บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

คัดเลือกวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตมูสลี

การคัดเลือกวัตถุดิบเพื่อผลิตมูสลีในงานวิจัยนี้ ใช้วิธีคัดเลือกเชิงคุณภาพเพื่อพิจารณาอย่างคร่าวๆว่ามีวัตถุดิบภายในประเทศชนิดใดบ้างที่มีความเหมาะสมในการแปรรูป นอกจากนั้นยังพิจารณาถึงคุณค่าทางโภชนาการ ความคุ้นเคยในการบริโภคและที่สำคัญคือควรผลิตได้ในประเทศเป็นปริมาณมากซึ่งจะทำให้หาวัตถุดิบได้ง่ายในทุกฤดูกาล และมีราคาถูก การนำมาแปรรูปจึงช่วยเพิ่มมูลค่าของ วัตถุดิบทางการเกษตรช่วยลดปัญหาการส่งออกในราคาถูกและภาวะล้นตลาดได้ และเกิดผลิตภัณฑ์ใหม่ที่น่ารับประทานสามารถทดแทนสินค้าที่นำเข้าจากต่างประเทศ หรือพัฒนาจนสามารถส่งออกไปยังต่างประเทศได้ ผลการคัดเลือกวัตถุดิบอาจเปลี่ยนแปลงได้ ขึ้นกับเกณฑ์ที่ตั้ง และในช่วงเวลาที่แตกต่างกันวัตถุดิบชนิดเดียวกันก็อาจมีความเหมาะสมหรือไม่ก็ได้ ขึ้นกับปัจจัยหลายประการ เช่น ภาวะทางการตลาด คุณภาพของวัตถุดิบ เป็นต้น

จากผลการทดลองคัดเลือกวัตถุดิบ พบว่าวัตถุดิบส่วนใหญ่สามารถนำมาใช้ได้ แต่วัตถุดิบที่ผ่านการคัดเลือกตามเกณฑ์ที่ตั้ง ได้แก่ ข้าว ข้าวโพด ลูกเดือย ถั่วเขียว ถั่วเหลือง ถั่วลิสง ถั่วแดงหลวง งา มะพร้าว เมล็ดทานตะวัน กล้วย มะละกอ และสับปะรด รวมทั้งสิ้น 13 ชนิด

ในการคัดเลือก ข้าวมีความเหมาะสม เนื่องจากเป็นพืชเศรษฐกิจหลักที่มีการเพาะปลูกทุกภูมิภาคของประเทศ มีการส่งออกร้อยละ 35-40 ของผลผลิต (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2535) เป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรตราคาถูก มีการบริโภคเป็นอาหารหลักและสามารถแปรรูปได้หลายแบบ เช่น ข้าวเม่า ข้าวพอง

ข้าวโพดเป็นธัญชาติที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศ ปลูกได้หลายสภาพภูมิอากาศ ใช้เป็นอาหารของคนและสัตว์ ทำผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้มากมายเช่น แป้ง น้ำตาล น้ำมัน (ไสว พงษ์เก่า, 2534) โดยทั่วไปคนไทยนำมาปิ้ง ต้ม คั่ว

ลูกเดือยเป็นธัญชาติชนิดหนึ่งที่รัฐบาลสนับสนุนให้ปลูกเพื่อบริโภคภายในประเทศและส่งออก (นิรนาม, 2528) มีปริมาณโปรตีน และไขมันสูงกว่าข้าวสาลีและข้าวเจ้า (กรมอนามัย, 2530) มีการบริโภคทั่วไปแต่วิธีการบริโภคค่อนข้างจำกัด ส่วนใหญ่ใช้ทำขนมหวาน

ถั่วเขียวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของไทย มีการบริโภคภายในประเทศโดยเฉลี่ยถึงปีละ 2 กิโลกรัมต่อคน ในรูปต่างๆ เช่น ถั่วงอก วุ้นเส้น แป้ง มีการส่งออกต่างประเทศประมาณร้อยละ 60 (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2535) มีปริมาณโปรตีนสูง (กรมอนามัย, 2533) สามารถใช้เสริมคุณค่าโปรตีนจากธัญชาติเพื่อให้มีความสมดุลของกรดอะมิโนมากขึ้น

ถั่วแดงหลวงเป็นถั่วแดงพระราชทานมีขนาดเมล็ดโตสีแดง ปลูกบนที่สูงในภาคเหนือ มีปริมาณไม่มากถึงขั้นส่งออกต่างประเทศ แต่มีการส่งเสริมให้ปลูก และมีคุณค่าทางอาหารสูงเช่นเดียวกับถั่วเขียว (สมเกียรติ ฐิตะฐาน และคณะ, 2522)

ถั่วเหลืองเป็นวัตถุดิบประกอบอาหารที่มีคุณภาพเด่นกว่าเมล็ดพืชอื่น ๆ คือมีปริมาณไขมันและโปรตีนสูง ราคาถูก สามารถปลูกและหาได้ง่ายในประเทศ รัฐบาลจึงเร่งรัดและส่งเสริมให้มีการผลิตมากขึ้นจนเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญอีกชนิดหนึ่ง(กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2535)

ถั่วลิสงได้รับการขนานนามว่าเนื้อจากพืช เพราะมีโปรตีนสูงถึง 26 % และโปรตีนสามารถย่อยและดูดซึมได้ 90% (วิทิต วัฒนาวิบูล, 2528) ปลูกแพร่หลายทั่วประเทศผลผลิตส่วนใหญ่ใช้บริโภคภายในประเทศ ส่งออกต่างประเทศประมาณร้อยละ 10 แต่เนื่องจากวัตถุดิบอาหารสัตว์ในประเทศไม่เพียงพอจึงต้องนำเข้ากากถั่วลิสง (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2535)

งาเป็นพืชน้ำมันที่คนไทยปลูกและบริโภคมาเป็นเวลานานมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงได้แก่ไลโนเลอิก ซึ่งช่วยควบคุมระดับโคเลสเตอรอล งาที่ผลิตได้ประมาณร้อยละ 55 ส่งออกไปยังต่างประเทศ (นิรนาม, 2529)

มะพร้าวมีการปลูกทั่วไปในประเทศ นอกจากใช้ในอุตสาหกรรมน้ำมันแล้ว ปัจจุบันยังนิยมใช้ในขนมอบ เช่น เค้ก คุ้กกี้ โดนัท มะพร้าวมีปริมาณไขมันสูงและส่วนใหญ่เป็นไขมันอิ่มตัว (อุ่นจิตร ภักดีไทย, 2529; Williams, 1986)

เมล็ดทานตะวันเดิมนิยมใช้เลี้ยงสัตว์แต่ปัจจุบันมีการผลิตเพื่อบริโภคเนื่องจากเป็นอาหารที่มีคุณค่าสูง มีปริมาณไขมันไม่อิ่มตัวมาก อุดมไปด้วยวิตามินและแร่ธาตุ (Williams, 1986)

ผลไม้ได้แก่กล้วย มะละกอ และสับปะรดเป็นผลไม้ที่มีราคาถูก ผลิตได้เป็นปริมาณมากตลอดปีและนิยมบริโภคทั่วไป จึงมีความเหมาะสมในการนำมาใช้เป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์เพื่อเพิ่มรสชาติและสีสัน

<u>ศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมในการแปรรูปวัตถุดิบโดยกระบวนการต่างๆกัน</u>

1. กระบวนการอบแห้ง

1.1 ข้าวโพด

จากการทดลองนำข้าวโพดมาใช้ในการผลิตมูสลี เลือกใช้ข้าวโพดหวานพิเศษพันธุ์ฮาวายเอี้ยนชูการ์ เนื่องจากมีรสหวาน กลิ่นรสดี และมีสีเหลืองสวย เป็นแหล่งของวิตามินเอ (กรมอนามัย, 2530) นำมาศึกษากระบวนการแปรรูปโดยอบด้วยลมร้อนจาก tray drier ซึ่งใช้ความร้อนไม่สูง จึงต้องทำให้ข้าวโพดสุกก่อนเพื่อให้มีความเหมาะสมต่อการบริโภค และยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ในการทดลองเลือกวิธีนึ่งด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 92-94 °C 10 นาที เวลาที่ใช้นี้นอกจากจะทำให้ข้าวโพดสุกที่ได้มีกลิ่นรสดีแล้ว ยังเพียงพอต่อการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ peroxidase (วรนุช ครุฑโภไคย, 2526) ซึ่งทำให้เกิด off flavor ในข้าวโพดและทนต่อความร้อนสูงกว่าเอนไซม์ตัวอื่นในข้าวโพด (Vetter, Nelson and Steinberg, 1958; Yamamoto, Steinberg and Nelson, 1962; Gardener, Inglett and Anderson, 1969) จากนั้นแยกเมล็ดออกจากซังและนำไปอบที่อุณหภูมิ

ต่างกัน 3 ระดับ คือ 60, 80 และ 100 °C พบว่าที่อุณหภูมิต่ำต้องใช้ระยะเวลาอบนาน และข้าวโพดอบที่ได้ที่ทุกระดับอุณหภูมิ มีเนื้อสัมผัสค่อนข้างแข็ง จึงทดลองนำข้าวโพดไปผ่านลูกกลิ้งคู่ที่มีระยะระหว่างช่อง 2 มิลลิเมตรก่อนนำไปอบ ทำให้ย่นระยะเวลาการอบ และข้าวโพดอบที่ได้มีเนื้อสัมผัสดีขึ้น แต่ทำให้ต้นอ่อน (germ) ของข้าวโพดหลุดออกจากเมล็ด และข้าวโพดบางเมล็ดแตกและเสียรูปร่างไป อาจมีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค ในการทดลองจึงเปรียบเทียบผลจากการนำข้าวโพดไปผ่านลูกกลิ้งก่อนอบกับไม่ผ่าน และแปรอุณหภูมิการอบเป็น 3 ระดับ ทำการทดลองและวิเคราะห์ผลแบบ factorial randomized complete block design เพื่อเลือกภาวะที่ดีที่สุดในการแปรรูป

จากการทดลองพบว่า ระยะเวลาการอบเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์แต่ไม่ได้ทำการศึกษาเนื่องจากถ้าแปรระยะเวลาและใช้อุณหภูมิการอบในระดับต่ำก็อาจทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความชื้นสูงมากจนไม่สามารถเก็บเป็นอาหารแห้งได้และถ้าเวลาและอุณหภูมิสูงก็จะทำให้ผลิตภัณฑ์ไหม้ จึงใช้ความชื้นเป็นเกณฑ์ในการอบโดยอบจนกระทั่งความชื้นต่ำกว่า 10 % (wet basis) แล้วนำข้าวโพดอบไปเป่าด้วยลมเพื่อแยกไหมและชังชิ้นเล็ก ๆ ที่ติดมา จากนั้นนำมาทดสอบทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 2)

การนำข้าวโพดไปผ่านลูกกลิ้งก่อนอบ และอุณหภูมิที่ใช้อบ มีผลต่อระดับคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสทุกลักษณะ และอิทธิพลร่วมของตัวแปรทั้งสองมีผลต่อ สี กลิ่นรส และรสชาติ ($p \leq 0.05$)(ตารางที่ 3)ในด้านสีข้าวโพดอบที่อุณหภูมิต่ำได้รับคะแนนสูงกว่าอบที่อุณหภูมิสูง และการนำข้าวโพดไปผ่านลูกกลิ้งก่อนอบทำให้คะแนนสูงขึ้น (ตารางที่ 4) ระดับคะแนนด้านสีที่แตกต่างกันส่วนหนึ่งมาจากปฏิกิริยา Maillard ซึ่งเป็น nonenzymatic browning เกิดจาก carbonyl และ free amino group ทำปฏิกิริยากันแล้วสร้าง brown pigment (Meyer, 1978) ที่อุณหภูมิและเวลาสูงขึ้นสีจะคล้ำมากขึ้น (Lee, 1983) ข้าวโพดที่ผ่านลูกกลิ้งก่อนอบใช้ระยะเวลาอบแห้งน้อยกว่าที่ไม่ผ่านลูกกลิ้งทำให้สีคล้ำน้อยกว่าการยอมรับจึงสูงขึ้น ส่วนข้าวโพดอบที่อุณหภูมิสูงถึงแม้ว่าจะใช้เวลาน้อยกว่าที่อุณหภูมิต่ำ แต่อุณหภูมิที่สูงขึ้นในช่วงที่ศึกษาทำให้สีคล้ำมากกว่าการยอมรับจึงลดลง

การนำข้าวโพดไปผ่านลูกกลิ้งก่อนอบช่วยลดเวลาการอบแห้ง เนื่องจากเยื่อหุ้มเมล็ดแตกออกทำให้อัตราการระเหยน้ำสูงขึ้น และเมื่ออบแห้งแล้วเยื่อหุ้มเมล็ดไม่เกาะกับใบเลี้ยง ทำให้ความเข้มของสีเมล็ดหลังอบแห้งอ่อนกว่าการอบโดยไม่ผ่านลูกกลิ้งเล็กน้อย มีส่วนช่วยให้ความชอบด้านสีสูงขึ้นด้วย

ในด้านลักษณะปรากฏ ข้าวโพดที่ผ่านลูกกลิ้งก่อนอบได้รับคะแนนมากกว่าที่ไม่ผ่านลูกกลิ้ง (ตารางที่ 5) เนื่องจากผู้ทดสอบยอมรับลักษณะของเมล็ดที่เสียรูปร่างไปเล็กน้อย ต้นอ่อนหลุดออกจากเมล็ดแต่เมล็ดไม่เหี่ยวย่นมากนักมากกว่า เมล็ดที่ไม่ถูกทำลายแต่เหี่ยวย่นมากจากการเสียน้ำ อุณหภูมิมีผลต่อลักษณะปรากฏโดยการอบที่ 100 °C ได้ระดับคะแนนต่ำกว่าที่ 60 และ 80 °C อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากเกิดปฏิกิริยา browning มากกว่าทำให้เกิดสีที่ไม่ต้องการ ส่งผลให้ความชอบด้านลักษณะปรากฏต่ำลง (ตารางที่ 6)

ในด้านเนื้อสัมผัสพบว่าข้าวโพดที่ผ่านลูกกลิ้งก่อนอบได้รับคะแนนมากกว่าไม่ผ่านลูกกลิ้ง (ตารางที่ 5) เนื่องจากการผ่านลูกกลิ้งมีผลต่ออัตราการระเหยน้ำดังที่ได้กล่าวมาแล้วทำให้เนื้อสัมผัสแตกต่างกัน ส่วนอุณหภูมิการอบก็มีผลต่ออัตราการระเหยน้ำเช่นกัน โดยที่อุณหภูมิการอบสูงจะทำให้การระเหยน้ำสูงเนื้อสัมผัสจึงกรอบแข็งมากขึ้น (Haard, 1985) (ตารางที่ 6) แต่ที่อุณหภูมิ 80 และ 100 °C เนื้อสัมผัสที่ได้ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) จากการทดลองเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่ได้ค่อนข้างเหนียวและแข็งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและกายภาพของโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ในอาหาร เช่น แป้ง โปรตีน ซึ่งถูกระเหยน้ำที่อยู่ล้อมรอบออกไป (Haard, 1985)

การอบทำให้มีการสูญเสียกลิ่นรสที่มีอยู่ตามธรรมชาติ และมีการสร้างกลิ่นใหม่จากปฏิกิริยา Maillard และปฏิกิริยาเคมีอื่น ๆ (Haard, 1985) ส่วนรสชาติอาจเปลี่ยนแปลงจากน้ำตาลรีดิวซ์ถูกนำมาใช้ในปฏิกิริยา Maillard (Meyer, 1978) ทำให้ความหวานลดลง ภาวะการอบจึงมีผลต่อกลิ่นรสและรสชาติเช่นเดียวกับสี คือที่อุณหภูมิการอบต่ำได้รับคะแนนสูงกว่าที่อุณหภูมิสูง และการผ่านลูกกลิ้งก่อนอบทำให้ระดับคะแนนสูงขึ้น

จากความแตกต่างของสี ลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส กลิ่นรส และรสชาติของข้าวโพดอบที่ภาวะต่างกัน มีผลให้การยอมรับรวมของผลิตภัณฑ์แตกต่างกัน โดยข้าวโพดที่ผ่านลูกกลิ้งก่อนอบได้รับการยอมรับสูงกว่าที่ไม่ผ่านลูกกลิ้ง และอุณหภูมิการอบที่สูงเกินไป คือ 100 °C ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะที่ไม่ต้องการในด้านสี ลักษณะปรากฏ กลิ่นรสและรสชาติจึงมีผลให้การยอมรับรวมต่ำ แต่สำหรับการอบที่ 60 และ 80 °C การยอมรับรวมไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) จึงเลือกภาวะการอบที่ 80 °C โดยนำข้าวโพดไปผ่านลูกกลิ้งก่อนอบไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไป ซึ่งนอกจากผลการยอมรับรวมจะสูงที่สุดแล้ว (ตารางที่ 2) ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านอื่น ๆ ก็สูงเช่นเดียวกัน และใช้ระยะเวลาการอบแห้งสั้นกว่าที่ 60 °C ทำให้ต้นทุนการผลิตลดลง แต่ถ้าพิจารณาจะพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมน่าจะเป็น 70 °C เนื่องจากที่ 80 °C คะแนนด้านสีลดลงแต่ที่ 60 °C ต้องใช้ระยะเวลาการอบนาน ส่วนลักษณะอื่น ๆ ไม่แตกต่างกันมากนัก ปัญหาในด้านเนื้อสัมผัสที่ค่อนข้างแข็งของผลิตภัณฑ์อาจแก้ไขโดยเลือกใช้ข้าวโพดที่อ่อนมากขึ้นแต่จะทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น เนื่องจาก % yield ลดลง เพราะในข้าวโพดอ่อนมีปริมาณน้ำมากขึ้น และน้ำหนักเนื้อข้าวโพดต่อฝักลดลง และอาศัยหลักที่ว่าอัตราการระเหยน้ำมีผลต่อเนื้อสัมผัสอาจใช้วิธีระเหยน้ำอย่างรวดเร็วในช่วงต้นของการอบ โดยอบที่อุณหภูมิสูงมากเป็นเวลาสั้น ๆ แล้วลดอุณหภูมิเพื่อไม่ให้ผลิตภัณฑ์ได้รับความร้อนสูงเกินไป

1.2 มะพร้าว

จากการศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการแปรรูปมะพร้าว โดยเลือกใช้ทั้งมะพร้าวแก่และมะพร้าวทึนทึก พบว่ามะพร้าวแก่ให้กลิ่นรสที่ดีหลังการอบแห้งแต่มีรสฝืด ในขณะที่มะพร้าวทึนทึกกลิ่นรสอ่อนแต่มีรสหวานเล็กน้อย เมื่อนำมะพร้าวทั้งสองชนิดมาแปรรูปดังขั้นตอนข้อ 2.1.2 บทที่ 3 เพื่อเลือกความแก่ที่เหมาะสมของวัตถุดิบในขั้นตอนการแปรรูปหลังจากปอกเปลือกและหั่นมะพร้าวแล้ว นำมานึ่งเพื่อทำลายเชื้อจุลินทรีย์และเอนไซม์ไลเปส (lipase) (กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2523;

อุ่นจิตร ภักดีไทย, 2529) เพื่อป้องกันการเหม็นหืนและทำให้เก็บได้นาน จากนั้นนำมาอบที่อุณหภูมิ 60, 80 และ 100 °C เพื่อเลือกอุณหภูมิที่เหมาะสม โดยช่วงอุณหภูมิที่ศึกษาทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีขาวซีดไปจนถึงน้ำตาล และมีกลิ่นรสแตกต่างกันเล็กน้อย สำหรับระยะเวลาการอบแห้ง พิจารณาจากความชื้นของผลิตภัณฑ์สุดท้าย ด้วยเหตุผลเดียวกับในข้าวโพดอบ แต่ในมะพร้าวอบจนกระทั่งความชื้นต่ำกว่า 3 % (wet basis)เพื่อให้เก็บได้นานโดยไม่ขึ้นรา (กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2523; Karmas and Harris, 1988) จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปทดสอบทางประสาทสัมผัส(ตารางที่ 7) วิเคราะห์ผลการทดลองแบบ factorial randomized complete block design (ตารางที่ 8) พบว่าระดับความแก่ของมะพร้าวที่ทำการศึกษาไม่มีผลต่อระดับคะแนนด้านสี เนื้อสัมผัส กลิ่นรส รสชาติ และการยอมรับรวม ($p>0.05$) แต่อุณหภูมิการอบที่เพิ่มขึ้นทำให้คะแนนด้านสี เนื้อสัมผัส และการยอมรับรวมสูงขึ้น ($p\leq0.05$) โดยไม่มีผลต่อคะแนนด้านกลิ่นรสและรสชาติ ($p>0.05$)

เมื่อพิจารณาคะแนนด้านสี อุณหภูมิการอบที่สูงขึ้นทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีน้ำตาลมากขึ้น จากปฏิกิริยา Maillard (Lee, 1983) เช่นเดียวกับในข้าวโพดอบและผู้ทดสอบชิมชอบผลิตภัณฑ์ที่มีสีน้ำตาลอ่อนมากกว่าสีขาวซีด จึงทำให้คะแนนด้านสีสูงขึ้นในมะพร้าวที่ผ่านการอบที่ 80 และ 100 °C และแตกต่างจากการอบที่ 60 °C ($P\leq0.05$) (ตารางที่ 9)

ในด้านเนื้อสัมผัสซึ่งมีผลมาจากการระเหยของน้ำ ถ้าอุณหภูมิการอบสูงจะทำให้แข็ง (Haard, 1985) แต่เนื่องจากมะพร้าวที่อบมีขนาดชิ้นบางมาก (1 มิลลิเมตร) ถ้าเนื้อสัมผัสแข็งจะทำให้กรอบขึ้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้เมื่ออบที่อุณหภูมิสูงขึ้นจึงได้รับการยอมรับมากกว่าการอบที่อุณหภูมิต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$)(ตารางที่ 9)

ในด้านกลิ่นรสและรสชาติ ความแก่ของมะพร้าว และอุณหภูมิการอบไม่มีผลต่อระดับคะแนนอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องจากมะพร้าวทึนทึกและมะพร้าวแก่มีความแก่ไม่แตกต่างกันมากนักทำให้กลิ่นรสและรสชาติใกล้เคียงกันโดยมะพร้าวทั้งสองชนิดหลังอบมีความหวานเล็กน้อย และหอมมันตามปกติของมะพร้าวอบทั่วไป ส่วนอุณหภูมิการอบที่สูงขึ้นจะทำให้ความหอมมันเพิ่มขึ้นเล็กน้อยและการอบที่อุณหภูมิต่ำผลิตภัณฑ์ที่ได้หอมหวานเล็กน้อยลักษณะที่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อยนี้ ผู้ทดสอบชิมอาจแยกความแตกต่างไม่ได้ และถึงแม้ว่าจะแยกได้แต่มีความชอบในด้านกลิ่นรสและรสชาติไม่แตกต่างกันก็เป็นได้

มะพร้าวที่อบที่อุณหภูมิสูงขึ้นได้รับระดับคะแนนการยอมรับรวมสูงขึ้นโดยการอบที่ 80 และ 100 °C ได้รับระดับคะแนนสูงและไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) (ตารางที่ 9) ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากความชอบในด้านสีและเนื้อสัมผัสที่สูง แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาระดับคะแนนเฉลี่ยการยอมรับรวมของมะพร้าวที่มีความแก่ต่างกัน และอบที่อุณหภูมิต่าง ๆ (ตารางที่ 7) พบว่ามะพร้าวทินทึกที่ผ่านการอบที่ 100 °C ได้รับคะแนนสูงสุดจึงเลือกใช้ภาวะนี้ในการศึกษาขั้นต่อไป แต่ในการผลิตระดับอุตสาหกรรมอาจเลือกใช้มะพร้าวแก่แทนมะพร้าวทินทึกและอาจอบที่อุณหภูมิ 80-100 °C ได้ ทั้งนี้เนื่องจากการยอมรับรวมไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$)

2. กระบวนการคั่ว

2.1 งาขาว

จากการศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการแปรรูปงาขาวเลือกใช้วิธีคั่วเพราะเป็นวิธีที่ง่ายทำให้งาขาวสุกได้ สามารถลดปริมาณ Phytate ได้มาก (ทรงศักดิ์ ศรีอนุชาต, 2534) และผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความชื้นต่ำทำให้เก็บได้นาน เนื่องจากงาขาวที่นำมาแปรรูปอาจมีสิ่งแปลกปลอมปะปนมา จึงต้องทำการคัดเลือก และล้างน้ำเพื่อให้วัตถุดิบสะอาดขึ้น ทำให้สะเด็ดน้ำแล้วคั่วโดยแปรอุณหภูมิ 3 ระดับคือ 135, 150 และ 165 °C ที่ช่วงอุณหภูมินี้ทำให้งาคั่วมีกลิ่นรสดี ในการทดลองไม่ทราบระดับความสุกของงาขาวที่ผู้บริโภคต้องการจึงแปรระยะเวลาในการคั่วทีละระดับอุณหภูมิ นำตัวอย่างที่ได้มาทดสอบทางประสาทสัมผัส จากการทดลองมีการแปรอุณหภูมิและเวลาในการคั่ว แต่ไม่ทำการทดลองแบบ factorial design เนื่องจากถ้ามีการแปรอุณหภูมิและเวลาในระดับต่ำอาจทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่สุกทำให้ไม่เหมาะสมต่อการทดสอบชิม และเช่นเดียวกันถ้ามีการแปรเวลาและอุณหภูมิในระดับสูงก็จะทำให้ผลิตภัณฑ์ไหม้จนไม่สามารถชิมได้ แต่ถ้ากำหนดช่วงอุณหภูมิและเวลาให้แคบลงก็จะทำให้ได้ข้อมูลที่ครอบคลุมช่วงแคบ และผู้ทดสอบอาจจะไม่สามารถแยกความแตกต่างของตัวอย่างที่ทดสอบได้ จึงทำการทดลองแบบ randomized complete block design ทีละระดับอุณหภูมิ

ในการทดลองแปรระยะเวลาการคั่วที่อุณหภูมิต่าง ๆ พบว่าระยะเวลามีผลต่อระดับคะแนนทางประสาทสัมผัสทุกลักษณะที่ทำการทดสอบอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.050$) (ตารางที่ 10-12) โดยที่อุณหภูมิ 135 °C ระยะเวลาการคั่ว 24 นาที ได้รับคะแนนในด้านสี เนื้อสัมผัส กลิ่นรส รสชาติ และการยอมรับรวมสูงที่สุด (ตารางที่ 10) ในด้านสีระยะเวลาคั่วที่นานขึ้นจะทำให้สีของผลิตภัณฑ์เข้มขึ้น ส่วนหนึ่งเกิดจากปฏิกิริยา Maillard (Valiente et al., 1994) ตัวอย่างที่ผ่านการคั่วเป็นเวลา 24, 32 และ 40 นาที ได้รับการยอมรับสูงและไม่แตกต่างกัน โดยตัวอย่างทั้งสามมีสีน้ำตาลอ่อน ทั้งนี้อาจเป็นพราะผู้ทดสอบคุ้นเคยกับงาขาวคั่วที่มีสีน้ำตาล ทำให้ตัวอย่างที่ผ่านการคั่วเป็นเวลา 8 และ 16 นาที ได้รับการยอมรับต่ำกว่าเพราะมีสีค่อนข้างซีดขาว

เมื่อพิจารณาในด้านเนื้อสัมผัสที่ระยะเวลาการคั่วมากกว่าและน้อยกว่า 24 นาที ระดับคะแนนลดลงเล็กน้อยและทั้ง 4 ตัวอย่างไม่แตกต่างกัน($p>0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องจากเนื้อสัมผัสของงาขาวที่คั่วที่เวลาต่าง ๆ มีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย โดยที่ระยะเวลาการคั่วสั้นเนื้อสัมผัสจะกรอบเหนียว และเมื่อคั่วนานขึ้นความเหนียวจะลดลงทำให้กรอบมากขึ้นแต่ถ้าคั่วนานมากงาจะเริ่มไหม้ทำให้ระดับคะแนนลดลง

ในด้านกลิ่นรส เมื่อใช้เวลาในการคั่วมากขึ้น น้ำมันที่อยู่ในเมล็ดงามีการเปลี่ยนแปลงและให้กลิ่นรสที่ดีขึ้น (Manley, Vallon and Erickson, 1974)แต่เมื่อคั่วนานเกินไปจะทำให้เมล็ดงาเริ่มไหม้ระดับคะแนนจึงลดลง จากการคั่วงาขาวที่อุณหภูมิ 135 °C ที่เวลาต่าง ๆ ผู้ทดสอบให้คะแนนกลิ่นรสในระดับหอมเล็กน้อย (คะแนน 20-24 จากคะแนนเต็ม 30) และที่ระยะเวลาการคั่ว 24 นาที ได้ระดับคะแนนสูงที่สุด (คะแนน 23.60)

สำหรับรสชาติของงาขาวคั่วที่อุณหภูมิ 135°C ที่ระยะเวลา 8-40 นาที พบว่ามีการสุกปกติไม่ไหม้หรือดิบ (คะแนน 21-24 จากคะแนนเต็ม 30) และที่เวลาการคั่ว 24 นาที ให้รสชาติดีที่สุด (คะแนน 23.47)

เมื่อพิจารณาผลการยอมรับรวม พบว่าการคั่วงาขาวที่อุณหภูมิ 135 °C เป็นเวลา 24 นาที ได้รับคะแนนสูงที่สุดสอดคล้องกับผลทางประสาทสัมผัสด้านอื่น ๆ จึงเลือกการคั่วงาขาวที่ภาวะนี้ ไปเปรียบเทียบกับภาวะที่ดีที่สุดของการคั่วที่อุณหภูมิ 150 และ 165 °C โดยพิจารณาจากการยอมรับรวมเป็นหลัก สำหรับผลการทดสอบทางประสาท

สัมผัสของงาขาวคั่วที่อุณหภูมิ 150 และ 165 °C ระยะเวลาต่าง ๆ ก็ให้ผลคล้ายกับการคั่วที่ 135 °C และมีระยะเวลาที่เหมาะสมในการคั่วที่ 150 และ 165 °C คือ 8 และ 4 นาทีตามลำดับ

เมื่อนำตัวอย่างที่ดีที่สุดในการคั่วที่อุณหภูมิ 135, 150 และ 165 °C มาเปรียบเทียบกัน โดยพิจารณาการยอมรับรวมเพียงอย่างเดียว พบว่าระดับคะแนนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) (ตารางที่ 13) แต่การคั่วที่อุณหภูมิ 150 °C ได้รับการยอมรับสูงที่สุด จึงเลือกภาวะนี้ไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไป นอกจากภาวะดังกล่าวจะได้รับคะแนนสูงสุดแล้วยังมีความเหมาะสมในแง่การนำไปใช้คือ ที่ 150 °C ใช้เวลาคั่วเพียง 8 นาที ถ้าลดอุณหภูมิการคั่วลง 15 °C จะต้องใช้เวลาเพิ่มขึ้นถึง 3 เท่า ในขณะที่ถ้าเพิ่มอุณหภูมิขึ้น 15 °C จะช่วยลดเวลาลงได้เพียงครึ่งเดียว และการคั่วที่อุณหภูมิสูงจะทำให้ oxidative stability ของน้ำมันลดลง คุณภาพของผลิตภัณฑ์เมื่อเก็บไว้จะลดลงรวดเร็วกว่าการคั่วที่อุณหภูมิต่ำกว่า ถึงแม้ว่าที่เวลาเริ่มต้นจะให้กลิ่นรสที่ดีก็ตาม (Yen, Shyu, and Lin, 1986) จึงไม่เลือกการคั่วที่อุณหภูมิ 165 °C ไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไป การนำภาวะที่เลือกได้ไปใช้ในการผลิตอาจจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงภาวะที่เหมาะสมไปบ้างขึ้นกับการถ่ายเทความร้อนขณะคั่ว เนื่องจากในการทดลองนี้คั่วเป็นปริมาณน้อยทำให้มีการถ่ายเทความร้อนได้ดีระยะเวลาการคั่วจึงค่อนข้างสั้น ในทางปฏิบัติถ้าใช้เครื่องคั่วอาจต้องตั้งอุณหภูมิเครื่องมากกว่า 150 °C มาก เพื่อให้อุณหภูมิของงาขณะคั่วขึ้นถึง 150 °C และเวลาที่ใช้ในการคั่ว แต่ละครั้งอาจต้องมีการเปลี่ยนแปลงไปบ้าง เนื่องจากความชื้นของวัตถุดิบเริ่มต้นที่นำมาใช้ในการผลิตไม่เท่ากัน

2.2 ถั่วลิสง

ในการแปรรูปถั่วลิสงเลือกใช้การคั่วเนื่องจากเป็นวิธีการที่ง่ายและใช้กันอยู่ทั่วไปให้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะตามต้องการ ภาวะในการผลิตถั่วลิสงคั่วไม่แน่นอนขึ้นกับวัตถุดิบ จึงมักใช้วิธีการคั่วแบบกะ (batch) โดยควบคุมอุณหภูมิประมาณ 427 °C ซึ่งจะต้องใช้เวลา 40-60 นาที กว่าที่อุณหภูมิของถั่วลิสงจะถึง 160 °C เวลาและอุณหภูมิการคั่วจึงขึ้นกับเครื่องมือ ปริมาณที่คั่ว ความชื้นเริ่มต้น และขนาดของวัตถุดิบ (Considine and Considine, 1982) ในการทดลองหาภาวะการคั่วถั่วลิสงจึงเป็น

เพียงการหาระดับความสุกที่ผู้บริโภคต้องการ เพื่อเป็นแนวทางในการหาภาวะการผลิตในระดับที่ใหญ่ขึ้น โดยในการทดลองมีการคั่วในปริมาณน้อยการถ่ายเทความร้อนจากภาชนะที่คั่วไปยังเมล็ดถั่วจะดี ซึ่งมีผลให้อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการคั่วค่อนข้างต่ำ(ปริมาณที่ใช้ในการคั่วทำให้เมล็ดถั่วเรียงตัวชั้นเดียวที่ก้นภาชนะ)

การคั่วถั่วลิสงมีขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบก่อนคั่ว เช่นเดียวกับงาขาวด้วยเหตุผลเดียวกัน ในการคั่วแปรอุณหภูมิและเวลาดังตารางที่ 14 นำตัวอย่างที่ได้มาทดสอบทางประสาทสัมผัส ได้ผลดังตารางที่ 15 จากผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิและเวลาในการคั่วมีผลต่อระดับคะแนนทางประสาทสัมผัสทุกลักษณะ ($p \leq 0.05$) ในด้านสีเมื่อเริ่มคั่วเมล็ดถั่วมีสีขาวซีดเมื่อคั่วนานขึ้นเมล็ดถั่วจะเริ่มเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลทีละน้อย ซึ่งความสม่ำเสมอของสีขึ้นกับการคนขณะคั่วและอุณหภูมิที่ใช้ ในการทดลองมีการคนขณะคั่วตลอดเวลาทุกภาวะที่ทดลอง เมื่ออุณหภูมิในการคั่วสูงขึ้นถึง 180 °C ความสม่ำเสมอของสีถั่วคั่วจะลดลง คะแนนในด้านสีของถั่วคั่วที่ 150 °C และ170 °C มีระดับสูงเนื่องจากมีสีน้ำตาลอ่อนค่อนข้างสม่ำเสมอในขณะที่ ที่ 160 °C มีสีค่อนข้างขาวซีด เนื่องจากใช้เวลาคั่วน้อยและที่ 180 °C มีสีน้ำตาลเข้มไม่สม่ำเสมอจากการไหม้ จึงมีผลให้ระดับคะแนนต่ำลง ในด้านเนื้อสัมผัสการคั่วที่ 160 °C ได้รับคะแนนต่ำกว่าที่อุณหภูมิอื่น จากการใช้เวลาที่ไม่เพียงพอในการคั่วทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ค่อนข้างนิ่ม และกรอบน้อยกว่าตัวอย่างอื่น ในด้านกลิ่นรสก็ให้ผลคล้ายกับด้านเนื้อสัมผัส กลิ่นรสในถั่วลิสงคั่วเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสารโมเลกุลเล็กมากกว่าการเปลี่ยนแปลงของสารโมเลกุลใหญ่จำพวกแป้งและโปรตีน (Mason and Waller, 1964) เมื่อได้รับความร้อนกลิ่นรสจะพัฒนาขึ้น การคั่วที่ 160 °Cจึงได้ระดับคะแนนต่ำกว่าการคั่วที่ภาวะอื่น

การคั่วจะทำให้ปริมาณน้ำตาลลดลง ซึ่งคาดว่าเกิดจากการนำน้ำตาลไปใช้ในปฏิกิริยา Maillard (Valiente et al., 1994)การคั่วถั่วลิสงที่อุณหภูมิและเวลาสูงอาจทำให้ปริมาณน้ำตาลในถั่วคั่วลดลงมากกว่าที่อุณหภูมิและเวลาต่ำ จึงมีผลให้ถั่วคั่วที่ 180 °C 10 นาที ได้รับคะแนนด้านรสชาติต่ำกว่าการคั่วที่ภาวะอื่น ($p \leq 0.05$) ส่วนการยอมรับรวมเป็นผลมาจากสี เนื้อสัมผัส กลิ่นรส และรสชาติที่แตกต่างกันดังที่กล่าวมา ทำให้การคั่วที่ 150 °C 18 นาที ได้รับการยอมรับสูงที่สุด การคั่วที่ 170 °C 10 นาที ได้รับการยอมรับสูงเช่นกันและไม่แตกต่างจากที่ 150 °C แต่การคั่วที่ 160 °C

10 นาทีใช้เวลาคั่วไม่เพียงพอและที่ 180 °C 10 นาที ใช้เวลาการคั่วมากเกินไป ทำให้การยอมรับรวมต่ำลง ในการทดลองขั้นต่อไปจึงเลือกใช้การคั่วที่ 150 °C เป็นเวลา 18 นาที เพราะให้ผลการยอมรับรวมสูงที่สุด

3. กระบวนการ puff

การ puff และการคั่วเป็นกระบวนการที่เกือบจะเหมือนกันแต่ volume expansion ของการ puff สูงกว่าการคั่ว(Srivastav, Das and Prasad, 1994) การขยายตัวของวัตถุดิบขณะ puff เกิดจากการระเหยน้ำอย่างรวดเร็ว ขณะสัมผัสกับอุณหภูมิสูงหรือการลดลงอย่างทันทีของความดัน (Antonio and Julliano, 1973; Guraya and Toledo, 1994) ปริมาตรของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการ puff ขึ้นกับ gelatinization ของแป้ง ความชื้นเริ่มต้น ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ วิธีการเตรียมวัตถุดิบก่อน puff อุณหภูมิและเวลาในการ puff (Lund, 1984; Guraya and Toledo, 1994)

การ puff เมล็ดพืชโดย puffing machine ซึ่งเป็นเครื่องคั่วเมล็ดพืชด้วยความดันสูง ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาตรเพิ่มขึ้น 4-6 เท่า ซึ่งความดันที่เหมาะสมในการ puff วัตถุดิบแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน โดยทั่วไปใช้ 70-140 ปอนด์/ตารางนิ้ว (ธีระ ทองเผือก, 2532)แต่ในงานวิจัยนี้ใช้การ puff ด้วย fluidized bed drier ที่อุณหภูมิสูง เนื่องจากสามารถประยุกต์ใช้เครื่องมือที่มีอยู่ได้ โดยใช้ลมร้อนจาก spray drier การ puff ด้วย hot air โดยวิธีนี้จะทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนสูง มีผลให้เกิดการระเหยน้ำอย่างรวดเร็ว (Tribelhorn, 1990) ในการทดลอง puff เมล็ดพืชด้วย hot air จะต้องมีการเตรียมวัตถุดิบให้เหมาะสมต่อการ puff ก่อนโดยทำให้สุกเพื่อให้แป้ง gelatinization จะได้มีส่วนช่วยในการกักไอน้ำไว้ภายในเมล็ดพืชให้มีความดันสูงขึ้นก่อนที่จะระเหยเพื่อให้เกิดการพองตัวของเมล็ด นอกจากนั้นการทำให้สุกมีส่วนช่วยทำลายสารพิษที่มีอยู่ตามธรรมชาติของเมล็ดพืช เพราะการ puff โดย hot air ใช้อุณหภูมิสูงเป็นเวลาสั้น ความร้อนไม่เพียงพอต่อการทำลายสารพิษและทำให้เมล็ดพืชสุก

3.1 ข้าว

ข้าวพองเป็นผลิตภัณฑ์จากข้าว มีลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัสและกลิ่นรสที่พิเศษ (Kelkar, Shastri and Rao, 1994) ในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ข้าวพอง การทำข้าวพองเลือกใช้ข้าวเม่าข้าวเจ้าเป็นวัตถุดิบเพราะผ่านการแปรรูปมาขั้นหนึ่งและมีขายทั่วไปในปริมาณมาก จึงไม่จำเป็นต้องหากระบวนการแปรรูปในขั้นนี้อีก การทำข้าวพองจากข้าวเม่า โดยทั่วไปใช้วิธีคั่วเพื่อให้ข้าวพอง แต่ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีการพองตัวไม่สม่ำเสมอจึงไม่เลือกใช้วิธีนี้ แต่ใช้วิธี puff ด้วย hot air ซึ่งให้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะการพองตัวและสีค่อนข้างสม่ำเสมอ จากการทดลองหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการ puff พบว่าสามารถใช้อุณหภูมิในช่วง 200-300 °C ได้ เพราะช่วงอุณหภูมินี้ให้ข้าวพองที่มีลักษณะพองกรอบ โดยอุณหภูมิที่ต่างกันก็ให้ลักษณะข้าวพองที่แตกต่างกัน ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 200 °C ข้าวพองที่ได้ไม่พองแต่จะแห้งและแข็งกระด้าง แต่ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 300 °C จะทำให้ข้าวพองไหม้ และมีสีเข้มมาก โดยเฉพาะที่ขอบของเมล็ดข้าว จึงแปรอุณหภูมิช่วง 200-300 °C เป็น 5 ระดับ และหาเวลาที่เหมาะสมต่อการ puff ที่อุณหภูมิต่าง ๆ (ตารางที่ 16) โดยพิจารณาจากสี เนื้อสัมผัส กลิ่นรส และรสชาติของผลิตภัณฑ์ที่ได้ พบว่าเมื่ออุณหภูมิการ puff สูงขึ้นเวลาที่เหมาะสมต่อการ puff จะลดลง จากนั้นนำเวลาที่เหมาะสมของแต่ละอุณหภูมิไปใช้ในการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการ puff นำตัวอย่างที่ได้มาทดสอบทางประสาทสัมผัสได้ผลดังตารางที่ 17

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่าอุณหภูมิการ puff ข้าวเม่ามีผลต่อสี เนื้อสัมผัส กลิ่นรส รสชาติ และการยอมรับรวมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในด้านสี ข้าวพองที่ผ่านการ puff ที่ 225 และ 250 °C ได้รับคะแนนสูง แต่ที่อุณหภูมิต่ำกว่านี้ (200 °C) ข้าวพองที่ได้มีสีซีด และที่อุณหภูมิสูงกว่านี้ (275,300 °C) ข้าวพองที่ได้จะมีสีเข้มที่บริเวณขอบเมล็ดทำให้ระดับคะแนนที่ได้รับลดลง การ puff ที่อุณหภูมิ 275 และ 300 °C ข้าวพองที่ได้ไหม้เล็กน้อยโดยเฉพาะที่บริเวณขอบเมล็ดและมีกลิ่นไหม้ ในด้านเนื้อสัมผัสเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นระดับคะแนนสูงขึ้นเนื่องจากแรงดันไอน้ำเพิ่มขึ้น ทำให้ข้าวพองตัวได้ดีขึ้น เนื้อสัมผัสจึงกรอบขึ้น แต่ที่อุณหภูมิสูงมากเกินไป (300 °C) จะทำให้ข้าวไหม้ก่อนที่จะพองเต็มที่ จึงต้องลดเวลาการ puff ลงทำให้ข้าวพองได้ไม่เต็มที่ระดับคะแนนจึงต่ำลง

ในด้านกลิ่นรสและรสชาติให้ผลคล้ายกับในด้านสีคือ ที่อุณหภูมิสูง(275,300°C) ระดับคะแนนลดลงเนื่องจากผลิตภัณฑ์ไหม้บางส่วน แต่ที่อุณหภูมิ 200, 225 และ 250 °C ระดับคะแนนที่ได้ไม่แตกต่างกันนัก จากลักษณะต่าง ๆ ทางประสาทสัมผัสที่ค่อนข้างสูงของการ puff ที่ 225 และ 250 °C ทำให้ได้รับการยอมรับรวมสูง แต่การ puff ที่อุณหภูมิ 250 °C ได้รับคะแนนการยอมรับรวมสูงที่สุด จึงเลือกใช้ภาวะนี้ในการทดลองขั้นต่อไป

3.2 ลูกเดือย

โดยธรรมชาติลูกเดือยมีลักษณะค่อนข้างแข็ง เมื่อนำไปทำให้สุกแล้วอบแห้งด้วยความร้อนจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้แข็งยิ่งขึ้นไม่สามารถรับประทานได้ เนื่องจากการสูญเสียน้ำที่ล้อมรอบโมเลกุลแป้งและโปรตีนเป็นไปอย่างช้า ๆ (Haard, 1985) ดังนั้นวิธีการระเหยน้ำอย่างรวดเร็วจากลูกเดือยอาจช่วยให้มีเนื้อสัมผัสดีขึ้นได้ ในการแปรรูปลูกเดือยจึงเลือกใช้วิธี puff ด้วย fluidized bed drier

ในขั้นตอนการแปรรูปจะต้องเตรียมวัตถุดิบให้เหมาะสมต่อการ puff ก่อนโดยทำให้แป้งเกิด gelatinization ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้คือ นำวัตถุดิบไปแช่น้ำเพื่อให้ดูดน้ำจนอิ่มตัวและเมล็ดเริ่มอ่อนตัวลง จะช่วยประหยัดเวลาและพลังงานในการทำให้สุก จากนั้นนำไปนึ่งด้วยไอน้ำที่ความดัน 15 ปอนด์/ตารางนิ้ว เป็นเวลา 10 นาที เลือกใช้ความดันในการนึ่งสูงเพื่อลดเวลาในการทำให้วัตถุดิบสุก เพราะถ้านึ่งด้วยความดันบรรยากาศจะต้องใช้เวลาถึง 45 นาที ระดับความสุกของวัตถุดิบมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังจาก puff คือถ้าดิบไปจะทำให้เนื้อสัมผัสแข็ง และถ้าสุกไปหลังการนึ่งลูกเดือยจะเละและจับตัวกันเป็นก้อนไม่สามารถนำไป puff ได้ และเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่ได้ก็จะแข็งด้วย เวลาที่เหมาะสมในการนึ่งลูกเดือยที่ความดัน 15 ปอนด์/ตารางนิ้ว คือ 10-15 นาที ในการทดลองจึงเลือกใช้ 10 นาที

หลังจากเตรียมวัตถุดิบโดยทำให้สุกแล้ว นำไป puff ในการทดลองถึงแม้ว่าความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบจะมีผลต่อการพองตัวของผลิตภัณฑ์ (Lund, 1984) แต่ไม่ได้หาความชื้นของวัตถุดิบที่เหมาะสมต่อการ puff เนื่องจากในการทดลอง puff เมล็ดพืชทั้งเมล็ด ลักษณะโครงสร้างไม่เหมาะต่อการกักไอน้ำเหมือนการ puff แป้งที่ผ่านการขึ้น

รูปหรือเมล็ดพืชที่มีเปลือก ความชื้นที่มากเกินไปก่อนการ puff น่าจะสามารถระเหยออกไปได้ขณะเริ่มได้รับความร้อน และจากการทดลองเบื้องต้นพบว่าลูกเดือยที่มีความชื้นก่อนการ puff 20-38 % (wet basis) ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีการพองตัวไม่ต่างกันแต่ถ้าความชื้นต่ำมากลูกเดือยจะไหม้ ทำให้ต้องใช้อุณหภูมิหรือเวลาในการ puff ต่ำลง จึงมีผลให้การพองตัวลดลง ในการทดลองจึงใช้วัตถุดิบหลังจากนึ่งมาทำการ puff โดยไม่แปรปริมาณความชื้น

ในการหาภาวะที่เหมาะสมต่อการ puff ลูกเดือย ใช้วิธีการเช่นเดียวกับการ puff ข้าวเม่า คือ หาเวลาที่เหมาะสมต่อการ puff ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ก่อนที่จะนำเวลาที่เหมาะสมมาใช้ในการแปรอุณหภูมิในการ puff (ตารางที่ 18) หลังจากการ puff ลูกเดือยที่ได้ยังมีความชื้นสูงอยู่จึงนำไปอบด้วยลมร้อนเพื่อลดความชื้น

จากการแปรอุณหภูมิในการ puff เมื่อนำตัวอย่างที่ได้มาทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่ามีผลต่อระดับคะแนนด้านสี เนื้อสัมผัส และการยอมรับรวมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่ไม่มีผลต่อกลิ่นรสและรสชาติ ($p > 0.05$) เมื่อพิจารณาในด้านสีการ puff ลูกเดือยที่อุณหภูมิสูงขึ้นระดับคะแนนต่ำลงเล็กน้อย แต่ที่อุณหภูมิ 275 °C ต่ำกว่าที่ 200 และ 225 °C อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่ไม่แตกต่างจากการ puff ที่ 250 และ 300 °C ($p > 0.05$) ทั้งนี้เกิดจากตัวอย่างที่ผ่านการ puff ที่ 275 °C มีสีชีดกว่าตัวอย่างอื่นเล็กน้อยทำให้ระดับคะแนนลดลง ดังจะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิ 275 และ 300 °C ใช้ระยะเวลาการ puff เท่ากัน

จากการสังเกตการพองตัวของลูกเดือยพบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิการ puff ลูกเดือยจะพองตัวมากขึ้นซึ่งส่งผลต่อระดับคะแนนในด้านเนื้อสัมผัส โดยมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มจาก 200 °C ไปถึง 250 °C แต่เมื่ออุณหภูมิมากกว่า 250 °C คะแนนจะลดลงเพราะไม่อาจใช้เวลาจนกว่าลูกเดือยจะพองได้ เนื่องจากลูกเดือยจะไหม้ทำให้สี กลิ่นรส และรสชาติเสียไป จึงเลือกใช้ระยะเวลาที่ลูกเดือยมีสีใกล้เคียงกันและคุณลักษณะอื่น ๆ ดีที่สุด

ในด้านกลิ่นรสและรสชาติเมื่อ puff ที่อุณหภูมิต่างกัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) เนื่องจากลูกเดือยได้รับความร้อนไม่แตกต่างกันนักคือเมื่ออุณหภูมิการ puff สูงขึ้นระยะเวลาที่ใช้ก็ต่ำลง ส่วนการยอมรับรวมเป็นผลโดยตรงจากความแตกต่างในด้านเนื้อสัมผัสและให้ผลเช่นเดียวกับในด้านเนื้อสัมผัส

จากผลการทดลองจึงเลือกภาวะการ puff ที่ 250 °C เป็นเวลา 90 วินาที ไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไป เนื่องจากได้รับคะแนนการยอมรับรวมสูงที่สุด

2.3 ถั่วเขียว

เลือกใช้ถั่วเขียวซีกมาแปรรูปเนื่องจากมีสีสวย กลิ่นหอม และไม่มีเปลือก จากการทดลองนำถั่วเขียวซีกที่นึ่งสุกแล้วไปอบแห้งด้วยลมร้อนพบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีเนื้อแข็งกระด้าง เมล็ดหดเล็ก จึงเลือกใช้วิธีการ puff ด้วย fluidized bed drier เช่นเดียวกับในลูกเดือย ด้วยเหตุผลเดียวกัน และมีวิธีการแปรรูปที่คล้ายกัน แต่ใช้ระยะเวลาในการแช่น้ำสั้นกว่าเล็กน้อย การแช่น้ำนอกจากจะช่วยลดเวลาการนึ่งแล้วยังช่วยลดสารพิษที่มีตามธรรมชาติ(Uebersax, Ruengsakulrach, and Occena , 1991) และใช้วิธีนึ่งด้วยความดันบรรยากาศเพราะถั่วเขียวซีกสุกง่าย การใช้ความดันมากจะทำให้เมล็ดเละได้ การนึ่ง และการให้ความร้อนด้วยวิธีอื่น ๆ จะช่วยทำลาย trypsin inhibitor ในถั่วเขียวได้ (อบเชย วงศ์ทอง และคณะ, 2532) และได้แปรความชื้นของวัตถุดิบก่อน puff ในช่วง 15-56 % พบว่า ผลิตภัณฑ์หลังการ puff มีการพองตัวไม่แตกต่างกันดังเช่นในลูกเดือยจึงไม่ศึกษาผลของความชื้น

จากการหาเวลาที่เหมาะสมในการ puff ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ได้ผลดังตารางที่ 20 และนำภาวะดังกล่าวมาใช้ในการแปรอุณหภูมิการ puff เนื่องจากผลิตภัณฑ์หลังการ puff มีความชื้นสูง จึงลดความชื้นด้วยการอบแห้งด้วยลมร้อน นำตัวอย่างที่ได้มาทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า สี กลิ่นรส และรสชาติ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) แต่ระดับคะแนนเนื้อสัมผัสลดลงเมื่ออุณหภูมิการ puff สูงขึ้น ($p\leq0.05$) เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นใช้ระยะเวลาการ puff สั้นลงทำให้การพองตัวของถั่วต่ำลง ถ้าเพิ่มระยะเวลาการ puff อาจทำให้เนื้อสัมผัสดีขึ้นได้ แต่ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะไหม้ทำให้สี กลิ่นรส และรสชาติเสียไป ส่วนการยอมรับรวมเป็นผลมาจากเนื้อ

สัมผัสที่แตกต่างกันของผลิตภัณฑ์ซึ่งทำให้การ puff ที่ 200,225,250,275 °C มีระดับคะแนนใกล้เคียงกัน แต่ที่อุณหภูมิ 200 °C 70 วินาที ได้รับการยอมรับรวมสูงที่สุด จึงเลือกใช้ภาวะนี้

3.4 ถั่วเหลือง

ในการแปรรูปถั่วเหลืองเพื่อใช้เป็นส่วนผสมของมูสลี อาจใช้วิธีคั่วด้วยทราย (Das, 1992) แต่ในการทดลองนี้เลือกใช้การ puff ด้วยลมร้อน หลังจากคัดเลือกเมล็ดถั่วแล้วนำมาแช่น้ำ เพื่อให้ถั่วเหลืองดูดซับน้ำจนอิ่มตัว จากนั้นนำมาถูเปลือกออก แล้วนึ่งด้วยไอน้ำความดัน 15 ปอนด์/ตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที การนำเมล็ดถั่วมาแช่น้ำจะช่วยให้ถั่วสุกง่ายขึ้นเมื่อนำไปปรุง (Charley, 1982; Uebersax et al., 1991) และช่วยลดสารพิษที่มีตามธรรมชาติ (Uebersax et al., 1991) ได้แก่ phytic acid, tannin (Kaur and Kapoor, 1990) และ oligosaccharides ซึ่งร่างกายไม่สามารถย่อยได้ (Rockland, Gardiner,and Pieczarka, 1969; Sathe and Salunkhe, 1984) แต่อาจทำให้เกิดกลิ่นถั่วจาก lipoxidase ไปเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันไม่อิ่มตัว (Wilkens, Mattick, and Hand, 1967) ซึ่งอาจป้องกันโดยแช่ถั่วที่กะเทาะเปลือกแล้วในน้ำร้อน (สมชาย ประภาวัต, 2534) การแกะเปลือกถั่วออกก่อนนำไปนึ่งจะช่วยให้แกะออกได้ง่ายกว่าเมื่อนึ่งสุกแล้ว แต่ถ้าไม่แกะเปลือกออกแล้วนำไป puff จะทำให้การพองตัวของเมล็ดถั่วลดลง เปลือกถั่วบางส่วนอาจไหม้ทำให้มีกลิ่นเหม็น และถ้าแกะเปลือกออกหลังจาก puff ก็จะแกะยากเช่นกัน การนึ่งถั่วนอกจากจะทำให้ถั่วสุกและ puffได้ดีขึ้นแล้วยังช่วยทำลาย trypsin inhibitor, hemagglutinins, isoflavones, phytic acid, tannin และทำให้ร่างกายย่อยโปรตีนได้สะดวกขึ้น (สมชาย ประภาวัต, 2534; Barampama and Simard, 1994)

นำถั่วที่นึ่งได้ไปหาเวลาที่เหมาะสมในการ puff ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ได้ผลดังตารางที่ 22 จากนั้นแปรอุณหภูมิในการ puff โดยใช้เวลาที่เหมาะสมของแต่ละอุณหภูมิ นำตัวอย่างที่ได้ไปอบลดความชื้น แล้วทำการทดสอบทางประสาทสัมผัส ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 13 จากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า อุณหภูมิการ puff มีผลต่อ สี เนื้อสัมผัส

กลิ่นรส รสชาติ และการยอมรับรวมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในด้านเนื้อสัมผัส เมื่ออุณหภูมิการ puff สูงขึ้นระดับคะแนนจะสูงขึ้นเล็กน้อย โดยการ puff ที่ 200 °C ได้รับคะแนนต่ำที่สุด ส่วนการ puff ที่ 225,250,275 และ 300 °C ไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) ในด้านสี กลิ่นรส รสชาติ และการยอมรับรวมการ puff ที่ 300°C ได้คะแนนต่ำกว่าที่อุณหภูมิอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ซึ่งเป็นผลมาจากการ puff ที่ 300 °C ทำให้บริเวณขอบเมล็ดและต้นอ่อนของถั่วไหม้เล็กน้อยการยอมรับจึงต่ำลง จากการ puff ที่ 225 °C 60 วินาที ได้รับการยอมรับรวมสูงที่สุดจึงเลือกใช้ภาวะนี้ในการทดลองขั้นต่อไป

3.5 ถั่วแดงหลวง

เลือกการแปรรูปโดยการ puff เช่นเดียวกับถั่วเหลือง และมีขั้นตอนการแปรรูปที่คล้ายกัน แต่ถั่วแดงหลวงใช้เวลาแช่น้ำนานกว่า การแช่น้ำ แกะเปลือก และนึ่งถั่วแดงหลวงมีวัตถุประสงค์และประโยชน์เช่นเดียวกับในถั่วเหลือง แต่ถั่วแดงหลวงไม่มีปัญหาจาก lipoxidase เพราะมีปริมาณไขมันต่ำ (กฤษฎา สัมพันธารักษ์, 2531)

การ puff ถั่วแดงหลวงทั้งเมล็ดทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีเนื้อสัมผัสบริเวณขอบของเมล็ดแข็งกระด้างมากไม่สามารถเคี้ยวได้ จึงทดลองลดขนาดโดยหั่นตามยาวก่อนนำไป puff ปรากฏว่าช่วยลดความแข็งกระด้างของผลิตภัณฑ์ได้ จึงเพิ่มขั้นตอนนี้ในการแปรรูปเพื่อช่วยให้คุณภาพผลิตภัณฑ์ดีขึ้น และเนื่องจากวัตถุดิบก่อน puff มีขนาดเล็กจึงทดลองหาช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการ puff พบว่าถ้าอุณหภูมิต่ำกว่า 150 °C ชิ้นของเมล็ดถั่วจะพองน้อยมากและแข็งกระด้าง แต่ถ้ามากกว่า 250 °C จะทำให้บริเวณขอบและปลายของชิ้นถั่วที่มีขนาดเล็กไหม้ และมีกลิ่นเหม็น ในการทดลองจึงแปรอุณหภูมิการ puff ถั่วแดงหลวงเป็น 5 ระดับดังนี้คือ 150,175,200,225 และ 250 °C แล้วหาเวลาที่เหมาะสมต่อการ puff ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ได้ผลดังตารางที่ 24 จากนั้นนำเวลาที่ได้มาใช้ในการศึกษาผลของอุณหภูมิในการ puff ทำการ puff ถั่วแดงหลวงที่อุณหภูมิต่างๆ หลังอบลดความชื้นแล้วนำมาทดสอบทางประสาทสัมผัส ได้ผลดังตารางที่ 25

อุณหภูมิการ puff ถั่วแดงหลวง ในภาวะที่ศึกษาไม่มีผลต่อระดับคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสี ($p>0.05$) แต่อุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้ระดับคะแนนด้านเนื้อสัมผัส กลิ่นรส รสชาติ และการยอมรับรวมลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) ในด้านเนื้อสัมผัสเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นระดับคะแนนน่าจะสูงขึ้นเนื่องจากอัตราการระเหยน้ำสูงขึ้น แต่จากการทดลองที่อุณหภูมิสูงกว่า 200 °C คะแนนลดลงเพราะระยะเวลาที่ใช้ในการ puff ถั่วยังพองไม่เต็มที่ แต่ถ้าใช้เวลานานขึ้นจะทำให้บริเวณขอบและปลายของชิ้นถั่วไหม้ คะแนนด้านสี กลิ่นรส และรสชาติก็จะด้อยลงไปมากจึงทำให้ไม่สามารถเพิ่มระยะเวลาการ puff ในด้านกลิ่นรส และรสชาติการ puff ที่ 300 °C ระดับคะแนนต่ำที่สุดอาจเนื่องมาจากมีการไหม้ของชิ้นถั่วที่มีขนาดเล็กทำให้คะแนนด้อยลง แต่ที่อุณหภูมิอื่น ๆ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ส่วนการยอมรับรวมเป็นผลมาจากเนื้อสัมผัส กลิ่นรส และรสชาติที่แตกต่างกันของภาวะต่าง ๆ ทำให้การ puff ที่ 175°C ได้รับคะแนนสูงที่สุดและไม่แตกต่างจากที่ 150 และ 200 °C ($p>0.05$) ในการทดลองขั้นต่อไปจึงเลือกใช้ภาวะการ puff ที่ 175 °C 100 วินาที

จากวัตถุดิบที่ผ่านการแปรรูปตามภาวะที่เหมาะสมแล้ว นำตัวอย่างที่ได้มาวิเคราะห์ความชื้น และ water activity พบว่าความชื้นอยู่ในช่วงกว้างตั้งแต่ 0.58-7.84 % (wet basis) และ water activity อยู่ในช่วงไม่เกิน 0.60 การหาความชื้นมีประโยชน์ในการผลิตและควบคุมคุณภาพ เนื่องจากเป็นค่าที่สัมพันธ์กับ water activity ในวัตถุดิบชนิดเดียวกันการหาค่า water activity ในตัวอย่างทุกครั้งที่ผลิตอาจไม่สะดวกและไม่มีความจำเป็น แต่เมื่อทราบค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ก็อาจคาดคะเน water activity อย่างคร่าว ๆ ได้ โดยค่าความชื้นเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่า water activity สูงขึ้น

water activity เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเกิดการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ โดยทั่วไปอาหารแห้งที่ต้องการเก็บไว้ได้นาน ผลิตภัณฑ์สุดท้ายควรมี water activity ระหว่าง 0.65 และ 0.75 แต่ส่วนใหญ่จะแนะนำให้มีค่า 0.70 (Karmas

and Harris, 1988; Jay, 1992) ถึงแม้ว่าจะมีเชื้อราบางชนิดเจริญได้อย่างช้าๆ ที่ water activity 0.60 ถึง 0.62 แต่ปัญหาที่พบในอาหารแห้งส่วนใหญ่คือราในกลุ่มของ *Aspergillus glaucus* ซึ่งเจริญได้ที่ water activity สูงกว่า 0.70 (Jay , 1992)

การเสื่อมเสียของอาหารแห้งจากปฏิกิริยาเคมีโดยทั่วไปเกิดจากการเหม็นหืนและปฏิกิริยา Maillard ถ้าอาหารนั้นมีไขมัน และน้ำตาลรีดิวซ์ตามลำดับ แต่ปฏิกิริยาเหล่านี้สามารถเกิดที่ water activity ต่ำได้ (Jay, 1992) โดยมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาต่ำที่สุดในช่วง water activity 0.2-0.3 (Salwin, 1959 quoted in Borenstein et al., 1990) ในการทดลองจึงควบคุมเพียงให้ค่า water activity ต่ำกว่า 0.70 เพื่อไม่ให้เชื้อราเจริญได้

ศึกษาส่วนผสมที่เหมาะสมในการผสมมูสลี

1. คำนวณราคาของวัตถุดิบที่เป็นส่วนผสมมูสลี

จากการคำนวณราคาของวัตถุดิบที่เป็นส่วนผสมของมูสลี เป็นเพียงการคิดราคาโดยประมาณ เนื่องจากไม่สามารถคิดค่าใช้จ่ายในกระบวนการแปรรูปได้และราคาวัตถุดิบที่นำมาคำนวณก็เป็นราคาขายปลีกซึ่งขึ้นกับแหล่งที่ซื้อและฤดูกาล ทำให้การคำนวณราคาวัตถุดิบหลังการแปรรูปเป็นเพียงค่าประมาณเท่านั้น ในทางปฏิบัติจริงจะต้องมีการรวมค่าใช้จ่ายในการแปรรูป และราคาวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตควรจะต่ำลง ซึ่งอาจทำให้ราคาหลังการแปรรูปสูงขึ้นหรือต่ำลงก็ได้ นอกจากนี้ % yield อาจเปลี่ยนแปลงได้เล็กน้อยเมื่อกระบวนการผลิตมีขนาดใหญ่ขึ้น เนื่องจากเครื่องมือและอุปกรณ์มีการเปลี่ยนแปลงไป

จากการคำนวณราคาวัตถุดิบที่เป็นส่วนผสมของมูสลี พบว่ามีราคาตั้งแต่ 2.24-9.00 บาท/100 กรัม โดยข้าวพองมีราคาถูกที่สุด และเมล็ดทานตะวันมีราคาแพงที่สุด จากตารางที่ 27 ราคาเมล็ดทานตะวันเป็นราคาต้นทุนจากโรงงานผู้ผลิต ส่วนราคาของมะละกอและสับปะรดแช่อิ่มอบแห้งเป็นราคาขายส่งจากโรงงาน สำหรับกล้วยอบแห้งเป็นราคาขายปลีกของกล้วยอบทั้งผล นำมาหั่นและอบลดความชื้นแล้วคำนวณราคาจาก yield ที่ได้อีกครั้ง

เนื่องจากราคาวัตถุดิบที่เป็นส่วนผสมของมูสลีทั้งหมดมีที่มาแตกต่างกันและไม่ใช่ราคาที่เกิดขึ้นจริงในการผลิตระดับอุตสาหกรรม การนำราคาที่ได้ไปใช้ในขั้นตอนต่อไปจึงเป็นเพียงแนวทางการนำไปใช้และเป็นค่าโดยประมาณเท่านั้น

2. รวบรวมและประเมินคุณค่าทางโภชนาการของวัตถุดิบที่เป็นส่วนผสมของมูสลี

ในการประเมินคุณค่าทางโภชนาการของวัตถุดิบที่เป็นส่วนผสมของมูสลีไม่ได้ทำการวิเคราะห์วัตถุดิบที่ผ่านการแปรรูปแต่ละชนิด เนื่องจากคุณค่าทางโภชนาการของวัตถุดิบอาจเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นกับสถานที่เพาะปลูก อากาศ แสง และปัจจัยอื่น ๆ (กฤษฎา สัมพันธารักษ์, 2531) จึงใช้วิธีรวบรวมคุณค่าทางโภชนาการจากที่มีผู้วิเคราะห์ไว้แล้ว โดยเลือกพันธุ์และการแปรรูปที่เหมือน หรือใกล้เคียงกับการแปรรูปที่ใช้มากที่สุด แล้ว

จากการประมาณคุณค่าทางโภชนาการ สำหรับสารอาหารที่มีในปริมาณมาก ค่าที่ได้อาจไม่แตกต่างจากค่าของวัตถุดิบที่เตรียมได้ แต่สารอาหารที่มีปริมาณน้อยหรือสลายตัวได้ง่ายจากกระบวนการผลิตค่าที่ประมาณได้อาจไม่ถูกต้องนัก

3. สร้างส่วนผสมของมูสลี

จากการสร้างส่วนผสมของมูสลีโดยใช้โปรแกรมเชิงเส้น เพื่อให้ส่วนผสมที่ได้มีคุณค่าทางโภชนาการตามต้องการแต่มีราคาถูกที่สุด โดยมีการกำหนดเงื่อนไขสารอาหารที่ต้องการ ดังภาคผนวก ค เนื่องจากการใช้โปรแกรมเชิงเส้นตั้งข้อกำหนดเพียงสารอาหารที่ต้องการ และการแก้สมการใช้หลักที่ว่าให้ได้สิ่งที่เงื่อนไขตั้งไว้และมีราคาถูกที่สุดจึงได้ส่วนผสมของมูสลีมาเพียงส่วนผสมเดียว แต่ถ้าต้องการสร้างส่วนผสมที่แตกต่างกันโดยให้มีคุณค่าทางโภชนาการตามเกณฑ์เดิมที่ตั้งไว้จะต้องใส่เงื่อนไขเพิ่มขึ้น เช่น จำกัดปริมาณวัตถุดิบแต่ละชนิดให้อยู่ในช่วงที่ต้องการเป็นต้น ความหลากหลายของส่วนผสมที่ได้ขึ้นกับเงื่อนไขที่เพิ่มให้กับโปรแกรม และเนื่องจากการสร้างส่วนผสมของมูสลีมีความยืดหยุ่นสูงมาก เพราะเป็นอาหารสำหรับคนทั่วไป และรับประทานเป็นอาหารเช้าเพียงมื้อเดียวใน 1 วัน และการทดลองนี้เป็นการศึกษาแนวทางการผลิตมูสลีจึงสร้างส่วนผสมของมูสลีจากโปรแกรมเชิงเส้นเพียงส่วนผสมเดียว เพื่อนำมาใช้เปรียบเทียบกับส่วนผสมของมูสลีที่สร้างโดยวิธีอื่น

ในการสร้างส่วนผสมจากผลการประเมินทางประสาทสัมผัสของวัตถุดิบที่ผ่านกระบวนการแปรรูปที่เหมาะสมในข้อ 2 บทที่ 4 เลือกพิจารณาเฉพาะวัตถุดิบที่เมื่อแปรรูปแล้วมีระดับคะแนนการยอมรับรวมมากกว่า 8 (จากคะแนนเต็ม 10) ซึ่งเป็นระดับที่แสดงว่าผู้ทดสอบชิมชอบมาก ร่วมกับอัตราส่วนของธัญชาติ ถั่ว และผลไม้ที่ให้คุณค่าทางโภชนาการดังภาคผนวก ค เพื่อทดลองสร้างมูสลีที่มีแต่ส่วนผสมที่ได้รับการยอมรับสูงเปรียบเทียบกับมูสลีที่มีส่วนผสมจากการสร้างโดยวิธีอื่น

ส่วนผสมสุดท้ายที่สร้างขึ้นเพื่อใช้เปรียบเทียบคือมูสลีที่ประกอบด้วยวัตถุดิบทุกชนิดที่นำมาศึกษาในอัตราส่วนเท่าๆกันเพื่อให้ทราบการยอมรับวัตถุดิบแต่ละชนิดที่ใช้เป็นส่วนประกอบ ส่วนผสมของมูสลีที่ได้จากการสร้างด้วยวิธีต่างๆแสดงในตารางที่ 29 ซึ่งมีคุณค่าทางโภชนาการ(ในแง่พลังงาน โปรตีน คาร์โบไฮเดรต)และราคาไม่ต่างกันนัก ดังตารางที่ 30

เมื่อนำมูสลีที่ได้ทั้งสามส่วนผสมมาประเมินผลทางประสาทสัมผัส พบว่าไม่มีความแตกต่างในด้านกลิ่นรส รสชาติ และการยอมรับรวม อย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) (ตารางที่ 31) แต่ในด้านสี ลักษณะปรากฏ และเนื้อสัมผัสมีความแตกต่างกันโดยส่วนผสมที่ 3 (ประกอบด้วยวัตถุดิบทุกชนิด) ได้รับคะแนนต่ำกว่าส่วนผสมที่ 1 (สร้างจากโปรแกรมเชิงเส้น)และ 2 (สร้างจากผลการประเมินทางประสาทสัมผัส)อย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) เมื่อพิจารณาส่วนประกอบของมูสลีและข้อเสนอแนะของผู้ทดสอบชิมทำให้ได้แนวทางในการปรับปรุงส่วนผสมที่ 3 ของมูสลีให้มีวัตถุดิบทุกชนิดในอัตราส่วนที่ผู้ทดสอบชิมน่าจะยอมรับสูงขึ้นคือ ไม่ควรใส่ข้าวพอง ถั่วเหลือง งาขาว และมะพร้าวมาก เนื่องจากข้าวพองมีรสจืด ถั่วเหลืองมีกลิ่นเฉพาะตัวที่ผู้ทดสอบไม่ชอบ งาขาวมีกลิ่นแรง และมะพร้าวมันเกินไป จึงลดปริมาณลง และเพิ่มปริมาณถั่วลิสงและเมล็ดทานตะวันเล็กน้อยเพื่อทดแทนปริมาณไขมันที่ลดลง ส่วนข้าวโพดเพิ่มปริมาณมากขึ้นมากเนื่องจากผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับสูง ช่วยให้สีของมูสลีดีขึ้น และทดแทนปริมาณข้าวพองที่ลดลง ในการทดลองไม่เลือกใช้ลูกเดือยทดแทนข้าวพองเพราะลูกเดือยมีเนื้อสัมผัสแข็งอาจมีผลให้การยอมรับมูสลีลดลง จึงคงปริมาณเดิมของลูกเดือยไว้ ส่วนถั่วเขียวและถั่วแดงหลวงผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับสูงเช่นเดียวกับข้าวโพด แต่เพิ่มปริมาณเพียงเล็กน้อยเพราะถ้าเพิ่มมากจะทำให้มูสลีมีปริมาณถั่วมากเกินไปจนอาจทำให้โปรตีนขาดความสมดุล เพราะถั่วมี methionine ต่ำ ในขณะที่ธัญชาติมี lysine ต่ำ ส่วนผลไม้ช่วยเพิ่มรสชาติให้กับมูสลีจึงคงปริมาณที่ค่อนข้างสูงไว้ จากการปรับปรุงส่วนผสมทำให้ได้มูสลีที่ประกอบด้วยวัตถุดิบทุกชนิดในอัตราส่วนดังตารางที่ 32 ซึ่งมีคุณค่าทางโภชนาการและราคาดังตารางที่ 33 เพื่อใช้เป็นตัวแทนในการศึกษาขั้นต่อไป

4. เปรียบเทียบมูสลีที่ได้กับมูสลีทางการค้า

จากการทดลองนำมูสลีทางการค้ามาเปรียบเทียบกับมูสลีที่ผลิตได้ พบว่าการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านสี ลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส กลิ่นรส รสชาติ และการยอมรับรวมของมูสลีที่ผลิตได้ ได้รับการยอมรับมากกว่ามูสลีทางการค้า ($p\leq0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องจากผู้ทดสอบชิมคุ้นเคยกับวัตถุดิบที่ใช้ ในด้านสีมูสลีที่ได้มีความหลากหลายสีสันสดใสในขณะที่มูสลีทางการค้ามีสีน้ำตาลอ่อนไปจนถึงน้ำตาลเข้มเพียงสีเดียว ลักษณะปรากฏของมูสลีที่ผลิตได้มีขนาดอนุภาคต่างๆกันและมีหลายรูปทรง ขณะที่มูสลีทางการค้ามีลักษณะเป็นเกร็ด (flake) และมีส่วนที่แหลกมาก ส่วนที่แหลกนี้อาจเป็นสาเหตุให้ระดับ

คะแนนต่ำลง เนื้อสัมผัสของมูสลีที่ผลิตได้แข็งกรอบ ขณะที่มูสลีทางการค้าแข็งเหนียวเล็กน้อย ความเหนียวอาจเป็นสาเหตุให้ระดับคะแนนด้อยลง ในด้านกลิ่นรสมูสลีที่ได้มีความหอมของธัญชาติและถั่วที่ผสมกลมกลืนกัน แต่มูสลีทางการค้ามีกลิ่นข้าวโอ๊ตที่ผู้ทดสอบไม่คุ้นเคย ในด้านรสชาติมูสลีที่ผลิตได้มีความหวานตามธรรมชาติของธัญชาติและถั่วเสริมด้วยรสหวานของผลไม้แอบแห้ง ขณะที่มูสลีทางการค้ามีรสขมของข้าวโอ๊ต ถึงแม้ว่าจะมีรสหวานของลูกเกดที่ผู้ทดสอบชิมชอบก็ตาม ส่วนการยอมรับรวมเป็นผลจากการยอมรับด้านต่างๆที่กล่าวมาร่วมกัน จากผลการทดลองนี้ทำให้คาดคะเนได้ว่าถ้ามีการผลิตมูสลีจากวัตถุดิบภายในประเทศออกจำหน่ายก็น่าจะประสบความสำเร็จทางการตลาดได้ เนื่องจากคุณภาพและความอร่อยเทียบได้หรือเหนือกว่าสินค้าที่นำเข้าจากต่างประเทศ

5. ประเมินปริมาณที่เหมาะสมของมูสลีในการรับประทาน

จากการออกแบบสอบถามปริมาณที่เหมาะสมของมูสลีในการรับประทานเป็นอาหารเช้าพร้อมกับนมพบว่าปริมาณที่เหมาะสมคือ 40 กรัมต่อนม 160 มิลลิลิตร ค่าที่ได้ใกล้เคียงกับมูสลีที่จำหน่ายในท้องตลาดคือ 40 กรัมเช่นเดียวกัน แต่การทดลองนี้ผู้ทดสอบส่วนใหญ่เป็นผู้ใหญ่เพศหญิงที่ทำงานหนักปานกลาง ดังนั้นปริมาณนี้อาจเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้เมื่อกลุ่มผู้บริโภคแตกต่างกัน

6. วิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของมูสลีที่ผลิตได้

จากผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของมูสลีที่ผลิตได้ (ตารางที่ 35) เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณ (ตารางที่ 33) พบว่ามีปริมาณไขมันและพลังงานใกล้เคียงกัน แต่จากการวิเคราะห์มูสลีมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าจากการคำนวณทั้งนี้เพราะใช้ conversion factor ที่มีค่าสูงในการเปลี่ยนปริมาณไนโตรเจนให้เป็นโปรตีน คือใช้ค่า 6.25 ในขณะที่การคำนวณปริมาณโปรตีนเกิดจากผลรวมของปริมาณโปรตีนในวัตถุดิบแต่ละชนิดที่มี conversion factor แตกต่างกัน เช่น ข้าวโพดมีค่า 6.25 ข้าวเจ้า 5.95 ถั่วเหลือง 5.71 ถั่วลิสง 5.41 เป็นต้น (ลักขณา รุจนะไกรกานต์ และนิธิยา รัตนาปนนท์, 2533) แต่เลือกใช้ค่า 6.25 เนื่องจากเป็น conversion factor ของพืชเมล็ดทั่วไปและอาหารทั่วไปที่ไม่ได้แนะนำค่า conversion factor ไว้ (ลักขณา รุจนะไกรกานต์ และนิธิยา รัตนาปนนท์, 2533; AOAC, 1990) จากผลของปริมาณโปรตีนที่มีค่าสูงทำให้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่คำนวณโดยวิธี difference มีค่าต่ำกว่าค่า

จากการคำนวณ แต่พลังงานไม่แตกต่างกันเนื่องจากการคำนวณคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนให้พลังเท่ากัน ปริมาณโปรตีนที่อาจสูงกว่าและคาร์โบไฮเดรตที่อาจต่ำกว่าความเป็นจริงจึงไม่มีผลต่อค่าพลังงานที่คำนวณได้ สำหรับใยอาหารไม่สามารถเปรียบเทียบกันได้เพราะการคำนวณใช้ค่าเส้นใย (Crude fibre)

สำหรับปริมาณวิตามินบี1 วิตามินบี2 ไนอาซิน เหล็ก แคลเซียม และฟอสฟอรัสค่าจากการคำนวณและวิเคราะห์ใกล้เคียงกัน แต่วิตามินเอจากการวิเคราะห์มีค่าเป็นศูนย์ทั้งนี้คาดว่าเกิดจากการสลายตัว เนื่องจากไม่เสถียรต่อความร้อนและออกซิเจน (Karmas and Harris, 1988)

เนื่องจากผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการมีค่าใกล้เคียงกับค่าจากการคำนวณดังนั้นมูสลีที่ผลิตได้ จึงมีคุณค่าโภชนาการตามเกณฑ์ที่ตั้งในการสร้างส่วนผสม (ภาคผนวก ค)

7. วิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์

จากการวิเคราะห์ไม่พบยีสต์และรา ตัวอย่างที่ผลิตได้มีจุลินทรีย์ทั้งหมด 700 โคโลนีต่อกรัม (ในข้อ 7 ขั้นตอนการศึกษาส่วนผสมที่เหมาะสมในการผลิตมูสลี บทที่ 4) จำนวนจุลินทรีย์นี้ไม่มีผลต่อการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์เพราะผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้มีค่า water activity ต่ำกว่าที่เชื้อจุลินทรีย์จะเจริญได้ แต่ทำการตรวจสอบเพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภค และเนื่องจากไม่มีมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอาหารเช้าสำเร็จรูป จึงเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่ใกล้เคียงกัน คือ ขนมปังกรอบและบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปซึ่งกำหนดให้มีจุลินทรีย์ทั้งหมดได้ไม่เกิน 10^4 และ 1200 โคโลนีต่อกรัม ตามลำดับ มียีสต์และราได้ไม่เกิน 10 โคโลนีต่อกรัม (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2526; 2530) จะเห็นว่าตัวอย่างที่ผลิตได้มีจำนวนจุลินทรีย์ไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนดจึงปลอดภัยต่อผู้บริโภค

ศึกษาหาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์

1. อายุการเก็บของมูสลีที่ผลิตได้

ผลิตภัณฑ์อาหารเช้าสำเร็จรูปมีความชื้นต่ำ จึงไม่มีการเน่าเสียจากการเจริญของจุลินทรีย์ แต่สาเหตุที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียมาจากการสัมผัสกับบรรยากาศซึ่งมีไอน้ำและออกซิเจน ไอน้ำทำให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นและอาจเป็นสาเหตุให้ความกรอบลดลง ถ้าผลิตภัณฑ์มีการเคลือบน้ำตาลก็จะทำให้จับกันเป็นก้อนเหนียว การเกิดปฏิกิริยา Maillard หรือ nonenzymatic browning ที่มากเกินไปจะทำให้เกิดกลิ่นรสและสีที่ไม่ต้องการ นอกจากนั้นอาจเกิด hydrolysis ของไขมันถ้า lypolytic enzymes จากวัตถุดิบหลงเหลืออยู่ และเกิด oxidation ของไขมันที่มีในส่วนประกอบเป็นสาเหตุให้เกิดกลิ่นอับหรือเหม็นหืนหรือเกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นรสจนถึงจุดที่ไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ การเลือกภาชนะบรรจุที่กันการผ่านเข้าออกของน้ำและอากาศสามารถช่วยยืดอายุการเก็บได้ ปฏิกิริยา Maillard ให้ทั้งสิ่งที่ต้องการและไม่ต้องการในด้านสีและกลิ่นรสกับผลิตภัณฑ์ โดย water activity มีอิทธิพลต่อการเกิดปฏิกิริยา เมื่อ water activity ต่ำอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะต่ำ และจะสูงขึ้นตามค่า water activity โดยมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาสูงที่สุดที่ water activity ช่วง 0.6-0.8 hydrolytic rancidity เกิดสูงขึ้นเมื่อ water activity ของผลิตภัณฑ์สูงขึ้นเช่นเดียวกัน แต่จะทำให้เกิดรสขมหรือกลิ่นสบู่มากกว่าเหม็นหืน การเกิด oxidation ของไขมันถูกเร่งจากแสง ความร้อน อิออนของโลหะ และ free radicals ที่ water activity สูงกว่าหรือต่ำกว่า monolayer value (water activity ประมาณ 0.2-0.3) จะเกิด oxidation ได้ดีขึ้น ปริมาณไขมันต่ำไม่เป็นหลักประกันว่าจะเกิดการเปลี่ยนกลิ่นได้ต่ำ ปริมาณไขมันเพียงเล็กน้อยเมื่อสัมผัสกับอากาศก็สามารถทำให้เกิดกลิ่นหืนได้ (Labuza, 1971 quoted in Borenstein *et.al.*, 1990; Borenstein *et.al.*, 1990)

water activity มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางประสาทสัมผัสของอาหารที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบคือ เมื่อมีค่าในช่วง 0.2-0.3 จะทำให้ปฏิกิริยา oxidation เกิดได้ช้าลง ส่วนความชื้นมีความสัมพันธ์กับ water activity ในอาหาร และมีค่าแตกต่างกันสำหรับอาหารแต่ละชนิด จึงมีผลต่อการเสื่อมเสียของอาหารเช่นเดียวกัน

(Salwin, 1959 quoted in Borenstein et.al., 1990) การหาอายุการเก็บจึงประเมินผลโดยการทดสอบทางประสาทสัมผัส การวิเคราะห์ความชื้น และ water activity ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 36-44 และ รูปที่ 12-15

1.1 การเก็บที่อุณหภูมิ 45 °C

จากผลการทดลองทางประสาทสัมผัสของมูสลีที่เก็บที่อุณหภูมิ 45°C ดังแสดงในตารางที่ 36-38 แสดงว่าบรรจุภัณฑ์ที่แตกต่างกัน ได้แก่ ถุง laminated foil และถุง OPP/PE ไม่มีผลต่อระดับคะแนนด้านสี ลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส กลิ่นรส รสชาติและการยอมรับรวมอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ในด้านความชื้น และ water activity พบว่า ได้รับผลจากระยะเวลาการเก็บ ภาชนะบรรจุ และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) (ตารางที่ 40) โดยในด้านความชื้นเมื่อระยะเวลาเก็บนานขึ้น (มากกว่า 3 สัปดาห์) ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุง OPP/PE มีความชื้นต่ำกว่าที่บรรจุในถุง laminated foil และตลอดระยะเวลาการเก็บ 6 สัปดาห์ความชื้นของผลิตภัณฑ์ไม่เปลี่ยนแปลงจากภาวะเริ่มต้นมากนัก (รูปที่ 12) ส่วน water actvity มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้น โดยผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุง OPP/PE มีค่าต่ำกว่าที่บรรจุในถุง laminated foil เล็กน้อย (รูปที่ 13)

การที่บรรจุภัณฑ์ไม่มีผลต่อการทดสอบทางประสาทสัมผัสอาจเนื่องจากความแตกต่างที่เกิดขึ้นมีน้อยมากจนไม่สามารถแยกได้ด้วยการทดสอบทางประสาทสัมผัส เหตุที่ทดลองเลือกบรรจุภัณฑ์ทั้งสองชนิดนี้ เพราะคาดว่าอาจทำให้ผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงแตกต่างกันจากสมบัติการยอมให้น้ำและอากาศผ่านได้แตกต่างกัน (barrier) ของวัสดุที่ใช้ผลิต (Monahan and Caldwell, 1990) แต่ในการทดลองผลิตภัณฑ์ไม่แตกต่างกันอาจเกิดจากการบรรจุและภาวะการเก็บ กล่าวคือ การบรรจุภายใต้ความดันบรรยากาศทำให้ภายในภาชนะบรรจุมีออกซิเจนปริมาณหนึ่งซึ่งเพียงพอที่จะทำให้เกิด oxidation ได้ไม่แตกต่างกันภายในระยะเวลาการเก็บสั้นๆ ถึงแม้ว่าถุง laminated foil จะกันการผ่านเข้าออกของอากาศได้ดีกว่า ก็ไม่ทำให้เกิด oxidation ลดลงจนสามารถแยกความแตกต่างได้ แต่ถ้าต้องการยืดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ออกไปอาจใช้การบรรจุแบบสุญญากาศหรือบรรจุด้วยแก๊สเฉื่อย ส่วนความสามารถในการกันการผ่านเข้าออกของน้ำในบรรจุภัณฑ์ทั้งสองชนิด (ดังตารางที่ 39-40 และรูปที่ 12-13) พบว่ามีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเพราะค่าความชื้น และ water activity ของผลิตภัณฑ์ที่

ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ มีค่าไม่แตกต่างจากภาวะเริ่มเก็บเท่าใดนัก (ความชื้น 4.99-6.06% water activity 0.500-0.560) ทั้งนี้อาจเกิดจากจากภาวะการเก็บมีความชื้นสัมพัทธ์ 48% ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ water activity ของผลิตภัณฑ์ ทำให้การแลกเปลี่ยนความชื้นของผลิตภัณฑ์กับสภาพแวดล้อมในขณะเก็บเป็นไปอย่างช้าๆ โดยผลิตภัณฑ์ที่เก็บในถุง OPP/PE อาจจะสูญเสียความชื้นให้กับสิ่งแวดล้อมเล็กน้อย ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุง laminated foil สูญเสียความชื้นให้กับสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าหรือแทบไม่สูญเสียเลย จากสมบัติการกันการผ่านเข้าออกของน้ำและอากาศได้ดีกว่า (Monahan and Caldwell, 1990) ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 12-13 ซึ่งความชื้นและ water activity ของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุง OPP/PE มีค่าต่ำกว่าที่บรรจุในถุง laminated foil จากลักษณะเส้นกราฟการเปลี่ยนแปลงความชื้นที่ระยะเวลาต่างๆ เบี่ยงเบนไปจากเส้นตรงอาจเกิดจาก ขณะนำตัวอย่างไปบดเพื่อวิเคราะห์ค่าความชื้นตัวอย่างมีการดูดความชื้นจากสิ่งแวดล้อม ซึ่งแต่ละวันอากาศมีความชื้นสัมพัทธ์แตกต่างกัน ทำให้ค่าที่ได้ในแต่ละช่วงเวลาที่วิเคราะห์เบี่ยงเบนไปไม่เท่ากัน ส่วนค่า water activity ของผลิตภัณฑ์ที่ระยะเวลาต่างๆ มีค่าสูงกว่าภาวะเริ่มต้นอาจเกิดจากการแลกเปลี่ยนความชื้นของส่วนผสมที่มีค่า water activity แตกต่างกัน เพื่อปรับระบบให้เข้าสู่สมดุล ถ้าเก็บผลิตภัณฑ์เป็นระยะเวลานานคาดว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุง laminated foil การปรับสมดุลจะเกิดจากการแลกเปลี่ยนความชื้นของส่วนผสมเท่านั้น ถ้าบรรจุภัณฑ์สามารถกันการผ่านเข้าออกของน้ำได้ 100% (แต่ในทางปฏิบัติเป็นไปได้น้อย เพราะน้ำอาจซึมผ่านได้จากข้อบกพร่องในการปิดผนึก การ laminate ของวัสดุที่ใช้ผลิตอาจมีรูรั่วเล็ก ๆ และขึ้นกับความหนาของชิ้นวัสดุที่นำมา laminate (Monahan and Caldwell, 1990)) แต่ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุง OPP/PE การปรับสมดุลนอกจากจะเกิดจากการแลกเปลี่ยนความชื้นของส่วนผสมด้วยกันเองแล้วยังมีการแลกเปลี่ยนกับสิ่งแวดล้อมนอกถุงด้วย และถ้าความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อมคงที่เมื่อระบบเข้าสู่สมดุลผลิตภัณฑ์น่าจะมี water activity เท่ากับสิ่งแวดล้อม คือ มีค่า 0.48 สำหรับระบบที่ทำการทดลองนี้

จากการทดลองเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น ระดับคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านสี ลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส กลิ่นรส รสชาติ และการยอมรับลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) การเก็บผลิตภัณฑ์ที่ระยะเวลานานขึ้นระดับคะแนนด้านสีลดลงเนื่องจากผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนสีโดยเฉพาะในข้าวโพดและกล้วยที่เป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์มีสีน้ำตาลเข้ม

ขึ้นอย่างชัดเจน ทั้งนี้อาจเกิดจากปฏิกิริยา nonenzymatic browning ทำให้เกิดสารประกอบสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ (Borenstein et al., 1990) โดยเมื่อเก็บเป็นระยะเวลา 7 วัน ระดับคะแนนด้านสีด้อยลงเล็กน้อย (คะแนน 4.12 จากระดับคะแนน 5 ถ้าเหมือนกับตัวอย่างควบคุม) และเมื่อเก็บเป็นเวลา 14-28 วัน ระดับคะแนนด้อยลงเล็กน้อยถึงปานกลาง (คะแนน 3.38-3.59) จากตัวอย่างเริ่มต้น ในด้านลักษณะปรากฏระดับคะแนนลดลงเช่นเดียวกับในด้านสีซึ่งส่วนหนึ่งเกิดจากการเปลี่ยนสีของผลิตภัณฑ์ ในด้านเนื้อสัมผัสระดับคะแนนลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเก็บเป็นเวลานานขึ้น ($p \leq 0.05$) แต่ทั้งนี้คะแนนอยู่ในระดับแตกต่างจากตัวอย่างเริ่มต้นเล็กน้อย ในด้านกลิ่นรสเมื่อเก็บเป็นเวลานานขึ้นอาจเปลี่ยนเนื่องจากปฏิกิริยา oxidation ของไขมัน และการเกิด nonenzymatic browning ก็เป็นสาเหตุให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่ต้องการได้เช่นกัน ในด้านรสชาติเมื่อเก็บเป็นเวลา 7 และ 14 วัน ระดับคะแนนด้อยลงเล็กน้อย แต่เมื่อเก็บเป็นเวลา 28 วัน ทำให้ระดับคะแนนด้อยลงปานกลางถึงมากจากตัวอย่างเริ่มต้น (คะแนน 2.98 จากระดับคะแนน 5 ถ้าเหมือนกับตัวอย่างควบคุม) ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นรสร่วมกับการเกิด nonenzymatic browning ทำให้รสชาติและความหวานของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนไประดับคะแนนจึงด้อยลงมาก ส่วนการยอมรับรวมเป็นผลมาจากระดับคะแนนผลทางประสาทสัมผัสด้านต่าง ๆ และที่เวลาการเก็บ 28 วันระดับคะแนนด้อยลงปานกลางถึงมาก (คะแนน 2.90 จากระดับคะแนน 5 ถ้าเหมือนกับตัวอย่างควบคุม) จากตัวอย่างเริ่มต้นเก็บ เมื่อพิจารณาระดับคะแนนด้านต่าง ๆ พบว่าที่ระยะเวลาการเก็บ 28 วัน มีผลให้คะแนนรสชาติและการยอมรับรวมด้อยลงปานกลางถึงมาก (คะแนนต่ำกว่า 3.0 จากระดับคะแนน 5 ถ้าเหมือนกับตัวอย่างควบคุม) จึงไม่ทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสในผลิตภัณฑ์ที่เวลานานขึ้นและกำหนดให้ระดับคะแนนที่ต่ำกว่า 3.0 เป็นจุดวิกฤตของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพจนไม่ยอมรับในผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่ามูสลีที่ผลิตได้มีอายุการเก็บ 21 วัน เมื่อบรรจุในถุง laminated foil และถุง OPP/PE ภายใต้ความดันบรรยากาศเก็บที่ 45°C ความชื้นสัมพัทธ์ 48% แต่ถ้านำมูสลีที่บรรจุเช่นเดียวกันนี้ไปเก็บในภาวะการวางจำหน่ายปกติ ก็จะเก็บได้นานขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิต่ำกว่าภาวะที่ศึกษา

1.2 การเก็บที่อุณหภูมิ 55°C

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของมูสลีที่เก็บที่อุณหภูมิ 55°C ดังแสดงในตารางที่ 42-44 แสดงว่าบรรจุภัณฑ์ที่แตกต่างกันได้แก่ถุง laminated foil และถุง OPP/PE ไม่มีผลต่อระดับคะแนนด้านสี ลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส กลิ่นรส รสชาติ และการยอมรับรวมอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) แต่ระยะเวลาการเก็บที่เพิ่มขึ้นมีผลให้ระดับคะแนนเหล่านี้ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) เช่นเดียวกับการเก็บที่ 45 °C ในด้านความชื้นและ water activity ได้รับผลจากระยะเวลาการเก็บ ภาชนะบรรจุ และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) (ตารางที่ 45) เช่นเดียวกับการเก็บที่ 45 °C อีกเช่นกันแต่การเก็บผลิตภัณฑ์ในถุง OPP/PE ที่ 55°C ความชื้นลดลงอย่างชัดเจนเมื่อเก็บเป็นเวลา 12 และ 14 วัน ทั้งนี้อาจเกิดจากภาวะการเก็บที่ความชื้นสัมพัทธ์ 28% มีค่าต่ำกว่า water activity ของผลิตภัณฑ์ที่ภาวะเริ่มเก็บมาก (ผลิตภัณฑ์มี water activity 0.500) ทำให้อัตราการแลกเปลี่ยนความชื้นกับสิ่งแวดล้อมเกิดได้มากกว่า ดังจะเห็นได้จากค่า water activity ของการเก็บที่ 55°C ต่ำกว่าที่ 45°C ส่วนการเก็บในถุง laminated foil ค่าความชื้น water activity ไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงด้วยเหตุผลเช่นเดียวกับการเก็บที่ 45°C

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของมูสลีที่เก็บที่ 55°C ก็มีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะเดียวกับการเก็บที่ 45°C และอธิบายได้เช่นเดียวกัน แต่การเก็บที่ 55°C การเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ เกิดขึ้นเร็วกว่าทั้งนี้เนื่องจากมีอุณหภูมิเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Labuza, 1985) และที่ 55°C ระดับคะแนนด้านสีลดลงรวดเร็วกว่าด้านกลิ่นรส ในขณะที่การเก็บที่ 45°C การลดลงทั้งสองด้านจะใกล้เคียงกันมากกว่า (ตารางที่ 38,43) ทั้งนี้เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงกว่า 35°C การเกิดปฏิกิริยา nonenzymatic browning มีแนวโน้มสูงกว่า oxidation ของไขมัน (Labuza, 1985; Borenstein et al., 1990) (รูปที่ 1) และเมื่อสังเกตระดับคะแนนด้านสีของมูสลีที่เก็บที่ 55°C เป็นเวลา 5,7 และ 10 วัน (ตารางที่ 41) จะพบว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุง laminated foil มีระดับคะแนนต่ำกว่าที่บรรจุในถุง OPP/PE เล็กน้อยในขณะที่การเก็บที่ 45°C ระดับคะแนนในบรรจุภัณฑ์ทั้งสองไม่ค่อยแตกต่างกัน ทั้งนี้เพราะการ

เก็บที่ 55°C ในถุง laminated foil ผลิตภัณฑ์มี water activity สูงกว่าในถุง OPP/PE (รูปที่ 15) สาเหตุนี้อาจมีผลให้เกิด nonenzymatic browning ได้สูงกว่า เพราะอัตราการเกิดปฏิกิริยานี้จะสูงขึ้นเมื่อ water activity สูงขึ้น (Borenstein et al., 1990)

จากการทดลองเก็บมูสลีที่ 55 °C เป็นเวลา 3 , 5 และ 7 วัน พบว่า การเปลี่ยนแปลงคะแนนการทดสอบทางประสาทด้านต่าง ๆ อยู่ในระดับด้อยลงเล็กน้อย (คะแนนมากกว่า 4.0 จากระดับคะแนน 5 ถ้าเหมือนกับตัวอย่างควบคุม) ยกเว้นในด้านสีเมื่อเก็บเป็นเวลา 7 วัน ระดับคะแนนด้อยลงเล็กน้อยถึงปานกลาง(คะแนน 3.93) แต่เมื่อเก็บเป็นเวลา 10 วัน คะแนนด้านสีด้อยลงปานกลางถึงมาก (คะแนน 2.90) ในขณะที่คะแนนด้านอื่นๆ ด้อยลงเพียงเล็กน้อยถึงปานกลาง (คะแนนมากกว่า 3.0) จากตัวอย่างเริ่มต้นเก็บ ดังนั้นถ้ากำหนดระดับคะแนนต่ำกว่า 3.0 เป็นจุดวิกฤตของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพเช่นเดียวกับการเก็บที่ 45°C จะสรุปได้ว่าผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บ 7 วัน เมื่อบรรจุในถุง laminated foil และถุง OPP/PE ภายใต้ความดันบรรยากาศ เก็บที่ 55°C ความชื้นสัมพัทธ์ 28 %

1.3 ประมาณอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์

ประมาณอายุการเก็บของมูสลีที่ผลิตได้ตามสมการ (A)

ในหัวข้อการศึกษาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ บทที่ 4 ทดลองคำนวณที่ 25°C และ 20 °C เพราะเป็นอุณหภูมิโดยประมาณในประเทศและในห้างสรรพสินค้าตามลำดับ พบว่าผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บ 6 และ 10 เดือนตามลำดับ ในการประมาณอายุการเก็บอาจมีข้อผิดพลาดเนื่องจากภาวะที่ทำการทดลองแตกต่างจากภาวะการเก็บจริง และในการเก็บจริงภาวะแวดล้อมมีการเปลี่ยนแปลงเสมอ จึงไม่อาจทราบอายุการเก็บที่แท้จริงของผลิตภัณฑ์ได้ (Labuza, 1985; Borenstein et al., 1990) เพราะในสภาพการวางจำหน่ายสินค้า สินค้าแต่ละชิ้นจะได้รับสิ่งแวดล้อมแตกต่างกันขึ้นกับฤดูกาล สถานที่วางจำหน่าย การขนส่งและการเก็บรักษา เป็นต้น

การทดลองประมาณอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ในงานวิจัยนี้ ใช้ภาวะอุณหภูมิค่อนข้างสูงจากภาวะการเก็บจริง ดังนั้นอาจทำให้ปฏิกิริยาการเสื่อมเสียเกิดขึ้นต่างกัน โดยในการทดลองผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนสีอย่างชัดเจนทำให้การยอมรับลดลง แต่ในภาวะเก็บจริงที่อุณหภูมิต่ำกว่า 35 °C ปฏิกิริยา nonenzymatic browning

เกิดได้ต่ำลง ดังนั้นอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาจมากขึ้นหรืออาจน้อยลง เพราะการเสื่อมเสียจนผลิตภัณฑ์ไม่เป็นที่ยอมรับอาจไม่ได้เกิดจากการเปลี่ยนสี แต่อาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงกลิ่นรส เนื่องจากปฏิกิริยา oxidation ของไขมันที่เด่นขึ้น (Labuza, 1985; Borenstein et al., 1990) นอกจากนั้นในการทดลองไม่ได้ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ให้ใกล้เคียงกับการวางขาย ทำให้การประมาณอายุการเก็บที่บรรจุผลิตภัณฑ์ในภาชนะที่กันการผ่านเข้าออกของน้ำได้ต่ำ อาจผิดพลาดได้มากกว่าภาชนะที่กันการผ่านเข้าออกได้สูงกว่า เนื่องจากการเปลี่ยนแปลง water activity ของผลิตภัณฑ์ขณะเก็บ

ในการทดลองหาอายุการเก็บของมูสลี พบว่าข้าวโพดและกล้วยอบแห้งมีการเปลี่ยนสีจนทำให้ผลิตภัณฑ์ได้รับคะแนนลดลง ดังนั้นถ้ามูสลีที่ทำการทดลองหาอายุการเก็บไม่มีข้าวโพด และกล้วยอบแห้งเป็นองค์ประกอบก็อาจทำให้ยืดอายุการเก็บออกไปได้อีก เพราะส่วนประกอบอื่นเกิดการเปลี่ยนแปลงในด้านกลิ่นรสเพียงเล็กน้อยและเมื่อนำมารับประทานกับนม นมจะช่วยดูดกลิ่นรสทำให้ไม่สามารถแยกความแตกต่างที่เกิดจากการเก็บได้ถ้าการเปลี่ยนแปลงนั้นยังเกิดไม่มาก

2. อายุการเก็บของส่วนผสมของมูสลี

จากการทดลองเก็บวัตถุดิบที่เป็นส่วนประกอบของมูสลีโดยบรรจุในถุง laminated foil เก็บที่อุณหภูมิ 45 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 48% เป็นเวลา 35 วัน และเก็บที่อุณหภูมิ 55 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 28 % เป็นเวลา 10 วัน เมื่อนำมาทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยพิจารณาเฉพาะการยอมรับรวม (ตารางที่ 46) พบว่าถั่วเขียวซีกและถั่วแดงหลวง ได้รับการยอมรับรวมสูงที่สุด เพราะเมื่อเก็บในภาวะที่ทำการทดลองแล้วไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่สังเกตได้ ทั้งนี้อาจเนื่องจากในถั่วทั้งสองชนิดมีปริมาณไขมันและน้ำตาลต่ำ (กฤษฎา สัมพันธารักษ์, 2531) ทำให้การเกิด oxidation ของไขมันและ nonenzymatic browning ของ carbonyl และ free anino acid group ต่ำ (Meyer, 1978)

สำหรับมะพร้าว ถั่วลิสง ถั่วเหลือง เมล็ดทานตะวัน และงาขาว มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเรียงจากน้อยไปมาก โดยมีการเปลี่ยนแปลงในด้านกลิ่นรสซึ่งอาจเกิดจาก oxidation ของไขมันที่เป็นส่วนประกอบ โดยในมะพร้าวและถั่วลิสงมี

ไขมันไม่อิ่มตัวน้อยกว่าในถั่วเหลือง เมล็ดทานตะวันและงาขาว ทำให้เกิดการเหม็นหืนได้ต่ำกว่าในถั่วเหลือง เมล็ดทานตะวันและงาขาวที่มีไขมันไม่อิ่มตัวสูงกว่า (วิชัย หฤทัยธนาสันต์, 2525; อุ่นจิตร ภักดีไทย, 2529; กฤษฎา สัมพันธารักษ์, 2531; Williams, 1986; Yen et al., 1986)

ส่วนในข้าวพองและลูกเดือยถึงแม้ว่าจะมีปริมาณไขมันต่ำกว่าพวกถั่วแต่เป็นไขมันไม่อิ่มตัวสูง และอยู่บนผิวนอกของเมล็ด(kernel)(Nesheim and Lockhart ,1990) ทำให้เกิดการเหม็นหืนได้ง่าย

สำหรับในข้าวโพด กล้วย สับปะรด และมะละกอ เนื่องจากมีปริมาณน้ำตาลสูงจึงเกิด nonenzymatic browning (Meyer, 1978) โดยในข้าวโพดและกล้วยมีปริมาณโปรตีนอยู่สูงกว่าในสับปะรดและมะละกอ (กรมอนามัย, 2530) ทำให้มี free amino acid group สูงกว่าจึงเกิด nonenzymatic browning ได้สูงกว่าในสับปะรดเนื่องจากมีสีเหลืองอ่อนทำให้เมื่อเกิด browning pigment แล้วสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงสีได้ชัดเจนกว่าในมะละกอซึ่งมีสีแดง ทำให้การยอมรับต่ำกว่ามะละกอ ในข้าวโพดการเกิด nonenzymatic browning สูงกว่าการเกิด oxidation ทั้งที่ในข้าวโพดมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง (Nesheim and Lockhart, 1990) เพราะเก็บที่ภาวะอุณหภูมิสูงมากกว่า 35°C ทำให้ปฏิกิริยา nonenzymatic browning เกิดได้สูงกว่า oxidation (Labuza, 1985)