การศึกษาคุณภาพและการยืดอายุการเก็บรักษาบะหมี่สดไทย

Quality and Shelf Life Extension of Thai Fresh Noodles (Bamee)

คำนำ

บะหมี่เป็นอาหารหลักชนิดหนึ่งในการบริโภคของชาวเอเชียและเป็นที่นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลายไปยังประเทศอื่นๆ สำหรับภูมิภาคเอเชียปริมาณเกือบร้อยละ 40 ของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากแป้งสาลีจะผลิตเป็นผลิตภัณฑ์บะหมี่ (Kruger *et al*., 1996) อาหารเส้นเหล่านี้เป็นที่นิยมบริโภคทั่วไป เนื่องจากทำง่าย และใช้ปรุงเป็นอาหารได้มากมายหลายชนิดตามความพอใจของแต่ละท้องถิ่น โดยวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตบะหมี่ คือ แป้งสาลี (Wheat Flour) น้ำ (Water) เกลือ (Salt) นอกจากนี้อาจมี เบส เช่น โซเดียมโพลีฟอสเฟต ไข่ และสารอื่นๆ เพื่อปรับปรุงคุณภาพของบะหมี่ การผลิตบะหมี่ที่มีส่วนประกอบและกรรมวิธีต่างกันส่งผลให้ชนิดของบะหมี่เกิดความหลากหลาย และแตกต่างกันไป เช่น ปริมาณความชื้น และระดับการทำให้สุกในกรรมวิธีการผลิตต่างกันทำให้เกิดบะหมี่ชนิดต่างๆ ดังนี้ บะหมี่สด (Fresh Noodle) มีปริมาณความชื้นประมาณ 30-35% ส่วนบะหมี่เปียก (Wet Noodle) จะถูกทำให้สุกก่อนขายให้ผู้บริโภคมีปริมาณความชื้นประมาณ 52% และบะหมี่แห้ง (Dry Noodle) มีปริมาณความชื้นประมาณ 10% สำหรับบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป (Instant Noodle) จะผ่านไอน้ำและทำให้แห้งหรือทอดในน้ำมันมีความชื้นประมาณ 8% (Oh *et al*., 1983) ในประเทศไทยนิยมบริโภคบะหมี่เช่นกัน จากรายงานสถิติการนำเข้าปริมาณและมูลค่าของบะหมี่ (Noodle) และแป้งสาลี (Wheat flour) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตั้งแต่ปี ค.ศ. 1999 – 2003 โดยบะหมี่มีการนำเข้าเพิ่มขึ้นจาก 44 เป็น 369 เมตริกตัน และแป้งสาลีมีการนำเข้าค่อนข้างไม่สม่ำเสมอขึ้นลงในแต่ละปีต่างกันจากปี ค.ศ. 1999 เท่ากับ 56,609 เมตริกตัน และปี ค.ศ. 2002 เท่ากับ 57,787 แต่ปี ค.ศ. 2003 กลับมีปริมาณนำเข้าลดลงเหลือ 47, 873 เมตริกตัน (ศูนย์สารสนเทศการเกษตร, 2547)

บะหมี่สด (Fresh Noodle) เป็นผลิตภัณฑ์แรกที่ได้จากการผลิตบะหมี่นับว่าเป็นผลิตภัณฑ์ตั้งต้นสำหรับการผลิตเป็นบะหมี่ชนิดอื่นๆ ซึ่งมีชื่อเรียกแตกต่างกันไปตามแต่ละภูมิภาคหรือประเทศ เช่น บะหมี่ที่มีสีเหลืองจากด่าง (Yellow alkaline noodle) บะหมี่ดิบ (Raw noodle) บะหมี่จีน (Chinese noodle) บะหมี่กวางตุ้ง (Cantonese noodle) และบะหมี่วันตัน (Wonton Noodle) หรือที่รู้จักกันว่าบะหมี่ไข่ เป็นต้น บะหมี่สดทำมาจากแป้งสาลีที่มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 10 - 12 ไม่ผ่าน

การทำให้สุก และมีอายุการเก็บรักษาสั้น แต่อย่างไรก็ตามบะหมี่สดก็ได้รับความนิยมบริโภคเป็นอย่างมากในประเทศไทย มักพบว่าผู้บริโภคนิยมบริโภคบะหมี่สดจากร้านขายบะหมี่หรือร้านอาหารเป็นส่วนใหญ่ และยังพบว่ามีการจำหน่ายบะหมี่สดในรูปแบบของการบรรจุในถุงบรรจุภัณฑ์ซึ่งมักจำหน่ายในซุปเปอร์มาร์เก็ตเพื่อนำกลับไปทำรับประทานยังที่พักอาศัย นอกจากนี้การผลิตบะหมี่สดในประเทศไทยเป็นอุตสาหกรรมในครัวเรือน มีกำลังการผลิตต่ำ นิยมผลิตเพื่อจำหน่ายในระยะเวลาสั้น ซึ่งพบว่าแหล่งผลิตและจำหน่ายบะหมี่สดในประเทศไทยมีอยู่มากมาย โดยเฉพาะกลุ่มร้านขายบะหมี่เกี๊ยวมักจะผลิตและนำมาขายในลักษณะร้านขายบะหมี่เกี๊ยวของตนเองเป็นส่วนใหญ่ บางแหล่งผู้ผลิตได้รับความนิยมสูงจึงมีการจัดจำหน่ายขยายวงกว้างออกไปเป็นลักษณะของธุรกิจเฟรนด์ชาย หรือผู้ผลิตบางรายจัดจำหน่ายส่งขายในซุปเปอร์มาร์เก็ต เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามการผลิตบะหมี่สดยังคงมีอัตราการผลิตไม่สูง เนื่องจากมีอายุการเก็บสั้นโดยมีอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้เย็นประมาณ 2 สัปดาห์ ส่วนที่อุณหภูมิปกติมีอายุการเก็บรักษาประมาณ 3 – 7 วัน จากนั้นจะเกิดการเสื่อมเสียจากการเจริญของจุลินทรีย์หรือเชื้อราบนผลิตภัณฑ์ และเกิดการเปลี่ยนแปลงของสี กลิ่นรส ทั้งนี้มีสาเหตุมาจากบะหมี่สดมีปริมาณความชื้นค่อนข้างสูงจึงเกิดการเสื่อมเสียได้ง่ายและเร็ว เพราะฉะนั้นจึงทำให้ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวยังคงมีการจำหน่ายในวงแคบอยู่ เนื่องจากมีข้อจำกัดในเรื่องของอายุการเก็บรักษา ดังนั้นถ้ามีการพัฒนาผลิตภัณฑ์บะหมี่สดให้มีอายุการเก็บรักษามากกว่า 2 สัปดาห์ ที่สภาวะการเก็บรักษาของอุณหภูมิห้อง มีส่วนประกอบของเครื่องปรุงคล้ายกับบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปให้สะดวกและง่ายต่อการรับประทานเป็นการเพิ่มแนวทางให้กับผู้บริโภคในการรับประทานอาหารประเภทเส้นได้

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาถึงความคิดเห็น ความต้องการ และปัจจัยที่ใช้ในการตัดสินใจซื้อบะหมี่สด เพื่อใช้เป็นแนวความคิดในการพัฒนาผลิตภัณฑ์บะหมี่สดที่ทำการยืดอายุการเก็บรักษา และศึกษาคุณภาพบะหมี่สดทางการค้าของไทยเพื่อกำหนดเกณฑ์คุณภาพของบะหมี่สดที่ผู้บริโภคชอบและสามารถนำไปพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่สอดคล้องกับความต้องการของผู้บริโภค นอกจากนี้ยังทำการศึกษาวิธีการที่ใช้ในการยืดอายุการเก็บรักษาบะหมี่สด เพื่อลดการสูญเสียที่เกิดขึ้น ทำให้การจัดจำหน่ายและการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อยู่ในตลาดได้นานขึ้น ส่งผลให้เป้าหมายทางการตลาดของผลิตภัณฑ์กว้างขึ้น

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาความคิดเห็น ความต้องการ และปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อบะหมี่สดของผู้บริโภคในเขตกรุงเทพมหานคร

2. เพื่อศึกษาคุณภาพทางเคมี กายภาพ และประสาทสัมผัสโดยการทดสอบเชิงพรรณนาร่วมกับการทดสอบความชอบของผู้บริโภคต่อบะหมี่สดทางการค้าของไทย และการหาความสัมพันธ์ระหว่างการประเมินคุณภาพทางเคมีและกายภาพกับคุณภาพทางประสาทสัมผัส

3. เพื่อศึกษาการยืดอายุการเก็บรักษาบะหมี่สดด้วยการเติมโพรพิลีนไกลคอล (Propylene glycol) ร่วมกับการใช้สารดูดความชื้น ออกซิเจน และการปรับสภาพบรรยากาศในการบรรจุต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมี กายภาพ จุลินทรีย์ และประสาทสัมผัส

การตรวจเอกสาร

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ทำการศึกษาเกี่ยวกับการยืดอายุการเก็บรักษาบะหมี่สด ซึ่งก่อนการพัฒนาจำเป็นต้องทราบถึงคุณภาพที่ผู้บริโภคใช้ในการพิจารณายอมรับผลิตภัณฑ์ดังกล่าว ดังนั้นจะขอกล่าวเกี่ยวกับความเป็นมา ประเภท ส่วนประกอบ กรรมวิธี และคุณภาพของบะหมี่ และการเปลี่ยนแปลงคุณภาพบะหมี่ระหว่างการเก็บรักษา รวมถึงรายละเอียดเกี่ยวกับโพรพิลีนไกลคอลซึ่งเป็นสารที่ใช้เพื่อช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของบะหมี่สด และรายละเอียดของเทคนิคทางสถิติขั้นสูงที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวแปรหลายตัว (Multivariate Analysis) ประเภทต่างๆ ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

1. บะหมี่

บะหมี่ หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่เป็นเส้นทำจากแป้งสาลีอย่างเดียวหรืออาจผสมกับแป้งชนิดอื่น โดยอาจผ่านกระบวนการในการทำให้แห้งและสุกที่อุณหภูมิและความดันที่เหมาะสม เพื่อให้เก็บได้นานและสามารถรักษาคุณภาพ กลิ่น และรสชาติ ของผลิตภัณฑ์ไว้ได้ (อรอนงค์, 2532)

ประวัติการพัฒนาบะหมี่ โดยบะหมี่เริ่มทำขึ้นครั้งแรกในประเทศจีนเมื่อประมาณ 1,200 ปีที่ผ่านมา จากนั้นก็แพร่หลายไปทั่วแถบภูมิภาคเอเชีย ทำให้บะหมี่เกิดขึ้นมากมายหลายรูปแบบ เช่น ในประเทศญี่ปุ่นได้ดัดแปลงบะหมี่จากจีนกลายเป็นบะหมี่ญี่ปุ่น หรือที่เรียกกันว่า อุด้ง (Udon) บะหมี่มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ใช้เทคโนโลยีการแช่แข็งและบรรจุภัณฑ์ เพื่อพัฒนาและตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคไม่หยุดยั้ง บะหมี่จึงเข้ามามีบทบาทเป็นอาหารที่ได้รับความนิยมบริโภคทั่วโลก

1.1 ชนิดของบะหมี่

เกณฑ์ที่ใช้จำแนกชนิดบะหมี่มีหลากหลาย เช่น ส่วนประกอบที่เติม กระบวนการผลิต รูปร่าง ความหนาของเส้น ปริมาณความชื้น เป็นต้น แต่โดยทั่วไปสามารถแบ่งประเภทบะหมี่ได้แก่ บะหมี่ที่ทำด้วยมือ (Dough Streching Type) การขึ้นรูปแผ่นและการตัดเส้น (Dough sheeted & Cut Type) และการเอ็กซ์ทรูชัน(Extrusion) เช่น พาสต้า (Dough Extrusion Type) ซึ่งสามารถแจกแจงรายละเอียดของชนิดบะหมี่ในเอเชีย ดังนี้

1.1.1 บะหมี่จีน (Chinese Noodle) ทำจากแป้งสาลี เกลือ น้ำ และสารละลายของด่าง หรือที่เรียกว่าคานซุย(kansui) แล้วนำมาผสมให้เกิดโด ขึ้นรูปเป็นแผ่น ตัดให้เป็นเส้น มีความหนาแตกต่างกันออกไป สามารถนำไปผ่านกระบวนการอื่นๆ เพื่อทำบะหมี่ที่มีความหลากหลายออกไป ลักษณะเด่นของบะหมี่จีน คือ มี pH ในช่วง 9-11 มีสีเหลือง และลักษณะเนื้อสัมผัสจะมีความแน่นเนื้อ (Firm) ยืดหยุ่น (Elastic) และผิวสัมผัสเรียบ (Smooth surface) (Kruger *et al*., 1996)

1.1.2 บะหมี่สด/บะหมี่ไข่ (Wonton Noodle) บะหมี่ชนิดนี้ไม่ผ่านการทำให้สุก มีร้อยละความชื้นอยู่ระหว่าง 30-35 และปกติเก็บรักษาไว้ในอุณหภูมิเย็น เฉลี่ยมีอายุการเก็บรักษา 3 วัน หากมากกว่านี้จะเกิดราและสีคล้ำขึ้น บะหมี่ไข่นี้จะต้องมีสีเหลือง ในการทำบะหมี่ไข่โดยปกติจะพักโดก่อนการขึ้นแผ่น

1.1.3 บะหมี่เปียกหรือบะหมี่ฮอกเกี้ยน (Hokkien Noodle) บะหมี่ชนิดนี้จะทำให้สุกก่อนบางส่วน (Precook) โดยการลวกหรือต้มในน้ำเดือด ซึ่งบะหมี่ชนิดนี้มีความชื้นสูงมาก ประมาณ 50 เมื่อบะหมี่ผ่านการลวกจะถูกล้างเพื่อไม่ให้แป้งเหนียวติดกัน หรือบางครั้งอาจทำให้อุณหภูมิลดลงโดยการเป่าลมเย็น ซึ่งในขณะทำให้เย็นอาจมีการพ่นน้ำมัน บะหมี่ชนิดนี้มีอายุการเก็บรักษาสั้นและมีสีเหลืองจากสารละลายด่าง บะหมี่ชนิดนี้พบในประเทศมาเลเซีย

1.1.4 บะหมี่แห้ง (Dried Noodle) การนำบะหมี่สดมาทำให้แห้งด้วยการตากแดดอย่างช้าๆ หรือการนำเข้าตู้อบควบคุมความร้อนให้ค่อยๆ สูงขึ้นอย่างเหมาะสม เพื่อให้เส้นบะหมี่ค่อยๆ แห้งลง จากความชื้น 35% ลดลงเหลือ 8-10% เป็นการพัฒนากรรมวิธีให้บะหมี่สดสามารถเก็บไว้ได้นานขึ้น บะหมี่ชนิดนี้จะมีลักษณะขาวขุ่น

1.1.5 บะหมี่แห้งสำเร็จรูป (Steam and dry Noodle) กรรมวิธีการทำบะหมี่แห้งสำเร็จรูปนี้ปรับปรุงจากการทำบะหมี่สดโดยนำมาผ่านไอน้ำให้สุกขั้นหนึ่งก่อนแล้วจึงนำมาจับรวมเป็นก้อนขนาดเหมาะสม ทำให้แห้งโดยวิธีการอบในตู้อบควบคุมอุณหภูมิ เมื่อแห้งดีแล้วจะมีความชื้นเหลืออยู่ 10-13% ซึ่งสามารถเก็บได้นานเป็นปี เมื่อต้องการบริโภคก็นำมาต้มให้สุก

1.1.6 บะหมี่ทอดสำเร็จรูป (Instant Fried Noodle) เป็นวิธีที่นิยมมากในปัจจุบัน เนื่องจากเก็บได้นานและนำมาบริโภคง่าย เพียงลวกน้ำร้อนเดือด 3-5 นาทีหรือต้มโดยใช้เวลาสั้นกว่าบะหมี่แห้งสำเร็จรูป ซึ่งเกิดจากการนำบะหมี่สดมาอบไอน้ำร้อน จับเส้นให้มีขนาดเหมาะสม นำไปทอด

ในน้ำมันให้สุก แล้วทิ้งไว้ให้เย็น ทำให้มีความชื้นเพียง 5-8% จึงเก็บได้นาน จึงทำให้นิยมแพร่หลายทั่วโลก โดยเฉพาะประเทศแถบเอเชีย

1.2 กรรมวิธีการผลิตบะหมี่

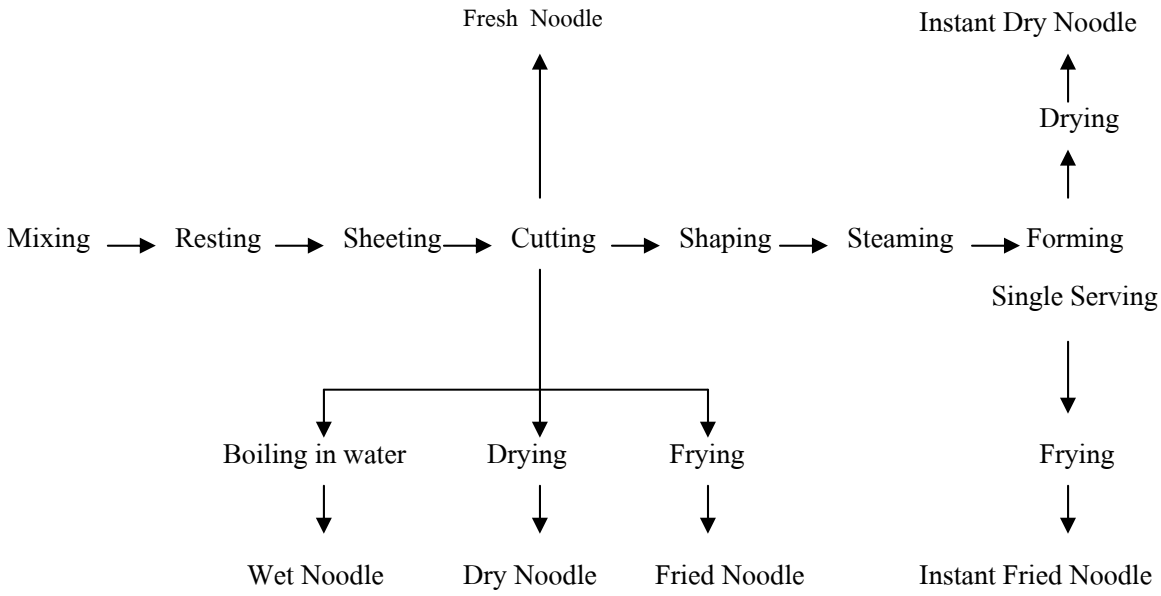
บะหมี่ที่ผลิตตามแบบเอเชีย จะมีขั้นตอนหลักที่สำคัญ 3 ขั้นตอน (สุภารัตน์, 2547; Kruger *et al.,* 1996) คือ

1.2.1 การผสม (Mixing) เป็นการนำเอาสารละลายด่างมาผสมเข้ากับแป้ง ปกติจะมีเวลาการผสม 5-10 นาที และอุณหภูมิหลังการผสมต้องเท่ากับอุณหภูมิห้อง วัตถุประสงค์ของการผสม คือ เป็นการกระจายน้ำและส่วนประกอบต่างๆ ให้เข้ากัน จนเกิดโด และพักโดอย่างน้อย 10-30 นาที เพื่อให้เกิดความสมดุลของน้ำในโด

1.2.2 การรีดให้เป็นแผ่นบาง (Sheeting) เป็นการขึ้นรูปก้อนโด เพื่อเป็นการปรับความหนา ความชื้น และให้เกิดโครงร่างกลูเตน (Gluten Network) ซึ่งจะขึ้นกับ 2 ตัวแปรสำคัญ คือ อัตราเร็วในการไหลผ่านของแผ่นโดผ่านเครื่องรีด และร้อยละของการลดขนาดของแผ่นโด

1.2.3 การตัดเส้น (Cutting) การตัดแผ่นโดออกเป็นเส้น กลม หรือ แบน ทำให้ได้ชนิดของบะหมี่แตกต่างกันออกไป

โดยบะหมี่ที่ได้เริ่มแรกนั้น จะเป็นบะหมี่สด (Fresh Noodle) ต่อมาได้พัฒนาการผลิตเพิ่มขึ้น โดยถ้านำบะหมี่สดมาลวกน้ำร้อนก่อนจำหน่ายให้ผู้บริโภค เรียกว่า บะหมี่เปียก (Wet Noodle) หรือบะหมี่สุก ถ้านำบะหมี่สดมาตากแห้ง ก็จะได้บะหมี่แห้ง (Dry Noodle) แต่ถ้านำบะหมี่สดมาทอด เรียกว่า บะหมี่ทอด (Fried Noodle) เมื่อนำบะหมี่สดมาผ่านไอน้ำและทำให้แห้งจะได้บะหมี่แห้งสำเร็จรูป (Instant Dry Noodle) ถ้าผ่านไอน้ำแล้วนำมาทอดเรียกว่าบะหมี่ทอดสำเร็จรูป (Instant Fried Noodle) (อรอนงค์, 2540) ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กรรมวิธีการผลิตและชนิดของบะหมี่
ที่มา : Oh *et al*. (1983)

1.3 คุณภาพและหน้าที่ของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตบะหมี่

1.3.1 แป้งสาลี

แป้งสาลีเป็นองค์ประกอบหลักในการทำบะหมี่ ซึ่งมีปริมาณถึง 90-95% ในสูตร ดังนั้นลักษณะของบะหมี่ทั้งทางกายภาพและเคมี จึงมีผลมาจากแป้งเป็นส่วนใหญ่ คุณภาพของบะหมี่ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลักที่สำคัญของแป้ง ได้แก่ สตาร์ช โปรตีน รงควัตถุให้สี และเอนไซม์ รวมถึงวิธีการโม่แป้ง (อรองนงค์, 2540; สุภารัตน์, 2547) ดังนี้

ก. โปรตีนมีความสำคัญต่อความยืดหยุ่นซึ่งมีผลจากปริมาณโปรตีนและคุณภาพกลูเตนที่ดีทำให้เส้นบะหมี่คงตัว มีลักษณะในการกัดเคี้ยวที่ดี ความเหมาะสมของปริมาณโปรตีนของบะหมี่แต่ละมีความแตกต่างกันออกไป เช่น บะหมี่จีนต้องการโปรตีน 10-12% ส่วนบะหมี่ญี่ปุ่นหรืออุด้งต้องการโปรตีน 9-10% โดยหน้าที่สำคัญของโปรตีน คือ กลูเตน ส่งผลต่อการให้ความยืดหยุ่นในบะหมี่ ปริมาณโปรตีนของแป้งสาลีส่งผลต่อสีของบะหมี่และลักษณะเนื้อสัมผัสโดยเฉพาะความแข็ง (Hardness) (Toyokawa *et al*., 1989 ; Park *et al*, 2003) นอกจากนี้ปริมาณ

โปรตีนของบะหมี่มีผลโดยตรงต่อการอุ้มน้ำของโดในบะหมี่ โดยการอุ้มน้ำของโดที่เหมาะสม จะทำให้โดเกิดความคงตัวบะหมี่ที่ได้จึงมีคุณภาพดี ซึ่งการอุ้มน้ำของโดยังขึ้นอยู่กับคุณภาพของแป้งด้วย เช่น ความเสียหายที่มีในแป้ง และความละเอียดของเม็ดแป้งอีกด้วย (Park and Baik *et al*., 2002) ถ้าแป้งมีเอนไซม์โปรตีเอสจะทำให้คุณภาพของบะหมี่ลดลงเนื่องจากการย่อยสลายโปรตีน ทำให้คุณสมบัติของกลูเตนเสียไป ทั้งนี้เนื่องมาจากข้าวสาลีเกิดการงอกในขณะเก็บรักษา

ข. สตาร์ชของแป้งสาลีเป็นองค์ประกอบหลักที่มีในแป้งมากที่สุดประมาณ 67% ดังนั้นสตาร์ชจึงเป็นโครงร่างของบะหมี่โดยมีความสัมพันธ์กับกลูเตนทำให้เกิดโด สตาร์ชมีผลต่อเส้นบะหมี่เมื่อสุก โดยสตาร์ชที่มีความหนืดสูงจะช่วยให้เส้นบะหมี่มีความยืดตัวดีและเหนียว ซึ่งปริมาณอะไมโลสของแป้งมีความสัมพันธ์กับความแข็ง (Hardness) และความยืดหยุ่น (Springiness) (Baik and Lee, 2003) ลักษณะของสตาร์ชที่ดีขึ้นอยู่กับปริมาณเอนไซม์ในแป้ง คือ อัลฟา-อะไมเลส (Alpha-Amylase) เกิดการย่อยสตาร์ช ทำให้คุณสมบัติของสตาร์ชเสื่อมเสียไป บะหมี่ที่ได้จึงมีคุณภาพไม่ดี โดยเอนไซม์ดังกล่าวจะพบมากในแป้งสาลีที่มีการเก็บรักษานานและเกิดการงอกขึ้น

ค. เอนไซม์ในแป้งจะเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ มีผลต่อลักษณะความคงตัวของบะหมี่ และมีผลต่อสีของบะหมี่ด้วย โดยเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (Polyphenoloxidase) ที่มีในแป้งจะทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับไทโรซีนหรือสารฟีนอลอื่นในแป้งกลายเป็นสีน้ำตาล ซึ่งไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคโดยเฉพาะบะหมี่ญี่ปุ่นซึ่งเส้นมีสีขาว

ง. รงควัตถุที่ให้สีของแป้ง คือ ฟลาโวน (Flavones) จะทำปฏิกิริยากับสารละลายเบสที่เติมลงในส่วนผสมจะให้บะหมี่ที่มีสีเหลือง เป็นลักษณะสำคัญของบะหมี่จีนที่ผู้บริโภคยอมรับ ถ้าแป้งมีสารให้มากเกินไป โดยเฉพาะแป้งที่มีส่วนของรำหรือคัพภะปน จะทำให้บะหมี่ที่ได้มีสีเหลืองเข้มไปได้ง่าย

จ. วิธีการโม่แป้ง มีส่วนทำให้คุณลักษณะของบะหมี่แตกต่างกันออกไปส่งผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค โดยการโม่แป้งที่เหมาะสมจะได้แป้งที่มีสตาร์ชเสียหายน้อย มีขนาดแป้งสม่ำเสมอ ช่วยให้การดูดซึมน้ำของแป้งดี โดมีความยืดหยุ่นพอเหมาะ ถ้าการโม่ไม่ดีทำให้สตาร์ชเสียหายมาก และแป้งมีขนาดเล็กเกินไป จะมีผลทำให้แป้งดูดซึมน้ำมาก เอนไซม์เข้าทำลายสตาร์ชได้ง่าย โครงร่างของโดไม่แข็งแรง ความยืดหยุ่นไม่ดี ทำให้เส้นบะหมี่ที่ได้ไม่เหนียว

สามารถสรุปได้ว่าแป้งที่เหมาะสมในการทำบะหมี่ต้องเป็นแป้งที่โม่จากข้าวสาลีที่มีลักษณะทางเคมีและกายภาพดี ไม่เกิดการงอก เมื่อนำมาโม่เป็นแป้งเกิดการเสียหายของสตาร์ชน้อย ขนาดของแป้งเหมาะสมสม่ำเสมอ มีอัตราการสกัดต่ำ และไม่มีรำและคัพภะปน

1.3.2 น้ำ

น้ำเป็นส่วนประกอบสำคัญมากในการทำบะหมี่ กลูเตนในแป้งสาลีจำเป็นต้องใช้น้ำ เพื่อให้เกิดการผสมขึ้นแผ่นเป็นโด และทำหน้าที่ละลายส่วนผสมต่างๆ ทำให้ส่วนผสมกระจายตัวได้ดี ปริมาณน้ำที่เติมจะบ่งบอกคุณภาพของโด คือ ความคงตัวและความยืดหยุ่น ถ้าปริมาณน้ำในส่วนผสมน้อยไป โครงร่างของบะหมี่จะไม่แข็งแรง มีลักษณะร่วนและโปร่ง ทำให้เส้นบะหมี่แข็งและขาดง่าย แต่ถ้าปริมาณน้ำมากเกินไป โดจะแฉะ เหนียวติดมือ รีดไม่ได้ เมื่อตัดเป็นเส้นจะติดกันง่าย ดังนั้นปริมาณน้ำต้องเหมาะสมด้วย นอกจากนี้คุณภาพของน้ำที่เกี่ยวกับความเป็นกรด-ด่างมีผลต่อบะหมี่ที่ได้ ซึ่งน้ำอ่อนเป็นน้ำที่มีแร่ธาตุน้อยเหมาะกับการทำบะหมี่ โดยน้ำที่มีแร่ธาตุของแคลเซียมและแมกนีเซียมปนอยู่จะมีผลต่อการดูดซึมน้ำของแป้งไม่สม่ำเสมอ โครงร่างโดไม่เนียน จึงได้เส้นบะหมี่ที่ไม่ดี ส่วนน้ำที่มีธาตุเหล็กปนอยู่ด้วยจะส่งผลต่อสีของบะหมี่ โดยมีลักษณะเป็นสีน้ำตาลหรือมีสีเขียวปน ซึ่งไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

1.3.3 เกลือ

เกลือในการผลิตบะหมี่มีปริมาณเกลือ 0-8% ซึ่งเกลือจะช่วยในการป้องกันไม่ให้กลูเตนแฉะ ทำให้โดมีความคงตัวในการขึ้นรูป รวมถึงป้องกันเอนไซม์ที่จะมาย่อยโปรตีน และยับยั้งการเกิดราและยีสต์

1.3.4 ไข่

ไข่ทำให้เกิดสีในบะหมี่และช่วยเสริมให้โดแข็งแรง ยืดหยุ่นได้ดี ปรับปรุงคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของบะหมี่ โดยเฉพาะคุณลักษณะทั้งหมดของการกัดครั้งแรก (First Chew) อาทิ ความแข็ง (Hardness) การเกาะตัวรวมกัน (Cohesiveness) ความแน่น (Denseness) และความเป็นแป้งระหว่างฟัน (Janto *et al* ., 1998)

1.3.5 สารละลายด่าง

สารละลายด่างที่ใส่ในบะหมี่ ได้แก่ $NaCO_3$, NaOH, KCO_3, CaOH, Na_2HSO_4 ซึ่งด่างเหล่านี้จะใช้ในปริมาณ 0.5 – 2.0 % โดยอยู่ในรูปของสารละลาย เรียกว่าคานซุย (Kansui) ซึ่งทำให้โดแข็งแรงและให้ความยืดหยุ่น ทำให้บะหมี่มีความแน่นให้คุณภาพที่ดีในการรับประทาน นอกจากนี้ยังมีผลต่อลักษณะการต้มหรือลวกบะหมี่ โดยช่วยให้มีเนื้อสัมผัสดี ทนต่อการต้มได้นานโดยไม่เปื่อยง่าย เส้นบะหมี่มีความเหนียว ยืดหยุ่นดีกว่าเส้นบะหมี่ที่ไม่มีส่วนประกอบของด่าง รวมถึงถ้ามีความเป็นด่างสูงจะเกิดปฏิกิริยากับเม็ดสีในแป้ง (Flavonoid) ทำให้เกิดสีเหลืองขึ้นในบะหมี่ และบะหมี่ที่มี Kansui ต่างชนิดกัน ไม่ส่งผลต่อความแตกต่างในความสว่างและสีเหลืองของบะหมี่ แต่ส่งผลกับคุณสมบัติทางรีโอโลจี (Rheological Properties) ของโด เนื่องจากเป็นการเพิ่มพฤติกรรมการชอบของแข็งในโด ทำให้บะหมี่เกิดการสูญเสียจากการทำให้สุก (Cooking Loss) สูง (Shiau and Yeh, 1999)

1.3.6 ส่วนประกอบอื่น

ส่วนประกอบอื่นๆ ที่ใส่ลงไปเพื่อเพิ่มคุณภาพของบะหมี่ในกระบวนการผลิต เช่น อิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) สารที่ช่วยในการคงตัว (Stabilizer) สารช่วยในการปรับปรุงสี (Color agent) แป้งถั่วเหลือง (Soy flour) และแป้งดัดแปร (Modified starch) เป็นต้น บางประเทศอาจมีการเติมสารช่วยในการเก็บรักษา (Preservative) เช่น โพแทสเซียมซอร์เบท โซเดียมคลอไรด์ โซเดียมคาร์บอเนต เป็นต้นโดยเฉพาะประเทศที่นิยมบริโภคบะหมี่สดหรือสุก

1.4 การประเมินคุณภาพบะหมี่สด

1.4.1 <u>คุณภาพทางด้านสี (Color)</u>

สีเป็นคุณลักษณะสำคัญอย่างหนึ่งของบะหมี่ ซึ่งเป็นลักษณะปรากฏแรกที่ผู้บริโภคตัดสินใจที่จะยอมรับผลิตภัณฑ์นั้นๆ คุณลักษณะด้านสีมีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติอื่นๆ อีกมากมาย อาทิ สีกับกลิ่นรสมีความสัมพันธ์กันโดยตรง ในผลิตภัณฑ์บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปชนิดทอดสีที่ดูเข้มอาจจะทำให้ดูเหมือนกลิ่นรสชาติที่ไหม้ ส่วนสีที่อ่อนของผลิตภัณฑ์อาจดูเหมือนว่าผลิตภัณฑ์ไม่สุก (Good, 2002)

บะหมี่ในเอเชียถูกแบ่งเป็น 2 ชนิด (ตามส่วนผสมและสีของบะหมี่) คือ บะหมี่ที่มีส่วนผสมของเกลือที่เรียกว่า White Salt Noodle จะให้ลักษณะของบะหมี่ที่มีสีขาว พบในประเทศญี่ปุ่น และบะหมี่ที่มีเบสในสูตร ที่เรียกว่า Yellow Alkaline Noodle ซึ่งจะให้ลักษณะบะหมี่ที่มีสีเหลือง เช่น บะหมี่จีนกวางตุ้ง (Cantonese Noodle) และบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป พบในแถบประเทศจีน มาเลเซีย สิงคโปร์ อินโดนีเซีย ไต้หวัน ไทย และญี่ปุ่นด้วย (Kruger *et al.*, 1996) ถึงแม้ว่าแต่ละพื้นที่มีการยอมรับของสีแตกต่างกันไป แต่สีก็นับว่าเป็นตัวแปรอย่างหนึ่งของคุณภาพบะหมี่ เพราะฉะนั้นการพัฒนาบะหมี่ในด้านสีที่ไม่พึงประสงค์จึงเป็นสิ่งสำคัญ เช่น สีน้ำตาล สีเทา หรือสีอื่นๆ ที่อยู่ในเฉดเข้ม สีเหลืองและความสว่างของบะหมี่ที่เกิดขึ้นไม่ได้ส่งผลมาจากความเป็นเบสอย่างเดียว แต่อาจขึ้นอยู่กับปริมาณรำข้าว ปริมาณโปรตีน เอนไซม์โปรตีเอส (Protease) และโพลีฟีนอลออกซิเดส (Polyphenoloxidase) ระดับการถูกทำลายของแป้งจากการโม่แป้ง ขนาดของอนุภาคแป้ง และการเติมสารฟอกสีในแป้ง จึงมีการศึกษามากมายถึงปัจจัยเหล่านี้ต่อการเกิดสีในบะหมี่ ยกตัวอย่างเช่น

อิทธิพลของขนาดอนุภาคแป้งสาลี (Extraction) ที่มีการสกัดระดับต่างๆกัน และแป้งสาลีต่างชนิดกันต่อลักษณะของสีบะหมี่สดกวางตุ้ง (Raw catonese noodle) เป็นผลการศึกษาของ Kruger *et al*. (1994) โดยใช้แป้งสาลีหลักๆ 5 ชนิดที่เจริญเติบโตในทางทิศตะวันตกของแคนาดา โดยมีความละเอียดของขนาดอนุภาคแป้งสาลี (Refinement) ต่างๆ กันที่ 30 50 60 70 และ 75% ทำการวัดค่าสีในระบบ CIE L*a*b* พบว่า เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นตัวอย่างบะหมี่สดที่ทำจากแป้งสาลีชนิดต่างๆ ทั้งหมดจะมีค่า L* คือค่าความสว่างของบะหมี่ลดลง รวมทั้งค่าความสว่างจะเพิ่มขึ้นและมากกว่าเมื่อแป้งมีการสกัดน้อยลงเนื่องจากปริมาณเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสจะเพิ่มขึ้นเมื่อความละเอียดของอนุภาคแป้งมาก (High extraction milling) ซึ่งเป็นสาเหตุของการเปลี่ยนเป็นสีคล้ำขึ้น

อิทธิพลของปริมาณโปรตีนและเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสต่อการเปลี่ยนแปลงสีของโดบะหมี่เป็นผลการศึกษาของ Baik *et al*. (1995) โดยพิจารณาค่าสีในด้านค่าความสว่าง (L*) ของบะหมี่ พบว่ามีความสัมพันธ์กันสูงกับปริมาณโปรตีนและเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส ซึ่งปริมาณโปรตีนของแป้งสาลีเกี่ยวข้องกับส่วนของน้ำในโด ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของโดบะหมี่ ทำให้ความสว่างและความขาวลดลงเมื่อปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้น และการเติมแอสคอร์บิกแอซิดที่ระดับ 500 พีพีเอ็ม มีผลต่อการยับยั้งการเปลี่ยนแปลงสีได้

การประเมินคุณภาพทางด้านสีของบะหมี่มีการใช้เครื่องมือในการวัดสีโดยมีชื่อเรียกเครื่องวัดสีแตกต่างกันไปตามผู้ผลิต ซึ่งใช้หลักการเดียวกันในการวัดค่าสี คือ การวัดค่าการสะท้อนแสงของวัตถุ (Reflection) เพื่อบอกเป็นตัวเลขของค่าสี ได้แก่ เครื่อง Labscan II Spectrocolorimeter ใช้ในงานวิจัยของ Hatcher and Symons (2002) และ Kruger *et al*. (1998) เครื่อง Chromameter ใช้ในงานวิจัยของ Morris *et al*. (2000) และ Corke *et al*. (1997) เครื่อง Spectrophotometer ของบริษัท Minolta ใช้ในงานวิจัยของ Baik *et al*. (1995) และเครื่อง Hunter Colorimeter ใช้ในงานวิจัยของ Collin and Pangloli (1997) ซึ่งงานวิจัยเหล่านี้โดยส่วนใหญ่มักทำการวัดค่าสีของบะหมี่สดในระบบ Hunter Lab หรือ CIE L*a*b* และทำการวัดค่าสีของบะหมี่ในลักษณะของแผ่นโด (Noodle Sheet) ก่อนทำการตัดเป็นเส้น ซึ่งสะดวกและลดปัญหาความคลาดเคลื่อนจากการเตรียมตัวอย่างได้ดีกว่าการวัดค่าสีในลักษณะที่ตัดเป็นเส้นบะหมี่แล้ว สำหรับค่าสีที่มีความสำคัญต่อคุณภาพของบะหมี่ ได้แก่ ค่าความสว่าง (Lightness หรือ Brightness) โดยพิจารณาจากค่า ค่า L หรือ L* และค่าสีเหลือง (Yellowness) โดยพิจารณาจากค่า b หรือ b* นอกจากนี้ในการประเมินคุณภาพในด้านสีของบะหมี่ พบว่า วิธีการที่เหมาะสม และการเตรียมตัวอย่างในการวัดคุณภาพด้านสีมีความจำเป็น เพื่อให้ผลที่ได้บอกความแตกต่างของตัวอย่างได้ ซึ่งการศึกษาของ Morris *et al*. (2000) รายงานว่าวิธีการที่เหมาะสมที่สุดในการวัดคุณภาพด้านสีของบะหมี่สด จะทำการการวัดค่าในระบบ CIE L*a*b* และมีระยะเวลาที่พักบะหมี่ไว้ 24 ชั่วโมง หลังจากผลิตเสร็จจึงนำมาวัด นอกจากนี้วิธีการวัดควรใช้พื้นหลังเป็นแผ่นกระเบื้องสีขาวหรือสว่าง (White tile) และเตรียมตัวอย่างที่ใช้วัดในลักษณะของแผ่นโดที่ความหนาในช่วง 1.5-2.0 ม.ม. ทำให้การวัดคุณภาพด้านสีของบะหมี่สดมีประสิทธิภาพ โดยสามารถแยกความแตกต่างของตัวอย่างได้ดีที่สุด

1.4.2 <u>คุณภาพลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture)</u>

การประเมินคุณภาพทางกายภาพที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของบะหมี่ คือ คุณลักษณะทางด้านเนื้อสัมผัส การวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของบะหมี่ที่ทำให้สุก (Cooked Noodle) เป็นการรับรู้โดยแรงต้านของบะหมี่ไปจนถึงพลังงานที่ใช้ในการเคี้ยว (Chewiness) มีการใช้เครื่องมือที่มีชื่อเรียกหลากหลายแตกต่างกันไปตามผู้ผลิตเครื่องนั้นๆ แต่ล้วนแล้วมีหลักการในการวัดเดียวกัน ซึ่งเกี่ยวข้องกับแรง (Force) ได้แก่ แรงกด (Compression) หรือแรงเฉือน (Shear) หรือแรงดึง (Tension) ที่ทำให้ตัวอย่างเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหรือเกิดการแตกหัก (Deformation) (McManuis, 2001; Bourn, 2002) โดยการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของบะหมี่สามารถรวบรวมเครื่องที่ใช้ในการวัดเนื้อสัมผัสบะหมี่ในงานวิจัยต่างๆ ดังนี้ เครื่อง Instron Universal Testing ใช้ในงานวิจัยของ Oh *et al*.

(1983) เครื่อง Autograph S-100 ใช้ในงานวิจัยของ Lii and Chang (1981) และเครื่อง Texture Analyser XT2i ใช้ในงานวิจัยของ Epsteint *et al*. (2002) ซึ่งวิธีการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของเส้นบะหมี่โดยส่วนใหญ่จะใช้วิธีการทดสอบ 4 วิธีหลักๆ คือ 1) การทดสอบด้วยวิธีการกด (Compression test) 2) การทดสอบด้วยวิธีการตัด (Cutting test) 3) การทดสอบด้วยการวัดเค้าโครงเนื้อสัมผัส (Texture Profile Analysis [TPA]) ซึ่งวิธีการทดสอบด้วยการตัด (Cutting test) และ TPA นับว่าเป็นวิธีการกดเช่นเดียวกัน เนื่องจากในการตั้งสภาวะการทดสอบของเครื่องวัดเนื้อสัมผัสจัดอยู่ในประเภทการวัดแรงกด และ 4) การทดสอบด้วยวิธีการดึง (Tension test) โดยทำการทดสอบในเส้นบะหมี่สุก (Cooked noodle) และแต่ละวิธีจะใช้หัววัดและสภาวะในการทดสอบแตกต่างกันไป รวมถึงพารามิเตอร์หรือค่าที่วัดได้จะบ่งบอกคุณภาพของบะหมี่ได้แตกต่างกัน ซึ่งจะขอนำเสนองานวิจัยในการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของบะหมี่ด้วยวิธีการทดสอบ ดังนี้

ก. วิธีการวัดเนื้อสัมผัสบะหมี่สดด้วยการกด (Compression test)

การศึกษาของ Oh *et al*. (1983) ได้ทำการวัดคุณลักษณะเนื้อสัมผัสของบะหมี่ที่ทำให้สุกที่ทำจากแป้งสาลีต่างๆ กัน โดยการใช้เครื่อง Instron Universal Testing ในการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยการทดสอบด้วยวิธีการกด (Compression test) โดยมีสภาวะที่ใช้ในการประเมิน คือ ความเร็วของหัววัดเท่ากับ 2.5 ซม./นาที กดลงบนตัวอย่างบะหมี่สุก 3 เส้น และมีระยะทางในการกดของหัววัดจนกระทั่งมีค่าความเครียด (Stress) เท่ากับ 1.3 กก./ตร.ซม. เครื่องจึงจะทำการหยุดการกดของหัววัด ซึ่งพารามิเตอร์ที่ได้จากการวัดเนื้อสัมผัสด้วยวิธีนี้ ได้แก่ ค่าแรงต้านการกด (Resistance to Compression [RTC]) และ ชันในการกด (Compression slope [CS]) และผลจากการศึกษาพบว่า RTC มีความสัมพันธ์กับคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสในด้านความแน่นเนื้อ (Firmness) อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) และความยากง่ายในการเคี้ยว (Chewiness)($p<0.01$) ขณะที่ CS ไม่มีความสัมพันธ์กับคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสใดๆ

ข. วิธีการวัดเนื้อสัมผัสบะหมี่สดด้วยการตัด (Cutting test)

นอกจากนี้การศึกษาของ Oh *et al*. (1983) ยังทำการวัดคุณลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยวิธีการตัด(Cutting test) โดยมีสภาวะที่ใช้ในการประเมิน คือ ความเร็วของหัววัดเท่ากับ 55 ซม./นาที กดลงบนตัวอย่างบะหมี่สุก 3 เส้น และมีระยะทางในการกดของหัววัดจนกระทั่งเส้นบะหมี่สุกขาดออกจากกัน ซึ่งพารามิเตอร์ที่ได้จากการวัดเนื้อสัมผัสด้วยวิธีนี้ ได้แก่ แรงตัดสูงสุด (Maximum

Cutting Stress [MCS]) และ งานจากการตัดทั้งหมด (Work To Cut [WTC]) ผลการศึกษาพบว่าทั้ง MCS และ WTC มีความสัมพันธ์ในเชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญกับคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสในด้านความแน่นเนื้อ (Firmness) แต่ไม่พบว่ามีความสัมพันธ์กับความยากง่ายในการเคี้ยว (Chewiness)

ค. วิธีการวัดเนื้อสัมผัสบะหมี่สดด้วยการวัดเค้าโครงเนื้อสัมผัส (Texture Profile Analysis [TPA])

การศึกษาของ Epsteint *et al*. (2002) ทำการวัดเนื้อสัมผัสของบะหมี่ญี่ปุ่น (White Salt Noodle) ด้วยวิธีการวัดเค้าโครงเนื้อสัมผัส (TPA) โดยใช้เครื่องมือ Texture Analyzer XT2i และสภาวะที่ใช้ในการประเมินคือ ความเร็วของหัววัดเท่ากับ 1 มม./วินาที กดลงบนตัวอย่างบะหมี่สุก 4 เส้น และมีระยะทางในการกดของหัววัดเท่ากับ 70% ของความสูงตัวอย่าง ซึ่งพารามิเตอร์ที่ได้จากการวัดเนื้อสัมผัสด้วยวิธีนี้ ได้แก่ ความแข็ง (Hardness) การเกาะติด (Adhesiveness) การเกาะตัวรวมกัน (Cohesiveness) ความยืดหยุ่น (Springiness) การคืนกลับ (Resilience) และความทนทานต่อการเคี้ยว (Chewiness) ผลการศึกษาพบว่า บะหมี่ที่ใช้แป้งสาลีปกติ มีแนวโน้มเนื้อสัมผัสด้านความแข็ง (Hardness) การเกาะติด (Adhesiveness) และความทนทานต่อการเคี้ยว (Chewiness) สูง แต่มีความยืดหยุ่น (Springiness) การเกาะตัวรวมกัน (Cohesiveness) และการคืนกลับ (Resilience) น้อยมาก ส่วนบะหมี่ที่ใช้แป้งสาลีชนิดอะไมโลเพคตินสูง (Full waxy) พบว่ามีความนุ่ม (Softest) และเหนียว (Thickest) มากที่สุด รวมถึงการเกาะติด (Adhesiveness) และความทนทานต่อการเคี้ยว (Chewiness) สูงเช่นกัน

ง. วิธีการวัดเนื้อสัมผัสบะหมี่สดด้วยวิธีการดึง (Tension test)

การศึกษาของ Lii and Chang (1981) ทำการวัดเนื้อสัมผัสของวุ้นเส้นจากแป้งถั่วแดง (Red bean starch noodle) เปรียบเทียบกับวุ้นเส้นถั่วเขียว (Mung bean starch noodle) ด้วยวิธีการดึง (Tension test) โดยเครื่อง Autograph S-100 และสภาวะที่ใช้ในการประเมินคือ ความเร็วของหัววัดเท่ากับ 20 มม./นาที หัววัดจะทำการดึงจนกระทั่งเส้นขาดออกจากกัน ซึ่งพารามิเตอร์ที่ได้จากการวัดเนื้อสัมผัสด้วยวิธีนี้ ได้แก่ แรงดึง (Tensile strength) สามารถใช้บ่งบอกความยืดหยุ่นของเส้น (Elasticity) ผลการศึกษาพบว่า วุ้นเส้นที่ทำจากแป้งถั่วแดงมีค่าแรงดึง (Tensile strength) น้อยกว่าวุ้นเส้นถั่วเขียว

1.4.2 คุณภาพทางประสาทสัมผัส (Sensory)

การประเมินคุณภาพในการรับประทาน (Eating Quality) โดยปกติอยู่บนพื้นฐานของการประเมินทางประสาทสัมผัส ซึ่งเกี่ยวข้องกับการยอมรับของผู้บริโภค ไม่ว่าจะเป็นคุณภาพทางด้านสี หรือ ลักษณะเนื้อสัมผัส ทั้งนี้เป็นเรื่องที่ยากสำหรับการประเมินโดยใช้เครื่องมือวัดเพื่อให้สัมพันธ์กับการกัดและการเคี้ยวของคน ดังนั้นการประเมินทางประสาทสัมผัสจึงเป็นเครื่องมืออย่างหนึ่งในการวิเคราะห์คุณภาพของบะหมี่ (McManuis, 2001) มีการศึกษาและพัฒนาผลิตภัณฑ์บะหมี่มากมายทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ ซึ่งได้ทำการวิเคราะห์คุณภาพโดยการประเมินทางประสาทสัมผัสในแง่ความความชอบหรือการยอมรับ ส่วนใหญ่มักใช้วิธีการทดสอบแบบ 9-Point Hedonic Scale และการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการทดสอบเชิงพรรณนา ซึ่งเป็นวิธีการวัดและอธิบายลักษณะทางประสาทสัมผัสทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ ซึ่งสามารถรวบรวมคุณลักษณะในการประเมินบะหมี่ด้วยวิธีการทดสอบเชิงพรรณนา ดังนี้

Tang *et al*. (2000) ใช้วิธีการทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาในการทดสอบบะหมี่ โดยใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน 12 คน โดยรวบรวมคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาได้ทั้งหมด 8 คุณลักษณะ โดยที่ทำการประเมินและมีคำนิยาม ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณลักษณะ และคำนิยาม ในการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของบะหมี่ตามรายงานวิจัยของ Tang *et al*. (2000)

คุณลักษณะ	**คำนิยาม**
สีเหลือง (Yellow color)	ความเข้มของสีเหลืองบนผิวบะหมี่
ความใส (Translucency)	ขนาดของแสงที่ส่องผ่านทะลุเส้นบะหมี่ได้
ความมันเงา (Shininess)	ขนาดของแสงสะท้อนจากพื้นผิวบะหมี่
ความเรียบของพื้นผิว (Surface smoothness)	ขนาดของรูพรุนบนผิวเส้นบะหมี่
ความแน่นเนื้อ (Firmness)	แรงที่ใช้ในการตัดเส้นให้ขาดออกจากกันด้วยฟันหน้า
ความยากง่ายในการเคี้ยว (Chewiness)	จำนวนครั้งในการเคี้ยวบะหมี่จนอยู่ในสถานะที่กลืนได้
การเกาะติดกันของเส้น (Surface stickiness)	ความสามารถในการแยกเส้นบะหมี่ 2 เส้นออกจากกัน
ความยืดหยุ่น (Elasticity)	ความสามารถในการคืนกลับเมื่อดึงเส้นบะหมี่ 1 เส้น

ที่มา: Tang *et al*. (2000)

การศึกษาของ Kovacs *et al*. (1997) ทำการศึกษาคุณภาพทางเคมีและกายภาพเพื่อจะทำนายคุณภาพของพสาต้าที่สุกที่ทำจากแป้งสาลีดูรัม ซึ่งใช้วิธีการทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาโดยมีผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน 10 คน ใช้สเกลแบบเส้น (Unstructured line scale) 15 เซนติเมตร ประเมินใน 3 คุณลักษณะ ซึ่งมีคุณลักษณะ และคำนิยาม ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณลักษณะ และคำนิยาม ในการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของบะหมี่ตามรายงานวิจัยของ Kovacs *et al*. (1997)

คุณลักษณะ	คำนิยาม
ความแน่นเนื้อ (Firmness)	แรงที่ใช้ในการกดเส้นพาสต้า 4 เส้น ด้วยฟันกรามระหว่างการกัดครั้งแรก
ความยากง่ายในการเคี้ยว (Chewiness)	จำนวนการเคี้ยวตัวอย่าง 4 เส้น ด้วยฟันกรามในอัตราที่คงจนสามารถที่จะกลืนได้
การเกาะติดฟัน (Adhesiveness of teeth)	ปริมาณตัวอย่างที่เกาะติดอยู่บนฟันหลังจากการเคี้ยวตัวอย่าง 4 เส้น

ที่มา: Kovacs *et al*. (1997)

นอกจากนี้ยังมี Janto *et al*. (1998) ได้พัฒนาคำศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับลักษณะเนื้อสัมผัสของบะหมี่ โดยครอบคลุม 4 ขั้นในการประเมิน คือ 1) ลักษณะพื้นผิว ประเมินเส้นบะหมี่ 1-2 เส้นกดเส้นระหว่างริมฝีปาก 2) การเคี้ยวครั้งแรก ประเมินบะหมี่ 1-2 เส้นเคี้ยว 1-3 ครั้งด้วยฟันกราม 3) ขณะเคี้ยวประเมินเช่นเดียวกันกับการเคี้ยวครั้งแรก ยกเว้นจำนวนครั้งที่เคี้ยวเป็น 5-10 ครั้ง และ4)ความรู้สึกตกค้างที่เหลือ(Expectoration) หลังจากการกลืน ซึ่งรวบรวมคุณลักษณะเนื้อสัมผัสได้ทั้งหมด 17 คุณลักษณะและมีสเกลความเข้ม 0 จนถึง 15โดยมีคุณลักษณะและคำนิยาม ดังตารางที่ 3

จากตารางที่ 1 2 และ 3 เป็นคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของเส้นบะหมี่ที่รวบรวมได้จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยนำเสนอเฉพาะคำนิยาม และวิธีการประเมิน ยังขาดในส่วนของตัวอย่างอ้างอิง ซึ่งได้ให้รายละเอียดไว้ในบางงานวิจัยเท่านั้น รวมทั้งอาจไม่สามารถนำมาใช้จริงได้ เนื่องจากตัวอย่างที่ใช้อ้างอิงมีข้อจำกัดในด้านยี่ห้อหรือความเป็นไปได้ที่จะจัดหาได้ แต่อย่างไรก็ดีถ้าต้องการให้การทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนามีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ควรมีตัวอย่างอ้างอิงในแต่ละคุณลักษณะเพื่อควบคุมและปรับมาตรฐานของผู้ทดสอบให้เป็นมาตรฐานเดียวกัน และควรฝึกฝนผู้ทดสอบจนสามารถใช้สเกล และให้คะแนนแตกต่างกันน้อยที่สุดก่อนทำการทดสอบผลิตภัณฑ์จริง

ตารางที่ 3 คุณลักษณะ และคำนิยาม ในการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของบะหมี่ตามรายงานวิจัยของ Janto *et al* . (1998)

คุณลักษณะ	คำนิยาม
พื้นผิว (Surface)	
ความชุ่มชื้น (Wetness)	ปริมาณน้ำที่อยู่บนผิวบะหมี่
ความลื่น (Slipperiness)	ความสามารถในการดูดเส้นบะหมี่ให้เคลื่อนอย่างช้าๆ ผ่านริมฝีปากเข้าสู่ปาก
ความขรุขระอนุภาคเล็ก (Micro roughness)	ปริมาณอนุภาคเม็ดเล็กๆ บนผิวของบะหมี่
ความขรุขระอนุภาคใหญ่ (Macro roughness)	ปริมาณอนุภาคเป็นก้อนบนผิวของบะหมี่
การเคี้ยวครั้งแรก (First Chew)	
ความแข็ง/แน่นเนื้อ (Hardness/Firmness)	แรงที่ต้องการเพื่อกดตัวอย่างทั้งหมดขณะเคี้ยว
การเกาะตัวรวมกัน (Cohesiveness)	ระดับที่ทำให้บะหมี่เปลี่ยนแปลงรูปร่างก่อนที่จะเกิดการแตกหักแยกออกเป็นชิ้น
การคืนตัวกลับ (Springiness)	ระดับที่ทำให้บะหมี่คืนตัวกลับเมื่อเทียบกับโครงสร้างเริ่มต้นหรือความรู้สึกยืดหยุ่นระหว่างการเคี้ยว
ความรู้สึกถึงแป้งระหว่างฟัน (Starch between teeth)	ความรู้สึกที่รับรู้ถึงแป้งหรือความเหนียวของบะหมี่ระหว่างฟันหลังจากเคี้ยวแต่ละครั้ง
แรงที่ถอนฟันออกจากบะหมี่ขณะเคี้ยว (Toothpull)	แรงที่ใช้ในการถอนฟันกรามออกจากบะหมี่หลังจากการเคี้ยวแต่ละครั้ง
ขณะเคี้ยว (Chew Down)	
การเกาะตัวรวมกัน (Cohesiveness of mass)	ระดับที่ทำให้บะหมี่จำนวนมากขณะเคี้ยวรวมตัวกัน
ความเป็นแป้ง (Starchy matrix)	ปริมาณการรับรู้ถึงอนุภาคแป้งในน้ำลาย
ความแตกละเอียดของบะหมี่ (Integrity of noodle in matrix)	ปริมาณชิ้นของบะหมี่และแป้งที่บดละเอียดเป็นลักษณะอาหารกึ่งแข็ง (Paste)
สภาวะของมวลบะหมี่ (Condition of mass)	ลักษณะของอนุภาคของเนื้อบะหมี่ที่เคี้ยว คือมีลักษณะเป็นก้อน หรือเม็ด หรืออนุภาคเล็กๆ หรือเหนียวเป็นก้อน
ความรู้สึกตกค้างที่เหลือ (Expectoration)	
ผลละเอียด (Chalkiness)	ปริมาณผงละเอียดหรือความเป็นแป้งในปาก
ความเป็นฟิล์มเคลือบ (Sticky film)	ปริมาณการเกาะติดในปาก
ความรู้สึกเป็นไขมันในปาก (Greasy mouthfeel)	ปริมาณน้ำมันหรือไขมันที่เคลือบบนเพดานปาก

ที่มา: Janto *et al* . (1998)

คุณภาพทางประสาทสัมผัสที่ผู้บริโภคต้องการได้จากการนำข้อมูลที่ได้จากการประเมินคุณภาพจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาหาความสัมพันธ์กับความชอบของผู้บริโภคโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ทางสถิติขั้นสูงที่เรียกว่า การวิเคราะห์หลายตัวแปร (Multivariate analysis) แสดงความสัมพันธ์ในรูปแผนภาพความชอบ (Preference Mapping) ทำให้บ่งชี้ได้ว่าคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาใดที่มีผลต่อความชอบของผู้บริโภค จากรายงานของ Tang *et al.* (2000) พบว่าความชอบของผู้บริโภคมีความสัมพันธ์อย่างสูงกับคุณลักษณะสีเหลือง และคุณลักษณะเนื้อสัมผัสในด้านความแน่นเนื้อ (Firmness) ความยากง่ายในการเคี้ยว (Chewiness) ความยืดหยุ่น (Elasticity) และความเหนียวติดกันของเส้น (Stickiness) แต่มีอิทธิพลต่อความชอบของผู้บริโภคน้อยกว่าคุณลักษณะสีเหลือง นอกจากนี้มีงานวิจัยมากมายที่พยายามหาความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนากับคุณภาพที่ประเมินจากเครื่องมือ เพื่อที่จะใช้วิธีการวัดค่าทางเครื่องมือแทนการใช้วิธีการทางประสาทสัมผัส เนื่องจากวิธีการทดสอบทางประสาทสัมผัสมีระยะเวลาในดำเนินการและค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง แต่อย่างไรก็ตามวิธีการทดสอบทางประสาทสัมผัสยังมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการทดสอบ ทั้งนี้เพราะว่าคุณภาพที่ได้จากการประเมินทางประสาทสัมผัสเป็นกลไกที่ซับซ้อนที่ไม่สามารถประเมินได้จากเครื่องวัดโดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณภาพทางลักษณะเนื้อสัมผัสหรือความชอบ

1.4.3 <u>การสูญเสียเนื่องจากการทำให้สุก (Cooking Loss)</u>

การสูญเสียจากการทำให้สุก (Cooking Loss) เป็นการวัดปริมาณของแข็งที่เกิดการสูญเสียลงในน้ำที่ใช้ในการทำให้สุก การหาปริมาณของแข็งดังกล่าวนี้สามารถนำน้ำที่ใช้ในการทำให้สุกไปทำการระเหยน้ำออก หรือ การทำแห้งโดยการแช่แข็ง (Freeze Drying) แล้วคำนวณสัดส่วนของแข็งที่ได้ สัดส่วนการสูญเสียจากการทำให้สุกนี้เป็นดัชนีบ่งบอกคุณภาพอย่างหนึ่งของบะหมี่ บะหมี่ที่มีคุณภาพดีต้องมีการสูญเสียจากการทำให้สุกน้อย เนื่องจากมีความสัมพันธ์กับลักษณะเนื้อสัมผัส คือ ความเหนียวติดกัน (Stickiness) ซึ่งบ่งชี้ถึงผิวสัมผัสของเส้นบะหมี่ ถ้ามีการสูญเสียจากการทำให้สุกสูงจะทำให้ผิวสัมผัสของเส้นบะหมี่เหนียวติดกัน ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค โดยบะหมี่ที่มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับควรมีสัดส่วนของการสูญเสียเนื่องจากการทำให้สุกต่ำกว่า 10% เป็นระดับที่ผู้บริโภคยอมรับ (Kruger *et al.,* 1996)

นอกจากนี้อิทธิพลของการใช้ Kansui และกรดแลคติก ในการผลิตบะหมี่ส่งผลต่อการสูญเสียจากการทำให้สุกของบะหมี่ด้วย โดยปริมาณของ Kansui ที่สูงถึง 1% จะทำให้เกิดการ

สูญเสียจากการทำให้สุกเพิ่มสูงถึง 245% เพราะฉะนั้น ถ้าปริมาณ Kansui สูงเกินกว่า 0.5% ต้องใช้สารช่วยในการปรับปรุงคุณภาพ เช่น สารอิมัลซิไฟเออร์ หรือ น้ำมัน เพื่อลดการเหนียวติดกัน ส่วนปริมาณกรดแลกติก 0.5% เป็นสาเหตุของการเพิ่มการสูญเสียจากการทำให้สุกเช่นเดียวกัน ซึ่งสูงถึง 75% (Shaiu and Yeh, 2001)

1.5 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษาบะหมี่สด

คุณภาพของอาหารส่วนใหญ่มักจะลดลงเมื่อเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น การที่คุณภาพของอาหารลดลงหรือเกิดการเสื่อมเสียนั้น เกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมี กายภาพ และจุลินทรีย์ ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมต่างๆ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ออกซิเจน และแสง สามารถกระตุ้นกลไกปฏิกิริยาต่างๆ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะและคุณภาพ รวมถึง สี กลิ่นรส รูปร่าง ลักษณะเนื้อสัมผัส และคุณค่าโภชนาการ ส่งผลให้คุณภาพอาหารเปลี่ยนไปอยู่ในระดับที่ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคหรืออาจเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคได้ เพราะฉะนั้นคุณภาพผลิตภัณฑ์ตั้งแต่ช่วงเวลาผลิตภัณฑ์จนถึงเวลาที่ผลิตภัณฑ์ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ถูกเรียกว่า อายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์นั้นๆ (รุ่งนภา, 2540)

อายุการเก็บรักษาบะหมี่ให้มีคุณภาพดีเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคนั้น ขึ้นอยู่กับชนิดของบะหมี่ ซึ่งบะหมี่สดและบะหมี่เปียกหรือสุก จะมีอายุการเก็บรักษาสั้นที่สุด ส่วนบะหมี่แห้งโดยกระบวนการอบ ตากแดด หรือทอด สามารถเก็บรักษาได้นานเป็นเดือน หรือเป็นปีในภาชนะที่เหมาะสม สำหรับบะหมี่ในขณะเก็บรักษาที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับ คือ การเปลี่ยนแปลงของสี บะหมี่มีจุลินทรีย์เติบโต และเกิดกลิ่นหืน (อรอนงค์, 2540) สำหรับบะหมี่สดมีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพดังต่อไปนี้

1.5.1 การเปลี่ยนแปลงสีของบะหมี่สด

สีเป็นคุณลักษณะแรกที่ผู้บริโภคใช้ประเมินคุณภาพบะหมี่ การเปลี่ยนแปลงสีของบะหมี่ที่เกิดขึ้นระหว่างการเก็บรักษานับว่าส่งผลต่อการยอมรับของผู้บริโภคเป็นอย่างมาก ซึ่งมีสาเหตุมาจากเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (Polyphenol oxidase) ในแป้ง สารให้สีในแป้ง คือ ฟลาโวน (Flavones) ทำปฏิกิริยากับเบสและแร่ธาตุในน้ำ ส่งผลให้สีที่เกิดขึ้นในบะหมี่มีสีน้ำตาลเข้มหรือเหลืองออกเขียว ซึ่งแตกต่างจากสีเหลืองออกนวลในสีของบะหมี่ปกติ ทั้งนี้สามารถ

ป้องกันได้โดยเลือกแป้งที่ไม่มีเอนไซม์ มีสารให้สีเหมาะสมกับเบสที่เติม และใช้น้ำอ่อนในการผลิตบะหมี่ โดยเฉพาะบะหมี่สดจะกลับมามีสีคล้ำมากเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ถ้าแป้งมีส่วนของรำปน ทำให้มีปริมาณเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสมาก และบะหมี่สดมีส่วนประกอบที่เป็นไข่เป็นผลทำให้สีจะคล้ำได้เร็วขึ้น เพราะส่งเสริมปริมาณโปรตีนและเอนไซม์ให้สูงขึ้น (Kruger *et al.,* 1996) ซึ่งมีงานวิจัยมากมายที่ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีของบะหมี่ระหว่างการเก็บรักษา ดังนี้

Corke *et al.* (1997) ทำการศึกษาการวัดการเปลี่ยนแปลงสีของบะหมี่สดโดยระบบอัตโนมัติแบบต่อเนื่องที่เวลาต่างๆ ทำการวัดค่าสี L* a*b* ซึ่งบะหมี่สดจะมีสีคล้ำขึ้นในระหว่างการเก็บรักษามีความสัมพันธ์กับการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส ทำให้ต้องควบคุมปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพบะหมี่ จึงทำการวัดค่าสีแป้งสาลีที่ใช้ในการผลิตด้วยระบบดังกล่าวก่อนการผลิต

Hatcher and Symons (2000) ทำการศึกษาอิทธิพลของแป้งที่มีการงอก (Sprout) ต่อลักษณะปรากฏของบะหมี่สด (Fresh Alkaline Noodle) ระหว่างการเก็บรักษา พบว่าการเปลี่ยนแปลงจุดสีของบะหมี่ที่ทำจากแป้งที่มีระดับการงอกต่างๆ กัน ส่งผลให้เกิดความแตกต่างในการเปลี่ยนแปลงจุดสีของบะหมี่ ซึ่งที่ระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นปริมาณจุดของการเปลี่ยนแปลงสีของบะหมี่มีปริมาณเพิ่มขึ้นมากกว่าบะหมี่ที่ทำจากแป้งสาลีปกติ โดยปริมาณจุดสีมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความคล้ำของบะหมี่

1.5.2 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากจุลินทรีย์

บะหมี่สดมีปริมาณความชื้นสูง ถ้าเก็บในสภาพที่มีอุณหภูมิ สิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ทำให้ระยะการเก็บรักษาสั้น เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงของบะหมี่ มีลักษณะของการเกิดเมือก เชื้อรา สี กลิ่น และรสชาติเปลี่ยนแปลงไปไม่เป็นที่ยอมรับ จึงมีการพัฒนากระบวนการผลิตบะหมี่ เช่น การทำแห้ง การใช้เทคโนโลยีการผลิต เช่น การแช่แข็ง การฆ่าเชื้อ และการบรรจุ รวมถึงการใช้สารช่วยในการเก็บรักษา เช่น โพแทสเซียมซอร์เบท โซเดียมคลอไรด์ โซเดียมคาร์บอเนต ทำให้อายุการเก็บรักษาได้นานขึ้น

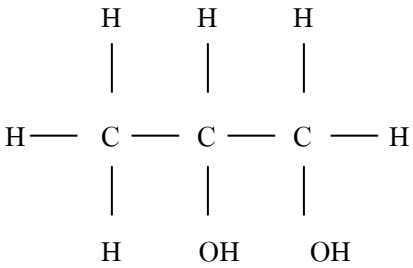
จากการศึกษาของ Jianming (1998) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการทำลายเชื้อจุลินทรีย์โดยการฉายรังสีเพื่อรักษาคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาของบะหมี่สด บะหมี่จะถูก

ฉายรังสีแกมม่าโคบอลต์ 60 และทดลองเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (18-24 องศาเซลเซียส) โดยประเมินปริมาณจุลินทรีย์ที่หลงเหลือและความเป็นกรดของบะหมี่ในระยะเวลา 10 วัน พบว่าเมื่อปริมาณรังสีที่ถูกดูดซับ 8 KGy จะมีปริมาณจุลินทรีย์ที่พบในบะหมี่ลดลงและค่าความเป็นกรดลดลงอยู่ในระหว่าง 6.2-5.0 เมื่อมีการดูดซับรังสีที่ 8-10 KGy จุลินทรีย์เกือบทั้งหมดถูกทำลายและบะหมี่มีความเป็นกรดโดยประมาณที่ 6.0 โดยลักษณะปรากฏ กลิ่น ยังคงดูสดใหม่ ภายในระยะเวลา 10 วัน

จะเห็นได้ว่าบะหมี่สดมีการเปลี่ยนแปลงในคุณภาพต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา เพราะฉะนั้นการพัฒนาบะหมี่สดที่มีการยืดอายุการเก็บรักษาให้นานขึ้นจำเป็นที่จะต้องใช้เทคโนโลยีผสมผสานกันหรือที่เรียกว่า Hurdle Technology ควบคุมตั้งแต่ส่วนประกอบหรือสูตรในการผลิตบะหมี่ เช่น การใส่สารเพื่อลดค่าวอเตอร์แอคติวิตี้โดยในงานวิจัยนี้จะใช้โพพิลีนไกลคอล (Propyleneglycol) เป็นต้น และควบคุมกระบวนการผลิต เช่น ผลิตในสภาวะปลอดเชื้อเพื่อลดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ รวมไปถึงขบวนการสุดท้ายในการบรรจุ ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้การปรับสภาวะบรรยากาศในการบรรจุเพื่อปรับสภาพให้ไม่เหมาะกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ นอกจากนี้ควรควบคุมสภาวะในการเก็บรักษาด้วย โดยที่อุณหภูมิต่ำโอกาสที่จะสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้มากกว่าสภาวะที่อุณหภูมิสูง

2. <u>โพรพิลีนไกลคอล</u> (Propylene Glycol)

โพรพิลีนไกลคอล ($C_3H_8O_2$) จัดอยู่ในกลุ่มโพลีออล (Polyol) มีชื่อทางเคมี อื่นๆ อีก คือ 1,2-โพรเพนไดออล (1,2-Propanediol), 1,2-ไดไฮดรอกซีโพรเพน (1,2-Dihydroxypropane), เมทิลไกลคอล (Methy Glycol), เมทิเลทีลีนไกลคอล (Methylethylene glycol), ไตรเมทิลไกลคอล (Trimethy glycol) มีสูตรโครงสร้างเคมี ดังนี้



โพรพิลีนไกลคอล มีลักษณะเป็นของเหลว มีความหนืดเล็กน้อย ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น สามารถละลายน้ำ อะซีโตน ได้เป็นอย่างดี และดูดซับความชื้น กระบวนการผลิตโพรพิลีนไกลคอลมาจากการทำปฏิกิริยาของโพรพิลีนด้วยน้ำคลอรีน เปลี่ยนให้อยู่ในรูปคลอโรไฮดริน (Chlorohydrin) จากนั้นร่วมกับไกลคอลด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต นอกจากนี้ยังสามารถเตรียมได้จากการให้ความร้อนกลีเซอรอลในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (CFNP TAR Review, 2002)

คุณสมบัติของโพรพิลีนไกลคอลที่สำคัญ คือ เป็นสารดูดความชื้น (Humectant) และให้ความชุ่มชื้นกับอาหารในผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณน้ำต่ำ เช่น มะพร้าว มาร์ชเมโล (Mashmallow) ยาเส้น นอกจากนี้ยังใช้ในทางยาและเครื่องสำอางค์ เป็นตัวทำละลายในสีและสารให้กลิ่นรส โพรพิลีนไกลคอลยังมีคุณสมบัติอื่นอีก ได้แก่ สารป้องกันการเกาะตัว (Anticaking) สารป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Antioxidant) ให้ความแข็งแรงกับโค เป็นอิมัลซิไฟเออร์ ให้ความหนืดเนื้อสัมผัส เป็นต้น (Lewis, 1989; CFNP TAR Review, 2002)

Code of Federal Regulation จัดว่าโพรพิลีนไกลคอลให้เป็น Generally Recognize As Safe (GRAS) ซึ่งหมายความว่าจะยอมอนุญาติให้ใช้ในการให้กลิ่นรส (Flavoring) ยา เครื่องสำอาง และใช้ได้โดยตรงเป็นสารเจือปนอาหาร แต่อย่างไรก็ตามไม่อนุญาติให้ใช้ในอาหารแมว โดยอนุญาติใช้เป็นส่วนประกอบในระดับสูงสุดไม่เกิน 5% ในเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ 24%ในลูกอม (Confection) 2.5% ในผลิตภัณฑ์นมแช่แข็ง 97% ในสารปรุงแต่งและกลิ่นรส 5% ในถั่วและผลิตภัณฑ์จากถั่ว และ 2% ในผลิตภัณฑ์หมวดอื่นๆ

การใช้ประโยชน์โพรพิลีนไกลคอล โดยมีคุณสมบัติที่สำคัญ คือ สามารถดูดซับความชื้น ทำให้มีการนำโพรพิลีนไกลคอลมาใช้ประโยชน์ในการยืดอายุผลิตภัณฑ์ เนื่องจากสามารถลดค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (Water Activity) ซึ่งเป็นพารามิเตอร์สำคัญที่ควบคุมให้อาหารมีความปลอดภัยจากจุลินทรีย์ และการเสื่อมเสียทางเคมีและกายภาพ เช่น การเสื่อมเสียคุณค่าทางอาหาร การเปลี่ยนแปลงสี กลิ่นรส และเนื้อสัมผัส โดยความแตกต่างของระดับวอเตอร์แอคติวิตี้ระหว่างองค์ประกอบต่างๆ ในผลิตภัณฑ์ก่อให้เกิดการเคลื่อนย้ายความชื้น (Moisture Migration) เพื่อให้เกิดภาวะสมดุล การปรับความชื้นด้วยวิธีดูดซับหรือสูญเสียความชื้นของผลิตภัณฑ์เพื่อให้เกิดความสมดุลนั้นส่งผลต่ออายุการเก็บที่แตกต่างกัน เนื่องจากการเสื่อมสลายจากการสูญเสียความชื้นจะเกิดเร็วกว่าการเสื่อมสลายจากการดูดซับความชื้น (Adsorption) มากกว่า (รุ่งนภา, 2540; ปิยะนุช, 2540) ซึ่งมีงานวิจัยที่สนับสนุนว่าโพรพิลีนไกลคอลสามารถลดค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ได้ จากงานวิจัยของ

Muguruma *et al.* (1987) ที่ทำการศึกษาถึงอิทธิพลของสารลดค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ชนิดต่างๆ ที่มีต่อคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์เนื้อกึ่งแห้งที่มีเกลือเป็นองค์ประกอบหลัก โดยทดลองใช้สารลดค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ชนิดต่างๆ กัน ได้แก่ กลีเซอรอล โพรพิลีนไกลคอล ซอร์บิทอล ร่วมกับการใช้เกลือในการผลิตเนื้อวัวและเนื้อหมูกึ่งแห้ง ผลการทดลองพบว่า การเติมโพรพิลีนไกลคอลและซอร์บิทอลมีผลให้ปริมาณความชื้นและระดับวอเตอร์แอคติวิตี้ที่ดีกว่าซอร์บิทอล และเมื่อพิจารณาถึงปริมาณโปรตีน Myosin Heavy Chain ที่สกัดได้จากตัวอย่าง ซึ่งเป็นเครื่องบ่งชี้คุณภาพทางโครงสร้างหรือลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ พบว่า การเติมโพรพิลีนไกลคอลจะทำให้คุณภาพดังกล่าวดีขึ้นกว่าการใช้เกลือเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ยังทำการทดลองในตัวอย่างเนื้อวัวกึ่งแห้ง การใช้สารผสมของกลีเซอรอล 10% โพรพิลีนไกลคอล 5% และซอร์บิทอล 4% ร่วมกับเกลือในการผลิตเนื้อวัวกึ่งแห้ง จะส่งผลให้คุณภาพดังกล่าวดี สามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 เดือน และเก็บที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 เดือน ที่ยังคงคุณภาพลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดี

นอกจากนี้ยังมีการใช้ประโยชน์ของโพรพิลีนไกลคอลในการยับยั้งและทำลายจุลินทรีย์ได้โดยเฉพาะในกลุ่มของเชื้อรา (Desrosier, 1970) ในอาหารกลุ่ม Intermidiat Moisture Foods (IMF) การเติมโพรพิลีนไกลคอลสามารถลดระดับวอเตอร์แอคติวิตี้และยับยั้งการเจริญเติบโตของราได้ ทำให้อาหารดังกล่าวมีอายุการเก็บที่ยาวนานขึ้น และในผลิตภัณฑ์เบียร์ นอกจากกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ที่ช่วยในการเก็บรักษาคุณภาพการเก็บเบียร์แล้ว การเติมโพรพิลีนไกลคอลยังทำให้เบียร์ไม่ตกตะกอนเนื่องจากเป็นสารยับยั้งจุลินทรีย์ ทำให้รักษาคุณภาพเบียร์ได้ดีกว่าเบียร์ที่ไม่มีการเติมสารดังกล่าว (Pintauro, 1974) นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่สนับสนุนว่าโพรพิลีนไกลคอลสามารถยับยั้งจุลินทรีย์ได้ ดังนี้

งานวิจัยของ Karabit *et al.* (1989) ทำการศึกษาอิทธิพลความเข้มข้นองค์ประกอบในยาต่อการเป็นสารช่วยในการเก็บรักษา (Preservative) ได้แก่ เมอร์คิวริก ออกซิไซยาไนด์ (Mercuric Oxycyanide) เอทิแอลกอฮอล์ (Ethyl alcohol) โพรพิลีนไกลคอล (Propylene glycol) โซเดียมเมทาไบซัลไฟท์ (Sodium metabisulphite) จากการพิจารณาประเมินค่า D-value และ Concentration exponent เป็นพารามิเตอร์ที่ตัดสินประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ ดังนี้ *Aspergillus niger, Candidas albicans, Escherichia coli, Psuedomonas aeruginasa* และ *Staphylococcus aureus*

งานวิจัยของ Darwish and Blomfield (1996) ได้ศึกษาอิทธิพลของเอทานอล โพรพิลีนไกลคอล และกลี- เซอรอลร่วมกับเมทิลและโพรพิลพีไฮดรอกซีเบนโซเอท (p-Hydroxybenzoate) ต่อ *Staphylococcus aureus* และ *Psuedomonas aeruginasa* พบว่าตัวทำละลายร่วมกันของเอทานอล โพรพิลีนไกลคอล และกลีเซอรอล เป็นการเพิ่มความเข้มข้นของส่วนของเหลว (Aqueous) ส่งผลให้เพิ่มประสิทธิภาพการยับยั้งจุลินทรีย์ดังกล่าว เนื่องจากมีกลไกการทำงานไปทำลายเนื้อเยื่อของเซลล์จุลินทรีย์

งานวิจัยของ Karel (1976) รายงานว่าสารที่ใช้ยับยั้งเชื้อรา ส่วนมากไม่มีผลในการยับยั้ง *Staphylococcus aureus* ที่ระดับวอเตอร์แอคติวิตี้ 0.86-0.90 และค่า pH 5.6 ถ้าทำการลด pH ให้เหลือ 5.2 จึงจะสามารถยับยั้งจุลินทรีย์ดังกล่าวได้ จึงทำการศึกษาการใช้โพรพิลีนไกลคอลร้อยละ 4-6 ร่วมกับโพแทสเซียมซอร์เบทหรือแคลเซียมไพพิโอเนทร้อยละ 0.1-0.3 ให้ผลยับยั้ง *Staphylococcus aureus* ได้ดี

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการใช้โพรพิลีนไกลคอลในบรรจุภัณฑ์ จากรายงานของ Labuza and Breene (1989) ทำการทดลองใช้วัสดุบรรจุภัณฑ์ชนิดพิเศษที่มีคุณสมบัติในการลดระดับวอเตอร์แอคติวิตี้ที่ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ ตลอดจนควบคุมปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศในบรรจุภัณฑ์ เพื่อลดโอกาสการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์ โดยวัสดุบรรจุภัณฑ์ดังกล่าวคิดค้นโดยบริษัท Showa Denko จำกัด มีลักษณะเป็นแผ่นบางประกอบด้วยฟิล์มพลาสติกโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ 2 ชั้น ประกบสารประกอบโพรพิลีนไกลคอล ทำให้ความชื้นจากผิวหน้าของอาหารจะถ่ายเทไปยังโพรพิลีนไกลคอลตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา มีผลให้ปริมาณความชื้นผิวหน้าอาหารมีค่าต่ำไม่เหมาะต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

3. <u>เทคนิคทางสถิติขั้นสูงในการวิเคราะห์หลายตัวแปร (Multivariate Analysis)</u>

งานวิจัยหนึ่งๆ มักจะมีตัวแปรที่ศึกษาเป็นจำนวนมาก ทั้งงานวิจัยในทางสังคมศาสตร์มีตัวแปรเกี่ยวข้องในการศึกษาวิจัยต่างๆ เช่น เพศ อายุ อาชีพ สถานภาพ เป็นต้น และงานวิจัยในทางวิทยาศาสตร์ มีตัวแปรที่เกี่ยวข้องในงานวิจัยเป็นจำนวนมากเช่นกัน เช่น การประเมินคุณภาพด้วยหลากหลายๆวิธีการภายใต้สิ่งทดลองเดียวกัน อาทิเช่น การวัดคุณภาพทางเคมี กายภาพ จุลินทรีย์ และทางประสาทสัมผัส โดยเฉพาะอย่างยิ่งการทดสอบทางประสาทสัมผัส มีคุณลักษณะที่ผู้ทดสอบจะต้องทำการประเมินหลายคุณลักษณะ และถ้ามีการวิเคราะห์ความสัมพันธ์และความ

แตกต่างซึ่งมีตัวแปรอิสระเพียงตัวเดียว โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ตัวแปร 2 ตัว (Bivariate statistical techniques) ไม่เพียงพอที่จะนำไปสู่ข้อสรุปที่ถูกต้องได้ว่า ตัวแปรอิสระนั้นก่อให้เกิดความแตกต่าง หรือมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามจริง เพราะความแตกต่างหรือความสัมพันธ์ที่พบอาจเกิดจากตัวแปรอื่นๆ อีกมากมายก็ได้ (สุชาติ, 2545) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าตัวแปรเหล่านี้มักมีความสัมพันธ์กันเองเกิดขึ้นไม่มากก็น้อย ดังนั้นเทคนิคทางสถิติด้วยการวิเคราะห์หลายตัวแปรเป็นการวิเคราะห์หลายตัวแปรไปพร้อมๆ กัน และสามารถลดปัญหาที่เกิดจากความสัมพันธ์ของตัวแปรกันเอง (Multicollinearity) ทำให้ผลการวิเคราะห์เป็นไปอย่างถูกต้อง ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้เทคนิคทางสถิติของการวิเคราะห์หลายตัวแปร ดังต่อไปนี้

3.1 การวิเคราะห์ปัจจัย (Factor Analysis)

การวิเคราะห์ปัจจัย (Factor analysis) เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ตัวแปรหลายตัว ซึ่งมีวัตถุประสงค์ หลักเกณฑ์ และการใช้ประโยชน์เทคนิคการวิเคราะห์ปัจจัย ดังต่อไปนี้

3.1.1 วัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์ปัจจัย

ก. การลดจำนวนตัวแปรที่มีหลายตัวให้เป็นปัจจัยเพียงไม่กี่ปัจจัยหรือการศึกษาโครงสร้างความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร ซึ่งเทคนิคนี้จะจับกลุ่มหรือรวมตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันไว้ในกลุ่มหรือปัจจัยเดียวกัน ตัวแปรที่อยู่ในปัจจัยเดียวกันจะมีความสัมพันธ์กันมาก โดยความสัมพันธ์นั้นอาจจะเป็นในทิศทางบวก หรือทิศทางลบก็ได้ ส่วนตัวแปรที่อยู่ในปัจจัยต่างกันจะไม่มีความสัมพันธ์กัน หรือมีความสัมพันธ์กันน้อยมาก (กัลยา, 2544) เช่น งานวิจัยหนึ่งมีตัวแปร 15 ตัว วิเคราะห์ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ปัจจัยทำให้ได้ปัจจัยใหม่ 3 ปัจจัย จึงง่ายต่อการตีความและอธิบายได้อย่างเข้าใจสะดวกมากกว่าการใช้ตัวแปรชุดเดิมซึ่งมีจำนวนมาก นอกจากนั้นแล้วเทคนิคการวิเคราะห์ทางสถิติในการวิเคราะห์ถดถอยเมื่อนำตัวแปรจำนวนมากมาใช้ในการวิเคราะห์มักจะก่อให้เกิดปัญหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ (Multicollinearity) แต่หากใช้ตัวแปรใหม่ที่รวมกันเหลือเพียงไม่กี่ปัจจัยที่ไม่มีความสัมพันธ์กัน นำมาใช้ในการวิเคราะห์ถดถอยได้

ข. การวิเคราะห์ปัจจัยเพื่อการยืนยันทดสอบความถูกต้องของมาตรวัด (Confirmatory factor analysis) ในงานวิจัยบ่อยครั้งที่ผู้วิจัยสร้างมาตรวัดขึ้นมาใหม่ที่ประกอบด้วยตัวแปรหลายตัวและมีการให้น้ำหนักมากน้อยแต่ละตัวแปรที่นำมารวมกัน ทำให้ปัญหาที่เกิดขึ้นคือ

มาตรวัดที่สร้างขึ้นมานั้นควรรวมตัวแปรต่างๆ นี้หรือไม่ และการให้น้ำหนักของตัวแปรเหล่านี้มีความถูกต้องหรือไม่ เทคนิคการวิเคราะห์ปัจจัยจะเป็นสิ่งหนึ่งที่จะทดสอบความถูกต้องของการสร้างมาตรวัดดังกล่าว (สุชาติ, 2540) เช่น ถ้าต้องการสร้างปัจจัย หรือดัชนีวัดประสิทธิภาพของการทำงาน(P) ซึ่งจะพิจารณาจากหลายๆ ตัวแปร เช่น ผลงาน (X_1) ระยะเวลาปฏิบัติงาน(X_2) และจำนวนวันทำงาน(X_3) โดยสมการแสดงความสัมพันธ์ คือ

$$P = W_1X_1 + W_2X_2 + W_3X_3$$

โดยที่ W_1 W_2 และ W_3 เป็นน้ำหนักของตัวแปร X_1 X_2 และ X_3

กรณีที่ผู้วิจัยกำหนดค่าน้ำหนักเองอาจไม่ถูกต้องมากนัก ผู้วิจัยสามารถใช้เทคนิคการวิเคราะห์ปัจจัยในการตรวจสอบความถูกต้องของค่าดังกล่าวได้

3.1.2 หลักเกณฑ์ของเทคนิคการวิเคราะห์ปัจจัย

เทคนิคการวิเคราะห์ปัจจัยใช้ในการลดจำนวนตัวแปรเป็นปัจจัยใหม่ที่ไม่มีความสัมพันธ์กัน โดยที่ปัจจัยที่ได้เป็นความสัมพันธ์ร่วมเชิงเส้นตรง (Linear combination) ของตัวแปรเดิม โดยจะพยายามนำรายละเอียดจากตัวแปรเดิมต่างๆ มาไว้ในปัจจัยให้มากที่สุด เช่น ปัจจัยที่ 1 ประกอบด้วยตัวแปร 3 ตัว คือ X_3 X_8 และ X_{10} นั่นหมายความว่าตัวแปร X_3 X_8 และ X_{10} มีความสัมพันธ์กันมาก และสามารถนำรายละเอียดจากตัวแปร X_3 X_8 และ X_{10} มาไว้ในปัจจัยที่ 1 (F_1) ได้มากที่สุด โดยเขียนสมการเชิงเส้นตรงได้ดังนี้

$$F_1 = W_3X_3 + W_8X_8 + W_{10}X_{10} + e$$

การพิจารณาว่าตัวแปรใดบ้างที่ควรอยู่ในปัจจัยเดียวกัน ในแต่ละปัจจัยให้พิจารณาค่าน้ำหนักปัจจัย (Factor loading) ของแต่ละตัวแปร ถ้าค่าน้ำหนักปัจจัยของตัวแปรใดมีค่ามาก (เข้าใกล้ +1 หรือ -1) ควรจัดตัวแปรนั้นอยู่ปัจจัยดังกล่าว ในกรณีค่าน้ำหนักปัจจัยมีค่ากลางๆ ทำให้ไม่แน่ใจว่าควรจัดตัวแปรดังกล่าวในปัจจัยใดควรจะทำการหมุนแกน (Factor Rotation) นอกจากนี้มีรายงานเกี่ยวกับเกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของน้ำหนักปัจจัยที่ทำ

ให้ตัวแปรมีความสัมพันธ์กันขึ้นอยู่กับขนาดของตัวอย่าง (Sample size) ที่ทำการศึกษา ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 คำแนะนำเกี่ยวกับการพิจารณาค่าน้ำหนักปัจจัยที่มีนัยสำคัญทางสถิติบนพื้นฐานขนาดของตัวอย่าง

น้ำหนักปัจจัย (Factor loading)	ขนาดตัวอย่างที่ต้องการ ที่ทำให้มีนัยสำคัญทางสถิติ*
0.30	350
0.35	250
0.40	200
0.45	150
0.50	120
0.55	100
0.60	85
0.65	70
0.70	60
0.75	50

หมายเหตุ * ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
ที่มา: Hair *et al.* (1998)

3.1.3 การใช้ประโยชน์จาการวิเคราะห์ปัจจัย

1) เพื่อลดจำนวนตัวแปร โดยการรวมตัวแปรหลายๆ ตัวให้อยู่ในปัจจัยเดียวกัน ปัจจัยที่ได้เป็นตัวแปรใหม่ ที่สามารถหาค่าข้อมูลของปัจจัยที่สร้างขึ้นที่เรียกว่า ค่าคะแนนของปัจจัย (Factor Score) จึงสามารถนำปัจจัยดังกล่าวเป็นตัวแปรสำหรับการวิเคราะห์ทางสถิติต่อไป เช่น การวิเคราะห์ความถดถอยและสหสัมพันธ์ การวิเคราะห์ความแปรปรวน การวิเคราะห์ความแตกต่าง T-test หรือ Z-test และการวิเคราะห์จำแนกกลุ่ม เป็นต้น

2) เพื่อแก้ไขปัญหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ เมื่อใช้เทคนิคการวิเคราะห์ทางสถิติที่มีข้อจำกัด ซึ่งห้ามมิให้ตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กันมาก

3) ทำให้เห็นโครงสร้างตัวแปรของตัวแปรที่ศึกษา เนื่องจากมีการรวมตัวแปรที่สัมพันธ์กันมากไว้ในปัจจัยเดียวกัน และสามารถอธิบายความหมายของแต่ละปัจจัยตามความหมายของตัวแปรต่างๆ ที่อยู่ในปัจจัยนั้น ทำให้สามารถนำไปใช้ในด้านการวางแผนได้ ซึ่งมีประโยชน์ต่องานวิจัยต่างๆ มากมาย ยกตัวอย่างเช่น งานวิจัยในการสำรวจความคิดเห็นหรือพฤติกรรมของผู้บริโภคเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ สามารถใช้เทคนิคการวิเคราะห์ปัจจัยเพื่อดูว่าปัจจัยใดหรือตัวแปรใดที่มีผลต่อการเลือกผลิตภัณฑ์

4) เพื่อกำหนดน้ำหนักเชิงสัมพันธ์ของตัวแปรที่นำมาใช้ในการสร้างมาตรวัด รวมทั้งยืนยันความถูกต้องของแบบแผนการให้น้ำหนักตัวแปรที่นำมาสร้างมาตรวัด

เทคนิคการวิเคราะห์ปัจจัยนิยมใช้มากในการศึกษาวิจัยทางสังคมศาสตร์ และงานวิจัยการตลาด สามารถรวบรวมงานวิจัยต่างๆ ที่ใช้เทคนิคนี้ ดังต่อไปนี้

นันท์ชนก (2545) ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อส้มโอปอกเปลือกและเนื้อส้มโอบรรจุถาดพลาสติกหุ้มฟิล์ม โดยผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมายวัยทำงานที่มีอายุ 20-25ปี จำนวน 100 คนในเขตกรุงเทพมหานคร ซึ่งให้คะแนนความสำคัญของตัวแปรที่ใช้ในการตัดสินใจซื้อ 5 ระดับ (5 เท่ากับมีสำคัญมากที่สุดไปจนถึง 1 เท่ากับมีความสำคัญน้อยที่สุด) รายงานว่าปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อส้มโอปอกเปลือกทั้งหมด 12 ตัวแปร ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ปัจจัยสามารถลดปัจจัยเหลือเพียง 3 ปัจจัย และผู้วิจัยได้ให้คำนิยามปัจจัยใหม่ ดังนี้ 1) ปัจจัยด้านคุณภาพภายในของส้มโอ 2) ปัจจัยด้านลักษณะรูปทรงของส้มโอ และ3) ปัจจัยด้านลักษณะปรากฏของส้มโอ ในขณะที่ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อเนื้อส้มโอบรรจุถาดพลาสติกหุ้มฟิล์ม ทั้งหมด 10 ตัวแปร ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ปัจจัยสามารถลดปัจจัยเหลือเพียง 3 ปัจจัยเช่นกัน ได้แก่ 1) ปัจจัยด้านลักษณะปรากฏของเนื้อส้มโอ 2) ปัจจัยด้านคุณภาพภายในของเนื้อส้มโอ และ 3) ปัจจัยด้านสีและกลิ่นของเนื้อส้มโอ

พศิน (2537) ศึกษาองค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่อผลสัมฤทธิ์ทางการสำเร็จการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาของนักศึกษาสังกัดสถาบันอุดมศึกษาของรัฐ โดยสำรวจกลุ่มตัวอย่าง

จำนวน 345 คน และวิเคราะห์ปัจจัยโดยการหมุนแกนแบบตั้งฉาก (Orthogonal Rotation) ด้วยวิธีวาริแมกซ์ (Varimax)รายงานว่าสามารถลดปัจจัยเหลือเพียง 3 ปัจจัย ได้แก่ 1) การบริการของสถาบันการศึกษา 2) แรงจูงใจภายนอก และ 3) กิจกรรมเสริม สภาพแวดล้อม ค่านิยมของผู้เรียน และพื้นฐานทางวิชาการ

เรณู (2534) ศึกษาเปรียบเทียบวิธีการวิเคราะห์ปัจจัยสำหรับวัดคุณลักษณะการเป็นผู้นำทางการทหาร ซึ่งใช้แบบวัดคุณลักษณะที่เหมาะในการเป็นผู้นำทหารและตำรวจ 25 คุณลักษณะ โดยนักศึกษาทหารชั้นปีที่ 4 ปีการศึกษา 2532-2533 ของโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า 223 นาย นายเรือ 129 นาย และนายเรืออากาศ 89 นาย และให้คะแนนความคิดเห็นเป็น 5 ระดับ ซึ่งคุณลักษณะการเป็นผู้นำทางการทหารของกลุ่มทหารบก ทหารเรือ และทหารอากาศมีความแตกต่างกันไปในแต่ละกลุ่ม ในที่นี้จะขอยกตัวอย่างการรายงานผลของกลุ่มทหารบก พบว่า วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Generalized Least Square) ในการวิเคราะห์ปัจจัย เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดปัจจัยเมื่อพิจารณาจากความสามารถในการอธิบายความแปรปรวน ซึ่งสามารถลดตัวแปรจาก 25 ตัวแปรเหลือเพียง 6 ปัจจัย โดยผู้วิจัยให้คำนิยามดังนี้ 1) ปัจจัยด้านพื้นฐานทางจิตใจ ประกอบด้วย 10 คุณลักษณะ 2) ปัจจัยด้านความเชื่อมั่นในตัวเองและคุณลักษณะนิสัยในการทำงาน ประกอบด้วย 4 คุณลักษณะ 3) ปัจจัยด้านการปรับตัวเข้ากับสังคม ประกอบด้วย 4 คุณลักษณะ 4) ปัจจัยด้านการควบคุมตัวเอง ประกอบด้วย 3 คุณลักษณะ 5) ปัจจัยด้านการมีพลังอำนาจในตัวเอง และ 6) ปัจจัยด้านความกล้าหาญและยุติธรรม

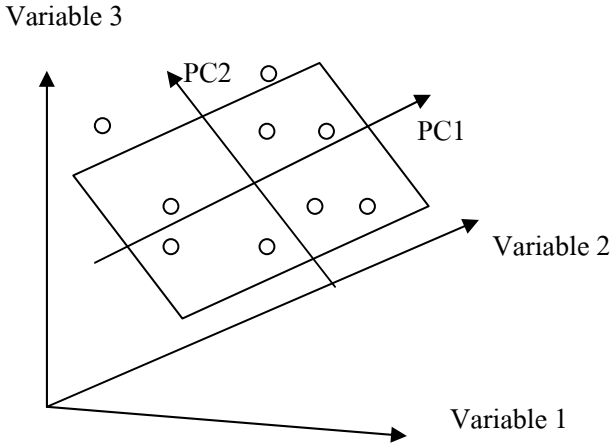
3.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบ (Principle Component Analysis [PCA])

การวิเคราะห์องค์ประกอบ (Principle Component Analysis) หรือเรียกย่อๆ ว่า PCA เป็นเทคนิคในการวิเคราะห์หลายตัวแปร ซึ่งมีวัตถุประสงค์ หลักการ และการใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์องค์ประกอบ ดังต่อไปนี้

3.2.1 วัตถุประสงค์และหลักการของเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบ

การวิเคราะห์องค์ประกอบ (PCA) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการสร้างตัวแปรใหม่และลดจำนวนตัวแปรเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ปัจจัย (Factor analysis) ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะแสดงผลของความสัมพันธ์ของตัวแปรในเชิงสมการเส้นตรงของตัวแปรเดิมโดยอธิบายความ

แปรปรวนได้สูงสุดและให้มีการสูญเสียข้อมูลน้อยที่สุด จำนวนตัวแปรใหม่ที่เกิดขึ้นที่เป็นไปได้มากที่สุดเท่ากับจำนวนตัวแปรเดิม และตัวแปรใหม่จะไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างกัน (Sharma, 1996) ตัวแปรใหม่ที่ได้จากการวิเคราะห์ PCA เรียกว่า องค์ประกอบ (Principle Component [PC]) โดยที่องค์ประกอบที่ 1 (PC1) จะประกอบไปด้วยตัวแปรที่สามารถลดความแปรปรวนของกลุ่มข้อมูลได้มากที่สุด ส่วนองค์ประกอบที่ 2 (PC2) มีลักษณะตั้งฉากกับองค์ประกอบแรก จะลดความแปรปรวนที่อธิบายไม่ได้ที่เหลือมากที่สุด และในทำนองเดียวกันองค์ประกอบอื่นก็ใช้หลักการเช่นเดียวกัน และจะนำเสนอผลการวิเคราะห์องค์ประกอบ (PCA) ในรูปแผนภาพ หรือ ฉายภาพ (Projection) 2 มิติ เช่น องค์ประกอบที่ 1(PC1) และ (PC2) เป็นต้น



<u>ภาพที่ 2</u> การวิเคราะห์องค์ประกอบ (PCA) โดยการสร้างองค์ประกอบใหม่บนองค์ประกอบที่ 1(PC1) และองค์ประกอบที่ 2 (PC2)

ที่มา: Camo AS (1996)

องค์ประกอบ (PC) ที่เกิดขึ้นสามารถอธิบายความสัมพันธ์ร่วมของตัวแปรเดิมในเชิงสมการเส้นตรงซึ่งอยู่ในรูปเมตริกความสัมพันธ์ ดังนี้

$$X = TP^T + E$$

โดยที่ T = เมตริกซ์ของค่าคะแนนองค์ประกอบ (Score Matrix)

P = เมตริกซ์ของน้ำหนักองค์ประกอบ (Loading Matrix)

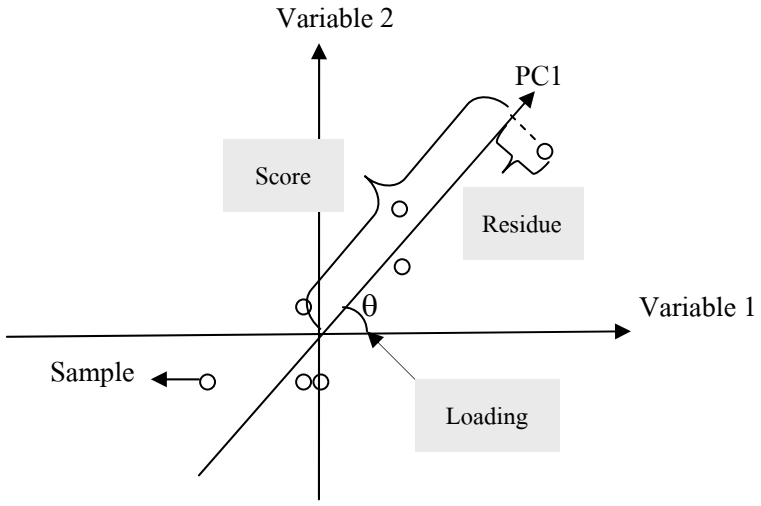
E = เมตริกซ์ของความคลาดเคลื่อน (Error Matrix หรือ Residual)

แต่ละองค์ประกอบมีลักษณะที่ประกอบไปด้วย 3 ส่วน ดังนี้

1) วาเรียนซ์ (Variance) คือความคลาดเคลื่อนที่วัดได้ ซึ่งชี้ให้เห็นว่ามีข้อมูลมากน้อยเพียงใดที่สามารถอธิบายได้ด้วยองค์ประกอบนั้นๆ โดยอธิบายจากความสามารถในการอธิบายความแปรปรวนเป็นร้อยละ

2) น้ำหนักองค์ประกอบ (Loading) อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเป็นค่ามุมโคซานย์ (Cosine) ระหว่างตัวแปรและองค์ประกอบ (แกน PC) นั้นๆ มีค่าระหว่าง -1 ถึง +1

3) ค่าคะแนนองค์ประกอบ (Score) อธิบายคุณสมบัติของตัวอย่างหรือโครงสร้างของตัวอย่าง ซึ่งแสดงถึงความแตกต่างหรือเหมือนกันของตัวอย่าง



ภาพที่ 3 การวเคราะหองคประกอบ (PCA) เดยแสดงความสมพนธของนาหนกองคประกอบ (Loading) ค่าคะแนนองค์ประกอบ (Score) และความคลาดเคลื่อน (Residue) ขององค์ประกอบที่ 1(PC1)

องค์ประกอบ (PC) สร้างขึ้นมาเพื่อเชื่อมโยงตัวอย่าง (Sample) และตัวแปร (Variable) ต่างๆ (ดังภาพที่ 2) อธิบายในค่าคะแนนองค์ประกอบ (Score) และน้ำหนักองค์ประกอบ (Loading) โดยค่าคะแนนองค์ประกอบ (Score) และน้ำหนักองค์ประกอบ (Loading) ที่อยู่ในแกนองค์ประกอบเดียวกันมีเครื่องหมายเหมือนกันหมายความว่าตัวอย่างที่มีค่าคะแนนองค์ประกอบสูงกว่าจะมีค่าของตัวแปรนั้นๆ สูงด้วยเช่นกัน และในทำนองกลับกันถ้ามีเครื่องหมายตรงกันข้ามกับตัวอย่างแสดงว่ามีค่าของตัวแปรนั้นต่ำ

3.2.2 การใช้ประโยชน์จากการวิเคราะห์องค์ประกอบ (PCA)

การวิเคราะห์องค์ประกอบ (PCA) มีประโยชน์ในการค้นหาว่าตัวอย่างมีความแตกต่างหรือเหมือนกันกับตัวอย่างอื่นด้วยตัวแปรหรือคุณลักษณะที่มีความสัมพันธ์กัน ทำให้สามารถจัดโครงสร้างลักษณะของตัวอย่างและการจัดกลุ่มของตัวอย่าง มักนำเสนอผลในรูปภาพ 2 มิติ เช่น แกนองค์ประกอบที่ 1 (PC1) และ 2 (PC2) ซึ่งมีรายงานการวิจัยมากมายโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบ ดังต่อไปนี้

Janto *et al.* (1998) ศึกษาความแตกต่างของชนิดแป้งสาลีต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสในด้านเค้าโครงเนื้อสัมผัส 17 คุณลักษณะของบะหมี่สด (Fresh noodle) และบะหมี่เปียก (Wet noodle) ที่มีการผลิตตามแต่ละประเทศ ได้แก่ ไต้หวัน ไทย และมาเลเซีย วิเคราะห์ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบ (PCA) ผลจากการวิเคราะห์พบว่า บะหมี่สดไทยมีคุณลักษณะเนื้อสัมผัสมีความแข็ง /แน่น และการเกาะตัวรวมกันมากที่สุด นอกจากนี้ยังมีลักษณะของแป้งระหว่างฟันและแรงที่ใช้ในการถอนฟันออกจากบะหมี่ที่เคี้ยวมากกว่าบะหมี่ของไต้หวันและมาเลเซีย ส่วนบะหมี่ของไต้หวันมีลักษณะผิวสัมผัสเรียบ มีความยืดหยุ่นค่อนข้างสูง และบะหมี่ฮอกเกี้ยนของมาเลเซียมีลักษณะนุ่มมาก ความแน่น การเกาะตัวรวมกัน และการเหนียวติดกันน้อย

Frau *et al.* (1999) ศึกษาความแตกต่างของระยะเวลาในการบ่มมาฮอนชีส (Mahon cheese) ในคุณสมบัติทางกายภาพโดยวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบ (PCA) ผลการวิเคราะห์พบว่าสามารถลดตัวแปรคุณสมบัติทางกายภาพ 8 ตัวแปรให้เหลือเพียง 2 องค์ประกอบและสามารถอธิบายความแปรปรวนรวม 84.4% โดยสามารถแยกความแตกต่างของชีสที่มีระยะเวลาการบ่มต่างกันด้วยองค์ประกอบที่ 1 ซึ่งชีสจะมีความแตกต่างกันตามคุณสมบัติทางกายภาพ คือ กลุ่มชีสที่มีค่าวอเตอร์แอคติวิตี้และความยืดหยุ่นที่สูง และมีสีเหลืองเล็กน้อยออกจากกลุ่มชีสที่มีลักษณะมีค่าความแข็งและแรงที่ใช้ในการเจาะทะลุสูง

Hulin-Bertaud *et al.* (2000) ศึกษาเปรียบเทียบเชดดาร์ชีสที่มีการใช้เอนไซม์ในการปรับปรุงกลิ่นรส 15 ตัวอย่าง และเชดดาร์ชีสปกติ 3 ตัวอย่าง ในคุณลักษณะกลิ่นและกลิ่นรสด้วยการประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา โดยวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบ (PCA) ผลการวิเคราะห์พบว่าเชดดาร์ชีสที่มีการใช้เอนไซม์ในการปรับปรุงกลิ่นรสมีลักษณะกลิ่นรสคล้ายอาเจียน (Vomit) ขม (Bitter) เฝื่อน(Astringent) สารเคมี (Chemical)

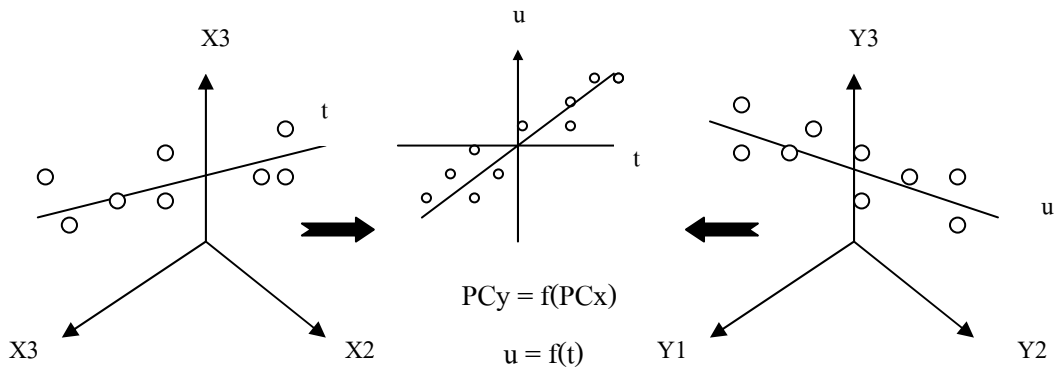
และซัลเฟอร์ (Sulphur) ขณะที่เชดดาร์ชีสปกติมีกลิ่นรสหวาน (Sweet) คาราเมล (Caramel) ครีม (Creamy) ถั่ว (Nutty) และเนย (Buterry)

3.3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์รีเกรซชันแบบ Partial Least Square (PLS)

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์รีเกรซชันแบบ Partial Least Square (PLS) เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ตัวแปรหลายตัว ซึ่งมีวัตถุประสงค์ หลักการ และการใช้ประโยชน์เทคนิคการวิเคราะห์ PLS ดังต่อไปนี้

3.3.1 วัตถุประสงค์และหลักการในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์รีเกรซชันแบบ PLS

Partial Least Square เป็นเทคนิคที่ใช้หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตอบสนองหลายตัว (Y) กับตัวแปรกระตุ้นหลายตัว (X) ภายใต้องค์ประกอบใหม่ของตัวแปร X หรือเรียกว่าองค์ประกอบของ PLS (PLS-components) สร้างความสัมพันธ์กับตัวแปร Y ในรูปสมการถดถอย โดยใช้จำนวนองค์ประกอบให้น้อยที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ ทั้งนี้องค์ประกอบของ PLS (PLS-components) เหมือนกับองค์ประกอบ (PC) ในการวิเคราะห์ PCA และจะนำเสนอความสัมพันธ์จากการวิเคราะห์ PLS เป็นแผนภาพ (Mapping)



ภาพที่ 4 โครงสร้างของการวิเคราะห์รีเกรซชันแบบ Partial Least Square (PLS)
ที่มา: Camo AS. (1996)

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์รีเกรซชันแบบ Partial Least Square (PLS) มี 2 วิธี คือ

1) วิธี PLS1 เป็นการหาความสัมพันธ์ที่มีตัวแปร Y เพียงตัวเดียว
2) วิธี PLS2 เป็นการหาความสัมพันธ์ที่มีตัวแปร Y หลายตัวในสมการไปพร้อมๆกัน

สมการ (Model) จะสร้างขึ้นเสมือนเป็นชุดองค์ประกอบของตัวอย่าง (Samples) และตัวแปร (Variables) แสดงความสัมพันธ์ในรูปแผนภาพโดยตัวอย่างอธิบายด้วยค่าคะแนน (Score) และตัวแปรอธิบายด้วยค่าน้ำหนัก (Loading) เช่นเดียวกับการวิเคราะห์องค์ประกอบ (PCA)

3.3.2 การใช้ประโยชน์จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์รีเกรซชันแบบ PLS

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์รีเกรซชันแบบ PLS นำมาใช้ประโยชน์อย่างมากในงานวิจัยต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในงานวิจัยทางประสาทสัมผัสใช้เทคนิคนี้นำเสนอข้อมูลในรูปแผนภาพ เรียกว่า Preference Mapping เพื่ออธิบายหรือแสดงทัศนคติ หรือการรับรู้ของผู้บริโภคหรือผู้ทดสอบที่มีต่อตัวอย่างหรือผลิตภัณฑ์และความชอบของผู้บริโภคแต่ละคน โดยสามารถหาความสัมพันธ์คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสที่มีผลต่อความชอบโดยรวมจากการทดสอบผู้บริโภคได้ ซึ่ง Preference Mapping แบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ แผนภาพความชอบภายนอก (External preference mapping [EPM]) และแผนภาพความชอบภายใน (Internal preference mapping [IPM]) (วิลัศนา, 2546) โดยที่แผนภาพความชอบภายนอก (External preference mapping [EPM]) เป็นการวิเคราะห์คุณลักษณะต่างๆ ในผลิตภัณฑ์อาหารเป็นกลุ่มโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์หลายตัวแปร (Multivariate analysis) วิธีการนี้จะแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างความชอบ (Preference) กับคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส (Sesory attribute) หรือคุณภาพทางเคมีและกายภาพก็ได้ ส่วนแผนภาพความชอบภายใน (Internal preference mapping [IPM]) เป็นการวิเคราะห์คุณลักษณะต่างๆ ในเป็นกลุ่มโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์หลายตัวแปร (Multivariate analysis) เช่นเดียวกับ EPM แต่การจัดกลุ่มของคุณลักษณะต่างๆ นั้น ขึ้นอยู่กับข้อมูลความชอบของผู้บริโภคกับตัวอย่าง

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบรีเกรซชันด้วยวิธี PLS ได้นำมาใช้ในงานวิจัยอย่างแพร่หลายมากขึ้น เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพที่ได้จากการประเมินทางประสาทสัมผัสกับการประเมินทางเครื่องมือ รวมทั้งหาความสัมพันธ์กับการประเมินความชอบของผู้บริโภค ซึ่งสามารถรวบรวมงานวิจัยได้ ดังต่อไปนี้

Tang *et al.* (2000) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความชอบของผู้บริโภคจำนวน 100 คนกับคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสปรากฏและเนื้อสัมผัสต่อตัวอย่างบะหมี่ 8 ตัวอย่าง ซึ่งมีความแตกต่างในด้านส่วนผสม (Formulation) ผลของแผนภาพ Preference Mapping จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบรีเกรซชันด้วยวิธี PLS1 พบว่าความชอบของผู้บริโภคมีความสัมพันธ์อย่างสูงกับคุณลักษณะสีเหลือง และคุณลักษณะเนื้อสัมผัส ได้แก่ ความแน่นเนื้อ (Firmness) ความยากง่ายในการเคี้ยว (Chewiness) ความยืดหยุ่น (Elasticity) และความเหนียวติดกันของเส้น (Stickiness) แต่สำหรับคุณลักษณะเนื้อสัมผัสมีอิทธิพลต่อความชอบของผู้บริโภคน้อยกว่าคุณลักษณะสีเหลือง นอกจากนี้ยังทำการศึกษาความสัมพันธ์ความชอบของผู้บริโภคโดยแบ่งกลุ่มเป็นผู้บริโภคชาวเอเชียและชาวอเมริกันกับคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้วยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบรีเกรซชันด้วยวิธี PLS2 จากแผนภาพ Preference Mapping พบว่าความชอบของผู้บริโภคชาวเอเชียมีความสัมพันธ์กับคุณลักษณะสีเหลืองและเนื้อสัมผัสในด้านได้แก่ ความแน่นเนื้อ ความยากง่ายในการเคี้ยว ความยืดหยุ่น และความเหนียวติดกันของเส้น ในขณะที่ความชอบของผู้บริโภคชาวอเมริกันมีความสัมพันธ์กับคุณลักษณะสีเหลือง และความเรียบ (Smoothness) ของเส้นบะหมี่ และสัมพันธ์ในทิศทางลบกับคุณลักษณะความใส (Translucency) และความมันเงา (Shininess) ของเส้นบะหมี่

Rosenfeld and Nes (2000) ทำการศึกษาคุณลักษณะและเปรียบเทียบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของความแตกต่างของการเพาะปลูกสตรอเบอรี่และชนิดของแยมวิเคราะห์โดยหาความสัมพันธ์ของคุณลักษณะผลไม้สด (Fresh fruit) ที่ส่งผลต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของแยมที่ผ่านการทำให้สุก (Cooked jam) นำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบรีเกรซชันด้วยวิธี PLS2 พบว่าตัวแปรคุณลักษณะด้านสีและกลิ่นของผลไม้สด ได้แก่ ความขาว (Whiteness) ค่าสี Hue ความเข้มของสี (Color strength) และกลิ่นสตรอเบอรี่ (Strawberry flavor) สามารถทำนายได้ 35% ของตัวแปรคุณภาพทางประสาทสัมผัสของแยมที่ผ่านการทำให้สุก และถ้าวิเคราะห์ข้อมูลเฉพาะกลุ่มผลไม้สดที่ทำการเก็บเกี่ยวช่วงเช้าแล้วนำไปทดสอบทางประสาทสัมผัสทันที (Early cultivar) พบว่าตัวแปรของคุณลักษณะผลไม้สดสามารถทำนายได้ 69% ของตัวแปรคุณภาพทางประสาทสัมผัสของแยมที่ผ่านการทำให้สุก

Meullenet *et al.* (2001) ทำการศึกษาตัวอย่างข้าวหอมมะลิ 21 ตัวอย่างมีความแตกต่างกันของแหล่งที่มา ขนาดเมล็ด ลักษณะการทำให้สุกประเภทกึ่งสำเร็จรูป และการผ่านการทำให้สุกเล็กน้อย (parboil) ประเมินความชอบโดยผู้บริโภคชาวเอเชีย 120 คนที่อาศัยในประเทศ

อเมริกา และทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาในด้านลักษณะปรากฏ กลิ่นและรสชาติ เนื้อสัมผัส และสิ่งที่ตกค้างหลังจากกลืน เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบรีเกรซชันด้วยวิธี PLS ระหว่างความชอบกับคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาต่างๆ พบว่าปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อการยอมรับของชาวเอเชีย คือ ลักษณะปรากฏและกลิ่นของข้าวสุก

Suwansri *et al.* (2002) ทำการศึกษาตัวอย่างข้าวหอมมะลิทางการค้าที่มีการผลิตในประเทศ 3 ตัวอย่าง และนำเข้าจากต่างประเทศ 12 ตัวอย่าง ประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาโดยผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน 9 คนในคุณลักษณะทางด้านลักษณะปรากฏ 5 คุณลักษณะ กลิ่นรส 16 คุณลักษณะ และเนื้อสัมผัส 11 คุณลักษณะ และการทดสอบความชอบด้วยวิธี Home Use testing โดยครอบครัวผู้บริโภคชาวเอเชียจำนวน 105 คน ซึ่งอาศัยอยู่ในมลรัฐอาร์แคนซาส (The State of Arkansas) เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบรีเกรซชันด้วยวิธี PLS ระหว่างความชอบกับคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาต่างๆ พบว่าคุณลักษณะทางด้านสี กลิ่นรส กลิ่นความเหนียวติดกัน (Stickiness) และความแข็ง เป็นคุณลักษณะสำคัญที่ใช้ในพิจารณายอมรับข้าวหอมมะลิ ขณะที่ความชอบของผู้บริโภคจะลดลงเมื่อมีลักษณะสีเหลือง มีกลิ่นของไม้ (Woody) และ กลิ่นคล้ายกระดาษเปียก (Wet cardboard) ซึ่งเป็นลักษณะที่พบในข้าวหอมมะลิทางการค้าที่ผลิตในประเทศ

Carson *et al*. (2002) ศึกษาความสัมพันธ์ของคุณลักษณะเนื้อสัมผัส 7 คุณลักษณะ โดยวิธีการทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของโยเกิรต์ 2 ชนิดกับสเปกตรัมของแรง (Spectral Force Deformation) จากการวัดเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องมือโดยวิธีการทดสอบแบบการกด (Compression) และการเจาะทะลุ (Penetration) วิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบรีเกรซชันด้วยวิธี PLS1 พบว่าคุณลักษณะเนื้อสัมผัสจากการประเมินทางประสาทสัมผัสมีเพียง 5 คุณลักษณะ ได้แก่ การเกาะติดช้อน (Spoon impression) ความข้นหนืดจากการสังเกตด้วยตา (Visual thickness) การเกาะติดหลังช้อน (Covering) ความข้นหนืดในปาก (Oral thickness) และความลื่น (Slipperiness) มีความสัมพันธ์กับการวัดเนื้อสัมผัสทางเครื่องมือ ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จากสมการตรวจสอบความถูกต้อง (Validation) มากกว่า 0.75

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัตถุดิบและสารเคมี

1.1 แป้งสาลีตราลูกท้อ ปริมาณโปรตีน 11%

1.2 เกลือป่นเม็ดละเอียด ยี่ห้อปรุงทิพย์

1.3 โซเดียมคาร์บอเนต บริษัท ฟู้ดแอนด์เคมิคอล จำกัด

1.4 ไข่ขาวผง บริษัทเบลโลโว (ไทยแลนด์) จำกัด

1.5 โพลีฟอสเฟต บริษัทไทยโพลีฟอตเฟต จำกัด

1.6 โพรพิลีนไกลคอล บริษัท F.A. Group

1.7 สารดูดความชื้นซิลิกาเจล (Moisture adsorber) บรรจุในซองๆ ละปริมาณ 1.5 กรัม ยี่ห้อฟูจิ

1.8 สารดูดออกซิเจน (Oxygen absorber) บรรจุซองยี่ห้อ Wonderkeep รุ่น RP-50

1.9 ถุงบรรจุภัณฑ์ชนิด Nylon 15 / LLDPE40 จากบริษัทฮูทามากิ ประเทศไทย จำกัด

2. อุปกรณ์ในการเตรียมบะหมี่

2.1 เครื่องทำบะหมี่ (ลูกกลิ้งพร้อมที่ตัดเส้น)

2.2 เครื่องผสม Kitchen aid

2.3 เครื่องปั่นผสม (Blender)

2.4 อุปกรณ์เครื่องครัว

3. อุปกรณ์ในการวิเคราะห์คุณภาพ

3.1 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

3.1.1 เครื่องวัดสี Spectrophotometer ยี่ห้อ Minolta รุ่น CM-3500d

3.1.2 เครื่องวัดเนื้อสัมผัส Texture Analyzer (รุ่น LRX, Lloyd Instrument, USA) และ Texture Analyzer (รุ่นTA XT Plus, Stable Micro System, England) พร้อมอุปกรณ์หัววัด คือ Tortilla/Pastry Burst Rig (HDP/TPB), Knife Edge (HDP/BS) และ Spaghetti/Noodle Tensile Rig (A/SPR)

3.1.3 เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง

3.2 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

3.2.1 อุปกรณ์วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ (Proximate Analysis) ได้แก่ โปรตีน ความชื้น

3.2.2 เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง pH Meter

3.2.3 เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ Water Activity (Aw) ยี่ห้อ Novasina รุ่น RTD 200

3.3 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์

3.3.1 เครื่องแก้วในการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์

3.3.2 ตู้ฆ่าเชื้อแบบลมร้อน ยี่ห้อ Binder

3.3.3 เครื่องฆ่าเชื้อภายใต้ความดัน (Autoclave-steam sterilizer) ยี่ห้อ Tuttnauer รุ่น 3850M

3.3.4 แผ่นเพาะเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูป 3M Petrifilm™ AC และ 3M Petrifilm™ YM

3.4 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

3.4.1 อุปกรณ์ในการทดสอบทางประสาทสัมผัส

3.4.2 แบบสอบถาม

4. <u>อุปกรณ์ในการบรรจุ</u>

4.1 เครื่องบรรจุแบบสุญญากาศ (Multivac รุ่น KM 100 – 3MEM)

4.2 ก๊าซไนโตรเจน

5. อุปกรณ์ในการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

5.1 เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์

5.2 โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ SPSS® เวอร์ชั่น 12.0

5.3 โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ Unscrambler ® เวอร์ชั่น 8.0

วิธีการ

1. การศึกษาความคิดเห็น ความต้องการ และปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อบะหมี่สดของผู้บริโภคในเขตกรุงเทพมหานคร

การสำรวจความคิดเห็น ความต้องการ และความสำคัญของคุณลักษณะต่างๆ ของบะหมี่สดที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมายจะใช้การออกแบบสอบถาม (ดังแสดงในภาคผนวก ฉ) ร่วมกับการสัมภาษณ์ โดยกลุ่มเป้าหมาย คือ กลุ่มผู้บริโภคที่ชอบรับประทานบะหมี่และประกอบอาหารรับประทานเอง อยู่ในเขตกรุงเทพมหานคร ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

ก. ออกแบบสอบถามและทดลองใช้แบบสอบถามกับกลุ่มตัวอย่างจำนวน 10 คน เพื่อปรับปรุงข้อบกพร่องของแบบสอบถาม

ข. ทำการสำรวจผู้บริโภคโดยใช้แบบสอบถามร่วมกับการสัมภาษณ์กับกลุ่มตัวอย่างจำนวน 30 คน เพื่อทราบถึงสัดส่วนของประชากรที่คาดว่าสนใจซื้อผลิตภัณฑ์ (p)

ค. กำหนดขนาดตัวอย่างโดยคำนวณจากสูตรการแจกแจงค่าสัดส่วนตัวอย่าง (วรัญญา, 2545) คือ

$$n = Z^2 pq / E^2$$

โดยที่ p = สัดส่วนของประชากรที่คาดว่าสนใจซื้อผลิตภัณฑ์

q = 1- p

Z = ความเชื่อมั่นที่กำหนด

E = ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้เกิดขึ้นได้

ง. ทำการสำรวจผู้บริโภคโดยใช้แบบสอบถามร่วมกับการสัมภาษณ์กลุ่มตัวอย่างจำนวนเท่ากับที่คำนวณได้ในข้อ ค. และสุ่มตัวอย่างโดยใช้ความสะดวก (Convenience sampling) และแบบสอบถาม (ดังแสดงในภาคผนวก ฉ) แบ่งออกเป็นทั้งหมด 3 ส่วน ดังนี้

1.1 <u>ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมาย</u> ประกอบด้วยข้อมูลเกี่ยวกับ

1.1.1 ลักษณะประชากรศาสตร์ของผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมาย

1.1.2 ลักษณะพฤติกรรมศาสตร์ของผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมาย ซึ่งจำแนกผู้บริโภคออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

ก. ลักษณะพฤติกรรมศาสตร์ของผู้ที่เคยซื้อเส้นบะหมี่สด

ข. ลักษณะพฤติกรรมศาสตร์ของผู้ที่ไม่เคยซื้อเส้นบะหมี่สด

ข้อมูลที่รวบรวมได้จากการตอบแบบสอบถามในส่วนที่ 1 นี้ จะทำการวิเคราะห์ด้วยสถิติเชิงพรรณนา โดยการหาอัตราส่วนเป็นร้อยละของความถี่

1.2 <u>ส่วนที่ 2 ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อเส้นบะหมี่สดของผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมาย</u>

ผู้ตอบแบบสอบถามให้คะแนนความสำคัญในปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อแบ่งเป็น 5 ระดับคะแนน คือ 5 คะแนนเท่ากับมีความสำคัญมากที่สุดไปจนถึง 1 คะแนนเท่ากับมีความสำคัญน้อยที่สุด โดยส่วนที่ 2 นี้จะทำการศึกษาปัจจัยและอิทธิพลของลักษณะประชากรศาสตร์ที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อเส้นบะหมี่สดของผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมาย ดังนี้

1.2.1 ปัจจัยที่ผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมายใช้ในการตัดสินใจซื้อเส้นบะหมี่สด โดยรวบรวมคะแนนการให้ความสำคัญในปัจจัยต่างๆ ของผู้ตอบแบบสอบถามทั้งหมด นำมาวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนาโดยการหาค่าเฉลี่ยและฐานนิยม รวมทั้งวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ปัจจัย (Factor Analysis) ทำให้ได้ปัจจัยใหม่ ซึ่งข้อมูลจะต้องปรับเป็นค่ามาตรฐาน (Standardize) ก่อนการวิเคราะห์ปัจจัย

1.2.2 อิทธิพลของลักษณะประชากรศาสตร์ที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อเส้นบะหมี่สด โดยการนำค่าคะแนนมาตรฐานของปัจจัยใหม่ (Factor score) ที่ได้จากการวิเคราะห์ในข้อ 1.2.1 นำมาหาความแตกต่างของแต่ละกลุ่มของลักษณะทางประชากรศาสตร์ ซึ่งจะต้องแบ่งกลุ่มตัวอย่างของลักษณะประชากรศาสตร์ให้มีจำนวนการกระจายของประชากรไม่แตกต่างกันมากเกินไป จึงจะนำมาศึกษาอิทธิพลของกลุ่มลักษณะประชากรศาสตร์นั้นๆ จากนั้นทำการวิเคราะห์ความแตกต่างของกลุ่มด้วยสถิติ t-test เมื่อลักษณะประชากรศาสตร์แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม แต่ถ้าแบ่งกลุ่มลักษณะประชากรศาสตร์มากกว่า 2 กลุ่มจะใช้สถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

1.3 <u>ส่วนที่ 3 ความคิดเห็นเกี่ยวกับแนวคิดผลิตภัณฑ์ (Product Concept)</u>

ความคิดเห็นในการพัฒนาเส้นบะหมี่สดที่ยืดอายุการเก็บรักษา โดยผู้ตอบแบบสอบถามให้คะแนนความคิดเห็นต่อแนวความคิดผลิตภัณฑ์ แบ่งเป็นความคิดเห็น 5 ระดับ คะแนน คือ 5 คะแนนเท่ากับเห็นด้วยอย่างยิ่งไปจนถึง 1 คะแนนเท่ากับไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง ซึ่งจะทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนา โดยการหาค่าเฉลี่ยและฐานนิยม นอกจากนี้ส่วนที่ 3 ยังให้ผู้ตอบแบบสอบถามแสดงความเห็นต่อการตัดสินใจซื้อหรือไม่ซื้อ และรูปแบบบรรจุภัณฑ์ของผลิตภัณฑ์เส้นบะหมี่สดที่พัฒนาตามแนวความคิดผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนาเช่นกัน โดยการหาอัตราส่วนร้อยละความถี่

2. การศึกษาคุณภาพทางเคมี กายภาพ และทางประสาทสัมผัสโดยวิธีการทดสอบเชิงพรรณนาร่วมกับการทดสอบความชอบของผู้บริโภคต่อบะหมี่สดทางการค้าของไทย และหาความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพทางเคมีและกายภาพกับคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ศึกษาคุณภาพทางเคมี กายภาพ และทางประสาทสัมผัส ของเส้นบะหมี่สดทางการค้าของไทยที่เป็นนิยมในตลาด ซึ่งคัดเลือกมาจากการตอบแบบสอบถามของผู้บริโภคจากการศึกษาในข้อ 1 โดยนำมาศึกษาคุณภาพอย่างน้อย 8 ยี่ห้อ และประเมินคุณภาพเส้นบะหมี่สดใน 2 ลักษณะ คือ เส้นบะหมี่ดิบ (Raw noodle) และเส้นบะหมี่สุก (Cooked noodle) ซึ่งศึกษาคุณภาพต่างๆ ดังต่อไปนี้

2.1 <u>คุณภาพทางเคมีและกายภาพ</u>

2.1.1 คุณภาพทางเคมีและกายภาพของเส้นบะหมี่ดิบ (Raw noodle)

ก. การประเมินลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Lloyd ใช้ Load cell 10 นิวตัน โดยการทดสอบด้วยวิธีการวัดแรงตัดขาด (Blade Cutting test) ประเมินตัวอย่างเส้นบะหมี่จำนวน 4 เส้นในการวัดเนื้อสัมผัสแต่ละครั้ง มีอัตราเร็วของหัววัด (Test speed) เท่ากับ 0.2 มิลลิเมตรต่อวินาที และระยะทางการกดของหัววัดเท่ากับ 5.5 มิลลิเมตร ตั้งค่า Trigger Type เท่ากับ Auto 5 กรัม วัดตัวอย่างเส้นบะหมี่ดิบแต่ละยี่ห้อจำนวน 10 ซ้ำ

ข. การประเมินค่าสีด้วยเครื่อง Spectrophotometer ยี่ห้อ Minolta รุ่น CM-3500d แหล่งกำเนิดแสง D65 มุม 10 องศา วัดค่าสีในระบบ CIE L*a*b* ของตัวอย่างโดยใช้ช่องวัดแสงขนาดกลาง บรรจุตัวอย่าง 25 กรัมในถุงพลาสติกชนิด PP ขนาดกว้างxยาว เท่ากับ 3 x 5 นิ้ว โดยบรรจุตัวอย่างเส้นบะหมี่ดิบให้แน่น และมีความสูงจากก้นถุงเท่ากับ 2.5 นิ้ว โดยวัดตัวอย่างทีละด้านของถุงตัวอย่าง ด้านละ 3 ตำแหน่งที่ต่างกัน รวม 2 ด้าน ทั้งหมด 6 ตำแหน่ง เฉลี่ยค่าสีเป็นเพียงค่าเดียวจากการวัด 1 ตัวอย่างเท่ากับ 1 ซ้ำของการวัด โดยรวมทั้งสิ้นจะทำการวัดตัวอย่างทั้งหมด 3 ซ้ำ ด้วยวิธีการเดียวกัน

ค. การประเมินปริมาณความชื้น ตามวิธีการของ A.O.A.C (2000) (ดังแสดงในภาคผนวก ง) ประเมินหาปริมาณความชื้นของตัวอย่างจำนวน 3 ซ้ำของเส้นบะหมี่ดิบแต่ละยี่ห้อ

ง. การประเมินปริมาณโปรตีน ตามวิธีการของ A.O.A.C (2000) (ดังแสดงในภาคผนวก ง) ประเมินหาปริมาณโปรตีนของตัวอย่างจำนวน 3 ซ้ำของเส้นบะหมี่ดิบแต่ละยี่ห้อ

จ. การประเมินค่าพีเอช โดยเตรียมตัวอย่างเส้นบะหมี่ 10 กรัม ปั่นรวมกับน้ำกลั่น 100 มล. โดยใช้เครื่องปั่นผสมเป็นเวลา 1 นาที จึงนำออกมาวัดค่าพีเอชด้วยเครื่อง pH Meter และวัดค่าพีเอชของตัวอย่างจำนวน 3 ซ้ำของเส้นบะหมี่ดิบแต่ละยี่ห้อ

ฉ. การประเมินขนาดของเส้นบะหมี่ดิบ โดยการวัดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นบะหมี่ 1 เส้นด้วยไมโครมิเตอร์ มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร เส้นบะหมี่ดิบแต่ละยี่ห้อทำการวัดขนาดของเส้นจำนวน 3 ซ้ำในแต่ละยี่ห้อ

ช. การประเมินค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (Water Activity) บดตัวอย่างบะหมี่ดิบก่อนทำการวัด จึงทำการบรรจุตัวอย่างในภาชนะที่ใช้ในการวัดค่า Water activity ปริมาณ 1/3 ของความสูงภาชนะ นำไปวัดด้วยเครื่องวัดค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ โดยเส้นบะหมี่ดิบแต่ละยี่ห้อทำการวัดจำนวน 3 ซ้ำในแต่ละยี่ห้อ

ข้อมูลคุณภาพทางเคมีและกายภาพที่ได้จากการประเมินเส้นบะหมี่ดิบ นำมาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยการวิเคราะห์ความแตกต่างของบะหมี่แต่ละยี่ห้อด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างยี่ห้อด้วยวิธี Fisher's Least Significant Difference (LSD) นอกจากนี้นำข้อมูลค่าเฉลี่ยคุณภาพทางเคมีและกายภาพของเส้นบะหมี่ดิบแต่ละยี่ห้อที่มีความแตกต่างกันในทางสถิติจากการวิเคราะห์ความแปรปรวน นำมาวิเคราะห์สถิติด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ตัวแปรหลายตัว โดยใช้วิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบ (Priciple Component Analysis [PCA]) ซึ่งข้อมูลค่าเฉลี่ยจะต้องทำการปรับค่า (Standardize) ก่อนทำการวิเคราะห์ PCA จะได้แผนภาพความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้น โดยเลือกการพลอตแบบ Biplot (Scores & Loading)

2.1.2 คุณภาพทางเคมีและกายภาพของเส้นบะหมี่สุก (Cooked noodle)

ก. การประเมินลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Lloyd ใช้ Load cell 10 นิวตัน โดยทำการทดสอบ 2 วิธี ดังนี้

1) การวัดแรงตัดขาด (Blade Cutting test) ตามวิธีการเดียวกับการวัดคุณภาพของเส้นบะหมี่ดิบในข้อ 2.1.1 ก

2) การวัดแรงดึง (Tensile Strength test) ประเมินตัวอย่างเส้นบะหมี่สุกจำนวน 1 เส้นในการวัด มีอัตราเร็วของหัววัด (Test speed) เท่ากับ 3 มิลลิเมตรต่อวินาที ระยะทางการดึงของหัววัดเท่ากับ 100 มิลลิเมตร โดยตั้งให้ระยะห่างของหัววัดเท่ากับ 85 มิลลิเมตร และตั้งค่า Trigger Type เท่ากับ Auto 5 กรัม วัดตัวอย่างเส้นบะหมี่ดิบแต่ละยี่ห้อจำนวน 10 ซ้ำ

ข. การประเมินค่าสี ตามวิธีการเดียวกับการวัดคุณภาพของเส้นบะหมี่ดิบในข้อ 2.1.1 ข

ค. การประเมินค่าพีเอช ตามวิธีการเดียวกับการวัดคุณภาพของเส้นบะหมี่ดิบในข้อ 2.1.1 จ

ง. การประเมินคุณภาพจากการทำให้สุก (Cooking Quality) ดังนี้

1) ระยะเวลาในการทำให้สุกที่เหมาะสม (Cooking time) ตามวิธีการของ A.A.C.C (2000) (ดังแสดงในภาคผนวก ง) วัดตัวอย่างเส้นบะหมี่แต่ละยี่ห้อจำนวน 3 ซ้ำ

2) การสูญเสียจากการทำให้สุก (Cooking loss) ตามวิธีการของ A.A.C.C (2000) (ดังแสดงในภาคผนวก ง) วัดตัวอย่างเส้นบะหมี่แต่ละยี่ห้อจำนวน 3 ซ้ำ

3) การดูดซับน้ำเมื่อทำให้สุก (Water Absorption) (ดังแสดงในภาคผนวก ง) วัดตัวอย่างเส้นบะหมี่แต่ละยี่ห้อจำนวน 3 ซ้ำ

จ. การประเมินขนาดของเส้นบะหมี่สุก ตามวิธีการเดียวกับการวัดคุณภาพของเส้นบะหมี่ดิบในข้อ 2.1.1 ฉ

ข้อมูลคุณภาพทางเคมีและกายภาพที่ได้จากการประเมินเส้นบะหมี่สุกแต่ละยี่ห้อนำมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเช่นเดียวกับเส้นบะหมี่ดิบ

2.2 <u>คุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา (Descriptive Sensory Analysis)</u>

การประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา (Descriptive Analysis) มีขั้นตอนการดำเนินการ ดังต่อไปนี้

ก. การคัดเลือกผู้ทดสอบ ซึ่งเป็นผู้ที่มีความสมัครใจ มีเวลา และชอบบริโภคบะหมี่ รวมทั้งผ่านการประเมินในการทดสอบทางประสาทสัมผัสพื้นฐาน โดยงานวิจัยนี้ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 7 คน

ข. การพัฒนาคำศัพท์ คำจำกัดความ และตัวอย่างอ้างอิงที่ใช้ในการประเมินคุณภาพของเส้นบะหมี่ดิบและสุก โดยมีคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสครอบคลุมด้าน ลักษณะปรากฏ (Appearance) กลิ่น (Odor) และเนื้อสัมผัส (Texture) ซึ่งแต่ละคุณลักษณะมีตัวอย่างมาตรฐานอ้างอิงครอบคลุม 3 ระดับ คือ สูง กลาง และต่ำ

ค. การฝึกฝนผู้ทดสอบ โดยฝึกฝนผู้ทดสอบทีละคุณลักษณะจนกระทั่งผู้ทดสอบสามารถใช้สเกลของแต่ละคุณลักษณะได้อย่างถูกต้องและคงที่ ใช้ระยะเวลาในการฝึกฝนทั้งสิ้น 2 เดือน โดยฝึกฝนผู้ทดสอบประมาณ 2 – 3 ชั่วโมงต่อวัน และ 2 – 3 ครั้งต่อสัปดาห์

ง. การทดสอบตัวอย่างบะหมี่ ทำการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสตามลำดับการรับรู้ ผู้ทดสอบจะได้รับทีละตัวอย่างขณะทำการทดสอบ และทำการพักระหว่างตัวอย่าง 2 นาที ทำการประเมินตัวอย่างจำนวน 2 ซ้ำ ทั้งนี้ระหว่างการประเมินจะเรียกความทรงจำด้วยการประเมินตัวอย่างอ้างอิงเสมอ

คุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาจำแนกตามการประเมินใน 2 ลักษณะ คือ เส้นบะหมี่ดิบและเส้นบะหมี่สุก

2.2.1 คุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของเส้นบะหมี่ดิบ (Raw noodle)

เส้นบะหมี่ดิบแต่ละยี่ห้อนำมาประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาตามวิธีการทดสอบที่ได้ฝึกฝนของคุณลักษณะของเส้นบะหมี่ดิบ และเตรียมตัวอย่างเส้นบะหมี่ดิบแต่ละยี่ห้อสำหรับผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนในบรรจุภัณฑ์ที่ป้องกันอากาศและความชื้นได้ ซึ่งข้อมูลคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของเส้นบะหมี่ดิบจะนำมาวิเคราะห์ทางสถิติเช่นเดียวกับการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและกายภาพ

2.2.2 คุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของเส้นบะหมี่สุก(Cooked noodle)

เส้นบะหมี่สุกแต่ละยี่ห้อนำมาประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาตามวิธีการทดสอบที่ได้ฝึกฝนของคุณลักษณะของเส้นบะหมี่สุก และเตรียมตัวอย่างเส้นบะหมี่สุกแต่ละยี่ห้อ โดยนำเส้นบะหมี่ดิบต้มในน้ำเดือดด้วยอัตราส่วนเส้นบะหมี่ต่อปริมาณน้ำ

เท่ากับ 1:10 (w/v) และใช้ระยะเวลาการต้มให้สุกที่เหมาะสม (Cooking time) ตามที่ได้จากการประเมินในข้อ 2.1.2 ง หลังจากนั้นนำมาแช่ในน้ำเย็น 60 วินาที ทิ้งให้สะเด็ดน้ำ เสริฟตัวอย่างทันทีให้กับผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน ซึ่งตัวอย่างเส้นบะหมี่สุกบรรจุใส่ในบรรจุภัณฑ์ที่ป้องกันอากาศและความชื้นได้ ซึ่งข้อมูลคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของเส้นบะหมี่สุกจะนำมาวิเคราะห์ทางสถิติเช่นเดียวกับการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและกายภาพเช่นกัน

2.3 <u>การหาความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพทางเคมีและกายภาพกับคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา</u>

คุณภาพของเส้นบะหมี่ดิบและสุกทางด้านเคมีและกายภาพกับคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา นำมาหาความสัมพันธ์ด้วยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ในทางสถิติ (Pearson's Correlation) โดยแสดงความสัมพันธ์ด้วยค่าสหสัมพันธ์ (r)

2.4 <u>คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบของผู้บริโภค (Preference Test) และความสัมพันธ์กับคุณภาพทางเคมีและกายภาพ และคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา</u>

การประเมินความชอบเส้นบะหมี่สุกแต่ละยี่ห้อของผู้บริโภค ซึ่งใช้วิธีการเตรียมตัวอย่างเส้นบะหมี่สุกเช่นเดียวกันข้อ 2.2.2 โดยการให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9-Point Hedonic scale) ประเมินความชอบในด้านสี (Color liking) กลิ่น (Odor liking) รสชาติ (Taste liking) และเนื้อสัมผัส (Texture liking) รวมถึงความชอบโดยรวม (Overall liking) จากผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝน ทำการคัดเลือกผู้ทดสอบที่ชอบรับประทานบะหมี่เป็นเกณฑ์พิจารณา โดยวางแผนการทดลองแบบ Balance Incomplete Block Design (BIB) ชนิด Type 2 ใช้แผนการทดลองสำหรับ 9 ซึ่งถ้าตัวอย่างเส้นบะหมี่ที่ทำการทดสอบมีจำนวน 8 ตัวอย่าง จึงต้องทำการสุ่มตัวอย่างเพิ่มจากใน 8 ตัวอย่างเพื่อให้ครบแผนการทดลอง ทำการทดลอง 4 ชุด (18x4) รวมจำนวนผู้ทดสอบทั้งสิ้น 72 คน โดยที่

t = 9 หมายถึง ตัวอย่างเส้นบะหมี่ที่จะทดสอบ 9 ตัวอย่าง

k = 4 หมายถึง เสริฟตัวอย่างเส้นบะหมี่จำนวน 4 ตัวอย่างต่อผู้ทดสอบ

b = 18 หมายถึง จำนวนผู้ทดสอบต่อแผนการทดลอง 18 คน

$\lambda = 3$ หมายถึง ตัวอย่างแต่ละคู่ที่เหมือนกันของผู้ทดสอบจะมีจำนวน 3 คน

ข้อมูลคุณภาพทางด้านความชอบของบะหมี่แต่ละยี่ห้อนำมาวิเคราะห์ทางสถิติโดยการวิเคราะห์ความแตกต่างของบะหมี่แต่ละยี่ห้อด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างยี่ห้อด้วยวิธี Fisher's Least Significant Difference (LSD) และวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างความชอบโดยรวมกับความชอบในด้านสี กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัส ด้วยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ในทางสถิติ (Pearson's Correlation) โดยแสดงความสัมพันธ์ด้วยค่าสหสัมพันธ์ (r) นอกจากนี้ยังหาความสัมพันธ์คุณภาพต่างๆ ดังต่อไปนี้

2.4.1 การหาความสัมพันธ์ระหว่างความชอบโดยรวมของผู้บริโภคกับคุณภาพทางเคมีและกายภาพ

ข้อมูลค่าเฉลี่ยในด้านความชอบโดยรวมของผู้บริโภคกับคุณภาพทางเคมีและกายภาพของเส้นบะหมี่ดิบและสุก นำมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ในทางสถิติ (Pearson's Correlation) โดยแสดงความสัมพันธ์ด้วยค่าสหสัมพันธ์ (r) รวมทั้งนำค่าเฉลี่ยของความชอบโดยรวมและคุณภาพทางเคมีและกายภาพปรับค่ามาตรฐาน (Standardize) เพื่อใช้วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ด้วยวิธี Partial Least Squares Analysis (PLS) โดยใช้วิธีวิเคราะห์แบบ PLS1 แสดงความสัมพันธ์ในรูปแผนภาพความชอบ (Preference Mapping) และแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวอย่างเส้นบะหมี่แต่ละยี่ห้อและคุณภาพทางเคมีและกายภาพของเส้นบะหมี่ดิบและสุกในรูปแผนภาพความชอบโดยเลือกการพลอตแบบ Biplot (Scores & Loading)

2.4.2 การหาความสัมพันธ์ระหว่างความชอบโดยรวมของผู้บริโภคกับคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา

ข้อมูลค่าเฉลี่ยในด้านความชอบโดยรวมของผู้บริโภคกับคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของเส้นบะหมี่ดิบและสุกจะนำมาวิเคราะห์ข้อมูลเช่นเดียวกันกับการหาความสัมพันธ์ระหว่างความชอบโดยรวมของผู้บริโภคกับคุณภาพทางเคมีและกายภาพในข้อ 2.4.1

3. การศึกษาการยืดอายุการเก็บรักษาบะหมี่สดด้วยการเติมโพรพิลีนไกลคอล (Propylene glycol) ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมี กายภาพ จุลินทรีย์ และประสาทสัมผัส

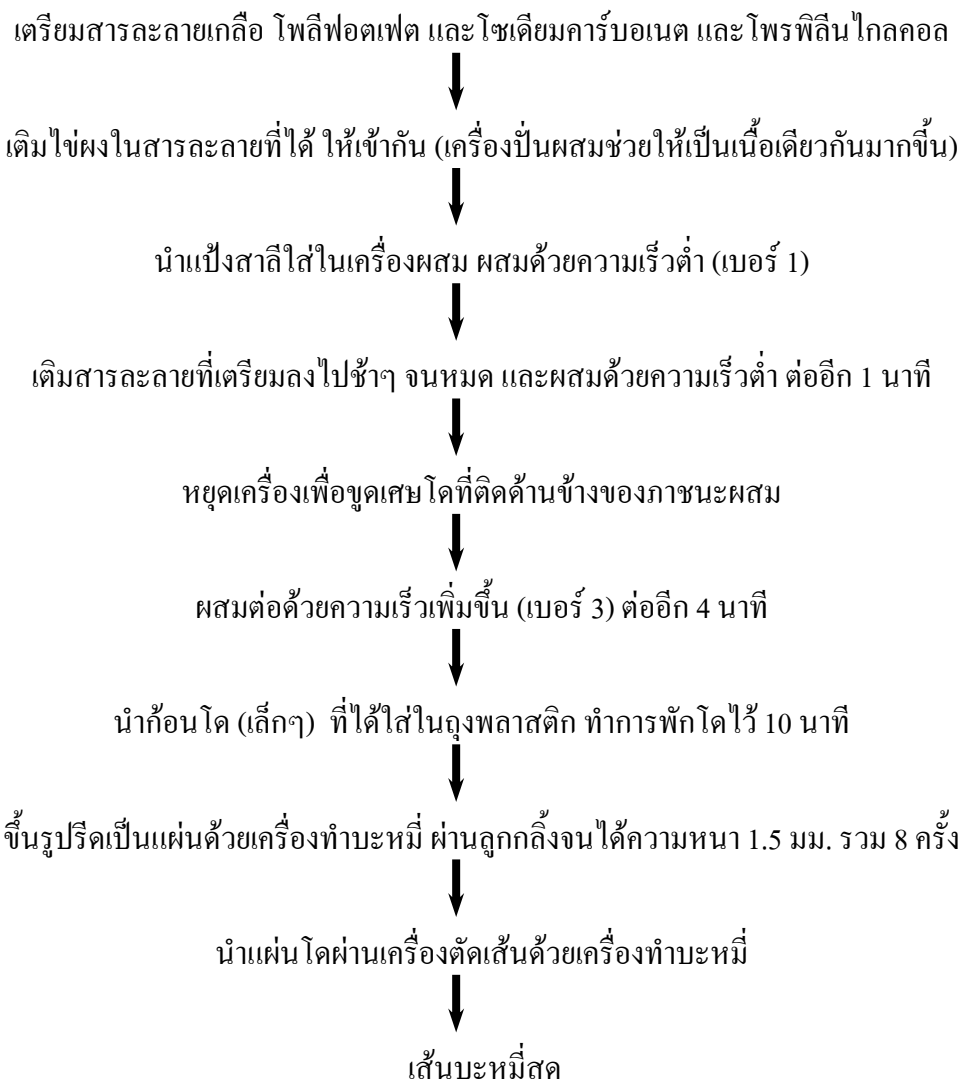
การผลิตเส้นบะหมี่สดที่ยืดอายุการเก็บรักษามีส่วนประกอบของวัตถุดิบต่างๆ แสดงดังตารางที่ 5 และกรรมวิธีการผลิตแสดงดังภาพที่ 5 โดยส่วนประกอบที่เป็นแป้งสาลีมีปริมาณโปรตีน 11% ดัดแปลงมามาจากสูตรของสุภารัตน์ (2547)

ตารางที่ 5 ส่วนประกอบของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตบะหมี่สดที่ยืดอายุการเก็บรักษา

ส่วนประกอบ	ปริมาณ (ร้อยละ)
แป้งสาลี	100
น้ำ	30
เกลือ	3
โซเดียมคาร์บอเนต	1.5
ไข่ขาวผง	10
โพลีฟอสเฟต	0.2
โพรพิลีนไกลคอล	2

ที่มา: ดัดแปลงจาก สุภารัตน์ (2547)

ตัวอย่างบะหมี่ที่นำมาศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา จะเตรียมใน 2 รูปแบบ คือ 1) แผ่นโดของบะหมี่ (Noodle sheet) ที่ได้จากขั้นตอนก่อนการตัดเป็นเส้นบะหมี่ โดยตัดให้มีขนาดกว้างxยาว เท่ากับ 6 x 6 นิ้ว และ 2) เส้นบะหมี่ดิบ (Raw Noodles) ม้วนเป็นลักษณะก้อนกลม น้ำหนักแต่ละก้อนเท่ากับ 50 กรัม บรรจุปริมาณ 4 ก้อน ต่อถุงบรรจุ ทั้งนี้ตัวอย่างทั้ง 2 รูปแบบจะนำมาบรรจุในถุงพลาสติกชนิด Nylon15/LLDPE40 โดยบรรจุที่ดูดความชื้นซิลิกาเจล และที่ดูดออกซิเจน ปิดผนึกและบรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศ (MAP) ด้วยการแทนที่ก๊าซออกซิเจนด้วยก๊าซไนโตรเจนทั้งหมด (100%) นำไปเก็บรักษาไว้ที่สภาวะต่างกัน 2 อุณหภูมิ คือ อุณหภูมิ 6 $\pm$ 2 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิปกติที่ 30 $\pm$ 2 องศาเซลเซียส



<u>ภาพที่ 5</u> กรรมวิธีการผลิตบะหมี่สด
ที่มา: ดัดแปลงจาก สุภารัตน์ (2547)

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพที่ทำการเก็บรักษาโดยทำการประเมินคุณภาพทุกๆ 4 วัน จนกว่าจะไม่มีการยอมรับจากผู้บริโภค มีคะแนนความชอบต่ำกว่า 5 คะแนน ในการประเมินความชอบด้วย 9-Point Hedonic scale หรือคุณภาพต่ำกว่ามาตรฐานกำหนดไว้ เช่น ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา และทำการประเมินคุณภาพทางเคมี กายภาพ จุลินทรีย์ และทางประสาทสัมผัส รวมถึงการประเมินความชอบจากผู้บริโภค ซึ่งทำการวิเคราะห์คุณภาพ ดังต่อไปนี้

3.1 <u>คุณภาพทางเคมีและกายภาพ</u>

3.1.1 ค่าสีของเส้นบะหมี่ดิบและสุก ตามวิธีการในข้อ 2.1.1 ข โดยรายงานค่าสีในระบบ CIE ด้วยค่า L* a* b* และ h* รวมทั้งคำนวณค่าการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวม (ΔE) เปรียบเทียบกับค่าสีที่ประเมินในวันเริ่มต้นของการเก็บรักษา

3.1.2 ลักษณะเนื้อสัมผัส ประเมินเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง TA XT plus ด้วยวิธีการทดสอบดังนี้

ก. การยืดตัวของแผ่นบะหมี่ (Tortilla Burst Test) ทำการประเมินในแผ่นโดของบะหมี่ (Noodle sheet) (สภาวะในการวัดเนื้อสัมผัสดังแสดงในภาคผนวก ง)

ข. การวัดการตัดขาด (Blade Cutting test) ของเส้นบะหมี่ดิบ (Raw noodle) และเส้นบะหมี่สุก (Cooked Noodle) (สภาวะในการวัดเนื้อสัมผัสดังแสดงในภาคผนวก ง)

ค. การวัดแรงดึง (Tensile Strength test) ของเส้นบะหมี่สุก (Cooked noodles) (สภาวะในการวัดเนื้อสัมผัสดังแสดงในภาคผนวก ง)

3.1.3 การสูญเสียจากการทำให้สุก (Cooking loss) ตามวิธีการในข้อ 2.1.1 ง (2)

3.1.4 การประเมินค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (Water Activity) ตามวิธีการในข้อ 2.1.1 ช

3.1.5 การประเมินปริมาณความชื้น ตามวิธีการในข้อ 2.1.1 ค

3.1.6 การประเมินค่าพีเอชของเส้นบะหมี่ดิบและสุก ตามวิธีการในข้อ 2.1.1 จ

3.2 <u>คุณภาพทางจุลินทรีย์</u>

ทำการตรวจวิเคราะห์โดยใช้แผ่นเพาะเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูป 3M Petrifilm™ ในการวิเคราะห์เชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา (วิธีการดังแสดงในภาคผนวก จ) และการวิเคราะห์เชื้อ

Coliform และ *E. coli* ด้วยวิธีการ MPN และ *Staphylococcus aureus Samonella spp.* และ *Clostridium spp.*

3.3 <u>คุณภาพทางประสาทสัมผัส</u>

3.3.1 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของเส้นบะหมี่ดิบและสุกโดยผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนและคุณลักษณะของเส้นบะหมี่ดิบและสุกในด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น และเนื้อสัมผัส ตามวิธีการในข้อ 2.2

3.3.2 การประเมินความชอบของเส้นบะหมี่ดิบและสุกโดยผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน ใช้วิธี 9-Point Hedonic scale ทดสอบในด้านความชอบโดยรวม (Overall liking) สี(Color liking) กลิ่น(Odor liking) และเนื้อสัมผัส(Texture liking) ซึ่งการประเมินความชอบจะทดสอบเมื่อมีค่าความเข้มของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสจากวิธีการทดสอบเชิงพรรณนามีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่า 1

ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพ เคมี และทางประสาทสัมผัสของเส้นบะหมี่สดที่เก็บรักษาในสภาวะอุณหภูมิต่างกัน คือ 6 $\pm$ 2 และ 30 $\pm$ 2 องศาเซลเซียส นำมาพลอตกราฟหาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงตลอดช่วงอายุการเก็บรักษาของคุณภาพทั้งเส้นบะหมี่ดิบและสุก สำหรับการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางจุลินทรีย์เสนอข้อมูลของแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาด้วยรูปแบบตาราง

3.4 <u>การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมี กายภาพ จุลินทรีย์ และทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของเส้นบะหมี่สดที่อายุและอุณหภูมิการเก็บรักษาต่างๆ โดยการวิเคราะห์องค์ประกอบ (Principle Component Analysis)</u>

เส้นบะหมี่สดที่ทำการยืดอายุการเก็บรักษาเก็บไว้ที่สภาวะอุณหภูมิต่างกัน 2 อุณหภูมิ ได้แก่ 6 $\pm$ 2 และ 30 $\pm$ 2 องศาเซลเซียส และประเมินคุณภาพทางเคมี กายภาพ จุลินทรีย์ และทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณาทุกๆ 4 วัน ทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ค่าเฉลี่ยของคุณภาพต่างๆ นำมาวิเคราะห์สถิติด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ตัวแปรหลายตัว โดยใช้วิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบ (Priciple Component Analysis [PCA]) ซึ่งข้อมูลค่าเฉลี่ยจะต้องทำการปรับค่า (Standardize) ก่อน

ทำการวิเคราะห์ PCA จะได้แผนภาพความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้น โดยเลือกการพลอตแบบ Biplot (Scores & Loading) ซึ่งจำแนกการวิเคราะห์คุณภาพ ดังต่อไปนี้

3.4.1 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมี กายภาพ และจุลินทรีย์ของเส้นบะหมี่สดที่ยืดอายุการเก็บรักษาในระหว่างการเก็บรักษา โดยแบ่งคุณภาพเป็น ก) คุณภาพทางเคมี กายภาพ จุลินทรีย์ของเส้นบะหมี่ดิบ และ ข) คุณภาพทางเคมี กายภาพ จุลินทรีย์ของเส้นบะหมี่ดิบ

3.4.2 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของเส้นบะหมี่สดที่ยืดอายุการเก็บรักษาในระหว่างการเก็บรักษา โดยแบ่งคุณภาพเป็น ก) คุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของเส้นบะหมี่ดิบ และ ข) คุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของเส้นบะหมี่ดิบ

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของสิ่งทดลองโดยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และหากสิ่งทดลองมีความแตกต่างทำการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของสิ่งทดลองด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD) เพื่อเปรียบเทียบตัวอย่างทีละคู่ และวิธี Duncan's New Multiple's Range Test (DMRT) เมื่อมีสิ่งทดลองจำนวนมาก และไม่มีการวางแผนล่วงหน้าเพื่อการเปรียบเทียบตัวอย่างทั้งหมด รวมทั้งวิเคราะห์หาค่าสหสัมพันธ์ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ SPSS® เวอร์ชั่น 12.0 นอกจากนี้วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งทดลองกับคุณภาพทางเคมี กายภาพ และทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบ (Principle Component Analysis) และวิธี Partial Least Square (PLS) แบบ PLS1 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ Unscrambler ® เวอร์ชั่น 8.0

5. สถานที่ทำการวิจัย

ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

6. ระยะเวลาที่ทำการวิจัย

ตั้งแต่เดือนมกราคม 2547 สิ้นสุดเดือนตุลาคม 2548