

ผลิตภัณฑ์บะหมี่จากแป้งข้าวพร้อมบริโภคแช่เยือกแข็ง

Frozen Ready to Eat Rice Noodle Products

คำนำ

บะหมี่ นับเป็นอาหารหลักอีกชนิดหนึ่งของชาวเอเชียมานาน เริ่มตั้งแต่ 500 ปีก่อนคริสตกาล ซึ่งชาวจีนรู้จักวิธีการทำบะหมี่ จนเป็นที่นิยมในการบริโภคและแพร่หลายไปยังประเทศต่างๆ ในเอเชีย โดยเฉพาะในประเทศญี่ปุ่น ซึ่งได้รับรูปแบบและแนวทางการทำจากจีนมาดัดแปลงกลายเป็นบะหมี่ญี่ปุ่น (udon) จนในปัจจุบัน มีการผลิตบะหมี่มากมายหลายชนิด บริโภคกันทั่วไปในหมู่ชนชาวเอเชีย รวมทั้งชาวไทยเราด้วย ซึ่งนิยมบริโภคเป็นอาหารหลักในมื้อกลางวันเป็นส่วนใหญ่ บะหมี่ในปัจจุบันใช้แป้งสาลีเป็นองค์ประกอบหลัก แป้งสาลีมีลักษณะเหมาะสมในการทำบะหมี่ เนื่องจากองค์ประกอบสำคัญในแป้งสาลีมีผลต่อลักษณะเส้นบะหมี่ ได้แก่ สตาร์ช และโปรตีน โดยมีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับโปรตีนในรูปกลูเทน (gluten) ซึ่งให้ความยืดหยุ่น เมื่อนำแป้งมานวดกับน้ำจนกลายเป็นโดเรียบเนียนสามารถรีดเป็นแผ่น และตัดเป็นเส้นได้ แต่โปรตีนในรูปกลูเทน ก่อให้เกิดอาการแพ้ในผู้บริโภคบางกลุ่ม ในงานวิจัยครั้งนี้ได้นำแป้งข้าวมาปรับปรุงคุณสมบัติการละลายน้ำเย็นและนำแป้งข้าวเจ้ามาเป็นวัตถุดิบในการผลิตบะหมี่ เนื่องจากข้าวมีคุณค่าและเป็นประโยชน์ในด้านสุขภาพต่อผู้บริโภคมากกว่าธัญชาติอื่น ด้วยองค์ประกอบทางเคมีและชีวเคมีของข้าวไม่มีสารที่ทำให้เกิดอาการแพ้ เช่น ไม่มีกลูเทน ซึ่งพบในข้าวสาลี, ข้าวไรย์, ข้าวบาร์เลย์ และข้าวทริทิเคลี จึงไม่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง (Coeliac disease) ซึ่งเป็นผลจากโปรตีนบางชนิดในกลูเทน รวมทั้งแอลฟา-ไกลอะดลิน (α -gliadin) ที่สามารถทำลายลำไส้เล็กของผู้ที่เป็นโรคนี้ เนื่องจากไม่มีภูมิคุ้มกันทานเหมือนคนปกติ (Kasarda, 2001 อ้างโดย อรอนงค์, 2547) ผู้ที่มีอาการแพ้ อาหารเหล่านี้อาจรู้สึกปวดท้อง มีกรดหรือแก๊สในกระเพาะ และปวดเมื่อยร่างกาย ดังนั้นการนำข้าวและผลพลอยได้จากข้าวมาใช้เป็นส่วนประกอบอาหาร (Food ingredients) ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์หลายชนิดที่เหมาะสมสำหรับผู้บริโภคกลุ่มนี้และยังเป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ (อรอนงค์, 2547) และผลิตภัณฑ์ได้นำมาทำการศึกษาวิจัยนี้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้นำข้าวมาแปรรูปอาหารพร้อมบริโภคแช่เยือกแข็ง

วัตถุประสงค์

1. คัดแปรสตาร์ชในแป้งข้าวทางฟิสิกส์
2. วิเคราะห์สมบัติทางเคมี ฟิสิกส์ และเคมีเชิงฟิสิกส์ของแป้งข้าว และแป้งข้าวคัดแปรทางฟิสิกส์
3. หาอัตราส่วนผสมของแป้งข้าวและแป้งข้าวคัดแปรเพื่อทำผลิตภัณฑ์บะหมี่
4. ตรวจสอบผลิตภัณฑ์บะหมี่จากแป้งข้าว
5. ผลของการแช่เยือกแข็งต่อบะหมี่จากแป้งข้าวพร้อมบริโภค

การตรวจเอกสาร

1. ผลิตภัณฑ์อาหารเส้น

เป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่ผลิตเป็นจำนวนมาก และใช้เป็นอาหารหลัก เช่นเดียวกับข้าวสาร และข้าวกล้อง ผลิตภัณฑ์อาหารเส้นมีอยู่หลายชนิดทั้งก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่ ก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็ก เส้นหมี่ และขนมจีน แล้วยังอาจรวมผลิตภัณฑ์ประเภทแผ่นใบเมี่ยงญวน ก๋วยจั๊บ หรือที่ทำเป็นอาหารหวาน เช่น ลอดช่อง เป็นต้น โดยมีหลักการแปรรูปคล้ายคลึงกัน แตกต่างกันในบางขั้นตอน และลักษณะของผลิตภัณฑ์อาหารที่ได้ วัตถุดิบที่ใช้มักจะเป็นข้าวหักที่มาจากข้าวแอมิโลสสูง นำมาโม่แบบเปียกเช่นเดียวกับการแปรรูปเป็นแป้งข้าว แล้วจึงให้ความร้อนแก่ก้อนแป้ง หรือน้ำแป้งต่อไป ตามกรรมวิธีของแต่ละผลิตภัณฑ์ซึ่งให้ลักษณะเนื้อสัมผัส กลิ่นรส กลิ่น และรสชาติ แตกต่างกัน (อรอนงค์, 2535; งามชื่น, 2539) คุณภาพของเส้นขึ้นอยู่กับวัตถุดิบ และเทคโนโลยีในการผลิตที่เหมาะสมช่วยในแต่ละขั้นตอนการผลิตปรับปรุงคุณสมบัติของเส้นก๋วยเตี๋ยวให้มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ (วิภา, 2541) โดยชนิดของอาหารเส้นสามารถแบ่งออกดังนี้

1.1 แบ่งตามชนิดของแป้งหรือวัตถุดิบ และเรียกชื่อแตกต่างกันดังนี้ (พจน์, 2540)

1.1.1 อาหารเส้นจากแป้งสาลีได้แก่ บะหมี่ หมี่ซั่วของจีน เส้นราเมน และอุด้ง ของญี่ปุ่น รวมถึงเส้นโซบะที่มีสีน้ำตาลที่ทำจากเมล็ดบัควีท นอกจากนี้ยังรวมถึงเส้นพาสต้า ที่มีรูปแบบต่างๆ กัน

1.1.2 อาหารเส้นจากแป้งข้าวเจ้า ซึ่งเรียกทั่วไปว่า “ก๋วยเตี๋ยว” ได้แก่ ก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่ เส้นเล็ก และเส้นหมี่ เป็นต้น

1.1.3 อาหารเส้นจากแป้งชนิดอื่นๆ ได้แก่ วัณเส้น ก๋วยเตี๋ยวเซี่ยงไฮ้จากแป้งถั่วเขียว และเส้นชิราตาจากมันเทศ เป็นต้น

1.2 แบ่งตามลักษณะของเส้น ผลิตภัณฑ์ในกลุ่มของอาหารเส้นประเภทก๋วยเตี๋ยวสามารถแบ่งตามลักษณะของเส้นได้ 4 ชนิด ดังนี้ (ณรงค์, 2538; วิภา, 2541)

1.2.1 ก๋วยเตี๋ยวสด เป็นก๋วยเตี๋ยวที่ได้จากการนำก๋วยเตี๋ยวมารัดเป็นเส้นโดยไม่ผ่านการทำแห้ง อาจเป็นเส้นเล็กขนาด 0.4-0.5 เซนติเมตร หรือเส้นใหญ่ขนาด 1.5-2.5 เซนติเมตร โดยมีความชื้นประมาณร้อยละ 62-64 เป็นก๋วยเตี๋ยวที่เก็บได้ไม่นาน ต้องรับประทานภายใน 1-2 วัน

1.2.2 ก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กกึ่งแห้ง เป็นก๋วยเตี๋ยวที่ผ่านการผึ่งลมมาบ้างแล้ว เพื่อลดความชื้นลง ก๋วยเตี๋ยวนิพนธ์นี้มีความชื้นประมาณร้อยละ 37 ปกติเก็บได้ 1-2 วันเท่านั้น

1.2.3 ก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กแห้ง เป็นก๋วยเตี๋ยวที่มีการตัดเป็นเส้น และทำให้แห้งจนมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 13 ทำให้สามารถเก็บรักษาได้นานในสภาวะที่เหมาะสม

1.2.4 แผ่นก๋วยจั๊บ เป็นก๋วยเตี๋ยวที่นึ่งให้สุกเพียงครึ่งเดียวของความหนา แล้วตัดให้มีขนาด 3.0-3.5 เซนติเมตร มักเป็นรูปสามเหลี่ยม โดยมีความชื้นประมาณร้อยละ 12 เมื่อนำมาต้มสุกจะม้วนเป็นหลอด

2. ผลิตภัณฑ์บะหมี่จากแป้งสาลี

บะหมี่นับเป็นอาหารหลักอีกชนิดหนึ่ง ของประชากรชาวเอเชียมาช้านานแล้ว ซึ่งชาวจีนรู้จักวิธีการทำบะหมี่ จนเป็นที่นิยมในการบริโภคแพร่หลาย ไปยังประเทศต่างๆ ในเอเชีย โดยเฉพาะในประเทศญี่ปุ่น ได้รับรูปแบบและแนวทางการทำจากจีนดัดแปลงกลายเป็นบะหมี่ญี่ปุ่น จนในปัจจุบัน มีการผลิตบะหมี่มากมายหลายชนิด บริโภคกันทั่วไปในหมู่ชนชาวเอเชีย รวมทั้งชาวไทยเราด้วย ซึ่งนิยมบริโภคเป็นอาหารหลักในมื้อกลางวันเป็นส่วนใหญ่ (กมลพรรณ, 2547)

คุณภาพของแป้งสาลีที่ใช้ทำบะหมี่พบว่า ปริมาณเถ้า 0.33-0.45% จะให้บะหมี่มีสีสดใส และหากมีปริมาณโปรตีนอยู่ 8-10% จะได้บะหมี่ที่มีคุณภาพดีและมีพื้นผิวของเส้นบะหมี่เรียบ การสูญเสียแป้งระหว่างการต้มมีค่าต่ำ (cooking loss) ปริมาณของบะหมี่ภายหลังต้มสุกจะมีค่าสูง ถ้าแป้งมีปริมาณโปรตีนต่ำ คุณภาพ gluten ไม่แข็งแรงและมีคุณสมบัติทางเคมีของแป้งคือ ค่า

amylograph viscosity ต่ำจะทำให้เกิดปัญหาระหว่างการผลิต และการยอมรับของผลิตภัณฑ์ (Kim, 1966)

หลักง่ายๆ ในการผลิตบะหมี่คือ การผสมแป้งสาลี น้ำ เกลือ และด่าง โดยผสมและนวดให้เข้ากัน และรีดเป็นแผ่นบางเรียบ ตัดเป็นเส้นตามขนาดต้องการก็จะได้บะหมี่สด บะหมี่แบ่งออกเป็น 4 ชนิด โดยยึดถือเอาวิธีการผลิตเป็นหลัก คือ บะหมี่สด บะหมี่สุก และบะหมี่ประเภทกึ่งสำเร็จรูป ชนิดอบแห้งและชนิดทอด บะหมี่สองชนิดหลังนี้จะต้องผ่านขั้นตอนการนึ่งให้สุก แล้วนำไปอบแห้งในตู้อบหรือทอดในน้ำมันที่อุณหภูมิเหมาะสม บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปชนิดอบแห้งมีความเหนียวมากกว่าบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปชนิดทอดในน้ำมันอุณหภูมิเหมาะสม เนื่องจากโปรตีนได้เปลี่ยนรูปเป็นแอลฟาโปรตีนและอยู่ในรูปที่เหนียวกว่าเดิม คงทนต่อการขนส่งสามารถเก็บได้นานไม่เหม็นหืน แต่ต้องใช้เวลาในการต้มนานกว่าเพื่อให้คืนตัว ส่วนบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปชนิดทอดเป็นบะหมี่ที่นึ่งให้สุกแล้วทอดในน้ำมันที่อุณหภูมิเหมาะสม ใช้น้ำจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วแล้วทำให้เกิดความดันสูง ทำให้เกิดรูพรุนที่ผิวบะหมี่ชนิดนี้คืนตัวได้เร็วเมื่อถูกน้ำร้อน แต่มีข้อเสียคือ เก็บไว้ได้ไม่นาน เนื่องจากมีน้ำมันติดอยู่ที่ผิว เมื่อสัมผัสกับอากาศจึงเกิดการเหม็นหืนได้เร็ว (ณรงค์, 2538)

ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพของบะหมี่คือ คุณสมบัติของแป้งสาลีที่ใช้ เวลาที่ใช้ในการนวด ปริมาณน้ำ และเกลือ (Miskelly, 1998) พบว่า บะหมี่แบบจีน จะทำจากแป้งสาลีชนิดอ่อนประเภทที่มีโปรตีน 10-12% ผสมกับด่างโซเดียมคาร์บอเนต 0.5-2.0% น้ำ 30-35% และเกลือ 1-1.5% สำหรับบะหมี่แบบญี่ปุ่น จะทำจากแป้งสาลีโปรตีนต่ำ หรือแป้งผสมระหว่างแป้งสาลีชนิดอ่อนและแป้งสาลีชนิดแข็ง เพื่อให้มีโปรตีนประมาณ 9-10% ผสมกับน้ำ 28-33% และเกลือ 2% โดยไม่เติมด่างจะให้บะหมี่สีขาว นุ่มและเหนียว (สุภารัตน์และคณะ, 2542)

2.1 คุณสมบัติส่วนผสมของบะหมี่

2.1.1 แป้งสาลี

องค์ประกอบสำคัญในแป้งซึ่งมีผลต่อลักษณะเส้นของบะหมี่ได้แก่ สตาร์ช โปรตีน เอนไซม์และลี เนื่องจากสตาร์ชเป็นองค์ประกอบหลักที่มีในแป้งมากที่สุดประมาณ 67% ดังนั้นสตาร์ชจึงเป็นส่วนประกอบที่สำคัญต่อลักษณะโครงสร้างของเส้นบะหมี่ โดยมีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับโปรตีนในรูปกลูเทน ซึ่งให้ความยืดหยุ่น เมื่อนำแป้งมานวดกับน้ำจนกลายเป็นโดเรียบ

เนียน สามารถรีดเป็นแผ่นและตัดเป็นเส้นได้ สตาร์ชมีผลต่อเส้นบะหมี่เมื่อสุก โดยสตาร์ชที่มีความหนืดสูง จะช่วยให้เส้นบะหมี่มีความยืดตัวดี ลักษณะเส้นเหนียว เคี้ยวได้ไม่ละ ในทำนองเดียวกัน ปริมาณโปรตีน (10-14%) ก็มีความสำคัญต่อความยืดหยุ่น และคุณภาพของกลูเทนที่ทำให้เส้นบะหมี่คงตัว มีลักษณะในการกักและเคี้ยวดี แต่ถ้าในแป้งมีเอนไซม์โปรตีนเอส ซึ่งจะย่อยสลายโปรตีน ก็จะทำให้คุณสมบัติของกลูเทนเสียไป ปริมาณเอนไซม์ในแป้งขึ้นอยู่กับสภาพการเก็บรักษาข้าวสาลี นอกจากเอนไซม์โปรตีนเอสแล้ว ยังมีเอนไซม์ชนิดอื่นที่มีผลต่อคุณภาพของเส้นบะหมี่เช่น การเปลี่ยนแปลงของสีในบะหมี่มีผลจากเอนไซม์พอลิฟีนอล ออกซิเดส ที่มีในแป้งซึ่งจะทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับไทโรซีน หรือสารฟีนอลอื่นในแป้ง เกิดเป็นสารประกอบที่มีสีน้ำตาล ซึ่งไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค โดยเฉพาะในบะหมี่ญี่ปุ่นซึ่งเป็นเส้นสีขาว แต่ถ้าเป็นบะหมี่จีนซึ่งปกติเส้นมีสีเหลืองผู้บริโภคจะยอมรับสีเหลืองของบะหมี่ ซึ่งเกิดจากสารให้สีประเภทฟลาโวนของแป้งทำปฏิกิริยากับสารละลายเบสที่เดิมในส่วนผสม แต่เมื่อสีของฟลาโวนนี้เปลี่ยนจากสีเหลืองใสเป็นสีน้ำตาลหรือมีสีเขียวปน ที่เกิดจากน้ำมีสารประเภทเกลือของธาตุเหล็กปนอยู่ด้วย ผลิตภัณฑ์บะหมี่จะไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค นอกจากนี้หากแป้งมีสารให้สีมากเกินไป ได้แก่ แป้งที่มีราและคัพกะปน จะมีโอกาสทำให้บะหมี่มีสีเหลืองเข้มกว่าแป้งสกัดปริมาณต่ำเช่น แป้งพาทেন্ট (อรอนงค์, 2540)

แป้งที่เหมาะสมในการทำบะหมี่ ต้องเป็นแป้งที่ไม่จากข้าวสาลีที่มีลักษณะทางเคมีและฟิสิกส์ดีและไม่เกิดการงอก เมื่อนำมาไม่ให้เป็นแป้งจะมีสตาร์ชเสียหาย (damage starch) น้อย ขนาดแป้งหรือเม็ดสตาร์ชเหมาะสมสม่ำเสมอ อัตราการสกัดต่ำ ไม่มีราและคัพกะปน เป็นแป้งที่มีองค์ประกอบทางเคมีได้สัดส่วน โดยเฉพาะปริมาณและคุณภาพของโปรตีนตรงตามลักษณะบะหมี่ที่ต้องการคือ บะหมี่จีนมีโปรตีนประมาณ 10-12% ส่วนบะหมี่ญี่ปุ่นมีโปรตีน 9-10% สตาร์ชมีความข้นหนืดสูงไม่มีเอนไซม์ในแป้ง มีสารให้สีประเภทฟลาโวนเหมาะสมต่อการเกิดสีเมื่อทำปฏิกิริยากับเบส โดยให้สีเหลืองใสในบะหมี่จีน ส่วนแป้งทำบะหมี่ญี่ปุ่นควรจะมีสารให้สีน้อยที่สุด เพราะไม่เติมสารละลายเบสเพื่อให้อบแห้งสีขาวนวล (สุภารัตน์และคณะ, 2542)

2.1.2 น้ำ

ส่วนผสมสำคัญในการทำบะหมี่คือ น้ำ ซึ่งเติมลงไปเพื่อให้แป้งจับตัวกันเป็นก้อนโดที่มีความยืดหยุ่น และรีดเป็นแผ่นบางๆ ได้ น้ำมีผลต่อลักษณะของบะหมี่โดยตรง กล่าวคือถ้าใส่น้ำในส่วนผสมน้อยไป โครงร่างของบะหมี่จะไม่แข็งแรง จะร่วนและโป่ง ทำให้เส้น

บะหมี่แข็งและขาดง่าย แต่ถ้าใส่น้ำมากเกินไป โดจะแฉะ เหนียวติดมือ ริดไม่ได้ ตัดเป็นเส้นก็จะติดกันง่าย ดังนั้นปริมาณน้ำที่เติมลงในสูตรควรจะเหมาะสมต่อชนิดของบะหมี่ ซึ่งโดยทั่วไปจะเติมประมาณ 30-40% นอกจากนี้ คุณภาพของน้ำที่ใช้ ก็มีความสำคัญต่อลักษณะของโดเช่นกัน เนื่องจากน้ำมีองค์ประกอบของแร่ธาตุและสารอื่นเจือปนมาก โดยเฉพาะแร่ธาตุ แคลเซียม เหล็ก และแมกนีเซียม จะมีผลให้การดูดซึมน้ำของแป้งไม่สม่ำเสมอ มีโครงสร้างของโดไม่เนียน จึงได้เส้นบะหมี่ที่ไม่ดี นอกจากนี้ เกลือของเหล็กและทองแดงอาจทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาให้เกิดสีน้ำตาล และมีกลิ่นหืนเมื่อเก็บรักษาบะหมี่ไว้นาน ซึ่งไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค น้ำที่เหมาะสมในการทำบะหมี่ที่ดี จึงควรเป็นน้ำอ่อนมีแร่ธาตุและสารอื่นเจือปนในปริมาณต่ำ แต่ถ้าน้ำอ่อนไปไม่มีอะไรเจือปนเลยก็จะไม่ดีเพราะจะทำให้โดแฉะ มีความยืดหยุ่นตัวน้อยกว่าน้ำอ่อนที่มีปริมาณแร่ธาตุเหมาะสม (อรอนงค์, 2540)

น้ำเป็นส่วนผสมพื้นฐานที่ใช้ในการผลิตบะหมี่โดยทำหน้าที่เป็นตัวทำละลาย และเมื่อรวมตัวกับโปรตีนในแป้งสาลีทำให้เกิดลักษณะเป็นกลูเทน โดยทั่วไปจะมีการเติมน้ำลงไป ในปริมาณร้อยละ 32-35 ซึ่งจะขึ้นอยู่กับคุณภาพของแป้งและอุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ ปริมาณน้ำที่มากที่สุดที่สามารถเติมลงไปได้ โดยไม่ทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับแผ่นโดคือร้อยละ 38 (Kim, 1966) Kruger *et al.* (1998) รายงานว่าในการวิเคราะห์ปริมาณการดูดซับน้ำโดยการใช้เครื่องมือ mixograph เป็นวิธีการที่ไม่เหมาะสม เนื่องจากปริมาณการดูดซับน้ำที่เหมาะสมที่ใช้ในการทำให้เกิดกลูเทน เพื่อใช้ในการผลิตขนมปังนั้นไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในการประมาณการดูดซับน้ำในการทำบะหมี่ ดังนั้นในปัจจุบันจึงยังไม่มีวิธีการหรือเครื่องมือที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณการดูดซับน้ำ ที่เหมาะสมในการทำบะหมี่ แต่มักนิยมอาศัยผู้ที่มีความชำนาญและมีประสบการณ์ในการพิจารณา (Park and Kim, 1990)

Park and Kim (1990) กล่าวว่าโดที่เติมน้ำมากเกินไปจะมีผลทำให้แผ่นโดมีคุณภาพไม่ดีเมื่อรีดผ่านลูกกลิ้ง ในขณะที่ถ้าปริมาณน้ำน้อยเกินไปจะทำให้โดแข็งและยากต่อการดึงยืด การเปลี่ยนแปลงปริมาณการดูดซับน้ำของโดจากปริมาณน้ำที่เหมาะสมมากกว่าร้อยละ 2-3 จะมีผลต่อการรีด การตัดเป็นเส้น และการทำแห้งบะหมี่ นอกจากนี้ปริมาณน้ำยังมีผลต่อคุณภาพของบะหมี่ในด้านต่างๆเช่น สี และลักษณะเนื้อสัมผัส เป็นต้น ซึ่งคุณภาพหลักของบะหมี่ที่เป็นตัวบอกการยอมรับของผู้บริโภคคือสีและความสว่างรวมไปถึงลักษณะเนื้อสัมผัส การหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการผลิตบะหมี่มีความจำเป็น เนื่องจากปริมาณการดูดซับน้ำของแป้งสาลี

ในแต่ละสายพันธุ์นั้นแตกต่างกัน การใช้น้ำที่น้อยเกินไปทำให้อนุภาคแป้งไม่รวมตัวกัน แต่ถ้าใช้น้ำมากเกินไปจะก่อให้เกิดปัญหาในระหว่างการผสมและการผลิต (Hatcher *et al.*, 1999)

ปริมาณน้ำที่มากขึ้นมีผลทำให้โปรตีนกลูเทนและเม็ดสตาร์ชยึดเกาะติดกันได้ดี (Dexter *et al.*, 1979) Oh *et al.* (1985a) รายงานว่าปริมาณการดูดซับน้ำของโดบะหมี่จะมีผลต่อค่าสีของบะหมี่ ค่าความแข็งของบะหมี่สุกและบะหมี่อบแห้ง โดยพบว่าบะหมี่จะมีสีที่สว่างขึ้นเมื่อปริมาณน้ำลดลง และเมื่อปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นทำให้ค่า breaking stress สูงขึ้น นอกจากนี้ Hatcher *et al.* (1999) พบว่าปริมาณน้ำมีผลอย่างมากต่อค่าสีของบะหมี่ทั้งชนิดที่เดิมเบสและชนิดที่เดิมเฉพาะเกลือ ส่วนคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัสพบว่า ปริมาณน้ำมีผลมากต่อบะหมี่ชนิดที่เดิมเฉพาะเกลือมากกว่าชนิดที่เดิมเบส โดยปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสในด้านต่างๆ มีค่าลดลง และยังพบว่าปริมาณน้ำที่มากขึ้นมีผลทำให้ระยะเวลาในการหุงต้ม (cooking time) ลดลงด้วย

2.1.3 สารละลายเบส

ในการทำบะหมี่แบบจีน นิยมเติมสารละลายเบสซึ่งเป็นสารที่มีส่วนผสมของเบสหลายชนิด ได้แก่ โซเดียมคาร์บอเนต โพแทสเซียมคาร์บอเนต ผสมกับไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต หรืออาจใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์โดยตรง ในปริมาณที่เหมาะสม (0.3%) สารละลายเบสนี้ทำให้ลักษณะโดเปลี่ยนแปลงทั้งฟิสิกส์และเคมี โดยทางฟิสิกส์ มีผลต่อลักษณะการอุ้มน้ำของโด และการดูดซึมน้ำของแป้งเพิ่มขึ้น ทำให้สตาร์ชในโดมีความหนืดเพิ่มมากขึ้น ช่วยให้โดมีความแข็งแรงทนต่อการผสมได้มากกว่าเดิม โดมีความยืดหยุ่นได้มากขึ้น ส่วนผลทางเคมีนั้นที่สำคัญคือ ทำให้ความเป็นเบสของโดเพิ่มขึ้น (pH 9-10) ทำให้บะหมี่เกิดการเปลี่ยนสีเป็นสีเหลือง จากปฏิกิริยาของเบสกับสารฟลาโวนินในแป้ง นอกจากนี้ ยังมีผลต่อลักษณะการต้มหรือลวกบะหมี่ ช่วยให้มึลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดี ทนต่อการต้มได้นานโดยไม่เปื่อยง่าย เส้นมีความเหนียวยืดหยุ่นดีกว่าเส้นบะหมี่ที่ไม่ได้ใส่สารละลายเบส และบะหมี่ที่มีสภาพเป็นเบสนี้จะเก็บรักษาได้นานกว่าปกติ เนื่องจากเบสมีผลต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ด้วย (อรอนงค์, 2540)

บะหมี่ที่มีการเติมโซเดียมคาร์บอเนต ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นเบส เพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานของเอนไซม์แอลฟาเอมิเลส (α -amylase) ในแป้งข้าว เนื่องจากเอนไซม์ชนิดนี้จะทำงานได้ดีที่พีเอชระหว่าง 5.0-6.0 โดยที่พีเอชต่ำหรือสูงกว่านี้การทำงานของเอนไซม์จะช้าลงอย่างมาก บะหมี่ที่ได้จะไม่เหนียวติดมือ เนื่องจากไม่มีการแตกตัวของแป้งมากนัก (ณรงค์, 2538) นอกจากนี้โซเดียมคาร์บอเนตที่เติมยังมีผลต่อคุณภาพในการหุงต้มของบะหมี่ด้วย จากผลการทดลองของ ในปี 1988 Huang and Morrison ได้รายงานว่บะหมี่ที่มีการเติมเบสจะใช้ระยะเวลาในการต้มสุกของเส้นบะหมี่นานกว่าบะหมี่ที่เติมเฉพาะเกลือเพียงอย่างเดียว และในปี 2002 Lai *et al.* ได้ทำการศึกษาผลของโซเดียมคาร์บอเนตต่อ thermal profile ของสตาร์ช โดยใช้เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter, DSC) ได้พบว่า โซเดียมคาร์บอเนตมีผลทำให้อุณหภูมิทรานซิชันในการเกิดเจลลาทีนของสตาร์ชเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่า โซเดียมคาร์บอเนตทำให้เม็ดสตาร์ชมีความคงทน ซึ่งน่าจะเกิดขึ้นจากแรงยึดเกาะแบบไฟฟ้าสถิตย์ (electrostatic) ระหว่างไอออนบวกของโซเดียม (Na^+) และหมู่ไฮดรอกซิล (OH^-) ของสตาร์ช โดยสตาร์ชเมื่ออยู่ในสถานะที่มีน้ำจะเป็นเหมือนตัวแลกเปลี่ยนไอออนของกรดอ่อน ตามกฎของ Donnan potential (Oosten, 1990) จึงส่งผลทำให้อิออนบวกของโซเดียมสามารถเข้าสู่บริเวณส่วนที่ไม่ใช่ผลึก (amorphous) ของเม็ดสตาร์ชได้ โดยสถานะที่มีพีเอชสูงหมู่ไฮดรอกซิลของสตาร์ชมีแนวโน้มที่จะเกิดการไอออนไนซ์ได้มากและสร้าง binding site เพื่อจับกับไอออนบวกของโซเดียมได้มากขึ้น สำหรับไอออนลบนั้นจะทำให้เม็ดสตาร์ชสูญเสียความคงทนโดยการแตกพันธะไฮโดรเจนออกตามสมมติฐานของ Oosten (1990) ซึ่งผลของการสูญเสียความคงทนของเม็ดสตาร์ชนั้นมีอิทธิพลน้อยกว่าผลของความคงตัวที่เกิดขึ้นจากไอออนบวก ดังนั้นการเติมโซเดียมคาร์บอเนตจึงส่งผลทำให้เม็ดสตาร์ชมีความคงทนต่อการหุงต้มมากขึ้น ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้บะหมี่ที่มีการเติมโซเดียมคาร์บอเนตมากขึ้นต้องใช้เวลาในการต้มสุกนานขึ้นและทำให้ปริมาณการดูดน้ำสูงขึ้น การเติมเบสลงไปบะหมี่จะมีผลทำให้โดเพิ่มการดูดน้ำ และช่วยลดเวลาในการผสมโดลงได้ (Moss *et al.*, 1986) โดยพบว่าเมื่อมีการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดจะมีการดูดน้ำเพิ่มขึ้นมากกว่าการเติมโซเดียมคาร์บอเนต หรือโพแทสเซียมคาร์บอเนต ซึ่งผลจากการใช้โซเดียมคาร์บอเนตหรือโพแทสเซียมคาร์บอเนต จะคล้ายคลึงกันกับเมื่อใช้ตัวใดตัวหนึ่งแยกกัน (Dick *et al.*, 1986)

ลักษณะความแข็งแรงของโดที่มีการเติมเบสจะมีความสำคัญมาก โดยในระหว่างการผลิตบะหมี่จะต้องผ่านขั้นตอนการรีดโดอย่างต่อเนื่อง ซึ่งอาจทำให้โดมีความแข็งแรงลดลงและดึงขาดได้ง่าย (Moss *et al.*, 1986) ดังนั้นการใช้เบสจึงเป็นการเพิ่มความแข็งแรงให้แก่โดที่ได้ในขั้นตอนสุดท้ายก่อนที่จะทำการตัดเป็นเส้น

Dick *et al.* (1986) พบว่าการเติมคาร์บอนลงไปในการทำบะหมี่จะช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้แก่เส้นบะหมี่อีกเช่นกัน แต่พบว่าการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณร้อยละ 1 จะทำให้บะหมี่มีความนุ่มและมีผิวหน้าที่เหนะ (surface stickiness) (Moss *et al.*, 1987) การเติมเบสลงไปในการทำบะหมี่จะทำให้ได้บะหมี่ที่มีความแน่นเนื้อ (firmness) กว่าเติมเกลือเพียงอย่างเดียว ซึ่งสามารถทดสอบโดยการใช้การประเมินทางประสาทสัมผัสหรือการใช้เครื่องมือวัด โดย Huang and Morrison (1988) ได้รายงานว่าบะหมี่ที่มีการเติมเบสจะให้เนื้อสัมผัสที่มีความแน่นเนื้อกว่าบะหมี่ที่ทำจากเกลือ นอกจากนี้ยังพบว่าบะหมี่ที่มีการเติมเบสจะใช้เวลาในการต้มสุกนานกว่าบะหมี่ที่เติมเฉพาะเกลือเพียงอย่างเดียว โดยมีรายงานว่ามักจะใช้เวลาในการต้มอยู่ในช่วง 60-120 วินาที (Moss *et al.*, 1986; Huang and Morrison, 1988)

2.1.4 เกลือ

ปริมาณเกลือที่ใส่ลงในสูตรการทำบะหมี่ ก็เพื่อปรับสภาพน้ำให้เหมาะสมกับชนิดของบะหมี่ที่ต้องการ ซึ่งอาจจะใส่หรือไม่ใส่ก็ได้ เกลือมีผลโดยตรงต่อลักษณะของกลูเทนในโด โดยเพิ่มความแข็งแรงและแรงต้านการยืดตัวของโด ช่วยให้โดไม่แฉะ เมื่อเป็นเส้นบะหมี่จะไม่ติดกัน นอกจากนี้ เกลือยังช่วยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ประเภทย่อยโปรตีนช่วยให้โดคงความเหนียวและยืดหยุ่นอยู่ได้นาน และยังช่วยระงับการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้แก่แบคทีเรีย รา และยีสต์ จึงสามารถเก็บรักษาบะหมี่ได้นาน (อรอนงค์, 2540)

3. คุณภาพในการเก็บรักษาบะหมี่

เวลาที่ใช้ในการเก็บรักษาบะหมี่ ให้มีคุณภาพดี เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค จะขึ้นอยู่กับชนิดของบะหมี่ บะหมี่สดจะมีอายุการเก็บรักษาสั้นที่สุด คือเก็บได้เพียง 1-3 วัน ส่วนบะหมี่แห้ง ทั้งที่ทำโดยการอบหรือตากแดดหรือการทอด จะทำให้การเก็บรักษาได้นานเป็นเดือน หรืออาจเป็นปี ถ้าอยู่ในภาชนะที่เหมาะสม ผลที่เกิดขึ้นต่อบะหมี่ในขณะที่เก็บรักษาที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับ คือการเปลี่ยนสีของบะหมี่ บะหมี่เป็นเมือก มีเชื้อจุลินทรีย์เจริญเติบโตและการเกิดกลิ่นหืนของบะหมี่ (อรอนงค์, 2540)

การเปลี่ยนสีของบะหมี่ในขณะที่เก็บรักษานั้นเกิดจากเอนไซม์ในแป้ง สารให้สีในแป้งทำปฏิกิริยากับเบสและแร่ธาตุเหล็กในน้ำ สีที่เกิดขึ้นจะเป็นน้ำตาลเข้มหรือเหลืองออกเขียวต่างไปจาก

สีเหลืองนวลของบะหมี่ปกติ ซึ่งป้องกันได้โดยการเลือกแป้งที่ไม่มีเอนไซม์ มีสารให้สีในแป้งที่เหมาะสมกับเบสที่ใส่ และใช้น้ำอ่อนในสูตรทำให้มีแร่ธาตุปนอยู่น้อย (อรอนงค์, 2540)

สำหรับการเกิดเมือกและจุลินทรีย์ในบะหมี่สดและสุก เนื่องจากความชื้นในบะหมี่สูง ถ้าเก็บในสภาพที่มีอากาศและอุณหภูมิเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ก็จะเก็บไว้ไม่ได้ นาน จุลินทรีย์จะเจริญขึ้นและเปลี่ยนสภาพบะหมี่ ทั้งสี กลิ่น และรสชาติ จนผู้บริโภคไม่ยอมรับ ดังนั้นจึงมีการเติมสารช่วยในการเก็บรักษา ประเภทที่สามารถป้องกันการเกิดของจุลินทรีย์ได้ลงไป ในบะหมี่สด เช่น โปแทสเซียมซอร์เบต, โซเดียมคลอไรด์ และ โซเดียมคาร์บอเนต แต่วิธีที่จะทำให้การเก็บรักษาบะหมี่อยู่ได้นาน คือการทำแห้ง เพื่อลดปริมาณความชื้นในบะหมี่ให้น้อย จนจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ จึงเป็นผลให้บะหมี่แห้ง ส่งผลต่ออายุการเก็บรักษาได้นานกว่าบะหมี่สดมาก (อรอนงค์, 2540)

4. ผลิตภัณฑ์อาหารเส้นจากแป้งข้าว

ประเทศไทยมีผลผลิตข้าวเป็นสินค้าเกษตรที่สำคัญ แต่ละปีจะมีผลผลิตข้าวประมาณ 20-22 ล้านตันข้าวเปลือก ผลผลิตที่ได้จะนำมาใช้บริโภคภายในประเทศ ประมาณ 12.5-12.7 ล้านตัน ส่วนที่เหลือจะส่งออกประมาณ 7.9-9.3 ล้านตันข้าวเปลือกหรือ 5.2-6.0 ล้านตันข้าวสาร คิดเป็นมูลค่าปีละ 48,627-60,619 ล้านบาท การส่งออกข้าวจะส่งออกในรูปแบบของเมล็ดข้าวโดยมีการแบ่งชั้นคุณภาพตามมาตรฐานข้าว ในมาตรฐานนี้ สัดส่วนของข้าวหักปนจะมีอัตราส่วนสูงตามการต่ำลงของชั้นหรือชนิดข้าว จากภาวะการค้าในปัจจุบันตลาดโลกมีการแข่งขันรุนแรงขึ้น โดยเฉพาะในกลุ่มข้าวคุณภาพต่ำ ดังนั้น รัฐบาลจึงมีนโยบายส่งเสริมการผลิตข้าว คุณภาพดีเพื่อการส่งออก ในการผลิตข้าวคุณภาพดีจำเป็นต้องแยกข้าวหักออกหากการสีข้าวมีข้าวหักประมาณร้อยละ 10 ในแต่ละปีจะมีข้าวหักประมาณ 2 ล้านตัน ซึ่งปริมาณข้าวหักนี้ หากนำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตเป็นสินค้าอุตสาหกรรมเกษตร สามารถช่วยเพิ่มมูลค่าข้าวหักให้สูงขึ้นได้ และยังสามารถช่วยขยายการใช้ประโยชน์จากข้าวให้กว้างขวางอีกด้วย ตัวอย่างเช่น ถ้าหากนำมาทดแทนแป้งสาลีในการทำผลิตภัณฑ์บะหมี่ได้ในปริมาณสูงก็จะช่วยให้ลดการนำเข้าของแป้งสาลี (สุภารัตน์และคณะ, 2542)

ผลิตภัณฑ์อาหารเส้นที่ทำมาจากแป้งข้าวเจ้า เช่น ก๋วยเตี๋ยว เส้นหมี่ เป็นต้น พบว่า ปริมาณแอมิโลสในแป้งข้าวเจ้ามีความสำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เส้นที่ได้ อาหารเส้นควรผลิตจากข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสไม่น้อยกว่าร้อยละ 27-28 (น้ำหนักแห้ง) แป้งข้าวเจ้าที่มีปริมาณแอมิโลสสูงกว่าร้อยละ 27 เมื่อนำมาทำก๋วยเตี๋ยวจะได้เส้นก๋วยเตี๋ยวที่มีความเหนียวและความคงตัวดี ให้ความรู้สึกในการเคี้ยว (chewiness) ที่ดีเป็นที่พอใจของผู้ชิม (เสนอ, 2522) Bhattacharya *et al.* (1999) รายงานว่าข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสสูงเมื่อนำมาทำอาหารเส้นจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีที่สว่างกว่า และมีความหนาแน่น (bulk density) ต่ำกว่า เนื่องจากมีกำลังการพองตัวต่ำกว่า ให้น้ำเนื้อสัมผัสที่แข็ง และร่วนกว่าข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำ ในขณะที่ข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสปานกลางจะทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารเส้นที่ได้มีสีคล้ำ ส่วนแป้งที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำ ทำให้เส้นมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่นุ่มเหนียว มีกำลังการพองตัวดีกว่า นอกจากนี้แป้งข้าวเจ้าที่ใช้ควรได้จากการโม่เปียกเนื่องจากแป้งที่ได้มีคุณภาพดี มีสีขาว มีความละเอียดมากกว่าสามารถเก็บไว้ได้นานเป็นปีโดยไม่เหม็นหืนหรือเกิดมอด ทำให้ผลิตภัณฑ์เส้นมีคุณภาพดี (วราทัศน์, 2537) จากการทดลองของ Medcalf and Lund (1985) ได้รายงานว่า การแช่เมล็ดข้าวซึ่งเป็นขั้นตอนหนึ่งในการโม่เปียก มีผลทำให้โปรตีนบางส่วนที่ละลายน้ำ น้ำตาล และสารที่ไม่ใช่สตาρχซึ่งยึดจับกับลิพิดถูกชะล้างออกไป เมื่อตรวจสอบปริมาณแป้งที่เหลือหลังจากการโม่เปียก พบว่ามีปริมาณเนื้อแป้งที่เหลืออยู่มีปริมาณสูงกว่าแป้งที่ผ่านการโม่แห้ง เช่นเดียวกับปริมาณแอมิโลสของแป้งที่ได้จากการโม่เปียกมีสูงกว่าแป้งที่ได้จากการโม่แห้ง (Yoenyongbuddhagal and Noomhorm, 2002b)

4.1 แป้งข้าวเจ้า

แป้งข้าวเจ้าเมื่อนำมาผลิตเป็นอาหารเส้นต้องผ่านกรรมวิธีการผลิตให้อยู่ในรูปของแป้งข้าวเจ้า หรือน้ำแป้งที่นำมาใช้ในผลิตอาหารเส้นเป็นข้าวเจ้าชนิดเมล็ดแข็ง มีปริมาณแอมิโลสสูงเป็นข้าวเก่าที่เก็บไว้แล้วอย่างน้อย 4 เดือน และต้องผ่านการขัดสีสูงเป็นข้าวขาวพิเศษ แป้งข้าวเจ้าที่ผ่านการโม่เปียก ให้แป้งที่มีคุณภาพดี มีความละเอียด และสิ่งเจือปนน้อย เป็นวิธีที่นิยมใช้ผลิตแป้งข้าวเจ้าในปัจจุบัน เนื่องจากให้แป้งที่มีความเหนียวจากการที่เมล็ดสตาρχบางส่วนเกิดการแตกตัว ทำให้ดูน้ำได้ดีและเกิดเจลได้ดีเมื่อนำไปทำผลิตภัณฑ์ (อรอนงค์, 2547)

แป้งข้าว นับเป็นผลิตภัณฑ์จากข้าวหักในขั้นการแปรรูปปฐมภูมิหรือขั้นการแปรรูปขั้นต้น ยังไม่สามารถนำมาบริโภคได้โดยตรงจะต้องนำแป้งข้าวไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหาร กึ่งอาหาร และไม่ใช่อาหารต่อไป ข้าวหักนำมาทำความสะอาดด้วยชุดเครื่องทำความสะอาด

เช่นเดียวกับการทำความสะอาดข้าวเปลือก และข้าวสารร่วมกัน ได้แก่ การผ่านเครื่องแยกแม่เหล็ก เครื่องแยกหินและเครื่องขัดขาว เพื่อขัดผิวข้าวหักให้สะอาด ต่อจากนี้ก็จะเป็นขั้นตอนการโม่ให้เป็นแป้ง (อรอนงค์, 2547) ซึ่งทำได้ 3 วิธี คือ

4.1.1 การโม่เปียกหรือการโม่น้ำ

เป็นวิธีการที่ใช้ในการผลิตแป้งข้าวเป็นส่วนใหญ่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศไทย เนื่องจากใช้วัตถุดิบเป็นข้าวหักซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการสีข้าว ยังมีสิ่งเจือปนมาก ต้องทำความสะอาดในระบบแห้งด้วยเครื่องแยกชนิดต่างๆ ดังกล่าวข้างต้น แล้วยังต้องล้างด้วยน้ำให้สะอาด แช่วข้าวหักจนนิ่ม จึงทำการโม่ด้วยเครื่องโม่แบบหินจานซึ่งใช้ไฟฟ้าในการทำงานของเครื่อง โม่ข้าวหักพร้อมกับน้ำในปริมาณที่เหมาะสม จะทำให้ได้แป้งที่ละเอียดสม่ำเสมอ ต่อจากนั้นจึงผ่านน้ำแป้งเข้าเครื่องแยกน้ำออกจากแป้ง โรงงานขนาดใหญ่นิยมใช้เครื่องกรองด้วยแรงอัดสูง จะได้ก้อนแป้งที่แห้งมีความชื้นประมาณ 40% ต้องทำการตีปั่นก้อนแป้งให้เป็นผงก่อนจึงผ่านเข้าเครื่องอบแป้งให้แห้ง อาจใช้วิธีเป่าด้วยลมร้อน จนแป้งเป็นผง นำมาผ่านเข้าเครื่องบดและร่อนเพื่อให้ได้แป้งที่มีขนาดสม่ำเสมอ โดยทั่วไปจะประมาณ 180 ไมโครเมตร มีความชื้นไม่เกิน 13% (อรอนงค์, 2547)

4.1.2 การโม่แบบผสม

มีขั้นตอนการโม่คล้ายคลึงกับวิธีการโม่เปียกในช่วงล้างข้าวหัก และแช่วข้าวหักจนนิ่ม ต่อจากนั้นนำข้าวหักขึ้นจากน้ำแช่ ให้สะเด็ดน้ำ แล้วผ่านไปยังเครื่องอบให้ข้าวแห้งระดับหนึ่ง (ประมาณ 15-17%) จึงนำข้าวหักเข้าบดหรือโม่แบบแห้ง ตามวิธีการโม่แห้งจนได้แป้งแห้งผ่านเข้าเครื่องร่อนแป้งให้มีขนาดสม่ำเสมอ (180 ไมโครเมตร) จะเห็นได้ว่า กรรมวิธีการโม่จะผสมระหว่างโม่เปียกกับโม่แห้งเข้าด้วยกัน จึงเรียกว่า วิธีการโม่แบบผสม (งามชื่น, 2539)

4.1.3 การโม่แห้ง

เป็นการนำข้าวหักที่ผ่านระบบการทำความสะอาดแบบแห้ง แล้วเข้าสู่เครื่องโม่หรือบดแห้งเป็นผง ร่อนผ่านเครื่องให้มีขนาดสม่ำเสมอ (180 ไมโครเมตร) เนื่องจากวัตถุดิบเป็นปลายข้าวที่เป็นผลพลอยได้จากการสีข้าวสาร ดังนั้นจึงมักมีสิ่งเจือปนอยู่มาก แป้งที่ได้จึงมีความ

สะอาดต่ำ เมล็ดข้าวยังมีความแรงแรงอยู่มากทำให้ยากลำบากที่จะทำให้แตกละเอียด แป้งที่ได้จากการโม่แห้งจึงมักเป็นแป้งหยาบ อีกทั้งลิวพิดที่เหลือในเมล็ดข้าวสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation reaction) ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นหืนง่าย ในประเทศไทยไม่นิยมใช้แป้งข้าวชนิดโม่แห้ง (งามชื่น, 2541)

5. คุณสมบัติทางฟิสิกส์ เคมี และเคมีเชิงฟิสิกส์ของแป้งและสตาarchข้าวเจ้าที่เกี่ยวข้องกับการนำไปใช้ทำผลิตภัณฑ์

คุณสมบัติของแป้งข้าว เนื่องจากแป้งข้าวทำมาจากข้าวหักหรือปลายข้าว ดังนั้น การตรวจสอบคุณสมบัติของแป้งข้าว จึงคล้ายคลึงกับการตรวจสอบคุณสมบัติของข้าวที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการโม่แป้ง เพื่อใช้ประเมินคุณภาพของแป้งข้าวแต่ละชนิด ซึ่งค่าที่ตรวจวัดได้นี้จะสามารถนำไปเป็นข้อมูลในการพัฒนา และปรับปรุงการใช้ประโยชน์ของแป้งข้าวให้เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ได้ต่อไป (งามชื่น, 2536)

คุณสมบัติทางเคมีของแป้งข้าวที่ตรวจสอบได้แก่ โปรตีน, ลิวพิด, สตาarch และอัตราส่วนของแอมิโลส และแอมิโลเพกทินในสตาarch และเถ้า เป็นต้น สำหรับคุณสมบัติทางฟิสิกส์ และเคมีเชิงฟิสิกส์ ได้แก่ การวัดอุณหภูมิการเกิดเจลลาทีนในเซชันของแป้งข้าว โดยการใช้กล้องจุลทรรศน์แบบฐานร้อน การวิเคราะห์ความหนืดด้วยเครื่องแบบบราเบนเดอร์ หรือเครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว (Rapid Visco Analyser, RVA) การวิเคราะห์ปริมาณพลังงานความร้อนที่ใช้ในการทำให้สตาarchเกิดเจลลาทีนในเซชัน ในขณะที่เพิ่มอุณหภูมิ และสตาarchเกิดรีโทรเกรเดชันในขณะที่ลดอุณหภูมิลงด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter, DSC) เป็นต้น (อรอนงค์, 2547)

5.1 คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของแป้งข้าวเจ้า

5.1.1 การเปลี่ยนแปลงของเม็ดสตาarchเมื่อได้รับความร้อน

เมื่อส่วนผสมของสตาarchได้รับความร้อน จะเกิดการเปลี่ยนแปลงที่เรียกว่า การเกิดเจลลาทีนในเซชัน ซึ่งสามารถตรวจสอบได้หลายวิธี การใช้กล้องจุลทรรศน์เป็นวิธีหนึ่งที่สามารถมองเห็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้ ในปี 2000 Chatakanonda *et al.* ตรวจสอบรูปร่างของ

เมล็ดสตาร์ชจากข้าวเจ้าด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบฐานร้อน โดยให้ความร้อนส่วนผสมสตาร์ช 1 กรัม ในน้ำ 100 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 25, 60 และ 75 องศาเซลเซียส ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง ภายใต้แสงปกติ และแสงโพลาไรซ์ โดยที่อุณหภูมิ 25 และ 60 องศาเซลเซียส เม็ดสตาร์ชยังเกิดการเจลาทิไนซ์ ไม่สมบูรณ์ โดยเม็ดสตาร์ชยังมีรูปร่างหลายเหลี่ยม เมื่อใช้แสงโพลาไรซ์เม็ดสตาร์ชมีลักษณะไบรีฟริงเจนซ์ที่ชัดเจน หลังจากเพิ่มอุณหภูมิเป็น 75 องศาเซลเซียส เม็ดสตาร์ชเกิดการเจลาทิไนซ์อย่างสมบูรณ์ โดยเม็ดสตาร์ชมีรูปร่างไม่แน่นอน และลักษณะไบรีฟริงเจนซ์เมื่อใช้แสงโพลาไรซ์หายไป (Chatakanonda *et al.*, 2000)

5.1.2 ขนาดอนุภาคของผงแป้ง

ขนาดอนุภาคเป็นคุณสมบัติทางฟิสิกส์ที่สำคัญประการหนึ่งของแป้ง โดยแป้งต้องมีขนาดที่เหมาะสม ไม่หยาบ หรือละเอียดเกินไป จึงได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี ในปี 1938 Pulkki ได้ตรวจสอบลักษณะ และขนาดของผงแป้งข้าวสาลี พบว่าเมื่ออนุภาคของผงแป้งมีขนาดเล็กลงความสามารถในการดูดซึมน้ำมากขึ้น เนื่องจากผงแป้งที่มีขนาดเล็กมีพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักมากขึ้น ทำให้สามารถดูดน้ำได้มากขึ้น โดยมีผลต่อสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้ทั้งทางด้านฟิสิกส์ การไหล และประสาทสัมผัส และให้ผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อสัมผัสเรียบเนียน ในขณะที่ผงแป้งที่มีขนาดใหญ่ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อสัมผัสหยาบ ขนาดอนุภาคของผงแป้งที่แตกต่างกันขึ้นกับปริมาณแอมิโลส และความแข็งของข้าว นอกจากนี้ระดับความชื้น ชนิด และปริมาณของลิพิดที่อยู่บนพื้นผิวของอนุภาคแป้งก็เป็นปัจจัยสำคัญที่มีต่อขนาดอนุภาคของผงแป้งสาลี โดยเมื่อเวลาผ่านไประยะหนึ่ง ผงแป้งที่มีขนาดอนุภาคเล็กสามารถเกาะติดกัน (aggregation) เกิดเป็นอนุภาคใหญ่ขึ้นจากเดิมได้ เนื่องจากน้ำและลิพิดที่อยู่บนพื้นผิวของอนุภาคแป้งสามารถเกาะตัวกันเกิดเป็นสะพานของเหลว (liquid bridge) เชื่อมต่อกันระหว่างอนุภาคแป้ง ส่งผลให้ผงแป้งที่มีอนุภาคเล็กเกิดการตกค้างอุดตันอยู่บนตะแกรงร้อนที่มีขนาดใหญ่กว่าอนุภาคของแป้งที่แท้จริง นอกจากนี้อนุภาคผงแป้งสาลีจากข้าวสาลีแบบอ่อน (soft wheat flour) มีพื้นผิวขรุขระมากกว่าอนุภาคของผงแป้งสาลีจากข้าวสาลีแบบแข็ง (hard wheat flour) ทำให้เกิดแรงเสียดทานระหว่างอนุภาคแป้งมากกว่า อนุภาคแป้งจึงเกาะกันได้ดีขึ้น (Pulkki, 1938) โดยพัชรี (2538) รายงานว่าก๋วยเตี๋ยวที่มีเนื้อสัมผัสเรียบเนียน และนุ่ม เกิดจากการเตรียมแป้งข้าวที่มีขนาดอนุภาคเล็ก และสม่ำเสมอ ซึ่งต้องเป็นแป้งข้าวที่ผ่านการโม่เปียก 2 ครั้ง และ Chiang and Yeh (2002) ได้ทดลองเปรียบเทียบเวลาในการแช่เมล็ดข้าวเจ้าที่มีปริมาณแอมิโลสสูง โดยแช่ข้าวที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0, 10, 20, 30, 60, 120, 240 และ 480 นาที ได้ผลว่า เวลาในการแช่น้ำ มีผลต่อขนาดอนุภาคของผงแป้งโดยอนุภาคผงแป้งในข้าวที่ไม่ได้แช่น้ำ

มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่า 450 ไมโครเมตร หลังจากแช่ข้าวในน้ำที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที อนุภาคผงแป้งที่มีขนาดใหญ่กว่า 450 ไมโครเมตร มีจำนวนเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 17.2 เป็น 36.3 เนื่องจากเมื่อเพิ่มระยะเวลาการแช่ ส่งผลให้แป้งเกิดการพองตัวทำให้แป้งมีอนุภาคใหญ่ขึ้น (Chiang and Yeh, 2002)

5.1.3 การพองตัว และการละลาย

แป้งข้าวไม่สามรถละลายในน้ำ ที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลลิตีไนซ์ เนื่องจากมีพันธะไฮโดรเจนซึ่งเกิดจากหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลแป้ง ที่อยู่ใกล้กันยึดเกาะกันอย่างหนาแน่น แต่เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงกว่าช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลลิตีไนซ์ พันธะไฮโดรเจนจะถูกทำลาย เม็ดสตาร์ชจะเกิดการพองตัวและบางส่วนของแป้งจะละลายออกมาส่งผลให้ความหนืดเพิ่มขึ้น กำลังการพองตัวของแป้งจะแสดงน้ำหนักของเม็ดสตาร์ชที่เพิ่มขึ้น เมื่อเม็ดสตาร์ชพองตัวได้ในน้ำ (กล้านรงค์และ เกื้อกุล, 2543)

การพองตัวของสตาร์ช มีผลมาจากสมบัติของแอมิโลเพกทินในสตาร์ชแบบธรรมดาและสตาร์ชข้าวเหนียว แต่แอมิโลสมีบทบาทเป็นทั้งตัวลดความหนาแน่น และเป็นตัวขัดขวางการพองตัวของสตาร์ช เมื่อเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสกับลิพิด (Tester and Morrison, 1990) และสตาร์ชที่มีกำลังการพองตัวน้อย มีสาเหตุมาจากแอมิโลสใน 2 ลักษณะคือ แอมิโลสอิสระ และแอมิโลสที่เกิดพันธะกับลิพิด (amylose-lipid complex) โดยการที่แอมิโลสอิสระเกิดพันธะเชื่อมข้าม (cross linking) กับแอมิโลเพกทินในส่วนของผลึก (crystalline) ในขณะที่แอมิโลสที่เกิดพันธะกับลิพิดจะถูกแยกออกจากส่วนผลึกของแอมิโลเพกทิน แล้วจัดตัวอยู่ในชั้นของอสัณฐาน ส่งผลทำให้น้ำไม่สามารถเข้าไปรวมกับส่วนของอสัณฐาน และมีผลไปถึงส่วนของผลึก ทำให้ไม่สามารถเข้าไปรวมกับส่วนของอสัณฐาน และการคลายตัวของเกลียวคู่จึงถูกจำกัดไปด้วย (Tester *et al.*, 2000)

โดยทั่วไปสตาร์ชไม่ละลายในน้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิการเกิดเจลลิตีไนซ์ แต่สามารถดูดซับน้ำไว้ได้ร้อยละ 20-30 เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นประมาณ 60 องศาเซลเซียสขึ้นไป ทำให้เม็ดสตาร์ชพองตัวมากขึ้น เมื่ออุณหภูมิของน้ำเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ จนถึงจุดหนึ่ง เม็ดสตาร์ชเกิดการพองตัวสูงสุด และแตกในที่สุด ทำให้เกิดสภาพการละลายขึ้น (Collision, 1968; Swinkles, 1985) ในปี 2529 อรพรรณ ตรีวิเศษทดสอบกำลังการพองตัวของสตาร์ชจากแป้งชนิดต่างๆ ได้แก่ แป้งมันฝรั่ง

แป้งมันสำปะหลัง แป้งท้าวยายหม่อม แป้งข้าวเหนียว แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวโพด และแป้งถั่วเขียว ที่อุณหภูมิ 50, 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส พบว่าสตาร์ชจากแป้งที่มีปริมาณแอมิโลสใกล้เคียงกัน มีความสามารถในการพองตัวของสตาร์ชต่างกันที่อุณหภูมิเดียวกัน ค่ากำลังการพองตัว นับเป็นดัชนีหนึ่งที่บอกลักษณะคุณภาพความแข็งแรงของเจลสตาร์ช ซึ่งมีความสัมพันธ์กับเนื้อสัมผัสที่หยุ่นเหนียวของเส้นก๋วยเตี๋ยว เจลที่มีค่ากำลังการพองตัวสูงมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดี เป็นคุณสมบัติที่ต้องการของเส้นก๋วยเตี๋ยว อย่างไรก็ตามต้องพิจารณาร่วมกับค่าการละลายของเจลด้วย (Crosbie, 1991) และในปี 1995 Lii *et al.* ตรวจสอบกลไกการเกิดเจลของสตาร์ชข้าว 3 ชนิดคือ ข้าวอินดิกา ข้าวจาปอนิกา และข้าวเหนียว ซึ่งมีปริมาณแอมิโลสร้อยละ 25.60, 14.80 และ 0.99 ตามลำดับ ค่ากำลังการพองตัว และการละลายเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูง สตาร์ชจากข้าวแอมิโลสสูงมีการพองตัวน้อยกว่าสตาร์ชจากข้าวแอมิโลสต่ำซึ่งมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นแอมิโลเพกทิน โดยแอมิโลเพกทินนี้มีส่วนช่วยในการพองตัว

นอกจากพันธุ์ข้าวที่แตกต่างกัน วิธีการโม่ก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อค่ากำลังการพองตัว จากรายงานของ Yoenyongbuddhagal and Noomhorm (2002b) ได้ตรวจสอบกำลังการพองตัวของแป้งข้าวเจ้าพันธุ์เส้าไห้ เปรียบเทียบวิธีการเตรียมแป้งที่แตกต่างกันคือ การโม่แห้ง และโม่เปียก ที่มีผลต่อคุณภาพของเส้นหมี่ ตรวจสอบกำลังการพองตัวที่อุณหภูมิ 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียสพบว่า แป้งทั้ง 2 ชนิด มีกำลังการพองตัวเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โดยแป้งโม่แห้งมีกำลังการพองตัวมากกว่าแป้งโม่เปียกในทุกอุณหภูมิ (Yoenyongbuddhagal and Noomhorm, 2002b)

5.2 คุณสมบัติทางเคมีของแป้งข้าวเจ้า

5.2.1 ปริมาณแอมิโลส

ในเมล็ดข้าวสารมีสตาร์ชอยู่ประมาณร้อยละ 90 โดยน้ำหนักแห้งเช่นเดียวกับธัญชาติอื่น สตาร์ชข้าวมีส่วนประกอบย่อยที่สำคัญ 2 ชนิดคือ แอมิโลส และแอมิโลเพกทิน สตาร์ชข้าวเหนียวมีแอมิโลเพกทินอย่างเดียว หรืออาจมีแอมิโลสปนอยู่เพียงเล็กน้อย ข้าวเจ้ามีแอมิโลสประมาณร้อยละ 7-33 ในข้าวสาร หรือร้อยละ 9-37 ในสตาร์ช ส่วนที่เหลือร้อยละ 63-91 เป็นแอมิโลเพกทิน สัดส่วนของแอมิโลส และแอมิโลเพกทิน หรือที่เรียกกันทั่วไปว่าปริมาณแอมิโลส

เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ข้าวสุกมีคุณภาพแตกต่างกัน (Juliano, 1968) ในปี 1969 Feldberg รายงานว่า สตวรรษที่มีปริมาณแอมิโลสมากทำให้ผลิตภัณฑ์มีการพองตัวลดลง และมีค่าปริมาตรจำเพาะลดลง ในขณะที่แอมิโลเพกทินช่วยในการพองตัว และในปี 1979 Perez พบว่าปริมาณแอมิโลสมีความสัมพันธ์กับการขยายปริมาตร และการคูดน้ำของสตวรรษในระหว่างการหุงต้ม แต่มีความสัมพันธ์ในทางลบกับความนุ่ม และความเหนียวของข้าวสุก

5.2.2 ปริมาณโปรตีน

ปริมาณโปรตีนมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวโดยพบว่าปริมาณโปรตีนมีผลในการขัดขวางการดูดซับน้ำและการพองตัวของเมล็ดสตวรรษในขณะหุงต้ม นอกจากนั้นยังพบว่าโปรตีน และเมล็ดสตวรรษสามารถเกิดปฏิกิริยาทางเคมีร่วมกันระหว่างการหุงต้ม โดยเฉพาะโปรตีนออริซานิน (oryzanin) ซึ่งมีมากกว่าโปรตีนชนิดอื่น ทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับน้ำของสตวรรษลดลง จึงมีผลให้เนื้อสัมผัสของข้าว่วนขึ้น (Hamaker and Griffin, 1993) ปริมาณของโปรตีนมีผลต่อคุณภาพข้าวสุกเช่น ข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ105 ซึ่งเป็นข้าวที่มีแอมิโลสต่ำ หากเมล็ดข้าวมีโปรตีนสูงทำให้ข้าวสุกกระด้าง และสีคล้ำกว่าข้าวที่มีโปรตีนต่ำ สำหรับการทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารเส้นนั้น นอกจากโปรตีนทำให้สีของผลิตภัณฑ์คล้ำลงแล้ว ยังทำให้ความเหนียวของเส้นลดลง (งามชื่น, 2536)

5.2.3 ปริมาณความชื้น

ความชื้นในแป้งมีผลต่อคุณภาพของแป้ง และผลิตภัณฑ์จากแป้งได้หลายประการ เช่น หากไม่ควบคุมปริมาณความชื้นในแป้งหลังการโม่ จะทำให้ไม่สามารถควบคุมปริมาณน้ำที่จะใช้ในผลิตภัณฑ์ เนื่องจากไม่ทราบถึงปริมาณความชื้นที่แท้จริงของแป้งว่ามีการสูญเสีย หรือดูดซึมน้ำกลับเข้ามาอีกเท่าใด และหากแป้งมีความชื้นสูงทำให้ผู้ซื้อได้ปริมาณแป้งน้อยกว่าความจริง นอกจากนั้นยังมีผลต่อคุณภาพในการเก็บรักษาโดยเฉพาะการเสื่อมเสียจากการเกิดกลิ่นเหม็นหืน เนื่องจากในแป้งโดยทั่วไปรวมถึงแป้งข้าวเจ้ามีเอนไซม์ลิเพส (lipase) อยู่ด้วย ซึ่งทำหน้าที่ย่อยลิพิดที่มีอยู่ในแป้งให้ได้กรดลิพิดอิสระ ทำให้แป้งที่ได้มีกลิ่นเหม็นหืน ผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงมีคุณภาพด้อยลง การควบคุมความชื้นในแป้งเป็นการลดการทำงานของเอนไซม์ลิเพสได้โดย

ปฏิกิริยาในการย่อยของเอนไซม์เกิดขึ้นได้ช้าในแป้งที่มีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 9 และเกิดขึ้นได้เร็วมากเมื่อแป้งมีความชื้นสูงกว่าร้อยละ 15 ดังนั้นการควบคุมให้แป้งมีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 15 อยู่เสมอทำให้แป้งเกิดการเสื่อมเสียช้าลง (อรอนงค์, 2540)

5.3 คุณสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ของแป้งข้าวเจ้า

5.3.1 ความหนืด

ความหนืดของสตาร์ชในแป้งเป็นสมบัติที่สำคัญสำหรับการนำไปใช้ประโยชน์ พฤติกรรมความข้นหนืดเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวที่แตกต่างกันไปในแป้งแต่ละชนิดโดยทั่วไปแป้งที่ผลิตจากรากพืช และแป้งจากสตาร์ชที่มีแอมิโลเพกทินสูงจะให้ความหนืดมากกว่าแป้งชนิดอื่น (อรพิน, 2533) ในปี 1999 Bhattacharya *et al.* ได้ตรวจสอบคุณสมบัติด้านความหนืดของแป้งจากข้าวเจ้า 10 สายพันธุ์ ซึ่งมีปริมาณแอมิโลสอยู่ในช่วงร้อยละ 11.9-25.6 พบความแตกต่างของรูปแบบการเปลี่ยนแปลงความหนืดซึ่งมีผลมาจากสายพันธุ์ข้าวแต่ละสายพันธุ์ที่ไม่แน่นอน อยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง นอกจากนี้วิธีการโม่ก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้ง โดย Yoenyongbuddhagal and Noomhorm (2002b) ได้ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวเจ้าพันธุ์เส้าให้ เปรียบเทียบวิธีการเตรียมแป้งโดยการโม่แห้ง และโม่เปียก ด้วยเครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว (Rapid Visco Analyzer) โดยแป้งที่ได้จากการโม่แห้งมีอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืด (80.70 องศาเซลเซียส) สูงกว่าแป้งที่ได้จากการโม่เปียก (77.87 องศาเซลเซียส) แต่มีความหนืดสูงสุด (202.71 RVU) ความหนืดต่ำสุด (45.88 RVU) และความหนืดสุดท้าย (326.50 RVU) ต่ำกว่าแป้งโม่เปียก (309.87, 84.92 และ 373.21 RVU ตามลำดับ)

5.3.2 ความคงตัวของเจล (gel consistency)

เป็นวิธีการหาความแตกต่างของข้าวที่มีแอมิโลสสูงใกล้เคียงกัน ผลที่ได้มาจากการคืนตัวของสตาร์ชเมื่อเย็นตัวลงแล้วให้ลักษณะเจลแข็งหรืออ่อนนุ่ม ทำให้สามารถคาดคะเนคุณสมบัติของข้าวสุกได้ดีขึ้น จึงควรใช้ควบคู่กับการวิเคราะห์ปริมาณแอมิโลส ค่าที่ได้เกิดจากการวัดระยะทางการไหลของเจลในหลอดแก้วเป็นมิลลิเมตร เปรียบเทียบค่ากับลักษณะเจลมาตรฐาน 3 แบบคือ เจลนุ่ม (61-100 มิลลิเมตร), เจลนุ่มปานกลาง (41-60 มิลลิเมตร) และเจลแข็ง (26-40 มิลลิเมตร) (Cagampang *et al.*, 1973)

Varavinit *et al.* (2002) ตรวจสอบความคงตัวต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งของเจลที่เตรียมจากแป้งข้าว (6%) โดยใช้แป้งข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสต่างกัน 3 ระดับคือ แป้งข้าวที่มีแอมิโลสสูง (28%) แป้งข้าวที่มีแอมิโลสปานกลาง (18%) และแป้งข้าวที่มีแอมิโลสต่ำ (5%) โดยทำการแช่เยือกแข็งเจลที่ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 22 ชั่วโมง ต่อจากนั้นจึงนำเจลทั้ง 3 ลักษณะมาคืนรูปจากเยือกแข็งในอ่างน้ำที่ควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 30, 60 และ 90 องศาเซลเซียส ได้ตรวจวัดความคงตัวของเจลด้วยการวัดปริมาณน้ำที่แยกตัวออกจากเจล (syneresis value) โดยทำการวัดทั้งหมด 5 ครั้งของการคืนรูปจากเยือกแข็งในแต่ละอุณหภูมิทดสอบ ผลปรากฏว่าเจลจากแป้งข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสสูงเกิดการแยกน้ำจากเจลสูงสุด โดยเฉพาะในครั้งแรกของการแช่เยือกแข็ง รองลงมาคือ เจลจากแป้งข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสปานกลาง และเจลจากแป้งข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำจะเกิดการแยกน้ำออกจากเจลด้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการคืนรูปจากเยือกแข็ง พบว่าที่อุณหภูมิสูง 90 องศาเซลเซียส ทำให้ลักษณะการแยกน้ำจากเจลเกิดขึ้นได้น้อยกว่าที่อุณหภูมิ 60 และ 30 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สรุปได้ว่า เจลจากแป้งข้าวที่มีแอมิโลสต่ำมีความคงตัวต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งได้ดีกว่าเจลจากแป้งข้าวที่มีแอมิโลสปานกลาง และแอมิโลสสูง โดยวิธีการคืนรูปที่เหมาะสมคือที่อุณหภูมิสูง 90 องศาเซลเซียส จะทำให้ได้ลักษณะเจลที่ดีกว่าที่อุณหภูมิต่ำ (Varavinit *et al.*, 2002)

5.3.3 อุณหภูมิการเกิดเจลที่ในเซชัน

สตาร์ชที่เกิดเจลที่ในเซชัน ส่งผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ถ้าสตาร์ชยังไม่เกิดเจลที่ในเซชันจะทำให้เนื้อสัมผัสข้าวแข็งไม่เหมาะสมต่อการบริโภค และเวลาที่ใช้ทำให้สตาร์ชเจลที่ในเซชันบอกล่วงเวลาในการทำให้ข้าวสุก แป้งที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ เมื่อค่อยๆ เพิ่มความร้อนจนถึงอุณหภูมิระดับหนึ่งแป้งจะเปลี่ยนจากลักษณะทึบแสงเป็นโปร่งใส อุณหภูมินี้เรียกอุณหภูมิแป้งสุก (gelatinization temperature) อุณหภูมิแป้งสุกนี้มีความสัมพันธ์กับระยะเวลาหุงต้มข้าวสุก ข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำกว่าจะหุงสุกเร็วกว่าข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกสูง การคาดคะเนระดับอุณหภูมิแป้งสุกอาจทำได้โดยการหาค่าการสลายเมล็ดในเบส ดังนั้น กระบวนการทำผลิตภัณฑ์อาหารเส้นซึ่งต้องนึ่งแผ่นแป้งหรือเส้นให้สุก จึงควรคำนึงถึงระดับอุณหภูมิแป้งสุกเพื่อใช้ในการปรับระยะเวลาหนึ่งแป้งให้เหมาะสม หรือหุงระยะเวลาหุงต้มข้าวให้สุกโดยตรง (งามชื่น, 2536)

5.3.4 ปริมาณสตาร์ชที่ถูกทำลาย

ปริมาณสตาร์ชที่ถูกทำลาย ซึ่งมีอยู่ในแป้งที่ได้จากการโม่เป็นปัจจัยที่สำคัญอีกประการหนึ่งที่มีผลต่อคุณลักษณะของแป้งเป็นอย่างมาก ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยทำให้อัตราการดูดซึมน้ำของแป้งเปลี่ยนแปลงไป นอกจากนี้ในระหว่างการขัดสีข้าว เม็ดสตาร์ชบางส่วนถูกทำลายทางฟิสิกส์ด้วยแรงดัน และแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในระหว่างที่ถูกกลิ้งของเครื่องสีข้าวหมุน เม็ดสตาร์ชที่ถูกทำลายมีคุณสมบัติที่สำคัญแตกต่างจากเม็ดสตาร์ชที่สมบูรณ์อยู่ 2 ประการ คือ สามารถถูกไฮโดรไลซ์ (hydrolyze) ด้วยเอนไซม์แอลฟา-แอมิเลส (α -amylase) ได้ง่าย และมีความสามารถในการจับกับน้ำได้ดีขึ้น (งามชื่น, 2536)

Yoenyongbuddhagal and Noomhorm (2002a) ได้ตรวจสอบปริมาณสตาร์ชที่ถูกทำลายในแป้งข้าวเจ้าพันธุ์เสาไห้ ที่เตรียมแป้งด้วยวิธีต่างกัน คือ การโม่แห้ง และโม่เปียก พบว่าแป้งโม่เปียกมีปริมาณสตาร์ชที่ถูกทำลาย (ร้อยละ 4.20) น้อยกว่าแป้งโม่แห้ง (ร้อยละ 12.10) และ Chiang and Yeh (2002) ตรวจสอบปริมาณสตาร์ชที่ถูกทำลายในเมล็ดข้าวที่แช่น้ำ และโม่แช่น้ำ พบว่าเมื่อแช่น้ำทำให้แป้งที่ได้มีปริมาณสตาร์ชที่ถูกทำลายลดลง

5.3.5 ความเก่าของข้าว

หลังการเก็บเกี่ยวเมล็ดข้าวจะเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้น โดยเฉพาะในระยะเวลา 3-4 เดือนหลังเก็บเกี่ยว หากเมล็ดไม่ถูกแมลงทำลายในระหว่างการเก็บ เมื่อแปรรูปข้าวเปลือกเป็นข้าวขาวจะแกร่งขึ้น ทำให้คุณภาพการสีดีขึ้น การเปลี่ยนแปลงในเมล็ดข้าวเกิดขึ้นจากกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับ 3 องค์ประกอบคือ สตาร์ช ลิพิด และโปรตีน ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) ของลิพิดทำให้เกิดกรดลิพิดอิสระ และทำให้สารกลุ่มคาร์บอนิลเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดกลิ่นสาบในข้าวเก่า กรดลิพิดอิสระนี้ทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของแอมิโลสกลายเป็นสารประกอบเชิงซ้อนแอมิโลส-ลิพิด (amylose-lipid complex) และมีผลต่อการพองตัวของเม็ดสตาร์ช ทำให้เนื้อสัมผัสของข้าวสุกแข็งมากขึ้น และความเหนียวลดลง สำหรับส่วนของโปรตีนกรดแอมิโน เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้มีผลต่อการพองตัวของเม็ดสตาร์ชเช่นเดียวกับกรดลิพิด นอกจากนี้ผลของปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้สารระเหยที่ได้จากกรดแอมิโนที่มีธาตุกำมะถันเป็นองค์ประกอบลดลง ทำให้กลิ่นของข้าวเปลี่ยนไป นอกจากนี้ปฏิกิริยาระหว่างโปรตีนทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลโดยไม่ใช้เอนไซม์ (nonenzymic browning) และมีผลให้สีของข้าวคล้ำ

ลง การเปลี่ยนแปลงต่างๆ เหล่านี้ทำให้ข้าวเก่ามีคุณภาพการหุงต้มและข้าวสุกแตกต่างจากข้าวใหม่ คือ ข้าวเก่าต้องการเวลาในการหุงต้มนานกว่า มีความสามารถดูดน้ำ และขยายปริมาตรได้มากกว่า ข้าวใหม่ ในขณะที่ในน้ำข้าวมีของแข็ง (total solid) ลดลงข้าวสุกร่วน และแข็งขึ้น กลิ่นหอมข้าวลดลง และมักพบว่าเมล็ดข้าวเก่ามีสีคล้ำลง ดังนั้นข้าวเก่าจึงเหมาะสมสำหรับเป็นวัตถุดิบในการทำผลิตภัณฑ์อาหารเส้น เนื่องจากความเหนียวของข้าวสุกลดลง มีรายงานว่าสามารถเร่งให้ข้าวเก่าได้ โดยเพิ่มความร้อนให้กับข้าวสารสูงถึง 110 องศาเซลเซียส ในภาชนะปิดสนิทโดยไม่ให้ความชื้น สูญหายไป การเป่าลมร้อน 150-250 องศาเซลเซียสชั่วคราว หรือกระบวนการทำข้าวึ่ง (parboiled rice) ถือว่าเป็นวิธีการทำให้ข้าวเปลี่ยนสภาพคล้ายข้าวเก่าเช่นกัน (งามชื่น, 2536)

6. ผลิตภัณฑ์แป้งข้าวทดแทนแป้งสาลี

ปัจจุบันการบริโภคผลิตภัณฑ์แปรรูปจากแป้งสาลีเช่น ขนมปัง บะหมี่ เพิ่มสูงขึ้น ทำให้การนำเข้าข้าวสาลี เพื่อแปรรูปเป็นแป้งสาลีในการทำผลิตภัณฑ์จากแป้งสาลีเพิ่มขึ้น ดังนั้น การนำเข้าข้าวมาใช้เพื่อทดแทนแป้งสาลี ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารสามารถลดการนำเข้าข้าวสาลีจากต่างประเทศ และเพิ่มมูลค่าข้าวให้สูงขึ้น และได้แนวทางในการพัฒนาแป้งข้าวให้มีคุณสมบัติเหมาะสมในการทำผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ผู้บริโภคจะได้รับประโยชน์ เพราะผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาจากข้าวได้รับการยอมรับว่ามีคุณค่าทางโภชนาการที่ดี เพราะข้าวประกอบไปด้วยโปรตีนที่ไม่ก่อให้เกิดอาการแพ้และย่อยง่าย มีคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่าย และมีส่วนลิวพิดที่มีกรดลิพิดไม่อิ่มตัวอยู่มากกว่า 70% และอุดมไปด้วยสารยับยั้งการเกิดออกซิเดชัน (antioxidant) ที่พบในธรรมชาติ (อรอนงค์, 2547)

ในปี 2542 สุภารัตน์ และคณะ ได้ทดลองใช้แป้งข้าวทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์เส้นบะหมี่และแผ่นก๊วยเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค โดยการผสมสารสกัดแปรรูป แป้งพรีเจลลาทีไนซ์ และสารปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ พบว่าในการทำบะหมี่ถึงสำเร็จรูปชนิดแห้งสามารถใช้แป้งข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสสูงปานกลาง (28.72%) ทดแทนแป้งสาลีในระดับ 30 – 40 % และยังเป็นที่ยอมรับของผู้ชิม นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อใช้สารสกัดแปรรูปชนิดแอซิติเลชัน (acetylation) ในปริมาณ 10 % สามารถช่วยให้เส้นบะหมี่มีคุณภาพดีขึ้นในด้านความเหนียวยืดหยุ่น เส้นใสเงางาม และเมื่อใช้แป้งข้าวพรีเจลลาทีไนซ์ที่ผลิตจากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ อุณหภูมิ 120 ± 5 องศาเซลเซียส ผสมในปริมาณ 10% ก็สามารถช่วยให้เส้นเหนียวยืดหยุ่นดี ไม่ขาดง่าย เส้นไม่เหนอะหนะมีความแน่นแข็งดี คะแนนการยอมรับของบะหมี่ที่มีแป้งข้าวเจ้าผสมอยู่ 30–40%

อยู่ในระดับระหว่างขอบเล็กน้อยถึงขอบปานกลาง สำหรับการผลิตแผ่นกึ่งว สามารถใช้แป้งข้าวเจ้าชนิดแอมิโลสปานกลาง ซึ่งมีจำหน่ายทั่วไปทดแทนแป้งสาลีได้ในระดับ 30% และเติมสตาร์ชคัดแปรชนิดแอสทิเลชัน ปริมาณ 10 % ช่วยทำให้แผ่นแป้งเรียบเนียน และมีความเหนียวยืดหยุ่น สามารถรีดให้เป็นแผ่นบางๆ ที่มีความหนาน้อยกว่า 0.5 มิลลิเมตร คะแนนการยอมรับของกึ่งวอยู่ในระดับระหว่างขอบเล็กน้อยกับขอบปานกลาง

แป้งข้าวเจ้าจะมีปริมาณแอมิโลสแตกต่างกันไปได้หลายระดับขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว ซึ่งจะแบ่งไว้เป็น 3 กลุ่ม คือพันธุ์ข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำ (แอมิโลสร้อยละ 10-19) ปานกลาง (แอมิโลสร้อยละ 20-24) และสูง (แอมิโลสร้อยละ 25-34) ปริมาณแอมิโลสที่แตกต่างกันนี้ส่งผลโดยตรงต่อสมบัติทางฟิสิกส์ และทางเคมีของแป้ง ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ผู้ใช้แป้งเป็นวัตถุดิบจะต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมจึงได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีตามต้องการ (งามชื่น, 2532)

ปริมาณแอมิโลสเป็นปัจจัยหลักในการกำหนดคุณภาพข้าวสุก (งามชื่น, 2532) ในการหุงต้มข้าวที่มีแอมิโลสมากจะดูดซึมน้ำมาก และข้าวสุกจะร่วน แข็งกว่าข้าวที่มีแอมิโลสน้อย ดังนั้นข้าวเหนียว (แอมิโลสร้อยละ 0-2) หรือข้าวแอมิโลสต่ำจึงหุงและง่าย และร่วนฟูทำให้ข้าวสุกขยายตัวตามปริมาตรได้มาก หรือหุงขึ้นหม้อ ในอุตสาหกรรมอาหารเส้น ควรผลิตแป้งจากข้าวที่มีแอมิโลสไม่น้อยกว่าร้อยละ 27-28 (น้ำหนักแห้ง) (งามชื่น, 2532) ส่วนข้าวเหนียวมักใช้สำหรับทำเป็นขนมหวาน ขนมพุดดิ้ง เค้ก และมักนำข้าวที่มีแอมิโลสต่ำไปผลิตเป็นอาหารแห้งเพื่อรับประทานมือเช้า (dry breakfast cereal) หรือเพื่อใช้เป็นอาหารเลี้ยงทารก โรงงานอุตสาหกรรมผลิตข้าวพองจากข้าวหนึ่งก่อนสี และข้าวตอกนิยมใช้ข้าวเหนียว และข้าวพันธุ์ที่มีแอมิโลสต่ำ เนื่องจากข้าวดังกล่าวมีความสามารถในการพองตัวได้มาก (อรพิน, 2533)

แป้งข้าวเจ้ามีคุณค่าและเป็นประโยชน์ในด้านสุขภาพ ต่อผู้บริโภคมากกว่าธัญชาติอื่น เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมี และชีวเคมีของข้าวไม่มีสารที่ทำให้เกิดอาการแพ้ เช่น ไม่มีกลูเตน ซึ่งพบในข้าวสาลี, ข้าวไรย์, ข้าวบาร์เลย์ และข้าวทริทิกาลี จึงไม่ทำให้เกิดโรคเซลิแอค (Celiac disease) ซึ่งเป็นโรคที่เกิดเนื่องจากโปรตีนบางชนิดในกลูเตน รวมทั้งแอลฟา-ไกลอะดีน (α -gliadin) สามารถทำลายลำไส้เล็กของผู้ที่เป็นโรคนี้นี้ เนื่องจากไม่มีภูมิคุ้มกันเหมือนคนปกติ (Kasarda, 2001) ผู้ที่มีอาการแพ้อาหารเหล่านี้อาจรู้สึกปวดท้อง มีกรดหรือแก๊สในกระเพาะ และปวดเมื่อยร่างกาย ดังนั้นการนำข้าว และผลพลอยได้จากข้าวมาใช้เป็นส่วนประกอบอาหาร (Food ingredients) ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์หลายชนิดที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ (อรอนงค์, 2547)

การสกัดสตาร์ชจากแป้งข้าว โดยยังมีโปรตีนคงอยู่กับสตาร์ชประมาณ 3% ก็ผลให้สตาร์ชมีคุณสมบัติของความคงตัวจากการคืนรูปจากเยือกแข็งได้ดี โดยมีความคงตัว 5 รอบของการคืนรูปจากเยือกแข็ง และถ้าเป็นสตาร์ชสกัดจากแป้งข้าวเหนียวจะคงตัวได้ดีกว่า โดยสามารถคืนรูปจากเยือกแข็งได้ถึง 10 รอบ ทั้งนี้ยังพบว่าสตาร์ชที่มีโปรตีนร่วมด้วยนี้ยังคงตัวดีในสภาวะของความเป็นกรดอีกด้วย สตาร์ชข้าวเจ้าจึงใช้ได้ดีในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม, พุดดิ้ง และสตาร์ชข้าวเหนียวใช้ในไอศกรีม ขนมหวานแช่เยือกแข็ง และอาหารสำเร็จรูป เนื่องจากเม็ดสตาร์ชข้าวเจ้ามีขนาดเล็กมาก (2-9 ไมครอน) ใกล้เคียงกับขนาดของหยดลิวพิทที่ผ่านการโฮโมจีไนซ์ (Homogenize) ทำให้มีคุณสมบัติของเนื้อสัมผัสคล้ายลิวพิท จึงสามารถใช้เป็นส่วนประกอบอาหารทดแทนลิวพิทได้ เช่น ผลิตภัณฑ์ขนมอบ (อรอนงค์, 2547)

การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับสตาร์ชข้าวเจ้าจะเกิดขึ้นเมื่อมีน้ำ และความร้อนซึ่งจำเป็นในการหุงต้ม หรือการทำให้สุก เมื่อสุกแล้วผู้บริโภคจะรับประทานข้าวสุก หรือผลิตภัณฑ์อาหารที่ทำจากสตาร์ชข้าวเจ้าในขณะที่อุณหภูมิประมาณ 50 – 60 องศาเซลเซียส มากกว่าที่อุณหภูมิสูง หรือร้อนเกินไป จากปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนี้สามารถตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของสตาร์ชได้เป็นลำดับด้วยการนำสตาร์ชข้าวเจ้ามาผสมน้ำขณะที่น้ำยังเย็นอยู่ โดยถ้ามีน้ำในปริมาณที่มากกว่าสตาร์ชในสัดส่วนประมาณ 1 - 5% เมื่อผสมกันในระยะแรกจะเห็นว่า ส่วนผสมมีสีขาวขุ่นในลักษณะสตาร์ชแขวนลอยในน้ำ แต่ถ้าทิ้งไว้ระยะหนึ่ง พบว่า สตาร์ชตกตะกอนแยกจากส่วนน้ำคล้ายกับเมื่อก่อนที่จะผสม แสดงว่าสตาร์ชไม่ดูดซึมน้ำขณะที่เย็น หรือดูดซึมนได้น้อยมาก เมื่อให้ความร้อนแก่ส่วนผสม และสตาร์ช สตาร์ชเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยเกิดการพองตัวอุ้มน้ำเข้าไปเพิ่มขึ้นในขณะที่อุณหภูมิสูงขึ้น เนื่องจากความร้อนไปทำให้พันธะไฮโดรเจนที่เกาะเกี่ยวกันเองในส่วนอสัณฐาน (amorphous zone) ของโครงสร้างโมเลกุลเอมิโลเพกทินคลายตัวลง สามารถมาจับกับโมเลกุลของน้ำในส่วนผสม หรืออุ้มน้ำเข้าไปภายในเม็ดสตาร์ชทำให้พองขึ้นเรื่อยๆ พร้อมกับเริ่มหนืดขึ้น เรียกว่า การเกิดเจลาทีไนเซชัน (gelatinization) ถ้าอยู่ในส่วนผสมที่มีน้ำมากจนในที่สุดน้ำเข้าไปใน ส่วนผลึก (crystalline zone) ทำลายโครงสร้างของเม็ดสตาร์ชพร้อมทั้งมีความหนืดขึ้นสูงสุด เพราะน้ำเข้าไปอยู่ในเม็ดสตาร์ชจนอาจไม่เหลือน้ำอิสระในส่วนผสม แต่เมื่อคนส่วนผสมต่อไปเรื่อยๆ ที่อุณหภูมิสูงอีกระยะหนึ่ง (ประมาณ 20 – 30 นาที) พบว่าความหนืดลดลง เนื่องจากโครงสร้างของเม็ดสตาร์ชถูกทำลายทำให้โมเลกุลของเอมิโลเพกทิน และเอมิโลสกระจายตัวออกจากเม็ดสตาร์ช แขวนลอยในส่วนผสม เมื่อทิ้งไว้ให้เย็นเกิดการคืนตัว หรือรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) มีลักษณะขุ่นกลับคืน มีความหนืดขึ้นขึ้นอีกครั้ง (อรอนงค์, 2547)

ปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อคุณภาพของอาหารเส้นมี 3 ประการคือ (วิภา, 2541)

6.1 การเกิดเจลลาทีนเซชัน (Gelatinization)

โมเลกุลของสตาร์ชประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมาก ซึ่งยึดติดกันด้วยพันธะไฮโดรเจน เมื่อเม็ดสตาร์ชอยู่ในน้ำเย็น เม็ดสตาร์ชจะดูดซึมน้ำและพองตัวเพิ่มขึ้นเล็กน้อยประมาณร้อยละ 25-30 แต่เมื่อให้ความร้อนกับน้ำแป้ง พันธะไฮโดรเจนจะคลายลง เม็ดสตาร์ชข้าวเจ้าจะดูดน้ำได้มากขึ้นพร้อมกับพองตัวเรื่อยๆ จนถึงอุณหภูมิประมาณ 68 องศาเซลเซียส ส่วนผสมจะเริ่มขึ้นเหนียว มีความเหนียว และใสขึ้น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิถึง 78 องศาเซลเซียส เม็ดสตาร์ชจะพองตัวอย่างรวดเร็ว แรงยึดระหว่างโมเลกุลในเม็ดสตาร์ชจะอ่อนแอลง เนื่องจากพันธะไฮโดรเจนถูกทำลาย เม็ดสตาร์ชจะดูดซึมน้ำเข้าไปมากและเกิดการพองตัวแบบผันกลับไม่ได้ โครงสร้างของเม็ดสตาร์ชจะสลายตัวไป โมเลกุลของเอมิโลสจะละลายไปในน้ำให้ส่วนผสมที่ใสทั้งหมดเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า เจลาทีนเซชัน หรือการสุกของแป้ง และเรียกอุณหภูมิช่วงนี้ว่า ช่วงอุณหภูมิเจลลาทีนเซชัน (Gelatinization temperature range) และส่วนประกอบภายในโครงสร้างเม็ดสตาร์ชเช่น ปริมาณลิพิดในโครงสร้างเม็ดสตาร์ชมีผลทำให้ความเหนียวของสตาร์ชลดลง ยับยั้งการพองตัวของเม็ดสตาร์ช (Leach *et al.*, 1959; Tester and Morrison, 1990) ในขณะที่ Moss *et al.* (1986) ได้ศึกษาผลของค่าต่อคุณสมบัติการเกิดเจลลาทีนเซชันของแป้งสาลีที่ใช้ในการทำขนมปังพบว่า การเติมคาร์บอนเตอร้อยละ 1 และโซเดียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 0.3 ของน้ำหนักแป้งจะมีผลทำให้อุณหภูมิและเวลาในการเกิดเจลลาทีนเซชันเพิ่มขึ้น แต่ในทางตรงข้ามการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 1 ทำให้อุณหภูมิและเวลาในการเกิดเจลลาทีนเซชันลดลง โดยจะมีผลต่อความเหนียวของสตาร์ช (วิภา, 2541; ก้านรงค์ และ เกื้อกุล, 2543) นอกจากนี้พบว่า การเก็บรักษาข้าวที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส จะทำให้อุณหภูมิและเอนทาลปีในการเกิดเจลลาทีนเซชันสูงกว่าแป้งที่ผลิตจากข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 และ 21 องศาเซลเซียส (Fan and Marks, 1999)

คุณสมบัติการพองตัวและการละลายของแป้งข้าวเจ้าเกี่ยวข้องกับการเกิดเจลลาทีนเซชันของแป้งข้าวเจ้าคือ กำลังการพองตัวของแป้งจากข้าวดิบจะสูงกว่าแป้งข้าวเจ้าสุก เนื่องจากแป้งข้าวที่ผลิตจากข้าวสุกได้เกิดการเจลลาทีนเซชันแล้ว ทำให้แป้งข้าวสุกดูดความชื้นได้ง่ายกว่าแป้งข้าวดิบ และสำหรับการละลายเป็นไปในทิศทางเดียวกับกำลังการพองตัวคือ การละลายของแป้งข้าวที่ผลิตจากข้าวดิบจะน้อยกว่าแป้งข้าวที่ผลิตจากข้าวสุกที่อุณหภูมิต่ำกว่า 70 องศาเซลเซียส แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นกำลังการพองตัวของแป้งจะสูงขึ้น และมีผลทำให้แป้งข้าวดิบมีกำลังการพองตัวสูง

กว่าแป้งข้าวสาลี โดยส่วนที่ละลายออกมาได้แก่ ส่วนของของแข็งที่ละลายได้ และแอมิโลส (Bhattachara *et al.*, 1999)

ความหนืดของแป้งสามารถเปลี่ยนแปลงได้จากชนิดของแป้งที่ใช้ เช่นการเติมแป้งถั่วเหลืองสกัดลึกลงไปทดแทนแป้งข้าวเจ้าในผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยว จะมีผลต่อการดูดน้ำของแป้งผสม เนื่องจากแป้งถั่วเหลืองดูดน้ำได้ดีกว่าแป้งข้าวเจ้าทำให้ความชื้นของน้ำแป้งก่อนการให้ความร้อนมีมาก เมื่อเปรียบเทียบแป้งผสมนี้กับแป้งข้าวเจ้าล้วนหลังการให้ความร้อนพบว่า แป้งผสมจะมีอุณหภูมิเจลาที่ในซ้เพิ่มสูงขึ้นและมีความหนืดสูงสุดลดลง เมื่อเพิ่มอัตราส่วนการทดแทนให้มากขึ้น ความหนืดสูงสุดจะยิ่งลดลง โดยแป้งข้าวเจ้าล้วนจะสุกก่อน ซึ่งมีผลต่อคุณภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยวในด้านความเหนียวและความยืดหยุ่น ลักษณะของความหนืดที่เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับการใช้แป้งมันสำปะหลังทดแทนแป้งข้าวเจ้าในการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว (พิมพ์เพ็ญ, 2533) และการใช้แป้งมันเทศร้อยละ 25 ทดแทนแป้งสาลีในทั้งการผลิตบะหมี่แบบจีนที่มีสีเหลือง (Chinese-style yellow alkaline noodles (YAN)) และบะหมี่แบบญี่ปุ่นที่มีสีขาว (Japanese-style white salted noodles (WAN)) (Collado and Corke, 1996) คุณภาพของแป้ง คุณสมบัติและองค์ประกอบของแป้ง และชนิดของแป้งมีผลต่อคุณภาพของเส้นบะหมี่ โดยความหนืดของแป้งหลังจากให้ความร้อนเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นพบว่า คุณภาพของแป้งข้าวเจ้าที่นำมาผลิตเป็นเส้นควรมีค่า Set back from peak (ความหนืดสุดท้าย-ความหนืดสูงสุด) สูงกว่า 300 Brabender unit (BU) (ณรงค์, 2538) หรือควรมีค่า Set back ประมาณ 160 RVU (กล้าณรงค์, 2541)

6.2 การเกิดรีโทรเกรเดชัน (Retrogradation)

เมื่อให้ความร้อนกับสารละลายแป้งจนสตาร์ชเกิดการพองตัวอย่างเต็มที่ และแตกตัวโมเลกุลของแอมิโลสที่อยู่ภายในสตาร์ชจะกระจายออกมาทำให้ความหนืดลดลง เมื่อเย็นตัวลงโมเลกุลแอมิโลสที่อยู่ใกล้กันจะเข้ามาเรียงตัวจับกันเอง หรือจับกับแอมิโลเพกทินด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลบนโมเลกุลสตาร์ชที่อยู่ใกล้กันเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การเกิดรีโทรเกรเดชันหรือการคืนตัวของสตาร์ช จะได้โครงสร้างใหม่ที่สามารอุ้มน้ำได้ซึ่งเราเรียกว่า เจล ถ้าอุณหภูมิลดต่ำลงอีกจะเกิดการจัดเรียงตัวของโครงสร้างที่แน่นขึ้น ทำให้โมเลกุลของน้ำที่เคยจับอยู่ก่อนถูกบีบออกจากเจล (Syneresis) มีผลให้ความหนืดเพิ่มขึ้น และมีแนวโน้มของการเกิดผลึก (Crystalline) (กล้าณรงค์ และเกื้อกุล, 2543) การคืนตัวจึงเป็นคุณสมบัติที่มีความสำคัญต่อการนำมา

ผลิตอาหารเส้น เนื่องจากผลิตภัณฑ์ต้องการความเหนียวหนืดและแข็ง สำหรับปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดรีโทรเกรเดชันและคุณภาพเจลได้แก่ ปริมาณแอมิโลส แป้งที่มีแอมิโลสต่ำจะเกิดรีโทรเกรเดชันได้ช้า ได้เจลที่เหนียวเหนอะหนะ แต่เมื่อแป้งมีแอมิโลสสูงขึ้น การคืนตัวเกิดได้เร็ว ความเหนียวเหนอะหนะจะลดลง และมีความหนืดมากขึ้น มีความคงตัวดีขึ้น สำหรับขนาดโมเลกุลของแอมิโลส ที่มีขนาดโมเลกุลพอเหมาะ (Degree of polymerization เท่ากับ 100-200) จะเกิดการคืนตัวได้เร็ว และให้โครงสร้างตาข่ายที่เหนียวแน่น เจลที่ได้จึงเหนียวมาก สำหรับปริมาณหรือความเข้มข้นของน้ำแป้งที่เหมาะสมจะทำให้สตาร์ชคูลน้ำและพองตัวได้เต็มที่ ยิ่งสตาร์ชแตกตัวมากจะทำให้การคูลน้ำเป็นไปอย่างรวดเร็ว แอมิโลสละลายออกมาได้มาก เมื่อปล่อยให้แป้งสุกเย็นตัวจะได้เจลที่เหนียวและอุณหภูมิต่ำที่ใช้ในการเก็บแป้งสุกยิ่งต่ำการคืนตัวจะเกิดได้ง่ายขึ้น (วิภา, 2541)

Lu *et al.* (1996) ศึกษาผลของการเกิดรีโทรเกรเดชันในระหว่างการเก็บรักษาแป้งข้าว โดยเปรียบเทียบระหว่างแป้งจากข้าวที่มีแอมิโลเพกทินสูง (Waxy rice) กับแป้งจากข้าวที่มีแอมิโลสสูง (Non-waxy rice) พบว่า แป้งจากข้าวที่มีแอมิโลสสูงมีการเปลี่ยนแปลงการเกิดรีโทรเกรเดชันในระหว่างการเก็บรักษา โดยระดับการเกิดรีโทรเกรเดชันจะเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิต่ำ ซึ่งเป็ผลจากการพัฒนาโครงสร้างผลึก ซึ่งแป้งจากข้าวที่มีแอมิโลเพกทินสูงจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงการเกิดรีโทรเกรเดชันน้อยมากหรือแทบไม่มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งชนิดแป้งที่จะนำมาผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวได้ดีต้องมีปริมาณแอมิโลสสูง โดยแอมิโลสที่ไม่ละลายน้ำ (water-insoluble amylose) มีความสำคัญมากกว่าปริมาณแอมิโลสทั้งหมด (Total amylose)

7. การตัดแปรแป้ง

แป้งมีคุณสมบัติเฉพาะตัว ซึ่งบางครั้งไม่เป็นที่ต้องการต่อการใช้ในระดับอุตสาหกรรมหรือยังไม่เหมาะสมกับสภาวะบางอย่าง จึงมีการนำแป้งมาปรับเปลี่ยนคุณสมบัติ แป้งตัดแปร (modified starch) เป็นการนำแป้งธรรมชาติ มาเปลี่ยนสมบัติทางเคมีและทางฟิสิกส์จากเดิมด้วยความร้อน เอนไซม์ หรือสารเคมีชนิดต่างๆ เพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารต่างๆ (กล้าณรงค์ และ เกื้อกูล, 2543) การตัดแปรแป้งจึงได้เริ่มมีผู้ค้นคว้าวิจัยขึ้น ทั้งโดยทางฟิสิกส์ และทางเคมี ทั้งนี้เนื่องจากแป้งมีความพร้อมในการทำปฏิกิริยาต่างๆ ได้ดีมาก (กล้าณรงค์ และ เกื้อกูล, 2543)

แป้งดิบโดยทั่วไปมีสมบัติบางประการไม่เหมาะสมกับการผลิตในอุตสาหกรรม ได้แก่ มีช่วงความหนืดที่แคบ มีลักษณะเนื้อสัมผัสไม่ดี มีความคงทนต่อแรงเฉือนในกระบวนการผลิตหรือความคงทนต่อสภาวะต่างๆต่ำ ซึ่งทำให้ได้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพไม่ดี ดังนั้นจึงมีการดัดแปรคุณสมบัติบางประการของแป้งดิบเพื่อให้เหมาะสมต่อการใช้งาน เช่น ทำให้มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดีขึ้น คงทนต่อสภาวะในการผลิตได้ดี (Light, 1990) การเกิดเจลาทีไนซ์ (gelatinize) การคืนตัว (retrogradation) และการสูญเสียน้ำของเจลลดลง มีความคงตัวต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งเพิ่มขึ้น ลักษณะของเนื้อเจลดีขึ้น มีคุณสมบัติความเป็นกาวเพิ่มขึ้น มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) หรือความสามารถในการผสมกับตัวละลายอื่นๆเพิ่มขึ้น (กล้าณรงค์ และเกื้อกุล, 2543)

7.1 การดัดแปรแป้งโดยวิธีการพรีเจลาทีไนซ์

แป้งพรีเจลาทีไนซ์ คือแป้งที่ผ่านการดัดแปรคุณสมบัติด้วยวิธีทางฟิสิกส์โดยการใช้ความร้อนเพื่อให้สตาร์ชเกิดการเจลาทีไนเซชัน และวิธีการทางฟิสิกส์ที่ใช้ เช่น ใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (drum dryer), เครื่องทำแห้งแบบพ่นเป็นละออง (spray dryer) และโดยวิธีเอ็กซ์ทรูชัน (extrusion) โดยแป้งที่ได้จากการเจลาทีไนเซชันถือได้ว่าเป็นแป้งสุกซึ่งโครงสร้างของเม็ดสตาร์ชจะถูกทำให้แตก (Colonna *et al.*, 1984) กระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน และการทำแห้งแบบลูกกลิ้งเป็นกระบวนการทางอุตสาหกรรมที่ทำให้เม็ดสตาร์ชแตกออก เป็นผลทำให้การดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น และการละลายน้ำดีขึ้น (Doublier *et al.*, 1986) เกิดสารละลายชั้นหนืดได้ทันทีโดยไม่ต้องอาศัยความร้อน (Alexander, 1995) ทั้งนี้ กระบวนการผลิตที่แตกต่างกันมีผลต่อคุณสมบัติของแป้งข้าวเจ้าพรีเจลาทีไนซ์ที่ได้

การผลิตแป้งพรีเจลาทีไนซ์โดยใช้ลูกกลิ้งที่ให้ความร้อนจากไอน้ำภายในลูกกลิ้ง เป็นวิธีหนึ่งที่มีความนิยมในการผลิต โดยต้องปรับอุณหภูมิของผิวลูกกลิ้งและอัตราการหมุนให้สอดคล้องกับปริมาณความชื้น และความสามารถในการเกิดเจลาทีไนเซชันของสตาร์ชแต่ละชนิด ลูกกลิ้งที่ใช้มีทั้งแบบเดี่ยว (single) และแบบคู่ (double) ซึ่งระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งต้องเท่ากับตลอดแนวยาวของลูกกลิ้งและสอดคล้องกับอุณหภูมิของไอน้ำภายในลูกกลิ้ง อัตราการหมุนของลูกกลิ้งและความสามารถในการแลกเปลี่ยนความร้อนของโลหะที่ใช้ทำลูกกลิ้งต้องสม่ำเสมอ (Sheng, 1995)

เอกซ์ทรูชัน เป็นกระบวนการที่ขับเคลื่อนวัตถุดิบด้วยสกรูให้วัสดุไหลผ่านช่องเปิดขนาดเล็ก (die) ซึ่งรวมเอากระบวนการแปรรูปหลายอย่าง คือการผสม การนวด การทำให้เกิดแรงเฉือน การขึ้นรูป การทำให้ร้อนจนถึงทำให้สุกอยู่ในเครื่องเดียวกัน จึงเรียกว่ากระบวนการหุงต้มแบบเอกซ์ทรูชัน (extrusion cooking) ขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงของสตาร์ชในเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์คือ ในขั้นตอนแรกน้ำจะแพร่เข้าสู่เม็ดสตาร์ชระหว่างการขนถ่ายภายในสกรู ช่วง 2-3 วินาทีแรกระดับการป้อนของสกรูจะต่ำ เพราะฉะนั้นจะมีการเพิ่มอุณหภูมิเพียงเล็กน้อยระหว่างการขนถ่ายเข้าสู่ช่วงแรงเฉือน หรือเรียกว่าช่วงหลอม (shear หรือ melting stage) ในเอกซ์ทรูเดอร์ (Van Lengerich, 1992) เมื่อสตาร์ชเข้าสู่ช่วงแรงเฉือนร่องสกรูจะเป็นแนวผกผันในช่วงสั้นๆ (reverse pitch screw) ทำให้ระดับการป้อน (degree of fill) เพิ่มขึ้น เม็ดสตาร์ชจะถูกบีบอัด และเสีรูปร่างพร้อมกับเริ่มหลอม และสูญเสียโครงร่างผลึก ที่จุดนี้จะมี ความดันเพิ่มขึ้น พลังงานกลจะแพร่กระจายจากสตาร์ชที่ขึ้นเหนียว ทำให้มีการแตกสลายของโมเลกุลของสตาร์ช ขณะที่ผ่านช่วงแรงเฉือนความร้อนจากการเสียดสีร่วมกับความร้อนจากภายนอก ทำให้สตาร์ชเกิดเจลาทิไนซ์ สตาร์ชบางส่วนจะพองตัว พันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของสตาร์ชแตกออก และน้ำแพร่เข้าสู่ anhydrous glucose unit เกิดพันธะอย่างหลวมๆกับหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) ของสตาร์ช หลังจากผ่านช่วงแรงเฉือน โดยปกติจะเกิดเจลาทิไนซ์อย่างสมบูรณ์ เม็ดสตาร์ชถูกทำลาย และไม่แสดงลักษณะไบรีฟริงเจนซ์ (birefringence) ต่อจากนั้นก็เข้าสู่หน้าแปลน (die) ทำให้สตาร์ชถูกบีบอัดอีกครั้งหนึ่ง หลังผ่านหน้าแปลน ความดัน อุณหภูมิจะลดลงทำให้มีการขยายตัว โดยสภาวะในการเอกซ์ทรูชันที่สำคัญคือความชื้นของสตาร์ช อุณหภูมิกระบอกสกรู และความเร็วสกรู (Van Lengerich, 1992)

7.1.1 คุณสมบัติของแป้งพรีเจลาทิไนซ์

คุณสมบัติที่สำคัญของแป้งพรีเจล คือสามารถกระจายตัวในน้ำเย็นหรือที่อุณหภูมิห้องได้และให้ความหนืดได้ทันที โดยไม่จับตัวกันเป็นก้อน (Glickman, 1969) จึงช่วยให้ความสะดวก และรวดเร็วเมื่อใช้ในระบบอาหารที่ไม่ต้องการใช้ความร้อน การพรีเจลาทิไนซ์แป้งโดยกระบวนการเอกซ์ทรูชัน ทำให้เกิดการสลายโมเลกุลของสตาร์ชมากกว่าการทำแห้งแบบลูกกลิ้งจึงละลายได้ดีกว่า แต่มีกำลังการพองตัว และให้ความหนืดในน้ำเย็นน้อยกว่าแป้งคัดแปรที่ใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (Colonna *et al.*, 1984; Doublier *et al.*, 1986) ปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติของพรีเจลาทิไนซ์สตาร์ชอีกประการหนึ่งคือ ขนาดอนุภาคซึ่งควบคุมได้โดยขั้นตอนการบด (Colonna *et al.*, 1987) ขนาดที่บดละเอียดมีการดูดซับน้ำได้เร็วและจะให้ความหนืดสูงเมื่อผสม

กับน้ำ จึงอาจเกิดการจับเป็นก้อน ส่วนการบดหยาบจะให้ลักษณะการกระจายตัวที่ดีในน้ำเย็น แต่ให้ความหนืดต่ำ (Fitton, 1992)

การใช้แป้งพรีเจลาทีไนซ์ในผลิตภัณฑ์อาหารนั้น มีการใช้กันอย่างกว้างขวาง เช่นอาหารเด็กก่อน พุดดิ้ง เครื่องดื่มสำเร็จรูป ซอส น้ำเกรวี่ ซุปแห้ง เค้กผงสำเร็จรูป ในกรณีของพุดดิ้งนั้นแต่เดิมเคยใช้การจีแนน และกัมที่ละลายน้ำอื่นๆเป็นสารให้ความข้นหนืด แต่เนื่องจากมีราคาแพงจึงหันมาใช้แป้งพรีเจลาทีไนซ์แทน (Glickman, 1969) ในปี 2532 ลัลนา ได้นำแป้งข้าวพรีเจลาทีไนซ์ด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่มาใช้ในการทำขนมจีน พบว่าสามารถนำมาใช้เป็นส่วนผสมทำเส้นขนมจีนได้อย่างเหมาะสมในอัตราส่วนร้อยละ 15-20 ต่อน้ำหนักแป้งข้าวเจ้าสายสนม (2534) ได้นำแป้งพรีเจลาทีไนซ์ด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ไปใช้ประโยชน์โดยผสมในแป้งชุบทอด พบว่าช่วยเพิ่มความหนืดของแป้งชุบทอดทำให้ช่วยประหยัดเพราะลดปริมาณแป้งที่เกาะติดกับอาหาร รวมถึงทำให้การเกาะติดของแป้งสม่ำเสมอ และทั่วถึงดี

7.2 การตัดแปรแป้งโดยวิธีความร้อนร่วมกับความชื้น

การตัดแปรโดยการใช้ความร้อนร่วมกับความชื้น เป็นการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของสตาร์ช โดยไม่ทำให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้างของเม็ดสตาร์ช (Stute, 1992; Jacobs and Delcour, 1998) และเป็นการตัดแปรทางฟิสิกส์วิธีหนึ่งที่ใช้กระบวนการผลิตไม่ยุ่งยากและปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม มีผลทำให้สมบัติของสตาร์ชเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการจัดเรียงตัวภายในโมเลกุลของเม็ดสตาร์ช (Lim *et al.*, 2002) การตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น เป็นการทำให้สตาร์ชที่ถูกจำกัดปริมาณความชื้นในช่วง 18-27 เปอร์เซ็นต์ ได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูง ซึ่งส่วนมากเป็นอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิในการเกิดเจลาทีไนเซชัน (Lim *et al.*, 2002)

7.2.1 ผลต่อรูปร่างของเม็ดสตาร์ช

สตาร์ชข้าวสาลีและสตาร์ชข้าวโพดที่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นที่ระดับความชื้น 18, 21, 24 และ 27 เปอร์เซ็นต์ และอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ในตู้อบลมร้อนนาน 16 ชั่วโมง (Kulp and Lorenz, 1981) เมื่อตรวจสอบเม็ดสตาร์ชด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope) ไม่พบการเปลี่ยนแปลงในขนาด รูปร่าง รอยแตกหรือ ลักษณะที่ผิดไปจากเดิมภายหลังการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น และจากการ

ตรวจสอบเม็ดสตาร์ชข้าวโพดแบบธรรมดาและแบบข้าวเหนียว ที่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ในสภาวะเดียวกับข้างต้นด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้ลำแสงธรรมดา (light microscope) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ไม่พบการเปลี่ยนแปลงรูปร่างภายนอกของเม็ดสตาร์ชเช่นกัน (Abraham, 1993) การให้ความร้อนด้วยวิธีที่แตกต่างกันในการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นของสตาร์ชมันสำปะหลัง คือใช้ความร้อนขึ้นภายใต้ความดัน ใช้ความร้อนแห้ง และใช้ความร้อนจากรังสีไมโครเวฟ มีผลทำให้เม็ดสตาร์ชเกิดเจลาติไนเซชันได้บางส่วน (9-24 เปอร์เซ็นต์) แต่โครงสร้างภายนอกของเม็ดสตาร์ชยังคงไม่เปลี่ยนแปลง (Franco *et al.*, 1995)

การตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นที่ระดับความชื้น 30 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 16 ชั่วโมง ในสตาร์ชข้าวโพดและสตาร์ชมันฝรั่ง (Hoover and Manuel, 1996b) หรือใช้ระยะเวลา 10 ชั่วโมง ในสตาร์ชจากหัวมันเทศ เผือก มันสำปะหลังและมันฝรั่ง ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของขนาด รูปร่างหรือลักษณะผิวหน้าของเม็ดสตาร์ช (Gunaratne and Hoover, 2002) แต่ในสตาร์ชจากพืชจำพวกถั่ว พบว่าบางชนิดไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่บางชนิดเกิดการเปลี่ยนแปลง คือมีรอยแตกเล็กที่ผิวหน้า หรือเกิดการแตกหักเป็นชิ้นขนาดต่างๆกันจำนวนมากที่ผิวหน้าของเม็ดสตาร์ช (Hoover and Manuel, 1996a; Perera *et al.*, 1997)

การตัดแปรโดยการใช้ไอน้ำในการให้ความร้อนกับระบบ เพื่อทำการตัดแปรแบบความร้อนร่วมกับความชื้นในสตาร์ชมันฝรั่งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 นาที และสตาร์ชข้าวโพดที่อุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 5 หรือ 20 นาที พบว่าเม็ดสตาร์ชเกิดการเปลี่ยนแปลงคือ ลักษณะของไปริฟรินเจนซีไม่ชัดเจนเหมือนเดิม และเกิดลักษณะคล้ายนิวเคลียสสีดำบริเวณส่วนกลางของเม็ดสตาร์ชจากการส่องกล้องจุลทรรศน์แบบแสงจากโพลาริสก์ เมื่อตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope) พบว่าผิวหน้าของสตาร์ชมันฝรั่งมีรอยแตกเกิดขึ้น และเกิดการยุบตัวที่บริเวณกึ่งกลางของเม็ดสตาร์ชข้าวโพดอย่างชัดเจน จากภาพตัดขวางของสตาร์ชมันฝรั่งและสตาร์ชข้าวโพด แสดงให้เห็นว่ามีโพรงเกิดขึ้นภายในบริเวณตรงกลาง ขนาดประมาณหนึ่งในสามของเม็ดสตาร์ช (Kawabata *et al.*, 1994) เช่นเดียวกับงานวิจัยในสตาร์ชข้าวโพดของ Maruta *et al.* (1994) ซึ่งใช้วิธีการแบบเดียวกับข้างต้น แต่ใช้อุณหภูมิ 124 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 20 นาที พบว่าเม็ดสตาร์ชยังคงรักษารูปร่างและความเป็นผลึกไว้ได้ แต่จะเกิดรอยยุบบริเวณกลางเม็ด

7.2.2 ผลต่อลักษณะโครงสร้างผลึก

โครงสร้างผลึกของสตาร์ชชนิดต่างๆ มีการเปลี่ยนแปลงภายหลังการทำดัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ดังนี้ สตาร์ชจากพืชหัวเช่น มันฝรั่ง โดยธรรมชาติจะมีลักษณะโครงสร้างผลึกเป็นแบบ B เมื่อผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น พบว่าลักษณะโครงสร้างผลึกมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงไปเป็นผลึกแบบ A มากขึ้น เช่น ไม่ปรากฏพีกในตำแหน่ง 2 θ เท่ากับ 5 องศา หรือพีกที่ตำแหน่ง 20 เท่ากับ 23 องศา เมื่อผ่านการทำการดัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นแล้วลักษณะของพีกมีแนวโน้มรวมกันเป็น 1 พีก ซึ่งแสดงถึงลักษณะของผลึกแบบ A (Stute, 1992; Kawabata *et al.*, 1994; Lim *et al.*, 2002; Svegmarm *et al.*, 2002) จึงกล่าวได้ว่าโครงสร้างผลึกของสตาร์ชมันฝรั่งภายหลังการทำดัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น มีลักษณะเป็นผลึกแบบ A ผสมกับผลึกแบบ B และมีความหนาแน่นของผลึกลดลงด้วย (Donovan *et al.*, 1983; Perera *et al.*, 1997) ซึ่งจะทำให้คุณสมบัติทางด้านความร้อนและความหนืดเปลี่ยนไป (กล้าณรงค์ และเกื้อกุล, 2543) ในปี 2002 Gunaratne and Hoover ได้พบการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกันในสตาร์ชจากมันฝรั่งและมันเทศ (true yam) และอธิบายสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงรูปแบบโครงสร้างผลึกว่า เกิดจากการสูญเสียน้ำด้วยการระเหยกลายเป็นไอออกไปจากโครงสร้างผลึกแบบ B ซึ่งปกติมีโมเลกุลของน้ำยึดเกาะอยู่จำนวน 36 โมเลกุล และเกิดการเคลื่อนที่ของสายโมเลกุลแอมิโลสเกลียวคู่ (double helices) เข้าไปในช่องกลางของโครงสร้างแทนที่โมเลกุลน้ำนั้น การเคลื่อนที่ของสายเกลียวคู่นี้ทำให้โครงสร้างผลึกเกิดการแยกออก หรือเปลี่ยนแปลงการจัดเรียงตัวใหม่ส่งผลต่อความเป็นผลึกสัมพัทธ์ (relative crystallinity) มีค่าลดลง

สตาร์ชบางชนิดที่มีโครงสร้างผลึกแบบ B เช่นสตาร์ชจากข้าวโพด กลับไม่พบการเปลี่ยนแปลงของลักษณะโครงสร้างผลึกเป็นแบบ A ภายหลังการทำดัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นและพบว่ามีความหนาแน่นของผลึกเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่ง Hoover and Manuel (1996b) ได้ อธิบายว่าเป็นผลมาจากสตาร์ชชนิดนี้มีแอมิโลสในปริมาณสูง (86.5 เปอร์เซ็นต์) ทำให้เกิดการยึดเกาะกันของสายแอมิโลสนั้น ทำให้เกิดมีผลึกมากขึ้น ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นของผลึกมีค่าสูงขึ้นด้วย

ผลของการดัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นต่อการเปลี่ยนแปลงในผลึกของสตาร์ชที่มีโครงสร้างผลึกเป็นแบบ A พบว่าไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของรูปแบบผลึก คือผลึกยังคงเป็นแบบ A เช่นเดิม และในสตาร์ชข้าวโพดจะพบพีกใหม่เกิดขึ้นที่ตำแหน่ง 20 เท่ากับ 23

องศา แสดงให้เห็นว่ามีสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสกับลิพิด (amylose-lipid complex) เกิดขึ้นในระหว่างการทำกรดตัดแปรความร้อนร่วมกับความชื้น (Kawabata *et al.*, 1994; Lim *et al.*, 2002) หรือกล่าวได้ว่าโครงสร้างผลึกเปลี่ยนแปลงไปอยู่ในรูปของผลึกแบบ A ผสมกับผลึกแบบ V ซึ่งโครงสร้างผลึกแบบ V เกิดจากการที่กรดลิพิดและฟอสโฟลิพิดเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับแอมิโลส แสดงให้เห็นว่ามีการจัดเรียงตัวใหม่ของแอมิโลสเกิดขึ้นในเม็ดสตาร์ช (Franco *et al.*, 1995; Miyoshi, 2002)

การใช้ความร้อนร่วมกับความชื้น กับตัวอย่างแป้งมันฝรั่งและแป้งข้าวโพด แล้วนำมาศึกษาลักษณะของเม็ดสตาร์ช โดยการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope, SEM) และศึกษาการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction) พบว่า เม็ดสตาร์ชทั้งสองจะมีพื้นที่ว่าง ประมาณ 1 ใน 3 ของเส้นผ่านศูนย์กลางที่กึ่งกลางของเม็ดสตาร์ช และมีชั้นโครงสร้างคล้ายวงแหวน (resembling ring) เกิดขึ้น สำหรับ X-ray diagrams ในแป้งมันฝรั่งแสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงรูปแบบจากแบบ B ไปเป็นแบบ A ในขณะที่แป้งข้าวโพดจะไม่มีเปลี่ยนแปลงโครงสร้างหลักแบบ A และการถูกย่อยสลายด้วยเอนไซม์ พบว่า แป้งที่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น มีความต้านทานต่อการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ ดีกว่าแป้งที่ไม่ผ่านการตัดแปรด้วยวิธีนี้ (Kawabata *et al.*, 1994)

แป้งมันฝรั่ง แป้งมันเทศ แป้งสาลี และแป้งข้าวโพด เมื่อนำมาตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น โดยใช้ น้ำแข็งผงปรับความชื้น ให้ได้ 20-25 เปอร์เซ็นต์ บรรจุแป้งลงในภาชนะทรงกระบอก (cylindrical shape, 10.8x15 mm) ให้ความร้อนแป้งที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส นำแป้งมาวิเคราะห์ พบว่า เมื่อเพิ่มเวลาการให้ความร้อน การละลายในน้ำเย็นจะมีค่าเพิ่มขึ้นและมีระดับของการเกิดพอลิเมอร์ไอเซชันเพิ่มขึ้น เมื่อมีการให้ความร้อนร่วมกับมีการใช้แรงเฉือนต่อเม็ดสตาร์ชพบว่า การเพิ่มแรงเฉือนในระหว่างการให้ความร้อนจะไม่มีผลต่อการดูดกลืนแสงของ iodine-polysaccharide complex และการเกิด depolymerized ของแอมิโลสและแอมิโลเพกทินไปเป็น โมเลกุลที่เล็กลง (Igura *et al.*, 1997)

การที่ช่วงอุณหภูมิของการเกิดเจลาทิไนเซชันกว้างขึ้นนั้น เป็นเพราะต้องทำลายโครงสร้างผลึกจากการเกาะเกี่ยวกันของสายโมเลกุลระหว่างแอมิโลสกับแอมิโลส และระหว่างแอมิโลสกับแอมิโลเพกทินที่เกิดขึ้นระหว่างการทำกรดตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นของสตาร์ชมันฝรั่ง ซึ่งทั้งสองส่วนนี้มีความเป็นเสถียรภาพแตกต่างกัน (Perera *et al.*, 1997)

Franco *et al.* (1995) พบว่า การตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นทำให้ความหนาแน่นของผลึกในสตาร์ชข้าวโพดมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงของสายที่เป็นเกลียวคู่ (double helical chains) ภายในโครงสร้างผลึกของสตาร์ชจากความร้อนและความชื้นที่ได้รับ จึงเป็นผลให้การจัดเรียงของโครงสร้างผลึกมีความเป็นระเบียบมากกว่าในสภาพธรรมชาติ ซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Hoover and Manuel (1996a) พบว่าความหนาแน่นผลึกในสตาร์ชข้าวโพดทั้งแบบธรรมดาและแบบข้าวเหนียวเพิ่มขึ้น ภายหลังจากการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นที่ระดับความชื้น 18 เปอร์เซ็นต์ แต่ในสตาร์ชมันสำปะหลังหรือสตาร์ชข้าวโพดที่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ในระดับความชื้น 27 เปอร์เซ็นต์ หรือ 30 เปอร์เซ็นต์ พบว่าความหนาแน่นของผลึกมีค่าลดลง (Abraham, 1993; Franco *et al.*, 1995; Lim *et al.*, 2002) และบางครั้งการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นผลึกในสตาร์ชข้าวโพด เมื่อใช้ระดับความชื้น 25 เปอร์เซ็นต์ (Lim *et al.*, 2002) และไม่ทำให้ค่าความเป็นผลึกสัมพัทธ์ (relative crystallinity) เปลี่ยนแปลงในสตาร์ชจากหัวเผือกมันสำปะหลัง และมันเทศ (true yam) (Gunaratne and Hoover, 2002)

7.2.3 ผลต่อการเกิดเจลลิตีในเซชันของสตาร์ช

อุณหภูมิในการเกิดเจลลิตีในเซชันของสตาร์ชที่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น เมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (DSC) พบว่า T_o (onset temperature), T_p (peak temperature) และ T_c (conclusion temperature) ของการเกิดเจลลิตีในเซชันมีค่าสูงขึ้นในสตาร์ชข้าวสาลี มันฝรั่ง มันเทศ มันสำปะหลัง ข้าวโพด ถั่ว เผือก รวมทั้งแป้งข้าว และช่วงกว้างของอุณหภูมิในการเกิดเจลลิตีในเซชัน ($T_c - T_o$) กว้างขึ้น (Donovan *et al.*, 1983; Stute, 1992; Hoover and Manuel, 1996b; Lu *et al.*, 1996; Collado and Corke, 1996; Perera *et al.*, 1997; Takaya *et al.*, 2000; Lai *et al.*, 2001; Lim *et al.*, 2002; Gunaratne and Hoover, 2002; Miyoshi, 2002) ยกเว้นในสตาร์ชข้าวโพดข้าวเหนียวและข้าวโพดธรรมดาในบางตัวอย่างที่ช่วงกว้างของอุณหภูมิในการเกิดเจลลิตีในเซชันไม่เปลี่ยนแปลง (Hoover and Manuel, 1996a)

การที่ช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลลิตีในเซชัน ($T_c - T_o$) กว้างขึ้น มีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของสตาร์ช Kulp and Lorenz (1981) พบว่าสตาร์ชมันฝรั่งมีการเพิ่มของช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลลิตีในเซชันกว้างกว่าสตาร์ชข้าวสาลีเมื่อผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนร่วม

กับความชื้นจากการวิเคราะห์ด้วย Kofler hot stage และในปี 1983 Donovan *et al.* อธิบายผลของการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นต่ออุณหภูมิในการเกิดเจลาทีโนเซชันของสตาร์ชทั้งสองชนิดที่กว้างขึ้นนั้น เกิดจากการเคลื่อนที่หรือการจัดเรียงตัวใหม่ของโมเลกุลในส่วนอสัณฐานระหว่างการทำการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นทำให้เกิดโครงสร้างผลึกใหม่ หรือเกิดการเรียงตัวใหม่ของโครงสร้างผลึกเดิม และเกิดโครงสร้างผลึกขนาดเล็กที่มีความสมบูรณ์ขึ้นภายในเม็ด ซึ่งการเปลี่ยนแปลงในส่วนอสัณฐานที่เกิดขึ้น มีผลต่อการดูดซึมน้ำของเม็ดสตาร์ชและความสามารถในการทำลายโครงสร้างผลึก

สตาร์ชข้าวโพดแอมิโลสสูงมีการเพิ่มขึ้นของ T_o , T_p และ T_c มากกว่าสตาร์ชข้าวโพดธรรมดาและสตาร์ชข้าวโพดข้าวเหนียวตามลำดับ ภายหลังจากการทำการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ซึ่ง Hoover and Manuel (1996a) ให้เหตุผลว่าเนื่องจากเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสกับลิพิด และเกิดการเกาะเกี่ยวกันระหว่างสายหรือภายในสายโมเลกุลของแอมิโลสในระหว่างการทำการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น และนำไปสู่การเกิดโครงสร้างผลึกที่มีความคงตัวแตกต่างกัน ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับอุณหภูมิและช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลาทีโนเซชันมีค่ากว้างขึ้น สตาร์ชข้าวโพดข้าวเหนียวไม่พบการเปลี่ยนแปลงของช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลาทีโนเซชันที่กว้างขึ้น แสดงให้เห็นว่าการเกาะเกี่ยวกันของสายแอมิโลเพกทินในระหว่างการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ไม่มีผลต่อการเกิดโครงสร้างผลึกใหม่ (Hoover and Manuel, 1996a)

สำหรับสตาร์ชจำพวกถั่วที่มีกรดลิพิดอิสระในปริมาณน้อย การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสกับลิพิดจึงมีผลไม่มากนักต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเจลาทีโนเซชัน แต่การเกาะเกี่ยวระหว่างแอมิโลสในระหว่างการทำการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น จะมีผลมาก เนื่องจากการเกาะเกี่ยวนี้จะกีดขวางการเคลื่อนที่ภายในส่วนอสัณฐาน ทำให้ต้องใช้อุณหภูมิสูงขึ้นเพื่อให้ส่วนอสัณฐานเกิดการพองตัวและเกิดการทำลายโครงสร้างผลึกได้ (Hoover and Manuel, 1996b)

ในปี 2002 Lim *et al.* ได้กล่าวถึงสาเหตุของการเกิดลักษณะ biphasic ในช่วงอุณหภูมิการเปลี่ยนสภาวะที่กว้างขึ้นของช่วงพลังงานเอนทาลปี จากสตาร์ชที่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น เนื่องจากการเกิดพลังงานเอนทาลปีที่อุณหภูมิที่สูงขึ้น เป็นผลจากการเปลี่ยนแปลง ภายในโครงสร้างบริเวณส่วนของ Intercrystalline amorphous region ของสตาร์ช

ระหว่างการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น โดยบริเวณนี้จะเกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งอาจทำให้สายโซ่สั้นๆ ในโครงสร้างผลึกมีความเป็นอิสระมากขึ้น และเกิดการจัดเรียงตัวของแอมิโลเพกทินที่มีสายสั้น เมื่อได้รับพลังงานความร้อนและน้ำในระหว่างการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ผลของการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึกกลุ่มเล็กๆนี้ ทำให้สตาร์ชมีความคงตัวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิสูงขึ้น (Lim *et al.*, 2002)

Miyoshi (2002) กล่าวว่า การตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ทำให้โครงสร้างผลึกของแอมิโลเพกทินที่ไม่แข็งแรงเกิดการแตก หรือถูกทำลายไปในสตาร์ชข้าวโพดและมันฝรั่ง โครงสร้างโมเลกุลของแอมิโลเพกทินส่วนที่ทนต่อความร้อนที่เหลืออยู่ในโครงสร้างจึงมีผลให้อุณหภูมิการเกิดเจลาทิโนเซชันของสตาร์ชสูงขึ้น

การที่พลังงานเอนทัลปีของการเกิดเจลาทิโนเซชันในสตาร์ชข้าวโพดและสตาร์ชจากถั่วที่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นมีค่าคงเดิมไม่เปลี่ยนแปลง แสดงว่าเกลียวคู่ในโครงสร้างผลึกไม่ถูกทำลายในระหว่างการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น (Hoover and Manuel, 1996a,b) ในขณะที่การตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นมีผลทำให้พลังงานเอนทัลปีที่ใช้ในการสลายโครงสร้างผลึกของสตาร์ชมันฝรั่ง มันสำปะหลัง มันเทศ และเผือกมีค่าต่ำลงเนื่องจากบางส่วนของเกลียวคู่ในโครงสร้างผลึกและในส่วนที่ไม่ใช่โครงสร้างผลึก ถูกทำลายไปภายใต้สภาวะของการทำการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น จึงทำให้ในระหว่างการเกิดเจลาทิโนเซชันของสตาร์ชที่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นนั้น มีการคลายเกลียวและหลอมเหลวของเกลียวคู่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับสตาร์ชที่ไม่ผ่านการตัดแปร (Perera *et al.*, 1997; Gunaratne and Hoover, 2002)

7.2.4 ผลต่อสมบัติด้านความหนืด

จากการวิเคราะห์สมบัติด้านความหนืด โดยใช้เครื่องวัดความหนืดแบบบราเบนเดอร์ วิสโคแอมิโลกราฟ (Brabender visco amylograph) หรือเครื่องวัดความหนืดอย่างรวดเร็ว (Rapid visco analyzer) ในสตาร์ชที่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น (heat moisture treatment) มักพบการเปลี่ยนแปลงที่ต่างไปจากสตาร์ชที่ไม่ผ่านการตัดแปรดังนี้คือ อุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืด (pasting temperature) หรืออุณหภูมิที่เริ่มเกิดเจลาทิโนเซชันมีค่าสูงขึ้น ความหนืดสูงสุด (peak viscosity) มีค่าลดลง (Kulp and Lorenz, 1981; Stute, 1992; Abraham, 1993;

Maruta *et al.*, 1994; Franco *et al.*, 1995; Hoover and Manuel, 1996a; Perera *et al.*, 1997; Collado and Corke, 1999; Lai, 2001; Miyoshi, 2002) ซึ่งการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืดและการลดลงของค่าความหนืดสูงสุดนั้น เป็นผลมาจากระดับของการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นที่ใช้ (Maruta *et al.*, 1994; Franco *et al.*, 1995) และเป็นผลจากการที่เม็ดสตาร์ชมีความสามารถในการพองตัวลดลงในสตาร์ชมันฝรั่งด้วย (Stute, 1992) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Hoover and Manuel (1996a) ที่พบเมื่อผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นความหนืดของสตาร์ชข้าวโพดธรรมดาและข้าวโพดแอมิโลสสูงมีค่าลดลง

การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืดที่มีค่าเพิ่มขึ้น และการที่ค่าความหนืดสูงสุดลดลงเป็นผลจากการลดลงของระดับความเป็นผลึกในเม็ดสตาร์ชมันฝรั่งมาก โดยจะลดทั้งความแข็งแรงและลดปริมาตรที่เกิดจากการพองตัวของสตาร์ชด้วย อีกทั้งยังเกิดการยึดเกาะกันระหว่างสายแอมิโลสด้วยกันเองและระหว่างสายแอมิโลสกับแอมิโลเพกทิน (ซึ่งทำให้การพองตัวของเม็ดสตาร์ชลดลง) จึงมีผลให้เม็ดสตาร์ชสามารถทนต่อแรงเฉือนและความร้อนในช่วงระหว่างการคงอุณหภูมิที่ 95 องศาเซลเซียสไว้ได้ (Perera *et al.*, 1997) ในปี 2002 Miyoshi ได้กล่าวถึงสาเหตุที่อุณหภูมิในการเริ่มเกิดความหนืดมีค่าสูงขึ้น และค่าความหนืดสูงสุดลดลงในสตาร์ชข้าวโพดและสตาร์ชมันฝรั่งที่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น เป็นผลจากการเพิ่มขึ้นของพันธะไฮโดรเจนทั้งภายใน และระหว่างโมเลกุลจากการยึดเกาะกันของสายแอมิโลส และของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสกับลิพิดที่เกิดขึ้น ในระหว่างการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น

การเปลี่ยนแปลงของเม็ดสตาร์ชภายใต้ความร้อนมีปัจจัยที่สำคัญคือ อุณหภูมิ ความร้อน ปริมาณน้ำ และลักษณะของเม็ดสตาร์ช การให้ความร้อนสูง โดยมีการจำกัดเรื่องของปริมาณน้ำ ทำให้ลักษณะและคุณสมบัติของแป้งเปลี่ยนไปได้ เมื่อแป้งมีปริมาณน้ำน้อย จะมีการเปลี่ยนแปลงรูปหรือหลอมละลาย (T_m) ที่อุณหภูมิสูง 166-180 องศาเซลเซียส แต่เมื่อมีความชื้นสูง (มากกว่า 70%) จะมีการเจลาไทไนเซชันที่อุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส การตัดแปรโดยใช้ความร้อนร่วมกับความชื้นคือการให้ความร้อนแป้งมากกว่า 100 องศาเซลเซียส โดยที่แป้งมีความชื้นมากกว่าปกติเล็กน้อย (เนื่องจากส่วนใหญ่ใช้น้ำเป็นตัวให้ความร้อน) คือประมาณ 18-27% และให้ความร้อนเป็นเวลานานซึ่งเวลาจะแปรผันกับอุณหภูมิที่ใช้ (Sair, 1967)

สำหรับค่าความหนืดหลังจากการกวนอย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิ 92 หรือ 95 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลาหนึ่ง คือค่าความหนืดต่ำสุด (hot paste viscosity/trough) ของสตาร์ชที่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นอาจมีค่าสูงขึ้นหรือต่ำลง เมื่อเปรียบเทียบกับสตาร์ชธรรมชาติ ค่าความหนืดต่ำสุดที่เปลี่ยนแปลงไปนี้จะส่งผลให้ค่า ความหนืดลดลงซึ่งเป็นค่าความแตกต่างระหว่างค่าความหนืดสูงสุดและค่าความหนืดต่ำสุดเปลี่ยนแปลงไปด้วย ถ้าค่าความหนืดลดลงมีค่าน้อยลงแสดงว่า เพสท์มีความคงตัวเพิ่มขึ้นในระหว่างการหุงต้ม เช่นในสตาร์ชมันฝรั่ง (Kulp and Lorenz, 1981) สตาร์ชมันสำปะหลัง (Abraham, 1993) สตาร์ชมันเทศ (Collado and Corke, 1999) และแป้งข้าว (Lai, 2001) แต่ในสตาร์ชข้าวโพดข้าวเหนียวที่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นพบว่าค่าความหนืดลดลงมีค่าสูงขึ้น แสดงให้เห็นว่าสตาร์ชเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ง่ายขึ้นกว่าเดิมเมื่อได้รับแรงเฉือน (Franco *et al.*, 1995) ซึ่งแตกต่างจากผลงานวิจัยของ Hoover and Manuel (1996a) ที่พบว่าความหนืดที่ระดับอุณหภูมิ 95 และ 50 องศาเซลเซียสของสตาร์ชข้าวโพดข้าวเหนียวที่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับสตาร์ชข้าวโพดข้าวเหนียวธรรมชาติ

การตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น มีผลทำให้ค่าความหนืดในช่วงทำให้เย็นหรือค่าความหนืดสุดท้าย (cold paste viscosity/final viscosity) ที่อุณหภูมิ 50, 35 หรือ 30 องศาเซลเซียสเปลี่ยนแปลง แต่ถ้าใช้การตัดแปรในระดับที่สูงขึ้น มีผลให้การพองตัวของสตาร์ชถูกยับยั้งไป ค่าเซทแบคที่ได้จะต่ำลง (Stute, 1992) ค่าความหนืดสุดท้ายมีค่าสูงขึ้นในสตาร์ชมันฝรั่ง (Kulp and Lorenz, 1981; Stute, 1992) สตาร์ชมันสำปะหลัง (Abraham, 1993) สตาร์ชมันเทศ (Collado and Corke, 1999) แป้งข้าวเหนียวและแป้งข้าวแอมิโลสต่ำ (Lai, 2001) และมีค่าลดลงในสตาร์ชข้าวสาลี (Kulp and Lorenz, 1981) สตาร์ชข้าวโพด (Maruta *et al.*, 1994; Franco *et al.*, 1995 Hoover and Manuel, 1996a) สตาร์ชมันฝรั่ง (Perera *et al.*, 1997; Miyoshi, 2002) และแป้งข้าวแอมิโลสสูง (Lai, 2001) ซึ่งค่าความหนืดสุดท้ายที่สูงขึ้นแสดงว่าเจลสามารถเกิดรีโทรเกรเดชันได้มากขึ้น ส่งผลให้ค่าเซทแบคซึ่งเป็นความแตกต่างระหว่างค่าความหนืดสุดท้าย และค่าความหนืดต่ำสุดมีค่าสูงขึ้นด้วยเช่น ในสตาร์ชมันสำปะหลัง ส่วนในสตาร์ชมันฝรั่งค่าเซทแบคจะเพิ่มขึ้นหรือลดลง ขึ้นอยู่กับระดับอุณหภูมิของการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น คือถ้าใช้ระดับอุณหภูมิของการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นที่ต่ำ จะช่วยเพิ่มความคงทนต่อแรงเฉือนของเม็ดและทำให้ค่าเซทแบคสูงขึ้น (Abraham, 1993)

การแยกสตาร์ชออกจาก pigeon pea seeds (*Cajanus cajan* L) แล้วนำมาอบในตู้อบ โดยปรับความชื้นเป็นร้อยละ 30 แล้วบรรจุสตาร์ชลงใน glass jars ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 16 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำให้เย็น เปิดภาชนะ นำสตาร์ชไปทำแห้งด้วยอากาศจนมีความชื้นร้อยละ 10 นำแป้งที่ได้มาหาการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์ กำลังการพองตัว การชะของปริมาณแอมิโลส อุณหภูมิการเกิดเจลลาคีโนเซชัน สมบัติความหนืด (pasting properties) การถูกย่อยสลายด้วยกรด การถูกย่อยสลายด้วยเอนไซม์ การใช้พลังงานในการหลอมเม็ดสตาร์ชและความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็ง พบว่า อุณหภูมิการเกิดเจลลาคีโนเซชันเพิ่มขึ้น ช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลลาคีโนเซชันจะกว้างซึ่งสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงพลังงานในการหลอมเม็ดสตาร์ช และอุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting temperature) มีค่าเพิ่มขึ้น แต่กำลังการพองตัว การชะของแอมิโลส การคงตัวของความหนืด (paste consistencies) ที่ 95 และ 50 องศาเซลเซียสลดลง ความเป็นผลึกสัมพัทธ์ไม่มีการเปลี่ยนแปลง และทนต่อการย่อยสลายด้วยกรดลดลง (Hoover *et al.*, 1993)

การศึกษาแป้งมันเทศ 2 พันธุ์ คือพันธุ์ Taiwan ที่มีปริมาณแอมิโลสร้อยละ 15.2 และพันธุ์ 93-006 ที่มีปริมาณแอมิโลสร้อยละ 28.5 โดยปรับความชื้นของแป้งเป็นร้อยละ 25 ที่อุณหภูมิ 4-5 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้ข้ามคืน แล้วบรรจุแป้งลงในถ้วยวัดความชื้นให้ความร้อนในตู้อบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส นาน 16 ชั่วโมง ภายใต้สภาวะพีเอช 6.5-6.7 และสภาวะต่าง (พีเอช 10) พบว่า แป้งมันเทศทั้งสองชนิดที่สภาวะพีเอช 6.5-6.7 จะมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะความหนืด จากชนิด A ไปเป็น ชนิด C ในขณะที่สภาวะพีเอช 10 ความหนืดสูงสุดจะเพิ่มขึ้น ภายใต้สภาวะพีเอชทั้งสอง หลังจากอบในตู้อบอุณหภูมิการเกิดเจลลาคีโนเซชันจะเพิ่มขึ้น และจะให้พลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลลาคีโนเซชัน (DSC gelatinization endotherms) ที่กว้าง ปริมาตรการพองตัว (swelling volume) และการละลายลดลง ลักษณะเนื้อสัมผัสของเจลที่ปรากฏจะขึ้นอยู่กับปริมาณแอมิโลสโดยเจลของแป้งมันเทศพันธุ์ Taiwan จะมีความแข็งและการเป็นกาวเพิ่มขึ้น ในขณะที่แป้งมันเทศพันธุ์ 93-006 จะไม่แสดงสมบัติความแข็งที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ภายหลังจากอบในตู้อบ (Collado and Corke, 1999)

7.2.5 ผลต่อการเกิดรีโทรเกรเดชัน

การตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ทำให้การเกิดรีโทรเกรเดชันลดลง ในสตาร์ชข้าวโพดจากงานวิจัยของ Hoover and Manuel (1996a) ซึ่งพิจารณาการเกิดรีโทรเกรเดชันจากร้อยละของการแยกน้ำ (%syneresis) หรือปริมาณน้ำที่ถูกแยกออกมาภายหลังการคืนรูปจากเยือกแข็งของเจล พบว่าร้อยละของการแยกน้ำของสตาร์ชข้าวโพดที่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น มีค่าลดลง โดยสตาร์ชข้าวโพดเอมิโลสสูงมีค่าร้อยละของการแยกน้ำลดลงมากกว่าในสตาร์ชข้าวโพดธรรมดา และสตาร์ชข้าวโพดข้าวเหนียวตามลำดับ เนื่องจากการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ช่วยเพิ่มความแข็งแรงของพันธะภายในส่วนอสัณฐานของเม็ดสตาร์ช (จากการยึดเกาะกันระหว่างสายเอมิโลสด้วยกันเอง หรือระหว่างสายเอมิโลสกับลิพิด) มีผลให้ระยะห่างระหว่างสายเอมิโลสในเม็ดสตาร์ชที่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นสั้นกว่าในเม็ดเดิม และพบว่าปริมาณน้ำที่แยกออกมาในระหว่างการคืนรูปของสตาร์ชที่ไม่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น จึงสูงกว่าในสตาร์ชที่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น แต่ในสตาร์ชข้าวโพดข้าวเหนียว พบการลดลงของร้อยละของการแยกน้ำเพียงเล็กน้อย แสดงว่าในระหว่างการทำการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นเกิดปฏิกิริยาระหว่างสายเอมิโลสเพกทินเกิดขึ้นไม่มากนัก (Hoover and Manuel, 1996a)

การเกิดรีโทรเกรเดชันของเอมิโลเพกทินที่ลดลงภายหลังการทำการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นยังพบในสตาร์ชมันฝรั่งและสตาร์ชมันเทศ (true yam) จากงานวิจัยของ Lim *et al.* (2001) ซึ่งไม่พบการเปลี่ยนแปลงของเทอร์โมแกรม (thermogram) ในการสลายโครงสร้างผลึกที่เกิดจากการรีโทรเกรเดชันของสตาร์ชข้าวโพดและสตาร์ชมันฝรั่งที่ผ่านการทำการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ทั้งนี้เป็นเพราะส่วนโครงสร้างผลึกและสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างเอมิโลสกับลิพิดของสตาร์ชที่ผ่าน และไม่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น เกิดการหลอมเหลวอย่างสมบูรณ์ ก่อนที่จะนำมาเก็บรักษาเพื่อให้เกิดการจัดเรียงตัวกันใหม่ของโครงสร้างผลึก (recrystallization) ดังนั้นความแตกต่างของในการจัดเรียงตัวของสายโมเลกุลหรือ matrix conformation ที่เกิดจากการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น จึงถูกทำลายไปจนหมด ก่อนที่จะเกิดการจัดเรียงตัวกันใหม่อีกครั้ง เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Gunaratne and Hoover (2002) พบว่าการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นมีผลต่อการเกิดรีโทรเกรเดชันในสตาร์ชที่มีโครงสร้างผลึกแบบ B เท่านั้น เนื่องจากโครงสร้างผลึกแบบ B ถูกทำลายในระหว่าง

ตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ส่งผลให้กิ่งด้านนอกของสายแอมิโลเพกทินที่เดิมอยู่ติดกันเกิดการแยกออกจากกันได้มาก ดังนั้นจึงสามารถเกิดเป็น โครงสร้างเกลียวคู่หรือการยึดเกาะกันด้านข้างของสายแอมิโลเพกทินอีกครั้งในช่วงของการเก็บรักษา ซึ่งเป็นไปได้ช้ากว่าและเกิดได้ยากกว่า รวมทั้งมีความแข็งแรงน้อยกว่าในสตาร์ชที่มีโครงสร้างผลึกแบบ A เช่น สตาร์ชมันสำปะหลัง สตาร์ชเผือก และมันเทศ (new coco yam) ซึ่งจะไม่พบการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างผลึกภายหลังการทำการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ดังนั้นค่าพลังงานที่ใช้ในการสลายการเกิดรีโทรเกรเดชันของสตาร์ชที่ผ่านและไม่ผ่านการทำการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น จึงไม่เปลี่ยนแปลงในสตาร์ชที่มีโครงสร้างผลึกแบบ A (Gunaratne and Hoover, 2002)

ในปี 2000 Takaya *et al.* ได้พบว่าสตาร์ชข้าวโพดที่ผ่านการทำการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นสามารถเกิดรีโทรเกรเดชันได้เร็วขึ้น จากการพิจารณาอัตราส่วนของการเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation ratio) โดยนำค่าพลังงานที่ใช้ในการสลายโครงสร้างผลึกที่เกิดจากการรีโทรเกรเดชันมาหารด้วยค่าพลังงานที่ใช้ในการสลายโครงสร้างผลึกเมื่อเกิดเจลาทีไนเซชันซึ่งในสตาร์ชข้าวโพดที่ผ่านการทำการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น มีอัตราส่วนของการเกิดรีโทรเกรเดชันสูงกว่าที่ไม่ผ่านการทำการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น แสดงว่าในส่วนของเจลาสตาร์ชโดยเฉพาะส่วนที่เป็นแอมิโลส สามารถเกิดการยึดเกาะกันได้ทันทีภายหลังจากการทำให้เย็น และการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นมีส่วนช่วยให้เกิดรีโทรเกรเดชันในสตาร์ชข้าวโพด ซึ่งสอดคล้องกับการใช้เอกซ์เรย์ดิฟแฟร็กโทมิเตอร์ศึกษาการเกิดรีโทรเกรเดชันของเจลาสตาร์ชข้าวโพดที่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ในปี 2002 Miyoshi รายงานว่า การตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นช่วยทำให้การกลับมาเรียงตัวกันใหม่อีกครั้ง โดยเฉพาะของสายแอมิโลสเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วในช่วงเริ่มต้น เนื่องจากการเพิ่มขนาดของโครงสร้างผลึกที่คงทนต่อความร้อนจากสารประกอบเชิงซ้อนของแอมิโลสที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น มีผลให้เมล็ดสตาร์ชสามารถทนต่อความร้อนในระหว่างการเกิดเจลาทีไนเซชันได้ และการเพิ่มขึ้นของสายแอมิโลสที่ได้จากการทำลายของสายโซ่ตรงด้านนอกของแอมิโลเพกทินภายหลังการทำการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ซึ่งมีส่วนในการเพิ่มโครงสร้างผลึกที่คงทนต่อความร้อนด้วย ดังนั้นในช่วงเริ่มต้นของการจัดเรียงตัวกันใหม่ของโครงสร้างในเจลาสตาร์ช จึงปรากฏโครงสร้างผลึกที่คงทนต่อความร้อนของแอมิโลสเป็นส่วนใหญ่ (Miyoshi, 2002)

เมื่อนำแป้งมันสำปะหลัง (Malayan-4) มากระทำด้วยความร้อนที่แตกต่างกัน 4 วิธี คือ นำมาคั่วในกระทะเปิดที่อุณหภูมิ 100 ± 2 องศาเซลเซียส ให้ความร้อนใน Autoclave ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส อบในตู้อบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส และให้ความร้อนในเตาไมโครเวฟ (2.45 GHz 650 W) พบว่า เม็ดสตาร์ชที่ได้ยังคงสภาพเดิมไม่ถูกทำลายไป ปริมาณของการตกตะกอน ความจุการยึดเหนี่ยวกับน้ำมัน (oil binding capacity) ความสามารถในการถูกย่อยด้วยเอนไซม์แอมิเลสเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความเป็นผลึก ความจุของการยึดเหนี่ยวกับน้ำ (water binding capacity) การละลาย และความโปร่งแสงจะลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าความคงทนต่อการคืนรูปจากการแช่เยือกแข็ง (freeze-thaw stability) จะดีมาก (Abraham, 1993)

ผลของการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ต่อการเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้งข้าว พบว่าค่าพลังงานเอนทาลปีที่ใช้ในการสลายโครงสร้างผลึกจากการเกิดรีโทรเกรเดชันของเจลแป้งข้าวที่ผ่านการทำการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิเดียวกันและระยะเวลาเท่ากัน มีค่าสูงกว่าเจลแป้งที่ไม่ผ่านการตัดแปร และการเปลี่ยนแปลงของพลังงานดังกล่าวยิ่งเพิ่มขึ้น เมื่อแป้งข้าวให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงขึ้นและระยะเวลาในการทำการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นนานขึ้น อีกทั้งระดับของการเกิดรีโทรเกรเดชันเพิ่มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้นด้วย (Lu *et al.*, 1996)

7.2.6 ผลต่อการพองตัวและการละลายของเม็ดสตาร์ช

โดยปกติพบว่า เม็ดสตาร์ชผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น การพองตัวของเม็ดสตาร์ช (swelling property, SF) และการชะละลายหรือการที่แอมิโลสหลุดออกจากสตาร์ชเมื่อได้รับความร้อนที่ระดับอุณหภูมิหนึ่ง (amylose leaching) จะมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับสตาร์ชที่ไม่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น (Kulp and Lorenz, 1981; Hoover and Vasanthan, 1994; Hoover and Manuel, 1996a, b; Perera *et al.*, 1997; Collado and Corke, 1999; Gunaratne and Hoover, 2002) ในปี 1981 Kulp and Lorenz ให้เหตุผลว่าการที่กำบังการพองตัวของสตาร์ชข้าวสาลีและสตาร์ชมันฝรั่งมีค่าลดลง เนื่องจากสายพอลิเมอร์ของสตาร์ชมีระดับของการยึดเกาะกันภายในเม็ดเพิ่มสูงขึ้นเมื่อผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ซึ่งสอดคล้องกับผลของ Hoover and Manuel (1996a) ที่พบว่า การพองตัวที่ลดลงในสตาร์ชข้าวโพดธรรมดา และสตาร์ชข้าวโพดข้าวเหนียวเนื่องจากเกิดการยึดเกาะกันภายใน และระหว่างสายแอมิโลเพกทิน

การลดลงของการพองตัวของเม็ดสตาร์ชในสตาร์ชข้าวสาลี ข้าวโอ๊ต มันฝรั่ง และถั่วแขกที่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น มีผลทำให้สมบัติของการไหลเปลี่ยนแปลง (Hoover and Vasanthan, 1994) และการชะละลายของแอมิโลส (amylose leaching) มีค่าลดลงในสตาร์ชจากพืชจำพวกถั่ว สตาร์ชมันสำปะหลัง และสตาร์ชมันเทศที่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นเป็นผลมาจากการยึดเกาะกันระหว่างสายแอมิโลสด้วยกันเอง และระหว่างสายแอมิโลสกับสายแอมิโลเพกทินที่เพิ่มขึ้นในระหว่างการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น และปัจจัยที่มีผลต่อการลดลงของ amylose leaching นี้จะส่งผลให้จำนวนหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl groups) ซึ่งเป็นส่วนที่สามารถจับกับน้ำได้น้อยลง ซึ่งจะทำให้การพองตัวของเม็ดสตาร์ชลดลงด้วย (Hoover and Manuel, 1996b; Perera *et al.*, 1997; Gunaratne and Hoover, 2002) นอกจากนี้การลดลงของการพองตัวของเม็ดสตาร์ช อาจเกี่ยวเนื่องกับการที่เกลียวคู่ทั้งที่อยู่เป็นอิสระหรือที่อยู่ในโครงสร้างผลึกเกิดการคลายเกลียวออก ในระหว่างการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นมีผลให้ความคงตัวของเม็ดสตาร์ชลดลง ซึ่งสอดคล้องกับระดับความเข้มข้นของเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชันที่ลดลงหลังจากการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นในสตาร์ชมันฝรั่งด้วย แสดงให้เห็นว่าการที่ส่วนโครงสร้างผลึกถูกทำลายหรือเกิดการสูญเสียความเป็นระเบียบของเกลียวคู่ นั้น มีผลทำให้ค่าของการพองตัวของเม็ดสตาร์ชลดลง (Perera *et al.*, 1997; Gunaratne and Hoover, 2002)

แต่ในบางงานวิจัยพบว่า การตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น มีผลทำให้การละลาย (solubility) เพิ่มขึ้นในสตาร์ชข้าวสาลีภายหลังการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น (Kulp and Lorenz, 1981) และการพองตัวของสตาร์ชมันสำปะหลังมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก หรือเปลี่ยนแปลงอย่างไม่มีนัยสำคัญในสตาร์ชข้าวโพดเมื่อใช้การตัดแปรในระดับต่ำ (Abraham, 1993; Maruta *et al.*, 1994) ซึ่งความแตกต่างที่เกิดขึ้นอาจเป็นเพราะสภาวะของการทำการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นที่เลือกใช้ และวิธีในการวิเคราะห์สมบัติการพองตัวและการละลายมีความแตกต่างกันในแต่ละงานวิจัย

7.2.7 ผลต่อความคงตัวต่อการคืนรูปจากเยือกแข็ง

การตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ทำให้เพสต์หรือเจลมีความคงตัวต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งมากขึ้น จากงานวิจัยของ Abraham (1993) เมื่อทำการวัดความหนืดของเจล

จากสสารไขมันสำปะหลัง ซึ่งผ่านการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำมาคืนรูปจากเยือกแข็งที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พบว่าสสารไขมันสำปะหลังที่ไม่ผ่านการตัดแปรมีความหนืดลดลงมากหลังจากการคืนรูปจากเยือกแข็งในแต่ละรอบ แต่สสารที่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นค่าความหนืดเปลี่ยนแปลงน้อย แสดงว่ามีความสามารถทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งได้ดีกว่า เมื่อจำนวนรอบของการคืนรูปจากเยือกแข็งสูงขึ้น เช่นเดียวกับผลงานวิจัยของ Hoover and Manuel (1996a) ซึ่งทดลองโดยการนำเจลของสสารไขมันสำปะหลังชนิดต่างๆ เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดนิวเคลียส (nucleation) จากนั้นนำไปแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -16 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำเจลออกมาคืนรูปที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง แล้วทำการวัดปริมาณน้ำที่แยกออกมาจากเจลภายหลังการหมุนเหวี่ยง ในตัวอย่างที่มีการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นพบว่า ร้อยละของการแยกน้ำลดลงน้อย ส่วนสสารไขมันสำปะหลังที่มีร้อยละของการแยกน้ำลดลงมากที่สุด รองลงมาเป็นสสารไขมันสำปะหลังธรรมดา ทั้งนี้เป็นเพราะการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นทำให้ความแข็งแรงของพันธะภายในส่วนอสัณฐานของเม็ดเพิ่มขึ้น ระยะห่างระหว่างสายเอมิโลสในเม็ดที่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นสั้นกว่า และเมื่อสายเอมิโลสเกิดการยึดเกาะกันในช่วงระหว่างการแช่เยือกแข็ง จึงมีผลทำให้ปริมาณน้ำที่ถูกแยกออกมาในช่วงของการคืนรูปเกิดขึ้นน้อยกว่าของสสารไขมันสำปะหลังที่ไม่ผ่านการตัดแปร (Hoover and Manuel, 1996a)

7.2.8 ผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของเจล

ในปี 1995 Jacobs *et al.* พบว่าเจลจากสสารไขมันเทศซึ่งผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นมีความแข็งแรงของโครงสร้างเม็ดสสารไขมันเทศมากขึ้น หรือการมีลักษณะของ “ghost” และจากผลงานวิจัยของ Collado and Corke (1999) พบว่าลักษณะเนื้อสัมผัสที่เปลี่ยนแปลงไปของเจลจากสสารไขมันเทศที่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น มีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปริมาณเอมิโลสที่มีอยู่ โดยเจลสสารไขมันเทศที่มีปริมาณเอมิโลสต่ำ จะมีค่าความแข็งแรง (hardness) และการยึดติด (adhesiveness) ของเจลสูงขึ้นภายหลังการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นแต่เจลจากสสารไขมันเทศที่มีปริมาณเอมิโลสสูง พบว่าความแข็งแรงของเจลไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ (Collado and Corke, 1999)

8. การแช่เยือกแข็ง

การแช่เยือกแข็งเป็นกระบวนการที่มีการกำจัดความร้อนออกจากอาหาร โดยเปลี่ยนน้ำที่มีอยู่ในอาหารให้เป็นน้ำแข็ง อัตราการถ่ายเทความร้อนออกจากอาหารมีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง 2 ปัจจัย คือ ปัจจัยภายใน ได้แก่ ขนาดของชิ้นอาหาร พื้นที่ผิวบริเวณผิวหน้าอาหาร และคุณสมบัติในการนำความร้อนของอาหาร ปัจจัยภายนอก คือ ระบบการแช่เยือกแข็ง ได้แก่ อุณหภูมิการถ่ายเทความร้อนของตัวกลางและสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของตัวกลาง การแช่เยือกแข็งเป็นการทำให้อุณหภูมิของอาหารลดต่ำลงอย่างมาก เพื่อให้ น้ำที่มีอยู่ในอาหารกลายเป็นผลึกน้ำแข็ง การกำจัดความร้อนจากอาหาร ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนคือ Nucleation phase และ Crystal growth phase (กมลทิพย์, 2542)

ปัจจัยสำคัญที่จะลดขนาดของผลึกคือ อัตราการดึงความร้อนออกจากอาหาร ซึ่งหากเป็นไปอย่างรวดเร็วจะเกิดผลึกน้ำแข็งที่มีขนาดเล็ก ดังนั้นสามารถแบ่งกระบวนการแช่เยือกแข็งตามอัตราของการแช่เยือกแข็งได้ 2 วิธี (กมลทิพย์, 2542)

8.1 การแช่เยือกแข็งแบบช้า

การแช่เยือกแข็งแบบนี้ทำโดยการเก็บอาหารไว้ในห้องแช่เยือกแข็ง ที่มีการรักษาอุณหภูมิไว้ที่ -18 องศาเซลเซียส ถึง -40 องศาเซลเซียส โดยมีการถ่ายเทความร้อนแบบพาความร้อนใช้เวลา 12-72 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดการแช่เยือกแข็งอย่างสมบูรณ์ การแช่เยือกแข็งแบบนี้ทำให้น้ำในอาหารส่วนใหญ่ออกมานอกเซลล์ของเนื้อเยื่อเกิดเป็นผลึกขนาดใหญ่ เมื่อนำมาละลายจะมีของเหลวออกมาภายนอกในปริมาณมาก ทำให้สูญเสียโปรตีนที่ละลายน้ำ และสารอาหารอื่นๆ รวมทั้งสารให้กลิ่นรส นอกจากนี้ของเหลวที่ออกมาภายนอกจะเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่เบียดเซลล์เนื้อเยื่อในอาหาร ทำให้เซลล์ถูกขาด เนื้อสัมผัสอาหารจึงเปลี่ยนแปลงไป (กมลทิพย์, 2542)

8.2 การแช่เยือกแข็งแบบเร็ว

การแช่เยือกแข็งแบบเร็วจะมีหลายวิธีด้วยกันซึ่งแต่ละวิธีจะใช้ระยะเวลาและอุณหภูมิที่แตกต่างกัน เช่น การแช่เยือกแข็งโดยใช้ไนโตรเจนเหลว ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แอมโมเนีย เป็นต้น แต่ปัจจุบันใช้ในโตรเจนเหลวเนื่องจากจะช่วยลดการสูญเสียความชื้น ลดการเสียหายด้านเนื้อ

สัมพัทธ์ของผลิตภัณฑ์ การแช่เยือกแข็งแบบนี้เหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูงเน้นเรื่องคุณภาพ ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในรูป IQF (Individual Quick Frozen) (กมลทิพย์, 2542)

การแช่เยือกแข็งอย่างรวดเร็วจะทำให้ไม่เกิดผลึกขนาดเล็ก ซึ่งไม่ทำให้เกิดความเสียหายกับเนื้อเยื่อของอาหาร ในขณะที่การแช่เยือกแข็งแบบช้าจะทำให้เกิดผลึกที่มีขนาดใหญ่ที่แทงเนื้อเยื่อของอาหาร และสูญเสียน้ำออกจากอาหารหลังนำไปคั้นรูป และเมื่อพิจารณาจากวิธีการแช่เยือกแข็งพบว่า เครื่องแช่เยือกแข็งแบบรวดเร็วด้วยไนโตรเจนเหลว (cryogenic freezer) จะมีสัมประสิทธิ์ในการดึงความร้อนออกจากผิวหน้าอาหารได้ดีที่สุด (100-140 วัตต์ต่อตารางเมตร. องศาเซลวิน) รองลงมาคือ เครื่องฟลูอิดไคซ์-เบดแบบเย็นเยือกแข็ง (fluidized-bed freezer) และเครื่องแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสพื้นผิวเย็นเยือกแข็ง (contact plate freezer) (80-120 และ 50-120 วัตต์ต่อตารางเมตร. องศาเซลวิน ตามลำดับ) เครื่องแช่เยือกแข็งด้วยอากาศประเภทอุโมงค์ (tunnel freezer) จะมีสัมประสิทธิ์ในการดึงความร้อนออกจากผิวหน้าอาหารลดต่ำลงมา และเครื่องแช่เยือกแข็งด้วยอากาศประเภทลมเป่าเย็นเยือกแข็ง (air blast freezer) ซึ่งมีความเร็วลมประมาณ 2.5-5 เมตร/วินาที จะมีสัมประสิทธิ์ในการดึงความร้อนออกจากผิวหน้าอาหารต่ำที่สุด (17-30 วัตต์ต่อตารางเมตร. องศาเซลวิน) ซึ่งวิธีการแช่เยือกแข็งที่มีสัมประสิทธิ์ในการดึงความร้อนออกจากผิวหน้าอาหารสูงจะแช่เยือกแข็งอาหารได้อย่างรวดเร็ว และเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กในอาหาร (กมลทิพย์, 2542)

การแช่เยือกแข็งแบบไครโอจีนิก (cryogenic Freezing) เป็นการแช่เยือกแข็งที่มีอัตราเร็วสูงสุดจัดอยู่ในขั้น ultra rapid freezing rate ทำได้โดยการนำเอาสิ่งที่ต้องการแช่เยือกแข็งโดยไม่มีการหุ้มห่อหรืออาจจะหุ้มห่อด้วยวัสดุชนิดบางจุ่มลงใน Cryogen ที่เย็นจัดกำลังมีการเปลี่ยนแปลงสถานะ ซึ่งสามารถดึงความร้อนออกจากผลิตภัณฑ์ โดยการแช่เยือกแข็งวิธีนี้จะเข้าไปในระหว่างการเปลี่ยนแปลงสถานะของ Cryogen จึงเป็นจุดที่ต่างจากวิธีการแช่เยือกแข็งแบบจุ่มในของเหลวเย็นจัด (liquid immersion freezing) สาร Cryogen ที่นิยมใช้กับอาหารคือ ไนโตรเจนเหลว (liquid nitrogen- LN) (สายสนม, 2546)

ไนโตรเจนเหลว เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแยกออกจากอากาศและเป็นผลผลิตพลอยได้จากการผลิตออกซิเจนเหลว ซึ่งมักจะเก็บไว้ในถังที่ทนความดันได้ 2 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรที่ความดันสัมบูรณ์ (absolute pressure) ซึ่งจะมีอุณหภูมิ -189 องศาเซลเซียส ไนโตรเจนเหลว ที่ความดันปกติจะระเหยเป็นไอและจะมีอุณหภูมิ -195 องศาเซลเซียส และมีความ

ร้อนแฝง 47.6 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ซึ่งมีค่าค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับ freezant บางชนิด แต่ก็ได้ประโยชน์ในแง่อุณหภูมิต่ำมาก (สายสนม, 2546)

เครื่องแช่เยือกแข็งที่ใช้ในโตรเจนเหลว มีได้ทั้งแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง สำหรับเครื่องแบบต่อเนื่อง อาหารที่จะแช่เยือกแข็งถูกส่งเข้าเครื่องด้วยสายพานที่เคลื่อนที่สวนทิศทางกับไอของไนโตรเจน ซึ่งถูกลมเป่าลงสัมผัสกับอาหารนั้นร่วมกับการพ่นไนโตรเจนเหลวลงไปสัมผัสโดยตรง อัตราการแช่เยือกแข็งแบบไนโตรเจนเหลวนับว่าเป็นการแช่เยือกแข็งอย่างรวดเร็วมาก (สายสนม, 2546)

9. อาหารพร้อมบริโภคแช่เยือกแข็ง

อาหารพร้อมบริโภคแช่เยือกแข็งมีชื่อเรียกหลายชื่อเช่น precooked food, TV dinner, Ready-to eat เป็นต้น เป็นลักษณะอาหารที่ผ่านการปรุงเรียบร้อยแล้วที่จะบริโภคได้ทันทีผ่านการแช่เยือกแข็งเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหารให้ยาวนานขึ้น และบรรจุลงในภาชนะที่เป็นกล่องกระดาษเคลือบด้วยพอลิเอทิลีน (polyethylene) เนื่องจากกล่องกระดาษประเภทนี้สามารถป้องกันความชื้นได้ดี และสามารถนำผลิตภัณฑ์ไปอบในเตาไมโครเวฟ เพื่อทำการอุ่นอาหารได้ (สายสนม, 2546)

10. ความคงตัวต่อการแช่เยือกแข็งและการคืนรูปจากเยือกแข็ง

ความคงตัวต่อการแช่เยือกแข็งของอาหารพบว่าอาหารยังคงมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneous) เมื่อทำการแช่เยือกแข็งโดยไม่มีลักษณะเป็นก้อน (lumpy) เป็นเม็ด (grainy) หรือมีลักษณะคล้ายฟองน้ำ (spongy) และปราศจากของเหลวแยกตัวออกมา (syneresis) ในอาหารแช่เยือกแข็งส่วนใหญ่จะเกิดการแช่เยือกแข็งและละลายสลับกันหลายครั้ง อาจเกิดเป็นรอบสั้นๆ ในระหว่างการเก็บรักษาหรือขนส่ง การละลายอาจไม่ได้เกิดอย่างสมบูรณ์ทั้งหมดโดยอาจเกิดเป็นจุดๆ เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยน ในระหว่างการแช่เยือกแข็ง น้ำในระบบที่มีสตาร์ชผสมกับน้ำ ส่วนผสมของน้ำจะกลายเป็นน้ำแข็ง ทำให้สตาร์ชเข้มข้นขึ้นซึ่งช่วยเร่งการเกาะกัน (association) ของสายโมเลกุลสตาร์ช การเกาะกันอาจเกิดอย่างถาวรหรือผันกลับได้ ถ้าสายโมเลกุลส่วนมากที่เกาะกันอยู่แสดงคุณสมบัติที่ผันกลับได้ แสดงว่าสตาร์ชมีความคงทนต่อการแช่เยือกแข็งและมีความคงทนต่อการละลาย (พินทิพย์, 2547) การเกาะกันของสายโมเลกุลขึ้นกับพีเอชปริมาณน้ำหรือค่าวอเตอร์แอกทิวิตี

(water activity) ความแรงของไอออน (ionic strength) โครงรูป (conformation) หรือโครงสร้างของสายโมเลกุล รวมถึงการมีองค์ประกอบอื่นๆ เข้ามาเกี่ยวข้อง การแช่เยือกแข็งและการละลายหลายๆ ครั้งเป็นการทำลายเนื้อสัมผัส เนื่องจากการขยายขนาดของผลึกน้ำแข็ง (พิณทิพย์, 2547) สตาร์ชที่ประกอบด้วยแอมิโลเพกทินเกือบทั้งหมด มีความคงตัวต่อการแช่เยือกแข็งและการละลายมากกว่า สตาร์ชที่มีแอมิโลสเป็นองค์ประกอบ เนื่องจากคุณสมบัติของโมเลกุลแอมิโลเพกทินที่มีกิ่งก้านมาก แต่ถึงอย่างไรก็ตามจะเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงของเนื้อสัมผัสหลังการแช่เยือกแข็งและการละลาย (พิณทิพย์, 2547)

เมื่อเจลของแป้งถูกนำไปแช่เยือกแข็ง จะทำให้เกิดผลึกของน้ำแข็ง และเกิดการรวมกันของแป้งที่เข้มข้นขึ้น ส่งผลให้โมเลกุลของแป้งที่ถูกนำไปคืนรูปจากเยือกแข็งเกิดรีโทรเกรเดชันได้มากขึ้น (Yuan and Thompson, 1998; Varavinit *et al.*, 2000) กลไกการเกิดรีโทรเกรเดชันของสตาร์ชเกิดจากการเกาะเกี่ยวกันด้วยพันธะไฮโดรเจนของโมเลกุลแอมิโลส และแอมิโลเพกทิน ในช่วงแรกโมเลกุลของแอมิโลสอาจเกาะเกี่ยวกันเองภายในโมเลกุลแอมิโลส ระหว่างคาร์บอนตำแหน่งที่ 6 ของน้ำตาลกลูโคสลำดับหนึ่ง กับออกซิเจนของน้ำตาลกลูโคสลำดับต่อไป และเกาะเกี่ยวกันระหว่างโมเลกุลกลูโคสที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 ของโมเลกุลแอมิโลเพกทิน ในส่วนที่เป็นโมเลกุลสายสั้นของโครงสร้างสตาร์ชเกิดเป็นโครงร่างตาข่าย (Tako and Hizuburi, 2000) การคืนรูปจากเยือกแข็งเป็นรอบอย่างต่อเนื่อง จะมีผลให้น้ำแยกตัวออกจากสตาร์ชมากขึ้น ซึ่งทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ยึดติดกับส่วนที่คล้ายกับฟองน้ำ และแป้งมีการเกาะตัวกันหยาบๆ ในโครงร่างตาข่าย ในช่วงการคืนรูปพบว่าน้ำจะถูกบีบให้ออกจากโครงร่างตาข่ายได้ง่าย เกิดสภาวะที่เรียกว่า Syneresis (Yuan and Thompson, 1998) การทดสอบความคงตัวต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งของเจลแป้งสามารถทำได้โดยการวัดปริมาณของเหลวที่แยกออกจากเจลภายหลังการคืนรูป (Wu and Seib, 1990)

การเกิดรีโทรเกรเดชันเป็นกระบวนการเกิดผลึกของแอมิโลสและแอมิโลเพกทิน โดยที่แอมิโลสสามารถเกิดรีโทรเกรเดชันในอัตราที่เร็วกว่า โดยอัตราเร็วและปริมาณการเกิดขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ อัตราส่วนของแอมิโลสต่อแอมิโลเพกทิน อุณหภูมิ ความเข้มข้นของสตาร์ช วิธีการแปรรูป (เวลา อุณหภูมิ และแรงกระทำ) และการเติมสารประกอบอื่นซึ่งการเกิดรีโทรเกรเดชันของสตาร์ชมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เช่น ทำให้เกิดความแน่นแข็ง ผิวหน้าแห้ง ผลิตภัณฑ์มีสีขาวขุ่น เป็นต้น ทำให้ผลิตภัณฑ์สูญเสียคุณภาพ ดังนั้นการเร่งการเกิดรีโทรเกรเดชันของสตาร์ชเป็นวิธีการที่ใช้ประเมินการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ และสามารถหาวิธีป้องกันการเสื่อมเสียที่

เกิดขึ้น ความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็ง (Freeze-thaw stability) เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ตรวจสอบความคงทนของสตาร์ช หรือผลิตภัณฑ์ที่มีสตาร์ชเป็นองค์ประกอบเมื่อผ่านการคืนรูปจากเยือกแข็ง ซึ่งสามารถประเมินการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์อาหารแช่เยือกแข็งในระหว่างการขนส่งและการเก็บรักษา เพื่อให้ผลิตภัณฑ์เป็นที่ต้องการของผู้บริโภคมากที่สุด (กมลทิพย์, 2542) ซึ่งในปี 1997 Jacobson *et al.* ได้ตรวจสอบความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งของสตาร์ชต่างๆ โดยใช้ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) พบว่าสตาร์ชจากแหล่งต่างๆ มีอัตราการเกิดริโทรเกรเดชันจากมากไปน้อย ตามลำดับดังนี้ สตาร์ชมันฝรั่ง สตาร์ชข้าวโพดทางการค้า ข้าวสาลี ข้าว มันสำปะหลัง และสตาร์ชข้าวโพดข้าวเหนียว (WMS) ในปี 1998 Yuan and Thompson ได้ตรวจสอบการแยกตัวของน้ำออกจากสตาร์ชข้าวเจ้า (แอมิโลสร้อยละ 16.9) และสตาร์ชข้าวเหนียว (แอมิโลสร้อยละ 3.2) มีความเข้มข้นร้อยละ 8 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) เมื่อผ่านการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชั่วโมง และคืนรูปที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง จำนวน 4 ครั้ง พบว่า มีการแยกตัวของน้ำร้อยละ 1.3-10.0 และ 45.6-69.5 ในเจลสตาร์ชข้าวเหนียวและข้าวเจ้า ตามลำดับ โดยที่เจลสตาร์ชข้าวเจ้ามีการเกิดริโทรเกรเดชันมากกว่าเจลสตาร์ชข้าวเหนียว ในปี 1998 Baker and Rayas-Duarte ได้ตรวจสอบความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งเจลสตาร์ชของอะมาแรนธ์ (amaranth) ข้าวโพด ข้าวสาลี และข้าว เป็นจำนวน 10 ครั้ง และวัดอัตราการแยกตัวของน้ำออกจากเจล พบว่าเจลสตาร์ชของอะมาแรนธ์จะมีอัตราการแยกตัวของน้ำเมื่อไม่ผ่านการคืนรูปจนถึงการคืนรูปครั้งที่ 2 น้อยกว่าเจลสตาร์ชข้าวโพด ข้าวสาลี และข้าว โดยที่สตาร์ชข้าวสาลีและข้าวมีอัตราการแยกตัวของน้ำสูงมากและในการคืนรูปครั้งที่ 4-10 พบว่าอัตราการแยกตัวของน้ำลดลงโดยที่เจลสตาร์ชของอะมาแรนธ์ มีอัตราการแยกน้ำมากที่สุด ในขณะที่เจลสตาร์ชของข้าวและข้าวสาลีมีอัตราการแยกตัวของน้ำเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย และเมื่อตรวจสอบการเกิดริโทรเกรเดชันด้วย DSC พบว่า พลังงานเอนทัลปีในการสลายพันธะการเกิดริโทรเกรเดชันเท่ากับ 9.9, 19.2, 18.2 และ 22.6 จูลต่อกรัม ในเจลสตาร์ชของอะมาแรนธ์ ข้าวโพด ข้าวสาลี และข้าว ตามลำดับ โดยที่เจลสตาร์ชข้าวมีอัตราการเกิดริโทรเกรเดชันในช่วงไม่ผ่านการคืนรูปจนถึงการคืนรูปครั้งที่ 2 เร็วกว่าสตาร์ชชนิดอื่นแต่หลังจากนั้นอัตราเร็วลดลง และในปี 1990 Seib and Wu ได้ตรวจสอบผลการคืนรูปจากเยือกแข็งของเจลสตาร์ชสาธูและสตาร์ชมันฝรั่ง เมื่อแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 22 ชั่วโมง คืนรูปที่อุณหภูมิ 30, 60, 90 องศาเซลเซียส และในไมโครเวฟ จำนวน 5 ครั้ง และวัดการแยกตัวของน้ำออกจากเจล พบว่าการคืนรูปที่อุณหภูมิสูง มีร้อยละการแยกตัวของน้ำต่ำกว่าการคืนรูปที่อุณหภูมิต่ำ และเมื่อแช่เยือกแข็งแบบรวดเร็วด้วยไนโตรเจนเหลว (Cryogenic Quick Freezing) และคืนรูปที่อุณหภูมิ 30, 60, 90 องศาเซลเซียส และไมโครเวฟ พบว่าเจลสตาร์ชมันสำปะหลังตรวจไม่พบการแยกตัวของน้ำ แต่เจลสตาร์ชสาธูยังมีการ

แยกตัวของน้ำแต่ต่ำกว่าการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส ดังนั้นการแช่เยือกแข็งแบบช้า (-18 องศาเซลเซียส) มีการแยกตัวของน้ำมากกว่าการแช่เยือกแข็งแบบรวดเร็วด้วยไนโตรเจนเหลว (Seib and Wu, 1990)

การคืนรูปเป็นกระบวนการให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ผลึกน้ำแข็งของอาหารละลาย และกลับสู่สภาพเดิม ก่อนที่จะนำผลิตภัณฑ์ไปบริโภคหรือแปรรูปต่อไป ผลิตภัณฑ์อาหารแช่เยือกแข็งเหมาะที่จะนำมาคืนรูปด้วยวิธีการแช่ในอ่างน้ำร้อน อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส การต้มในภาชนะบรรจุประเภท Boil in bag และใช้เตาไมโครเวฟจะให้ลักษณะและคุณภาพข้าวที่ดี (กมลทิพย์, 2542)

11. ผลของการเกิดรีโทรเกรเดชันต่อคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์

การเกิดรีโทรเกรเดชันเป็นการเปลี่ยนแปลงของสตาร์ชที่เกิดการเจลาทิไนเซชันแล้ว คือในส่วนของอสัณฐานจะมีการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบมากขึ้นหรือจัดเรียงกันเป็นผลึก โดยมีสาเหตุมาจากความไม่สมดุลของระบบเทอร์โมไดนามิกส์ และส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางรีโอโลยี (rheology) ให้ความแน่นเนื้อ (firmness) หรือความแข็ง (rigidity) เพิ่มขึ้น มีการสูญเสียความสามารถในการกักเก็บน้ำ และเกิดสภาพที่เป็นผลึกอีกครั้งหนึ่ง โดยการเปลี่ยนแปลงจะเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเก็บนานขึ้น (Eliasson and Gudmundsson, 1996) รีโทรเกรเดชันของสตาร์ชที่เกิดเจลาทิไนซ์แล้ว มีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการจัดเรียงตัวใหม่อีกครั้งของทั้งแอมิโลสและแอมิโลเพกทิน ซึ่งแอมิโลสมีอัตราการเกิดรีโทรเกรเดชันได้เร็วกว่าแอมิโลเพกทินมาก (Jacobson *et al.*, 1997)

ดังนั้นคำว่ารีโทรเกรเดชันจึงใช้อธิบายการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น หลังจากการลดอุณหภูมิลงและในช่วงการเก็บรักษาสตาร์ชที่เกิดการเจลาทิไนซ์แล้ว (Fredriksson *et al.*, 1998) ซึ่งการจัดเรียงโครงสร้างของเจลาสตาร์ชในช่วงเวลาสั้นๆ หลังจากการลดอุณหภูมินั้น เป็นลักษณะของการเกิดเจล และการยึดเกาะกันของส่วนแอมิโลส การเปลี่ยนแปลงระยะยาวของรีโทรเกรเดชันที่เกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาเจลาสตาร์ช เกิดจากการเรียงตัวใหม่เป็นโครงสร้างผลึกอีกครั้งของส่วนแอมิโลเพกทินภายในสตาร์ชเม็ดสตาร์ช และเป็นส่วนสำคัญที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางรีโอโลยี (rheology) และโครงสร้างของเจล (Gudmundsson, 1994)

Vandeputte *et al.* (2003) ได้นำวิธีการวัดสมบัติด้านเนื้อสัมผัสมาศึกษาการเกิดรีโทรเกรเดชันของเจลสตาร์ชข้าว และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างของสตาร์ชกับลักษณะเนื้อสัมผัสของเจลพบว่า ปริมาณแอมิโลสทั้ง absolute amylose และ free amylose มีผลทำให้ความแน่นเนื้อ และค่าแรงหลังจาก relaxation ของเจลสูงขึ้น แต่ค่าความยืดหยุ่นของเจลมีค่าลดลง ส่วนผลของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสกับลิพิดและลักษณะการกระจายตัวของความยาวสายกิ่งในแอมิโลเพกทิน พบว่าไม่มีความสัมพันธ์กับสมบัติทางด้านเนื้อสัมผัส และจากงานวิจัยของ Wang and Wang (2002) พบว่าความแข็งแรงของเจลสตาร์ชข้าวเหนียวเพิ่มขึ้นเมื่อโครงสร้างแอมิโลเพกทินมีปริมาณสายโซ่ A และ B1 สูงขึ้น

12. คุณสมบัติด้านประสาทสัมผัส

คุณสมบัติทางประสาทสัมผัส มีความสัมพันธ์โดยตรงกับคุณภาพการหุงต้ม เพื่อให้ได้เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ตามคุณภาพการรับประทานของผู้บริโภค ซึ่งจะรับรู้ขณะรับประทาน ดังนั้นการตรวจสอบที่ตรงประเด็นที่สุดคือ การตรวจสอบโดยประสาทสัมผัส (sensory evaluation) ของผู้ชิมหรือผู้บริโภค 30-100 คน และจำนวนตัวอย่างที่ให้ชิมในเวลาเดียวกันประมาณ 3-20 ตัวอย่าง การเตรียมตัวอย่างขึ้นอยู่กับลักษณะเนื้อสัมผัสที่กลุ่มผู้ชิมหรือผู้บริโภคคุ้นเคย ลักษณะของผลิตภัณฑ์อาหารเส้นที่ให้ผู้ชิมประเมินคือ สี (color) ลักษณะปรากฏ (appearance) ความเหนียว (stickiness) ความแข็ง (hardness) และความชอบโดยรวม (acceptance) โดยให้คะแนนในช่วง 1 ถึง 9 (Inglett *et al.*, 2005)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัสดุและอุปกรณ์ (Materials and Equipments)

1.1 วัตถุดิบและสารเคมีในการผลิตบะหมี่

1.1.1 ข้าวเจ้าสายพันธุ์ชัยนาท 1, ข้าวเจ้าสายพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และข้าวเหนียวสายพันธุ์กข6

1.1.2 แป้งสาลีอเนกประสงค์ตราว่าว

1.1.3 โซเดียมคาร์บอเนต

1.1.4 น้ำเปล่า

1.1.5 ถุงพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีน

1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ผลิตแป้งคัดแปรทางฟิสิกส์และผลิตบะหมี่

1.2.1 เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ (drum dryer)

1.2.2 เครื่องโม่เปียก

1.2.3 ตู้อบลมร้อนแบบถาด (Tray dryer) รุ่น BWS บริษัท B.W.S. Trading, Ltd.

(Partnership) ประเทศไทย

1.2.4 เครื่องบดแป้ง Hammer mill รุ่น AP-S บริษัท Hosokawa Micron Corp.

ประเทศญี่ปุ่น

1.2.5 ตะแกรงร่อน บริษัท Laboratory Test Sieve Endecotts, Ltd. ประเทศอังกฤษ

1.2.6 อุปกรณ์เครื่องครัว

1.2.7 ถาด

1.2.8 เครื่องรีดและตัดเส้นบะหมี่ (Marcato รุ่น Atlas 150, ประเทศอิตาลี)

1.2.9 เครื่องผสมแป้ง (Kitchen Aid)

1.2.10 เครื่องแช่เยือกแข็งระบบเย็นยวดยิ่ง

1.2.11 ตู้แช่เยือกแข็ง

1.3 อุปกรณ์วิเคราะห์คุณภาพทางฟิสิกส์

1.3.1 เครื่องวัดสี (Minolta: CM-3500d, Minolta Corp.) ประเทศญี่ปุ่น

1.3.2 เครื่องวัดค่าเทอร์โมคอนสแตนท์ยี่ห้อ Thermoconstanter รุ่น TH 200 บริษัท Novarsium Ltd. ประเทศสวิตเซอร์แลนด์

1.3.3 เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส ยี่ห้อ Lloyd รุ่น TA 500 บริษัท Intro Enterprise Co., Ltd. ประเทศอังกฤษ

1.3.4 ชุดวิเคราะห์อัตราการคืนตัวและปริมาณของแข็งที่สูญเสียไปในระหว่างการต้มเส้น

1.3.5 ไมโครมิเตอร์

1.3.6 เครื่องวัดความหนืดอย่างรวดเร็ว (Rapid Visco Analyzer) รุ่น 4D บริษัท Newport Scientific ประเทศออสเตรเลีย

1.3.7 ชุดวิเคราะห์หาปริมาณการดูดน้ำและการละลายน้ำของแป้ง

1.3.8 ชุดวิเคราะห์หาปริมาณความคงตัวของแป้งสุก

1.3.9 เครื่องไมโครเซนตริฟิวจ์

1.4 อุปกรณ์วิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

1.4.1 เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง (Ohaus Analytical Plus SPB31, Ohaus Corp., ประเทศสหรัฐอเมริกา)

1.4.2 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

1.4.3 เครื่องวิเคราะห์ลิพิด์ (Soxtec System HT6 ประเทศอังกฤษ)

1.4.4 เครื่องเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแบบควบคุมอุณหภูมิ (Refrigerate Centrifuge, himac CR20B2, ประเทศญี่ปุ่น)

1.4.5 เครื่องวิเคราะห์โปรตีนแบบ Kjeldahl (Buchi 435: digestion unit, Buchi B-316: distillation unit, ประเทศสวิตเซอร์แลนด์)

1.4.6 ชุดวิเคราะห์ปริมาณแอมิโลส

1.4.7 เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-เบส (pH meter) ยี่ห้อ Jenway รุ่น 3320 บริษัท Jenway Ltd. ประเทศอังกฤษ

1.4.8 สเปกโตรโฟโตมิเตอร์(Spectrophotometer) ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น UV-160A ประเทศญี่ปุ่น

1.4.9 เตาเผาหาเต้า (Muffle Furnace, Gallenkamp-FSE-621 series, ประเทศอังกฤษ)

1.5 สารเคมีในการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบทางเคมี

1.5.1 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์โปรตีนได้แก่ โปแทสเซียมซัลเฟต คอปเปอร์ซัลเฟต กรดซัลฟูริกเข้มข้น โซเดียมไฮดรอกไซด์ กรดบอริกเข้มข้น

1.5.2 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ลิพิดได้แก่ ปีโตรเลียมอีเทอร์

1.5.3 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์แอมิโลสได้แก่ เอทิลแอลกอฮอล์ 95% โซเดียมไฮดรอกไซด์ กรดแอซติก แอมิโลสบริสุทธิ์จากมันฝรั่ง (Sigma, USA) ไอโอดีน โปแตสเซียมไอโอไดด์

1.6 อุปกรณ์วิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

1.6.1 อุปกรณ์ทดสอบ

1.6.2 แบบสอบถามและแบบทดสอบ

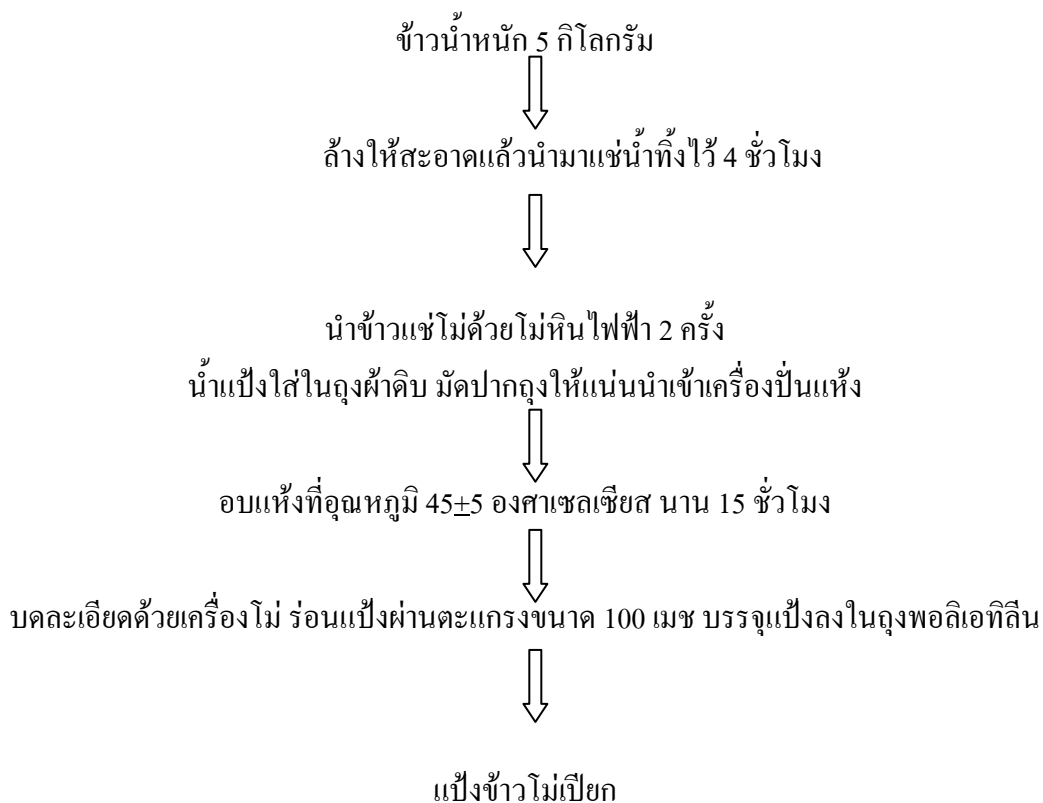
วิธีการ

1. เตรียมวัตถุดิบ

1.1 การเตรียมแป้งข้าวเจ้าโมเปียก (คัดแปลงจากวิธีการของ อรพรรณ, 2547)

นำข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1, ข้าวหอมมะลิ 105 และข้าวเหนียว กข6 จำนวน 5 กิโลกรัม การเตรียมแป้งข้าวเจ้าโมเปียกใช้ข้าวทั้งสามสายพันธุ์ ล้างให้สะอาดแล้วนำมาแช่น้ำทิ้งไว้ 4 ชั่วโมง นำข้าวไปโม่ด้วยโม่หินไฟฟ้า 2 ครั้ง นำแป้งที่ได้จากการโม่ใส่ในถุงผ้าดิบ มัดปากถุงให้แน่นนำเข้าเครื่องปั่นแห้ง หลังจากนั้นนำแป้งที่ผ่านเครื่องปั่นแห้งมาบิดให้เป็นก้อนเล็กๆ เกลี่ยให้กระจายใน ถาด จากนั้นนำไปอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิ 45 ± 5 องศาเซลเซียส นาน 15 ชั่วโมง บดละเอียดด้วย เครื่องโม่ ร่อนแป้งผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช บรรจุแป้งลงในถุงพอลิเอทิลีน

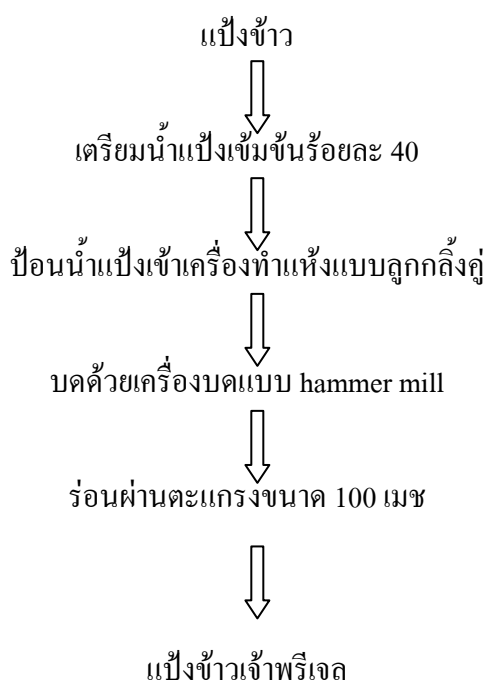
1.1.1 การผลิตแป้งข้าวเจ้าตามวิธีการโม่เปียก



1.2 การผลิตแป้งข้าวเจ้าพรีเจลาทีไนซ์จากเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (ดัดแปลงจากวิธีการของสายสนม, 2534)

ในการทดลองนี้ใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ โดยใช้สภาวะการผลิตเริ่มต้นในการผลิตแป้งพรีเจลาทีไนซ์แป้งข้าวทั้ง 3 สายพันธุ์ ความเข้มข้นร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก ความดันไอน้ำเริ่มต้น 40 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ความเร็วรอบของลูกกลิ้ง 0.25 รอบต่อนาที ปรับช่องว่างระหว่างลูกกลิ้ง 3 ระดับคือ 0.01, 0.015 และ 0.02 นิ้ว และทดลองผันแปรความดันไอน้ำต่ำลงคือที่ 10, 20, 30 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ตรวจสอบลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ที่ได้

1.2.1 กระบวนการผลิตแป้งข้าวเจ้าพรีเจลาทีไนซ์จากการทำแห้งแบบลูกกลิ้ง



1.2.2 การดัดแปรแป้งด้วยวิธีความร้อนร่วมกับความชื้น (heat moisture treatment, HMT) (ดัดแปลงจากวิธีการของ Hoover and Manuel, 1996a; Gunaratne and Hoover, 2002)

นำแป้งข้าวทั้ง 3 สายพันธุ์ มาปรับความชื้นของแป้งให้มีระดับความชื้นร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก จากนั้นให้ความร้อนกับแป้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง

นำแป้งออกจากตู้อบ ปรับความชื้นแป้งให้ได้ร้อยละ 10 ± 0.5 ร่อนแป้งผ่านตะแกรงร่อนขนาด 100 เมช เก็บในภาชนะปิดสนิทเพื่อตรวจสอบคุณสมบัติต่างๆ ต่อไป

1.3 วิเคราะห์สมบัติของแป้งข้าว แป้งสาลี และแป้งคัดแปรทางฟิสิกส์

1.3.1 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ (Proximate Analysis)

นำแป้งข้าว และแป้งสาลี มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีได้แก่

1.3.1.1 วิเคราะห์หาปริมาณความชื้น ตามวิธี AACC (2000)

1.3.1.2 วิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน ตามวิธี AACC (2000)

1.3.1.3 วิเคราะห์หาปริมาณลิพิด ตามวิธี AACC (2000)

1.3.1.4 วิเคราะห์หาปริมาณเถ้า ตามวิธี AACC (2000)

1.3.1.5 วิเคราะห์หาคาร์โบไฮเดรต ตามวิธี AACC (2000)

1.3.1.6 วิเคราะห์ปริมาณแอมิโลส ตามวิธีของ สุนันทา (2542)

1.3.2 ตรวจสอบกำลังการพองตัว และความสามารถในการละลายของแป้งข้าวและแป้งคัดแปรทางฟิสิกส์ (ดัดแปลงจากวิธีของ Schoch, 1964; Bhattachara *et al.*, 1999; Yoenyongbuddhagal and Noomhorm, 2002a)

ชั่งแป้ง 0.5 กรัม เติมน้ำกลั่น 15 มิลลิลิตร กวนให้เข้ากัน ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 55, 65, 75, และ 85 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที นำหลอดไปเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 2,200 รอบต่อนาที นาน 15 นาที แยกส่วนใสออกจากหลอดเหวี่ยง นำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ชั่งน้ำหนักเพื่อหาเปอร์เซ็นต์การละลาย ส่วนหลอดเหวี่ยงที่มีตะกอนอยู่นำมาชั่งน้ำหนัก เพื่อหาน้ำหนักสตาร์ชที่พองตัว

1.3.3 ตรวจสอบรูปร่างลักษณะของเม็ดสตาร์ชในแป้งด้วยการส่องกล้องจุลทรรศน์
ธรรมดา (ดัดแปลงจากวิธีการของ Rani and Bhattacharya, 1995)

เตรียมสารละลายระหว่างกลีเซอรินกับน้ำ ในอัตราส่วน 1:1 หยดลงบนแผ่น
สไลด์ แล้วนำแป้งตัวอย่างเล็กน้อยใส่ลงในหยดสารละลายนั้น ส่องดูเม็ดสตาร์ชในแป้งด้วยกล้อง
จุลทรรศน์ โดยใช้กำลังขยาย 400 เท่า

1.3.4 ตรวจวัดค่าสี (ดัดแปลงจากวิธีการของ Hsu *et al.*, 2003)

ตรวจวัดค่าสีของแป้งโดยใช้เครื่องวัดสี (Minolta: CM-3500d, Minolta Corp) วัด
ค่าสี L^* , a^* , และ b^*

1.3.5 ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวและแป้งข้าวคัดแปร
ทางฟิสิกส์ (AACC, 2000)

ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งด้วยเครื่องวิเคราะห์ความหนืด
อย่างรวดเร็ว (Rapid Visco Analyser) ทำตามวิธี AACC Method 61-02 (AACC, 2000)

1.3.6 ตรวจสอบความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งของแป้งข้าวและแป้งคัดแปร
ทางฟิสิกส์ (ดัดแปลงจากวิธีการของ Yuan and Thomson, 1998)

เตรียมสารละลายน้ำแป้งร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ให้ความร้อนในอ่างน้ำควบคุม
ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส บรรจุของเหลวขึ้นในหลอดหมุนเหวี่ยงประมาณ 1 มิลลิลิตร ทิ้งให้เย็น
แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง นำมาคืนรูปจากเยือกแข็งในอ่างน้ำ
ควบคุมอุณหภูมิที่ 35 องศาเซลเซียส นำมาเหวี่ยงแยกด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง (Micro centrifuge)
ความเร็วรอบ 8,000 รอบต่อนาที นาน 10 นาที คำนวณหาเป็นร้อยละการแยกน้ำเมื่อผ่านการแช่
เยือกแข็ง และคืนรูปจากเยือกแข็ง 1 รอบ สำหรับการตรวจสอบในรอบที่ 2 ถึง 5 ให้นำเจลที่คืนรูป
จากเยือกแข็งไปแช่เยือกแข็งอีกครั้งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส ก่อนนำมาตรวจสอบเช่นเดียวกัน
ทุก 23 ชั่วโมง

$$\text{ร้อยละการแยกน้ำออก (syneresis)} = \frac{\text{น้ำหนักน้ำที่แยกออก}}{\text{น้ำหนักเจล}} \times 100$$

1.4 การทดลองผลิตบะหมี่จากแป้งข้าวและแป้งสาลี (ดัดแปลงจากวิธีการของ ปรีศนาและกมลพรรณ, 2545)

นำแป้ง 100 กรัม ผสมส่วนผสมโซเดียมคาร์บอเนต 1.5 กรัม เกลือ 1.5 กรัม น้ำมัน 1.5 กรัม นำตามอัตราส่วนที่กำหนด นวดผสมแป้งให้เข้ากัน แล้วค่อยๆเทส่วนผสมของน้ำที่ละลายโซเดียมคาร์บอเนตและเกลือลงไปแล้วเทน้ำมันลงไป ผสมให้เข้ากันประมาณ 5-10 นาที จนได้ก้อนโดที่เรียบเนียน นำก้อนโดใส่ถุงพลาสติก พักทิ้งไว้ประมาณ 20 นาที แล้วนำมาผ่านเครื่องอัด รีดให้เป็นแผ่นบางประมาณ 1 มิลลิเมตร และตัดเป็นเส้นขนาด 1.5 มิลลิเมตร แล้วนำเข้าอบให้แห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง บันทึกลักษณะปรากฏของโด ความเรียบเนียนของแผ่นแป้ง ความแข็งแรงและความเรียบของเส้นดิบ

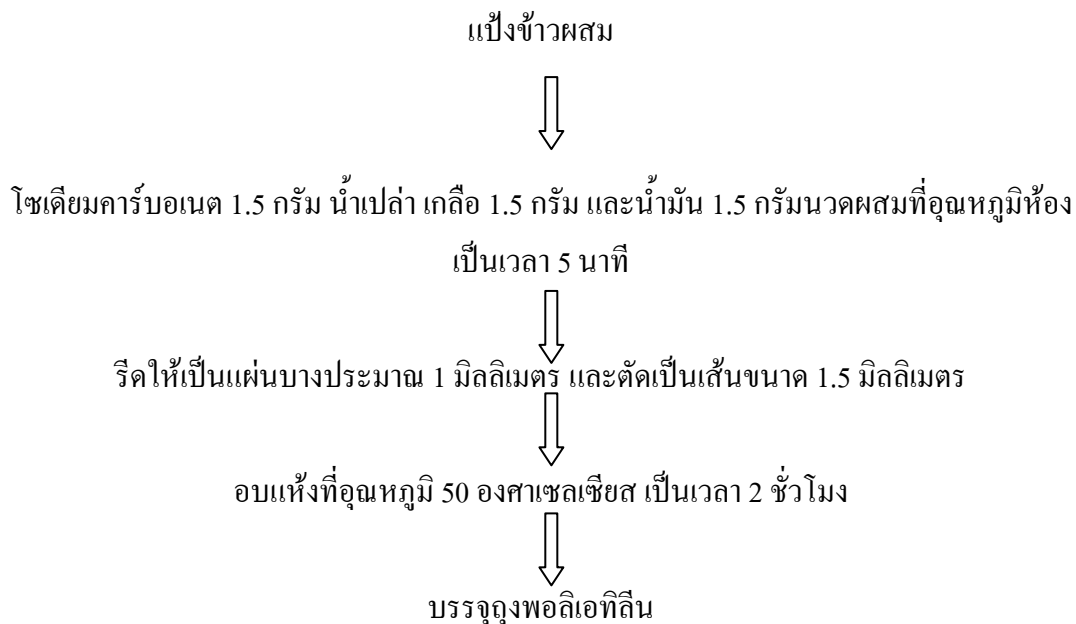
ตารางที่ 1 อัตราส่วนของแป้งข้าวผสมในการผลิตเส้นบะหมี่

สูตร	แป้งสาลี (กรัม)	CN1 (กรัม)	CN1P (กรัม)	KDM105 (กรัม)	RD6P (กรัม)	CN1HMT (กรัม)	KDM105HMT (กรัม)	RD6HMT (กรัม)	น้ำ (กรัม)
แป้งสาลี 100									45
1		100							85
2						100			75
3		90	10						70
4		90		10					70
5		90			10				70
6		70	30						75
7		70		30					65
8		70			30				58
9		30	30			40			80
10		30	30				40		80
11		30	30					40	80
12		30			30			40	75

หมายเหตุ

CN1	=	แป้งข้าวชัชนาท1
CN1P	=	แป้งข้าวชัชนาท1พรีเมจ
CN1HMT	=	แป้งข้าวชัชนาท1ความร้อนร่วมกับความชื้น
KDM105	=	แป้งข้าวขาวดอกมะลิ105
KDM105P	=	แป้งข้าวขาวดอกมะลิ105พรีเมจ
KDM105HMT	=	แป้งข้าวขาวดอกมะลิ105ความร้อนร่วมกับความชื้น
RD6	=	แป้งกข6
RD6P	=	แป้งกข6พรีเมจ
RD6HMT	=	แป้งกข6ความร้อนร่วมกับความชื้น

1.4.1 กรรมวิธีการผลิตบะหมี่จากแป้งข้าวหรือแป้งสาลี



1.5 วิเคราะห์คุณภาพของเส้นบะหมี่

1.5.1 ความหนาของเส้นบะหมี่ (AACC., 2000)

วัดความหนาของเส้นบะหมี่หลังอบแห้งด้วยไมโครมิเตอร์ รายงานค่าเป็นความหนาเฉลี่ยของเส้นบะหมี่ 10 เส้น

1.5.2 วัดค่าความเป็นกรด-เบสของเส้นบะหมี่ (ดัดแปลงจากวิธีการของ Shelke *et al.*, 1990)

นำเส้นบะหมี่ปริมาณ 10 กรัม ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ผสมโดยใช้เครื่องปั่นเป็นเวลา 5 นาที แล้วนำมาวัดค่าความเป็นกรด-เบสของเส้นบะหมี่

1.5.3 ร้อยละของการดูดน้ำ (AACC., 2000)

นำบะหมี่ที่ต้มสุกแล้วจากข้อ 2.5.2 ขึ้นสะเด็ดน้ำในกระชอน ล้างด้วยน้ำประมาณ 50 มิลลิลิตร เมื่อสะเด็ดน้ำแล้ว นำบะหมี่ไปชั่งน้ำหนัก เพื่อกำหนดหาร้อยละของการดูดน้ำ

$$\text{ร้อยละการดูดน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักบะหมี่หลังต้ม (กรัม)} - \text{น้ำหนักบะหมี่ก่อนต้ม (กรัม)}}{\text{น้ำหนักบะหมี่ก่อนต้ม (กรัม/น้ำหนักแห้ง)}} \times 100$$

1.5.4 ร้อยละของการสูญเสียของแข็งระหว่างต้ม (AACC., 2000)

รวบรวมน้ำต้มบะหมี่และน้ำล้างบะหมี่เทใส่บีกเกอร์ (ที่ทราบน้ำหนักแล้ว) จากนั้นนำไปประเหยแห้งใส่ตู้ทำแห้งลมร้อนที่อุณหภูมิ 102 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ จากนั้นนำบีกเกอร์ที่ระเหยจนแห้งแล้วมาชั่งน้ำหนัก เพื่อกำหนดหาร้อยละของการสูญเสียของแข็งระหว่างการต้ม

$$\text{ร้อยละของการสูญเสียของแข็งระหว่างต้ม} = \frac{\text{น้ำหนักของแข็งที่เหลืออยู่ในบีกเกอร์ (กรัม)}}{\text{น้ำหนักบะหมี่ก่อนต้ม (กรัม)}} \times 100$$

1.5.5 ตรวจวัดค่าสี (ดัดแปลงจากวิธีการของ Hsu *et al.*, 2003)

ตรวจวัดค่าสีบะหมี่สุกโดยใช้เครื่องวัดสี (Minolta: CM-3500d, Minolta Corp) โดยวัดค่า L*, a*, และ b*

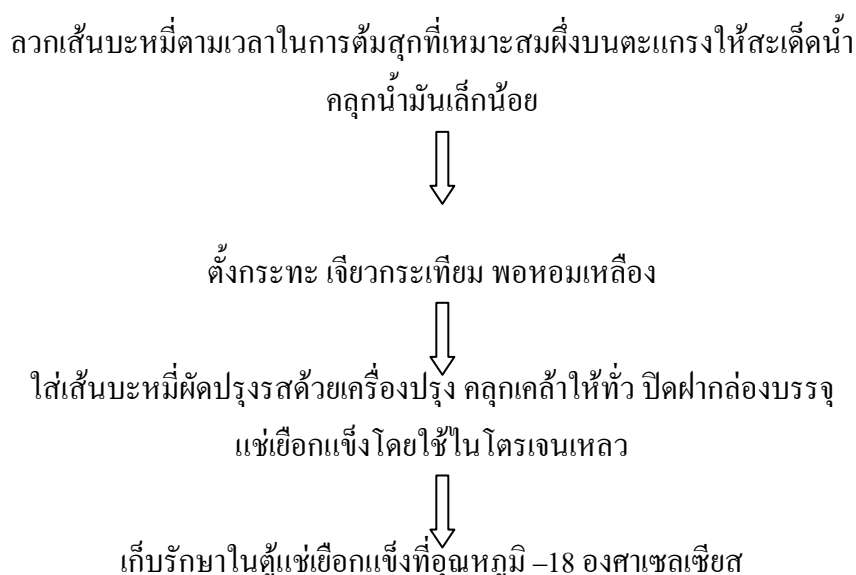
1.5.6 ระยะเวลาในการหุงต้มที่เหมาะสม (cooking time) (AACC., 2000)

ตัวอย่างบะหมี่ 25 กรัม (จดบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน) ลงต้มในน้ำเดือด (น้ำกลั่น) 300 มิลลิลิตร เริ่มจับเวลาตั้งแต่บะหมี่ลงต้ม ทำการต้มจนกระทั่งใจกลางเส้นที่เป็นไตสีขาวหายไปเป็นเวลาในการหุงต้มที่เหมาะสม

1.5.7 ความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งของเส้นบะหมี่

วัดลักษณะเนื้อสัมผัสของบะหมี่ผัดทรงเครื่องภายหลังการคืนรูปจากเยือกแข็ง โดยใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส โดยใช้หัววัด light knife blade (A/LKB-F) (pre-test speed: 0.5 mm/s, test speed: 0.2 mm/s, post-test speed: 10 mm/s, distance: 4.8 mm, trigger type: Button) (จากความสูง 5 มิลลิเมตร) ทำการตรวจวัดค่าแรงตัดสูงสุด และหัววัด spaghetti tensile grips (A/SPR) (pre-test speed: 3.0 mm/s, test speed 3.0 mm/s, post-test speed: 5.0 mm/s, distance: 80 mm, trigger type: auto-5g) ตรวจวัดค่าแรงดึงสูงสุด, ค่าระยะทางสูงสุด และค่าแรงตัดสูงสุด

1.6 การเตรียมผลิตภัณฑ์บะหมี่ผัดทรงเครื่องแช่เยือกแข็ง



1.6.1 สภาวะที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งที่เหมาะสม (ดัดแปลงจากวิธีการของ สงวนศรี, 2541)

นำบะหมี่ผัดทรงเครื่องมาแช่เยือกแข็งด้วยเครื่องแช่เยือกแข็งระบบเย็นขุดยั้งด้วยไนโตรเจนอย่างไม่ต่อเนื่อง (แบบเร็ว) ที่สภาวะ ดังนี้ เริ่มลดอุณหภูมิจาก -10 องศาเซลเซียสถึง -30 องศาเซลเซียส ภายใน 20 นาที จากนั้นลดถึง -40 องศาเซลเซียส ภายใน 10 นาที และลดถึง -50 องศาเซลเซียส ภายใน 10 นาที คงไว้ที่ -50 องศาเซลเซียส จนภายในผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิ -30 องศา

เซลเซียส หลังจากนั้นนำตัวอย่างออกจากเครื่องแช่เยือกแข็งระบบเย็นชวยังด้วยไนโตรเจนอย่างไม่มีต่อเนื่อง (แบบเร็ว) เก็บไว้ในตู้แช่เยือกแข็ง (-18 องศาเซลเซียส) เพื่อการตรวจสอบต่อไป

1.7 วัดลักษณะเนื้อสัมผัสของเส้นบะหมี่ (ดัดแปลงจากวิธีการของ กมลพรรณ, 2547)

วัดลักษณะเนื้อสัมผัสโดยใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส โดยใช้หัววัด light knife blade (A/LKB-F) (pre-test speed: 0.5 mm/s, test speed: 0.2 mm/s, post-test speed: 10 mm/s, distance: 4.8 mm, trigger type: Button) (จากความสูง 5 มิลลิเมตร) ทำการตรวจวัดค่าแรงตัดสูงสุด และหัววัด spaghetti tensile grips (A/SPR) (pre-test speed: 3.0 mm/s, test speed 3.0 mm/s, post-test speed: 5.0 mm/s, distance: 80 mm, trigger type: auto-5g) ตรวจวัดค่าแรงดึงสูงสุด, ค่าระยะทางสูงสุด และค่าแรงตัดสูงสุดของเส้นบะหมี่

1.8 วิเคราะห์คุณภาพทางเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์บะหมี่ผัดทรงเครื่องแช่เยือกแข็งในระหว่างการเก็บรักษา

1.8.1 ความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็ง (freeze-thaw stability) (ดัดแปลงจากวิธีการของ กมลพรรณ, 2547)

วัดลักษณะเนื้อสัมผัสของบะหมี่ผัดทรงเครื่องภายหลังการคืนรูปจากเยือกแข็ง โดยใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส โดยใช้หัววัด light knife blade (A/LKB-F) (pre-test speed: 0.5 mm/s, test speed: 0.2 mm/s, post-test speed: 10 mm/s, distance: 4.8 mm, trigger type: Button) (จากความสูง 5 มิลลิเมตร) ทำการตรวจวัดค่าแรงตัดสูงสุด และหัววัด spaghetti tensile grips (A/SPR) (pre-test speed: 3.0 mm/s, test speed 3.0 mm/s, post-test speed: 5.0 mm/s, distance: 80 mm, trigger type: auto-5g) ตรวจวัดค่าแรงดึงสูงสุด, ค่าระยะทางสูงสุด และค่าแรงตัดสูงสุด

1.9 ทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์บะหมี่ผัดทรงเครื่อง

ทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์บะหมี่ผัดทรงเครื่อง ใช้ผู้ทดสอบชิมที่ไม่ได้รับการฝึกฝนจำนวน 30 คน ผู้ทดสอบชิมจะพิจารณาคูณภาพเส้นบะหมี่เกี่ยวกับสี ความเหนียวนุ่ม ความยืดหยุ่น ลักษณะปรากฏ และความชอบโดยรวม ของบะหมี่ผัดทรงเครื่องหลังจาก

การคืนรูปจากเยือกแข็ง 5 รอบ เป็นจำนวน 5 วัน วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของข้อมูลด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

1.10 การวางแผนการทดลอง และการวิเคราะห์ทางสถิติ

1.10.1 ทำการทดลอง 2 ซ้ำ ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มตัวอย่าง (Completely Randomized Design) และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของข้อมูลด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

1.10.2 ทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์บะหมี่ตัดทรงเครื่อง ใช้ผู้ทดสอบชิมที่ไม่ได้รับการฝึกฝนจำนวน 30 คน ผู้ทดสอบชิมจะพิจารณาคุณภาพเส้นบะหมี่เกี่ยวกับ สี ความเหนียวนุ่ม ความยืดหยุ่น ลักษณะปรากฏ และความชอบโดยรวม วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของข้อมูลด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

3. สถานที่ทำการทดลอง

ห้องปฏิบัติการเคมี และห้องปฏิบัติการแปรรูปของภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพฯ

4. ระยะเวลาในการทดลอง

ตั้งแต่ เดือนธันวาคม 2546 ถึง เดือนพฤษภาคม 2549

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การตัดแปรสตาบิลในแป้งข้าวทางฟิสิกส์

1.1 การตัดแปรสตาบิลในแป้งข้าวเจ้าด้วยวิธีพรีเจลาทีไนซ์จากเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง

ในการทดลองนี้ใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง โดยใช้สภาวะการผลิตเริ่มต้นตามรายงานของสายสนม (2534) และปรับช่องว่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.01 นิ้ว ได้แผ่นแป้งหนาประกบติดกัน ไม่เรียบ ผิวขุ่น ดังนั้นจึงมีการปรับช่องว่างระหว่างลูกกลิ้ง 3 ระดับคือ 0.01, 0.015 และ 0.02 นิ้ว เมื่อตรวจสอบลักษณะของผลิตภัณฑ์ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 2 ปรากฏว่าที่ทุกสภาวะการผลิตได้แผ่นแป้งหนาประกบติดกัน ทั้งนี้เพราะที่ความดันไอน้ำที่ใช้คือ 40 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ซึ่งเมื่อวัดที่ 0.25 รอบต่อนาที อุณหภูมิที่ผิวหน้าของลูกกลิ้งวัดได้สูงถึง 130 องศาเซลเซียส ในขณะที่การหมุนของลูกกลิ้งช้ามาก มีผลทำให้เม็ดสตาบิลเกิดเจลาทีไนซ์ได้มาก มีความหนืดเพิ่มมากขึ้น ทำให้แผ่นแป้งติดกันเมื่อถูกรีดออก เพราะที่อุณหภูมินี้แผ่นแป้งด้านที่ติดกับลูกกลิ้งแห้งเร็วมาก ทำให้แป้งไม่เกาะติดกับลูกกลิ้ง จึงได้แผ่นแป้งที่ไม่เรียบ นอกจากนี้ช่องว่างระหว่างลูกกลิ้งจะมีผลต่อความชื้นของผลิตภัณฑ์ด้วยดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่า ที่ระยะช่องว่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.01 นิ้วได้แผ่นแป้งที่แห้งดี ซึ่งแป้งข้าวเจ้าพรีเจลาทีไนซ์ที่ได้จากแผ่นแป้งหนามีการดูดซับน้ำได้ช้าได้แป้งเปียกมีลักษณะเป็นเม็ด ไม่เรียบเนียน การกระจายตัวไม่ทั่วถึงเหมือนกับแผ่นแป้งบาง (ลัสนา, 2533) ซึ่งอาจก่อให้เกิดผลเสียเมื่อนำไปใช้ในการผลิตขนมปังจากแป้งข้าวเจ้า ดังนั้นจึงเลือกปรับช่องว่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.01 นิ้ว

ตารางที่ 2 ผลของช่องว่างระหว่างลูกกลิ้งต่อลักษณะของแผ่นแป้งในการพรีเจลาทีไนซ์ด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งที่ความดันไอน้ำ 40 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

ช่องว่างระหว่างลูกกลิ้ง (นิ้ว)	อุณหภูมิที่ผิวลูกกลิ้ง (องศาเซลเซียส)	ลักษณะของแผ่นแป้งข้าวพรีเจลาทีไนซ์
0.010	130	แผ่นหนาประกบติดกัน แห้ง ผิวไม่เรียบ ผิวขุ่น
0.015	130	แผ่นหนาประกบติดกัน ชื้นเล็กน้อย ผิวไม่เรียบ ผิวขุ่น
0.020	130	แผ่นหนาประกบติดกัน ไม่แห้ง เหนียว

นอกจากนี้ยังได้ทดลองผันแปรความดันไอน้ำให้ต่ำลงจากค่าความดันไอน้ำเริ่มต้นคือที่ 10, 20, 30 และ 40 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลของความดันไอน้ำต่อลักษณะของแผ่นแป้งในการพรีเจลาทีไนซ์ด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่เมื่อช่องว่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.01 นิ้ว

ความดันไอน้ำ (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)	อุณหภูมิที่ผิวลูกกลิ้ง (องศาเซลเซียส)	ลักษณะของแผ่นแป้งข้าวเจ้าพรีเจลาทีไนซ์
10	105	เป็นแผ่น ไม่ค่อยแห้ง
20	115	เป็นแผ่นแห้งเรียบมันดี ไม่ประกบติดกัน
30	122	เป็นแผ่นหนาประกบติดกัน แห้ง ไม่เรียบ ผิวขุ่น
40	130	เป็นแผ่นหนาประกบติดกัน แห้ง ไม่เรียบ

พบว่าที่ความดันไอน้ำ 30 และ 40 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ยังคงได้แผ่นแป้งที่หนาประกบติดกันในขณะที่ความดันไอน้ำ 20 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ได้แผ่นแป้งที่แห้ง บางและเรียบมัน ไม่ประกบติดกันเป็นสภาวะที่การระเหยน้ำเป็นไปอย่างช้าๆสม่ำเสมอ ขณะที่น้ำแป้งถูกรีดผ่านช่องว่างของลูกกลิ้งแผ่นแป้งยังคงติดเกาะกับผิวของลูกกลิ้ง ส่วนที่ความดันไอน้ำ 10 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ได้แผ่นแป้งที่ไม่แห้งเนื่องจากอุณหภูมิต่ำเกินไป ดังนั้นในงานวิจัยจึงเลือกใช้สภาวะการผลิตแป้งข้าวเจ้าพรีเจลาทีไนซ์จากการทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่นี้คือ น้ำแป้งข้าวเจ้าเข้มข้นร้อยละ 40 ความดันไอน้ำ 20 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิที่ผิวหน้าลูกกลิ้ง 115 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบของลูกกลิ้ง 0.25 รอบต่อนาที และช่องว่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.01 นิ้ว



ภาพที่ 1 วัตอุณหภูมิที่ผิวหน้าของลูกกลิ้งคู่



ภาพที่ 2 แผ่นแป้งที่ได้จากเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง



ภาพที่ 3 แผ่นแป้งพรีเจด

2. วิเคราะห์สมบัติทางเคมี ฟิสิกส์ และเคมีเชิงฟิสิกส์ของแป้งข้าวและแป้งข้าวคัดแปรทางฟิสิกส์

2.1 องค์ประกอบทางเคมีของแป้ง

องค์ประกอบทางเคมีของแป้งมีผลต่อลักษณะและปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ ผลการตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าว แสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าว

ชนิดแป้ง	ความชื้น		ปริมาณ (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)				
	โปรตีน	ลิพิด	เถ้า	คาร์โบไฮเดรต	แอมิโลส	เส้นใยหยาบ	
สาาลี	12.61b	10.62a	0.86a	0.25b	74.78c	26.31a	0.74b
ชัยนาท1	12.45c	7.62b	0.56b	0.48a	90.47a	28.59a	1.04a
ขาวดอกมะลิ105	12.58b	6.21c	0.92a	0.54a	83.64b	16.46b	1.12a
กข6	12.93a	6.78b	0.52b	0.17b	91.32a	5.54c	1.21a

ตัวอักษร a-c ที่แตกต่างกันในแนวตั้งคือค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ก. ความชื้น

จากผลการทดลองพบว่า แป้งสาาลี, แป้งชัยนาท1, แป้งข้าวขาวดอกมะลิ105, แป้งกข6 มีปริมาณความชื้นร้อยละ 12.61, 12.45, 12.58 และ 12.93 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (ตารางที่ 4) โดยแป้งกข6 มีปริมาณความชื้นสูงสุด แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งชัยนาท1, แป้งข้าวขาวดอกมะลิ105 และแป้งสาาลี ในขณะที่แป้งสาาลีและแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

ความชื้น เป็นองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ และเกี่ยวข้องกับคุณภาพแป้งที่เหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์อาหารเส้นทั้งทางตรง และทางอ้อม (อรอนงค์, 2547) แป้งข้าวที่มีปริมาณความชื้นสูงทำให้คุณภาพผลิตภัณฑ์อาหารเส้นต่ำ เนื่องจากความชื้นสูงทำให้ผลิตภัณฑ์เสื่อมเสียเร็วกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นต่ำ

ข. โปรตีน

จากผลการทดลองพบว่าปริมาณโปรตีนในแป้งสาลี มีปริมาณโปรตีนสูงสุดร้อยละ 10.62 ของน้ำหนักแห้ง แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งชัยนาท1, แป้งข้าวขาวดอกมะลิ105 และแป้งกข6 รองลงมาคือแป้งข้าวชัยนาท1 และแป้งกข6 มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 7.62 และ 6.78 ของน้ำหนักแห้งตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ในขณะที่แป้งข้าวขาวดอกมะลิ105 มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 6.21 ของน้ำหนักแห้ง แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งชัยนาท1 และแป้งกข6 โดยมีค่าโปรตีนต่ำที่สุด ผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของอรพรรณ (อรพรรณ, 2548) ซึ่งโดยปกติปริมาณโปรตีนในข้าวที่ผ่านการขัดสีแล้วอยู่ในช่วงร้อยละ 6.3-7.1 แต่เมื่อนำข้าวสารมาผ่านขั้นตอนการโม่ให้เป็นแป้งแบบไม่เปียก มีผลทำให้ปริมาณโปรตีนในแป้งข้าวลดลง จากการสูญเสียโปรตีนบางส่วนเช่น อัลบูมิน ซึ่งเป็นโปรตีนชนิดที่ละลายน้ำได้ออกไป (Juliano, 1993)

ปริมาณโปรตีนสามารถบอกคุณค่าทางโภชนาการของแป้งได้ (งามชื่น, 2536; Juliano, 1985) ในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารเส้นนั้นโปรตีนนอกจากทำให้สีของผลิตภัณฑ์คล้ำลงแล้ว ยังเป็นส่วนที่ทำให้ความเหนียวของเส้นลดลง (งามชื่น, 2539)

ค. ลิพิด

จากผลการทดลองพบว่า แป้งข้าวขาวดอกมะลิ105, แป้งสาลี, แป้งชัยนาท1 และแป้งกข6 มีปริมาณลิพิดร้อยละ 0.92, 0.86, 0.56 และ 0.52 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ โดยแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105 และแป้งสาลี ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งชัยนาท1 และแป้งกข6 ในขณะที่แป้งชัยนาท1 และแป้งกข6 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105 และแป้งสาลี

ข้าวที่ผ่านการขัดสีแล้วมีปริมาณลิพิดอยู่ในช่วงร้อยละ 0.3-0.5 (Juliano, 1993) แต่การที่ลิพิดส่วนใหญ่อยู่ในเยื่อหุ้มเมล็ด เยื่อชั้นแอลิวโรน (aleurone layer) หรือคัพภะ ดังนั้นระดับของการขัดสีข้าวเปลือกจึงมีผลต่อปริมาณลิพิดที่เหลืออยู่ในข้าวที่ผ่านการขัดสีแล้ว ปริมาณลิพิดที่มีความแตกต่างกันในแป้งจากข้าวพันธุ์ต่างๆ นั้น เกิดจากลักษณะเฉพาะตัวของข้าวแต่ละพันธุ์ และระดับการขัดสีเช่นเดียวกับปริมาณโปรตีน (อรพรรณ, 2547)

ง. เถ้า

แป้งข้าวขาวดอกมะลิ105, แป้งชัยนาท1, แป้งสาลี และแป้งกข6 มีปริมาณเถ้าร้อยละ 0.54, 0.48, 0.25 และ 0.17 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (ตารางที่ 4) โดยแป้งชัยนาท 1 และแป้งข้าวดอกมะลิ 105 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) แต่แตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับแป้งสาลี และแป้งกข6 ในขณะที่แป้งสาลี และแป้งกข6 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

ซึ่งปริมาณเถ้าที่ต่างกันนี้ในแป้งจากข้าวพันธุ์ต่างๆ นั้น เกิดจากลักษณะเฉพาะตัวของข้าวแต่ละพันธุ์ และระดับการขัดสีเช่นเดียวกับปริมาณโปรตีน และลิพิด (อรพรรณ, 2547) ซึ่งโดยปกติปริมาณเถ้าในข้าวที่ผ่านการขัดสีแล้วอยู่ในช่วงร้อยละ 0.22-0.46 (USDA, 1982)

จ. คาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบที่มีมากที่สุดในข้าว ประกอบด้วยสตาแรช (ประมาณร้อยละ 90) แอมิโลส และแอมิโลเพกทินในโมเลกุล นอกจากนี้ยังประกอบด้วยเส้นใยอาหาร (อรพรรณ, 2547) จากผลการทดลองพบว่า แป้งกข 6, แป้งชัยนาท 1, แป้งข้าวขาวดอกมะลิ 105 และแป้งสาลี มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 91.32, 90.47, 83.64 และ 74.78 ของน้ำหนักแห้งตามลำดับ (ตารางที่ 4) โดยแป้งชัยนาท1 และแป้งกข6 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) แต่แตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับแป้งสาลี และแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105

ฉ. ปริมาณแอมิโลส

จากผลการทดลองพบว่าแป้งชัยนาท1, แป้งสาลี, แป้งข้าวขาวดอกมะลิ105 และแป้งกข6 มีปริมาณแอมิโลสร้อยละ 28.59, 26.31, 16.46 และ 5.54 ตามลำดับ (ตารางที่ 4) ในขณะที่แป้งชัยนาท1 และแป้งสาลี ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) แต่แตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับแป้งกข6 และแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105 ดังนั้นจึงคาดว่าแป้งชัยนาท1 สามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตขนมปังได้ ส่วนแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105 แตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับแป้งชัยนาท1 และแป้งกข6

จากปริมาณแอมิโลสข้างต้น สามารถแบ่งแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม ตามปริมาณแอมิโลส (งามชื่น, 2539) คือ กลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสสูง (ปริมาณแอมิโลสร้อยละ 26-34) ได้แก่ แป้งชัณนาท1 และแป้งสาลี กลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสปานกลาง (ปริมาณแอมิโลสร้อยละ 20-25) ได้แก่ แป้งข้าวขาวดอกมะลิ105 และกลุ่มข้าวเหนียว (ปริมาณแอมิโลสร้อยละ 0-5) ได้แก่ แป้งกข6

ช. เส้นใยหยาบ

จากผลการทดลองพบว่าแป้งกข6, แป้งข้าวขาวดอกมะลิ105, แป้งชัณนาท1, และแป้งสาลี มีปริมาณเส้นใยหยาบร้อยละ 1.21, 1.12, 1.04 และ0.74 ตามลำดับ (ตารางที่ 4) ในขณะที่แป้งชัณนาท1 แป้งกข6 และแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) แต่แตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับแป้งสาลี

2.2 กำลังการพองตัวของแป้งข้าวและแป้งข้าวตัดแปรทางฟิสิกส์ที่อุณหภูมิต่างๆกัน

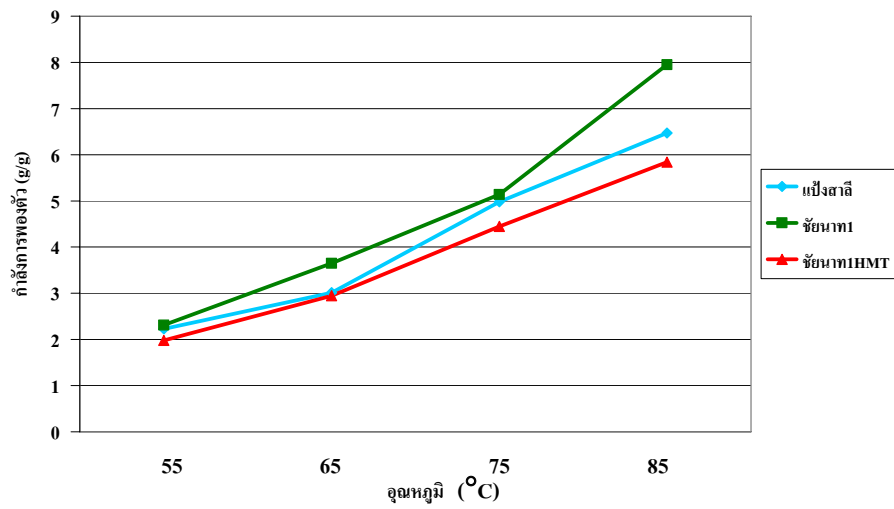
จากการทดลองหาค่ากำลังการพองตัวของแป้งสาลี, แป้งข้าว และแป้งข้าวตัดแปรที่อุณหภูมิ 55, 65, 75 และ 85 องศาเซลเซียส (ตารางที่ 5, ภาพที่ 4, 5 และ6) เมื่อเปรียบเทียบผลกำลังการพองตัวของแป้งชนิดเดียวกัน แต่ที่ต่างอุณหภูมิพบว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ค่ากำลังการพองตัวเพิ่มขึ้น โดยแป้งข้าวเจ้ามีกำลังการพองตัวที่อุณหภูมิต่างๆ แตกต่างกัน โดยมีค่าสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นในทุกตัวอย่าง เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบแป้งที่ไม่ผ่านการตัดแปรพบว่า แป้งชัณนาท1 มีค่ากำลังการพองตัวสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นในช่วง 2.31-7.95 กรัม/กรัม น้ำหนักแป้งแห้ง แตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105 และแป้งกข6 เนื่องจากแป้งชัณนาท1 มีปริมาณแอมิโลสสูง (ปริมาณแอมิโลสร้อยละ 28.59 จากตารางที่ 4) เมื่อแป้งมีปริมาณแอมิโลสสูง สัดส่วนของแอมิโลเพกทินจึงต่ำลง ซึ่งแอมิโลเพกทินมีส่วนช่วยในการพองตัว แป้งสาลีมีค่ากำลังการพองตัวสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นในช่วง 2.23-6.47 กรัม/กรัม น้ำหนักแป้งแห้ง แตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับแป้งชัณนาท1 แป้งข้าวขาวดอกมะลิ105 และแป้งกข6 ส่วนแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105 มีค่ากำลังการพองตัวสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นในช่วง 2.54-8.01 กรัม/กรัม น้ำหนักแป้งแห้ง มีค่ามากกว่าแป้งชัณนาท1 แตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับแป้งชัณนาท1 และแป้งกข6 เนื่องจากแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105 (ปริมาณแอมิโลสร้อยละ 16.46 จากตารางที่ 4) มีปริมาณแอมิโลสต่ำกว่าแป้งชัณนาท1 ส่งผลให้มีความกำลังการพองตัวสูงกว่าแป้งชัณนาท1 และแป้งกข6 มีค่ากำลังการพองตัวสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นในช่วง 2.98-16.23 กรัม/กรัม น้ำหนักแป้งแห้ง มีค่าสูงสุด แตกต่างกันทาง

สถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งชัณนาท1 และแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105 ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Lii *et al.* (1996) ที่พบว่ากำลังการพองตัวของสตาร์ชข้าวเจ้า และข้าวเหนียวซึ่งมีปริมาณแอมิโลสแตกต่างกัน (ร้อยละ 0.99-25.60) โดยสตาร์ชข้าวเจ้าที่มีปริมาณแอมิโลสสูง มีการพองตัวน้อยกว่าสตาร์ชข้าวเหนียวซึ่งมีปริมาณแอมิโลสต่ำ เนื่องจากแอมิโลเพกทินที่เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ในสตาร์ชข้าวเหนียว มีสมบัติการพองตัว และคูลน้ำได้ดีกว่าแอมิโลส และTester and Morrison (1990) พบว่ากำลังการพองตัวเป็นสมบัติที่สำคัญของแอมิโลเพกทิน ในขณะที่แอมิโลสเป็นตัวที่ยับยั้งการพองตัว สตาร์ชที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำโครงสร้างของสตาร์ชมีความคงตัวต่ำ เกิดการจับตัวกันอย่างหลวมสามารถพองตัวได้อย่างอิสระในระหว่างการให้ความร้อน สตาร์ชที่มีแอมิโลสสูงมีความแข็งแรงของโครงสร้างมากกว่าทำให้ไม่สามารถพองตัวได้อย่างอิสระ และกำลังการพองตัวของสตาร์ชขึ้นอยู่กับปริมาณการอุ้มน้ำโดยพันธะไฮโดรเจน พันธะไฮโดรเจนในสายแอมิโลสซึ่งเป็นเกลียวจะถูกทำลายได้ในระหว่างการเกิดเจลลาไทไนซ์ และถูกแทนที่ด้วยพันธะไฮโดรเจนของน้ำ (Tester and Morrison, 1990)

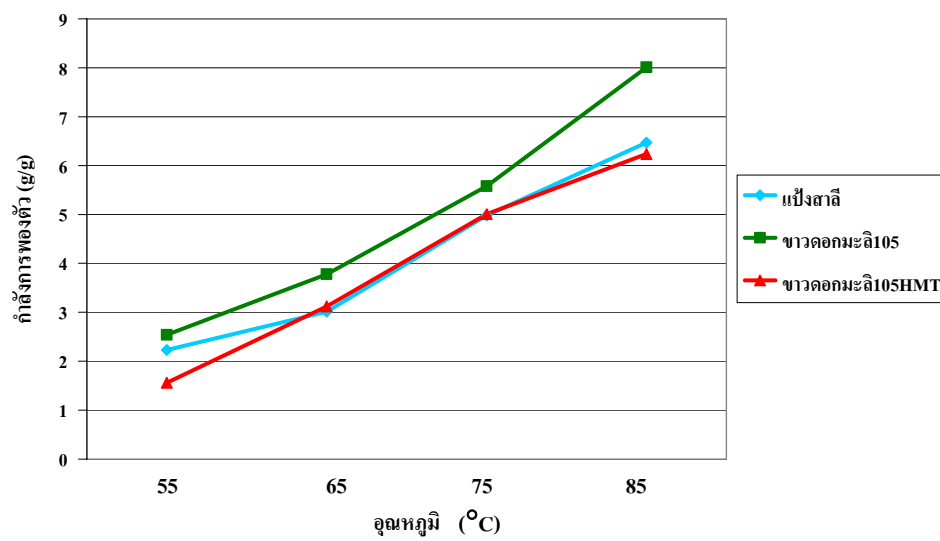
ตารางที่ 5 กำลังการพองตัวของแป้งข้าวและแป้งข้าวคัดแปรที่อุณหภูมิ 55, 65, 75 และ 85 องศาเซลเซียส

ชนิดแป้ง	กำลังการพองตัว (กรัม/กรัมน้ำหนักแป้งแห้ง)			
	55°C	65°C	75°C	85°C
สาาลี	2.23d	3.01f	4.98f	6.47e
ชัณนาท1	2.31c	3.65d	5.14d	7.95c
ชัณนาท1HMT	1.98e	2.95g	4.45g	5.84g
ขาวดอกมะลิ105	2.54b	3.78c	5.58b	8.01b
ขาวดอกมะลิHMT	1.56f	3.12e	5.01e	6.24f
กข6	2.98a	5.12a	13.74a	16.23a
กข6HMT	2.01e	4.42b	5.21c	6.74d

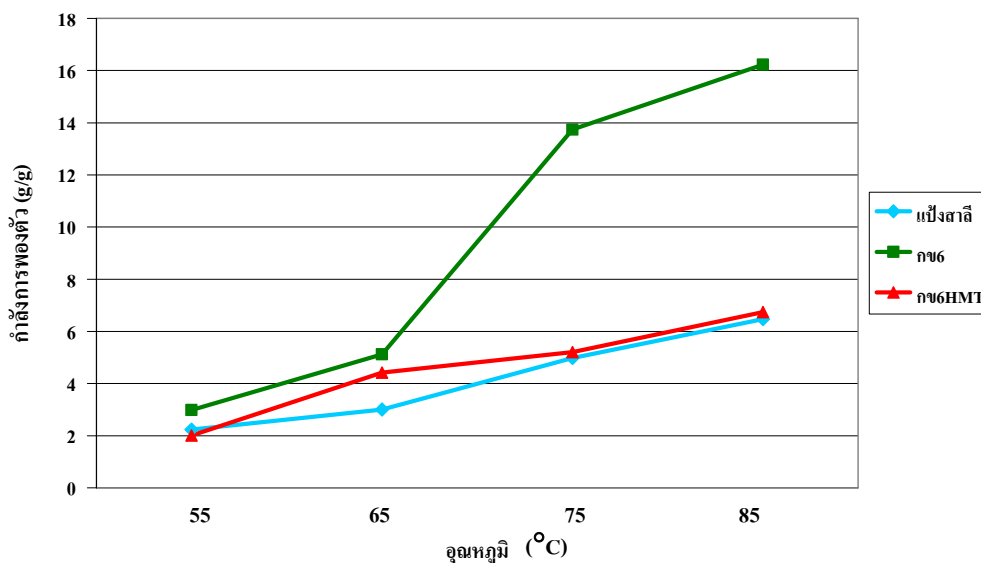
ตัวอักษร a-g ที่แตกต่างกันในแนวตั้งคือค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 4 กำลังการงอกตัวของแป้งชัยนาท 1 และ แป้งชัยนาท 1 คัดแปรทางฟิสิกส์ที่อุณหภูมิ 55, 65, 75 และ 85 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 5 กำลังการงอกตัวของแป้งข้าวขาวดอกมะลิ 105 และแป้งข้าวขาวดอกมะลิ 105 คัดแปรทางฟิสิกส์ที่อุณหภูมิ 55, 65, 75 และ 85 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 6 กำลังการพองตัวของแปลงกข 6 และ แปลงกข 6 ดัดแปรทางฟิสิกส์ที่อุณหภูมิ 55, 65, 75 และ 85 องศาเซลเซียส

เมื่อนำแปลงมาผ่านการดัดแปรทางฟิสิกส์พบว่า การดัดแปรด้วยวิธีพรีเจลทำให้เม็ดสตาร์ชเกิดการเจลาทิไนซ์ไปแล้ว เมื่อนำมาทดสอบกำลังการพองตัว จึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาเปรียบเทียบกับ การดัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น เนื่องจากการดัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นมีผลทำให้เกิดเจลเพียงบางส่วน (พิณทิพย์, 2547) จากผลการทดลองค่ากำลังการพองตัวของแปลงดัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น พบว่ากำลังการพองตัวมีค่าลดลงกว่าแปลงที่ไม่ผ่านการดัดแปร แปลงชัณนาท1HMT มีค่ากำลังการพองตัวต่ำในช่วง 1.98-5.84 กรัม/กรัมน้ำหนักแปลงแห้ง แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแปลงข้าวขาวดอกมะลิ105HMT และแปลงกข6HMT ส่วนแปลงข้าวขาวดอกมะลิ105HMT มีค่ากำลังการพองตัวในช่วง 1.56-6.24 กรัม/กรัมน้ำหนักแปลงแห้ง แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแปลงชัณนาท1HMT และแปลงกข6HMT ส่วนแปลงกข6HMT มีค่ากำลังการพองตัวสูงในช่วง 2.01-6.74 กรัม/กรัมน้ำหนักแปลงแห้ง แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแปลงชัณนาท1HMT และแปลงข้าวขาวดอกมะลิ105HMT เนื่องจกแปลงดัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น มีผลทำให้สายพอลิเมอร์ของสตาร์ชมีระดับของการยึดเกาะกันระหว่างสายแอมิโลสด้วยกันเอง และระหว่างสายแอมิโลสกับสายแอมิโลเพกทิน ภายในเม็ดสตาร์ชเพิ่มขึ้น และเกิดการยึดเกาะกันระหว่างสายแอมิโลสกับลิพิดได้มากขึ้นด้วย ส่งผลทำให้กำลังการพองตัวและเปอร์เซ็นต์การละลายมีค่าลดลง (Hoover and Manuel, 1996a) โดยเมื่อเปรียบเทียบแปลง 3 ชนิด

คือแป้งชัณนาท1, แป้งข้าวขาวดอกมะลิ105 และแป้งกข6 ที่ผ่านการคัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นพบว่า แป้งกข6 มีกำลังการพองตัวสูงสุด ซึ่งผลสอดคล้องกับสมมติฐานที่เกี่ยวข้องกับปริมาณแอมิโลส ในแป้งแต่ละชนิด ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น และเมื่อเปรียบเทียบผลของการคัดแปรต่อการพองตัวพบว่า แป้งที่ผ่านการคัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นให้กำลังการพองตัวต่ำสุด เมื่อเปรียบเทียบในแป้งชนิดเดียวกัน

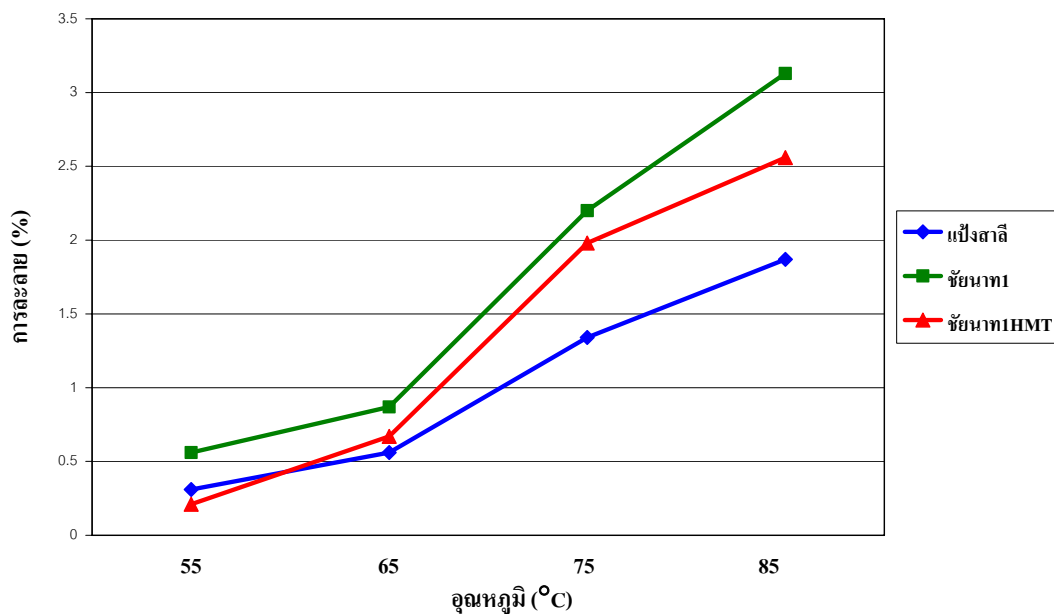
2.3 ความสามารถในการละลายของแป้งข้าวและแป้งข้าวคัดแปรทางฟิสิกส์

จากการทดลอง ค่าการละลายของแป้งสาลี, แป้งข้าว และแป้งข้าวคัดแปร 10 ตัวอย่าง ที่อุณหภูมิ 55, 65, 75 และ 85 องศาเซลเซียส (ตารางที่ 6, ภาพที่ 7, 8 และ 9)

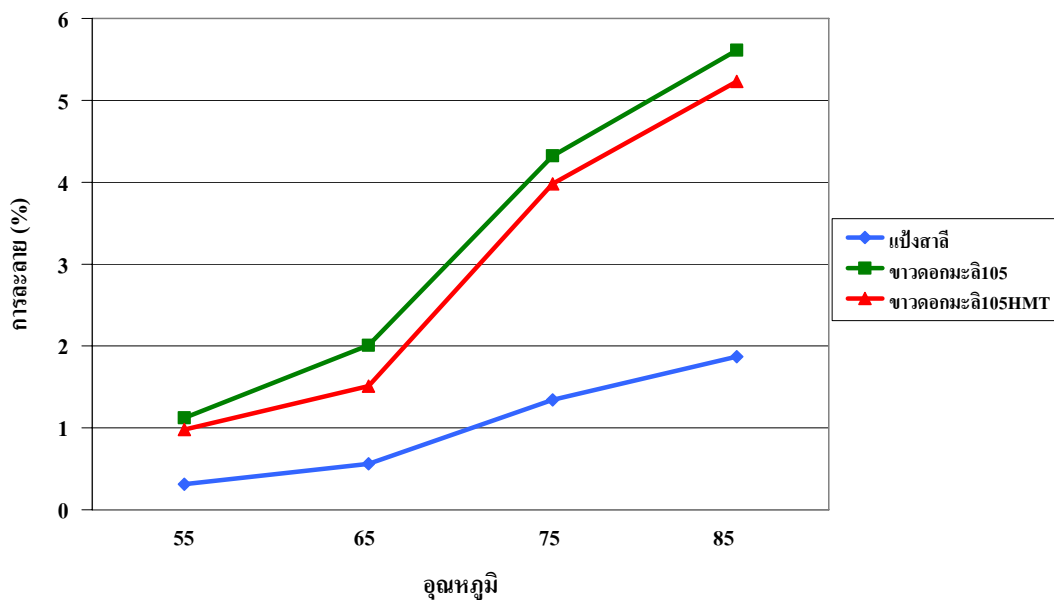
ตารางที่ 6 ค่าการละลายของแป้งข้าวและแป้งข้าวคัดแปรทางฟิสิกส์ที่อุณหภูมิ 55, 65, 75 และ 85 องศาเซลเซียส

ชนิดแป้ง	การละลาย (%)			
	55°C	65°C	75°C	85°C
สาลี	0.31f	0.56g	1.34g	1.87g
ชัณนาท1	0.56e	0.87e	2.20e	3.13e
ชัณนาท1HMT	0.21g	0.67f	1.98f	2.56f
ขาวดอกมะลิ105	1.12c	2.01c	4.32c	5.61c
ขาวดอกมะลิ105HMT	0.98d	1.51d	3.98d	5.23d
กข6	2.07a	3.39a	6.82a	7.94a
กข6HMT	1.45b	2.31b	5.79b	6.09b

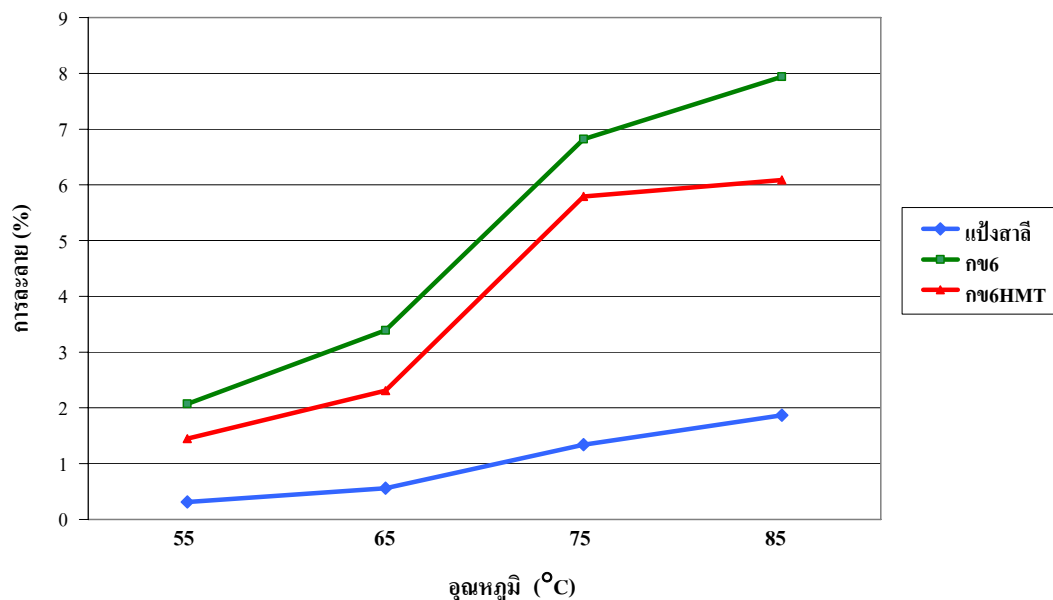
ตัวอักษร a-g ที่แตกต่างกันในแนวดิ่งคือค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 7 การละลายของแป้งชัยนาท1และแป้งชัยนาท1ดัดแปรทางฟิสิกส์ที่อุณหภูมิ 55, 65, 75 และ 85 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 8 การละลายของแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105และแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105ดัดแปรทางฟิสิกส์ที่อุณหภูมิ 55, 65, 75 และ 85 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 9 การละลายของเป็่งกข6และเป็่งกข6คัดแปรทางฟิสิกส์ที่อุณหภูมิ 55, 65, 75 และ 85 องศาเซลเซียส

ค่าการละลายและค่ากำลังการพองตัวให้ผลการทดลองมีแนวโน้มเดียวกัน โดยการละลายของเป็่งมีค่าสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นในทุกตัวอย่าง โดยเป็่งชัชนาท1 มีค่าการละลายต่ำในช่วงร้อยละ 0.56-3.13 ของน้ำหนักเป็่งแห้ง แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเป็่งข้าวขาวดอกมะลิ105 และเป็่งกข6 เนื่องจากเป็่งชัชนาท1 แต่เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับเป็่งสาลีพบว่า เป็่งสาลี มีค่าการละลายต่ำในช่วงร้อยละ 0.31-1.87 ของน้ำหนักเป็่งแห้ง แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเป็่งชัชนาท1, เป็่งข้าวขาวดอกมะลิ105 และเป็่งกข6 เนื่องจากเป็่งสาลีมีปริมาณแอมิโลสสูง (ปริมาณแอมิโลสร้อยละ 26.31) แต่มีค่าต่ำกว่าเป็่งชัชนาท1 จึงมีค่าการละลายสูงกว่าเป็่งชัชนาท1 เป็่งข้าวขาวดอกมะลิ105 มีค่าการละลายสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นในช่วงร้อยละ 1.12-5.61 ของน้ำหนักเป็่งแห้ง เนื่องจากเป็่งข้าวขาวดอกมะลิ105 มีปริมาณแอมิโลสปานกลาง (ปริมาณแอมิโลสร้อยละ 16.46) ส่งผลให้การละลายมีค่าสูงกว่าเป็่งชัชนาท1 ส่วนเป็่งกข6 มีค่าการละลายสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นในช่วงร้อยละ 2.07-7.94 ของน้ำหนักเป็่งแห้ง แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเป็่งชัชนาท1 และเป็่งข้าวขาวดอกมะลิ105 เนื่องจากเป็่งข้าวกข6 มีปริมาณแอมิโลสต่ำ (ปริมาณแอมิโลสร้อยละ 5.54) โครงสร้างของสตาร์ชมีความคงตัวต่ำ เกิดการจับตัวกันอย่างหลวมทำให้สามารถละลายได้เมื่อได้รับความร้อน ดังแสดงในตารางที่ 6 แต่ที่อุณหภูมิต่ำ

เมล็ดสตาร์ชพองตัวไม่มากนัก ไม่เพียงพอในการปลดปล่อยโมเลกุลขนาดใหญ่ให้เป็นอิสระ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โมเลกุลอิสระเหล่านี้จะละลายออกมาได้มากขึ้น (Yadav *et al.*, 2006) ส่งผลให้ค่าการละลายเพิ่มสูงขึ้นมากในทุกตัวอย่าง

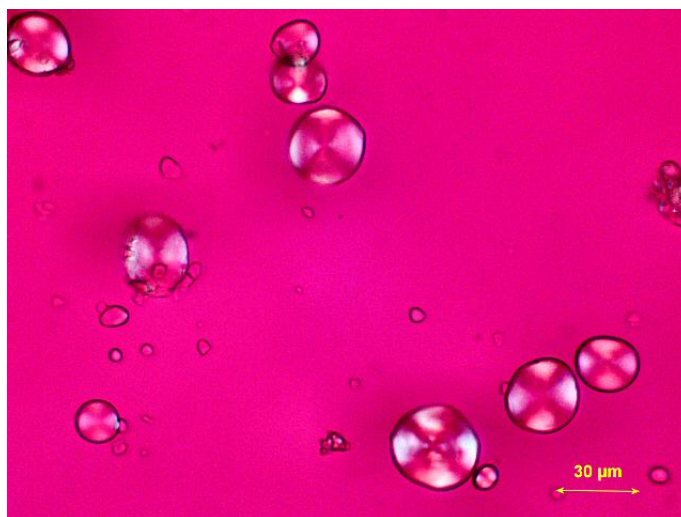
แป้งดัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นมีค่าการละลายลดลง โดยเห็นจากผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างแป้ง และแป้งที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแป้งดัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นพบว่าแป้งชัณนาท1HMT มีค่าการละลายต่ำที่สุดอยู่ในช่วงร้อยละ 0.21-2.56 ของน้ำหนักแป้งแห้ง แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวชัณนาท1, แป้งข้าวขาวดอกมะลิ105 และแป้งกข6ที่ไม่ผ่านการดัดแปร แป้งข้าวขาวดอกมะลิ105HMT มีค่าการละลายอยู่ในช่วงร้อยละ 0.98-5.23 ของน้ำหนักแป้งแห้ง แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวชัณนาท1, แป้งข้าวขาวดอกมะลิ105 และแป้งกข6ที่ไม่ผ่านการดัดแปร แต่แป้งกข6HMT มีค่าการละลายสูงอยู่ในช่วงร้อยละ 1.45-6.09 ของน้ำหนักแป้งแห้ง แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวชัณนาท1, แป้งข้าวขาวดอกมะลิ105 และแป้งกข6ที่ไม่ผ่านการดัดแปร เนื่องจากแป้งชัณนาท1 มีปริมาณแอมิโลสสูง (ปริมาณแอมิโลสร้อยละ 28.59) ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแอมิโลสภายในโครงสร้างสตาร์ช ทำให้มีผลต่อการขัดขวางการพองตัว ทำให้ความสามารถในการละลายจึงต่ำ แป้งข้าวขาวดอกมะลิ105 มีปริมาณแอมิโลสปานกลาง (ปริมาณแอมิโลสร้อยละ 16.46) ส่งผลให้มีค่าการละลายสูงกว่าแป้งชัณนาท1 ที่มีปริมาณแอมิโลสมากกว่า แต่มีค่าการละลายต่ำกว่าแป้งกข6 เนื่องจากแป้งกข6 (ปริมาณแอมิโลสร้อยละ 5.54) มีปริมาณแอมิโลสต่ำ เนื่องจากการดัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ทำให้เกิดการยึดเกาะกันของสายแอมิโลเพกทิน และสายแอมิโลสรวมทั้งเกิดการเปลี่ยนแปลงของแอมิโลสที่จับตัวกับลิพิดเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสกับลิพิดที่ไม่สามารถละลายน้ำ (Hoover and Manuel, 1996a) ด้วยเหตุนี้จึงมีผลทำให้เมล็ดสตาร์ชแข็งแรง และเมื่อให้ความร้อนทำให้การละลายน้อยกว่าแป้งที่ไม่ผ่านการดัดแปร

2.4 ตรวจสอบรูปร่างลักษณะของเมล็ดสตาร์ชในแป้งด้วยการส่องกล้องจุลทรรศน์แบบธรรมดา

ผลของโครงสร้างรูปร่างลักษณะเมล็ดสตาร์ชในแป้งจากการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบธรรมดาที่กำลังขยาย 400 เท่า พบว่า ลักษณะเมล็ดสตาร์ชของแป้งข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปรมีลักษณะของเมล็ดเป็นรูปหลายเหลี่ยมโดยส่วนใหญ่เป็นรูปห้าเหลี่ยมคมชัดเจน ลักษณะการกระจาย

ของเม็ดสตาร์ชมีทั้งที่เป็นเม็ดเดี่ยวและกลุ่มเล็กๆ มีที่เกาะรวมกันเป็นกลุ่มก้อนใหญ่อยู่บ้าง ดังแสดงในภาพที่ 10 (ก-ค) ภายหลังจากตัดแปรแป้งแบบพรีเจล พบว่าเม็ดสตาร์ชแตกตัว และเสียรูปพร้อมกับการหลอม และสูญเสียโครงสร้างผลึก มีโครงสร้างที่โปร่งเนื่องจากเกิดการพองตัวจากการได้รับความร้อน ไม่สามารถมองเห็นรูปร่างของเม็ดสตาร์ชเหมือนแป้งจากสายพันธุ์เดียวกันที่ไม่ผ่านการตัดแปร และภายหลังจากการตัดแปรแป้งแบบความร้อนร่วมกับความชื้น พบว่าเม็ดสตาร์ชมีลักษณะเม็ดส่วนใหญ่เกาะกลุ่มกันเป็นก้อนมากกว่าเดิม มีการกระจายเป็นเม็ดเดี่ยวหรือกลุ่มเล็กๆ น้อยลง เม็ดส่วนใหญ่ยังคงลักษณะรูปร่างเหมือนเดิม แต่เม็ดสตาร์ชบางส่วนพองตัวขึ้น แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างบางส่วนอาจเกิดการเจลาทิไนเซชันได้ในระหว่างการตัดแปรแป้งแบบความร้อนร่วมกับความชื้น

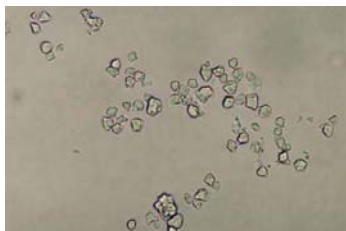
เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบขนาดและรูปร่างระหว่างแป้งสาลีและแป้งข้าวพบว่า แป้งสาลีมีขนาดเม็ดสตาร์ชใหญ่กว่าแป้งข้าว โดยมีขนาดเม็ดสตาร์ชประมาณ 10-35 ไมครอน มีรูปร่างกลม ค่อนข้างรี (Maningat and Seib, 1992) และขนาดเม็ดสตาร์ชของแป้งสาลีที่เหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์อาหารเส้นมีขนาดเม็ดสตาร์ชประมาณ 20 ไมครอน (Chen *et al.*, 2003) ส่วนขนาดเม็ดสตาร์ชของแป้งข้าวที่เหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์อาหารเส้นมีขนาดเม็ดสตาร์ชประมาณ 3-5 ไมครอน (Bhattacharya *et al.*, 1999)



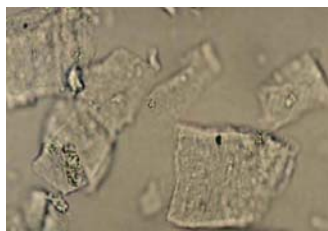
ภาพที่ 10 รูปร่างลักษณะของเม็ดสตาร์ชในแป้งสาลีด้วยการส่องกล้องจุลทรรศน์ (ค่าวัด 30 ไมครอน)

ที่มา: www.gpmatthews.nildram.co.uk/pharma/starch.html

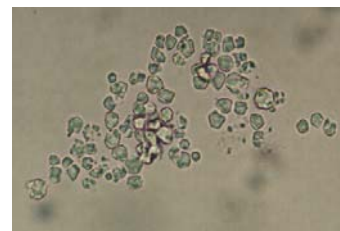
ก



แป้งชัณนาท1

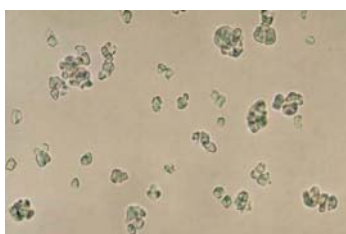


แป้งชัณนาท1พรีเจล

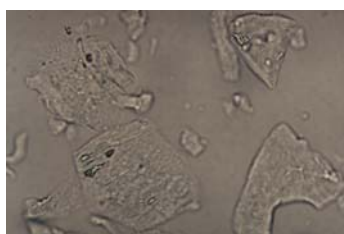


แป้งชัณนาท1HMT

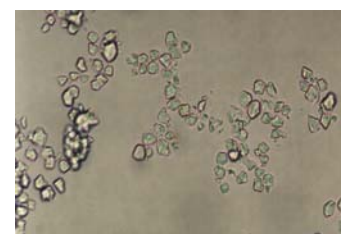
ข



แป้งข้าวขาวดอกมะลิ105

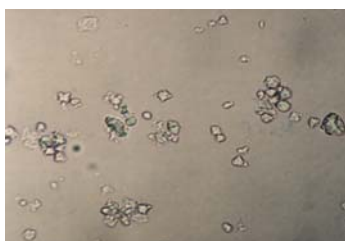


แป้งข้าวขาวดอกมะลิ105พรีเจล

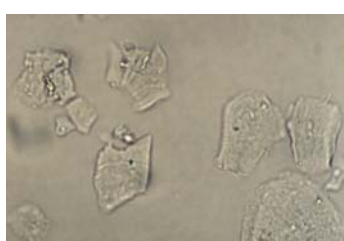


แป้งข้าวขาวดอกมะลิ105HMT

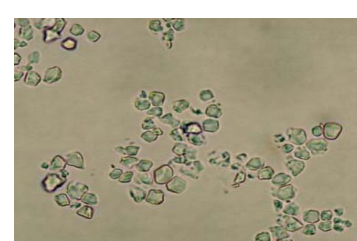
ค



แป้งกข6



แป้งกข6พรีเจล



แป้งกข6HMT

ภาพที่ 11 รูปร่างลักษณะของเมล็ดสารจีนแป้งด้วยการส่องกล้องจุลทรรศน์แบบธรรมดาที่
กำลังขยาย 400 เท่า

ก) แป้งชัณนาท1, แป้งชัณนาท1พรีเจล และแป้งชัณนาท1HMT

ข) แป้งข้าวขาวดอกมะลิ105, แป้งข้าวขาวดอกมะลิ105พรีเจล และแป้งข้าวขาวดอกมะลิ
105HMT

ค) แป้งกข6, แป้งกข6พรีเจล และแป้งกข6HMT

2.5 คุณภาพทางด้านสีของแป้งข้าวและแป้งข้าวคัดแปรทางฟิสิกส์

ตารางที่ 7 คุณภาพทางด้านสีของแป้งข้าวและแป้งข้าวคัดแปรทางฟิสิกส์

ชนิดแป้ง	ค่าสี		
	L*	a*	b*
สาทิ	93.354d	-0.712e	8.214c
ชัยนาท1	97.690a	-0.430c	2.495e
ชัยนาท1พีรีเจล	97.885a	-0.465cd	2.995e
ชัยนาท1HMT	91.043e	1.305a	10.413b
ขาวดอกมะลิ105	96.290b	-0.470d	2.830e
ขาวดอกมะลิ105พีรีเจล	97.015a	-0.485d	3.010e
ขาวดอกมะลิ105HMT	90.520e	1.165b	11.875a
กข6	93.845cd	-0.485d	7.215d
กข6พีรีเจล	94.220c	-0.493d	7.672d
กข6HMT	90.620e	1.275a	10.430b

ตัวอักษร a-c ที่แตกต่างกันในแนวตั้งคือค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากผลการทดลองค่า L* เป็นค่าที่บอกความสว่างของตัวอย่าง ค่า a* ใช้กำหนดสีแดง (+) หรือสีเขียว (-) และค่า b* ใช้กำหนดสีเหลือง (+) หรือสีน้ำเงิน (-) จากตารางที่ 7 พบว่าแป้งข้าวทั้งสามสายพันธุ์ที่ไม่ผ่านการดัดแปรมีค่า L* อยู่ในช่วง 93.845-97.690 สูงกว่าแป้งสาทิ แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งสาทิ เนื่องจากในแป้งสาทิมีปริมาณโปรตีนสูง (ตารางที่ 4) ทำให้เกิดการยึดเกาะกันระหว่างโปรตีนและสตาร์ชในโครงสร้างของแป้งแน่นขึ้น ส่งผลทำให้แป้งมีคุณสมบัติทึบแสง (Oh *et al.*, 1985b) ค่า a* แป้งข้าวเจ้ามีความเป็นสีเขียวน้อยกว่าแป้งสาทิ ส่วนค่า b* แป้งสาทิมีความเป็นสีเหลืองมากกว่าแป้งข้าวเจ้า แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งสาทิ



แป้งชัชนาท1 แป้งชัชนาท1พรีเจล แป้งชัชนาท1HMT



แป้งข้าวขาวดอกมะลิ105 แป้งข้าวขาวดอกมะลิ105พรีเจล แป้งข้าวขาวดอกมะลิ105HMT



แป้งกข6 แป้งกข6พรีเจล แป้งกข6HMT

ภาพที่ 12 สีของแป้งข้าวและแป้งข้าวคัดแปรทางฟิสิกส์

แป้งข้าวเจ้าที่ได้จากการไม่เปียกเป็นแป้งมีคุณภาพดี สีขาว ละเอียดยมากกว่าเก็บรักษาไว้ได้นานเป็นปี (อรพรรณ, 2547) ทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพดี เนื่องจากการไม่เปียกทำให้โปรตีนลิพิด และสารประกอบที่ละลายได้ในน้ำถูกชะล้างออกไป ดังนั้นในการทดลองจึงเลือกใช้แป้งข้าวเจ้าไม่เปียกเพื่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เส้นบะหมี่

ภายหลังจากการตัดแปรแบบพรีเจลพบว่า แป้งชัชนาท1พรีเจล มีค่าความสว่าง (L^*) มากกว่าแป้งสายพันธุ์เดียวกันที่ไม่ผ่านการตัดแปร ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) แต่แตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับแป้งที่ไม่ผ่านการตัดแปร เนื่องจากการตัดแปรแบบพรีเจลทำให้แป้งสุก แป้งที่ได้มีความใสกว่าแป้งปกติ แต่ค่า a^* และ b^* ของแป้งตัดแปรพรีเจลมีค่าต่ำกว่าแป้งปกติสายพันธุ์เดียวกันที่ไม่ผ่านการตัดแปร แตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับแป้งที่ไม่ผ่านการตัดแปร เนื่องจากระยะในการตัดแปรแป้งใช้อุณหภูมิสูง และมีความชื้นร่วมด้วยทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลขึ้น (พิณทิพย์, 2547) ส่วนแป้งตัดแปรแบบความร้อนร่วมกับความชื้นทำให้ค่า L^* ลดลงแสดงถึงความสว่างที่ลดลง แตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับแป้งที่ไม่ผ่านการตัดแปร ค่า a^* มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงจากค่า (-) สีเขียว เป็น (+) สีแดง แตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับแป้งที่ไม่ผ่านการตัดแปร ส่วนค่า b^* มีค่า (+) เพิ่มขึ้นคือมีสีเหลืองมากขึ้นกว่าแป้งปกติสายพันธุ์เดียวกันที่ไม่ผ่านการตัดแปร แตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับแป้งที่ไม่ผ่านการตัดแปร การเปลี่ยนแปลงของสีในแป้งข้าวที่ผ่านการตัดแปรแบบความร้อนร่วมกับความชื้นนี้ เป็นผลมาจากการเกิดสีน้ำตาลโดยไม่ใช้เอนไซม์ เนื่องจากมีความร้อนเข้ามาเกี่ยวข้อง จึงทำให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลกลูโคสและโปรตีนในแป้ง (Maillard reaction) เกิดเป็นสารสีน้ำตาลขึ้น (Lu *et al.*, 1996) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Jackson ในปี 2000 รายงานว่าเมื่อมีสารสีน้ำตาลเพิ่มขึ้น ค่า L^* จะลดลงคือความสว่างลดลง แตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับแป้งที่ไม่ผ่านการตัดแปร ค่า a^* สูงขึ้นคือมีสีแดงมากขึ้นกว่าแป้งปกติสายพันธุ์เดียวกันที่ไม่ผ่านการตัดแปร แตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับแป้งที่ไม่ผ่านการตัดแปร ส่วนค่า b^* มีค่าอยู่ที่กลางระหว่างสีเหลืองและสีน้ำตาล ซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของค่าสีที่วัดได้ในแป้งข้าวที่ผ่านการตัดแปร

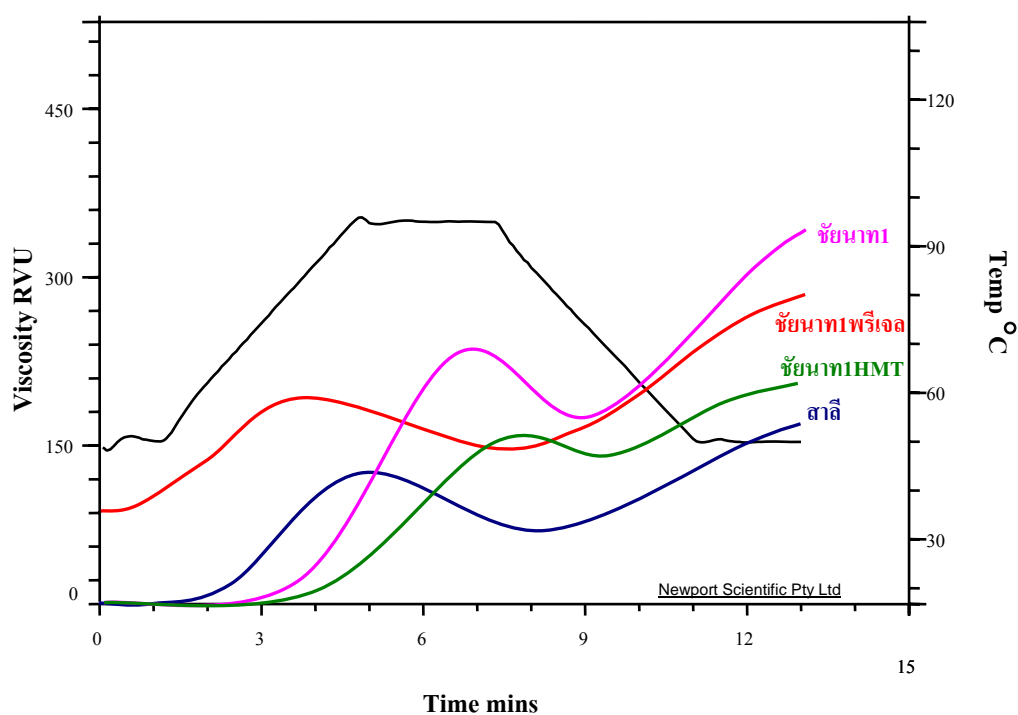
2.6 สมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าว และแป้งข้าวตัดแปรทางฟิสิกส์

การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งที่ใช้เป็นวัตถุดิบ สำหรับนำมาทำขนมปังสามารถตรวจวัดได้โดยใช้เครื่องวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความหนืดอย่างรวดเร็ว (Rapid Visco Analyzer, RVA) ซึ่งวัดการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป จากการทดลองพฤติกรรมของการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งทั้ง 10 ชนิด ได้แก่ แป้งสาทิ, แป้งชัชนาท1, แป้งชัชนาท1พรีเจล และแป้งชัชนาท1HMT ดังแสดงในภาพที่ 13 และตารางที่ 8 แป้งข้าวขาวดอกมะลิ105, แป้งข้าวขาวดอกมะลิ105พรีเจล และแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105HMT ดังแสดงในภาพที่ 14 และตารางที่ 9 แป้งกข6, แป้งกข6พรีเจล, และแป้งกข6HMT ดังแสดงในภาพที่ 15 และตารางที่ 10

ตารางที่ 8 ค่าที่อ่านและคำนวณได้จากกราฟแสดงความหนืดของแป้งสาลี แป้งชัณนาท1 แป้งชัณนาท1พรีเจล และแป้งชัณนาท1HMT

ชนิดแป้ง	Peak time (min)	Pasting temp (°C)	Pasting Properties (RVU)				
			Peak	Trough	Breakdown	Final	Setback
			Viscosity		Viscosity		
สาลี	5.13b	64.10c	123.08d	72.42d	50.66b	169.25d	96.83c
ชัณนาท 1	6.93a	83.95b	228.67a	175.42a	53.25a	337.42a	162.00a
ชัณนาท1พรีเจล	3.01c	51.47d	198.41b	150.21b	48.20c	283.42b	133.21b
ชัณนาท1HMT	7.24a	88.64a	154.81c	142.31c	12.50d	201.45c	59.14d

ตัวอักษร a-d ที่แตกต่างกันในแนวตั้งคือค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 13 การเปลี่ยนแปลงลักษณะเส้นกราฟจากเครื่องวัดความหนืดอย่างรวดเร็วของแป้งสาลี แป้งชัณนาท1 แป้งชัณนาท1พรีเจล และแป้งชัณนาท1HMT

จากผลการทดลอง (ตารางที่ 8) พบว่า แป้งชัณนาท1HMT มีเวลาที่ทำให้เกิดความหนืด (7.24 นาที) สูงสุด รองลงมาคือ แป้งชัณนาท1 มีเวลาที่ทำให้เกิดความหนืดคือ 6.93 นาที ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับแป้งชัณนาท1HMT แต่แตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับแป้งสาลี และแป้งชัณนาท1พรีเจล ส่วนแป้งสาลี มีเวลาที่ทำให้เกิดความหนืดคือ 5.13 นาที แตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับแป้งชัณนาท1 แป้งชัณนาท1HMT และแป้งชัณนาท1พรีเจล ส่วนแป้งชัณนาท1พรีเจล มีเวลาที่ทำให้เกิดความหนืดคือ 3.01 นาที แตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับแป้งชัณนาท1 แป้งชัณนาท1HMT และแป้งสาลี เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดพบว่า แป้งชัณนาท1HMT มีอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดสูงสุดคือ 88.64 องศาเซลเซียส แตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับแป้งชัณนาท1 แป้งชัณนาท1พรีเจล และแป้งสาลี ส่วนแป้งชัณนาท1ที่ไม่ผ่านการตัดแปร มีอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดคือ 83.95 องศาเซลเซียส แตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับแป้งชัณนาท1พรีเจล แป้งชัณนาท1HMT และแป้งสาลี ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากแป้งชัณนาท1HMT มีการตัดแปรแป้งโดยใช้ความร้อนร่วมกับความชื้น ส่งผลทำให้โครงสร้างเม็ดสตาร์ชเกิดการเคลื่อนที่ หรือเกิดการจัดเรียงตัวของโมเลกุลในส่วนออสชันฐานระหว่างการทำการตัดแปรแป้ง ทำให้เกิดโครงสร้างผลึกใหม่ หรือเกิดการเรียงตัวใหม่ของโครงสร้างผลึกเดิม และเกิดโครงสร้างผลึกขนาดเล็กที่มีความสมบูรณ์ขึ้นภายในสตาร์ช ซึ่งการเปลี่ยนแปลงในส่วนออสชันฐานที่เกิดขึ้น มีผลต่อการดูดซึมน้ำของสตาร์ชทำให้มีอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดเพิ่มขึ้น (Donovan *et al.*, 1983) นอกจากนี้ยังเป็นผลจากการเพิ่มขึ้นของพันธะไฮโดรเจนทั้งภายใน และระหว่างโมเลกุลจากการยึดเกาะกันของสายเอมิโลส และเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างเอมิโลสกับลิพิดในระหว่างการตัดแปร (Hoover and Manuel, 1996a) เมื่อดูผลของแป้งชัณนาท1พรีเจลพบว่า อุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดลดลงคือ 51.47 องศาเซลเซียส แตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับแป้งชัณนาท1 และแป้งชัณนาท1HMT เนื่องจากโครงสร้างภายในเม็ดสตาร์ชของแป้งชัณนาท1พรีเจลอยู่ในรูปหลวมเหลว และสูญเสียโครงสร้างผลึกทำให้แป้งชัณนาท1พรีเจลเมื่อได้รับความร้อนจึงเกิดการพองตัว และละลายตัวได้อย่างรวดเร็วกว่าแป้งชัณนาท1ที่ไม่ผ่านการตัดแปร เมื่อนำผลการทดลองเปรียบเทียบกับแป้งสาลีที่มีค่าอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดคือ 64.10 องศาเซลเซียส พบว่ามีค่าต่ำกว่าแป้งชัณนาท1 และแป้งชัณนาท1HMT แต่มีค่าสูงกว่าแป้งชัณนาท1พรีเจล แตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับแป้งชัณนาท1, แป้งชัณนาท1HMT และแป้งชัณนาท1พรีเจลโดยพบว่าแป้งชัณนาท1จะใช้ระยะเวลาสั้นกว่าแป้งสาลีก่อนที่จะเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงความหนืดเนื่องจากแป้งชัณนาท1สามารถดูดน้ำได้ช้ากว่าแป้งสาลี (กมลพรรณ, 2547) จึงทำให้แป้งข้าวเจ้ามีอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดสูงกว่า

เมื่อให้ความร้อนกับน้ำแป้ง เม็ดสตาร์ชพองตัว (เกิดการเจลาติไนซ์) มีผลให้น้ำแป้งมีความหนืดเพิ่มสูงขึ้นจนถึงจุดที่ให้ความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ซึ่งค่า peak viscosity เป็นค่าที่บอกรถึงความสามารถในการจับน้ำของเม็ดสตาร์ชหรือส่วนผสม ซึ่งสัมพันธ์กับคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้าย และยังบอกรถึงแรงที่ต้องใช้ในการผสมหรือกวนในขณะที่ให้ความร้อน จากตารางที่ 8 แป้งชัชนาที่ 1 ที่ไม่ผ่านการตัดแปรมีค่าความหนืดสูงสุดคือ 228.67 RVU ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความหนืดสูงสุดของแป้งชัชนาที่ 1 ฟรีเจล (198.41 RVU) แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งชัชนาที่ 1 ที่ไม่ผ่านการตัดแปร และแป้งชัชนาที่ 1 HMT เนื่องจากแป้งฟรีเจลได้รับความร้อนในระดับสูงทำให้แป้งเกิดเจลาติไนซ์ โครงสร้างโมเลกุลแตกออก ให้ความหนืดลดลง (Yadav, 2006) ส่วนแป้งชัชนาที่ 1 HMT มีค่าความหนืดสูงสุดลดลงคือ 154.81 RVU แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งชัชนาที่ 1 และแป้งชัชนาที่ 1 ฟรีเจล อาจเป็นผลเนื่องมาจากการพองตัวที่ต่ำ และการที่เม็ดสตาร์ชมีความแข็งแรงต่อความร้อนและแรงเฉือนได้มากกว่า จึงไม่เกิดการแตกของเม็ดสตาร์ช (Hoover and Manuel, 1996a) เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งสาลีพบว่า แป้งสาลีมีค่าความหนืดสูงสุดคือ 123.08 RVU มีค่าต่ำสุด แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งชัชนาที่ 1, แป้งชัชนาที่ 1 ฟรีเจล และแป้งชัชนาที่ 1 HMT ที่เป็นเช่นนี้น่าจะเป็นผลมาจากปริมาณโปรตีนของแป้งสาลีที่มีปริมาณสูงกว่าแป้งชัชนาที่ 1 เพราะเมื่อเปรียบเทียบปริมาณแอมิโลสของแป้งสาลีและแป้งชัชนาที่ 1 พบว่า มีค่าใกล้เคียงกัน

เมื่อเม็ดสตาร์ชพองตัวเต็มที่แล้วจะแตกออกในระหว่างการคน โมเลกุลของแอมิโลสที่มีขนาดเล็กจะกระจายตัวออกมาจากเม็ดสตาร์ช ความหนืดของสารละลายแป้งจะลดต่ำลง ในระหว่างการทดลองมีการให้ความร้อนแก่ตัวอย่างที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียสระยะเวลาหนึ่ง เมื่อตัวอย่างได้รับความร้อนและแรงกวนอย่างต่อเนื่องมีผลทำให้เม็ดสตาร์ชเกิดการแตก ทำให้โมเลกุลของแอมิโลสไหลออกสู่สารละลายมากขึ้น และมีผลให้ความหนืดลดลง จนมีความหนืดต่ำสุด (trough) จากผลการทดลอง (ตารางที่ 8) พบว่า แป้งชัชนาที่ 1 มีค่าความหนืดต่ำสุดสูงคือ 175.42 RVU แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งชัชนาที่ 1 ฟรีเจล และแป้งชัชนาที่ 1 HMT ในขณะที่แป้งชัชนาที่ 1 ผ่านการตัดแปรทั้งแบบฟรีเจลและความร้อนร่วมกับความชื้น มีค่าความหนืดต่ำสุดลดลงคือ 150.21 และ 142.31 RVU ตามลำดับ แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งชัชนาที่ 1 เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งสาลีพบว่า แป้งสาลีมีค่าความหนืดต่ำสุดต่ำที่สุดคือ 72.42 RVU แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งชัชนาที่ 1, แป้งชัชนาที่ 1 ฟรีเจล และแป้งชัชนาที่ 1 HMT โดยอัตราการลดลงของความหนืดในช่วงนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และระดับของแรงเฉือน (การกวน) ในส่วนผสม ความแตกต่างระหว่างความหนืดสูงสุดและต่ำสุด เรียกว่า เบรคดาวน์ (breakdown) ซึ่งค่าเบรคดาวน์บอกรถึงความสามารถในการคงทนต่ออุณหภูมิและแรงเฉือน จากการทดลอง (ตารางที่ 8) ค่า

เบรคคาวนซ์ของแป้งชัชนาที่ที่ไม่ผ่านการตัดแปร และที่ผ่านการตัดแปร แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งสาลี โดยพบว่า แป้งชัชนาที่ HMT มีค่าเบรคคาวนซ์ (12.50 RVU) ต่ำกว่าแป้งชัชนาที่ที่ไม่ผ่านการตัดแปร (53.25 RVU) และแป้งชัชนาที่ฟรีเจล (48.20 RVU) และเมื่อเปรียบเทียบค่าเบรคคาวนซ์กับแป้งสาลีพบว่า แป้งชัชนาที่ แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งสาลี จากผลการทดลองแสดงว่าเม็ดสตาร์ชของแป้งชัชนาที่เมื่อมีการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น มีผลให้สตาร์ชมีความคงตัวต่อความร้อนและแรงเฉือนมากขึ้น

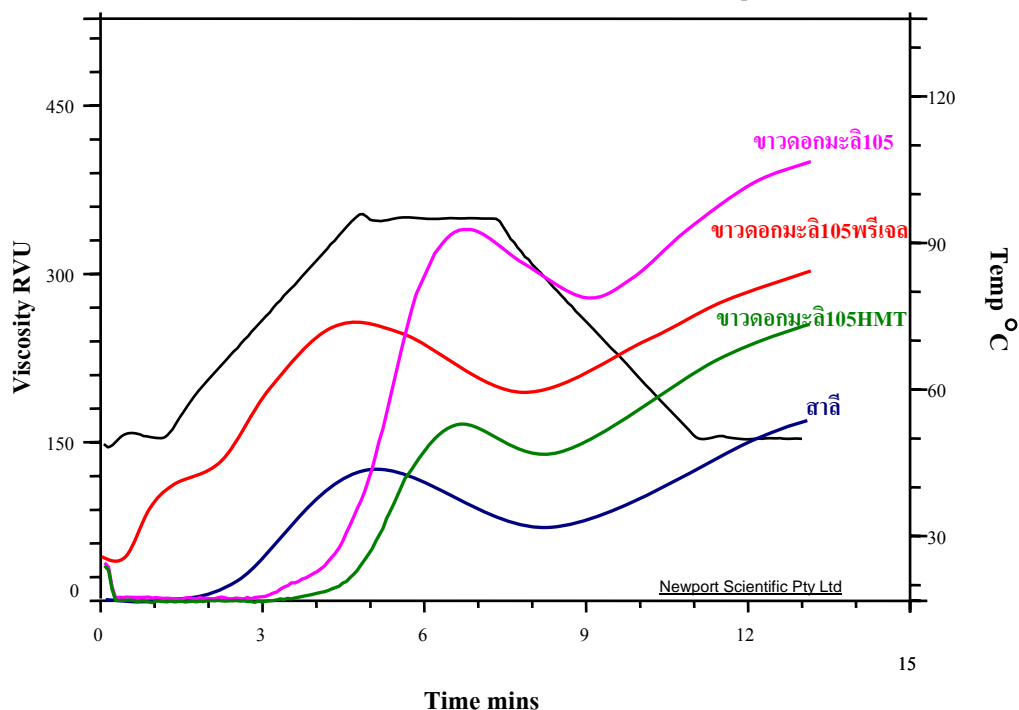
เมื่อลดอุณหภูมิระบบลงจาก 95 องศาเซลเซียส เป็น 50 องศาเซลเซียส โมเลกุลพอลิเมอร์ของสารอาหารต่างๆจัดเรียงตัวใหม่เกิดขึ้น โดยเฉพาะโมเลกุลของแอมิโลสเกิดการเรียงตัวเป็นร่างแหสามมิติขึ้น เกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้นระหว่างโมเลกุลของแอมิโลสทำให้ได้ลักษณะโครงสร้างใหม่เกิดเป็นเจล ซึ่งมีผลทำให้ความหนืดของแป้งเพิ่มขึ้นอีกครั้งเรียกว่า ความหนืดสุดท้าย (final viscosity) (พิณทิพย์, 2547) จากผลการทดลองพบว่า แป้งชัชนาที่ที่ไม่ผ่านการตัดแปรและที่ผ่านการตัดแปร (ฟรีเจลาทีไนซ์และ HMT) มีค่าความหนืดสุดท้าย แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แป้งชัชนาที่มีค่าความหนืดสุดท้ายคือ 337.42 RVU แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งชัชนาที่ฟรีเจล และแป้งชัชนาที่ HMT ในขณะที่แป้งชัชนาที่ฟรีเจล มีค่าความหนืดสุดท้ายต่ำกว่าคือ 283.42 RVU และแป้งชัชนาที่ HMT มีค่าความหนืดสุดท้ายลดลงคือ 201.45 RVU แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งชัชนาที่ และแป้งชัชนาที่ฟรีเจล สำหรับแป้งสาลีมีค่าความหนืดสุดท้ายต่ำสุดคือ 169.25 RVU แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งชัชนาที่, แป้งชัชนาที่ฟรีเจล และแป้งชัชนาที่ HMT ค่าความหนืดที่แตกต่างระหว่างความหนืดต่ำสุดกับความหนืดสุดท้าย เรียกว่า การคืนตัว (setback) ซึ่งเป็นค่าเกี่ยวข้องกับกระบวนการเกิดรีโทรเกรเดชัน หรือกระบวนการที่มีการจัดระเบียบใหม่ของโมเลกุล (พิณทิพย์, 2547) ค่าการคืนตัวจึงมีความเกี่ยวข้องกับลักษณะเนื้อสัมผัสสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบ (พิณทิพย์, 2547) จากตารางที่ 8 ค่าการคืนตัวของแป้งที่ทดสอบ แป้งชัชนาที่ มีค่าการคืนตัวสูง (162.00 RVU) แต่ต่ำกว่าแป้งชัชนาที่ฟรีเจล (270.67 RVU) แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งชัชนาที่ฟรีเจล และแป้งชัชนาที่ HMT ส่วนแป้งชัชนาที่ HMT มีค่าการคืนตัว (59.14 RVU) ต่ำกว่าทั้งแป้งชัชนาที่ และแป้งชัชนาที่ฟรีเจล แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งชัชนาที่และแป้งชัชนาที่ฟรีเจล เนื่องจากการพองตัวที่ต่ำกว่า และการที่เม็ดสตาร์ชมีความแข็งแกร่งต่อความร้อนและแรงเฉือนได้มากกว่า จึงไม่เกิดการแตกของเม็ดสตาร์ช (พิณทิพย์, 2548) สำหรับแป้งสาลีมีค่าการคืนตัวต่ำที่สุดสำหรับแป้งที่ทดสอบคือ 96.83 RVU แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งชัชนาที่ แป้งชัชนาที่ฟรีเจล และแป้งชัชนาที่ HMT ซึ่งลักษณะเส้นกราฟที่ได้ จะบอกถึงความคงทนและคงตัวของสารผสมที่เกิดจากแป้งข้าวนั้น นอกจากใช้ในการเปรียบเทียบคุณภาพของข้าว

แต่ละพันธุ์ ซึ่งให้ลักษณะของความหนืดที่เปลี่ยนแปลงแล้ว ค่าบางค่ายังมีความสัมพันธ์กับแฟกเตอร์อื่นที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพได้อีกด้วยเช่น ค่าความหนืดสูงสุดมีความสัมพันธ์กับปริมาณแอมิโลส, ปริมาณโปรตีน และอายุการเก็บรักษาของข้าว เป็นต้น (Halick and Kelly, 1959; Kongseree and Juliano, 1972)

ตารางที่ 9 ค่าที่อ่านและคำนวณได้จากกราฟแสดงความหนืดของแป้งสาลี แป้งข้าวขาวดอกมะลิ 105 แป้งข้าวขาวดอกมะลิ105พีรีเจล และแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105HMT

ชนิดแป้ง	Peak time (min)	Pasting temp (°C)	Pasting Properties (RVU)				
			Peak Viscosity	Trough	Breakdown	Final Viscosity	Setback
สาลี	5.13c	64.10c	123.08d	72.42d	50.66c	169.25d	96.83d
ข้าวดอกมะลิ105	6.53b	75.05b	357.67a	280.75a	76.92a	410.58a	129.83a
ข้าวดอกมะลิ105พีรีเจล	4.80d	49.90d	257.53b	201.00b	56.53b	306.83b	105.83c
ข้าวดอกมะลิ105HMT	6.67a	87.10a	167.17c	145.17c	22.00d	259.17c	114.00b

ตัวอักษร a-d ที่แตกต่างกันในแนวตั้งคือค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 14 การเปลี่ยนแปลงลักษณะเส้นกราฟจากเครื่องวัดความหนืดอย่างรวดเร็วของแป้งสาลี แป้งข้าวขาวดอกมะลิ105 แป้งข้าวขาวดอกมะลิ105พีรีเจล และแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105HMT

จากผลการทดลอง (ตารางที่ 9) พบว่า แป้งข้าวขาวดอกมะลิ105 มีระยะเวลาเกิดความหนืดสูงสุดคือ 6.53 นาที มีค่าสูงกว่าแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105พรีเจล (4.80 นาที) แต่มีค่าต่ำกว่าแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105HMT (6.67 นาที) แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105พรีเจล และแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105HMT ส่วนแป้งสาลีใช้ระยะเวลาเกิดความหนืดสูงสุดคือ 5.13 นาที มีค่าต่ำกว่าแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105ที่ไม่ผ่านการตัดแปร แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105ที่ไม่ผ่านการตัดแปร แป้งข้าวขาวดอกมะลิ105พรีเจล และแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105HMT เนื่องจากแป้งข้าวเจ้าสามารถดูดน้ำได้ช้ากว่าแป้งสาลี (กมลพรรณ, 2547) จึงทำให้แป้งข้าวเจ้าใช้ระยะเวลาในการเกิดความหนืดสูงสูดนานกว่าแป้งสาลี ซึ่งสอดคล้องกับผลของอุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืดของแป้งพบว่า แป้งสาลีมีอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดคือ 64.10 องศาเซลเซียส แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105 แป้งข้าวขาวดอกมะลิ105พรีเจล และแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105HMT มีค่าใกล้เคียงกับผลการทดลองของ Yunt *et al.*, 1996 ที่ได้ผลของอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดแป้งสาลีอยู่ระหว่าง 58-65 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าต่ำกว่าแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105 (75.05 องศาเซลเซียส) และแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105HMT (87.10 องศาเซลเซียส) แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105 เนื่องจากการตัดแปรทำให้โครงสร้างเม็ดสตาร์ชมีความแข็งแรงต่อแรงเนียนมากขึ้น (พิณทิพย์, 2547) ส่วนแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105พรีเจล ที่มีอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดคือ 49.90 องศาเซลเซียส แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105 เนื่องจากเม็ดสตาร์ชเกิดการพองตัวในระหว่างการตัดแปร เมื่อให้ความร้อนทำให้แป้งเกิดความหนืดได้เร็วกว่าอุณหภูมิที่ต่ำกว่าแป้งอื่น

เมื่อให้ความร้อนแก่น้ำแป้งต่อไป น้ำแป้งเกิดความหนืดเพิ่มสูงขึ้นจนถึงจุดที่ให้ความหนืดสูงสุด จากตารางที่ 9 พบว่า ความหนืดสูงสุดที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส ของแป้งสาลีมีความหนืดสูงสุดคือ 123.08 RVU มีค่าต่ำสุด แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105 เนื่องจากแป้งข้าวเจ้ามีความสามารถดูดน้ำ และพองตัวได้มากกว่าแป้งสาลี (Batey *et al.*, 1997) แป้งข้าวขาวดอกมะลิ105 ที่ไม่ผ่านการตัดแปรมีความหนืดสูงสุดคือ 357.67 RVU แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105พรีเจล และแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105HMTเนื่องจากความร้อนส่งผลให้เม็ดสตาร์ชเกิดการพองตัวและหนืดขึ้น ส่วนแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105พรีเจล มีค่าความหนืดสูงสุดคือ 257.53 RVU แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105ที่ไม่ผ่านการตัดแปร เนื่องจากแป้งเมื่อได้รับความร้อนในระหว่างการตัดแปร ทำให้สตาร์ชเกิดการเจลาทิไนซ์แล้ว และเมื่อได้รับความร้อนอีกครั้งทำให้โมเลกุลแตกออกได้ง่ายขึ้น ส่งผลให้ความหนืดลดลงและแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105HMT มีค่าความหนืดสูงสุดลดลงคือ 145.17

RVU แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105ที่ไม่ผ่านการตัดแปรรูป น่าจะเป็นผลมาจากการจัดเรียงตัวของแอมิโลสในโมเลกุล หรือการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในระหว่างการตัดแปรรูป ซึ่งส่งผลต่อเนื่องมาถึงการพองตัวที่ลดลงของเม็ดสตาร์ช และเมื่อสตาร์ชมีการพองตัวต่ำลง (ตารางที่ 5) จะทำให้สตาร์ชมีความหนืดลดลงด้วย ดังนั้นความสามารถในการพองตัวที่ต่ำลงของแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105 ภายหลังจากการตัดแปรรูปด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้ค่าความหนืดสูงสุดลดลง

ค่าความหนืดต่ำสุด เป็นค่าความหนืดที่เกิดขึ้นหลังจากการให้ความร้อนแก่ของผสมสตาร์ชบางส่วนซึ่งพองตัวเต็มที่จากกระบวนการเจลาทิไนเซชันเกิดการแตกออก ทำให้ความหนืดลดลง (อรพรรณ, 2547) จากผลการทดลองพบว่า แป้งสาธิตีมีค่าความหนืดต่ำสุด (72.42 RVU) ต่ำกว่าแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105ที่ไม่ผ่านการตัดแปรรูป และที่ผ่านการตัดแปรรูป แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105 ส่วนแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105 มีความหนืดต่ำสุดคือ 280.75 RVU มีค่าสูงกว่าแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105ฟรีเจล (201.00 RVU) และแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105HMT (145.07 RVU) แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งสาธิตี

ความหนืดลดลงหรือค่าเบรคดาวน์ เป็นค่าที่ได้จากค่าความหนืดสูงสุดลบค่าความหนืดต่ำสุด แสดงถึงความแข็งแรงของเม็ดสตาร์ชต่อการให้ความร้อน และการกวนที่เกิดขึ้นในระบบของเครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว (อรพรรณ, 2547) แป้งสาธิตีมีค่าความหนืดลดลงคือ 50.66 RVU มีค่าต่ำกว่าแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105 (76.92 RVU) แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105 ส่วนแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105ฟรีเจล (56.53 RVU) มีค่าสูงกว่าแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105HMT (22.00 RVU) แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105HMT แสดงว่าเพศของแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105HMT มีความคงตัวดีในระหว่างการหุงต้ม

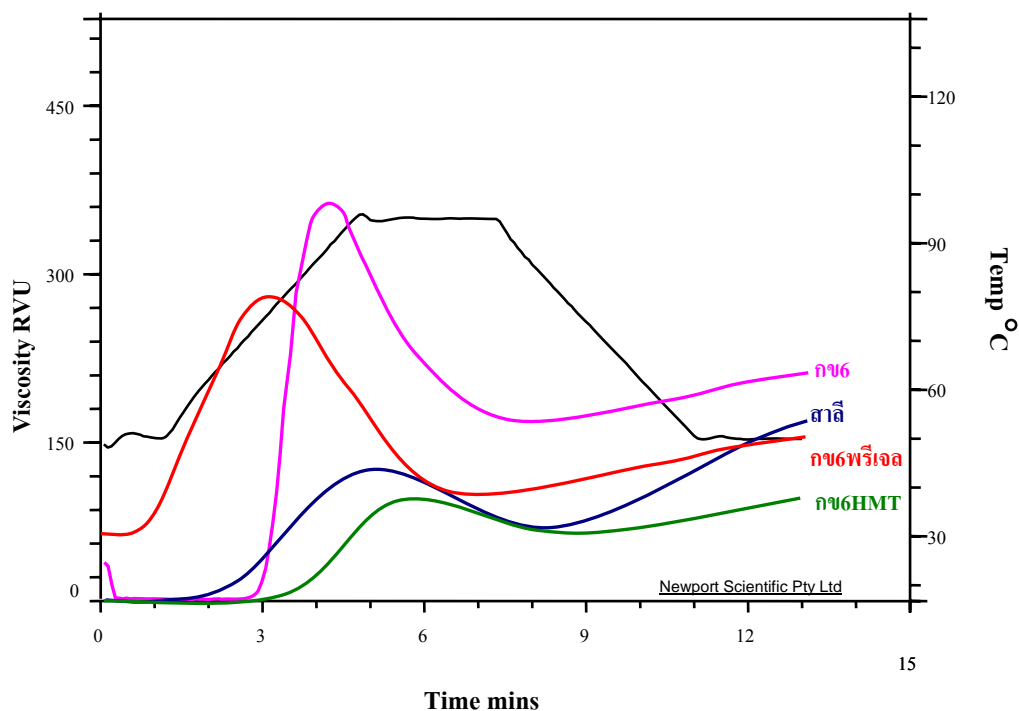
ผลการทดลองพบว่า แป้งสาธิตีมีค่าความหนืดสุดท้าย 169.25 RVU มีค่าต่ำกว่าแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105ที่ไม่ผ่านการตัดแปรรูป (410.58 RVU) แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105ที่ไม่ผ่านการตัดแปรรูป ($p \leq 0.05$) และที่ผ่านการตัดแปรรูปแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105 (ฟรีเจลาทิไนซ์และHMT) แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105 ที่ไม่ผ่านการตัดแปรรูป ซึ่งแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105ฟรีเจล และแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105HMT มีค่าความหนืดสุดท้ายลดลงกว่าแป้งที่ไม่ผ่านการตัดแปรรูปคือ 306.83 และ 259.17 RVU ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งชัณนาท1ที่ไม่ผ่านการตัดแปรรูป แสดงว่าเจลาสามารถเกิดรีโทรเกรเดชันได้

น้อยลง ค่าเซทแบคซึ่งเป็นค่าที่ได้จากความหนืดสุดท้ายลบความหนืดต่ำสุด แสดงถึงการจัดเรียงตัวใหม่ของเอมิโลสกลายเป็นโครงสร้างที่แข็งแรง ซึ่งเรียกกระบวนการนี้ว่าการเกิดรีโทรเกรดชัน (กล้านรงค์, 2541) ค่าเซทแบคเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญอย่างหนึ่งในการเลือกพันธุ์ข้าวในการผลิตอาหารเส้น เพราะแสดงถึงความแข็งของเจล ซึ่งเป็นสมบัติที่ต้องการสำหรับอาหารเส้น และส่งผลถึงความแน่นแข็งของเนื้อสัมผัสขณะเคี้ยว (อรพรรณ, 2547) จากตารางที่ 9 ค่าเซทแบคหรือค่าการคืนตัวของแป้งที่ทดสอบ แป้งข้าวขาวดอกมะลิ105 มีค่าการคืนตัวสูง 129.83 RVU แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105พีจีเอส และแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105HMT ส่วนแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105พีจีเอส และแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105HMT มีค่าการคืนตัวลดลงคือ 105.83 และ 114.00 RVU ตามลำดับ แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105ที่ไม่ผ่านการคัดแปร

ตารางที่ 10 ค่าที่อ่านและคำนวณได้จากกราฟแสดงความหนืดของแป้งสาลี แป้งกข6 แป้งกข6พีจีเอส และแป้งกข6HMT

ชนิดแป้ง	Peak time (min)	Pasting temp (°C)	Pasting Properties (RVU)				
			Peak	Trough	Breakdown	Final	Setback
			Viscosity		Viscosity		
สาลี	5.13b	64.10c	123.08c	72.42d	50.66c	169.25b	96.83a
กข6	3.80c	71.05b	364.08a	171.75a	192.33a	211.83a	40.08c
กข6พีจีเอส	1.73d	50.05d	281.42b	105.75b	175.67b	156.75c	51.00b
กข6HMT	6.02a	80.18a	95.59d	80.04c	15.55d	101.82d	21.78d

ตัวอักษร a-d ที่แตกต่างกันในแนวตั้งคือค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 15 การเปลี่ยนแปลงลักษณะเส้นกราฟจากเครื่องวัดความหนืดอย่างรวดเร็วของแป้งสาลี แป้งกข6 แป้งกข6พีริเจล และแป้งกข6HMT

จากตารางที่ 10 และภาพที่ 15 เมื่อเปรียบเทียบผลของการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งกข6 ที่ไม่ผ่านและผ่านการตัดแปรพบว่า แป้งกข6HMT มีอุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืด (80.18 องศาเซลเซียส) สูงขึ้นภายหลังการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งกข6ที่ไม่ผ่านการตัดแปร เป็นผลเนื่องมาจากการตัดแปรทำให้โครงสร้างของแอมิโลเพกทินเปลี่ยนแปลงไป เช่นถูกทำให้แตกออกหรือเกิดการคลายเกลียวของเกลียวคู่ (พินทิพย์, 2547) ส่งผลให้แป้งกข6 มีการพองตัวลดลงมากเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งกข6ที่ไม่ผ่านการตัดแปร และเมื่อแป้งมีการพองตัวต่ำจึงทำให้ต้องใช้เวลานานขึ้น เพื่อให้แป้งสามารถเกิดการพองตัวและอุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืดเพิ่มสูงขึ้นในแป้งกข6HMT ส่วนแป้งกข6พีริเจล มีค่าอุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืดลดลง (50.05 องศาเซลเซียส) แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งกข6ที่ไม่ผ่านการตัดแปร เนื่องจากเมื่อผ่านกระบวนการตัดแปรด้วยวิธีการพีริเจลาไทไนซ์ มีผลให้โครงสร้างสตาร์ชแตกออก เมื่อให้ความร้อนเพิ่มขึ้นส่งผลให้แป้งเกิดความหนืดขึ้นได้ทันที และแป้งสาลีมีค่าอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืด (64.10 องศาเซลเซียส) ต่ำกว่าแป้งกข6ที่ไม่ผ่านการตัดแปร แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งกข6ที่ไม่ผ่านการตัดแปร เนื่องจากความสามารถในการดูดน้ำของแป้งที่แตกต่างกัน ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นทำให้แป้งข้าวมีอุณหภูมิแป้งสูงกว่าแป้งสาลี

เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการวิเคราะห์จาก 50 เป็น 95 องศาเซลเซียส แป้งกษ6ที่ไม่ผ่านการตัดแปรมีค่าความหนืดสูงสุดคือ 364.08 RVU มีค่าสูงกว่าแป้งสาลี (123.08 RVU) โดยแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งสาลี เนื่องจากแป้งกษ6มีองค์ประกอบแอมิโลสต่ำกว่าแป้งสาลี (ตารางที่ 4) ซึ่งโดยปกติสสารที่ผ่านการตัดแปรร่วมกับความร้อนร่วมกับความชื้น (95.59 RVU) จะมีการพองตัวต่ำกว่าสสารที่ไม่ผ่านการตัดแปร และมีค่าความหนืดสูงสุดลดลง (ตารางที่ 10) ทั้งนี้ อาจเนื่องจากการตัดแปรร่วมกับความร้อนร่วมกับความชื้นทำให้มีค่ากำลังการพองตัวลดลง (ตารางที่ 5) ส่วนแป้งกษ6พีริเจล มีค่าความหนืดสูงสุดเพิ่มขึ้นกว่าแป้งกษ6ที่ไม่ผ่านการตัดแปร (281.42 RVU) แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งกษ6ที่ไม่ผ่านการตัดแปร เนื่องจากการพองตัวของเม็ดสสารมาก และส่วนที่ละลายออกมาในน้ำร้อนมากด้วย (Wang and Wang, 2002)

เมื่อเม็ดสสารพองตัวเต็มที่ และเกิดค่าความหนืดสูงสุดของเพสต์แป้งแล้ว การให้แรงเฉือนอย่างต่อเนื่องและการคงอุณหภูมิที่ 95 องศาเซลเซียสไว้ระยะเวลาหนึ่ง ส่งผลให้เม็ดสสารสสารที่เกิดการเจลาทิไนซ์แล้วแตกออก ความหนืดของเพสต์จึงลดลง ซึ่งการลดลงของความหนืด มีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับความแข็งแรงหรือเปราะบางของเม็ดสสารที่เกิดการพองตัว (Han and Hamaker, 2001) แป้งกษ6 มีค่าความหนืดต่ำสุดสูง (171.75 RVU) ส่วนแป้งสาลีมีค่าความหนืดต่ำสุดต่ำที่สุด (72.42 RVU) แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งกษ6พีริเจลและแป้งกษ6HMT ค่าความหนืดต่ำสุดของแป้งกษ6HMT (80.04 RVU) ลดลง แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งที่ไม่ผ่านการตัดแปร และแป้งกษ6พีริเจล มีค่าความหนืดต่ำสุด (105.75 RVU) แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งที่ไม่ผ่านการตัดแปร แสดงว่าแป้งมีความคงตัวต่อการหุงต้มลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งกษ6ที่ไม่ผ่านการตัดแปร เนื่องจากโครงสร้างไม่แข็งแรงเปราะบางที่เกิดจากการพองตัวเมื่อผ่านกระบวนการพีริเจลาทิไนซ์

ความหนืดลดลงหรือค่าเบรคดาวน์ จากผลการทดลองพบว่า แป้งกษ6 มีค่าความหนืดลดลงสูงสุดคือ (192.33 RVU) แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งกษ6ที่ผ่านการตัดแปร แป้งกษ6พีริเจล (175.67 RVU) และแป้งกษ6HMT มีค่าความหนืดลดลงต่ำสุดคือ 15.55 RVU แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งกษ6ที่ไม่ผ่านการตัดแปร ส่วนแป้งสาลี มีค่าความหนืดลดลง (50.66 RVU) แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งกษ6ที่ไม่ผ่านการตัดแปร และแป้งกษ6ที่ผ่านการตัดแปร

เมื่อระบบลดอุณหภูมิลงจาก 95 องศาเซลเซียสเป็น 50 องศาเซลเซียส แป้งกข6 มีค่าความหนืดสุดท้ายสูงสุดคือ 211.83 RVU ส่วนแป้งที่ผ่านการตัดแปร (พรีเจลลิ่งในเซชันและHMT) มีค่าความหนืดสุดท้ายต่ำกว่า คือ 156.75 และ 101.82 RVU ตามลำดับ แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งกข6ที่ไม่ผ่านการตัดแปร เนื่องจากการตัดแปรทำให้โมเลกุลของเอมิโลเพกทินบางส่วน of แป้งข้าวถูกทำลายไปด้วยความร้อน (Wang and Wang, 2002) และแป้งสาลี มีค่าความหนืดสุดท้ายคือ 169.25 RVU มีค่าสูงกว่าแป้งกข6พรีเจลและแป้งกข6HMT แต่ต่ำกว่าแป้งกข6 แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งกข6

ค่าเซทแบค จากผลการทดลอง (ตารางที่ 10) พบว่า แป้งกข6 มีค่าเซทแบค 40.08 RVU แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งกข6ที่ผ่านการตัดแปร ส่วนแป้งกข6ที่ผ่านกระบวนการตัดแปร (พรีเจลลิ่งในเซชัน และHMT) มีค่าเซทแบคสูงขึ้น คือ 51.00 และ 21.78 RVU แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งกข6ที่ไม่ผ่านการตัดแปร

2.7 ความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งของแป้งข้าวและแป้งตัดแปรทางฟิสิกส์

ตารางที่ 11 ความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งของเจลแป้ง

ชนิดแป้ง	ร้อยละของปริมาณน้ำที่แยกออกมาจากเจลเยือกแข็งในแต่ละรอบ				
	1	2	3	4	5
สาลี	7.00c	21.80c	31.60b	37.08b	40.05c
ชัยนาท1	5.39d	16.31d	26.92d	33.33c	39.93c
ชัยนาท1พรีเจล	15.76a	28.60a	37.65a	45.19a	47.65a
ชัยนาท1HMT	3.21e	11.58e	21.85e	30.73d	37.36d
ขาวดอกมะลิ105	0.77g	5.44f	14.34f	23.37e	28.93e
ขาวดอกมะลิ105พรีเจล	10.48b	22.71b	30.25c	37.33b	42.29b
ขาวดอกมะลิ105HMT	0.11h	2.22g	4.80g	6.82f	17.55f
กข6	0.12h	0.38h	0.78i	0.82h	1.23h
กข6พรีเจล	1.06f	2.15g	3.53h	5.67g	6.81g
กข6HMT	0.16h	0.26h	0.40j	0.61h	0.77h

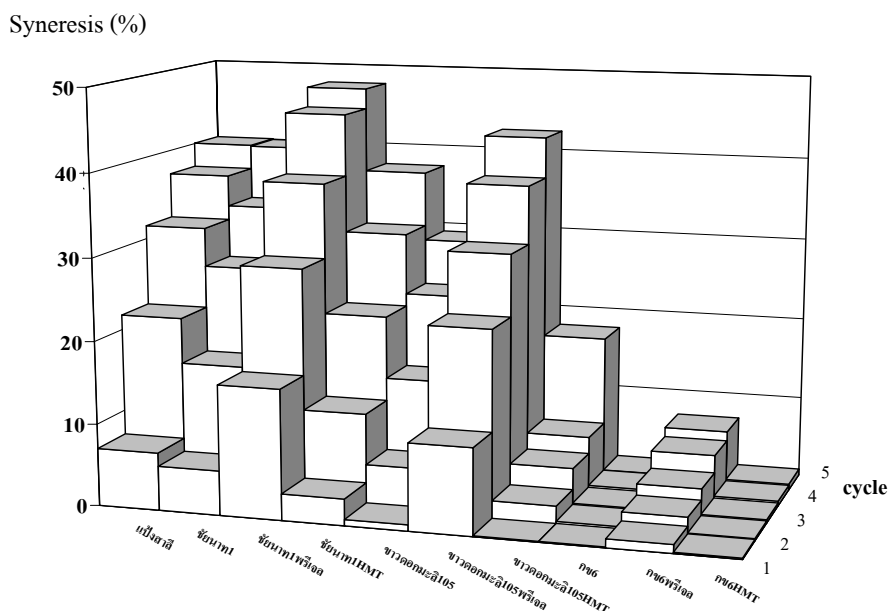
ตัวอักษร a-j ที่แตกต่างกันในแนวตั้งคือค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ร้อยละของการแยกน้ำ (%syneresis) ในแป้งที่ไม่ผ่านการตัดแปรพบว่า แป้งสาลีมีปริมาณน้ำที่แยกออกมาจากเจลแช่เยือกแข็งในแต่ละรอบเป็นจำนวน 3 รอบ อยู่ในช่วงร้อยละ 7.00-31.60 แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าว ยกเว้นในรอบที่ 4 มีปริมาณน้ำที่แยกออกมาจากเจลแช่เยือกแข็ง มีร้อยละของการแยกน้ำคือ 37.33 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105 และในรอบที่ 5 มีปริมาณน้ำที่แยกออกมาจากเจลแช่เยือกแข็ง มีร้อยละของการแยกน้ำคือ 39.93 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับแป้งชัชนาท1 จากผลการทดลองแป้งชัชนาท1 มีร้อยละของการแยกน้ำในปริมาณสูง มีปริมาณน้ำที่แยกออกมาจากเจลที่ผ่านการคืนรูปจากเยือกแข็งในแต่ละรอบเป็นจำนวน 4 รอบ อยู่ในช่วงร้อยละ 5.39-33.33 แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105 และแป้งกข6ที่ไม่ผ่านการตัดแปร ยกเว้นในรอบที่ 5 มีปริมาณน้ำที่แยกออกมาจากเจลจากการแช่เยือกแข็ง มีร้อยละของการแยกน้ำคือ 39.93 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับแป้งสาลี เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลเอมิโลสมีขนาดเล็ก จะเกิดการจัดเรียงตัวกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล เกิดเป็นร่างแหสามมิติโครงสร้างใหม่ที่สามารถอุ้มน้ำได้ เมื่ออุณหภูมิลดลงลักษณะการเรียงตัวของโครงสร้างจะแน่นขึ้น โมเลกุลอิสระของน้ำที่อยู่ภายในจะถูกบีบออกมาจนเจลดได้มาก (กล้าณรงค์ และ เกื้อกุล, 2543) และเนื่องจากแป้งชัชนาท1 เป็นแป้งที่มีปริมาณเอมิโลสสูง (ปริมาณเอมิโลสร้อยละ 28.59) ในเจลแป้งกข6ที่ไม่ผ่านการตัดแปรมีค่าต่ำมาก โดยมีปริมาณน้ำที่แยกออกมาจากเจลแช่เยือกแข็งในแต่ละรอบเป็นจำนวน 5 รอบ อยู่ในช่วงร้อยละ 0.12-1.23 แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งชัชนาท1 และแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105 ทั้งนี้เนื่องจากแป้งกข6 เป็นแป้งข้าวเหนียว (ปริมาณเอมิโลสร้อยละ 5.54) และโครงสร้างส่วนใหญ่เป็นเอมิโลเพกทิน ซึ่งมีกึ่งก้านมาก ทำให้น้ำอิสระในโครงสร้างซึมออกมาได้ต่ำกว่า (พิณทิพย์, 2547) ดังนั้นการเกิดรีโทรเกรเดชันของสายเอมิโลส จึงไม่เกิดขึ้นหรือเกิดขึ้นได้น้อยมาก แป้งข้าวขาวดอกมะลิ105ที่ไม่ผ่านการตัดแปร มีปริมาณน้ำที่แยกออกมาจากเจลหลังคืนรูปจากเยือกแข็งในแต่ละรอบเป็นจำนวน 5 รอบ อยู่ในช่วงร้อยละ 0.77-28.93 มีค่าสูงกว่าแป้งกข6 แต่มีค่าต่ำกว่าแป้งสาลีและแป้งชัชนาท1 แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งสาลี, แป้งข้าวขาวดอกมะลิ105 และแป้งกข6 เนื่องจากแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105 มีปริมาณเอมิโลสปานกลาง (ปริมาณเอมิโลสร้อยละ 16.46) ซึ่งมีปริมาณเอมิโลสสูงกว่าแป้งกข6 จึงมีอัตราการเกิดรีโทรเกรเดชันสูงกว่าแป้งกข6

ส่วนแป้งดัดแปรด้วยวิธีพรีเจลาทีไนซ์พบว่า แป้งพรีเจลมีร้อยละของการแยกน้ำ (%syneresis) ในปริมาณเพิ่มขึ้นกว่าแป้งที่ไม่ผ่านการดัดแปร จากผลการทดลองพบว่า แป้งชัณนาท1พรีเจล มีร้อยละของการแยกน้ำในปริมาณมากขึ้น โดยมีปริมาณน้ำที่แยกออกมาจากเจลหลังการคั้นรูปจากเยือกแข็งในแต่ละรอบเป็นจำนวน5รอบ มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 15.76-47.65 แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105 และแป้งกข6พรีเจล ส่วนแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105พรีเจล มีร้อยละของการแยกน้ำมีค่าต่ำกว่าแป้งชัณนาท1พรีเจล โดยมีปริมาณน้ำที่แยกออกมาจากเจลเมื่อคั้นรูปจากเยือกแข็งในแต่ละรอบเป็นจำนวน 5 รอบ อยู่ในช่วงร้อยละ10.48-42.29 แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งชัณนาท1พรีเจล และแป้งกข6พรีเจล ส่วนแป้งกข6พรีเจล มีค่าร้อยละของการแยกน้ำมีค่าต่ำกว่าแป้งชัณนาท1พรีเจล และแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105พรีเจล โดยมีปริมาณน้ำที่แยกออกมาจากเจลจากการแช่เยือกแข็งในแต่ละรอบเป็นจำนวน 5 รอบ อยู่ในช่วงร้อยละ1.06-6.81 แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งชัณนาท1พรีเจล และแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105พรีเจล เนื่องจากแป้งพรีเจล โมเลกุลสตาร์ชสูญเสียโครงสร้างผลึก ส่งผลทำให้โครงสร้างโมเลกุลไม่แข็งแรง ทำให้โมเลกุลน้ำอิสระที่อยู่ภายในจะถูกบีบออกมานอกเจลได้มาก (Van Lengerich, 1992) และเนื่องจากแป้งกข6 เป็นแป้งข้าวเหนียว (ปริมาณแอมิโลสร้อยละ 5.54) และโครงสร้างส่วนใหญ่เป็นแอมิโลเพกทินซึ่งมีกิ่งก้านมากทำให้น้ำอิสระในโครงสร้างซึมออกมาได้ต่ำกว่า (พิณทิพย์, 2547)

สำหรับแป้งดัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น มีร้อยละของการแยกน้ำลดลงกว่าแป้งที่ไม่ผ่านการดัดแปร จากผลการทดลองตารางที่ 11พบว่า แป้งกข6HMT มีร้อยละของการแยกน้ำในปริมาณต่ำ โดยมีปริมาณน้ำที่แยกออกมาจากเจลเมื่อผ่านการคั้นรูปจากเยือกแข็งในแต่ละรอบเป็นจำนวน 5 รอบ อยู่ในช่วงร้อยละ 0.16-0.77 แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งชัณนาท1HMT เนื่องจากแป้งกข6 มีปริมาณแอมิโลเพกทินที่มีโครงสร้างแบบกิ่งสูงจึงมีผลให้เข้าใกล้กันน้อย ส่วนแป้งชัณนาท1HMT มีร้อยละของการแยกน้ำอยู่ในช่วง 3.21-37.36 ซึ่งสูงกว่าแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105HMT ที่มีร้อยละของการแยกน้ำ ในแต่ละรอบเป็นจำนวน 5 รอบ อยู่ในช่วงร้อยละ 0.11-17.55 (ตารางที่ 11) แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105HMT และแป้งกข6HMT เนื่องจากการดัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ช่วยเพิ่มความแข็งแรงของพันธะภายในส่วนอสัณฐานของสตาร์ช (จากการยึดเกาะกันระหว่างสายของแอมิโลสด้วยกันเอง หรือระหว่างสายแอมิโลสกับลิพิด) (Hoover and Manuel, 1996b) มีผลให้ระยะทางระหว่างสายของแอมิโลส ในสตาร์ชที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นสั้นกว่าในสตาร์ชเดิม และเมื่อสายของแอมิโลสกลับมาเรียงตัวกันใหม่อีกครั้งในระหว่างการแช่เยือก

แข็ง ทำให้โมเลกุลมีความแข็งแรงขึ้น (Hoover and Manuel, 1996b) และนอกจากนี้ปริมาณน้ำที่แยกออกมาจากเจลเป็นผลจากโครงสร้างโมเลกุลอีกด้วย



ภาพที่ 16 ร้อยละของการแยกน้ำ (%syneresis) ในการคืนรูปจากเยือกแข็งเป็นจำนวน 5 รอบของ เจลแป้ง

3. หาของอัตราส่วนของแป้งข้าวและแป้งข้าวตัดแปรเพื่อทำผลิตภัณฑ์บะหมี่

งานวิจัยนี้ได้มีการแปรปริมาณอัตราส่วนของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวตัดแปรทางฟิสิกส์แบบพรีเจล และแป้งข้าวตัดแปรแบบความร้อนร่วมกับความชื้น เพื่อศึกษาคุณภาพของเส้นบะหมี่ที่ได้จากสูตรแต่ละสูตร ที่มีผลทำให้คุณภาพของเส้นมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน โดยอัตราส่วนของเส้นบะหมี่ที่ผลิตจากแป้งข้าวและแป้งข้าวตัดแปรทางฟิสิกส์ ที่แตกต่างกันเพื่อวัตถุประสงค์ในการปรับปรุงคุณภาพของเส้นบะหมี่ให้มีความคงทนต่อการผสม และคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็ง ในงานวิจัยนี้เลือกแป้งผสมที่มีแป้งชัยนาท1ที่ไม่ผ่านการตัดแปรเป็นวัตถุดิบหลัก เนื่องจากแป้งชัยนาท1มีปริมาณแอมิโลสสูง (ปริมาณแอมิโลสร้อยละ 28.59) มีความใกล้เคียงกับปริมาณแอมิโลสในแป้งสาลี (ตารางที่ 4) ปริมาณแอมิโลสสูงมีความเหมาะสมต่อการผลิตอาหารเส้น ทำให้เส้นมีความคงตัวและมีความเหนียวนุ่มดี (กมลพรรณ, 2547) ส่วนแป้งพรีเจลที่มีคุณสมบัติให้แป้งสามารถรวมตัวกับน้ำได้ดีทำให้แป้งอุ้มน้ำไว้และสามารถนวดเป็นเส้นได้ (กล้าณรงค์ และเกื้อกุล,

2543) และแป้งตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นมีความสามารถทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งได้ดี (ตารางที่ 11) จึงนำแป้งแต่ละชนิดมาแปรอัตราส่วนเพื่อนำมาผลิตเส้นบะหมี่ต่อไป ดังแสดงในตารางที่ 12

ตารางที่ 12 อัตราส่วนของแป้งข้าวผสมในการผลิตเส้นบะหมี่

สูตร แป้งสาลี (กรัม)	CN1 (กรัม)	CN1P (กรัม)	KDM105P (กรัม)	RD6P (กรัม)	CN1HMT (กรัม)	KDM105HMT (กรัม)	RD6HMT (กรัม)	น้ำ (กรัม)
แป้งสาลี 100								45
1	100							85
2					100			75
3	90	10						70
4	90		10					70
5	90			10				70
6	70	30						75
7	70		30					65
8	70			30				58
9	30	30			40			80
10	30	30				40		80
11	30	30					40	80
12	30			30			40	75

หมายเหตุ

CN1	=	แป้งข้าวชัชนาท1
CN1P	=	แป้งข้าวชัชนาท1ฟรีเจล
CN1HMT	=	แป้งข้าวชัชนาท1ความร้อนร่วมกับความชื้น
KDM105	=	แป้งข้าวขาวดอกมะลิ105
KDM105P	=	แป้งข้าวขาวดอกมะลิ105ฟรีเจล
KDM105HMT	=	แป้งข้าวขาวดอกมะลิ105ความร้อนร่วมกับความชื้น
RD6	=	แป้งกช6
RD6P	=	แป้งกช6ฟรีเจล
RD6HMT	=	แป้งกช6ความร้อนร่วมกับความชื้น

จากตารางที่ 12 อัตราส่วนของแป้งข้าวผสมในการผลิตเส้นบะหมี่พบว่า ในแต่ละสูตรใช้ปริมาณน้ำแตกต่างกัน เส้นบะหมี่ที่ผลิตจากแป้งสาลีใช้ปริมาณน้ำน้อย เนื่องจากแป้งสาลีมีโปรตีนกลูเทนที่เมื่อรวมตัวกับน้ำแล้วนวดผสมจึงเกิดโคได้ทันทีในปริมาณน้ำน้อย (กมลพรรณ, 2547) เส้นบะหมี่ที่ผลิตจากแป้งชัชนาท1 ใช้น้ำปริมาณมาก เนื่องจากแป้งชัชนาท1มีปริมาณแอมิโลสสูง มี

กำลังการพองตัวต่ำ (ตารางที่ 5) และในส่วนผสมการผลิตบะหมี่จากแป้งข้าวมีส่วนผสมของสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ส่งผลต่อการอุ้มน้ำของโด และการดูดซับน้ำของแป้งที่เพิ่มขึ้น ทำให้สตาร์ชในโดมีความหนืดเพิ่มมากขึ้น ช่วยให้โดมีความยืดหยุ่นได้มากขึ้น (อรอนงค์, 2540) นอกจากนี้มีส่วนผสมของเกลือ ส่งผลต่อการเพิ่มความแข็งแรงของโด ช่วยให้โดไม่แฉะ เมื่อเป็นเส้นบะหมี่จะไม่ติดกัน (อรอนงค์, 2540)

การทดแทนแป้งข้าวเจ้าตั้งแต่ร้อยละ 30-70 ต้องเพิ่มปริมาณน้ำขึ้น เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวแตกต่างจากแป้งสาลี

ตารางที่ 13 ลักษณะปรากฏของเส้นบะหมี่จากแป้งข้าว

สูตร	ลักษณะปรากฏ
แป้งสาลี	เส้นบะหมี่มีสีเหลือง ยืดหยุ่นดีมาก ผิวเรียบดี เส้นคงตัวดีมาก
1	ทำเส้นไม่ได้
2	ทำเส้นไม่ได้
3	เส้นบะหมี่มีสีเหลืองอ่อน ขาดง่ายมาก ผิวไม่เรียบ เส้นเปราะมาก
4	เส้นบะหมี่มีสีเหลืองอ่อน ขาดง่ายมาก ผิวไม่เรียบ เส้นเปราะมาก
5	เส้นบะหมี่มีสีเหลืองอ่อน ขาดง่าย ผิวไม่เรียบ เส้นเปราะมาก
6	เส้นบะหมี่มีสีเหลือง ขาดง่าย ผิวเรียบ เส้นเปราะเล็กน้อย
7	เส้นบะหมี่มีสีเหลือง ขาดง่าย ผิวเรียบ เส้นเปราะเล็กน้อย
8	เส้นบะหมี่มีสีเหลือง ขาดง่าย ผิวเรียบดี เส้นเปราะเล็กน้อย
9	เส้นบะหมี่มีสีเหลืองเข้ม ยืดหยุ่นเล็กน้อย ผิวเรียบดี เส้นคงตัวดี
10	เส้นบะหมี่มีสีเหลืองเข้ม ยืดหยุ่นเล็กน้อย ผิวเรียบดี เส้นคงตัวดี
11	เส้นบะหมี่มีสีเหลืองเข้ม ยืดหยุ่นดี ผิวเรียบดี เส้นคงตัวดี
12	เส้นบะหมี่มีสีเหลืองเข้ม ยืดหยุ่นเล็กน้อย ผิวเรียบดี

จากผลการทดลองพบว่า เส้นบะหมี่ที่ผลิตจากแป้งสาลี ให้ลักษณะเส้นบะหมี่ที่ดี มีความยืดหยุ่นดีมาก เนื่องจากแป้งสาลีมีโปรตีนกลูเทนที่เมื่อรวมตัวกับน้ำแล้วสามารถเกิดเป็นโครงสร้างร่างแห ให้ความยืดหยุ่น และความคงตัวที่ดีแก่เส้นบะหมี่ (อรอนงค์, 2540) ส่วนเส้นบะหมี่ที่ผลิต

จากแป้งข้าวชัยนาท1 และแป้งข้าวชัยนาท1HMT ปริมาณ 100 (เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแป้ง) พบว่าไม่สามารถผลิตเส้นบะหมี่ได้เนื่องจากแป้งข้าวชัยนาท1 และแป้งข้าวชัยนาท1HMT มีปริมาณแอมิโลสสูง มีกำลังการพองตัวต่ำ ให้น้ำที่อิ่มตัวที่แข็งและร่วน เมื่อนำมาวนรวมตัวกับน้ำทำให้น้ำไม่สามารถแทรกซึมเข้าไปภายในโครงสร้างได้ จึงไม่สามารถผลิตเส้นบะหมี่ได้ แต่เมื่อนำแป้งข้าวผสมแป้งพรีเจลพบว่าสามารถผลิตเส้นบะหมี่ได้ เนื่องจากให้ความหนืดได้ที่อุณหภูมิห้อง ทำให้ส่วนผสมเกิดความหนืด แต่ไม่มีความคงตัวและขาดความยืดหยุ่น และเมื่อนำแป้งที่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นมาเป็นส่วนผสมพบว่า เส้นบะหมี่มีความคงตัวดีขึ้น มีความยืดหยุ่นดีขึ้น ทำให้คุณภาพของเส้นแต่ละสูตรมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน และนำมาตรวจสอบคุณภาพของเส้นบะหมี่ที่ได้จากแต่ละสูตร

4. คุณภาพของเส้นบะหมี่

4.1 ความหนาของเส้นบะหมี่

ตารางที่ 14 ความหนาและความกว้างของเส้นบะหมี่จากแป้งข้าว

สูตร	ความหนา (มิลลิเมตร)	ความกว้าง (มิลลิเมตร)
แป้งสาลี	1.35ab	3.55c
3	1.30bc	3.70ab
4	1.45a	3.50cd
5	1.20d	3.45d
6	1.30bc	3.85a
7	1.35ab	3.75a
8	1.45a	3.55c
9	1.30bc	3.60b
10	1.40a	3.40e
11	1.25cd	3.50cd
12	1.45a	3.70ab

ตัวอักษร a-e ที่แตกต่างกัน ในแนวตั้งคือค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

การผลิตบะหมี่จากแป้งข้าวผสม พบว่า เส้นบะหมี่ที่ได้มีความแตกต่างกันทางด้านคุณภาพของเส้น เมื่อเปรียบเทียบเส้นบะหมี่ ที่เหมาะสมในการผลิตบะหมี่พร้อมบริโภคกับเส้นบะหมี่ที่ทำจากแป้งสาลี

เมื่อนำเส้นบะหมี่แต่ละสูตรทั้ง 11 สูตร มาวัดความหนา และความกว้างของเส้นบะหมี่ พบว่าแต่ละสูตรมีความหนาอยู่ในช่วง 1.20-1.45 มิลลิเมตร และความกว้างอยู่ในช่วง 3.40-3.70 มิลลิเมตร ผลการทดลองเส้นบะหมี่สูตร4 (CN1(90):KDM105P(10)), สูตร8 (CN1(70):RD6P(30)), สูตร12 (CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)) และสูตร10 (CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)) มีค่าความหนา คือ 1.45, 1.45, 1.45, และ 1.40 มิลลิเมตร ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) แต่แตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับสูตรแป้งสาลี, สูตร3 (CN1(90):CN1P(10)), สูตร5 (CN1(90):RD6P(10)), สูตร6 (CN1(70):CN1P(30)), สูตร7 (CN1(70):KDM105P(30)), สูตร9 (CN1(30):CN1P(30):CN1HMT(40)) และเส้น11 (CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40))

จากตารางที่ 14 พบว่าความกว้าง เส้นบะหมี่จากสูตร6 (CN1(70):CN1P(30)) และสูตร7 (CN1(70):KDM105P(30)) มีค่าความกว้างคือ 3.85 และ 3.75 มิลลิเมตร ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) เส้นบะหมี่จากสูตร3 (CN1(90):CN1P(10)) และสูตร12 (CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)) มีค่าความกว้างคือ 3.70 มิลลิเมตร เส้นบะหมี่จาก แป้งสาลี, สูตร8 (CN1(70):RD6P(30)), สูตร4 (CN1(90):KDM105P(10)) และสูตร11 (CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) มีค่าความกว้างคือ 3.55, 3.55, 3.50 และ 3.50 มิลลิเมตร ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

4.2 ความชื้นของเส้นบะหมี่

เมื่อนำเส้นบะหมี่แต่ละสูตรมาหาค่าความชื้นพบว่า ความชื้นของเส้นบะหมี่ทั้ง 12 สูตรอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 10-12 (ตารางที่ 15) จัดเป็นช่วงที่เหมาะสมต่อคุณภาพเส้น และทำให้เส้นบะหมี่สามารถเก็บรักษาได้นานขึ้น (กมลพรรณ, 2547)

จากผลการทดลองตารางที่ 15 พบว่า เส้นบะหมี่จากแป้งสาลี, สูตร4 (CN1(90):KDM105P(10)), สูตร5 (CN1(90):RD6P(10)), สูตร6 (CN1(70):CN1P(30)), สูตร7 (CN1(70):KDM105P(30)), สูตร8 (CN1(70):RD6P(30)), สูตร9 (CN1(30):CN1P(30):CN1HMT(40)), สูตร10 (CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)), สูตร11 (CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) และสูตร12 (CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)) มีค่าความชื้นคือร้อยละ 12.64, 11.75, 12.04, 12.17, 12.20,

11.70, 12.05, 11.95, 12.00 และ 11.56 ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ส่วนเส้นบะหมี่จากสูตร3 (CN1(90):CN1P(10)) มีค่าความชื้นร้อยละ 10.73 ต่ำที่สุดแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับสูตรแป้งสาลี, สูตร4 (CN1(90):KDM105P(10)), สูตร5 (CN1(90):RD6P(10)), สูตร6 (CN1(70):CN1P(30)), สูตร7 (CN1(70):KDM105P(30)), สูตร8(CN1(70):RD6P(30)), สูตร9(CN1(30):CN1P(30):CN1HMT(40)), สูตร10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)), สูตร11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) และสูตร12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40))

ตารางที่ 15 ความชื้นของเส้นบะหมี่

สูตร	ความชื้น (ร้อยละ)
แป้งสาลี	12.64a
3	10.73d
4	11.75bc
5	12.04ab
6	12.17ab
7	12.20ab
8	11.70bc
9	12.05ab
10	11.95bc
11	12.00ab
12	11.56bc

ตัวอักษร a-e ที่แตกต่างกันในแนวตั้งคือค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

ความชื้นของเส้นบะหมี่เป็นผลมาจากอุณหภูมิและวิธีการอบแห้ง ซึ่งมีผลทำให้เส้นบะหมี่มีความเหนียวเปลี่ยนแปลงไปด้วย การอบแห้งของเส้นบะหมี่โดยปกติใช้อุณหภูมิ 45-50 องศาเซลเซียส ถ้าอบแห้งเส้นบะหมี่ที่อุณหภูมิ 55-60 องศาเซลเซียส ทำให้หลังการลวกเส้นบะหมี่ให้สุกแล้ว มีความเหนียวลดลง และการใช้อุณหภูมิในการอบแห้งสูงเป็นการเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลให้มากขึ้นด้วย (Grant and Appolonia, 1991)

4.3 ความเป็นกรด-เบส ของเส้นบะหมี่

ตารางที่ 16 ค่าความเป็นกรด-เบสของเส้นบะหมี่

สูตร	ค่ากรด-เบส
แป้งสาลี	9.78a
3	9.52d
4	9.38e
5	9.57d
6	9.71bc
7	9.87a
8	9.50d
9	9.70bc
10	9.85a
11	9.50d
12	9.65c

ตัวอักษร a-e ที่แตกต่างกันในแนวตั้งคือค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากผลการทดลองตารางที่ 16 พบว่า เส้นบะหมี่จากแป้งสาลี, สูตร 7 (CN1(70):KDM105P(30)) และสูตร 10 (CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)) มีค่าความเป็นกรด-เบสคือ 9.78, 9.87 และ 9.85 ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ส่วนบะหมี่จากสูตร 4 (CN1(90):KDM105P(10)) มีค่าความเป็นกรด-เบส (9.38) ต่ำสุดแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งสาลี, สูตร 3 (CN1(90):CN1P(10)), สูตร 5 (CN1(90):RD6P(10)), สูตร 6 (CN1(70):CN1P(30)), สูตร 7 (CN1(70):KDM105P(30)), สูตร 8 (CN1(70):RD6P(30)), สูตร 9 (CN1(30):CN1P(30):CN1HMT(40)), สูตร 10 (CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)), สูตร 11 (CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) และสูตร 12 (CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40))

ในการผลิตเส้นบะหมี่สูตรเต็มสารละลายเบสได้แก่ โซเดียมคาร์บอเนต ซึ่งการเติมเบสในการทำบะหมี่ทำให้เส้นบะหมี่มีสีเหลืองธรรมชาติ เนื่องจากสารฟลาโวนที่มีอยู่ในแป้งสาลี กลายเป็นสีเหลืองภายใต้สภาวะที่มีความเป็นเบสในระหว่างการทำบะหมี่ (Fortmann and Joiner, 1971) และในแป้งข้าวมีสารฟลาโวนอยู่ด้วยทำให้เมื่อนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตบะหมี่จากแป้ง

ข้าว ทำให้กะหล่ำมีสีเหลือง (กมลพรรณ, 2547) สารฟลาโวนินจะไม่มีสีที่พืชเป็นกรด อัตราส่วนในการเติมเบสโดยทั่วไปจะอยู่ที่ระดับร้อยละ 1.5 โดยการใช้เบสจะช่วยพัฒนาคลีนรสบะหล่ำ ให้สีเหลือง ทำให้เส้นแข็งแรง และทำให้เส้นกะหล่ำมีความยืดหยุ่นดี (Miskelly, 1998)

กะหล่ำที่มีการเติมเบสจะมีค่าความเป็นกรด-เบสประมาณ 9.30-9.87 (ตารางที่ 16) ค่าความเป็นกรด-เบสของกะหล่ำจะสัมพันธ์กับปริมาณของเบสที่เติมลงไป (Dick *et al.*, 1986; Shelke *et al.*, 1990) และชนิดของเบสที่ใช้ (Moss *et al.*, 1986) เบสที่เติมลงไปจะมีผลต่อสีของเส้นกะหล่ำ ดังแสดงในตารางที่ 17

ตารางที่ 17 คุณภาพทางด้านสีของเส้นกะหล่ำ

สูตร	ค่าสี		
	L*	a*	b*
แป้งสาลี	61.28d	0.93a	20.72a
3	54.32i	-0.69b	18.29e
4	64.92a	-3.36g	15.86h
5	61.87c	-3.78h	18.43d
6	58.17f	-2.17d	18.04f
7	60.32e	-0.64b	18.24e
8	55.12h	-2.04c	18.21e
9	57.64g	-3.05f	19.01b
10	61.24d	-2.03c	16.24g
11	63.51b	-2.31e	18.45d
12	62.32c	-3.01f	18.72c

ตัวอักษร a-i ที่แตกต่างกันในแนวตั้งคือค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ค่าสีที่ทำการตรวจวัดในการทดลองคือ ค่าความสว่าง (L*), ค่าความเป็นสีเขียว-แดง (a*), และค่าความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน (b*) ดังแสดงในตารางที่ 17 จากผลการทดลองพบว่าค่าความสว่าง (L*) ของกะหล่ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มปริมาณแป้งข้าวเจ้า เนื่องจากกะหล่ำที่ผลิตจาก

แป้งข้าวมีการสะท้อนแสงได้มากขึ้นหรือมีความสว่างมากขึ้น โดยการสะท้อนแสงของบะหมี่จะมีค่าลดลงเมื่อปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้น ซึ่งเกิดจากการยึดเกาะกันระหว่างโปรตีนและสตาร์ชทำให้โครงสร้างของบะหมี่แน่นขึ้น แต่แป้งข้าวเจ้ามีปริมาณโปรตีนต่ำจึงทำให้มีค่าความสว่างเพิ่มขึ้น (กมลพรรณ, 2547) จากผลการทดลองพบว่า ค่าความสว่าง (L^*) ของบะหมี่สูตร4 (CN1(90):KDM105P(10)) ให้ค่าความสว่างสูงสุด (64.92) ส่วนบะหมี่สูตร3 (CN1(90):CN1P(10)) ให้ค่าความสว่างต่ำสุด (54.32) แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตรกับแป้งสาลี, สูตร4 (CN1(90):KDM105P(10)), สูตร5 (CN1(90):RD6P(10)), สูตร6 (CN1(70):CN1P(30)), สูตร7 (CN1(70):KDM105P(30)), สูตร8 (CN1(70):RD6P(30)), สูตร9 (CN1(30):CN1P(30):CN1HMT(40)), สูตร10 (CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)), สูตร11 (CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) และสูตร12 (CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40))

จากผลการทดลองพบว่า ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ของบะหมี่จากแป้งสาลี ให้ค่าความเป็นสีเหลืองสูงสุด (20.72) ส่วนบะหมี่จากแป้งข้าวสูตร4 (CN1(90):KDM105P(10)) มีค่าความเป็นสีเหลืองต่ำสุด (15.86) แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตรแป้งสาลี, สูตร3 (CN1(90):CN1P(10)), สูตร5 (CN1(90):RD6P(10)), สูตร6 (CN1(70):CN1P(30)), สูตร7 (CN1(70):KDM105P(30)), สูตร8 (CN1(70):RD6P(30)), สูตร9 (CN1(30):CN1P(30):CN1HMT(40)), สูตร10 (CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)), สูตร11 (CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) และสูตร12 (CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)) เนื่องจากบะหมี่จากแป้งข้าวสูตร4 (CN1(90):KDM105P(10)) มีส่วนผสมแป้งข้าวนาท1 และแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105พรีเจล ที่มีค่าความเป็นสีเหลืองต่ำ ทำให้เมื่อนำมาเป็นส่วนผสมจึงก่อให้เกิดบะหมี่มีค่าความเป็นสีเหลืองต่ำ เมื่อนำแป้งข้าวมาทดแทนแป้งสาลีทำให้ค่าความเป็นสีเหลืองของบะหมี่มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากแป้งข้าวมีปริมาณสารฟลาโวนต่ำกว่าในแป้งสาลี (กมลพรรณ, 2547) นอกจากนี้การเพิ่มปริมาณน้ำยังทำให้ความเข้มข้นของสารละลายเบสที่ใช้ในบะหมี่มีค่าลดลง ส่งผลให้บะหมี่มีค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ลดลงตามปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้น

ค่าความเป็นสีเขียว และสีแดง (a^*) ให้ผลการทดลองสอดคล้องกับค่าความเป็นสีเหลือง โดยบะหมี่จากแป้งสาลีมีค่าสูงสุด (0.93) แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนบะหมี่จากแป้งข้าวสูตร5 (CN1(90):RD6P(10)) มีค่าความเป็นสีเขียวและสีแดง (a^*) มีค่าต่ำสุด (-3.78) แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตรแป้งสาลี, สูตร3 (CN1(90):CN1P(10)), สูตร4

(CN1(90):KDM105P(10)), สูตร6(CN1(70):CN1P(30)), สูตร7 (CN1(70):KDM105P(30)), สูตร8(CN1(70):RD6P(30)), สูตร9(CN1(30):CN1P(30):CN1HMT(40)), สูตร10 (CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)), สูตร11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) และสูตร12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)) เนื่องจากเส้นบะหมี่ในแต่ละสูตร มีส่วนผสมของแป้งข้าว และแป้งข้าวตัดแปรทางฟิสิกส์ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน โดยที่แป้งข้าวแต่ละพันธุ์ และแต่ละสภาวะจะมีสีที่ต่างกัน (ตารางที่ 7) ดังนั้นจึงส่งผลให้ค่าสีบะหมี่ที่ได้มีค่าแตกต่างกัน

4.4 คุณภาพในการหุงต้มของบะหมี่

ตารางที่ 18 คุณภาพในการหุงต้มของบะหมี่จากแป้งข้าว

สูตร	คุณภาพในการหุงต้ม		
	ปริมาณการดูดน้ำ (ร้อยละ)	เวลาในการต้มสุก ที่เหมาะสม (นาที)	การสูญเสียของแข็ง ในระหว่างการหุงต้ม (ร้อยละ)
แป้งสาลี	135.26a	5.00h	11.39c
3	125.87d	6.50f	11.54b
4	126.54c	6.41f	11.24d
5	129.24b	6.30g	12.38a
6	119.42i	7.55c	10.41e
7	121.10g	7.10e	10.32f
8	120.65h	7.00e	10.18g
9	122.94f	8.30b	9.70h
10	123.92e	7.30d	9.60i
11	118.75j	8.55a	8.61k
12	120.12h	8.50a	9.19j

ตัวอักษร a-k ที่แตกต่างกันในแนวตั้งคือค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เมื่อนำเส้นบะหมี่แต่ละสูตร วิเคราะห์คุณภาพในการหุงต้มทางด้านร้อยละของปริมาณการดูดน้ำของเส้นบะหมี่ที่ได้ ซึ่งสามารถบอกความสามารถในการดูดน้ำกลับของเส้นบะหมี่ใน

ระหว่างการหุงต้ม จากผลการทดลองในตารางที่ 18 ค่าปริมาณการดูดน้ำของเส้นบะหมี่อยู่ในช่วง ร้อยละ 118.75-135.26 โดยเส้นบะหมี่จากแป้งสาลี มีปริมาณการดูดน้ำของเส้นบะหมี่สูงสุดร้อยละ 135.26 แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตร3 (CN1(90):CN1P(10)), สูตร4 (CN1(90):KDM105P(10)), สูตร5 (CN1(90):RD6P(10)), สูตร6(CN1(70):CN1P(30)), สูตร7 (CN1(70):KDM105P(30)), สูตร8(CN1(70):RD6P(30)), สูตร9(CN1(30):CN1P(30):CN1HMT (40)), สูตร10 (CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)), สูตร11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT (40)) และสูตร12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)) รองลงมาคือ บะหมี่แป้งข้าวสูตร5 (CN1(90):RD6P(10)), สูตร4(CN1(90):KDM105P(10)), สูตร3(CN1(90):CN1P(10)), สูตร10 (CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)), สูตร9(CN1(30):CN1P(30):CN1HMT(40)), สูตร7 (CN1(30):KDM105P) และสูตร6 (CN1(70):CN1P(30) มีปริมาณร้อยละการดูดน้ำของเส้นบะหมี่ คือ 129.24, 126.54, 125.87, 123.92, 122.94, 121.10 และ119.42 ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตร8(CN1(70):RD6P(30)), สูตร11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) และสูตร 12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)) ส่วนบะหมี่จากแป้งข้าวสูตร8 (CN1(70):RD6P(30)) และสูตร12 (CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)) มีปริมาณร้อยละการดูดน้ำของเส้นบะหมี่คือ 120.65 และ120.12 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาบะหมี่จากแป้งข้าวพบว่า เส้นบะหมี่จากสูตร 5(CN1(90):RD6P(10)) มีปริมาณการดูดน้ำของเส้นบะหมี่ร้อยละ 129.24 มีค่าสูงรองลงมาจาก บะหมี่จากแป้งสาลี เนื่องจากเส้นบะหมี่จากสูตร5 (CN1(90):RD6P(10)) มีส่วนผสมของแป้งข้าว ชัยนาท1 และแป้งกข6พีริเจลโดยแป้งกข6พีริเจลมีอุณหภูมิการเกิดเจลที่ในซ้ต่ำกว่าแป้งสายพันธุ์ อื่นที่ผ่านการคัดแปรแบบพีริเจล (ตารางที่ 10) ส่งผลให้เมื่อผลิตเป็นเส้นบะหมี่ทำให้มีปริมาณการ ดูดน้ำกลับสูง ส่วนบะหมี่จากสูตร11 (CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) มีปริมาณการดูดน้ำ ของเส้นบะหมี่ร้อยละ 118.75 ต่ำสุด เนื่องจากเส้นบะหมี่จากสูตร11 มีส่วนผสมของแป้งข้าวชัยนาท 1, แป้งชัยนาท1พีริเจล และแป้งกข6HMT ในอัตราส่วน 30:30:40 ตามลำดับ ซึ่งแป้งชัยนาท1 มี กำลังการพองตัวและการละลายต่ำกว่าแป้งสายพันธุ์อื่น (ตารางที่ 5) แป้งชัยนาท1พีริเจล มีอุณหภูมิ การเกิดเจลที่ในซ้มีค่าสูงกว่าแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105พีริเจล และแป้งกข6พีริเจล (ตารางที่ 8) ส่งผลต่อการดูดน้ำของแป้งต่ำกว่าแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105พีริเจลและแป้งกข6พีริเจล และแป้งกข6 HMT มีปริมาณการดูดน้ำกลับมีค่าต่ำกว่าแป้งที่มีปริมาณแอมิโลสสูง

จากผลการทดลองในตารางที่ 18 พบว่า เส้นบะหมี่มีระยะเวลาที่ใช้ในการต้มสุกที่ เหมาะสมอยู่ในช่วง 5.00-8.55 นาที โดยเส้นบะหมี่จากแป้งข้าวสูตร11(CN1(30):CN1P(30):RD6

HMT(40)) และสูตร12 (CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)) มีระยะเวลาที่ใช้ในการต้มสุกที่เหมาะสมมีค่าสูงคือ 8.55 และ 8.50 นาที ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) แต่แตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับสูตรแป้งสาลี, สูตร3 (CN1(90):CN1P(10)), สูตร4 (CN1(90):KDM105P(10)), สูตร5 (CN1(90):RD6P(10)), สูตร6(CN1(70):CN1P(30)), สูตร7 (CN1(70):KDM105P(30)), สูตร8(CN1(70):RD6P(30)), สูตร9(CN1(30):CN1P(30):CN1HMT(40)) และสูตร10 (CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)) บะหมี่จากแป้งข้าวจะใช้ระยะเวลาในการต้มสุกนานกว่าบะหมี่จากแป้งสาลี เนื่องจากแป้งข้าวเจ้ามีอุณหภูมิเริ่มเกิดความร้อนระหว่าง 71.05-83.95 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่าแป้งสาลีที่มีอุณหภูมิเริ่มเกิดความร้อนระหว่าง 64.10 องศาเซลเซียส โดยเส้นบะหมี่จากสูตรที่11 มีระยะเวลาในการต้มสุกนานกว่าสูตรอื่น เนื่องจากมีส่วนผสมของแป้งชัณนาท1 และแป้งชัณนาท1พีริเจส ซึ่งมีอุณหภูมิเริ่มเกิดความร้อนมีค่าสูงกว่าแป้งสายพันธุ์อื่น (ตารางที่ 8) ส่งผลให้เส้นบะหมี่มีความคงทนต่อการหุงต้มเพิ่มขึ้น และแป้งกช6HMT ที่ผ่านการคัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น มีปริมาณแอมิโลสต่ำ ทำให้เส้นมีความคงตัวมากกว่า แป้งคัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นที่มีแอมิโลสสูง และเส้นบะหมี่จากสูตรแป้งสาลี มีระยะเวลาที่ใช้ในการต้มสุกที่เหมาะสมคือ 5.00 นาที ต่ำสุดแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$)กับสูตร3 (CN1(90):CN1P(10)), สูตร4 (CN1(90):KDM105P(10)), สูตร5 (CN1(90):RD6P(10)), สูตร6 (CN1(70):CN1P(30)), สูตร7 (CN1(70):KDM105P(30)), สูตร8(CN1(70):RD6P(30)), สูตร9 (CN1(30):CN1P(30):CN1HMT(40)), สูตร10 (CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)), สูตร11 (CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) และสูตร12 (CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40))

จากตารางที่ 18 พบว่า บะหมี่มีปริมาณการสูญเสียของแข็งในระหว่างการหุงต้มอยู่ในช่วง 8.61-12.38 โดยเส้นบะหมี่จากแป้งข้าวสูตร5 (CN1(90):RD6P(10)) มีปริมาณการสูญเสียของแข็งในระหว่างการหุงต้มของบะหมี่มีค่าสูงร้อยละ 12.38 แตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับสูตร3(CN1(90):CN1P(10)), แป้งสาลี, สูตร4(CN1(90):KDM105P(10)), สูตร6(CN1(70):CN1P(30)), สูตร7(CN1(70):KDM105P(30)), สูตร8(CN1(70):RD6P(30)), สูตร9(CN1(30):CN1P(30):CN1HMT(40)), สูตร10 (CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)) และสูตร12 (CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)) เนื่องจากบะหมี่สูตร5 มีส่วนผสมของแป้งข้าวชัณนาท1 และแป้งกช6พีริเจส ในอัตราส่วน 90:10 ซึ่งแป้งกช6พีริเจสมีอุณหภูมิการเกิดเจลที่ในซต่ำกว่าแป้งสายพันธุ์อื่นที่ผ่านการคัดแปรแบบพีริเจส ทำให้เส้นบะหมี่มีปริมาณของแข็งที่สูญเสียออกมาได้มากกว่าสูตรอื่น แสดงว่ามีความคงทนต่อการหุงต้มต่ำกว่าสูตรอื่น เส้นบะหมี่จากแป้งข้าวสูตร 11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) มีปริมาณการสูญเสียของแข็งในระหว่างการหุงต้มของ

บะหมี่ดำที่สุด (8.61) อาจเนื่องมาจากเส้นบะหมี่จากสูตร11 มีส่วนผสมของแป้งข้าวชยันนาท1: แป้งชยันนาท1พรีเจล:แป้งกข6HMT ในอัตราส่วน 30:30:40 ซึ่งแป้งชยันนาท1 มีกำลังการพองตัว และการละลายต่ำกว่าแป้งสายพันธุ์อื่น (ดังแสดงในตารางที่5) แป้งชยันนาท1พรีเจล มีอุณหภูมิการเกิดเจลที่ไนซ์สูงกว่าแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105พรีเจลและแป้งกข6พรีเจล นอกจากนี้ แป้งกข6 (แอมิโลสต่ำ) ที่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น มีผลให้เส้นมีความคงตัวมากกว่าแป้งตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นที่มีแอมิโลสสูง ปริมาณของแข็งที่สูญเสียออกมาในน้ำที่ใช้สำหรับต้มบะหมี่ (cooking loss) สามารถใช้บอกคุณภาพในการหุงต้มบะหมี่ได้อีกวิธีหนึ่ง ถ้าในน้ำต้มมีปริมาณของแข็งสูญเสียออกมามากจะทำให้น้ำต้มมีลักษณะขุ่น อาหารเส้นมีความทนทานต่อการหุงต้มน้อย เนื่องจากมีสตาร์ชที่ละลายน้ำได้ในปริมาณมาก (Bhattachara *et al.*, 1999)

4.5 ความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งของเส้นบะหมี่โดยวิเคราะห์คุณภาพทางเนื้อสัมผัสของเส้นบะหมี่

ตารางที่ 19 ความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งของเส้นบะหมี่โดยวิเคราะห์คุณภาพทางเนื้อสัมผัสด้านค่าแรงดึงสูงสุดของเส้นบะหมี่เป็นจำนวน 5 รอบ

สูตร	คุณภาพทางเนื้อสัมผัสด้านค่าแรงดึงสูงสุด (นิวตัน)					
	ปกติ	รอบ1	รอบ2	รอบ3	รอบ4	รอบ5
แป้งสาลี	0.289a	0.254a	0.240a	0.232a	0.210a	0.178a
5	0.134g	0.121f	0.101f	0.095f	0.064f	0.037e
6	0.165f	0.155e	0.120ef	0.112f	0.104e	0.101d
7	0.201e	0.173d	0.133e	0.143e	0.127d	0.114d
8	0.228d	0.207c	0.176d	0.160d	0.151c	0.123d
9	0.256bc	0.249b	0.201c	0.194c	0.184b	0.152bc
10	0.250bcd	0.241b	0.229b	0.207c	0.195a	0.157b
11	0.264b	0.238b	0.235ab	0.210b	0.208a	0.164b
12	0.247cd	0.237b	0.198c	0.181c	0.175b	0.143c

ตัวอักษร a-g ที่แตกต่างกันในแนวตั้งคือค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เมื่อนำเส้นบะหมี่ทั้ง 13 สูตร มาแช่เยือกแข็ง แล้วคืนรูปจากเยือกแข็งเป็นจำนวน 5 รอบ พบว่าเส้นบะหมี่สูตร 3 (CN1(90):CN1P(10)) และสูตร 4 (CN1(90):KDM105P(10)) เมื่อผ่านการคืนรูปจากเยือกแข็ง เส้นบะหมี่มีลักษณะเปื่อย ขาดง่าย ไม่สามารถนำมาตรวจสอบคุณภาพด้านความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งได้ แต่เส้นบะหมี่สูตร 5 ถึงสูตร 12 เมื่อนำมาคืนรูปจากเยือกแข็ง ยังคงลักษณะเส้นบะหมี่ สามารถนำมาตรวจสอบคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสในด้านความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งของเส้นบะหมี่ได้ ดังแสดงในตารางที่ 19

ในงานวิจัยครั้งนี้ได้วัดคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของเส้นบะหมี่ต่อความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งเป็นจำนวน 5 รอบ ได้แก่ค่าแรงดึงสูงสุด (maximum tension force หรือ tensile strength) ซึ่งจะบอกถึงความเหนียวหรือความแข็งแรงของเส้นบะหมี่ในการดึงยืด, ค่าระยะทางสูงสุดในการดึง (maximum distance หรือ extensibility) จะบอกถึงความสามารถในการดึงยืดของเส้นบะหมี่กล่าวคือ เส้นบะหมี่นั้นขาดง่ายหรือยากในระหว่างการดึงยืด และค่าแรงตัดสูงสุด (maximum cutting force หรือ hardness) จะบอกถึงแรงสูงสุดที่ใช้ในการตัดเส้นบะหมี่ให้ขาดหรือความแข็งของเส้น ผลคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของเส้นบะหมี่ต่อความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็ง เป็นจำนวน 5 รอบ ดังแสดงในตารางที่ 19-21

จากผลการทดลองตารางที่ 19 แสดงลักษณะเนื้อสัมผัสด้านค่าแรงดึงสูงสุดปกติ พบว่า เส้นบะหมี่สูตรแป้งสาลี มีค่าแรงดึงสูงสุดคือ 0.289 นิวตัน แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตรแป้งข้าว รองลงมาคือเส้นบะหมี่จากแป้งข้าวสูตร 11 (CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) เส้นบะหมี่สูตร 9 (CN1(30):CN1P(30):CN1HMT(40)) และเส้นบะหมี่สูตร 10 (CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)) มีค่าแรงดึงคือ 0.264, 0.256 และ 0.250 นิวตัน ตามลำดับ แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตร 5 (CN1(90):RD6P(10)), สูตร 6 (CN1(70):CN1P(30)), สูตร 7 (CN1(70):KDM105P(30)), สูตร 8 (CN1(70):RD6P(30)) และสูตร 12 (CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40))

ค่าแรงดึงสูงสุดในรอบที่ 1 พบว่า เส้นบะหมี่สูตรแป้งสาลี มีค่าแรงดึงสูงสุดคือ 0.254 นิวตัน แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตรแป้งข้าว รองลงมาคือเส้นบะหมี่จากแป้งข้าวสูตร 9 (CN1(30):CN1P(30):CN1HMT(40)), สูตร 10 (CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)), สูตร 11 (CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) และสูตร 12 (CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)) มีค่าแรงดึงคือ 0.249, 0.241, 0.238 และ 0.237 นิวตัน ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) และเส้นบะหมี่สูตร 8 (CN1(70):RD6P(30)), สูตร 7 (CN1(70):KDM105P(30)), สูตร 6 (CN1(70):

CN1P(30)) และสูตร5(CN1(90):RD6P(10)) มีค่าแรงดึงคือ 0.207, 0.173, 0.155 และ 0.121 นิวตัน ตามลำดับ แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตร9 (CN1(30):CN1P(30):CN1HMT(40)), สูตร10 (CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)), สูตร11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) และ สูตร12 (CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40))

ค่าแรงดึงสูงสุดในรอบที่ 2 พบว่า เส้นบะหมี่สูตรแป้งสาลี และเส้นบะหมี่จากแป้งข้าว สูตร11 (CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) มีค่าแรงดึงสูงสุดคือ 0.240 และ 0.235 นิวตัน ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) รองลงมาคือเส้นบะหมี่จากแป้งข้าวสูตร10 (CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)) มีค่าแรงดึงคือ 0.229 นิวตัน ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับสูตร11 (CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) เส้นบะหมี่สูตร9 (CN1(30):CN1P(30):CN1HMT(40)) และสูตร12 (CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)) มีค่าแรงดึงคือ 0.201 และ 0.198 นิวตัน ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) เส้นบะหมี่สูตร8 (CN1(70):RD6P(30)) มีค่าแรงดึงคือ 0.207 นิวตัน เส้นบะหมี่สูตร7(CN1(70):KDM105P(30)), สูตร 6 (CN1(70):CN1P(30)) และสูตร5 (CN1(90):RD6P(10)) มีค่าแรงดึงคือ 0.133, 0.120 และ 0.101 นิวตัน ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

ค่าแรงดึงสูงสุดในรอบที่ 3 พบว่า เส้นบะหมี่สูตรแป้งสาลี มีค่าแรงดึงสูงสุดคือ 0.232 นิวตัน แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตรแป้งข้าว รองลงมาคือเส้นบะหมี่จากแป้งข้าวสูตร11 (CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) มีค่าแรงดึงคือ 0.210 นิวตัน แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับ สูตร5 (CN1(90):RD6P(10)), สูตร6 (CN1(70):CN1P(30)), สูตร7 (CN1(70):KDM105P(30)), สูตร8(CN1(70):RD6P(30)), สูตร9 (CN1(30):CN1P(30):CN1HMT(40)), สูตร10 (CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)) และสูตร12 (CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40))

ค่าแรงดึงสูงสุดในรอบที่ 4 พบว่า เส้นบะหมี่สูตรแป้งสาลี, สูตร11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) และสูตร10 (CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)) มีค่าแรงดึงคือ 0.210, 0.208 และ 0.195 นิวตัน ตามลำดับ แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตร5 (CN1(90):RD6P(10)), สูตร6 (CN1(70):CN1P(30)), สูตร7 (CN1(70):KDM105P(30)), สูตร8 (CN1(70):RD6P(30)), สูตร9 (CN1(30):CN1P(30):CN1HMT(40)) และสูตร12 (CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40))

ค่าแรงดึงสูงสุดในรอบที่ 5 พบว่า เส้นบะหมี่สูตรแป้งสาลี มีค่าแรงดึงสูงสุดคือ 0.178 นิวตัน แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตรแป้งข้าว รองลงมาคือเส้นบะหมี่จากแป้งข้าวสูตร11

(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)), สูตร 10 (CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)) และสูตร 9 (CN1(30):CN1P(30):CN1HMT(40)) มีค่าแรงดึงคือ 0.164, 0.157 และ 0.152 นิวตัน ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตร 5 (CN1(90):RD6P(10)), สูตร 6 (CN1(70):CN1P(30)), สูตร 7 (CN1(70):KDM105P(30)), สูตร 8 (CN1(70):RD6P(30)), และสูตร 12 (CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40))

ตารางที่ 20 ความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งของเส้นบะหมี่โดยวิเคราะห์คุณภาพทางเนื้อสัมผัสด้านค่าระยะทางสูงสุดในการดึงของเส้นบะหมี่เป็นจำนวน 5 รอบ

สูตร	คุณภาพทางเนื้อสัมผัสด้านค่าระยะทางสูงสุดในการดึง (มิลลิเมตร)					
	ปกติ	รอบ1	รอบ2	รอบ3	รอบ4	รอบ5
แป้งสาลี	45.652a	42.165a	38.657a	35.879a	30.624b	25.632a
5	10.573i	9.815i	7.014i	5.198i	3.214i	3.067i
6	15.068h	13.585h	12.241h	10.885h	8.960h	7.490h
7	18.550g	18.015g	16.845g	15.493g	13.283g	10.900g
8	20.427f	19.807f	17.998f	16.845f	15.446f	13.255f
9	28.015e	24.986e	23.331e	21.939d	19.127d	16.272d
10	31.364c	28.395c	27.497c	25.195c	23.910c	20.395c
11	39.283b	38.421b	35.706b	32.421b	30.905a	25.145b
12	28.584d	25.687d	23.451d	20.164e	18.479e	15.347e

ตัวอักษร a-i ที่แตกต่างกันในแนวตั้งคือค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากผลการทดลองตารางที่ 20 แสดงลักษณะเนื้อสัมผัสด้านค่าระยะทางสูงสุดในการดึงปกติ พบว่า เส้นบะหมี่สูตรแป้งสาลี มีค่าระยะทางสูงสุดในการดึงสูงสุดคือ 45.652 มิลลิเมตร แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตรแป้งข้าว รองลงมาคือ เส้นบะหมี่จากแป้งข้าวสูตร 11 (CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)), สูตร 10 (CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)), สูตร 12 (CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)), สูตร 9 (CN1(30):CN1P(30):CN1HMT(40)), สูตร 8 (CN1(70):RD6P(30)), สูตร 7 (CN1(70):KDM105P(30)), สูตร 6 (CN1(70):CN1P(30)) และสูตร 5 (CN1(90):RD6P(10)) มีค่าระยะทางในการดึงคือ 39.283, 31.364, 28.584, 28.015, 18.550, 15.068 และ 10.573 มิลลิเมตร ตามลำดับ แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับบะหมี่จากแป้งสาลี

ค่าระยะทางสูงสุดในการดึงรอบที่ 1 พบว่า เส้นบะหมี่สูตรแป้งสาลี มีค่าระยะทางสูงสุดในการดึงสูงสุดคือ 42.165 มิลลิเมตร แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตรแป้งข้าว รองลงมาคือเส้นบะหมี่จากแป้งข้าวสูตร 11 (CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)), สูตร 10 (CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)), สูตร 12 (CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)), สูตร 9 (CN1(30):CN1P(30):CN1HMT(40)), สูตร 8 (CN1(70):RD6P(30)), สูตร 7 (CN1(70):KDM105P(30)), สูตร 6 (CN1(70):CN1P(30)) และสูตร 5 (CN1(90):RD6P(10)) มีค่าระยะทางในการดึงคือ 38.421, 28.395, 25.687, 24.986, 19.807, 18.015, 13.585 และ 9.815 มิลลิเมตร ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับบะหมี่จากแป้งสาลี

ค่าระยะทางสูงสุดในการดึงรอบที่ 2 พบว่า เส้นบะหมี่สูตรแป้งสาลี มีค่าระยะทางสูงสุดในการดึงคือ 38.657 มิลลิเมตร แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตรแป้งข้าว รองลงมาคือเส้นบะหมี่จากแป้งข้าวสูตร 11 (CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)), สูตร 10 (CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)), สูตร 12 (CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)), สูตร 9 (CN1(30):CN1P(30):CN1HMT(40)), สูตร 8 (CN1(70):RD6P(30)), สูตร 7 (CN1(70):KDM105P(30)), สูตร 6 (CN1(70):CN1P(30)) และสูตร 5 (CN1(90):RD6P(10)) มีค่าระยะทางในการดึงคือ 35.706, 27.497, 23.451, 23.331, 17.998, 16.845, 12.241 และ 7.014 มิลลิเมตร ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับบะหมี่จากแป้งสาลี

ค่าระยะทางสูงสุดในการดึงรอบที่ 3 พบว่า เส้นบะหมี่สูตรแป้งสาลี มีค่าระยะทางสูงสุดในการดึงสูงสุดคือ 35.879 มิลลิเมตร แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตรแป้งข้าว รองลงมาคือเส้นบะหมี่จากแป้งข้าวสูตร 11 (CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)), สูตร 10 (CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)), สูตร 9 (CN1(30):CN1P(30):CN1HMT(40)), สูตร 12 (CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)), สูตร 8 (CN1(70):RD6P(30)), สูตร 7 (CN1(70):KDM105P(30)), สูตร 6 (CN1(70):CN1P(30)) และสูตร 5 (CN1(90):RD6P(10)) มีค่าระยะทางในการดึงคือ 32.421, 25.195, 21.939, 20.164, 16.845, 15.493, 10.885 และ 5.198 มิลลิเมตร ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับบะหมี่จากแป้งสาลี

ค่าระยะทางสูงสุดในการดึงรอบที่ 4 พบว่า เส้นบะหมี่สูตร11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) มีค่าระยะทางสูงสุดในการดึงสูงสุดคือ 30.905 มิลลิเมตร รองลงมาคือเส้นบะหมี่จากแป้งสาลี, สูตร10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)), สูตร9(CN1(30):CN1P(30):CN1HMT(40)), สูตร12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)), สูตร8(CN1(70):RD6P(30)), สูตร7(CN1(70):KDM105P(30)), สูตร6 (CN1(70):CN1P(30)) และสูตร5 (CN1(90):RD6P(10)) มีค่าระยะทางในการดึงคือ 30.624, 23.910, 19.127, 18.479, 15.446, 13.283, 8.960 และ3.214 มิลลิเมตร ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับบะหมี่จากแป้งสาลี

ค่าระยะทางสูงสุดในการดึงรอบที่ 5 พบว่า เส้นบะหมี่สูตรแป้งสาลี มีค่าระยะทางสูงสุดในการดึงสูงสุดคือ 25.632 มิลลิเมตร แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตรแป้งข้าว รองลงมาคือเส้นบะหมี่จากแป้งข้าวสูตร11 (CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)), สูตร10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)), สูตร9 (CN1(30):CN1P(30):CN1HMT(40)), สูตร12 (CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)), สูตร8 (CN1(70):RD6P(30)), สูตร7 (CN1(70):KDM105P(30)), สูตร6 (CN1(70):CN1P(30)) และสูตร5 (CN1(90):RD6P(10)) มีค่าระยะทางในการดึงคือ 25.145, 20.395, 16.272, 15.347, 13.255, 10.900, 7.490 และ3.067 มิลลิเมตร ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับบะหมี่จากแป้งสาลี

ตารางที่ 21 ความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งของเส้นบะหมี่โดยวิเคราะห์คุณภาพทางเนื้อสัมผัสด้านค่าแรงตัดสูงสุดของเส้นบะหมี่เป็นจำนวน 5 รอบ

สูตร	คุณภาพทางเนื้อสัมผัสด้านค่าแรงตัดสูงสุด (นิวตัน)					
	ปกติ	รอบ1	รอบ2	รอบ3	รอบ4	รอบ5
แป้งสาลี	3.564a	3.395a	3.090a	2.815a	2.352a	2.021a
5	0.715h	0.504i	0.317h	0.189h	0.075i	0.053i
6	2.004e	1.853f	1.541e	1.162f	0.954f	0.578g
7	1.615f	1.598g	1.341f	0.876g	0.778g	0.593f
8	1.277g	1.141h	1.005g	0.887g	0.618h	0.347h
9	2.480d	2.018e	1.903d	1.872d	1.593d	1.342d
10	2.869c	2.581c	2.087c	1.914c	1.876c	1.432c
11	3.365b	3.018b	2.958b	2.543b	2.067b	1.985b
12	2.547d	2.124d	1.874d	1.548e	1.048e	0.987e

ตัวอักษร a-i ที่แตกต่างกันในแนวตั้งคือค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากผลการทดลองตารางที่ 21 แสดงลักษณะเนื้อสัมผัสด้านค่าแรงตัดสูงสุดปกติ พบว่า เส้นบะหมี่สูตรแป้งสาลี มีค่าแรงตัดสูงสุดคือ 3.564 นิวตัน แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับ สูตรแป้งข้าว รongลงมาคือเส้นบะหมี่จากแป้งข้าวสูตร11 (CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) และสูตร10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)) มีค่าแรงตัดคือ 3.365 และ2.869 นิวตัน ตามลำดับ แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตรสูตร5 (CN1(90):RD6P(10)), สูตร6 (CN1(70):CN1P(30)), สูตร7 (CN1(70):KDM105P(30)), สูตร8(CN1(70):RD6P(30)), สูตร9 (CN1(30):CN1P(30):CN1HMT(40)), และสูตร12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40))

ค่าแรงตัดสูงสุดรอบที่ 1 พบว่า เส้นบะหมี่สูตรแป้งสาลี มีค่าแรงตัดสูงสุดคือ 3.395 นิวตัน แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตรแป้งข้าว รongลงมาคือเส้นบะหมี่จากแป้งข้าวสูตร11 (CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)), สูตร10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)), สูตร12 (CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)), สูตร9(CN1(30):CN1P(30):CN1HMT(40)), สูตร6 (CN1(70):CN1P(30)), สูตร7(CN1(70):KDM105P(30)), สูตร8(CN1(70):RD6P(30)) และสูตร 5(CN1(90):RD6P(10)) มีค่าแรงตัดคือ 3.018, 2.581, 2.124, 2.018, 1.853, 1.598, 1.141 และ0.504 นิวตัน ตามลำดับ แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับบะหมี่จากแป้งสาลี

ค่าแรงตัดสูงสุดรอบที่ 2 พบว่า เส้นบะหมี่สูตรแป้งสาลี มีค่าแรงตัดสูงสุดคือ 3.090 นิวตัน แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตรแป้งข้าว รongลงมาคือเส้นบะหมี่จากแป้งข้าวสูตร 11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) และสูตร10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)) มี ค่าแรงตัดคือ 2.958 และ2.087 นิวตัน ตามลำดับ แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตร5 (CN1(90):RD6P(10)), สูตร6 (CN1(70):CN1P(30)), สูตร7 (CN1(70):KDM105P(30)), สูตร8 (CN1(70):RD6P(30)), สูตร9 (CN1(30):CN1P(30):CN1HMT(40)), และสูตร12 (CN1(30): RD6P(30):RD6HMT(40))

ค่าแรงตัดสูงสุดรอบที่ 3 พบว่า เส้นบะหมี่สูตรแป้งสาลี มีค่าแรงตัดสูงสุดคือ 2.815 นิวตัน แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตรแป้งข้าว รongลงมาคือเส้นบะหมี่จากแป้งข้าวสูตร 11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)), สูตร10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)), สูตร9(CN1(30):CN1P(30):CN1HMT(40)), สูตร12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)), สูตร6 (CN1(70):CN1P(30)) และสูตร5(CN1(90):RD6P(10)) มีค่าแรงตัดคือ 2.543, 1.914, 1.872, 1.548,

1.162 และ 0.189 นิวตัน ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตร 8 (CN1(70):RD6P(30)) และสูตร 7 (CN1(70):KDM105P(30))

ค่าแรงตัดสูงสุดรอบที่ 4 พบว่า เส้นบะหมี่สูตรแป้งสาลี (แป้งสาลี) มีค่าแรงตัดสูงสุดคือ 2.352 นิวตัน แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตรแป้งข้าว รองลงมาคือเส้นบะหมี่จากแป้งข้าวสูตร 11 (CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)), สูตร 10 (CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)), สูตร 9 (CN1(30):CN1P(30):CN1HMT(40)), สูตร 12 (CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)), สูตร 6 (CN1(70):CN1P(30)), สูตร 7 (CN1(70):KDM105P(30)), สูตร 8 (CN1(70):RD6P(30)) และสูตร 5 (CN1(90):RD6P(10)) มีค่าแรงตัดคือ 2.067, 1.876, 1.593, 1.048, 0.954, 0.778, 0.618 และ 0.075 นิวตัน ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับบะหมี่จากแป้งสาลี

ค่าแรงตัดสูงสุดรอบที่ 5 พบว่า เส้นบะหมี่สูตรแป้งสาลี มีค่าแรงตัดสูงสุดคือ 2.021 นิวตัน แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตรแป้งข้าว รองลงมาคือเส้นบะหมี่จากแป้งข้าวสูตร 11 (CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)), สูตร 10 (CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)), สูตร 9 (CN1(30):CN1P(30):CN1HMT(40)), สูตร 12 (CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)), สูตร 7 (CN1(70):KDM105P(30)), สูตร 6 (CN1(70):CN1P(30)), สูตร 8 (CN1(70):RD6P(30)) และสูตร 5 (CN1(90):RD6P(10)) มีค่าแรงตัดคือ 1.985, 1.432, 1.342, 0.987, 0.593, 0.578, 0.347 และ 0.053 นิวตัน ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับบะหมี่จากแป้งสาลี

จากผลการทดลอง (ตารางที่ 19-21) พบว่า เส้นบะหมี่จากแป้งข้าวสูตร 11 (CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) มีลักษณะเนื้อสัมผัสได้แก่ค่าแรงดึงสูงสุด, ค่าระยะทางสูงสุดในการดึง และค่าแรงตัดสูงสุดมีค่าสูง แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับบะหมี่จากแป้งข้าวสูตรอื่น เนื่องจากเส้นบะหมี่สูตร 11 มีส่วนผสมของแป้งชัณนาท 1: แป้งชัณนาท 1 ฟรีเจล: แป้งกช 6HMT ในอัตราส่วน 30:30:40 เมื่อพิจารณาพบว่าแป้งชัณนาท 1 มีปริมาณแอมิโลสสูง ส่งผลให้มีค่ากำลังการพองตัวและค่าการละลายมีค่าต่ำ (ตารางที่ 5 และตารางที่ 6) และแป้งชัณนาท 1 ฟรีเจล มีอุณหภูมิการเกิดเจลที่ไนซ์สูงกว่าแป้งข้าวขาวดอกมะลิ 105 ฟรีเจล และแป้งกช 6 ฟรีเจล และแป้งกช 6HMT มีความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งมีค่าสูงสุดจากตารางที่ 11



สูตร11

สูตร12

ภาพที่ 17 บะหมี่ผัดทรงเครื่องก่อนเข้ากระบวนการแช่เยือกแข็ง



สูตร11

สูตร12

ภาพที่ 18 บะหมี่ผัดทรงเครื่องหลังเข้ากระบวนการแช่เยือกแข็ง

5. ผลของการแช่เยือกแข็งต่อบะหมี่จากแป้งข้าวพร้อมบริโภค

เมื่อนำเส้นบะหมี่ที่ผลิตได้ มาทำการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์บะหมี่ผัดทรงเครื่อง (ภาพที่ 17) หลังจากนั้นนำมาแช่เยือกแข็งแบบเย็นชวยิ่ง ได้ผลิตภัณฑ์บะหมี่ผัดทรงเครื่องแช่เยือกแข็ง (ภาพที่ 18) นำมาทดสอบความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งของบะหมี่จากแป้งข้าวพร้อมบริโภคเป็นจำนวน 5 รอบ และทดสอบทางประสาทสัมผัสเป็นจำนวน 5 รอบ ได้ผลการทดลองดังนี้

5.1 ความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งของบะหมี่จากแป้งข้าวพร้อมบริโภคเป็นจำนวน 5 รอบ

เมื่อบะหมี่ผัดทรงเครื่องผ่านการคืนรูปจากเยือกแข็งเป็นจำนวน 5 รอบ พบว่า ลักษณะด้านเนื้อสัมผัสได้แก่ค่าแรงดึงสูงสุด (maximum tension force หรือ tensile strength), ค่าระยะทางสูงสุดในการดึง (maximum distance หรือ extensibility), ค่าแรงตัดสูงสุด (maximum cutting force หรือ hardness) เกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้นและผ่านการคืนรูปเป็นจำนวนหลายรอบทำให้คุณภาพทางเนื้อสัมผัสมีค่าลดลง

ตารางที่ 22 คุณภาพทางเนื้อสัมผัสด้านแรงดึงสูงสุดของบะหมี่ผัดทรงเครื่องเป็นจำนวน 5 รอบ

สูตร	คุณภาพทางเนื้อสัมผัสด้านค่าแรงดึงสูงสุด (นิวตัน)					
	ปกติ	รอบ1	รอบ2	รอบ3	รอบ4	รอบ5
แป้งสาลี	0.224a	0.215a	0.197a	0.155a	0.125a	0.115a
5	0.130g	0.121f	0.114f	0.095e	0.065f	0.023h
6	0.149f	0.130e	0.124e	0.110d	0.087e	0.061f
7	0.145f	0.124f	0.101g	0.081f	0.067f	0.057g
8	0.152e	0.125f	0.115f	0.110d	0.095d	0.081d
9	0.168d	0.145d	0.125e	0.103d	0.090d	0.072e
10	0.198c	0.173c	0.155d	0.124c	0.105c	0.097c
11	0.212b	0.198b	0.172b	0.145b	0.114b	0.094c
12	0.202c	0.178c	0.165c	0.140b	0.110b	0.104b

ตัวอักษร a-h ที่แตกต่างกันในแนวตั้งคือค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากผลการทดลองตารางที่ 22 แสดงลักษณะเนื้อสัมผัสของบะหมี่ผัดทรงเครื่องด้านค่าแรงดึงสูงสุดปกติ พบว่า บะหมี่ผัดทรงเครื่องสูตรแป้งสาลี มีค่าแรงดึงสูงสุดคือ 0.224 นิวตัน แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตรแป้งข้าว รongลงมาคือบะหมี่ผัดทรงเครื่องสูตร11 (CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) มีค่าแรงดึงคือ 0.212 นิวตัน แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตร5 (CN1(90):RD6P(10)), สูตร6 (CN1(70):CN1P(30)), สูตร7(CN1(70):KDM105P(30)), สูตร8 (CN1(70):RD6P(30)), สูตร9 (CN1(30):CN1P(30):CN1HMT(40)) สูตร10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)) และสูตร12 (CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40))

ค่าแรงดึงสูงสุดในรอบที่ 1 พบว่า บะหมี่ผัดทรงเครื่องสูตรแป้งสาลี มีค่าแรงดึงสูงสุดคือ 0.215 นิวตัน แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตรแป้งข้าว รongลงมาคือบะหมี่ผัดทรงเครื่องสูตร11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) มีค่าแรงดึงคือ 0.198 นิวตัน แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตร5 (CN1(90):RD6P(10)), สูตร6 (CN1(70):CN1P(30)), สูตร7 (CN1(70):KDM105P(30)), สูตร8 (CN1(70):RD6P(30)), สูตร9 (CN1(30):CN1P(30):CN1HMT(40)) สูตร10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)), และสูตร12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40))

ค่าแรงดึงสูงสุดในรอบที่ 2 พบว่า บะหมี่ผัดทรงเครื่องสูตรแป้งสาลี มีค่าแรงดึงสูงสุดคือ 0.197 นิวตัน แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตรแป้งข้าว รongลงมาคือบะหมี่ผัดทรงเครื่องสูตร11 (CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)), สูตร12 (CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)), และสูตร10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)), สูตร7(CN1(70):KDM105P(30)) มีค่าแรงดึงคือ 0.172, 0.165 และ0.155 นิวตัน ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตร5 (CN1(90):RD6P(10)), สูตร6 (CN1(70):CN1P(30)), สูตร7 (CN1(70):KDM105P(30)), สูตร8 (CN1(70):RD6P(30)) และสูตร9 (CN1(30):CN1P(30):CN1HMT(40))

ค่าแรงดึงสูงสุดในรอบที่ 3 พบว่า บะหมี่ผัดทรงเครื่องสูตรแป้งสาลี มีค่าแรงดึงสูงสุดคือ 0.155 นิวตัน แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตรแป้งข้าว รongลงมาคือบะหมี่ผัดทรงเครื่องสูตร11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) และสูตร12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)) มีค่าแรงดึงคือ 0.145 และ0.140 นิวตัน ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p > 0.05$) แต่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตร5 (CN1(90):RD6P(10)), สูตร6 (CN1(70):CN1P(30)), สูตร7 (CN1(70):KDM105P(30)), สูตร8 (CN1(70):RD6P(30)), สูตร9 (CN1(30):CN1P(30):CN1HMT(40)) และสูตร10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40))

ค่าแรงดึงสูงสุดในรอบที่ 4 พบว่า บะหมี่ผัดทรงเครื่องสูตรแป้งสาลี มีค่าแรงดึงสูงสุดคือ 0.125 นิวตัน แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตรแป้งข้าว รongลงมาคือบะหมี่ผัดทรงเครื่องสูตร11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) และสูตร12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)) มีค่าแรงดึงคือ 0.114 และ0.110 นิวตัน ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตร5 (CN1(90):RD6P(10)), สูตร6 (CN1(70):CN1P(30)), สูตร7 (CN1(70):KDM105P(30)), สูตร8 (CN1(70):RD6P(30)), สูตร9 (CN1(30):CN1P(30):CN1HMT(40)), สูตร10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)), และสูตร11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40))

ตารางที่ 23 คุณภาพทางเนื้อสัมผัสด้านค่าระยะทางสูงสุดในการดึงของบะหมี่ผัดทรงเครื่องเป็นจำนวน 5 รอบ

สูตร	คุณภาพทางเนื้อสัมผัสด้านระยะทางสูงสุดในการดึง (มิลลิเมตร)					
	ปกติ	รอบ1	รอบ2	รอบ3	รอบ4	รอบ5
แป้งสาลี	45.652a	43.014a	36.017a	34.526a	31.365a	25.614a
5	10.211i	9.810i	6.541i	5.210h	2.013i	1.024i
6	12.541h	10.210h	9.214h	5.012i	2.145h	2.001h
7	18.104g	16.961f	14.145e	12.051e	9.821e	5.135f
8	20.526f	15.843g	10.105g	10.632g	5.585g	2.715g
9	28.014d	17.603e	14.061f	11.145f	8.255f	6.801d
10	31.558c	25.904c	20.982c	18.045d	10.901d	5.571e
11	39.612b	36.925b	30.605b	28.791b	25.031b	20.655b
12	23.540e	21.312d	19.951d	19.070c	17.953c	15.715c

ตัวอักษร a-i ที่แตกต่างกันในแนวตั้งคือค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากผลการทดลองตารางที่ 23 แสดงลักษณะเนื้อสัมผัสด้านค่าระยะทางสูงสุดในการดึงปกติ พบว่า บะหมี่ผัดทรงเครื่องสูตรแป้งสาลี มีค่าระยะทางสูงสุดในการดึงคือ 45.652 มิลลิเมตร แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตรแป้งข้าว รongลงมาคือบะหมี่ผัดทรงเครื่องจากแป้งข้าวสูตร11 (CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)), สูตร10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)), สูตร9 (CN1(30):CN1P(30):CN1HMT(40)), สูตร12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)), สูตร8

(CN1(70):RD6P(30)), สูตร7(CN1(70):KDM105P(30)), สูตร6(CN1(70):CN1P(30)) และสูตร5 (CN1(90):RD6P(10)) มีค่าระยะทางในการดึงคือ 39.612, 31.558, 28.014, 23.540, 20.526, 18.104, 12.541 และ 10.211 มิลลิเมตร ตามลำดับ แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับระยะห่างจากแปรงสาลี

ค่าระยะทางสูงสุดในการดึงรอบที่ 1 พบว่า ระยะห่างตัดทรงเครื่องจากแปรงสาลี มีค่า ระยะทางสูงสุดในการดึงคือ 43.014 มิลลิเมตร แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตรแปรงข้าว รองลงมาคือระยะห่างตัดทรงเครื่องจากแปรงข้าวสูตร11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)), สูตร10 (CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)), สูตร12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)), สูตร9 (CN1(30):CN1P(30):CN1HMT(40)), สูตร7(CN1(70):KDM105P(30)), สูตร8(CN1(70):RD6P (30)), สูตร6(CN1(70):CN1P(30)) และสูตร5(CN1(90):RD6P(10)) มีค่าระยะทางในการดึงคือ 36.925, 25.904, 21.312, 17.603, 16.961, 15.843, 10.210 และ 9.810 มิลลิเมตร ตามลำดับ แตกต่าง กันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับระยะห่างจากแปรงสาลี

ค่าระยะทางสูงสุดในการดึงรอบที่ 2 พบว่า ระยะห่างตัดทรงเครื่องสูตรแปรงสาลี มีค่า ระยะทางสูงสุดในการดึงคือ 36.017 มิลลิเมตร แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตรแปรงข้าว รองลงมาคือระยะห่างตัดทรงเครื่องจากแปรงข้าวสูตร11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)), สูตร10 (CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)), สูตร12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)), สูตร7 (CN1(70):KDM105P(30)), สูตร9(CN1(30):CN1P(30):CN1HMT(40)), สูตร8(CN1(70):RD6P (30)), สูตร6(CN1(70):CN1P(30)) และสูตร5(CN1(90):RD6P(10)) มีค่าระยะทางในการดึงคือ 30.605, 20.982, 19.951, 14.145, 14.061, 10.105, 9.214 และ 6.541 มิลลิเมตร ตามลำดับ แตกต่างกัน ทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับระยะห่างจากแปรงสาลี

ค่าระยะทางสูงสุดในการดึงรอบที่ 3 พบว่า ระยะห่างตัดทรงเครื่องสูตรแปรงสาลี มีค่า ระยะทางสูงสุดในการดึงคือ 34.526 มิลลิเมตร แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตรแปรงข้าว รองลงมาคือระยะห่างตัดทรงเครื่องจากแปรงข้าวสูตร11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)), สูตร12 (CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)), สูตร10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)), สูตร7 (CN1(70):KDM105P(30)), สูตร9(CN1(30):CN1P(30):CN1HMT(40)), สูตร8(CN1(70):RD6P (30)), สูตร5(CN1(90):RD6P(10)) และสูตร6(CN1(70):CN1P(30)) มีค่าระยะทางในการดึงคือ 28.791, 19.070, 18.045, 12.051, 11.145, 10.632, 5.210 และ 5.012 มิลลิเมตร ตามลำดับ แตกต่างกัน ทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับระยะห่างจากแปรงสาลี

ค่าระยะทางสูงสุดในการดึงรอบที่ 4 พบว่า บะหมี่ผัดทรงเครื่องสูตรแป้งสาลี มีค่าระยะทางสูงสุดในการดึงคือ 31.365 มิลลิเมตร แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตรแป้งข้าวรองลงมาคือบะหมี่ผัดทรงเครื่องจากแป้งข้าวสูตร 11 (CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)), สูตร 12 (CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)), สูตร 10 (CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)), สูตร 7 (CN1(70):KDM105P(30)), สูตร 9 (CN1(30):CN1P(30):CN1HMT(40)), สูตร 8 (CN1(70):RD6P(30)), สูตร 6 (CN1(70):CN1P(30)) และสูตร 5 (CN1(90):RD6P(10)) มีค่าระยะทางในการดึงคือ 25.031, 17.953, 10.901, 9.82, 8.255, 5.585, 2.145 และ 2.013 มิลลิเมตร ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับบะหมี่จากแป้งสาลี

ค่าระยะทางสูงสุดในการดึงรอบที่ 5 พบว่า บะหมี่ผัดทรงเครื่องสูตรแป้งสาลี มีค่าระยะทางสูงสุดในการดึงคือ 25.614 มิลลิเมตร แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตรแป้งข้าวรองลงมาคือบะหมี่ผัดทรงเครื่องจากแป้งข้าวสูตร 11 (CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)), สูตร 12 (CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)), สูตร 9 (CN1(30):CN1P(30):CN1HMT(40)), สูตร 10 (CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)), สูตร 7 (CN1(70):KDM105P(30)), สูตร 8 (CN1(70):RD6P(30)), สูตร 6 (CN1(70):CN1P(30)) และสูตร 5 (CN1(90):RD6P(10)) มีค่าระยะทางในการดึงคือ 20.655, 15.715, 6.801, 5.571, 5.135, 2.715, 2.001 และ 1.024 มิลลิเมตร ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับบะหมี่จากแป้งสาลี

ตารางที่ 24 คุณภาพทางเนื้อสัมผัสด้านแรงตัดสูงสุดของบะหมี่ผัดทรงเครื่องเป็นจำนวน 5 รอบ

สูตร	คุณภาพทางเนื้อสัมผัสด้านแรงตัดสูงสุด (นิวตัน)					
	ปกติ	รอบ1	รอบ2	รอบ3	รอบ4	รอบ5
แป้งสาลี	3.812a	2.715a	2.623a	2.155a	2.015a	1.780a
5	0.412i	0.403f	0.312h	0.202i	0.120g	0.050h
6	1.654f	1.502d	1.024g	0.954h	0.514f	0.098g
7	1.523g	1.410e	1.075f	1.045g	1.055e	0.132fg
8	1.021h	2.115b	2.110b	1.825c	1.573c	1.255d
9	2.154d	2.063c	1.960c	1.905b	1.561c	1.455c
10	2.918c	2.085b	1.921c	1.625e	1.145d	0.161f
11	3.210b	2.124b	1.875d	1.764d	1.614b	1.502b
12	1.857e	1.432e	1.330e	1.085f	1.021e	1.024e

ตัวอักษร a-i ที่แตกต่างกันในแนวตั้งคือค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากผลการทดลองตารางที่ 24 แสดงลักษณะเนื้อสัมผัสด้านค่าแรงตัดสูงสุดปกติพบว่า บะหมี่ผัดทรงเครื่องสูตรแป้งสาลี มีค่าแรงตัดสูงสุดคือ 3.812 นิวตัน แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตรแป้งข้าว รongลงมาคือบะหมี่ผัดทรงเครื่องจากแป้งข้าวสูตร11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)), สูตร10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)), สูตร9(CN1(30):CN1P(30):CN1HMT(40)), สูตร12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)), สูตร6(CN1(70):CN1P(30)), สูตร7 (CN1(70):KDM105P(30)), สูตร8(CN1(70):RD6P(30)) และสูตร5(CN1(90):RD6P(10)) มีค่าแรงตัดคือ 3.210, 2.918, 2.154, 1.857, 1.654, 1.523, 1.021 และ 0.412 นิวตัน ตามลำดับ แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับบะหมี่จากแป้งสาลี

ค่าแรงตัดสูงสุดรอบที่ 1 พบว่า บะหมี่ผัดทรงเครื่องสูตรแป้งสาลี มีค่าแรงตัดสูงสุดคือ 2.715 นิวตัน แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตรแป้งข้าว รongลงมาคือบะหมี่ผัดทรงเครื่องจากแป้งข้าวสูตร11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)), สูตร8(CN1(70):RD6P(30)) และสูตร 10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)) มีค่าแรงตัดคือ 2.124, 2.115 และ 2.085 นิวตัน ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตร5 (CN1(90):RD6P(10)), สูตร6 (CN1(70):CN1P(30)), สูตร7 (CN1(70):KDM105P(30)), สูตร9 (CN1(30):CN1P(30):CN1HMT(40)) และสูตร12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40))

ค่าแรงตัดสูงสุดรอบที่ 2 พบว่า บะหมี่ผัดทรงเครื่องสูตรแป้งสาลี มีค่าแรงตัดสูงสุดสูงที่สุดคือ 2.623 แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตรแป้งข้าว รongลงมาคือบะหมี่ผัดทรงเครื่องจากแป้งข้าวสูตร8 (CN1(70):RD6P(30)) มีค่าแรงตัดคือ 2.110 นิวตัน แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตร5 (CN1(90):RD6P(10)), สูตร6 (CN1(70):CN1P(30)), สูตร7 (CN1(70):KDM105P(30)), สูตร9 (CN1(30):CN1P(30):CN1HMT(40)), สูตร10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)), สูตร11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)), และสูตร12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40))

ค่าแรงตัดสูงสุดรอบที่ 3 พบว่า บะหมี่ผัดทรงเครื่องสูตรแป้งสาลี มีค่าแรงตัดสูงสุดคือ 2.155 นิวตัน แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตรแป้งข้าว รongลงมาคือบะหมี่ผัดทรงเครื่องจากแป้งข้าวสูตร9(CN1(30):CN1P(30):CN1HMT(40)), สูตร8(CN1(70):RD6P(30)), สูตร11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)), สูตร10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)), สูตร12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)), สูตร7(CN1(70):KDM105P(30)), สูตร6(CN1(70):CN1P(30)) และสูตร5(CN1(90):RD6P(10)) มีค่าแรงตัดคือ 1.905, 1.825, 1.764, 1.625, 1.085, 1.045, 0.954 และ0.202 นิวตัน ตามลำดับ แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับบะหมี่จากแป้งสาลี

ค่าแรงตัดสูงสุดรอบที่ 4 พบว่า บะหมี่ผัดทรงเครื่องสูตรแป้งสาลี มีค่าแรงตัดสูงสุดคือ 2.015 นิวตัน แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตรแป้งข้าว รongลงมาคือบะหมี่ผัดทรงเครื่องจากแป้งข้าวสูตร11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) มีค่าแรงตัดคือ 1.614 นิวตัน แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตร5 (CN1(90):RD6P(10)), สูตร6 (CN1(70):CN1P(30)), สูตร7 (CN1(70):KDM105P(30)), สูตร8 (CN1(70):RD6P(30)), สูตร9 (CN1(30):CN1P(30):CN1HMT(40)), สูตร10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)), และสูตร12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40))

ค่าแรงตัดสูงสุดรอบที่ 5 พบว่า บะหมี่ผัดทรงเครื่องสูตรแป้งสาลี มีค่าแรงตัดสูงสุดคือ 1.780 แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตรแป้งข้าว รongลงมาคือบะหมี่ผัดทรงเครื่องแป้งข้าวสูตร 11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) มีค่าแรงตัดคือ 1.502 นิวตัน แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)กับสูตร5 (CN1(90):RD6P(10)), สูตร6 (CN1(70):CN1P(30)), สูตร7 (CN1(70):KDM 105P(30)), สูตร8 (CN1(70):RD6P(30)), สูตร9 (CN1(30):CN1P(30):CN1HMT(40)), สูตร10 (CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)), และสูตร12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40))

จากผลการทดลองตารางที่ 22-24 เมื่อนำเส้นบะหมี่มาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์บะหมี่ผัดทรงเครื่องแช่เยือกแข็ง แล้วนำมาผ่านกระบวนการคั้นรูปจากเยือกแข็ง พบว่าค่าเนื้อสัมผัสด้านค่าแรงดึงสูงสุด, ค่าระยะทางสูงสุดในการดึง และค่าแรงตัดสูงสุด มีค่าลดลงกว่าค่าเนื้อสัมผัสของเส้นบะหมี่ เนื่องจากกระบวนการแปรรูปมีการให้ความร้อน และมีส่วนผสมอื่นทำให้ส่งผลต่อค่าที่ลดลงของเนื้อสัมผัสของเส้นบะหมี่ผัดทรงเครื่อง และเมื่อพิจารณาค่าเนื้อสัมผัสทุกค่า พบว่ามีค่าลดลงในทุกรอบของการคั้นรูปจากเยือกแข็ง ให้ผลเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับผลของเส้นบะหมี่ (ตารางที่ 19-21) โดยพบว่าบะหมี่ผัดทรงเครื่องจากแป้งข้าวสาลี11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) ให้ค่าแรงดึงสูงสุด, ค่าระยะทางสูงสุดในการดึง และค่าแรงตัดสูงสุดมีค่าสูง แตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) กับบะหมี่จากแป้งข้าวสาลีอื่น เนื่องจากเส้นบะหมี่สูตร11 มีส่วนผสมของแป้งชัณนาท1: แป้งชัณนาท1พรีเจล: แป้งกช6HMT ในอัตราส่วน 30:30:40 เมื่อพิจารณาพบว่าแป้งชัณนาท1 มีปริมาณแอมิโลสสูง ส่งผลให้มีค่ากำลังการพองตัวและค่าการละลายมีค่าต่ำ (ตารางที่5-6) แป้งชัณนาท1พรีเจล มีอุณหภูมิการเกิดเจลที่ไนซ์สูงกว่าแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105พรีเจลและแป้งกช6พรีเจล และแป้งกช6HMT มีความคงทนต่อการคั้นรูปจากเยือกแข็งมีค่าสูงสุด (จากตารางที่ 11) ส่งผลให้เส้นบะหมี่มีความคงตัวดี ทำให้ค่าที่วัดได้มีค่าสูง

5.2 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของบะหมี่ผัดทรงเครื่อง

จากการวิเคราะห์คุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของเส้นบะหมี่โดยวิธี Hedonic scales ให้ค่าคะแนน 1 คือ ไม่ชอบมากที่สุด, คะแนน 5 คือ เฉยๆ และคะแนน 9 คือ ชอบมากที่สุด จากสูตรต่างๆ ที่ผ่านการคั้นรูปจากเยือกแข็งเป็นจำนวน 5 รอบพบว่า เส้นบะหมี่สูตรแป้งสาลี, สูตร11 (CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) และสูตร12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)) มีคุณภาพทางเนื้อสัมผัสที่มีค่าสูง ดังนั้นจึงนำเส้นบะหมี่ทั้ง 4 สูตร มาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์บะหมี่ผัดทรงเครื่องแช่เยือกแข็ง แล้วนำมาทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสเมื่อผ่านการคั้นรูปจากเยือกแข็ง

ตารางที่ 25 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบของบะหมี่ผัดทรงเครื่องแช่เยือกแข็งที่คืนรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 1

สูตร	คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบ *				
	สี	ความยืดหยุ่น	ความเหนียวนุ่ม	ลักษณะปรากฏ	ความชอบรวม
แป้งสาลี	7.29a	8.10a	8.22a	7.75a	7.70a
10	5.05c	5.75b	5.10c	5.73b	6.02b
11	6.31b	7.65a	6.45b	7.05a	6.75b
12	6.69ab	6.05b	7.05b	5.14b	5.20c

ตัวอักษร a-c ที่แตกต่างกันในแนวตั้งคือค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

* คะแนน 1 คือ ไม่ชอบมากที่สุด, คะแนน 5 คือ เฉยๆ และคะแนน 9 คือ ชอบมากที่สุด

จากผลการทดลองตารางที่ 25 คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสีของบะหมี่ผัดทรงเครื่องแช่เยือกแข็งที่คืนรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 1 พบว่า สูตรแป้งสาลี และสูตร 12 (CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)) ได้คะแนนด้านสี คือ 7.29 และ 6.69 ตามลำดับ อยู่ในช่วงระดับความชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตร 10 (CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)) และสูตร 11 (CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) รองลงมาคือ สูตร 11 (CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) ได้คะแนนด้านสี คือ 6.31 อยู่ในช่วงระดับความชอบเล็กน้อย ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับสูตร 12 (CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)) แต่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตร 10 (CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)) ส่วนสูตร 10 (CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)) ได้คะแนนด้านสี คือ 5.05 อยู่ในช่วงระดับคะแนนเฉยๆ แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตร 11 (CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) และสูตร 12 (CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40))

ความยืดหยุ่นของบะหมี่ผัดทรงเครื่องแช่เยือกแข็งที่คืนรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 1 พบว่า สูตรแป้งสาลี และสูตร 11 (CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) ได้คะแนนด้านความยืดหยุ่น คือ 8.10 และ 7.65 ตามลำดับ อยู่ในช่วงระดับความชอบปานกลางถึงชอบมาก ซึ่งไม่แตกต่างกันทาง

สถิติ($p>0.05$) แต่แตกต่างกันทางสถิติ($p\leq 0.05$) กับสูตร10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)) และสูตร12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)) รองลงมาคือ สูตร12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)) และสูตร10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)) ได้คะแนนด้านความยืดหยุ่น คือ 6.05 และ 5.75 ตามลำดับ อยู่ในช่วงระดับเฉยๆถึงชอบเล็กน้อย ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) แต่แตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับสูตร11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40))

ความเหนียวนุ่มของบะหมี่ผัดทรงเครื่องแช่เยือกแข็งที่คืนรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 1 พบว่า สูตรแป้งสาลี ได้คะแนนด้านความเหนียวนุ่ม คือ 8.22 อยู่ในช่วงระดับความชอบมาก แตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับสูตร10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)), สูตร11 (CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) และสูตร12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)) รองลงมาคือ สูตร12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)) และสูตร11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) ได้คะแนนด้านความเหนียวนุ่ม คือ 7.05 และ 6.45 ตามลำดับ อยู่ในช่วงระดับความชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) แต่แตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับสูตร10 (CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)) ส่วนสูตร10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)) ได้คะแนนด้านความเหนียวนุ่ม คือ 5.10 อยู่ในช่วงระดับเฉยๆ แตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับ สูตร11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) และสูตร12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40))

ลักษณะปรากฏของบะหมี่ผัดทรงเครื่องแช่เยือกแข็งที่คืนรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 1 พบว่า สูตรแป้งสาลี และสูตร11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) ได้คะแนนด้านลักษณะ ปรากฏ คือ 7.75 และ 7.05 ตามลำดับ อยู่ในช่วงระดับความชอบปานกลาง ซึ่งไม่แตกต่างกันทาง สถิติ ($p>0.05$) แต่แตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับสูตร10(CN1(30):CN1P(30):KDM105 HMT(40)) และสูตร12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)) รองลงมาคือ สูตร10 (CN1(30): CN1P(30):KDM105HMT(40)) และสูตร12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)) ได้คะแนนด้าน ลักษณะปรากฏ คือ 5.73 และ 5.14 ตามลำดับ อยู่ในช่วงระดับเฉยๆ ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) แต่แตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับสูตรแป้งสาลี และสูตร11(CN1(30):CN1P(30): RD6HMT(40))

ความชอบรวมของบะหมี่ผัดทรงเครื่องแช่เยือกแข็งที่คืนรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 1 พบว่า สูตรแป้งสาลี ได้คะแนนความชอบรวมสูง คือ 7.70 อยู่ในช่วงระดับความชอบปานกลาง แตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับสูตร10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)), สูตร11

(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) และสูตร12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)) รองลงมาคือ สูตร11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) และสูตร10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)) ได้คะแนนความชอบรวม คือ 6.75 และ6.02 ตามลำดับ อยู่ในช่วงระดับความชอบเล็กน้อย ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) แต่แตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับสูตรแป้งสาลี และสูตร12 (CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)) ส่วนสูตร12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)) ได้คะแนนความชอบรวมคือ 5.20 อยู่ในช่วงระดับเฉยๆ แตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับสูตรแป้งสาลี สูตร 10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)) และสูตร11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40))

ตารางที่ 26 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบของบะหมี่ผัดทรงเครื่องแช่เยือกแข็งที่ผ่านการคืนรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 2

สูตร	คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบ *				
	สี	ความยืดหยุ่น	ความเหนียวนุ่ม	ลักษณะปรากฏ	ความชอบรวม
แป้งสาลี	7.10a	7.70a	6.75a	6.70a	6.75a
10	5.13c	5.48b	4.75b	5.25b	5.75bc
11	5.75bc	7.25a	6.25a	5.75b	6.25ab
12	6.15b	5.75b	6.74a	5.01b	5.10c

ตัวอักษร a-c ที่แตกต่างกันในแนวตั้งคือค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

* คะแนน 1 คือ ไม่ชอบมากที่สุด, คะแนน 5 คือ เฉยๆ และคะแนน 9 คือ ชอบมากที่สุด

จากผลการทดลองตารางที่ 26 คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสีของบะหมี่ผัดทรงเครื่องแช่เยือกแข็งที่คืนรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 2 พบว่า สูตรแป้งสาลี ได้คะแนนด้านสี คือ 7.10 อยู่ในช่วงระดับความชอบปานกลาง แตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับสูตร10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)), สูตร11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) และสูตร12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)) รองลงมาคือ สูตร12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)), สูตร11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) และสูตร10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)) ได้คะแนนด้านสี คือ 6.15, 5.75 และ5.13 ตามลำดับ อยู่ในช่วงระดับเฉยๆถึงความชอบเล็กน้อย ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) แต่แตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับแป้งสาลี

ความยืดหยุ่นของบะหมี่ผัดทรงเครื่องแช่เยือกแข็งที่คืนรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 2 พบว่า สูตรแป้งสาลี และสูตร11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) ได้คะแนนด้านความยืดหยุ่น คือ

7.70 และ 7.25 ตามลำดับ อยู่ในช่วงระดับชอบปานกลาง ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) แต่แตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับสูตร 10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)) และสูตร 12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)) รองลงมาคือ สูตร 12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)) และสูตร 10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)) ได้คะแนนด้านความยืดหยุ่น คือ 5.75 และ 5.48 ตามลำดับ อยู่ในช่วงระดับเฉยๆ ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) แต่แตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับสูตรแปดเสา และสูตร 11 (CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40))

ความเหนียวนุ่มของบะหมี่ผัดทรงเครื่องแซ่เยือกแข็งที่คืนรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 2 พบว่า สูตรแปดเสา, สูตร 12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)) และสูตร 11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) ได้คะแนนด้านความเหนียวนุ่ม คือ 6.75, 6.74 และ 6.25 ตามลำดับ อยู่ในช่วงระดับชอบเล็กน้อย ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) แต่แตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับสูตร 10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)) รองลงมาคือ สูตร 10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)) ได้คะแนนด้านความเหนียวนุ่ม คือ 4.75 อยู่ในช่วงระดับไม่ชอบเล็กน้อย แตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับสูตรแปดเสา สูตร 11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) และสูตร 12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40))

ลักษณะปรากฏของบะหมี่ผัดทรงเครื่องแซ่เยือกแข็งที่คืนรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 2 พบว่า สูตรแปดเสา ได้คะแนนด้านลักษณะปรากฏ คือ 6.70 อยู่ในช่วงระดับชอบเล็กน้อย แตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับสูตร 10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)), สูตร 11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) และสูตร 12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)) รองลงมาคือ สูตร 11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)), สูตร 10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)) และสูตร 12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)) ได้คะแนนด้านลักษณะปรากฏ คือ 5.75, 5.25 และ 5.01 ตามลำดับ อยู่ในช่วงระดับเฉยๆ ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) แต่แตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับสูตรแปดเสา

ความชอบรวมของบะหมี่ผัดทรงเครื่องแซ่เยือกแข็งที่คืนรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 2 พบว่า สูตรแปดเสา, สูตร 11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)), สูตร 10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)) และสูตร 12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)) ได้คะแนนความชอบรวม คือ 6.75, 6.25, 5.75 และ 5.10 ตามลำดับ อยู่ในช่วงระดับเฉยๆถึงชอบเล็กน้อย ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางที่ 27 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบของบะหมี่ผัดทรงเครื่องแช่เยือกแข็งที่คืนรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 3

สูตร	คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบ *				
	สี	ความยืดหยุ่น	ความเหนียวนุ่ม	ลักษณะปรากฏ	ความชอบรวม
แป้งสาลี	7.10a	7.10a	7.01a	6.25a	6.75a
10	4.75c	5.05b	4.75c	5.15b	5.70b
11	5.65b	6.75a	5.75b	6.70a	5.75b
12	6.10b	5.55b	6.05b	4.75b	5.10b

ตัวอักษร a-c ที่แตกต่างกันในแนวตั้งคือค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

* คะแนน 1 คือ ไม่ชอบมากที่สุด, คะแนน 5 คือ เฉยๆ และคะแนน 9 คือ ชอบมากที่สุด

จากผลการทดลองตารางที่ 27 คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสีของบะหมี่ผัดทรงเครื่องแช่เยือกแข็งที่คืนรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 3 พบว่า สูตรแป้งสาลี ได้คะแนนด้านสี คือ 7.10 อยู่ในช่วงระดับชอบปานกลาง แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตร 10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)), สูตร 11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) และสูตร 12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)) รองลงมาคือ สูตร 12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)) และสูตร 11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) ได้คะแนนด้านสี คือ 6.10 และ 5.65 ตามลำดับ อยู่ในช่วงระดับเฉยๆ ถึงชอบเล็กน้อย ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตรแป้งสาลี และสูตร 10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)) และสูตร 10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)) ได้คะแนนด้านสี คือ 4.75 อยู่ในช่วงระดับไม่ชอบเล็กน้อย แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตรแป้งสาลี สูตร 10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)), สูตร 11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) และสูตร 12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40))

ความยืดหยุ่นของบะหมี่ผัดทรงเครื่องแช่เยือกแข็งที่คืนรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 3 พบว่า สูตรแป้งสาลี และสูตร 11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) ได้คะแนนด้านความยืดหยุ่น คือ 7.10 และ 6.75 ตามลำดับ อยู่ในช่วงระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตรแป้งสาลี และสูตร 10(CN1(30):CN1P(30):

KDM105HMT(40)) และสูตร12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)) รองลงมาคือ สูตร10 (CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)) และสูตร12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)) ได้คะแนนด้านความยืดหยุ่น คือ 5.55 และ5.05 ตามลำดับ อยู่ในช่วงระดับเฉยๆ ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) แต่แตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับสูตรแป้งสาลี และสูตร11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40))

ความเหนียวนุ่มของบะหมี่ผัดทรงเครื่องแช่เยือกแข็งที่คืนรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 3 พบว่า สูตรแป้งสาลี ได้คะแนนด้านความเหนียวนุ่ม คือ 7.01 อยู่ในช่วงระดับชอบปานกลาง แตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับสูตร10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)), สูตร 11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) และสูตร12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)) รองลงมาคือ สูตร12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)) และสูตร11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) ได้คะแนนด้านความเหนียวนุ่ม คือ 6.05 และ5.75 ตามลำดับ อยู่ในช่วงระดับเฉยๆถึงชอบเล็กน้อย ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) แต่แตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับสูตรแป้งสาลี และสูตร10 (CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)) และสูตร10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)) ได้คะแนนด้านความเหนียวนุ่ม คือ 4.75 อยู่ในช่วงระดับไม่ชอบเล็กน้อย แตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับสูตรแป้งสาลี และสูตร11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) และสูตร 12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40))

ลักษณะปรากฏของบะหมี่ผัดทรงเครื่องแช่เยือกแข็งที่คืนรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 3 พบว่า สูตร11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) และสูตรแป้งสาลีได้คะแนนด้านลักษณะปรากฏ คือ 6.70 และ6.25 ตามลำดับ อยู่ในช่วงระดับชอบเล็กน้อย ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) แต่แตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับสูตร10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)) และสูตร12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40))รองลงมาคือสูตร10(CN1(30):CN1P(30):KDM105 HMT(40)) และสูตร12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)) ได้คะแนนด้านลักษณะปรากฏ คือ 5.15 และ4.75 ตามลำดับ อยู่ในช่วงระดับไม่ชอบเล็กน้อยถึงเฉยๆ ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) แต่แตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับสูตรแป้งสาลี และสูตร11(CN1(30):CN1P(30):RD6 HMT(40))

ความชอบรวมของบะหมี่ผัดทรงเครื่องแช่เยือกแข็งที่คืนรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 3 พบว่า สูตรแป้งสาลี ได้คะแนนความชอบรวมสูง คือ 6.75 อยู่ในช่วงระดับชอบเล็กน้อย แตกต่างกัน

ทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตร 10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)), สูตร 11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) และสูตร 12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)) รองลงมาคือ สูตร 11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)), สูตร 10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)) และสูตร 12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)) ได้คะแนนความชอบรวม คือ 5.75, 5.70 และ 5.10 ตามลำดับ อยู่ในช่วงระดับเฉยๆ ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตรแป้งสาลี

ตารางที่ 28 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบของบะหมี่ผัดทรงเครื่องแช่เยือกแข็งที่ผ่านการคืนรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 4

สูตร	คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบ *				
	สี	ความยืดหยุ่น	ความเหนียวนุ่ม	ลักษณะปรากฏ	ความชอบรวม
แป้งสาลี	6.25a	6.70a	6.70a	6.20a	5.80a
10	4.50c	4.90c	4.25c	3.95c	3.50b
11	4.75c	5.73b	5.25b	4.75b	4.75a
12	5.25b	5.05bc	5.05b	4.10bc	2.75b

ตัวอักษร a-e ที่แตกต่างกันในแนวตั้งคือค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

* คะแนน 1 คือ ไม่ชอบมากที่สุด, คะแนน 5 คือ เฉยๆ และคะแนน 9 คือ ชอบมากที่สุด

จากผลการทดลองตารางที่ 28 คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสีของบะหมี่ผัดทรงเครื่องแช่เยือกแข็งที่คืนรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 4 พบว่า สูตรแป้งสาลี ได้คะแนนด้านสี คือ 6.25 อยู่ในช่วงระดับชอบเล็กน้อย แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตร 10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)), สูตร 11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) และสูตร 12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)) รองลงมาคือ สูตร 12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)) ได้คะแนนด้านสี คือ 5.25 อยู่ในช่วงระดับเฉยๆ แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตรแป้งสาลี สูตร 10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)) และสูตร 11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) ส่วนสูตร 11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) และสูตร 10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)) ได้คะแนนด้านสี คือ 4.75 และ 4.50 ตามลำดับ อยู่ในช่วงระดับไม่ชอบเล็กน้อย ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตรแป้งสาลี และสูตร 12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40))

ความยืดหยุ่นของบะหมี่ผัดทรงเครื่องแซ่เยือกแข็งที่คืนรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 4 พบว่า สูตรแป้งสาลี ได้คะแนนด้านความยืดหยุ่น คือ 6.70 อยู่ในช่วงระดับขอบเล็กน้อย แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตร 10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)), สูตร 11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) และสูตร 12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)) รองลงมาคือ สูตร 11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)), สูตร 12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)) และสูตร 10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)) ได้คะแนนด้านความยืดหยุ่น คือ 5.73, 5.05 และ 4.90 ตามลำดับ อยู่ในช่วงไม่ขอบเล็กน้อยถึงเฉยๆ ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ ($p > 0.05$) แต่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) บะหมี่จากแป้งสาลี

ความเหนียวนุ่มของบะหมี่ผัดทรงเครื่องแซ่เยือกแข็งที่คืนรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 4 พบว่า สูตรแป้งสาลี ได้คะแนนด้านความเหนียวนุ่ม คือ 6.70 อยู่ในช่วงขอบเล็กน้อย แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตร 10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)), สูตร 11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) และสูตร 12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)) รองลงมาคือ สูตร 11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) และสูตร 12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)) ได้คะแนนด้านความเหนียวนุ่ม คือ 5.25 และ 5.05 ตามลำดับ อยู่ในช่วงระดับเฉยๆ แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตรแป้งสาลี และสูตร 10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)) ส่วนสูตร 10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)) ได้คะแนนด้านความเหนียวนุ่ม คือ 4.25 อยู่ในช่วงระดับไม่ขอบเล็กน้อย แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตรแป้งสาลี สูตร 11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) และสูตร 12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40))

ลักษณะปรากฏของบะหมี่ผัดทรงเครื่องแซ่เยือกแข็งที่คืนรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 4 พบว่า สูตรแป้งสาลี ได้คะแนนด้านลักษณะปรากฏ คือ 6.20 อยู่ในช่วงระดับขอบเล็กน้อย แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตร 10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)), สูตร 11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) และสูตร 12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)) รองลงมาคือ สูตร 11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)), สูตร 12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)) และสูตร 10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)) ได้คะแนนด้านลักษณะปรากฏ คือ 4.75, 4.10 และ 3.95 ตามลำดับ อยู่ในช่วงระดับไม่ชอบปานกลางถึงไม่ชอบเล็กน้อย ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตรแป้งสาลี

ความชอบรวมของบะหมี่ผัดทรงเครื่องแซ่เยือกแข็งที่คั้นรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 4 พบว่า สูตรแป้งสาลี และสูตร11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) ได้คะแนนความชอบรวมสูงคือ 5.80 และ4.75 ตามลำดับ อยู่ในช่วงระดับไม่ชอบเล็กน้อยถึงเฉยๆ แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตร10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)) และสูตร12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)) รองลงมาคือ สูตร10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)) และสูตร12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)) ได้คะแนนความชอบรวม คือ 3.50 และ2.75 ตามลำดับ อยู่ในช่วงระดับไม่ชอบมากถึงไม่ชอบปานกลาง ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตรแป้งสาลี และสูตร11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40))

ตารางที่ 29 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบของบะหมี่ผัดทรงเครื่องแซ่เยือกแข็งที่ผ่านการคั้นรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 5

สูตร	คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบ *				
	สี	ความยืดหยุ่น	ความเหนียวนุ่ม	ลักษณะปรากฏ	ความชอบรวม
แป้งสาลี	6.75a	6.73a	6.00a	5.75a	5.70a
10	4.00c	4.10c	3.55c	3.00c	3.10c
11	4.25c	5.15b	4.67b	4.25b	4.70b
12	5.15b	4.76c	4.40b	4.10b	2.70c

ตัวอักษร a-e ที่แตกต่างกันในแนวตั้งคือค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

* คะแนน 1 คือ ไม่ชอบมากที่สุด, คะแนน 5 คือ เฉยๆ และคะแนน 9 คือ ชอบมากที่สุด

จากผลการทดลองตารางที่ 29 คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสีของบะหมี่ผัดทรงเครื่องแซ่เยือกแข็งที่คั้นรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 5 พบว่า สูตรแป้งสาลี ได้คะแนนด้านสี คือ 6.75 อยู่ในช่วงระดับชอบเล็กน้อย แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตร10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)), สูตร11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) และสูตร12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)) รองลงมาคือสูตร12 (CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)) ได้คะแนนด้านสีคือ 5.15 อยู่ในช่วงระดับเฉยๆ แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตรแป้งสาลี สูตร10 (CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)) และสูตร11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) ส่วนสูตร10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)) และสูตร11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40))

ได้คะแนนด้านสี คือ 4.25 และ 4.00 ตามลำดับ อยู่ในช่วงระดับไม่ชอบเล็กน้อย ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตรแป้งสาลี และสูตร 12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40))

ความยืดหยุ่นของบะหมี่ผัดทรงเครื่องแช่เยือกแข็งที่คืนรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 5 พบว่า สูตรแป้งสาลี และสูตร 11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) ได้คะแนนด้านความยืดหยุ่น คือ 6.73 และ 5.15 ตามลำดับ อยู่ในช่วงระดับเฉยๆถึงชอบเล็กน้อย แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตร 10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)) และสูตร 12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)) รองลงมาคือสูตร 10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)) และสูตร 12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)) ได้คะแนนด้านความยืดหยุ่น คือ 4.76 และ 4.10 ตามลำดับ อยู่ในช่วงระดับไม่ชอบเล็กน้อย ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตรแป้งสาลี และสูตร 11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40))

ความเหนียวนุ่มของบะหมี่ผัดทรงเครื่องแช่เยือกแข็งที่คืนรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 5 พบว่า สูตรแป้งสาลี ได้คะแนนด้านความเหนียวนุ่ม คือ 6.00 อยู่ในช่วงระดับชอบเล็กน้อย แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตร 10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)), 11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) และสูตร 12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)) รองลงมาคือ สูตร 11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) และสูตร 12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)) ได้คะแนนด้านความเหนียวนุ่ม คือ 4.67 และ 4.40 ตามลำดับ อยู่ในช่วงระดับไม่ชอบเล็กน้อย ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตรแป้งสาลี และสูตร 10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)) และสูตร 10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)) ได้คะแนนด้านความเหนียวนุ่ม คือ 3.55 อยู่ในช่วงระดับไม่ชอบปานกลาง แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตรแป้งสาลี สูตร 11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) และสูตร 12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40))

ลักษณะปรากฏของบะหมี่ผัดทรงเครื่องแช่เยือกแข็งที่คืนรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 5 พบว่า สูตรแป้งสาลี ได้คะแนนด้านลักษณะปรากฏ คือ 5.75 อยู่ในช่วงระดับเฉยๆ แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตร 10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)), สูตร 11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) และสูตร 12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)) รองลงมาคือ สูตร 11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) และสูตร 12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)) ได้คะแนนด้านลักษณะปรากฏ คือ 4.25 และ 4.10 ตามลำดับ อยู่ในช่วงระดับไม่ชอบเล็กน้อย ซึ่งไม่

แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตรแป้งสาลี และสูตร 10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)) ส่วนสูตร 10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)) ได้คะแนนด้านลักษณะปรากฏ คือ 3.00 แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตรแป้งสาลี สูตร 11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) และสูตร 12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40))

ความชอบรวมของบะหมี่ผัดทรงเครื่องแช่เยือกแข็งที่คืนรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 5 พบว่า สูตรแป้งสาลี และสูตร 11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) ได้คะแนนความชอบรวมสูง คือ 5.70 และ 4.70 ตามลำดับ อยู่ในช่วงระดับไม่ชอบเล็กน้อยถึงเฉยๆ แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตร 10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)) และสูตร 12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)) รองลงมาคือสูตร 10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)) และสูตร 12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)) ได้คะแนนความชอบรวม คือ 3.10 และ 2.70 ตามลำดับ อยู่ในช่วงระดับไม่ชอบมากถึงไม่ชอบปานกลาง ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตรแป้งสาลี และสูตร 11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40))

จากผลการทดลองทางประสาทสัมผัสของบะหมี่ผัดทรงเครื่องแช่เยือกแข็งที่ผ่านการคืนรูปจากเยือกแข็งเป็นจำนวน 5 รอบ (ตารางที่ 25-29) พบว่าบะหมี่ผัดทรงเครื่องจากแป้งสาลี (แป้งสาลี) ได้คะแนนความชอบด้านสีมีค่าสูงสุดในทุกรอบของการคืนรูปจากเยือกแข็ง เนื่องจากสีเหลืองของบะหมี่ที่ได้จากแป้งสาลีเป็นสีที่เกิดขึ้นจากสารฟลาโวนที่มีอยู่ในแป้งสาลี ซึ่งจะแยกออกมาจากสตาร์ชและกลายเป็นสีเหลือง ภายใต้สภาวะที่มีความเป็นเบสในระหว่างการทำบะหมี่ (Fortmann and Joiner, 1971) แต่ในการผลิตบะหมี่จากแป้งข้าวทดแทนแป้งสาลีมีผลทำให้ขาดปริมาณโปรตีนกลูเทน จึงทำให้บะหมี่เกิดการสะท้อนแสงได้มากขึ้นหรือสว่างมากขึ้น ส่งผลให้ได้คะแนนความชอบด้านสีจากผู้บริโภคมีค่าต่ำกว่าบะหมี่จากแป้งสาลี เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างบะหมี่จากแป้งข้าวพบว่า บะหมี่จากแป้งข้าวสูตร 12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)) ได้คะแนนความชอบด้านสี ในทุกรอบของการคืนรูปจากเยือกแข็งมากกว่าบะหมี่จากแป้งข้าวสูตร 11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) และสูตร 10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)) ตามลำดับ ทั้งนี้เกิดจากในขั้นตอนการผลิตบะหมี่จากแป้งข้าวสูตร 12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)) ใช้ปริมาณน้ำน้อยกว่าบะหมี่จากแป้งข้าวสูตร 10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)) และสูตร 11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) เนื่องจากปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นทำให้บะหมี่มีสีคล้ำตรงข้ามกับบะหมี่ที่มีปริมาณน้ำน้อยจะทำให้เส้นมีความสว่างขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Hatcher *et al.* (1999) และ Morris *et al.* (2000) ได้รายงานว่าค่าความสว่างของแผ่น

แป้งบะหมี่ลดลงเมื่อปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากปริมาณน้ำมากทำให้บะหมี่มีโครงสร้างที่สามารถอัดตัวกันแน่นได้มากกว่าปริมาณน้ำน้อยจึงทำให้บะหมี่ที่บสแสง (Oh *et al.*, 1985)

ผลการทดลองทางประสาทสัมผัสความชอบด้านความยืดหยุ่น ความเหนียวนุ่ม ลักษณะปรากฏ และความชอบรวมของบะหมี่ผัดทรงเครื่องที่ผ่านการคั้นรูปจากเยือกแข็งเป็นจำนวน 5 รอบ พบว่า บะหมี่ผัดทรงเครื่องจากแป้งสาลี ได้คะแนนความชอบด้านความยืดหยุ่น ความเหนียวนุ่ม ลักษณะปรากฏ และความชอบรวม มีค่าสูงกว่าบะหมี่จากแป้งข้าว เนื่องจากแป้งสาลีมีอัตราส่วนของโปรตีนไกลอะดินและกลูเทนิน ที่เหมาะสมต่อการเกิดกลูเทนได้ เมื่อผสมแป้งสาลีกับน้ำโปรตีนในแป้งสาลีจะจับตัวเป็นก้อนเกิดเป็นกลูเทนทำให้แป้งสามารถรวมตัวกันเป็นก้อนนำไปรีดเป็นแผ่นบาง และตัดเป็นเส้นได้ ซึ่งคุณภาพของโปรตีนกลูเทนทำให้เส้นบะหมี่คงตัว มีลักษณะยืดหยุ่นและมีความเหนียวนุ่มดี (อรอนงค์, 2540) เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างบะหมี่จากแป้งข้าว พบว่าบะหมี่ผัดทรงเครื่องจากแป้งข้าวสูตร 11(CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) ได้คะแนนความชอบด้านความยืดหยุ่น ความเหนียวนุ่ม ลักษณะปรากฏ และความชอบรวม มีค่าสูงกว่าบะหมี่ผัดทรงเครื่องจากแป้งข้าวสูตร 12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)) และสูตร 10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)) ตามลำดับ เนื่องจากบะหมี่สูตร 11 มีส่วนผสมของแป้งชัณนาท1: แป้งชัณนาท1ฟรีเจล: แป้งกช6HMT ในอัตราส่วน 30:30:40 เมื่อพิจารณาพบว่าแป้งชัณนาท1 มีปริมาณแอมิโลสสูง ส่งผลให้มีค่ากำลังการพองตัวและค่าการละลายมีค่าต่ำ (ตารางที่ 5-6) แป้งชัณนาท1ฟรีเจล มีอุณหภูมิการเกิดเจลที่ในซ้สูงกว่าแป้งข้าวขาวดอกมะลิ 105 ฟรีเจล และแป้งกช6ฟรีเจล และแป้งกช6HMT มีความคงทนต่อการคั้นรูปจากเยือกแข็งมีค่าสูงสุด (จากตารางที่ 11) เมื่อนำมาเป็นส่วนผสมในการผลิตเส้น ส่งผลให้เส้นมีความคงตัวดี และคงทนต่อการคั้นรูปจากเยือกแข็ง ทำให้ได้คะแนนสูงกว่าเส้นบะหมี่จากแป้งข้าวสูตรอื่น

สรุป

1. ผลการตัดแปรสตาบิลิตี้ในแป้งข้าวทางฟิสิกส์

ได้ทดลองตัดแปรสตาบิลิตี้ในแป้งข้าวทางฟิสิกส์ 2 วิธีคือ แป้งข้าวตัดแปรด้วยวิธีพรีเจลาทีไนซ์ และแป้งข้าวตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ได้ผลการทดลองดังนี้

1.1 กระบวนการผลิตแป้งข้าวเจ้าพรีเจลาทีไนซ์จากเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง

สถานะในการผลิตแป้งพรีเจลคือ น้ำแป้งข้าวเจ้าเข้มข้นร้อยละ 40 ความดันไอน้ำ 20 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ความเร็วรอบของลูกกลิ้ง 0.25 รอบต่อนาที และช่องว่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.01 นิ้ว อุณหภูมิที่ผิวหน้าลูกกลิ้ง 115 องศาเซลเซียส โดยปรับจากวิธีการของสายสนม (2534)

1.2 การตัดแปรแป้งข้าวด้วยวิธีความร้อนร่วมกับความชื้น

สถานะในการผลิตแป้งตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นคือ แป้งมีความชื้นร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง โดยปรับจากวิธีการของ Hoover and Manuel (1996a) และ Gunaratne and Hoover (2002)

2. ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมี ฟิสิกส์ และเคมีเชิงฟิสิกส์ของแป้งข้าว และแป้งข้าวตัดแปรทางฟิสิกส์

2.1 กำลังการพองตัวและ เปอร์เซ็นต์การละลายของแป้งตัดแปรทางฟิสิกส์

แป้งข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปรพบว่า กำลังการพองตัวของแป้งกข6 มีค่าสูงสุดอยู่ในช่วงระหว่าง 2.98-16.23 กรัม/กรัม แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105 และแป้งชัณนาท1 รองลงมาคือแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105 และแป้งชัณนาท1 มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 2.54-8.01 และ 2.31-7.95 กรัม/กรัม ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งกข6 ร้อยละการละลายของแป้งกข6 มีค่าสูงสุดอยู่ในช่วงระหว่าง 2.07-7.94 กรัม/กรัม แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งชัณนาท1 และแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105รองลงมาคือแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105 และแป้งชัณนาท1

อยู่ในช่วงระหว่าง 1.12-5.61 และ 0.56-3.13 กรัม/กรัม ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับ แป้งกข6

แป้งตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นพบว่า แป้งชัณนาท1HMT, แป้งข้าวขาวดอกมะลิ105HMT และแป้งกข6HMT มีค่าลดลงกว่าแป้งที่ไม่ผ่านการตัดแปร โดยพบว่า ค่าพลังงานของแป้งกข6HMT มีค่าสูงอยู่ในช่วงระหว่าง 2.01-6.74 กรัม/กรัม แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งที่ไม่ผ่านการตัดแปร รองลงมาคือแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105HMT และแป้งชัณนาท1HMT อยู่ในช่วงระหว่าง 1.56-6.24 และ 1.98-5.84 กรัม/กรัม ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งที่ไม่ผ่านการตัดแปร ค่าร้อยละการละลายของแป้งกข6HMT มีค่าสูงสุดอยู่ในช่วงระหว่าง 1.45-6.09 กรัม/กรัม แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งที่ไม่ผ่านการตัดแปร รองลงมาคือแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105HMT และแป้งชัณนาท1HMT อยู่ในช่วงระหว่าง 0.98-5.23 และ 0.21-2.56 กรัม/กรัม ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งที่ไม่ผ่านการตัดแปร

2.2 รูปร่างลักษณะของเม็ดสตาร์ชในแป้งด้วยการส่องกล้องจุลทรรศน์ธรรมดา

แป้งข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปรพบว่า แป้งชัณนาท1, แป้งข้าวขาวดอกมะลิ105 และแป้งกข6 มีลักษณะเม็ดสตาร์ชในแป้งข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปรเป็นรูปหลายเหลี่ยมโดยส่วนใหญ่เป็นรูปห้าเหลี่ยมคมชัดเจน ลักษณะการกระจายของเม็ดสตาร์ชมีทั้งที่เป็นเม็ดเดี่ยวและกลุ่มเล็กๆ มีที่เกาะรวมกันเป็นกลุ่มก้อนใหญ่อยู่บ้าง

เม็ดสตาร์ชในแป้งตัดแปรพรีเจลาทีไนซ์ทั้งที่เป็นของแป้งชัณนาท1พรีเจล, แป้งข้าวขาวดอกมะลิ105พรีเจล และแป้งกข6พรีเจล ไม่เป็นรูปร่างเม็ดสตาร์ช เนื่องจากเกิดการหลอมตัวกัน และไม่มีโครงร่างผลึกจึงมีลักษณะเป็นแผ่นใส ขนาด และรูปร่างต่างๆกัน

เม็ดสตาร์ชในแป้งตัดแปรแบบความร้อนร่วมกับความชื้นของแป้งชัณนาท1HMT, แป้งข้าวขาวดอกมะลิ105HMT และแป้งกข6HMT มีขนาดและรูปร่างไม่แตกต่างกันกับแป้งสายพันธุ์เดียวกันที่ไม่ผ่านการตัดแปร แต่เม็ดมีเหลี่ยมมุมลดลง ผิวหน้าของเม็ดสตาร์ชบางส่วนหลอมเชื่อมติดกัน และบางส่วนมีลักษณะผิวเรียบไม่เห็นเป็นเม็ด

2.3 สีของแป้งข้าวคัดแปรทางฟิสิกส์

แป้งข้าวที่ไม่ผ่านการคัดแปรพบว่าแป้งชัชนาท1,แป้งข้าวขาวดอกมะลิ105และแป้งกข6 มีค่าความสว่าง (L^*) มีค่าสูงกว่าแป้งสาลี ค่า a^* มีความเป็นสีเขียวน้อยกว่าแป้งสาลี และค่า b^* พบว่าแป้งสาลีมีความเป็นสีเหลืองมากกว่าแป้งข้าว แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งสาลี

แป้งคัดแปรพรีเจลาทีไนซ์พบว่า แป้งชัชนาท1พรีเจล, แป้งข้าวขาวดอกมะลิ105พรีเจล และแป้งกข6พรีเจล มีค่าความสว่าง (L^*) เพิ่มขึ้น ค่า a^* เปลี่ยนแปลงจากสีเขียวเพิ่มขึ้น และค่า b^* ที่เพิ่มขึ้นแสดงถึงสีเหลืองที่เพิ่มขึ้นกว่าแป้งที่ไม่ผ่านการคัดแปร แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งสาลี และแป้งที่ไม่ผ่านการคัดแปร

สำหรับแป้งคัดแปรแบบความร้อนร่วมกับความชื้นพบว่า แป้งชัชนาท1HMT, แป้งข้าวขาวดอกมะลิ105HMT และแป้งกข6HMT มีค่าความสว่าง (L^*) ลดลง ค่า a^* เปลี่ยนแปลงเป็นสีแดงเพิ่มขึ้น และค่า b^* ที่เพิ่มขึ้นแสดงถึงสีเหลืองที่เพิ่มขึ้นกว่าแป้งข้าวที่ไม่การคัดแปร แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งสาลี และแป้งที่ไม่ผ่านการคัดแปร

2.4 สมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวและแป้งข้าวคัดแปรทางฟิสิกส์

- ระยะเวลาการเกิดความหนืด

แป้งชัชนาท1 มีค่าระยะเวลาการเกิดความหนืดคือ 6.93 นาทีนานกว่าแป้งข้าวขาวดอกมะลิ และแป้งกข6 มีค่าระยะเวลาการเกิดความหนืดคือ 6.53 และ3.80 นาที ตามลำดับ แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวขาวดอกมะลิ และแป้งกข6

แป้งคัดแปรพรีเจลาทีไนซ์พบว่าแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105พรีเจล มีค่าระยะเวลาการเกิดความหนืดคือ 4.80 นาทีนานกว่าแป้งชัชนาท1พรีเจล และแป้งกข6พรีเจล มีค่า 3.01 และ 1.73 นาที ตามลำดับ มีค่าลดลงกว่าแป้งที่ไม่ผ่านการคัดแปร แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งที่ไม่ผ่านการคัดแปร

แป้งคัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นพบว่า แป้งชัชนาท1HMT, แป้งข้าวขาวดอกมะลิ105HMT และแป้งกข6HMT มีค่าเพิ่มขึ้นกว่าแป้งที่ไม่ผ่านการคัดแปร โดยพบว่าแป้ง

ชัณนาท1HMT มีค่าระยะเวลาการเกิดความหนึ่คือ 7.24 นาที นานกว่าเป้่งข้าวขาวดอกมะลิ 105HMT และเป้่งกข6HMT ที่มีค่า 6.67 และ 6.02 ตามลำดับ แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเป้่งที่ไม่ผ่านการตัดแปร

- อุณหภูมิเริ่มเกิดความหนึ่

เป้่งชัณนาท1 มีค่าอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนึ่คือ 83.95 องศาเซลเซียส มีค่าสูงกว่าเป้่งข้าวขาวดอกมะลิ105 และเป้่งกข6 มีค่าอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนึ่คือ 75.05 และ 71.05 องศาเซลเซียส ตามลำดับ แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเป้่งข้าวขาวดอกมะลิ105 และเป้่งกข6

เป้่งตัดแปรพรีเจลาทีในซ้พบว่เป้่งชัณนาท1พรีเจล มีค่าอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนึ่คือ 51.47 องศาเซลเซียส มีค่าสูงกว่าเป้่งข้าวขาวดอกมะลิ105พรีเจล และเป้่งกข6พรีเจล มีค่า 50.05 และ 49.90 องศาเซลเซียส ตามลำดับ มีค่าลดลงกว่าเป้่งที่ไม่ผ่านการตัดแปร แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเป้่งที่ไม่ผ่านการตัดแปร

เป้่งตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นพบว่เป้่งกข6HMT มีค่าอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนึ่คือ 95.59 องศาเซลเซียส มีค่าสูงกว่าเป้่งข้าวขาวดอกมะลิ105HMT และเป้่งชัณนาท1HMT และมีค่า 83.95 และ 87.10 องศาเซลเซียส ตามลำดับ มีค่าเพิ่มขึ้นกว่าเป้่งที่ไม่ผ่านการตัดแปร แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเป้่งที่ไม่ผ่านการตัดแปร

- ความหนึ่สูงสุด

เป้่งกข6 มีค่าความหนึ่สูงสุดคือ 364.08 RVU รองลงมาคือเป้่งข้าวขาวดอกมะลิ 105 และเป้่งชัณนาท1 มีค่า 357.67 และ 228.67 RVU ตามลำดับ แตกต่างกันทางสถิติ($p \leq 0.05$) กับเป้่งข้าวขาวดอกมะลิ105 และเป้่งชัณนาท1

เป้่งตัดแปรพรีเจลาทีในซ้พบว่เป้่งกข6พรีเจล มีค่าความหนึ่สูงสุดคือ 281.42 RVU รองลงมาคือเป้่งข้าวขาวดอกมะลิ105พรีเจลและเป้่งชัณนาท1พรีเจล มีค่า 257.53 และ 198.41 RVU ตามลำดับ มีค่าลดลงกว่าเป้่งที่ไม่ผ่านการตัดแปร แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเป้่งที่ไม่ผ่านการตัดแปร

แข่งตัดแปรร่วมกับความร้อนร่วมกับความชื้นพบว่า พบว่า แข่งข้าวขาวดอกมะลิ105 HMTมีค่าความหนืดต่ำสุดคือ 145.17 RVU รองลงมาคือแข่งชัณษาท1HMT และแข่งกข6HMT มีค่า 142.31 และ 80.04 RVU ตามลำดับ มีค่าลดลงกว่าแข่งที่ไม่ผ่านการตัดแปรร แต่ต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแข่งที่ไม่ผ่านการตัดแปรร

- ความหนืดสุดท้าย

แข่งข้าวขาวดอกมะลิ105 มีค่าความหนืดสุดท้ายคือ 410.58 RVU รองลงมาคือ แข่งชัณษาท1 และแข่งกข6 มีค่า 337.42 และ 211.83 RVU ตามลำดับ แตกต่างกันทางสถิติ($p \leq 0.05$) กับแข่งชัณษาท1 และแข่งกข6

แข่งตัดแปรร่วมกับความร้อนร่วมกับความชื้นพบว่า แข่งข้าวขาวดอกมะลิ105ปริเจลมีค่าความหนืดสุดท้ายคือ 306.83 RVU รองลงมาคือแข่งชัณษาท1ปริเจล และแข่งกข6ปริเจล มีค่า 283.42 และ 156.75 RVU ตามลำดับ มีค่าลดลงกว่าแข่งที่ไม่ผ่านการตัดแปรร แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแข่งที่ไม่ผ่านการตัดแปรร

แข่งตัดแปรร่วมกับความร้อนร่วมกับความชื้นพบว่า แข่งข้าวขาวดอกมะลิ105 HMTมีค่าความหนืดสุดท้ายคือ 259.17 RVU รองลงมาคือแข่งชัณษาท1HMT และแข่งกข6HMT มีค่า 201.45 และ 101.82 RVU ตามลำดับ มีค่าลดลงกว่าแข่งที่ไม่ผ่านการตัดแปรร แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแข่งที่ไม่ผ่านการตัดแปรร

- เซทแบค

แข่งชัณษาท1 มีค่าเซทแบคคือ 162.00 RVU รองลงมาคือ แข่งข้าวขาวดอกมะลิ105 และแข่งกข6 มีค่า 129.83 และ 40.08 RVU ตามลำดับ แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแข่งข้าวขาวดอกมะลิ105 และแข่งกข6

แข่งตัดแปรร่วมกับความร้อนร่วมกับความชื้นพบว่า แข่งชัณษาท1ปริเจล มีค่าเซทแบคคือ 133.21 RVU รองลงมาคือ แข่งข้าวขาวดอกมะลิ105ปริเจล และแข่งกข6ปริเจล มีค่า 105.83 และ 51.00 RVU ตามลำดับ มีค่าลดลงกว่าแข่งที่ไม่ผ่านการตัดแปรร แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแข่งที่ไม่ผ่านการตัดแปรร

แป้งตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นพบว่า แป้งชัชนาต1HMT มีค่าเซทแบคคือ 123.42 RVU รองลงมาคือ แป้งข้าวขาวดอกมะลิ105HMT และแป้งกข6HMT มีค่า 114.00 และ 88.93 RVU ตามลำดับ มีค่าลดลงกว่าแป้งที่ไม่ผ่านการตัดแปร แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งที่ไม่ผ่านการตัดแปร

2.5 ความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งของแป้งข้าวและแป้งข้าวตัดแปรทางฟิสิกส์

แป้งข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปรพบว่า แป้งชัชนาต1 มีปริมาณร้อยละของการแยกน้ำมีค่าสูงสุดอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 5.39-39.93 รองลงมาคือแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105 และแป้งกข6 มีค่าอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 0.77-28.93 และ 0.12-1.23 กรัม/กรัม ตามลำดับ แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105 และแป้งกข6

แป้งตัดแปรแบบพรีเจลาทีไนซ์พบว่า แป้งชัชนาต1พรีเจล, แป้งข้าวขาวดอกมะลิ105พรีเจล และแป้งกข6พรีเจล มีค่าเพิ่มสูงขึ้นกว่าแป้งที่ไม่ผ่านการตัดแปรในทุกกรอบของการคืนรูปเป็นจำนวน 5 รอบ โดยพบว่าแป้งชัชนาต1พรีเจล มีค่าสูงสุดอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 15.76-47.65 รองลงมาคือแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105พรีเจล และแป้งกข6พรีเจล มีค่าอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 10.48-42.29 และ 1.06-6.81 กรัม/กรัม ตามลำดับ แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งที่ไม่ผ่านการตัดแปร

แป้งตัดแปรแบบความร้อนร่วมกับความชื้นพบว่า แป้งชัชนาต1HMT, แป้งข้าวขาวดอกมะลิ105HMT และแป้งกข6HMT มีค่าลดลงกว่าแป้งที่ไม่ผ่านการตัดแปรในทุกกรอบของการคืนรูปเป็นจำนวน 5 รอบ โดยพบว่าแป้งชัชนาต1HMTมีค่าสูงสุดในทุกกรอบอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 3.21-37.36 รองลงมาคือแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105HMT และแป้งกข6HMT มีค่าอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 0.11-17.55 และ 0.16-0.77 กรัม/กรัม ตามลำดับ แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งที่ไม่ผ่านการตัดแปร

3. ผลของการหาอัตราส่วนผสมของแป้งข้าวและแป้งข้าวตัดแปรเพื่อทำผลิตภัณฑ์ขนม

เส้นขนมที่ทำผลิตจากแป้งข้าวที่มีอัตราส่วนผสมของ แป้งชัชนาต1: แป้งชัชนาต1พรีเจล: แป้งข้าวขาวดอกมะลิ105HMT ในอัตราส่วน 30: 30 : 40 ,แป้งชัชนาต1: แป้งชัชนาต1พรีเจล:

แป้งกข6HMT ในอัตราส่วน 30: 30 : 40 และแป้งชยันนาท1: แป้งกข6พีริเจล: แป้งกข6HMT ในอัตราส่วน 30: 30 : 40 ให้ลักษณะเส้นมีความคงตัว และมีความยืดหยุ่นดี

4. การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีเชิงฟิสิกส์ของเส้นบะหมี่

4.1 การเปลี่ยนแปลงค่าสีของเส้นบะหมี่

ค่าความสว่าง L^* ของบะหมี่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มปริมาณแป้งข้าวเจ้า ค่า a^* และค่า b^* มีค่าลดลงตามการเพิ่มปริมาณน้ำ และการเพิ่มปริมาณแป้งข้าวเจ้าในส่วนผสม

4.2 คุณภาพในการหุงต้มของเส้นบะหมี่

4.2.1 ระยะเวลาในการต้มสุกที่เหมาะสม (นาที)

ระยะเวลาในการต้มสุกที่เหมาะสมของบะหมี่อยู่ในช่วง 5.00-8.55 นาที บะหมี่จากแป้งข้าวไร่ใช้เวลาในการต้มสุกนานกว่าบะหมี่จากแป้งสาลี โดยบะหมี่จากแป้งข้าวสูตร11 (CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) ใช้ระยะเวลาในการต้มสุกที่เหมาะสมคือ 8.55 นาที แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตรแป้งสาลี, สูตร5(CN1(90):RD6P(10)), สูตร6(CN1(70):CN1P(30)), สูตร7(CN1(70):KDM105P(30)), สูตร8(CN1(70):RD6P(30)), สูตร9(CN1(30):CN1P(30):CN1HMT(40)), สูตร10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)) และสูตร12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40))

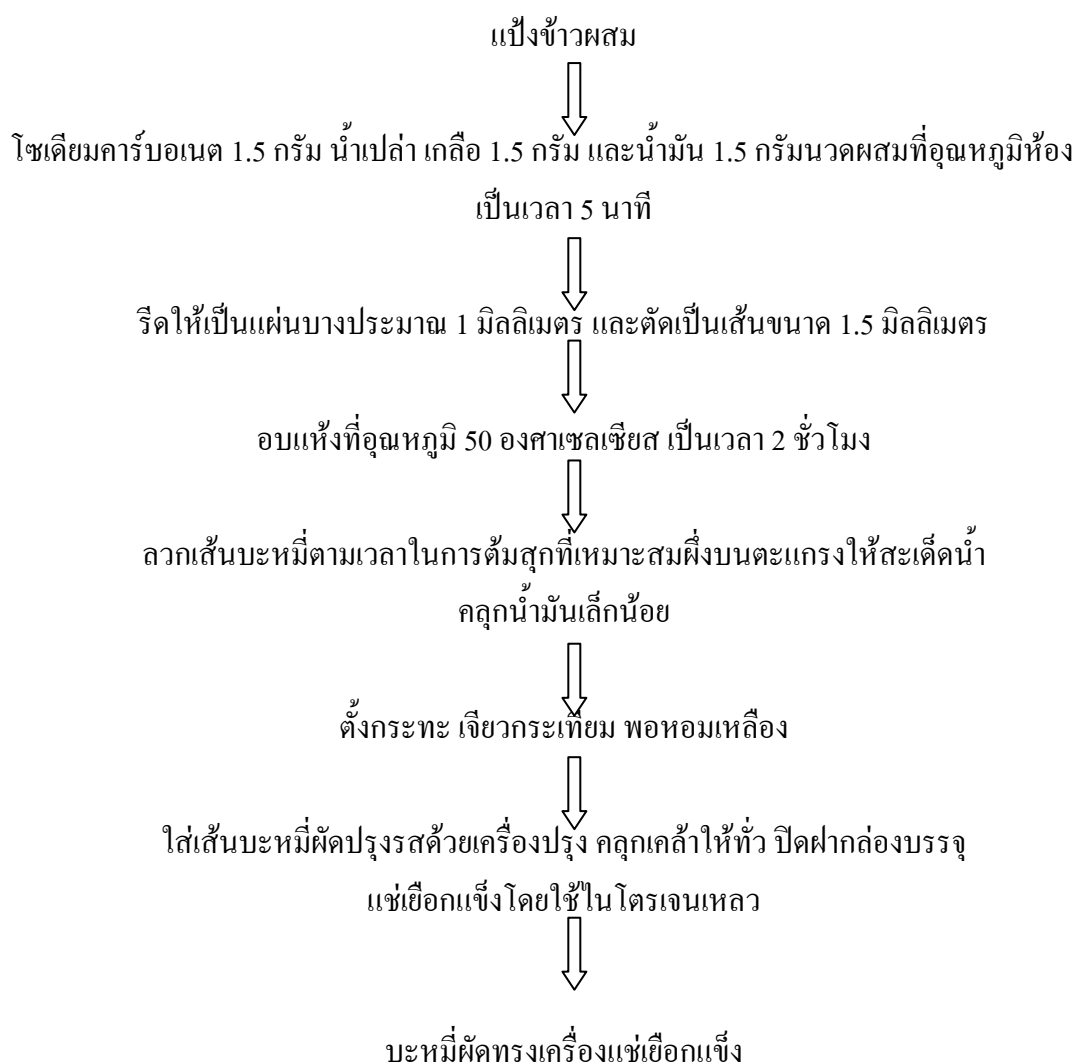
4.2.2 ปริมาณการสูญเสียของแข็งในระหว่างการหุงต้ม (ร้อยละ)

ปริมาณการสูญเสียของแข็งในระหว่างการหุงต้มอยู่ในช่วงร้อยละ 8.61-12.38 โดยบะหมี่จากแป้งข้าวสูตร11 (CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) มีปริมาณการสูญเสียของแข็งในระหว่างการหุงต้มต่ำที่สุดมีค่าร้อยละ 8.61 แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตรแป้งสาลี, สูตร5(CN1(90):RD6P(10)), สูตร6(CN1(70):CN1P(30)), สูตร7(CN1(70):KDM105P(30)), สูตร8(CN1(70):RD6P(30)), สูตร9(CN1(30):CN1P(30):CN1HMT(40)), สูตร10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)) และสูตร12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40))

4.2.3 ปริมาณการดูดน้ำกลับของเส้น (ร้อยละ)

ปริมาณการดูดน้ำกลับของเส้นอยู่ในช่วงร้อยละ 118.75-135.26 โดยบะหมี่จากแป้งข้าวสูตร11 (CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) มีปริมาณการดูดน้ำกลับของเส้นต่ำสุดมีค่าร้อยละ 118.75 แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตรแป้งสาลี, สูตร5(CN1(90):RD6P(10)), สูตร6(CN1(70):CN1P(30)), สูตร7(CN1(70):KDM105P(30)), สูตร8(CN1(70):RD6P(30)), สูตร9(CN1(30):CN1P(30):CN1HMT(40)), สูตร10(CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)) และสูตร12(CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40))

4.3 กรรมวิธีการผลิตบะหมี่ผัดทรงเครื่องแช่เยือกแข็ง



เมื่อบะหมี่ผัดทรงเครื่องผ่านการคั้นรูปจากเยือกแข็งเป็นจำนวน 5 รอบ พบว่า ลักษณะด้านเนื้อสัมผัสได้แก่ค่าแรงดึงสูงสุด (maximum tension force หรือ tensile strength), ค่าระยะทางสูงสุดในการดึง (maximum distance หรือ extensibility), ค่าแรงตัดสูงสุด (maximum cutting force หรือ hardness) เกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้นและผ่านการคั้นรูปเป็นจำนวนหลายรอบทำให้คุณภาพทางเนื้อสัมผัสมีค่าลดลง จากผลการทดลองพบว่าบะหมี่ผัดทรงเครื่องจากแป้งสาลี (แป้งสาลี) มีลักษณะเนื้อสัมผัสมีค่าสูงกว่าสูตรอื่น แต่เมื่อเปรียบเทียบบะหมี่ผัดทรงเครื่องจากแป้งข้าวแต่ละสูตรพบว่า บะหมี่ผัดทรงเครื่องสูตรที่ 11 (CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) มีลักษณะเนื้อสัมผัสได้แก่ค่าแรงดึงสูงสุด, ค่าระยะทางสูงสุดในการดึง และค่าแรงตัดสูงสุด มีค่าสูงกว่าบะหมี่ผัดทรงเครื่องจากแป้งข้าวสูตรอื่น และเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น เส้นยังคงทน และมีความยืดหยุ่นกว่าสูตรบะหมี่จากแป้งข้าวสูตรอื่น

4.5 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของบะหมี่ผัดทรงเครื่องแช่เยือกแข็ง

จากผลการทดลองทางประสาทสัมผัสด้านสีของบะหมี่ผัดทรงเครื่องแช่เยือกแข็งที่ผ่านการคั้นรูปจากเยือกแข็งเป็นจำนวน 5 รอบ พบว่าบะหมี่จากแป้งข้าวสูตร 12 (CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)) ได้คะแนนความชอบด้านสีในทุกรอบของการคั้นรูปจากเยือกแข็งมากกว่าบะหมี่จากแป้งข้าวสูตร 11 (CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) และสูตร 10 (CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)) ตามลำดับ

ผลการทดลองทางประสาทสัมผัสด้านความชอบด้านความยืดหยุ่น ความเหนียวนุ่ม และลักษณะปรากฏของบะหมี่ผัดทรงเครื่องแช่เยือกแข็งที่ผ่านการคั้นรูปจากเยือกแข็ง เป็นจำนวน 5 รอบ พบว่าบะหมี่ผัดทรงเครื่องสูตร 11 (CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) ได้คะแนนความชอบด้านความยืดหยุ่น ความเหนียวนุ่ม และลักษณะปรากฏมีค่ามากกว่าบะหมี่จากแป้งข้าวสูตร 12 (CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)) และสูตร 10 (CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)) ตามลำดับ

ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบรวมของบะหมี่ผัดทรงเครื่องแช่เยือกแข็งที่ผ่านการคั้นรูปจากเยือกแข็งเป็นจำนวน 5 รอบ พบว่าบะหมี่ผัดทรงเครื่องสูตร 11 (CN1(30):CN1P(30):RD6HMT(40)) ได้คะแนนความชอบรวมมีค่ามากกว่าบะหมี่จากแป้งข้าวสูตร 10 (CN1(30):CN1P(30):KDM105HMT(40)) และสูตร 12 (CN1(30):RD6P(30):RD6HMT(40)) ตามลำดับ

ดังนั้นเมื่อวิเคราะห์คุณภาพของเส้นบะหมี่เพื่อทำบะหมี่ผัดทรงเครื่องแซ่เอือกแข็ง ในแต่ละสูตรจากผลการทดลองในงานวิจัยครั้งนี้ จึงสามารถเลือกสูตรที่เหมาะสมในการผลิตบะหมี่จากแป้งข้าวคือ สูตรผสมของแป้งข้าวชัยนาท1: แป้งชัยนาท1พรีเมียม: แป้งกช6HMT ในอัตราส่วน 30: 30: 40 ได้เส้นบะหมี่ที่มีคุณภาพดี เส้นมีความคงตัว และให้ความยืดหยุ่นที่ดี เมื่อนำมาแปรรูปเป็นบะหมี่ผัดทรงเครื่องแซ่เอือกแข็งแล้ว เส้นบะหมี่มีความคงทนต่อการแซ่เอือกแข็งเป็นจำนวน 2 รอบ และได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับบะหมี่จากแป้งข้าวสูตรอื่น

ข้อเสนอแนะ

1. งานวิจัยครั้งนี้ผลิตแป้งพรีเจลที่ไม่สมบูรณ์ จึงควรมีการปรับปรุงสภาวะการผลิตแป้งพรีเจลให้เหมาะสมต่อกระบวนการผลิตคือ มีการปรับช่องว่างระหว่างลูกกลิ้งให้มีขนาดเล็กลง และปรับความเร็วรอบของลูกกลิ้งให้ช้าลง เพื่อให้แผ่นแป้งแห้ง เรียบมัน กว่าสภาวะการผลิตเดิม
2. แป้งดัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น มีความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งได้ดีจากการคืนรูปในรอบที่1 และรอบที่2 แต่เมื่อผ่านการคืนรูปจากเยือกแข็งในรอบที่3 ถึงรอบที่5 ความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งของแป้งต่ำ ดังนั้นจึงควรมีการปรับปรุงแป้งข้าวด้วยวิธีการดัดแปรแป้งทางเคมีแบบครอสลิงกิง
3. ควรทดลองปรับปริมาณอัตราส่วนผสมของแป้งชัสนาท1 แป้งพรีเจล และแป้งดัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นเพื่อผลิตเส้นบะหมี่ ให้ละเอียด และครอบคลุมในทงทุกส่วนผสมเพิ่มขึ้น
4. ควรทดลองเปรียบเทียบสภาวะในการแช่เยือกแข็ง เพื่อให้เหมาะสมต่อการรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์บะหมี่ผัดทรงเครื่องให้ดีขึ้นได้ต่อไป เช่นการปรับอัตราเร็วในการลดอุณหภูมิให้เร็วขึ้น และใช้อุณหภูมิให้ต่ำลงกว่าเดิม หรือใช้ระยะเวลาทั้งกระบวนการลดลง เป็นต้น

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กมลทิพย์ มั่นภักดี. 2542. การตัดแปรสตาร์ชในแป้งข้าวเพื่อทำแป้งผสมสำหรับประกอบอาหารแช่เยือกแข็ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

กมลพรรณ วิวัฒน์วานิชย์. 2547. ผลของการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ กูทูเทน และเบส ต่อคุณภาพของบะหมี่ที่ทดแทนด้วยแป้งข้าวเจ้า. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

กล้าณรงค์ ศรีรอด. 2541. เอกสารประกอบการสอนวิชาสตาร์ชเทคโนโลยี. ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ. คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____ และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. 2543. เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

งามชื่น คงเสรี. 2532. คุณภาพข้าวสารและข้าวสุก. น. 351-359. ใน เอกสารกรมวิชาการโภชนาการ: ก้าวไปกับโภชนาการเพื่อสุขภาพ 13-15 ธันวาคม 2532. สถาบันวิจัยโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล, กรุงเทพฯ.

_____. 2536. คุณภาพเมล็ดข้าวเหนียว. น. 165-171. ใน เอกสารประกอบการบรรยายการฝึกอบรมหลักสูตรวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว ณ ศูนย์วิจัยข้าวพัทลุง. ฝ่ายฝึกอบรม สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตร และสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

_____. 2539. คุณภาพข้าวและผลิตภัณฑ์, น. 241-259. ใน การสัมมนาทางวิชาการครบรอบ 80 ปี ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี. สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตร และสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

- งามชื่น คงเสรี. 2541. ข้าวที่เหมาะสมสำหรับการแปรรูปก๋วยเตี๋ยวและการตรวจสอบคุณภาพ, น. 14-32. ใน เอกสารประกอบการบรรยาย โครงการฝึกอบรม เรื่อง การพัฒนาและยกระดับอุตสาหกรรมก๋วยเตี๋ยวและขนมจีนโดยใช้เทคโนโลยีสะอาด. ณ โรงแรม มารวยการ์เด็น กรุงเทพฯ วันที่ 26-28 มีนาคม 2541. สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย และโครงการส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีสะอาดในอุตสาหกรรมไทย.
- ณรงค์ นิยมวิทย์. 2538. **ธัญชาติและพืชหัว**. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 235น.
- ปริศนา สุวรรณภรณ์ และ กมลพรรณ วิวัฒนวานิชย์. 2545. ใน การประชุมทางวิชาการของ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 41. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- พจน์ สัจจะ. 2540. “โลกวัฒนธรรมของอาหาร” ชุดสารคดีอาหาร. สำนักพิมพ์แสงแดด, กรุงเทพฯ. 176น.
- พัชรี เนตรน้อย. 2538. การผลิตก๋วยเตี๋ยว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- พิณทิพย์ รัมภกาภรณ์. 2547. การดัดแปรแป้งข้าวโดยใช้ความร้อนร่วมกับความชื้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- พิมพ์เพ็ญ ธีรพร. 2533. ผลของการใช้แป้งมันสำปะหลังผสมแป้งข้าวเจ้าต่อคุณภาพเส้นก๋วยเตี๋ยว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- วราทัศน์ วงศ์สุรไกร. 2537. ผลึกภัณฑ์ข้าว, น. 97-100. ใน การประชุมวิชาการ: ศักยภาพข้าวไทย ทิศทางใหม่สู่อุตสาหกรรม วันที่ 4 กุมภาพันธ์ 2537. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วิภา สุโรจนะเมธากุล. 2541. คุณสมบัติของข้าวและการเปลี่ยนแปลงระหว่างกระบวนการผลิต ก๋วยเตี๋ยวและเส้นหมี่, น. 33-51. ใน เอกสารประกอบการบรรยาย โครงการฝึกอบรม เรื่อง การพัฒนาและยกระดับอุตสาหกรรมก๋วยเตี๋ยวและขนมจีนโดยใช้เทคโนโลยีสะอาด. ณ โรงแรม มารวยการ์เด็น กรุงเทพฯ วันที่ 26-28 มีนาคม 2541. สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย และโครงการส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีสะอาดในอุตสาหกรรมไทย.

ลัดดา ช่างประสิทธิ์พร. 2532. การใช้แป้งข้าวเจ้าพรีเจลาทีนในขนมจีน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สงวนศรี เจริญเหรียญ. 2541. กระบวนการแช่เยือกแข็งต่อคุณภาพเนื้อสัมผัสเส้นก๋วยเตี๋ยว ใน การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 41. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สายสนม ประดิษฐ์ดวง. 2534. การปรับปรุงคุณสมบัติของแป้งดิบ. วิทยาสารเกษตรศาสตร์ 25: 318-325.

_____. 2546. กระบวนการแช่เยือกแข็ง, น. 116-129. ใน คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, ผู้รวบรวม. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุนันทา วงศ์ปิยชน. 2542. การวิเคราะห์ปริมาณแอมิโลส (Apparent amylose). ใน เอกสารประกอบการบรรยายโครงการฝึกอบรมหลักสูตร “การวิเคราะห์คุณภาพข้าวหอมมะลิทางเคมี”. ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี, ปทุมธานี.

สุภารัตน์ เรืองมณีไพฑูรย์, วิภา สุโรจนะเมธากุล, รัศมี ศุภศรี และ พชรี ตั้งตระกูล. 2542. การใช้แป้งข้าวเจ้าทดแทนแป้งสาลีในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเส้น:หมี่ซั่วและบะหมี่. รายงานการวิจัยชุดโครงการข้าวและผลิตภัณฑ์ข้าว. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

เสนอ ร่วมจิต. 2522. ศึกษาคุณสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีบางประการของข้าวพันธุ์ต่างๆ ที่มีผลต่อลักษณะของเส้นก๋วยเตี๋ยว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2533. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมก๋วยเตี๋ยว มอก. 959-2533.

อรวรรณ เกษุขเจริญ. 2529. คุณสมบัติบางประการในการนำไปใช้ประโยชน์ของแป้งต่างๆ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อรพรรณ กัลปนาอุท. 2547. การปรับปรุงคุณภาพก๋วยเตี๋ยวพร้อมบริโภคในบรรจุภัณฑ์ปิดสนิทผ่านกระบวนการพาสเจอไรเซชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อรพิน ภูมิภมร. 2533. เทคโนโลยีของแป้ง: เคมีของแป้งและเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์จากแป้งบางชนิด. ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อรอนงค์ นัยวิกุล. 2535. ผลิตภัณฑ์จากข้าวและคุณค่าทางโภชนาการ (ต่อ). วารสารอุตสาหกรรมเกษตร. 3(1): 44.

_____. 2540. ข้าวสาลี: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. 2547. ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

AACC. 2000. **Approved Method of The American Association of Cereal Chemist.** 10th ed. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, Minnesota.

- Abraham, T. 1993. Stabilization of paste viscosity of cassava starch by heat moisture treatment. **Starch/Starke**. 45(4): 131-135.
- Alexander, R. J. 1995. Pregelatinization starches-wheat are they all about. **Cereal Food World**. 40(10): 769-770.
- AOAC. 2000. **Official Method of Analysis**. The Association of Official Analytical Chemistry, Virginia.
- Baker, L. A. and P. Rayas-Duarte. 1998. Retrogradation of Amaranth starch at different storage temperatures and effects of salt and sugars. **Cereal Chem**. 75(3): 308-314.
- Batey, I. L., B. M. Curtin and S. A. Moore. 1997. Optimization of rapid-visco analyzer test conditions for predicting Asain noodle quality. **Cereal Chem**. 74(4): 497-501.
- Bhattacharya, M., S. Y. Zee and H. Corke. 1999a. Physicochemical properties related to quality of rice noodles. **Cereal Chem**. 76(6): 861-867.
- _____. 1999b. Physicochemical properties related to quality of rice noodles. **Cereal Chem**. 76(6): 861-867. Cited J.G. Umali, 1981. **Physico-chemical properties of milled rice in relation to quality characteristics of noodles (bihon)**. MS thesis. Univ. Philippines: Los Banos, Laguna.
- Cagampang, G. B., C. M. Perez and B. O. Juliano. 1973. A gel consistency test for eating quality of rice. **J. Sci. Food Agric**. 24: 1589-1594.
- Chatakanonda, P., S. Varavinit and P. Chinachoti. 2000. Effect of crosslinking on thermal and microscopic transitions of rice starch. **Lebensm. Wiss. U. Technol**. 33(4): 276-284.

- Chen, Z. and H. A. Schols and A. G. J. Voragen. 2003. Starch granule size strongly determines starch noodle processing and noodle quality. **Food Chem. and Toxic.** 68: 1584-1589.
- Chiang, P. Y. and A. I. Yeh. 2002. Effect of soaking on wet-milling of rice. **J. Cereal Sci.** 35: 85-94.
- Collado, L.S. and H. Corke. 1996. Use of wheat-sweet potato composite flours in yellow-alkaline and white- salted noodles. **Cereal Chem.** 73(4): 439-444.
- _____. 1999. Heat-moisture treatment effects on sweetpotato starches differing in amylose content. **Food Chem.** 65: 339-346.
- Collision, R. 1968. Starch retrogradation, pp. 194-202. *In* J.A. Radley, ed. **Starch and Its Derivatives.** 4th ed., Chapman and Hall, London.
- Colonna, P., A. Buleon and C. Mercier. 1987. Physically modified starches, pp. 79-114. *In* T. Galliard ed. **Starch: Properties and Potential.** John Wiley&Sons, Ltd, New York.
- _____, J. L. Doublier, J. P. Melcion, F. de Melcion and C. Mercier. 1984. Extrusion-cooking and drum drying of wheat starch: I Physical and macromolecular modification. **Cereal Chem.** 61(6): 543-583.
- Crosbie, G. B. 1991. The relationship between starch swelling properties, paste viscosity and boiling noodle quality in wheat flours. **J. Cereal Sci.** 13: 145-150.
- Deobald, H. J. 1972. Rice flour, pp. 264-269. *In* D. F. Houston, ed. **Rice: Chemistry and Technology.** American Association of Cereal Chemists, Inc., St. Paul, Minnesota.
- Dexter, J. E., R. R. Mastsuo and B. L. Dronzek. 1979. **A scanning electron microscopy study of Japanese noodles.** American Association of Cereal Chemists, Inc., St. Paul, Minnesota.

- Dick, J.W., K. Shelke, Y. Holm and K.S. Loo. 1986. The effect of wheat flour quality, formation and processing on Chinese wet noodle quality, pp. 245-251. *In* J.E. Kruger, R.B. Matsuo and J.W. Dick, eds. **Pasta and Noodle Technology**. American Association of Cereal Chemists, Inc., St. Paul, Minnesota.
- Donovan, J. W., K. Lorenz and K. Kulp. 1983. Differential scanning calorimetry of heat-moisture treated wheat and potato starches. **Cereal Chem.** 60: 381-387.
- Doublier, J. L., P. Colonna and C. Mercier. 1986. Extrusion of cooking and drum drying of wheat starch. II Rheological characterization starch pastes. **Cereal Chem.** 63(3): 240-246.
- Eliasson, A. C. and M. Gudmundsson. 1996. Starch: physicochemical and function aspects, pp. 431-503. *In* A. C. Eliasson, ed. **Carbohydrates in Food**. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Fan, J. and B. P. Marks. 1999. Effect of rough rice storage conditions on gelatinization and retrogradation of rice flours. **Cereal Chem.** 75: 894-897.
- Feldberg, C. 1969. Extruded starch-based snacks. **Cereal Sci. Today.** 4: 211-215.
- Fitton, M. H. 1992. Extruded starch-product analysis, structure and properties, pp. 213-220. *In* G. O. Phillips, P. A. Williams and D. J. Wedlock, eds. **Gum and Stabilisers for The Food Industry**. IRL Press, Oxford.
- Fortmann, K.L. and R.R. Joiner. 1971. Wheat pigment and flour color, pp. 493-522. *In* Y. Pomeranz, ed. **Wheat Chemistry and Technology**. AACC., St. Paul, MN.
- Franco, C. M. L., C. F. Ciacco and D. Q. Tavares. 1995. Effect of the heat-moisture treatment on the enzymatic susceptibility of corn starch granules. **Starch/Starke.** 47(60): 223-228.

- Fredriksson, H., J. Silverio, R. Andersson, A. C. Eliasson and P. Aman. 1998. The influence of amylose and amylopectin characteristics on gelatinization and retrogradation properties of different starches. **Carbohydr Polym.** 35: 119-134.
- Glickman, M. 1969. **Gum Technology in Food Industry.** Academic Press, New York.
- Grant, L.A., and B.L. Appolonia. 1991. Effect of low-level gamma radiation on water-soluble nonstarchy polysaccharides isolated from hard red spring wheat flour and bran. **Cereal Chem.** 68: 651-652.
- Gudmundsson, M. 1994. Retrogradation of starch and the role of its components. **Thermochimica Acta.** 246: 329-341.
- Gunaratne, A. and R. Hoover. 2002. Effect of heat-moisture treatment on the structure and physicochemical properties of tuber and root starches. **Carbohydr Polym.** 49: 425-437.
- Halick, J. V. and V. J. Kelly. 1959. Gelatinization and pasting characteristics of rice varieties as related to cooking behavior. **Cereal Chem.** 36(1): 91-98.
- Hamaker, B.R. and V.K. Griffin. 1993. Effect of disulfide bond-containing protein on rice starch gelatinization and pasting. **Cereal Chem.** 70: 377-380.
- Han, X. Z. and B. R. Hamaker. 2001. Amylopectin fine structure and rice starch paste breakdown. **J. Cereal Sci.** 34: 279-284.
- Hatcher, D. W., J. E. Kruger and M. J. Anderson. 1999. Influence of water absorption on the processing and quality of oriental noodles. **Cereal Chem.** 76(4): 566-572.
- Howling, D. 1974. Modified starches for the food industry. **Food Technol. Aust.** 26(9): 463-473.

- Hoover, R. and H. Manuel. 1996a. The effect of heat-moisture treatment on the structure and physicochemical properties of normal maize, waxy maize, dull waxy maize and amylo maize V starch. **J. Cereal Sci.** 23: 153-162.
- _____. 1996b. The effect of heat-moisture treatment on the structure and physicochemical properties of legume starches. **J. Cereal Sci.** 23: 153-162.
- _____, G. Swamidas, and T. Vasanthan. 1993. Studies on the physicochemical properties of native, defatted, and heat-moisture treatment pigeon pea (*Cajanus cajan L*) starch. **Carbohydr. Res.** 246: 185-203.
- _____ and T. Vasanthan. 1994. The flow properties of native, heat-moisture treated, and annealed starches from wheat, oat, potato and lentil. **J. Food Biochem.** 18: 67-82.
- Hsu, C. L., W. Chen, Y. M. Weng and C.Y. Tseng. 2003. Chemical composition, physical properties, and antioxidant activities of yam flour as affected by different drying methods. **Food Chem.** 83: 85-92.
- Huang, S. and W. R. Morrison. 1988. Aspects of protein in Chinese and British common (Hexaploid) wheats related to quality of white and yellow Chinese noodles. **J. Cereal Sci.** 8:177-187.
- Igura, N., I. Hayakawa, and Y. Fujio. 1997. Effect of longer heating time on depolymerization of low moisture starches. **Starch/Starke.** 49(1): 2-5.
- Inglett, G. E., Peterson, S. C., Carriere, C. J. and Maneepun S. 2005. Rheological, textural, and sensory properties of Asian noodles containing an oat cereal hydrocolloid. **Food Chem.** 90: 1-8.

- Jackson, D. 2000. Honey in extruded snacks. **Summary of research project funded by the National Honey Board**. Available Source: <http://www.nhb.org/download/factsht/extsnack.pdf>, August 25, 2004.
- Jacobs, H. and J.A. Delcour. 1998. Hydrothermal modification of granular starch, with retention of the granular structure: A Review. **J. Agric. Food Chem.** 46: 2895-2905.
- _____, R. C. Eerlingen, W. Clauwaert and J. A. Delcour. 1995. Influence of annealing on the pasting properties of starches from varying botanical sources. **Cereal Chem.** 72: 480-487.
- Jacobson, M. R., M. Obanni and J. N. Bemiller. 1997. Retrogradation of starches from different botanical sources. **Cereal Chem.** 74: 511-518.
- Juliano, B.O. 1968. Relation of some properties of rice starch and protein to eating quality preference for milled rice in Asia. **Getreide Mehl.** 18: 82.
- _____. 1985. Criteria and tests for rice grain quality, pp. 443-524. In B.O. Juliano, ed. **Rice: Chemistry and Technology. 2nd**. The American of Cereal Chemists, Inc., St. Paul, Minnesota.
- _____. 1993. **Rice in Human Nutrition**. FAO Food and Nutrition Series, No 26. The International Rice Research Institute (IRRI), Los Banos, Laguna (Philippines), and Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome.
- Kasarda, D. D. 2001. Grains in relation to celiac disease. **Cereal Food World.** 46(5): 209-210.
- Kawabata, A., N. Takase, E. Miyoshi, S. Sawayama, T. Kimura, and K. Kudo. 1994. Microscopic observation and x-ray diffractometry of heat moisture-treated starch granules. **Starch/Starke.** 46(12): 463-469.

- Kim, S. K. 1966. Instant noodle technology. **Cereal Food World**. 41(4): 213-218.
- Kongseree, N. and B. O. Juliano. 1972. Physicochemical properties of rice grain and starch from lines differing in amylose content and gelatinization temperature. **J. Agric. Food Chem.** 20: 714-718.
- Kruger, J. E., D. W. Hatcher and M. J. Anderson. 1998. The effect of incorporation of rye flour on the quality of oriental noodles. **Food Res Int.** 31(1): 27-35.
- Kulp, K. and K. Lorenz. 1981. Heat-moisture treatment of starches. I. Physicochemical properties. **Cereal Chem.** 58: 46-48.
- Lai, H. M. 2001. Effects of hydrothermal treatment on the physicochemical properties of pregelatinized rice flour. **Food Chem.** 72: 455-463.
- Lai, L. N., A. Abd Karim, M. H. Norziah and C. C. Seow. 2002. Effect of Na₂CO₃ and NaOH on DSC thermal profiles of selected native cereal starches. **Food Chem.** 78: 355-362.
- Lai, V. M. F., M. C. Shen, A. I. Yeh, B. O. Juliano and C. Y. Lii. 2001. Molecular and gelatinization properties of rice starches from IR24 and Sinandomeng cultivars. **Cereal Chem.** 78: 596-602.
- Leach, H. W., L. D. Mccowen, and T. J. Schoch. 1959. Structure of the starch granule I. Swelling and solubility patterns of various starches. **Cereal Chem.** 54: 285-290.
- Lee, L., B. K. Baik and Z. Czuchajowska. 1998. Garbanzo bean flour usage in Cantonese noodles. **J. Food Sci.** 63(3): 552-558.
- Light, J. M. 1990. Modified food starches: why, what, when and how. **Cereal Food World.** 35(11): 1081-1092.

- Lii, C. Y., Y. Y. Shao and K. H. Tseng. 1995. Gelation mechanism and rheological properties of rice starch. **Cereal Chem.** 72(4): 393-400.
- _____, M. L. Tsai and K. H. Tseng. 1996. Effect of amylose content on the rheological property of rice starch. **Cereal Chem.** 73(4): 415-420.
- Lim, S. T., E. H. Chang and H. J. Chung. 2001. Thermal transition characteristics of heat-moisture treated corn and potato starches. **Carbohydr Polym.** 46: 107-115.
- Lu, S., C. Y. Chen and C. Y. Lii. 1996. Gel-chromatography fractionation and thermal characterization of rice starch affected by hydrothermal treatment. **Cereal Chem.** 73: 5-11.
- Malcolmson, L. J. and R. R. Matsuo. 1993. Effects of cooking water composition on stickiness and cooking loss of spaghetti. **Cereal Chem.** 70(30): 272-275.
- Maningat, C. C., and P. A. Seib. 1992. Starch: Occurrence, isolation, and properties of starch granules. *In* AACC Short Course. "Starch: Structure, Properties, and Food Uses." December 3-4, 1992. Chicago.
- Maruta, I., Y. Kurahashi, R. Takano, K. Hayashi, Z. Yoshino, T. Komaki and S. Hara. 1994. Reduced-pressured heat-moisture treatment: A new method for heat-moisture treatment of starch. **Starch/Starke.** 46(5): 177-181.
- Medcalf, S.L. and D.B. Lund. 1985. Factors affecting water uptake in milled rice. **J. Food Sci.** 50: 1676-1679.
- Miskelly, D.M. 1998. The use of alkali for noodle processing, Bread Research Institution of Australia, pp. 227-273. *In* J.E. Kruger, R.B. Matsuo and J.W. Dick, eds. **Pasta and Noodle Technology.** American Association of Cereal Chemists, Inc., St. Paul, Minnesota.

- Miyazaki, M. and N. Morita. 2005. Effect of heat-moisture treated maize starch on the properties of dough and bread. **Food Res. Int.** 38(4): 369-376.
- Miyoshi, E. 2002. Effects of heat-moisture treatment and lipids on gelatinization and retrogradation of maize and potato starches. **Cereal Chem.** 79: 72-77.
- Morris, C. F., H. C. Jeffers and D. A. Engle. 2000. Effect of processing, formula and measurement variables on alkaline noodle color toward an optimized laboratory system. **Cereal Chem.** 77: 77-85.
- Moss, H.J., D.M. Miskelly and R. Moss. 1986. The effect of alkaline conditions on the properties of wheat flour dough and Cantonese-style noodles. **J. Cereal Sci.** 4:261-268.
- Moss, R., P. J. Gore and I. C. Murray, 1987. The influence of ingredients and processing variables on the quality and microstructure of Hokkien, Cantonese and instant noodles. **Food Microstructure.** 6: 63-74.
- Oh, N.H., P.A. Seib, A.B. Ward and C.W. Deyoe. 1985a. Noodles III. Effects of processing variables on quality characteristics of dry noodles. **Cereal Chem.** 62:437-440.
- _____, 1985b. Noodle IV. Influence of flour protein, extraction rate, particle size and damage on the quality characteristic of dry noodles. **Cereal Chem.** 62: 441-446.
- _____, K. F. Finney and Y. Pomeranz. 1986. Noodles V. Determination of optimum water absorption of flour to prepare oriental noodle. **Cereal Chem.** 63: 93-96.
- Oosten, B. J. 1990. Interaction between starch and electrolytes. **Starch/Starke.** 42: 327-330.
- Park, W. P. and Z. U. Kim. 1990. Processing characteristics of extruded noodles mixed with soybean flour. **J. Korean Agr. Chem. Soc.** 33(3): 209-215.

- Perez, C. M. 1979. Gel consistency and viscosity of rice. *In* **Workshop on Chemical Aspects of Rice Grain Quality**. International Rice Research Institute, Los Banos, Phillipines.
- Perera, C., R. Hoover and A. M. Martin. 1997. The effect of hydroxypropylation on the structure and physicochemical properties of native, defatted and heat-moisture treated potato starches. **Food Res. Int.** 30: 235-247.
- Pulkki, L. H. 1938. Particle size in relation to flour characteristics and starch cells of wheat. **Cereal Chem.** 15(11): 749-765.
- Rani, M. R. S. and K. R. Bhattacharya. 1995. Microscopy of rice starch granules during cooking. **Starch/Starke.** 47(9): 334-337.
- Sair, L. 1967. Heat-moisture treatment of starch. **The Griffith Laboratories.** 44: 8-26.
- Schoch, T. J. 1964. Swelling power and solubility of granular starches. pp. 106-108. *In* **Method in Carbohydrate Chemistry Volume IV**. R.L. Whisler, ed. Academic press, Inc., New York.
- _____, and E. C. Maywald. 1956. Microscopic examination of modified starch. **Anal. Chem.** 28: 382-387.
- Seib, P. A., X. Liang, F. Guan, Y. T. Liang and H. Yang. 2000. Comparison of asian noodles from some hard white and hard red wheat flours. **Cereal Chem.** 77: 816-822.
- _____, and Y. Wu. 1990. Freeze-thaw stable modified amaranth starch. **U. S. Patent 4,973,447**.
- Shelke, K.L., J.W. Dick, Y.F. Holm and K.S. Loo. 1990. Chinese wet noodle formulation: a response surface methodology study. **Cereal Chem.** 67(4): 38-342.

- Sheng, D. Y. 1995. Rice-based ingredients in cereal and snack. **Cereal Food World**. 40(8): 538-540.
- Stute, R. 1992. Hydrothermal modification of starches: the difference between annealing and heat/moisture treatment. **Starch/Starke**. 44(6): 205-214.
- Sullivan, D. M. and D. E. Carpenter. 1993. **Methods of analysis for nutritional labeling**. AOAC International, Arlington.
- Swinkles, J. J. M. 1985. Source of starch damaged, its chemistry and physics. pp. 15-46. *In* J. A. Roles and G. M. A. V. Belyum, eds. **Starch Conversion Technology**. Marcel Dekker Inc., New York.
- Svegmark, K., K. Helmersson, G. Nilsson, P.-O. Nilsson, R. Andersson and E. Svensson. 2002. Comparison of potato amylopectin starches and potato starches-influence of year and variety. **Carbohydr Polym**. 47: 331-340.
- Takaya, T., C. Sano and K. Nishinari. 2000. Thermal studies on the gelatinization and retrogradation of heat-moisture treated starch. **Carbohydr Polym**. 41: 97-100.
- Tako, M. and S. Hizuburi. 2000. Retrogradation mechanism of rice starch. **Cereal Chem**. 77: 473-477.
- Tester, R. F., and W. R. Morrison. 1990. Starch: the polysaccharide fraction. pp. 147-163. *In* P. J. Frazies, A. M. Donald and P. Richmond, eds. **Starch Structure and Functionality**. The Royal Society of Chemistry, U. K.
- _____, S. J. J. Debon and M. D. Sommerville. 2000. Annealing of maize starch. **Carbohydr Polym**. 42: 287-299.

- USDA. 1982. **Rice Inspection Handbook**. FGIS, U.S Department of Agriculture, Washington, DC.
- Van Lengerich, B. 1992. Influence of extrusion processing on in-line rheological behavior, structure and function of wheat starch, pp. 421-471. *In* H. Fahidi and J. M. Faubion, eds. **Dough, Rheology and Product Texture**. Van Nostrance, New York.
- Varavinit, S., S. Anuntavuttikul and S. Shobsngob. 2000. Influence of freezing and thawing techniques on stability of sago and tapioca starch pastes. **Starch/Starke**. 52: 214-217.
- _____, S. Shobsngob, W. Varanganond, P. Chinachoti and O. Naivikul. 2002. Freezing and thawing conditions affect the gel stability of different varieties of rice flour. **Starch/Starke**. 54: 31-36.
- Vandeputte, G. E., R. Vermeulen, J. Geeroms and J. A. Delcour. 2003. Rice starch I structural aspects provide insight into crystallinity characteristics and gelatinization behavior of granular starch. **J. Cereal Sci.** 38: 43-52.
- Villareal, C. P. and B. O. Juliano. 1987. Variety differences in quality characteristics of puffed rices. **Cereal Chem.** 64(4): 337-342.
- Wang, Y. J. and L. Wang. 2002. Structures of waxy rice starches in relation to thermal, pasting, and textural properties. **Cereal Chem.** 79: 252-256.
- Whistler, R. L. and J. N. Bemiller. 1999. **Carbohydrate Chemistry for Food Scientists**. American Association of Cereal Chemists, Inc., U.S.A.
- Wu, Y. and P. A. Seib. 1990. Acetylated and hydroxypropylated distarch phosphates from waxy barley: paste properties and freeze-thaw stability. **Cereal Chem.** 67: 202-208.

Yadav, A. R., M Guha., R. N. Tharanathan and R. S. Ramteke. 2006. Changes in characteristics of sweet potato flour prepared by different drying techniques. **L.W.T.** 39: 20-26.

Yoenyongbuddhagal, S. and A. Noomhom. 2002a. Effect of physical properties of high-amylose Thai rice flours on vermicelli quality. **Cereal Chem.** 79(40): 481-485.

_____. 2002b. Effect of raw material preparation on rice vermicelli quality. **Starch/Starke.** 54: 534-539.

Yuan, R. C. and D. B. Thompson. 1998. Freeze-thaw stability of three waxy maize starch pastes measured by centrifugation and colorimetry. **Cereal Chem.** 75: 571-573.

Yunt, S.H., K. Quail and R. Moss. 1996. Physicochemical properties of Australian wheat flours for white salted noodles. **J. Cereal Sci.** 23: 181-189.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

วิธีการตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางฟิสิกส์

1. การตรวจสอบคุณภาพของบะหมี่ด้านการหุงต้ม (Cooking quality)

1.1 ระยะเวลาในการหุงต้มที่เหมาะสม (Cooking time) (AACC, 2000)

วิธีวิเคราะห์

นำตัวอย่างบะหมี่ 25 กรัม ต้มในน้ำกลั่นเดือดปริมาตร 300 มิลลิลิตร ในบีกเกอร์ ขนาด 500 มิลลิลิตร ให้ความร้อนบนเตาให้ความร้อน เริ่มจับเวลา ในขณะที่ต้มให้กวนตัวอย่างเพื่อ ป้องกันเส้นติดกัน ทำการต้มเส้นจนแกนกลางสีขาวหายไป ซึ่งตรวจสอบได้โดยใช้พลาสติก 2 แผ่น บีบเส้นบะหมี่ หยุดเวลาเป็นระยะเวลาในการหุงต้มที่เหมาะสม

1.2 ร้อยละของการสูญเสียของแข็งระหว่างต้ม (Cooking loss) (AACC, 2000)

วิธีวิเคราะห์

นำบะหมี่ที่ผ่านการต้มสุกตามระยะเวลาที่เหมาะสมแล้วสะเด็ดน้ำผ่านกระชอน แล้ว ใช้น้ำกลั่นล้างบะหมี่ รวบรวมน้ำต้มบะหมี่และน้ำล้างบะหมี่ทั้งหมดมาระเหยแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ จากนั้นนำบีกเกอร์ที่ระเหยน้ำจนแห้งแล้วมาชั่งน้ำหนักเพื่อ คำนวณหาร้อยละการสูญเสียของแข็งระหว่างการต้ม จากสูตร

$$\text{การสูญเสียของแข็งระหว่างต้ม (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักของแข็งที่เหลืออยู่ (กรัม)}}{\text{น้ำหนักบะหมี่ก่อนต้ม (กรัม)}} \times 100$$

1.3 ร้อยละของการดูดน้ำ (Water Absorption)

วิธีวิเคราะห์

นำบะหมี่ต้มแล้วจากข้อ 1.2 มาชั่งน้ำหนักเพื่อหาร้อยละของการดูดน้ำ ค่าการดูดน้ำ (ร้อยละ) = $\frac{\text{น้ำหนักบะหมี่หลังต้ม} - \text{น้ำหนักบะหมี่ก่อนต้ม}}{\text{น้ำหนักบะหมี่ก่อนต้ม}} \times 100$

1.4 ค่าความเป็นกรด-เบสของบะหมี่ (Shelke *et al.*, 1990)

วิธีวิเคราะห์

นำบะหมี่ 10 กรัม ใส่ในเครื่องปั่นผสม (blender) เติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ปั่นผสมเป็นเวลา 1 นาที นำของผสมที่ได้มาตรวจวัดค่ากรด-เบสของบะหมี่

2. วิธีการวัดเนื้อสัมผัสของบะหมี่

วิธีวิเคราะห์

ทำการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของบะหมี่ที่ผ่านการต้มสุก ตามระยะเวลาในการหุงต้มที่เหมาะสม ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer รุ่น TA-XT2) โดยใช้หัววัดเนื้อสัมผัสจำนวน 2 หัววัด (ใช้ Load Cell 5 กิโลกรัม) ได้แก่

2.1 การวัดเนื้อสัมผัสของบะหมี่โดยใช้หัววัด Spaghetti tensile grips (A/SPR)

การตั้งค่า :

Mode : Measure Force in Tension

Option : Return To Start

Pre-Test Speed : 3.0 mm/s

Test- Speed : 5.0 mm/s

Post – Test Speed : 5.0 mm/s

Distance : 80 mm

Trigger Type : Auto-5 g

Data Acquisition Rate : 200 pps

การทวนสอบ (calibration) หัววัด : ตั้งระยะห่างระหว่างหัววัด 15 มิลลิเมตร

2.2 การวัดเนื้อสัมผัสของบะหมี่โดยใช้หัววัด Light Knife Blade (A/LKB-F)

การตั้งค่า :

Mode : Measure Force in Compression

Option : Return To Start

Pre-Test Speed : 0.5 mm/s

Test- Speed : 0.2 mm/s

Post – Test Speed : 10.0 mm/s

Distance : 2.4 mm

Trigger Type : Button (จากความสูงเริ่มต้น 5 มิลลิเมตร)

Data Acquisition Rate : 400 pps

การตั้งค่ามาตรฐาน (calibration) หัววัด : ตั้งระยะห่างระหว่างหัววัดกับฐาน 5 มิลลิเมตร

3. การวัดค่าสี

วิธีวิเคราะห์

ทำการวัดค่าสีของบะหมี่ด้วยเครื่องวัดสี Minolta CM-3500d โดยใช้แหล่งแสงระบบ CIE ตรวจวัดค่า L^* , a^* และ b^* โดยใช้แผ่น target mask ขนาดที่เหมาะสมกับตัวอย่างที่ต้องการวัด ในการทดลองนี้ใช้แผ่นที่มีรูขนาดเล็ก ทำการ calibrated ด้วย zero calibration และ white calibration โดยทำการตั้งค่าการวัดดังต่อไปนี้

- แหล่งกำเนิดแสง D light (Day Light)
- ค่ามุม 10 องศา
- ทำการวัดแบบหาค่าเฉลี่ย (average) 10 จุด

นำตัวอย่างบะหมี่ใส่ถุงพลาสติกใสโพลีโพรพิลีน polypropylene (PP) ชนิดเดียวกันทุกพยายามบรรจุให้แน่นที่สุดเพื่อป้องกันไม่ให้มีช่องว่างระหว่างตัวอย่าง วางตัวอย่างบะหมี่ที่บรรจุใส่ถุงพลาสติกแล้วลงบนแผ่น target mask วัดค่า 10 จุดต่อ 1 ตัวอย่าง อ่านค่าสีที่วัดได้ในระบบ L^* , a^* และ b^* (ค่า L^* คือค่าความสว่าง ถ้าค่าเข้าใกล้ 100 แสดงว่าตัวอย่างมีความสว่างมาก ถ้าค่าเข้าใกล้ 0

แสดงว่าตัวอย่างมีความคล้ามาก, ค่า a^* คือค่าความเป็นสีแดง/เขียว ถ้าค่าเป็นบวกแสดงว่าตัวอย่างมีความเป็นสีแดง ถ้าค่าเป็นลบแสดงว่าตัวอย่างมีความเป็นสีเขียว, ค่า b^* คือค่าความเป็นสีเหลือง/น้ำเงิน ถ้าค่าเป็นบวกแสดงว่าตัวอย่างมีความเป็นสีเหลือง ถ้าค่าเป็นลบแสดงว่าตัวอย่างมีความเป็นสีน้ำเงิน)

ภาคผนวก ข

วิธีการตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีเชิงฟิสิกส์

1. การตรวจวิเคราะห์พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งด้วยเครื่องตรวจวิเคราะห์ความหนืดแบบรวดเร็ว (Rapid Visco Analyzer, RVA) (Newport Scientific)

วิธีวิเคราะห์

นำตัวอย่างแป้งไปตรวจวิเคราะห์หาความชื้นตามวิธีการของ AACC (2000) จากนั้นนำมาคำนวณปริมาณแป้งและน้ำ จากสูตร :

$$S = \frac{86 \times A}{100 - M}$$

เมื่อ : M = ความชื้นของตัวอย่าง (ร้อยละ)

A = น้ำหนักแป้งที่ใช้จากความชื้นร้อยละ 14 คือ 3.50 กรัม (ในกรณีที่ตัวอย่างเป็นสตาร์ช A= 3.00 กรัม โดยคำนวณจากความชื้นร้อยละ 12)

S = น้ำหนักแป้งที่ต้องชั่งจริง (กรัม)

W = น้ำหนักน้ำที่ต้องชั่งและเติมลงไปนึ่งแป้งที่ใส่ในถ้วย (กรัม)

ในการทดลองนี้เลือกใช้รูปแบบมาตรฐานที่ 1 (Standard Profile 1) โดยมีการตั้งค่าดังนี้

Boot Idle Temperature : 50 องศาเซลเซียส

Idle Tolerance : 1 องศาเซลเซียส

<u>Time</u>	<u>Type</u>	<u>Value</u>
00: 00: 00	Temp	50
00: 00: 00	Speed	960
00: 00: 00	Speed	160
00: 01: 00	Temp	50
00: 04: 45	Temp	95
00: 07: 15	Temp	95
00: 11: 00	Temp	50

End of Test : 00: 13: 00

ภาคผนวก ค
วิธีการตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

1. การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ตามวิธีการของ AACC (2000)

วิธีวิเคราะห์

ชั่งตัวอย่างแห้งประมาณ 2 กรัม (ให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอน) ใส่ลงในถ้วยอะลูมิเนียมที่มีฝาปิด (ผ่านการอบไล่ความชื้นและทราบน้ำหนักที่แน่นอนแล้ว) นำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส โดยขณะนำเข้าตู้อบให้เปิดฝาด้วยอะลูมิเนียมออกและทำการอบพร้อมถ้วยอะลูมิเนียมที่มีตัวอย่าง ใต้อยู่ ทำการอบเป็นเวลา 2 ชั่วโมง (เริ่มจับเวลาเมื่ออุณหภูมิถึง 135 องศาเซลเซียส) เมื่อครบ 2 ชั่วโมง ให้นำฝาปิดด้วยอะลูมิเนียม นำออกมาทำให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนัก ทำซ้ำจนกระทั่งน้ำหนักคงที่ จากนั้นนำไปคำนวณร้อยละปริมาณความชื้นดังนี้

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

2. การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน ตามวิธีการของ AACC (2000)

สารเคมี

- กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (ความถ่วงจำเพาะ 1.84, N₂ - free)
- คอปเปอร์ซัลเฟต (CuSO₄·5H₂O)
- โพแทสเซียมซัลเฟต (K₂SO₄) หรือ โซเดียมซัลเฟต (Na₂SO₄)
- สารละลาย NaOH ความเข้มข้นอย่างน้อยร้อยละ 32
- สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริก 0.1 N (0.05 M)
- สารละลายกรดบอริกความเข้มข้นร้อยละ 2 (เตรียมโดยใช้น้ำร้อน)
- Indicator (Methyl red 0.02 กรัม + Bromocresol green 0.1 กรัม ใน Ethanol 100 มิลลิลิตร)

วิธีวิเคราะห์

- 1) พับกระดาษกรองเป็นรูปของจดหมาย ชั่งตัวอย่างลงในกระดาษกรองให้ได้น้ำหนักที่คงที่แน่นอนประมาณ 0.5-1.0 กรัม

- 2) ใส่ตัวอย่างที่เตรียมได้จากข้อ 1) ลงในหลอดย่อยโดยไม่ให้เปื้อนข้างหลอด เติม K_2SO_4 10 กรัม และ $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 0.5 กรัม และใส่ glass bead 2-3 เม็ด
- 3) เติมกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) เข้มข้น 20-25 มิลลิลิตร ปิดฝาหลอดย่อย ยกไปใส่บนเตาย่อย ต่อสายชุดจับ ไอกรดกับฝาหลอดย่อย
- 4) เปิดสวิทช์เครื่องย่อยและชุดจับไอกรด พร้อมทั้งหมุนตั้งอุณหภูมิเตาย่อยไว้ที่ระดับ 8-10 เมื่อเริ่มต้นการย่อย จากนั้นปรับลดอุณหภูมิลงให้เหลือระดับ 6-7 ทำการย่อยจนได้สารละลายใส
- 5) ปิดสวิทช์เครื่องย่อย ห้ามเปิดสวิทช์ชุดจับไอกรด จนกว่าไอกรดหมด
- 6) นำหลอดย่อยมาตั้งไว้บน rack ข้างเครื่องย่อย ทิ้งไว้ให้เย็น
- 7) เติมน้ำกลั่น 60-75 มิลลิลิตร (เติมเป็น 3 เท่าของกรด) นำไปกลั่น
- 8) เปิดสวิทช์เครื่องกลั่น เปิดน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ ทำการอุ่นเครื่องกลั่นโดยใช้ flask เปล่ารองรับ และใส่หลอดที่มีน้ำกลั่นอยู่ประมาณครึ่งหลอด โดยกลั่นเป็นเวลา 2 นาที
- 9) ทำการกลั่นตัวอย่าง โดยนำ flask ที่บรรจุกรดบอริกความเข้มข้นร้อยละ 2 ปริมาตร 60 มิลลิลิตร ซึ่งหยดอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด มารองรับสิ่งที่กลั่นได้ โดยนำหลอดย่อยที่เตรียมไว้จากข้อ 7 ใส่ในเครื่องกลั่น
- 10) กดปุ่มเติม NaOH ที่เครื่องกลั่น โดยเติม NaOH เป็น 3 เท่าของกรด ซึ่งสามารถดูปริมาตร NaOH ได้จากสเกลบริเวณเครื่องกลั่น (หลังเติม NaOH สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล)
- 11) ตั้งเวลาที่ใช้ในการกลั่น ประมาณ 3 นาที (เนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่จะทำให้ปริมาตรใน flask ที่รองรับเพิ่มเป็น 100 มิลลิเมตรพอดี)
- 12) กดปุ่ม start เครื่องจะทำการกลั่น เมื่อครบเวลา หรือปริมาตรของสารละลายใน flask เพิ่มขึ้นเป็น 100 มิลลิลิตร ให้นำไปไทเทรตกับ 0.1 N H_2SO_4 จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีเทา บันทึกปริมาตรกรดที่ใช้ในการไทเทรตนำไปคำนวณตามสูตร
- 13) หมุนปุ่ม Aspiration ไปที่ yes ถอดหลอดย่อยออกจากเครื่องกลั่น
- 14) ก่อนกลั่นตัวอย่างต่อไปต้องล้างระบบก่อนทุกครั้ง โดยใส่หลอดที่มีน้ำกลั่นครึ่งหลอด และรองรับสิ่งที่กลั่นได้ด้วย flask ทำการกลั่น 1-2 ครั้ง
- 15) เมื่อกลั่นครบทุกตัวอย่างแล้ว ทำการกลั่นล้างระบบดังเช่นในข้อ 14) จากนั้นนำถาดรองรับ (drip tray) ไปล้าง สวมหลอดเปล่าและ flask รองรับเข้าที่
- 16) ปิดสวิทช์ ปิดก๊อกน้ำ เช็ดทำความสะอาดเครื่องทั้งหมด

$$\text{สูตรคำนวณ : ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (ร้อยละ)} = \frac{(V1-V2) \times N \times f \times 1400}{E} \times 100$$

ปริมาณโปรตีน = ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด x ค่า factor ของตัวอย่าง

โดย V1 = ปริมาตรกรดที่ใช้ในการไทเทรตตัวอย่าง
 V2 = ปริมาตรกรดที่ใช้ในการไทเทรต blank
 N = ความเข้มข้นของกรด (นอร์แมล)
 f = factor ของกรด
 E = ปริมาณของตัวอย่าง (มิลลิกรัม หรือ มิลลิลิตร)

การหา factor (f) ของกรด โดยใช้ Tris Buffer

Tris buffer : Tris (hydroxymethyl) aminomethanol (น้ำหนักโมเลกุล 121.14)

- ชั่ง Tris buffer 120 มิลลิกรัม (E) ให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน ละลายในน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร หยดอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด
- นำไปไทเทรตกับกรดจนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีเทา
- คำนวณหา factor (f) จากสูตร :

$$f = \frac{E}{121.14 \times N \times V}$$

เมื่อ N = ความเข้มข้นของกรด (นอร์แมล)

V = ปริมาตรของกรดที่ใช้ในการไทเทรต (มิลลิลิตร)

3. การวิเคราะห์ห้ปริมาณลพิพิด (โดยใช้เครื่อง SOXTEC SYSTEM HT6) ตามวิธีการของ AACC (2000)

- 3.1 เปิดเครื่องทำน้ำเย็น ควบคุมอุณหภูมิให้ต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส เปิดสวิทซ์ให้น้ำ Flow เข้าเครื่อง Extractor
- 3.2 ตั้งอุณหภูมิที่เครื่อง Thermostatic Cut-Out (สำหรับ solvent ที่เป็น Petroleum Ether ให้ตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 100 องศาเซลเซียส) (ยังไม่ต้องเปิด Switch Main)
- 3.3 ชั่งตัวอย่างใส่ Thimble (W1) (ตัวอย่างต้องแห้งและบดเป็นเนื้อเดียวกัน) ประมาณ 5 กรัม โดยรู้น้ำหนักที่แน่นอน
- 3.4 นำ Thimble ไปใส่ไว้ใน Thimble Holder แล้วนำไปใส่ในเครื่องดังนี้
 - ปุ่มบังคับ Thimble อยู่ที่ตำแหน่ง Boiling
 - นำ Thimble ไปใส่ไว้ในช่อง Extraction แล้วเอา Thimble Holder ออก
 - เลื่อนปุ่มบังคับ Thimble มาอยู่ในตำแหน่ง Rinsing
- 3.5 ชั่งน้ำหนัก Extraction Cups ที่มี Glass Bead (W2) ผ่านการอบแห้งแล้ว
- 3.6 เติม Petroleum Ether ลงใน Extraction Cups ปริมาณ 50 cc. แล้วนำ Extraction Cups ไปใส่ไว้ใน Extraction Cups Holder
- 3.7 นำ Extraction Cups Holder ไปใส่ในช่อง Extraction แล้วเคลื่อนคันโยกทางด้านซ้ายมือของเครื่อง Extraction ลง
- 3.8 เริ่มทำการสกัดโดยขั้นตอนดังนี้
 - ปุ่มบังคับ Thimble อยู่ตำแหน่ง Boiling
 - ก๊อกต้องอยู่ในลักษณะที่เปิด
 - เปิด Switch Main ที่เครื่อง Thermostatic Cut-Out
 - ตั้งเวลาที่เครื่อง Extractor ไว้ 20 นาที
- 3.9 เมื่อครบ 20 นาที ทำการ Rinsing โดยขั้นตอนต่อไปนี้
 - เลื่อนปุ่มบังคับ Thimble ไปที่ Rinsing
 - ตั้งเวลาที่เครื่อง Extractor ไว้ 10 นาที
- 3.10 เมื่อครบ 10 นาที จะทำการ Evaporation (Solvent Recover) ดังต่อไปนี้
 - ปิดก๊อก
 - เลื่อนปุ่ม Evaporation ลง
 - เปิดไว้ประมาณครึ่งนาที

- เลื่อนปุ่ม Switch Air และ Switch Main
- 3.11 เลื่อนคันโยกทางซ้ายมือของเครื่อง Extractor ขึ้น นำ Extraction Cups Holder ออกจากช่อง Extraction
- 3.12 นำ Thimble Holder ไปใส่ในช่อง Extraction แล้วเลื่อนปุ่มบังคับ Thimble ไปที่ Boiling นำ Thimble Holder ที่มี Thimble อยู่ภายในออกจากช่อง Extraction
- 3.13 ปิด Switch เครื่องทำน้ำเย็น
- 3.14 นำภาชนะไปใส่ Solvent โดยไปวางไว้ในช่อง Extraction แล้วเปิดก๊อกให้ Solvent ไหลออกมา (นำ Solvent กลับมาใช้ใหม่ได้)
- 3.15 นำ Extraction Cups ที่ได้ในข้อ 3.11 ไปใส่ไว้ในโถดูดความชื้น ครึ่งชั่วโมงแล้วนำออกมาชั่งน้ำหนัก (W3)

$$\text{ปริมาณลพิพิด (ร้อยละ)} = \frac{W3 - W2}{W1} \times 100$$

4. การวิเคราะห์ปริมาณแฉา ตามวิธีการของ AACC (2000)

อุปกรณ์ที่สำคัญ

- 4.1 เตาเผาแฉา (muffle furnace)
- 4.2 ตะเกียงเบนเสน
- 4.3 ถ้วยสำหรับเผาแฉา (crucible)

วิธีวิเคราะห์

นำตัวอย่างมาชั่งน้ำหนัก 3-5 กรัม (ทราบน้ำหนักที่แน่นอน) ใส่ลงในถ้วยกระเบื้องที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส และทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นจนมีน้ำหนักที่แน่นอน นำตัวอย่างไปเผาไฟจนหมดควัน นำเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส จนตัวอย่างกลายเป็นสีขาวหรือสีเทา ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนัก ทำซ้ำจนกระทั่งน้ำหนักคงที่ จากนั้นคำนวณหาปริมาณแฉา ดังนี้

$$\text{ปริมาณแฉา (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา}} \times 100$$

5. การวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ตามวิธีการของ AACC (2000)

$$\text{ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)} = 100 - (\text{ปริมาณความชื้น} + \text{ปริมาณโปรตีน} + \text{ปริมาณลิกพิด} + \text{ปริมาณเถ้า})$$

6. การวิเคราะห์ปริมาณแอมิโลสโดยวิธีอย่างรวดเร็ว (สุนันทา, 2542)

6.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

- 6.1.1 ขวดแก้วพร้อมจุก (volumetric flask) ขนาด 100 มิลลิลิตร
- 6.1.2 ปิเปตแบบ volumetric pipette ขนาด 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิลิตร
- 6.1.3 ปิเปตแบบ measuring pipette ขนาด 1-10 มิลลิลิตร
- 6.1.4 สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer)
- 6.1.5 เครื่องชั่งละเอียด 4 น้ำหนัก
- 6.1.6 Magnetic stirrer และ magnetic bar
- 6.1.7 เครื่องบดเมล็ดข้าวแบบ cyclone sample mill

6.2 สารละลายที่ใช้และวิธีการเตรียม

- 6.2.1 เอทิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 95 ละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 2 นอร์แมล วิธีเตรียม ชั่ง NaOH ปริมาณ 80 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นประมาณ 80 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำไปปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร
- 6.2.2 กรดแอซติกกลั่น (glacial acetic acid) ความเข้มข้น 1 นอร์แมล วิธีเตรียม ตวงกรดแอซติกกลั่นเข้มข้นปริมาณ 60 มิลลิลิตร ใส่ลงในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตร
- 6.2.3 สารละลายไอโอดีน วิธีเตรียม ชั่งไอโอดีน (I_2) 0.2 กรัม และโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) 2.0

กรัม ผสมสารทั้งสองให้เข้ากัน แล้วละลายในน้ำกลั่นปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ถ้าสารยังละลายไม่หมดอาจทิ้งไว้ค้างคืนในที่มืด แล้วค่อยนำมาปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร ควรเก็บสารละลายนี้ไว้ในขวดสีชา

6.2.4 แอมิโลสบริสุทธิ์ (pure amylose)

6.3 วิธีวิเคราะห์

6.3.1 ถ้าตัวอย่างเป็นเมล็ดข้าว ต้องทำการบดให้เป็นแป้งโดยใช้เครื่องบดเมล็ดข้าวแบบ cyclone sample mill ที่มีตะแกรงขนาด 80-100 เมช (mesh)

6.3.2 การชั่งแป้ง ตรวจสอบเครื่องชั่งโดยปรับระดับลูกน้ำของเครื่องชั่งให้อยู่ตรงกึ่งกลาง แล้วปรับเครื่องชั่งให้เป็นศูนย์ จากนั้นจึงทำการชั่งตัวอย่างแป้ง 0.1000 กรัม (โดยน้ำหนัก) ใส่ในขวดแก้ว (volumetric flask) ขนาด 100 มิลลิลิตรที่แห้งสนิทพยายามไม่ให้แป้งติดบริเวณคอขวดแก้ว

หมายเหตุ ขวดแก้วต้องแห้งสนิท ถ้ามีความชื้นหรือเปียก จะทำให้แป้งเกาะติดกันเป็นก้อน

6.3.3 นำแป้งมาเติมเอทิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 95 ปริมาณ 1 มิลลิลิตร เขย่าเบาๆ เพื่อเกลี่ยแป้งให้กระจายออก อย่าเขย่าแรงเพราะจะทำให้แป้งขึ้นไปเกาะตามผนังขวดแก้ว

6.3.4 เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2 นอร์แมล ปริมาณ 9 มิลลิลิตร โดยในขณะที่เติมสารละลายนี้ ให้ทำการล้างแป้งที่อาจติดตามคอขวดและตามผนังขวดแก้ว

6.3.5 ใส่แท่งแม่เหล็ก (magnetic bar) ลงไปในขวดแก้ว ทำการปั่นตัวอย่างบน magnetic stirrer นาน 10 นาที จากนั้นนำแท่งแม่เหล็กออกจากขวดแก้ว

หมายเหตุ ก่อนที่แท่งแม่เหล็กจะพ้นจากปากขวด ให้ล้างแท่งแม่เหล็กด้วยน้ำกลั่น เพื่อล้างเอาตัวอย่างที่ติดมากับแท่งแม่เหล็กกลับลงไปในขวดแก้ว

6.3.6 เติมน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร ปิดจุก เขย่าขวดแก้ว

6.3.7 เตรียมขวดแก้วเปล่าขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นประมาณ 70 มิลลิลิตร เติมกรดแอสซิติคส่วน 1 นอร์แมล ปริมาณ 2 มิลลิลิตร และเติมสารละลายไอโอดีนจำนวน 2 มิลลิลิตร

6.3.8 ควบน้ำแป้งจากข้อ 6.3.6 ปริมาณ 5 มิลลิลิตร ด้วย volumetric pipette ขนาด 5 มิลลิลิตร ใสลงในขวดที่เตรียมไว้ในข้อ 6.3.7

หมายเหตุ เมื่อเปลี่ยนตัวอย่างใหม่ ควรเช็ดปิเปตด้วยทิชชูและดูดล้างปิเปตด้วยน้ำเป่างตัวอย่างใหม่ เพื่อป้องกันการปนเปื้อนของตัวอย่างเก่า

- 6.3.9 เติมน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร ปิดจุก เขย่าขวดแก้วและตั้งทิ้งไว้ นาน 10 นาที
ทำแบลนค์ (blank) โดยทำเช่นเดียวกับข้อ 6.3.7 นำขวดแก้วมาเติมกรดแอสซิติกล้วน ความเข้มข้น 1 นอร์แมล ปริมาณ 2 มิลลิลิตร และสารละลายไอโอดีนปริมาณ 2 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร
- 6.3.10 วัดความเข้มข้นของสารละลายด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่นแสง 610 นาโนเมตร (nm) อ่านค่าเป็น absorbance โดยปรับค่า absorbance ของแบลนค์ให้เป็น 0

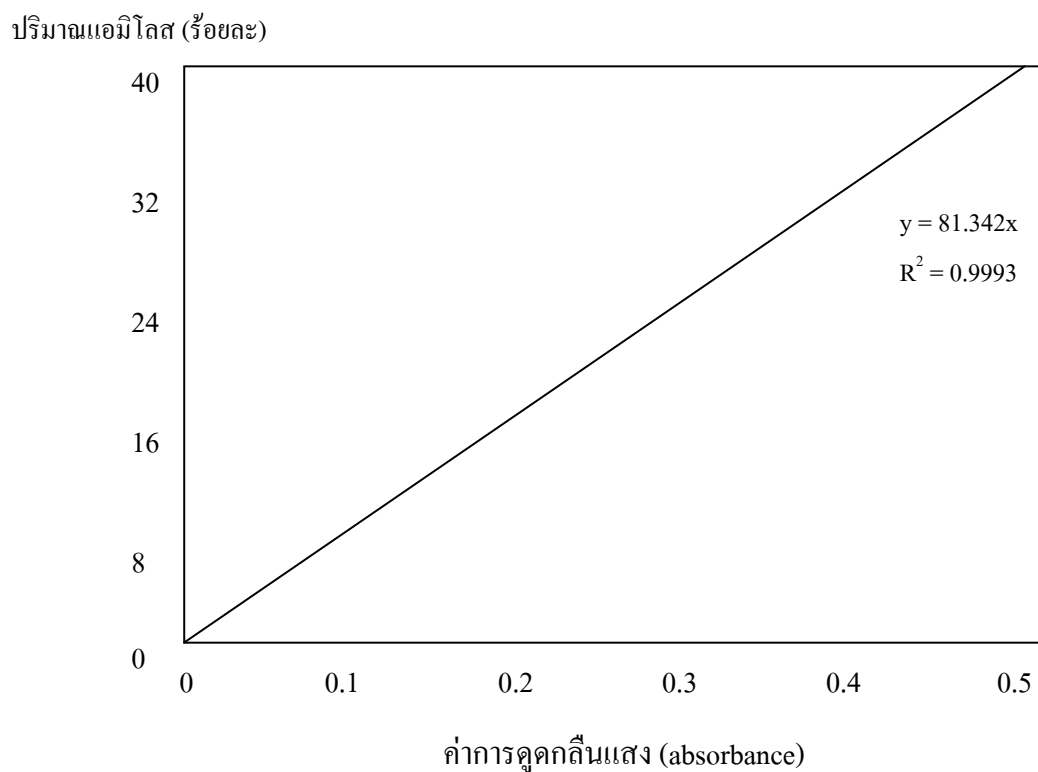
หมายเหตุ หลอดที่ใช้วัด ก่อนใส่เข้าเครื่องต้องแห้งสะอาด และไม่สัมผัสกับนิ้วมือ โดยจะใช้กระดาษทิชชูหุ้มไว้ตอนจับ เมื่อเวลาเปลี่ยนตัวอย่างใหม่ควรทำการล้างหลอดหรือเซลล์ที่ใช้วัดด้วยตัวอย่างใหม่

- 6.3.11 นำค่า absorbance ไปคำนวณหาค่าปริมาณแอมิโลสโดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน

6.4 การเขียนกราฟมาตรฐาน (standard curve)

- 6.4.1 ชั่งแอมิโลสบริสุทธิ์ 0.0400 กรัม ใส่ในขวดแก้วขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วดำเนินการเช่นเดียวกับข้อ 6.3.3-6.3.6
- 6.4.2 เตรียมขวดแก้วเปล่าขนาด 100 มิลลิลิตร จำนวน 5 ขวด เติมน้ำกลั่นขวดละประมาณ 70 มิลลิลิตร เติมกรดแอสซิติกล้วน ความเข้มข้น 1 นอร์แมล ปริมาณ 0.4, 0.8, 1.2, 1.6 และ 2.0 มิลลิลิตร ตามลำดับ และเติมสารละลายไอโอดีนขวดละ 2 มิลลิลิตร
- 6.4.3 ดูดสารละลายมาตรฐานปริมาณ 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิลิตร ด้วย volumetric pipette ขนาด 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดแก้วที่เตรียมไว้ในข้อ 6.4.2 ตามลำดับ
- 6.4.4 เติมน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร ปิดจุก เขย่าขวดแก้ว
- 6.4.5 นำไปวัด absorbance ตามข้อ 6.3.11

6.4.6 เขียนกราฟมาตรฐานระหว่างค่าปริมาณแอมิโลส (แกน y) กับค่า absorbance (แกน x) โดยค่าปริมาณแอมิโลสของสารละลายมาตรฐานเป็นร้อยละ 8, 16, 24, 32 และ 40 ตามลำดับ



ภาพผนวกที่ ค1 กราฟมาตรฐานระหว่างปริมาณแอมิโลสกับค่าการดูดกลืนแสง

ภาคผนวก ง
การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยวิธี Hedonic Scales

ชื่อผู้ทดสอบ.....วันที่.....

ชื่อผลิตภัณฑ์ : บะหมี่ผัดทรงเครื่อง

กรุณาชิมตัวอย่างที่ได้รับจากซ้ายไปขวา แล้วให้คะแนนความชอบต่อผลิตภัณฑ์แต่ละตัวอย่างตามระดับคะแนนที่ท่านคิดว่าเหมาะสม

ระดับคะแนน

- 9 = ชอบมากที่สุด (Like extremely)
- 8 = ชอบมาก (Like very much)
- 7 = ชอบปานกลาง (Like moderately)
- 6 = ชอบเล็กน้อย (Like slightly)
- 5 = เฉยๆ (Neither like nor dislike)
- 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย (Dislike slightly)
- 3 = ไม่ชอบปานกลาง (Dislike moderately)
- 2 = ไม่ชอบมาก (Dislike very much)
- 1 = ไม่ชอบมากที่สุด (Dislike extremely)

คุณลักษณะ

รหัสตัวอย่าง

สี

ลักษณะปรากฏ

ความเหนียวยืดหยุ่น

ความแข็ง/นุ่ม

ความชอบโดยรวม

.....
.....
.....
.....
.....

ข้อเสนอแนะ.....

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ	นางสาวชุลีกร วัชรรัตน์
เกิดวันที่	25 เดือนมีนาคม พ.ศ. 2524
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดสุรินทร์
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (เทคโนโลยีการอาหารและโภชนศาสตร์) เกียรตินิยมอันดับที่ 2 มหาวิทยาลัยมหาสารคาม (พ.ศ. 2545)
ผลงานทางวิชาการ	เรื่องการผลิตแครกเกอร์จากแป้งข้าวเหนียว