บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไส้อั่ว

ไส้อั่วเป็นผลิตภัณฑ์อาหารประเภทไส้กรอกบดหยาบ (coarse ground sausage) ชนิดหนึ่ง และเป็นผลิตภัณฑ์อาหารพื้นเมืองชนิดหนึ่งทางภาคเหนือ (ภาพ 2.1) ไส้อั่วตามความหมายของมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน 294/2547 (ภาคผนวก ค) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากเนื้อหมู มันหมู ปรุงรสด้วยเครื่องปรุงรสและเครื่องเทศหรือสมุนไพร เช่น เกลือ น้ำตาล ซีอิ๊วขาว พริกแห้ง ตะไคร้ กระเทียม หอม ใบมะกรูด ขมิ้น บดหรือโขลก อาจเติมกระดูกหมูอ่อนด้วย ผสมให้เข้ากัน บรรจุในไส้หมูที่สะอาดแล้วหรือไส้ชนิดอื่นที่บริโภคได้ แล้วอาจนำไปทำให้สุก ไส้อั่วควรมีลักษณะดังนี้คือ มีรูปทรงเดียวกัน ขนาดใกล้เคียงกัน มีการกระจายตัวของส่วนประกอบที่ใช้อย่างสม่ำเสมอ มีสีและกลิ่นรสตามธรรมชาติของส่วนประกอบที่ใช้ ไส้อั่วที่ดีต้องไม่ไหม้เกรียม มีกลิ่นหอมของเครื่องเทศ ไม่มีกลิ่นรสไม่พึงประสงค์ เช่น กลิ่นหืน กลิ่นอับ กลิ่นเหม็น รสเปรี้ยว เนื้อสัมผัสต้องไม่ร่วนแข็งและกระด้าง

ภาพ 2.1 ผลิตภัณฑ์ไส้อั่ว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ไส้อั่วถือเป็นผลิตภัณฑ์เนื้อ มีเนื้อหมูและมันหมูเป็นส่วนประกอบหลัก เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณไขมันในส่วนผสมอยู่มาก โดยจะใช้มันแข็งประมาณร้อยละ 50 ของหมูเนื้อแดงที่ใช้ (สุกัญญา, 2544) ซึ่งปริมาณไขมันที่มีมากในผลิตภัณฑ์เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดภาวะเสี่ยงต่อการเป็นโรคต่างๆ ได้ และถึงแม้ว่าไส้อั่วจะผ่านกระบวนการแปรรูปโดยการให้ความร้อนแล้ว แต่ก็ยังถือว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีที่ค่อนข้างสูง จึงมีโอกาสเสื่อมเสียได้ง่ายทั้งการเสื่อมเสียทางกายภาพ ทางเคมี และทางจุลินทรีย์ ไส้อั่วมีอายุการเก็บรักษาสั้น ประมาณ 1-2 วันที่อุณหภูมิห้อง (รัตนา, 2542) จึงทำให้มีผู้ประกอบการบางรายเติมวัตถุกันเสีย เช่น กรดซอร์บิก และกรดเบนโซอิก เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาให้นานขึ้นดังกล่าวข้างต้น ซึ่งวัตถุกันเสียเมื่อได้รับ จะทำให้สะสมในร่างกาย ทำให้เกิดอันตรายต่อตับและเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งกระเพาะอาหารได้อีกด้วย

2.2 ผลิตภัณฑ์ลดไขมัน (Reduced fat product)

ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 182 พ.ศ.2541 เรื่องฉลากโภชนาการ ระบุว่า ผลิตภัณฑ์ที่จะกล่าวอ้างว่าลดปริมาณไขมัน ต้องลดไขมันทั้งหมดลงเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์อื่นที่เป็นอาหารชนิดเดียวกันหรือคล้ายคลึงกัน โดยลดลงตั้งแต่ร้อยละ 25 ขึ้นไป และปริมาณไขมันทั้งหมดที่ลดลงจะต้องไม่น้อยกว่า 3 กรัมด้วย (กระทรวงสาธารณสุข, 2541)

2.2.1 สารทดแทนไขมัน

ปัจจุบันได้มีการผลิตสารทดแทนไขมัน (fat replacer) เพื่อใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารอย่างแพร่หลาย การลดปริมาณของไขมันในผลิตภัณฑ์ลงทำให้ปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์ เพิ่มขึ้นจึงต้องมีการใช้ส่วนผสมอาหารที่ให้คุณสมบัติทางหน้าที่คล้ายไขมัน (functional ingredients) เช่น โปรตีน แป้ง และสารให้ความคงตัว (thickener) ชนิดต่างๆ ได้แก่ กัม คาราจีแนน เพกทิน และเจลาติน (ศิวาพร, 2546)

โดยการเลือกชนิดของส่วนผสมเพื่อใช้ในการแทนที่ไขมันจะขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์และระดับของปริมาณไขมันที่ต้องการให้ลดลงซึ่งจะต้องทำให้เกิดสมดุลซึ่ง สารทดแทนไขมันที่ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารสามารถแบ่งตามแหล่งที่มาออกได้เป็น 3 ประเภท (Akon, 1998) ได้แก่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(1) Carbohydrate based fat replacer

สารทดแทนไขมันที่จัดอยู่ในกลุ่ม carbohydrate – based fat replacer ได้แก่ เซลลูโลส (cellulose), มอลโตเดกซ์ทริน (maltodextrin), กัม (gum), สตาร์ช (starch) ใยอาหาร (fiber) และ polydextrose คาร์โบไฮเดรตที่ใช้ในทดแทนไขมันส่วนใหญ่จะทำหน้าที่เป็นสารให้ความข้นหนืดและสารให้ความคงตัว และ สามารถใช้ทดแทนไขมันได้ใน formulated food หลายชนิด รวมถึง ผลิตภัณฑ์ที่ต้องผ่านการให้ความร้อนแต่ไม่เหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารที่ต้องผ่าน การทอด (frying foods) ตัวอย่างสารทดแทนไขมันประเภทนี้ ได้แก่

(1.1) เซลลูโลส (Avicel, cellulose gel, Methocel, Solka – Floc)

เซลลูโลสที่ใช้เป็นสารทดแทนไขมันจะถูกลดขนาดให้อยู่ในรูป microparticulate cellulose ซึ่งเมื่อละลายน้ำจะกระจายตัวทำให้เกิดโครงข่ายของอนุภาคซึ่งให้ความรู้สึกเมื่ออยู่ในปาก เซลลูโลสเป็นสารทดแทนไขมันที่ไม่ให้พลังงานกับร่างกายสามารถใช้ทดแทนไขมัน ได้บางส่วนหรือทั้งหมดในผลิตภัณฑ์นม ซอส ผลิตภัณฑ์ขนมหวานแช่เยือกแข็ง และ น้ำสลัด

(1.2) ใยอาหาร (Opta, Oat fiber, Snowite, Ultracel, Z – Trim)

ใยอาหาร สามารถใช้ในรูปของสารทดแทนไขมันได้โดยให้ structural integrity ปริมาตร และความสามารถในการอุ้มน้ำ (moisture holding capacity) ในผลิตภัณฑ์อาหารไขมันต่ำ สามารถประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมอบ meat spreads และ extruded products

(1.3) กัม (KELCOGEL, KELTROL, Splendid TM)

กัมเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่ได้จากพืชหรือสัตว์หรือได้จากการสังเคราะห์ กัมที่สามารถใช้ทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์อาหารได้แก่ กัวร์กัม (guar gum) กัมอาระบิก (gum Arabic) โลคัสบีนกัม (locust bean gum) แซนแทนกัม (xanthan gum) คาราจีแนน (carageenan) และ เพกทิน (pectin) ส่วนใหญ่จะเป็นสารที่ไม่ให้พลังงาน ทำหน้าที่เป็นสารให้ความคงตัว และบางครั้งอาจทำให้เกิดผลต่อการเกิดเจล ซึ่งเป็นผลทำให้ เกิดลักษณะเนื้อสัมผัสคล้ายครีม (creamy texture) สารประเภทนี้สามารถใช้ทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์อาหารได้แก่ น้ำสลัดไขมันต่ำหรือ น้ำสลัดปราศจากไขมันและใช้ใน การลดปริมาณไขมันในสูตรอาหารรวมถึงผลิตภัณฑ์ขนมหวาน และผลิตภัณฑ์เนื้อ

(1.4) Inulin (Raftiline, Fruitafit, Fibruline)

สารประเภทนี้สามารถใช้ทดแทนไขมันและสารให้ความหวานซึ่งจะให้พลังงาน 1-1.2 แคลอรี/กรัมจัดอยู่ในกลุ่มของไฟเบอร์ และสารเพิ่มปริมาณสกัดจาก chicory root สารชนิดนี้สามารถนำไปใช้ในการทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์ชนิดต่างๆ เช่น โยเกิร์ต ชีส ผลิตภัณฑ์ขนมหวาน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แช่เยือกแข็ง ผลิตภัณฑ์ขนมอบ วิปครีม (whipped cream) ผลิตภัณฑ์นม ผลิตภัณฑ์เสริมใยอาหารและเนื้อสัตว์แปรรูป

(1.5) สตาร์ชและสตาร์ชดัดแปร

สตาร์ช และ สตาร์ชดัดแปรใช้เป็นสารทดแทนไขมันโดยใช้ในรูป bodying agent และ texture modifier ให้พลังงาน 1-4 แคลอรี/กรัม ผลิตได้จากมันฝรั่ง ข้าวโพด ข้าวโอ๊ต ข้าว ข้าวสาลี หรือ มันสำปะหลัง สามารถใช้ร่วมกับอิมัลซิไฟเออร์ โปรตีน และกัม สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในเนื้อสัตว์แปรรูป น้ำสลัด ผลิตภัณฑ์ขนมอบ ซอส ผลิตภัณฑ์ขนม หวานแช่เยือกแข็ง และ ผลิตภัณฑ์นม

(2) Protein – based fat replacer

สารทดแทนไขมันประเภทนี้สามารถใช้ทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์อาหารหลากหลายชนิดโดยเฉพาะผลิตภัณฑ์อาหารแช่เยือกแข็ง (frozen product) และผลิตภัณฑ์อาหารแช่เย็น (refrigerated products) ถึงแม้ว่าสารทดแทนไขมันที่ได้จากโปรตีนจะไม่เหมาะกับการใช้กับอาหารประเภททอดแต่ก็สามารถใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารที่ต้องผ่านกระบวนการให้ความร้อน ได้แก่ ซุป ครีม ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ และผลิตภัณฑ์ขนมอบ ตัวอย่างสารทดแทนไขมันประเภทนี้ ได้แก่

(2.1) Microparticulated protein (Simplesse)

Microparticulated protein เป็นสารที่ได้จากเวย์โปรตีน (whey protein) โปรตีนนม (milk protein) และโปรตีนไข่ (egg protein) ซึ่งให้พลังงาน 1-2 แคลอรี/กรัม การย่อยสลายสารชนิดนี้ในร่างกายจะเป็นการย่อยในรูปของโปรตีน สารทดแทนไขมันชนิดนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์นม เช่น ไอศกรีม เนย ครีมเปรี้ยว ชีส โยเกิร์ต น้ำสลัด มาการีน และ มายองเนส ผลิตภัณฑ์ขนมอบ ซุป และซอส

(2.2) Modified whey protein concentrate

สารทดแทนไขมันชนิดนี้ได้จากการนำเวย์โปรตีนเข้มข้น (whey protein concentrate) มาผ่านกระบวนการให้ความร้อนทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติคล้ายไขมัน (fat – like properties) การประยุกต์ใช้สามารถใช้กับผลิตภัณฑ์นมได้แก่ ชีส โยเกิร์ต ครีมเปรี้ยว ไอศกรีม ผลิตภัณฑ์ขนมอบ น้ำสลัด และมายองเนส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(3) Fat – based fat replacer

นักวิทยาศาสตร์ได้ทดลองเปลี่ยนโครงสร้างทางเคมีของกรดไขมันเพื่อผลิตสารทดแทนไขมันซึ่งไม่ให้พลังงานกับร่างกาย สารทดแทนไขมันประเภทนี้เมื่อผ่านเข้าสู่ร่างกายจะไม่สามารถย่อยสลายโดยเอนไซม์ย่อยอาหาร ตัวอย่างของสารทดแทนไขมันประเภทนี้ได้แก่ Olestra ซึ่งสารชนิดนี้มีความเสถียรต่อความร้อนสามารถใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารประเภททอด และสามารถใช้ทดแทนเนยโกโก้ (cocoa butter substitute) ได้ เทคโนโลยีสมัยใหม่ทำให้สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันต่ำได้หลายชนิด เช่น น้ำสลัด น้ำมันที่ใช้ทอด (cooking oil) ชีส ไอศกรีม ผลิตภัณฑ์ขนมอบ และผลิตภัณฑ์ อาหารว่าง (salty snacks) และ แครกเกอร์ (crackers) เป็นต้น

(3.1) อิมัลซิไฟเออร์

ตัวอย่างของสารประเภทนี้ได้แก่ น้ำมันพืช (vegetable oil), โมโนและไดกลีเซอ ไรด์อิมัลซิไฟเออร์ (mono – and di - glyceride emulsifiers) ซึ่งสามารถใช้แทนที่เนยขาวบางส่วนหรือทั้งหมดในผลิตภัณฑ์ cake mixes, คุกกี้ (cookies) สารประเภทนี้จะให้ พลังงาน 9 แคลอรี/กรัมเช่นเดียวกับไขมัน emulsion system ที่ใช้น้ำมันถั่วเหลืองหรือไขมันนมสามารถลดปริมาณไขมันและแคลอรีโดยใช้แทนที่ไขมัน one – to one basis

(3.2) Olestra

Olestra เป็นสารทดแทนไขมันซึ่งผลิตโดยบริษัท Procter & Gamber ภายใต้เครื่องหมายการค้า “ Olean” FDA ได้อนุญาตให้มีการใช้สารชนิดนี้ในปี ค. ศ. 1996 เพื่อทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์อาหารที่ต้องผ่านการทอด ซึ่ง Olestra สามารถทนอุณหภูมิสูงระหว่างขั้นตอนการทอดได้และให้ผลิตภัณฑ์ซึ่งมีลักษณะ rich taste และ เนื้อสัมผัสคล้ายครีม (creamy texture) เนื่องจาก Olestra ไม่ถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์ในร่างกาย ดังนั้น Olestra จึงไม่ให้พลังงานและไขมันกับร่างกาย

การใช้ประโยชน์ของสารทดแทนไขมันที่ใช้ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์และจุดประสงค์ของการใช้งาน ดังแสดงในตาราง 2.1 นอกจากนี้ได้มีหลายงานวิจัยเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์เนื้อซึ่งใช้บุก เป็นสารทดแทนไขมัน เช่น ไส้กรอกหมู (อดิศักดิ์, 2540) ไส้อั่วมังสวิรัติ (นัชนา, 2551) กุนเชียง (Lin and Huang, 2008; ฉวีวรรณ และคณะ, 2547) และแหนม (ชมพูนุท, 2542)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.1 ประเภทของสารทดแทนไขมันที่ใช้ ในการผลิตผลิตภัณฑ์เนื้อ

การใช้ประโยชน์	Fat Replacers		
	Carbohydrate-based	Protein-based	Fat-based
ชนิดสารทดแทนไขมัน	Gums, inulin, maltodextrins, oatrim, starches	-	Olestra, other lipid(fat/oil) analogs (fried foods)
จุดประสงค์การใช้งาน	เพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ ปรับปรุงเนื้อสัมผัสความรู้สึกในปาก	ปรับปรุงเนื้อสัมผัสความรู้สึกในปาก การอุ้มน้ำ	ใช้เป็นอิมัลซิไฟเออร์ ปรับปรุงเนื้อสัมผัสความรู้สึกในปาก

2.2.2 บุก

บุก (konjac) เป็นพืชหัวชนิดหนึ่งอยู่ในวงศ์ *Araceae* ชื่อทางวิทยาศาสตร์คือ *Amorphophallus campanulatus Blume* เป็นพืชที่มีลักษณะคล้ายหัวมันแกว เป็นเส้นใยอาหารขนาดยาว และมักนำมาผลิตเป็นแป้งบุก ซึ่งแป้งบุกมีลักษณะค่อนข้างกลมมีขนาด 100-500 ไมครอน และมีสีแตกต่างไปขึ้นกับพันธุ์และวิธีการผลิต เช่น สีค่อนข้างขาว สีออกเหลือง และสีออกน้ำตาล เป็นต้น องค์ประกอบส่วนใหญ่ที่พบในแป้งบุกคือ กลูโคแมนแนน (glucomannan) ซึ่งเป็นสารประเภทคาร์โบไฮเดรต ที่ประกอบด้วย แมนโนสและกลูโคสในอัตราส่วน 3:2 เชื่อมต่อกันด้วยพันธะเบต้า 1, 4 ไกลโคซิดิก (ß-1, 4 glycosidic bond) มีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 300000 และมีหมู่อะซิติล (acetyl group) กระจายอยู่ทั่วไปบนสายโมเลกุลของกลูโคแมนแนน โดยปกติสารกลูโคแมนแนนสามารถละลายในน้ำได้ แต่ถ้าอยู่ในสภาพด่างจะตกตะกอน สารกลูโคแมนแนนเป็นสารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพในรูปของใยอาหาร (dietary fiber) เมื่อนำสารกลูโคแมนแนนบริสุทธิ์มาผสมกับน้ำในเวลา 5-6 ชั่วโมง จะสามารถพองตัวได้ถึง 150-200 เท่าของปริมาณเดิม การสกัดกลูโคแมนแนนสามารถสกัดออกมาได้โดยวิธีการทางเคมี (alcohol refining method) ซึ่งสารกลูโคแมนแนนที่สกัดโดยวิธีนี้จะมีความบริสุทธิ์สูงหรืออาจสกัดโดยวิธีกล โดยนำเอาแผ่นบุกแป้งไปบดหรือป่นให้ละเอียดแล้วแยกเอาสารอื่นๆ ที่ไม่ต้องการออกไป ซึ่งการสกัดสารกลูโคแมนแนน โดยวิธีกล ต้นทุนจะต่ำหรือถ้ามีการออกแบบเครื่องบดที่สามารถแยกเอา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารประกอบอื่นๆ ที่ไม่ต้องการออกไป เช่น การให้เครื่องเหวี่ยง เป่าลมออกก็จะสกัดสารกลูโคแมนแนนที่มีความบริสุทธิ์ได้สูงได้เช่นเดียวกัน (อดิศักดิ์, 2538)

กลูโคแมนแนน เมื่อบริโภคเข้าไปแล้วจะไปพองตัวในกระเพาะอาหารทำให้รับประทานอาหารได้น้อยลงและอิ่มเร็วขึ้น นอกจากนี้ยังมีผลในการดูดจับไขมันและน้ำตาลที่ย่อยแล้วในกระเพาะอาหารและลำไส้ จึงทำให้นำมาใช้ประโยชน์ได้ทั้งในวงการแพทย์และวงการอุตสาหกรรมอาหาร เช่น นำมาผลิตเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ (healthy food) สำหรับผู้ที่ต้องการควบคุมน้ำหนักและลดความอ้วน หรือผู้ป่วยโรคเบาหวาน และยังช่วยป้องกันท้องผูกทำให้ลดโอกาสในการเกิดโรคริดสีดวงทวารและมะเร็งลำไส้ได้อีกด้วย ใช้เป็นสารให้ความข้นในการผลิตอาหารบางชนิด ได้แก่ ครีม หรือไอศกรีม อีกทั้งสามารถนำไปเป็นส่วนประกอบในอาหารประเภทไขมันต่ำอีกด้วย แต่ข้อเสียของแป้งบุกก็เช่นเดียวกันกับอาหารแคลอรีต่ำอื่นๆ คือ เนื่องจากระดับน้ำตาลในเลือดต่ำจะทำให้รู้สึกหิวบ่อยและหงุดหงิดได้ง่าย (Osburn and Keeton, 1994)

คุณสมบัติของแป้งบุก

(1) การดูดซับน้ำ

เมื่อนำแป้งบุกมาละลายน้ำ อนุภาคของแป้งจะดูดซับน้ำเข้าไว้แล้วเกิดการพองตัวให้ได้สารละลายที่มีความข้นหนืดเพิ่มขึ้น เกิดเป็นโซล (sol) ขึ้น ลักษณะของแป้งบุกจะเป็นแบบซูโดพลาสติก (pseudoplastic) การดูดซับน้ำ (hydration) จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและเวลา โดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจะมีผลทำให้อัตราการดูดซับน้ำเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้การเพิ่มอัตราการแรงเฉือนย่อมมีผลทำให้อัตราการดูดซับน้ำที่เพิ่มขึ้นด้วย (อดิศักดิ์, 2538)

(2) การเกิดเจล

(2.1) การใช้ด่างในการเกิดเจล สารละลายด่างที่นิยมใช้ คือ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (calcium hydroxide) และโพแทสเซียมคาร์บอเนต (potassium carbonate) เจลที่ได้เป็นชนิดไม่ผันกลับโดยความร้อน (thermal irreversible gel) แต่การใช้สารละลายด่างในการเกิดเจลนั้นทำให้เกิดปัญหาบางประการ เช่น เจลที่ได้มีค่าความเป็นกรดด่างสูง มีกลิ่นด่าง เกิดการสูญเสียน้ำได้ง่าย (อดิศักดิ์, 2538)

(2.2) การใช้ไฮโดรคอลลอยด์เพื่อช่วยในการเกิดเจล เมื่อใช้ร่วมกับแคปปาคาราจีแนน (kappa carragenan) ได้เจลที่มีความยืดหยุ่นและผันกลับได้ด้วยความร้อน อัตราส่วนของปริมาณการใช้แป้งบุกร่วมกับแคปปาคาราจีแนน คือ ช่วง 70:30 ถึง 50:50 และเมื่อใช้ร่วมกับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แซนแทนกัมจะทำให้ได้เจลที่ไม่ผันกลับได้ด้วยความร้อน มีความยืดหยุ่นและความแข็งแรงแตกต่างกันไปขึ้นกับอัตราส่วนระหว่างแป้งบุกและแซนแทนกัม โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมเป็น 60:40 ถึง 50:50 (Tye, 1991)

(3) การเกิดฟิล์ม (film formation)

เมื่อสารละลายแป้งบุกเกิดการสูญเสียน้ำ หรือนำไปทำแห้งจะได้ฟิล์มที่มีลักษณะเหนียว (tough film) ซึ่งฟิล์มที่เกิดขึ้นนี้มีเสถียรภาพทั้งในน้ำร้อน น้ำเย็น หรือในระบบที่เป็นกรดและด่างได้ดี ฟิล์มจะมีความคงตัวสูง แม้จะนำไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลาหลายชั่วโมงก็ตาม ฟิล์มจากแป้งบุกจะมีลักษณะอ่อน (suppleness) และสามารถทำได้ทั้งฟิล์มในลักษณะโปร่งใส โปร่งแสง และทึบแสง การเพิ่มปริมาณของสารที่มีความสามารถในการดูดความชื้น (humectants) เช่น กลีเซอรีน มีผลทำให้ค่า film strength ลดลงแต่กับมีผลให้ค่าลักษณะของฟิล์มเพิ่มขึ้น การแพร่ผ่านของน้ำ (water permeability) ในฟิล์มชนิดนี้ขึ้นกับสารที่เติมลงไปว่าจะเป็นแบบ hydrophilic หรือ hydrophobic material โดยอัตราการแพร่ผ่านของน้ำในฟิล์มจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ hydrophobicsubstance เช่น กลีเซอรีน และจะมีค่าการแพร่ผ่านของน้ำลดลงเมื่อใช้ hydrophobic substance เช่น น้ำมันข้าวโพด (อดิศักดิ์, 2538)

(4) ความข้นหนืด (Viscosity)

แป้งบุกได้ถูกนำมาใช้ร่วมกับแป้งหรือใช้ร่วมกับกัม (gum) อื่นๆ และสารให้ความคงตัว (stabilizer) เพื่อเพิ่มความหนืดของผลิตภัณฑ์โดยไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านกลิ่นและรส (organoleptic) แป้งบุกยังส่งผลให้ความหนืดของระบบให้คงที่ทั้งในกระบวนการให้ความร้อนและการทำให้เย็น เช่น การใช้แป้งบุกร่วมกับ modify waxy maize starch หรือใช้แป้งบุกร่วมกับแป้งข้าวโพด (corn starch) เป็นต้น

การใช้บุกในผลิตภัณฑ์อาหาร

งานวิจัยจำนวนมากมีการนำเจลแป้งบุกมาใช้เพื่อลดปริมาณไขมัน ให้พลังงานต่ำ และเป็นตัวช่วยเพิ่มเส้นใยในผลิตภัณฑ์มากขึ้น ซึ่งให้ผลที่ดีในด้านคุณลักษณะการยอมรับทางประสาทสัมผัส ทั้งในด้านเนื้อสัมผัส ลักษณะปรากฏ เช่น ความเหนียว ความยืดหยุ่น รวมทั้งกลิ่นและรสชาติ มีการศึกษาการทำและเสริมแป้งบุกในผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ หลายชนิด เช่น ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ ผลิตภัณฑ์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เบเกอรี (bakery product) ผลิตภัณฑ์นม และเครื่องดื่มผลไม้ ดังงานวิจัยของอดิศักดิ์ (2540) ซึ่งศึกษาการใช้แป้งบุกผสม (แป้งบุกต่อแซนแทนกัมเป็น 75:25) ทดแทนปริมาณไขมันในไส้กรอกหมูโดยแปรผันปริมาณการใช้เจลแป้งบุกผสมเข้มข้น ร้อยละ 1.5 ทดแทนไขมันในไส้กรอกหมู เป็นร้อยละ 62, 64, 66 และ 68 โดยน้ำหนักไขมัน และเพิ่มเวลาการสับนวดปกติ พบว่าการเพิ่มเวลาสับนวดมีผลทำให้ไส้กรอกหมูมีคุณภาพดีขึ้น โดยสามารถ ใช้เจลจากแป้งบุกเข้มข้นร้อยละ 1.5 ทดแทนไขมันได้ไม่เกินร้อยละ 64 โดยน้ำหนักไขมัน ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าความแน่นเนื้อและความยืดเกาะตัวน้อยกว่าไส้กรอกหมูสูตรควบคุม แต่ความชุ่มฉ่ำสูงกว่า มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 34.79 ไขมันร้อยละ 9.83 ความชื้นร้อยละ 58.25 ค่าแรงตัดขาด 7.36 นิวตัน

ในการศึกษาวัตถุดิบทดแทนไขมันในการผลิตผลิตภัณฑ์ไส้อั่วมังสวิรัติ พบว่า การใช้เจลแป้งบุก ผงบุก เนยขาว และน้ำมันพืช ในอัตราส่วนร้อยละ 37.30, 28.72, 19.78 และ 14.20 ของปริมาณไขมันที่ใช้ในสูตรการผลิต ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ไส้อั่วมังสวิรัติที่มีคุณภาพทางประสาทสัมผัสดีที่สุด (นัชนา, 2551)

Lin and Huang (2008) ได้ทำการทดแทนไขมันหมูด้วยเจลบุกในผลิตภัณฑ์กุนเชียง พบว่า การใช้เจลบุกสามารถทดแทนไขมันหมูได้ และยังทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสและคุณภาพทางลักษณะประสาทสัมผัสในกุนเชียงมีลักษณะเหมือนกับกุนเชียงที่มีไขมันสูง

นอกจากนี้ในการผลิตกุนเชียงโดยใช้เจลบุกทดแทนไขมันในอัตราส่วนร้อยละ 0, 25 และ 50 พบว่า ผู้บริโภคให้คะแนนการยอมรับด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส ความชุ่มน้ำและการยอมรับโดยรวมให้ผลไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อนำไปคำนวณพลังงานของผลิตภัณฑ์กุนเชียง พบว่า สูตรที่ทดแทนไขมันด้วยเจลบุกร้อยละ 25 และร้อยละ 50 สามารถลดพลังงานได้ร้อยละ 13.05 และร้อยละ 24.57 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์กุนเชียงที่ทำการทดแทนไขมันด้วยเจลบุกยังไม่สามารถกล่าวอ้างว่าเป็นกุนเชียงไขมันต่ำ หรือกุนเชียงลดพลังงานได้ตามเกณฑ์ของคณะกรรมการอาหารและยาของไทย (ฉวีวรรณ และคณะ, 2547)

ในผลิตภัณฑ์แหนม เจลบุกถูกนำมาใช้ทดแทนหนังหมู ในปริมาณร้อยละ 30 จะให้เนื้อสัมผัสที่ดีในผลิตภัณฑ์ (ชมพูนุท, 2542) ในการพัฒนาส่วนผสมในกระบวนการผลิตแหนมมังสวิรัติ พบว่า สูตรที่เหมาะสมคือ การใช้กลูเตนร้อยละ 65 ร่วมกับโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง (isolate soy protein) ร้อยละ 5

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

และเจลแป้งบุกร้อยละ 30 ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (สุทัศน์ และคณะ, 2541)

การเสริมความแข็งแรงของเจลและเพิ่มความคงตัวของเจลแป้งบุก อาจทำได้โดยการเติมส่วนผสมอื่นๆ เช่น แคปปาคาราจีแนนในอัตราส่วน 70:30 หรือ 50:50 จะทำให้เจลมีความแข็งแรงสูง เนื่องจากแคปปาคาราจีแนนให้เจลที่มีลักษณะแข็งตัว ส่วนการใช้เจลบุกร่วมกับแซนแทนกัมจะทำให้เจลที่ได้มีความยืดหยุ่น มีความแข็งแรง และเป็นเจลที่ไม่ผันกลับโดยความร้อน (thermal irreversible gel) โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 60:40 ถึง 50:50 (อดิศักดิ์, 2538) จากงานวิจัยของพนอจิต (2543) ได้ศึกษาชนิดและปริมาณของแคปปาคาราจีแนน โซเดียมอัลจิเนต และแซนแทนกัมในกุนเชียงไขมันต่ำ พบว่าการใช้แคปปาคาราจีแนนและโซเดียมอัลจิเนต ให้ลักษณะเนื้อสัมผัสที่แข็ง สูตรที่ใช้แซนแทนกัม แคปปาคาราจีแนนร่วมกับแซนแทนกัม และโซเดียมอัลจิเนตร่วมกับแซนแทนกัม มีค่าแรงยึดเกาะและค่าแรงที่ใช้ในการเคี้ยวที่ลดลง กุนเชียงทุกสูตรทดลองมีค่าวอเตอร์แอกทิวิตี ปริมาณความชื้น และปริมาณโปรตีนไม่แตกต่างมากเมื่อเทียบกับสูตรมาตรฐาน (ไขมันร้อยละ 16) การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่าชนิดและปริมาณที่เหมาะสมในการผลิตกุนเชียงไขมันต่ำ คือ แคปปาคาราจีแนนร่วมกับแซนแทนกัม (ซึ่งใช้แคปปาคาราจีแนนร่วมกับแซนแทนกัมที่ร้อยละ 0.5 ทดแทนไขมันบางส่วน) ทั้งในลักษณะทางประสาทสัมผัสทางด้านเนื้อสัมผัส สี กลิ่นรส ไม่แตกต่างจากสูตรมาตรฐาน

2.2.3 คาราจีแนน (Carageenan)

คาราจีแนนเป็นกัมที่สกัดได้จากพวก irish moss ซึ่งมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Chodrus crispus* และ *Gigartina stellata* และพวกสาหร่ายสีแดง (Red algae) บาง Species คาราจีแนน เป็นเกลือผสมของพอลิแซ็กคาไรด์ซึ่งประกอบด้วย D- และ L-galactose 3,6-anhydro D- galactose และหมู่ sulfate ester โดยทั่วไปจะแบ่งส่วนประกอบของคาราจีแนน ออกเป็น 2 ส่วน คือ branched gelling component ซึ่งเรียกว่า kappa-carageenan และ straight chain non-gelling fraction ซึ่งเรียกว่า lambda-carageenan โดย potassium ions (Laaman, 2011)

kappa-carageenan สามารถทำให้เกิดเจลผันกลับโดยความร้อน (thermo revisible- aqueous gel) โดยมีกลไกการเกิดเป็น doublehelix carageenan polymers ซึ่งไม่ละลายในน้ำเย็น ยกเว้นที่เป็น sodium form จะละลายได้อย่างสมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส คาราจีแนน ที่อยู่ในรูปสารละลาย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในน้ำ จะมีโครงสร้างเป็น random coil เมื่อทำให้เย็นลงจะเกิด polymer network เป็นโครงร่างสามมิติ แต่ละสายของพอลิเมอร์จะรวมตัวเข้าเกิด junction point เมื่อปล่อยให้เย็นลงจะมีการต่อกันของ junction point มากขึ้นทำให้เกิดการแข็งตัวของเจล kappa-carageenan จะเกิดเจลที่เปราะแตกง่ายและมีของเหลวแยกตัวออกมาซึ่งจะขึ้นกับความเข้มข้นของคาราจีแนนที่ใช้ อุณหภูมิ ชนิดของพืชที่นำมาสกัด น้ำหนักโมเลกุล และอนุมูลโลหะที่มีอยู่ สำหรับสารละลายของคาราจีแนนเข้มข้นร้อยละ 2 จะมีความข้นหนืดแตกต่างกันตั้งแต่ 50-3,000 เซนติพอยส์ ที่ 40 องศาเซลเซียส แต่ถ้าที่อนุมูลโลหะ เช่น โพแทสเซียม แคลเซียม แอมโมเนียมอยู่ในสารละลาย คาราจีแนนจะทำให้ได้เจลที่มีความยืดหยุ่นไม่ดีและเมื่อให้ความร้อนก็จะเกิดการละลาย แต่จะเกิดเจลใหม่เมื่อทำให้เย็นลง การละลายเจลจะเกิดได้ที่สูงกว่าอุณหภูมิของการเกิดเจลประมาณ 10 องศาเซลเซียส ลักษณะของเจลที่มีการยืดหยุ่นไม่ดีของคาราจีแนนนั้นแก้ไขได้โดยใช้ไฮโดรคอลลอยด์ชนิดอื่นๆ ร่วม เช่น การเพิ่มความคงตัวในเยลลี่ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ ผลิตภัณฑ์นม และ เครื่องดื่มผลไม้ (ศิวาพร, 2546)

2.3 การยืดอายุการเก็บรักษา (Shelf life extension) อาหารด้วยสารฮิวเมกเตนท์

อายุการเก็บรักษา (shelf life) หมายถึง ช่วงระยะเวลาที่อาหารอยู่ในบรรจุภัณฑ์และสภาวะการเก็บรักษาที่กำหนดสามารถรักษาคุณภาพและความปลอดภัยให้อยู่ในระดับที่กำหนดได้ (Singh, 1994) ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ถือว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่เน่าเสียได้ง่าย ซึ่งในการยืดอายุการเก็บรักษาสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การใช้สารเคมี การฆ่าเชื้อด้วยความร้อน การแช่เย็นหรือแช่เยือกแข็ง และการใช้ระบบบรรจุภัณฑ์ Altieri *et al*. (2005) พบว่า การควบคุมค่าวอเตอร์แอกทิวิตีเป็นหนึ่งเทคนิคที่ใช้ร่วมกับเทคนิคอื่นในการยืดอายุการเก็บรักษา เช่น การควบคุมความเป็นกรด-ด่าง (pH) การปรับค่ารีดอกซ์โพเทนเชียล (Eh) สารกันเสีย และอุณหภูมิ ซึ่งการใช้เทคนิคหลายวิธีร่วมกันในการยืดอายุการเก็บรักษาอาจเรียกว่า hurdle technology อาหารที่มีความชื้นสูง (high moisture food) มีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีมากกว่า 0.90 มักจะมีเนื้อสัมผัสที่ดีกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับอาหารที่มีความชื้นปานกลาง (intermediate moisture food) ซึ่งมีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีประมาณ 0.60-0.90 การลดค่าวอเตอร์แอกทิวิตีในผลิตภัณฑ์สามารถทำได้โดยเติมสารฮิวเมกเตนท์ที่สามารถลดค่าวอเตอร์แอกทิวิตีลงในส่วนประกอบ เช่น กลีเซอรอล เกลือ น้ำตาล ซึ่งมีผลทำให้อัตราการเจริญของจุลินทรีย์ ปฏิกิริยาการทำงานของเอนไซม์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

และปฏิกิริยาอื่นๆ ลดลง การเลือกใช้สารฮิวเมกเตนท์ต้องคำนึงถึงข้อจำกัดต่างๆ เช่น กลิ่น รส ความเป็นพิษ คุณภาพด้านต่างๆ และการยอมรับของผู้บริโภค (Labuza and Hyman, 1998)

กลีเซอรอล เป็นสารที่นิยมนำมาใช้ทำหน้าที่เป็นสารดูดความชื้น จัดเป็นพอลิไฮดริกซ์แอลกอฮอล์ (polyhydric alcohol) เป็นของเหลวหวานแบบขม (bitter sweet) มีความหวาน 0.6-0.7 เท่าของน้ำตาล มีความสามารถละลายสูงถึง 71 กรัมต่อน้ำ 100 กรัม ที่ 25 องศาเซลเซียส สมบัติที่สำคัญของกลีเซอรอล คือ ความสามารถในการดูดความชื้น ความสามารถในการป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์โดยการลดค่าวอเตอร์แอกทิวิตีของผลิตภัณฑ์อาหาร การให้ความหนืด การให้ลักษณะเนื้อนุ่ม ช่วยในการคืนตัวของผลิตภัณฑ์ ความสามารถในการเป็นตัวทำละลายที่ดี เช่น การใช้กลีเซอรอลเป็นตัวทำละลายของสารให้กลิ่นรสและสี ช่วยให้ผลิตภัณฑ์อาหารมีลักษณะอ่อนนุ่ม (plasticizers หรือ softening agents) นอกจากนี้ กลีเซอรอลจัดเป็นสารที่ไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ ดังนั้นจึงมีการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและยาอย่างแพร่หลาย ได้แก่ การใช้กลีเซอรอลในเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ เช่น แฮม เบคอน ไส้กรอก รวมถึงผลิตภัณฑ์จากไข่ (egg products) การใช้กลีเซอรอลในผลิตภัณฑ์ขนมอบ (baked goods) เพื่อช่วยในการเก็บรักษาปริมาณความชื้นได้ระดับหนึ่ง มีผลให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสนุ่มและชุ่มชื้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ผลิตภัณฑ์ไอศกรีมนั้นจะใช้กลีเซอรอลเพื่อช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์และลดจุดเยือกแข็งในไอศกรีม การใช้กลีเซอรอลในการผลิต shortenings เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมขนมอบ การใช้กลีเซอรอลในผลิตภัณฑ์นมเพื่อป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ การใช้กลีเซอรอลในผลิตภัณฑ์ลูกกวาดและมาร์ชเมลโล (marshmallows) เพื่อช่วยในการเก็บความชื้นและป้องกันการเกิดผลึกของน้ำตาล (crystallization modifier) เป็นต้น (Lawrie, 1928)

การใช้กลีเซอรอลเพื่อลดค่าวอเตอร์แอกทิวิตี พบในผลิตภัณฑ์อาหารหลายๆ ประเภท ดังในงานวิจัยของ Campos *et al*. (1995) พบว่า การใช้กลีเซอรอลร่วมกันกรดซอร์บิกในเนื้อวัว โดยลดค่าวอเตอร์แอกทิวิตีในเนื้อจาก 0.94 ลดลงเหลือ 0.91 และ pH จาก 6.5 ลดลงเหลือ 5.0 โดยการปรับ pH ได้ใช้กรดฟอสฟอริกและกรดซิตริก Tapia *et al*. (2007) ได้สรุปถึงค่าวอเตอร์แอกทิวิตีที่สามารถยับยั้งการเจริญของ *Clostridium botulinum* กลุ่มต่างๆ พบว่า *C. botulinum* type E และ G จะไม่เจริญที่ค่าวอเตอร์แอกทิวิตีต่ำกว่า 0.95 ส่วน *C. botulinum* type A และ B นั้น พบว่า จะไม่เจริญที่ค่าวอเตอร์แอกทิวิตีต่ำกว่า 0.91

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากการศึกษาการลดค่าวอเตอร์แอกทิวิตีในผลิตภัณฑ์ปลาข้างเหลืองกึ่งแห้ง โดยศึกษาเวลาที่เหมาะสม (8, 12, 16 และ 20 ชั่วโมง) สำหรับการหมักเครื่องปรุงรสของปลาข้างเหลืองกึ่งแห้งและศึกษาชนิดของสารฮิวเมกแตนท์ชนิดต่างๆ ได้แก่ กลีเซอรอล ซอร์บิทอล แลคทิทอล และกลูโคสไซรัป ที่ความเข้มข้นร้อยละ 50 ของเครื่องปรุงรส พบว่า เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการหมักส่งผลให้ปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอกทิวิตีของปลาข้างเหลืองหลังการหมักมีค่าลดลง ($p \leq 0.05$) ขณะที่เวลาในการหมักไม่มีผลต่อค่าแรงเฉือน และคะแนนการยอมรับซึ่งวัดโดยวิธี Hedonic scale (9 คะแนน) ($p > 0.05$) โดยผลิตภัณฑ์ที่เติมกลีเซอรอลมีคะแนนความชอบรวมสูงที่สุด ขณะที่ตัวอย่างที่เติมกลูโคสไซรัปได้รับคะแนนน้อยที่สุด ตัวอย่างที่เติมฮิวเมกเตนท์ชนิดต่างๆ มีปริมาณความชื้นสูงกว่าชุดควบคุม (ร้อยละ 18.28) และตัวอย่างที่เติมกลีเซอรอลมีปริมาณความชื้นสูงที่สุด (ร้อยละ 24.97) (ปัทมกร, 2546)

การใช้กลีเซอรอลในผลิตภัณฑ์ขนมในงานวิจัยของจิรวัฒน์ และคณะ (2551) ได้ทำการศึกษาการลดค่าวอเตอร์แอกทิวิตีขนมโมจิโดยแทนที่น้ำตาลซูโครสในไส้เผือกกวน ด้วยสารฮิวเมกเตนท์ 3 ชนิด ได้แก่ กลีเซอรอล ซอร์บิทอล และกลูโคส โดยใช้ร้อยละ 20 30 50 70 และ 80 ของปริมาณน้ำตาลที่ใช้ พบว่ากลีเซอรอลลดระดับค่าวอเตอร์แอกทิวิตีได้สูงสุด รองลงมาคือ ซอร์บิทอลและกลูโคส และยังพบว่ากลีเซอรอลช่วยให้เนื้อสัมผัสขนมนุ่มกว่าสูตรปกติ โดยไม่มีผลต่อกลิ่น สี และรสชาติ และในการศึกษาการยืดอายุการเก็บของทุเรียนกวนโดยการแทนที่น้ำตาลซูโครสในทุเรียนกวนด้วยสารฮิวเมกแตนท์ 3 ชนิด ได้แก่ กลีเซอรอล ซอร์บิทอล และกลูโคส ร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 คิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนักของน้ำตาลทราย เพื่อลดค่าวอเตอร์แอกทิวิตีและป้องกันการเจริญของเชื้อรา พบว่ากลีเซอรอลมีประสิทธิภาพในการลดค่าวอเตอร์แอกทิวิตีได้ดีที่สุด รองลงมาคือ ซอร์บิทอลและกลูโคส เมื่อแทนที่น้ำตาลซูโครสด้วยกลีเซอรอลร้อยละ 50 จะส่งผลให้ค่าวอเตอร์แอกทิวิตีของทุเรียนกวนสูตรควบคุมลดลงจากเดิม 0.86 เป็น 0.66 ในขณะที่ซอร์บิทอลและกลูโคสที่ระดับการแทนที่น้ำตาลซูโครสร้อยละ 50 จะสามารถลดค่าวอเตอร์แอกทิวิตีจากเดิม 0.86 เป็น 0.77 และ 0.78 ตามลำดับ โดยที่ปริมาณความชื้นของทุเรียนกวนไม่มีการเปลี่ยนแปลง และในขั้นตอนการศึกษาอายุการเก็บรักษาทุเรียนกวนสูตรปกติและทุเรียนกวนสูตรลดค่าค่าวอเตอร์แอกทิวิตีในบรรจุภัณฑ์พลาสติกแตกต่างกัน 3 ชนิด ด้วยการบรรจุแบบสุญญากาศ โดยวิธีเร่ง (accelerated shelf life testing; ASLT) และทำนายอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 30 องศาเซลเซียส) โดยใช้เทคนิค Q_{10} พบว่า ทุเรียนกวนสูตรปกติและทุเรียนกวนสูตรลดค่าวอเตอร์แอกทิวิตีจะสามารถยืดอายุเก็บรักษาโดยไม่ใช้สารป้องกันเชื้อรา ในบรรจุภัณฑ์พลาสติกชนิด K-Nylon/LLDPE ได้เป็นเวลานาน 74 วัน (2.5 เดือน) (สุธาทิพย์, 2548)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กรดมาลิก เป็นกรดที่พบตามธรรมชาติในผักผลไม้หลายชนิด เช่น แอปเปิล กล้วย เชอรี องุ่น แพร์ แครอท เป็นต้น และพบมากในพืชหลายชนิด เนื่องจากกรดมาลิกมีส่วนสำคัญในซิตริกแอซิด ไซเคิล (citric acid cycle) ของพืชและสัตว์ กรดมาลิกมีลักษณะเป็นผงสีขาว กรดมาลิกที่สังเคราะห์ขึ้นและจำหน่ายในทางการค้าจะอยู่ในรูปดี-แอลไอโซเมอร์ (D - and L – isomer) ในขณะที่กรดมาลิกที่พบตามธรรมชาติจะอยู่ในรูปลีโวโรเทรี แอล-มาลิกแอซิด (levorotatory L – malic acid) กรดมาลิกจะมีรสเปรี้ยวกลมกล่อมกว่ากรดชนิดอื่น มีความเปรี้ยวมากกว่าซิตริกแต่น้อยกว่าฟิวมาริก (ศิวาพร, 2546)

กรดมาลิกเป็นกรดอีกชนิดหนึ่งที่นิยมใช้ในอาหารกันมาก วัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความเป็นกรดให้กับผลิตภัณฑ์ เพิ่มกลิ่นรส ช่วยเน้นกลิ่นรส และเป็นสารเสริมฤทธิ์วัตถุกันหืนในผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำมันเป็นส่วนประกอบ ผลิตภัณฑ์อาหารที่มีการใช้กรดมาลิกเพื่อช่วยในการปรับปรุงกลิ่นรสได้แก่ เครื่องดื่ม แยม เยลลี โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่มีกลิ่นรสผลไม้ เพราะจะช่วยเน้นกลิ่นรสของผลไม้ในผลิตภัณฑ์ให้เด่นชัดขึ้น และเนื่องจากกรดมาลิกมีจุดหลอมเหลวต่ำ และสามารถละลายน้ำได้ดีมาก จึงมีการนิยมใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมหวานประเภทลูกกวาดชนิดต่างๆ นอกจากนี้ยังมีการใช้กรดชนิดนี้ในการเพิ่มความเป็นกรดในผลิตภัณฑ์สับปะรดและมะเขือเทศกระป๋อง ช่วยในการสกัดเพกทิน ใช้ในการสังเคราะห์อิมัลซิฟายเออร์ เอทิลและไอโซโพรพิลเอสเทอร์ของกรดมาลิก (ethyl and isopropyl ester of malic acid) และพบว่ากรดมาลิกไม่มีผลต่อสีผสมอาหารธรรมชาติ หรือสีผสมอาหารสังเคราะห์ที่ใช้ในอาหาร เป็นกรดที่ได้รับการแนะนำให้ใช้เพื่อช่วยให้สีของน้ำแอปเปิล น้ำองุ่น และน้ำผลไม้อื่นๆ คงตัว (ศิวาพร, 2546)

2.4 บรรจุภัณฑ์

บรรจุภัณฑ์ หมายถึง ศาสตร์และศิลป์ที่ใช้ในการบรรจุสินค้าโดยใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เพื่อปกป้องสินค้าจากผู้ผลิตจนถึงมือลูกค้าอย่างปลอดภัยด้วยต้นทุนการผลิตที่เหมาะสม (สถาบัน กศน.ภาคกลาง, 2555) ซึ่งบรรจุภัณฑ์มีความสำคัญ คือ

(1) รักษาคุณภาพและปกป้องสินค้า เริ่มตั้งแต่การขนส่ง การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไม่ให้เสียหายจากการปนเปื้อนจากฝุ่นละออง แมลง คน ความชื้น ความร้อน แสงแดดและการปลอมปน เป็นต้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(2) ให้ความสะดวกในเรื่องการขนส่ง การจัดเก็บมีความรวดเร็วในการขนส่ง เพราะสามารถรวมหน่วยของผลิตภัณฑ์เหล่านั้นเป็นหน่วยเดียวได้

(3) ส่งเสริมทางด้านการตลาด บรรจุภัณฑ์เป็นสิ่งแรกที่ผู้บริโภคมองเห็น ดังนั้น บรรจุภัณฑ์ที่มีรูปลักษณ์ที่สวยงาม สะดุดตา ชวนให้เกิดการตัดสินใจซื้อมากขึ้น และทำหน้าที่บอกกล่าวสิ่งต่างๆของตัวผลิตภัณฑ์ โดยการบอกข้อมูลที่จำเป็นเกี่ยวกับตัวสินค้าและเป็นประโยชน์ต่อผู้บริโภค

โดยบรรจุภัณฑ์ที่มักนิยมนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ ได้แก่ พลาสติกชนิดต่างๆ เช่น พอลิโพรพิลีน พอลิเอทธิลีน และไนลอนหรือพอลิเอไมด์ เป็นต้น

ฟิล์มประกบระหว่างไนลอน (Nylon) กับพอลิเอทธิลีนความหนาแน่นต่ำแบบเส้นตรง (Linear Low Density Polyethylene, LLDPE)

ฟิล์มประกบระหว่างไนลอน (nylon) กับพอลิเอทธิลีนความหนาแน่นต่ำแบบเส้นตรง หรืออาจเรียกว่า พลาสติกลามิเนต Nylon/LLDPE เป็นพลาสติกที่มีความยืดหยุ่นสูง ทนเคมีกรดด่างได้ดี ผนึกติดได้ง่าย ป้องกันความชื้นได้ดี จึงเหมาะสำหรับทำซองบรรจุอาหารที่ต้องการการซึมผ่านของอากาศ เช่น ซองบรรจุไส้กรอก บรรจุข้าวแบบสุญญากาศ เป็นต้น

ในกระบวนการศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์นั้น มักจะมีการศึกษาผลิตภัณฑ์ในบรรจุภัณฑ์หลายๆ ชนิด เนื่องจากบรรจุภัณฑ์แต่ละชนิดมีคุณสมบัติและความเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์แตกต่างกัน จึงทำให้อายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ในบรรจุภัณฑ์แต่ละชนิดต่างกัน บรรจุภัณฑ์พลาสติกที่นิยมนำมาบรรจุผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น polyethylene (PE) มีคุณสมบัติยืดหยุ่นได้ดี ทนความร้อน สามารถใช้กับกระบวนการปิดผนึกด้วยความร้อนได้ ตัวอย่าง เช่น ถุงซิป ถุงเย็น ฟิล์มยืด ฟิล์มหด เป็นต้น low density polyethylene (LDPE) มีความเหนียวและความยืดหยุ่นสูง สามารถป้องกันการซึมผ่านของอากาศและความชื้นได้ดี ทนทานต่อสารเคมี กรดและด่าง สามารถขึ้นรูปทรงได้ง่าย เป็นฉนวนที่ดี และไม่มีสารพิษที่เป็นอันตรายต่อร่างกายมนุษย์ เช่น ถุงบรรจุอาหารแช่เย็น ซองอาหารแห้งประเภทบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป เป็นต้น LLDPE มีความยืดหยุ่นสูง ทนเคมีกรดด่างได้ดี ผนึกติดได้ง่าย ป้องกันความชื้นได้ดี จึงเหมาะสำหรับทำซองบรรจุอาหารที่ต้องการกันการซึมผ่านของอากาศ เช่น ซองบรรจุไส้กรอก บรรจุข้าวแบบสุญญากาศ เป็นต้น high density polyethylene (HDPE) คุณสมบัติ คือ มีสีขุ่น มีความแข็งแรงคงทน เหนียวไม่แตกง่าย สามารถป้องการการซึมผ่านของน้ำและความชื้นได้ดี สามารถ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ต้านทานต่อการกัดกร่อนของสารเคมีได้ และทนต่ออุณหภูมิได้ถึง 105 องศาเซลเซียส เช่น ขวดบรรจุนม น้ำดื่ม เป็นต้น polyester (PET) มีความเงางามเรียบ ใส ทนต่อการฉีกขาด กด กระแทก รักษารูปทรงได้ดีในอุณหภูมิระดับต่างๆ ทนความร้อนสูง ใช้กับไมโครเวฟได้ เช่น บรรจุภัณฑ์ชนิดอ่อน ขวดน้ำดื่ม เป็นต้น polypropylene (PP) มีความใส ผิวมันวาว เหนียว ทนต่อแรงดึง กันน้ำได้ดี เช่น ฟิล์มหุ้มซองบุหรี่ เป็นต้น nylon หรือ polyamide (PA) มีคุณสมบัติที่ดีในการต้านการรั่วซึม ทานต่ออุณหภูมิร้อน-เย็น มีความเหนียวเป็นพิเศษ สามารถนำมาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์สุญญากาศได้ เช่น บรรจุภัณฑ์สุญญากาศสำหรับอาหารแช่แข็ง ถุงข้าวสาร เป็นต้น polyvinyl chloride (PVC) มีความแข็งแรง เหนียว ทนต่อสารเคมี ป้องกันการซึมผ่านของก๊าซและน้ำได้ดี มีน้ำหนักเบา มีความโปร่งใสมาก สามารถทนต่ออุณหภูมิร้อนเย็นได้ไม่เกิน -20 ถึง 80 องศาเซลเซียส เช่น ถาดบรรจุอาหารหรือกล่องบรรจุอาหาร ขวดบรรจุน้ำ เป็นต้น

การศึกษาผลของบรรจุภัณฑ์ชนิดถุงพลาสติกลามิเนต Nylon/LLDPE และกระปุกพลาสติกชนิด PP ต่อคุณภาพทางกายภาพ เคมี จุลชีววิทยา และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของน้ำพริกน้ำเงี้ยว (ศรายุทธ และคณะ, 2551) บรรจุน้ำพริกในภาชนะปิดสนิท ชนิดละ 40 ตัวอย่าง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4-55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6-12 สัปดาห์ พบว่าน้ำพริกน้ำเงี้ยวเริ่มต้นมีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 5.03 และค่าวอเตอร์แอกทิวิตีเท่ากับ 0.70 คุณภาพด้านจุลชีววิทยาเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน(มผช.) ค่าการซึมผ่าน Nylon/LLDPE ของก๊าซออกซิเจนเท่ากับร้อยละ 0.022 ของออกซิเจนต่อชั่วโมง แต่พลาสติกชนิด PP มีการซึมผ่านของออกซิเจนสูงกว่า จึงทำให้สีของน้ำพริกเปลี่ยนแปลงคล้ำลงมากกว่า ($p \leq 0.05$) ค่าวอเตอร์แอกทิวิตีของน้ำพริกน้ำเงี้ยวมีค่าต่ำแต่มีแนวโน้มลดลงเมื่อบ่มที่อุณหภูมิสูงและระยะเวลาการเก็บนานขึ้น การลดลงของค่าวอเตอร์แอกทิวิตีของน้ำพริกที่บรรจุในถุง Nylon/LLDPE เกิดช้ากว่าในกระปุกพลาสติก PP จำนวนแบคทีเรียทั้งหมดเพิ่มขึ้นเล็กน้อยแล้วลดจำนวนลงเมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้น จำนวนยีสต์และเชื้อราลดลงตลอดการเก็บรักษา *Bacillus cereus* มีการเจริญน้อยมาก ดังนั้นเพื่อให้เก็บน้ำพริกได้นาน ควรบรรจุน้ำพริกในถุง Nylon/LLDPE ใส่ในซองทึบแสง เก็บรักษาที่อุณหภูมิไม่เกิน 30 องศาเซลเซียส

ระบบบรรจุภัณฑ์ถือว่ามีความสำคัญต่ออายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ โดยระบบบรรจุภัณฑ์เป็นวิธีการหนึ่งที่นำมาใช้เพื่อป้องกันการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ได้ โดยเฉพาะการใช้บรรจุภัณฑ์ชนิดปรับบรรยากาศ (modified atmosphere packaging, MAP) ซึ่งเป็นการปรับบรรยากาศในบรรจุภัณฑ์ให้มีความเหมาะสม ซึ่งมีปัจจัยที่สำคัญคือ องค์ประกอบของแก๊สในบรรจุภัณฑ์ ดังตัวอย่างงานวิจัยของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Gokoglu *et al.* (2010) ศึกษาสภาวะบรรยากาศที่ใช้ในการเก็บรักษาไส้กรอก ได้แก่ (1) 30% CO_2/70% N_2 (2) 70% CO_2/30% N_2 (3) 100% CO_2 (4) 80% CO_2/20% O_2 และ (5) สุญญากาศ โดยเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 28 วัน พบว่า การใช้บรรจุภัณฑ์แบบปรับบรรยากาศมีผลทำให้ไส้กรอกมีค่า pH ต่ำกว่าการบรรจุแบบสุญญากาศ และการใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ช่วยยับยั้งการเกิดออกซิเดชันและการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ โดยสภาวะที่เหมาะสมคือการใช้การปรับบรรยากาศโดยมีองค์ประกอบของแก๊สคือ 70% CO_2/30% N_2 ซึ่งทำให้ไส้กรอกมีอายุการเก็บรักษานาน 28 วัน

ออกซิเจนเป็นสาเหตุหลักในการส่งเสริมการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและรงควัตถุของผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ การบรรจุแบบสุญญากาศหรือการบรรจุโดยการใช้ก๊าซจึงเป็นที่นิยมในการยืดอายุการเก็บผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ Martinez *et al.* (2006) พบว่าการบรรจุไส้กรอกหมูสดในบรรจุภัณฑ์ที่ปราศจากออกซิเจน ได้แก่ การบรรจุแบบสุญญากาศและการบรรจุในสภาพอากาศปกติร่วมกับการใช้สารดูดออกซิเจน สามารถยืดอายุการเก็บไส้กรอกหมูสดได้ การเพิ่มปริมาณออกซิเจนในการบรรจุแบบดัดแปรสภาพบรรยากาศ ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของไส้กรอกหมูสด และส่งผลให้อายุการเก็บรักษาสั้นลงเนื่องจากเกิดการเปลี่ยนสีและการเกิดกลิ่นที่ผิดปกติ นอกจากนี้ Martinez *et al.* (2005) ยังพบว่าการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระดับที่สูงเกินไป (ร้อยละ60) ส่งผลต่อการเกิดออกซิเดชันของไมโอโกลบินและไขมัน ดังนั้นการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณต่ำ (ร้อยละ 20) ให้ผลดีกว่า ส่วน Claudia และ Francisco (2010) พบว่าการใช้อาร์กอนและคาร์บอนไดออกไซด์ (ร้อยละ 70:30) ในการบรรจุ ส่งผลให้ไส้กรอกหมูสดมีลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ดีตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 28 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมซึ่งบรรจุภายใต้บรรยากาศปกติ ซึ่งมีอายุการเก็บรักษาเพียง 11 วันเท่านั้น Garcia-Esteban *et al.* (2004) พบว่าการบรรจุแฮมแผ่น (slices of dry-cured hams) ในระบบสุญญากาศ การดัดแปรบรรยากาศโดยการใช้ก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 100 และการดัดแปรบรรยากาศโดยการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และ ไนโตรเจน (20%:80%) ในระหว่างการเก็บ 8 สัปดาห์ ส่งผลต่อสี ลักษณะเนื้อสัมผัสและจำนวนจุลินทรีย์ไม่แตกต่างกัน Rubio *et al.* (2008) พบว่า การบรรจุไส้กรอกแบบสุญญากาศหรือการดัดแปรสภาพบรรยากาศโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไนโตรเจน (ร้อยละ 20:80) ส่งผลต่อสีและการเกิดออกซิเดชั่นของไขมันเพียงเล็กน้อยเท่านั้นในระหว่างการเก็บรักษา 210 วัน อย่างไรก็ตาม Summo *et al.* (2006) พบว่าไส้กรอกที่ผ่านการบ่มที่ไม่ได้บรรจุมีสีและกลิ่นรสที่ดีกว่าไส้กรอกที่บรรจุแบบสุญญากาศ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5 การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค (Consumer acceptance testing)

การประเมินทางประสาทสัมผัส (sensory evaluation) คือ วิธีการทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้เพื่อวัด วิเคราะห์ และแปลความขณะรับความรู้สึกโดยการเห็น การได้ยิน การได้กลิ่น การชิมรส และการสัมผัส คำจำกัดความนี้ได้เป็นที่ยอมรับ และรับรองโดยคณะกรรมการประเมินทางประสาทสัมผัสในองค์กรวิชาชีพต่างๆ เช่น The Institute of Food Technologists (IFT) และ The American Society for Testing and Materials (ASTM) (สุจินดา, 2547)

การประเมินทางประสาทสัมผัสมีบทบาทสำคัญในงานทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทางอุตสาหกรรมเกษตร โดยเฉพาะในด้านอาหาร และทางด้านเทคโนโลยีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ตลอดจนการควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ เพราะเป็นเครื่องมือที่แสดงออกโดยทางอ้อมได้ชัดเจน เช่น รสชาติ กลิ่น สี และลักษณะเนื้อสัมผัส เมื่อมีการบริโภคอาหาร ความรู้สึกที่ซับซ้อนที่เกิดจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสนี้ อาจทำการประเมินโดยใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวนมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการประเมินนั้นๆ โดยจะใช้ทดสอบการประเมินทางประสาทสัมผัสแบบง่ายๆ ที่ไม่ซับซ้อน เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากการประเมินทางประสาทสัมผัสมาใช้เพื่อปรับปรุงและพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่

การทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค แบ่งได้ 2 วิธี คือ วิธีการเชิงคุณภาพ เช่น การสัมภาษณ์แบบกลุ่ม และวิธีการเชิงปริมาณ (สุจินดา, 2547) ในงานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีการทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิงปริมาณในการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ โดยวิธี hedonic scale นี้ เป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุดในการทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์ เริ่มคิดค้นในช่วงปี ค.ศ.1940 โดย Peryam และ Pilgrim โดยระดับคะแนนที่ใช้วัดจะเป็น 5, 7 และ 9 คะแนน (Peryam and Pilgrim, 1957) ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้ระดับคะแนนที่ 9 คะแนน (9-point hedonic scale)

สเกลวัดความพอดี (just about right scale, JAR) เป็นสเกลที่ใช้วัดความต้องการของผู้บริโภคที่มีต่อความเข้มของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสที่สนใจของผลิตภัณฑ์ ทำให้ทราบทิศทางในการปรับปรุงหรือพัฒนาผลิตภัณฑ์ (Lawless and Heymann, 2010; Rothman, 2007) ในการทำ JAR จะให้ผู้ทดสอบชิมตัวอย่างผลิตภัณฑ์ แล้วถามระดับความพอดีของผลิตภัณฑ์ เช่น อ่อนไป พอดี เข้มไป หรือแนวโน้มที่ต้องการให้ปรับปรุงหรือพัฒนาในคุณลักษณะด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ เช่น ปรับให้เพิ่มขึ้นมาก ปรับให้เพิ่มขึ้นเล็กน้อย พอดี ปรับให้ลดลงเล็กน้อย หรือปรับให้ลดลงมาก ซึ่งแบบทดสอบที่มี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

คำถามในลักษณะนี้เรียกว่า degree of change scale (DCS) โดย Pokorny and Davidek (1986) ได้ให้ตัวอย่างการใช้สเกลความพอดีในลักษณะนี้ในการแปลผลจาก JAR นั้น อาจพิจารณาอย่างง่ายจากระดับความพอดีที่ตั้งเกณฑ์ไว้ (Rothman, 2007) เช่น ถ้ามีความถี่ร้อยละ 70 (cut-off point) ไม่ต้องปรับปรุงคุณลักษณะดังกล่าว แต่หากมีค่าไม่ถึงให้พิจารณาค่า net effect ประกอบ ซึ่งค่า net effect หรือค่า net scores แสดงถึงขนาดและทิศทางของความแตกต่างระหว่างตัวอย่าง ซึ่งหาได้จากร้อยละของคำตอบที่บอกว่า "เข้มไป" ลบด้วยร้อยละของคำตอบที่บอกว่า "อ่อนไป" หากค่า net effect มีความแตกต่างกันน้อยกว่าร้อยละ 20 อาจยังไม่ต้องทำการปรับปรุงในคุณลักษณะนั้นๆ แต่หากมีค่าความแตกต่างมากกว่าร้อยละ 20 ให้พิจารณาปรับตามทิศทางที่มีค่ามากกว่า (Rothman and Parker, 2009)

2.6 วิธีการพื้นผิวตอบสนอง (Response surface methodology, RSM)

วิธีการพื้นผิวตอบสนองเป็นเทคนิคหนึ่งที่นับว่ามีประโยชน์อย่างมากต่อการออกแบบในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ เป็นวิธีการที่สามารถประยุกต์ได้กับการพัฒนาสูตรการผลิต และกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องการพัฒนา โดยสามารถหาจุดที่เหมาะสมจากข้อมูลที่ได้จากการทดลองในรูปแบบการวางแผนการทดลองต่างๆ ทำให้สามารถเลือกจุดที่เหมาะสมเพื่อใช้เป็นแนวทางในการผลิตต่อไป ผลที่ได้คือ สามารถที่จะหาสูตร หรือสภาวะที่เหมาะสม (optimization) จากความสัมพันธ์เหล่านั้นได้เมื่อพิจารณาปัจจัยที่สนใจเหล่านั้นพร้อมๆ กัน (Gacula and Singh, 1984) แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของวิธีการ RSM สามารถแสดงได้ดังสมการ 2.1

$$Y = f(X_1 + X_2 + \ldots + X_k) + \mathcal{E} \qquad \text{(สมการ 2.1)}$$

โดยที่ Y คือ ค่าตอบสนองซึ่งเป็นตัวแปรตาม และ $X_1, X_2, \ldots, X_k$ คือ ตัวแปรที่สนใจ ซึ่งเป็นตัวแปรต้น $\mathcal{E}$ คือ เทอมของความคลาดเคลื่อนสุ่มของความสัมพันธ์ ฟังก์ชันของตัวแปรเหล่านี้มักใช้สมการลำดับที่ 1 (first-order model or equation) หรือ สมการลำดับที่ 2 (second-order model) หรือสมการพอลิโนเมียล (polynomial model) เป็นตัวอธิบาย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ขั้นตอนการทำพื้นผิวตอบสนอง (response surface methodology; RSM) (อนุวัตร, 2550)

1) เลือกแผนการทดลองที่เหมาะสม เช่น factorial design, CCD, mixture design และมีจำนวนสิ่งทดลองมากพอที่จะสร้างแผนภาพคอนทัวร์ได้
2) สร้างสมการตัวแบบ หรือ model จากวิธีวิเคราะห์ความถดถอย
3) สร้างแผนภาพ RSM plot และ contour plot จากสมการตัวแบบที่ได้
4) ตรวจสอบจุดหรือช่วงที่เหมาะสม (optimization)
5) พิสูจน์สมการตัวแบบที่สร้างได้โดยการใช้จุดที่อยู่ในบริเวณช่วงที่เหมาะสมของตัวแปรอิสระเพื่อนำไปทำการทดลองอีกครั้ง แล้ววัดค่าตัวแปรตาม เพื่อตรวจสอบกับตัวแปรตามที่หาได้จากสมการ ว่ามีความใกล้เคียงกันหรือไม่อย่างไร (เปรียบเทียบค่าสังเกตที่ได้จากการทำการทดลองและค่าที่ได้จากการทำนายจากสมการตัวแบบเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองถ้าแบบจำลองไม่เหมาะสมให้เริ่มต้นทดลองเพื่อได้ข้อมูลมาสร้างสมการตัวแบบใหม่)

วิธีการ RSM ได้ถูกนำมาประยุกต์ในงานด้านอุตสาหกรรมเกษตรมากมาย ตัวอย่างเช่น ใช้ในการพัฒนากระบวนการผลิต หรือพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ยังมีการใช้วิธี RSM ในการพัฒนาสูตรอาหาร และกระบวนการผลิตขนมขบเคี้ยวหลายประเภท เช่น นักเกตไก่ (Prinyawiwatkul *et al*., 1997) ซีเรียล (Dutcosky *et al*., 2006) และขนมขบเคี้ยวจากข้าว (Charunuch *et al*., 2008, Sriwattana *et al*., 2008)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved