การใช้แป้งข้าว 7 ชนิดในการผลิตเครื่องดื่มข้าวผงสำเร็จรูป

Utilizing of 7 Rices Flour for Instant Rices Beverage Powdered Processing

ศรินยา บุญสิทธิ์

Sarinya Boonsit

ชนากานต์ วิเศษคามิน

Chanakarn Wisedkamin

พิชามญชุ์ รัตนจริยาคุณ

Pichamon Rattanajariyakun

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

2554

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

หัวข้อ	การใช้แป้งข้าว 7 ชนิดในการผลิตเครื่องดื่มข้าวผงสำเร็จรูป	
ชื่อและนามสกุล	นางสาวศรินยา	บุญสิทธิ์
	นางสาวชนากานต์	วิเศษคามิน
	นางสาวพิชามญชุ์	รัตนจริยาคุณ
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต	
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ	
คณะ	เทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์	
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ชมภูนุช	เผื่อนพิภพ

คณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษได้ให้ความเห็นชอบโครงงานพิเศษฉบับนี้แล้ว

..... ประธานกรรมการ

(อาจารย์ชมภูนุช เผื่อนพิภพ)

..... กรรมการ

(อาจารย์เกศรินทร์ เพ็ชรรัตน์)

..... กรรมการ

(อาจารย์ดวงรัตน์ แซ่ตั้ง)

คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ให้นับโครงงานพิเศษ
ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

..... หัวหน้าสาขาวิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ

(อาจารย์เกศรินทร์ เพ็ชรรัตน์)

วันที่ 18 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2555

ชื่อโครงงานพิเศษ การใช้แป้งข้าว 7 ชนิดในการผลิตเครื่องดื่มข้าวผงสำเร็จรูป

ชื่อและนามสกุล นางสาวศรินยา บุญสิทธิ์

นางสาวชนากานต์ วิเศษคามิน

นางสาวพิชามญชุ์ รัตนจริยาคุณ

ชื่อปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา และคณะ วิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์

ปีการศึกษา 2554

บทคัดย่อ

เมล็ดข้าวเหนียวดำพันธุ์ลืมผัวมีปริมาณแอนโธไซยานินสูง สำหรับแป้งข้าวขาวไม่มีรงควัตถุแอนโธไซยานินแต่แป้งข้าวที่มีปริมาณโปรตีนจะมีแนวโน้มการดูดซับน้ำสูง ข้าวขาวหอมมะลิพันธุ์สุรินทร์ และข้าวหอมมะลิกล้องแดงพันธุ์สังข์หยด มีอัตราการเพิ่มน้ำหนัก และอัตราการขยายปริมาตรหลังการหุงต้มสูง แป้งข้าวขาวหอมมะลิพันธุ์สุรินทร์ มีกำลังการพองตัวมากกว่า แป้งข้าวเจ้ามีปริมาณอะไมโลส ความหนืดสูงสุด ความหนืดสุดท้าย การคืนตัวของแป้ง และอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดสูงกว่าแป้งข้าวเหนียว

เมื่อศึกษาการยอมรับผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มข้าวผงของผู้บริโภคในด้านสี กลิ่น รสหวาน ความหนืด และความชอบโดยรวม โดยศึกษาสูตรพื้นฐาน 3 สูตร ซึ่งสูตรเครื่องดื่มข้าวผงที่ประกอบด้วยข้าวกล้องงอกอบแห้งร้อยละ 23.34 ลูกเดือยอบแห้งร้อยละ 3.33 ถั่วเหลืองผงร้อยละ 6.67 นมผงร้อยละ 13.33 น้ำตาลร้อยละ 33.33 และครีมเทียมร้อยละ 20.00 ที่มีคะแนนความชอบโดยรวม 7.60 แล้วนำมาทำการศึกษาการใช้ข้าวกล้องงอกอบแห้งทดแทนการใช้ครีมเทียม 3 ระดับ คือ ร้อยละ 50 75 และ 100 ในการผลิตเครื่องดื่มข้าวผง ซึ่งปริมาณข้าวกล้องงอกอบแห้งที่ทดแทนในครีมเทียมร้อยละ 100 ได้รับการยอมรับมากที่สุด จากนั้นศึกษาปริมาณอัตราส่วนแป้งข้าว 7 ชนิดที่เหมาะสมในการผลิตเครื่องดื่มข้าวผงที่มีผลต่อเรื่องกลิ่นและความหนืดสูตรที่มีแป้งข้าวเหนียวดำ ร้อยละ 10.00 ได้รับการยอมรับมากที่สุด นำไปศึกษาปริมาณถั่วเหลืองผงที่ใช้ทดแทนลูกเดือยผงในการผลิตเครื่องดื่มข้าวผงเพื่อลดความหนืดที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์เป็น 3 ระดับ คือ ร้อยละ 50 75 และ 100 พบว่าปริมาณถั่วเหลืองผงที่ใช้ทดแทนลูกเดือยผงร้อยละ 100 ได้รับการยอมรับมากที่สุด จากนั้นนำไปศึกษาปริมาณถั่วเหลืองผง

และนมผงที่ใช้ทดแทนน้ำตาลในการผลิตเครื่องดื่มข้าวผงแบ่งเป็น 3 ระดับทดแทนน้ำตาลในสูตร คือ ร้อยละ 5 10 และ 15 พบว่าสูตรที่ใช้ถั่วเหลืองผงทดแทนน้ำตาลร้อยละ 10 และนมผงทดแทนน้ำตาลร้อยละ 15 ได้รับการยอมรับมากที่สุด อัตราส่วนเครื่องดื่มข้าวผงต่อน้ำที่เหมาะสมในการชงเครื่องดื่มข้าวผงมาแปรอัตราส่วนเครื่องดื่มข้าวผงต่อน้ำ คือ 1:5 1:10 และ 1:15 พบว่าอุณหภูมิของน้ำร้อน 70 องศาเซลเซียส และอัตราส่วนเครื่องดื่มข้าวผงต่อน้ำเท่ากับ 1:5 ได้รับการยอมรับมากที่สุด จากนั้นนำเครื่องดื่มข้าวผงที่ผู้บริโภคยอมรับมากที่สุดไปศึกษาคุณสมบัติทางเคมีมีค่าความชื้นร้อยละ 6.46 ± 0.61 โปรตีนร้อยละ 11.63 ± 0.20 ไขมันร้อยละ 7.34 ± 0.93 ไฟเบอร์ร้อยละ 5.65 ± 0.07 เถ้าร้อยละ 1.47 ± 0.16 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 67.45 ± 0.81 และเครื่องดื่มข้าวผงที่บรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยล์สามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสได้นานกว่า 6 สัปดาห์ โดยไม่ทำให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภค

คำสำคัญ: ข้าวเหนียวดำพันธุ์ลืมผัว ข้าวกล้องมันปู ข้าวกล้องหอมมะลิเพาะงอก ข้าวกล้องหอมมะลิ 105 ข้าวกล้องหอมมะลิแดงพันธุ์สังข์หยด ข้าวเสาไห้พันธุ์ชัยนาท

Thesis Title	Utilizing of 7 Rices Flour for Instant Rice Beverage Powdered Processing
Author	Sarinya Boonsit Chanakarn Wisedkamin Pichamon Ratanajariyakun
Degree	Bachelor of Science
Major program	Food Science and Nutrition, Faculty of Home Economics Technology
Academic year	2011

Abstract

Khao' Niao Dam is a grain which has anthocyanins pigment. Rice flours contained high protein content more than white grain and have higher water absorption. The white rice flour had higher swelling power and lower solubility than 6 rices flours. Amylose which content in the white rice flour is peak viscosity, final viscosity, setback, and pasting temperature than the waxy rice flours.

The objectives of this research were to formulate and determine the appropriate condition for sensory test on the rices powdered beverage products to consumers in terms of color, flavor, sweet taste, viscosity and preference overall. Starting from the basic formula 3 formula is a formula that consists of Germinated brown rice drying were 23.33 % millet drying were 3.33% soybean powder were 6.67% powdered milk were 13.33% sugar were 33.33 % and cream powder were 20.00%. Acceptance scores of 7.60 and then to research the use of Germinated brown rice drying a substitute for cream powder in the manufacture of rice powder beverages into 3 levels such as 50 75 and 100%, the amount of Germinated brown rice drying a substitute for cream powder 100 % has been the most acceptance. Then the ratio of rice flour, 7 the appropriate type of beverage, rice powder with the

odor and viscosity of the beverage, rice powder for 3 formulas were formulated with Black Glutinous flour were 10.00% the most acceptance. The study of soybean powder substitute millet powder in the manufacture of rice powder beverages to reduce the viscosity into 3 levels: 50 75 and 100%. The result showed that the suitable of soybean powder substitute millet powder were 100% and the most acceptance. This study used amount of soybean powder and milk powder substitutes sugar in the production of powdered rice beverage can be divided into 3 levels in the formula is 5 10 and 15% the result showed that the 10% of the soybean powder and 15% of milk powder substitutes sugar the most acceptance. Then study the temperature of water for rice powder beverages and the ratio of water to the rice powder beverages in the rice powder is 1:5. Nutritional value analysis of rice beverage product showed were 6.46% moisture, 11.63% protein, 7.34% fat, 5.65% dietary fiber, 1.47% ash and 67.45% carbohydrate and the shelf-life of rices powdered beverages which pack in aluminum foil bags, was preserve products and store at 30 °C more than 6 weeks.

Keywords : Khao' Niao Dam, Khao Man Poo, Germinated brown rice, Khao dawk mali 105 Sang Yod Phatthalung, Chai Nat 1, Surin

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำขอขอบคุณอาจารย์ชมภูนุช เผื่อนพิภพ ประธานกรรมการโครงงานพิเศษ ที่กรุณาให้คำปรึกษาและคำแนะนำในการทำโครงงานพิเศษชี้แนะแนวทางในการดำเนินงานวิจัย ตลอดจนช่วยตรวจสอบแก้ไขโครงงานพิเศษฉบับนี้ให้เป็นที่เรียบร้อยสมบูรณ์ ขอขอบคุณอาจารย์เกศรินทร์ เพ็ชรรัตน์ และอาจารย์ดวงรัตน์ แซ่ตั้ง ที่กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนแนวทางการแก้ไขปัญหา ทำให้โครงงานพิเศษฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากโครงการส่งเสริมสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรมเพื่อคนรุ่นใหม่ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2555 สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครเป็นอย่างมาก

ขอขอบพระคุณคุณครูและอาจารย์ทุกท่านตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน โดยเฉพาะอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการที่ได้ถ่ายทอดความรู้ให้แก่ทางคณะผู้จัดทำ ขอขอบพระคุณคุณพรภัทรา ศรีนรคุตร คุณปุณภา บุญพักตร์ คุณบัณฑิต อุปสิทธิ์ และคุณจันสุดา เรืองเต็ม จากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ที่กรุณาให้คำปรึกษาในการผลิตแป้งข้าว มาศึกษางานวิจัยนี้ ขอขอบคุณญาติผู้ใหญ่ เพื่อน และพี่น้องนักศึกษาสาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่คอยให้คำแนะนำ ให้กำลังใจ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือระหว่างการทำงาน ขอขอบคุณคุณพ่อ คุณแม่ที่ให้การสนับสนุนทางด้านการศึกษา การเงินตลอดจนกำลังใจที่ดีตลอดมา และสุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณองค์สมเด็จสัมมาสัมพุทธเจ้าที่ทรงประทานสติปัญญา ตลอดจนหลักธรรมคำสอนของพระองค์ที่ช่วยให้มีสติแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นให้ผ่านพ้นไปได้ด้วยดี โครงงานพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ย่อมเป็นผลมาจากความกรุณาของท่านรวมถึงผู้มีความอนุเคราะห์ที่มิได้เอ่ยนามไว้ ณ ที่นี้ ทางคณะผู้จัดทำจึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

นางสาวศรินยา บุญสิทธิ์
นางสาวชนากานต์ วิเศษคามิน
นางสาวพิชามญชุ์ รัตนจริยาคุณ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (1)

กิตติกรรมประกาศ (5)

สารบัญ (6)

สารบัญตาราง (8)

สารบัญภาพ (10)

สารบันแผนภูมิ (11)

1. บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหาของการวิจัย 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 1

1.3 ขอบเขตของการศึกษา 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

2. ตรวจเอกสาร 3

2.1 ข้าวเหนียวดำ พันธุ์ลืมผัว 3

2.2 ข้าวขาวหอมมะลิ พันธุ์สุรินทร์ 5

2.3 ข้าวกล้องหอมมะลิเพาะงอก 100% พันธุ์ข้าวหอมมะลิ 105 5

2.4 ข้าวกล้องหอมมะลิ 105 7

2.5 ข้าวกล้องมันปู 7

2.6 ข้าวกล้องหอมมะลิแดง พันธุ์สังข์หยด 8

2.7 ข้าวเสาไห้ พันธุ์ชัยนาท 1 9

2.8 ข้าว 9

2.9 รงควัตถุที่ทำให้เกิดสีในข้าว 25

2.10 แป้ง 27

2.11 บรรจุภัณฑ์ 38

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3. วิธีการดำเนินการทดลอง 42

3.1 วัตถุดิบ 42

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ 42

3.3 สารเคมี 45

3.4 วิธีการดำเนินการวิจัย 46

3.5 สถานที่ทำการทดลอง 55

4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง 56

4.1 ตรวจสอบคุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของเมล็ดข้าว 7 ชนิด 56

4.2 การตรวจสอบคุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของแป้งจากข้าว 7 ชนิด 64

4.3 การตรวจสอบคุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของเครื่องดื่มข้าวผง (ผลิตภัณฑ์สุดท้าย) 75

4.4 ผลการศึกษาสูตรและการยอมรับของผู้บริโภคทางประสาทสัมผัสในการผลิตเครื่องดื่มข้าวผง 77

4.5 ผลจากการศึกษาอายุการเก็บรักษาของเครื่องดื่มข้าวผง (ผลิตภัณฑ์สุดท้าย) 87

5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 89

บรรณานุกรม 93

ภาคผนวก 102

ภาคผนวก ก สูตรพื้นฐาน 103

ภาคผนวก ข สูตรมาตรฐาน ขั้นตอนการผลิตและบรรจุภัณฑ์ 107

ภาคผนวก ค แบบประเมินทางประสาทสัมผัส 112

ภาคผนวก ง วิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพ 114

ภาคผนวก จ วิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี 119

ภาคผนวก ฉ มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน 127

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 มาตรฐานของขนาดเมล็ดข้าวตามประกาศกระทรวงพาณิชย์ 12

2.2 การจำแนกขนาดรูปร่างเมล็ดข้าวกล้องโดยเทียบจาก USDA Standard 12

2.3 รูปร่างเมล็ดข้าวจำแนกตามอัตราส่วนระหว่างความยาวกับความกว้าง 13

2.4 การแบ่งประเภทข้าวตามปริมาณอะไมโลส 20

2.5 คุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้องและข้าวขัดขาวที่ความชื้นร้อยละ 12 23

2.6 สมบัติที่สำคัญของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน 29

2.7 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี ของสตาร์ชข้าวเจ้าเปรียบเทียบกับสตาร์ชข้าวเหนียว 36

3.1 แสดงสูตรพื้นฐานที่ใช้ในการผลิตเครื่องดื่มข้าวผง 48

3.2 แสดงสูตรการใช้ข้าวกล้องงอกอบแห้งทดแทนครีมเทียมในการผลิตเครื่องดื่มข้าวผง 49

3.3 แสดงปริมาณอัตราส่วนแป้งข้าว 7 ชนิดที่เหมาะสมในการผลิตเครื่องดื่มข้าวผง 50

3.4 แสดงปริมาณถั่วเหลืองผงที่ใช้ทดแทนลูกเดือยผงในการผลิตเครื่องดื่มข้าวผง 51

3.5 แสดงปริมาณถั่วเหลืองผงที่ใช้ทดแทนน้ำตาลในการผลิตเครื่องดื่มข้าวผง 52

3.6 แสดงปริมาณนมผงที่ใช้ทดแทนน้ำตาลในการผลิตเครื่องดื่มข้าวผง 53

4.1 ปริมาณความชื้น (โดยน้ำหนักแห้ง) ของข้าว 7 ชนิด 56

4.2 ปริมาณน้ำอิสระ (โดยน้ำหนักแห้ง) ของข้าว 7 ชนิด 57

4.3 ค่าสีของเมล็ดข้าว 7 ชนิด 60

4.4 แสดงค่าสีของแป้งข้าว 7 65

4.5 แสดงพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าว 7 ชนิด 70

4.6 ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าว 7 ชนิด และเครื่องดื่มข้าวผง 73

4.7 แสดงค่าการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมีของเครื่องดื่มข้าวผง 76

4.8 แสดงสูตรพื้นฐานที่ใช้ในการผลิตเครื่องดื่มข้าวผง 77

4.9 แสดงผลการศึกษาการใช้ข้าวกล้องงอกอบแห้งทดแทนการใช้ครีมเทียม ในการผลิตเครื่องดื่มข้าวผง 78

4.10 แสดงผลศึกษาปริมาณแป้งข้าวที่เหมาะสมที่ใช้ในเครื่องดื่มข้าวผง 80

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

4.11 แสดงผลศึกษาปริมาณถั่วเหลืองผงที่ใช้ทดแทนลูกเดือยผงในการผลิตเครื่องดื่มข้าวผง 81

4.12 แสดงผลการศึกษาปริมาณถั่วเหลืองผงที่ใช้ทดแทนน้ำตาลในการผลิตเครื่องดื่มข้าวผง 82

4.13 แสดงผลการศึกษาปริมาณนมผงที่ใช้ทดแทนน้ำตาลในการผลิตเครื่องดื่มข้าวผง 83

4.14 แสดงผลการศึกษาอุณหภูมิของน้ำร้อนที่เหมาะสมในการชงเครื่องดื่มข้าวผง 85

4.15 แสดงผลการศึกษาอัตราส่วนของเครื่องดื่มข้าวผงต่อน้ำที่เหมาะสมในการชงเครื่องดื่มข้าวผง 86

4.16 แสดงปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มข้าวผงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ 87

4.17 แสดงค่าสีของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มข้าวผงที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50 องศาเซลเซียสในสัปดาห์ที่ 6 88

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

2.1 ลักษณะโครงสร้างของเมล็ดข้าว 13

2.2 โครงสร้างของอะไมโลส 27

2.3 โครงสร้างของอะไมโลเพคติน 28

2.4 ระยะเวลาในการเกิดเจลาติไนเซชันของเม็ดแป้ง 31

2.5 ตัวอย่างกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง RVA 32

4.1 เมล็ดข้าวเหนียวดำพันธุ์ลืมผัว เมล็ดข้าวขาวหอมมะลิพันธุ์สุรินทร์ 61
เมล็ดข้าวกล้องหอมมะลิเพาะงอก เมล็ดข้าวกล้องหอมมะลิ 105 เมล็ดข้าวกล้องมันปู
เมล็ดข้าวกล้องหอมมะลิแดงพันธุ์สังข์หยด และเมล็ดข้าวเสาไห้พันธุ์ชัยนาท 1

4.2 ลักษณะเมล็ดข้าวที่ผ่านการหุงต้ม โดยใช้อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water Bath) 63
ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

4.3 แป้งข้าวเหนียวดำพันธุ์ลืมผัว แป้งข้าวขาวหอมมะลิพันธุ์สุรินทร์ 66
แป้งข้าวกล้องหอมมะลิเพาะงอก แป้งข้าวกล้องหอมมะลิ 105 แป้งข้าวกล้องมันปู
แป้งข้าวกล้องหอมมะลิแดงพันธุ์สังข์หยด และแป้งข้าวเสาไห้พันธุ์ชัยนาท 1

4.4 แสดงกราฟของพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าว 7 ชนิด 72

สารบัญแผนภูมิ

แผนภูมิที่ **หน้า**

4.1 การดูดซับน้ำก่อนการหุงต้มของเมล็ดข้าว 7 ชนิด 59

4.2 อัตราการเพิ่มน้ำหนักของข้าวสุกซึ่งได้จากการหุงต้มเมล็ดข้าว 7 ชนิด 62

4.3 อัตราการขยายปริมาตรของข้าวสุกซึ่งได้จากการหุงต้มเมล็ดข้าว 7 ชนิด 63

4.4 ร้อยละการพองตัว 67

4.5 ค่าการละลายของแป้งข้าว 7 ชนิด 68

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของการวิจัย

สังคมไทยเป็นสังคมกสิกรรม ประชากรมีอาชีพเพาะปลูกข้าวและบริโภคข้าวเป็นหลักมาแต่โบราณ (ดำเนิน และคณะ, 2543) พื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศใช้ในการเพาะปลูกข้าวได้ดี ข้าวจึงเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย ผลิตภัณฑ์จากข้าวที่มีความสำคัญในระดับอุตสาหกรรม การส่งข้าวออกในรูปต่างๆประมาณ 5 ล้านตันต่อปี แต่เนื่องจากความผันผวนของการค้าข้าวในตลาดโลกตลอดจนการแข่งขันที่สูงขึ้น รวมทั้งมาตรการการกีดกันการนำเข้าข้าวของประเทศต่างๆ ทำให้ข้าวของไทยมีราคาไม่แน่นอน บางปีราคาต่ำมาก ดังนั้นการแปรรูปข้าวเป็นผลิตภัณฑ์รูปแบบอื่นๆ ทำให้เป็นการเพิ่มมูลค่าของข้าวให้มากขึ้นอีกด้วย (อัมมาร และวิโรจน์, 2533) การแปรรูปผลิตภัณฑ์ข้าวในกลุ่มอาหารสำเร็จรูปพร้อมบริโภค หรือเครื่องดื่มสำเร็จรูปมีแนวโน้มที่ผู้บริโภคให้ความสนใจและนิยมกันมากขึ้น เนื่องจากสภาวะทางสังคมที่ผู้คนต้องรีบเร่งและแข่งขันกับเวลา จึงทำให้อาหารประเภทพร้อมบริโภคเข้ามามีบทบาทต่อชีวิตประจำวัน ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่น่าสนใจและมีศักยภาพในด้านการผลิต และการตลาด คือ เครื่องดื่มจากข้าว โดยปัจจุบันคนเริ่มใส่ใจต่อสุขภาพมากขึ้น

ข้าวที่มีรงควัตถุ เช่น ข้าวมันปู ข้าวก่ำ และข้าวดำจัดเป็นทรัพยากรทางด้านพันธุกรรมของข้าวที่มีความสำคัญ และแสดงถึงความหลากหลายทางชีวภาพ ซึ่งข้าวเหล่านี้มีองค์ประกอบที่แตกต่างจากข้าวขาว คือ มีรงควัตถุที่ทำให้เกิดสีแดง ดำ หรือม่วงที่ผิวเมล็ด ส่วนใหญ่เป็นข้าวพื้นเมืองที่มีการปลูกในทุกภาคของประเทศไทย โดยเฉพาะภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (ดำเนิน และคณะ, 2543) รงควัตถุสำคัญในเมล็ดที่มีสีหลายสายพันธุ์ คือ แอนโธไซยานิน (Anthocyanin) ซึ่งพบว่าสามารถต้านอนุมูลอิสระ ลดโอกาสการเกิดมะเร็ง ต่อต้านการอักเสบของเนื้อเยื่อ (Antiinflammatory activity) ลดความเปราะของเส้นเลือด และการเกิดโรคหัวใจ (Bridle and Timberlake, 1996) ดังนั้นข้าวที่มีรงควัตถุจึงมีความเหมาะสมในการนำไปพัฒนาเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อสุขภาพ นอกจากข้าวที่มีรงควัตถุแล้วยังมีสตาร์ชเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย มีคุณสมบัติช่วยให้ความข้นหนืด เพิ่มเนื้อสัมผัสหรือโครงสร้างในผลิตภัณฑ์อาหารอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาลักษณะเฉพาะของแป้งข้าวที่ผลิตจากข้าวไทยในด้านคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมี

1.2.2 เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติทางเคมีของเครื่องดื่มข้าวผงสำเร็จรูป

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 ทำการศึกษาคุณลักษณะเฉพาะของแป้งข้าว 7 ชนิด คือ ข้าวกล้องหอมมะลิ 105 ข้าวกล้องหอมมะลิแดงพันธุ์สังข์หยด ข้าวกล้องมันปู ข้าวขาวหอมมะลิพันธุ์สุรินทร์ ข้าวเหนียวดำพันธุ์ลืมผัว ข้าวเสาไห้พันธุ์ชัยนาท 1 และข้าวกล้องงอกหอมมะลิ 105 โดยใช้ข้าวไทยจากร้านเรือข้าวจ้าวตลาดไท โดยศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของแป้งข้าว

1.3.2 ทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติทางเคมีของเครื่องดื่มข้าวผงสำเร็จรูป (ใช้นมผงและถั่วเหลืองผง ยี่ห้อสวนจิตรลดา และน้ำตาลทรายขาว ยี่ห้อมิตรผล)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ผลการศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติความคงตัวของผงแป้งข้าวจากข้าวสายพันธุ์ไทย ซึ่งเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการแปรรูป การเก็บรักษา และการพัฒนาผลิตภัณฑ์

1.4.2 ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีแนวคิดใหม่ที่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคทุกเพศทุกวัย และส่งเสริมการบริโภคข้าวไทยที่มีรงควัตถุเป็นการเพิ่มทางเลือกให้แก่ผู้บริโภคในการเลือกบริโภคอาหารที่มุ่งเน้นสุขภาพเป็นอาหารที่สามารถพกพาได้ และชงดื่มสะดวก

1.4.3 เป็นองค์ความรู้ในการวิจัยต่อไป

- สร้างแนวทางในการผลิตเครื่องดื่มข้าวผงสำเร็จรูปที่มีคุณภาพในระดับอุตสาหกรรม
- หน่วยงานภาครัฐ และเอกชนที่ส่งเสริมการผลิตเครื่องดื่มข้าวผงสำเร็จรูปจากข้าวสายพันธุ์ไทย 7 ชนิด / นักวิชาการ / นักศึกษา และผู้สนใจทั่วไป นำผลงานวิจัยไปต่อยอดความรู้และเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้ในการพัฒนาอาหารอื่นๆ ต่อไป

บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

2.1 ข้าวเหนียวดำ พันธุ์ลืมผัว

ชื่อพันธุ์ : ข้าวเหนียวดำ (Khao' Niao Dam)

ชนิด : ข้าวเหนียว

ลักษณะประจำพันธุ์ : เป็นข้าวเหนียวความสูงของลำต้น 123.4 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางของลำต้น 8.7 มิลลิเมตร ออกดอกประมาณวันที่ 15 ตุลาคม ลำต้นแข็งปานกลาง ใบแก่เร็ว เมล็ดร่วงง่าย เปลือกเมล็ดสีดำ ขนบนเปลือกเมล็ดสั้น เมล็ดยาวประมาณ 8.9 มิลลิเมตร กว้างประมาณ 3.6 มิลลิเมตร ลักษณะข้าวสุกนุ่มและเหนียว ไม่มีกลิ่นหอม

ข้อควรระวัง : อ่อนแอต่อโรคไหม้มาก อ่อนแอต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล และหนอนกอ

2.1.1 คุณค่าทางโภชนาการของข้าวเหนียวดำ

เมล็ดข้าวเหนียวดำ มีสารสำคัญชื่อ แกมมา-โอไรซานอล (gamma oryzanol) ซึ่งมีคุณสมบัติในการต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (antioxidant) สามารถลด cholesterol triglyceride และเพิ่มระดับของ high density lipoprotien (HDL) ในเลือด มีผลต่อการทำงานของต่อมใต้สมอง ยับยั้งการหลั่งกรดในกระเพาะอาหารและการรวมตัวของเกล็ดเลือด ลดน้ำตาลในเลือด และเพิ่มระดับของฮอร์โมนอินซูลินของคนเป็นโรคเบาหวานชนิดที่ 2 และแอนโธไซยานิน (Anthocyanin) ซึ่งมีคุณสมบัติในการต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ช่วยการหมุนเวียนของกระแสโลหิต ชะลอการเสื่อมของเซลล์ร่างกาย โดยเฉพาะแอนโธไซยานิน ชนิดที่พบในข้าวสีม่วงกลุ่มอินดิกา ซึ่งรวมถึงข้าวก่ำไทย คือ cyanindin 3 - glucoside มีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งปอด สารสกัดในข้าวเหนียวดำยังมีคุณสมบัติช่วยสร้างเม็ดเลือดแดงสร้าง "วิลไล" ในผนังลำไส้เล็ก ซึ่งเป็นส่วนที่ยื่นออกมาเพื่อดูดซึมสารอาหาร ทำให้ร่างกายสามารถดูดซับสารอาหารได้มากขึ้นส่งผลให้ร่างกายเจริญเติบโตและแข็งแรงยิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังพบสารประกอบอื่นๆ ในเมล็ดข้าวเหนียวดำที่มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีเข้ม ได้แก่ โปรตีน ซึ่งในข้าวกล้องมีปริมาณโปรตีนและกรดอะมิโนที่สำคัญ คือ ไลซีน (lysine) สูงกว่าข้าวสาร ธาตุเหล็ก ในเมล็ดข้าวโดยทั่วไปแล้วมีแนวโน้มว่าพันธุ์ข้าวที่มีกลิ่นหอมและมีสี (แดงและดำ) จะมีปริมาณธาตุเหล็กสูงกว่าพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูง แต่ไม่มีกลิ่นหอมและไม่มีสี

และพบว่าพันธุ์ข้าวของจีนที่มีเมล็ดยาวสีแดง มีปริมาณธาตุเหล็กสูงสุดถึง 64 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สังกะสี โดยที่ข้าวต่างสีและมีกลิ่นหอมมีแนวโน้มที่มีธาตุสังกะสีในปริมาณสูง วิตามิน เป็นสารอาหารที่ร่างกายไม่สามารถสร้างขึ้นเองได้ แต่มีความสำคัญช่วยให้ร่างกายทำงานเป็นปกติ เช่น วิตามินเอ ช่วยในการเจริญเติบโต บำรุงสายตาและซ่อมแซมเนื้อเยื่อ ช่วยพัฒนากระดูกและฟัน และช่วยสร้างภูมิคุ้มกันโรค วิตามินอี (tocopherol) ช่วยชะลอการแก่ของเซลล์ให้การกระจายออกซิเจนในกระแสเลือดดีขึ้น ป้องกันการสะสมและการเกาะของแคลเซียมในหลอดเลือด เป็นสารหลักของสารต้านอนุมูลอิสระ ช่วยในการดูแลรักษาผิว รักษาแผลเป็น และลดริ้วรอยบนผิวจึงนิยมมาผสมเครื่องสำอาง วิตามินบี1 (thiamine) เป็นสารอาหารที่มีบทบาทในกลไกการย่อยคาร์โบไฮเดรตในร่างกายให้ดีขึ้น ทำให้ร่างกายรับอาหารได้มากขึ้น ช่วยสนับสนุนระบบการทำงานของประสาท หัวใจ และกล้ามเนื้อ วิตามินบี2 (riboflavin) จำเป็นสำหรับสุขภาพของผิวหนังและระบบประสาท ช่วยบำรุงสายตา วิตามินบี6 (pyridoxine) จำเป็นสำหรับสุขภาพของผิวหนัง ลิ้น การทำงานของกระเพาะอาหารและลำไส้ รวมทั้งการทำงานของระบบประสาท สารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) เป็นสารที่ทำหน้าที่ต่อต้านหรือยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน หยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ของอนุมูลอิสระ ป้องกันไม่ให้อนุมูลอิสระไปมีผลทำลายเซลล์ในร่างกายซึ่งก่อให้เกิดโรคหลายชนิด โดยปกติในร่างกายมีระบบควบคุมหรือป้องกันอนุมูลอิสระแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มของเอนไซม์ กลุ่มของสารและโปรตีนบางชนิด ปัจจุบันสารต้านอนุมูลอิสระถูกนำมาใช้ในการส่งเสริมสุขภาพป้องกันและรักษาโรคต่างๆ ในรูปของอาหารและสมุนไพรโดยเฉพาะประเภทที่มีวิตามินซี อี และเอ ซีลีเนียม และเบต้า-แคโรทีน รวมทั้งสารประกอบฟีนอลิค ซึ่งทำหน้าที่ขจัดอนุมูลอิสระได้ดี (จรัญจิต และสุวัฒน์, ม.ป.ป.)

จากการวิเคราะห์หาปริมาณสารอาหารและแร่ธาตุที่สำคัญในเมล็ดข้าว พบว่า เมล็ดข้าวกล้องสีดำและแดงมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระสูงมากเมื่อเทียบกับเมล็ดข้าวกล้องสีขาว โดยที่ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระขึ้นอยู่กับปริมาณสารประกอบฟีนอลิคในเมล็ดข้าว (Suttajit *et al*., 2006)

2.2 ข้าวขาวหอมมะลิ พันธุ์สุรินทร์

ชื่อพันธุ์ : สุรินทร์ (Surin)

ชนิด : ข้าวเจ้า

คู่ผสม : IR61078 / IR46329-SRN-18-2-2-2

ประวัติพันธุ์ : ได้จากการผสมพันธุ์ระหว่าง IR61078 และ IR46329-SRN-18-2-2-2 ที่สถาบันวิจัยข้าวนานาชาติ (IRRI) เมื่อปี พ.ศ. 2531 ปลูกคัดเลือกที่สถานีทดลองข้าวสุรินทร์จนได้สายพันธุ์ IR62558-SRN-17-2-1- B

ลักษณะประจำพันธุ์ : ลำต้นสูงประมาณ 122 เซนติเมตร ไม่ไวต่อช่วงแสง มีอายุเก็บเกี่ยว 138 วัน ทรงกอตั้งตรง ใบสีเขียวเข้ม ใบธงตั้ง รวงแน่นปานกลาง คอรวงสั้น ลำต้นแข็ง ใบแก่ช้า เมล็ดข้าวเปลือกสีฟาง เมล็ดร่วงยาก ระยะพักตัวของเมล็ดประมาณ 1 สัปดาห์ เมล็ดข้าวเปลือก ยาว x กว้าง x หนา คือ 10.1 x 2.4 x 2.0 มิลลิเมตร เมล็ดข้าวกล้อง ยาว x กว้าง x หนา คือ 7.3 x 2.2 x 1.8 มิลลิเมตร มีปริมาณอะไมโลส 30.4 % คุณภาพข้าวสุก ร่วน แข็ง ผลผลิตประมาณ 718 กิโลกรัมต่อไร่

ลักษณะเด่น : ตอบสนองต่อปุ๋ยสูง ต้านทานโรคไหม้ และโรคขอบใบแห้งทนทานต่อดินเค็ม ทนทานต่อความแห้งแล้ง เมล็ดยาวเรียว คุณภาพการสีดี เหมาะที่จะใช้แปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ เส้นหมี่ เส้นขนมจีน แผ่นแป้ง

ข้อควรระวัง : ไม่ต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล (สถาบันวิจัยข้าว, ม.ป.ป.)

2.3 ข้าวกล้องหอมมะลิเพาะงอก 100% พันธุ์ข้าวหอมมะลิ 105

ข้าวกล้องงอก (Germinated Brown Rice) หรือ “GABA Rice” เป็นข้าวงอกจากข้าวกล้องเมื่อนำไปแช่น้ำเป็นระยะเวลาหนึ่งจนเริ่ม “งอก” เป็นตุ่มเล็กๆ ออกมา ในข้าวกล้องงอกจะมีสารกาบา หรือกรดแกมมาอะมิโนบิวทิริก (Gamma Amino-Butyric Acid, GABA) ซึ่งมีคุณค่าทางอาหารสูงมากกว่าข้าวกล้องธรรมดาหลายเท่า นิยมทำจากข้าวหอมดอกมะลิ 105 หรือปทุมธานี 1 และข้าวเหนียวดำ ข้าวกล้องเป็นข้าวที่ผ่านกระบวนการขัดสีเพียงครั้งเดียวเพื่อเอาเปลือกข้าวออก ดังนั้นข้าวกล้องจึงยังคงมีส่วนของจมูกข้าวและเยื่อหุ้มเมล็ด ซึ่งช่วยในการขับถ่ายแล้วยังช่วยป้องกันโรคเหน็บชา อาการปากนกกระจอก และยังมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติอีกด้วย

การวิจัยและพัฒนาข้าวกล้องงอกในประเทศไทยนั้น สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร ในสังกัดมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ร่วมกับศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์การเกษตรนานาชาติประเทศญี่ปุ่น ประสบความสำเร็จในการพัฒนาข้าวกล้องงอกนี้ จากผลการวิจัยได้ทำการศึกษาหาพันธุ์ข้าวที่เหมาะสมและสภาพการผลิตข้าวกล้องงอกที่มีประสิทธิภาพ พบว่าข้าวขาวดอกมะลิ 105 เมื่อนำมาเพาะเป็นข้าวกล้องงอกจะมีสาร GABA มากที่สุด คือ 15.2–19.5 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ซึ่งสูงกว่าข้าวกล้องปกติถึง 15 เท่า

2.3.1 ประโยชน์ของข้าวกล้องงอก

ข้าวกล้องงอกมีสารอาหารอยู่มากมายที่สำคัญ คือ สารกาบา ที่ช่วยป้องกันโรคอัลไซเมอร์ ช่วยผ่อนคลายความเครียด ทำให้จิตใจสงบ หลับสบาย ลดความวิตกกังวล ลดความดันโลหิต นอกจากนี้ยังมีสารแกมมาออรีซานอล (Gamma-orizanol) ช่วยลดไขมันในเส้นเลือด ต้านอนุมูลอิสระ ปรับสมดุลความดันโลหิต และระดับน้ำตาลในเลือด สารอนุมูลอิสระกลุ่มฟิโนลิก ช่วยยับยั้งการเกิดฝ้า ชะลอรอยเหี่ยวย่น กรดไขมันไลโนเลอิกและโอเลอิก ช่วยบำรุงระบบประสาทและสมอง เสริมสร้างเซลล์ผิวหนัง และระบบสืบพันธุ์ให้ดีขึ้น กรดไฟติก (Phytic Acid) ช่วยต่อต้านเซลล์มะเร็ง มีวิตามินบีและวิตามินอี ช่วยป้องกันโรคเหน็บชา อาการปากนกกระจอก ช่วยต้านอนุมูลอิสระ ซ่อมแซมเซลล์ต่างๆ ในร่างกาย ช่วยลดความเหี่ยวย่นของผิวและเยื่อใยอาหาร (Dietay fiber) ที่มีคุณสมบัติควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด ป้องกันมะเร็งลำไส้และลดอาการท้องผูก

2.3.2 ผู้ที่ไม่ควรทานข้าวกล้องงอก

สารต่างๆ ในข้าวกล้องงอกมีประโยชน์มากมาย ดังนั้นข้าวกล้องงอกจึงมีประโยชน์ต่อทุกเพศ ทุกวัย ยกเว้นกับผู้ที่ป่วยเป็นโรคเกาต์ที่ไม่ควรรับประทาน เพราะเมล็ดข้าวกล้องหรือยอดผักต่างๆ ที่กำลังจะงอกจะมีสารยูริกจำนวนมาก ดังนั้นจึงไม่เหมาะกับคนที่เป็นโรคเกาต์ ซึ่งเป็นโรคที่เกิดจากการที่มีสารยูริกจำนวนมากสะสมอยู่ตามข้อจนเกิดการอักเสบ

2.3.3 สำหรับคุณค่าของสารอาหารในข้าวกล้องงอกที่ร่างกายจะได้รับเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน คือ

1. สารกาบ้า (GABA หรือ Gamma Amino-Butyric Acid) เพิ่มขึ้นมากกว่า 10 เท่า
2. IP6 (Inositol Hexaphosphate หรือ Phytic Acid) เพิ่มขึ้น 6-8 เท่า
3. กรดผลไม้ คุณสมบัติลดรอยเหี่ยวย่นของผิวหนัง Ferulic acid
4. แอลกอฮอล์ที่เป็นส่วนประกอบของวิตามินบี Inositol (ต้นกล้า, 2552)

2.4 ข้าวกล้องหอมมะลิ 105

ชื่อพันธุ์ : ขาวดอกมะลิ 105 (Khao Dawk Mali 105)

ชนิด : ข้าวเจ้าหอม

ประวัติพันธุ์ : ได้มาโดยนายสุนทร สีหะเนิน เจ้าพนักงานข้าวรวบรวมจากอำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา เมื่อ พ.ศ.2493-2494 จำนวน 199 รวง แล้วนำไปคัดเลือกแบบคัดพันธุ์บริสุทธิ์ (Pure Line Selection) และปลูกเปรียบเทียบพันธุ์ที่สถานีทดลองข้าวโคกสำโรง แล้วปลูกเปรียบเทียบพันธุ์ท้องถิ่นในภาคเหนือ ภาคกลาง และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จนได้สายพันธุ์ขาวดอกมะลิ 4-2-105 ซึ่งเลข 4 หมายถึง สถานที่เก็บรวงข้าว คืออำเภอบางคล้า เลข 2 หมายถึง พันธุ์ทดสอบที่ 2 คือ ขาวดอกมะลิ และเลข 105 หมายถึง แถวหรือรวงที่ 105 จากจำนวน 199 รวง

ลักษณะประจำพันธุ์ : ลำต้นสูงประมาณ 140 เซนติเมตร ลักษณะสีเขียวจางไวต่อช่วงแสง ใบสีเขียวยาวค่อนข้างแคบ ฟางอ่อน ใบธงทำมุมกับคอรวง เมล็ดข้าวรูปร่างเรียวยาว อายุเก็บเกี่ยว ประมาณ 25 พฤศจิกายน เมล็ดข้าวกล้อง กว้าง x ยาว x หนา คือ 2.1 x 7.5 x 1.8 มิลลิเมตร มีปริมาณอะไมโลส 12-17% คุณภาพข้าวสุก นุ่ม มีกลิ่นหอม ผลผลิตประมาณ 363 กิโลกรัมต่อไร่ นิยมเพาะปลูกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือตอนบน

ลักษณะเด่น : ทนแล้งได้ดีพอสมควร เมล็ดข้าวใส แกร่ง คุณภาพการสีดี คุณภาพการหุงต้มดี อ่อนนุ่ม มีกลิ่นหอม ทนต่อสภาพดินเปรี้ยว และดินเค็ม

ข้อควรระวัง : ไม่ต้านทานโรคใบสีส้ม โรคขอบใบแห้ง โรคไหม้ โรคใบหงิกไม่ต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล เพลี้ยจักจั่นสีเขียว และหนอนนก (มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2012)

2.5 ข้าวกล้องมันปู

ชื่อพันธุ์ : ข้าวมันปู (Khao’ Man Poo)

ชนิด : ข้าวเจ้า

ลักษณะประจำพันธุ์ : ลำต้นสูงประมาณ 163 เซนติเมตร เก็บเกี่ยวประมาณวันที่ 10 ตุลาคม ลำต้นทรงกอตั้ง ใบเขียว

ลักษณะเด่น : ข้าวมันปูเป็นข้าวที่มีเยื่อหุ้มเปลือกข้าวสีน้ำตาลแดงแบบมันปู จัดเป็นข้าวกล้องหรือข้าวซ้อมมือชนิดหนึ่งมีไขมันในปริมาณเดียวกับข้าวกล้อง และมีสารแคโรทีน

ที่จะเปลี่ยนเป็นวิตามินเอสูงกว่าข้าวขัดสี มีสารอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีน ฟอสฟอรัส และธาตุเหล็กในปริมาณที่สูงและยังมีแร่ธาตุต่างๆ เช่น ทองแดง วิตามินเอ วิตามินบี วิตามินซี เป็นต้น การกินข้าวมันปูจะช่วยป้องกันโรคหัวใจ ช่วยให้ระบบย่อยอาหารทำงานปกติ รักษาอาการมือเท้าบวมหรือผื่นขึ้น และป้องกันโรคนอนไม่หลับ (เกษตรออแกนิค, ม.ป.ป.)

2.6 ข้าวกล้องหอมมะลิแดง พันธุ์สังข์หยด

ชื่อพันธุ์ : สังข์หยดพัทลุง (Sang Yod Phattalung)

ชนิด : ข้าวเจ้า

ประวัติพันธุ์ : เป็นพันธุ์ข้าวพื้นเมืองที่ปลูกดั้งเดิมในจังหวัดพัทลุงในฤดูนาปี พ.ศ. 2531 และปี 2532 ได้เริ่มคัดเลือกพันธุ์สังข์หยด (KGTC82239) จากแหล่งเก็บตำบลท่ามะเดื่อ อำเภอบางแก้ว จังหวัดพัทลุง หนึ่งในสามแหล่งของข้าวสังข์หยดในจังหวัด ซึ่งมีความแปรปรวนในลักษณะทางพันธุกรรมของประชากรที่เก็บ ศูนย์วิจัยข้าวพัทลุงคัดเลือกได้สายพันธุ์บริสุทธิ์ มีความสูงของลำต้นสม่ำเสมอ เก็บเกี่ยวได้พร้อมกัน มีคุณภาพเมล็ดดีสม่ำเสมอ โดยคัดเลือกแบบหมู่ (Mass selection) ในลักษณะดังกล่าวจำนวน 4 ชั่วอายุจนได้สายพันธุ์สังข์หยด (KGTC82239-2) เป็นสายพันธุ์บริสุทธิ์ เมื่อ พ.ศ. 2543 มีลักษณะดีกว่าสายพันธุ์เดิมในลักษณะความสม่ำเสมอในการสุกแก่

ลักษณะประจำพันธุ์ : เป็นข้าวเจ้าไวต่อช่วงแสงอ่อน อายุเก็บเกี่ยวประมาณวันที่ 10 กุมภาพันธ์ เมื่อปลูกตามฤดูนาปีภาคใต้ (ปักดำกลางเดือนกันยายน) ลำต้นทรงกอตั้ง ใบเขียว เมล็ดข้าวเปลือกสีฟาง ข้าวซ้อมมือมีสีแดงปนสีขาว เมื่อขัดสีแล้วบางเมล็ดมีสีขาวใส แต่ส่วนใหญ่มีลักษณะขาวขุ่น ระยะพักตัวของเมล็ดพันธุ์ประมาณ 8 สัปดาห์ เมล็ดข้าวเปลือก ยาว x กว้าง x หนา คือ 9.3 x 2.1 x 1.7 มิลลิเมตร เมล็ดข้าวกล้องมีสีแดง ยาว x กว้าง x หนา คือ 6.7 x 1.8 x 1.6 มิลลิเมตร มีปริมาณอะไมโลสต่ำ (15 ± 2%) ผลผลิตเฉลี่ย 330 กิโลกรัมต่อไร่

ลักษณะเด่น : มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีแดง ข้าวกล้องเมื่อหุงสุกนุ่มเล็กน้อย ส่วนข้าวซ้อมมือเมื่อหุงสุกนุ่ม ข้าวกล้องมีคุณค่าทางโภชนาการสูง จากตัวอย่างข้าวกล้อง 100 กรัม มีปริมาณไนอาซิน (Niacin) 6.46 มิลลิกรัม ใยอาหาร 4.81 กรัม และธาตุเหล็ก 0.52 มิลลิกรัม

ข้อควรระวัง : ไม่ต้านทานโรคไหม้ ไม่ควรปลูกใกล้เคียงกับแปลงปลูกข้าวขาว และควรแยกเก็บเมล็ดพันธุ์ไว้โดยเฉพาะ (กรมการข้าว, 2012)

2.7 ข้าวเสาไห้ พันธุ์ชัยนาท 1

ชื่อพันธุ์ : ชัยนาท 1 (Chai Nat 1)

ชนิด : ข้าวเจ้า

คู่ผสม : IR13146-158-1 / IR15314-43-2-3-3 // BKN6995-16-1-1-2

ประวัติพันธุ์ : ได้จากการผสม 3 ทาง คือ ระหว่างสายพันธุ์ IR13146-158-1 และสายพันธุ์ IR15314-43-2-3-3 กับ BKN6995-16-1-1-2 ที่สถานีทดลองข้าวชัยนาท เมื่อ พ.ศ. 2525 ปลูกคัดเลือกจนได้สายพันธุ์ CNTBR82075-43-2-1

ลักษณะประจำพันธุ์ : ลำต้นสูงประมาณ 113 เซนติเมตร ไม่ไวต่อช่วงแสง อายุเก็บเกี่ยวประมาณ 121-130 วัน ทรงกอตั้ง ใบสีเขียว ใบธงค่อนข้างยาวตั้งตรง คอรวงสั้น รวงยาวและแน่น ระแง้ค่อนข้างถี่ ฟางแข็ง ระยะพักตัวของเมล็ดประมาณ 8 สัปดาห์ เมล็ดข้าวกล้อง กว้าง x ยาว x หนา คือ 2.1 x 7.7 x 1.7 มิลลิเมตร มีปริมาณอะไมโลส 26-27% คุณภาพข้าวสุกร่วน แข็ง ผลผลิตประมาณ 740 กิโลกรัมต่อไร่

ลักษณะเด่น : ได้ผลผลิตสูงตอบสนองต่อการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนดี ต้านทานโรคใบหงิก และโรคไหม้ ต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล และเพลี้ยกระโดดหลังขาวมีท้องไข่น้อย

ข้อควรระวัง : ไม่ต้านทานต่อโรคใบสีส้ม โรคขอบใบแห้งและโรคใบขีดโปร่งแสง ในฤดูแล้งควรปลูกไม่เกินเดือนมีนาคม (กรมการข้าว, 2012)

2.8 ข้าว

2.8.1 การจำแนกชนิดของข้าว

ข้าวที่ปลูกเพื่อบริโภคสามารถแบ่งออกได้เป็นชนิดต่างๆ ขึ้นอยู่กับเกณฑ์การแบ่งแยกข้าว ดังนี้

2.8.1.1 การจำแนกข้าวตามลักษณะการกำเนิด

1. ข้าวปลูก (Cultivated Rice) เกิดจากการเพาะปลูกของมนุษย์ ซึ่งข้าวปลูกยังสามารถแบ่งออกได้อีก 2 ชนิด ตามสถานที่เพาะปลูก คือ

- โอไรซา กลาเบอร์ริมา นิยมปลูกในทวีปแอฟริกาฝั่งตะวันตก
- โอไรซา ซาไตวา นิยมปลูกในทวีปต่างๆทั่วโลก

2. ข้าวป่า (Wild Rice) เกิดจากการเจริญเติบโตอยู่ในธรรมชาติ และพบในภูมิภาคเอเชียอาคเนย์ (ไพศาล, 2543)

2.8.1.2 การจำแนกข้าวตามสภาพภูมิประเทศและวิธีปลูก

1. ข้าวไร่ (Upland Rice) คือ ข้าวที่ปลูกในที่ดอนหรือเชิงเขาที่มีความชุ่มชื้นพอสมควร

2. ข้าวนาสวน (Lowland Rice) คือ ข้าวที่ปลูกในที่ราบลุ่มทั่วๆไปที่มีน้ำขังแต่ลึกไม่เกิน 1 เมตร

3. ข้าวนาเมืองหรือข้าวขึ้นน้ำ (Floating Rice) คือ ข้าวที่ปลูกได้ในน้ำลึกเกินกว่า 1 เมตรขึ้นไป และมีความสามารถในการยืดตัวได้อย่างรวดเร็วเมื่อระดับน้ำเพิ่มขึ้น (กรมวิชาการเกษตร, 2527)

2.8.1.3 การจำแนกข้าวตามลักษณะความไวต่อความสั้นยาวของช่วงแสงต่อวัน

1. ข้าวไวแสง คือ พันธุ์ข้าวที่ออกรวงตามความยาวของช่วงเวลากลางวันที่มีการเปลี่ยนแปลงทำให้อายุไม่แน่นอน ถ้าปลูกในช่วงที่มีกลางวันยาวหรือช่วงการเจริญเติบโตของข้าวอยู่ในช่วงกลางวันยาวจะทำให้อายุของข้าวยาวนาน แต่ถ้าปลูกในช่วงกลางวันสั้นอายุของข้าวจะเบา และข้าวไวแสงจะมีระดับความไวแสงแตกต่างกัน ข้าวพวกนี้อาจเรียกได้ว่า ข้าวออกดอกตามฤดูกาล (กรมวิชาการเกษตร, 2527)

2. ข้าวไม่ไวแสง คือ ข้าวที่ช่วงแสงต่อวันไม่มีอิทธิพลในการกำหนดเวลาออกดอก ข้าวพวกนี้จึงเป็นข้าวที่สามารถปลูกได้ตลอดปี ไม่ว่าจะเป็นนาปีหรือนาปรัง ข้าวนี้มีกำหนดอายุวันออกดอกแน่นอน โดยนับตั้งแต่วันตกกล้าไปถึงวันออกดอกหรือจะเรียกว่า ข้าวออกดอกตามอายุ (กรมวิชาการเกษตร, 2527)

2.8.1.4 การจำแนกข้าวตามลักษณะทางด้านสัณฐานวิทยา

ข้าวโอไรซา ซาไตวา (Oryza sativa) แบ่งย่อยได้เป็น 3 พวก โดยอาศัยความแตกต่างในด้านสัณฐานวิทยา และการปรับตัวในการเจริญเติบโตที่สภาพแวดล้อมแตกต่างกัน (ปราณีต, 2531)

1. อินดิกา (Indica) จะพบทั่วไปในเอเชียเขตร้อนปลูกมากในประเทศไทย

มาเลเซีย อินโดนีเซีย พม่า อินเดีย ลาว เวียดนาม ศรีลังกา เป็นข้าวต้นสูง ฟางอ่อน เมล็ดยาวเรียว ข้าวอินดิกาจะมีความผันแปรของพันธุ์มาก เช่น ความต้องการน้ำ ซึ่งขึ้นได้ทั้งในที่ดอนจนถึงลุ่มน้ำขังลึกถึง 5 เมตร

2. จาปอนิกา (Japonica) จะพบในเขตอบอุ่น เช่น ประเทศญี่ปุ่น เกาหลี จีนตอนเหนือและตะวันออก จะมีความผันแปรของพันธุ์น้อยกว่าข้าวอินดิกา เป็นข้าวต้นเตี้ย เมล็ดน้อย

3. จาวานิกา (Javanica) เป็นข้าวที่พบในประเทศอินโดนีเซียบางท้องที่เท่านั้น อาจมีปลูกบ้างในฟิลิปปินส์ อินเดีย มีลักษณะคล้ายจาปอนิกา

2.8.1.5 การจำแนกข้าวตามชนิดและปริมาณของแป้งในเมล็ด

1. ข้าวเจ้า (Non-Glutinous Rice, Non-Sticky Rice, Non-Waxy Rice)

ข้าวเจ้าจะมีส่วนของเมล็ดใสกว่าข้าวเหนียว เมื่อนำไปหุงต้มจะไม่ค่อยเกาะตัวจะร่วนซุยไม่เหนียวติดกัน ในการหุงต้องการน้ำในปริมาณที่มากกว่าข้าวเหนียว แป้งในเมล็ดส่วนใหญ่เป็นอะไมโลเพคตินร้อยละ 64-92 และมีปริมาณของอะไมโลสร้อยละ 8-36 ของน้ำหนักเมล็ด ซึ่งปริมาณของอะไมโลสในข้าวเจ้าจะสูงกว่าข้าวเหนียว ข้าวเจ้าบางพันธุ์เมื่อหุงต้มแล้วจะพบว่ามีความนุ่ม และการเกาะตัวดีใกล้เคียงกับข้าวเหนียว เช่น ข้าวพวกจาปอนิกา แต่คุณลักษณะอื่นๆในการหุงต้ม และลักษณะทางเคมียังคงมีลักษณะเป็นข้าวเจ้าอยู่ ความนุ่มของข้าวเจ้าจะขึ้นอยู่กับพันธุ์ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับปริมาณอะไมโลสในเมล็ด ปริมาณโปรตีน อายุการเก็บรักษา ปริมาณน้ำในการหุงต้ม เป็นต้น (วาสนา, 2523) ปริมาณอะไมโลสในข้าวเจ้าทำให้ข้าวเมื่อหุงสุกแล้วมีลักษณะอ่อนนุ่มหรือแข็งกระด้างต่างกันไป เรียกว่า มีคุณภาพการหุงต้ม (Cooking quality) ต่างกันกล่าวคือ ข้าวพันธุ์ที่ยิ่งอะไมโลสมาก จะยิ่งมีเนื้อสัมผัสของข้าวสุกที่แข็งมาก (ชาญ, 2536)

2. ข้าวเหนียว (Glutinous Rice, Sticky Rice, Waxy Rice)

ข้าวเหนียวจะมีลักษณะของเนื้อเมล็ดเป็นสีขาวขุ่น เมื่อนำไปหุงต้มจะเหนียว เมล็ดเกาะตัวกันดีมาก แป้งในเมล็ดส่วนใหญ่เป็นอะไมโลเพคติน และมีอะไมโลสเป็นส่วนน้อยหรืออาจไม่มีเลย ในเมล็ดจะประกอบไปด้วยอะไมโลเพคตินร้อยละ 92-100 และอะไมโลสร้อยละ 0-8 ของน้ำหนักเมล็ด เมล็ดข้าวเหนียวเมื่อนำไปนึ่งจะมีความนุ่มของแต่ละพันธุ์ไม่เท่ากัน โดยส่วนใหญ่พันธุ์ที่มีความนุ่มน้อยกว่าจะเป็นพันธุ์ที่มีปริมาณของอะไมโลสอยู่สูงกว่า นอกจากนี้อาจเป็นเพราะปริมาณโปรตีนในเมล็ด อายุการเก็บรักษา และสภาพที่เก็บรักษาด้วย (วาสนา, 2523)

2.8.1.6 การจำแนกข้าวตามขนาดและรูปร่างของเมล็ด

ในแต่ละประเทศมีความนิยมข้าวที่มีขนาดและรูปร่างแตกต่างกัน เช่น ชาวญี่ปุ่น เกาหลีชอบข้าวเมล็ดป้อม แต่คนไทยนิยมข้าวเมล็ดยาวเรียว มาตรฐานข้าวตามประกาศของกระทรวงพาณิชย์กำหนดขนาดเมล็ด ดังนี้ (งามชื่น, 2542)

ตารางที่ 2.1 มาตรฐานของขนาดเมล็ดข้าวตามประกาศกระทรวงพาณิชย์

ชั้นของเมล็ดข้าว	ขนาด (มิลลิลิตร)
ข้าวเมล็ดยาวชั้น 1 (Extra long grain)	มากกว่า 7.0
ข้าวเมล็ดยาวชั้น 2 (Long grain)	6.6 - 7.0
ข้าวเมล็ดยาวชั้น 3 (Medium grain)	6.2 - 6.6
ข้าวเมล็ดสั้น (Short grain)	สั้นกว่า 6.2

ที่มา : งามชื่น, 2542

ตารางที่ 2.2 การจำแนกขนาดรูปร่างเมล็ดข้าวกล้องโดยเทียบจาก USDA Standard

USDA Scale	ความยาว (มิลลิลิตร)
ยาวมาก (Very Long-VL)	มากกว่า 7.50
ยาว (Long-L)	7.06 - 7.50
ค่อนข้างยาว (Medium Long-ML)	6.61 - 7.059
ปานกลาง (Medium-M)	6.101 - 6.609
ค่อนข้างสั้น (Medium short-MS)	5.51 - 6.10
สั้น (Short-S)	น้อยกว่า 5.50

ที่มา : งามชื่น, 2542

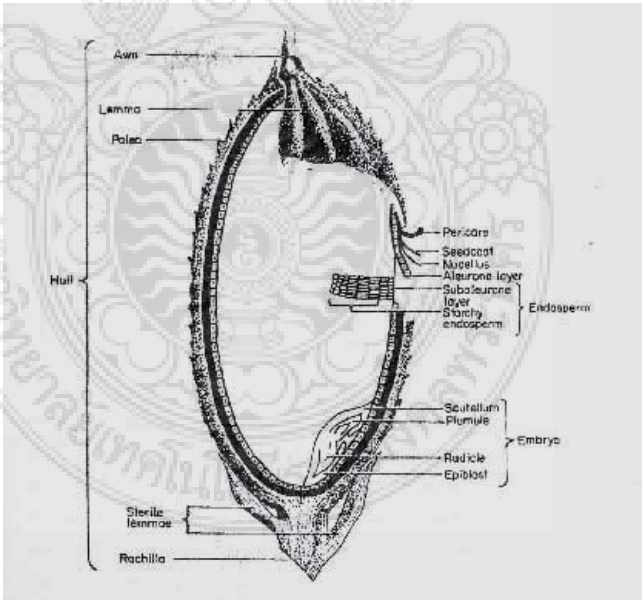
ตารางที่ 2.3 รูปร่างเมล็ดข้าวอาจจำแนกตามอัตราส่วนระหว่างความยาวกับความกว้างเป็น 3 พวก

รูปร่างเมล็ด (Grain shape)	**ความยาว/ความกว้าง**
เรียว (Slender-SL)	มากกว่า 3.0 ขึ้นไป
ปานกลาง (Intermediate-I)	2.1-3.0
ป้อม (Bold-B)	น้อยกว่า 2.0

ที่มา : งามชื่น, 2542

2.8.2 โครงสร้างของเมล็ดข้าว

เมล็ดข้าวที่มีเยื่อหุ้มเมล็ด (Testa) ติดอยู่กับผนังรังไข่ (Ovary wall) เมล็ดข้าวประกอบด้วยส่วนต่างๆ (ดังภาพที่ 2.1) ดังต่อไปนี้



ภาพที่ 2.1 ลักษณะโครงสร้างของเมล็ดข้าว
ที่มา: สุพิศา, 2547

2.8.2.1 แกลบ (Hull หรือ Husk) เป็นส่วนที่ห่อหุ้มเมล็ดข้าว ประกอบด้วยเปลือกใหญ่ (Lemma) เปลือกเล็ก (Palea) หาง (Awn) ขั้วเมล็ด (Rachilla) และกลีบรองเมล็ด (Sterile lemmae) เปลือกใหญ่จะปกคลุมอยู่ 2 ใน 3 ของเนื้อที่เมล็ด เปลือกเล็กจะยึดแน่นอยู่ภายในส่วนของเปลือกด้วยโครงสร้างที่มีลักษณะคล้ายตะขอ (Hooklike Structure) ดังนั้นเปลือกข้าวจึงปิดแน่น (กัญญา, 2545) แกลบจะมีปริมาณร้อยละ 18-20 ของข้าวเปลือก ทำหน้าที่ป้องกันการทำลายจากแมลงต่างๆ และป้องกันไม่ให้เมล็ดข้าวสูญเสียความชื้น (สุพิศา, 2547)

2.8.2.2 ข้าวกล้อง หรือส่วนที่บริโภคได้ (Cargo Rice, Loonzain Rice, Brown Rice, Husked Rice) แบ่งออกเป็นชั้นต่างๆดังนี้

1. เปลือกหุ้มผล (Pericarp) มีประมาณร้อยละ 1-2 ของข้าวกล้อง (พีชยา, 2541) ประกอบด้วยเซลล์ที่มีรูปแท่งตามความยาวของผลที่มีผนังเซลล์บางเป็นชั้นนอก ชั้นถัดมามีรูปร่างหลายเหลี่ยม ซึ่งรูปร่างลักษณะของเซลล์เหล่านี้จะแตกต่างกันตามชนิดของธัญชาติ จำนวนชั้นก็อาจแตกต่างและคล้ายคลึงกันได้ เช่น ในข้าวสาลีจะมีชั้นเปลือกหุ้มผลที่บางคล้ายกระดาษ และจะหลุดออกได้ง่ายในกระบวนการทำความสะอาด ส่วนของข้าวจะอยู่ภายในเปลือกหุ้มแข็งต้องกะเทาะเปลือกนี้ออกจึงจะเห็นชั้นนี้ได้ (อรอนงค์, 2532) เป็นส่วนผิวนอกของข้าวกล้องที่พัฒนามาจากผนังรังไข่ของดอกข้าวหนาประมาณ 10 ไมโครเมตรและมีท่ออาหารอยู่ทางด้านหลัง (Dorsal) ของเมล็ด อาจมีสารที่มีสีอยู่ เช่น ข้าวแดง หรือข้าวเหนียวดำ (งามชื่น, 2539) องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกหุ้มผลส่วนใหญ่จะเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ให้โครงร่าง เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส เพนโทแซน นอกจากนี้ก็มีแร่ธาตุต่างๆ (เถ้า) โปรตีน และไขมัน เป็นต้น (อรอนงค์, 2532)

2. เปลือกหุ้มเมล็ด (Seed coat) และชั้นเยื่อโปร่งใส (Hyaline layer) มีประมาณร้อยละ 4-6 ของข้าวกล้อง เป็นส่วนที่อยู่ต่อจากชั้นเปลือกหุ้มผลเข้ามาภายในมีส่วนสารที่เป็นไข (Thick cuticle) เป็นเซลล์ชั้นเดียวมีความหนาประมาณ 0.5 ไมโครเมตร (พีชยา, 2541) มีผนังเซลล์บาง รูปร่างยาวรี อาจมีแถวเดียวหรือมากกว่าแถวเดียว เซลล์ชั้นในมีสารให้สีอยู่ด้วย ทำให้เปลือกหุ้มเมล็ดมีสีต่างๆ เช่น ขาว แดง ม่วงแดง ส้ม ดำ เป็นต้น มีคุณสมบัติในการป้องกันน้ำไม่ให้เข้าสู่ภายในเมล็ดส่วนชั้นเยื่อโปร่งใสจะอยู่ติดกับชั้นเปลือกหุ้มเมล็ด มีลักษณะโปร่งใส ในชั้นทั้งสองนี้นอกจากจะมีสารให้สีแล้วยังประกอบด้วยโปรตีน แร่ธาตุ เพนโทแซน เซลลูโลส และไขมันน้อยกว่าเปลือกหุ้มผล (อรอนงค์, 2532)

3. ชั้นแอลิวโรน (Aleurone layer) ชั้นแอลิวโรนหรือเยื่อหุ้มเนื้อเมล็ดมีลักษณะเป็นเซลล์รูปสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ มีผนังเซลล์หนา มีนิวเคลียสอยู่ตรงกลาง เป็นชั้นที่สำคัญอุดมไปด้วยองค์ประกอบทางเคมีหลายชนิด ภายในเซลล์แอลิวโรนยังมีเมล็ดแอลิวโรน (Aleurone grain) ขนาดเล็กอยู่มากมายซึ่งภายในเป็นกรดไฟติก (สารประกอบของธาตุฟอสฟอรัส) หรือมีเกลือโพแทสเซียมและแมกนีเซียม รวมทั้งโปรตีนอยู่ด้วยในข้าวมีเซลล์ในชั้นแอลิวโรนตั้งแต่ 1 ถึง 7 แถว ผนังหนาประกอบด้วยเมล็ดแอลิวโรน (แหล่งสะสมโปรตีนชนิดที่มีรูปร่างกลม) และไขมันที่มีขนาดกลม (อรอนงค์, 2532) เป็นชั้นที่ห่อหุ้มทั้งเนื้อเมล็ด เมื่อรวมกับเยื่อหุ้มเมล็ดมีประมาณร้อยละ 4-6 ของข้าวกล้อง (พีชยา, 2541)

4. เนื้อเมล็ด (Endosperm) มีประมาณร้อยละ 89-94 ของข้าวกล้อง (พีชยา, 2541) แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ติดกับชั้นแอลิวโรนเป็นเซลล์ที่มีผนังบางมีขนาดเล็กรูปลูกบาศก์ ส่วนที่อยู่ถัดไปจะมีรูปร่างเซลล์ยาวเป็นแนวรัศมีเข้าสู่จุดศูนย์กลางเมล็ด มีผนังเซลล์บาง ภายในเซลล์จะประกอบด้วยสตาร์ชและโปรตีนเป็นส่วนใหญ่ ข้าวมีเมล็ดสตาร์ชขนาดเล็กเป็นเหลี่ยมอยู่รวมกันเป็นกลุ่มถึง 150 เม็ด มองไม่เห็นไฮลัม เม็ดเกาะรวมกัน ขนาดเม็ดเดี่ยวมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2-12 ไมโครเมตร

โปรตีนที่พบในเซลล์เนื้อเมล็ดนั้น จะอยู่รวมกับเม็ดสตาร์ชใน 2 ลักษณะ คือ เกาะรวมกันเป็นรูปร่างกลม (Protein bodies) ซึ่งพบในชั้นติดกับแอลิวโรนของข้าว 3 แบบ คือ รวมตัว ขนาดกลมใหญ่ ขนาดกลมเล็ก และมีลักษณะเป็นผลึก ส่วนลักษณะของโปรตีนอีกลักษณะจะเกาะเกี่ยวเป็นร่างแหกับเม็ดสตาร์ช (อรอนงค์, 2532)

5. คัพภะ (Germ หรือ Embryo) คือ ส่วนที่เรียกว่าจมูกข้าว (ชาญ, 2536) มีประมาณร้อยละ 2-3 ของข้าวกล้อง (พีชยา, 2541) เป็นส่วนที่จะเจริญเป็นต้นอ่อนของเมล็ดหรือจุดกำเนิดของต้น จึงอยู่ด้านฐานใกล้กับรอยต่อของเมล็ด มีชั้นแอลิวโรนล้อมรอบอยู่ภายในคัพภะแบ่งเป็น 2 ส่วนใหญ่ คือ ส่วนสกูเทลลัม (Scutellum) ซึ่งเป็นเกราะป้องกันอยู่ระหว่างเนื้อเมล็ดกับคัพภะ และคัพภะที่พร้อมจะเจริญเป็นยอดอ่อน ต้น และรากของพืชต่อไป ทำให้ส่วนคัพภะนี้อุดมไปด้วยสารอาหาร แร่ธาตุ และวิตามิน เพื่อการเจริญเติบโตโดยเฉพาะโปรตีน (ในรูป Protein bodies) และไขมัน (ในรูป Lipid bodies) มีมากในคัพภะ และวิตามินบีหนึ่งมีมากในส่วนของสกูเทลลัม (อรอนงค์, 2532)

2.8.3 คุณภาพข้าว

มาตรฐานวัดคุณภาพของข้าวจะแตกต่างกันไปตามรสนิยมของผู้บริโภค ซึ่งนอกจากจะแตกต่างกันตามปัจจัยทางวัฒนธรรม และประวัติศาสตร์แล้ว ยังมีปัจจัยทางเศรษฐกิจเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย เพราะนอกจากข้าวสารพันธุ์ต่างๆกันจะหุงได้ข้าวสุกที่มีกลิ่น รสชาติ และลักษณะเมล็ดแตกต่างกันแล้วยังได้ข้าวสุกในปริมาตรต่างกันด้วย และแม้แต่ข้าวสารที่เป็นข้าวใหม่และข้าวเก่าของข้าวพันธุ์เดียวกันก็มักจะหุงได้ข้าวสุกที่มีกลิ่น รสชาติ ลักษณะเมล็ด และปริมาตรแตกต่างกันด้วย

ในด้านความนิยมในการบริโภคข้าวของคนไทยนั้น ในภาคเหนือคนพื้นเมืองส่วนใหญ่นิยมบริโภคข้าวเหนียวและไม่ค่อยบริโภคข้าวเจ้า ข้าวเหนียวที่นิยมบริโภคมักมีลักษณะเมล็ดยาวเรียว เมื่อหุงหรือนึ่งแล้วได้ข้าวนุ่มเหนียวและทิ้งไว้ได้นาน โดยสามารถนึ่งทิ้งไว้ในตอนเช้าแล้วถึงเวลาตอนเย็นข้าวเหนียวจะยังไม่แข็ง ตัวอย่างข้าวเหนียวพันธุ์ที่มีลักษณะเช่นนี้ ได้แก่ ข้าวเหนียวสันป่าตอง สำหรับชาวไทยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือเฉพาะทางตอนเหนือๆของภาคก็มีรสนิยมคล้ายคลึงกับทางภาคเหนือ กล่าวคือ ชอบบริโภคข้าวเหนียวมากกว่าข้าวเจ้า และลักษณะข้าวเหนียวที่นิยมบริโภคนั้นก็คล้ายคลึงกับภาคเหนือ สำหรับภาคกลางนั้นจะนิยมบริโภคข้าวเจ้าที่มีลักษณะอ่อนนุ่มและมีกลิ่นหอม แต่ทางภาคใต้ส่วนใหญ่นิยมบริโภคข้าวค่อนข้างร่วนแต่ไม่แข็งและมักไม่นิยมบริโภคข้าวหอมมะลิซึ่งจัดเป็นข้าวอ่อน และหุงไม่ขึ้นหม้อ (ได้ปริมาตรข้าวสุกน้อย) ข้าวหอมมะลิซึ่งมีความอ่อนนุ่มมีกลิ่นหอมแต่มีราคาแพงกว่า และหุงไม่ขึ้นหม้อจึงนิยมบริโภคเฉพาะในกลุ่มคนที่มีฐานะดี

รสนิยมในการบริโภคของผู้บริโภคข้าวในต่างประเทศมีความแตกต่างกันออกไป เนื่องจากรสนิยมของผู้บริโภคขึ้นกับปัจจัยหลายประการ ซึ่งรวมถึงปัจจัยทางเศรษฐกิจ สังคม วัฒนธรรม หรือแม้แต่ปัจจัยทางประวัติศาสตร์ ดังนั้นข้าวที่มีมาตรฐานสูงในที่แห่งหนึ่งอาจจะมีมาตรฐานต่ำในที่อีกแห่งหนึ่ง ถึงแม้ว่าผู้บริโภคจะมีความมั่นใจว่าคุณภาพข้าวที่ตนต้องการควรจะเป็นอย่างไร แต่ในการซื้อขาย และในการวิเคราะห์วิจัย การบรรยายคุณภาพของข้าวจะต้องมีความชัดเจนมากกว่านี้ จึงอาจกำหนดคุณภาพของข้าว โดยพิจารณาคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมี (ซึ่งมีส่วนสำคัญในการกำหนดคุณภาพการหุงของข้าว) คุณสมบัติเหล่านี้ (โดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณสมบัติทางกายภาพของข้าว) มักใช้ในการกำหนดมาตรฐานในการซื้อขายข้าวทั้งในประเทศและในตลาดโลก (อัมมาร และวิโรจน์, 2533)

2.8.3.1 คุณภาพเมล็ดข้าวทางกายภาพ

คุณภาพเมล็ดข้าวทางกายภาพ หมายถึง คุณสมบัติต่างๆของเมล็ดข้าวที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตา หรือชั่ง ตวง วัดได้ เช่น น้ำหนักเมล็ด (Grain weight) สีข้าวกล้อง (Pericarp color) สีข้าวเปลือก (Hull color) ขนาดรูปร่างเมล็ด (Grain dimension) ลักษณะท้องไข่ (Chalkiness) ความใสของเมล็ด (Grain translucency) ความขาวของข้าวสาร (Whiteness of milled rice) และคุณภาพการสี (Milling quality) (เครือวัลย์, 2534)

1. น้ำหนักเมล็ด เป็นลักษณะที่คงที่มากที่สุด และควบคุมโดยพันธุกรรมเป็นส่วนใหญ่ น้ำหนักเมล็ดจะแปรไปตามขนาดและรูปร่างของเมล็ด ความชื้น ชนิดของดิน การใส่ปุ๋ยและสภาพภูมิอากาศก็มีผลกระทบต่อน้ำหนักเมล็ดด้วย จากการตรวจสอบน้ำหนักข้าวเปลือก 100 เมล็ดของพันธุ์ข้าวไทยจำนวน 344 พันธุ์ พบว่ามีน้ำหนักแปรปรวนระหว่าง 1.16-4.17 กรัม ข้าวพันธุ์ดีของไทยที่รัฐบาลส่งเสริมให้ปลูกจะมีน้ำหนักเมล็ด 100 เมล็ดระหว่าง 2.25-3.67 กรัม (เครือวัลย์, 2534) น้ำหนักเมล็ดสามารถประเมินได้ 2 รูปแบบ คือ

- น้ำหนักต่อปริมาตร ประเมินเป็น กรัมต่อลิตร หรือกิโลกรัมต่อถัง
- น้ำหนักต่อจำนวนเมล็ด ประเมินเป็น น้ำหนัก 100 เมล็ด หรือน้ำหนัก 1,000 เมล็ด (กัญญา, 2545)

สุพิศา (2547: 15 อ้างจาก Webb, 1980) กล่าวว่า น้ำหนักเมล็ด หมายถึง น้ำหนักเป็นกรัมของเมล็ดข้าว 100 หรือ 1,000 เมล็ด ซึ่งมีลักษณะแตกต่างกันตามขนาดและรูปร่างของเมล็ด ถ้าเป็นข้าวเปลือกเมล็ดสั้นในจำนวน 1,000 เมล็ด จะมีน้ำหนัก 20-23 กรัม และข้าวกล้องเมล็ดสั้น 1,000 เมล็ด จะมีน้ำหนัก 16-20 กรัม ส่วนข้าวขัดขาวเมล็ดสั้น 1,000 เมล็ด จะมีน้ำหนัก 15-18 กรัม ในขณะที่ข้าวเปลือก ข้าวกล้องและข้าวขัดขาวเมล็ดปานกลาง 1,000 เมล็ด จะมีน้ำหนัก 23-25 18-22 และ 17-21 กรัมตามลำดับ สำหรับข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวขัดขาวเมล็ดยาว 1,000 เมล็ด จะมีน้ำหนัก 26-30 22-24 และ 20-23 กรัมตามลำดับ

2. สีข้าวเปลือก เป็นลักษณะประจำพันธุ์ ซึ่งมีส่วนในการตั้งชื่อพันธุ์ในอดีต เช่น ขาวพวง ขาวนางเนย เนื่องจากมีเปลือกสีฟางหรือสีขาว เหลืองหอม เหลืองข้างรั้ว เนื่องจากมีเปลือกสีน้ำตาลหรือสีเหลือง เป็นต้น เปลือกเมล็ดข้าวจะมีผลต่อสีของข้าวสารนึ่ง คือ เมล็ดข้าวเปลือกที่มีสีเข้ม ข้าวสารนึ่งก็จะมีสีเข้มด้วย สีข้าวเปลือกที่พบจะมีสีขาว (White) ฟาง (Straw) น้ำตาลอ่อน

ถึงเข้ม (Light to dark brown) ร่องน้ำตาล (Brown furrow) กระน้ำตาล (Brown spot) น้ำตาลแดง (Raddish brown) ม่วง (Purple) และดำ (Black) เป็นต้น (กัญญา, 2545)

3. สีข้าวกล้อง เกิดจากสารสีที่เยื่อหุ้มผล (Pericarp) ส่วนเนื้อในเมล็ดของข้าวทุกชนิดมีสีขาวเสมอ จากการสำรวจพันธุ์ข้าวต่างๆในธนาคารเชื้อพันธุ์ข้าวของศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี พบว่าข้าวกล้องมี 4 สี คือ ขาว น้ำตาล แดง และดำ(ม่วง) ส่วนใหญ่มีสีขาว ข้าวกล้องที่มีสีแดง และม่วงมีสารสีพวกแอนโธไซยานิน (Anthocyanin pigment) ข้าวกล้องที่มีสีเข้มต้องใช้เวลาในการขัดรำนานหรือใช้แรงกดมากเพื่อทำให้ส่วนของรำที่เป็นสีเข้มหลุดออกเป็นผลทำให้ข้าวหักมาก มีปริมาณข้าวสารน้อย ดังนั้นข้าวกล้องที่มีสีอ่อนจึงเป็นที่นิยม เช่น สีขาว หรือน้ำตาล (เครือวัลย์, 2534)

4. ขนาดรูปร่างของเมล็ด หมายถึง ความยาว ความกว้าง ความหนา และความป้อม หรือเรียวของเมล็ด ข้าวพวกอินดิกาจะมีรูปร่างเมล็ดเรียว ค่อนข้างป้อม ข้าวพวกจาวานิกามีเมล็ดกว้างและหนา ส่วนข้าวพวกจาปอนิกามีเมล็ดสั้น และกลม (เครือวัลย์, 2534)

5. ความใสของเมล็ด ความใสหรือขุ่นของเมล็ด หมายถึงความทึบแสง(Opaque) หรือความใส (Translucence) ของเนื้อเมล็ด ซึ่งจะสังเกตความแตกต่างได้ในข้าวเจ้า ส่วนในเมล็ดข้าวเหนียวจะมีลักษณะขุ่นอย่างเดียว (เครือวัลย์, 2534)

6. ความขาวของข้าวสาร ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ระดับการสี (Degree of milling) ซึ่งเป็นตัวกำหนดเกรดของข้าว อายุการเก็บข้าว โดยข้าวที่เก็บไว้นานๆจะมีสีคล้ำกว่าข้าวใหม่ นอกจากนั้นยังพบว่า ข้าวสารที่มีโปรตีนสูงจะมีสีคล้ำกว่าข้าวโปรตีนต่ำ (เครือวัลย์, 2534)

7. คุณภาพการสี ปริมาณข้าวสาร และต้นข้าวที่ได้จากการสีข้าวเปลือกเป็นสิ่งที่บ่งบอกถึงคุณภาพการสี ซึ่งการทดสอบมีขั้นตอน ดังนี้

7.1 ทำความสะอาดข้าวเปลือก โดยใช้เครื่องเป่า

7.2 กะเทาะเปลือกออก โดยใช้เครื่องกะเทาะเปลือกข้าวและแยกแกลบออก

7.3 ขัดข้าวกล้องเป็นข้าวสาร โดยใช้เครื่องสีขนาดเล็กจะได้ข้าวสาร

7.4 แยกหาปริมาณต้นข้าวและข้าวหัก ด้วยเครื่องแยกเมล็ด และคัดด้วยมือซ้ำอีกครั้งหนึ่ง

การตรวจสอบคุณภาพการสีมักกระทำเมื่อได้ข้าวสายพันธุ์ดีเด่น ซึ่งมีลักษณะคงที่ และข้อมูลที่ได้นำไปใช้ประกอบการพิจารณาพันธุ์ ในการคัดข้าวเปลือก ข้าวส่วนใหญ่มีปริมาณแกลบประมาณร้อยละ 20-22 ปริมาณแกลบของข้าวพันธุ์ต่างๆ อาจแตกต่างกันตั้งแต่ร้อยละ

18-26 ปริมาณรำถูกขัดออกประมาณร้อยละ 8-10 ที่เหลือเป็นข้าวสารประมาณร้อยละ 70 ในส่วนของข้าวสารจะมีต้นข้าว (เมล็ดที่มีขนาดยาวกว่า 8/10 ส่วนของข้าวเต็มเมล็ด) และข้าวหักปนอยู่ ข้าวที่มีคุณภาพการสีดีควรสีได้ต้นข้าวไม่น้อยกว่าร้อยละ 45-50 ขึ้นไป พันธุ์ข้าวที่มีขนาดเมล็ดยาวหรือเมล็ดยาวที่มีรูปร่างป้อมและเมล็ดมีท้องไข่มาก มักมีต้นข้าวต่ำเมื่อผ่านการสี เช่น พันธุ์ข้าวขึ้นน้ำส่วนใหญ่มีท้องไข่มาก และมีคุณภาพการสีต่ำ นอกจากนี้พันธุ์ข้าวที่มีรูปร่างเมล็ดผิดปกติ เช่น ปลายแหลมมาก มีคัพภะหรือจมูกข้าวใหญ่จะหักง่ายในระหว่างการสี พันธุ์ข้าวที่มีเปลือกบางย่อมสีได้ข้าวสารมาก การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว เช่น การนวด การแตกแห้ง ที่ทำให้เมล็ดข้าวเกิดการเปลี่ยนแปลงรวดเร็วเกินไปก็ทำให้เมล็ดข้าวร้าวก่อนสี และทำให้คุณภาพการสีต่ำ การสีข้าวที่มีความชื้นสูงก็ทำให้เมล็ดหักง่ายเช่นกัน (งามชื่น, 2542)

2.8.3.2 คุณภาพเมล็ดข้าวทางเคมี

คุณภาพเมล็ดข้าวทางเคมี หมายถึง สัดส่วน และองค์ประกอบทางเคมีที่มีผลต่อคุณภาพข้าวสุก โดยมีผลทำให้ข้าวสุกนั้น นุ่ม เหนียว หรือร่วนขึ้นหม้อ ซึ่งคุณภาพข้าวสุกนี้จะขึ้นอยู่กับคุณภาพเมล็ดทางเคมี คือ สัดส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน ความคงตัวของแป้งสุก อุณหภูมิของแป้งสุก การยืดตัวของเมล็ดข้าวสุก โปรตีน ความชื้น และการเก็บรักษา (งามชื่น, 2531)

1. สัดส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน สตาร์ชข้าวที่มีอะไมโลเพคตินเป็นองค์ประกอบหลัก และมีอะไมโลสเป็นองค์ประกอบรอง อัตราส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ข้าวสุกมีคุณสมบัติแตกต่างกัน ข้าวที่มีอะไมโลสสูงจะดูดน้ำและขยายปริมาตรในระหว่างการหุงต้มได้มากกว่าข้าวอะไมโลสต่ำ ทำให้ข้าวสุกมีลักษณะทึบแสง ไม่เลื่อมมัน แข็ง และข้าวสุกขยายตัวตามปริมาตรได้มากกว่าหรือที่เรียกกันว่าหุงขึ้นหม้อ ส่วนความนุ่มและความเหนียวของข้าวสุกจะขึ้นกับสัดส่วนอะไมโลเพคตินในสตาร์ช ข้าวเหนียวมักจะมีอะไมโลเพคตินเกือบทั้งหมด ทำให้ดูดน้ำและขยายตัวน้อยกว่าข้าวเจ้า ข้าวสุกที่ได้จะเหนียวและนุ่มกว่า (งามชื่น, 2531) ข้าวสามารถแบ่งประเภทตามปริมาณอะไมโลสดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 การแบ่งประเภทข้าวตามปริมาณอะไมโลส

ประเภทข้าว	ปริมาณอะไมโลส	ลักษณะข้าวสุก
ข้าวเหนียว	1-2	เหนียวมาก
ข้าวเจ้าอะไมโลสต่ำมาก	2-9	เหนียว นุ่ม
ข้าวเจ้าอะไมโลสต่ำ	9-20	เหนียว นุ่ม
ข้าวเจ้าอะไมโลสปานกลาง	20-25	นุ่มค่อนข้างเหนียว
ข้าวเจ้าอะไมโลสสูง	25-33	ร่วน แข็ง

ที่มา: สุพิศา, 2547

2. ความคงตัวของแป้งสุก (Gel consistency) แม้ว่าปริมาณอะไมโลสจะเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ข้าวมีคุณภาพการหุงต้มและรับประทานแตกต่างกัน แต่ในข้าวบางพันธุ์แม้จะมีอะไมโลสใกล้เคียงกัน ข้าวสุกก็ยังมีคุณภาพแตกต่างกันบ้าง ทั้งนี้เนื่องจากข้าวสุกเมื่อเย็นแล้วมีความแข็งหรือความคงตัวแตกต่างกัน ข้าวที่มีความคงตัวของแป้งสุกอ่อนจะนุ่มกว่าข้าวพันธุ์ที่มีความคงตัวของแป้งสุกแข็ง (งามชื่น, 2531)

3. อุณหภูมิของแป้งสุก (Gelatinization temperature) หมายถึง อุณหภูมิที่เม็ดสตาร์ชเริ่มพองในน้ำร้อน และเปลี่ยนจากลักษณะทึบแสงเป็นโปร่งใส อุณหภูมิแป้งสุกมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาในการหุงต้ม ถ้าข้าวมีอุณหภูมิแป้งสุกสูงจะหุงสุกช้ากว่าข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ (งามชื่น, 2531) แม้ว่าระยะเวลาหุงต้มจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิแป้งสุกก็ตาม แต่ความกว้างและความหนาของเมล็ดข้าวก็มีผลต่อเวลาหุงต้มด้วย ข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกเท่ากันแต่มีเมล็ดหนากว่าจะใช้เวลาหุงต้มนานกว่า เมล็ดข้าวจึงดูดน้ำได้มากทำให้ข้าวสุกมีลักษณะแฉะ ดังนั้นข้าวเหนียวหรือข้าวอะไมโลสต่ำควรมีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำจึงมีคุณภาพดี สำหรับข้าวเจ้าอะไมโลสปานกลางหรือสูงจะไม่เกิดปัญหาดังกล่าว (เครือวัลย์, 2534)

4. การสลายของเมล็ดข้าวในด่าง (Alkali spreading value) วิเคราะห์ได้โดยการแช่เมล็ดข้าว 10 เมล็ด ในสารละลายโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 1.7 และประเมินค่าการสลายของเมล็ดหลังจากการแช่ 23 ชั่วโมง พบว่าเมื่อระดับการสลายตัวสูงทำให้เวลาในการหุงต้มน้อยกว่าระดับการสลายตัวของเมล็ดข้าวต่ำ สุพิศา (2547: 18 อ้างจาก Little *et al.,* 1958)

5. การยืดตัวของเมล็ดข้าวสุก (Elongation) ในระหว่างการหุงต้มเมล็ดข้าวจะขยายตัวออกรอบด้านโดยเฉพาะด้านยาว โดยทั่วไปผู้บริโภคนิยมข้าวพันธุ์ที่ยืดตัวได้มากกว่าข้าวพันธุ์ที่ยืดตัวได้น้อย (ข้าวสุกที่ยืดตัวได้มากและไม่เหนียวติดกันจัดเป็นข้าวที่หุงขึ้นหม้อ) นอกจากนี้การที่เมล็ดขยายตัวได้มากทำให้เนื้อภายในโปร่งไม่อัดแน่น และช่วยให้ข้าวนุ่มมากขึ้น (ลินดา, 2537)

6. โปรตีน ในเมล็ดข้าวมีโปรตีนอยู่ประมาณร้อยละ 9.8 ซึ่งถือว่าน้อย แต่ก็มีผลกระทบต่อคุณภาพการหุงต้มและรับประทานเช่นกัน ปริมาณโปรตีนจะมีความสัมพันธ์กับเวลาในการหุงต้ม กล่าวคือทำให้ระยะเวลาหุงต้มข้าวสุกนานขึ้นเมื่อปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้น เนื่องจากโปรตีนเป็นตัวขัดขวางการซึมผ่านของน้ำเข้าไปในเมล็ด และโปรตีนยังมีความสัมพันธ์กับการดูดซึมน้ำของเมล็ด ความนุ่ม และความเหนียว กล่าวคือทำให้เมล็ดดูดซึมน้ำได้น้อยลง ข้าวสุกมีความนุ่มและความเหนียวลดลง (ลินดา, 2537) นอกจากนี้ข้าวที่มีปริมาณโปรตีนสูงจะมีอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนเซชันสูงกว่าข้าวที่มีโปรตีนต่ำ สุพิศา (2547: 18 อ้างจาก Marshall and Wadsworth, 1994) โปรตีนส่วนใหญ่ในเมล็ดข้าวเป็นกลูเตลิน (Glutelin) โดยมีมากกว่าร้อยละ 80 ของโปรตีนทั้งหมดในข้าวเป็นโปรตีนที่ละลายในด่าง การเพิ่มปริมาณโปรตีนส่งผลให้ปริมาณกลูเตลินเพิ่มขึ้น เมื่อวิเคราะห์หากรดอะมิโนระหว่างข้าวเจ้า และข้าวเหนียว พบว่าไม่แตกต่างกัน แสดงว่าลักษณะยีนข้าวเจ้าหรือข้าวเหนียวไม่มีผลต่อโครงสร้างของโปรตีน สุพิศา (2547: 19 อ้างจาก Juliano, 1972) นอกจากนี้ข้าวโปรตีนสูงยังทำให้เมล็ดแกร่งขึ้น ทำให้ขัดสีออกได้ยาก จึงอาจมีระดับการสีต่ำกว่า (มีรำเหลืออยู่มาก) และทำให้ข้าวสุกนั้นเหนียวน้อยลงและมีสีคล้ำ อย่างไรก็ตามหากทำการสีข้าวให้มีระดับสีมากขึ้นแล้ว ข้าวโปรตีนสูงอาจมีสีคล้ำกว่าข้าวโปรตีนต่ำ จากการศึกษาผลการใช้ปุ๋ยต่อคุณภาพข้าว พบว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนซึ่งทำให้โปรตีนในเมล็ดข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 สูงขึ้น ข้าวสุกมีสีคล้ำขึ้น ข้าวมีความนุ่มลดลงเมื่อเมล็ดข้าวสารมีโปรตีนถึงร้อยละ 10 และหากโปรตีนสูงถึงร้อยละ 12 ความเหนียวของข้าวจะลดลงด้วย (งามชื่น, 2545)

7. ความชื้น ความชื้นในเมล็ดข้าวจะมีผลต่อการที่ข้าวหุงขึ้นหม้อ และความร่วนของข้าวเช่นกัน ข้าวที่มีความชื้นต่ำซึ่งส่วนใหญ่เป็นข้าวเก่าจะหุงขึ้นหม้อและมีความร่วนมากกว่าข้าวที่มีความชื้นสูงหรือข้าวใหม่ ในประเทศไทยผู้บริโภคข้าวเจ้านิยมบริโภคข้าวเก่าซึ่งหุงขึ้นหม้อดีกว่าและราคาข้าวเก่าจะสูงกว่าข้าวใหม่ นอกจากนี้ความชื้นในข้าวยังเป็นปัจจัยที่มีผลการเก็บรักษาข้าว ถ้าเมล็ดข้าวมีความชื้นสูงทำให้เชื้อราและจุลินทรีย์ต่างๆเจริญเติบโตได้ ข้าวจะเสื่อมคุณภาพในระยะเวลาอันสั้น ดังนั้นมาตรฐานข้าวของประเทศต่างๆ จึงได้กำหนดระดับความชื้นของข้าวไว้ เช่น ประเทศไทยกำหนดความชื้นไม่เกินร้อยละ 14 สำหรับประเทศที่มีอากาศหนาวเย็นระดับความชื้นอาจสูงถึงร้อยละ 16 (ลินดา, 2537)

8. การเก็บรักษา การเปลี่ยนแปลงจะเกิดขึ้นภายหลังการเก็บเกี่ยว 3-4 เดือน เนื่องจากปริมาณความชื้นลดลงทำให้มีผลต่อคุณสมบัติข้าวสุก คือ ทำให้ข้าวสุกแข็งและร่วนมากขึ้น ข้าวสุกขยายปริมาตรได้มากขึ้นหรือหุงขึ้นหม้อ เมล็ดข้าวจะดูดน้ำได้มากขึ้น น้ำข้าวจะใสขึ้น และใช้เวลาหุงต้มให้สุกนานขึ้นเล็กน้อย เมื่อต้มสุกจะไม่ค่อยแตกตัวออก สุพิศา (2547: 19 อ้างจาก Desikachar, 1956)

2.8.4 คุณค่าทางโภชนาการของข้าว

เมล็ดข้าวเป็นแหล่งอาหารที่ให้ปริมาณสารอาหารค่อนข้างสูง ส่วนประกอบทางเคมีของข้าวจะผันแปรไปตามลักษณะพันธุกรรมของข้าวพันธุ์ต่างๆและสภาพแวดล้อม เช่น ลักษณะพื้นที่ปลูก ฤดูกาล ปริมาณการใส่ปุ๋ย คุณภาพการสี และสภาพการเก็บรักษา แต่โดยทั่วไปเมล็ดข้าวสารจะประกอบด้วยส่วนของแป้งพวกอะไมโลส และอะไมโลเพคตินในสัดส่วนที่แตกต่างกัน ไม่ทำให้คุณค่าทางโภชนาการของข้าวแตกต่างกัน แต่ทำให้คุณภาพการหุงต้มและการบริโภคต่างกัน (ประณีต, 2531) ข้าวเป็นแหล่งสำคัญของแป้งและพวกคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อน (ศิริวรรณ, 2545) นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งสารอาหารโปรตีนสำคัญของคนเอเชียอีกด้วย จากการศึกษาของนักโภชนาการพบว่าโดยปกติคนที่บริโภคข้าวปีละ 150 กิโลกรัมจะได้รับสารอาหารโปรตีนจากข้าวประมาณร้อยละ 40-70 ของจำนวนสารอาหารโปรตีนทั้งหมดที่จำเป็นในการดำรงชีวิต โปรตีนในข้าวมีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าโปรตีนจากข้าวสาลี ข้าวโพด และข้าวฟ่าง เนื่องจากมีส่วนประกอบของไลซีน (Lysine) ที่เป็นกรดอะมิโนจำเป็นอยู่ประมาณร้อยละ 4 ของโปรตีนทั้งหมด และปริมาณที่สูงกว่าสารอาหารโปรตีนในข้าวโพด 2 เท่า นอกจากนี้ยังมีกรดอะมิโนที่สำคัญอีก 2 ชนิด คือ ทรีโอนีน (Threonine) และเมไทโอนีน (Methionine) สูงกว่าในข้าวโพด ข้าวฟ่างและข้าวสาลี รวมทั้งมี

สารอาหารพวกไทอะมีน (Thiamine) ไรโบเฟลวิน (Riboflavin) และไนอะซิน (Niacin) เป็นส่วนประกอบอีกด้วย สารอาหารที่มักมีไม่เพียงพอในข้าวได้แก่ วิตามินเอ ดี และซี สารพวกนี้จะมีอยู่มากในส่วนรำข้าว เมื่อเวลาเมล็ดข้าวถูกสี และขัด จะทำให้วิตามินเหล่านี้หลุดออกไปด้วย ทำให้ในข้าวกล้องและข้าวนึ่งมีวิตามินเอ ดี และซี อยู่ในปริมาณสูงกว่าข้าวสาร (ปราณีต, 2531) นอกจากนี้ในข้าวยังมีไขมัน ซึ่งส่วนมากเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัว เช่น ลิโนเลอิค (Linoleic acid) ซึ่งเพิ่มภูมิคุ้มกัน และมีแร่ธาตุสำคัญหลายชนิดในปริมาณสูง เช่น แคลเซียม เหล็ก แมกนีเซียม และไอโอดีน เมื่อเทียบคุณค่าของข้าวกล้องกับข้าวขาว พบว่าข้าวกล้องมีโปรตีนสูงกว่า รวมทั้งวิตามิน เกลือแร่หลายชนิดสูงกว่าข้าวขาว เช่น วิตามินบี 1 สูงกว่า 4 เท่า แคลเซียม แมกนีเซียม และเหล็กสูงกว่า 2 เท่า (ศิริวรรณ, 2545) คุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้อง และข้าวขาวแสดงไว้ในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 คุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้องและข้าวขัดขาวที่ความชื้นร้อยละ 12

คุณค่าทางโภชนาการ	**ข้าวกล้อง**	**ข้าวขัดขาว**
เถ้าหยาบ (%)	1.0	0.5
ไขมันหยาบ (%)	1.9	0.3
เส้นใยหยาบ (%)	0.7	0.3
โปรตีน (%)	7.2	5.8
สตาร์ช (%)	57.0	67.0
แคลเซียม (มิลลิกรัม / กรัม)	0.3	0.2
เหล็ก (ไมโครกรัม / กรัม)	24.0	13.0
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม / กรัม)	2.5	1.2
โพแทสเซียม (มิลลิกรัม / กรัม)	1.7	1.0
โซเดียม (ไมโครกรัม / กรัม)	315.0	45.0
ไนอะซิน (ไมโครกรัม / กรัม)	43.0	18.0
ไรโบเฟลวิน (ไมโครกรัม / กรัม)	0.9	0.4
ไทอะมีน (ไมโครกรัม / กรัม)	4.5	1.8
ไพริดอกซิน (ไมโครกรัม / กรัม)	11.2	6.2

ที่มา: พีชยา, 2541

นันทยา (2550) ศึกษาปริมาณวิตามินบี 1 และวิตามินบี 2 ในข้าวหอมมะลิ ข้าวเหนียวและข้าวมันปู รวมทั้งอาหารสุขภาพจากจมูกข้าวและรำข้าว นอกจากนี้ได้ศึกษาเปรียบเทียบปริมาณวิตามินบี 1 ในข้าวที่เหลือจากการสูญเสียเนื่องจากการทำให้สุก จากการศึกษาวิจัยพบว่าข้าวที่ผ่านการสีในระดับต่ำ เช่น ข้าวกล้อง ข้าวมันปู และข้าวซ้อมมือ ปริมาณวิตามินบี1 และวิตามินบี 2 เท่ากับ 0.34-0.61 และ 0.11-0.18 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ ในขณะที่ข้าวที่ผ่านการสีและขัดหลายๆครั้งมีปริมาณวิตามินบี 1 เท่ากับ 0.08-0.28 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม และวิตามินบี 2 เท่ากับ 0.02-0.09 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ส่วนในข้าวเหนียวแต่ละชนิดจะมีปริมาณวิตามินทั้งสองชนิดไม่แตกต่างกันมากนัก คือ มีปริมาณวิตามินบี 1 และวิตามินบี 2 เท่ากับ 0.06-0.11 และ 0.04-0.06 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบการสูญเสียวิตามินบี 1 ภายหลังการทำให้สุก โดยคิดจากปริมาณข้าวดิบ 302.37 กรัม (ปริมาณการบริโภคข้าวของคนไทยต่อคนต่อวัน) พบว่า การทำให้สุกไม่ว่าโดยวิธีหุงข้าวแบบไม่เช็ดน้ำ หรือเช็ดน้ำไม่มีข้าวชนิดไหนที่จะมีวิตามินบี 1 เหลืออยู่ในปริมาณที่พอเพียงกับความต้องการตามปริมาณสารอาหารที่ควรได้รับประจำวัน (Recommended Dietary Allowance หรือ RDA) กำหนดเอาไว้ได้อย่างไรก็ตามการหุงข้าวโดยวิธีไม่เช็ดน้ำในกลุ่มข้าวที่ขัดสีน้อยยังคงมีวิตามินบี 1 ในปริมาณที่มากกว่าข้าวขัดขาวโดยทั่วไปอยู่มาก โดยมีปริมาณเท่ากับ 0.52-0.93 มิลลิกรัม ในขณะที่ข้าวขัดขาว หรือข้าวที่ขัดสีมากๆ และผ่านการหุงโดยวิธีเช็ดน้ำจะมีวิตามินบี 1 เหลืออยู่เพียง 0.04-0.12 มิลลิกรัมเท่านั้น สำหรับในข้าวเหนียวภายหลังการแช่ค้างคืนแล้วนึ่งสุกแล้วจะมีวิตามินบี 1 น้อยมาก คือ จะเหลือเพียง 0.08-0.13 มิลลิกรัม สำหรับการศึกษาวิจัยปริมาณวิตามินทั้ง 2 ตัวนี้ในอาหารสุขภาพจำพวกจมูกข้าวและรำข้าว พบว่า มีปริมาณวิตามินบี 1 และวิตามินบี 2 สูงมาก คือ 2.14-3.40 และ 0.99-1.33 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ

เทวี และพัชรินทร์ (2551: 12 อ้างจาก Xia *et al.*, 2003) ศึกษาปริมาณวิตามินชนิดต่างๆ ของข้าวสีดำเปรียบเทียบกับข้าวขาวด้วยเทคนิค HPLC ผลการศึกษาพบว่าข้าวดำมีปริมาณวิตามินบี 1 วิตามินบี 2 วิตามินบี 3 และวิตามินอีเท่ากับ 2.30 0.40 21.00 และ 0.60 ยูนิตต่อ 100 กรัมตัวอย่าง ในขณะที่พบวิตามินดังกล่าวในข้าวขาวในปริมาณที่ต่ำกว่า

เทวี และพัชรินทร์ (2551: 12 อ้างจาก Xia *et al.*, 2003) ศึกษาปริมาณแร่ธาตุของข้าวสีดำเปรียบเทียบกับข้าวขาว โดยใช้เทคนิค Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) ผลการทดลองพบว่าข้าวดำมีปริมาณฟอสฟอรัส แคลเซียม โพแทสเซียม เหล็ก สังกะสี ทองแดง และซีลีเนียมสูงกว่าข้าวขัดขาว โดยมีค่าเท่ากับ 1694.10 60.20 673.70 16.46 8.96 1.49 และ 0.15 หน่วยต่อ 100 กรัมตัวอย่าง ในขณะที่ข้าวขาวมีแมกนีเซียม โซเดียมสูงกว่าข้าวสีดำ โดยมีค่าเท่ากับ 80.40 และ 4.35 หน่วยต่อ 100 กรัมตัวอย่าง

2.9 รงควัตถุที่ทำให้เกิดสีในข้าว

รงควัตถุที่ทำให้เกิดสีในพืช แบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆดังนี้ คือ คลอโรฟีลล์ (chlorophyll) มีสีเขียว แคโรทีนอยด์ (carotenoid) มีสีเหลืองจนถึงแดง และฟลาโวนอยด์(flavonoid) โดยมีรงควัตถุที่สำคัญ คือ แอนโธไซยานิน (anthocyanin) มีตั้งแต่สีแดงจนถึงสีม่วงหรือสีน้ำเงิน (ดำเนิน และคณะ, 2543) พบว่าโดยส่วนใหญ่แล้วรงควัตถุหลักที่มีอยู่ในเมล็ดข้าวที่มีสี คือ แอนโธไซยานิน ซึ่งจะสะสมอยู่ในส่วนผิวเมล็ด บริเวณเปลือกเมล็ดจนถึงเยื่อหุ้มเมล็ดชั้นใน สุพิศา (2547 : 36 อ้างจาก Koh *et.al*., 1996)

รงควัตถุกลุ่มนี้จะให้สีบนต้นข้าวแตกต่างกันไป ตั้งแต่สีชมพูจนถึงสีม่วงดำ และมีการกระจายรงควัตถุไปตามส่วนต่างๆ ของต้นข้าวแตกต่างกันตามสายพันธุ์ ส่วนใหญ่จะพบรงควัตถุและให้สีในทุกส่วนของต้นข้าวที่เป็นลำต้น และใบ (vegetative part) และเกือบทุกส่วนของช่อดอก (floral part) ยกเว้นในส่วนของเอมบริโอ (embryo) หรือเอนโดสเปิร์ม (endosperm) ที่ไม่พบการกระจายของรงควัตถุ โครงสร้างของแอนโธไซยานินจะเปลี่ยนแปลงไป เมื่อค่าพีเอช (pH)เปลี่ยนไป ถ้าพีเอชเท่ากับ 1 หรือต่ำกว่า 1 จะให้สีส้มแดง ถ้าพีเอชน้อยกว่า 6 จะไม่มีสี ถ้าพีเอชมากกว่า 6 จะให้สีน้ำเงินถึงม่วง แอนโธไซยานินสามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายที่มีขั้ว เช่น แอลกอฮอล์ และสามารถละลายได้ในน้ำ โดยทั่วไปแล้วลักษณะของการแสดงออกของสีในพืชจะเป็นการแสดงออกที่คงที่มากกว่าลักษณะพื้นฐานอื่นๆ ที่เป็นลักษณะคุณภาพ (qualitative characters) ถึงอย่างไรก็ตามยังคงมีเงื่อนไขของสิ่งแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อการปรากฏของสี เช่น ระยะของการเจริญเติบโต (growth stage) อุณหภูมิ หรือแสงอาทิตย์ ซึ่งปัจจัยเหล่านี้มีผลกระทบต่อการสังเคราะห์ และการสลายตัวของแอนโธไซยานิน ทำให้ปริมาณแอนโธไซยานิน และความเข้มข้นของสีปรากฏเปลี่ยนไป (ดำเนิน และคณะ, 2543)

ข้าวมีสีหรือข้าวที่มีรงควัตถุ (Pigmented rice) หมายถึง ข้าวที่มีรงควัตถุหรือสารให้สีกระจายอยู่ในส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ด ทำให้เมล็ดข้าวกล้องมีสีตามธรรมชาติที่แตกต่างกัน เช่น สีแดง สีม่วง หรือ สีน้ำตาลแดง รงควัตถุที่ให้สีที่อยู่ในเยื่อหุ้มเมล็ด คือ กลุ่มของแอนโธไซยานิน (Anthocyanin) ซึ่งจะสะสมอยู่ในส่วนผิวเมล็ดบริเวณเปลือกเมล็ดจนถึงเยื่อหุ้มเมล็ดชั้นใน เทวี และพัชรินทร์ (2551: 4 อ้างจาก Koh *etal*., 1996) โดยสามารถยับยั้งปฏิกิริยาของอนุมูลอิสระซึ่งเป็นสาเหตุหลักของการเกิดโรคหลอดเลือดอุดตัน และมะเร็ง ตัวอย่างข้าวมีสี เช่น พันธุ์สังข์หยด พันธุ์หอมกระดังงา พันธุ์ข้าวหอมกุหลาบแดง นอกจากนี้ยังรวมไปถึงข้าวเหนียวดำต่างๆ เช่น ก่ำดอยสะเก็ด ก่ำอมก๋อย เป็นต้น

เทวี และพัชรินทร์ (2551: 4 อ้างจาก Iqbal *et al*., 2005) ศึกษาคุณสมบัติของสารต้านอนุมูลอิสระจากรำข้าว 5 พันธุ์ ที่พบในประเทศปากีสถาน คือ RB-kr, RB-s2, RB-bm, RB-86 และ RB-sf ซึ่งข้าวทั้งหมดได้คัดเลือกมาจากแหล่งที่ปลูกเดียวกันแล้ววิเคราะห์หาสารประกอบฟีนอลิค ความสามารถในการต้านการเกิดออกซิเดชันในกรดไลโนเลอิก ความสามารถในการรีดิวซิง (Reducing power) ความสามารถในการจับกับไอออนของโลหะ (Metal chelating ability) การขจัดอนุมูลอิสระของ 2,2 - (Azinobis (3 – ethylbenzothiazoline - 6 - sulfonic acid) diammonium salt (ABTS) และ 1,1 – diphenyl - 2 - picrylhydrazyl (DPPH) และวิเคราะห์ Conjugated dienes ผลการวิเคราะห์ด้วย High Performance Liquid Chromatography (HPLC) พบว่าปริมาณสารโพลีฟีนอลที่วิเคราะห์ได้อยู่ในช่วง 3.59-2.51 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักรำ 1 กรัม นอกจากนี้พบ โทโคฟีรอล โทโคไตรอีนอล และแกรมมาออริซานอลอยู่ในช่วง 392-512, 343-478, 511-802 ส่วนในล้านส่วนตามลำดับ ตัวอย่างสารสกัดจากรำข้าวมี 5 ความสามารถในการจับกับโลหะอยู่ในช่วง 610-715 ไมโครกรัมต่อน้ำหนักรำ 1 กรัม ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH และ ABTS พบว่าให้ผลการทดลองที่คล้ายคลึงกัน คือ รำข้าวพันธุ์ RB-kr มีความสามารถในการกำจัดอนุมูลมากที่สุด แต่การกำจัดอนุมูล ABTS จะมีประสิทธิภาพสูงกว่า DPPH เพราะวิธีการวิเคราะห์ด้วย ABTS สามารถวิเคราะห์ได้ในช่วง pH ที่ค่อนข้างกว้าง และรำข้าว RB-kr มีค่าการต้านการเกิดออกซิเดชันในกรดไลโนเลอิกสูงแต่พบน้อยที่สุดในรำข้าว RB-sf จากผลการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพของสารต้านอนุมูลอิสระขึ้นอยู่กับปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระ

เทวี และพัชรินทร์ (2551: 5 อ้างจาก Choi *et al.,* 2007) ศึกษาคุณสมบัติของสารต้านอนุมูลอิสระจากสารสกัดจากธัญพืชบางชนิดที่พบในประเทศเกาหลี โดยสกัดด้วยเมทานอลแล้ววิเคราะห์หาปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระในกลุ่มของโพลีฟีนอลด้วยวิธีวิเคราะห์ด้วย Folin-Ciocalteo และสารในกลุ่มของแคโรทีนอยด์ และวิตามินอีด้วย HPLC ผลการวิเคราะห์พบว่าข้าวฟ่างมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในกลุ่มของโพลีฟีนอลสูงสุด รองลงมา คือ ข้าวสีดำที่พบในปริมาณ 733 และ 313 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัวอย่าง 100 กรัม ส่วนแคโรทีนอยด์จะพบมากในถั่วเขียวในปริมาณ 102 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัวอย่าง 100 กรัม จากนั้นได้นำสารต้านอนุมูลอิสระที่ได้ไปวิเคราะห์ความสามารถในการขจัดอนุมูลอิสระด้วย DPPH และ ABTS ความสามารถในการต้านการเกิดออกซิเดชันในกรดไลโนเลอิกและความสามารถในการรีดิวซิ่ง ผลการวิเคราะห์พบว่าสารต้านอนุมูลอิสระจากข้าวฟ่างและข้าวสีดำมีความสามารถในการขจัดอนุมูลอิสระ ความสามารถในการต้านการเกิดออกซิเดชันในกรดไลโนเลอิก และความสามารถในการรีดิวซิ่งสูงกว่าสารต้านอนุมูลอิสระจากข้าวขาว ข้าวบาร์เลย์ และถั่วเขียว

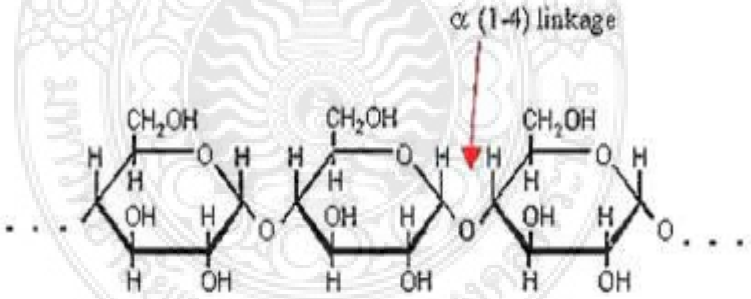
2.10 แป้ง

2.10.1 องค์ประกอบภายในแป้ง

แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ในอัตราส่วน 6:10:5 มีสูตรเคมีโดยทั่วไป คือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ แป้งเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคส ซึ่งประกอบด้วยหน่วยของกลูโคสที่ไม่มีน้ำปน (Anhydroglucose unit) เชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิก (Glucosidic linkage) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ทางด้านตอนปลายของสายพอลิเมอร์มีหน่วยกลูโคสที่มีหมู่แอลดีไฮด์ (Aldehyde group) เรียกว่า Reducing end group แป้งประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกลูโคส 2 ชนิด คือ พอลิเมอร์เชิงเส้น (อะไมโลส) และพอลิเมอร์เชิงกิ่ง (อะไมโลเพคติน) วางตัวในแนวรัศมีแป้งจากแหล่งที่ต่างกันจะมีอัตราส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินแตกต่างกัน ทำให้คุณสมบัติของแป้งแต่ละชนิดแตกต่างกัน (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2543)

1. อะไมโลส

อะไมโลสเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 2,000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะแอลฟา – 1,4 กลูโคซิดิก (α – 1,4 – Glucosidic linkage) ดังภาพที่ 2.2



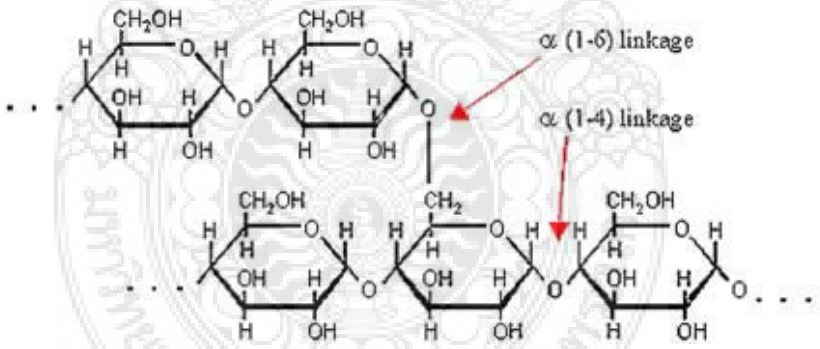
ภาพที่ 2.2 โครงสร้างของอะไมโลส

ที่มา : กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2543

อะไมโลสที่รวมตัวกับไอโอดีนจะให้สีน้ำเงิน ซึ่งใช้เป็นลักษณะที่บ่งบอกถึงแป้งที่มีองค์ประกอบของอะไมโลส (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2543) แหล่งที่อยู่ของอะไมโลสในแป้งยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด แต่มีสมมติฐานว่าอะไมโลสจะกระจายอยู่ระหว่างอะไมโลเพคติน โดยอะไมโลสโมเลกุลใหญ่จะจับกับอะไมโลเพคตินเป็นเกลียวคู่ (Double helices) ส่วนอะไมโลสโมเลกุลเล็กจะอยู่บริเวณรอบนอกของเม็ดแป้ง สุพิศา (2547: 27 อ้างจาก Kasemsuwan and Jane, 1994) ตำแหน่งของอะไมโลสภายในเม็ดแป้งยังขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของแป้ง อะไมโลสบางส่วนอยู่ในกลุ่มของอะไมโลเพคติน บางส่วนกระจายอยู่ทั้งในส่วนอสัณฐาน (Amorphous) และส่วนผลึก (Crystalline) (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2543)

2. อะไมโลเพคติน

อะไมโลเพคตินเป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะแอลฟา – 1,4 กลูโคซิดิก (α – 1,4 – Glucosidic linkage) และส่วนที่เป็นกิ่งสาขาที่เป็นพอลิเมอร์กลูโคสสายสั้นมี Degree of Polymerization (DP) อยู่ในช่วง 10 ถึง 60 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะแอลฟา – 1,6 กลูโคซิดิก (α – 1,6 – Glucosidic linkage) ดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 โครงสร้างของอะไมโลเพคติน

ที่มา: กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2543

หน่วยกลูโคสที่มีพันธะแอลฟา – 1,6 กลูโคซิดิก (α – 1,6 – Glucosidic linkage) มีอยู่ประมาณร้อยละ 5 ของปริมาณหน่วยกลูโคสในอะไมโลเพคตินทั้งหมด Degree of Polymerization (DP) ของอะไมโลเพคตินในแป้งแต่ละชนิดจะมีค่าประมาณ 2 ล้านหน่วย อะไมโลเพคตินมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1,000 เท่าของอะไมโลสและมีอัตราในการคืนตัวต่ำ

เนื่องจากอะไมโลเพคตินมีลักษณะโครงสร้างเป็นกิ่ง (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2543) เมื่อย้อมสีด้วยไอโอดีนจะได้สีน้ำตาลแดง เมื่อทำให้สุกในน้ำเดือดจะค่อนข้างคงสภาพเดิมได้นาน และเป็นส่วนที่ทำให้ข้าวสุกเหนียวติดกัน (เพลงพิณ, 2541) คุณสมบัติของอะไมโลส และอะไมโลเพคตินแสดงดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 สมบัติที่สำคัญของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน

คุณสมบัติ	**อะไมโลส**	**อะไมโลเพคติน**
ลักษณะโครงสร้าง	สารประกอบของน้ำตาลกลูโคสเกาะกันเป็นเส้นตรง	สารประกอบของน้ำตาลกลูโคสเกาะกันเป็นกิ่งก้าน
พันธะที่จับ	α – 1,4	α – 1,4 และ α – 1,6
ขนาด	200-2,000 หน่วยกลูโคส	มากกว่า 10,000 หน่วยกลูโคส
การละลาย	ละลายน้ำได้ดีกว่า	ละลายน้ำได้น้อยกว่า
ลักษณะเมื่อต้มในน้ำ	มีความข้นหนืดน้อยและขุ่น	ข้นหนืดมากและใส
การทำปฏิกิริยากับไอโอดีน	สีน้ำเงิน	สีแดงม่วงหรือสีน้ำตาลแดง
การจับตัว	เมื่อให้ความร้อนแล้วทิ้งไว้จะจับตัวเป็นวุ้นและแผ่นแข็ง	ไม่จับตัวเป็นแผ่นแข็ง

ที่มา: สุพิศา, 2547

3. ส่วนประกอบอื่นๆภายในเม็ดแป้ง แบ่งออกเป็น

3.1 Particulate material คือ ส่วนที่ไม่ใช่แป้งที่แยกได้จากแป้ง ได้แก่ โปรตีนที่ไม่ละลาย และผนังเซลล์ซึ่งจะมีผลกระทบต่อกระบวนการผลิตแป้ง

3.2 Surface material คือ ส่วนที่ติดกับพื้นผิวของเม็ดแป้ง สามารถสกัดออกได้โดยไม่ต้องทำลายเม็ดแป้ง เช่น เยื่อหุ้มอะไมโลพลาสต์

3.3 Internal components คือ ส่วนที่ติดอยู่ภายในเม็ดแป้ง สามารถแยกออกได้โดยการทำลายเม็ดแป้ง เช่น ไขมันในแป้งจากธัญพืช และสารประกอบไนโตรเจนในแป้ง (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2543)

2.10.2 คุณสมบัติของแป้ง

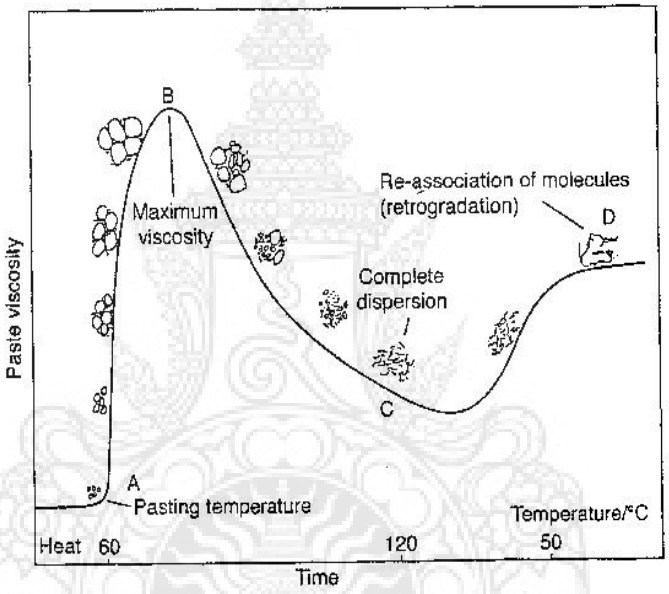
1. การพองตัวของแป้งในน้ำเย็น (Cold water swelling of starch)

เม็ดแป้งไม่สามารถละลายได้ในน้ำเย็น เนื่องจากโมเลกุลของแป้งจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจนจำนวนมาก แต่แป้งมีคุณสมบัติชอบน้ำ (Hydrophilic) มาก จึงสามารถดูดน้ำได้เมื่อทำให้เปียกหรือตั้งทิ้งไว้ในที่มีความชื้นสูง เมื่อเม็ดแป้งดูดน้ำจะค่อยๆพองตัว ซึ่งการพองตัวจะสามารถย้อนกลับได้ โดยเม็ดแป้งจะหดตัวเมื่อทำให้แห้ง ในเม็ดแป้งโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินจะจัดเรียงตัวกันเป็นกลุ่มแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม กลุ่มที่มีการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบเหมือนผลึกจะมีการพองตัวอย่างจำกัด เรียกส่วนนี้ว่าส่วนผลึก (Crystalline region) ส่วนกลุ่มที่มีการจัดเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ ดูดน้ำได้ดี เรียกส่วนนี้ว่าอสัณฐาน (Amorphous region) (เพลงพิณ, 2541) สุพิศา (2547: 30 อ้างจาก Leach *et al.,* 1959) กล่าวว่าเนื่องจากเม็ดแป้งอยู่ในรูปของร่างแหไมเซลล์ (Micelle network) ซึ่งการจัดเรียงตัวในลักษณะนี้จะทำให้เม็ดแป้งละลายในน้ำเย็นได้ยาก ดังนั้นในขณะที่แป้งอยู่ในน้ำเย็นเม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำ และพองตัวได้เล็กน้อย

2. การเกิดเจลาติไนเซชัน (Gelatinization)

เมื่อนำแป้งใส่ในน้ำเย็น เม็ดแป้งจะสามารถจะดูดซับน้ำได้ในปริมาณที่จำกัด (อรวรรณ, 2529) แป้งจะมีความชื้นเพิ่มขึ้น แต่จะไม่พองตัว หรือพองตัวได้จำกัดและสังเกตได้ยาก สุพิศา (2547: 30 อ้างจาก Collison, 1968) เมื่อให้ความร้อนกับสารละลายน้ำแป้ง พันธะไฮโดรเจนจะอ่อนลงเม็ดแป้งจะดูดน้ำแล้วพองตัว ซึ่งไม่สามารถผันกลับได้ (Irreversible) ส่วนผสมของน้ำแป้งจะมีความหนืดมากขึ้นและใสขึ้น เนื่องจากโมเลกุลของน้ำอิสระที่เหลืออยู่รอบๆเม็ดแป้งเหลือน้อยลง เม็ดแป้งเคลื่อนไหวได้ยากขึ้น ทำให้เกิดความหนืด เรียกปรากฏการณ์นี้ว่าการเกิดเจลาติไนเซชัน และอุณหภูมิที่สารละลายเริ่มเกิดความหนืด เรียกว่า อุณหภูมิเริ่มเจลาติไนซ์ เมื่อตรวจวัดด้วยเครื่องมือวัดความหนืด มักจะเรียกจุดนี้ว่า อุณหภูมิที่เริ่มมีความหนืดเพิ่มขึ้น (Pasting temperature) หรือเวลาที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (Pasting time) (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2543) ซึ่งเมื่อมองด้วยกล้องจุลทรรศน์จะพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ คือ เกิดการพองตัวของเม็ดแป้ง และเครื่องหมายกากบาทภายในเม็ดแป้ง (Birefringence) เมื่อส่องดูภายใต้แสงโพลาไรซ์จะหายไป สุพิศา (2547: 30 อ้างจาก Leach, 1965) สมพร (2545) กล่าวว่า อุณหภูมิเจลาติไนเซชัน เป็นอุณหภูมิที่แสดงถึงช่วงอุณหภูมิที่เม็ดสตาร์ชเริ่มสูญเสียเครื่องหมายกากบาทภายในเม็ดแป้ง และสูญเสียอย่างสมบูรณ์

อุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงนี้จะแตกต่างกันไปตามสายพันธุ์ของแป้ง ขึ้นอยู่กับสัดส่วนปริมาณอะไมโลส และอะไมโลเพคติน ปริมาณไขมัน และการจัดเรียงตัวของโมเลกุลอะไมเลส และอะไมโลเพคตินในเม็ดแป้ง ซึ่งการจัดเรียงของอะไมเลสและอะไมโลเพคตินในเม็ดแป้งมีความหนาไม่สม่ำเสมอ ทำให้เม็ดแป้งมีขนาดแตกต่างกัน การเกิดเจลาติไนเซชันของเม็ดแป้งจากชนิด และแหล่งเดียวกันก็จะไม่พร้อมกันทุกเม็ดด้วย (เพลงพิณ, 2541) ส่วนงามชื่น (2536) กล่าวว่า อุณหภูมิเจลาติไนเซชันมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาในการหุงต้ม กล่าวคือ ข้าวที่มีอุณหภูมิเจลาติไนเซชันสูงจะใช้เวลาในการหุงต้มนานกว่าข้าวที่มีอุณหภูมิเจลาติไนเซชันต่ำ การเกิดเจลาติไนเซชันของแป้งแสดงในภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 ระยะเวลาในการเกิดเจลาติไนเซชันของเม็ดแป้ง

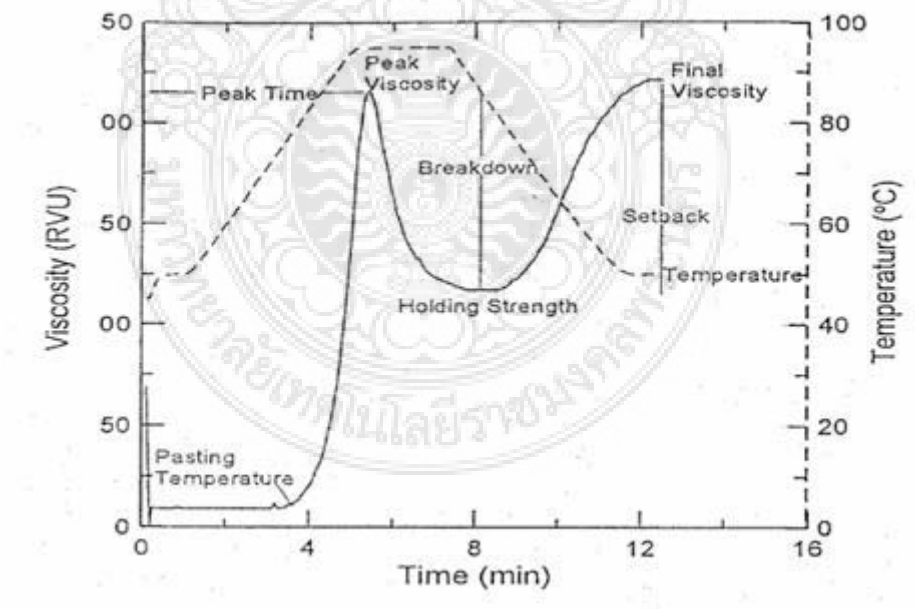
ที่มา: งามชื่น, 2536

การตรวจสอบกระบวนการเจลาติไนเซชัน นอกจากจะใช้การสังเกตการเปลี่ยนโครงสร้างเครื่องหมายกากบาทภายในเม็ดแป้งภายใต้กล้องจุลทรรศน์แล้ว ยังสามารถตรวจสอบโดยเครื่องมือที่วัด และบันทึกปริมาณความร้อนที่เปลี่ยนแปลงระหว่างกระบวนการเจลาติไนเซชันได้ คือ เครื่องวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเชิงความร้อน (Differential Scanning Calorimeter; DSC) ซึ่งจะวัดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพหรือทางเคมีของวัสดุในรูปฟังก์ชันของอุณหภูมิ (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2543) เนื่องจากเมื่อเกิดเจลาติไนเซชันขึ้นแล้วมักติดตามด้วยการพองตัวอย่างรวดเร็ว และความหนืดก็เพิ่มขึ้นจึงสามารถใช้การวัดความหนืดในการตรวจสอบอุณหภูมิใน

การเกิดเจลแป้งได้อีกวิธีหนึ่ง วิธีต่างๆที่กล่าวมาจะเกี่ยวข้องกับช่วงห่างของเวลา (Time lag) ผลที่ได้มักเรียกว่า อุณหภูมิที่เริ่มมีความหนืดเพิ่มขึ้น เจลาติไนเซชันมักเกิดขึ้นเป็นช่วงอุณหภูมิช่วงหนึ่ง เนื่องจากความแตกต่างระหว่างเม็ดแป้งแต่ละเม็ด ซึ่งช่วงอุณหภูมิดังกล่าวเป็นคุณสมบัติของแป้ง (จารนัย, 2537)

3. ความหนืด (Viscosity)

แป้งมีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมหลายประเภท เนื่องจากสมบัติทางรีโอโลจี (Rheology) ของแป้งสุก ซึ่งเป็นพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ (มณฑาทิพย์, 2534) เทคนิคที่ใช้ประเมินสมบัติทางรีโอโลจีมีหลายวิธี ซึ่งจะเลือกใช้เครื่องมือหรือวิธีใดขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์วิธีที่เป็นที่นิยม คือ การใช้เครื่องมือต่างๆ เช่น เครื่องมือวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว (Rapid Visco Analyser; RVA) กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง RVA แสดงในภาพที่ 2.5 และบาร์เบนเดอร์ อะไมโลกราฟ (Brabender amylograph) ซึ่งติดตามพฤติกรรมความหนืดของแป้งตลอดการทำให้ร้อน (Heating) การหุงต้ม (Cooking) และการทำให้เย็น (Cooling) ออกมาในรูปกราฟแสดงพฤติกรรมความหนืดอย่างต่อเนื่อง (Amylograph) (อรวรรณ, 2529)



ภาพที่ 2.5 ตัวอย่างกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง RVA

ที่มา: กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2543

พฤติกรรมความหนืดเป็นคุณสมบัติเฉพาะ และแตกต่างกันไปตามชนิดและสายพันธุ์ของแป้ง เมื่อเม็ดแป้งซึ่งแขวนลอยในน้ำได้รับความร้อนจนถึงระดับหนึ่งจะพองตัวขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นเร็วมาก อุณหภูมิที่ความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วนี้ เรียกว่า Pasting temperature ความหนืดจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเพราะเม็ดแป้งมีการพองตัวมากขึ้น และจะมีเม็ดแป้งบางส่วนที่แตกสลายอยู่เรื่อยๆ เมื่อใดก็ตามที่ส่วนแตกสลายมีมากกว่าส่วนที่พองตัวเพิ่มขึ้นความหนืดจะลดลง จุดที่น้ำแป้งมีความหนืดสูงสุดเรียกว่า Peak viscosity สุพิศา (2547: 32 อ้างจาก Leach, 1965) ถ้าเม็ดแป้งไม่คงตัว และแตกมากความหนืดจะยังลดลงมากเมื่อสิ้นสุดการหุงต้มที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส ในช่วงการทำให้เย็นจากอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส ไปเป็น 50 องศาเซลเซียส กราฟแสดงความหนืดสูงขึ้น การที่น้ำแป้งสุกมีความหนืดเพิ่มขึ้นเนื่องจากมีการคืนตัวของน้ำแป้งสุกเรียก ปรากฏการณ์นี้ว่ารีโทรกราเดชัน (Retrogradation) โดยกลุ่มไฮดรอกซิลอิสระของเม็ดแป้งที่แตกสลายไปแล้วและโมเลกุลอิสระที่ละลายออกมาในน้ำแป้งสุก โดยเฉพาะโมเลกุลอะไมโลสที่มีขนาดที่เหมาะสมจะจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจนใหม่ และกักน้ำไว้ได้ (อรวรรณ, 2529)

4. การพองตัวและการละลาย (Swelling and solubility)

แป้งจะไม่ละลายในน้ำเย็น แต่จะดูดซึมน้ำไว้ได้ประมาณร้อยละ 25-30 สุพิศา (2547: 33 อ้างจาก Kerr, 1950) ความสามารถในการพองตัว และการละลายของเม็ดแป้งขึ้นกับอุณหภูมิ เมื่อสตาร์ชได้รับความร้อนจะเกิดปฏิกิริยาเคมี ทำให้พันธะไฮโดรเจนที่ยึดโมเลกุลของแป้งเข้าด้วยกันมีการเปลี่ยนแปลงโมเลกุลของแป้งจึงแยกออกจากกัน และเกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำขึ้น การพองตัวของเม็ดแป้งจะเกิดเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของพันธะไอโดรเจนในโครงสร้างขององค์ประกอบหลักของเม็ดแป้ง ซึ่งองค์ประกอบหลักนั้นมีอัตราส่วนของส่วนที่เป็นผลึกและส่วนอสัณฐานต่างกัน เม็ดแป้งที่มีส่วนผลึกมากจะมีพันธะไฮโดรเจนหนาแน่น ทำให้โครงสร้างของเม็ดแป้งแข็งแรงกว่าโดยทั่วไปส่วนที่เป็นอสัณฐานของเม็ดแป้งจะแข็งแรงน้อยกว่าส่วนที่เป็นผลึก จึงทำให้ส่วนที่เป็นอสัณฐานพองตัวได้ก่อน และได้มาก เมื่อถึงอุณหภูมิระดับหนึ่งจะทำให้ส่วนที่เป็นผลึกซึ่งมีการจัดเรียงโครงสร้างอย่างมีระเบียบเป็นรูปวงแหวนเริ่มบิดเบี้ยวไป ที่อุณหภูมินั้นเรียกว่าอุณหภูมิเจลาติไนเซชัน แสดงว่าโมเลกุลในส่วนที่เป็นผลึกมีการดูดซับน้ำไว้บ้างทำให้เม็ดแป้งพองตัวมากขึ้น โมเลกุลในส่วนที่เป็นรูปผลึกที่เหลืออยู่เกิดสภาพคล้ายร่างแห เรียกว่าร่างแหไมเซลล์ ยึดเหนี่ยวกัน

ไว้ทำให้เม็ดแป้งยังคงสภาพอยู่ได้ แต่อาจมีโมเลกุลอะไมโลสและอะไมโลเพคตินซึ่งมีขนาดเล็ก และเป็นอิสระกระจายตัวออกจากเม็ดแป้ง ทำให้เม็ดแป้งพองตัวเต็มที่ สารละลายแป้งจะมีความหนืดสูงสุดจนในที่สุดเม็ดแป้งก็จะแตกออก (มณฑาทิพย์, 2534) ปริมาณแป้งแห้งในน้ำ 100 มิลลิลิตร ที่พองตัวเต็มที่ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส จนเม็ดแป้งมีปริมาตรแทนที่น้ำทั้งหมด เรียกว่า ค่าความเข้มข้นวิกฤต (Critical concentration value) (อรวรรณ, 2529)

5. การคืนตัวของแป้ง (Retrogradation)

การคืนตัวของแป้งได้มีการนิยามไว้ดังนี้ การคืนตัวของแป้งเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นเมื่อโมเลกุลที่ประกอบกันเป็นเจลของแป้งเริ่มเข้ามารวมกันในลักษณะโครงสร้างที่เป็นระเบียบในระยะเริ่มต้นสายโซ่โมเลกุลของแป้ง 2-3 สายจะเข้ามาเกาะเกี่ยวกันที่จุดหนึ่ง ซึ่งต่อจากนั้นก็จะค่อยๆ พัฒนาไปบริเวณที่มีความระเบียบยิ่งขึ้นในที่สุดภายใต้สภาวะอันส่งเสริมก็จะปรากฏเป็นโครงสร้างผลึกที่มีระเบียบขึ้นมา (จารนัย, 2537) ส่วน กล้าณรงค์ และเกื้อกูล (2543) กล่าวว่า การคืนตัวของน้ำแป้งสุกเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อแป้งได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เกิดเจลาติไนเซชันแล้วให้ความร้อนต่อไปจะทำให้เม็ดแป้งพองตัวเพิ่มขึ้น จนถึงจุดที่พองตัวเต็มที่และแตกออก โมเลกุลของอะไมโลสขนาดเล็กจะกระจัดกระจายออกมาทำให้ความหนืดลดลง เมื่อปล่อยให้เย็นตัวโมเลกุลอะไมโลสที่อยู่ใกล้กันจะเกิดการจัดเรียงตัวกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลเกิดเป็นร่างแหสามมิติโครงสร้างใหม่ที่สามารถอุ้มน้ำ และไม่มีการดูดน้ำเข้ามาอีก มีความหนืดคงตัวมากขึ้น เกิดลักษณะเจลเหนียวคล้ายฟิล์มหรือผลึก สุพิศา (2547: 34 อ้างจาก Gordon and Davis, 1998) กล่าวว่า การเกิดรีโทรกราเดชันเป็นการเปลี่ยนแปลงที่ขึ้นกับเวลา ซึ่งเป็นกระบวนการจัดเรียงตัวโครงสร้างใหม่อีกครั้งให้เป็นโครงสร้างที่เป็นระเบียบ การเกิดรีโทรกราเดชันของแป้งเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นหลังจากแป้งเกิดการเจลาติไนซ์แล้วมีการจัดเรียงโครงสร้างที่เป็นระเบียบอีกครั้ง โดยช่วงแรกสายของแป้ง 2 สายหรือมากกว่า 2 สายจะรวมตัวกันเกิดเป็น Junction point ง่ายๆ ซึ่งต่อมาให้มีความเป็นระเบียบมากขึ้นจนมีลักษณะเป็นโครงร่างผลึกในตอนสุดท้ายเมื่ออยู่ในสภาวะที่เหมาะสม

การคืนตัวของน้ำแป้งสุกโดยทั่วไปจะเกิดได้ดีเมื่อน้ำแป้งมีความเข้มข้นสูง และทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิต่ำ แต่แป้งแต่ละชนิดมีอัตราการคืนตัวของน้ำแป้งสุกแตกต่างกัน สุพิศา (2547: 34 อ้างจาก Whistler and Johnson, 1948) พบว่าแป้งจากพืชราก พืชหัวจะมีอัตราการคืนตัวช้ากว่าแป้งจากธัญพืช เนื่องจากแป้งจากพืชราก พืชหัวเมื่อได้รับความร้อนจะพองตัวมาก

และเร็ว เม็ดแป้งแตกง่ายทำให้โมเลกุลแป้งทั้งหมดกระจายอยู่ทั่วไปในน้ำแป้งทำให้โมเลกุลอะไมโลสเข้ามาจัดเรียงตัวกันใหม่ได้ยากในขณะที่แป้งจากธัญพืชเมื่อได้รับความร้อนจะพองตัวน้อยกว่าเม็ดแป้งแตกน้อย โมเลกุลที่คลายตัวยังอยู่ใกล้ชิดกันการเคลื่อนที่เข้ามาจับกันใหม่จึงเป็นไปได้ง่าย ซึ่งอาจมีการจับกันระหว่างเม็ดแป้งที่พองตัวที่อยู่ใกล้กัน หรือระหว่างเม็ดแป้งหรือโมเลกุลอะไมโลสอิสระที่หลุดออกมา ทำให้เกิดสภาพเป็นเมทริกซ์ (Matrix) ซึ่งยึดกันด้วยพันธะไฮโดรเจน และสามารถเก็บกักน้ำไว้ได้ อะไมโลเพคตินทำให้อัตราการคืนตัวของน้ำแป้งสุกช้าลง เนื่องจากโมเลกุลของอะไมโลเพคตินมีกิ่งก้านสาขาทำให้โมเลกุลเคลื่อนที่เข้ามาจับกันใหม่ได้ยาก จึงพบว่าแป้งที่ประกอบด้วยอะไมโลเพคตินเกือบทั้งหมด (Waxy) มีอัตราการคืนตัวของน้ำแป้งสุกน้อยกว่าแป้งชนิดอื่น อรวรรณ (2529) รายงานว่า ขนาดโมเลกุลอะไมโลสในแป้งแต่ละชนิดมีผลให้เกิดการคืนตัวของน้ำแป้งสุกด้วย กล่าวคือ โมเลกุลอะไมโลสที่มีขนาดพอดีในการเคลื่อนที่มาจับกันจะอยู่ในช่วง 100-200 หน่วยกลูโคส ถ้าโมเลกุลใหญ่จะเคลื่อนที่เข้ามาจับกันได้ยาก และถ้าโมเลกุลสั้นจะมีการเคลื่อนไหวอยู่ตลอดเวลาทำให้จับกันยากเช่นกัน สมพร (2545) กล่าวว่า การเกิดรีโทรกราเดชันของข้าวที่มีผลมาจากหลายปัจจัย ได้แก่ พันธุ์ข้าว อุณหภูมิ ระยะเวลาในการเก็บรักษา และสารประกอบอื่นๆโดยเฉพาะไขมัน

สตาร์ชข้าวเจ้าและสตาร์ชข้าวเหนียวมีคุณสมบัติทางกายภาพ และเคมีที่แตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี ของสตาร์ชข้าวเจ้าเปรียบเทียบกับสตาร์ชข้าวเหนียว

คุณสมบัติ	**สตาร์ชข้าวเจ้า**	**สตาร์ชข้าวเหนียว**
อุณหภูมิสุดท้ายของการเกิดเจล (องศาเซลเซียส)	58 - 79	58 - 78.5
ขนาดเม็ดสตาร์ช (ไมโครเมตร)	1.6 - 8.7	1.9 - 8.1
ความหนาแน่น (แทนที่โดยไซลีน), กรัม / มิลลิลิตร	1.49 - 1.51	1.48 - 1.50
ความสามารถในการจับกับไอโอดีน (ร้อยละ)	2.36 - 6.96	0.15 - 0.86
ความข้นหนืดของเจล, cP (6%ใน KOH เข้มข้น 0.2 N)	140 - 1,200	64 - 1,890
ความข้นหนืดในตัว (มิลลิลิตร / กรัม)	160 - 194	46 - 164
โปรตีน (ไนโตรเจน) ที่เหลืออยู่ (% น้ำหนักแห้ง)	0.02 - 0.12	0.01 - 0.02
ฟอสฟอรัสที่เหลืออยู่ (มิลลิกรัม / กรัม)	0.12 - 0.45	0.02 - 0.03
โคลีน (ไมโครโมล / กรัม)	3.9 - 9.2	0 - 0.02
กลูโคส – 6 – ฟอสเฟต (โครโมล / กรัม)	0.2 - 0.7	0.3 - 0.6
ไขมันที่เกาะเกี่ยว (% น้ำหนักแห้ง)		
- สกัดด้วยน้ำ – บิวทานอลอิ่มตัวที่เย็น	0.2 - 0.4	0.03 - 0.04
- สกัดด้วยน้ำ – บิวทานอลอิ่มตัวที่ร้อน	0.5 - 0.9	0.1 - 0.2

ที่มา: สุพิศา, 2547

เทวี และ พัชรินทร์ (2551: 29 อ้างจาก Normand and Marshall, 1989) ศึกษาการเกิดเจลาติไนเซชันของเมล็ดข้าวและแป้งข้าวด้วย DSC พบว่าเมล็ดข้าวจะแสดงการเปลี่ยนแปลงการดูดความร้อนสองครั้ง โดยในครั้งแรกเกิดในช่วงอุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส พีคที่ได้จะเล็กและแคบ ช่วงที่สองเกิดที่ 80-90 องศาเซลเซียส พีคที่ได้จะใหญ่กว่า แต่แป้งข้าวจะดูดความร้อนเพียงครั้งเดียว เนื่องจากโครงสร้างไม่สมบูรณ์ เพราะโครงสร้างบางส่วนของแป้งข้าว เช่น ผนังเซลล์ถูกทำลายในระหว่างการบดแห้ง ดังนั้นค่าเอนทาลปีในการเกิดเจลาติไนเซชันของเมล็ดข้าวสูงกว่าแป้งข้าวประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์

เทวี และพัชรินทร์ (2551: 30 อ้างจาก Li and Yeh, 2001) ศึกษาการพองตัวของสตาร์ชจากธัญพืช จากรากและหัวในช่วงอุณหภูมิจาก 55 –95 องศาเซลเซียส พบว่าสตาร์ชมันฝรั่งมีการพองตัวสูงสุด สตาร์ชข้าวโพดที่มีอะไมโลสสูงมีการพองตัวต่ำสุด และพบว่าสตาร์ชมันฝรั่ง สตาร์ชสาคูและสตาร์ชข้าวโพดข้าวเหนียว มีการพองตัวสูงถึงอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และเริ่มลดลงที่อุณหภูมิสูงขึ้น

เทวี และพัชรินทร์ (2551: 30 อ้างจาก Noosuk *et al.,* 2003) ศึกษากำลังในการพองตัวและความสามารถในการละลายของสตาร์ชข้าวไทย พันธุ์กข6 พันธุ์หอมมะลิ และพันธุ์สุพรรณบุรี1 พบว่าสตาร์ชข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ (กข6) มีกำลังในการพองตัวสูงที่สุด (33.54-34.92) และมีความสามารถในการละลายต่ำ (6.00-8.50 เปอร์เซ็นต์) เมื่อเปรียบเทียบกับสตาร์ชจากข้าวพันธุ์อื่น กำลังการพองตัวของสตาร์ชข้าวเหล่านั้นลดลงแบบเชิงเส้นเมื่อมีปริมาณอะไมโลสเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความสามารถในการละลายมีค่าลดลงเมื่อปริมาณอะไมโลสลดลง การพองตัวของเม็ดสตาร์ชเป็นผลเนื่องจากพันธะไฮโดรเจนในโครงสร้างผลึกของเม็ดสตาร์ชถูกทำลาย จากนั้นโมเลกุลของน้ำเข้ามาจับกับหมู่ไฮดรอกซิลอิสระ การมีปริมาณอะไมโลสในปริมาณมากช่วยเสริมให้อันตรกิริยาระหว่างโมเลกุลภายในเม็ดสตาร์ชมีความแข็งแรงมากขึ้น ทำให้การจับกันระหว่างโมเลกุลของน้ำกับหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นอิสระในสายโมเลกุลของสตาร์ชมีค่าลดลงและทำให้การพองตัวของเม็ดสตาร์ชต่ำลง แต่สตาร์ชที่มีปริมาณอะไมโลสสูงก็จะมีปริมาณอะไมโลสที่ละลายออกมาจากเม็ดสตาร์ชสูงด้วย

รุ่งนภา และคณะ (2546) ศึกษาการเกิดเจลาติไนเซชันของสตาร์ชข้าวไทยจำนวน 16 พันธุ์ คือ ขาวดอกมะลิ105 ปทุมธานี1 ชัยนาท1 สุพรรณบุรี90 เหลืองประทิว123 กข23 กข6 เหนียวสันป่าตอง พิษณุโลก1 สุพรรณบุรี1 พิษณุโลก2 เฉี้ยงพัทลุง สังข์หยด ขาวห้าร้อย กข15 และเจ๊กเชย ด้วยเครื่อง DSC ผลการศึกษาพบว่าอุณหภูมิในเกิดเจลาติไนเซชันของสตาร์ชข้าวให้ผลสอดคล้องกับอุณหภูมิในการเปลี่ยนแปลงความหนืด (Pasting temperature) ที่ตรวจสอบด้วยเครื่อง Rapid visco analyzer (RVA) โดยอุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลาติไนเซชันของสตาร์ชข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูงจะสูงกว่าในสตาร์ชที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ เพราะโครงสร้างของอะไมโลสในสตาร์ชที่สามารถเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับไขมัน ทำให้โมเลกุลของอะไมโลสมีลักษณะเกลียวม้วน ทำให้โครงสร้างมีความแข็งแรงมากขึ้น จึงส่งผลให้เกิดเจลาติไนเซชันที่อุณหภูมิสูงกว่า

2.11 บรรจุภัณฑ์

2.11.1 บรรจุภัณฑ์เพื่อการรักษาคุณภาพอาหาร

ภาชนะบรรจุ หมายถึง บรรจุภัณฑ์ที่ทำหน้าที่ห่อหุ้มผลิตภัณฑ์ สามารถคุ้มครองและรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไว้ตลอดอายุการเก็บรักษา (วุฒิชัย, 2533) สำหรับภาชนะบรรจุข้าวควรทำด้วยวัสดุที่มีคุณสมบัติป้องกันแสง ออกซิเจน การซึมผ่านของความชื้น ป้องกันการปนเปื้อนจากเชื้อจุลินทรีย์ และการซึมผ่านของกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ได้ (พีชยา, 2541)

บทบาทของบรรจุภัณฑ์ในการช่วยเก็บรักษาคุณค่าของอาหารนั้น ตัวบรรจุภัณฑ์จะต้องไม่เป็นสาเหตุที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เสื่อมคุณค่าหรือด้อยคุณภาพลง กล่าวคือ ตัวบรรจุภัณฑ์เองต้องไม่ไปทำปฏิกิริยากับผลิตภัณฑ์อาหาร นอกจากนี้บรรจุภัณฑ์อาหารยังต้องทำหน้าที่ช่วยเก็บกลิ่นของผลิตภัณฑ์อาหารไว้ กลิ่นที่เปลี่ยนแปลงอาจจะเกิดจากสิ่งแปลกปลอมจากบรรยากาศซึมผ่านผิวของบรรจุภัณฑ์เข้าไปทำปฏิกิริยา หรืออาจเกิดจากกลิ่นที่อยู่ในอาหารถูกดูดซึมโดยบรรจุภัณฑ์หรือกลิ่นซึมผ่านออกสู่บรรยากาศภายนอก บรรจุภัณฑ์ที่ทำหน้าที่ใส่อาหารเพียงอย่างเดียว ทำหน้าที่เป็นตัวกั้นผลิตภัณฑ์ไม่ให้สัมผัสกับบรรยากาศภายนอก บรรจุภัณฑ์จะทำหน้าที่เป็นกลไกในการปกป้องผลิตภัณฑ์จากปัจจัยต่างๆ (ปุ่น และสมพร, 2541)

2.11.1.1 การซึมผ่านวัสดุ ปรากฏการณ์การซึมผ่านอาจเกิดขึ้นได้ทั้งในสถานะของเหลวหรือในสภาวะที่เป็นก๊าซ ในแง่การซึมผ่านของก๊าซบรรจุภัณฑ์ทำหน้าที่ใน 2 ลักษณะ คือ

1. ป้องกันการซึมผ่านของก๊าซจากภายนอกสู่ภายในบรรจุภัณฑ์ ได้แก่

- การป้องกันการเกิดการเหม็นหืนของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการซึมผ่านของออกซิเจนเข้าไปทำปฏิกิริยา

- การป้องกันกลิ่นจากภายนอกปนเปื้อนกับกลิ่นของอาหารในสภาวะแวดล้อมที่เต็มไปด้วยกลิ่นหลากหลาย เช่น กลิ่นควัน กลิ่นน้ำมัน ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับคุณสมบัติของอาหารได้จากการซึมผ่านเข้าไปในบรรจุภัณฑ์

2. ป้องกันการถ่ายเทจากภายในสู่ภายนอกบรรจุภัณฑ์

- ป้องกันการสูญเสียกลิ่นของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุนอกบรรจุภัณฑ์
- ลดการระเหยของน้ำ
- หลีกเลี่ยงการรั่วซึมของก๊าซที่บรรจุไว้เพื่อรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์

2.11.1.2 การถ่ายเทพลังงาน มีพลังงานอย่างน้อย 2 ประเภทที่สามารถถ่ายเทผ่านบรรจุภัณฑ์เข้าไปถึงผลิตภัณฑ์ได้ คือ แสง และความร้อน พลังงานทั้ง 2 ประเภทนี้อาจก่อให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีและเร่งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดการเน่าเสียของผลิตภัณฑ์ได้เร็วขึ้น

1. แสง ผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิดมีความไวต่อแสงซึ่งก่อให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมี และส่งผลให้สีของผลิตภัณฑ์อาหารซีดลง สูญเสียวิตามิน และเกิดการแปรสภาพของกรดอะมิโน

2. ความร้อน การส่งผ่านของความร้อนเกิดขึ้นได้ในรูปแบบของการแผ่รังสี การนำพาความร้อน และการเหนี่ยวนำความร้อน การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารที่มีความเสี่ยงต่อความร้อนสูงจำต้องควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ระหว่างการเก็บรักษา

2.11.1.3 จุลินทรีย์ บรรจุภัณฑ์ทำหน้าที่ปกป้องผลิตภัณฑ์อาหารในทางกายภาพจากจุลินทรีย์ที่มีจำนวนมหาศาลในบรรยากาศและจากตัวของผลิตภัณฑ์เอง

2.11.2 อลูมิเนียมฟอยล์สำหรับบรรจุอาหาร

อลูมิเนียมเป็นธาตุที่รู้จักกันดี เช่นเดียวกับออกซิเจน และซิลิกอน อลูมิเนียมส่วนใหญ่จะพบที่บริเวณผิวหน้าของโลกในรูปของออกไซด์ และซิลิเกท (Silicates) ในการผลิตอลูมิเนียมผสมและอลูมิเนียมบริสุทธิ์ จะใช้กระแสไฟฟ้าผ่านไปยังแร่บอกไซด์ (Bauxite) ซึ่งมีลักษณะเหมือนดินเหนียว (Clay) แร่ชนิดนี้จะพบในประเทศแถบร้อน

อลูมิเนียมฟอยล์ เป็นวัสดุที่ป้องกันการซึมผ่านของก๊าซและความชื้นได้ดีมาก อลูมิเนียมฟอยล์ที่มีความหนามากๆ ก๊าซจะซึมผ่านไม่ได้เลย ส่วนอลูมิเนียมฟอยล์ที่มีความหนาต่ำกว่า 0.09 นิ้วจะมีการซึมผ่านได้บ้าง นอกจากนี้อลูมิเนียมฟอยล์ยังมีลักษณะปรากฏที่ดี คือ มีผิวหน้าเป็นมันเงาสวยงาม ทนต่อตัวทำลายและน้ำมันได้ดี แต่ไม่ทนกรดและด่าง ยกเว้นกรดอ่อน ซึ่งอาจแก้ไขได้โดยการเคลือบด้วยไขหรือแลคเกอร์ สำหรับอลูมิเนียมฟอยล์ที่บางมากๆ จะมีลามิเนตกับฟิล์มชนิดอื่นผสม เพื่อช่วยเพิ่มความแข็งแรง เช่น ลามิเนตกับเซลโลเฟน (Cellophane) พอลิเอธิลีน และพอลิเมอร์ (มณฑิรา, 2534)

2.11.2.1 คุณสมบัติของอลูมิเนียมฟอยล์

- อลูมิเนียมฟอยล์เป็นโลหะที่สะอาด ถูกสุขลักษณะเป็นประกายเมื่อมีแสงมากระทบ

- อลูมิเนียมมีความหนาไม่มาก สามารถใช้งานได้ทั้งด้านที่มีผิวมันและด้านที่ผิวไม่มัน

- อลูมิเนียมฟอยล์ใช้หมึกใสและหมึกพิมพ์ได้ โดยไม่มีผลกระทบกระเทือนต่อการนำไปใช้กับวัสดุอื่นๆ และสามารถขึ้นรูปต่างๆ ให้เป็นลายนูนได้

- ฟิล์มเซลลูโลสที่ผนึกติดกับผิวหน้าของอลูมิเนียมฟอยล์ จะทำให้อลูมิเนียมฟอยล์ดูสดใสและสวยงามยิ่งขึ้น

2.11.2.2 คุณสมบัติของอลูมิเนียมฟอยล์ในการนำไปใช้ในบรรจุภัณฑ์

- อลูมิเนียมฟอยล์เป็นวัสดุที่สะอาดหลังจากการให้ความร้อนแล้วและเชื้อโรคไม่สามารถที่จะเจริญเติบโตได้

- อลูมิเนียมฟอยล์ไม่มีสารพิษซึ่งปลอดภัยเมื่อนำไปใช้ในการบรรจุอาหาร ยาและเครื่องสำอาง

- อลูมิเนียมฟอยล์ไม่มีรสและกลิ่น

- อลูมิเนียมฟอยล์มีความหนาตั้งแต่ 0.001 นิ้วขึ้นไป มีคุณสมบัติในการป้องกันการไหลผ่านของตัวกลางต่างๆ (Permeability)

- อลูมิเนียมฟอยล์ที่มีความหนาน้อยๆ เมื่อนำไปผนึกหรือเคลือบกับวัสดุอื่นๆ จะมีคุณสมบัติในการอุดรูเข็ม (Pinholes) ที่เกิดขึ้นในแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้ดี

- อลูมิเนียมฟอยล์ไม่มีการระเหยกลายเป็นไอ แห้งและไม่มีการหดตัวลง มีคุณสมบัติในการรักษาขนาดให้คงที่จากอุณหภูมิ -100 องศาฟาเรนไฮน์ ถึง +700 องศาฟาเรนไฮน์

- อลูมิเนียมฟอยล์สามารถป้องกันการซึมผ่านของขี้ผึ้งและน้ำมันได้ ทั้งในอุณหภูมิสูงและอุณหภูมิต่ำ และมีคุณสมบัติในการป้องกันการไหลผ่านของแสงซึ่งอาจจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในภาชนะบรรจุเสียรส เน่า เหม็นหืนหรือเปลี่ยนสีได้

- อลูมิเนียมฟอยล์สามารถสะท้อนการแผ่ความร้อนได้ถึงร้อยละ 99 ซึ่งมีคุณสมบัติในการทำหน้าที่เป็นฉนวนที่ดีในการนำไปห่อภาชนะภายนอกและภายใน อย่างไรก็ดี อลูมิเนียมฟอยล์ที่คุณสมบัติในการนำความร้อนที่ดี ซึ่งสามารถที่จะทำให้ร้อนหรือปล่อยให้เย็นลงได้อย่างรวดเร็ว

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการทดลอง

3.1 วัตถุดิบ

3.1.1 ข้าวเหนียวดำ พันธุ์ลืมผัว จากร้านเรือข้าวจ้าว ตลาดไท

3.1.2 ข้าวขาวหอมมะลิ พันธุ์สุรินทร์ จากร้านเรือข้าวจ้าว ตลาดไท

3.1.3 ข้าวกล้องหอมมะลิเพาะงอก 100% พันธุ์ข้าวหอมมะลิ 105 ยี่ห้อ Be Live Rice

3.1.4 ข้าวกล้องหอมมะลิ 105 จากร้านเรือข้าวจ้าว ตลาดไท

3.1.5 ข้าวกล้องมันปู จากร้านเรือข้าวจ้าว ตลาดไท

3.1.6 ข้าวกล้องหอมมะลิแดง พันธุ์สังข์หยด จากร้านเรือข้าวจ้าว ตลาดไท

3.1.7 ข้าวเสาไห้ พันธุ์ชัยนาท 1 จากร้านเรือข้าวจ้าว ตลาดไท

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการแปรรูปแป้งข้าวและเครื่องดื่มข้าวผง

- เครื่องอบลมร้อน BINDER MODEL FED 720 S/N WTB09-04077
- เครื่องโม่เปียก Disin tegrator Model RP-8-K-155 Drezahl 4000 u/min
- เครื่องแยก Centrifuge รุ่น TY 761 DREHZAHL 17,000 u/min
- เครื่องบดแห้ง Fitz mill Ser – no 96-5-01
- เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง GRAGON 204 No. 1202240302 ITEM 12106612 ผลิตโดย Mettler – Toledo Group.
- เครื่องร่อนแยกขนาดแป้ง Retsch AS 200
- เครื่องบรรจุสุญญากาศ ULTRA VAC
- ถุงอลูมิเนียมฟอยล์ ขนาด 9.5 × 10 เซนติเมตร
- ตะแกรงร่อน ขนาด 50 และ 100 mesh
- ถาดอลูมิเนียม ขนาด 60 × 90 เซนติเมตร

3.2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี

1. เครื่องมือวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (Determination of Protein)
   - เครื่องย่อยโปรตีน BUCHI Digestion Unit K-435 (Digestion block)
   - ชุดกลั่นวิเคราะห์โปรตีน BUCHI Distillation Unit B-324 (Distillation unit)
   - เครื่องดักจับไอกรด BUCHI Scrubber B-414
   - หลอดย่อยตัวอย่าง (Digestion tube)
   - ตู้ดูดควัน Fume cupboard MODEL 252 S/N 25366 TRAND international.co,Ltd
   - เครื่องชั่งละเอียด (Analytical balance)
   - ชุดอุปกรณ์สำหรับการไทเทรต (Titration equipment)
   - ขวดแก้วรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask)
   - กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1
2. เครื่องมือวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (Determination of Moisture content)
   - ตู้อบลมร้อนควบคุมอุณหภูมิได้ Moisture Determination Balance FD-620 (Hot air oven)
   - ภาชนะอลูมิเนียมสำหรับหาความชื้น (Moisture can)
   - โถดูดความชื้น (Dessicator)
   - สารดูดความชื้น (Silica gel)
   - เครื่องชั่งละเอียด (Analytical balance)
   - ที่คีบ (Tongs และ forceps)
3. เครื่องมือวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (Determination of Crude fat)
   - ชุดอุปกรณ์วิเคราะห์ไขมันแบบซอกเทค Foss Soxtec 2005
   - ทิมเบิล (Thimble)
   - ตู้อบลมร้อนควบคุมอุณหภูมิได้ (Hot air oven)
   - โถดูดความชื้น (Dessicator)
   - สารดูดความชื้น (Silica gel)
   - เครื่องชั่งละเอียด (Analytical balance)

4. เครื่องมือวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยหยาบ (Determination of Crude fiber)
   - เครื่องวิเคราะห์ปริมาณเยื่อใย Foss Fibertec 1020 และ Foss Cold Extraction Unit 1021
   - เตาเผาไฟฟ้าที่ควบคุมอุณหภูมิได้ Carboltte CWF 1100
   - ครูซิเบิลแก้ว (Glass crucible)
   - ตู้อบลมร้อน BINDER MODEL ED 115/E2 S/N WTB00 12/90 (Hot air oven)
   - โถดูดความชื้น (Dessicator)
   - สารดูดความชื้น (Silica gel)
   - เครื่องชั่งละเอียด (Analytical balance)
5. วิเคราะห์ปริมาณเถ้า (Determination of ash)
   - เตาเผาไฟฟ้าที่ควบคุมอุณหภูมิได้ Carboltte CWF 1100
   - ถ้วยกระเบื้องเคลือบ (Cucible)
   - Hot plate 1022 Hot DLATE FOSS TECATOR บริษัท ไซแอนติปิกโปรโมชั่น จำกัด
   - โถดูดความชื้น (Dessicator)
   - สารดูดความชื้น (Silica gel)
   - เครื่องชั่งละเอียด (Analytical balance)
   - ชุดเครื่องแก้วอื่นๆ ได้แก่ บีกเกอร์ขนาด 100 500 และ 1,000 มิลลิลิตร ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร กระบอกตวงขนาด 10 และ 20 มิลลิลิตร ปิเปต บิวเรต หลอดหยด และแท่งแก้ว

3.2.3 เครื่องมือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี
- เครื่องวัดสี Spectrophotometer รุ่น CM-3500d KONICA MINOLTA
- เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ (Water activity) รุ่น AquaLab Series 3
- เครื่องวัดความชื้น (Moisture Determination Balance) รุ่น FD-620
- เครื่องวัดความหนืด (Rapid Viscos Analyzer; RVA)
- เครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Refractometer)
- เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter)
- อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water bath)
- หลอดทดลอง (Test tube)
- ตู้บ่มเชื้อแบบควบคุมอุณหภูมิ (Incubator)

- เครื่องโฮโมจิไนส์ (Homogenizer)
- ชุดกรอง (Suction flask และ Buchner funnel)

3.2.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

- ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส
- แบบประเมินผลการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

3.2.5 อุปกรณ์และเครื่องประมวลผลข้อมูล

- เครื่องคอมพิวเตอร์และโปรแกรมสำเร็จทางสถิติ (SPSS)

3.3 สารเคมี

3.3.1 สารเคมีที่ใช้วิเคราะห์ปริมาณโปรตีน

- โพแทสเซียมซัลเฟต
- คอปเปอร์ซัลเฟต
- โซเดียมไฮดรอกไซด์
- กรดบอริก
- กรดซัลฟูริก
- กรดไฮโดรคลอริก
- โพแทสเซียมไฮโดรเจนพาธาเลต
- เมทิลเรดอินดิเคเตอร์
- โบรโมคลีโซลกรีน
- ฟีนอล์ฟทาลีน

3.3.2 สารเคมีที่ใช้วิเคราะห์ปริมาณไขมัน

- ปิโตรเลียมอีเธอร์

3.3.3 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยหยาบ

- โซเดียมไฮดรอกไซด์
- กรดไฮโดรคลอริก
- อะซิโตน

3.4 วิธีการดำเนินการทดลอง

3.4.1 การตรวจสอบคุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของเมล็ดข้าว 7 ชนิด

โดยตัวอย่างเมล็ดข้าวทุกพันธุ์ที่ใช้เป็นข้าวเก็บเกี่ยวใหม่ในปี พ.ศ.2554 พันธุ์ข้าวที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่

1. ข้าวเหนียวดำ พันธุ์ลืมผัว จากร้านเรือข้าวจ้าว ตลาดไท
2. ข้าวขาวหอมมะลิ พันธุ์สุรินทร์ จากร้านเรือข้าวจ้าว ตลาดไท
3. ข้าวกล้องหอมมะลิเพาะงอก 100% พันธุ์ข้าวหอมมะลิ 105 ยี่ห้อ Be Live Rice
4. ข้าวกล้องหอมมะลิ 105 จากร้านเรือข้าวจ้าว ตลาดไท
5. ข้าวกล้องมันปู จากร้านเรือข้าวจ้าว ตลาดไท
6. ข้าวกล้องหอมมะลิแดง พันธุ์สังข์หยด จากร้านเรือข้าวจ้าว ตลาดไท
7. ข้าวเสาไห้ พันธุ์ชัยนาท 1 จากร้านเรือข้าวจ้าว ตลาดไท

3.4.1.1 ปริมาณความชื้นของเมล็ดข้าว โดยเครื่อง Moisture Determination Balance รุ่น FD-620

3.4.1.2 ปริมาณน้ำอิสระในอาหารของเมล็ดข้าว โดยเครื่อง Water Activity รุ่น AquaLab Series 3

3.4.1.3 การดูดซับน้ำของเมล็ดข้าว (สุพิศา, 2547) (ดังภาคผนวก ง)

3.4.1.4 สีของเมล็ดข้าว โดยเครื่องวัดสี (Spectrophotometer) รุ่น CM-3500d KONICA MINOLTA

3.4.1.5 คุณภาพการหุงต้มของเมล็ดข้าว

- การเพิ่มน้ำหนักของเมล็ดข้าวสุก (ดัดแปลงจากสุพิศา, 2547) (ดังภาคผนวก ง)
- การขยายปริมาตรของเมล็ดข้าวสุก (ดัดแปลงจากสุพิศา, 2547) (ดังภาคผนวก ง)

3.4.2 การตรวจสอบคุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของแป้งจากข้าว 7 ชนิด

ตัวอย่างข้าวพันธุ์ต่างๆจะผ่านการบดละเอียดแบบเปียกให้เป็นแป้งด้วยเครื่องโม่เปียก Disin tegrator Model RP-8-K-155 Drezahl 4000u/min โดยใช้การร่อนผ่านตะแกรงภายในเครื่องขนาด 50 mesh เพื่อลดขนาดของเมล็ดข้าว แล้วนำไปร่อนผ่านตะแกรงภายในเครื่องขนาด 100 mesh นำแป้งมาตรวจสอบ (ดังภาคผนวก ข)

3.4.2.1 สีของแป้งข้าว โดยเครื่องวัดสี (Spectrophotometer) รุ่น CM-3500d KONICA MINOLTA

3.4.2.2 การพองตัวของแป้งข้าว (ดังภาคผนวก ง)

3.4.2.3 การละลายของแป้งข้าว (ดังภาคผนวก ง)

3.4.2.4 พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าว โดยใช้เครื่องวัดความหนืดอย่างรวดเร็ว (Rapid Viscos Analyzer; RVA) (ดังภาคผนวก ง)

3.4.2.5 ตรวจสอบองค์ประกอบของแป้งข้าว โดยวิธี Proximate Analysis เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น ไขมัน เถ้า คาร์โบไฮเดรต ตามวิธีมาตรฐาน (AOAC, 2000) และโปรตีนด้วยวิธีการ Kjeldahl method (ดังภาคผนวก จ)

3.4.3 การตรวจสอบคุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของเครื่องดื่มข้าวผง (ผลิตภัณฑ์สุดท้าย)

นำสูตรเครื่องดื่มข้าวผง (ผลิตภัณฑ์สุดท้าย) จากข้อ 3.4.4.6 แล้วนำมาวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่างด้วย pH meter ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดด้วย Refractometer และตรวจสอบองค์ประกอบของเครื่องดื่มข้าวผง โดยวิธี Proximate Analysis เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น ไขมัน เถ้า คาร์โบไฮเดรต ตามวิธีมาตรฐาน (AOAC, 2000) และปริมาณโปรตีนด้วยวิธีการ Kjeldahl method (ดังภาคผนวก จ)

3.4.4 ศึกษาสูตรและการยอมรับของผู้บริโภคทางประสาทสัมผัสในการผลิตเครื่องดื่มข้าวผง

3.4.4.1 ศึกษาสูตรพื้นฐานที่ใช้ในการผลิตเครื่องดื่มข้าวผง

ศึกษาสูตรพื้นฐานเครื่องดื่มข้าวผง โดยดัดแปลงจากสูตรเครื่องดื่มข้าวผงจำนวน 3 สูตร คือ สูตรที่ 1 กฤษณา และคณะ (2011), สูตรที่ 2 สุนันทา และวัชรี (2008), และสูตรที่ 3 สุนันทา และคณะ (2011) ดังตารางที่ 3.1 วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design, CRD) โดยศึกษาสูตรที่แตกต่างกันแล้วนำไปทดสอบหาการยอมรับของผู้ทดสอบ โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ในบล็อก (Randomized Complete Block Design, RCBD) ใช้ผู้ทดสอบ 30 คน ซึ่งเป็นพนักงานและบุคคลากรของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยนำเครื่องดื่มข้าวผงละลายในน้ำร้อน (ดังภาคผนวก ก) ทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านสี กลิ่น รสหวาน ความหนืด และความชอบโดยรวม โดยมีการให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9 – Points Hedonic Scale) นำผลมาวิเคราะห์หาความแปรปรวน (Analysis of Variance -ANOVA) และวิเคราะห์หาค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple's Range test (DMRT) เพื่อนำสูตรที่ดีที่สุดไปพัฒนาเครื่องดื่มข้าวผงต่อไป

ตารางที่ 3.1 แสดงสูตรพื้นฐานที่ใช้ในการผลิตเครื่องดื่มข้าวผง จำนวน 3 สูตร

วัตถุดิบ	ร้อยละของวัตถุดิบ		
	สูตรที่ 1	**สูตรที่ 2**	**สูตรที่ 3**
ข้าวกล้องอบแห้ง	-	20.59	-
ข้าวโพดอบแห้ง	-	5.88	-
ข้าวกล้องงอกอบแห้ง	23.34	-	42.10
ลูกเดือยผง	3.33	2.94	-
ถั่วเหลืองผง	6.67	-	-
นมผง	13.33	20.59	-
น้ำตาล	33.33	35.29	26.30
ครีมเทียม	20.00	14.71	10.50
มอลโทเดกซ์ทริน	-	-	21.10

ที่มา ; สูตร 1 กฤษณา และคณะ, 2011

ที่มา ; สูตร 2 สุนันทา และวัชรี, 2008

ที่มา ; สูตร 3 สุนันทา และคณะ, 2011

3.4.4.2 ศึกษาการใช้ข้าวกล้องงอกอบแห้งทดแทนการใช้ครีมเทียมในการผลิตเครื่องดื่มข้าวผง

นำสูตรที่ได้จากการศึกษาสูตรพื้นฐาน มาศึกษาการใช้ข้าวกล้องงอกอบแห้งทดแทนการใช้ครีมเทียม เนื่องจากครีมเทียมเป็นไขมันอิ่มตัวชนิดทรานส์ส่งผลให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับสุขภาพ จึงได้ศึกษาการใช้ข้าวกล้องงอกอบแห้งทดแทนการใช้ครีมเทียมในการผลิตเครื่องดื่มข้าวผงที่ส่งผลต่อรสชาติและความหนืดของผลิตภัณฑ์ วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design, CRD) โดยใช้ข้าวกล้องงอกอบแห้งทดแทนการใช้ครีมเทียม 3 ระดับ คือ ร้อยละ 50 75 และ 100 แล้วนำไปทดสอบหาการยอมรับของผู้ทดสอบ โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ในบล็อก (Randomized Complete Block Design, RCBD) ใช้ผู้ทดสอบ 30 คน ซึ่งเป็นพนักงานและบุคคลากรของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านสี กลิ่น รสหวาน ความหนืด และความชอบโดยรวม โดยมีการให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9 – Points Hedonic Scale) นำผลมาวิเคราะห์หาความแปรปรวน (Analysis of Variance - ANOVA) และวิเคราะห์หาค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple's Range test (DMRT) เพื่อนำสูตรที่ดีที่สุดไปศึกษาอัตราส่วนแป้งข้าว 7 ชนิดที่เหมาะสมในการผลิตเครื่องดื่มข้าวผงต่อไป

ตารางที่ 3.2 แสดงสูตรการใช้ข้าวกล้องงอกอบแห้งทดแทนครีมเทียมในการผลิตเครื่องดื่มข้าวผง จำนวน 3 ระดับ

วัตถุดิบ	ปริมาณข้าวกล้องงอกอบแห้งที่ใช้ทดแทนครีมเทียม (ร้อยละ)		
	50	75	100
ข้าวกล้องงอกอบแห้ง	33.34	38.34	43.34
ครีมเทียม	10.00	5.00	-
ลูกเดือยผง	3.33	3.33	3.33
ถั่วเหลืองผง	6.67	6.67	6.67
นมผง	13.33	13.33	13.33
น้ำตาล	33.33	33.33	33.33

หมายเหตุ หน่วยแต่ละสูตรเป็นร้อยละ

ที่มา : สูตร 1 กฤษณา และคณะ, 2011

3.4.4.3 ศึกษาปริมาณอัตราส่วนแป้งข้าว 7 ชนิดที่เหมาะสมในการผลิตเครื่องดื่มข้าวผง

นำสูตรที่ได้จากข้อ 3.4.4.2 มาศึกษาปริมาณอัตราส่วนแป้งข้าว 7 ชนิด ซึ่งปริมาณแป้งข้าว 7 ชนิดมีผลต่อการผลิตในเรื่องกลิ่นและความข้นหนืด เนื่องจากแป้งข้าวขาวหอมมะลิพันธุ์สุรินทร์เป็นแป้งที่มีปริมาณอะไมโลสสูงถึง 30.4 เปอร์เซ็นต์ ทำให้เกิดความข้นหนืดในผลิตภัณฑ์มาก และในการทำผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มธัญพืชสำเร็จรูปสามารถใช้ข้าวในกลุ่มข้าวอะไมโลสต่ำ (มีค่าอะไมโลสไม่เกิน 20 เปอร์เซ็นต์) วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design, CRD) โดยศึกษาปริมาณอัตราส่วนของแป้งข้าว 7 ชนิด จำนวน 3 สูตร โดยใช้แป้งข้าว 7 ชนิดดังนี้ แป้งข้าวเหนียวดำ พันธุ์ลืมผัว : แป้งข้าวขาวหอมมะลิ พันธุ์สุรินทร์ : แป้งข้าวกล้องหอมมะลิเพาะงอก : แป้งข้าวกล้องหอมมะลิ 105 : แป้งข้าวกล้องมันปู : แป้งข้าวกล้องหอมมะลิแดง พันธุ์สังข์หยด : แป้งข้าวเสาไห้พันธุ์ชัยนาท 1 ซึ่งใช้ปริมาณอัตราส่วนของแป้งข้าว 5 ชนิด คือ แป้งข้าวกล้องหอมมะลิเพาะงอก : แป้งข้าวกล้องหอมมะลิ 105 : แป้งข้าวกล้องมันปู : แป้งข้าวกล้องหอมมะลิแดงพันธุ์สังข์หยด : แป้งข้าวเสาไห้พันธุ์ชัยนาท 1 ในอัตราส่วนที่เท่ากัน คือ ร้อยละ 6 ทุกชนิด และปรับปริมาณอัตราส่วนแป้งข้าวเหนียวดำพันธุ์ลืมผัว และแป้งข้าวขาวหอมมะลิพันธุ์สุรินทร์ เพราะมีผลต่อผลิตภัณฑ์ในด้านกลิ่น และความหนืด โดยใช้ปริมาณแป้งข้าวเหนียวดำพันธุ์ลืมผัวและแป้งข้าวขาวหอมมะลิพันธุ์สุรินทร์ 3 ระดับ คือ ร้อยละ 6.67 : 6.67, 8.34 : 5.00 และ10.00 : 3.34 ดังตารางที่ 3.3

แล้วนำไปทดสอบหาการยอมรับของผู้ทดสอบ โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ในบล็อก (Randomized Complete Block Design, RCBD) ใช้ผู้ทดสอบ 30 คน ซึ่งเป็นพนักงานและบุคคลากรของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านสี กลิ่น รสหวาน ความหนืด และความชอบโดยรวม โดยมีการให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9 – Points Hedonic Scale) นำผลมาวิเคราะห์หาความแปรปรวน (Analysis of Variance - ANOVA) และวิเคราะห์หาค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple's Range test (DMRT) เพื่อนำสูตรที่ดีที่สุดไปศึกษาปริมาณถั่วเหลืองผงที่ใช้ทดแทนลูกเดือยผงในการผลิต เครื่องดื่มข้าวผงต่อไป

ตารางที่ 3.3 แสดงปริมาณอัตราส่วนแป้งข้าว 7 ชนิดที่เหมาะสมในการผลิตเครื่องดื่มข้าวผง จำนวน 3 สูตร

วัตถุดิบ	**อัตราส่วนแป้งข้าว (ร้อยละ)**		
	สูตรที่ 1	**สูตรที่ 2**	**สูตรที่ 3**
แป้งข้าวเหนียวดำพันธุ์ลืมผัว	6.67	8.34	10.00
แป้งข้าวขาวหอมมะลิพันธุ์สุรินทร์	6.67	5.00	3.34
แป้งข้าวกล้องหอมมะลิเพาะงอก	6.00	6.00	6.00
แป้งข้าวกล้องหอมมะลิ 105	6.00	6.00	6.00
แป้งข้าวกล้องมันปู	6.00	6.00	6.00
แป้งข้าวกล้องหอมมะลิแดงพันธุ์สังข์หยด	6.00	6.00	6.00
แป้งข้าวเสาไห้พันธุ์ชัยนาท 1	6.00	6.00	6.00
ลูกเดือยผง	3.33	3.33	3.33
ถั่วเหลืองผง	6.67	6.67	6.67
นมผง	13.33	13.33	13.33
น้ำตาล	33.33	33.33	33.33

หมายเหตุ หน่วยแต่ละสูตรเป็นร้อยละ

3.4.4.4 ศึกษาปริมาณถั่วเหลืองผงที่ใช้ทดแทนลูกเดือยผงในการผลิตเครื่องดื่มข้าวผง

นำสูตรที่ได้จากข้อ 3.4.4.3 มาศึกษาปริมาณถั่วเหลืองผงที่ใช้ทดแทนลูกเดือยผงในการผลิตเครื่องดื่มข้าวผง เนื่องจากแป้งลูกเดือยมีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบถึงร้อยละ 77.52 ส่วนในถั่วเหลืองผงมีคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 26.7 ส่งผลให้เกิดความข้นหนืดมากในผลิตภัณฑ์ วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomied Design, CRD) โดยศึกษาปริมาณถั่วเหลืองผงที่ใช้ทดแทนลูกเดือยผงในเครื่องดื่มข้าวผง จำนวน 3 ระดับ คือ ร้อยละ 50 75 และ 100 ดังตารางที่ 3.4 นำไปทดสอบหาการยอมรับของผู้ทดสอบ โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ในบล็อก (Randomized Complete Block Design, RCBD) ใช้ผู้ทดสอบ 30 คน ซึ่งเป็นพนักงานและบุคคลากรของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านสี กลิ่น รสหวาน ความหนืด และความชอบโดยรวม โดยมีการให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9 – Points Hedonic Scale) นำผลมาวิเคราะห์หาความแปรปรวน (Analysis of Variance - ANOVA) และวิเคราะห์หาค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple's Range test (DMRT) เพื่อนำสูตรที่ดีที่สุดไปศึกษาปริมาณถั่วเหลืองผงที่ใช้ทดแทนน้ำตาลในการผลิตเครื่องดื่มข้าวผงต่อไป

ตารางที่ 3.4 แสดงปริมาณถั่วเหลืองผงที่ใช้ทดแทนลูกเดือยผงในการผลิตเครื่องดื่มข้าวผง จำนวน 3 ระดับ

วัตถุดิบ	**ปริมาณถั่วเหลืองผงที่ใช้ทดแทนลูกเดือยผง (ร้อยละ)**		
	50	**75**	**100**
ถั่วเหลืองผง	8.33	9.17	10.00
ลูกเดือยอบแห้ง	1.67	0.83	-
แป้งข้าว 7 ชนิด	43.34	43.34	43.34
นมผง	13.33	13.33	13.33
น้ำตาล	33.33	33.33	33.33

หมายเหตุ หน่วยแต่ละสูตรเป็นร้อยละ

3.4.4.5 ศึกษาปริมาณถั่วเหลืองผงที่ใช้ทดแทนน้ำตาลในการผลิตเครื่องดื่มข้าวผง

นำสูตรที่ได้จากข้อ 3.4.4.4 มาศึกษาปริมาณถั่วเหลืองผงที่ใช้ทดแทนน้ำตาลในการผลิตเครื่องดื่มข้าวผง ซึ่งมีผลต่อการผลิตในเรื่องรสหวาน เนื่องจากน้ำตาลคือสารให้ความหวานตามธรรมชาติ ซึ่งน้ำตาลทรายมีชื่อเรียกอีกชื่อคือ ซูโครส ปัจจุบันใช้ซูโครสเป็นมาตรฐานของความหวาน เพื่อเปรียบเทียบกับน้ำตาลชนิดอื่น ความหวานของซูโครสมีค่าเท่ากับ 1 ส่วนในถั่วเหลืองมีน้ำตาลแลกโตสเป็นองค์ประกอบ แลกโตสมีความหวานเท่ากับ 0.4 เมื่อเปรียบเทียบกับซูโครส วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design, CRD) โดยศึกษาปริมาณถั่วเหลืองผงจำนวน 3 ระดับทดแทนน้ำตาลในสูตร คือ ร้อยละ 5 10 และ 15 ดังตารางที่ 3.5 นำไปทดสอบหาการยอมรับของผู้ทดสอบ โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ในบล็อก (Randomized Complete Block Design, RCBD) ใช้ผู้ทดสอบ 30 คน ซึ่งเป็นพนักงานและบุคคลากรของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านสี กลิ่น รสหวาน ความหนืด และความชอบโดยรวม โดยมีการให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9 – Points Hedonic Scale) นำผลมาวิเคราะห์หาความแปรปรวน (Analysis of Variance - ANOVA) และวิเคราะห์หาค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s New Multiple’s Range test (DMRT) เพื่อนำสูตรที่ดีที่สุดไปศึกษาปริมาณนมผงที่ใช้ทดแทนน้ำตาลในการผลิตเครื่องดื่มข้าวผงต่อไป

ตารางที่ 3.5 แสดงปริมาณถั่วเหลืองผงที่ใช้ทดแทนน้ำตาลในการผลิตเครื่องดื่มข้าวผง จำนวน 3 ระดับ

วัตถุดิบ	**ปริมาณถั่วเหลืองผงที่ใช้ทดแทนน้ำตาล (ร้อยละ)**		
	5	**10**	**15**
ถั่วเหลืองผง	11.67	13.33	15.00
น้ำตาล	31.66	30.00	28.33
แป้งข้าว 7 ชนิด	43.34	43.34	43.34
นมผง	13.33	13.33	13.33

หมายเหตุ หน่วยแต่ละสูตรเป็นร้อยละ

3.4.4.6 ศึกษาปริมาณนมผงที่ใช้ทดแทนน้ำตาลในการผลิตเครื่องดื่มข้าวผง

นำสูตรที่ได้จากข้อ 3.4.4.5 มาศึกษาปริมาณนมผงที่ใช้ทดแทนน้ำตาลในการผลิตเครื่องดื่มข้าวผง ซึ่งมีผลต่อการผลิตในเรื่องรสหวาน เนื่องจากน้ำตาลคือสารให้ความหวานตามธรรมชาติ น้ำตาลทรายมีชื่อเรียกอีกชื่อคือ ซูโครส ปัจจุบันใช้ซูโครสเป็นมาตรฐานของความหวานเพื่อเปรียบเทียบกับน้ำตาลชนิดอื่น ความหวานของซูโครสมีค่าเท่ากับ 1 ส่วนในนมวัวมีน้ำตาลแลกโตสเป็นองค์ประกอบ แลกโตสมีความหวานเท่ากับ 0.4 เมื่อเปรียบเทียบกับซูโครส วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design, CRD) โดยศึกษาปริมาณนมผงจำนวน 3 ระดับ ทดแทนน้ำตาลในสูตรคือ ร้อยละ 5 10 และ 15 ดังตารางที่ 3.6 นำไปทดสอบหาการยอมรับของผู้ทดสอบ โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ในบล็อก (Randomized Complete Block Design, RCBD) ใช้ผู้ทดสอบ 30 คน ซึ่งเป็นพนักงานและบุคคลากรของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านสี กลิ่น รสหวาน ความหนืด และความชอบโดยรวม โดยมีการให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9 – Points Hedonic Scale) นำผลมาวิเคราะห์หาความแปรปรวน (Analysis of Variance - ANOVA) และวิเคราะห์หาค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s New Multiple’s Range test (DMRT) เพื่อนำสูตรที่ดีที่สุดไปศึกษาอุณหภูมิของน้ำร้อนที่เหมาะสมในการชงเครื่องดื่มข้าวผงต่อไป

ตารางที่ 3.6 แสดงปริมาณนมผงที่ใช้ทดแทนน้ำตาลในการผลิตเครื่องดื่มข้าวผง จำนวน 3 ระดับ

วัตถุดิบ	ปริมาณนมผงที่ใช้ทดแทนน้ำตาล (ร้อยละ)		
	5	10	15
นมผง	14.83	16.33	17.83
น้ำตาล	28.50	27.00	25.50
แป้งข้าว 7 ชนิด	43.34	43.34	43.34
ถั่วเหลืองผง	13.33	13.33	13.33

หมายเหตุ หน่วยแต่ละสูตรเป็นร้อยละ

3.4.4.7 ศึกษาอุณหภูมิของน้ำร้อนที่เหมาะสมในการชงเครื่องดื่มข้าวผง

นำสูตรที่ได้จากข้อ 3.4.4.6 มาศึกษาอุณหภูมิของน้ำร้อนที่เหมาะสมในการชงเครื่องดื่มข้าวผง ซึ่งอุณหภูมิของน้ำร้อนที่ใช้ในการชงมีผลต่อการพองตัวของเม็ดแป้ง การละลายและความหนืดของเครื่องดื่มข้าวผง วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design, CRD) โดยศึกษาอุณหภูมิของน้ำร้อนในการชง 3 ระดับ คือ 65 70 และ 75 องศาเซลเซียส ตามลำดับ (สมฤดี, 2540) นำไปทดสอบการยอมรับของผู้ทดสอบ โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ในบล็อก (Randomized Complete Block Design, RCBD) ใช้ผู้ทดสอบ 30 คน ซึ่งเป็นพนักงานและบุคคลากรของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านสี กลิ่น รสหวาน ความหนืด และความชอบโดยรวม โดยมีการให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9 – Points Hedonic Scale) นำผลมาวิเคราะห์หาความแปรปรวน (Analysis of Variance - ANOVA) และวิเคราะห์หาค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s New Multiple’s Range test (DMRT)

3.4.4.8 ศึกษาอัตราส่วนเครื่องดื่มข้าวผงต่อน้ำที่เหมาะสมในการชงเครื่องดื่มข้าวผง

นำสูตรที่ได้จากข้อ 3.4.4.7 มาศึกษาอัตราส่วนเครื่องดื่มข้าวผงต่อน้ำที่เหมาะสมในการชงเครื่องดื่มข้าวผง วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design, CRD) โดยนำผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มข้าวผงมาแปรอัตราส่วนเครื่องดื่มข้าวผงต่อน้ำ คือ 1:5 1:10 และ 1:15 (โดยน้ำหนัก) (สมฤดี, 2540) นำไปทดสอบหาการยอมรับของผู้ทดสอบ โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ในบล็อก (Randomized Complete Block Design, RCBD) ใช้ผู้ทดสอบ 30 คน ซึ่งเป็นพนักงานและบุคคลากรของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านสี กลิ่น รสหวาน ความหนืด และความชอบโดยรวม โดยมีการให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9 – Points Hedonic Scale) นำผลมาวิเคราะห์หาความแปรปรวน (Analysis of Variance - ANOVA) และวิเคราะห์หาค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s New Multiple’s Range test (DMRT)

3.4.5 ศึกษาอายุการเก็บรักษาของเครื่องดื่มข้าวผง (ผลิตภัณฑ์สุดท้าย)

ศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มข้าวผง โดยนำสูตรที่ผู้ทดสอบให้การยอมรับมากที่สุดมาทำการศึกษาอายุการเก็บรักษา โดยบรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ขนาด 9.5 × 10 เซนติเมตร ปิดผนึกแบบธรรมดา เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 สัปดาห์ โดยสุ่มตัวอย่างทุกๆ 1 สัปดาห์โดยนำมาตรวจค่าปริมาณความชื้นและวัดค่าสี เพราะความชื้นเป็นปัจจัยเสี่ยงในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และแบคทีเรีย ส่วนค่าสีบ่งชี้ถึงปริมาณแอนโธไซยานินในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มข้าวผง

3.5 สถานที่ทำการทดลอง

ฝ่ายเทคโนโลยีอาหาร สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) และห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ (521 621 และ 622) คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การตรวจสอบคุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของเมล็ดข้าว 7 ชนิด

4.1.1 ปริมาณความชื้นของเมล็ดข้าว

ปริมาณความชื้นของเมล็ดข้าว 7 ชนิด แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าเมล็ดข้าวเหนียวดำพันธุ์ลืมผัวมีความชื้นสูงสุด รองลงมาได้แก่เมล็ดข้าวเสาไห้พันธุ์ชัยนาท 1 เมล็ดข้าวกล้องมันปู เมล็ดข้าวกล้องหอมมะลิแดงพันธุ์สังข์หยด เมล็ดข้าวกล้องหอมมะลิ 105 ข้าวขาวหอมมะลิพันธุ์สุรินทร์ และเมล็ดข้าวกล้องหอมมะลิเพาะงอกตามลำดับ เมล็ดข้าวที่มีความชื้นสูงจะทำให้เชื้อรา และจุลินทรีย์เจริญเติบโตได้ ทำให้ข้าวเสื่อมคุณภาพในระยะเวลาอันรวดเร็ว ในประเทศไทยกำหนดความชื้นไม่เกินร้อยละ 14 ซึ่งเป็นระดับที่ไม่เสี่ยงต่อการเสื่อมเสีย (เครือวัลย์, 2534)

ตารางที่ 4.1 แสดงปริมาณความชื้น (โดยน้ำหนักแห้ง) ของข้าว 7 ชนิด (n = 3)

ชนิดของข้าว	ความชื้น (ร้อยละ)
เมล็ดข้าวเหนียวดำพันธุ์ลืมผัว	13.67 ± 0.05^{a}
เมล็ดข้าวขาวหอมมะลิพันธุ์สุรินทร์	10.64 ± 0.02^{c}
เมล็ดข้าวกล้องหอมมะลิเพาะงอก	10.64 ± 0.02^{c}
เมล็ดข้าวกล้องหอมมะลิ 105	10.72 ± 0.01^{c}
เมล็ดข้าวกล้องมันปู	11.95 ± 0.04^{b}
เมล็ดข้าวกล้องหอมมะลิแดงพันธุ์สังข์หยด	11.15 ± 0.02^{bc}
เมล็ดข้าวเสาไห้พันธุ์ชัยนาท 1	13.07 ± 0.01^{ab}

a, ..., c = ตัวเลขที่มีอักษรกำกับเหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ซึ่งปริมาณความชื้นของเมล็ดข้าวมีความสำคัญต่อคุณภาพของการหุงขึ้นหม้อ และอายุการเก็บรักษาถ้ามีความชื้นสูงจะทำให้เชื้อราและจุลินทรีย์ต่างๆ เจริญเติบโตได้ ข้าวจะเสื่อมคุณภาพในระยะเวลาอันสั้น (ลินดา, 2537) โดยความชื้นที่เกินร้อยละ 14 ทำให้เอนไซม์ต่างๆในเมล็ดยังคงมีแอคติวิตี (activity) อยู่ส่งผลให้เกิดการหายใจ (respiration) ทำให้ก๊าซออกมา และปลดปล่อยไอน้ำออกจากเมล็ด ส่งผลให้ปริมาณความชื้นสูงเพิ่มขึ้น (สุพิศา, 2547)

4.1.2 ปริมาณน้ำอิสระในอาหารของเมล็ดข้าว

ปริมาณน้ำอิสระในอาหารของเมล็ดข้าว 7 ชนิด แสดงไว้ในตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าเมล็ดข้าวเหนียวดำพันธุ์ลืมผัวมีค่าปริมาณน้ำอิสระในอาหารสูงสุด รองลงมาได้แก่เมล็ดข้าวกล้องหอมมะลิแดงพันธุ์สังข์หยด เมล็ดข้าวกล้องหอมมะลิเพาะงอก เมล็ดข้าวกล้องมันปู เมล็ดข้าวเสาไห้พันธุ์ชัยนาท 1 เมล็ดข้าวกล้องหอมมะลิ 105 และเมล็ดข้าวขาวหอมมะลิพันธุ์สุรินทร์ตามลำดับ เมล็ดข้าวที่มีค่าปริมาณน้ำอิสระในอาหารสูงจะทำให้เชื้อรา และจุลินทรีย์เจริญได้ ทำให้ข้าวเสื่อมคุณภาพในระยะเวลาอันรวดเร็ว

ตารางที่ 4.2 แสดงปริมาณน้ำอิสระ (โดยน้ำหนักแห้ง) ของข้าว 7 ชนิด (n = 3)

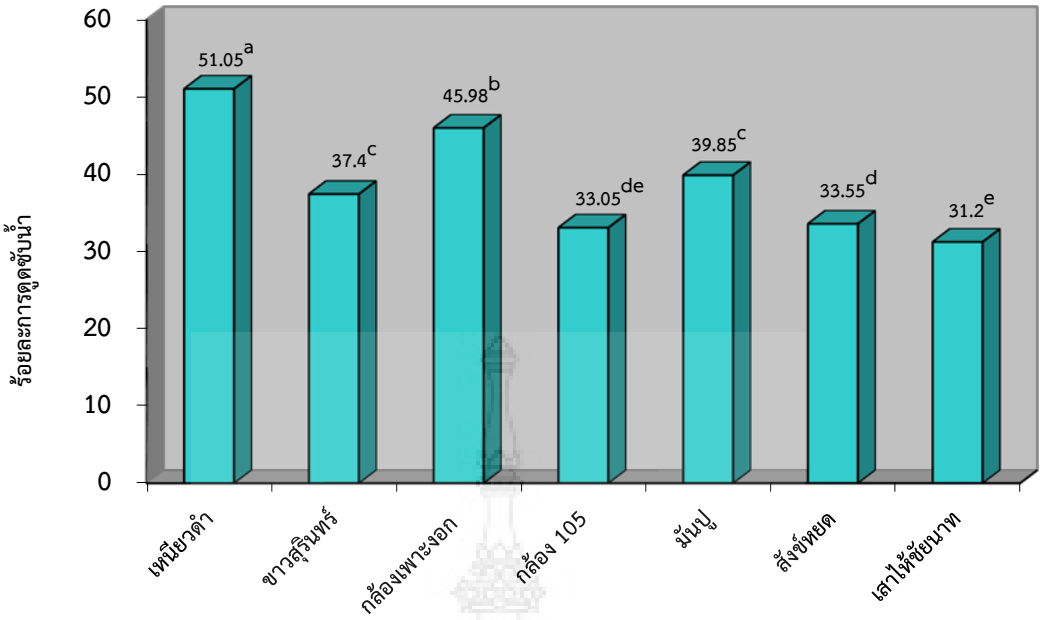
ชนิดของข้าว	ค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w)
เมล็ดข้าวเหนียวดำพันธุ์ลืมผัว	0.75 ± 0.02^{a}
เมล็ดข้าวขาวหอมมะลิพันธุ์สุรินทร์	0.57 ± 0.02^{d}
เมล็ดข้าวกล้องหอมมะลิเพาะงอก	0.66 ± 0.03^{b}
เมล็ดข้าวกล้องหอมมะลิ 105	0.61 ± 0.01^{c}
เมล็ดข้าวกล้องมันปู	0.64 ± 0.01^{bc}
เมล็ดข้าวกล้องหอมมะลิแดงพันธุ์สังข์หยด	0.67 ± 0.02^{b}
เมล็ดข้าวเสาไห้พันธุ์ชัยนาท 1	0.64 ± 0.01^{bc}

a, ..., d = ตัวเลขที่มีอักษรกำกับเหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ปริมาณค่า Water Activity เป็นปัจจัยที่สำคัญในการควบคุมและป้องกันการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์อาหาร จึงมีผลโดยตรงต่อการกำหนดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหาร เนื่องจากค่า Water Activity เป็นปัจจัยที่ชี้ระดับปริมาณน้ำต่ำสุดในอาหารที่เชื้อจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตและใช้ในการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่างๆ เราสามารถใช้ค่า Water Activity ในการประเมินว่าเชื้อจุลินทรีย์ชนิดใดเป็นสาเหตุที่ทำให้อาหารเน่าเสีย ตลอดจนใช้ในการควบคุมและป้องกันการเสื่อมเสียของอาหารที่เกิดขึ้นจากเชื้อจุลินทรีย์ได้ เพราะเชื้อจุลินทรีย์จะเจริญเติบโตได้ภายใต้ค่า Water Activity ที่จำกัด โดยเราจะทำให้อาหารมีค่า Water Activity ต่ำกว่าที่เชื้อจุลินทรีย์จะเจริญเติบโตได้ ตัวอย่างเช่น แบคทีเรียเกือบทุกชนิดไม่สามารถเจริญเติบโตได้ที่ค่า Water Activity ต่ำกว่า 0.9 และราส่วนใหญ่จะไม่เจริญเติบโตที่ค่า Water Activity ต่ำกว่า 0.7 (ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว, 2545)

4.1.3 การดูดซับน้ำของเมล็ดข้าว

ร้อยละการดูดซับน้ำที่อุณหภูมิห้องก่อนการหุงต้มของเมล็ดข้าวทั้ง 7 ชนิด ได้แสดงไว้ในแผนภูมิที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าเมล็ดข้าวพันธุ์ข้าวเหนียวดำพันธุ์ลืมผัวให้ค่าร้อยละการดูดซับน้ำมากที่สุด รองลงมาได้แก่เมล็ดข้าวกล้องหอมมะลิเพาะงอก เมล็ดข้าวกล้องมันปู เมล็ดข้าวขาวหอมมะลิพันธุ์สุรินทร์ เมล็ดข้าวกล้องหอมมะลิแดงพันธุ์สังข์หยด เมล็ดข้าวกล้องหอมมะลิ 105 และเมล็ดข้าวเสาไห้พันธุ์ชัยนาท 1 มีค่าการดูดซับน้ำน้อยที่สุด การดูดซับน้ำของเมล็ดข้าวที่อุณหภูมิห้องได้นั้นเกี่ยวข้องกับความสามารถในการจับน้ำของโปรตีนในเมล็ดข้าว และโมเลกุลของแป้งที่ประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมาก และมีคุณสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic) (เพลงพิณ, 2541) เมล็ดข้าวจึงสามารถดูดน้ำได้เมื่อนำไปแช่ในน้ำ สำหรับเมล็ดข้าวกล้องหอมมะลิเพาะงอก มีค่าการดูดซับน้ำน้อยกว่าข้าวเหนียวอาจเป็นเพราะว่าข้าวเจ้ามีปริมาณอะไมโลสสูงกว่าและปริมาณอะไมโลเพคตินต่ำกว่าข้าวเหนียว โมเลกุลของอะไมโลสจะเป็นเส้นตรงไม่มีกิ่งก้านเหมือนอะไมโลเพคตินจึงเข้าใกล้กันและยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจนได้มากกว่าอะไมโลเพคติน โมเลกุลของน้ำจึงเข้าไปแทรกระหว่างสายของอะไมโลเพคตินได้ง่ายกว่าอะไมโลส ดังนั้นข้าวเหนียวจึงดูดซับน้ำได้มากกว่าข้าวเจ้า



แผนภูมิที่ 4.1 การดูดซับน้ำก่อนการหุงต้มของเมล็ดข้าว 7 ชนิด (n = 3)

a, ..., e = ตัวเลขค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับเหมือนกันคือไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

4.1.4 สีของเมล็ดข้าว

ค่าสีของเมล็ดข้าวทั้ง 7 ชนิด ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.3 โดยค่า L* หมายถึงค่าความสว่าง มีค่าอยู่ในช่วง 0-100 โดยที่ 0 คือสีดำ และ 100 คือสีขาว ค่า +a* แสดงค่าสีแดง ค่า -a* แสดงค่าสีเขียว ค่า +b* แสดงค่าสีเหลือง ค่า –b* แสดงค่าสีน้ำเงิน เมล็ดข้าวขาว 2 ชนิด คือ เมล็ดข้าวเสาไห้พันธุ์ชัยนาท 1 และเมล็ดข้าวขาวหอมมะลิพันธุ์สุรินทร์ มีค่าความสว่าง (L*) มากที่สุดตามลำดับ ส่วนในกลุ่มของข้าวกล้อง พบว่าเมล็ดข้าวเหนียวดำพันธุ์ลืมผัวมีค่าความสว่าง (L*) น้อยที่สุด รองลงมาคือเมล็ดข้าวกล้องหอมมะลิแดงพันธุ์สังข์หยด เมล็ดข้าวกล้องมันปู เมล็ดข้าวกล้องหอมมะลิ 105 และข้าวกล้องหอมมะลิเพาะงอกตามลำดับ เมล็ดข้าวขาว 2 ชนิดให้ค่า a เป็นลบแสดงค่า a เป็นสีเขียว โดยเมล็ดข้าวเสาไห้พันธุ์ชัยนาท 1 มีค่า -a* มากที่สุด และเมล็ดข้าวขาวหอมมะลิพันธุ์สุรินทร์มีค่า -a* น้อยที่สุด ส่วนในกลุ่มข้าวกล้องให้ค่า a เป็นบวกแสดงค่า a เป็นสีแดงพบว่า เมล็ดข้าวกล้องหอมมะลิแดงพันธุ์สังข์หยดมีค่ามากที่สุด รองลงมาคือเมล็ดข้าวกล้องมันปู เมล็ดข้าวกล้องหอมมะลิเพาะงอก เมล็ดข้าวกล้องหอมมะลิ 105 และเมล็ดข้าวเหนียวดำพันธุ์ลืมผัว ตามลำดับ ในกลุ่มข้าวกล้องเมล็ดข้าวกล้องหอมมะลิเพาะงอก มีค่าสีเหลือง (b*) มากที่สุด รองลงมา คือ เมล็ดข้าวกล้องหอมมะลิ 105 เมล็ดข้าวขาวหอมมะลิพันธุ์สุรินทร์ เมล็ดข้าวเสาไห้พันธุ์ชัยนาท 1 เมล็ดข้าวกล้องมันปู เมล็ดข้าวกล้องหอมมะลิแดงพันธุ์สังข์หยด เมล็ดข้าวเหนียวดำพันธุ์ลืมผัวตามลำดับ แสดงไว้ในภาพที่ 4.1

ตารางที่ 4.3 ค่าสีของเมล็ดข้าว 7 ชนิด (n = 3)

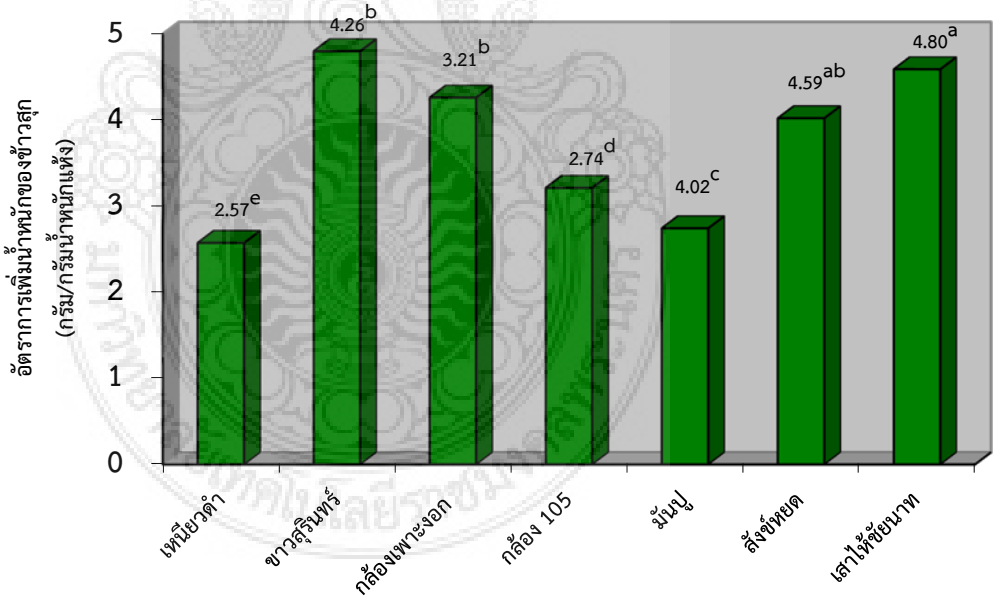
ชนิดของข้าว	ค่าสี		
	L*	a*	b*
เมล็ดข้าวเหนียวดำพันธุ์ลืมผัว	28.28 ± 0.01^{d}	3.50 ± 0.01^{c}	1.31 ± 0.01^{e}
เมล็ดข้าวขาวหอมมะลิพันธุ์สุรินทร์	75.31 ± 0.01^{a}	-8.82 ± 0.02^{e}	16.36 ± 0.01^{b}
เมล็ดข้าวกล้องหอมมะลิเพาะงอก	66.04 ± 0.00^{b}	5.85 ± 0.00^{b}	25.44 ± 0.02^{a}
เมล็ดข้าวกล้องหอมมะลิ 105	65.39 ± 0.00^{b}	4.76 ± 0.01^{bc}	24.21 ± 0.01^{a}
เมล็ดข้าวกล้องมันปู	38.63 ± 0.01^{c}	12.05 ± 0.00^{a}	13.16 ± 0.01^{bc}
เมล็ดข้าวกล้องหอมมะลิแดงพันธุ์สังข์หยด	36.18 ± 0.01^{c}	13.23 ± 0.01^{a}	11.82 ± 0.01^{c}
เมล็ดข้าวเสาไห้พันธุ์ชัยนาท 1	75.44 ± 0.01^{a}	-0.71 ± 0.01^{d}	14.12 ± 0.01^{bc}

a, ..., e = ตัวเลขที่มีอักษรกำกับเหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ภาพที่ 4.1 เมล็ดข้าวเหนียวดำพันธุ์ลืมผัว เมล็ดข้าวขาวหอมมะลิพันธุ์สุรินทร์ เมล็ดข้าวกล้องหอมมะลิเพาะงอก เมล็ดข้าวกล้องหอมมะลิ 105 เมล็ดข้าวกล้องมันปู เมล็ดข้าวกล้องหอมมะลิแดงพันธุ์สังข์หยด และเมล็ดข้าวเสาไห้พันธุ์ชัยนาท 1 ตามลำดับ

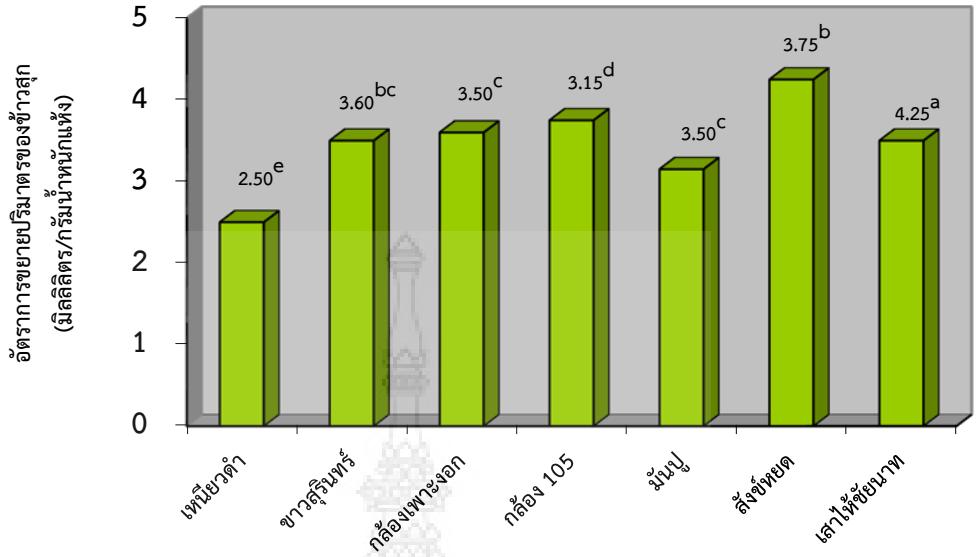
4.1.5 คุณภาพการหุงต้มของเมล็ดข้าว

การวิเคราะห์คุณภาพการหุงต้มเป็นการหาอัตราการเพิ่มน้ำหนัก และอัตราการขยายปริมาตรของข้าวสุกซึ่งได้จากการนำข้าวมาหุงต้ม จากแผนภูมิที่ 4.2 และ 4.3 พบว่าเมล็ดข้าวเสาไห้พันธุ์ชัยนาท 1 และเมล็ดข้าวหอมมะลิกล้องแดงพันธุ์สังข์หยด มีอัตราการเพิ่มน้ำหนักและอัตราการขยายปริมาตรหลังการหุงต้มสูงตามลำดับ ส่วนเมล็ดข้าวเหนียวดำพันธุ์ลืมผัว มีอัตราการเพิ่มน้ำหนักและอัตราการขยายปริมาตรหลังการหุงต้มน้อย จากผลแสดงอัตราการเพิ่มน้ำหนัก และอัตราการขยายปริมาตรหลังการหุงต้มจะเห็นแนวโน้มว่าเมล็ดข้าวที่มีอัตราการเพิ่มน้ำหนักมาก จะมีอัตราการขยายปริมาตรมากไปด้วย และเมล็ดข้าวที่มีปริมาณโปรตีนสูงจะมีอัตราการเพิ่มน้ำหนัก และอัตราการขยายปริมาตรน้อยกว่าเมล็ดข้าวที่มีโปรตีนต่ำ เนื่องจากโปรตีนในเมล็ดข้าวอาจแข่งขันกับสตาร์ชในการดูดซับน้ำขณะหุงต้ม ซึ่งขัดขวางการเกิดเจลาติไนเซชันของสตาร์ช ดังนั้นข้าวที่มีปริมาณโปรตีนสูงกว่าจึงหุงสุกได้ยากกว่าหรือช้ากว่าข้าวที่มีปริมาณโปรตีนต่ำกว่า (ลินดา, 2537) เมล็ดข้าวที่มีปริมาณโปรตีนสูงจึงมีอัตราการเพิ่มน้ำหนัก และอัตราการขยายปริมาตรของข้าวสุกน้อยกว่าเมล็ดข้าวที่มีโปรตีนต่ำ



แผนภูมิที่ 4.2 อัตราการเพิ่มน้ำหนักของข้าวสุกซึ่งได้จากการหุงต้มเมล็ดข้าว 7 ชนิด (n = 3)

a, ..., e = ตัวเลขค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับเหมือนกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



แผนภูมิที่ 4.3 อัตราการขยายปริมาตรของข้าวสุกซึ่งได้จากการหุงต้มเมล็ดข้าว 7 ชนิด (n = 3)

a, ..., f = ตัวเลขเฉลี่ยค่าที่มีอักษรกำกับเหมือนกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ภาพที่ 4.2 ลักษณะเมล็ดข้าวที่ผ่านการหุงต้ม โดยใช้อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water Bath) ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

การทดสอบคุณภาพการหุงต้มเป็นการประเมินปริมาณอะไมโลสได้อย่างคร่าวๆเนื่องจากการมีคุณภาพการหุงต้มที่สูงแสดงได้ว่าข้าวมีปริมาณอะไมโลสเป็นองค์ประกอบสูงจะส่งผลให้ข้าวมีความหนืดและอุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชันสูง ละลายได้ยากเพราะมีอะไมโลสเป็นโครงสร้างที่ไม่มีกิ่งก้านและยึดกันด้วยพันธะที่เหนียวแน่น ทำปฏิกิริยาได้ยาก มีส่วนของผลึกที่หนาแน่นและแข็งแรง โมเลกุลของน้ำจะเข้าไปแทรกในสายของโมเลกุลอะไมโลสได้ยากกว่าอะไมโลเพคติน ดังนั้นในการทำเครื่องดื่มข้าวผงจึงควรเลือกข้าวที่มีอะไมโลสต่ำ (ไม่เกินร้อยละ 20) คือ ข้าวเหนียวดำพันธุ์ลืมผัวเป็นองค์ประกอบหลัก

4.2 การตรวจสอบคุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของแป้งจากข้าว 7 ชนิด

4.2.1 สีของแป้งข้าว

ค่าสีของแป้งข้าว 7 ชนิด ได้แสดงดังตารางที่ 4.4 โดยค่า L* หมายถึงค่าความสว่างมีค่าอยู่ในช่วง 0-100 โดยที่ 0 คือสีดำ และ 100 คือสีขาว แสดงค่า +a* แสดงค่าสีแดง ค่า -a* แสดงค่าสีเขียว ค่า +b* แสดงค่าสีเหลือง ค่า –b* แสดงค่าสีน้ำเงิน แป้งจากข้าวเจ้า 2 ชนิด คือข้าวขาวหอมมะลิพันธุ์สุรินทร์ และข้าวเสาไห้พันธุ์ชัยนาท 1 มีค่าความสว่าง (L*) และมีค่าสีเหลือง (b*) มาก แต่มีค่าสีแดง (a*) น้อยที่สุด แสดงว่ามีสีอ่อนที่สุด ซึ่งค่าความสว่างของแป้งจะสูงกว่าเมล็ดข้าว เพราะเนื้อเมล็ดมีสีขาวเมื่อนำไปโม่ทำให้แป้งข้าวมีสีขาวของเนื้อเมล็ดมาทำให้ความเข้มของสีเขียวและสีเหลืองน้อยลง

การที่แป้งข้าวเหนียวดำพันธุ์ลืมผัวมีสีเข้มมากที่สุด เพราะเมล็ดข้าวกล้องพันธุ์นี้มีเยื่อหุ้มเมล็ดหนา และมีรงควัตถุชื่อแอนโธไซยานิน (Anthocyanin) ที่สะสมที่ผิวเยื่อหุ้มเมล็ดน้อยกว่าภายในชั้นเยื่อหุ้มเมล็ด ดังนั้นเมื่อทำการบดเมล็ดแป้ง จึงทำให้รงควัตถุที่อยู่ภายในเยื่อหุ้มเมล็ดปรากฏออกมาให้เห็น และมีผลให้ได้แป้งที่มีสีเข้มกว่าแป้งจากเมล็ดข้าวชนิดอื่นๆ

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าสีของแป้งข้าว 7 ชนิด (n = 3)

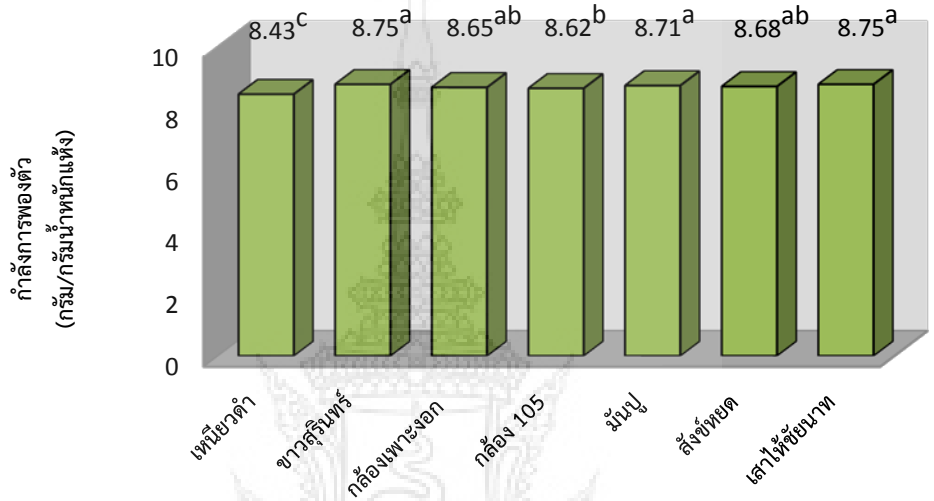
ชนิดของข้าว	ค่าสี		
	L*	a*	b*
ข้าวเหนียวดำพันธุ์ลืมผัว	66.22 ± 0.01^{e}	5.96 ± 0.01^{a}	-0.38 ± 0.02^{e}
ข้าวขาวหอมมะลิพันธุ์สุรินทร์	96.64 ± 0.01^{a}	-0.16 ± 0.01^{d}	3.08 ± 0.01^{d}
ข้าวกล้องหอมมะลิเพาะงอก	94.02 ± 0.04^{b}	0.27 ± 0.01^{c}	6.21 ± 0.02^{b}
ข้าวกล้องหอมมะลิ 105	94.52 ± 0.01^{b}	0.24 ± 0.02^{c}	5.58 ± 0.01^{c}
ข้าวกล้องมันปู	80.23 ± 0.01^{d}	6.00 ± 0.00^{a}	9.58 ± 0.03^{a}
ข้าวกล้องหอมมะลิแดงพันธุ์สังข์หยด	84.43 ± 0.01^{c}	4.64 ± 0.01^{b}	6.55 ± 0.01^{b}
ข้าวเสาไห้พันธุ์ชัยนาท 1	96.65 ± 0.00^{a}	-0.12 ± 0.02^{d}	3.24 ± 0.01^{d}

a, ..., e = ตัวเลขที่มีอักษรกำกับเหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ภาพที่ 4.3 แป้งข้าวเหนียวดำพันธุ์ลืมผัว แป้งข้าวขาวหอมมะลิพันธุ์สุรินทร์ แป้งข้าวกล้องหอมมะลิเพาะงอก แป้งข้าวกล้องหอมมะลิ 105 แป้งข้าวกล้องมันปู แป้งข้าวกล้องหอมมะลิแดงพันธุ์สังข์หยด และแป้งข้าวเสาไห้พันธุ์ชัยนาท 1

4.2.2 การพองตัวของแป้งข้าว

จากแผนภูมิที่ 4.4 แป้งข้าวขาวหอมมะลิพันธุ์สุรินทร์มีกำลังการพองตัวมากที่สุด รองลงมาคือ แป้งข้าวเสาไห้พันธุ์ชัยนาท 1 แป้งข้าวกล้องมันปู แป้งข้าวกล้องหอมมะลิแดงพันธุ์สังข์หยด แป้งข้าวกล้องหอมมะลิเพาะงอก แป้งข้าวกล้องหอมมะลิ 105 และแป้งข้าวเหนียวดำพันธุ์ลืมผัว ตามลำดับ



แผนภูมิที่ 4.4 ร้อยละการพองตัว

a, ..., c = ตัวเลขค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับเหมือนกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

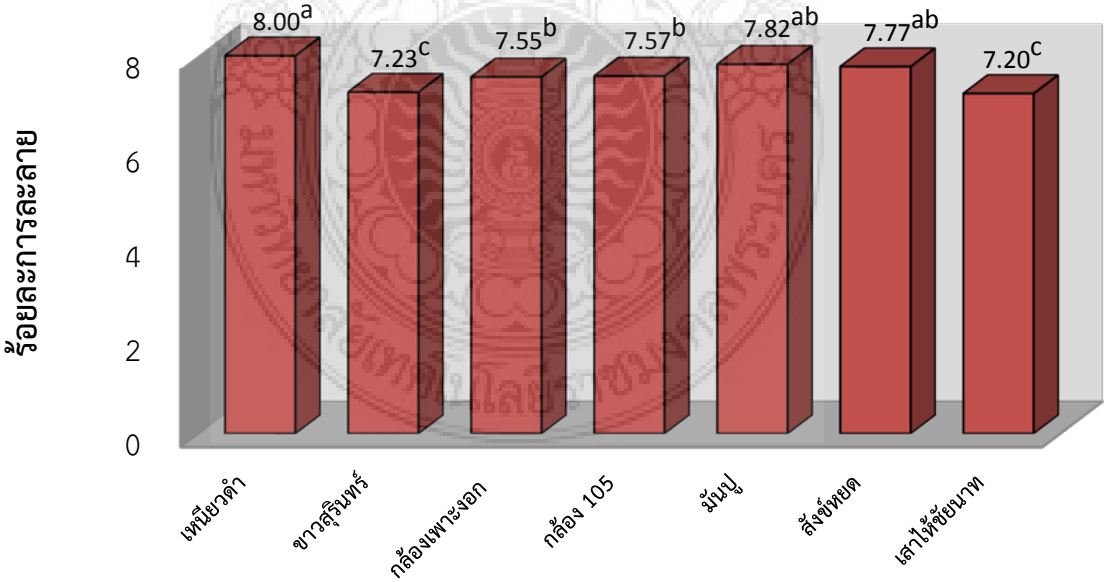
ค่าการพองตัวของแป้งข้าว 7 ชนิดหลังผ่านการต้มที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส โดยเขย่าตลอดเป็นเวลา 30 นาที ได้แสดงดังแผนภูมิที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าแป้งข้าวขาวหอมมะลิพันธุ์สุรินทร์ให้กำลังการพองตัวมากที่สุด ซึ่งการพองตัวนี้เกิดเนื่องจากการสลายพันธะไฮโดรเจนที่มีอยู่เดิมระหว่างโมเลกุลสตาร์ชด้วยกันเอง และเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลสตาร์ชกับน้ำแทนที่ ดังนั้นการพองตัวจะเกิดช้าหรือเร็วจึงขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของพันธะไฮโดรเจน คือขึ้นอยู่กับโครงสร้างโมเลกุลในเม็ดสตาร์ชที่เป็นส่วนอสัณฐาน (Amorphous) และส่วนผลึก (Crystalline) โดยส่วนผลึกจะเป็นบริเวณที่โมเลกุลจัดเรียงตัวกันหนาแน่น เป็นระเบียบ พองตัวยาก และทนต่อปฏิกิริยาได้มากกว่าอสัณฐาน ซึ่งเป็นส่วนที่โมเลกุลสตาร์ชจัดเรียงตัวกันไม่หนาแน่น โดยจับกันอยู่อย่างกระจัดกระจายไม่เป็นระเบียบ และมีหมู่ไฮดรอกซิลอิสระอยู่มาก จึงทำให้พองตัวง่ายและไวต่อปฏิกิริยา ส่วนอสัณฐานจึงพองตัวได้ก่อน (อรวรรณ, 2529) เนื่องจากแป้งข้าวเจ้ามีปริมาณอะไมโลสมากกว่าข้าวเหนียว ทำให้การจัดเรียงตัวของโมเลกุลแป้งในส่วนอสัณฐานและส่วนผลึกแข็งแรงกว่าแป้งข้าวเหนียว เนื่องจากโมเลกุลอะไมโลสไม่มีกิ่งก้านจึงสามารถจัดเรียงตัวกัน

อย่างใกล้ชิด เกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลได้มาก ส่วนแป้งข้าวเหนียวซึ่งมีอะไมโลเพคตินสูงจะมีการจัดเรียงตัวของโมเลกุลในส่วนอสัณฐาน และส่วนผลึกหนาแน่นน้อย เนื่องจากโมเลกุลของอะไมโลเพคตินมีกิ่งก้านทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลได้ยาก ดังนั้นแป้งข้าวเหนียวจึงเกิดการพองตัวได้เร็ว และแตกตัวก่อนแป้งข้าวเจ้า ซึ่งจะพองตัว และแตกตัวได้ช้ากว่า แป้งข้าวเจ้าจึงมีกำลังการพองตัวมากกว่าหลังการต้มที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส โดยเขย่าเป็นเวลา 30 นาที

การพองตัวของแป้งข้าวเป็นการตรวจสอบปริมาณอะไมโลสและอะไมโลเพคตินอย่างคร่าวๆ โดยข้าวขาว เช่น ข้าวขาวหอมมะลิพันธุ์สุรินทร์มีกำลังการพองตัวที่สูง แสดงได้ว่ามีปริมาณอะไมโลสเป็นองค์ประกอบมาก ส่งผลให้เกิดความข้นหนืดในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มมาก ส่วนข้าวเหนียวดำพันธุ์ลืมผัวมีกำลังการพองตัวที่ต่ำ เนื่องจากมีปริมาณอะไมโลสเป็นองค์ประกอบน้อย ดังนั้นในการเลือกใช้ข้าวในการผลิตเครื่องดื่มข้าวผงจึงเลือกข้าวเหนียวดำพันธุ์ลืมผัวใช้เป็นวัตถุดิบหลักเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวทั้ง 7 ชนิด

4.2.3. การละลายของแป้งข้าว

จากแผนภูมิที่ 4.4 แป้งข้าวเหนียวดำพันธุ์ลืมผัวมีค่าการละลายมากที่สุด รองลงมา คือ แป้งข้าวกล้องมันปู แป้งข้าวกล้องหอมมะลิแดงพันธุ์สังข์หยด แป้งข้าวกล้องหอมมะลิ 105 แป้งข้าวกล้องหอมมะลิเพาะงอก แป้งข้าวขาวหอมมะลิพันธุ์สุรินทร์ และแป้งข้าวเสาไห้พันธุ์ชัยนาท 1 ตามลำดับ



แผนภูมิที่ 4.5 ค่าการละลายของแป้งข้าว 7 ชนิด (n = 3)

a, ..., d = ตัวเลขค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับเหมือนกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

การละลายของแป้งข้าว ค่าการละลายของแป้งข้าวหลังผ่านการต้มที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส โดยเขย่าตลอดเป็นเวลา 30 นาที จะเห็นได้ว่าแป้งจากข้าวเสาไห้พันธุ์ชัยนาท 1 มีการละลายน้อยที่สุดเมื่อผ่านการให้ความร้อนสามารถละลายน้ำได้น้อยกว่าแป้งข้าวเหนียว เนื่องจากแป้งข้าวเหนียวจะมีการพองตัวได้เร็วกว่าแป้งข้าวเจ้า โดยใช้อุณหภูมิไม่สูงนัก และจะแตกตัวก่อน ทำให้โมเลกุลอะไมโลสหรืออะไมโลเพคติน ขนาดเล็กหลุดออกมาจากเม็ดแป้ง และเป็นโมเลกุลอิสระ ละลายออกมาอยู่ในน้ำแป้งมากกว่าแป้งข้าวเจ้า ดังนั้นแป้งข้าวเหนียวจึงมีร้อยละการละลายมากกว่าแป้งข้าวเจ้า ซึ่งค่าร้อยละการละลายแสดงถึงค่าน้ำหนักของส่วนที่ละลายน้ำได้ในแป้งหลังผ่านการให้ความร้อน (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2543) ซึ่งส่วนที่สามารถละลายน้ำได้ ได้แก่ แร่ธาตุ อะไมโลส น้ำตาล รงควัตถุ ดังนั้นแป้งข้าวเหนียวดำละลายได้มากกว่าเนื่องมาจากแป้งข้าวเหนียวดำมีสีรงควัตถุแอนโธไซยานิน (Anthocyanin) ซึ่งรงควัตถุนี้สามารถละลายออกมาในน้ำแป้ง

ในการผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มควรเลือกข้าวที่มีอะไมโลสต่ำ (ไม่เกินร้อยละ 20) และข้าวที่ไม่ผ่านการขัดสี เช่น ข้าวเหนียวดำพันธุ์ลืมผัว ข้าวกล้องหอมมะลิแดงพันธุ์สังข์หยด ซึ่งจะทำให้อัตราการละลายสูง ทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณสมบัติการละลายที่ดี

4.2.4 พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าว

จากผลการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงความหนืด พบว่าแป้งข้าวเหนียวให้ค่าความหนืดสูงสุด (Peak viscosity) ค่าความหนืดต่ำสุด (Trough) ค่าการแตกหัก (Breakdown) ค่าความหนืดสุดท้าย (Final viscosity) ค่าการคืนตัว (setback) เวลาที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด (Peak time) และอุณหภูมิที่เริ่มมีความหนืดเพิ่มขึ้น (Pasting temperature) ต่ำกว่าแป้งข้าวเจ้า แสดงว่าเมื่อให้ความร้อนแก่แป้งข้าวเหนียวจะเกิดเจลาติไนเซชันได้ความหนืดสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากความร้อนจะทำลายพันธะไฮโดรเจนและโมเลกุลของน้ำจะเข้าไปแทรกระหว่างสายโมเลกุลอะไมโลเพคติน ได้ง่ายกว่าอะไมโลส ทำให้เม็ดสตาร์ชของข้าวเหนียวซึ่งมีอะไมโลเพคตินสูงกว่าข้าวเจ้าเกิดการพองตัวให้ความหนืดที่อุณหภูมิต่ำกว่า แต่ก็จะเกิดการแตกตัวเร็วกว่า (อรวรรณ, 2529) ทำให้ได้ค่าความหนืดสูงสุดต่ำกว่าแป้งข้าวเจ้า และเมื่อเม็ดสตาร์ชเกิดการแตกตัวก็จะเกิดการคืนตัวหรือรีโทรกราเดชันน้อยกว่า เนื่องจากโมเลกุลของอะไมโลเพคตินมีลักษณะเป็นกิ่งก้าน ทำให้การเข้ามาเกาะจับกันอีกครั้งด้วยพันธะไอโดรเจนทำได้ยาก แป้งข้าวเหนียวจึงมีความหนืดหลังการเกิดรีโทรเกรเดชันน้อยกว่าแป้งข้าวเจ้า (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2543)

แป้งข้าวเสาไห้พันธุ์ชัยนาท 1 ซึ่งมีปริมาณอะไมโลสสูงได้ค่าการคืนตัวมากที่สุด เนื่องจากโมเลกุลของอะไมโลสมีลักษณะเป็นเส้นตรง สามารถเข้ามาเกาะจับกันใหม่เกิดรีโทรเกรเดชันได้ง่าย ทำให้แป้งข้าวเสาไห้พันธุ์ชัยนาท 1 มีค่าความหนืดสุดท้ายสูงที่สุดด้วย การที่แป้งข้าวเจ้ามีปริมาณอะไมโลสสูงจะมีการจัดเรียงตัวของโมเลกุลแป้งในส่วนอสัณฐานแข็งแรงกว่าแป้งข้าวเหนียว และพองตัวได้ยากกว่า ทำให้แป้งข้าวกล้องหอมมะลิเพาะงอก ใช้เวลาที่เกิดความหนืดสูงที่สุดและแป้งข้าวกล้องมันปู มีอุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืดสูงที่สุดด้วย

ส่วนในกลุ่มของข้าวเหนียวพบว่า โดยเฉลี่ยแล้วความหนืดของแป้งข้าวเหนียวดำพันธุ์ลืมผัวจะน้อยกว่าแป้งข้าวเหนียวขาว และแป้งข้าวเหนียวดำพันธุ์ลืมผัวจะมีค่าอุณหภูมิเริ่มให้ความหนืดสูงกว่าแป้งข้าวเหนียวขาวด้วย ซึ่งอาจเป็นเพราะโปรตีน และองค์ประกอบในส่วนของเปลือกหุ้มเมล็ดขัดขวางการพองตัวให้ความหนืดหรือการเกิดเจลาติไนเซชันของเม็ดสตาร์ช

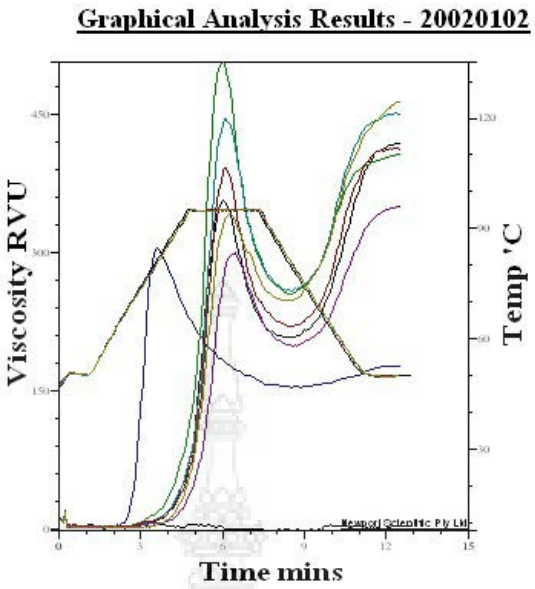
ตารางที่ 4.5 แสดงพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าว 7 ชนิด (n = 3)

ชนิดข้าว	Peak Viscosity (RVU)	Trough (RVU)	Breakdown (RVU)
ข้าวเหนียวดำพันธุ์ลืมผัว	306.13 ± 4.18^{e}	153.68 ± 6.46^{e}	151.24 ± 5.85^{d}
ข้าวขาวหอมมะลิพันธุ์สุรินทร์	506.74 ± 5.29^{a}	255.36 ± 5.75^{a}	251.47 ± 5.50^{a}
ข้าวกล้องหอมมะลิเพาะงอก	393.66 ± 5.19^{c}	220.72 ± 6.02^{b}	172.19 ± 5.01^{c}
ข้าวกล้องหอมมะลิ 105	299.56 ± 5.22e	198.39 ± 6.04d	100.81 ± 6.01e
ข้าวกล้องมันปู	356.31 ± 5.52^{d}	208.94 ± 5.28^{c}	148.57 ± 5.97^{d}
ข้าวกล้องหอมมะลิแดงพันธุ์สังข์หยด	445.40 ± 5.19^{b}	257.91 ± 6.50^{a}	186.19 ± 6.01^{b}
ข้าวเสาไห้พันธุ์ชัยนาท 1	341.32 ± 4.65^{d}	248.40 ± 5.45^{a}	92.78 ± 5.52^{e}

ตารางที่ 4.5 แสดงพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าว 7 ชนิด (n = 3) (ต่อ)

ชนิดข้าว	Final Viscosity (RVU)	Setback (RVU)	Peak Time (min)	Pasting Temperature (°C)
ข้าวเหนียวดำพันธุ์ลืมผัว	177.81 ± 6.01^{e}	22.94 ± 4.56^{e}	3.63 ± 0.45^{b}	70.18 ± 1.05^{b}
ข้าวขาวหอมมะลิพันธุ์สุรินทร์	407.31 ± 5.51^{c}	151.11 ± 5.00^{e}	6.00 ± 0.40^{a}	95.08 ± 0.48^{a}
ข้าวกล้องหอมมะลิเพาะงอก	411.08 ± 5.59^{c}	192.03 ± 4.00^{d}	6.49 ± 0.50^{a}	95.05 ± 0.28^{a}
ข้าวกล้องหอมมะลิ 105	349.44 ± 6.21^{d}	150.14 ± 4.20^{e}	6.09 ± 0.40^{a}	94.70 ± 0.62^{a}
ข้าวกล้องมันปู	419.28 ± 6.02^{c}	209.78 ± 5.18^{b}	6.00 ± 0.70^{e}	95.13 ± 0.35^{a}
ข้าวกล้องหอมมะลิแดงพันธุ์สังข์หยด	451.22 ± 5.01^{b}	193.41 ± 4.73^{c}	6.09 ± 0.30^{a}	94.85 ± 0.51
ข้าวเสาไห้พันธุ์ชัยนาท 1	466.69 ± 5.67^{a}	216.19 ± 4.01^{a}	6.28 ± 0.38^{a}	94.85 ± 0.51^{a}

a, ..., f = ตัวเลขที่มีอักษรกำกับเหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 4.4 แสดงกราฟของพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าว 7 ชนิด

จากตารางพบว่า พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งส่งผลต่อผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มข้าวผง โดยค่า peak viscosity คือค่าความหนืดสูงสุดของแป้งในช่วงการให้ความร้อน โดยเป็นจุดที่เม็ดสตาร์ช พองตัวเต็มที่โดยแป้งข้าวขาวหอมมะลิพันธุ์สุรินทร์มีค่าสูงสุด ซึ่งในการผลิตเครื่องดื่มข้าวผงจะเลือกใช้แป้งข้าวที่มีค่า peak viscosity ต่ำเพราะมีอัตราการละลายสูง

จากค่า trought คือค่าความหนืดต่ำที่สุดที่อยู่ระหว่างการทำเย็น พบว่าแป้งข้าวเหนียวดำพันธุ์ลืมผัวมีค่าต่ำสุด จึงทำให้มีความหนืดน้อย ดังนั้นในการผลิตเครื่องดื่มข้าวผงควรเลือกแป้งข้าวที่มีค่า trought ต่ำมาใช้ในการผลิตเครื่องดื่ม

จากค่า breakdown คือค่าความแตกต่างระหว่างความหนืดสูงสุด (peak viscosity) และความหนืดต่ำสุดที่อยู่ระหว่างการทำเย็น (trought) แสดงถึงความทนทานของเม็ดแป้งต่อการให้ความร้อนและการกวน พบว่าแป้งข้าวขาวหอมมะลิพันธุ์สุรินทร์มีค่าสูงสุด ซึ่งในการผลิตควรเลือกใช้

แป้งข้าวที่มีค่า breakdown ต่ำเนื่องจากสามารถละลายได้ดีในสภาพที่มีการให้ความร้อนที่ไม่สูงและมีแรงกลจากการกวนช่วยให้การละลายทำได้ดียิ่งขึ้น

จากค่า setback หรือค่าการคืนตัว (รีโทรเกรเดชัน) พบว่าแป้งข้าวเสาไห้พันธุ์ชัยนาท 1 มีค่าสูงที่สุดส่งผลต่อความคงตัวของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม โดยจะทำให้เกิดโครงสร้างที่เป็นร่างแหสามารถอุ้มน้ำไว้ภายในเม็ดแป้งได้ดี ทำให้เกิดการจับตัวเป็นก้อน ดังนั้นในการผลิตเครื่องดื่มจึงควรเลือกใช้แป้งข้าวที่มีค่าการคืนตัว (รีโทรเกรเดชัน) ที่ต่ำ

4.2.5 การตรวจสอบองค์ประกอบของแป้งข้าว (จากการวิเคราะห์ Proximate analysis)

ตารางที่ 4.6 ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ (โดยน้ำหนักแห้ง) ของแป้งข้าว 7 ชนิด (n = 3)

ชนิดข้าว	ความชื้น (%)	โปรตีน (%)	ไขมัน (%)	ไฟเบอร์ (%)	เถ้า (%)	คาร์โบไฮเดรต (%)
ข้าวเหนียวดำพันธุ์ลืมผัว	7.85 ± 0.26^{c}	7.40 ± 0.11^{b}	4.61 ± 0.42^{bc}	4.04 ± 0.25^{bc}	1.22 ± 0.02^{a}	74.88 ± 0.44^{bc}
ข้าวขาวหอมมะลิพันธุ์สุรินทร์	7.89 ± 0.41^{c}	6.54 ± 0.19^{c}	3.05 ± 0.39^{d}	3.55 ± 0.15^{c}	1.07 ± 0.03^{ab}	77.90 ± 0.81^{a}
ข้าวกล้องหอมมะลิเพาะงอก	5.86 ± 0.24^{e}	7.04 ± 0.06^{bc}	5.18 ± 0.57^{b}	3.97 ± 0.18^{bc}	0.74 ± 0.07^{b}	77.21 ± 0.61^{a}
ข้าวกล้องหอมมะลิ 105	9.91 ± 0.16^{b}	7.33 ± 0.05^{b}	2.98 ± 0.27^{de}	4.12 ± 0.24^{b}	0.23 ± 0.02^{c}	75.43 ± 0.39^{bc}
ข้าวกล้องมันปู	9.83 ± 0.15^{b}	6.58 ± 0.24^{c}	1.50 ± 0.32^{e}	3.47 ± 0.09^{c}	0.71 ± 0.11^{b}	77.91 ± 0.51^{a}
ข้าวกล้องหอมมะลิแดงพันธุ์สังข์หยด	10.32 ± 0.29^{a}	5.94 ± 0.09^{d}	6.50 ± 0.68^{ab}	2.98 ± 0.07^{d}	0.85 ± 0.03^{b}	73.50 ± 0.44^{c}
ข้าวเสาไห้พันธุ์ชัยนาท 1	10.24 ± 0.22^{a}	5.83 ± 0.19^{d}	4.42 ± 0.33^{c}	2.98 ± 0.19^{d}	0.46 ± 0.11^{bc}	76.07 ± 0.54^{b}

ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณในแป้งข้าว 7 ชนิดจากการวิเคราะห์ proximate analysis ได้แสดงไว้ดังตารางที่ 4.6 แป้งข้าวกล้องหอมมะลิแดงพันธุ์สังข์หยดมีปริมาณความชื้นสูงสุด รองลงมาคือแป้งข้าวเสาไห้พันธุ์ชัยนาท 1 แป้งข้าวกล้องหอมมะลิ 105 แป้งข้าวกล้องมันปู แป้งข้าวขาวหอมมะลิพันธุ์สุรินทร์ แป้งข้าวเหนียวดำพันธุ์ลืมผัว และแป้งข้าวกล้องหอมมะลิเพาะงอก ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าปริมาณความชื้นของแป้งข้าวจะน้อยกว่าความชื้นของเมล็ดข้าว เนื่องจากได้ผ่านเข้าเครื่องอบแป้งให้แห้ง นำมาผ่านเข้าเครื่องบด และร่อนให้ได้แป้งที่มีขนาดสม่ำเสมอมีความชื้นไม่เกิน 13 เปอร์เซ็นต์ (อรอนงค์, 2547)

แป้งข้าวเหนียวดำพันธุ์ลืมผัว มีปริมาณโปรตีนสูงสุด รองลงมาคือ แป้งข้าวกล้องหอมมะลิ 105 แป้งข้าวกล้องหอมมะลิเพาะงอก แป้งข้าวกล้องมันปู แป้งข้าวขาวหอมมะลิพันธุ์สุรินทร์ แป้งข้าวกล้องหอมมะลิแดงพันธุ์สังข์หยด และแป้งข้าวเสาไห้พันธุ์ชัยนาท 1 ตามลำดับ โดยโปรตีนในข้าวจะอยู่ในส่วนรำ ซึ่งเป็นส่วนที่เปลือกหุ้มผล เปลือกหุ้มเมล็ด ชั้นแอลิวโรน คัพภะ และมีอยู่ในส่วนของเนื้อเมล็ดจึงทำให้ข้าวกล้องซึ่งเป็นข้าวที่ไม่ได้ผ่านการขัดสีเอารำออก มีปริมาณโปรตีนมากกว่าข้าวขัดขาว ดังนั้นการบริโภคข้าวกล้องจะทำให้ได้รับปริมาณโปรตีนมากกว่าข้าวขัดขาว (ปัญญา, ม.ป.ป.)

แป้งข้าวกล้องหอมมะลิแดงพันธุ์สังข์หยดมีปริมาณไขมันสูงสุด รองลงมาคือ แป้งข้าวกล้องหอมมะลิเพาะงอก แป้งข้าวเหนียวดำพันธุ์ลืมผัว แป้งข้าวเสาไห้พันธุ์ชัยนาท 1 แป้งข้าวขาวหอมมะลิพันธุ์สุรินทร์ แป้งข้าวกล้องมันปู และแป้งข้าวกล้องหอมมะลิ 105 มีปริมาณไขมันต่ำที่สุดตามลำดับ สุพิศา (2547) กล่าวว่า ข้าวกล้องจะมีปริมาณไขมันร้อยละ 2.1-3.3 ส่วนข้าวขัดขาวจะมีปริมาณไขมันร้อยละ 0.4-0.6 ซึ่งข้าวกล้องมีปริมาณไขมันมากกว่าข้าวขัดขาว เนื่องจากข้าวกล้องมีชั้นแอลิวโรนและคัพภะ ซึ่งมีปริมาณไขมันสูง โดยประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นส่วนใหญ่ เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานข้าวกล้องจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ทั้งจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส และออกซิเดชัน ทำให้ข้าวกล้องมีอายุการเก็บรักษาสั้นและเกิดกลิ่นหืนได้เร็วกว่าในข้าวขัดขาว

แป้งข้าวเหนียวดำพันธุ์ลืมผัว มีปริมาณเถ้าสูงสุด รองลงมาคือ แป้งข้าวขาวหอมมะลิพันธุ์สุรินทร์ แป้งข้าวกล้องหอมมะลิแดงพันธุ์สังข์หยด แป้งข้าวกล้องหอมมะลิเพาะงอก แป้งข้าวกล้องมันปู และแป้งข้าวเสาไห้พันธุ์ชัยนาท 1 ส่วนแป้งข้าวกล้องหอมมะลิ 105 มีปริมาณเถ้าต่ำที่สุดตามลำดับ โดยปริมาณเถ้าจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงปริมาณเกลือแร่ที่มีอยู่ โดยทั่วไปข้าวกล้องจะมีปริมาณเถ้าหรือเกลือแร่มากกว่าข้าวขัดขาว เพราะเกลือแร่ในเมล็ดข้าวสะสมอยู่มากในเยื่อหุ้มเมล็ด

แป้งข้าวกล้องหอมมะลิ 105 มีปริมาณไฟเบอร์สูงสุด รองลงมาคือ แป้งข้าวเหนียวดำพันธุ์ลืมผัว แป้งข้าวกล้องหอมมะลิเพาะงอก แป้งข้าวขาวหอมมะลิพันธุ์สุรินทร์ แป้งข้าวกล้องมันปู แป้งข้าวกล้องหอมมะลิแดงพันธุ์สังข์หยด และแป้งข้าวเสาไห้พันธุ์ชัยนาท 1 ตามลำดับ โดยปริมาณไฟเบอร์ โดยทั่วไปข้าวกล้องจะมีปริมาณไฟเบอร์มากกว่าข้าวขัดขาว โดยในข้าวกล้อง 100 กรัม มีไฟเบอร์ 3 กรัม

คาร์โบไฮเดรตในแป้งข้าว 7 ชนิดมีปริมาณใกล้เคียงกัน ประมาณร้อยละ 73-77 ซึ่งคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลักที่มีมากที่สุดในข้าว ประกอบด้วยอะไมโลสและอะไมโลเพคตินในสัดส่วนที่แตกต่างกัน สัดส่วนที่แตกต่างกันของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินนี้ไม่ทำให้คุณค่าทางโภชนาการของข้าวแตกต่างกัน แต่ทำให้คุณภาพการหุงต้มและการบริโภคแตกต่างกัน สุพิศา (2547 : 97 อ้างจาก ประณีต, 2531)

การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นเพื่อตรวจสอบความชื้นของแป้งข้าวที่ผ่านการโม่เปียกที่ต้องไม่เกินร้อยละ 13 และในการเลือกข้าวกล้องซึ่งมีปริมาณโปรตีนในแป้งข้าวมาก จะทำให้ได้รับคุณประโยชน์ทางสารอาหารได้มากกว่าการเลือกแป้งจากข้าวขาว นอกจากนี้การมีปริมาณไขมันที่สูงโดยจะประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นส่วนใหญ่ เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงได้ทั้งจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส และออกซิเดชัน เกิดกลิ่นหืน ส่งผลให้อายุการเก็บของผลิตภัณฑ์เก็บรักษาได้สั้นลง (สุพิศา, 2547) จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวและเครื่องดื่มข้าวผงเพื่อตรวจสอบปริมาณสารอาหารทั้งหมดที่มีในแป้งข้าวและผลิตภัณฑ์ว่ามีความอุดมสมบูรณ์และมีคุณค่าทางโภชนาการครบถ้วนตามอาหารหลัก 5 หมู่

4.3 การตรวจสอบคุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของเครื่องดื่มข้าวผง (ผลิตภัณฑ์สุดท้าย)

นำสูตรเครื่องดื่มข้าวผง (ผลิตภัณฑ์สุดท้าย) จากข้อ 3.4.4.6 มาตรวจสอบค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH) ซึ่งผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มข้าวผงมีค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH) เท่ากับ 6.65 ± 0.01 และค่าสีของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีม่วงอ่อน มีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 9.33 ± 0.29 และจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณพบว่าค่าปริมาณความชื้น (ร้อยละ) 6.46 ± 0.61 ปริมาณโปรตีน (ร้อยละ) 11.63 ± 0.20 ปริมาณไขมัน (ร้อยละ) 7.34 ± 0.93 ปริมาณไฟเบอร์ (ร้อยละ) 5.65 ± 0.07 ปริมาณเถ้า (ร้อยละ) 1.47 ± 0.16 ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ) 67.45 ± 0.81 เนื่องจากเครื่องดื่มข้าวผงมีนมและถั่วเหลืองเป็นองค์ประกอบ โดยนม 1 แก้วให้โปรตีนประมาณร้อยละ 15-20 และนมครบส่วนมีไขมันประมาณร้อยละ 3.7 ดังนั้น นม 1 แก้ว (200 มล.) ให้ไขมันประมาณร้อยละ12 และถั่วเหลืองให้โปรตีนร้อยละ 34 และไขมันร้อยละ 18.7 (สุมาลี และวลัยทิพย์, 2541) ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมีของเครื่องดื่มข้าวผง (ผลิตภัณฑ์สุดท้าย)

คุณภาพ	เครื่องดื่มข้าวผง
<u>ทางกายภาพ</u>	
ค่าสี	
- ค่าความสว่าง (L*)	81.60 ± 0.01
- ค่าสีแดง (a*)	1.96 ± 0.02
- ค่าสีน้ำเงิน (-b*)	-7.86 ± 0.02
ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์)	9.33 ± 0.29
<u>ทางเคมี</u>	
ค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH)	6.65 ± 0.01
ค่าปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	6.46 ± 0.61
ค่าปริมาณโปรตีน (ร้อยละ)	11.63 ± 0.20
ค่าปริมาณไขมัน (ร้อยละ)	7.34 ± 0.93
ค่าปริมาณไฟเบอร์ (ร้อยละ)	5.65 ± 0.07
ค่าปริมาณเถ้า (ร้อยละ)	1.47 ± 0.16
ค่าปริมาณคาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)	67.45 ± 0.81

4.4 ผลการศึกษาสูตรและการยอมรับของผู้บริโภคทางประสาทสัมผัสในการผลิตเครื่องดื่มข้าวผง

4.4.1 ผลจากการศึกษาสูตรพื้นฐานที่ใช้ในการผลิตเครื่องดื่มข้าวผง

นำสูตรพื้นฐานทั้ง 3 สูตร (ดังตารางที่ 3.1) นำไปทดสอบทางประสาทสัมผัส เพื่อหาสูตรพื้นฐานที่ดีที่สุดไปพัฒนาเครื่องดื่มข้าวผงต่อไป

ตารางที่ 4.8 แสดงสูตรพื้นฐานที่ใช้ในการผลิตเครื่องดื่มข้าวผง จำนวน 3 สูตร

คุณลักษณะผลิตภัณฑ์	วัตถุดิบ (ร้อยละ)		
	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3
สี	7.13 ± 1.33[a]	6.63 ± 1.67[b]	6.00 ± 1.72[c]
กลิ่น	7.30 ± 1.02[a]	6.50 ± 1.40[b]	6.30 ± 1.01[b]
รสหวาน	7.00 ± 1.36[a]	6.40 ± 1.43[b]	6.17 ± 1.08[b]
ความหนืด	7.03 ± 1.20[a]	6.33 ± 1.08[b]	6.17 ± 1.09[b]
ความชอบโดยรวม	7.60 ± 1.33[a]	6.50 ± 1.16[b]	6.23 ± 1.75[b]

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากการศึกษาสูตรพื้นฐานทั้ง 3 สูตรต้องการเปรียบเทียบความชอบของสูตรพื้นฐานในการผลิตเครื่องดื่มข้าวผง จากการนำไปประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่าคะแนนความชอบมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$) จากตารางที่ 4.8 พบว่าการศึกษาสูตรพื้นฐานที่ใช้ในการผลิตเครื่องดื่มข้าวผงทั้ง 3 สูตร พบว่ามีความแตกต่างกันมีอิทธิพลต่อคะแนนความชอบในปัจจัยด้าน สี กลิ่น รสหวาน ความหนืด และความชอบโดยรวมของเครื่องดื่มข้าวผงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$) โดยสูตรพื้นฐานที่ 2-3 ผู้บริโภคให้การยอมรับความชอบด้าน สี กลิ่น รสหวาน ความหนืด และความชอบโดยรวม ในระดับความชอบเล็กน้อย – ชอบปานกลาง เนื่องจากเครื่องดื่มข้าวผงมีรสหวานน้อยเกินไป ความหนืดของเครื่องดื่มมากไม่มีความละมุนลิ้น ส่วนสูตรพื้นฐานที่ 1 ระดับคะแนนความชอบอยู่ในระดับความชอบปานกลาง – ชอบมาก เนื่องจากเครื่องดื่มข้าวผงมีรสชาติที่หวานพอเหมาะ ความหนืดของเครื่องดื่มกำลังดีและมีความละมุนลิ้น จะเห็นว่าผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับผลิตภัณฑ์สูตรทดลองที่ 1 โดยมีค่าเฉลี่ยคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด คือ 7.60 จึงเลือกสูตรทดลองที่ 1 มาทำการศึกษาปริมาณอัตราส่วนแป้งข้าวทั้ง 7 ชนิดที่เหมาะสมในการผลิตเครื่องดื่มข้าวผงต่อไป

4.4.2 ผลจากการศึกษาการใช้ข้าวกล้องงอกอบแห้งทดแทนการใช้ครีมเทียมในการผลิตเครื่องดื่มข้าวผง

จากการศึกษาการใช้ข้าวกล้องงอกอบแห้งทดแทนการใช้ครีมเทียมในเครื่องดื่มข้าวผง โดยทดแทนจำนวน 3 ระดับ คือ ร้อยละ 50 75 และ 100 ตามลำดับ (ดังตารางที่ 3.2) และนำไปทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ตารางที่ 4.9 แสดงผลการศึกษาการใช้ข้าวกล้องงอกอบแห้งทดแทนการใช้ครีมเทียมในการผลิตเครื่องดื่มข้าวผง

คุณลักษณะผลิตภัณฑ์	ปริมาณข้าวกล้องงอกอบแห้งที่ใช้ทดแทนครีมเทียม (ร้อยละ)		
	50	75	100
สี	6.50 ± 1.52^{b}	6.57 ± 1.19^{b}	7.30 ± 1.53^{a}
กลิ่น	6.47 ± 1.11^{b}	6.87 ± 1.07^{b}	7.27 ± 1.13^{a}
รสหวาน	6.77 ± 1.40^{b}	6.47 ± 1.43^{b}	7.20 ± 1.29^{a}
ความหนืด	7.00 ± 1.21^{a}	6.73 ± 1.40^{b}	7.23 ± 1.10^{a}
ความชอบโดยรวม	6.70 ± 1.40^{b}	6.53 ± 1.47^{b}	7.53 ± 1.25^{a}

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากการทดลองตารางที่ 4.9 ปริมาณข้าวกล้องงอกอบแห้งที่ใช้ทดแทนในครีมเทียม 3 ระดับ คือ ร้อยละ 50 75 และ 100 ตามลำดับ ปริมาณข้าวกล้องงอกอบแห้งที่ทดแทนลงไปร้อยละ 100 ได้รับคะแนนความชอบเฉลี่ยสูงสุดด้านสี 7.30 ด้านกลิ่น 7.27 ด้านรสหวาน 7.20 ด้านความหนืด 7.23 และด้านความชอบโดยรวม 7.53 เนื่องจากในครีมเทียมต้องการความมันที่เกิดจากไขมันเนยหรือไขมันที่มีคุณสมบัติใกล้เคียง คือ มีกรดไขมันประเภทอิ่มตัวในปริมาณสูง (หมอชาวบ้าน, 2535) ส่วนในข้าวกล้องงอกอุดมไปด้วยสารกาบา หรือที่เรียกว่า กรดแกมมาอะมิโนบิวทิริก ที่ช่วยลดไขมันในเส้นเลือด และยังมีกรดไลโนเลอิกและโอเลอิกเป็นส่วนประกอบซึ่งเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัว (ต้นกล้า, 2552) โดยคุณลักษณะด้านสีของปริมาณข้าวกล้องงอกอบแห้งที่ทดแทนไปร้อยละ 50 และ 75 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p>0.05$) แต่คุณลักษณะด้านกลิ่น รสหวาน ความหนืด และความชอบโดยรวมของร้อยละ 50 และ 75 ได้รับคะแนนความชอบน้อยกว่าและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$)

โดยคุณลักษณะทางกายภาพของเครื่องดื่มข้าวผงที่ใช้ข้าวกล้องงอกอบแห้งทดแทนในครีมเทียมที่ร้อยละ 50 มีสีขาวครีม ได้กลิ่นหอมของข้าวกล้องงอกและนมจางๆ มีความหนืดน้อย ปริมาณข้าวกล้องงอกอบแห้งที่ใช้ทดแทนครีมเทียมที่ร้อยละ 75 มีสีครีม ได้กลิ่นหอมของข้าวกล้องงอก มีรสหวานเล็กน้อย มีความหนืดเพิ่มขึ้น ปริมาณข้าวกล้องงอกอบแห้งที่ใช้ทดแทนครีมเทียมที่ร้อยละ 100 มีสีครีมเข้ม ได้กลิ่นหอมของข้าวกล้องงอกชัดเจน มีรสหวานพอดี ความหนืดพอเหมาะ จึงเลือกใช้ปริมาณข้าวกล้องงอกอบแห้งทดแทนครีมเทียมร้อยละ 100 ในการศึกษาปริมาณแป้งข้าว 7 ชนิดที่เหมาะสมในการผลิตเครื่องดื่มข้าวผงต่อไป

4.4.3 ผลจากการศึกษาปริมาณอัตราส่วนแป้งข้าว 7 ชนิดที่เหมาะสมในการผลิตเครื่องดื่มข้าวผง

นำสูตรที่ได้จากการศึกษาการใช้ข้าวกล้องงอกอบแห้งทดแทนครีมเทียม มาศึกษาปริมาณอัตราส่วนแป้งข้าว 7 ชนิด ซึ่งปริมาณแป้งข้าว 7 ชนิดมีผลต่อการผลิตในเรื่องกลิ่นและความข้นหนืดเนื่องจากแป้งข้าวขาวหอมมะลิพันธุ์สุรินทร์เป็นแป้งที่มีปริมาณอะไมโลสสูงถึง 30.4 เปอร์เซ็นต์ (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว, ม.ป.ป.) ส่งผลให้แป้งข้าวที่มีอะไมโลสสูงจะดูดน้ำและขยายปริมาตรในระหว่างการหุงต้มได้มากกว่า (สุพิศา, 2547) ทำให้เกิดความข้นหนืดในผลิตภัณฑ์มากและในการทำผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มธัญพืชสำเร็จรูปสามารถใช้ข้าวในกลุ่มข้าวอะไมโลสต่ำ (มีค่าอะไมโลสไม่เกิน 20 เปอร์เซ็นต์) มาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิต (กฤษณา และคณะ, 2011) วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design, CRD) โดยศึกษาปริมาณอัตราส่วนของแป้งข้าว 7 ชนิด โดยใช้ส่วนผสมดังนี้ แป้งข้าวเหนียวดำพันธุ์ลืมผัว : แป้งข้าวขาวหอมมะลิพันธุ์สุรินทร์ : แป้งข้าวกล้องหอมมะลิเพาะงอก : แป้งข้าวกล้องหอมมะลิ 105 : แป้งข้าวกล้องมันปู : แป้งข้าวกล้องหอมมะลิแดงพันธุ์สังข์หยด : แป้งข้าวเสาไห้พันธุ์ชัยนาท 1 : ลูกเดือยผง : ถั่วเหลืองผง : นมผง : น้ำตาล (โดยใช้แป้งข้าว 5 ชนิดดังนี้ แป้งข้าวกล้องหอมมะลิเพาะงอก : แป้งข้าวกล้องหอมมะลิ 105 : แป้งข้าวกล้องมันปู : แป้งข้าวกล้องหอมมะลิแดงพันธุ์สังข์หยด : แป้งข้าวเสาไห้พันธุ์ชัยนาท 1 ในอัตราส่วนที่เท่ากัน) และปรับปริมาณแป้งข้าวเหนียวดำพันธุ์ลืมผัว และแป้งข้าวขาวหอมมะลิพันธุ์สุรินทร์เป็น 3 สูตร (ดังตารางที่ 3.3)

ตารางที่ 4.10 แสดงผลการศึกษาปริมาณแป้งข้าวที่เหมาะสมที่ใช้ในเครื่องดื่มข้าวผง

คุณลักษณะผลิตภัณฑ์	อัตราส่วนแป้งข้าว 7 ชนิด (ร้อยละ)		
	สูตรที่ 1	**สูตรที่ 2**	**สูตรที่ 3**
สี	6.00 ± 1.43^{c}	6.63 ± 1.09^{b}	7.37 ± 1.55^{a}
กลิ่น	6.30 ± 0.82^{b}	6.50 ± 0.93^{b}	7.33 ± 1.41^{a}
รสหวาน	6.17 ± 1.14^{b}	6.40 ± 0.96^{b}	7.13 ± 1.04^{a}
ความหนืด	6.17 ± 1.02^{b}	6.23 ± 0.82^{b}	7.40 ± 0.83^{a}
ความชอบโดยรวม	6.23 ± 1.25^{b}	6.50 ± 0.90^{b}	7.67 ± 1.12^{a}

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากการทดลองตารางที่ 4.10 ปริมาณแป้งข้าวที่เหมาะสมในเครื่องดื่มข้าวผง 3 ระดับ คือ ร้อยละ 6.67: 6.67: 6.00: 6.00: 6.00: 6.00: 6.00 , 8.34: 5.00: 6.00: 6.00: 6.00: 6.00: 6.00 และ 10.00: 3.34: 6.00: 6.00: 6.00: 6.00: 6.00 ตามลำดับ สูตรที่ 3 ได้รับคะแนนความชอบเฉลี่ยสูงสุดด้านสี 7.37 ด้านกลิ่น 7.33 ด้านรสหวาน 7.13 ด้านความหนืด 7.40 และด้านความชอบโดยรวม 7.67 โดยคุณลักษณะอัตราส่วนแป้งข้าว 7 ชนิดสูตรที่ 1 และสูตร 2 คุณลักษณะทางด้านสีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$) แต่คุณลักษณะด้านกลิ่น รสหวาน ความหนืด และความชอบโดยรวมของสูตร 1 และสูตร 2 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p > 0.05$) โดยคุณลักษณะทางกายภาพของเครื่องดื่มข้าวผงในสูตรที่ 2 มีสีม่วงอ่อนมาก ได้กลิ่นหอมของข้าวขาวสุรินทร์มาก เนื้อสัมผัสข้นหนืดมาก คุณลักษณะทางกายภาพของเครื่องดื่มข้าวผงสูตร 1 มีสีม่วงอ่อน ได้กลิ่นหอมข้าวเหนียวดำพันธุ์ลืมผัวและข้าวขาวหอมมะลิพันธุ์สุรินทร์เด่นชัด ความข้นหนืดน้อย และคุณลักษณะทางกายภาพของเครื่องดื่มข้าวผงสูตร 3 ได้กลิ่นหอมของข้าวกล้องงอกและข้าวเหนียวดำเด่นชัด มีรสหวานมาก มีความข้นหนืดมากจึงได้เลือกปริมาณอัตราส่วนแป้งข้าว 7 ชนิดในสูตรที่ 3 เพื่อนำไปศึกษาปริมาณการทดแทนถั่วเหลืองผงในลูกเดือยผงต่อไป

4.4.4 ผลจากการศึกษาปริมาณถั่วเหลืองผงที่ใช้ทดแทนลูกเดือยผงในการผลิตเครื่องดื่มข้าวผง

จากการศึกษาปริมาณถั่วเหลืองผงที่ใช้ทดแทนลูกเดือยผงในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มข้าวผง โดยมีทดแทนแบ่งเป็น 3 ระดับ คือ ร้อยละ 50 75 และ 100 ตามลำดับ (ดังตารางที่ 3.4) และนำไปทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ตารางที่ 4.11 แสดงผลการศึกษาปริมาณถั่วเหลืองผงที่ใช้ทดแทนลูกเดือยผงในการผลิตเครื่องดื่มข้าวผง

คุณลักษณะผลิตภัณฑ์	ปริมาณถั่วเหลืองผงที่ใช้ทดแทนลูกเดือยผง (ร้อยละ)		
	50	75	100
สี	6.00 ± 1.07^{b}	6.43 ± 0.85^{b}	7.13 ± 1.34^{a}
กลิ่น	6.41 ± 1.14^{b}	6.49 ± 1.33^{b}	7.30 ± 1.18^{a}
รสหวาน	6.17 ± 1.13^{b}	6.27 ± 1.22^{b}	7.00 ± 1.12^{a}
ความหนืด	6.16 ± 1.22^{b}	6.30 ± 1.67^{b}	7.03 ± 1.12^{a}
ความชอบโดยรวม	6.33 ± 0.98^{b}	6.40 ± 1.20^{b}	7.60 ± 1.10^{a}

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากการทดลองตารางที่ 4.11 ปริมาณถั่วเหลืองผงที่ทดแทนลงไปในลูกเดือยผง 3 ระดับ คือ ร้อยละ 50 75 และ 100 ตามลำดับ ปริมาณถั่วเหลืองผงที่ทดแทนลงไปร้อยละ 100 ได้รับคะแนนความชอบเฉลี่ยสูงสุดด้านสี 7.13 ด้านกลิ่น 7.30 ด้านรสหวาน 7.00 ด้านความหนืด 7.03 และด้านความชอบโดยรวม 7.60 โดยคุณลักษณะด้านสีของปริมาณถั่วเหลืองผงที่ทดแทนไปร้อยละ 50 และ 75 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$) แต่คุณลักษณะด้านกลิ่น รสหวาน ความหนืด และความชอบโดยรวมของร้อยละ 50 และ 75 ได้รับคะแนนความชอบน้อยกว่าและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p > 0.05$) โดยคุณลักษณะทางกายภาพของเครื่องดื่มข้าวผงที่ใช้ถั่วเหลืองผงทดแทนในลูกเดือยผงที่ระดับร้อยละ 50 ได้กลิ่นหอมถั่วเหลืองผงเล็กน้อย ความข้นหนืดมาก ปริมาณถั่วเหลืองผงที่ใช้ทดแทนลูกเดือยผงที่ร้อยละ 75 ได้กลิ่นหอมของถั่วเหลืองเด่นขึ้น มีรสหวานเล็กน้อย มีความข้นหนืดปานกลาง ปริมาณถั่วเหลืองผงที่ใช้ทดแทนลูกเดือยผงที่ร้อยละ 100 ได้กลิ่นหอมของถั่วเหลืองผง มีรสหวานมาก ความข้นหนืดพอดี เนื่องจากภายในแป้งลูกเดือยมีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบถึง

ร้อยละ 77.52 (ทัศนีย์ และอรอนงค์, 2530) ส่วนในถั่วเหลืองผงมีคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 26.7 (สุมาลี และวลัยทิพย์, 2541) ส่งผลให้เกิดความข้นหนืดมากในผลิตภัณฑ์ จึงเลือกใช้ปริมาณถั่วเหลืองผงทดแทนลูกเดือยผงที่ร้อยละ 100 ในการศึกษาปริมาณถั่วเหลืองผงที่ใช้ทดแทนน้ำตาลในการผลิตเครื่องดื่มข้าวผงต่อไป

4.4.5 ผลจากการศึกษาปริมาณถั่วเหลืองผงที่ใช้ทดแทนน้ำตาลในการผลิตเครื่องดื่มข้าวผง

จากการศึกษาปริมาณถั่วเหลืองผงที่ใช้ทดแทนน้ำตาลในการผลิตเครื่องดื่มข้าวผง โดยการทดแทนแบ่งเป็น 3 ระดับคือ ร้อยละ 5 10 และ 15 ตามลำดับ (ดังตารางที่ 3.5) และนำไปทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ตารางที่ 4.12 แสดงผลการศึกษาปริมาณถั่วเหลืองผงที่ใช้ทดแทนน้ำตาลในการผลิตเครื่องดื่มข้าวผง

คุณลักษณะผลิตภัณฑ์	ปริมาณถั่วเหลืองผงที่ใช้ทดแทนน้ำตาล (ร้อยละ)		
	5	10	15
สี	5.93 ± 1.31^{b}	7.23 ± 1.70^{a}	6.33 ± 1.67^{b}
กลิ่น	6.10 ± 1.12^{b}	7.17 ± 1.11^{a}	6.47 ± 1.19^{b}
รสหวาน	6.27 ± 1.17^{b}	7.00 ± 0.93^{a}	6.63 ± 1.84^{ab}
ความหนืด	5.33 ± 1.31^{b}	7.13 ± 0.88^{a}	5.93 ± 0.80^{b}
ความชอบโดยรวม	5.07 ± 1.25^{c}	7.43 ± 0.99^{a}	5.67 ± 1.42^{b}

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากการทดลองตารางที่ 4.12 ปริมาณถั่วเหลืองผงที่ทดแทนลงไปในน้ำตาลแบ่งเป็น 3 ระดับ คือ ร้อยละ 5 10 และ 15 ตามลำดับ ปริมาณถั่วเหลืองผงที่ทดแทนลงไปร้อยละ 10 ได้รับคะแนนความชอบเฉลี่ยสูงสุดด้านสี 7.23 ด้านกลิ่น 7.17 ด้านรสหวาน 7.00 ด้านความหนืด 7.13 และด้านความชอบโดยรวม 7.43 เนื่องจากน้ำตาล คือ สารให้ความหวานตามธรรมชาติชนิดหนึ่ง โดยทั่วไปหมายถึง ซูโครส ผลิตได้จากอ้อย (sugar cane) (วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี, 2554) โดยความหวาน (Sweetness) ปัจจุบันใช้ซูโครสเป็นมาตรฐานของความหวาน เพื่อเปรียบเทียบกับน้ำตาลชนิดอื่น ความหวานของซูโครสมีค่าเท่ากับ 1 (พูนศักดิ์, 2551) ส่วนในถั่วเหลืองมีน้ำตาลแลกโตสเป็นองค์ประกอบ 22.5 กรัมต่อ 250 มิลลิลิตร (ประไพศรี, ม.ป.ป.) โดยแลกโตสมีความหวานเท่ากับ 0.4

เมื่อเปรียบเทียบกับซูโครส ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความหวานมากแต่ขาดความหอมและความมัน โดยคุณลักษณะด้านสีและกลิ่นของปริมาณถั่วเหลืองผงที่ทดแทนไปร้อยละ 5 และ 15 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p>0.05$) แต่คุณลักษณะด้านรสหวาน ความหนืด และความชอบโดยรวมของร้อยละ 5 และ 15 ได้รับคะแนนความชอบน้อยกว่าและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p\leq0.05$) โดยคุณลักษณะทางกายภาพของเครื่องดื่มข้าวผงที่ใช้ถั่วเหลืองผงทดแทนน้ำตาลที่ร้อยละ 5 มีรสหวานมาก ได้กลิ่นหอมของถั่วเหลืองน้อย คุณลักษณะทางกายภาพของเครื่องดื่มข้าวผงที่ใช้ถั่วเหลืองผงทดแทนน้ำตาลที่ร้อยละ 10 มีรสหวานมาก ได้กลิ่นหอมของถั่วเหลืองผงพอดีแต่ขาดความหอมและความมัน แต่เมื่อรับประทานในปริมาณมากจะมีรสหวานติดโคนลิ้นทำให้กระหายน้ำ และคุณลักษณะทางกายภาพของเครื่องดื่มข้าวผงที่ใช้ถั่วเหลืองผงทดแทนน้ำตาลที่ร้อยละ 15 มีรสหวานน้อย สีเข้ม ทำให้กลิ่นและรสชาติของผลิตภัณฑ์โดยรวมมีเนื้อสัมผัสที่ข้นหนืดมาก มีกลิ่นถั่วเหลืองผงชัดเจน ขาดความหอมและมัน จึงได้นำสูตรที่ทดแทนร้อยละ 10 ไปศึกษาปริมาณนมผงที่ใช้ทดแทนน้ำตาลในการผลิตเครื่องดื่มข้าวผงต่อไป

4.4.6 ผลจากการศึกษาปริมาณนมผงที่ใช้ทดแทนน้ำตาลในการผลิตเครื่องดื่มข้าวผง

จากการศึกษาปริมาณนมผงที่ใช้ทดแทนน้ำตาลในการผลิตเครื่องดื่มข้าวผงโดยทดแทนแบ่งเป็น 3 ระดับคือ ร้อยละ 5 10 และ 15 ตามลำดับ (ดังตารางที่ 3.6) และนำไปทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ตารางที่ 4.13 แสดงผลการศึกษาปริมาณนมผงที่ใช้ทดแทนน้ำตาลในการผลิตเครื่องดื่มข้าวผง

คุณลักษณะผลิตภัณฑ์	**ปริมาณนมผงที่ใช้ทดแทนน้ำตาล (ร้อยละ)**		
	5	**10**	**15**
สี	6.27 ± 1.53^{b}	6.63 ± 1.07^{ab}	7.00 ± 1.38^{a}
กลิ่น	5.33 ± 1.11^{b}	5.93 ± 1.07^{b}	7.13 ± 1.13^{a}
รสหวาน	5.07 ± 1.40^{c}	6.67 ± 1.43^{b}	7.10 ± 1.29^{a}
ความหนืด	5.67 ± 1.50^{c}	6.37 ± 1.36^{b}	7.20 ± 1.42^{a}
ความชอบโดยรวม	5.17 ± 1.21^{c}	6.13 ± 1.40^{b}	7.53 ± 1.10^{a}

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

จากการทดลองตารางที่ 4.13 ปริมาณนมผงที่ใช้ทดแทนน้ำตาลแบ่งเป็น 3 ระดับ คือ ร้อยละ 5 10 และ15 ตามลำดับ ปริมาณนมผงที่ทดแทนลงไปร้อยละ 15 ได้รับคะแนนความชอบเฉลี่ยสูงสุดด้านสี 7.00 ด้านกลิ่น 7.13 ด้านรสหวาน 7.10 ด้านความหนืด 7.20 และด้านความชอบโดยรวม 7.53 โดยคุณลักษณะด้านสี กลิ่น รสหวาน ความหนืด และความชอบโดยรวมของปริมาณนมผงที่ทดแทนไปร้อยละ 5 และ 10 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$) โดยคุณลักษณะทางกายภาพของเครื่องดื่มข้าวผงที่ใช้นมผงทดแทนในน้ำตาลที่ร้อยละ 5 มีรสหวานของน้ำตาลมาก ไม่ได้กลิ่นหอมและความมันของนมผง คุณลักษณะทางกายภาพของเครื่องดื่มข้าวผงที่ใช้นมผงทดแทนในน้ำตาลที่ร้อยละ 10 มีรสหวานของน้ำตาลค่อนข้างมาก ได้กลิ่นหอมของนมผงเล็กน้อย และคุณลักษณะทางกายภาพของเครื่องดื่มข้าวผงที่ใช้ถั่วเหลืองผงทดแทนในน้ำตาลที่ร้อยละ 15 มีรสหวานพอดี กลมกล่อม ได้กลิ่นหอมมันและรสชาติของนมผงชัดเจน ทำให้กลิ่นและรสชาติของผลิตภัณฑ์โดยรวมมีเนื้อสัมผัสที่ข้นหนืดพอดี เนื่องจากน้ำตาล คือ สารให้ความหวานตามธรรมชาติชนิดหนึ่ง โดยทั่วไปหมายถึง ซูโครส ผลิตได้จากอ้อย (Sugar cane) (วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี, 2554) โดยความหวาน (Sweetness) ปัจจุบันใช้ซูโครสเป็นมาตรฐานของความหวานเพื่อเปรียบเทียบกับน้ำตาลชนิดอื่น โดยความหวานของซูโครสมีค่าเท่ากับ 1 (พูนศักดิ์, 2551) ส่วนในนมวัวมีน้ำตาลแลกโตสเป็นองค์ประกอบ 12.3 กรัมต่อ 250 มิลลิลิตร (ประไพศรี, ม.ป.ป.) โดยแลกโตสมีความหวานเท่ากับ 0.4 เมื่อเปรียบเทียบกับซูโครส ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความหอม มัน และหวานพอดี จึงได้นำสูตรที่ทดแทนร้อยละ 15 ไปศึกษาอุณหภูมิน้ำร้อนที่เหมาะสมในการชงเครื่องดื่มข้าวผงต่อไป

4.4.7 ผลจากการศึกษาอุณหภูมิของน้ำร้อนที่เหมาะสมในการชงเครื่องดื่มข้าวผง

จากการศึกษาอุณหภูมิของน้ำร้อนที่ใช้ในการชงเครื่องดื่มข้าวผง แบ่งเป็น 3 ระดับ คือ 65 70 และ 75 องศาเซลเซียส ตามลำดับ (สมฤดี, 2540) และนำไปทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ตารางที่ 4.14 แสดงผลการศึกษาอุณหภูมิของน้ำร้อนที่เหมาะสมในการชงเครื่องดื่มข้าวผง

คุณลักษณะผลิตภัณฑ์	อุณหภูมิของน้ำร้อนที่ใช้ในการชงเครื่องดื่มข้าวผง (องศาเซลเซียส)		
	65	70	75
สี	6.40 ± 1.40^{b}	7.23 ± 1.43^{a}	6.13 ± 1.29^{b}
กลิ่น	6.47 ± 1.11^{b}	7.20 ± 1.01^{a}	6.77 ± 1.13^{b}
รสหวาน	5.63 ± 1.50^{b}	7.13 ± 1.36^{a}	6.03 ± 1.42^{b}
ความหนืด	5.90 ± 1.40^{b}	7.43 ± 1.47^{a}	5.43 ± 1.25^{b}
ความชอบโดยรวม	5.27 ± 1.21^{c}	7.53 ± 1.40^{a}	6.17 ± 1.10^{b}

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากการทดลองตารางที่ 4.14 อุณหภูมิของน้ำร้อนที่เหมาะสมในการชงเครื่องดื่มข้าวผงแบ่งเป็น 3 ระดับ คือ 65 70 และ 75 องศาเซลเซียส ตามลำดับ อุณหภูมิของน้ำร้อนที่เหมาะสมในการชงเครื่องดื่มข้าวผงที่ 70 องศาเซลเซียสได้รับคะแนนความชอบเฉลี่ยสูงสุดด้านสี 7.23 ด้านกลิ่น 7.20 ด้านรสหวาน 7.13 ด้านความหนืด 7.43 และด้านความชอบโดยรวม 7.53 โดยคุณลักษณะด้านสี กลิ่น รสหวาน ความหนืด ของอุณหภูมิของน้ำร้อนที่ใช้ในการชงเครื่องดื่มข้าวผงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$) และความชอบโดยรวมของอุณหภูมิของน้ำร้อนที่ใช้ในการชงเครื่องดื่มข้าวผงที่ 65 และ 75 องศาเซลเซียส ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p > 0.05$) โดยคุณลักษณะทางกายภาพของเครื่องดื่มข้าวผงที่อุณหภูมิของน้ำร้อนที่ใช้ในการชง 65 องศาเซลเซียส เม็ดแป้งไม่พองตัวทั้งหมด ส่งผลให้การละลายไม่ทั่วถึงทั้งผลิตภัณฑ์มีความข้นหนืดน้อย คุณลักษณะทางกายภาพของเครื่องดื่มข้าวผงที่อุณหภูมิของน้ำร้อนที่ใช้ในการชง 70 องศาเซลเซียส เม็ดแป้งพองตัวและละลายได้หมด มีความข้นหนืดพอดีและคุณลักษณะทางกายภาพของเครื่องดื่มข้าวผงที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เม็ดแป้งจะสุกเป็นก้อนๆ ทำให้ละลายได้ไม่หมด มีความข้นหนืดมาก เนื่องจากแป้งข้าวเจ้ามีอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนเซชันที่ 70 องศาเซลเซียส (เทคโนโลยีชีวเคมี, ม.ป.ป.)

4.4.8 ผลจากการศึกษาอัตราส่วนเครื่องดื่มข้าวผงต่อน้ำที่เหมาะสมในการชงเครื่องดื่มข้าวผง

จากการศึกษาอัตราส่วนเครื่องดื่มผงต่อน้ำที่เหมาะสมในการชงเครื่องดื่มข้าวผงแบ่งเป็น 3 ระดับ คือ 1:5 1:10 และ 1:15 (โดยน้ำหนัก) และนำไปทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ตารางที่ 4.15 แสดงผลการศึกษาอัตราส่วนของเครื่องดื่มข้าวผงต่อน้ำที่เหมาะสมในการชงเครื่องดื่มข้าวผง

คุณลักษณะผลิตภัณฑ์	**อัตราส่วนของเครื่องข้าวผงต่อปริมาณน้ำที่ใช้ (โดยน้ำหนัก)**		
	1:5	**1:10**	**1:15**
สี	7.17 ± 1.40^{a}	6.53 ± 1.43^{b}	5.13 ± 1.29^{c}
กลิ่น	7.03 ± 1.11^{a}	6.67 ± 1.07^{b}	5.40 ± 1.13^{c}
รสหวาน	7.13 ± 1.13^{a}	5.57 ± 0.96^{b}	5.53 ± 1.04^{c}
ความหนืด	7.50 ± 1.02^{a}	6.43 ± 0.82^{b}	5.13 ± 0.83^{c}
ความชอบโดยรวม	7.43 ± 1.25^{a}	6.60 ± 0.90^{b}	5.00 ± 1.12^{c}

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากการทดลองตารางที่ 4.15 ปริมาณอัตราส่วนเครื่องดื่มผงต่อน้ำที่เหมาะสมในการชงเครื่องดื่มข้าวผงแบ่งเป็น 3 ระดับ คือ 1:5 1:10 และ 1:15 (โดยน้ำหนัก) อัตราส่วนเครื่องดื่มข้าวผงต่อน้ำที่ใช้ในการชงเครื่องดื่มข้าวผง 1:5 ได้รับคะแนนความชอบเฉลี่ยสูงสุดด้านสี 7.17 ด้านกลิ่น 7.03 ด้านรสหวาน 7.13 ด้านความหนืด 7.50 และด้านความชอบโดยรวม 7.43 โดยคุณลักษณะด้านสี กลิ่น รสหวาน ความหนืด และความชอบโดยรวมของปริมาณอัตราส่วนเครื่องดื่มข้าวผงต่อน้ำที่ใช้ในการชงเครื่องดื่มข้าวผงอัตราส่วน 1:10 และ 1:15 (โดยน้ำหนัก) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$) โดยคุณลักษณะทางกายภาพของเครื่องดื่มข้าวผงที่อัตราเครื่องดื่มข้าวผงต่อน้ำที่ระดับ 1:5 มีความข้นหนืดพอดี คุณลักษณะทางกายภาพของเครื่องดื่มข้าวผงที่อัตราส่วนเครื่องดื่มข้าวผงต่อน้ำที่ระดับ 1:10 มีความข้นหนืดน้อยและคุณลักษณะทางกายภาพของเครื่องดื่มข้าวผงที่อัตราส่วนเครื่องดื่มข้าวผงต่อน้ำที่ระดับ 1:15 มีความข้นหนืดน้อยมากเครื่องดื่มมีลักษณะเหลวมาก ขาดความเข้มข้น

4.5 ผลจากการศึกษาอายุการเก็บรักษาของเครื่องดื่มข้าวผง (ผลิตภัณฑ์สุดท้าย)

ตารางที่ 4.16 แสดงปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มข้าวผงที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ (n = 3)

อายุการเก็บรักษา(สัปดาห์ที่)	ความชื้น (%L)		
	อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส	อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส	อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส
0	5.23 ± 0.02^{c}	5.23 ± 0.02^{c}	5.23 ± 0.02^{d}
1	5.28 ± 0.02^{c}	5.95 ± 0.03^{bc}	6.04 ± 0.03^{c}
2	5.40 ± 0.02^{b}	6.13 ± 0.02^{b}	6.19 ± 0.02^{bc}
3	5.41 ± 0.03^{b}	6.21 ± 0.02^{b}	6.41 ± 0.02^{b}
4	5.58 ± 0.02^{b}	6.29 ± 0.02^{b}	6.61 ± 0.02^{ab}
5	5.85 ± 0.05^{a}	6.48 ± 0.04^{ab}	6.87 ± 0.02^{ab}
6	6.04 ± 0.02^{a}	6.67 ± 0.02^{a}	7.15 ± 0.02^{a}

a ,.... , d = ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับเหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

จากการเก็บรักษาเครื่องดื่มข้าวผงบรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ขนาด 9.5 × 10 เซนติเมตร บรรจุเครื่องดื่มข้าวผงจำนวน 30 กรัม/ซอง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ จากการศึกษาพบว่าเมื่อผ่านไป 6 สัปดาห์ปริมาณความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่ความชื้นไม่เกินร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก (มผช.ข้าวกล้องผง, 2548) เนื่องจากเก็บรักษาเครื่องดื่มข้าวผงในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ที่มีคุณสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของความชื้น แสง และอากาศได้ แสดงได้ว่าอายุการเก็บรักษาของเครื่องดื่มข้าวผงสามารถเก็บได้มากกว่า 6 สัปดาห์ โดยเก็บที่สภาวะอุณหภูมิ 30 40 และ 50 องศาเซลเซียส ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของจินดา (2553 : 23 อ้างจาก Jaya and Das, 2005) ที่ได้ทำนายอายุการเก็บรักษามะม่วงผงในสภาวะเร่ง จากการทดลองและประเมินผลที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส พบว่าสามารถทำนายอายุการเก็บรักษามะม่วงผงได้เท่ากับ 114.68 วัน เมื่อเทียบกับอายุการเก็บมะม่วงผงได้จริงเท่ากับ 105 วัน

ตารางที่ 4.17 แสดงค่าสีของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มข้าวผงที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50 องศาเซลเซียสในสัปดาห์ที่ 6 (n = 3)

สภาวะการเก็บ ในสัปดาห์ที่ 6	ค่าสี		
	L*	a*	b*
30 องศาเซลเซียส	82.67±0.01	1.74±0.02	-7.77±0.01
40 องศาเซลเซียส	82.97±0.01	1.61±0.01	-8.15±0.01
50 องศาเซลเซียส	83.31±0.01	1.69±0.01	-8.79±0.02

จากการเก็บรักษาเครื่องดื่มข้าวผงบรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ขนาด 9.5 × 10 เซนติเมตร บรรจุเครื่องดื่มข้าวผงจำนวน 30 กรัม/ซอง ปิดผนึกแบบสูญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ จากการศึกษาพบว่าเมื่อผ่านไป 6 สัปดาห์ค่าสีมีค่าเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย เนื่องจากเก็บรักษาเครื่องดื่มข้าวผงในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ที่มีคุณสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของความชื้น แสง และอากาศได้ ซึ่งสามารถทำให้เกิดการสลายตัวของแอนโธไซยานินได้ สอดคล้องกับงานวิจัยสุพิศา (2547) ที่กล่าวว่าปริมาณแอนโธไซยานินของแป้งข้าวหอมนิลที่บรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 เดือน พบว่าปริมาณแอนโธไซยานินเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย เพราะเก็บรักษาแป้งข้าวหอมนิลไว้ในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ที่มีคุณสมบัติป้องกันแสง อากาศ ความชื้น ทำให้แป้งไม่สัมผัสกับแสง ซึ่งสามารถก่อให้เกิดการสลายตัวของแอนโธไซยานินเป็นเหตุให้แป้งข้าวมีสีซีดลงได้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 การตรวจสอบคุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของเมล็ดข้าว 7 ชนิด

5.1.1 ปริมาณความชื้นของเมล็ดข้าวทั้ง 7 ชนิด เมล็ดข้าวพันธุ์เสาไห้พันธุ์ชัยนาท 1 มีความชื้นมากที่สุด รองลงมาได้แก่ เมล็ดข้าวขาวหอมมะลิพันธุ์สุรินทร์ เมล็ดข้าวกล้องหอมมะลิแดงพันธุ์สังข์หยด เมล็ดข้าวกล้องหอมมะลิเพาะงอก เมล็ดข้าวกล้องมันปู เมล็ดข้าวเหนียวดำพันธุ์ลืมผัว และเมล็ดข้าวกล้องหอมมะลิ 105 มีความชื้นน้อยที่สุด

5.1.2 ปริมาณน้ำอิสระในอาหารของเมล็ดข้าว 7 ชนิด เมล็ดข้าวเหนียวดำพันธุ์ลืมผัวมีความชื้นสูงสุด รองลงมา ได้แก่ เมล็ดข้าวกล้องหอมมะลิแดงพันธุ์สังข์หยด เมล็ดข้าวกล้องหอมมะลิเพาะงอก เมล็ดข้าวกล้องมันปู เมล็ดข้าวเสาไห้พันธุ์ชัยนาท 1 เมล็ดข้าวกล้องหอมมะลิ 105 และเมล็ดข้าวขาวหอมมะลิพันธุ์สุรินทร์ ตามลำดับ เมล็ดข้าวที่มีค่าปริมาณน้ำอิสระในอาหารสูงจะทำให้เชื้อราและจุลินทรีย์เจริญได้ ทำให้ข้าวเสื่อมคุณภาพในระยะเวลาอันรวดเร็ว

5.1.3 เมล็ดข้าวเหนียวดำพันธุ์ลืมผัวมีค่าการดูดซับน้ำมากที่สุด รองลงมาได้แก่ ข้าวกล้องหอมมะลิเพาะงอก เมล็ดข้าวกล้องมันปู เมล็ดข้าวขาวหอมมะลิพันธุ์สุรินทร์ เมล็ดข้าวกล้องหอมมะลิแดงพันธุ์สังข์หยด เมล็ดข้าวกล้องหอมมะลิ 105 และเมล็ดข้าวเสาไห้พันธุ์ชัยนาท 1 มีค่าการดูดซับน้ำน้อยที่สุดตามลำดับ

5.1.4 ค่าสีของเมล็ดข้าวทั้ง 7 ชนิด ในกลุ่มเมล็ดข้าวขาวเมล็ดข้าวขาวหอมมะลิพันธุ์สุรินทร์และเมล็ดข้าวเสาไห้พันธุ์ชัยนาท 1 มีสีเขียวอ่อนอมเหลืองส่วนในกลุ่มเมล็ดข้าวกล้องเมล็ดข้าวกล้องมันปูมีสีส้มเข้มอมแดง เมล็ดข้าวเหนียวดำพันธุ์ลืมผัวมีสีม่วงเข้ม เมล็ดข้าวกล้องหอมมะลิแดงพันธุ์สังข์หยดมีสีส้มอมแดง เมล็ดข้าวกล้องหอมมะลิ 105 และเมล็ดข้าวกล้องหอมมะลิเพาะงอกมีสีเหลืองออกน้ำตาลอ่อน

5.1.5 คุณภาพการหุงต้มของเมล็ดข้าว เมล็ดข้าวเสาไห้พันธุ์ชัยนาท 1 มีอัตราการเพิ่มน้ำหนักมากที่สุด รองลงมาคือ เมล็ดข้าวกล้องหอมมะลิแดงพันธุ์สังข์หยด เมล็ดข้าวขาวหอมมะลิพันธุ์สุรินทร์ เมล็ดข้าวกล้องหอมมะลิเพาะงอก เมล็ดข้าวกล้องมันปู เมล็ดข้าวกล้องหอมมะลิ 105 และเมล็ดข้าวเหนียวดำพันธุ์ลืมผัว ตามลำดับ ส่วนเมล็ดข้าวเสาไห้พันธุ์ชัยนาท 1 มีอัตราการขยายปริมาตรหลังการหุงต้มสูงสุด รองลงมาคือ เมล็ดข้าวกล้องหอมมะลิแดงพันธุ์สังข์หยด เมล็ดข้าวขาวหอมมะลิพันธุ์สุรินทร์ เมล็ดข้าวกล้องหอมมะลิเพาะงอก เมล็ดข้าวกล้องมันปู เมล็ดข้าวกล้องหอมมะลิ 105 และเมล็ดข้าวเหนียวดำพันธุ์ลืมผัว ตามลำดับ ซึ่งอัตราการเพิ่มน้ำหนัก และอัตราการขยายปริมาตรหลังการหุงต้มจะเห็นแนวโน้มว่าเมล็ดข้าวที่มีอัตราการเพิ่มน้ำหนักมาก จะมีอัตราการขยายปริมาตรมากไปด้วย

5.2 การตรวจสอบคุณลักษณะทางกายภาพของแป้งจากข้าว 7 ชนิด

5.2.1 ค่าสีของแป้งข้าวทั้ง 7 ชนิด ในกลุ่มแป้งข้าวขาวแป้งข้าวขาวหอมมะลิสุรินทร์และแป้งข้าวเสาไห้พันธุ์ชัยนาท1 มีสีเขียวอ่อนอมเหลืองส่วนในกลุ่มแป้งข้าวกล้องแป้งข้าวกล้องมันปูมีสีส้มเข้มอมแดง แป้งข้าวเหนียวดำพันธุ์ลืมผัวมีสีม่วงเข้ม แป้งข้าวกล้องหอมมะลิแดงพันธุ์สังข์หยดมีสีส้มอมแดง แป้งข้าวกล้องหอมมะลิ 105 และแป้งข้าวกล้องเพาะงอก มีสีเหลืองออกน้ำตาลอ่อน

5.2.2 แป้งข้าวขาวหอมมะลิพันธุ์สุรินทร์มีกำลังการพองตัวมากที่สุด รองลงมาคือ แป้งข้าวเสาไห้พันธุ์ชัยนาท 1 แป้งข้าวกล้องมันปู แป้งข้าวกล้องหอมมะลิแดงพันธุ์สังข์หยด แป้งข้าวกล้องหอมมะลิเพาะงอก แป้งข้าวกล้องหอมมะลิ 105 และแป้งข้าวเหนียวดำพันธุ์ลืมผัวตามลำดับ

5.2.3 แป้งข้าวเหนียวดำพันธุ์ลืมผัวมีค่าการละลายมากที่สุด รองลงมาคือ แป้งข้าวกล้องมันปู แป้งข้าวกล้องหอมมะลิแดงพันธุ์สังข์หยด แป้งข้าวกล้องหอมมะลิ 105 แป้งข้าวกล้องหอมมะลิเพาะงอก แป้งข้าวขาวหอมมะลิพันธุ์สุรินทร์ และแป้งข้าวเสาไห้พันธุ์ชัยนาท 1 ตามลำดับ

5.3 การตรวจสอบคุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของเครื่องดื่มข้าวผง (ผลิตภัณฑ์สุดท้าย)

ค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH) ของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มข้าวผงเท่ากับ 6.65 ± 0.01 ค่าสีของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีม่วงอ่อน ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 9.33 ± 0.29 และจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณพบว่าค่าปริมาณความชื้น (ร้อยละ) 6.46 ± 0.61 ปริมาณโปรตีน (ร้อยละ) 11.63 ± 0.20 ปริมาณไขมัน (ร้อยละ) 7.34 ± 0.93 ปริมาณไฟเบอร์ (ร้อยละ) 5.65 ± 0.07 ปริมาณเถ้า (ร้อยละ) 1.47 ± 0.16 และปริมาณคาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ) 67.45 ± 0.81

5.4 การศึกษาสูตรการยอมรับของผู้บริโภคทางประสาทสัมผัส

เครื่องดื่มข้าวผง 1 ซอง มีน้ำหนักสุทธิ 30 กรัม ประกอบด้วยแป้งข้าวเหนียวดำพันธุ์ลืมผัว ร้อยละ 10.00 แป้งข้าวขาวหอมมะลิพันธุ์สุรินทร์ร้อยละ 3.34 แป้งข้าวกล้องหอมมะลิเพาะงอก แป้งข้าวกล้องหอมมะลิ 105 แป้งข้าวกล้องมันปู แป้งข้าวกล้องหอมมะลิแดงพันธุ์สังข์หยด แป้งข้าวเสาไห้พันธุ์ชัยนาท 1 ชนิดละร้อยละ 6.00 ถั่วเหลืองผงร้อยละ 13.33 นมผงร้อยละ 17.83 และน้ำตาลร้อยละ 25.50 โดยชงในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และมีอัตราส่วนเครื่องดื่มข้าวผงต่อน้ำร้อน 70 องศาเซลเซียส ในอัตราส่วน 1 ต่อ 5 (เครื่องดื่มข้าวผง 30 กรัมต่อน้ำร้อน 150 มิลลิลิตร)

5.5 การศึกษาอายุการเก็บรักษาของเครื่องดื่มข้าวผง (ผลิตภัณฑ์สุดท้าย)

การศึกษาปริมาณความชื้นของเครื่องดื่มข้าวผงที่บรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ ขนาด 9.5 × 10 เซนติเมตร เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ พบว่าปริมาณความชื้นและค่าสีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) จากการศึกษาเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มข้าวผงมีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าการเก็บที่อุณหภูมิ 40 และ 50 องศาเซลเซียส จากการเก็บที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีปริมาณความชื้น 6.04 ± 0.02 และค่าสี L* (82.67±0.01) a* (1.74±0.02) และb*(-7.77±0.01) ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย คือ ความชื้นไม่เกินร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก (มผช.ข้าวกล้องผง, 2548) แสดงได้ว่าอายุการเก็บรักษาของเครื่องดื่มข้าวผงสามารถเก็บได้มากกว่า 6 สัปดาห์ โดยเก็บที่สภาวะอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

ข้อเสนอแนะ

การวิจัยในครั้งต่อไปควรนำแป้งข้าวไปทำเครื่องดื่มที่ปรุงแต่งรสต่างๆ เช่น รสช็อกโกแลต สตอเบอร์รี่ และอาจนำไปใช้เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์อาหารที่นำแป้งข้าวไปทดแทนการใช้แป้งสาลีบางส่วนเพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิตและส่งเสริมให้ข้าวไทยที่อุดมไปด้วยคุณประโยชน์มีการนำมาใช้อย่างแพร่หลายเพื่อช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการในอาหารต่างๆ เช่น ขนมไทย ขนมอบ เส้นพาสต้า บะหมี่ต่างๆ เป็นต้น

บรรณานุกรม

กรมวิชาการเกษตร. 2527. **ข้าวและการทำนา.** สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

กฤษณา สุดทะสาร สุภาณี จงดี และรานี เคนเหลื่อม. 2011. **ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากข้าวกล้องงอกของพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105.** ศูนย์วิจัยข้าวอุบลราชธานี, อุบลราชธานี

กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. 2543. **เทคโนโลยีของแป้ง.** ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 292 หน้า.

กัญญา เชื้อพันธุ์. 2545. **คุณภาพข้าวและการตรวจสอบข้าวปนในข้าวหอมมะลิไทย.** กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข. 2534. **คุณภาพเมล็ดข้าวทางกายภาพและการแปรสภาพเมล็ด.** ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ. 51 หน้า.

งามชื่น คงเสรี. 2531. **คุณภาพการหุงต้มรับประทานและปัจจัยที่เกี่ยวข้อง.** หน้า 94-101. ใน การปรับปรุงคุณภาพข้าวสำหรับผู้ดำเนินธุรกิจโรงสี. สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

_____. 2536. **คุณภาพเมล็ดทางเคมี.** เอกสารประกอบการบรรยายการฝึกอบรมหลักสูตรวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว ณ ศูนย์วิจัยข้าวพัทลุง, พัทลุง. 120 หน้า.

_____. 2539. **คุณภาพข้าวสารและข้าวสุก.** เอกสารการฝึกอบรมหลักสูตรการรักษาคุณภาพข้าวสารและการเลือกใช้บรรจุภัณฑ์เพื่อการส่งออก. ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร,กรุงเทพฯ. 23 หน้า.

_____. 2542. **เทคนิคการทดสอบคุณภาพข้าว.** น.ส.พ.กสิกร. 72(5): 467-473.

บรรณานุกรม (ต่อ)

งามชื่น คงเสรี. 2545. **คุณภาพข้าวสวย.** หน้า 11-30. ใน คุณภาพข้าวและการตรวจสอบข้าวปนในข้าวหอมมะลิไทย. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

จารนัย พาณิชยกุล. 2537. **แป้ง (Starch) การเปลี่ยนแปลงระหว่างการทำให้แป้งสุก.** วารสารจาร์พา. 11: 22-24.

จินดา รัตนถาวรกิติ. 2553. **การประเมินอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์น้ำพริกเผา และน้ำมันพริกเผาด้วยวิธี Q10 และแบบจำลองจลนพลศาสตร์.** สาขาวิชาจุลชีววิทยาประยุกต์ ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

จรัญจิต เพ็งรัตน์ และสุวัฒน์ เจียระคงมั่น. ม.ป.ป. **“ข้าวเหนียวดำ”หลากประโยชน์ หลากแนวคิด เสริมเศรษฐกิจไทย สู่สากล**. ศูนย์วิจัยข้าวชุมแพ, ขอนแก่น.

ชาญ มงคล. 2536. **ข้าว.** ตำราเอกสารวิชาการฉบับที่ 63 ภาคพัฒนาตำราและเอกสารวิชาการ หน่วยศึกษานิเทศก์ กรมการฝึกหัดครู, กรุงเทพฯ. 149 หน้า.

ดำเนิน กาละดี พันทิพา พงษ์เพียจันทร์ และ ศันสนีย์ จำกัด. 2543. **รายงานการวิจัยเรื่องพันธุศาสตร์การปรับปรุงพันธุ์และโภชนศาสตร์เกษตรของข้าวเหนียวดำ.** สถาบันวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 77 หน้า.

ต้นกล้า นาตรัง. 2552. **ข้าวกล้องงอกและผลิตภัณฑ์แปรรูปจากข้าวกล้องงอก.** กรุงเทพฯ, 128 หน้า.

ทัศนีย์ พรกิจประสาน และอรอนงค์ นัยวิกุล. 2530. **การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีของแป้งและสตาร์ลูกเดือย.** ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

บรรณานุกรม (ต่อ)

เทวี ทองแดง คาร์ริลา และพัชรินทร์ ภักดีฉนวน. 2551. **คุณภาพของข้าวพื้นเมืองมีสีภาคใต้ของประเทศไทย.** คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์วิทยาเขตปัตตานี.

ปราณีต จิระสุทัศน์. 2531. **ข้าว.** ภาควิชาเกษตรศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาลัยครูพระนคร. 241 หน้า.

ปุ่น และ สมพร คงเจริญเกียรติ. 2541. **บรรจุภัณฑ์อาหาร.** แพคเมทส์, กรุงเทพฯ. 358 หน้า.

ปัญญา ไพศาลอนันต์. ม.ป.ป. **ข้าวไทยให้ไอคิว.** สำนักพิมพ์แบงค์คอกบุ๊คส์, กรุงเทพฯ. 63 หน้า.

พีชยา จิระธรรมกิจกุล. 2541. **ผลของสภาวะการเก็บรักษาต่อคุณภาพข้าวกล้อง.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 140 หน้า.

เพลงพิณ ศิวาพรรักษ์. 2541. **ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณอะไมโลส คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ. 56 หน้า.

ไพศาล สังโวลี. 2543. **ข้าวไทยจากนาธรรมชาติสู่ข้าวปลอดสารเคมี.** มูลนิธิศูนย์สื่อเพื่อการพัฒนา, กรุงเทพฯ. 158 หน้า.

ภัทรพร ธัญญาวินิชกุล. 2540. **ผลของภาชนะบรรจุและสภาพการเก็บรักษาต่อคุณภาพข้าวสาร.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 172 หน้า.

บรรณานุกรม (ต่อ)

มณฑาทิพย์ ยุ่นฉลาด. 2534. **การเตรียมฟิล์มอะมิโลสจากสตาร์ชมันเทศที่แยกส่วนแล้ว.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 150 หน้า.

รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, กล้าณรงค์ ศรีรอต, เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, ไชยรัตน์ เพ็ชรชลานุวัฒน์, รุ่งทิวา วันสุขศรี, บุญทิวา นิลจันทร์, และ Naoyashi Inouchi. 2546. **การศึกษาคุณสมบัติของแป้งข้าวพันธุ์ต่างๆ ในประเทศไทยเพื่อเป็นกลยุทธ์ในการสร้างผลิตภัณฑ์มูลค่าเพิ่ม.** รายงานวิจัย ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ลินดา พงศ์ผาสุก. 2537. **การผลิตข้าวเคลือบกลิ่นหอม.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 136 หน้า.

วาสนา ผลารักษ์. 2523. **ข้าว.** ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 78 หน้า.

วุฒิชัย นาครักษา. 2533. **หลักการบรรจุ.** ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ. 332 หน้า.

ศิริวรรณ สุทธจิตต์. 2545. **แหล่งอาหารและยาจากข้าว**, หน้า 59-65. ใน 40 ปี ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก. โรงพิมพ์ตระกูลไทย, พิษณุโลก.

สถาบันวิจัยข้าว. ม.ป.ป. **ฐานข้อมูลเชื้อพันธุ์พืช : ข้าว.** สำนักคุ้มครองพันธุ์พืชแห่งชาติ กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ. 651 หน้า.

บรรณานุกรม (ต่อ)

สมพร ศรีสุข. 2545. **ผลของสารเคลือบต่อคุณภาพข้าวกล้องหุงสุกแช่เยือกแข็ง.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 145 หน้า.

สมฤดี วิบูลพัฒนะวงศ์. 2540. **การผลิตเครื่องดื่มเลียนแบบนมจากปลายข้าวเจ้า.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหาร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ. 147 หน้า.

สุมาลี ทองแก้ว และวลัยทิพย์ สายชลวิจารณ์. 2541. **ถั่วเหลือง พืชมหัศจรรย์ของแผ่นดิน.** สำนักพิมพ์หมอชาวบ้าน, กรุงเทพฯ.

สุนันทา วงศ์ปิยชน และวัชรี สุขวิวัฒน์. 2008. **ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มธัญพืชสำเร็จรูป**. กรมการข้าว ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี, ปทุมธานี.

สุนันทา วงศ์ปิยชน กฤษณา สุดทะสาร และวัชรี สุขวิวัฒน์. 2011. **ข้าวกล้องงอกและผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มข้าวกล้องงอก.** กรมการข้าว สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานีและศูนย์วิจัยข้าวอุบลราชธานี. 375 หน้า.

สุพิศา สมโต. 2547. **คุณลักษณะทางกายภาพและเคมี และความคงตัวของข้าวไทยที่มีรงควัตถุ.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยศิลปากร, กรุงเทพฯ. 152 หน้า.

เสาวลักษณ์ จิตรบรรเจิดกุล และคณะ. 2549. **หลักการวิเคราะห์เคมีอาหาร.** ม.ป.ท.

อรวรรณ เคหสุขเจริญ. 2529. **คุณสมบัติบางประการในการนำไปใช้ประโยชน์ของแป้งต่างๆ.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 155 หน้า.

บรรณานุกรม (ต่อ)

อรอนงค์ นัยวิกุล. 2547. **เคมีทางธัญญาหาร.** ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 148 หน้า.

อัมมาร สยามวาลา และ วิโรจน์ ณ ระนอง. 2533. **ประมวลความรู้เรื่องข้าว.** สถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย, กรุงเทพฯ. 436 หน้า.

กรมการข้าว. 2012. **ข้าวเสาไห้ พันธุ์ชัยนาท** (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก http://www.brrd.in.th/rkb/data_002/a2/rice_xx203_ricebreed_Chai_Nat_1.html. (วันที่ค้นข้อมูล 24 มีนาคม 2555).

กรมการข้าว. 2012. **ข้าวหอมมะลิแดง สังข์หยด** (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก http://www.brrd.in.th/rkb2/varieties/index.php-file=content.php&id=93.htm. (วันที่ค้นข้อมูล 24 มีนาคม 2555).

เกษตรออแกนิค. ม.ป.ป. **ข้าวมันปู.** (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก http://www.kasetorganic.com/%E0%B8%82%E0%B9%89%E0%B8%B2%E0%B8%A7%E0%B8%A1%E0%B8%B1%E0%B8%99%E0%B8%9B%E0%B8%B9.html. (วันที่ค้นข้อมูล 24 มีนาคม 2555).

เทคโนโลยีชีวเคมี. ม.ป.ป. . **“อุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชันของแป้งข้าวเจ้า”** (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก http://eu.lib.kmutt.ac.th/elearning/Courseware/BCT611/chapter2.html . (วันที่ค้นข้อมูล 10 มีนาคม 2555).

นันทยา จงใจเทศ. 2550. **การศึกษาวิตามินในข้าว** (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก www.nutrition.anamai.moph.go.th. (วันที่ค้นข้อมูล 20 มีนาคม 2555).

บรรณานุกรม (ต่อ)

ประไพศรี ศิริจักรวาล. 2552. **“น้ำตาลแลคโตสในถั่วเหลือง”** (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก http://www.pepsithai.com/food2008/tips/tips27.html. (วันที่ค้นข้อมูล 10 มีนาคม 2555).

พูนศักดิ์ สักกทัตติยกุล. 2551. **“ความหวานของน้ำตาล”** (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก http://www.thaigoodview.com/node/18637. (วันที่ค้นข้อมูล 10 มีนาคม 2555).

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. 2012. **ข้าวกล้องหอมมะลิ 105** (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก http://www.brrd.in.th/rkb/data_002/a1/rice_xx203_ricebreed_Khao_Dawk_Mali_105.html. (วันที่ค้นข้อมูล 24 มีนาคม 2555).

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนข้าวกล้องผง (ออนไลน์). 2548. เข้าถึงได้จาก http://app.tisi.go.th/otop/pdf_file/tcps1068_48.pdf. (วันที่ค้นข้อมูล 12 มีนาคม 2555).

วิกิพิเดีย สารานุกรม, 2554 . **“น้ำตาลทราย”** (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%99%E0%B9%89%E0%B8%B3%E0%B8%95%E0%B8%B2%E0%B8%A5. (วันที่ค้นข้อมูล 10 มีนาคม 2555).

ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว. 2545 . **“water activity กับอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร”** (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก http://www.phtnet.org/article/view-article.asp?aID=12. (วันที่ค้นข้อมูล 10 มีนาคม 2555).

สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว, ม.ป.ป. . **“พันธุ์ข้าว”** (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก http://www.ricethailand.go.th/rice%20web/Rice%20Government/rice/Surin1.pdf. (วันที่ค้นข้อมูล 10 มีนาคม 2555).

บรรณานุกรม (ต่อ)

หมอชาวบ้าน. 2535. **“ครีมเทียม”** (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก http://www.doctor.or.th/node/3204. (วันที่ค้นข้อมูล 10 มีนาคม 2555).

AOAC. 2000. Official Method of Analysis. 17^{th} ed. The association of Official Analytical Chemists, Washington D.C. USA.

Barber, S. 1972. Milled rice and changes during aging, pp. 215-261. *In* D.F. Houston(ed.). Rice: Chemistry and Technology. American Association of Careal Chemists. St. Paul, Inc., Minnesota.

Beynum, G.M.A. van and Roels, J.A. 1985. Starch Conversion Technology. Marcel Dekker,Inc., New York. 326 p.

Bridle, P. and Timberlake, C.F. 1996. Anthocyanins as natural food colors–selected aspects. Food Chemistry. 58: 103-109.

Chikubu, S. 1970. Stale flavor of stored rice. Japan Agricultural Research Quarterly. 5: 63-68.

Gras, P.W., Banks, H.J. and Bason, M.L. 1989. A quantitative study of the influence of temperature, water activity and storage atmosphere on the yellowing of milled rice. Journal of Cereal Science. 9: 77-89.

Lorenz, K.J. and Kulp, K. 1991. Handbook of Cereal Science and Technology. Marcel Dekker, Inc., New York. 870 p.

บรรณานุกรม (ต่อ)

Pomeranz, Y. 1982. Biochemical, functional and nutritive change during storage, pp. 145-217. *In* C.M. Christensen (ed.). Storage of Cereals Grain and Their Products. American Association of Cereal Chemists. St. Paul, Inc., Minnesota.

Shibuya, N., Iwasaki, T. and Kannondai, Y.M. 1982. Effect of the enzymatic removal of endosperm cell wall on the gelatinization properties of aged and unaged rice floure Starch. 9: 300-303.

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

Villareal, R.M., Resurreccion, A.P., Suzuki, I. and Juliano, B.O. 1976. Changes in physicochemical properties of rice during storage. Starch. 28: 88-94.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
สูตรพื้นฐาน

สูตรพื้นฐานสูตรที่ 1

วัตถุดิบ	ร้อยละของวัตถุดิบ
ข้าวกล้องงอกอบแห้ง	23.34
ลูกเดือยผง	3.33
ถั่วเหลืองผง	6.67
นมผง	13.33
น้ำตาล	33.33
ครีมเทียม	20.00

ที่มา ; กฤษณา และคณะ, 2011 (อัตราส่วนเครื่องดื่มข้าวผง:น้ำ (กรัม) คือ 30:150)

ขั้นตอนการผลิต

ล้างข้าวกล้องหอมมะลิเพาะงอก 100% พันธุ์ข้าวหอมมะลิ 105 ยี่ห้อ Be Live Rice เม็ดลูกเดือยอบแห้งและเม็ดถั่วเหลืองอบแห้ง แล้วแช่ในน้ำสะอาดนานเป็นเวลา 8-12 ชั่วโมง โดยใช้น้ำที่อุณหภูมิห้อง

↓

นำเมล็ดข้าวที่ผ่านการแช่ไปโม่แบบเปียกด้วยเครื่อง Vitamix โดยใช้ข้าว 1 ส่วนต่อน้ำ 1 ส่วน ส่วนลูกเดือยและถั่วเหลืองที่ผ่านการแช่น้ำและนำไปต้มในน้ำเดือดนานประมาณ 30 นาที แล้วนำไปโม่แบบเปียก

↓

นำผงข้าว ผงลูกเดือย ผงถั่วเหลืองที่ได้จากเครื่อง Vitamix ไปอบด้วยตู้อบลมร้อน (Hot air oven) ที่อุณหภูมิ 65-70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-4 ชั่วโมง

↓

นำไปผ่านเครื่องบดขนาด 100 mesh บรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยล์

↓

ผสมส่วนผสมต่างๆ ตามสูตร เขย่าให้ส่วนผสมเข้ากัน

บรรจุใส่ซองอลูมิเนียมฟอยล์ขนาด 9.5 × 10 เซนติเมตร น้ำหนักสุทธิ 30 กรัม

สูตรพื้นฐานสูตรที่ 2

วัตถุดิบ	ร้อยละของวัตถุดิบ
ข้าวกล้องอบแห้ง	20.59
ข้าวโพดอบแห้ง	5.88
ลูกเดือยผง	2.94
นมผง	20.59
น้ำตาล	35.29
ครีมเทียม	14.71

ที่มา ; สุนันทา และวัชรี, 2008 (อัตราส่วนเครื่องดื่มข้าวผง:น้ำ (กรัม) คือ 34:150)

ขั้นตอนการผลิต

ล้างข้าวกล้องหอมมะลิ เม็ดลูกเดือยอบแห้งและข้าวโพด แล้วแช่
ในน้ำสะอาดนานเป็นเวลา 8-12 ชั่วโมง โดยใช้น้ำที่อุณหภูมิห้อง

↓

นำเมล็ดข้าวที่ผ่านการแช่ไปโม่แบบเปียกด้วยเครื่อง Vitamix โดยใช้ข้าว 1 ส่วนต่อน้ำ 1 ส่วน
ส่วนลูกเดือยและข้าวโพดที่ผ่านการแช่น้ำและนำไปต้มในน้ำเดือดนานประมาณ 30 นาที
แล้วนำไปโม่แบบเปียก

↓

นำผงข้าว ผงลูกเดือย ผงข้าวโพดที่ได้จากเครื่อง Vitamix ไปอบด้วยตู้อบลมร้อน (Hot air oven)
ที่อุณหภูมิ 65-70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-4 ชั่วโมง

↓

นำไปผ่านเครื่องบดขนาด 100 mesh บรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยล์

↓

ผสมส่วนผสมต่างๆ ตามสูตร เขย่าให้ส่วนผสมเข้ากัน
บรรจุใส่ซองอลูมิเนียมฟอยล์ขนาด 9.5 × 10 เซนติเมตร น้ำหนักสุทธิ 30 กรัม

สูตรพื้นฐานสูตรที่ 3

วัตถุดิบ	ร้อยละของวัตถุดิบ
ข้าวกล้องงอกอบแห้ง	42.10
น้ำตาล	26.30
ครีมเทียม	10.50
มอลโทเดกซ์ทริน	21.10

ที่มา ; สุนันทา และคณะ, 2011 (อัตราส่วนเครื่องดื่มข้าวผง:น้ำ (กรัม) คือ 19:150)

ขั้นตอนการผลิต

ล้างข้าวกล้องหอมมะลิเพาะงอก 100% พันธุ์ข้าวหอมมะลิ 105 ยี่ห้อ Be Live Rice

แล้วแช่ในน้ำสะอาดนานเป็นเวลา 8-12 ชั่วโมง โดยใช้น้ำที่อุณหภูมิห้อง

↓

นำเมล็ดข้าวที่ผ่านการแช่ไปโม่แบบเปียกด้วยเครื่อง Vitamix โดยใช้ข้าว 1 ส่วนต่อน้ำ 1 ส่วน

↓

นำผงข้าว ที่ได้จากเครื่อง Vitamix ไปอบด้วยตู้อบลมร้อน (Hot air oven)

ที่อุณหภูมิ 65-70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-4 ชั่วโมง

↓

นำไปผ่านเครื่องบดขนาด 100 mesh บรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยล์

↓

ผสมส่วนผสมต่างๆ ตามสูตร เขย่าให้ส่วนผสมเข้ากัน

บรรจุใส่ซองอลูมิเนียมฟอยล์ขนาด 9.5 × 10 เซนติเมตร น้ำหนักสุทธิ 30 กรัม

ภาคผนวก ข
สูตรมาตรฐาน ขั้นตอนการผลิตและบรรจุภัณฑ์

สูตรมาตรฐานเครื่องดื่มข้าวผง

วัตถุดิบ	ร้อยละของวัตถุดิบ
แป้งข้าว 7 ชนิด	
แป้งข้าวเหนียวดำพันธุ์ลืมผัว	10.00
แป้งข้าวขาวหอมมะลิพันธุ์สุรินทร์	3.34
แป้งข้าวกล้องหอมมะลิเพาะงอก	6.00
แป้งข้าวกล้องหอมมะลิ 105	6.00
แป้งข้าวกล้องมันปู	6.00
แป้งข้าวกล้องหอมมะลิแดงพันธุ์สังข์หยด	6.00
แป้งข้าวเสาไห้พันธุ์ชัยนาท 1	6.00
ถั่วเหลืองผง	13.33
นมผง	19.83
น้ำตาล	23.50

ขั้นตอนการผลิตเครื่องดื่มข้าวผง

ล้างเมล็ดข้าวทั้ง 7 ชนิด แล้วแช่ในน้ำสะอาดเป็นเวลา 8-12 ชั่วโมง โดยใช้น้ำที่อุณหภูมิห้อง

↓

นำเมล็ดข้าวที่ผ่านการแช่ไปโม่แบบเปียกด้วยเครื่อง Disin tegrator โดยใช้ข้าว 1 ส่วนต่อน้ำ 1 ส่วน โดยผ่านการโม่ 2 รอบ รอบแรกใช้ตะแกรงขนาด 50 mesh รอบที่ 2 ผ่านตะแกรงขนาด 100 mesh

↓

นำน้ำแป้งที่ได้ไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยง

↓

นำผงข้าวทั้ง 7 ชนิดที่ได้จากเครื่อง ไปอบด้วยตู้อบลมร้อน (Hot air oven) ที่อุณหภูมิ 65-70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-4 ชั่วโมง

↓

นำไปผ่านเครื่องบด ขนาด 100 mesh บรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยล์

↓

ผสมส่วนผสมต่างๆ ตามสูตร เขย่าให้ส่วนผสมเข้ากันบรรจุใส่ซอง อลูมิเนียมฟอยล์ขนาด 9.5 × 10 เซนติเมตร น้ำหนักสุทธิ 30 กรัม

เครื่องที่ใช้ในการผลิตแป้งข้าว

เครื่องโม่เปียก Disin tegrator Model RP-8-K-155 Drezahl 4000u/min

เครื่องแยก Centrifuge รุ่น ty 761 Drehzahl 17000 u/min

เครื่องบดแห้ง Fitz mill Ser-no 96-5-01

บรรจุภัณฑ์และฉลากบรรจุภัณฑ์

กล่องบรรจุภัณฑ์ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มข้าวผง

ฉลากผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม

ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มข้าวผงสำเร็จรูป

ภาคผนวก ค

แบบประเมินทางประสาทสัมผัส

ชุดที่.....

แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ผลิตภัณฑ์ เครื่องดื่มข้าวผง วันที่ทำการทดสอบชิม.....

คำแนะนำ กรุณาทดสอบชิมตัวอย่างที่เสนอให้ตามลำดับจากซ้ายไปขวา และให้ระดับคะแนนความชอบในแต่ละลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ใกล้เคียงกับความรู้สึกของท่านมากที่สุด (กรุณาบ้วนปากทุกครั้งก่อนชิมตัวอย่างถัดไป) โดยกำหนดให้

คะแนนความชอบ

9 = ชอบมากที่สุด 8 = ชอบมาก 7 = ชอบปานกลาง

6 = ชอบเล็กน้อย 5 = บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย

3 = ไม่ชอบปานกลาง 2 = ไม่ชอบมาก 1 = ไม่ชอบมากที่สุด

คุณลักษณะผลิตภัณฑ์	**รหัสตัวอย่าง**	**รหัสตัวอย่าง**	**รหัสตัวอย่าง**
สี			
กลิ่น			
รสหวาน			
ความหนืด			
ความชอบโดยรวม			

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

ขอบคุณที่ให้ความร่วมมือค่ะ

ภาคผนวก ง

วิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพ

การดูดซับน้ำของข้าว (water uptake)

(ดัดแปลงจาก สุพิศา, 2547)

วิธีวิเคราะห์

นำตัวอย่างเมล็ดข้าวประมาณ 20 กรัม (น้ำหนักแห้ง) แช่ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตรในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 16 ชั่วโมง แล้วสะเด็ดน้ำออกโดยการเทน้ำผ่านกระชอน แล้วกรองผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 ตั้งทิ้งไว้ 20 นาที ชั่งน้ำหนักข้าวที่ได้นำไปคำนวณหาร้อยละการดูดซับน้ำเทียบกับน้ำหนักของข้าวที่เริ่มทำการทดลอง

$$\text{ร้อยละการดูดซับน้ำ} = \frac{(\text{น้ำหนักของข้าวหลังการแช่น้ำ} - \text{น้ำหนักของข้าวก่อนการแช่น้ำ})}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง}} \times 100$$

คุณภาพการหุงต้มของเมล็ดข้าว (cooking volume)

(ดัดแปลงจาก สุพิศา, 2547)

วิธีวิเคราะห์

ชั่งข้าวกล้องประมาณ 20 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นปริมาตร 200 มิลลิลิตร นำไปต้มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้วสะเด็ดน้ำออกโดยการเทน้ำผ่านกระชอน แล้วกรองผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 ตั้งทิ้งไว้ 20 นาทีให้เย็น ชั่งน้ำหนักข้าวสุกที่ได้ นำไปคำนวณในหน่วยกรัมข้าวสุก/กรัมข้าวแห้ง และหาปริมาตรข้าวสุกโดยอาศัยหลักการแทนที่น้ำ นำไปคำนวณในหน่วยมิลลิลิตร/กรัมข้าวแห้ง นำไปคำนวณหาอัตราการเพิ่มน้ำหนักของเม็ดข้าวสุก

$$\text{อัตราการเพิ่มน้ำหนักของเม็ดข้าวสุก} = \frac{\text{น้ำหนักกรัมข้าวสุก}}{\text{น้ำหนักกรัมข้าวแห้ง}}$$

$$\text{อัตราการขยายปริมาตรของข้าวสุก} = \frac{\text{ปริมาตรน้ำที่ถูกแทนที่โดยข้าวสุก (มิลลิลิตร)}}{\text{น้ำหนักกรัมข้าวแห้ง}}$$

ร้อยละการละลายและกำลังการพองตัว (swelling power and solubility)

(ดัดแปลงจาก สุพิศา, 2547)

วิธีวิเคราะห์

ชั่งตัวอย่างแป้ง 0.2 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ใส่หลอดเหวี่ยงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร ขนาด 10 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นปริมาตร 3 มิลลิลิตร แช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 85 องศาเซลเซียส เขย่าตลอดเป็นเวลา 30 นาที นำไปเหวี่ยงในเครื่องหมุนเหวี่ยงความเร็ว 2,200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที ดูดน้ำตอนบนใส่ภาชนะอบแห้งที่ทราบน้ำหนักแน่นอนให้มากที่สุด นำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 -10 ชั่วโมง จนได้น้ำหนักคงที่ชั่งน้ำหนักเป็นน้ำหนักส่วนที่ละลายน้ำ ส่วนแป้งเปียกในหลอดนำมาชั่งเป็นน้ำหนักแป้งที่พองตัวแล้ว คำนวณร้อยละการละลายและกำลังการพองตัว

$$\text{ร้อยละการละลาย} = \frac{\text{น้ำหนักส่วนที่ละลายน้ำ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง}} \times 100$$

$$\text{กำลังการพองตัว} = \frac{\text{น้ำหนักแป้งที่พองตัวแล้ว} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง} \times (100 - \text{ร้อยละการละลาย})}$$

การวิเคราะห์ค่าความหนืดของแป้งข้าว

วิธีวิเคราะห์

ชั่งตัวอย่างมาจำนวนหนึ่ง โดยจำนวนของตัวอย่างขึ้นอยู่กับชนิดของตัวอย่างและความชื้น ในกรณีตัวอย่างที่มีความชื้น 14% ให้ตวงน้ำกลั่นปริมาตร 25 ± 0.05 มิลลิลิตร ใส่ลงไปในแคนของเครื่อง RVA ปริมาณตัวอย่างและน้ำควรคำนึงถึงค่าความชื้นของตัวอย่างด้วย โดยการคำนวณจากสูตรสำหรับค่าความชื้น 14%

$$M_2 = \frac{(100 - 14) \times M_1}{(100-M_1)}$$

$$W_2 = 25.0 + M_1-M_2$$

เมื่อ M_1 = น้ำหนักตัวอย่างที่เหมาะสมสำหรับแป้งแต่ละชนิด

M_2 = น้ำหนักที่ถูกต้อง

W_2 = ปริมาณน้ำที่ถูกต้อง

ใส่ตัวอย่างแป้งลงในแคนที่มีน้ำอยู่ ใส่พาย (paddle) ลงในแคน หมุนพายไปมาแรงๆ และดึงขึ้นลงเพื่อกวนตัวอย่างไม่ให้จับเป็นก้อนที่ผิวน้ำหรือติดอยู่ที่พาย จากนั้นนำแคนที่ใส่พายเข้าเครื่อง RVA กดมอเตอร์ลงเพื่อให้ RVA ทำงาน

จากกราฟการเปลี่ยนแปลงความหนืดต่อเวลาที่ได้อ่านและบันทึกค่าต่างๆ ดังนี้ อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ที่ทำให้แป้งพอง (Pasting temperature), ความหนืด (RVU) เมื่อแป้งพองตัวสูงสุด (peak viscosity), ความหนืด (RVU) เมื่อแป้งเย็นตัวลง (final viscosity), ความหนืดที่แป้งยุบตัว (breakdown), ความหนืดเมื่อคืนตัว (setback), และความหนืดเมื่อแป้งคงตัว (trough)

ภาคผนวก จ

วิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

(Determination of moisture content)

วิธีวิเคราะห์

อบจานอลูมิเนียมพร้อมด้วยฝาปิดในตู้อบลมร้อน (Hot air oven) ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ประมาณ 30 นาที ทิ้งให้เย็นในเดสิกเคเตอร์ที่อุณหภูมิห้อง ชั่งน้ำหนักจานและฝาปิดให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน

ชั่งน้ำหนักตัวอย่างให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนใส่ในจานอลูมิเนียม ประมาณ 1-3 กรัม นำกลับไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ประมาณ 3 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดสิกเคเตอร์ที่อุณหภูมิห้อง ชั่งน้ำหนักจานและฝาปิดให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน ทำการอบซ้ำนานครั้งละ 30 นาที และชั่งน้ำหนักจนกว่าจะได้น้ำหนักที่คงที่ คำนวณปริมาณร้อยละของความชื้นของตัวอย่างอาหาร

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

เมื่อ W คือ น้ำหนักของจานอลูมิเนียมพร้อมฝาปิด เป็นกรัม

W_1 คือ น้ำหนักของจานอลูมิเนียมและตัวอย่างก่อนอบ เป็นกรัม

W_2 คือ น้ำหนักของจานอลูมิเนียมและตัวอย่างหลังอบ เป็นกรัม

การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน
(Determination of Protein)

วิธีวิเคราะห์

ทำการย่อย กลั่น และไทเทรตเพื่อวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนดังนี้

การย่อย

1. ชั่งตัวอย่างประมาณ 0.5 - 1.0 กรัม อย่างละเอียดใส่ลงในหลอดย่อย (Kjeldhl Flask หรือ digestion tube)
2. เติมสารช่วยเร่งปฏิกิริยาที่ผสมระหว่าง $CuSO_4$ และ K_2SO_4 ในอัตราส่วน 0.5:10 ประมาณ 10 กรัม
3. เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร เขย่าให้สารทั้งหมดเข้ากันเบาๆ
4. ตั้งหลอดย่อยใน Stand หยด n-octanol 2-3 หยดก่อนสวม Exhaust manifold ลงบนส่วนบนของขวดย่อย
5. ตั้ง Stand, Digestion tube และ Exhaust ลงบนเครื่องย่อยเปิดเครื่องดักจับไอกรดย่อยจนได้สารละลายใส (มีสีฟ้าหรือเขียวใส) ทุกหลอด
6. ยก Stand พร้อมหลอดย่อยออกจากเครื่องย่อยโดยเปิดเครื่องดูดจับไอกรดไว้ ทิ้งให้สารละลายเย็น

การกลั่นและวิเคราะห์ปริมาณ

1. เปิดเครื่องหล่อเย็นก่อนทำการกลั่นอย่างน้อย 30 นาที และเปิดเครื่องกลั่น
2. ใส่หลอดย่อยที่มีสารสกัดจากตัวอย่างที่ย่อยแล้ว โดยเริ่มกลั่นจาก Blank ก่อน และปิดประตูเครื่องกลั่น
3. กดปุ่มด่าง (NaOH) ประมาณ 2-3 ครั้ง จนสารละลายในหลอดเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินเข้ม
4. นำขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ตั้งไว้บน Platform ของเครื่องให้สายของเครื่องควบแน่นอยู่ในขวดรูปชมพู่

5. รอจนเครื่องกลั่นทำงานเสร็จ นำสารละลายที่กลั่นได้ไปไทเทรตกับกรดเติม Bromocresolgreen และ Methyred อย่างละ 2 หยด นำสารละลายดังกล่าวไปไทเทรตกับกรด HCl 0.01 m จนได้สารละลายเป็นสีชมพูอ่อน นำปริมาณ HCl ที่ใช้ไทเทรตไปคำนวณผลการวิเคราะห์

$$\%N = \frac{14x(V_1 - V_2)\,x\,nomality\,of\ HCl(mol/L)}{\text{Weight of example}}$$

%Protein = %N × ตัวแฟคเตอร์

แฟกเตอร์ที่ใช้คำนวณหาปริมาณโปรตีนสำหรับอาหารชนิดต่างๆ

อาหาร	แฟกเตอร์
ธัญพืช	
แป้งสาลีจากข้าวทั้งเมล็ด	5.83
มักกะโรนี และสปาเก็ตตี้	5.70
ข้าวเจ้า และผลิตภัณฑ์	5.95
ข้าวไรน์ และผลิตภัณฑ์	5.83
ข้าวบาเล่ย์ และผลิตภัณฑ์	5.83
นัท และพืชเมล็ด	
ถั่วเหลือง และผลิตภัณฑ์	5.71
อัลมอนด์	5.18
บราซิลนัท	5.46
มะพร้าว	5.30
เมล็ดงา ทานตะวัน คำฝอย และอื่นๆ	5.30
นม และผลิตภัณฑ์	6.38
อาหารอื่นๆ	6.25

ที่มา : เสาวลักษณ์ และคณะ, 2549

การวิเคราะห์หาปริมาณไขมัน
(Demination of Crude fat)

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างที่ผ่านการอบไล่ความชื้นแล้วให้ได้น้ำหนักแน่นอน โดยใช้กระดาษกรองที่ทราบน้ำหนักรองรับ ชั่งตัวอย่างประมาณ 1-2 กรัม ห่อตัวอย่างให้มิดชิดด้วยกระดาษกรองแล้วใส่ลงในรังไหม (Thimble) ในช่องกลั่นเครื่อง Soxhlet
2. ชั่งน้ำหนักถ้วยอลูมิเนียมสำหรับวิเคราะห์ไขมันที่อบให้แห้งสนิทแล้ว นำไปประกอบเข้ากับรังไหม (Thimble) ใส่เข้าในเครื่องวิเคราะห์ไขมัน
3. ค่อยๆ เติมปิโตรเลียมอีเทอร์ปริมาณ 80 มิลลิลิตร โดยแบ่งออกเป็นสองรอบละ 40 มิลลิลิตร เพื่อไม่ให้ปิโตรเลียมอีเทอร์ชะล้างตัวอย่างเร็วเกินไป ปรับความร้อนให้หยดของตัวทำลายกลั่นจากคอนเดนเซอร์ มีอัตรา 150 หยดต่อนาที เมื่อสกัดได้ตามเวลาที่กำหนดแล้วนำถ้วยอลูมิเนียมซึ่งมีไขมันหรือน้ำมันที่สกัดได้ไประเหยเอาตัวทำละลายออกเกือบหมดแล้วนำไปอบแห้งในตู้อบอุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที และชั่งจนได้น้ำหนักคงที่หลังจากทำให้เย็นในเดสิกเคเตอร์
4. คำนวณปริมาณของไขมันในตัวอย่างอาหารจากการคำนวณน้ำหนักถ้วยอลูมิเนียม

โดยใช้สูตรต่อไปนี้

$$\text{ปริมาณไขมัน (\%)} = \frac{100\,(W_1 - W_2)}{W}$$

เมื่อ W = น้ำหนักของตัวอย่างอบแห้ง (กรัม)

W_1 = น้ำหนักของขวดแก้วก้นกลมและไขมันหลังอบแห้งจนน้ำหนักคงที (กรัม)

W_2 = น้ำหนักของขวดแก้วก้นกลมที่นำไปอบจนได้น้ำหนักคงที่ (กรัม)

การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า
(Determination of ash)

วิธีวิเคราะห์

ชั่งตัวอย่างประมาณ 2 กรัม ในถ้วยกระเบื้องเคลือบ (porcelain crucible) ที่เผาและชั่งน้ำหนักแน่นอนแล้วนำตัวอย่างไปเผา (muffle furnace) ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส นานประมาณ 2-3 ชั่วโมง จนกระทั่งได้เถ้าสีขาวหรือสีเทาอ่อน นำออกจากตู้เผาใส่ในเดสิกเคเตอร์ปล่อยไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องแล้วชั่งน้ำหนัก เผาตัวอย่างซ้ำนาน 30 นาที จนได้น้ำหนักที่คงที่

$$\text{ปริมาณเถ้าร้อยละของน้ำหนัก} = \frac{100\,(W_2-W)}{W_1-W}$$

เมื่อ W คือ น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องเคลือบ เป็นกรัม

W_1 คือ น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องเคลือบและตัวอย่างก่อนเผา เป็นกรัม

W_2 คือ น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องเคลือบและตัวอย่างหลังเผา เป็นกรัม

การวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยหยาบ

(Determination of Crude fiber)

สารเคมีที่ใช้

1. กรดซัลฟุริก 1.25%
2. โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.25%
3. n-octanol เป็น antifoam

วิธีวิเคราะห์

1. ใช้ตัวอย่างที่ได้จากการหาความชื้นแล้ว หรือผ่านการอบในตู้อบอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ แล้วทำให้เย็นใน Dessicator
2. ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของตัวอย่างที่บดแล้ว 1±0.001 กรัม
3. เติม 1.25 % กรดซัลฟุริกร้อน 150 มิลลิลิตร (ทำให้ร้อนโดยการอุ่นบน Hot plate เพื่อลดเวลาในการย่อย)
4. เติม 3-5 หยดของ n-octanol
5. ทำการย่อยเป็นเวลา 30 นาที
6. กดปุ่ม vacumm เพื่อถ่ายกรดซัลฟุริกออก
7. ล้างตัวอย่างด้วย deionized water ที่ทำให้ร้อน 30 มิลลิลิตร จำนวน 3 ครั้ง โดยกดปุ่ม Compressed air เพื่อกวนตัวอย่างให้กระจาย
8. หลังจากล้างน้ำสุดท้ายแล้วเติม 150 มิลลิลิตร ของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.25% แล้วเติม 3-5 หยดของ n-octanol
9. ทำการย่อยเป็นเวลา 30 นาที
10. ทำการกรองแล้วล้างตัวอย่างเหมือน ข้อ 7
11. หลังจากล้างน้ำกลั่นครั้งสุดท้ายแล้ว ให้ล้างด้วย acetone 25 มิลลิลิตร โดยกดปุ่ม Compressed air เพื่อกวนตัวอย่างให้กระจาย

12. นำ crucible ออกจากเครื่อง แล้วชั่งน้ำหนักหลังจากอบน้ำหนักของตัวอย่างที่ได้จะเป็นน้ำหนักของ crude fiber + ash content (W_1)
13. นำไปหาเถ้า โดยนำตัวอย่างที่เหลือจากการหาเยื่อใยไปเผาใน muffle ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทำการชั่งน้ำหนักอีกครั้ง ผลต่างของน้ำหนักที่ได้ในข้อที่ 12 จะเป็นค่า crude fiber content (W_2)

ทำการคำนวณโดยใช้สูตร

$$\text{crude fiber (\%)} = \frac{(W_1 - W_2)}{W_0} \times 100$$

การวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด
(Determination of Carbohydrates)

วิธีหาปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด

คำนวณหาโดยใช้ความแตกต่างของน้ำหนักตัวอย่างแห้ง และปริมาณขององค์ประกอบอื่นๆ

ปริมาณคาร์โบไฮเดรต = 100 - (%โปรตีน + %ไขมัน + %เถ้า + %เยื่อใย+%ความชื้น)

ภาคผนวก ฉ

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน

มผช.1068/2548

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน
ข้าวกล้องผง

1. ขอบข่าย

1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้ครอบคลุมข้าวกล้องผงที่มีข้าวกล้องและจมูกข้าวกล้องเป็นส่วนประกอบหลัก บรรจุในภาชนะบรรจุ ใช้สำหรับชงดื่ม

2. บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้ มีดังต่อไปนี้

2.1 ข้าวกล้องผง หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำข้าวกล้องหรือจมูกข้าวกล้อง อย่างใดอย่างหนึ่งมาล้างให้สะอาด อบให้สุกเป็นบางส่วน ทำให้เป็นเกล็ดเล็กๆหรือบดให้เป็นผง อาจปรุงแต่งรสด้วยน้ำตาล เกลือและอาจเติมส่วนประกอบอื่น เช่น นมผง ธัญชาติบด ก่อนบริโภคต้องเติมน้ำร้อนแล้วคนให้เข้ากันหรือต้มในน้ำเดือด

3. คุณลักษณะที่ต้องการ

3.1 ลักษณะทั่วไป

ต้องเป็นเกล็ดหรือเป็นผง แห้ง ไม่จับตัวเป็นก้อน

3.2 สี

ต้องมีสีที่ดีตามธรรมชาติของข้าวกล้องผง

3.3 กลิ่นรส

ต้องมีกลิ่นรสที่ดีตามธรรมชาติของข้าวกล้องผง ปราศจากกลิ่นรสอื่นที่ไม่พึงประสงค์ เช่น กลิ่นอับ กลิ่นหืน รสขม เมื่อตรวจสอบโดยวิธีให้คะแนนตามข้อ 8.1 แล้ว ต้องได้คะแนนเฉลี่ยของแต่ละลักษณะจากผู้ตรวจสอบทุกคน ไม่น้อยกว่า 3 คะแนน และไม่มีลักษณะใดได้ 1 คะแนนจากผู้ตรวจสอบคนใดคนหนึ่ง

3.4 สิ่งแปลกปลอม

ต้องไม่พบสิ่งแปลกปลอมที่ไม่ใช่ส่วนประกอบที่ใช้ เช่น เส้นผม ดิน ทราย กรวด ชิ้นส่วนหรือสิ่งปฏิกูลจากสัตว์

3.5 ความชื้น

ต้องไม่เกินร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก

3.6 วัตถุเจือปนอาหาร

ห้ามใช้สีสังเคราะห์ทุกชนิด

3.7 จุลินทรีย์

3.7.1 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ต้องไม่เกิน 1 × 104 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม

3.7.2 เอสเชอริเชีย โคไล โดยวิธีเอ็มพีเอ็น ต้องน้อยกว่า 3 ต่อตัวอย่าง 1 กรัม

3.7.3 ยีสต์และรา ต้องไม่เกิน 100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม

4. สุขลักษณะ

4.1 สุขลักษณะในการทำข้าวกล้องผง ให้เป็นไปตามคำแนะนำตามภาคผนวก ก.

5. การบรรจุ

5.1 ให้บรรจุข้าวกล้องผงในภาชนะบรรจุที่สะอาด ปิดได้สนิท และสามารถป้องกันการปนเปื้อนจากสิ่งสกปรกภายนอกได้

5.2 น้ำหนักสุทธิของข้าวกล้องผงในแต่ละภาชนะบรรจุ ต้องไม่น้อยกว่าที่ระบุไว้ที่ฉลาก

6. เครื่องหมายและฉลาก

6.1 ที่ภาชนะบรรจุข้าวกล้องผงทุกหน่วย อย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ ให้เห็นได้ง่าย

(1) ชื่อเรียกผลิตภัณฑ์ เช่น ข้าวกล้องผง ข้าวกล้องผงชงดื่ม จมูกข้าวกล้องผง

(2) ส่วนประกอบที่สำคัญ

(3) น้ำหนักสุทธิ

(4) วัน เดือน ปีที่ทำ และวัน เดือน ปีที่หมดอายุ หรือข้อความว่า “ควรบริโภคก่อน (วัน เดือน ปี)”

(5) ข้อแนะนำในการบริโภคและเก็บรักษา

(6) ชื่อผู้ทำหรือสถานที่ทำ พร้อมสถานที่ตั้ง หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียนในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

7. การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

7.1 รุ่น ในที่นี้ หมายถึง ข้าวกล้องผงที่มีส่วนประกอบเดียวกัน ทำในระยะเวลาเดียวกัน

7.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับ ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไปนี้

7.2.1 การชักตัวอย่างและการยอมรับ สำหรับการทดสอบสิ่งแปลกปลอม การบรรจุ และเครื่องหมายและฉลาก ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกัน จำนวน 3 หน่วยภาชนะบรรจุ เมื่อตรวจสอบแล้วทุกตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 3.4 ข้อ 5. และข้อ 6. จึงจะถือว่าข้าวกล้องผงรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

7.2.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับ สำหรับการทดสอบลักษณะทั่วไป สี และกลิ่นรส ให้ใช้ตัวอย่างที่ผ่านการทดสอบตามข้อ 7.2.1 แล้ว จำนวน 3 หน่วยภาชนะบรรจุ เมื่อตรวจสอบแล้วทุกตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 3.1 ถึงข้อ 3.3 จึงจะถือว่าข้าวกล้องผงรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

7.2.3 การชักตัวอย่างและการยอมรับ สำหรับการทดสอบความชื้นและวัตถุเจือปนอาหาร ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกัน จำนวน 3 หน่วยภาชนะบรรจุ เพื่อทำเป็นตัวอย่างรวม โดยมีน้ำหนักรวม ไม่น้อยกว่า 200 กรัม กรณีตัวอย่างไม่พอให้ชักตัวอย่างเพิ่มโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกันให้ได้ตัวอย่างที่มีน้ำหนักรวมตามที่กำหนด เมื่อตรวจสอบแล้วตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 3.5 และข้อ 3.6 จึงจะถือว่าข้าวกล้องผงรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

7.2.4 การชักตัวอย่างและการยอมรับ สำหรับการทดสอบจุลินทรีย์ ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกัน จำนวน 3 หน่วยภาชนะบรรจุ เพื่อทำเป็นตัวอย่างรวม โดยมีน้ำหนักรวมไม่น้อยกว่า 200 กรัม กรณีตัวอย่างไม่พอให้ชักตัวอย่างเพิ่มโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกันให้ได้ตัวอย่างที่มีน้ำหนักรวมตามที่กำหนด เมื่อตรวจสอบแล้วตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 3.7 จึงจะถือว่าข้าวกล้องผงรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

7.3 เกณฑ์ตัดสิน

ตัวอย่างข้าวกล้องผงต้องเป็นไปตามข้อ 7.2.1 ข้อ 7.2.2 ข้อ 7.2.3 และข้อ 7.2.4 ทุกข้อ จึงจะถือว่าข้าวกล้องผงรุ่นนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้

8. การทดสอบ

8.1 การทดสอบลักษณะทั่วไป สี และกลิ่นรส

8.1.1 ให้แต่งตั้งคณะผู้ตรวจสอบ ประกอบด้วยผู้ที่มีความชำนาญในการตรวจสอบข้าวกล้องผงอย่างน้อย 5 คน แต่ละคนจะแยกกันตรวจและให้คะแนนโดยอิสระ

8.1.2 เทตัวอย่างข้าวกล้องผงลงในจานกระเบื้องสีขาว ตรวจสอบลักษณะทั่วไปและสีโดยการตรวจพินิจ

8.1.3 เทตัวอย่างข้าวกล้องผงลงในภาชนะที่เหมาะสม นำมาทำตามข้อแนะนำในการบริโภคที่ระบุไว้ที่ฉลากตรวจสอบกลิ่นรสโดยการชิม

8.1.4 หลักเกณฑ์การให้คะแนน ให้เป็นไปตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 หลักเกณฑ์การให้คะแนน (ข้อ 8.1.4)

ลักษณะที่ตรวจสอบ	**เกณฑ์ที่กำหนด**	**ระดับการตัดสิน (คะแนน)**			
		ดีมาก	**ดี**	**พอใช้**	**ต้องปรับปรุง**
ลักษณะทั่วไป	ต้องเป็นเกล็ดหรือเป็นผง แห้ง ไม่จับตัวเป็นก้อน	4	3	2	1
สี	ต้องมีสีที่ดีตามธรรมชาติของข้าวกล้องผง	4	3	2	1
กลิ่นรส	ต้องมีกลิ่นรสที่ดีตามธรรมชาติของข้าวกล้องผง ปราศจากกลิ่นรสอื่นที่ไม่พึงประสงค์ เช่น กลิ่นอับ กลิ่นหืน รสขม	4	3	2	1

8.2 การทดสอบสิ่งแปลกปลอม ภาชนะบรรจุ และเครื่องหมายและฉลากให้ตรวจพินิจ

8.3 การทดสอบความชื้นและวัตถุเจือปนอาหาร

ให้ใช้วิธีทดสอบตาม AOAC หรือวิธีทดสอบอื่นที่เป็นที่ยอมรับ

8.4 การทดสอบจุลินทรีย์

ให้ใช้วิธีทดสอบตาม AOAC หรือ BAM หรือวิธีทดสอบอื่นที่เป็นที่ยอมรับ

8.5 การทดสอบน้ำหนักสุทธิ

ให้ใช้เครื่องชั่งที่เหมาะสม

มผช.1068/2548

ภาคผนวก ก.

สุขลักษณะ

(ข้อ 4.1)

ก.1 สถานที่ตั้งและอาคารที่ทำ

ก.1.1 สถานที่ตั้งตัวอาคารและที่ใกล้เคียง อยู่ในที่ที่จะไม่ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ทำเกิดการปนเปื้อนได้ง่าย โดย

ก.1.1.1 สถานที่ตั้งตัวอาคารและบริเวณโดยรอบ สะอาด ไม่มีน้ำขังแฉะและสกปรก

ก.1.1.2 อยู่ห่างจากบริเวณหรือสถานที่ที่มีฝุ่น เขม่า ควัน มากผิดปกติ

ก.1.1.3 ไม่อยู่ใกล้เคียงกับสถานที่น่ารังเกียจ เช่น บริเวณเพาะเลี้ยงสัตว์ แหล่งเก็บหรือกำจัดขยะ

ก.1.2 อาคารที่ทำมีขนาดเหมาะสม มีการออกแบบและก่อสร้างในลักษณะที่ง่ายแก่การบำรุงรักษา การทำความสะอาด และสะดวกในการปฏิบัติงาน โดย

ก.1.2.1 พื้น ฝาผนัง และเพดานของอาคารที่ทำ ก่อสร้างด้วยวัสดุที่คงทน เรียบ ทำความสะอาด และซ่อมแซมให้อยู่ในสภาพที่ดีตลอดเวลา

ก.1.2.2 แยกบริเวณที่ทำออกเป็นสัดส่วน ไม่อยู่ใกล้ห้องสุขา ไม่มีสิ่งของที่ไม่ใช้แล้วหรือไม่เกี่ยวข้องกับการทำอยู่ในบริเวณที่ทำ

ก.1.2.3 พื้นที่ปฏิบัติงานไม่แออัด มีแสงสว่างเพียงพอ และมีการระบายอากาศที่เหมาะสม

ก.2 เครื่องมือ เครื่องจักร และอุปกรณ์ในการทำ

ก.2.1 ภาชนะหรืออุปกรณ์ในการทำที่สัมผัสกับผลิตภัณฑ์ ทำจากวัสดุมีผิวเรียบ ไม่เป็นสนิม ล้างทำความสะอาดได้ง่าย

ก.2.2 เครื่องมือ เครื่องจักร และอุปกรณ์ที่ใช้ สะอาด เหมาะสมกับการใช้งาน ไม่ก่อให้เกิดการปนเปื้อนติดตั้งได้ง่าย มีปริมาณเพียงพอ รวมทั้งสามารถทำความสะอาดได้ง่ายและทั่วถึง

ก.3 การควบคุมกระบวนการทำ

ก.3.1 วัตถุดิบและส่วนผสมในการทำ สะอาด มีคุณภาพดี มีการล้างหรือทำความสะอาดก่อนนำไปใช้

ก.3.2 การทำ การเก็บรักษา การขนย้าย และการขนส่ง ให้มีการป้องกันการปนเปื้อนและการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์

ก.4 การสุขาภิบาล การบำรุงรักษา และการทำความสะอาด

ก.4.1 น้ำที่ใช้ล้างทำความสะอาดเครื่องมือ เครื่องจักร อุปกรณ์ และมือของผู้ทำ เป็นน้ำสะอาดและมีปริมาณเพียงพอ

ก.4.2 มีวิธีการป้องกันและกำจัดสัตว์นำเชื้อ แมลงและฝุ่นผง ไม่ให้เข้าในบริเวณที่ทำตามความเหมาะสม

ก.4.3 มีการกำจัดขยะ สิ่งสกปรก และน้ำทิ้ง อย่างเหมาะสม เพื่อไม่ก่อให้เกิดการปนเปื้อนกลับลงสู่ผลิตภัณฑ์

ก.4.4 สารเคมีที่ใช้ล้างทำความสะอาด และใช้กำจัดสัตว์นำเชื้อและแมลง ใช้ในปริมาณที่เหมาะสม และเก็บแยกจากบริเวณที่ทำ เพื่อไม่ให้ปนเปื้อนลงสู่ผลิตภัณฑ์ได้

ก.5 บุคลากรและสุขลักษณะของผู้ทำ

ผู้ทำทุกคน ต้องรักษาความสะอาดส่วนบุคคลให้ดี เช่น สวมเสื้อผ้าที่สะอาด มีผ้าคลุมผมเพื่อป้องกันไม่ให้เส้นผมหล่นลงในผลิตภัณฑ์ ไม่ไว้เล็บยาว ล้างมือให้สะอาดทุกครั้งก่อนปฏิบัติงาน หลังการใช้ห้องสุขาและเมื่อมือสกปรก