่างจะถูกนำมาบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดของแห้ง แล้วร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 250 ไมโครเมตร (ตัวอย่างข้าวที่ได้มีลักษณะเป็นผงละเอียด และไม่เกิดการทำลายโครงสร้างของสตาร์ชภายในเม็ดแป้ง ดังแสดงในภาคผนวก ภาพที่ 1) แล้วบรรจุในถุงพลาสติกชนิด Nylon/LLDPE ปิดสนิท เพื่อนำไปใช้วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และเคมีเชิงฟิสิกส์ต่อไป

### 1.1 คุณภาพทางกายภาพ

- วัดค่าสีในระบบ CIE Hunter Lab ในรูป  $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$  โดยใช้เครื่องวัดค่าสี (Hunter Lab)
- น้ำหนักเมล็ดข้าว (Wadsworth *et al.*, 1982)
- ขนาดเมล็ดข้าว (Wadsworth *et al.*, 1982)
- ความหนาแน่นรวมของเมล็ด (Bulk density) (Wadsworth *et al.*, 1982)

### 1.2 คุณภาพทางเคมี

- ความชื้น (A.O.A.C., 2000)
- ปริมาณน้ำอิสระ (A.O.A.C., 2000)
- ปริมาณโปรตีน (A.O.A.C., 2000)
- ปริมาณไขมัน (A.O.A.C., 2000)
- ปริมาณเถ้า (A.O.A.C., 2000)
- ปริมาณเชื้อใย (A.O.A.C., 2000)
- ปริมาณอะไมโลส (Juliano *et al.*, 1985)
- ปริมาณแอนโทไซยานิน (Nollet, 1996)
- การเกิดกลิ่นหืน (TBA) (Wood and Aurand, 1997)

- ชนิดและปริมาณกรดไขมัน (Fatty acid profile) (A.O.A.C., 2000) (วัดเฉพาะเดือนที่ 0 และ 6)

หมายเหตุ: ปริมาณเถ้า ไขมัน โปรตีน แอนโทไซยานิน และอะไมโลส จะคำนวณอยู่ในรูปร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง (% db)

### 1.3 คุณภาพทางเคมีเชิงฟิสิกส์

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

### 1.4 การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design) โดยวิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ ยกเว้น ขนาดเมล็ดข้าว และน้ำหนักเมล็ดข้าว วิเคราะห์ตัวอย่างละ 10 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) และความแตกต่างของค่าเฉลี่ยสิ่งทดลองโดยวิธี Duncan's Multiple Ranges Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 วิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม SPSS (SPSS for windows, SPSS Inc, Chicago, IL)

ตอนที่ 2 ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสต่อคุณภาพน้ำสกัดจากข้าว

### 2.1 การเตรียมตัวอย่าง

นำข้าวเปลือกสังข์หยดที่เก็บเกี่ยวในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2557 ไปลดความชื้นโดยการตากแดด จนความชื้นลดลงเหลือประมาณร้อยละ 14 จากนั้นนำมากระเทาะเปลือกจนได้ข้าวสังข์หยดเต็มเมล็ดและข้าวสังข์หยดหัก จากนั้นนำข้าวสังข์หยดหักมาเป็นวัตถุดิบในการศึกษาต่อไป โดยนำมาเก็บรักษาในถุงพลาสติกชนิด Nylon/LLDPE ปิดสนิทที่สภาวะสุญญากาศและอุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 6 เดือน เมื่อครบ 6 เดือน ข้าวสังข์หยดหักจะถูกนำมาโม่แห้งด้วยเครื่อง Hammer mill และร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 250 ไมโครเมตร (ตัวอย่างข้าวที่ได้มีลักษณะเป็นผงละเอียด และไม่เกิดการทำลายโครงสร้างของสตาร์ชภายในเม็ดแป้ง ดังแสดงในภาคผนวกภาพที่ 1) จากนั้นบรรจุตัวอย่างในถุงพลาสติกชนิด Nylon/LLDPE ที่ปิดสนิทในสภาวะสุญญากาศเพื่อร่อนนำมาใช้ในข้อ 2.2 ต่อไป

## 2.2 ศึกษาหาระยะเวลาระหว่างการย่อยแป้งข้าวด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส

นำตัวอย่างที่ได้จากข้อ 2.1 มาผสมกับน้ำกลั่นให้มีความเข้มข้นร้อยละ 10 (น้ำหนักต่อปริมาตร) โดยเตรียมครั้งละ 200 มิลลิลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส ในอ่างน้ำร้อนควบคุมอุณหภูมิ ภายใต้สภาวะความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 6.2 จากนั้นเติมเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสทางการค้าจาก *Bacillus amyloliquefaciens* ( $\geq 500$  หน่วยต่อมิลลิกรัม โปรตีน) เนื่องจากเป็นเอนไซม์สามารถทำงานได้ที่อุณหภูมิสูงเท่ากับ 85 องศาเซลเซียส ที่ระดับความเข้มข้น 3 ระดับ คือ ร้อยละ 0.05, 0.1 และ 0.5 (ปริมาตรต่อน้ำหนัก) จากนั้นปิดฝาภาชนะด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ ระหว่างการย่อยตัวอย่างจะถูกสุ่มปริมาณ 2 มิลลิลิตร ทุก 10 นาที ตัวอย่างที่สุ่มมาจะถูกนำมาแช่ในอ่างน้ำร้อนควบคุมอุณหภูมิที่ 100 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที เพื่อหยุดกิจกรรมของเอนไซม์ (Brooks and Griffin, 1987) แล้วนำไปแช่ในอ่างน้ำแข็งเพื่อลดระดับอุณหภูมิของตัวอย่าง จากนั้นนำตัวอย่างมาหมุนเหวี่ยงด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 7,500 รอบต่อนาที นาน 10 นาที แล้วนำสารละลายส่วนใสไปวัดระดับการย่อย (Degree of hydrolysis, DH) เพื่อหาระยะเวลาเร็วที่สุดที่ตัวอย่างเข้าสู่จุดสมดุลการย่อย นำข้อมูลของแต่ละความเข้มข้นของเอนไซม์ที่ใช้มาสร้างกราฟระหว่างระดับการย่อยกับเวลา โดยพิจารณาหาระยะเวลาสั้นที่สุดที่เอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส ในแต่ละความเข้มข้นถึงจุดสมดุลการย่อย จากนั้นเลือกระยะเวลาที่นานที่สุด ไปใช้ในข้อที่ 2.3 ต่อไป

## 2.3 ศึกษาผลของระดับความเข้มข้นของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสต่อคุณภาพน้ำสกัดจากข้าว

นำตัวอย่างที่ได้จากข้อ 2.1 มาผสมกับน้ำกลั่นให้มีความเข้มข้นร้อยละ 10 (น้ำหนักแห้งต่อปริมาตร) โดยเตรียมครั้งละ 200 มิลลิลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส ในอ่างน้ำร้อนควบคุมอุณหภูมิ จากนั้นเติมเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสทางการค้าจาก *Bacillus amyloliquefaciens* ( $\geq 500$  หน่วยต่อมิลลิกรัม โปรตีน) ที่ความเข้มข้น 3 ระดับคือร้อยละ 0.05, 0.1 และ 0.5 (ปริมาตรต่อน้ำหนัก) เช่นเดียวกับข้อ 2.2 จากนั้นปิดฝาภาชนะด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ โดยตัวอย่างจะถูกย่อยตามระยะเวลาที่ได้คัดเลือกมาจากข้อ 2.2 เมื่อครบเวลาการย่อย นำตัวอย่างแช่ในอ่างน้ำร้อนควบคุมอุณหภูมิที่ 100 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที เพื่อหยุดกิจกรรมของเอนไซม์ (Brooks and Griffin, 1987) จากนั้นนำตัวอย่างไปแช่ในอ่างน้ำแข็งเพื่อลดระดับอุณหภูมิของตัวอย่าง แล้วตัวอย่างจะถูกนำมาหมุนเหวี่ยงด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 7,500 รอบต่อนาที นาน 10 นาที แล้วนำสารละลายส่วนใสไปวิเคราะห์คุณภาพดังต่อไปนี้

### 2.3.1 คุณภาพทางกายภาพ

- วัดค่าสีในระบบ CIE Hunter Lab ในรูป L\*, a\* และ b\* โดยใช้เครื่องวัดค่าสี (Hunter Lab)

- ค่าความหนืดโดยใช้เครื่องวัดความหนืด (Rheometer) วัดที่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 30 องศาเซลเซียส)

- โครงสร้างทางจุลภาคโดยใช้เครื่อง Scanning electron microscope (SEM) (วิเคราะห์เฉพาะตัวอย่างที่ผ่านการย่อยด้วยความเข้มข้นของเอนไซม์ที่ถูกคัดเลือก)

### 2.3.2 คุณภาพทางเคมี

- ค่าความเป็นกรด-ด่างโดยใช้เครื่องวัดพีเอชมิเตอร์
- ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (Dubois *et al.*, 1956)
- ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (Somogyi-Nelson, 1994)
- ปริมาณของแข็งทั้งหมด (A.O.A.C., 2000) (ตัวอย่างหลังจากการย่อยจะไม่ถูกนำไปหมუნเหวียง)

- ค่าระดับการย่อยของแป้ง (Somogyi-Nelson, 1994)

- ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดโดยใช้เครื่องรีเฟรคโตมิเตอร์

### 2.3.3 การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยวางแผนการทดลองแบบกลุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design) โดยทดลอง 2 ซ้ำ แต่ละซ้ำการทดลองวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และความแตกต่างของค่าเฉลี่ยสิ่งทดลองโดยวิธี Duncan's Multiple Ranges Test วิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม SPSS (SPSS for windows, SPSS Inc, Chicago, IL) เลือกสภาวะการทดลองที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการศึกษาขั้นต่อไป โดยพิจารณาปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดและค่าระดับการย่อยของแป้งสูงสุดเพื่อนำไปใช้ในตอนที่ 3

ตอนที่ 3 ศึกษาหาสภาวะการผลิตและสูตรเครื่องดื่มผงที่เหมาะสมและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

#### 3.1 ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเครื่องดื่มผงด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

นำน้ำสกัดจากแป้งข้าวที่ได้ถูกคัดเลือกสภาวะการผลิตที่เหมาะสมมาจากตอนที่ 2 มาใช้เป็นตัวอย่งในการผลิตข้าวในรูปผงโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย และเติมมอลโทเด็กซ์ทริน (DE 11) 3 ระดับคือ ร้อยละ 0, 10 และ 20 (น้ำหนักโดยปริมาตร) โดยกำหนดอุณหภูมิอากาศขาเข้า 3 ระดับคือ 150, 170 และ 190 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของน้ำสกัดจากแป้งข้าวเท่ากับ 480 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง และอุณหภูมิอากาศออกเท่ากับ 80 องศาเซลเซียส จากนั้นตัวอย่างผงที่ได้จะถูกวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และเคมีเชิงฟิสิกส์ ดังต่อไปนี้

#### 3.1.1 คุณภาพทางกายภาพ

- วัดค่าสีในระบบ CIE Hunter Lab ในรูป L\*, a\* และ b\* โดยใช้เครื่องวัดค่าสี

- ร้อยละของผลผลิตที่ได้รับ
- ความหนาแน่นของผง (Bulk density) (Goula and Adamopoulos, 2004)

### 3.1.2 คุณภาพทางเคมี

- ปริมาณความชื้น (A.O.A.C., 2000)
- ปริมาณน้ำอิสระ (A.O.A.C., 2000)

### 3.1.3 คุณภาพทางเคมีเชิงฟิสิกส์

- ความสามารถในการละลายน้ำและการดูดซับน้ำ (Anderson *et al.*, 1969)

### 3.1.4 การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองหรือค่าการตอบสนอง (Response) มาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยวางแผนการทดลองแบบ Face Central Composite Design โดยมีชุดการทดลองรวมเท่ากับ 13 ชุดการทดลอง (ตารางที่ 4) แล้วนำมาสร้างความสัมพันธ์กับตัวแปรระหว่างปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินและอุณหภูมิอากาศขาเข้า โดยการวิเคราะห์สมการทางคณิตศาสตร์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Design Expert เพื่อทำนายและแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสองตัวต่อค่าการตอบสนอง ดังสมการที่ 1

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_1^2 X_1^2 + \beta_2^2 X_2^2 + \beta_{12} X_1 X_2 \dots \dots \dots \text{(สมการที่ 1)}$$

เมื่อ  $\beta_0$  คือ ค่าคงที่ ณ จุดกึ่งกลางการทดลอง (0, 0)

$\beta_1$  และ  $\beta_2$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์พจน์อันดับหนึ่ง (Linear)

$\beta_1^2$  และ  $\beta_2^2$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์พจน์อันดับสอง (Quadratic)

$\beta_{12}$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์พจน์อิทธิพลร่วมของตัวแปรอิสระทั้งสอง (Interaction)

$X_1$  คือ ปริมาณมอลโทเด็กซ์ทริน (น้ำหนักโดยปริมาตร)

$X_2$  คือ อุณหภูมิอากาศขาเข้า (องศาเซลเซียส)

จากนั้นนำสมการทางคณิตศาสตร์มาทำนายเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม (Optimum prediction) โดยสมการต้องสามารถอธิบายผลของปัจจัยที่มีต่อค่าการตอบสนองได้ (Model,  $p < 0.05$ ) สมการไม่มีความบกพร่อง (Lack of fit,  $p \geq 0.05$ ) และมีค่าสหสัมพันธ์ ( $R^2$ ) มากกว่า 0.75 (Hu, 1999)



**Table 4** Experimental design for spray drying experiments

Number of treatment	Coded levels		Actual levels	
	Maltodextrin (X <sub>1</sub> )	Inlet temperature (X <sub>2</sub> )	Maltodextrin (%)	Inlet temperature (°C)
1	0	0	10	170
2	0	-1	10	150
3	0	0	10	170
4	-1	1	0	190
5	1	1	20	190
6	-1	-1	0	150
7	0	1	10	190
8	0	0	10	170
9	0	0	10	170
10	0	0	10	170
11	1	-1	20	150
12	-1	0	0	170
13	1	0	20	170

### 3.1.5 ทำนายสมการที่ได้จากโปรแกรม Design Expert

นำค่าการตอบสนองที่ได้จากการทำนายโดยโปรแกรม Design Expert ซึ่งได้จากการแทนค่าในสมการที่ใช้ในการทำนาย เพื่อหาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตข้าวผง มาเปรียบเทียบกับค่าการตอบสนองที่ได้จากการทดลองจริง โดยใช้ปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินและอุณหภูมิอากาศขาเข้าที่คัดเลือกมาจากข้อที่ 3.1.4 ซึ่งสมการที่สามารถใช้งานได้จริงและมีความเหมาะสมต่อการนำมาทำนายเพื่อหาสูตรที่เหมาะสมนั้น จะต้องมีค่าการตอบสนองที่ได้จากการทำนายโดยโปรแกรม Design Expert ซึ่งได้จากการแทนค่าในสมการแบบจำลอง กับค่าการตอบสนองที่ได้จากการทดลองจริง จะต้องมีค่าไม่แตกต่างกันร้อยละ 10 (Hu, 1999)

### 3.2 ศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตเครื่องดื่มผง

#### 3.2.1 คัดเลือกสูตรเบื้องต้น

คัดเลือกสูตรเบื้องต้นจากการดัดแปลงสูตรทางการค้าเครื่องดื่มผงสำเร็จรูปยี่ห้อซองเดอร์ (ที่มีส่วนผสมของข้าวและโกโก้เป็นองค์ประกอบ) ดังแสดงในรายละเอียดตารางที่ 5 โดยกำหนดปริมาณแป้งข้าวผงในช่วงร้อยละ 45-65 และปริมาณครีมเทียมในช่วงร้อยละ 10-30 โดยวางแผนแบบ Mixture Design แล้วคำนวณสูตรได้ทั้งหมดเท่ากับ 13 ชุดการทดลอง ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 6 หลังจากนั้นจะคัดเลือกสูตรเบื้องต้น โดยทดสอบการยอมรับของผลิตภัณฑ์ ด้วยการใช้คะแนนความชอบโดยใช้สเกลเท่ากับ 9 ของเครื่องดื่มทั้งก่อนและหลังละลายน้ำอุ่น เครื่องดื่มก่อนละลายน้ำอุ่นจะถูกนำมาพิจารณาคูณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ สี และกลิ่นข้าว ส่วนเครื่องดื่มหลังละลายน้ำอุ่นจะถูกนำมาพิจารณาคูณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ สี ความหนืด การละลาย กลิ่นข้าว กลิ่นรสข้าว ความหวาน ความมัน และความชอบโดยรวม โดยใช้ผู้บริโภคนจำนวน 50 คน

**Table 5** Ingredient of commercial instant drink from rice (Xongdur brand)

Ingredient	Amount (%)
Rice powder	45
Creamer	30
Sugar	15
Cocoa	10

**Table 6** Formulations of instant drink from rice

Number of treatment	Ingredient (%)			
	Rice powder	Creamer	Sugar	Cocoa
1	45	30	20	5
2	45	30	20	5
3	45	30	20	5
4	47.5	27.5	20	5
5	50	25	20	5
6	52.6	22.4	20	5
7	55	20	20	5
8	55	20	20	5
9	60	15	20	5
10	62.5	12.5	20	5
11	65	10	20	5
12	65	10	20	5
13	65	10	20	5

### การวางแผนทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองหรือค่าการตอบสนอง (Response) มาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยวางแผนการทดลองแบบ Mixture Design โดยมีชุดการทดลองรวมเท่ากับ 13 ชุดการทดลอง (ตารางที่ 6) มาสร้างความสัมพันธ์กับตัวแปร (โดยมีตัวแปร 2 ตัวได้แก่ ปริมาณข้าวผงและครีมเทียม) โดยการวิเคราะห์สมการทางคณิตศาสตร์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Design Expert เพื่อทำนายและแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสองตัวต่อค่าการตอบสนอง ดังสมการที่ 2

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_1^2 X_1^2 + \beta_2^2 X_2^2 + \beta_{12} X_1 X_2 \dots \dots \dots \text{(สมการที่ 2)}$$

เมื่อ  $\beta_0$  คือ ค่าคงที่ ณ จุดกึ่งกลางการทดลอง (0, 0)

$\beta_1$  และ  $\beta_2$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์พจน์อันดับหนึ่ง (Linear)

$\beta_1^2$  และ  $\beta_2^2$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์พจน์อันดับสอง (Quadratic)

$\beta_{12}$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์พจน์อิทธิพลร่วมของตัวแปรอิสระทั้งสอง (Interaction)

$X_1$  คือ ปริมาณข้าวผง (กรัม)

$X_2$  คือ ครีมเทียม (กรัม)

จากนั้นนำสมการทางคณิตศาสตร์มาทำนายเพื่อหาสูตรที่เหมาะสม (Optimum prediction) โดยสมการต้องสามารถอธิบายผลของปัจจัยที่มีต่อค่าการตอบสนองได้ (Model,  $p < 0.05$ ) สมการไม่มีความบกพร่อง (Lack of fit,  $p \geq 0.05$ ) และมีค่าสหสัมพันธ์ ( $R^2$ ) มากกว่า 0.75 (Hu, 1999) สูตรที่ได้รับการคัดเลือก จะต้องมีความเหมาะสมของผู้บริโภคในทุกคุณลักษณะอย่างน้อยเท่ากับหรือมากกว่า 6 จากคะแนนเต็มเท่ากับ 9 (คะแนน = 6 หมายถึง ชอบน้อยที่สุด ขณะที่คะแนน = 1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด และระดับคะแนน = 9 หมายถึง ชอบมากที่สุด) ตัวอย่างสูตรการผลิตเครื่องดื่มผงที่ผ่านการคัดเลือก หากมีคะแนนความชอบของคุณลักษณะใดน้อยกว่า 6 จะนำไปปรับปรุงแก้ไขต่อไปในข้อ 3.2.2

### 3.2.2 ศึกษาแนวทางการพัฒนาสูตรเครื่องดื่มผง

นำสูตรเครื่องดื่มผงที่ผ่านการคัดเลือกจากข้อ 3.2.1 มาศึกษาแนวทางการพัฒนาสูตรเครื่องดื่มผง โดยพิจารณาจากความสัมพันธ์ของคุณลักษณะที่จะพัฒนาและปรับปรุง กับปริมาณของส่วนผสมที่ใช้ ซึ่งหากปริมาณของส่วนผสมที่ใช้ มีผลต่อคุณลักษณะที่จะพัฒนาและปรับปรุงซึ่งได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่นข้าว ความหนืด ความสามารถในการละลาย กลิ่นรสข้าว ความหวาน ความมัน และความชอบโดยรวม เป็นต้น จะต้องปรับปรุงปริมาณของส่วนผสมนั้นให้มีความเหมาะสม เพื่อให้มีคะแนนความชอบของผู้บริโภคในคุณลักษณะนั้นเพิ่มขึ้นต่อไป จากนั้นสูตรที่ได้รับการพัฒนาและปรับปรุง จะถูกนำมาทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค ด้วยการให้คะแนนความชอบด้วยสเกลแบบ 9 เช่นเดียวกับข้อ 3.2.1 โดยใช้ผู้บริโภคจำนวน 50 คน

#### การวางแผนทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Completely Block Design, RCBD) จากนั้นนำข้อมูลทั้งหมดที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยสิ่งทดลองโดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ด้วยโปรแกรม SPSS คัดเลือกสูตรที่มีคะแนนความชอบทุกคุณลักษณะอย่างน้อยเท่ากับหรือมากกว่า 6 และมีคะแนนความชอบสูงสุด มาศึกษาคุณภาพของเครื่องดื่มผงที่เหมาะสมต่อไปในข้อ 3.2.3

### 3.2.3 ศึกษาคุณภาพของเครื่องดื่มผง

นำเครื่องดื่มผงที่ผ่านการพัฒนาและปรับปรุงจากตอนที่ 3.2.2 มาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และเคมีเชิงฟิสิกส์ ดังนี้

### 3.2.3.1 คุณภาพทางกายภาพของเครื่องต้มผง

- วัดค่าสีในระบบ CIE Hunter Lab ในรูป  $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$  โดยใช้เครื่องวัดค่าสี (Hunter Lab)
- ค่าความหนืดโดยใช้เครื่องวัดความหนืด (Rheometer) วัดที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส (Sutiniium *et al.*, 2008)

### 3.2.3.2 คุณภาพทางเคมี

- ความชื้น (A.O.A.C., 2000)
- ปริมาณน้ำอิสระ (A.O.A.C., 2000)
- ปริมาณโปรตีน (A.O.A.C., 2000)
- ปริมาณไขมัน (A.O.A.C., 2000)
- ปริมาณเถ้า (A.O.A.C., 2000)

### 3.2.3.3 คุณภาพทางเคมีเชิงฟิสิกส์

- ความสามารถในการละลายน้ำและการดูดซับน้ำ (Anderson *et al.*, 1969)

### บทที่ 3

#### ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

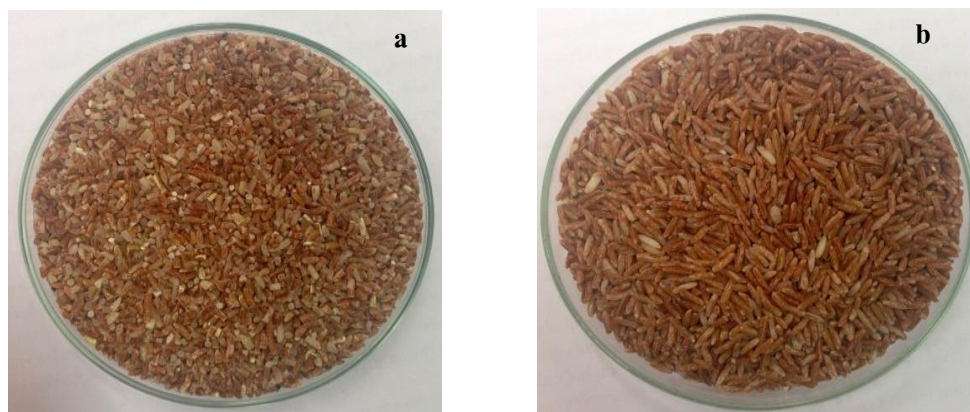
#### 1. การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพ เคมี และเคมีเชิงฟิสิกส์ของข้าวสังข์หยดหัก และข้าวสังข์หยดเต็มเมล็ดภายหลังการขัดสีระหว่างการเก็บรักษา

การศึกษากการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพ เคมี และเคมีเชิงฟิสิกส์ของข้าวสังข์หยดหัก และข้าวสังข์หยดเต็มเมล็ดภายหลังการขัดสีระหว่างการเก็บรักษา โดยนำข้าวสังข์หยดเต็มเมล็ดใหม่และข้าวสังข์หยดหักใหม่ผ่านการขัดสีบางส่วน มาบรรจุในถุงพลาสติกชนิด Nylon/LLDPE แล้วปิดสนิทในสถานะสุญญากาศ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องนาน 6 เดือน สุ่มตัวอย่างทุก 2 เดือน วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และเคมีเชิงฟิสิกส์ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

##### 3.1 คุณภาพทางกายภาพ

จากการศึกษากการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพได้แก่ ความกว้างเมล็ด ความยาวเมล็ด น้ำหนักเมล็ด ความหนาแน่นรวมของเมล็ด และค่าสีของข้าวสังข์หยดหักและข้าวสังข์หยดเต็มเมล็ด ภายหลังการขัดสีและระหว่างการเก็บรักษาพบว่า ข้าวสังข์หยดหักและข้าวสังข์หยดเต็มเมล็ด ภายหลังการขัดสีมีความกว้างของเมล็ดไม่แตกต่างกันตลอดระยะเวลาเก็บรักษา ( $p \geq 0.05$ ) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.176-0.187 เซนติเมตร ในขณะที่ความยาวเมล็ดของข้าวสังข์หยดหักต่ำกว่าข้าวสังข์หยดเต็มเมล็ดตลอดระยะเวลาเก็บรักษา ( $p \geq 0.05$ ) ซึ่งข้าวสังข์หยดหักมีค่าความยาวเมล็ดอยู่ในช่วง 0.432-0.437 เซนติเมตร ส่วนข้าวเต็มเมล็ดมีค่าความยาวเมล็ดอยู่ในช่วง 0.647-0.650 เซนติเมตร จากข้อมูลของสำนักงานเกษตรจังหวัดพัทลุง (2553) รายงานว่า ข้าวกล้องสังข์หยดเต็มเมล็ดมีความกว้างเมล็ดเท่ากับ 0.181 เซนติเมตร และความยาวเมล็ดเท่ากับ 0.670 เซนติเมตร นอกจากนี้เมื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงข้าวสังข์หยดหักและข้าวสังข์หยดเต็มเมล็ดภายหลังการขัดสีและเก็บรักษาพบว่า น้ำหนักเมล็ดของข้าวสังข์หยดหักและข้าวสังข์หยดเต็มเมล็ดจะลดลงระหว่างเก็บรักษา ( $p < 0.05$ ) โดยระหว่างเก็บรักษานาน 6 เดือน ข้าวสังข์หยดหักภายหลังการขัดสีมีน้ำหนักเมล็ดลดลงจาก 0.948 กรัม ต่อ 100 เมล็ด เป็น 0.933 กรัม ต่อ 100 เมล็ด ส่วนข้าวสังข์หยดเต็มเมล็ดภายหลังการขัดสีมีน้ำหนักเมล็ดลดลงจาก 1.540 กรัม ต่อ 100 เมล็ด เป็น 1.530 กรัม ต่อ 100 เมล็ด ทั้งนี้การลดลงของน้ำหนักเมล็ดของข้าวสังข์หยดหักและข้าวสังข์หยดเต็มเมล็ด จะสอดคล้องกับปริมาณความชื้นที่ลดลงของข้าวระหว่างเก็บรักษา เนื่องจากข้าวสังข์หยดหักและข้าวสังข์หยดเต็มเมล็ดภายหลังการขัดสี ถูกขัดสีเอาชั้นของเยื่อหุ้มเมล็ดออกบางส่วน จึงทำให้เกิดการสูญเสียความชื้นระหว่างเก็บ

รักษา จากการรายงานของ Kanjanumpha (2015) พบว่าข้าวกล้องสังข์หยดที่เก็บในถุงพลาสติก Nylon/LLDPE สภาวะสุญญากาศ นาน 6 เดือน มีน้ำหนักเมล็ดคงที่กว่าข้าวสังข์หยดที่ผ่านการขัดสี เนื่องจากข้าวกล้องสังข์หยดมีชั้นของเยื่อหุ้มเมล็ดห่อหุ้มอยู่ ในขณะที่ข้าวสังข์หยดที่ผ่านการขัดสี ถูกขัดสีเอาชั้นของเยื่อหุ้มเมล็ดออก ทำให้การสูญเสียความชื้นของข้าวสังข์หยดที่ผ่านการขัดสี จะเกิดเร็วกว่าข้าวกล้องสังข์หยด ส่วนความหนาแน่นรวมของข้าวสังข์หยดหักมีค่าสูงกว่าข้าวสังข์หยดเต็มเมล็ด ( $p < 0.05$ ) เนื่องจากข้าวสังข์หยดหักมีความยาวและน้ำหนักเมล็ดต่ำกว่าข้าวสังข์หยดเต็มเมล็ด แสดงดังภาพที่ 10 และไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นรวมตลอดระยะเวลาเก็บรักษา ( $p \geq 0.05$ )



**Figure 10** Sungyod rice broken rice (a) and whole rice (b) grain

การเปลี่ยนแปลงของคุณภาพด้านสีของข้าวสังข์หยดหักและข้าวสังข์หยดเต็มเมล็ดภายหลังการขัดสีระหว่างเก็บรักษาแสดงดังตารางที่ 7 ซึ่งคุณภาพด้านสีจะอธิบายในรูปของค่าความสว่าง ( $L^*$ ) ค่าสีแดง ( $a^*$ ) Chroma เป็นค่าที่แสดงถึงความเข้มสี และ Hue angle เป็นค่าที่บ่งบอกโทนสีของวัตถุ จากการทดลองพบว่า ข้าวสังข์หยดหักและข้าวสังข์หยดเต็มเมล็ดมีค่าความสว่าง ค่าสีแดง และ Chroma ลดลง ตลอดระยะเวลาเก็บรักษา ( $p < 0.05$ ) ซึ่งค่า Chroma สามารถอธิบายได้ว่าความเข้มสีของตัวอย่างลดลง ซึ่งค่าดังกล่าวจะสัมพันธ์กับค่าความสว่างที่ลดลง ระหว่างเก็บรักษา เมล็ดข้าวจะเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) เนื่องจากกรดอะมิโนกับน้ำตาลรีดิวซ์ที่มีในข้าวสามารถรวมตัวกันเป็นสารประกอบสีน้ำตาลประเภทเมลานอยดิน (Melanoidins) ที่มีขนาดใหญ่ (Chrastil, 1994) จึงส่งผลให้ค่าความสว่างลดลง ส่วนการลดลงของค่าสีแดงและ Chroma ของข้าวสังข์หยดหักและข้าวสังข์หยดเต็มเมล็ด จะสัมพันธ์กับปริมาณแอนโทไซยานินที่ลดลงระหว่างเก็บรักษาอีกด้วย เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของแอนโทไซยานิน นอกจากนี้ค่า Hue angle ของข้าวสังข์หยดหักและข้าวสังข์หยดเต็มเมล็ด ไม่แตกต่างกันระหว่างเก็บรักษา ( $p \geq 0.05$ ) โดย

มีค่า Hue angle อยู่ในช่วงเท่ากับ 53.72-54.30 ซึ่งค่าดังกล่าวจะอยู่ในช่วงที่แสดงความเป็นสีแดง (Francis, 1980)

**Table 7** Physical properties of Phatthalung sungyod whole rice grain and broken rice grain during storage under room temperature for 6 months

Phatthalung sungyod rice	Storage time (months)	Length (L) (cm)	Breadth (B) (cm)	Grain weight (g/100 grains)	Bulk density (g/cm <sup>3</sup> )
Whole rice grain	0	0.650±0.006 <sup>a</sup>	0.177±0.008 <sup>ns</sup>	1.540±0.006 <sup>a</sup>	0.978±0.001 <sup>b</sup>
	2	0.649±0.007 <sup>a</sup>	0.177±0.004 <sup>ns</sup>	1.537±0.003 <sup>ab</sup>	0.975±0.005 <sup>b</sup>
	4	0.649±0.005 <sup>a</sup>	0.176±0.005 <sup>ns</sup>	1.531±0.006 <sup>bc</sup>	0.973±0.009 <sup>b</sup>
	6	0.647±0.003 <sup>a</sup>	0.176±0.006 <sup>ns</sup>	1.530±0.005 <sup>c</sup>	0.970±0.007 <sup>b</sup>
Broken rice grain	0	0.432±0.010 <sup>b</sup>	0.179±0.010 <sup>ns</sup>	0.948±0.005 <sup>d</sup>	1.008±0.001 <sup>a</sup>
	2	0.433±0.019 <sup>b</sup>	0.184±0.011 <sup>ns</sup>	0.940±0.002 <sup>c</sup>	1.005±0.003 <sup>a</sup>
	4	0.435±0.017 <sup>b</sup>	0.187±0.017 <sup>ns</sup>	0.935±0.001 <sup>cf</sup>	1.004±0.002 <sup>a</sup>
	6	0.437±0.010 <sup>b</sup>	0.181±0.010 <sup>ns</sup>	0.933±0.004 <sup>f</sup>	1.004±0.004 <sup>a</sup>

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

NS is not significantly different ( $p \geq 0.05$ ).



**Table 8** Color of Phatthalung sungyod whole rice grain and broken rice grain during storage under room temperature for 6 months

Phatthalung sungyod rice	Storage time (months)	Color			Hue angle	Chroma
		L*	a*	b*		
Whole rice grain	0	43.49±0.80 <sup>ab</sup>	14.29±0.56 <sup>a</sup>	19.71±0.81 <sup>a</sup>	54.06±2.14 <sup>ns</sup>	24.36±0.36 <sup>a</sup>
	2	43.28±0.56 <sup>abc</sup>	14.22±0.44 <sup>a</sup>	19.63±0.84 <sup>a</sup>	54.08±1.34 <sup>ns</sup>	24.25±0.76 <sup>b</sup>
	4	42.74±0.65 <sup>cd</sup>	13.71±0.22 <sup>b</sup>	19.44±0.80 <sup>ab</sup>	54.70±2.61 <sup>ns</sup>	23.81±0.43 <sup>cd</sup>
	6	42.04±0.39 <sup>c</sup>	13.36±0.42 <sup>b</sup>	18.18±0.36 <sup>b</sup>	53.72±0.96 <sup>ns</sup>	22.56±0.41 <sup>c</sup>
Broken rice grain	0	43.76±0.39 <sup>a</sup>	14.26±0.41 <sup>a</sup>	19.83±0.72 <sup>a</sup>	54.30±1.08 <sup>ns</sup>	24.42±0.68 <sup>a</sup>
	2	43.41±0.64 <sup>abc</sup>	14.24±0.25 <sup>a</sup>	19.44±0.83 <sup>ab</sup>	53.78±1.38 <sup>ns</sup>	24.11±0.65 <sup>ab</sup>
	4	42.88±0.25 <sup>bcd</sup>	13.78±0.22 <sup>ab</sup>	18.94±0.65 <sup>ab</sup>	53.98±1.09 <sup>ns</sup>	23.42±0.52 <sup>bc</sup>
	6	42.20±0.34 <sup>de</sup>	13.46±0.36 <sup>b</sup>	18.17±0.25 <sup>b</sup>	53.72±0.96 <sup>ns</sup>	22.61±0.38 <sup>de</sup>

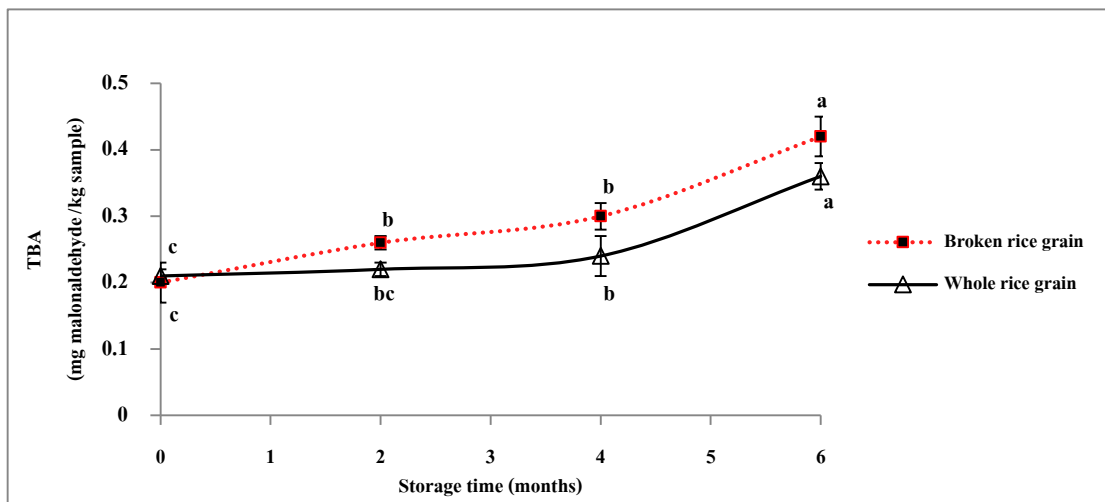
Note: Means with different letters in the same column are significantly different ( $p < 0.05$ ).

NS is not significantly different ( $p \geq 0.05$ ).

### 3.2 คุณภาพทางเคมี

การเปลี่ยนแปลงของคุณภาพทางเคมีของข้าวสังข์หยดหักและข้าวสังข์หยดเต็มเมล็ดระหว่างเก็บรักษา พบว่าข้าวสังข์หยดหักและข้าวสังข์หยดเต็มเมล็ดมีปริมาณความชื้นและแอนโทไซยานินลดลง ( $p < 0.05$ ) แสดงดังตารางที่ 9 ซึ่งปริมาณความชื้นที่ลดลงระหว่างเก็บรักษานั้น เนื่องจากระหว่างเก็บรักษาจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเพิ่มขึ้น โดยออกซิเจนสามารถทำปฏิกิริยากับแอนโทไซยานินในตำแหน่ง C-2 หรือหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group) ของ B-ring ทำให้เกิดสีน้ำตาลขึ้นในข้าว (Saint-Gaulejet *et al.*, 1999; Markaris, 1974) ทั้งนี้ปริมาณแอนโทไซยานินที่ลดลงระหว่างเก็บรักษา จะสอดคล้องกับค่าสีแดงและ Chroma ของข้าวที่ลดลง นอกจากนี้พบว่าปริมาณน้ำอิสระ เถ้า โปรตีน ไขมัน เยื่อใย และอะไมโลสของข้าวสังข์หยดหักและข้าวสังข์หยดเต็มเมล็ดไม่เปลี่ยนแปลงระหว่างเก็บรักษา ( $p \geq 0.05$ ) สอดคล้องกันกับการศึกษาของ Keawpeng (2012) และ Kanjanumpha (2015) ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมีของข้าวกล้องสังข์หยดระหว่างเก็บรักษา นาน 6 เดือน พบว่า ปริมาณน้ำอิสระ เถ้า โปรตีน ไขมัน เยื่อใย และอะไมโลสของข้าวสังข์หยด ไม่เปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา ( $p \geq 0.05$ ) ทั้งนี้ปริมาณอะไมโลสในข้าวสังข์หยดเต็มเมล็ดและข้าวสังข์หยดหักมีค่าเท่ากับร้อยละ 11.15 และ 11.16 ตามลำดับ ขณะที่

Keawpeng and Meenune (2012) รายงานว่า ข้าวสังข์หยดพัทลุงมีปริมาณอะไมโนไลต์เท่ากับร้อยละ 15.32 ซึ่งปริมาณอะไมโนไลต์สูงกว่าค่าที่ผู้วิจัยได้จากผลการทดลอง ทั้งนี้เนื่องจากการวิเคราะห์หาปริมาณอะไมโนไลต์ ตัวอย่างข้าวที่ใช้ในงานวิจัยอยู่ในรูปฟลาวร์ (Flour) ซึ่งมีองค์ประกอบของไขมันอยู่ ไขมันจะสามารถทำปฏิกิริยากับไอโอดีนได้ จึงส่งผลให้ไอโอดีนที่จะไปจับกับโมเลกุลของอะไมโนไลต์ได้ลดลง จึงส่งผลให้ปริมาณอะไมโนไลต์ที่วิเคราะห์ได้มีค่าต่ำ ส่วนการศึกษาชนิดและปริมาณกรดไขมันของข้าวสังข์หยดหักและข้าวสังข์หยดเต็มเมล็ด แสดงดังตารางที่ 10 พบว่าชนิดของกรดไขมันที่พบปริมาณสูงในข้าวสังข์หยดหักและข้าวสังข์หยดเต็มเมล็ดได้แก่ กรดโอเลอิก (Oleic acid) กรดลินอเลอิก (Linolenic acid) และกรดปาล์มิติก (Palmitic acid) โดยในข้าวสังข์หยดหักมีค่าเท่ากับ 860.14, 756.06 และ 490.80 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง ตามลำดับ ส่วนในข้าวสังข์หยดเต็มเมล็ดมีค่าเท่ากับ 865.45, 751.65 และ 489.54 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง ตามลำดับ (ตารางที่ 10) เช่นเดียวกันกับ Ohashi และคณะ (1980) รายงานว่ากรดโอเลอิก กรดลินอเลอิก และกรดปาล์มิติก เป็นกรดไขมันส่วนใหญ่ที่พบในข้าว นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงกลิ่นหืนจะขึ้นกับโครงสร้างของเมล็ดข้าวและระยะเวลาเก็บรักษาพบว่า ข้าวสังข์หยดหักมีค่าการเกิดกลิ่นหืนสูงกว่าข้าวสังข์หยดเต็มเมล็ดตั้งแต่เดือนที่ 2 จนถึงเดือนที่ 6 ของการเก็บรักษา (ภาพที่ 11) เนื่องจากข้าวสังข์หยดมีพื้นที่สัมผัสตรงบริเวณรอยหักของเมล็ดกับอากาศเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้เพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้ค่าการเกิดกลิ่นหืนของข้าวสังข์หยดหักสูงกว่าข้าวสังข์หยดเต็มเมล็ดระหว่างเก็บรักษา สอดคล้องกับการศึกษาของ Monsoor และ Proctor (2003) ที่รายงานว่าการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันสูงกว่าข้าวเต็มเมล็ด เมื่อเก็บรักษานาน 35 วัน นอกจากนี้ระหว่างเก็บรักษาข้าวสังข์หยดเต็มเมล็ดและข้าวสังข์หยดหักมีค่าการเกิดกลิ่นหืนเพิ่มขึ้น ( $p < 0.05$ ) (ภาพที่ 11) ในขณะที่ปริมาณกรดไขมันลดลง (ตารางที่ 10) ซึ่งค่าการเกิดกลิ่นหืนที่เพิ่มขึ้นจะสอดคล้องกันกับการลดลงของปริมาณกรดไขมัน ซึ่งการลดลงของกรดไมริสติก กรดปาล์มิติก กรดสเตียริก กรดโอเลอิก กรดลินอเลอิก และกรดอิรูซิกในข้าวสังข์หยดเต็มเมล็ดคิดเป็นร้อยละ 6.67, 7.54, 2.78, 9.63, 11.32 และ 11.32 ตามลำดับ ส่วนในข้าวสังข์หยดหักคิดเป็นร้อยละ 7.59, 10.78, 2.64, 11.11, 12.15 และ 18.67 ตามลำดับ เนื่องจากระหว่างเก็บรักษาไขมันในข้าวสามารถถูกย่อยสลายด้วยเอนไซม์ไลเปสและเกิดเป็นกรดไขมันอิสระ จากนั้นกรดไขมันอิสระจะถูกออกซิไดส์ ได้เป็นสารประเภทไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydroperoxide) ซึ่งเป็นอนุมูลอิสระ (Peroxide free radical) และเป็นสารที่ไม่เสถียรจึงเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องเกิดปฏิกิริยาแบบลูกโซ่ และเกิดเป็นสารประกอบกลุ่มแอลดีไฮด์และคีโตน ซึ่งสารประกอบดังกล่าวทำให้เกิดกลิ่นเหม็นหืน (Juliano, 1985; Champagne, 1994; Marshall and Wadsworth, 1994)



**Figure 11** Thiobarbituric acid (TBA) of Phatthalung sungyod whole rice grain and broken rice grain during storage under room temperature for 6 months

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

### 3.3 คุณภาพทางเคมีเชิงฟิสิกส์

#### สมบัติการเกิดเจลาตินในเซชัน

สมบัติการเกิดเจลาตินในเซชันของข้าวสังข์หยดหักและข้าวสังข์หยดเต็มเมล็ดระหว่างเก็บรักษา แสดงดังตารางที่ 11 พบว่า ข้าวสังข์หยดหักและข้าวสังข์หยดเต็มเมล็ดมีช่วงอุณหภูมิเกิดเจลาตินในเซชันได้แก่ อุณหภูมิเริ่มต้น ( $T_0$ ) อุณหภูมิสูงสุด ( $T_p$ ) และอุณหภูมิสุดท้ายในการเกิดเจลาตินในเซชัน ( $T_c$ ) ของข้าวสังข์หยดหักและข้าวสังข์หยดเต็มเมล็ดคงที่ระหว่างการเก็บรักษา ( $p \geq 0.05$ ) ในขณะที่พลังงานเอนทัลปีของข้าวสังข์หยดหักและข้าวสังข์หยดเต็มเมล็ดเพิ่มขึ้น ( $p < 0.05$ ) โดยข้าวสังข์หยดหักมีค่าพลังงานเอนทัลปีเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 7.62-8.85 จูลต่อกรัมตัวอย่างน้ำหนักแห้ง และข้าวสังข์หยดเต็มเมล็ดมีค่าพลังงานเอนทัลปีเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 7.71-8.82 จูลต่อกรัมตัวอย่างน้ำหนักแห้ง ทั้งนี้ค่าพลังงานเอนทัลปีเพิ่มขึ้น แสดงว่าเมล็ดแป้งมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบภายในเมล็ดข้าวระหว่างการเก็บรักษา เช่น โครงสร้างของอะไมโลสและอะไมโลเพกทินเกิดการยึดเกาะกันระหว่างโมเลกุล และเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของโปรตีน ทำให้แรงในการยึดเกาะกันระหว่างโมเลกุลของโปรตีนและระหว่างโปรตีนกับสตาร์ชเพิ่มขึ้น ทำให้เมล็ดแป้งมีความแข็งแรงขึ้น จึงต้องใช้พลังงานมากขึ้นในการสลายพันธะที่เชื่อมระหว่างโมเลกุล ในระหว่างการเกิดเจลาตินในเซชันมากขึ้น พลังงานเอนทัลปีของข้าวสังข์หยดหักและข้าวสังข์หยดเต็มเมล็ดจึงเพิ่มสูงขึ้นระหว่างเก็บรักษา (Wongdecharekul and Kongkiattikajorn, 2010; Sodhi and Singh, 2003; Sowbhagya and Bhattacharya, 2001)

**Table 9** Chemical properties of Phatthalung sungyod whole rice grain and broken rice during storage under room temperature for 6 months

Phatthalung sungyod rice	Storage time (months)	Moisture content (%)	$a_w$	Ash (%)	Protein (%)	Lipid (%)	Fiber (%)	Amylose (%)	Anthocyanin*
Whole rice grain	0	11.38±0.01 <sup>a</sup>	0.574±0.003 <sup>ns</sup>	1.40±0.02 <sup>ns</sup>	5.40±0.02 <sup>ns</sup>	1.94±0.02 <sup>ns</sup>	0.36±0.02 <sup>ns</sup>	11.15±0.05 <sup>ns</sup>	12.43±0.01 <sup>a</sup>
	2	11.35±0.03 <sup>b</sup>	0.574±0.001 <sup>ns</sup>	1.39±0.03 <sup>ns</sup>	5.40±0.04 <sup>ns</sup>	1.93±0.03 <sup>ns</sup>	0.36±0.01 <sup>ns</sup>	11.16±0.02 <sup>ns</sup>	12.39±0.01 <sup>abc</sup>
	4	11.33±0.01 <sup>bc</sup>	0.575±0.001 <sup>ns</sup>	1.40±0.02 <sup>ns</sup>	5.39±0.01 <sup>ns</sup>	1.93±0.01 <sup>ns</sup>	0.37±0.02 <sup>ns</sup>	11.16±0.01 <sup>ns</sup>	12.37±0.01 <sup>cd</sup>
	6	11.30±0.01 <sup>de</sup>	0.574±0.002 <sup>ns</sup>	1.41±0.03 <sup>ns</sup>	5.38±0.02 <sup>ns</sup>	1.92±0.04 <sup>ns</sup>	0.36±0.06 <sup>ns</sup>	11.15±0.01 <sup>ns</sup>	12.36±0.05 <sup>cd</sup>
Broken rice	0	11.39±0.02 <sup>a</sup>	0.576±0.008 <sup>ns</sup>	1.39±0.02 <sup>ns</sup>	5.41±0.01 <sup>ns</sup>	1.95±0.07 <sup>ns</sup>	0.36±0.02 <sup>ns</sup>	11.16±0.01 <sup>ns</sup>	12.42±0.03 <sup>ab</sup>
	2	11.33±0.01 <sup>bc</sup>	0.572±0.003 <sup>ns</sup>	1.39±0.01 <sup>ns</sup>	5.41±0.02 <sup>ns</sup>	1.92±0.06 <sup>ns</sup>	0.33±0.04 <sup>ns</sup>	11.15±0.04 <sup>ns</sup>	12.38±0.01 <sup>bcd</sup>
	4	11.32±0.01 <sup>cd</sup>	0.571±0.002 <sup>ns</sup>	1.40±0.04 <sup>ns</sup>	5.38±0.01 <sup>ns</sup>	1.91±0.01 <sup>ns</sup>	0.38±0.01 <sup>ns</sup>	11.15±0.03 <sup>ns</sup>	12.35±0.01 <sup>cd</sup>
	6	11.29±0.01 <sup>e</sup>	0.572±0.005 <sup>ns</sup>	1.43±0.02 <sup>ns</sup>	5.37±0.01 <sup>ns</sup>	1.90±0.01 <sup>ns</sup>	0.38±0.07 <sup>ns</sup>	11.14±0.02 <sup>ns</sup>	12.33±0.06 <sup>d</sup>

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

NS is not significantly different ( $p \geq 0.05$ ).

Anthocyanin content was reported as milligram of cyanidin-3-glucoside /100 g dry sample.

**Table 10** Fatty acid of fresh Phatthalung sungyod whole rice grain and broken rice grain and its content during storage under room temperature for 6 months

Phatthalung sungyod rice	Storage time (months)	Fatty acid content (mg/100 g sample)						
		Myristic acid (14:0)	Palmitic acid (16:0)	Stearic acid (18:0)	Oleic acid (18:1 n-9)	Linoleic acid (18:2 n-6)	Erucic acid (22:1 n-9)	
Whole rice grain	0	10.95	489.54	45.56	865.45	751.65	1.50	
	6	10.22	452.60	44.29	782.10	666.55	1.28	
Broken rice grain	0	10.93	490.80	44.58	860.14	756.06	1.50	
	6	10.10	437.86	43.40	764.64	664.21	1.22	

### ค่ากำลังการพองตัวและค่าการละลาย

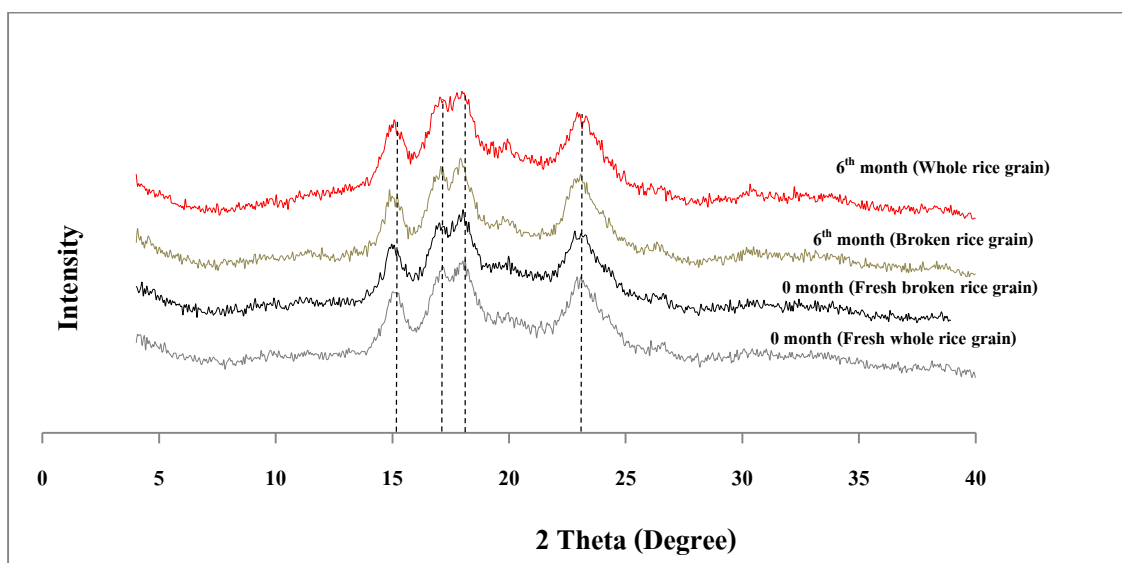
การเปลี่ยนแปลงของค่ากำลังการพองตัวและการละลายของข้าวสังข์หยดหัก และข้าวสังข์หยดเต็มเมล็ดระหว่างเก็บรักษา แสดงดังตารางที่ 11 พบว่า ค่ากำลังการพองตัวและการละลายของข้าวสังข์หยดหักและข้าวสังข์หยดเต็มเมล็ด ไม่เปลี่ยนแปลง ระหว่างเก็บรักษา ( $p \geq 0.05$ ) โดยค่ากำลังการพองตัวของข้าวสังข์หยดหักในเดือนที่ 0 มีค่าเท่ากับ 12.20 กรัมต่อกรัมตัวอย่าง ส่วนในเดือนที่ 6 มีค่าเท่ากับ 12.15 กรัมต่อกรัมตัวอย่าง ส่วนข้าวสังข์หยดเต็มเมล็ดในเดือนที่ 0 มีค่าเท่ากับ 12.19 กรัมต่อกรัมตัวอย่าง ส่วนในเดือนที่ 6 มีค่าเท่ากับ 12.17 กรัมต่อกรัมตัวอย่าง ส่วนค่าการละลายของข้าวสังข์หยดหักข้าวสังข์หยดหักในเดือนที่ 0 มีค่าเท่ากับร้อยละ 5.92 ส่วนในเดือนที่ 6 มีค่าเท่ากับร้อยละ 5.84 ส่วนข้าวสังข์หยดเต็มเมล็ดในเดือนที่ 0 มีค่าเท่ากับร้อยละ 5.91 กรัมต่อกรัมตัวอย่าง ส่วนในเดือนที่ 6 มีค่าเท่ากับร้อยละ 5.83 ทั้งนี้ Kajanumpa and Meenune (2014) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการละลายและการพองตัวของข้าวกล้องสังข์หยดระหว่างเก็บรักษา พบว่าความสามารถในการละลายและการพองตัวของข้าวกล้องสังข์หยด มีแนวโน้มลดลงระหว่างเก็บรักษา เนื่องจากโครงสร้างของเมล็ดข้าวมีความแข็งแรงมากขึ้น ส่งผลให้ความสามารถในการพองตัวลดลง (Champagne, 1996; Chrastil, 1994; Chrastil, 1992)

### พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความหนืด

พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความหนืดของข้าวสังข์หยดหักและข้าวสังข์หยดเต็มเมล็ดระหว่างเก็บรักษา แสดงดังตารางที่ 12 เมื่อระยะเวลาเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ข้าวสังข์หยดหักและข้าวสังข์หยดเต็มเมล็ดมีความหนืดสูงสุด (PV) ความหนืดสุดท้าย (FV) และค่าการคืนตัว (SBV) ลดลง ( $p < 0.05$ ) ส่วนอุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนค่าความหนืด ( $P_{temp}$ ) ของข้าวสังข์หยดหักและข้าวสังข์หยดเต็มเมล็ดมีค่าเพิ่มขึ้นตั้งแต่เดือนที่ 0 จนถึงเดือนที่ 2 ของการเก็บรักษา ( $p < 0.05$ ) หลังจากเดือนที่ 2 จนถึงเดือนที่ 6 ของการเก็บรักษา จะมีค่าคงที่ ( $p \geq 0.05$ ) ซึ่งค่าความหนืดที่ลดลงระหว่างเก็บรักษา เนื่องจากองค์ประกอบภายในเมล็ดข้าวเกิดการเปลี่ยนแปลงระหว่างเก็บรักษา เช่น การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของโปรตีน เกิดพันธะไดซัลไฟด์จากหมู่ซัลไฮดริลทำให้แรงยึดเกาะกันระหว่างโมเลกุลของโปรตีน และระหว่างโปรตีนกับสตาร์ชเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการขัดขวางการดูดซับน้ำของเม็ดแป้ง ทำให้ความหนืดของข้าวมีค่าลดลงระหว่างเก็บรักษา (Tananuwong and Malila 2011; Zhou *et al.*, 2007) ทั้งนี้คุณภาพด้านความหนืดได้แก่ ความหนืดสูงสุด ความหนืดสุดท้าย และค่าการคืนตัวที่ลดลง จะสอดคล้องกันกับค่ากำลังการพองตัวที่ลดลงและการเพิ่มขึ้นของพลังเอนทัลปีของข้าวระหว่างเก็บรักษา

### รูปแบบโครงสร้างและปริมาณผลึก

รูปแบบโครงสร้างและปริมาณผลึกของข้าวสังข์หยดหักและข้าวสังข์หยดเต็มเมล็ดระหว่างเก็บรักษา แสดงดังภาพที่ 12 ข้าวสังข์หยดหักและข้าวสังข์หยดเต็มเมล็ดจะมีลักษณะโครงสร้างถึงผลึกเป็นชนิด A โดยปรากฏพีคหลักที่ตำแหน่ง  $2\theta$  ที่ตำแหน่ง 15, 17, 18 และ 23 องศา ระหว่างการเก็บรักษา ข้าวสังข์หยดหักและข้าวสังข์หยดเต็มเมล็ดมีปริมาณผลึกเพิ่มขึ้น โดยในข้าวสังข์หยดหักในเดือนที่ 0 มีปริมาณผลึกเท่ากับร้อยละ 24.77 และในเดือนที่ 6 เท่ากับร้อยละ 26.03 ส่วนข้าวสังข์หยดเต็มเมล็ดในเดือนที่ 0 มีปริมาณผลึกเท่ากับร้อยละ 24.80 และในเดือนที่ 6 เท่ากับร้อยละ 25.93 ทั้งนี้ระหว่างเก็บรักษาโครงสร้างของอะไมโลสและอะไมโลเพกทิน ที่เป็นองค์ประกอบภายในของสตาร์ชแกรนูเลชันเกิดการเคลื่อนที่เข้ามาใกล้กันมากขึ้น ส่งผลให้โครงสร้างมีความเป็นระเบียบมากขึ้น ทำให้ปริมาณผลึกเพิ่มขึ้น (Zhou *et al.*, 2002) อย่างไรก็ตามรูปแบบโครงสร้างผลึกของข้าวสังข์หยดหักและข้าวสังข์หยดเต็มเมล็ดไม่เปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา โดยยังคงเป็นชนิด A



**Figure 12** X-ray diffractogram of fresh Phatthalung sungyod whole rice grain and broken rice grain and its diffractogram during storage under room temperature for 6 months

**Table 11** Swelling power, solubility and thermal properties of Phatthalung sungyod whole rice grain and broken rice grain during storage under room temperature for 6 months

Phatthalung sungyod rice	Storage time (months)	Swelling power (g/g)	Solubility (%)	Thermal properties			
				T <sub>o</sub> (°C)	T <sub>p</sub> (°C)	T <sub>c</sub> (°C)	ΔH (J/g)
Whole rice grain	0	12.19±0.02 <sup>ns</sup>	5.91±0.01 <sup>ns</sup>	73.77±0.24 <sup>ns</sup>	79.38±0.18 <sup>ns</sup>	83.31±0.29 <sup>ns</sup>	7.71±0.24 <sup>c</sup>
	2	12.18±0.02 <sup>ns</sup>	5.89±0.04 <sup>ns</sup>	73.60±0.21 <sup>ns</sup>	79.22±0.36 <sup>ns</sup>	83.69±0.54 <sup>ns</sup>	8.44±0.05 <sup>b</sup>
	4	12.18±0.05 <sup>ns</sup>	5.86±0.05 <sup>ns</sup>	73.41±0.23 <sup>ns</sup>	79.92±0.87 <sup>ns</sup>	83.27±0.19 <sup>ns</sup>	8.66±0.13 <sup>ab</sup>
	6	12.17±0.02 <sup>ns</sup>	5.83±0.06 <sup>ns</sup>	73.45±0.46 <sup>ns</sup>	79.58±0.81 <sup>ns</sup>	83.56±0.31 <sup>ns</sup>	8.82±0.09 <sup>a</sup>
Broken rice grain	0	12.20±0.02 <sup>ns</sup>	5.92±0.01 <sup>ns</sup>	73.36±0.95 <sup>ns</sup>	79.08±0.48 <sup>ns</sup>	83.10±0.42 <sup>ns</sup>	7.62±0.22 <sup>c</sup>
	2	12.19±0.02 <sup>ns</sup>	5.90±0.11 <sup>ns</sup>	73.44±0.45 <sup>ns</sup>	79.38±0.18 <sup>ns</sup>	83.47±0.41 <sup>ns</sup>	8.45±0.05 <sup>b</sup>
	4	12.15±0.07 <sup>ns</sup>	5.88±0.17 <sup>ns</sup>	73.22±0.06 <sup>ns</sup>	80.04±0.47 <sup>ns</sup>	83.15±0.44 <sup>ns</sup>	8.63±0.14 <sup>ab</sup>
	6	12.15±0.06 <sup>ns</sup>	5.84±0.09 <sup>ns</sup>	73.65±0.10 <sup>ns</sup>	79.77±0.72 <sup>ns</sup>	83.36±0.52 <sup>ns</sup>	8.85±0.11 <sup>a</sup>

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

NS is not significantly different (p≥0.05).



**Table 12** Pasting properties of Phatthalung sungyod whole rice grain and broken rice grain during storage under room temperature for 6 months

Phatthalung sungyod rice	Storage time (months)	Pasting properties			
		PV (RVU)	P <sub>temp</sub> (°C)	FV (RVU)	SBV (RVU)
Whole rice grain	0	102.31±0.27 <sup>a</sup>	93.77±0.14 <sup>b</sup>	203.67±0.17 <sup>a</sup>	125.86±0.46 <sup>a</sup>
	2	101.75±0.55 <sup>a</sup>	94.62±0.32 <sup>a</sup>	202.47±0.46 <sup>c</sup>	125.19±0.35 <sup>abc</sup>
	4	99.47±0.60 <sup>b</sup>	94.63±0.23 <sup>a</sup>	199.72±0.83 <sup>d</sup>	124.58±0.22 <sup>cd</sup>
	6	93.58±0.67 <sup>c</sup>	94.98±0.56 <sup>a</sup>	199.16±0.37 <sup>d</sup>	124.44±0.41 <sup>cd</sup>
Broken rice grain	0	102.28±0.27 <sup>a</sup>	93.80±0.05 <sup>b</sup>	203.47±0.13 <sup>ab</sup>	125.69±0.81 <sup>ab</sup>
	2	101.64±0.67 <sup>a</sup>	94.68±0.06 <sup>a</sup>	202.61±0.31 <sup>bc</sup>	125.04±0.13 <sup>bcd</sup>
	4	99.25±0.58 <sup>b</sup>	94.66±0.08 <sup>a</sup>	199.76±0.86 <sup>d</sup>	124.54±0.12 <sup>cd</sup>
	6	93.28±0.17 <sup>c</sup>	94.92±0.46 <sup>a</sup>	199.07±0.66 <sup>d</sup>	124.35±0.45 <sup>d</sup>

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

NS is not significantly different ( $p \geq 0.05$ ).

PV equals to peak viscosity; P<sub>temp</sub> equals to pasting temperature; FV equals to final viscosity and

SBV equals to setback viscosity

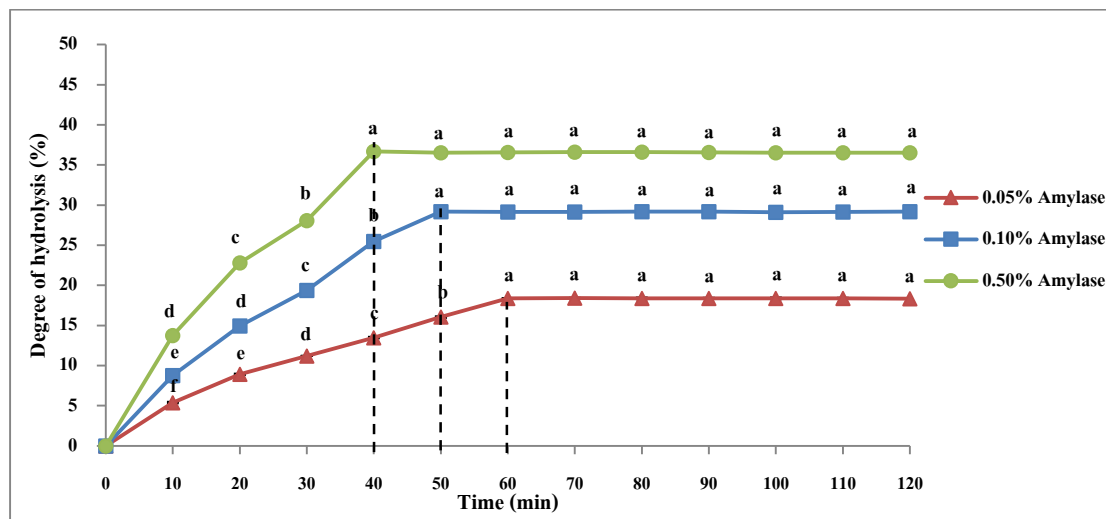
## 2. สภาพที่เหมาะสมในการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสต่อคุณภาพน้ำสกัดจากข้าว

จากการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส ต่อคุณภาพน้ำสกัดจากข้าว โดยหาระยะเวลาการย่อยแป้งข้าวเมื่อใช้ความเข้มข้นของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส 3 ระดับ คือร้อยละ 0.05, 0.1 และ 0.5 (ปริมาตรต่อน้ำหนัก) ต่อคุณภาพน้ำสกัดจากข้าว โดยพิจารณาจากค่าสี ความหนืด ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ปริมาณของแข็งทั้งหมด ค่าระดับการย่อยของแป้ง และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

### 2.1 ระยะเวลาการย่อยแป้งข้าวด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส

จากการศึกษาหาระยะเวลาระหว่างการย่อยแป้งข้าวด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสที่ความเข้มข้น 3 ระดับ ต่อค่าระดับการย่อย (Degree of hydrolysis) พบว่า เมื่อระยะเวลาการย่อยนานขึ้น ส่งผลให้ค่าระดับการย่อยของแป้งข้าวเพิ่มขึ้น ในทุกระดับความเข้มข้นของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส ( $p < 0.05$ ) ก่อนถึงจุดสมดุลของการย่อย และเมื่อพิจารณาที่ระยะเวลาเดียวกัน พบว่าเมื่อใช้ความเข้มข้นของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสเพิ่มขึ้น ค่าระดับการย่อยของแป้งข้าวเพิ่มขึ้น ( $p < 0.05$ ) แสดงดังภาพที่ 13 เนื่องจากเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส สามารถย่อยโครงสร้างของแป้งข้าวตรงตำแหน่งพันธะแอลฟา-หนึ่ง, ลี-ไกลโคซิดิกเพิ่มขึ้น โดยรูปแบบการย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสในแต่ละความเข้มข้น แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน (Two-stage pattern) โดยในช่วงแรกแป้งข้าวจะถูกย่อยอย่างรวดเร็ว โดยสังเกตได้จากความชัน (Slope) ของกราฟ ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงแรกอัตราเร็วของปฏิกิริยาการทำงานของเอนไซม์จะขึ้นกับปริมาณสับสเตรท โดยเกิดการรวมตัวกันระหว่างโมเลกุลของสับสเตรทกับเอนไซม์ เป็นเอนไซม์-สับสเตรทคอมเพล็กซ์เพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นเอนไซม์มากขึ้น ปริมาณเอนไซม์ที่มากจะทำหน้าที่เข้าไปย่อยสับสเตรทได้มากขึ้นและเร็วขึ้น ทำให้ได้กราฟที่มีลักษณะชันมากขึ้น ความชันของกราฟในแต่ละชุดการทดลองที่มีการเติมเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.05, 0.1 และ 0.5 (ปริมาตรต่อน้ำหนัก) มีค่าเท่ากับ 2.90, 5.73 และ 8.77 ตามลำดับ หลังจากนั้นในช่วงที่ 2 การย่อยจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ จนเข้าสู่จุดสมดุลการย่อย ทำให้กราฟที่ได้มีลักษณะเป็นเส้นตรงคงที่ และเมื่อพิจารณาถึงระยะเวลาสิ้นสุดที่ถึงจุดสมดุลการย่อยของแต่ละความเข้มข้นของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส พบว่า ระยะเวลาสิ้นสุดที่ถึงจุดสมดุลการย่อย เมื่อใช้เอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสความเข้มข้นร้อยละ 0.05, 0.1 และ 0.5 (ปริมาตร โดยน้ำหนัก) จะเท่ากับ 60, 50 และ 40 นาที ตามลำดับ โดยมีค่าระดับการย่อยเท่ากับร้อยละ 18.39, 29.17 และ 36.69 ตามลำดับ ( $p < 0.05$ ) ซึ่งค่าระดับการย่อยที่เพิ่มขึ้น แสดงว่าเอนไซม์

แอลฟา-อะไมเลสย่อยแป้งข้าว ตรงตำแหน่งพันธะแอลฟา-หนึ่ง, สี่-ไกลโคซิดิก แล้วเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดของสายโมเลกุลสั้นลงเพิ่มมากขึ้น จึงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยมีความสามารถในการละลายน้ำเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงเลือกระยะเวลาการย่อยนานที่สุดเท่ากับ 60 นาที มาใช้ในการทดลองตอนที่ 2.2 ต่อไป



**Figure 13** Degree of rice hydrolysis with various enzyme concentrations during incubation times

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

## 2.2 ผลของความเข้มข้นของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสต่อคุณภาพน้ำสกัดจากข้าว

จากการทดลองศึกษาผลของความเข้มข้นของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส ที่ 3 ระดับคือร้อยละ 0.05, 0.1 และ 0.5 (ปริมาตรโดยน้ำหนัก) โดยใช้ระยะเวลาการย่อยนาน 60 นาที (ตามที่คัดเลือกมาจากตอนที่ 2.1) และกำหนดอุณหภูมิการย่อยเท่ากับ 85 องศาเซลเซียส (บริษัท Sigma-Aldrich ประเทศไทย) และติดตามวิเคราะห์คุณภาพทั้งทางกายภาพและเคมีของน้ำสกัดที่ผ่านการย่อย ได้แก่ ค่า  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , ความหนืด ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ค่าระดับการย่อย ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และปริมาณน้ำตาลทั้งหมด โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

### 2.2.1 คุณภาพทางกายภาพ

คุณภาพทางกายภาพน้ำสกัดจากข้าวที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส แต่ละความเข้มข้น แสดงดังตารางที่ 13 เมื่อความเข้มข้นของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่า  $L^*$  ของน้ำสกัดจากข้าวเพิ่มขึ้น ( $p < 0.05$ ) ความเข้มข้นของเอนไซม์ที่ร้อยละ 0.5 มีค่า  $L^*$  สูงที่สุด โดยเท่ากับ 61.66 แต่ไม่แตกต่างกันกับความเข้มข้นของเอนไซม์ที่ร้อยละ 0.1 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 61.36 ( $p \geq 0.05$ ) เนื่องจากการย่อยแป้งข้าวด้วยความเข้มข้นของเอนไซม์เพิ่มขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้จาก

การย่อยมีสายโมเลกุลสั้นลงมากขึ้น จึงส่งผลให้เกิดการกระเจิงของแสงมากขึ้น ทั้งนี้เมื่อความเข้มข้นของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสเพิ่มขึ้น ทำให้ค่า  $a^*$  และ Chroma ของน้ำสกัดจากข้าวเพิ่มขึ้น ( $p \geq 0.05$ ) ในขณะที่ค่า Hue ของน้ำสกัดจากข้าวลดลง ( $p \geq 0.05$ ) โดยค่า  $a^*$  อยู่ในช่วง 1.82-1.86 และค่า  $b^*$  อยู่ในช่วง 9.58-9.73 และเมื่อนำมาคำนวณให้อยู่ในรูปของค่า Hue angle และ Chroma จะมีค่าอยู่ในช่วง 79.30-79.20 และ 3.82-3.91 ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าเมื่อความเข้มข้นของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสเพิ่มขึ้น ความหนืดของน้ำสกัดจากข้าวลดลง ( $p < 0.05$ ) ความหนืดของน้ำสกัดจากข้าวที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.05, 0.1 และ 0.5 ปริมาตรโดยน้ำหนัก จะมีพฤติกรรมการไหลแบบนิวโตเนียน (Newtonian fluid) ที่อัตราเฉือนเท่ากับ 100 รอบต่อวินาที และมีค่าเท่ากับ 1.712, 1.615 และ 1.335 เซ็นติพอยส์ ( $p < 0.05$ ) ตามลำดับ เนื่องจากเมื่อใช้ความเข้มข้นของเอนไซม์ที่เพิ่มขึ้น การย่อยแป้งตรงตำแหน่งพันธะแอลฟา-หนึ่ง, ดี-ไกลโคซิดิก จะเกิดเพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดของสายโมเลกุลสั้น ได้แก่ เด็กซ์ทริน น้ำตาลมอลโทส และน้ำตาลกลูโคส มากขึ้น (Yankov *et al.*, 1986; Szyperski *et al.*, 1986; Whistler *et al.*, 1984) ซึ่งมีผลให้ความหนืดของน้ำสกัดจากข้าวลดลง และสอดคล้องกันกับปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เพิ่มขึ้น

**Table 13** Physical properties of rice hydrolysate with various enzyme concentrations

Physical properties	Enzyme concentration (%v/w)		
	0.05%	0.1%	0.5%
L*	60.21±0.46 <sup>b</sup>	61.36±0.47 <sup>a</sup>	61.66±0.24 <sup>a</sup>
a*	1.82±0.05 <sup>NS</sup>	1.84±0.10 <sup>NS</sup>	1.86±0.08 <sup>NS</sup>
b*	9.58±0.10 <sup>NS</sup>	9.63±0.12 <sup>NS</sup>	9.73±0.18 <sup>NS</sup>
Hue angle	79.30±1.48 <sup>NS</sup>	79.23±0.50 <sup>NS</sup>	79.20±0.55 <sup>NS</sup>
Chroma	9.76±0.94 <sup>NS</sup>	9.81±0.13 <sup>NS</sup>	9.91±0.17 <sup>NS</sup>
Viscosity (cP)	1.712±0.008 <sup>a</sup>	1.615±0.009 <sup>b</sup>	1.335±0.011 <sup>c</sup>

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

NS is not significantly different ( $p \geq 0.05$ ).

Rice hydrolysate was obtained from supernatant that was yield from rice hydrolysis by alpha-amylase enzyme.

### 2.2.2 คุณภาพทางเคมี

คุณภาพทางเคมีของน้ำสกัดจากข้าวที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส แต่ละความเข้มข้น แสดงดังตารางที่ 14 เมื่อความเข้มข้นของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด ค่าระดับการย่อย น้ำตาลรีดิวซ์ และน้ำตาลทั้งหมดเพิ่มขึ้น ( $p < 0.05$ ) เนื่องจากเมื่อใช้ความเข้มข้นของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสเพิ่มขึ้น เอนไซม์จะสามารถย่อยสลายได้มากและเร็วขึ้น ซึ่งสับสเตรทที่ถูกย่อยคือ โครงสร้างของอะไมโลสที่อยู่ในภายในแป้งข้าวเป็นหลัก ซึ่งอะไมโลส เป็นพอลิเมอร์สายตรง ประกอบด้วยโมเลกุลกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะแอลฟา-หนึ่ง, 6-ไกลโคสิติก เอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสจะย่อยตรงตำแหน่งที่กลูโคสเชื่อมต่อกันตรงพันธะแอลฟา-หนึ่ง, 6-ไกลโคสิติก จึงส่งผลให้ได้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้เพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้ค่าระดับการย่อย และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้น ( $p < 0.05$ ) ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำสกัดจากข้าวในแต่ละความเข้มข้นของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสมีค่าคงที่ ( $p \geq 0.05$ ) และมีค่าใกล้เคียงกับสภาวะความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมของการทำงานเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส ซึ่งเท่ากับ 6.0 ที่อุณหภูมิเหมาะสมของการย่อยโดยเท่ากับ 85 องศาเซลเซียส (บริษัท Sigma-Aldrich ประเทศไทย) สำหรับระดับความเข้มข้นที่ถูกคัดเลือกเพื่อนำไปใช้ในตอนที่ 3 คือความเข้มข้นของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส ที่ร้อยละ 0.5 (ปริมาตรต่อน้ำหนัก) เนื่องจากเป็นความเข้มข้นที่ทำให้น้ำสกัดจากแป้งข้าวมีปริมาณของแข็งทั้งหมดและค่าระดับการย่อยของแป้งสูงสุด ( $p < 0.05$ )

**Table 14** Chemical properties of rice hydrolysate with various enzyme concentrations

Chemical properties	Enzyme concentration (%v/w)		
	0.05%	0.1%	0.5%
pH	6.28±0.01 <sup>NS</sup>	6.28±0.01 <sup>NS</sup>	6.27±0.01 <sup>NS</sup>
Total soluble solid (°Brix)	6.9±0.1 <sup>c</sup>	8.5±0.1 <sup>b</sup>	9.3±0.1 <sup>a</sup>
Total solid (%)	7.09±0.03 <sup>c</sup>	8.49±0.02 <sup>b</sup>	9.41±0.01 <sup>a</sup>
Degree of hydrolysis (%)	18.39±0.12 <sup>c</sup>	29.16±0.14 <sup>b</sup>	36.57±0.14 <sup>a</sup>
Reducing sugar (µg/ml)	879.52±5.40 <sup>c</sup>	1349.41±3.82 <sup>b</sup>	1749.55±8.92 <sup>a</sup>
Total sugar (µg/ml)	4781.59±3.32 <sup>NS</sup>	4782.76±1.66 <sup>NS</sup>	4683.94±8.92 <sup>NS</sup>

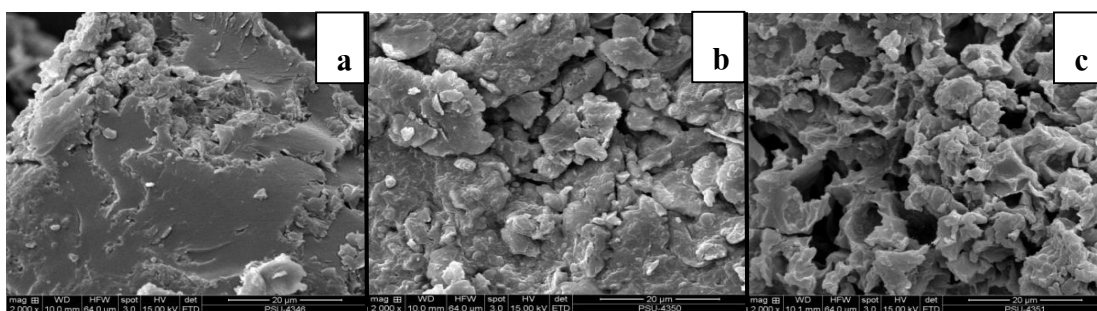
Note: Means with different letters in the same row are significantly different ( $p < 0.05$ ).

NS is not significantly different ( $p \geq 0.05$ ).

Rice hydrolysate was obtained from supernatant that was yield from rice hydrolysis by alpha-amylase enzyme.

### 2.2.3 โครงสร้างทางจุลภาค

โครงสร้างทางจุลภาคของแกรนูลข้าว โดยทั่วไปจะมีลักษณะรูปร่างหกเหลี่ยม (Hexagonal morphology) จัดเรียงตัวกันแน่นภายในส่วนของเนื้อเมล็ดข้าว (Imberty *et al.*, 1991; Ellis, 1988) โดยโครงสร้างทางจุลภาคของแกรนูลข้าวสังข์หยดหักจะมีลักษณะเช่นเดียวกัน แสดงดังภาพ ภาพภาคผนวกที่ 1 จากนั้นนำแป้งข้าวสังข์หยดหักที่บดละเอียด มาย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส ตามความเข้มข้นที่เหมาะสมที่ได้คัดเลือกจากตอนที่ 2.2 ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส จากนั้นนำตะกอนของแป้งข้าวภายหลังการย่อย มาอบแห้งที่อุณหภูมิเท่ากับ 35 องศาเซลเซียส จนความชื้นลดลงเหลือร้อยละ 10 จากนั้นตะกอนที่ได้ถูกตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคของแป้งข้าวที่ระยะเวลา 10, 30 และ 60 นาที พบว่าโครงสร้างทางจุลภาคของแป้งข้าวที่ผ่านการย่อยที่ระยะเวลา 10 นาที จะมีพื้นผิวที่มีลักษณะเรียบและลักษณะแน่น เนื่องจากแป้งข้าวจะเกิดเจลาติไนเซชันบางส่วน ภายใต้อุณหภูมิที่ใช้ในการย่อยเท่ากับ 85 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชันของข้าวสังข์หยด ที่เท่ากับ 73 องศาเซลเซียส และสังเกตได้ว่าพื้นผิวจะมีรูพรุนเกิดขึ้นบ้างเล็กน้อย (ภาพที่ 14a) ส่วนโครงสร้างทางจุลภาคของแป้งข้าวที่ผ่านการย่อยที่ระยะเวลา 30 นาที ลักษณะของเม็ดแป้งจะถูกย่อยเพิ่มมากขึ้น สังเกตได้จากลักษณะของเม็ดแป้งเกิดรูพรุนเพิ่มขึ้น และมีขนาดของรูพรุนที่กว้างขึ้น (ภาพที่ 14b) ส่วนโครงสร้างทางจุลภาคของแป้งข้าวที่ผ่านการย่อยที่ระยะเวลา 60 นาที ซึ่งระยะเวลานี้เป็นระยะเวลาที่เข้าสู่จุดสมดุลการย่อย มีผลทำให้โครงสร้างทางจุลภาคของเม็ดแป้งจะเสถียรภาพมากที่สุด โดยลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของเม็ดแป้งจะเกิดรูพรุนเพิ่มขึ้น และรูพรุนที่เกิดขึ้นจะมีขนาดกว้างขึ้น (ภาพที่ 14c) จะเห็นได้ว่าเมื่อระยะเวลาการย่อยเพิ่มขึ้น โครงสร้างทางจุลภาคของแป้งข้าวจะมีรูพรุนเพิ่มขึ้นและมีขนาดกว้างขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของ Li และคณะ (2013) ที่รายงานว่า เมื่อเวลาการย่อยสตาร์ชจากข้าวเพิ่มขึ้น ทำให้โครงสร้างทางจุลภาคของสตาร์ชมีรูพรุนเพิ่มขึ้น และมีขนาดกว้างขึ้น ค่าระดับการย่อยแป้งข้าวที่ระยะเวลา 10, 30 และ 60 นาที เท่ากับร้อยละ 18.39, 29.17 และ 36.69 ตามลำดับ



**Figure 14** Scanning electron micrograph (2,000X) of rice hydrolysate by 0.5% alpha-amylase for 10 min (a), 30 min (b) and 60 min (c),

Note: Rice hydrolysate was obtained from the precipitate after rice hydrolysis by alpha-amylase enzyme.

### 3. สภาพะการผลิตและสูตรเครื่องดื่มนมผงที่เหมาะสมและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

การผลิตข้าวผงด้วยกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยเพื่อทำให้ลักษณะของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มีสมบัติการละลายสูงและขนาดอนุภาคที่ได้มีความสม่ำเสมอ เมื่อนำไปผลิตเป็นเครื่องดื่มนมผงจากข้าว ทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพดีขึ้น อย่างไรก็ตามเพื่อให้ได้สูตรเครื่องดื่มนมผงที่เหมาะสมและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค จึงต้องมีการศึกษาหาสภาพะการผลิตข้าวผงด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย โดยกำหนดปัจจัยศึกษา 2 ปัจจัย ได้แก่ ปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินและอุณหภูมิอากาศขาเข้า ต่อคุณภาพข้าวผง เพื่อเลือกปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินและอุณหภูมิอากาศขาเข้าที่เหมาะสม จากนั้นคัดเลือกสูตรต้นแบบที่มีส่วนผสมของข้าวผง ครีมเทียม น้ำตาล และ โกโก้ เพื่อมาเป็นต้นแบบ และเพื่อศึกษาหาสูตรเครื่องดื่มนมผงจากข้าวสังข์หยดหัก และคัดเลือกสูตรเครื่องดื่มนมผงที่เหมาะสมจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค

#### 3.1 ศึกษาสภาพะการที่เหมาะสมในการผลิตข้าวผงด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

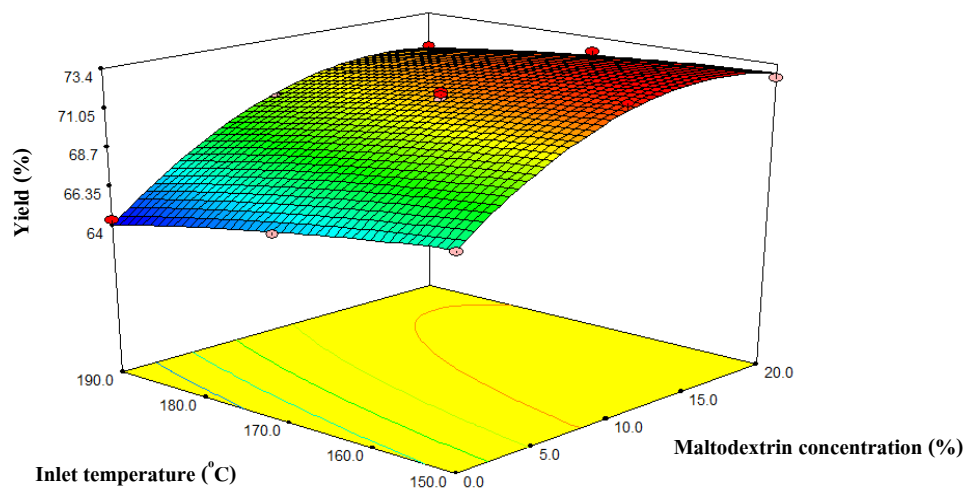
นำน้ำสกัดจากข้าวสังข์หยดหักที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ปริมาตรต่อน้ำหนัก นาน 60 นาที ภายใต้สภาวะความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 6.2 และอุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส จากตอนที่ 2 มาผสมกับมอลโทเด็กซ์ทริน 3 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 0, 10 และ 20 (น้ำหนักโดยน้ำหนัก) จากนั้นตัวอย่างถูกนำมาอบแห้ง ซึ่งกำหนดอัตราการไหลตัวอย่างเข้าเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยเท่ากับ 480 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง และกำหนดอุณหภูมิอากาศขาเข้า 3 ระดับ ได้แก่ 150, 170 และ 190 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิอากาศออกกำหนดเท่ากับ 80 องศาเซลเซียส โดยตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการอบแห้งถูกเรียกว่า “ข้าวผง” จากนั้นข้าวผงจะถูกนำมาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และเคมีเชิงฟิสิกส์ โดยมีผลการศึกษาดังนี้

##### 3.1.1 คุณภาพทางกายภาพ

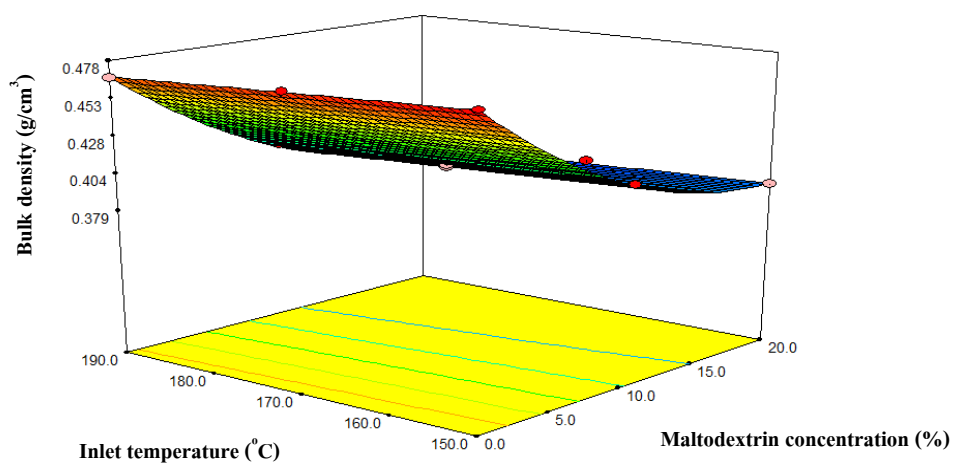
ข้าวผงถูกนำมาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพได้แก่ ร้อยละของผลผลิตที่ได้รับ สี และความหนาแน่นของข้าวผง พบว่า เมื่ออุณหภูมิอากาศขาเข้าเพิ่มขึ้นและปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินลดลง ส่งผลให้ร้อยละของผลผลิตที่ได้รับของข้าวผงลดลง ( $p < 0.05$ ) ดังภาพที่ 15 และตารางภาคผนวก ตารางที่ 2 เนื่องจากอุณหภูมิอากาศขาเข้าที่เพิ่มขึ้น ทำให้อาหารที่มีองค์ประกอบของน้ำตาล เกิดการเกาะติดบริเวณผนังภายในเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยได้ ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิของอาหารเข้าใกล้อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature) มากขึ้น (Bhandari *et al.*, 1997) ส่งผลให้ร้อยละของผลผลิตที่ได้รับลดลง ( $p < 0.05$ ) ส่วนการเติมมอลโทเด็กซ์ทรินเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ร้อยละของผลผลิตที่ได้รับเพิ่มขึ้น เนื่องจากมอลโทเด็กซ์ทรินทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มปริมาณ (Bulking agent) ในอาหาร อีกทั้งยังทำให้อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะ

คล้ายแก้วของอาหารเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งทำให้ลดการเกาะติดบริเวณผนังภายในเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยได้ (Papadakis *et al.*, 2006; Shrestha *et al.*, 2007; Quek *et al.*, 2007) นอกจากนี้อุณหภูมิอากาศขาเข้าเพิ่มขึ้นและปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินลดลง ส่งผลให้ค่าสีแดงของข้าวผงเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าความสว่างลดลง ( $p < 0.05$ ) (ภาพที่ 17 และตารางภาคผนวก ตารางที่ 2) เนื่องจากอุณหภูมิอากาศขาเข้าสูงขึ้น ทำให้เกิดการระเหยของน้ำมากขึ้น จึงทำให้ข้าวผงแห้งมากขึ้น ทำให้ค่าความเป็นสีแดงเพิ่มขึ้น นอกจากนี้อาจเกิดจากปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชันและปฏิกิริยาเมลลาร์ดในระหว่างการอบแห้ง (Phoungchandang *et al.*, 2008) นอกจากนี้ความหนาแน่นของข้าวผงลดลง เมื่ออุณหภูมิอากาศขาเข้าและปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินเพิ่มขึ้น ( $p < 0.05$ ) (ภาพที่ 16 และตารางภาคผนวก ตารางที่ 2) เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิอากาศขาเข้าเพิ่มขึ้น จะทำให้มีอัตราการระเหยของน้ำสูงขึ้น จึงส่งผลให้ปริมาณความชื้นของข้าวผงลดลง น้ำหนักของข้าวผงจึงลดลงด้วย น้ำหนักของข้าวผงจะมีความสัมพันธ์เชิงบวกกันกับความหนาแน่นของข้าวผง จึงส่งผลให้ความหนาแน่นของข้าวผงลดลงด้วย เมื่ออุณหภูมิอากาศขาเข้าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ Walton and Mumford (1999) และ Abadio และคณะ (2004) รายงานว่า เมื่ออุณหภูมิอากาศขาเข้าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความหนาแน่นของอนุภาคผงลดลง เนื่องจากการใช้อุณหภูมิของอากาศขาเข้าที่สูง มีผลทำให้อนุภาคผงมีรูพรุนมากขึ้น (Porous) จึงทำให้ความหนาแน่นของอนุภาคผงลดลง ส่วนการเติมมอลโทเด็กซ์ทรินเพิ่มขึ้น ทำให้ความหนาแน่นของข้าวผงลดลง เนื่องจากการเติมมอลโทเด็กซ์ทริน ทำให้ตัวอย่างมีความหนืดเพิ่มขึ้น จึงส่งผลระหว่างขั้นตอนการฉีดของเหลวเป็นละอองฝอย (Atomization) เกิดการฟอร์มอนุภาคขนาดใหญ่ จึงทำให้ลักษณะอนุภาคข้าวผงที่ได้ใหญ่ขึ้น จึงทำให้ความหนาแน่นของข้าวผงลดลง (Tonon *et al.*, 2008; Goula and Adamopoulos, 2008) ในขณะที่ Fazaeli และคณะ (2012) พบว่า มอลโทเด็กซ์ทรินจะมีความสามารถในการก่อฟิล์มได้เร็วหรือมีสมบัติในการห่อหุ้มสารได้ดี จึงทำให้ปริมาตรของผงที่ได้เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความหนาแน่นลดลง นอกจากนี้ค่าคุณภาพทางกายภาพได้แก่ ร้อยละของผลผลิตที่ได้รับ สี และความหนาแน่นของข้าวผง ถูกนำมาคำนวณสมการทางคณิตศาสตร์ เพื่อแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิอากาศขาเข้าและความเข้มข้นของมอลโทเด็กซ์ทรินที่มีผลต่อคุณภาพทางกายภาพของข้าวผง ดังแสดงในตารางที่ 15 โดยพบว่า สมการทางคณิตศาสตร์ของร้อยละของผลผลิตที่ได้รับ ค่าความสว่าง ค่าสีแดง ค่าสีเขียว และความหนาแน่นของข้าวผง เป็นแบบกำลังสอง (Quadratic model) สมการทางคณิตศาสตร์สามารถอธิบายผลของปัจจัยที่มีต่อค่าการตอบสนองได้ (Model,  $p < 0.05$ ) และมีค่าสหสัมพันธ์ ( $R^2$ ) อยู่ในช่วง 0.9987-0.9995 ในขณะที่สมการทางคณิตศาสตร์ของค่าความสว่าง ค่าสีแดง และค่าสีเขียวของข้าวผงมีความบกพร่อง (Lack of fit,  $p < 0.05$ ) อย่างไรก็ตามพบว่า สมการทางคณิตศาสตร์ของค่าร้อยละของผลผลิตที่ได้รับ และความหนาแน่นของข้าวผงไม่มีความบกพร่อง (Lack of fit,  $p \geq 0.05$ )

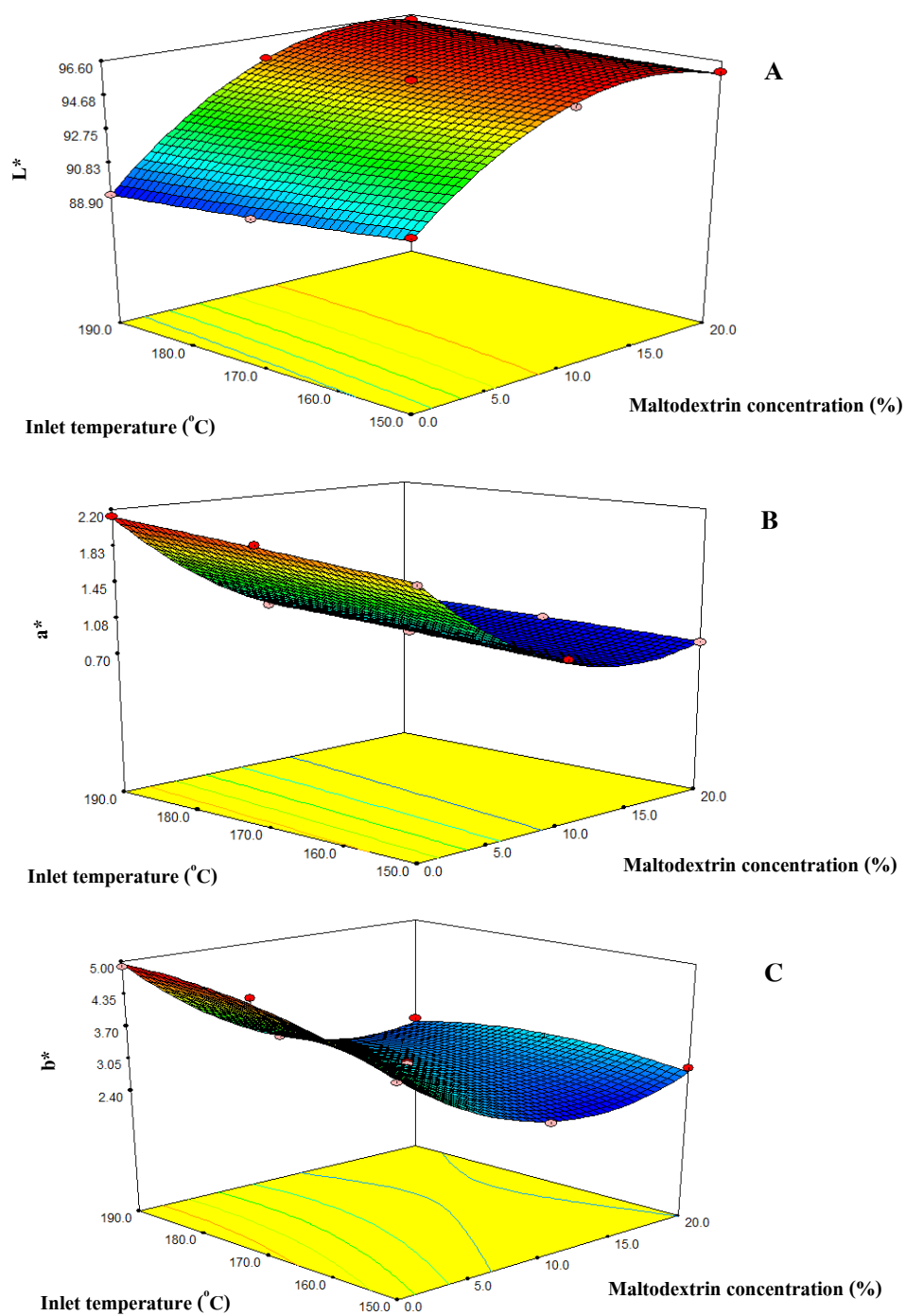




**Figure 15** Effect of maltodextrin concentration and inlet temperature on yield of rice powder



**Figure 16** Effect of maltodextrin concentration and inlet temperature on bulk density of rice powder



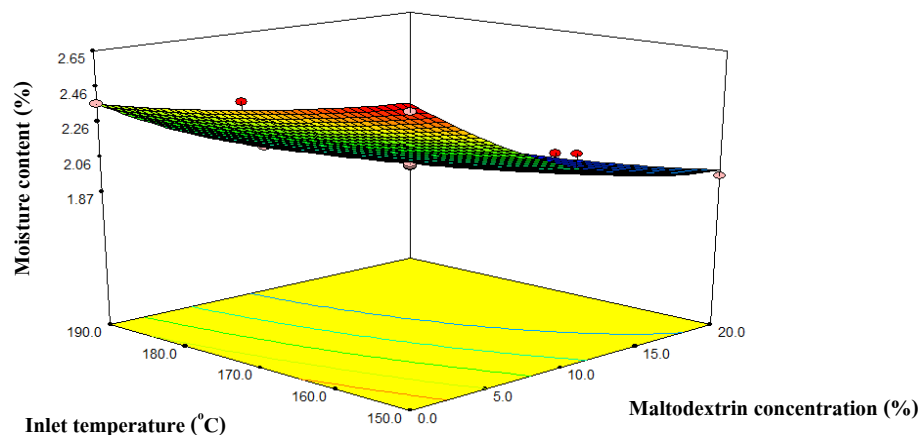
**Figure 17** Effect of maltodextrin concentration and inlet temperature on L\* (A), a\* (B) and b\* (C) of rice powder

**Table 15** The regression parameter coefficients product properties using independent variables maltodextrin ( $X_1$ ) and inlet temperature ( $X_2$ ) of spray dried rice powder

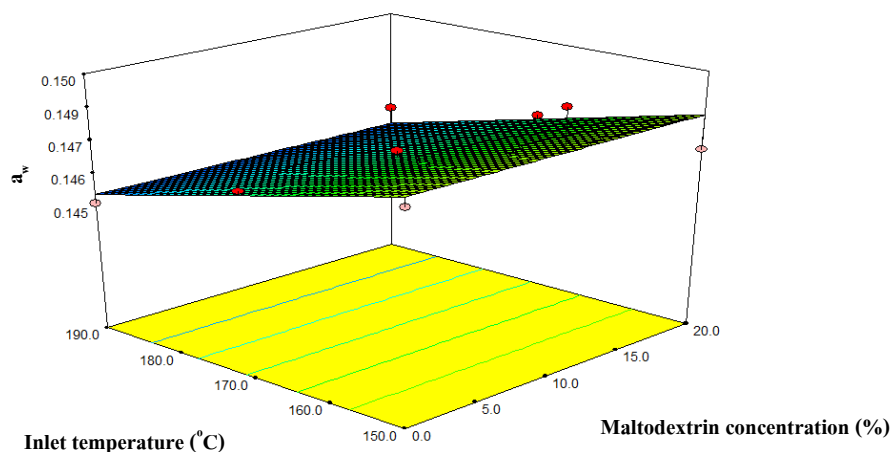
Parameters	Regression parameter coefficients of product responses			
	L*	a*	b*	Bulk density (g/cm <sup>3</sup> )
Intercept	95.49000	0.93276	2.99241	71.61690
Maltodextrin ( $X_1$ )	3.14667	-0.57167	-0.82500	3.15833
Inlet temperature ( $X_2$ )	-0.29000	0.08500	0.22500	-0.96333
Maltodextrin * Inlet temperature ( $X_1 X_2$ )	0.50750	-0.05500	-0.28500	0.64250
Maltodextrin * Maltodextrin ( $X_1^2$ )	-2.66000	0.48534	0.88155	-2.16914
Inlet temperature * Inlet temperature ( $X_2^2$ )	0.10000	-0.00465	-0.25845	-0.41741
$p$ -value for model	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
$R^2$	0.9984	0.9987	0.9906	0.9995
$p$ -value for lack of fit	<0.0001	0.001	0.001	0.0772

### 3.1.2 คุณภาพทางเคมี

ข้าวผงถูกนำมาวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีได้แก่ ความชื้นและปริมาณน้ำอิสระ พบว่าเมื่ออุณหภูมิอากาศขาเข้าและปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณความชื้นของข้าวผงลดลง ( $p < 0.05$ ) แสดงดังภาพที่ 18 และตารางภาคผนวก ตารางที่ 3 โดยมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 1.89-2.60 ซึ่งการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอากาศขาเข้า ทำให้เกิดอัตราการถ่ายเทความร้อนของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น ทำให้ความชื้นในตัวอย่างสามารถระเหยออกนอกตัวอย่างเร็วขึ้น จึงทำให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลง (Goula and Adamopoulos, 2008; Quek *et al.*, 2007; Goula and Adamopoulos, 2004; Nath and Satpathy, 1998;) ส่วนการเติมปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความชื้นข้าวผงลดลง เนื่องจากการเติมมอลโทเด็กซ์ทริน ทำให้ตัวอย่างเริ่มต้นมีปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้น และปริมาณน้ำเริ่มต้นของตัวอย่างลดลง (Abadio *et al.*, 2004; Grabowski *et al.*, 2006; Kha *et al.*, 2010) นอกจากนี้ปริมาณน้ำอิสระของข้าวผงจะมีค่าอยู่ในช่วง 0.145-0.148 ซึ่งเมื่ออุณหภูมิอากาศขาเข้าเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำอิสระของข้าวผงลดลง ( $p \geq 0.05$ ) แสดงดังภาพที่ 19 และตารางภาคผนวก ตารางที่ 3 ส่วนการเติมมอลโทเด็กซ์ทรินไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำอิสระ ( $p \geq 0.05$ ) โดยทั่วไปผลิตภัณฑ์จะมีค่าปริมาณน้ำอิสระน้อยกว่า 0.6 ทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ (Tonon *et al.*, 2011; มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, 2558) จากการทดลองนี้ปริมาณน้ำอิสระของข้าวผงจะอยู่ในช่วงที่กำหนด จึงสามารถลดการเสื่อมเสียที่เกิดจากจุลินทรีย์ได้ นอกจากนี้ค่าคุณภาพทางเคมีของข้าวผง ถูกนำมาคำนวณหาสมการทางคณิตศาสตร์ เพื่อแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิอากาศขาเข้าและความเข้มข้นของมอลโทเด็กซ์ทริน ที่มีผลต่อคุณภาพทางเคมีของข้าวผง ดังแสดงรายละเอียดตารางที่ 16 พบว่า สมการทางคณิตศาสตร์ของคุณภาพของปริมาณความชื้น เป็นแบบกำลังสอง (Quadratic model) และสมการทางคณิตศาสตร์สามารถอธิบายผลของปัจจัยที่มีต่อค่าการตอบสนองได้ (Model,  $p < 0.05$ ) ซึ่งมีค่าสหสัมพันธ์ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.9807 โดยสมการทางคณิตศาสตร์ของปริมาณความชื้นมีความบกพร่อง (Lack of fit,  $p < 0.05$ ) ในขณะที่สมการทางคณิตศาสตร์ของปริมาณน้ำอิสระ เป็นแบบเส้นตรง (Linear model) และสมการทางคณิตศาสตร์ไม่สามารถอธิบายผลของปัจจัยที่มีต่อค่าการตอบสนองได้ (Model,  $p \geq 0.05$ ) โดยมีค่าสหสัมพันธ์ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.6855 อีกทั้งสมการทางคณิตศาสตร์ไม่มีความบกพร่อง (Lack of fit,  $p \geq 0.05$ )



**Figure 18** Effect of maltodextrin concentration and inlet temperature on moisture content of rice powder

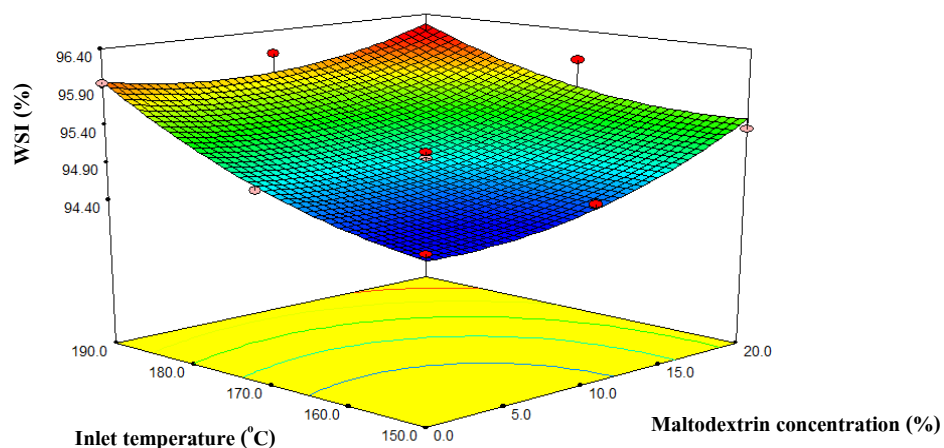


**Figure 19** Effect of maltodextrin concentration and inlet temperature on  $a_w$  of rice powder

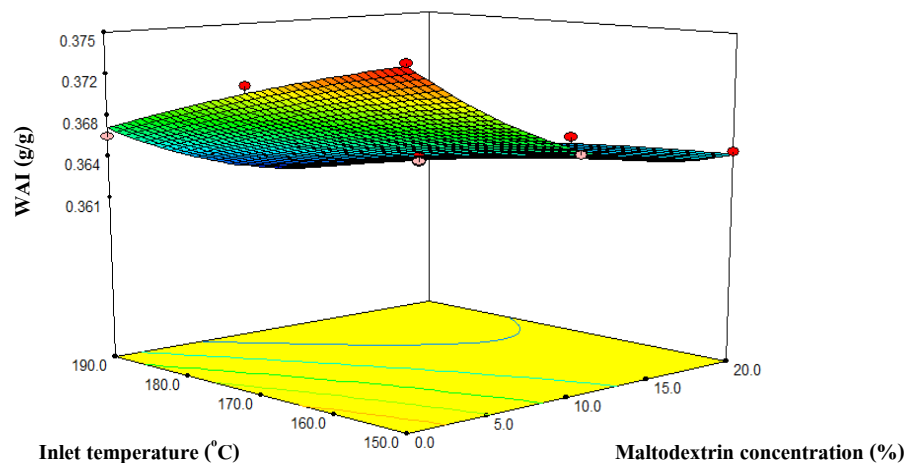
### 3.1.3 คุณภาพทางเคมีเชิงฟิสิกส์

ข้าวผงถูกนำมาวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีเชิงฟิสิกส์ ได้แก่ ความสามารถในการละลายน้ำ และความสามารถในการดูดซับน้ำ พบว่า เมื่ออุณหภูมิอากาศขาเข้าและปริมาณมอลโทเด็คซ์ทรินเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความสามารถในการละลายน้ำของข้าวผงเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความสามารถในการดูดซับน้ำลดลง ( $p < 0.05$ ) แสดงรายละเอียดดังภาพที่ 20-21 และตารางภาคผนวก ตารางที่ 3 เนื่องจากอุณหภูมิอากาศขาเข้าที่เพิ่มขึ้น มีผลให้อัตราการระเหยของน้ำสูงขึ้น อนุภาคของข้าวผงที่ได้จึงมีความเป็นรูพรุนมากขึ้น ทำให้มีพื้นที่สัมผัสกับตัวทำละลายได้ดีขึ้น เป็นผลให้ความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้น (Walton and Mumford, 1999; Abadio *et al.*, 2004) และสอดคล้องกันกับงานวิจัยของ Fazaeli และคณะ (2012) ที่ศึกษาผลของอุณหภูมิของอากาศขาเข้าต่อความสามารถใน

การละลายของมัลต์เบอรีฟง พบว่า เมื่ออุณหภูมิของลมร้อนในการอบแห้งเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้น ส่วนการเติมมอลโทเด็กซ์ทรินเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความสามารถในการละลายน้ำเพิ่มขึ้น ( $p < 0.05$ ) เนื่องจากคุณสมบัติของมอลโทเด็กซ์ทรินมีความสามารถในการละลายสูง (Cano-Chauca *et al.*, 2005; Grabowski *et al.*, 2006; Goula and Adamopoulos, 2010) และเมื่อนำค่าคุณภาพทางเคมีเชิงฟิสิกส์มาคำนวณหาสมการทางคณิตศาสตร์ เพื่อแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิอากาศขาเข้าและความเข้มข้นของมอลโทเด็กซ์ทริน ที่มีผลต่อคุณภาพทางเคมีเชิงฟิสิกส์ของข้าวผง ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 16 พบว่าสมการทางคณิตศาสตร์ของความสามารถในการละลายน้ำและความสามารถในการดูดซับน้ำของข้าวผง เป็นแบบกำลังสอง (Quadratic model) และสมการทางคณิตศาสตร์สามารถอธิบายผลของปัจจัยที่มีต่อค่าการตอบสนองได้ (Model,  $p < 0.05$ ) โดยมีค่าสหสัมพันธ์ ( $R^2$ ) อยู่ในช่วง 0.9101-0.9641 อีกทั้งสมการทางคณิตศาสตร์ของความสามารถในการละลายน้ำมีความบกพร่อง (Lack of fit,  $p < 0.05$ ) ในขณะที่สมการทางคณิตศาสตร์ของความสามารถในการดูดซับน้ำไม่มีความบกพร่อง (Lack of fit,  $p \geq 0.05$ )



**Figure 20** Effect of maltodextrin concentration and inlet temperature on WSI of rice powder



**Figure 21** Effect of maltodextrin concentration and inlet temperature on WAI of rice powder

### 3.1.4 การทำนายสภาวะการผลิตข้าวผงที่เหมาะสม

ในการทำนายสภาวะการผลิตข้าวผง จะพิจารณาจากสมการทางคณิตศาสตร์ของคุณภาพของข้าวผง ได้แก่ ค่าสี ร้อยละของผลผลิตที่ได้รับ ความหนาแน่นของข้าวผง ปริมาณความชื้น กิจกรรมของน้ำอิสระ ความสามารถในการละลายน้ำ และความสามารถในการดูดซับน้ำ พบว่า สมการทางคณิตศาสตร์ของค่าร้อยละของผลผลิตที่ได้รับ ความสามารถในการดูดซับน้ำ และความหนาแน่นของข้าวผง จะเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ที่สามารถใช้ในการทำนายได้ เนื่องจากสมการทางคณิตศาสตร์ของค่าคุณภาพดังกล่าวมีค่าสหสัมพันธ์ ( $R^2$ ) มากกว่า 0.75 สมการทางคณิตศาสตร์ไม่มีความบกพร่อง (Lack of fit,  $p \geq 0.05$ ) และสมการทางคณิตศาสตร์สามารถอธิบายผลของปัจจัยที่มีต่อค่าการตอบสนองได้ (Model,  $p < 0.05$ ) (Hu, 1999) หลังจากนั้นกำหนดช่วงของค่าคุณภาพเพื่อใช้ในการทำนายสภาวะการผลิตข้าวผง ได้แก่ ร้อยละของผลผลิตที่ได้รับ ความสามารถในการดูดซับน้ำ และความหนาแน่นของข้าวผง ให้อยู่ในช่วงเท่ากับร้อยละ 72.5-74.0, 0.379-0.478 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และ 0.3618-0.3630 กรัมต่อกรัมตัวอย่าง ตามลำดับ พบว่า สภาวะการผลิตข้าวผงที่ได้จากการทำนายมีค่าความพึงพอใจ (Desirability) ต่ำ เท่ากับ 0.5054 ซึ่งค่าความพึงพอใจมีค่าสูงสุดเท่ากับ 1 ดังนั้นจึงต้องเลือกกำหนดค่าคุณภาพใหม่อีกครั้ง โดยไม่ใช่ค่าความหนาแน่นของข้าวผง เนื่องจากความหนาแน่นของข้าวผงไม่ได้เป็นค่าคุณภาพที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ผง ทั้งนี้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ผงทั่วไปที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย จะพิจารณาจากค่าร้อยละผลผลิตที่ได้รับและความสามารถในการดูดซับน้ำ เป็นหลัก (Tonon *et al.*, 2008; Quek *et al.*, 2007) เพราะคุณภาพผงที่คืนนั้นจะต้องมีค่าร้อยละผลผลิตที่ได้รับสูง ความสามารถในการละลายน้ำสูง แต่ค่าความสามารถในการดูดซับน้ำต่ำ (วิไล รังสาตทอง, 2545; Phisut, 2012;

Grabowski *et al.*, 2006) ดังนั้นในการทำนายสภาวะการผลิตข้าวผงที่เหมาะสมจึงพิจารณาเฉพาะค่า ร้อยละผลผลิตที่ได้รับ และความสามารถในการดูดซับน้ำ โดยกำหนดช่วงให้มีค่าเท่ากับร้อยละ 72.5-74.0 และ 0.3618-0.3630 กรัมต่อกรัมตัวอย่าง ตามลำดับ ซึ่งจากการคำนวณพบว่า สภาวะการผลิตข้าวผงที่ได้จากสมการการทำนายมีค่าความพึงพอใจเท่ากับ 0.980 ดังนั้นจึงเลือกสภาวะการผลิตดังกล่าวไปใช้งานได้ เนื่องจากมีค่าความพึงพอใจเข้าใกล้ 1 โดยสภาวะที่เหมาะสมคือ การเติม ปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินเท่ากับร้อยละ 15.2 และกำหนดอุณหภูมิอากาศขาเข้าเท่ากับ 187 องศาเซลเซียส และคาดว่าจะได้ค่าร้อยละของผลผลิตที่ได้รับเท่ากับร้อยละ 73.94 และมีความสามารถในการดูดซับน้ำเท่ากับ 0.3618 กรัมต่อกรัมตัวอย่าง จากนั้นนำสภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการทำนาย มาทำการทดลองจริง เพื่อพิสูจน์ความถูกต้องของสมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ทำนาย ทั้งนี้ค่าร้อยละของผลผลิตที่ได้รับและความสามารถในการดูดซับน้ำที่ได้จากการทำนายมาเปรียบเทียบกับค่า ร้อยละของผลผลิตที่ได้รับและความสามารถในการดูดซับน้ำที่ได้จากการทดลอง ทั้งนี้ค่าที่ เปรียบเทียบกันจะต้องแตกต่างกันไม่เกินร้อยละ 10 (Hu, 1999) จึงจะแสดงว่าสมการทาง คณิตศาสตร์สามารถนำมาใช้งานได้จริง ซึ่งจะแสดงผลการศึกษาในตอนที่ 3.1.5 ต่อไป



**Table 16** The regression parameter coefficients product properties using independent variables maltodextrin ( $X_1$ ) and inlet temperature ( $X_2$ ) of spray dried rice powder

Parameters	Regression parameter coefficients of product responses			
	Moisture content (%)	$a_w$	WSI (%)	WAI (g/g)
Intercept	2.03241	0.14685	94.99000	0.36478
Maltodextrin ( $X_1$ )	-0.28167	0.00000	0.32667	-0.00353
Inlet temperature ( $X_2$ )	-0.09667	0.00150	0.57167	-0.00251
Maltodextrin * Inlet temperature ( $X_1X_2$ )	0.04250		-0.18500	0.00133
Maltodextrin * Maltodextrin ( $X_1^2$ )	0.15155		0.30000	0.00291
Inlet temperature * Inlet temperature ( $X_2^2$ )	0.03655		0.25500	-0.00044
<i>p</i> -value for model	<0.0001	0.0031	0.0015	<0.0001
$R^2$	0.9807	0.6855	0.9101	0.9641
<i>p</i> -value for lack of fit	0.0009	0.0837	0.0073	0.0690

### 3.1.5 การทำนายสมการที่ได้จากโปรแกรม Design Expert

จากการนำสถานะการผลิตข้าวผง คือการเติมปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินเท่ากับร้อยละ 15.2 และกำหนดอุณหภูมิอากาศขาเข้าเท่ากับ 187 องศาเซลเซียส ตามที่ได้จากตอนที่ 3.1.4 มาผลิตข้าวผง และนำมาวิเคราะห์หาร้อยละของผลผลิตที่ได้รับและความสามารถในการดูดซับน้ำ พบว่า ร้อยละของผลผลิตที่ได้รับมีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 70.94 และความสามารถในการดูดซับน้ำมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.3639 กรัมต่อกรัมตัวอย่าง แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 17 ทั้งนี้เมื่อพิจารณาค่าร้อยละของผลผลิตที่ได้รับและความสามารถในการดูดซับน้ำที่ได้จากการทดลอง มาเปรียบเทียบกับค่าการทำนาย (โดยค่าการทำนายของร้อยละของผลผลิตที่ได้รับมีค่าเท่ากับร้อยละ 73.94 และความสามารถในการดูดซับน้ำมีค่าเท่ากับ 0.3618 กรัม ต่อกรัมตัวอย่าง) พบว่า ค่าที่ได้จากการทดลองและค่าการทำนายของค่าร้อยละของผลผลิตที่ได้รับและความสามารถในการดูดซับน้ำมีค่าไม่แตกต่างกันเกินร้อยละ 10 แสดงว่า สมการทางคณิตศาสตร์ของค่าร้อยละของผลผลิตที่ได้รับและความสามารถในการดูดซับน้ำสามารถใช้งานได้จริงและมีความเหมาะสมต่อการนำมาทำนายค่าคุณภาพที่ต้องการได้

**Table 17** Prediction of equation and experiment for optimization of spray dried rice powder

Maltodextrin concentration (%)	Inlet temperature (°C)	Yield (%)		WAI (g/g)	
		Predicted	Experiment	Predicted	Experiment
15.2	187	73.94	71.61	0.3618	0.3642±0.0020
15.2	187	73.94	70.76	0.3618	0.3639±0.0019
15.2	187	73.94	70.45	0.36.18	0.3637±0.0020

### 3.2 ศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตเครื่องดื่มผง

#### 3.2.1 คัดเลือกสูตรเบื้องต้น

การคัดเลือกสูตรเบื้องต้น โดยเลือกสูตรทางการค้าของเครื่องดื่มขงผงสำเร็จรูป ยี่ห้อ ซองเดอร์ ที่มีส่วนผสมของข้าวเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 45 เป็นสูตรต้นแบบ (ตารางที่ 5) จากนั้นดัดแปลงสูตรทางการค้า โดยกำหนดปริมาณข้าวผงที่ต้องการใช้ให้อยู่ในช่วงร้อยละ 45-65 และปริมาณครีมเทียมให้อยู่ในช่วงร้อยละ 10-30 โดยใช้เทคนิค Mixture Design ซึ่งจะได้สูตรจากการคำนวณรวมทั้งหมด 13 สูตร ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 6 ทั้งนี้สูตรทางการค้าที่นำมาใช้มีปริมาณข้าวผงเริ่มต้นเท่ากับร้อยละ 45 แต่ผู้วิจัยต้องการผลิตเครื่องดื่มให้มีปริมาณข้าวผงมากที่สุด จึงกำหนดปริมาณสูงสุดของข้าวผงที่เติมได้ในสูตรเท่ากับร้อยละ 65 โดยอาศัยการลดปริมาณครีมเทียมลง จึงกำหนดปริมาณครีมเทียมน้อยที่สุด ซึ่งเป็นปริมาณน้อยที่สุด ซึ่งครีมเทียมที่เติมในสูตรทำให้เครื่องดื่มมีรสชาติดีขึ้น จากนั้นนำสูตรที่ได้ทั้งหมดจำนวน 13 สูตร มาผลิตผลิตภัณฑ์ต้นแบบและนำมาทดสอบการยอมรับของผลิตภัณฑ์โดยการให้คะแนนความชอบด้วยสเกลแบบ 9 ใช้ผู้บริโภคจำนวน 50 คน ในระหว่างการทดสอบเมื่อทดสอบ 3 ครั้ง โดยสุ่มตัวอย่างทดสอบครั้งละ 5, 5 และ 3 ตัวอย่าง ผู้บริโภคจะครั้งละ 15 นาที เพื่อป้องกันการเกิดความเหนื่อยล้าของผู้บริโภค การทดสอบผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจะทำทั้งในสภาวะก่อนและหลังละลายน้ำอุ่น โดยเครื่องดื่มก่อนละลายน้ำจะทดสอบคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ สี และกลิ่นข้าว ส่วนเครื่องดื่มหลังละลายน้ำจะพิจารณาในคุณลักษณะด้านการละลาย ลักษณะปรากฏ สี กลิ่นข้าว ความหนืด กลิ่นรสข้าว ความหวาน ความมัน และความชอบโดยรวม ทั้งนี้ผู้วิจัยจะสุ่มตัวอย่างที่ละตัวอย่าง เมื่อให้ผู้ทดสอบพิจารณาคูณลักษณะของเครื่องดื่มก่อนละลายน้ำครบทุกคุณลักษณะ หลังจากนั้นผู้บริโภคจะได้รับน้ำอุ่นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เพื่อใช้ในการละลายตัวอย่าง จากนั้นกำหนดให้ผู้บริโภคคนตัวอย่างเองไปทางขวาจำนวน 10 รอบ หรือจนกว่าตัวอย่างละลายแล้ว พิจารณาให้คะแนนในคุณลักษณะของเครื่องดื่มหลังละลายน้ำ พบว่าเมื่อปริมาณข้าวผงและครีมเทียมเพิ่มขึ้น ส่งผลให้คะแนนความชอบของคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ สี และกลิ่นข้าวของเครื่องดื่มก่อนละลายน้ำอุ่นไม่แตกต่างกัน ( $p \geq 0.05$ ) แสดงดังตารางที่ 18 เนื่องจากคุณลักษณะปรากฏของเครื่องดื่มก่อนละลายน้ำอุ่น จะพิจารณาจากความเข้ากันของส่วนผสมของตัวอย่าง ซึ่งส่วนผสมถูกเตรียมและผสมจนเป็นเนื้อเดียวกัน จึงทำให้ลักษณะปรากฏไม่แตกต่างกัน ส่วนค่าสีและกลิ่นข้าว มีคะแนนความชอบของผู้บริโภคไม่แตกต่างกัน ( $p \geq 0.05$ ) เนื่องจากเมื่อพิจารณาถึงส่วนผสมที่มีอิทธิพลต่อคุณลักษณะดังกล่าวคือ โกโก้ เพราะโกโก้มีสีดำและกลิ่นเฉพาะ ทำให้กลิ่นของโกโก้เด่นกว่ากลิ่นข้าว ทั้งนี้ปริมาณโกโก้ทั้ง 13 สูตร มีปริมาณเท่ากัน จึงทำให้คะแนน

ความชอบของคุณลักษณะด้านสีและกลิ่นข้าวของเครื่องต้มผงก่อนละลายน้ำไม่แตกต่างกัน ( $p \geq 0.05$ ) เมื่อพิจารณาคุณลักษณะของเครื่องต้มผงหลังละลายน้ำอุ่น พบว่าเมื่อปริมาณข้าวผงเพิ่มขึ้น คะแนนความชอบของคุณลักษณะด้านการละลาย ลักษณะปรากฏ สี ความหนืด ความหวาน ความมัน และความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกัน ( $p \geq 0.05$ ) แสดงดังตารางที่ 19 ซึ่งคะแนนความชอบของคุณลักษณะด้านการละลาย ลักษณะปรากฏ สี และความหนืด มีคะแนนความชอบไม่ต่างกัน เพราะคุณลักษณะดังกล่าวเป็นผลมาจากคุณสมบัติของส่วนผสมที่ใช้ เครื่องต้มผงทั้ง 13 สูตร มีการเติมปริมาณน้ำตาลที่เท่ากันทุกสูตร จึงทำให้คะแนนความชอบในคุณลักษณะด้านความหวานทั้ง 13 สูตรไม่แตกต่างกัน ( $p \geq 0.05$ ) ดังนั้นเมื่อมีการเติมปริมาณข้าวผงเพิ่มขึ้น ส่งผลให้คะแนนความชอบในคุณลักษณะด้านกลิ่นและกลิ่นรสข้าวเพิ่มขึ้น ( $p < 0.05$ ) เนื่องจากผู้บริโภคมีความชอบและความสามารถในการรับรู้ถึงกลิ่นและกลิ่นรสข้าวเพิ่มขึ้น และเมื่อนำคะแนนความชอบของผู้บริโภคในแต่ละคุณลักษณะ มาคำนวณหาสมการทางคณิตศาสตร์ เพื่อแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณข้าวผงและครีมเทียมที่มีผลต่อคะแนนความชอบของผู้บริโภค พบว่าสมการทางคณิตศาสตร์ของคะแนนความชอบในคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ สี และกลิ่นข้าวของเครื่องต้มผงก่อนละลายน้ำอุ่น เป็นสมการทางคณิตศาสตร์แบบเส้นตรง (Linear model) แสดงดังตารางที่ 20 ทั้งนี้สมการทางคณิตศาสตร์ของคะแนนความชอบในคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏและสีของเครื่องต้มผงก่อนละลายน้ำอุ่น ไม่สามารถใช้อธิบายผลของปัจจัยที่มีต่อคะแนนความชอบได้ (Model,  $p \geq 0.05$ ) เนื่องจากมีค่าสหสัมพันธ์ ( $R^2$ ) ต่ำ เท่ากับ 0.0065 และ 0.2321 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าปริมาณข้าวผงและครีมเทียมที่ใช้ จะมีความสัมพันธ์กับคะแนนความชอบของคุณลักษณะในด้านลักษณะปรากฏและสีของเครื่องต้มผงก่อนละลายน้ำอุ่นต่ำ จากค่าสหสัมพันธ์ที่ต่ำ เนื่องจากเครื่องต้มผงทั้ง 13 สูตร ถูกผสมจนเป็นเนื้อเดียวกัน อีกทั้งยังมีส่วนผสมของโกโก้ที่เท่ากันทั้ง 13 สูตร ซึ่งโกโก้เป็นส่วนผสมที่มีผลต่อค่าสีของเครื่องต้มผง จึงทำให้คะแนนความชอบในคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏและสีไม่แตกต่างกัน จึงทำให้ความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นต่ำ ส่วนสมการทางคณิตศาสตร์ของคะแนนความชอบในคุณลักษณะด้านกลิ่นข้าวของเครื่องต้มผงก่อนละลายน้ำอุ่น จะสามารถอธิบายผลของปัจจัยที่มีต่อคะแนนความชอบได้ (Model,  $p < 0.05$ ) เนื่องจากมีค่าสหสัมพันธ์ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.8577 แสดงให้เห็นว่าปริมาณข้าวผงและครีมเทียมที่ใช้ จะมีความสัมพันธ์กับคะแนนความชอบของคุณลักษณะในด้านกลิ่นข้าวของเครื่องต้มผงก่อนละลายน้ำอุ่นสูง เพราะปริมาณข้าวผงที่เพิ่มขึ้นในขณะที่ปริมาณครีมเทียมนลดลง ผู้บริโภคสามารถสามารถรับรู้กลิ่นข้าวได้เพิ่มขึ้น จึงทำให้ค่าสหสัมพันธ์ของคุณลักษณะดังกล่าวมีค่าสูง ส่วนสมการทางคณิตศาสตร์ของคะแนนความชอบในคุณลักษณะด้านการละลาย ลักษณะปรากฏ สี กลิ่นข้าว ความหนืด กลิ่นรสข้าว ความหวาน ความมัน และความชอบโดยรวม แสดงดังตารางที่ 21 พบว่าสมการทางคณิตศาสตร์ของคะแนนความชอบในคุณลักษณะด้านการละลาย ลักษณะปรากฏ และความหวาน เป็นสมการทาง

คณิตศาสตร์แบบเส้นตรง (Linear model) แต่สมการทางคณิตศาสตร์ไม่สามารถใช้อธิบายผลของปัจจัยที่มีต่อคะแนนความชอบได้ (Model,  $p \geq 0.05$ ) เนื่องจากมีค่าสหสัมพันธ์ ( $R^2$ ) ต่ำ ซึ่งเท่ากับ 0.0036, 0.4866 และ 0.0537 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าปริมาณข้าวผงและครีมเทียมที่ใช้ จะมีความสัมพันธ์กับคะแนนความชอบของคุณลักษณะในด้านการละลาย ลักษณะปรากฏ และความหวานของเครื่องดื่มผงก่อนละลายน้ำอุ่นต่ำ ส่วนสมการทางคณิตศาสตร์ของคะแนนความชอบของคุณลักษณะในด้านสี กลิ่นข้าว ความหนืด กลิ่นรสข้าว ความมัน และความชอบโดยรวม เป็นสมการทางคณิตศาสตร์แบบกำลังสอง (Quadratic model) แสดงดังตารางที่ 21 มีค่าสหสัมพันธ์ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.5454, 0.9506, 0.6490, 0.9662, 0.2979, 0.9250 และ 0.2112 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าปริมาณข้าวผงและครีมเทียมที่ใช้ มีความสัมพันธ์กับคะแนนความชอบของคุณลักษณะในด้านกลิ่นข้าว กลิ่นรสข้าว และความมันสูง เพราะปริมาณข้าวผงที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาณครีมเทียมนลดลง ทำให้ผู้บริโภคสามารถสามารถรับรู้ถึงกลิ่นข้าว กลิ่นรสข้าว และความมันของเครื่องดื่มผงหลังละลายน้ำอุ่นเพิ่มขึ้น จึงทำให้ค่าสหสัมพันธ์ของคุณลักษณะดังกล่าวมีค่าสูง อย่างไรก็ตามสมการทางคณิตศาสตร์ของคะแนนความชอบในทุกคุณลักษณะของเครื่องดื่มผงทั้งก่อนและหลังละลายน้ำอุ่น จะไม่มีความบกพร่อง (Lack of fit,  $p \geq 0.05$ )

**Table 18** Sensory score of instant drink from sungyod broken rice before dissolving in warm water at 60°C

Number of treatment	Adjusted ingredient*		Attribute		
	Rice powder	Creamer	Appearance	Color	Rice odor
1	45	30	7.16±1.04 <sup>NS</sup>	7.04±0.73 <sup>NS</sup>	5.10±0.86 <sup>NS</sup>
2	45	30	7.18±0.92 <sup>NS</sup>	7.00±1.01 <sup>NS</sup>	5.14±0.97 <sup>NS</sup>
3	45	30	7.02±0.87 <sup>NS</sup>	7.02±0.77 <sup>NS</sup>	5.06±1.04 <sup>NS</sup>
4	47.5	27.5	7.04±0.81 <sup>NS</sup>	7.06±0.77 <sup>NS</sup>	5.16±1.04 <sup>NS</sup>
5	50	25	7.16±0.74 <sup>NS</sup>	7.00±0.83 <sup>NS</sup>	5.18±0.98 <sup>NS</sup>
6	52.6	22.4	7.12±1.12 <sup>NS</sup>	7.00±1.03 <sup>NS</sup>	5.18±1.17 <sup>NS</sup>
7	55	20	7.18±1.06 <sup>NS</sup>	7.04±1.01 <sup>NS</sup>	5.16±1.57 <sup>NS</sup>
8	55	20	7.00±0.83 <sup>NS</sup>	7.00±0.88 <sup>NS</sup>	5.22±1.06 <sup>NS</sup>
9	60	15	7.14±0.81 <sup>NS</sup>	7.06±1.04 <sup>NS</sup>	5.30±1.13 <sup>NS</sup>
10	62.5	12.5	7.12±0.92 <sup>NS</sup>	7.00±1.03 <sup>NS</sup>	5.32±1.04 <sup>NS</sup>
11	65	10	7.18±1.00 <sup>NS</sup>	7.12±0.90 <sup>NS</sup>	5.32±1.06 <sup>NS</sup>
12	65	10	7.10±0.91 <sup>NS</sup>	7.08±0.88 <sup>NS</sup>	5.33±1.65 <sup>NS</sup>
13	65	10	7.08±0.94 <sup>NS</sup>	7.04±0.92 <sup>NS</sup>	5.30±1.27 <sup>NS</sup>

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

NS is not significantly different ( $p \geq 0.05$ ).

\* Fixed ingredients are sugar 20% and cocoa 5% in all treatments.

**Table 19** Sensory score of instant drink from sungyod broken rice after dissolving in warm water at 60°C

Number of treatment	Adjusted ingredient*		Attribute										Overall
	Rice powder	Creamer	Solubility	Appearance	Color	Rice odor	Viscosity	Rice flavor	Sweetness	Creaminess			
1	45	30	6.42±0.86 <sup>NS</sup>	7.02±0.65 <sup>NS</sup>	7.08±0.72 <sup>NS</sup>	5.12±1.47 <sup>a</sup>	6.58±0.95 <sup>NS</sup>	5.16±0.96 <sup>a</sup>	5.98±0.96 <sup>NS</sup>	6.54±0.84 <sup>NS</sup>	6.54±0.71 <sup>NS</sup>		
2	45	30	6.44±0.95 <sup>NS</sup>	7.00±0.99 <sup>NS</sup>	7.04±0.70 <sup>NS</sup>	5.28±1.34 <sup>abc</sup>	6.54±1.28 <sup>NS</sup>	5.10±1.04 <sup>a</sup>	5.80±1.20 <sup>NS</sup>	6.62±1.03 <sup>NS</sup>	6.60±0.70 <sup>NS</sup>		
3	45	30	6.34±0.89 <sup>NS</sup>	7.02±0.91 <sup>NS</sup>	7.14±0.70 <sup>NS</sup>	5.16±1.22 <sup>ab</sup>	6.58±1.33 <sup>NS</sup>	5.18±0.83 <sup>ab</sup>	5.76±1.24 <sup>NS</sup>	6.52±0.81 <sup>NS</sup>	6.58±1.03 <sup>NS</sup>		
4	47.5	27.5	6.32±0.96 <sup>NS</sup>	7.06±0.89 <sup>NS</sup>	7.02±1.04 <sup>NS</sup>	5.42±1.09 <sup>abc</sup>	6.46±1.05 <sup>NS</sup>	5.28±1.33 <sup>abc</sup>	5.70±1.36 <sup>NS</sup>	6.40±1.36 <sup>NS</sup>	6.60±0.76 <sup>NS</sup>		
5	50	25	6.38±0.85 <sup>NS</sup>	7.00±1.05 <sup>NS</sup>	7.04±0.81 <sup>NS</sup>	5.54±0.99 <sup>abc</sup>	6.42±1.03 <sup>NS</sup>	5.58±1.33 <sup>abc</sup>	5.86±1.21 <sup>NS</sup>	6.40±1.14 <sup>NS</sup>	6.50±0.58 <sup>NS</sup>		
6	52.6	22.4	6.34±0.94 <sup>NS</sup>	7.08±1.16 <sup>NS</sup>	7.02±0.98 <sup>NS</sup>	5.60±1.09 <sup>abc</sup>	6.36±0.92 <sup>NS</sup>	5.58±1.28 <sup>abc</sup>	5.84±1.09 <sup>NS</sup>	6.28±0.90 <sup>NS</sup>	6.56±0.97 <sup>NS</sup>		
7	55	20	6.38±0.92 <sup>NS</sup>	7.06±1.17 <sup>NS</sup>	7.00±1.09 <sup>NS</sup>	5.70±1.04 <sup>bc</sup>	6.36±1.38 <sup>NS</sup>	5.71±1.07 <sup>bc</sup>	5.74±1.14 <sup>NS</sup>	6.32±0.91 <sup>NS</sup>	6.52±0.79 <sup>NS</sup>		
8	55	20	6.32±1.15 <sup>NS</sup>	7.00±1.12 <sup>NS</sup>	7.08±0.83 <sup>NS</sup>	5.66±1.06 <sup>abc</sup>	6.42±1.13 <sup>NS</sup>	5.70±1.11 <sup>bc</sup>	5.58±1.53 <sup>NS</sup>	6.24±1.08 <sup>NS</sup>	6.54±1.05 <sup>NS</sup>		
9	60	15	6.38±0.81 <sup>NS</sup>	7.00±1.14 <sup>NS</sup>	7.14±1.21 <sup>NS</sup>	5.60±1.12 <sup>abc</sup>	6.50±1.22 <sup>NS</sup>	5.72±1.16 <sup>c</sup>	5.64±1.43 <sup>NS</sup>	6.26±0.99 <sup>NS</sup>	6.62±0.83 <sup>NS</sup>		
10	62.5	12.5	6.28±0.90 <sup>NS</sup>	7.08±1.10 <sup>NS</sup>	7.12±0.87 <sup>NS</sup>	5.76±1.52 <sup>abc</sup>	6.30±1.28 <sup>NS</sup>	5.70±1.42 <sup>bc</sup>	5.88±1.64 <sup>NS</sup>	6.30±1.13 <sup>NS</sup>	6.60±0.86 <sup>NS</sup>		
11	65	10	6.22±0.97 <sup>NS</sup>	7.12±1.21 <sup>NS</sup>	7.06±1.00 <sup>NS</sup>	5.76±1.04 <sup>c</sup>	6.42±1.37 <sup>NS</sup>	5.75±1.14 <sup>c</sup>	5.70±1.57 <sup>NS</sup>	6.22±1.07 <sup>NS</sup>	6.54±1.37 <sup>NS</sup>		
12	65	10	6.30±1.25 <sup>NS</sup>	7.00±1.29 <sup>NS</sup>	7.04±1.46 <sup>NS</sup>	5.74±1.35 <sup>c</sup>	6.32±1.19 <sup>NS</sup>	5.76±1.52 <sup>c</sup>	5.66±1.36 <sup>NS</sup>	6.14±1.11 <sup>NS</sup>	6.70±0.95 <sup>NS</sup>		
13	65	10	6.26±1.31 <sup>NS</sup>	7.00±1.32 <sup>NS</sup>	7.08±1.03 <sup>NS</sup>	5.78±1.25 <sup>c</sup>	6.38±1.19 <sup>NS</sup>	5.74±1.16 <sup>c</sup>	5.62±1.14 <sup>NS</sup>	6.18±1.16 <sup>NS</sup>	6.56±0.95 <sup>NS</sup>		

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

NS is not significantly different ( $p \geq 0.05$ ).

\* Fixed ingredients are sugar 20% and cocoa 5% in all treatments.

**Table 20** The regression parameter coefficients product properties using independent variables rice powder ( $X_1$ ) and creamer ( $X_2$ ) of instant drink from Sunyod broken rice production before dissolving in warm water at 60°C

Parameters	Regression parameter coefficients of product responses		
	Appearance	Color	Rice odor
Rice powder ( $X_1$ )	7.1266	7.0811	5.4694
Creamer ( $X_2$ )	7.0792	6.9113	4.600
Rice powder * creamer ( $X_1X_2$ )			
$p$ -value for model	0.7927	0.0955	<0.0001
$R^2$	0.0065	0.2321	0.8577
$p$ -value for lack of fit	0.9573	0.3579	0.6602



**Table 21** The regression parameter coefficients product properties using independent variables rice powder ( $X_1$ ) and creamer ( $X_2$ ) of instant drink from Sunyod broken rice production after dissolving in warm water at 60°C

Parameters	Regression parameter coefficients of product responses									
	Solubility	Appearance	Color	Rice odor	Viscosity	Rice flavor	Sweetness	Creaminess	Overall	
Rice powder ( $X_1$ )	6.2182	7.0559	6.1038	7.5699	6.5321	5.2267	5.5354	5.2739	6.7575	
Creamer ( $X_2$ )	6.6592	6.9740	34.3827	-55.8317	9.2486	-3.7733	6.2788	36.1071	7.7586	
Rice powder * Creamer ( $X_1X_2$ )			-50.0397	110.0853	-4.4537	14.6888		-52.9119	-2.4331	
$p$ -value for model	0.0036	0.4866	0.0590	<0.0001	0.0053	<0.0001	0.0537	<0.0001	0.3055	
$R^2$	0.5534	0.0450	0.5454	0.9506	0.6490	0.9662	0.2979	0.9250	0.2112	
$p$ -value for lack of fit	0.5837	0.7552	0.8515	0.4385	0.0924	0.0701	0.5649	0.5822	0.7827	

### 3.2.2 การทำนายสูตรการผลิตเครื่องดื่มผงที่เหมาะสม

ในการคัดเลือกสูตรการผลิตเครื่องดื่มผง จะพิจารณาจากสมการทางคณิตศาสตร์โดยใช้คะแนนความชอบของผู้บริโภคของตัวผลิตภัณฑ์ก่อนและหลังละลายน้ำอุ่น ในเครื่องดื่มผงก่อนละลายน้ำอุ่น จะถูกนำมาประเมินลักษณะปรากฏ สี และกลิ่นข้าว ส่วนเครื่องดื่มผงหลังละลายน้ำอุ่นจะถูกนำมาประเมินในด้านลักษณะปรากฏ สี ความหนืด ความสามารถในการละลาย กลิ่นข้าว กลิ่นรสข้าว ความหวาน ความมัน และความชอบโดยรวม จากข้อมูลคะแนนความชอบที่ได้จากผู้บริโภค และนำมาคำนวณพบว่า สมการทางคณิตศาสตร์ของคะแนนความชอบของผู้บริโภคในคุณลักษณะด้านกลิ่นข้าวของเครื่องดื่มผงก่อนละลายน้ำอุ่นมีค่าสหสัมพันธ์ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.8577 ส่วนสมการทางคณิตศาสตร์ของคะแนนความชอบของผู้บริโภคในคุณลักษณะด้านกลิ่นข้าว กลิ่นรสข้าว และความมันของเครื่องดื่มผงก่อนละลายน้ำอุ่นมีค่าสหสัมพันธ์ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.9506, 0.9662 และ 0.9250 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าสมการทางคณิตศาสตร์ดังกล่าวสามารถใช้ในการทำนายสูตรเครื่องดื่มผงที่เหมาะสมได้ เนื่องจากมีค่าสหสัมพันธ์ ( $R^2$ ) มากกว่า 0.75 และสมการทางคณิตศาสตร์ไม่มีความบกพร่อง (Lack of fit,  $p \geq 0.05$ ) อีกทั้งสมการทางคณิตศาสตร์สามารถอธิบายผลของปัจจัยที่มีต่อค่าการตอบสนองได้ (Model,  $p < 0.05$ ) (Hu, 1999) ดังนั้นจึงนำค่าคุณลักษณะที่ผ่านการคัดเลือกมากำหนดคะแนนความชอบต่ำสุดและสูงสุดของคุณลักษณะแต่ละด้านที่ได้จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค ในตอนที่ 3.2.1 โดยคะแนนความชอบในคุณลักษณะด้านกลิ่นข้าวของเครื่องดื่มผงก่อนละลายน้ำอุ่นมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 5.06 และสูงสุดเท่ากับ 5.32 คะแนนความชอบของเครื่องดื่มผงหลังละลายน้ำอุ่นในคุณลักษณะด้านกลิ่นข้าวมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 5.12 และสูงสุดเท่ากับ 5.78 คะแนน กลิ่นรสข้าวมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 5.10 และสูงสุดเท่ากับ 5.76 คะแนน และความมันมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 6.14 และสูงสุดเท่ากับ 6.62 คะแนน (ตารางที่ 18 และ 19) จากการใช้โปรแกรมเพื่อทำนายหาสูตรที่เหมาะสมพบว่า สูตรที่เหมาะสมในการผลิตเครื่องดื่มผงจากข้าวสังข์หยดหักคือ การเติมน้ำผงร้อยละ 65 และครีมเทียมร้อยละ 10 โดยมีค่าความพึงพอใจเท่ากับ 0.918 พร้อมทั้งทำนายคะแนนความชอบในคุณลักษณะด้านกลิ่นข้าวของเครื่องดื่มผงก่อนละลายน้ำอุ่นไว้ได้เท่ากับ 5.31 คะแนน และคะแนนความชอบในคุณลักษณะด้านกลิ่นข้าว กลิ่นรสข้าว และความมันของเครื่องดื่มผงหลังละลายน้ำอุ่นไว้ได้เท่ากับ 5.75, 5.72 และ 6.19 คะแนน ตามลำดับ คะแนนในแต่ละคุณลักษณะที่ได้จากการทำนาย จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองจริง และพบว่าคะแนนความชอบในคุณลักษณะด้านกลิ่นข้าวของเครื่องดื่มผงก่อนละลายน้ำอุ่นเท่ากับ 5.29 คะแนน และคะแนนความชอบในคุณลักษณะด้านกลิ่นข้าว กลิ่นรสข้าว

และความมันของเครื่องดื่มน้ำหลังละลายน้ำอุ่นเท่ากับ 5.76, 5.74 และ 6.18 คะแนน (ตารางที่ 18 และ 19) ซึ่งค่าที่ได้จากการทดลองจริงมีค่าแตกต่างกันไม่เกินร้อยละ 10 จากค่าที่ได้จากการทำนาย แสดงว่า สมการทางคณิตศาสตร์ของคะแนนความชอบในคุณลักษณะด้านกลิ่นข้าวของเครื่องดื่มน้ำก่อนละลายน้ำอุ่น และสมการทางคณิตศาสตร์ของคะแนนความชอบในคุณลักษณะด้านกลิ่นข้าว กลิ่นรสข้าว และความมันของเครื่องดื่มน้ำหลังละลายน้ำอุ่น สามารถนำไปใช้งานได้จริง อย่างไรก็ตามพบว่าสูตรที่เหมาะสมยังมีคะแนนความชอบในคุณลักษณะด้านกลิ่นข้าวของเครื่องดื่มน้ำก่อนละลายน้ำอุ่น รวมถึงคุณลักษณะด้านกลิ่นข้าวและกลิ่นรสข้าวของเครื่องดื่มน้ำหลังละลายน้ำอุ่น ยังมีคะแนนความชอบน้อยกว่า 6 คะแนน ซึ่งสูตรการผลิตเครื่องดื่มน้ำที่เหมาะสมในงานวิจัยชิ้นนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดว่าต้องมีคะแนนความชอบของผู้บริโภคในทุกคุณลักษณะอย่างน้อยเท่ากับหรือมากกว่า 6 จึงทำให้ต้องนำสูตรที่เหมาะสมที่ได้ในขั้นตอนนี้ ไปพัฒนาและปรับปรุงต่อไปในตอนที่ 3.2.3 เพื่อให้ทุกคุณลักษณะมีคะแนนความชอบเพิ่มขึ้น

### 3.2.3 ศึกษาแนวทางการพัฒนาสูตรเครื่องดื่มน้ำ

นำสูตรเครื่องดื่มน้ำผ่านการคัดเลือกจากตอนที่ 3.2.2 มาปรับปรุง เพื่อให้มีคะแนนความชอบของผู้บริโภคในทุกคุณลักษณะอย่างน้อยเท่ากับหรือมากกว่า 6 ซึ่งสูตรที่ผ่านการคัดเลือกมีคะแนนความชอบในคุณลักษณะด้านกลิ่นข้าวของเครื่องดื่มน้ำก่อนละลายน้ำอุ่น และคุณลักษณะด้านกลิ่นข้าว กลิ่นรสข้าว และความหวานของเครื่องดื่มน้ำหลังละลายน้ำยังต่ำ (น้อยกว่า 6 คะแนน) จึงต้องนำสูตรดังกล่าวมาปรับปรุงและพัฒนาต่อไป โดยแนวทางในการพัฒนาสูตรเครื่องดื่มน้ำจะพิจารณาจากความสัมพันธ์ของคุณลักษณะที่จะพัฒนาและปรับปรุง กับปริมาณของส่วนผสมที่ใช้ ซึ่งหากปริมาณของส่วนผสมที่ใช้ มีผลต่อคุณลักษณะนั้น จะต้องปรับปรุงปริมาณของส่วนผสมนั้น ให้มีความเหมาะสม (Sutinium *et al.*, 2008; ฉัตรแก้ว วิบุตย์, 2550) ซึ่งส่วนผสมที่มีผลทำให้คะแนนความชอบของคุณลักษณะในด้านกลิ่นข้าว กลิ่นรสข้าว และความหวานของเครื่องดื่มน้ำหลังละลายน้ำต่ำ (น้อยกว่า 6 คะแนน) เป็นผลมาจากส่วนผสมของโกโก้ แม้ว่าสีของโกโก้จะเข้ากันได้ดีกับสีของผงข้าวสังข์หยดหัก แต่โกโก้เป็นส่วนผสมที่มีกลิ่นเฉพาะตัวและมีรสขม มีส่วนประกอบของคาเทชิน (Catechin) และอีพิคาเทชิน (Epicatechin) โดยสารสองตัวนี้เป็นสารที่ทำให้เกิดรสขมในโกโก้ (Drewnowski and Gomez-Careros, 2000) ดังนั้นแนวทางการพัฒนาสูตรเครื่องดื่มน้ำ จึงปรับปรุงสูตรโดยลดปริมาณโกโก้ลง ทั้งนี้การทดลองเพื่อพัฒนาหาสูตรเครื่องดื่มน้ำที่เหมาะสมจะทำโดยศึกษาผลของการเติมโกโก้ในสูตรเครื่องดื่มน้ำต่อคะแนนความชอบของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำ กำหนดปริมาณการเติมโกโก้ 6 ระดับ คือ ร้อยละ 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 รวมทั้งหมด 6 สูตร ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 22 โดยใช้ผู้บริโภคจำนวน 50 คน ให้คะแนนความชอบด้วยสเกลแบบ 9 เช่นเดียวกันกับการทดลองตอนที่ 3.2.2 เมื่อพิจารณาคุณลักษณะ

ของเครื่องดื่มน้ำก่อนละลายน้ำอุ่น พบว่า สูตรเครื่องดื่มที่มีการเติมโกโก้ในทุกระดับความเข้มข้น ส่งผลให้คะแนนความชอบในคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏเพิ่มขึ้น ( $p \geq 0.05$ ) และด้านสีเพิ่มขึ้น ( $p < 0.05$ ) เมื่อเทียบกับสูตรเครื่องดื่มที่ไม่เติมโกโก้ (ร้อยละ 0) ดังแสดงในตารางที่ 23 อย่างไรก็ตามพบว่า การเติมโกโก้เพิ่มขึ้น ส่งผลให้คะแนนความชอบในคุณลักษณะด้านกลิ่นข้าวลดลง ( $p \geq 0.05$ ) ทั้งนี้ในสูตรที่ 2, 3, 4 และ 5 ที่มีการเติมโกโก้ร้อยละ 4, 3, 2 และ 1 มีคะแนนความชอบในคุณลักษณะด้านกลิ่นข้าวไม่แตกต่างจากสูตรที่ 6 ที่มีการเติมโกโก้ร้อยละ 0 และเมื่อพิจารณาคะแนนความชอบของคุณลักษณะของเครื่องดื่มหลังละลายน้ำอุ่นของผู้บริโภค พบว่าสูตรเครื่องดื่มที่มีการเติมโกโก้ในทุกระดับความเข้มข้น ส่งผลให้คะแนนความชอบในคุณลักษณะด้านสีเพิ่มขึ้น ( $p < 0.05$ ) เมื่อเทียบกับสูตรเครื่องดื่มที่ไม่เติมโกโก้ (ร้อยละ 0) ดังแสดงในตารางที่ 24 อีกทั้งส่งผลให้คะแนนความชอบในคุณลักษณะด้านกลิ่นข้าวลดลง ( $p \geq 0.05$ ) ทั้งนี้ในสูตรที่ 3, 4 และ 5 ซึ่งมีการเติมโกโก้ร้อยละ 3, 2 และ 1 มีคะแนนความชอบในคุณลักษณะด้านกลิ่นข้าวไม่แตกต่างจากสูตรที่ 6 ที่ไม่เติมโกโก้ ( $p \geq 0.05$ ) โดยมีคะแนนความชอบเท่ากับ 6.16, 6.42 และ 6.40 คะแนน ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่า สูตรที่ 4 ที่มีการเติมโกโก้ที่ร้อยละ 2 มีคะแนนความชอบในคุณลักษณะด้านความหวานและความชอบโดยรวมสูงสุด โดยมีคะแนนความชอบเท่ากับ 6.49 และ 7.10 คะแนน ตามลำดับ ( $p \geq 0.05$ ) ดังนั้นเกณฑ์การคัดเลือกสูตรเครื่องดื่มที่เหมาะสม ผู้วิจัยจะเลือกจากสูตรที่มีคะแนนความชอบเท่ากับหรือมากกว่า 6 คะแนน ทุกคุณลักษณะ และมีคะแนนความชอบในคุณลักษณะด้านกลิ่นข้าวและความชอบโดยรวมสูงที่สุด พบว่าสูตรที่ 3, 4 และ 5 ที่มีการเติมโกโก้ร้อยละ 3, 2 และ 1 มีคะแนนความชอบในทุกคุณลักษณะเท่ากับหรือมากกว่า 6 คะแนน ทั้งนี้สูตรที่ 4 และ 5 ที่มีการเติมโกโก้ร้อยละ 2 และ 1 ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบในทุกคุณลักษณะไม่แตกต่างกัน ( $p \geq 0.05$ ) ทำให้สามารถเลือกสูตรทั้ง 2 สูตร เป็นสูตรที่เหมาะสมในการผลิตเครื่องดื่มได้ แต่อย่างไรก็ตามสูตรที่ 4 ที่มีการเติมโกโก้ร้อยละ 2 มีคะแนนความชอบในคุณลักษณะด้านกลิ่นข้าว ความหวาน และความชอบโดยรวมสูงที่สุด ( $p \geq 0.05$ ) โดยมีค่าเท่ากับ 6.42, 6.49 และ 7.10 คะแนน ตามลำดับ ดังนั้นสูตรเครื่องดื่มที่เหมาะสมที่ผ่านการคัดเลือก คือสูตรที่ 4 ที่มีส่วนผสมของข้าวผงร้อยละ 68 โกโก้ร้อยละ 2 ครีมเทียมร้อยละ 10 และน้ำตาลร้อยละ 20 (ตารางที่ 22)

**Table 22** Formulation of instant drink of sungyod broken rice

Number of treatment	Ingredient (%)			
	Rice powder	Creamer	Sucrose	Cocoa
1	65	10	20	5
2	66	10	20	4
3	67	10	20	3
4	68	10	20	2
5	69	10	20	1
6	70	10	20	0

**Table 23** Sensory score of instant drink from sungyod broken rice before dissolving in warm water at 60°C

Number of treatment	Adjusted ingredient*		Attribute		
	Rice powder	Cocoa	Appearance	Color	Rice odor
1	65	5	7.12±1.06 <sup>ab</sup>	7.04±1.23 <sup>b</sup>	5.28±1.37 <sup>a</sup>
2	66	4	7.18±1.27 <sup>ab</sup>	7.16±1.30 <sup>b</sup>	5.50±1.54 <sup>ab</sup>
3	67	3	7.26±1.16 <sup>b</sup>	7.28±1.13 <sup>b</sup>	6.04±1.03 <sup>bc</sup>
4	68	2	7.22±1.20 <sup>ab</sup>	7.20±1.18 <sup>b</sup>	6.36±1.48 <sup>b</sup>
5	69	1	7.20±1.18 <sup>ab</sup>	7.16±1.38 <sup>b</sup>	6.36±1.50 <sup>b</sup>
6	70	0	6.70±1.57 <sup>a</sup>	5.88±1.88 <sup>a</sup>	6.38±1.34 <sup>b</sup>

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

NS is not significantly different ( $p \geq 0.05$ ).

\* Fixed ingredients are sugar 20% and cocoa 5% in all treatments.

**Table 24** Sensory score of instant drink from sungyod broken rice after dissolving in warm water at 60°C

Number of treatment	Adjusted ingredient*		Attribute										
	Rice powder	Cocoa	Solubility	Appearance	Color	Rice odor	Viscosity	Rice flavor	Sweetness	Creaminess	Overall		
1	65	5	6.18±1.26 <sup>NS</sup>	7.10±1.27 <sup>NS</sup>	7.10±1.27 <sup>b</sup>	5.64±1.35 <sup>a</sup>	6.48±1.30 <sup>NS</sup>	5.60±1.12 <sup>a</sup>	5.56±1.53 <sup>a</sup>	6.28±1.31 <sup>NS</sup>	6.48±1.27 <sup>b</sup>		
2	66	4	6.10±1.13 <sup>NS</sup>	7.00±1.28 <sup>NS</sup>	7.30±1.11 <sup>b</sup>	5.74±1.54 <sup>a</sup>	6.56±1.30 <sup>NS</sup>	5.72±1.44 <sup>a</sup>	5.90±1.22 <sup>abc</sup>	6.34±1.30 <sup>NS</sup>	6.56±1.07 <sup>bc</sup>		
3	67	3	6.22±1.20 <sup>NS</sup>	7.12±1.00 <sup>NS</sup>	7.34±1.08 <sup>b</sup>	6.16±1.35 <sup>ab</sup>	6.50±1.33 <sup>NS</sup>	6.14±1.48 <sup>ab</sup>	6.22±1.43 <sup>bc</sup>	6.44±1.16 <sup>NS</sup>	6.82±1.14 <sup>bc</sup>		
4	68	2	6.26±1.35 <sup>NS</sup>	7.10±1.30 <sup>NS</sup>	7.30±0.99 <sup>b</sup>	6.42±1.13 <sup>b</sup>	6.46±1.13 <sup>NS</sup>	6.50±1.49 <sup>b</sup>	6.49±1.47 <sup>c</sup>	6.42±1.30 <sup>NS</sup>	7.10±1.39 <sup>c</sup>		
5	69	1	6.24±1.87 <sup>NS</sup>	7.08±1.48 <sup>NS</sup>	7.26±1.23 <sup>b</sup>	6.40±1.55 <sup>b</sup>	6.44±1.43 <sup>NS</sup>	6.52±1.33 <sup>b</sup>	6.40±1.50 <sup>bc</sup>	6.64±1.24 <sup>NS</sup>	7.04±1.09 <sup>c</sup>		
6	70	0	6.22±1.34 <sup>NS</sup>	6.68±1.32 <sup>NS</sup>	5.92±1.69 <sup>a</sup>	6.50±1.54 <sup>b</sup>	6.42±1.14 <sup>NS</sup>	6.56±1.61 <sup>b</sup>	5.80±1.76 <sup>ab</sup>	6.32±1.62 <sup>NS</sup>	5.96±1.54 <sup>a</sup>		

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

NS is not significantly different ( $p \geq 0.05$ ).

\* Fixed ingredients are sugar 20% and cocoa 5% in all treatments.

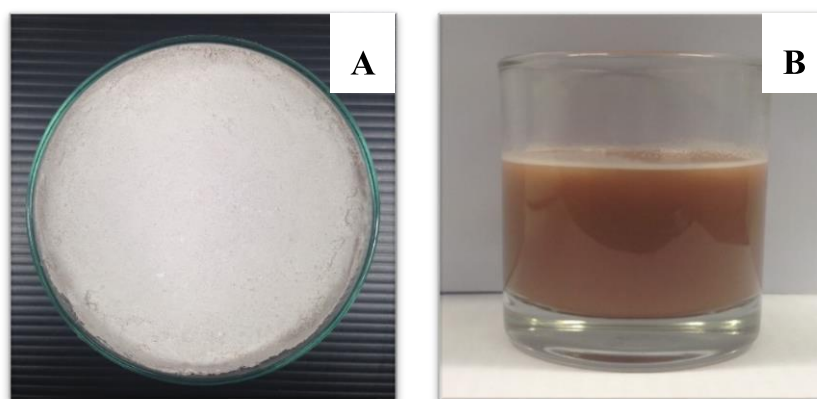
### 3.2.4 ศึกษาคุณภาพเครื่องดื่มผงจากข้าวสังข์หยดหัก

เครื่องดื่มผงจากข้าวที่ผ่านการคัดเลือกจากตอนที่ 3.2.3 ซึ่งมีส่วนผสมของข้าวผงร้อยละ 68 โกโก้ร้อยละ 2 ครีมหอมร้อยละ 10 และน้ำตาลร้อยละ 20 ถูกนำมาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และเคมีเชิงฟิสิกส์ ซึ่งเครื่องดื่มผงจากข้าวสังข์หยดหักก่อนละลายน้ำอุ่น (ภาพที่ 22) จะถูกนำมาวิเคราะห์ค่าสี ความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ เถ้า โปรตีน ไขมัน ความสามารถในการละลายน้ำและการพองตัว และพบว่า เครื่องดื่มผงจากข้าวสังข์หยดหักก่อนละลายน้ำอุ่นจะมีค่าคุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ค่า  $L^*$ ,  $a^*$ , Hue angle และ Chroma เท่ากับ 80.04, 4.08, 57.31 และ 7.54 ตามลำดับ (ตารางที่ 25) ส่วนคุณภาพทางเคมีพบว่า จะมีปริมาณโปรตีน ไขมัน ความชื้น และปริมาณน้ำอิสระเท่ากับร้อยละ 1.69, ร้อยละ 1.27, ร้อยละ 3.16 และ 0.152 ตามลำดับ (ตารางที่ 25) ซึ่งปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระในตัวอย่างเครื่องดื่มผงจากข้าวสังข์หยดหัก สอดคล้องกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (2558) เรื่องผลิตภัณฑ์ผงชงดื่มที่กำหนดว่าปริมาณความชื้นต้องไม่เกินร้อยละ 5 และปริมาณน้ำอิสระต้องไม่เกิน 0.6 นอกจากนี้ความสามารถในการละลายน้ำและดูดซับน้ำของเครื่องดื่มผงจากข้าวสังข์หยดหักก่อนละลายน้ำอุ่นจะมีค่าเท่ากับร้อยละ 91.69 และ 0.2492 กรัมต่อกรัมตัวอย่าง จากนั้นนำเครื่องดื่มผงจากข้าวสังข์หยดหักมาละลายกับน้ำอุ่นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 22) โดยใช้อัตราส่วนระหว่างตัวอย่างผงจากข้าวสังข์หยดหักต่อน้ำอุ่นเท่ากับ 7 กรัมต่อ 30 มิลลิลิตร แล้วนำมาวิเคราะห์ค่าสีและความหนืด พบว่าเครื่องดื่มผงจากข้าวสังข์หยดหักหลังละลายน้ำอุ่นจะมีค่า  $L^*$ ,  $a^*$ , Hue angle และ Chroma เท่ากับ 41.64, 14.00, 52.03 และ 22.74 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าเครื่องดื่มผงหลังละลายน้ำอุ่นจากข้าวสังข์หยดหักจะมีค่า  $L^*$  และ Hue angle ต่ำกว่าเครื่องดื่มผงจากข้าวสังข์หยดหักก่อนละลายน้ำอุ่น ในขณะที่ค่า  $a^*$  และ Chroma จะมีค่าสูงกว่า เนื่องจากเมื่อนำเครื่องดื่มผงไปละลายน้ำอุ่น ทำให้ส่วนผสมของโกโก้ละลายน้ำมากขึ้น อีกทั้งในสูตรเครื่องดื่มผงจากข้าวสังข์หยดหักมีส่วนผสมของมอลโทเด็กซ์ทริน ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวห่อหุ้มสารสกัดจากข้าวสังข์หยดหักซึ่งมีสีน้ำตาล (Shahidi and Han, 1993) เมื่อละลายน้ำ มอลโทเด็กซ์ทรินจะปลดปล่อยสารที่ห่อหุ้มไว้ จึงส่งผลให้ค่า  $a^*$  และ Chroma ของเครื่องดื่มผงจากข้าวสังข์หยดหักหลังละลายน้ำอุ่นมีค่าสูงกว่าเครื่องดื่มผงจากข้าวสังข์หยดหักก่อนละลายน้ำอุ่น นอกจากนี้พบว่า เครื่องดื่มผงจากข้าวสังข์หยดหักหลังละลายน้ำอุ่นมีค่าความหนืดมีค่าเท่ากับ 1.308 เซ็นติพอยส์ ที่อัตราเฉือนเท่ากับ 100 รอบต่อวินาที โดยมีพฤติกรรมการไหลแบบนิวโตเนียน (Newtonian fluid) และมีค่าความหนืดไม่ต่างจากเครื่องดื่มจากข้าวทางการค้า โดยพบว่า ความหนืดของเครื่องดื่มผงจากข้าว ยี่ห้อซองเดอร์ มีค่าเท่ากับ 1.397 เซ็นติพอยส์ และเครื่องดื่มข้าวหอมมิลยี่ห้อ Frezfill มีค่าเท่ากับ 1.142 เซ็นติพอยส์

**Table 25** Properties of instant drink from sungyod broken rice

Properties	Before dissolving in warm water	After dissolving in warm water
<b>Physical properties</b>		
- L*	80.04±0.06	41.64±0.76
- a*	4.08±0.06	14.00±0.29
- b*	6.35±0.14	17.92±0.41
- Hue angle	57.31±0.30	52.03±0.23
- Chroma	7.54±0.15	22.74±0.49
- Viscosity (cP)	*	1.308±0.044
<b>Chemical properties</b>		
- Moisture content (%)	3.16±0.03	*
- a <sub>w</sub>	0.152±0.002	*
- Ash (%)	1.37±0.01	*
- Protein (%)	1.69±0.08	*
- Fat (%)	1.27±0.06	*
<b>Physiochemical properties</b>		
- Water solubility index (WSI, %)	91.69±0.57	*
- Water absorption index (WAI, g/g)	0.2492±0.0012	*

\* : not determined

**Figure 22** Instant drink from sungyod broken rice (A) and (B) after dissolve in warm water (powder:warm water (1 : 3)) at 65°C



## บทที่ 4

### สรุปผลการทดลอง

ข้าวสังข์หยดเต็มเมล็ดที่ผ่านการขัดสีใหม่ และข้าวสังข์หยดหักใหม่ จะมีความแตกต่างกันในเรื่องความยาวเมล็ด น้ำหนักเมล็ด และความหนาแน่นรวมของเมล็ดอย่างชัดเจน และเมื่อนำข้าวสังข์หยดทั้ง 2 รูปแบบคือ ข้าวสังข์หยดเต็มเมล็ดที่ผ่านการขัดสีใหม่และข้าวสังข์หยดหักใหม่ จำนวน 500 กรัม มาบรรจุในถุงพลาสติกชนิด Nylon/LLDPE ขนาด 25 เซนติเมตร x 15 เซนติเมตร ปิดสนิทที่สภาวะสุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องนาน 6 เดือน ข้าวสังข์หยดทั้ง 2 รูปแบบ จะมีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพ เคมี และเคมีเชิงฟิสิกส์ระหว่างเก็บรักษา ข้าวสังข์หยดหักมีการเกิดกลิ่นหืนสูงขึ้นระหว่างเก็บรักษา และมีปริมาณมากกว่าข้าวสังข์หยดเต็มเมล็ดอย่างเด่นชัด ส่วนความสว่าง ( $L^*$ ) ค่าสีแดง ( $a^*$ ) ความเข้มสี (Chroma) ปริมาณความชื้น ปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณกรดไขมัน ค่าความหนืดสูงสุด ค่าความหนืดสุดท้าย และค่าการกินตัว ของข้าวสังข์หยดทั้ง 2 รูปแบบ จะมีค่าลดลงระหว่างเก็บรักษา ขณะที่ค่าพลังงานเอนทัลปีและปริมาณผลึกเพิ่มขึ้น

สภาวะที่เหมาะสมในการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส ต่อคุณภาพน้ำสกัดจากข้าว คือ การใช้ความเข้มข้นเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสร้อยละ 0.5 (ปริมาตรโดยน้ำหนัก) นาน 60 นาที และอุณหภูมิเท่ากับ 85 องศาเซลเซียส โดยใช้น้ำแป้งที่มีความเข้มข้นร้อยละ 10 ภายใต้สภาวะดังกล่าว น้ำสกัดจากข้าวมีปริมาณของแข็งทั้งหมดและค่าระดับการย่อยสูงสุด นอกจากนี้ระยะเวลาการย่อยตัวอย่างก่อนเข้าสู่จุดสมดุลการย่อยจะแตกต่างกัน ขึ้นกับความเข้มข้นของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส ความเข้มข้นของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสที่ร้อยละ 0.05, 0.1 และ 0.5 (ปริมาตรโดยน้ำหนัก) จะใช้เวลาเข้าสู่จุดสมดุลการย่อยเท่ากับ 60, 50 และ 40 นาที ตามลำดับ คุณภาพทางกายภาพและเคมีของน้ำสกัดจากข้าวจะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส จะมีผลให้ค่า  $L^*$  ปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ค่าระดับการย่อย ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของน้ำสกัดจากข้าวเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความหนืดลดลง

สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตข้าวผงด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย ที่ได้จากการทำนายโดยโปรแกรม Design Expert คือ การใช้อุณหภูมิอากาศขาเข้าเท่ากับ 187 องศาเซลเซียส และปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินร้อยละ 15.2 ทั้งนี้ใช้น้ำสกัดจากข้าวที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 9.42 กำหนดอัตราการไหลระหว่างการพ่นฝอยของตัวอย่างเท่ากับ 480 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง และกำหนดอุณหภูมิอากาศขาออกเท่ากับ 80 องศาเซลเซียส ซึ่งการผลิตข้าวผงภายใต้สภาวะดังกล่าว ทำให้ได้ร้อยละผลผลิตของข้าวผง

เท่ากับร้อยละ 70.94 และมีค่าความสามารถในการดูดซับน้ำเท่ากับ 0.3639 กรัมต่อกรัมตัวอย่าง การผลิตสูตรเครื่องดื่มผงที่เหมาะสมจากข้าวสังข์หยดหักจะถูกทำนายโดยใช้โปรแกรม Design Expert ร่วมกับการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค โดยการให้คะแนนความชอบด้วยสเกลแบบ 9 และ ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบเท่ากับหรือมากกว่า 6 คะแนน ในทุกคุณลักษณะ โดยสูตรเครื่องดื่มผงที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวผงร้อยละ 68 โกโก้ร้อยละ 2 น้ำตาลทรายร้อยละ 20 และครีมเทียมร้อยละ 10 เป็นสูตรที่ดีที่สุด โดยมีคะแนนความชอบในคุณลักษณะด้านกลิ่นข้าวและความชอบโดยรวมสูงกว่าสูตรอื่น

### ข้อเสนอแนะ

1. ควรทดลองผลิตข้าวผงด้วยการใช้วิธีทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (Drum dryer) เพื่อลดต้นทุนการผลิตข้าวผงทดแทนวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray dryer)
2. ควรศึกษาหาวิธีและกระบวนการผลิตมอลโทเด็กซ์ทรินจากข้าวสังข์หยด เพื่อใช้ทดแทนมอลโทเด็กซ์ทรินทางการค้าในเครื่องดื่มผง เพื่อเพิ่มมูลค่าของข้าวสังข์หยด

## เอกสารอ้างอิง

- กรมการข้าว. 2550. ข้าว: โภชนาการ สุขภาพ. พิมพ์ครั้งที่ 1. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย. กรุงเทพฯ.
- กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2555. มาตรฐานสินค้าเกษตร เรื่อง ข้าว. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. กรุงเทพฯ.
- กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. 2543. เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ
- กัญญา เชื้อพันธุ์. 2545. คุณภาพข้าวทางกายภาพ, คุณภาพข้าวและการตรวจสอบข้าวปนในข้าวหอมมะลิไทย. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.
- เครือวัลย์ อัดตะวิริยะสุข. 2534. คุณภาพเมล็ดข้าวทางกายภาพและการแปรสภาพเมล็ด. ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพฯ.
- งามชื่น คงเสรี. 2546. ข้าวและผลิตภัณฑ์ข้าว: กรมวิชาเกษตร. กรุงเทพฯ.
- งามชื่น คงเสรี. 2547. คุณภาพการตรวจสอบข้าวหอมมะลิไทย. กรมวิชาเกษตร. กรุงเทพฯ.
- นัทรแก้ว วิรูปุตร์. 2550. การพัฒนาเครื่องคั้นธัญญาหารสำเร็จรูปจากปลายข้าวกล้องหอมมะลิและถั่วอะซูกิ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- ดวงจงกล สุทธิเนียม. 2550. การพัฒนาเครื่องคั้นเพื่อสุขภาพชนิดผงจากข้าวกล้องหอมมะลิถึงอกสำหรับผู้บริโภคสูงอายุ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- ทวิศักดิ์ ทองคำ. 2554. ผลของอายุและสมบัติของข้าวหัดต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวผลิตโดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. กรุงเทพฯ.
- เทวี ทองแดง คาร์ริลา และ พัชรินทร์ ภักดีฉนวน. 2551. คุณภาพของข้าวพื้นเมืองมีสีภาคใต้ของประเทศไทย. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา.

- นิธิยา รัตนานพนธ์. 2541. วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน. พิมพ์ครั้งที่ 3. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่.
- นิธิยา รัตนานพนธ์. 2549. เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 2. โอเดียนสโตร์. กรุงเทพฯ.
- ปุ่น คงเจริญเกียรติ และ สมพร คงเจริญเกียรติ. 2541. บรรจุภัณฑ์อาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 2. ซีเอ็ดยูเคชั่น. กรุงเทพฯ.
- พรทิพย์ อารีรัตน์. 2533. การศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับสารขจัดไขมันชนิดเพื่อการขจัดสี. ภาควิชาเคมี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่.
- พรรวินท์ ไชยคา. 2554. การหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันข้าวเหนียวดำด้วยเอนไซม์สำหรับผลิตภัณฑ์หมักจากข้าว. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่.
- เพ็ญขวัญ ชมปรีดา. 2550. การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสและการยอมรับของผู้บริโภค. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- เพลงพิน ศิวาพรรักษ์. 2541. ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณอะไมโลสคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. กรุงเทพฯ.
- ไพโรจน์ วิริยจารี. 2535. วิธีทางอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่.
- ไพโรจน์ วิริยจารี. 2545. การประเมินทางประสาทสัมผัส. พิมพ์ครั้งที่ 1. คณะอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่.
- ภัทรพร ธัญญาวินิชกุล. 2540. ผลของภาชนะบรรจุและสภาพการเก็บรักษาต่อคุณภาพข้าวสาร. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- มาตรฐานอาหารผง. 2545. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 265 (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก: <http://newsser.fda.moph.go.th> สืบค้นวันที่ 24 เมษายน 2557.

มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์ และ จุฬาลักษณ์ จารุณช. 2550. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของปลายข้าวต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้รับจากกระบวนการผลิตแบบเอกซ์ทรูชัน. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย. กรุงเทพฯ.

รัตนา อัดตปัญญาโย. 2544. หลักการควบคุมคุณภาพและการประกันคุณภาพ. คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่.

ละมุล วิเศษ. 2541. ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณไขมันคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. กรุงเทพฯ.

วิไล รังสาดทอง. 2545. เทคโนโลยีแปรรูปอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์ โอเดียน สโตร์. กรุงเทพฯ.

สัญญาชัย ขอดมณี. 2552. คุณภาพของข้าวพื้นเมืองมีสีภาคใต้ของประเทศไทย. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา.

สำนักงานเกษตรจังหวัดพัทลุง. 2558. ผลผลิตของข้าวสังข์หยดในแต่ละอำเภอของจังหวัดพัทลุง (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก: <http://www.moc.go.th/opscenter/pt/Area.htm>. สืบค้นวันที่ 24 เมษายน 2558.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรเขต 9. 2550. มาตรฐานข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก: [http://www2.oae.go.th/zone9/rice\\_songyod/information/strandard\\_ricesangyod.html](http://www2.oae.go.th/zone9/rice_songyod/information/strandard_ricesangyod.html). สืบค้นวันที่ 24 ธันวาคม 2558.

สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร. 2555. สถานการณ์สินค้าเกษตรที่สำคัญ และแนวโน้มปี 2555. สำนักพิมพ์อักษรสยามการพิมพ์ 16. กรุงเทพฯ.

สำเร็จ แซ่ตัน. 2553. ข้าวพื้นเมืองภาคใต้ เล่ม 2. ศูนย์วิจัยข้าวพัทลุง สำนักวิจัยและพัฒนาข้าวกรมการข้าว. กรุงเทพฯ.

สุนันทา วงศ์ปิยชน กัญญา เชื้อพันธุ์ วัชรวิ สุขวิวัฒน์ สุวณี กิตติลาภานนท์ ละม้ายมาศ ยังสุข และ รุจิรา ปรีชา. 2549. ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี. (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก <http://www.ricesiam.com/page01.php>. สืบค้นวันที่ 8 พฤษภาคม 2556.

- อมรรัตน์ ถนนแก้ว. 2552. การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพจากข้าวสังข์หยด (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก : <http://pre-rsc.ricethailand.go.th/knowledge/11.htm>. สืบค้นวันที่ 8 พฤษภาคม 2556.
- อรพิน ภูมิภมร และ ประเสริฐ อธิวิกุล. 2535. การผลิตมอลโทเดกซ์ทรินจากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลังด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส. ว. เกษตรศาสตร์. 26 (2): 164-172.
- อรอนงค์ นัยวิกุล. 2547. ข้าว วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- A.O.A.C. 2000. Official methods of analysis. Association of official analytical chemists. 16th ed. Washington, DC.
- Abadio, F.D.B., Domingues, A.M., Borges, S.V. and Oliveira, V.M. 2004. Physical properties of powdered pineapple (*Ananas comosus*) juice: effect of maltodextrin concentration and atomization speed. Journal of Food Engineering. 3: 285-287.
- Amerine, M., Pangborn, R. M. and Roessler E.B. 1965. Principles of Sensory Evaluation of Food. Academic Press. New York.
- Anderson, R.A., Conway, H.F., Pfeifer, V.F. and Griffin, E.L. 1969. Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. Cereal Science Today. 14(1): 372-376.
- Apar, D.K. and Ozbek, B. 2005.  $\alpha$ -Amylase inactivation by temperature during starch hydrolysis. Process Biochemistry. 40 (3-4). 1367-1379.
- Bao, J. and Bergman, C.J. 2004. The Functionality of Rice Starch. In: Starch in Food. (Eliasson, A.C., ed.). Woodhead Publishing. New York.
- Bao, J., Shem, S., Sun, M. and Corke, H. 2006. Analysis of genotypic diversity in the starch physicochemical properties of non waxy rice: apparent amylose content, pasting viscosity and gel texture. Starch. 58 (6): 259-267.
- Bennion, M. and Scheule, B. 2004. Introductory Foods. Upper Saddle River, Prentice-Hall, Inc. New Jersey.

- Bhandari, B.R., Datta, N., Crooks, R., Howes, T. and Rigby, S. 1997. A semi-empirical approach to optimize the quantity of drying aids required to spray dry sugar-rich foods. *Drying Technology*. 15 (10): 2509-2525.
- Boonyai, P. and Indal, V.K. 2001. Effects of processing conditions on the quality of spray-dried soymilk. *The Proceedings of the 2<sup>nd</sup> Asian-Oceania Drying Conference*. Malaysia.
- Buleon, A., Colonna, P., Planchot, V. and Ball, S. 1998. Starch granules: structure and biosynthesis. *International Journal of Biological Macromolecules*. 23 (2): 85-112.
- Cano-Chauca, M., Stringheta, P.C., Ramos, A.M. and Cal-Vidal, J. 2005. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder spray drying and its functional characterization. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 6 (4): 420-428.
- Caplin, C. 2004. Amylose and amylopectin (online). Available: [http://www.lsbu.ac.uk/water / hystah.html](http://www.lsbu.ac.uk/water/hystah.html) 22 May 2013.
- Carolina, B.C., Carolina, S., Zamora, M.C. and Jorge, C. 2007. Glass transition temperatures and physical and sensory changes in stored spray-dried encapsulated flavors. *Journal of Food Science and Technology*. 40 (10): 1792-1797.
- Champagne, E.T. 1994. Brown rice stability. *In: Rice Science and Technology*. (Marshall, W.E. ed.). 470 p. Marcel Dekker, Inc. New York.
- Champagne, E.T. 1996. Rice starch composition and characteristics. *Cereal Foods World*. 41: 833-838.
- Chegini, G.R. and Ghobadian, B. 2005. Effect of spray-drying conditions on physical properties of orange juice powder. *Drying Technology*. 23 (3): 657-668.
- Chen, H., Siebenmorgen, T. J. and Griffin, K. 1998. Quality characteristics of long-grain rice milled in two commercial systems. *Cereal Chemistry*. 75 (4): 560-565.

- Chrastil, J. 1994. Effect of storage on the physicochemical properties and quality factors of rice. *In: Rice Science and Technology*. (Marshall, W.E. ed.). 470 p. Marcel Dekker, Inc. New York.
- Chrastil, J. and Zarins, Z.M. 1992. Influence of storage on peptide subunit composition of rice oryzenin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 40: 927-930
- Cross, H.R. Bernholdt, H.F., Dikleman, M.E., Greene, B.E., Moody, W.G. and West, R.L. 1978. *Guidelines for Cookery and Sensory Evaluation of Meat*. American Meat Science Association, Ad Hoc Committee, Chicago.
- Dubois, M., Gilles, J.K., Hamilton, J.K. Rebers, P.A. and Smith, F. 1965. Calorimetric method for determination of sugars related substance. *Journal of Analytical Chemistry*. 28: 350-356.
- Eliasson, A.C. 2004. *Starch in Food: Structure, Function and Applications*. CRC Press. New York.
- Ellis, R.P., Cochrane, M.P. and Dale, M.F.B. 1998. Starch production and industrial use. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 77: 289-311.
- FAO. 1986. *Manual of Food Quality Control 7. Food Analysis: General Technique, Additive, Contamination and Composition*. Food and Agriculture Organization of the United Nation. Rome, Italy.
- Fazaeli, M., Emam-Djomeh, Z., Ashtari, A.K. and Omid, M. 2012. Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder. *Food and Bioproducts Processing*. 90 (4): 667-675.
- Fellows, P.J. 2000. *Food Processing Technology. Principles and practice*. CRC Press. Boca Raton.
- Fogarty, W.M. 1983. *Microbial Enzyme and Biotechnology*. Applied Science publishers. London, United Kingdom.
- Francis, F.J. 1980. Color quality evaluation in horticultural crops. *Horticultural Science*. 15: 58-59.
- Gatchalian, M.M. 1981. *Sensory Evaluation Methods with Statistical Analysis*. College of Home Economics. University of the Philippines. Philippines.



- Godfrey, T. and Reichelt, J. 1983. *Starch, Industrial Enzymology: The Application of Enzyme in Industry*. Nuture Press. New York.
- Goula, A.M. and Adamopoulos, K.G. 2004. Spray drying of tomato pulp: effect of feed concentration. *Drying Technology*. 22 (10): 2309-2330.
- Goula, A.M. and Adamopoulos, K.G. 2008. Effect of maltodextrin addition during spray drying of tomato pulp in dehumidified air: II. powder properties. *Drying Technology*. 26 (6): 726-737.
- Goula, A.M. and Adamopoulos, K.G. 2010. A new technique for spray drying orange juice concentrate. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 11 (2): 342-351.
- Grabowbki, J.A., Troung, V.D. and Duabert, C.R. 2006. Spray-drying of amylose hydrolyzed sweetpotato puree and physicochemical properties of powder. *Journal of Food Science*. 71 (5): 209-217.
- Hermansson, A.M. and Svegmarm, K. 1996. Developments in the understanding of starch functionality. *Trends in Food Science and Technology*. 7 (11): 345-353.
- Hu, R. 1999. *Food product design: A Computer-aid Statistical Approach*. 225p. Technomic Publishing Co., Inc. Lancaster. England.
- Imberty, A., Buleon, A., Tran, V. and Perez, S. 1991. Recent advances in knowledge of starch structure. *Strach*. 43: 375-384.
- Inprasis, C. and Noomhorm, A. 2001. Effect of drying air temperature and grain temperature of different types of dryer and operation on rice quality. *Drying Technology*. 19 (2): 389-404.
- Ito, S., Sato, S. and Fujino, Y. 1979. Internal lipid in rice starch. *Starch*. 31 (7): 217-221.
- Jane, J., Chen, Y.Y., Lee, L.F., McPherson, A.E., Wong, K.S., Radosavljevic, M. and Kasemsuwan, T. 1999. Effects of amylopectin branch chain length and amylose content on gelatinization and pasting properties of starch. *Cereal Chemistry*. 76 (5): 629-637.

- Jinapong, N., Suphantharika, M. and Jamnong, P. 2008. Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, spray drying and fluidized bed agglomeration. *Journal of Food Engineering*. 84 (2): 194-205.
- Jindal, V.K. and Siebenmorgen, T.J. 1987. Effect of drying air temperature and grain temperature of different types of dryer and operation on rice quality. *Drying Technology*. 11: 71-85.
- Juliano, B.O. 1985. *Rice: Chemistry and Technology*. Am. Assoc. Cereal Chem. St. Paul, Minnesota.
- Kanjanumpha, K. 2015. Parboiling and Degree of Milling as Affected on the Properties of Sungyod Rice. Ms.D. Dissertation. Prince of Songkla University.
- Kanjanumpha, K. and Meenune, M. 2014. Properties of Phatthalung uungyod rice as influenced by degree of milling and storage time. *The Proceedings of the 16<sup>th</sup> Food Innovation Asia Conference*. Thailand. 458-468 pp.
- Kanlayakrit, W. and Maweang, M. 2008. Effect of postharvest rice storage conditions on physicochemical properties. *The Proceedings of the 46<sup>th</sup> Kasetsart University Annual Conference*. Thailand.
- 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.
- Keawpeng, I. and Meenune, M. 2012. Physicochemical properties of organic and inorganic Phatthalung Sungyod rice. *Food Research International*. 19 (3): 857-861.
- Kha, T.C., Nguyen, M.H. and Roach, P.D. 2012. Effects of spray drying conditions on the physicochemical and antioxidant properties of the Gac (*Momordica cochinchinensis*) fruit aril powder. *Journal of Food Engineering*. 98: 385-392.
- Kim, Y.J., Suzuki, T., Hagiwara, T., Yamaji, I. and Takai, R. 2001. Enthalpy relaxation and glass to rubber transition of amorphous potato starch formed by ball-milling. *Carbohydrate Polymers*. 46: 1-6.

- Klinkesorn, U., Sophanodora, P., Chinachoti, P. and McClements, D.J. 2004. Stability and rheology of corn oil-in-water emulsions containing maltodextrin. *Food Research International*. 37 (9): 851-859.
- Komolprasert, V. and Ofoli, R.Y. 1991. Starch hydrolysis kinetics of *bacillus licheniformis*  $\alpha$ -amylase. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. 51 (2): 209-223.
- 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 (4): 1496-1503.
- Li, H., Zhu, Y., Jiao, A., Zhao, J., Chen, X., Wei, B., Hu, X., Wu, C., Jin, Z. and Tian, Y. 2013. *International Journal of Biological Macromolecules*. 55: 276-281.
- Likitwattanasade, T. and Hongsrabhas, P. 2010. Effect of storage proteins on pasting properties and microstructure of Thai rice. *Food Research International*. 43 (5): 1402-1409.
- 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 (1): 69-74.
- Markakis, P. 1974. Anthocyanins and their stability in foods. *Food Technology*. 4: 437-456.
- Marshall, W.E. and Wadsworth, J.I. 1994. *Rice Science and Technology*. Agricultural Research Service. New Orleans.
- Masters, K. 1991. *Spray Drying Handbook*. Harlow: Longman Scientific and Technical. New York.
- Monsoor, M.A. and Proctor, A. 2003. Relative FFA formation and lipid oxidation of commercially milled unseparated, head, and broken rice. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 80 (12): 1183-1186.
- Morais, H., Ramos, C., Forgacs, E., Cserhati, T. and Oliveira, J. 2002. Influence of storage conditions on the stability of monomeric anthocyanins studied by reversed-phase high performance liquid chromatography. *Journal of Chromatography B*. 770 (1-2): 297-301.

- Morgan, L. 1994. Biochemistry. Neil Patterson Publishers/Prentice Hall, Inc. New York.
- Moritaka, S. and Yasumatsu, K. 1972. Studies on cereals, The effect of sulfhydryl groups on storage deterioration of milled rice. *In: Rice: Chemistry and Technology.* (Juliano, B.O. ed.). Am. Assoc. Cereal Chem. St. Paul, Minnesota.
- Morrison, W.R. 1988. Lipids in cereal starches: a review. *Journal of Cereal Science.* 8 (1): 1-15.
- Nath, S. and Satpathy, G.R. 1998. A systematic approach for investigation of spray drying processes. *Drying Technology.* 16 (6): 1173-1193.
- Nawar, W.W. 1996. Lipids . *In: Food Chemistry.* 3<sup>rd</sup> ed. (Fennema, O.R. ed.). Marcel Dekker, Inc., New York.
- Naz, S. 2002. Enzyme of Foods. Oxford University Press. Oxford, United Kingdom.
- Nelson, N. 1994. Determination of glucose. *Journal of Biological Chemistry.* 77: 145-147.
- Nollet, L.M.L. 1996. Handbook of Food Analysis. Marcel Dekker. New York.
- Ohashi, K., Goshima, G., Kusuda, H. and Tsuge, H. 1980. Effect of embraced lipid on the gelatinization of rice starch. *Starch.* 32 (2): 54-58.
- Ong, M.H. and Blanshard, J.M.V. 1995. Texture determinants of cooked, parboiled rice: Physicochemical properties and leaching behaviour of rice. *Journal of Cereal Science.* 21 (3): 261-269.
- Orapin, B. and Prasert, A. 1992. Production of rice and cassava maltodextrins by using  $\alpha$ -amylase. *Kasetsart Journal Natural Science.* 26 (2): 164-172.
- Papadakis, S., Gardeli, C. and Tzia, C. 2006. Spray drying of raisin juice concentrate. *Drying Technology.* 24: 173-180.
- Park, J.K., Kim, S.S. and Kim, K.O. 2001. Effect of milling ratio on sensory properties of cooked rice and on physicochemical properties of milled and cooked rice. *Cereal Chemistry.* 78 (2): 151-156.

- Phillips, G.O. and Williams., P.A. 2000. Handbook of Hydrocolloids. Woodhead Publishing Limited. England.
- Phisut, N. 2012. Spray drying technique of fruit juice powder: some factors influencing the properties of product. International Food Research Journal. 19 (4): 1297-1306.
- Phoungchandang, S., Srinukroh, W. and Leenanon, B. 2008. Kaffir lime leaf (*Citrus hystrix* DC.) drying using tray and heat pump dehumidified drying. Drying Technology. 26 (12): 1602-1609.
- Pomeranz, Y. 1992. Biochemical, functional, and nutritive changes during storage. *In*: Storage of Cereal Grains and Their Products, 4<sup>th</sup> Ed, (Sauer, D.B. ed.), American Association of Cereal Chemists, St. Paul, Minnesota.
- Qi, X., Tester, R.F., Snape, C.E. and Ansell, R. 2003. Molecular basis of the gelatinization and swelling characteristics of waxy rice starches grown in the same location during the same season. Journal of Cereal Science. 37 (3): 363-376.
- Quek, S.Y., Chok, N.K. and Swedlund, P. 2007. The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. Chemical Engineering and Processing. 46: 386-392.
- Reilly, P.J. 1985. Starch Conversion Technology. Marcel Dekker. New York.
- Robin, J.P., Mercier, C., Charbonniere, R. and Guilbot, J.A. 1974. Lintnerized starch, gel filtration and enzymatic studies of insoluble residues from prolonged acid treatment of potato starch. Cereal Chemistry. 51: 389-406.
- Saint-Gaulejac, N.C., Glories, Y. and Vivas, N. 1999. Free radical scavenging effect of anthocyanins in red wines. Food Research International. 32: 327-333.
- Schoch, T.J. 1964. Swelling power and solubility of granulea starches. *In*: Method in Carbohydrate Chemistry Vol. IV (Whissef, R.L., ed.), p. 106-108. Academic Press. New York.
- Shahidi, F. and Han, X.Q. 1993. Encapsulation of food ingredients. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 33 (6): 501-547.

- Shrestha, A.K., Ua-arak, T., Adhikari, B.R., Howes, T. and Bhandari, B.R. 2007. Glass transition behavior of spray dried orange juice powder measured by differential scanning calorimetry (DSC) and thermal mechanical compression test (TMCT). *International Journal of Food Properties*. 10 (3): 661-673.
- Singh, N., Kaur, L., Singh K., Kaur, J. and Nishinari, K. 2006. Relationships between physicochemical, morphological, thermal, rheological properties of rice starches. *Food Hydrocolloids*. 20 (4): 534-542
- Sodhi, N. S. and Singh, N. 2003. Morphological, thermal and rheological properties of starches separated from rice cultivars grown in India. *Food Chemistry*. 80: 99-108.
- Sompong, R., Siebenhandl-Ehn, S. and Berghofer, E. 2011. Physicochemical and antioxidative properties of red and black rice varieties from Thailand, China and Sri Lanka. *Food Chemistry*. 124 (1): 132-140.
- Sowbhagya, C.M. and Bhattacharya, K.R. 2001. Changes in pasting behaviour of rice during ageing. *Journal of Cereal Science*. 34: 115-124.
- Stone, H. and Sidel, J.L. 1978. Computing exact probabilities in sensory discrimination tests. *Journal of Food Science*. 43 (3): 1028-1029.
- Sukoncheun, S. 1994. Comparison of enzymatic hydrolyses of 4 kinds of starch. *Kasertsart J., Natural Sci*. 28 (2): 264-272.
- Sutinium, D., Haruthaithasan, V. and Chompreeda, P. 2008. Development of instant nutritious beverage from germinated jasmine brown rice for elderly consumers. *Kasertsart Journal Natural Science*. 42: 88-98.
- Szyperski, R.J., Hamann, D.D. and Walter, W.M. 1986. Controlled alpha amylase process for improved sweet potato puree. *Journal of Food Science*. 51 (2): 360-363.
- Tananuwong, K. and Malila, Y. 2011. Change in physicochemical properties of organic hulled rice during storage under different conditions. *Food Chemistry*. 125 (1): 179-185.

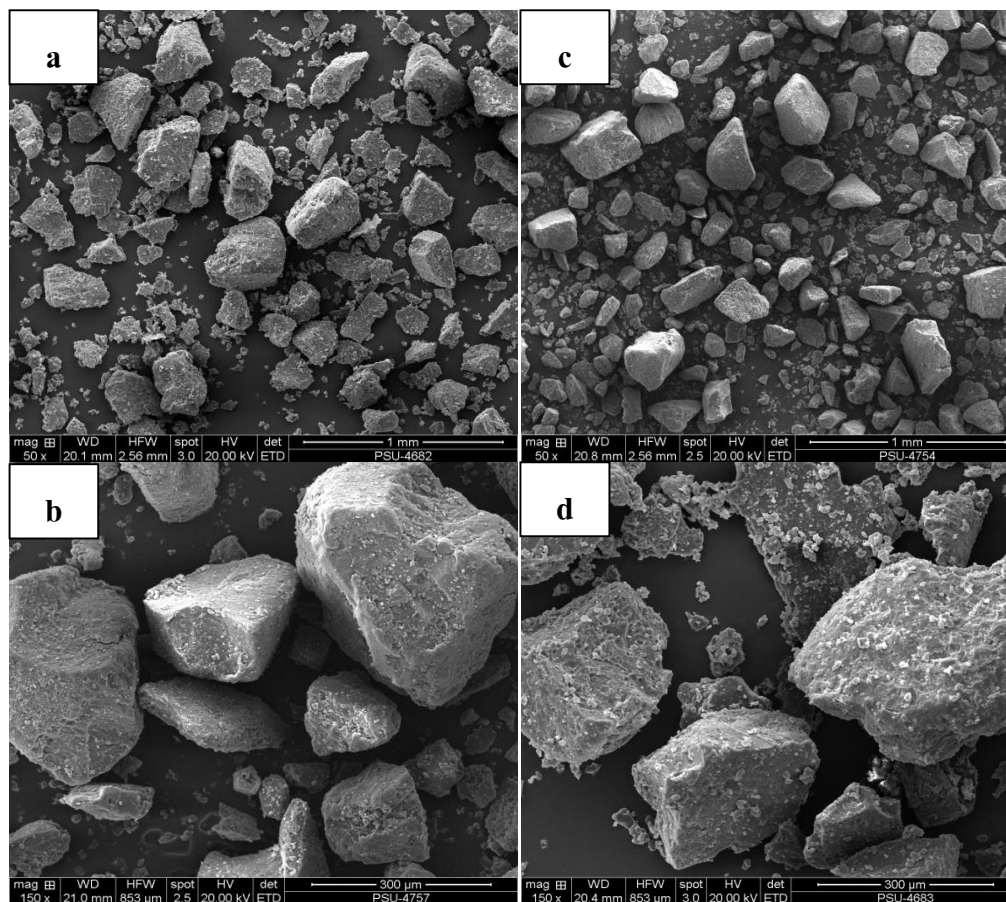
- Teo, C.H., Karim, A., Cheah, P.B. Narziah, M.H. and Seow, C.C. 2000. On the role of protein and starch in the aging of non-waxy rice flour. *Food Chemistry*. 69 (3): 229-236.
- Tonon, R.V., Brabet, C. and Hubinger, M.D. 2008. Influence of process conditions on the physicochemical properties of acai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying. *Journal of Food Engineering*. 88 (3): 411-418.
- Tотора, G.T. 1991. *Microbiology an Introduction*. The Benjamin/Cummings. Publishing Company, California.
- Tulyathan, V. and Leecharatanaluk, B. 2007. Changes in quality of rice (*Oryza sativa* L.) cv. Khao Dawk Mali 105 during storage. *Journal of Food Biochemistry*. 31 (3): 415-425.
- Vandeputte, G.E., Vermeyleen, R., Geeroms, J. and Delcour, J.A. 2003. Rice starches, I. Structural aspects provide insight into crystallinity characteristics and gelatinization behaviour of granular starch. *Journal of Cereal Science*. 38 (1): 43-52.
- Varnam, A.H. and Sutherland, J.P. 1994. *Beverages: Technology, Chemistry and Microbiology*. pp. 1-296.
- 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 (1): 50-54.
- Walton, D.E. and Mumford, C.J. 1999. Spray dried products-characteristic of particle morphology. *Chemical Engineering Research and Design*. 77 (1): 21-38.
- Whistler, R.L. and Deneil, J.R. 1984. Molecular structure of starch. *In: Starch: Chemistry and Technology*. (Whistler, R.L., BeMiller. J.N. and Paschall., E.F. eds.). 153-178 p. Academic Press Inc., Florida.
- Wiset L., Kongkiattikajorn J. and Potchanachai. S. 2005. Effect of free fatty acid contents on pasting behavior of postharvest brown rice flour. The 31<sup>st</sup> Congress on Science and Technology of Thailand at Suranaree University of Technology. Thailand.

- Wong, W.S.D. 1995. *Food Enzymes Structure and Mechanism*. New York: Chapman and Hall.
- Wood, E.A. and Aurandzz, L.W. 1977. Lipids. *In*: Wood, E.A., Aurand, L.W. (Eds), *Laboratory Manual in Food Chemistry*. p. 104-142. AVI Publishing. Westport.
- Yankov, D., Dobreva, E., Beschkov, V. and Emenuilova, E. 1986. Study of optimum conditions and kinetic of starch hydrolysis by means of thermostable alpha-amylase. *Enzyme and Microbial Technology*. 8 (11): 665-667.
- Yasumatsu, K. and Moritaka, S. 1964. Fatty acid composition of rice lipid and their changes during storage. *Agricultural of Biology and Chemistry*. 28 (5): 257-264.
- Yawadio, R., Tanimori, S., and Morita, N. 2007. Identification of phenolic compounds isolated from pigmented rices and their aldose reductase inhibitory activities. *Food Chemistry*. 101 (4): 1616-1625.
- Zhou, Z., Blanchard, C., Helliwell, S. and Robards, K. 2003. Fatty acid composition of three rice varieties following storage. *Journal of Cereal Science*. 37 (3): 327-335.
- Zhou, Z., Robards, K., Helliwell, S. and Blanchard, C. 2002. Aging of stored rice: Changes in chemical and physical attributes. *Cereal Science*. 35 (1): 65-78.
- Zhou, Z., Robards, K., Helliwell, S. and Blanchard, C. 2007. Effect of storage temperature on cooking behavior of rice. *Food Chemistry*. 105: 491-497.



## ภาคผนวก

## ภาคผนวก ก. ภาพและตารางประกอบการทดลอง



**Appendix Figure 1** Scanning electron micrographs of rice grinding from grinder at 50X (a) and 150X (b) and hammer mill at 50X (c) and 150X (d)

**Appendix Table 1** Degree of rice hydrolysis with various enzyme concentrations at various incubation times

Incubation time (min)	Degree of hydrolysis (%)		
	Alpha amylase concentration		
	0.05%	0.1%	0.5%
10	5.38±0.06 <sup>f,C</sup>	8.77±0.06 <sup>e,B</sup>	13.74±0.06 <sup>d,A</sup>
20	8.92±0.12 <sup>e,C</sup>	14.96±0.09 <sup>d,B</sup>	22.80±0.20 <sup>c,A</sup>
30	11.21±0.10 <sup>d,C</sup>	19.39±0.11 <sup>c,B</sup>	28.06±0.07 <sup>b,A</sup>
40	13.48±0.03 <sup>c,C</sup>	25.47±0.04 <sup>b,B</sup>	36.69±0.10 <sup>a,A</sup>
50	16.05±0.11 <sup>b,C</sup>	29.17±0.06 <sup>a,B</sup>	36.61±0.20 <sup>a,A</sup>
60	18.39±0.12 <sup>a,C</sup>	29.16±0.04 <sup>a,B</sup>	36.57±0.14 <sup>a,A</sup>
70	18.42±0.03 <sup>a,C</sup>	29.15±0.10 <sup>a,B</sup>	36.60±0.12 <sup>a,A</sup>
80	18.39±0.04 <sup>a,C</sup>	29.20±0.05 <sup>a,B</sup>	36.60±0.02 <sup>a,A</sup>
90	18.37±0.12 <sup>a,C</sup>	29.17±0.04 <sup>a,B</sup>	36.56±0.01 <sup>a,A</sup>
100	18.37±0.08 <sup>a,C</sup>	29.12±0.08 <sup>a,B</sup>	36.53±0.12 <sup>a,A</sup>
110	18.39±0.11 <sup>a,C</sup>	29.16±0.17 <sup>a,B</sup>	36.53±0.11 <sup>a,A</sup>
120	18.34±0.06 <sup>a,C</sup>	29.19±0.05 <sup>a,B</sup>	36.52±0.13 <sup>a,A</sup>

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

Means with different capital letters in the same row are significant difference ( $p < 0.05$ ).

**Appendix Table 2** Physical properties of spray dried rice powder

Treatment	Maltodextrin (%)	Inlet temperature (°C)	Yield (%)	Color			Bulk density (g/cm <sup>3</sup> )
				L*	a*	b*	
1	0	150	67.21	90.69±0.04 <sup>d</sup>	1.82±0.04 <sup>c</sup>	3.88±0.04 <sup>b</sup>	0.478±0.009 <sup>a</sup>
2	0	170	65.77	89.60±0.15 <sup>e</sup>	2.01±0.07 <sup>b</sup>	4.81±0.09 <sup>a</sup>	0.473±0.005 <sup>a</sup>
3	0	190	64.29	88.96±0.08 <sup>f</sup>	2.13±0.03 <sup>a</sup>	4.89±0.08 <sup>a</sup>	0.467±0.007 <sup>a</sup>
4	10	150	72.03	95.63±0.03 <sup>b</sup>	0.90±0.01 <sup>d</sup>	2.47±0.04 <sup>g</sup>	0.412±0.004 <sup>b</sup>
5	10	170	71.71	95.52±0.02 <sup>b</sup>	0.93±0.01 <sup>d</sup>	2.98±0.03 <sup>cd</sup>	0.406±0.011 <sup>bc</sup>
6	10	170	71.45	95.55±0.05 <sup>b</sup>	0.93±0.01 <sup>d</sup>	2.99±0.04 <sup>cd</sup>	0.405±0.003 <sup>bc</sup>
7	10	170	71.85	95.54±0.04 <sup>b</sup>	0.93±0.01 <sup>d</sup>	3.01±0.03 <sup>cd</sup>	0.407±0.005 <sup>bc</sup>
8	10	170	71.65	95.55±0.06 <sup>b</sup>	0.93±0.04 <sup>d</sup>	3.03±0.08 <sup>c</sup>	0.405±0.005 <sup>bc</sup>
9	10	170	71.36	95.52±0.03 <sup>b</sup>	0.93±0.02 <sup>d</sup>	3.01±0.03 <sup>cd</sup>	0.407±0.018 <sup>b</sup>
10	10	190	70.72	95.32±0.07 <sup>c</sup>	0.93±0.02 <sup>d</sup>	2.94±0.05 <sup>de</sup>	0.403±0.010 <sup>bcd</sup>
11	20	150	72.54	96.00±0.27 <sup>a</sup>	0.84±0.02 <sup>e</sup>	2.94±0.01 <sup>de</sup>	0.391±0.009 <sup>cde</sup>
12	20	170	72.49	95.91±0.10 <sup>a</sup>	0.84±0.03 <sup>e</sup>	2.88±0.01 <sup>ef</sup>	0.389±0.004 <sup>de</sup>
13	20	190	72.19	95.86±0.04 <sup>a</sup>	0.85±0.03 <sup>e</sup>	2.81±0.03 <sup>f</sup>	0.387±0.001 <sup>e</sup>

**Appendix Table 3** Chemical and physiochemical properties of spray dried rice powder

Treatment	Maltodextrin (%)	Inlet temperature (°C)	Moisture content (%)	$a_w$	WSI (%)	WAI (g/g)
1	0	150	2.60±0.02 <sup>a</sup>	0.148±0.002 <sup>a</sup>	94.54±0.05 <sup>b</sup>	0.3748±0.0023 <sup>a</sup>
2	0	170	2.51±0.01 <sup>b</sup>	0.147±0.003 <sup>ab</sup>	94.91±0.67 <sup>b</sup>	0.3718±0.0047 <sup>a</sup>
3	0	190	2.36±0.02 <sup>c</sup>	0.145±0.002 <sup>b</sup>	95.95±0.77 <sup>b</sup>	0.3662±0.0047 <sup>b</sup>
4	10	150	2.24±0.02 <sup>d</sup>	0.149±0.002 <sup>a</sup>	94.61±0.16 <sup>b</sup>	0.3665±0.0024 <sup>b</sup>
5	10	170	2.03±0.02 <sup>e</sup>	0.147±0.001 <sup>ab</sup>	95.04±0.58 <sup>b</sup>	0.3642±0.0010 <sup>b</sup>
6	10	170	2.02±0.03 <sup>e</sup>	0.146±0.003 <sup>ab</sup>	94.73±0.48 <sup>b</sup>	0.3641±0.0016 <sup>b</sup>
7	10	170	2.02±0.01 <sup>e</sup>	0.147±0.002 <sup>ab</sup>	94.87±0.13 <sup>b</sup>	0.3643±0.0006 <sup>b</sup>
8	10	170	2.01±0.03 <sup>e</sup>	0.147±0.001 <sup>ab</sup>	94.86±0.38 <sup>b</sup>	0.3649±0.0020 <sup>b</sup>
9	10	170	2.02±0.04 <sup>e</sup>	0.147±0.002 <sup>ab</sup>	94.95±0.10 <sup>b</sup>	0.3653±0.0007 <sup>b</sup>
10	10	190	1.97±0.02 <sup>f</sup>	0.145±0.001 <sup>b</sup>	94.90±0.07 <sup>b</sup>	0.3633±0.0011 <sup>b</sup>
11	20	150	1.96±0.01 <sup>fg</sup>	0.147±0.002 <sup>ab</sup>	95.35±0.32 <sup>ab</sup>	0.3651±0.0006 <sup>b</sup>
12	20	170	1.93±0.03 <sup>g</sup>	0.147±0.002 <sup>ab</sup>	95.99±0.84 <sup>a</sup>	0.3647±0.0049 <sup>b</sup>
13	20	190	1.89±0.01 <sup>h</sup>	0.146±0.002 <sup>ab</sup>	96.02±0.81 <sup>a</sup>	0.3618±0.0034 <sup>b</sup>

## ภาคผนวก ข. การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

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

#### อุปกรณ์

เวอร์เนียร์

#### วิธีการ

สุ่มตัวอย่างข้าววัดขนาดความยาว ความกว้าง และความหนา ของเมล็ดข้าว โดยการสุ่มข้าว ตัวอย่างละ 10 เมล็ด และคิดค่าเฉลี่ยและรายงานผลในรูปอัตราส่วนความยาวต่อความกว้าง (L/B ratio)

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

#### อุปกรณ์

เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง

#### วิธีการ

หาน้ำหนักของเมล็ดข้าว โดยการนับเมล็ดสมบูรณ์ตัวอย่างละ 100 เมล็ด ชั่งน้ำหนักเป็นกรัม หาค่าเฉลี่ย แล้วคำนวณและรายงานผลในรูปน้ำหนักต่อ 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

เครื่องวัดค่าสี Hunter Lab รุ่น Color Quest XT

### วิธีการ

1. เลือกโปรแกรม Hunter Lab ระบบ CIE วัดค่าในรูปแบบ (L\*, a\* และ b\*) Illuminate = D65 และ Observer = 10<sup>0</sup>

2. ปรับมาตรฐานสีโดยใช้แผ่นเทียบสีค่ามาตรฐานและสีขาวมาตรฐาน

3. นำเมล็ดข้าวใส่ในคิวเวตประมาณ 1 ใน 4 ของคิวเวต

4. นำคิวเวตไปวางในตำแหน่งที่วัดค่าสี ค่าที่วัดได้เป็น L\*, a\* และ b\*

L\* บ่งบอกถึงความสว่างของสี (Lightness) โดยมีค่าตั้งแต่ 0 (สีดำ) ถึง 100 (สีขาว)

a\* บ่งบอกถึงสีแดงและสีเขียว โดยค่าเป็นบวกก็จะเป็นสีแดงมากขึ้น และถ้าค่าเป็นลบก็จะเป็นสีเขียวมาก

b\* บ่งบอกถึงสีเหลืองและสีน้ำเงิน โดยค่าเป็นบวกก็จะเป็นสีเหลือง และถ้าค่าเป็นลบก็จะเป็นสีน้ำเงินมากขึ้น

5. คำนวณค่า Chroma และค่า Hue (Francis, 1980) จากสูตร

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

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

5. โครงสร้างจุลภาคของแป้งข้าว (Kadan *et al.*, 2008)

### อุปกรณ์

เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)

### วิธีการ

1. นำตัวอย่างข้าวผงที่ร่อนผ่านตะแกรงร่อน ขนาด 250 ไมโครเมตร มาติดลงบนแท่นตัวอย่าง

2. เคลือบผิวหน้าตัวอย่างด้วยทอง จากนั้นนำตัวอย่างมาส่องด้วยเครื่อง SEM ที่กำลังขยาย 50 และ 150 เท่า โดยกำหนดค่า kV = 20

6. โครงสร้างจุลภาคของแป้งข้าวภายหลังการย่อยด้วยเอนไซม์ (Li *et al.*, 2013)

### อุปกรณ์

1. เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)

2. ตู้อบลมร้อน

### วิธีการ

1. นำแป้งข้าวที่ผ่านการย่อยไปอบแห้งในตู้อบไฟฟ้าอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ประมาณ 24 ชั่วโมง หรือจนกว่าตัวอย่างมีความชื้นประมาณร้อยละ 10
2. นำแป้งข้าวที่ผ่านการอบแห้งมาผ่านตะแกรงร่อน ขนาด 250 ไมโครเมตร
3. จากนั้นนำแป้งข้าวที่ผ่านการร่อนมาติดลงบนแท่นตัวอย่าง
4. เคลือบผิวหน้าตัวอย่างด้วยทอง จากนั้นนำตัวอย่างมาส่องด้วยเครื่อง SEM ที่กำลังขยาย 2,000 เท่า โดยกำหนดค่า  $kV = 20$

### 7. ความหนืด (Grabowski *et al.*, 2006)

#### อุปกรณ์

เครื่องรีโอมิเตอร์

#### วิธีการ

1. นำตัวอย่างปริมาตร 50 มิลลิลิตร เติลงในถ้วยใส่ตัวอย่าง
2. วัดความหนืดตัวอย่างด้วยเครื่องรีโอมิเตอร์ ซึ่งต่อหัววัดชนิด Coaxial cylinder ที่อัตราเลื่อนในช่วง 1-500 รอบต่อนาที

### 8. ความหนาแน่นของข้าวผง (Goula and Adamopoulos, 2004)

#### อุปกรณ์

1. ภาชนะทรงกระบอกขนาด 50 มิลลิลิตร
2. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง

#### วิธีการ

1. ชั่งน้ำหนักข้าวผงจำนวน 20 กรัม จากนั้นนำข้าวผงเติลงในภาชนะทรงกระบอกขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วจดบันทึกปริมาตรข้าวผง
2. คำนวณค่าความหนาแน่นรวมจากสมการ
 
$$\text{ความหนาแน่นรวม (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}}{\text{ปริมาตรของตัวอย่าง (ลูกบาศก์เซนติเมตร)}}$$

## ภาคผนวก ก. การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

### 1. ปริมาณความชื้น (A.O.A.C., 2000)

#### อุปกรณ์

1. ภาชนะอลูมิเนียมสำหรับหาความชื้น
2. ตู้อบลมร้อน
3. โถดูดความชื้น
4. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง

#### วิธีการ

1. ตีงภาชนะอลูมิเนียมสำหรับหาความชื้นให้สะอาด อบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-3 ชั่วโมง ทำให้เย็นเท่าอุณหภูมิห้องในโถดูดความชื้น แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก

2. กระทำเช่นเดียวกับข้อ 1 จนได้น้ำหนักคงที่ ซึ่งผลต่างของน้ำหนักที่ชั่ง 2 ครั้ง ติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม

3. ชั่งตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นให้มีความละเอียดของน้ำหนักอยู่ในช่วง 1-2 กรัม ในภาชนะอลูมิเนียมหาความชื้นที่ทราบน้ำหนักแล้ว

4. นำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5-6 ชั่วโมง

5. นำออกจากตู้อบ ปล่อยให้เย็นเท่าอุณหภูมิห้องในโถดูดความชื้น (ประมาณ 45 นาที) แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก

6. อบซ้ำอีกครั้งประมาณ 30 นาที และกระทำเช่นเดิมจนได้น้ำหนักคงที่ ซึ่งผลต่างของน้ำหนักที่ชั่ง 2 ครั้ง ติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม

7. คำนวณหาปริมาณความชื้นของตัวอย่างจากสูตร

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

### 2. ปริมาณน้ำอิสระ (A.O.A.C., 2000)

#### อุปกรณ์

เครื่องวัดค่าวอเตอร์แอกทิวิตี

#### วิธีการ

1. เปิดเครื่องวัดค่าวอเตอร์แอกทิวิตี และ Calibrate เครื่องวัดค่าวอเตอร์แอกทิวิตีด้วยน้ำกลั่น ให้ได้ค่าวอเตอร์แอกทิวิตีมากกว่า 0.995



2. บรรจุตัวอย่างที่ผ่านการบดละเอียดลงในตลับพลาสติกให้ได้ปริมาณ  $\frac{1}{4}$  ของตลับพลาสติก แล้วนำตลับตัวอย่างใส่ใน Measuring chamber

3. เริ่มวัดค่าวอเตอร์แอกทिवิตี จนได้ค่าคงที่ โดยเครื่องจะมีเสียงเตือน แล้วบันทึกค่าวอเตอร์แอกทिवิตี

### 3. ปริมาณโปรตีน (A.O.A.C., 2000)

#### อุปกรณ์

1. เครื่องย่อยวิเคราะห์โปรตีน
2. เครื่องกลั่นวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน
3. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง
4. ขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร
5. ขวดปรับปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร
6. บuret ขนาด 50 มิลลิลิตร

#### วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างประมาณ 0.5-1 กรัม จดน้ำหนักที่แน่นอนใส่ลงในหลอดย่อยโปรตีน และทำแบลนค์

2. เติมสารเร่งปฏิกิริยาซึ่งประกอบด้วยคอปเปอร์ซัลเฟตและโพแทสเซียมซัลเฟตในอัตราส่วนเท่ากับ 1 ต่อ 10 ปริมาณ 5 กรัม เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้นปริมาณ 20 มิลลิลิตร

3. นำไปให้ความร้อนบนเตาย่อยที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จนได้สารละลายใส

4. ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในตู้ดูดควัน (ประมาณ 1 ชั่วโมง) แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร

5. นำหลอดย่อยเข้าเครื่องกลั่น ปลายสายของเครื่องสายหนึ่งจุ่มลงในถังน้ำกลั่นอีกสายหนึ่งจุ่มลงในถังโซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อใช้ในการทำปฏิกิริยา เปิดน้ำหล่อเย็นในอัตราไหลประมาณ 3-4 ลิตรต่อนาที

6. นำขวดชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ซึ่งบรรจุสารละลายกรดบอริกเข้มข้นร้อยละ 4 ปริมาณ 25 มิลลิลิตรและเติมอินดิเคเตอร์ผสม (ละลายเมทิลเรด 1 กรัม ในแอลกอฮอล์ 200 มิลลิลิตร) ไปรองรับของเหลวที่กลั่นได้ โดยให้ส่วนปลายของอุปกรณ์ควมแน่นจุ่มลงในสารละลายกรด

7. ใช้เวลากลั่นประมาณ 4 นาที

8. นำสารละลายที่กลั่นได้ไปไตเตรทกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.02 หรือ 0.1 นอร์มอล จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพู บันทึกปริมาตรที่ใช้

### 9. คำนวณหาปริมาณโปรตีนจากสูตร

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

เมื่อ A = ปริมาณกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรทกับตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

B = ปริมาณกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรทกับแบลนด์ (มิลลิลิตร)

N = ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก (นอร์มอล)

F = แฟกเตอร์ของแป้งข้าวเจ้าเท่ากับ 5.95 (FAO, 1986)

W = น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)

### 4. ปริมาณเยื่อใย (โดยใช้เครื่อง ANKOM<sup>200</sup>)

#### อุปกรณ์

1. อุปกรณ์ชุดหาปริมาณเยื่อใย (ANKOM<sup>200</sup>) ซึ่งประกอบด้วยเครื่องย่อยชิ้นสำหรับใส่ตัวอย่าง (Bag suspender)
2. ถังกรองสำหรับใส่ตัวอย่าง
3. ปากกาสำหรับเขียนถังกรอง (สามารถทนสารละลายกรดและด่างได้)
4. เครื่องชั่งไฟฟ้า
5. ตู้อบลมร้อน
6. เตาเผา
7. ถ้วยกระเบื้องเคลือบ
8. เครื่องปิดผนึกถัง
9. โถดูดความชื้น
10. บีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร

#### สารเคมี

1. กรดซัลฟูริก เข้มข้นร้อยละ 1.25 (น้ำหนักต่อปริมาตร)
2. โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 1.25 (น้ำหนักต่อปริมาตร)
3. ปีโตรเลียมอีเทอร์

#### วิธีการ

1. ชั่งน้ำหนักถังกรอง (W<sub>1</sub>) ที่เขียนรหัสตัวอย่างเรียบร้อยแล้ว โดยใช้ปากกาสำหรับเขียนถังกรอง (ถังกรองไม่ต้องอบแห้งก่อนนำมาใส่ตัวอย่าง เนื่องจากมีการทำ Blank)

2. นำถุงกรองที่ทราบน้ำหนักมาบรรจุตัวอย่างแล้วชั่งน้ำหนักให้อยู่ระหว่าง 0.95-1 กรัม ( $W_2$ )

3. ปิดผนึกถุงกรอง โดยใช้เครื่องปิดผนึกด้วยความร้อน โดยให้รอยปิดผนึกอยู่ห่างจากขอบด้านบนประมาณ 4 มิลลิเมตร (ต้องตรวจสอบให้แน่ใจว่ารอยปิดผนึกแนบสนิท)

4. ชั่งน้ำหนักถุงกรองที่นำมาทำ Blank ( $C_1$ )

5. สกัดไขมันออกจากตัวอย่างโดยนำถุงกรองที่บรรจุตัวอย่างเรียบร้อยแล้วใส่ในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลายปิโตรเลียม อีเทอร์ให้ท่วมตัวอย่าง (ใส่ได้ไม่เกิน 8 ถุงต่อบีกเกอร์) แช่ไว้เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำถุงตัวอย่างออกมาวางให้แห้งในบีกเกอร์เปล่า

6. นำถุงตัวอย่างใส่ในชั้นสำหรับใส่ตัวอย่าง โดยชั้นใส่ตัวอย่างประกอบด้วยชั้น 9 ชั้น แต่ละชั้นใส่ได้ 3 ถุง ให้ใส่ทั้งหมด 8 ชั้น ส่วนชั้นที่ 9 ห้ามใส่ตัวอย่าง จากนั้นนำชั้นตัวอย่างไปใส่ในช่องใส่ตัวอย่างในเครื่องวิเคราะห์หาเชื้อไข แล้วใส่แท่งเหล็กเหนือชั้นที่ 9 เพื่อกดทับตัวอย่างให้จมอยู่ใต้สารละลาย

\*หมายเหตุ หากช่องใส่ตัวอย่างมีอุณหภูมิสูงหรืออุ่นอยู่ให้เติมน้ำกรองลงไปแล้วปล่อยให้ให้อุณหภูมิปกติ ก่อนใส่ตัวอย่างลงไป

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

8. กดปุ่ม Agitate และ Heat แล้วสังเกตว่าแกนกลางของชั้นใส่ตัวอย่างมีการเคลื่อนที่ จากนั้นปิดฝาช่องใส่ตัวอย่าง แล้วรอให้อุณหภูมิขึ้นถึง 100 องศาเซลเซียส จับเวลาในการสกัด 40 นาที

9. เมื่อครบกำหนดเวลาสกัด กดปุ่ม Heat และ Agitate จากนั้นเปิดวาล์วปล่อยสารละลายทิ้งโดยช่วงแรกให้ค่อยๆ ปล่อย เนื่องจากยังมีแรงดันภายในเครื่อง เมื่อสังเกตว่าไม่มีแรงดันพุ่งออกมาแล้วจึงปล่อยสารละลายทิ้งได้ตามปกติ

10. ปิดวาล์วน้ำทิ้งให้เรียบร้อย เปิดฝาช่องใส่ตัวอย่าง แล้วจึงเติมน้ำร้อนให้ท่วมชั้นใส่ตัวอย่างชั้นบนสุด แล้วกดปุ่ม Agitate ประมาณ 5 นาที อาจให้ความร้อนโดยกดปุ่ม Heat หรือไม่ให้ความร้อนก็ได้ จากนั้นปล่อยน้ำทิ้ง ทำซ้ำจนน้ำทิ้งหมดความเป็นกรด (ทดสอบได้ด้วยกระดาษลิตมัส)

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

12. กดปุ่ม Agitate และ Heat แล้วสังเกตว่าแกนกลางของชั้นใส่ตัวอย่างมีการเคลื่อนที่ จากนั้นปิดฝาช่องใส่ตัวอย่าง รอให้อุณหภูมิถึง 100 องศาเซลเซียส จากนั้นจับเวลาสัก 40 นาที

13. เมื่อครบกำหนดเวลาสัก กดปุ่ม Heat และ Agitate เปิดวาล์วปล่อยสารละลายทิ้ง โดยช่วงแรกให้ค่อยๆ ปล่อย เนื่องจากยังมีแรงดันภายในเครื่อง เมื่อสังเกตว่าไม่มีแรงดันพุ่งออกมาแล้ว จึงปล่อยสารละลายทิ้งได้ตามปกติ

14. ปิดวาล์วน้ำทิ้งให้เรียบร้อย เปิดฝาช่องใส่ตัวอย่าง แล้วจึงเติมน้ำร้อนให้ท่วมชั้นใส่ตัวอย่างชั้นบนสุด แล้วกดปุ่ม Agitate ประมาณ 5 นาที อาจให้ความร้อนโดยกดปุ่ม Heat หรือไม่ก็ได้ จากนั้นปล่อยน้ำทิ้ง ทำซ้ำจนน้ำทั้งหมดความเป็นต่าง (ทดสอบได้ด้วยกระดาษลิตมัส)

15. นำชั้นใส่ตัวอย่างออกจากเครื่องหาปริมาณเชื้อไข แล้วนำถุงตัวอย่างใส่ในบีกเกอร์ ขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วเติมอะซิโตนให้ท่วมตัวอย่าง (ใส่ได้ไม่เกิน 8 ถุงต่อบีกเกอร์) แช่ไว้เป็นเวลา 5 นาที

16. นำถุงตัวอย่างออกจากอะซิโตน แล้วใส่ในถ้วยกระเบื้องเคลือบที่ทราบน้ำหนัก รอให้อะซิโตนแห้งแล้วนำไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ประมาณ 3 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นใน โถดูดความชื้น

17. ชั่งน้ำหนักแล้วอบซ้ำอีกครั้งละ 30 นาที จนกระทั่งได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่ง 2 ครั้ง ติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม ( $W_3$ )

18. นำตัวอย่างที่อยู่ในถ้วยกระเบื้องเคลือบที่อบแห้งแล้วไปเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เช่นเดียวกับการวิเคราะห์หาปริมาณแก้ว ชั่งน้ำหนัก ( $W_4$ )

#### การคำนวณ

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

โดยที่  $W_1$  = น้ำหนักถ่วงกรอง (กรัม)

$W_2$  = น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)

$W_3$  = น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

$W_4$  = น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา (กรัม)

$C_1$  = ปริมาณแก้วของ blank (กรัม)

## 5. ปริมาณไขมัน (A.O.A.C., 2000)

### อุปกรณ์

1. ขวดก้นกลมขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เครื่องสกัดไขมัน
3. ตู้อบลมร้อน
4. โถดูดความชื้น
5. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง

### วิธีการ

1. อบขวดก้นกลมขนาด 250 มิลลิลิตร ในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วนำมาใส่ในโถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็นอุณหภูมิของภาชนะลดลงเท่าอุณหภูมิห้อง แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก

2. กระทำเช่นเดียวกับข้อ 1 จนได้น้ำหนักครั้งที่ ซึ่งผลต่างของน้ำหนักที่ชั่ง 2 ครั้ง ติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม

3. ชั่งตัวอย่างที่บดละเอียดแล้ว ให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน 1-2 กรัม ลงบนกระดาษกรองแล้วห่อให้มีมิติใส่ลงในหลอดสำหรับใส่ตัวอย่าง คลุมด้วยสำลีเพื่อให้สารละลายกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ

4. เติมตัวทำละลายปิโตรเลียมอีเทอร์ประมาณ 150 มิลลิลิตร ลงในขวดหาไขมันแล้ววางบนเตา

5. ประกอบชุดสกัดไขมัน (ชอกเลตและเครื่องควบแน่น) พร้อมเปิดน้ำหล่อเย็นอุปกรณ์ควบแน่น แล้วเปิดสวิทซ์ให้ความร้อน

6. สกัดไขมันนาน 14 ชั่วโมง โดยปรับความร้อนให้หยดของสารละลายกลั่นตัวจากอุปกรณ์ควบแน่นด้วยอัตรา 150 หยดต่อนาที

7. เมื่อครบ 14 ชั่วโมง นำหลอดตัวอย่างออกจากชอกเลต และระเหยสารละลายปิโตรเลียมอีเทอร์ออก

8. นำขวดก้นกลมหาไขมันไปอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนแห้ง นำออกจากตู้ใส่ในโถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็นอุณหภูมิของภาชนะลดลงเท่าอุณหภูมิห้องแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก

9. กระทำเช่นเดียวกับข้อ 8 จนได้น้ำหนักครั้งที่ ซึ่งผลต่างของน้ำหนักที่ชั่ง 2 ครั้ง ติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม

## 10. กำหนดหาปริมาณไขมันของตัวอย่างจากสูตร

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

## 6. ปริมาณเถ้า (A.O.A.C., 2000)

## อุปกรณ์

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

## วิธีการ

1. ให้น้ำหนักที่แน่นอนของถ้วยกระเบื้องเคลือบ โดยการล้างถ้วยเผาให้สะอาดนำไปเผาที่อุณหภูมิ 550-600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วเอาใส่ในโถดูดความชื้นทิ้งไว้ให้เย็น ชั่งน้ำหนัก
2. เผาซ้ำอีกครั้ง ครั้งละประมาณ 30 นาที และจนน้ำหนักคงที่
3. ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 1-2 กรัม ใส่ในถ้วยกระเบื้องเคลือบ ซึ่งทราบน้ำหนักแล้ว นำไปเผาในตู้ดูดควันจนหมดควัน
4. นำเข้าเตาเผาตั้งที่อุณหภูมิ 550-600 องศาเซลเซียส ทำเช่นเดียวกับข้อ 1-2
5. กำหนดปริมาณเถ้าของตัวอย่างจากสูตร

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

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

## อุปกรณ์

เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer)

## สารเคมี

1. เอทิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 95
2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 นอร์มอล
3. กรดอะซิติก 1 นอร์มอล

4. สารละลายไอโอดีน (ชั่งไอโอดีน 0.2 กรัม และโพแทสเซียมไอโอไดด์ 2.0 กรัม ละลายในน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร)

5. อะไมโลสบริสุทธิ์

#### วิธีการ

1. ชั่งแป้ง 0.1000 กรัม ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมเอทิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 95 จำนวน 1 มิลลิลิตร เขย่าเบาๆ เพื่อให้แป้งกระจายตัว

2. เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 นอร์มอล จำนวน 9 มิลลิลิตร

3. นำไปต้มในน้ำเดือดนาน 10 นาที ทิ้งให้เย็น ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 100 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ค้างคืน

4. ใช้ปิเปตดูดสารละลายแป้งที่เตรียมไว้มา 5 มิลลิลิตร ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ที่มีน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร กรดอะซิติกความเข้มข้น 1 นอร์มอล จำนวน 1 มิลลิลิตร และสารละลายไอโอดีน จำนวน 2 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน แล้วตั้งทิ้งไว้ประมาณ 20 นาที

5. นำตัวอย่างไปวัดค่าความเข้มสีของสารละลายโดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร อ่านค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) เปรียบเทียบกับแบลนก์ (Blank)

6. นำอะไมโลสบริสุทธิ์ 0.0400 กรัม เตรียมให้เป็นสารละลายแป้งเช่นเดียวกับตัวอย่างทิ้งไว้ค้างคืน เขย่าให้เข้ากัน ดูดสารละลายแป้งมาตรฐานมา 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิลิตร ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ที่มีน้ำกลั่นประมาณ 50 มิลลิลิตร กรดอะซิติกความเข้มข้น 1 นอร์มอล จำนวน 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 มิลลิลิตร ตามลำดับ และสารละลายไอโอดีน 2 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 100 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ประมาณ 20 นาที อ่านค่าการดูดกลืนแสงที่ 620 นาโนเมตร เขียนกราฟระหว่างความเข้มข้นของอะไมโลสกับค่าการดูดกลืนแสง

7. กำหนดปริมาณอะไมโลสจากการเปรียบเทียบค่าที่ได้กับกราฟมาตรฐาน แล้วแสดงค่าเป็นร้อยละของน้ำหนัก

#### 8. ปริมาณแอนโทไซยานิน (Nollet, 1996)

##### อุปกรณ์

1. เครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า
2. กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1
3. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

### วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างแห้ง 0.5 กรัม (น้ำหนักแห้ง) สกัดด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 0.1 ในเมทานอล 15 มิลลิลิตร โดยการกวนสกัดนาน 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง
2. นำไปกรองแยกตะกอนออกจากของเหลวโดยใช้กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 นำตะกอนที่ได้ไปกวนสกัดด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 0.1 ในเมทานอล 15 มิลลิลิตรอีก 2 ครั้ง
3. นำของเหลวที่กรองได้ทั้งหมดรวมกันแล้วปรับปริมาตรของเหลวที่สกัดได้เป็น 50 มิลลิลิตร นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 530 นาโนเมตร แล้วคำนวณปริมาณแอนโทไซยานินในรูปของมิลลิกรัม Cyanidin-3-glucoside ต่อ 100 กรัม (น้ำหนักแห้ง) โดยใช้
  - ค่า Molar extinction coefficient ของ cyanidin-3-glucoside = 29,600
  - น้ำหนักโมเลกุลของ Cyanidin-3-glucoside = 449.2

### 9. ค่าการเกิดกลีโคซีน (TBA) (Wood and Aurand, 1997)

#### อุปกรณ์

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

#### วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่าง 10 กรัม เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร นำไปโฮโมจีไนส์ นาน 2 นาที จากนั้นเทลงขวดชมพูและเติมน้ำกลั่น 47.5 มิลลิลิตร
2. เติมสารละลายกรดเกลือความเข้มข้น 4 นอร์มอล ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร เติมลูกแก้วและเติมสารป้องกันการเกิดฟอง
3. กลั่นให้ใสของเหลว 50 มิลลิลิตร ภายใน 10 นาที
4. ดูดสารที่กลั่นได้ 5 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง
5. เติมสารละลายกรดไฮโอบาบิวทริก ปริมาตร 5 มิลลิลิตร เขย่า และให้ความร้อนที่อุณหภูมิ น้ำเดือดนาน 35 นาที



6. ทำ Blank โดยวิธีการเตรียมเดียวกันโดยใช้น้ำกลั่นแทนตัวอย่าง 5 มิลลิลิตร เขย่า และให้ความร้อนที่อุณหภูมิน้ำเดือดนาน 35 นาที

7. นำตัวอย่างและ Blank ที่เย็นแล้ว วัดการดูดกลืนแสงที่ 532 นาโนเมตร

8. คำนวณการเกิดกลั่นหีนดังสมการ

$$\text{ค่าความหีน} = 7.8 \times \text{ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง (มิลลิกรัม มาลอนแอลดีไฮด์ต่อกิโลกรัมตัวอย่าง)}$$

#### 10. ชนิดและปริมาณกรดไขมัน (Fatty acid profile) (A.O.A.C., 2000)

##### อุปกรณ์

1. เครื่องก๊าซโครมาโทกราฟี
2. Vortex mixer
3. เครื่องเซ็นทรีฟิวจ์

##### วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างน้ำมันที่สกัดจากข้าวประมาณ 30 มิลลิกรัม ใส่หลอดทดลองชนิดฝาเกลียว
2. เติม  $\text{CH}_3\text{OH}$  (1:19, v:v) ปริมาตร 5 มิลลิลิตร
3. ผสมสารละลายให้เข้ากันด้วยเครื่อง Vortex mixer เป็นเวลา 5 นาที
4. ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง
5. ตั้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
6. เติม n-Hexane ปริมาตร 2 มิลลิลิตร และ น้ำกลั่นปริมาตร 1 มิลลิลิตร
7. ผสมสารละลายให้เข้ากันอีกครั้งด้วยเครื่อง Vortex mixer เป็นเวลา 5 นาที
8. ถ่ายสารละลายลงในหลอดเซ็นทรีฟิวจ์ แล้วนำไปหมุนเหวี่ยงที่ระดับ 3000 rpm อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที
9. เก็บสารละลายส่วนบนใส่ในบีกเกอร์ และดูค่าน้ำออกด้วย  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  ที่ปราศจากโมเลกุลของน้ำ
10. ปิเปตกรดไขมันที่อยู่ในรูปเมทิลเอสเทอร์ (Fatty acid methyl ester, FAME) ใส่ใน Vial และเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่องก๊าซโครมาโทกราฟี โดยมีสภาวะการวัดดังนี้

Capillary column	ขนาด 30 m x 0.25 mm
Sample volume	1 ไมโครลิตร (Autosampler)
Injector port temperature	250 องศาเซลเซียส

Detector temperature	270 องศาเซลเซียส
Detector	Flame ionization detector (FID)
Carrier gas	Helium

## 11. ค่าความเป็นกรด-ด่างโดยใช้เครื่องวัดพีเอชมิเตอร์ (A.O.A.C., 2000)

### อุปกรณ์

เครื่องวัดค่าพีเอช

### วิธีการ

นำน้ำสกัดจากแป้งข้าวมาวัดค่าพีเอชด้วยเครื่องวัดค่าพีเอช ที่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 30 องศาเซลเซียส)

## 12. ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (Somogyi-Nelson, 1994)

### การเตรียมสารเคมี

#### 1. Alkaline copper reagent

นำ  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  จำนวน 71 กรัม และ  $\text{C}_4\text{H}_4\text{KNaO}_6$  40 กรัม ในน้ำกลั่น 700 มิลลิลิตร จากนั้นเติม 1 นอร์มอล ของ  $\text{NaOH}$  100 มิลลิลิตร เติมสารละลาย  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  เข้มข้นร้อยละ 10 ปริมาตร 80 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน แล้วนำไปอุ่นให้ร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส แล้วเติม  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  180 กรัม จนละลายหมด จากนั้นรอให้สารละลายเย็นจนถึงอุณหภูมิห้อง แล้วปรับปริมาตรของสารละลายเป็น 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น

#### 2. Nelson reagent

นำ  $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  จำนวน 50 กรัม ในน้ำกลั่น 900 มิลลิลิตร เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น ร้อยละ 98 ปริมาตร 21 มิลลิลิตร แล้วคนให้เข้ากัน จากนั้นเติม  $\text{Na}_2\text{HAsO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  จำนวน 3 กรัม แล้วปรับปริมาตรของสารละลายเป็น 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น

### อุปกรณ์

เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer)

### การเตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่างน้ำสกัดจากข้าวถูกเขย่าจนผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ก่อนจะนำไปวิเคราะห์

## วิธีการ

1. การเตรียมกราฟมาตรฐานกลูโคสของการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์
  - 1.1. เตรียมสารละลายกลูโคสมาตรฐานที่ความเข้มข้น 1,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร
  - 1.2. เจือจางสารละลายกลูโคสให้มีความเข้มข้นเป็น 40, 80, 120, 160 และ 200 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ
  - 1.3. ดูดสารละลายที่เตรียมได้ 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง
  - 1.4. เติม Alkaline copper reagent 1 มิลลิลิตร ผสมเข้าด้วยกัน
  - 1.5. นำไปให้ความร้อนที่อ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที
  - 1.6. ทำให้เย็นใน Ice bath
  - 1.7. เติม Nelson reagent 1 มิลลิลิตร ให้เข้ากัน ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที
  - 1.8. เติมน้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน
  - 1.9. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร
  - 1.10. พล็อตกราฟระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของน้ำตาล โดยให้ค่าการดูดกลืนแสงอยู่แกน y และความเข้มข้นของน้ำตาลอยู่แกน x หาค่าความชันจากกราฟที่ได้
2. การวิเคราะห์ค่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในตัวอย่าง
  - 2.1. ดูดตัวอย่างปริมาณ 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง
  - 2.2. ทำการทดลองเช่นเดียวกันกับข้อ 1.4-1.9
  - 2.3. การคำนวณ  
 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) =  $\frac{Ab_{520} \times \text{Dilution}}{\text{Slope}}$   
 กำหนดให้  $Ab_{520}$  = ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร  
 $\text{Slope}$  = ค่าความชันจากกราฟมาตรฐานกลูโคสของการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

### 13. ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดด้วยวิธี Phenol-sulfuric reaction (Dubios *et al.*, 1965)

#### การเตรียมสารเคมี

1. สารละลายฟีนอลเข้มข้นร้อยละ 5  
 ชั่งฟีนอลหนัก 5 กรัม แล้วผสมกับน้ำกลั่นปริมาตร 100 มิลลิลิตร
2. กรดซัลฟูริกเข้มข้นร้อยละ 98

## อุปกรณ์

เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer)

## การเตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่างน้ำสกัดจากข้าวถูกเขย่าจนผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ก่อนจะนำไปวิเคราะห์

## วิธีการ

- การเตรียมกราฟมาตรฐานกลูโคสของการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลทั้งหมด
  - เตรียมสารละลายกลูโคสมาตรฐานที่ความเข้มข้น 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร
  - เจือจางสารละลายกลูโคสให้มีความเข้มข้นเป็น 40, 60 และ 80 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ
  - ดูดสารละลายที่เตรียมไว้ 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง
  - เติมสารละลายฟีนอลเข้มข้นร้อยละ 5 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และกรดซัลฟูริกเข้มข้นร้อยละ 98 ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันอย่างรวดเร็วด้วย mixer
  - ตั้งทิ้งไว้ในตู้ดูดควันเป็นเวลา 30 นาที
  - นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 485 นาโนเมตร
  - พลอตกราฟระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของน้ำตาล โดยให้ค่าการดูดกลืนแสงอยู่แกน y และความเข้มข้นของน้ำตาลอยู่แกน x หาค่าความชันจากกราฟที่ได้
- การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลทั้งหมดจากตัวอย่าง
  - ดูดตัวอย่างที่เตรียมได้ 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง
  - ทำการทดลองดังข้อ 1.3-1.7
- การคำนวณ
 

ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) =  $\frac{Ab_{485} \times \text{Dilution}}{\text{Slope}}$

กำหนดให้  $Ab_{485}$  = ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 485 นาโนเมตร

Slope = ค่าความชันจากกราฟมาตรฐานกลูโคสของการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

#### 14. ค่าระดับการย่อยของแป้ง (Degree of hydrolysis) (Somogyi-Nelson, 1994)

นำตัวอย่างมาวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณน้ำตาลทั้งหมด จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าระดับการย่อยของแป้งจากสูตร

$$\text{ค่าระดับการย่อยของแป้ง (Degree of hydrolysis)} = \frac{\text{ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร)} \times 100}{\text{ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร)}}$$

#### 15. ปริมาณของแข็งทั้งหมด (A.O.A.C., 2000)

##### อุปกรณ์

1. ถ้วยกระเบื้อง
2. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ
3. ตู้อบลมร้อน
4. โถดูดความชื้น
5. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง

##### วิธีการ

1. นำถ้วยกระเบื้องไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-3 ชั่วโมง ทำให้เย็นเท่าอุณหภูมิห้องใน โถดูดความชื้น แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก
2. กระทำเช่นเดียวกับข้อ 1 จนได้น้ำหนักคงที่ ซึ่งผลต่างของน้ำหนักที่ชั่ง 2 ครั้ง ติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม
3. ชั่งตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมดให้มีน้ำหนักอยู่ในช่วง 3-5 กรัม ในถ้วยกระเบื้องที่ทราบน้ำหนักแล้ว
4. นำไปถ้วยกระเบื้องพร้อมตัวอย่างไประเหยบนอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส จนแห้ง จากนั้นนำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5-6 ชั่วโมง
5. นำออกจากตู้อบ ปล่อยให้เย็นเท่าอุณหภูมิห้องใน โถดูดความชื้น แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก
6. อบซ้ำอีกครั้งประมาณ 30 นาที และกระทำเช่นเดิมจนได้น้ำหนักคงที่ ซึ่งผลต่างของน้ำหนักที่ชั่ง 2 ครั้ง ติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม
7. คำนวณหาปริมาณของแข็งทั้งหมดของตัวอย่างจากสูตร

$$\text{ปริมาณของแข็งทั้งหมด (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)}}$$

## 8. ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด

### อุปกรณ์

เครื่องรีเฟรคโตมิเตอร์

### วิธีการ

นำตัวอย่างน้ำสกัดจากแป้งข้าวมาวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดด้วยเครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ที่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 30 องศาเซลเซียส) และรายงานผลในหน่วย องศาบริกซ์

## ภาคผนวก ง. การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์

### 1. สมบัติการเกิดเจลลาติในเซชัน (Teo *et al.*, 2000)

#### อุปกรณ์

1. เครื่อง Differential scanning calorimetry (DSC)
2. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง
3. ถ้วยอะลูมิเนียม

#### วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่าง 2 มิลลิกรัม (น้ำหนักแห้ง) ใส่ถ้วยอะลูมิเนียมและเติมน้ำกลั่น 6 มิลลิกรัม ให้น้ำหนักที่แน่นอนในถ้วยอะลูมิเนียม
2. ปิดผนึกด้วยอะลูมิเนียมและเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 12 ชั่วโมง
3. วิเคราะห์โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 30 ถึง 150 องศาเซลเซียส โดยอัตราให้ความร้อนที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น 10 องศาเซลเซียสต่อนาที
4. อ่านช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลลาติในเซชันและค่าพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลลาติในเซชันจากเทอร์โมแกรม ( $T_o$  = Onset temperature,  $T_p$  = Peak temperature,  $T_c$  = Conclusion temperature และ  $\Delta H$  = Enthalpy)

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

#### อุปกรณ์

เครื่อง Rapid visco analyzer (RVA)

#### วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่าง 3 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ผสมกับน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร
2. ของผสมจะถูกกวนด้วยความเร็ว 960 รอบต่อนาที เวลา 10 วินาที และเปลี่ยนเป็น 160 รอบต่อนาที ส่วนผสมถูกเก็บที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส ด้วยอัตรา 12 องศาเซลเซียสต่อนาที และคงอุณหภูมิไว้ที่ 95 องศาเซลเซียส นาน 2.5 นาที และลดอุณหภูมิลงถึง 50 องศาเซลเซียส ด้วยอัตรา 12 องศาเซลเซียสต่อนาที และคงอุณหภูมิไว้ 5 นาที ค่าความหนืดสูงสุด (Peak viscosity; PV) อุณหภูมิที่เกิดความหนืดสูงสุด ( $P_{temp}$ ) ความหนืดสุดท้าย (Final viscosity; FV) และ ค่าการคืนตัว (Setback viscosity; SBV)

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

#### อุปกรณ์

เครื่อง X-ray Diffractometer (XRD)

#### วิธีการ

1. นำตัวอย่างข้าวที่ผ่านการบดและร่อนด้วยตะแกรงขนาด 250 ไมโครเมตร มาวางในภาชนะใส่ตัวอย่าง

2. ตั้งค่าเครื่อง XRD โดยใช้ความต่างศักย์เท่ากับ 40 กิโลโวลต์ และกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 30 มิลลิแอมแปร์ มุมที่ใช้วิเคราะห์ ( $2\theta$ ) ระหว่าง 4-40 องศา สแกนด้วยอัตรา 0.05 องศาต่อนาที โดยใช้ทองแดงเป็นแหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์

3. วัดพื้นที่ใต้กราฟของส่วนที่เป็นผลึกและพื้นที่ใต้กราฟทั้งหมด

4. นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาปริมาณผลึกจากสูตร

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

### 4. ค่ากำลังการพองตัวและค่าการละลาย (Schoch, 1964)

#### อุปกรณ์

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

#### วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่าง 0.5 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ใส่หลอดเหวี่ยงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร ขนาด 50 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นปริมาตร 15 มิลลิลิตร แช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 85 องศาเซลเซียส

2. เขย่าตลอดเวลาเป็นเวลา 30 นาที นำไปเหวี่ยงด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง ความเร็ว 2,200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที คูลน้ำด้านบนใส่ภาชนะอบแห้งที่ทราบน้ำหนักแน่นอน



3. จากนั้นนำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 8-10 ชั่วโมง หรือจนได้น้ำหนักคงที่ ชั่งน้ำหนักซึ่งเป็นน้ำหนักส่วนที่ละลายน้ำ ส่วนแบ่งเปียกในหลอดนำมาชั่ง เป็นน้ำหนักแห้งที่พองตัวแล้วคำนวณร้อยละการละลายและกำลังการพองตัว

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

$$\text{กำลังการพองตัว} = \frac{\text{น้ำหนักแห้งที่พองตัวแล้ว (กรัม)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง (กรัม)}}$$

#### 5. ความสามารถในการละลายน้ำ (WSI) และการดูดซับน้ำ (WAI) (Anderson *et al.*, 1969)

##### อุปกรณ์

1. เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge)
2. ถ้วยอะลูมิเนียม

##### วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างจำนวน 2.5 กรัม ใส่ลงในหลอดเซนต์ปีฟอจขนาด 50 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำกลั่นลงไป 30 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส คนให้เข้ากันเป็นเวลา 30 นาที
3. นำตัวอย่างที่ได้ไปใส่หลอดทดลอง แล้วนำไปเหวี่ยงที่ความเร็ว 10,000 x g เป็นเวลา 10 นาที นำสารละลายใส (Supernatant) ที่ได้ทั้งหมดใส่ลงในถ้วยอะลูมิเนียมที่ทราบน้ำหนักแน่นอน แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส
4. นำออกจากเตาอบ และปล่อยให้เย็นลงในโถแก้วดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนักหาปริมาณของแข็งในถ้วยอะลูมิเนียม และส่วนที่เหลือข้างล่างหลอดทดลองคือตะกอน แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก จากนั้นคำนวณค่า ความสามารถในการละลายน้ำและการดูดซับน้ำ ได้ดังนี้

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

$$\text{ความสามารถในการดูดซับน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักตะกอน (กรัม)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง (กรัม)}}$$

### ภาคผนวก จ. การวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มผงจากข้าว จะพิจารณาคุณภาพของเครื่องดื่มผงก่อนละลายน้ำอุ่นและหลังละลายน้ำอุ่น โดยเครื่องดื่มผงก่อนละลายอุ่น จะพิจารณาในคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ สี และกลิ่นข้าว ส่วนเครื่องดื่มผงละลายน้ำอุ่นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส อัตราส่วนเครื่องดื่มผงต่อน้ำอุ่นเท่ากับ 7 กรัมต่อ 30 มิลลิลิตร จะพิจารณาในคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ สี ความหนืด ความสามารถในการละลาย กลิ่นข้าว กลิ่นรสข้าว ความหวาน ความมัน และความชอบโดยรวม โดยใช้ผู้บริโภคจำนวน 50 คน จะทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วย 9-point Hedonic scale กำหนดให้คะแนน 1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุดไปจนถึงระดับคะแนน 9 หมายถึงชอบมากที่สุด ทั้งนี้คะแนนความชอบของผู้บริโภคที่มีต่อเครื่องดื่มผง ต้องมีคะแนนความชอบต่อเครื่องดื่มผงทุกคุณลักษณะมากกว่าหรือเท่ากับ 6 (คะแนน = 6 หมายถึง ชอบน้อยที่สุด) ถึงจะเป็นสูตรที่เหมาะสมในการผลิตเครื่องดื่มผง

#### ขั้นตอนในการทดสอบทางประสาทสัมผัส

1. นำตัวอย่างที่ท่านได้รับตามรหัสที่ได้ท่านได้รับมาพิจารณาคุณภาพของผงในด้านลักษณะปรากฏ สีและกลิ่นของตัวอย่าง
2. ผสมน้ำอุ่นในแต่ละตัวอย่างตามสัดส่วนที่กำหนด และคนตัวอย่างไปทางขวาจำนวน 10 รอบ หรือจนกว่าตัวอย่างละลาย และพิจารณาคุณภาพด้านการละลาย พร้อมทั้งสังเกตลักษณะปรากฏ สี และความหนืดของตัวอย่างหลังจากละลายกับน้ำ
3. ดมกลิ่นและชิมตัวอย่าง แล้วพิจารณาถึงกลิ่นรสข้าว รสหวาน ความมันของตัวอย่าง และความชอบโดยรวม หลังชิม
4. หลังชิมแต่ละตัวอย่างเสร็จ ให้กลืนปากด้วยน้ำที่จัดไว้ให้ก่อนชิมตัวอย่างถัดไป

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสสำหรับประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มผงจากข้าว

ใบรายงานการทดสอบ

ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มผงจากข้าว

ชุดที่.....

ชื่อ-สกุล.....

วันที่.....

เวลา.....

คำแนะนำ กรุณาทดสอบตัวอย่างที่เสนอให้ จากซ้ายไปขวา แล้วให้คะแนนความชอบที่มีต่อแต่ละคุณลักษณะของตัวอย่างที่ตรงกับความรู้สึกของท่านมากที่สุด โดยกำหนดให้

9 = ชอบมากอย่างยิ่ง

6 = ชอบน้อยที่สุด

3 = ไม่ชอบปานกลาง

8 = ชอบมาก

5 = ไม่แน่ใจว่าชอบหรือไม่ชอบ

2 = ไม่ชอบมาก

7 = ชอบปานกลาง

4 = ไม่ชอบเล็กน้อย

1 = ไม่ชอบมากอย่างยิ่ง

เครื่องดื่มผงก่อนละลายน้ำอุ่น

คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส	คะแนนความชอบ					
	รหัส.....	รหัส.....	รหัส.....	รหัส.....	รหัส.....	รหัส.....
ลักษณะปรากฏ						
สี						
กลิ่นข้าว						

เครื่องดื่มผงหลังละลายน้ำ v6jo

คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส	คะแนนความชอบ					
	รหัส.....	รหัส.....	รหัส.....	รหัส.....	รหัส.....	รหัส.....
การละลาย						
ลักษณะปรากฏ						
สี						
กลิ่นข้าว (ดมก่อนชิม)						
ความหนืด (คนและชิมตัวอย่าง)						
กลิ่นรสข้าว (พิจารณาหลังการชิม)						
รสหวาน (พิจารณาหลังการชิม)						
ความมัน (พิจารณาหลังการชิม)						
ความชอบโดยรวม						

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

### คำอธิบายในแต่ละคุณลักษณะ

#### เครื่องดื่มผงก่อนละลายน้ำอุ่น

1. ลักษณะปรากฏ: พิจารณาความเข้ากันของผงส่วนผสมของตัวอย่างที่สังเกตเห็นได้ด้วยตา โดยให้ผู้ทดสอบประเมินจากประสบการณ์ที่เคยบริโภคผลิตภัณฑ์ซึ่งผง
2. สี: พิจารณาถึงสีของตัวอย่างผง
3. กลิ่นข้าว: พิจารณาลักษณะกลิ่นข้าวที่ปรากฏในของตัวอย่าง

#### เครื่องดื่มผงละลายน้ำ

1. การละลาย: พิจารณาถึงความสามารถในการละลายของตัวอย่าง ความเป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำ ไม่มีตะกอน หรือแยกชั้นกับน้ำ หลังจากคนตัวอย่างไปทางขวาเป็นจำนวน 10 รอบหรือจนกว่าตัวอย่างละลาย
2. ลักษณะปรากฏ: พิจารณาถึงลักษณะปรากฏโดยรวมของตัวอย่างที่สังเกตเห็นได้ด้วยตา หลังละลายน้ำ โดยให้ผู้ทดสอบประเมินจากประสบการณ์ที่เคยบริโภคผลิตภัณฑ์ซึ่งผง
4. สี: พิจารณาสีของตัวอย่างหลังจากละลายน้ำโดยสังเกตด้วยตา
5. ความหนืด: พิจารณาโดยการคนตัวอย่างและชิมตัวอย่าง
6. กลิ่นข้าว: พิจารณาลักษณะกลิ่นข้าวที่ปรากฏในของตัวอย่างหลังจากละลายน้ำ โดยการดม
7. กลิ่นรสข้าว: พิจารณาถึงกลิ่นรสข้าวที่ปรากฏในของตัวอย่างหลังจากละลายน้ำ หลังกลิ่น
8. รสหวาน: พิจารณารสหวานของตัวอย่างหลังจากละลายน้ำ หลังชิม
9. ความมัน: พิจารณาความรู้สึกมันในปาก หลังจากละลายน้ำ หลังชิม
10. ความชอบ โดยรวม: พิจารณาความชอบที่มีต่อลักษณะ โดยรวมทั้งหมดที่ปรากฏในตัวอย่างหลังจากละลายน้ำ

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นายณฤชาติ บุญรัตน์

รหัสประจำตัวนักศึกษา 5511020024

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตรบัณฑิต (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2554

ทุนการศึกษาที่ได้รับในระหว่างการศึกษา

โครงการทุนทักษะนักอุตสาหกรรมเกษตร

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

Bunrat, N. and Meenune, M. 2014. Changes in chemical and physiochemical properties of Phatthalung Sungyod broken rice during storage. *In: Proceedings of 16<sup>th</sup> Food Innovation Asia Conference*, 12-13 June 2014. Bitec, Bangkok, Thailand. pp. 547-556.

Bunrat, N. and Meenune, M. 2015. Optimization of spray dried condition of Phatthalung Sungyod broken rice powder. *In: Proceedings of 8<sup>th</sup> International Conference on Starch Technology*, 3-4 December 2015. Sukosol Bangkok Hotel, Bangkok, Thailand. pp. 113-118.