การศึกษาส่วนผสมที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวหม่อนผสมลำไยชนิดแท่ง
The Study of Optimum Ingredients of Mulberry Mixed Bar with Longan

ธนกิจ ถาหมี[1/] พิไลรัก อินธิปัญญา[2/] เมทณี นพคุณ[2/] ดุษฎี บุญธรรม[3/]
Tanakij Thamee[1/] Pilairuk Intipunya[2/] Matanee Noppakun[2/] Dussadee Buntam[3/]

ABSTRACT

This research was the development of a snack mixed bar which mulberry and longan were the main ingredients for alternative health product. The objective of this research was to optimize the mixing formula of mulberry, longan and crispy mix in a snack bar. The experiment was conducted as mixture design, designed with three components consisted of mulberry 25-40%, longan 25-35% and crispy mix 25-40%. It was found that the optimal formulation of the bar consisted of 40% mulberry, 30% longan and 30% crispy mix. The developed bar had 7.5% protein, 8.12% fat, 58.27% carbohydrate, 4.25% crude ber, 3.57 kcal/g energy, 169.17 g/g Phenolic compound, 49.6% radical scavenging ability and 0.47 aw, 14.20% moisture content. Texture prole analysis results showed 38.23 N Hardness, -2.34 J Adhesiveness, 0.48 Cohesiveness, 1.92 mm Springiness, 35.93 N*mm Chewiness, 18.86 N Gumminess. In addition, the bars were safe to consume. The microbial counts were within the range of TISI's food safety standard. The product's hedonic score of overall liking was moderately like.

Key words : Fruit bar, main ingredients, mulberry, longan, mixture design

[1/] ศูนย์หม่อนไหมเฉลิมพระเกียรติฯ แพร่ อ.เด่นชัย จ.แพร่ 54110
[1/] Queen Sirikit Sericulture Center (Phrae) Denchai district, Phrae 54110
[2/] คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50200
[2/] Faculty of Agro-industry, Chiang Mai University, Muang district, Chiang Mai 52000
[3/] คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ อ.เมือง จ.อุตรดิตถ์ 53000
[3/] Faculty of Industrial Technology, Uttaradit Rajabhat University, Muang district, Uttaradit 53000
corresponding auther: tana__142@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดแท่งที่มีหม่อนและลำไยเป็นส่วนผสมหลัก ให้เป็นผลิตภัณฑ์ทางเลือกเพื่อสุขภาพ โดยศึกษาสูตรที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์หม่อนผสมลำไยชนิดแท่ง ซึ่งประกอบด้วยปัจจัยหลัก 3 ปัจจัย ได้แก่ หม่อนอบแห้ง 25-40% ลำไยอบแห้ง 25-35% ส่วนผสมกรอบ 25-40% วางแผนการทดลองแบบส่วนผสม (mixture design) พบว่า สัดส่วนที่เหมาะสมที่สุด คือ หม่อนอบแห้ง 40% ลำไยอบแห้ง 30% ส่วนผสมกรอบ 30% ผลิตภัณฑ์มีปริมาณโปรตีน 7.5% ไขมัน 8.12% คาร์โบไฮเตรท 58.27% ใยอาหาร 4.25% ให้พลังงาน 3.57 kcal/g สารประกอบโฟลิฟีนอล 169.17 ไมโครกรัม/กรัม มีเปอร์เซ็นต์การต้านอนุมูลอิสระ 49.6% ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ 0.47 ความชื้น 14.20% การวัดลักษณะทางเนื้อสัมผัส (Texture prole analysis) พบว่า มีความแข็ง 38.23 N การเกาะติด -2.34 J การรวมตัว 0.48 ความยืดหยุด 1.92 มม. การเคี้ยว 35.93 N*mm และมีความเหนียวยืด 18.86 N ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความปลอดภัยทางด้านจุลินทรีย์ก่อโรค และมีคะแนนความชอบเฉลี่ยทุกคุณลักษณะอยู่ในระดับชอบปานกลาง

คำสำคัญ: ผลไม้แท่ง ส่วนผสมหลัก หม่อน ลำไย การทดลองแบบผสม

บทนำ

ปัจจุบันผู้ประกอบการในกลุ่มธุรกิจขนมขบเคี้ยว (Snack Food) ได้พัฒนาและสร้างผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพเพิ่มขึ้น เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค โดยมีการเพิ่มสารอาหารที่มีประโยชน์ หรือลดปริมาณสารที่ไม่มีประโยชน์ต่อร่างกายให้น้อยลง รวมไปถึงการใช้วัตถุดิบที่มาจากธรรมชาติและมีผลดีต่อสุขภาพมากขึ้น (นิรนาม, 2553) ประกอบกับผู้บริโภคมีพฤติกรรมการบริโภคที่เปลี่ยนแปลงไป นิยมบริโภคอาหารหรือขนมที่รับประทานได้สะดวก อร่อย และได้พลังงานที่เพียงพอแทนการรับประทานอาหารในแต่ละมื้อหรือในช่วงระหว่างมื้อ จากพฤติกรรมดังกล่าวส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดแท่งได้รับความนิยมเพิ่มขึ้น ขนมขบเคี้ยวชนิดแท่งหรือสแนคบาร์ (Snack bar) เป็นอาหารว่างชนิดหนึ่ง มีลักษณะเป็นแท่ง มีความสะดวกในการบริโภค ให้พลังงานและคุณค่าทางโภชนาการเพียงพอ บางครั้งอาจนำมารับประทานเป็นอาหารมื้อหลักได้ สำหรับอาหารขบเคี้ยวชนิดแท่งที่นิยมผลิตและบริโภค เช่น มูสลี่แท่ง ผลไม้อัดแท่ง และช็อคโกแลตแท่ง เป็นต้น (วิมลศิริ, 2539) จากแนวโน้มอุตสาหกรรมอาหารไทยปี 2557 อาหารในกลุ่มขนมขบเคี้ยว (Snack) และขนมขบเคี้ยวชนิดแท่ง (Snack bar) มีมูลค่าในตลาดปี 2556 จำนวน 27,691.8 ล้านบาท เป็นอุตสาหกรรมห้าอันดับแรกของกลุ่มอุตสาหกรรมแปรรูป (Package food) มีแนวโน้มที่จะขยายตัวเพิ่มขึ้นในปีต่อ ๆ ไป ดังนั้น จึงทำให้ขนมขบเคี้ยวกลายเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมของโลกที่สร้างโอกาสทางการค้าให้กับผู้ประกอบการ (นิรนาม, 2557) การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดแท่งจากผลไม้ในท้องถิ่น ให้เป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพ รับประทานสะดวก อร่อย จึงเป็นผลิตภัณฑ์ที่น่าจะมีศักยภาพในการแข่งขันทางการตลาดและตรงกับความต้องการของผู้บริโภค

ผลหม่อน (Mulberry) เป็นผลไม้ที่มีประโยชน์และมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในปริมาณที่สูง เช่น กลุ่มแอนโทไซยานิน (Anthocyanin) สารประกอบฟีนอลิก (Phenolic

Compound) และเควอซิติน (Quercetin) รวมไปถึงวิตามินและแร่ธาตุ (ธนกิจ และพิไลรัก, 2555) นอกจากนี้ ยังมีการใช้ผลหม่อนเป็นยาสมุนไพรรักษาโรคต่าง ๆ เช่น โรคท้องผูก บำรุงโลหิต ขจัดลม บำรุงสายตา แก้พิษสุรา เป็นต้น (วิโรจน์, 2555) ส่วนลำไยเป็นผลไม้เศรษฐกิจที่มีการผลิตมากในเขตภาคเหนือ แต่มักเกิดปัญหาราคาลำไยตกต่ำในช่วงฤดูการผลิต เนื่องจากผลผลิตล้นตลาด ในลำไยมีการศึกษา พบว่า มีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระสูง โดยมีสารในกลุ่มฟีนอลิก เช่น Corilagin, Gallic Acid, Ellagic Acid ซึ่งมีคุณสมบัติช่วยป้องกันการเกิดโรคมะเร็ง ลดความดันเลือด (สุทัศน์ และคณะ, 2550) การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวหม่อนผสมลำไยชนิดแท่งเป็นการนำเอาประโยชน์ของหม่อนและลำไยที่มีสารต้านอนุมูลอิสระสูง มาประกอบเป็นผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดแท่ง

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของวัตถุดิบหลัก ได้แก่ หม่อนอบแห้ง ลำไยอบแห้ง และส่วนผสมกรอบ เพื่อพัฒนาเป็นขนมขบเคี้ยวชนิดแท่งจากผลหม่อนและลำไย ให้เป็นทางเลือกหนึ่งของผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพที่มีคุณค่าทางโภชนาการ รสชาติ ความสะดวกในการบริโภค ให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การเตรียมวัตถุดิบหลักสำหรับการทำผลิตภัณฑ์

วัตถุดิบหลักของผลิตภัณฑ์หม่อนผสมลำไยชนิดแท่ง ประกอบด้วย หม่อนอบแห้ง ลำไยอบแห้ง กล้วยอบแห้ง อัลมอนด์ เม็ดมะม่วงหิมพานต์ และงาดำ

1.1 การเตรียมผลหม่อนอบแห้ง และน้ำเชื่อมผลหม่อน ตามวิธีการ Osmotic dehydration ของ วิชมณี (2556) โดยล้างหม่อนให้สะอาด นำหม่อนและน้ำตาลทรายใส่ในถุงพลาสติกอัตราส่วน 2 ต่อ 1 ปิดถุงให้สนิททิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจนน้ำตาลละลาย จากนั้นนำแช่ตู้เย็นนาน 24 ชม. กรองแยกเนื้อหม่อนนำไปอบแห้ง ด้วย convection oven ที่อุณหภูมิ 70 °ซ. จนมีค่า a_w น้อยกว่า 0.6 ส่วนน้ำหม่อน นำมากรองด้วยผ้าขาวบางแล้วต้มจนมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (TSS) เท่ากับ 50 °Brix

1.2 ลำไยอบแห้ง นำมาตัดเป็นสี่เหลี่ยมลูกเต๋าขนาด 0.3 ซม.

1.3 ส่วนผสมกรอบ (Crispy mix) ประกอบด้วย กล้วยอบ: เม็ดมะม่วงหิมพานต์ : อัลมอนด์ : งาดำ อัตราส่วน 4 : 2 : 1 : 0.5

- เตรียมกล้วยอบ โดยนำกล้วยน้ำว้ากึ่งสุกกึ่งดิบ มีค่า TSS ประมาณ 20-25 °Brix นำไปตัดขั้วออก ล้างน้ำให้สะอาด และใช้มีดกรีดตามแนวยาวของกล้วย จากนั้นนำไปต้มในน้ำเดือดนาน 1 นาที แล้วปลอกเปลือกออก นำกล้วยที่ได้ไปหั่นเป็นแผ่นหนา 0.1-0.2 ซม. และแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) ความเข้มข้น 1% นาน 30 นาที และสะเด็ดน้ำผึ่ง 15 นาที หลังจากนั้น นำไปอบที่ 150 °ซ. เป็นเวลา 15 นาที แล้วนำไปหั่นเป็นรูปลูกเต๋าขนาดประมาณ 0.3 ซม.
- เม็ดมะม่วงหิมพานต์ และอัลมอนด์ อบที่ 100 °ซ. เป็นเวลา 10 นาที หลังจากนั้นนำไปบดให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ
- งาดำอบที่ 100 °ซ. ประมาณ 5 นาที

ตรวจสอบคุณภาพโดยวัดค่ากิจกรรมของน้ำ (a_w) (AQUA Lab รุ่น CX3TX) และความชื้น ตามวิธี AOAC (2005)

2. ศึกษาสูตรที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์หม่อนผสมลำไยและส่วนผสมกรอบชนิดแท่ง

ทำการผลิตหม่อนผสมลำไยชนิดแท่งโดยประยุกต์จากวิธีของ Orrego *et al.* (2014)

นำน้ำเชื่อมหม่อนมาให้ความร้อนที่ 70°ซ. ผสมกับหม่อนอบแห้งคนให้เข้ากันด้วยไฟอ่อน ๆ 3 นาที จากนั้นใส่ลำไยอบแห้ง ส่วนผสมกรอบ กลูโคสไซรัป และน้ำผึ้ง คนผสมให้เข้ากัน ตักผลิตภัณฑ์ใส่ถุงพลาสติกน้ำหนัก 1000 ก./ถุง อัดผลิตภัณฑ์ให้แน่นให้มีความหนาที่ 1 ซม. นำมาใส่ถาด อบที่ 100°ซ. 20 นาที รอให้เย็น จากนั้น ตัดเป็นแท่งขนาด 3x5 ซม. และบรรจุในถุงปิดให้สนิท

การศึกษาหาสูตรที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์ วางแผนการทดลองแบบส่วนผสม (Mixture Design) แบบ extreme vertices โดยศึกษาการผันแปรส่วนผสม 3 ปัจจัย ได้แก่ หม่อนอบแห้ง 25-40% ลำไยอบแห้ง 25-35% และส่วนผสมกรอบ (Crispy mix) 25-40% กำหนดให้ส่วนผสมอื่นคงที่ ได้แก่ น้ำเชื่อมหม่อน 10% กลูโคสไซรัป 8% น้ำผึ้ง 2% ของน้ำหนักส่วนผสม ทดสอบสูตรต่าง ๆ ตามเงื่อนไขที่กำหนด จะได้สูตรผลิตภัณฑ์ทั้งหมด 10 สูตร (Table 1)

ทำการตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์โดยวัดค่า a_w (AQUA Lab รุ่น CX3TX) ความชื้น (AOAC, 2005) ค่าสี (Minolta chroma meter รุ่น CR-300) Texture Prole Analysis (Texture Analyzer รุ่น TA-TXplus)

ประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัสโดยวิธีให้คะแนนความชอบ (9-point hedonic scale) (ไพโรจน์, 2545) ในด้านลักษณะปรากฏ (Appearance) รสชาติ (Tastes) เนื้อสัมผัส (Texture) และความชอบโดยรวม (Overall) โดยผู้ทดสอบไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 100 คน เพศหญิง 50 คน เพศชาย 50 คน อายุระหว่าง 20 - 50 ปี

Table 1 The formula of Mulberry Mixed with Longan and crispy mix Bar

Formula	Component (%)		
	Mulberry	Longan	Crispy mix
1	37.5	25	37.5
2	25	35	40
3	35	25	40
4	30	30	40
5	40	25	35
6	40	30	30
7	40	35	25
8	35	30	35
9	40	35	25
10	32.5	35	32.5

3. ศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่พัฒนา

นำผลิตภัณฑ์หม่อนผสมลำไยและส่วนผสมกรอบ ชนิดแท่งที่ผ่านการพัฒนาสูตรแล้วมาทำการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี จุลินทรีย์ และทางประสัมผัส ในการวิเคราะห์จะอ้างอิงคุณภาพตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เรื่อง ผลไม้แห้ง มอก. 919-2532 (นิรนาม, 2532) ดังนี้ ค่าความชื้น โปรตีน ไขมัน ใยอาหาร ใยอาหารชนิดไม่ละลายน้ำ เถ้า และพลังงาน (AOAC, 2005) ค่า a_w (AQUA Lab รุ่น CX3TX) ค่าสี L a* b* (Minolta chroma meter รุ่น CR-300) Texture Prole Analysis (Texture Analyzer รุ่น TA-TXplus) การต้านออกซิเดชันโดยวิธี DPPH (Mahattanatawee *et al*., 2006) ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (Waterman and Mole, 1994) จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (Larry and James, 2001) ยีสต์และรา (Valerie *et al.,* 2001) *Staphylococcus aureus* Rosenbach (Reginald and Gayle, 2001) *Escherichia coli* (Peter *et al.,* 2002) ประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัสโดยวิธีให้คะแนนความชอบ (9-point hedonic scale) (ไพโรจน์, 2545) โดยผู้ทดสอบไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวนอีก 100 คน ในด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ กลิ่น เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม

4. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

นำข้อมูลวิเคราะห์ความแปรปรวน และคำนวณความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างสิ่งทดลองโดย DMRT สำหรับการทดลองของส่วนผสมหลักจะนำผลมาวิเคราะห์โดยวิธีการพื้นที่การตอบสนอง (Response surface methodology, RSM) หาช่วงสูตรที่เหมาะสม (Optimization) จากนั้น นำข้อมูลพร้อมทั้งสมการรีเกรสชันที่ได้มาสร้างแผนภาพคอนทัวร์ (Contour plot) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. คุณภาพส่วนผสมหลักของผลิตภัณฑ์หม่อนผสมลำไยและส่วนผสมกรอบชนิดแท่ง

วัดคุณภาพส่วนผสมหลักของผลิตภัณฑ์หม่อนผสมลำไยและส่วนผสมกรอบชนิดแท่ง พบว่า หม่อนอบแห้ง ลำไยอบแห้ง กล้วยอบ เม็ดมะม่วงหิมพานต์ อัลมอนด์ และงาดำ มีค่า a_w เท่ากับ 0.38-0.71 ส่วนค่าความชื้นเท่ากับ 4.68%-17.29% (Table 2) โดยพบว่า ส่วนประกอบหลักของผลิตภัณฑ์เป็นไปตามมาตรฐาน ผลไม้แห้ง มอก. 919-2532 ที่กำหนดให้ผลไม้อบแห้งมีความชื้นไม่เกิน 18% และมีค่า a_w ไม่เกิน 0.75 (นิรนาม, 2532) ทำให้เมื่อนำส่วนผสมมาประกอบเป็นสูตรผลิตภัณฑ์หม่อนผสมลำไยและส่วนผสมกรอบชนิดแท่งจะได้ผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด

Table 2 Water activity and moisture contents of ingredient in mulberry mixed bar with longan

Ingredient	Water activity (a_w)	Moisture contents (%)
Mulberry dry	0.38 ± 0.00	9.97 ± 0.33
Logan dry	0.54 ± 0.00	15.45 ± 0.19
Banana dry	0.71 ± 0.00	17.29 ± 0.80
Cashews	0.54 ± 0.00	4.68 ± 0.03
Almonds	0.70 ± 0.01	6.40 ± 0.05
Sesame	0.57 ± 0.03	5.84 ± 0.02

2. ผลการพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์หม่อนผสมลำไยและส่วนผสมกรอบชนิดแท่ง

ผลิตภัณฑ์หม่อนผสมลำไยชนิดแท่งตามสูตรทดลองทั้ง 10 สูตร เมื่อวิเคราะห์ค่า a_w ความชื้น ค่าสี คุณภาพทางเนื้อสัมผัส (Texture prole analysis) และทดสอบทางประสาทสัมผัส จากนั้นนำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยวิธีการตอบสนองต่อพื้นผิว (RSM) จะได้กราฟ contour plot (Figures 1-2)

จากการตรวจสอบคุณภาพ ค่า a_w ความชื้น และค่าสีของผลิตภัณฑ์ 10 สูตรทดลอง (Table 3) พบว่า ค่า a_w อยู่ในช่วง 0.41–0.58 ซึ่งถ้าค่า a_w อยู่ในระดับต่ำกว่า 0.6 ทำให้เชื้อจุลินทรีย์หยุดการเจริญเติบโต (นิธิยา, 2557) และพบว่า ความชื้นอยู่ในช่วง 14.64%-17.28% เป็นค่าที่สอดคล้องกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เรื่อง ผลไม้อบแห้ง (นิรนาม, 2532) ที่ระบุว่าผลิตภัณฑ์ต้องมีค่าความชื้นไม่เกิน 18% และมีค่า a_w ไม่เกิน 0.75 ส่วนค่าสีของผลิตภัณฑ์ พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันในทุกสูตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

สำหรับผลการวิเคราะห์ Texture Prole Analysis (Table 4) พบว่า ค่าความแข็ง (Hardness) อยู่ในช่วง 21.32 ถึง 37.39 นิวตัน ค่าการเกาะติดผิว (Adhesiveness) อยู่ในช่วง -1.87 ถึง -2.95 แสดงว่าการเกาะติดผิวมีน้อย ไม่ติดฟันและเหงือกมากนัก ค่าการรวมตัว (Cohesiveness) อยู่ในช่วง 0.51 ถึง 0.62 ค่าความยืดหยุ่น (Springiness) อยู่ในช่วง 1.97–2.65 มม. ค่าการเคี้ยว (Chewiness) อยู่ในช่วง 26.30 ถึง 47.95 นิวตัน มม. และค่าความเหนียวยืด (Gumminess) อยู่ในช่วง 11.91 ถึง 22.43 นิวตัน (Table 4)

Table 3 Qualities of 10 formulas of mulberry mixed bar with longan and crispy mix

formula	Water activity (a_w)	Moisture contents (%)	Color		
			L	a*	b*
1	0.51 ± 0.01 b	17.20 ± 0.64 ab	37.85 ± 0.55	3.21 ± 0.24	7.57 ± 1.63
2	0.54 ± 0.01 c	14.66 ± 1.62 a	34.76 ± 0.71	3.39 ± 0.32	4.42 ± 0.89
3	0.58 ± 0.03 c	17.28 ± 0.81 ab	37.22 ± 1.39	3.49 ± 0.07	5.92 ± 1.37
4	0.55 ± 0.03 c	16.02 ± 1.52 ab	33.96 ± 0.86	3.78 ± 0.33	2.71 ± 0.30
5	0.57 ± 0.02 c	17.51 ± 1.20 b	33.26 ± 0.18	3.38 ± 0.72	3.26 ± 0.17
6	0.57 ± 0.01 c	14.64 ± 2.04 a	35.24 ± 1.91	3.12 ± 0.70	4.79 ± 1.12
7	0.42 ± 0.02 a	16.00 ± 0.35 ab	34.88 ± 1.67	3.80 ± 1.24	4.04 ± 1.56
8	0.51 ± 0.03 b	15.96 ± 0.28 ab	37.48 ± 1.75	4.30 ± 1.65	6.87 ± 1.17
9	0.41 ± 0.02 a	16.07 ± 0.68 ab	33.73 ± 0.73	3.99 ± 0.59	2.90 ± 0.32
10	0.51 ± 0.02 b	16.93 ± 1.21 ab	37.17 ± 0.93	2.71 ± 0.13	6.13 ± 1.25
F-test	**	**	ns	ns	ns
CV%	11.37	9.43	5.79	15.10	16.75

Mean of 3 samples ± standard deviation

Mean in the same column follow by a common letter are not signicantly different at 5% level by DMRT

Table 4 Texture qualities of 10 formulas of mulberry mixed bar with longan and crispy mix

Formula	Hardness (N)	Adhesiveness (J)	Cohesiveness (-)	Springiness (mm)	Chewiness (N*mm)	Gumminess (N)
1	36.74 ± 5.37 a	-2.29 ± 0.76	0.51 ± 0.09 c	2.09 ± 0.29 c	41.57 ± 12.70 b	18.79 ± 3.85 a
2	21.32 ± 3.33 c	-2.95 ± 0.54	0.56 ± 0.08 bc	2.23 ± 0.32 bc	30.49 ± 8.95 b	11.91 ± 2.37 b
3	23.86 ± 3.59 c	-2.38 ± 1.03	0.62 ± 0.06 ab	2.50 ± 0.25 ab	36.27 ± 4.80 b	14.89 ± 1.50 b
4	26.46 ± 2.42 bc	-1.89 ± 0.62	0.49 ± 0.06 c	1.97 ± 0.27 c	26.32 ± 8.82 b	13.33 ± 2.63 b
5	32.89 ± 5.07 ab	-1.55 ± 0.67	0.54 ± 0.07 bc	2.10 ± 0.31 ab	27.61 ± 7.85 b	17.65 ± 2.75 b
6	34.56 ± 6.23 ab	-2.16 ± 0.69	0.55 ± 0.06 ab	2.27 ± 0.28 c	47.95 ± 8.34 a	19.22 ± 4.85 a
7	36.51 ± 3.42 a	-1.87 ± 0.43	0.51 ± 0.03 c	2.07 ± 0.13 c	38.98 ± 6.71 ab	18.53 ± 2.18 a
8	30.28 ± 4.23 b	-2.23 ± 0.96	0.66 ± 0.07 a	2.65 ± 0.30 a	52.22 ± 7.21 a	20.05 ± 1.76 a
9	36.74 ± 2.85 a	-2.26 ± 1.16	0.55 ± 0.10 c	2.04 ± 0.41 c	38.93 ± 14.36 ab	20.35 ± 3.70 a
10	37.39 ± 4.53 a	-2.94 ± 1.00	0.59 ± 0.10 bc	2.23 ± 0.40 bc	46.95 ± 14.87 a	22.43 ± 4.20 a
F-test	**	ns	**	**	**	**
CV%	21.10	37.38	16.00	15.38	33.69	24.73

Mean of 6 samples ± standard deviation

Mean in the same column follow by a common letter are not signicantly different at 5% level by DMRT

ส่วนผลคะแนนการประเมินทางด้านประสาทสัมผัสจากผู้บริโภค 100 คน (Table 5) โดยใช้วิธี 9 point hedonic scale พบว่าค่าคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ 6.2 – 7.0 ความชอบลักษณะปรากฏอยู่ระหว่าง 6.1 - 6.7 ความชอบรสชาติอยู่ระหว่าง 6.2 - 6.9 และความชอบเนื้อสัมผัสอยู่ระหว่าง 6.2 – 7.0

Table 5 Sensory evaluation of 10 formulas mulberry mixed bar with longan and crispy mix

Formula	Overall	Appearance	Tastes	Texture
1	6.5±1.2	6.6±1.1	6.3±1.4	6.5±1.4
2	7.0±1.1	6.6±1.1	6.9±1.4	7.0±1.3
3	6.6±1.2	6.5±1.0	6.2±1.5	6.7±1.3
4	6.9±1.3	6.7±1.2	6.6±1.4	6.8±1.4
5	6.6±1.1	6.4±1.0	6.4±1.4	6.7±1.3
6	6.7±1.1	6.7±1.0	6.3±1.2	6.5±1.2
7	6.6±1.0	6.5±1.0	6.5±1.3	6.5±1.1
8	6.4±1.2	6.2±1.2	6.4±1.4	6.3±1.2
9	6.6±1.1	6.5±1.0	6.5±1.1	6.5±1.1
10	6.2±1.5	6.1±1.1	6.3±1.5	6.2±1.5

Mean ± standard deviation (n=100)

เมื่อนำผลการทดลองทั้งหมดมาวิเคราะห์หาสมการรีเกรสชั่น เพื่อหาความสัมพันธ์ของสัดส่วนของผลิตภัณฑ์ จากหม่อนอบแห้ง ลำไยอบแห้ง และส่วนผสมกรอบ ที่ส่งผลต่อคุณภาพด้านต่าง ๆ จะได้สมการรีเกรสชั่นดังแสดงใน Table 6 จากสมการ พบว่า ค่า a_w ความชื้น ความแข็ง ความเหนียวยืด คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวม รสชาติ และเนื้อสัมผัส มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และสมการรีเกรสชั่นที่ได้มีค่า R^2 อยู่ในช่วง 58.92 – 98.16 พบว่า สมการรีเกรสชั่นยิ่งมีค่า R^2 สูง หมายความว่าสามารถทำนายผลการตอบสนองได้ดี (สุจินดา, 2548) จากสมการรีเกรสชั่นของคุณภาพทางด้านกายภาพ ได้แก่ ค่า a_w และความแข็ง มีสมการแบบหุ่นเส้นตรง (linear model) ส่วนค่าความชื้น ความเหนียวยืด เป็นสมการแบบหุ่นกำลังสอง (quadratic model) สำหรับคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส ได้แก่ ความชอบโดยรวม รสชาติ และเนื้อสัมผัส เป็นสมการแบบหุ่นกำลังสอง (Quadratic model)

คุณภาพทางด้านกายภาพ ได้แก่ ค่าการเกาะติดผิว ค่าการรวมตัว ความยืดหยุ่น ค่าการเคี้ยวและคุณภาพด้านประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ (Appearance) พบว่า สมการไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) จึงไม่นำมาใช้ในการทำ RSM เพื่อหาสูตรที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์

ในการทดลองนี้ใช้คะแนนการยอมรับคุณภาพด้านประสาทสัมผัส ได้แก่ ความชอบโดยรวม กลิ่นรส และเนื้อสัมผัส ที่ระดับ 6.25 ขึ้นไป (ระดับชอบขึ้นไป) เนื่องจากต้องการให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกมาได้รับคะแนนความชอบจากผู้บริโภคที่สูงขึ้น (Figure 1) เมื่อนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์หาส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) ผลการวิเคราะห์ได้กราฟ Overlay plot (Figure 2) พบว่า ส่วนผสมที่เหมาะสมประกอบด้วยหม่อนอบแห้ง 40% ลำไยอบแห้ง 30% ส่วนผสมกรอบ 30% จากกราฟจะเห็นว่าในพื้นที่สีเหลืองจะเป็นพื้นที่ที่มีคะแนนการยอมรับอยู่ในระดับ 6.25 ทุกจุด แต่พบว่าที่จะ Predict point จะเป็นจุดที่ให้ค่าการยอมรับในทุกด้านสูงที่สุด ดังนั้นจึงทำการเลือกจุดนี้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์

การทดสอบสมการรีเกรสชั่นจากตารางที่ใช้ทำนายการพัฒนาผลิตภัณฑ์ โดยสุ่มเลือกผลิตภัณฑ์ 1 สูตร เพื่อใช้ในการทำนายและเปรียบเทียบความแม่นยำของสมการที่ได้ตามวิธีการของ สุจินดา (2548) ได้เลือกสูตรที่มีส่วนผสมหม่อนอบแห้ง 27.33% ลำไยอบแห้ง 32.67% และส่วนผสมกรอบ 40% จากการทดสอบระดับการยอมรับทางประสาทสัมผัส และคุณภาพทางกายภาพ พบว่า มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของตัวแปรที่ 0.92% - 2.69% (Table 7) ซึ่งเป็นสมการที่มีความแม่นยำสามารถใช้ในการทำนายสูตรที่เหมาะสมได้ หากความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 10% (Hu, 1999)

Table 6 Equation regression forecast the optimal formula mulberry mixed bar with longan and Crispy mix for attribute sensory evaluation from their effect

Attribute	Equation regression	R^2	Probability
Water activity (a_w)	0.51A + 0.43B + 0.60C	58.92	0.0444**
Moisture contents	14.68A + 39.37B + 16.89C – 35.74AB + 6.35AC -37.99BC	92.49	0.0228**
Hardness	42.26A + 32.02B + 20.43C	57.72	0.0492**
Adhesiveness	-1.61A - 3.07B -2.42C	37.21	0.1961
Cohesiveness	0.54A + 0.51B + 0.59C	6.53	0.7895
Springiness	2.18A + 2.05B + 2.36C	7.53	0.7603
Chewiness	41.46A + 36.65B + 33.43C	2.89	0.9023
Gumminess	5.67A + 46.19B - 6.49C + 10.02AB + 77.95AC -12.06BC	96.86	0.0042**
Overall	8.16A + 4.07B + 8.19C + 0.35AB – 6.66AC +1.94BC	96.84	0.0042**
Appearance	7.75A + 3.31B + 8.00C + 2.28AB – 5.67AC + 2.03BC	72.35	0.2470
Tastes	7.50A + 5.59B + 7.34C – 1.16AB – 4.60AC + 1.18BC	92.41	0.0233**
Texture	8.52A + 4.60B + 8.96C – 1.75AB - 8.54AC -0.99BC	98.16	0.0014**

A = Mulberry; B = Longan ; C = Crispy mix

** signicantly different at the 5% level

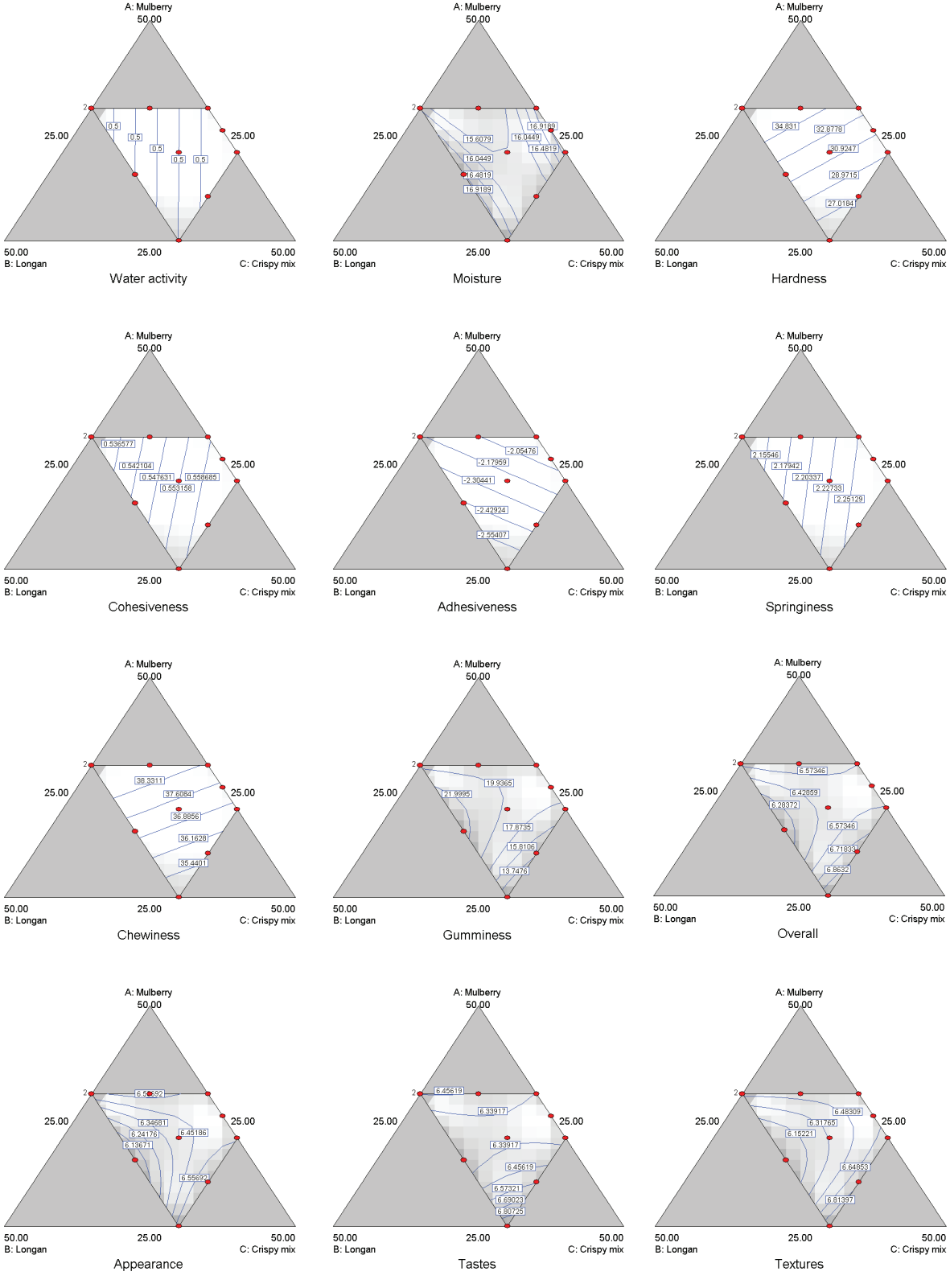

Figure 1 Contour plot of (a) Water activity (b) Moisture (c) Hardness (d) Adhesiveness (e) cohesiveness (f) Springiness (h) Chewiness (i) Gumminess (j) Overall (k) Appearance (l) Tastes (m) Textures of mulberry mixed mar with longan from Equation regression with 3 components (Mulberry, Longan and Crisp mix)

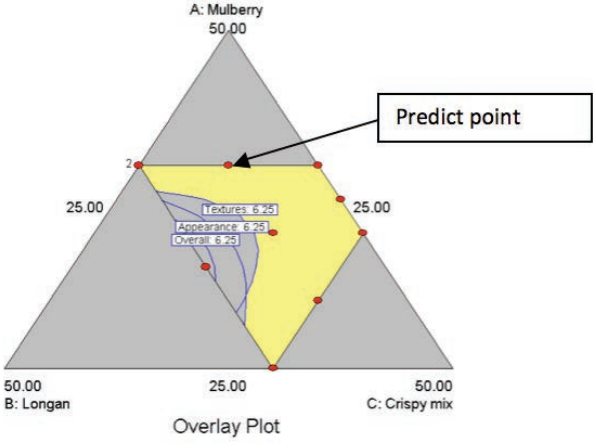

Figure 2 The score accepted at 6.25 of attribute sensory evaluation formula mulberry mixed mar with longan (surface plot)

3. คุณภาพของผลิตภัณฑ์หม่อนผสมลำไยชนิดแท่งที่พัฒนา

จากการพัฒนาสูตรที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์หม่อนผสมลำไยชนิดแท่ง ใช้วัตถุดิบได้แก่ หม่อนอบแห้ง 40% ลำไยอบแห้ง 30% และส่วนผสมกรอบ 30% โดยสัดส่วนของวัตถุดิบแต่ละชนิดนั้นคิดเป็นร้อยละของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด คุณภาพทางเคมีกายภาพ a_w ความชื้น จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา จำนวนเชื้อ *Staphylococcus* aureus และ *Escherichia coli* แสดงใน Table 8 ซึ่งผลการตรวจวิเคราะห์ทั้งหมดพบว่า ผลิตภัณฑ์หม่อนผสมลำไยชนิดแท่งที่พัฒนาได้มีคุณภาพที่ปลอดภัยเป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ผลไม้แห้ง มอก. 919-2532 (นิรนาม, 2532) สำหรับปริมาณโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรท ใยอาหาร พลังงาน สารประกอบโฟลิฟีนอล และเปอร์เซ็นต์การต้านอนุมูลอิสระ มีค่าเท่ากับ 7.5% 8.12% 58.27% 4.25% 357.4 กิโลแคลอรี่/100 ก. 169.17 ไมโครกรัม/ก. และ 49.6% ตามลำดับ ลักษณะทางเนื้อสัมผัส (Texture prole analysis) มีความแข็ง 38.23 N การเกาะติด -2.34 J การรวมตัว 0.48 ความยืดหยุ่น 1.92 mm การเคี้ยว 35.93 N*mm และมีความเหนียวยืด 18.86 N

คุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ซึ่งทำการทดสอบผู้บริโภคจำนวน 100 ราย โดยใช้วิธีให้คะแนนความชอบ (9-point hedonic scale) พบว่า ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบลักษณะปรากฏ สี รสชาติ กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม เท่ากับ 6.75 6.52 6.73 6.75 6.67 และ 6.78 ตามลำดับ (Table 9) ซึ่งคะแนนอยู่ในเกณฑ์ชอบปานกลาง (มีค่าคะแนนเท่ากับ 6.33-7.21) แสดงว่าผลิตภัณฑ์หม่อนผสมลำไยและส่วนผสมกรอบชนิดแท่งเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

Table 7 Comparison the value of sensory evaluation and sensory forecast

Attribute	Value of sensory[1/] evaluation	Value of sensory forecast	Deviation (%)
Water activity (a_w)	0.54 ± 0.01	0.54	0.92
Moisture contents	14.67 ± 0.35	15.95	1.75
Hardness	25.11 ± 3.23	25.98	3.35
Gumminess	14.99 ± 2.07	14.75	1.62
Overall	6.51 ± 1.28	6.69	2.69
Tastes	6.36 ± 1.48	6.45	1.39
Texture	6.45 ± 1.34	6.53	1.23

[1/]Value of sensory evaluation ± standard deviation

Table 8 Quality of developed mulberry mixed bar with longan

Quality		Value	Standard of Dried fruit from TISI
Colour	L*	34.18 ± 1.33	NS
	a*	2.93 ± 0.81	NS
	b*	4.72 ± 1.19	NS
Texture prole analysis			
	Hardness (N)	38.23 ± 3.23	NS
	Adhesiveness (J)	-2.34 ± 0.63	NS
	Cohesiveness	0.48 ± 0.05	NS
	Springiness (mm)	1.92 ± 0.20	NS
	Chewiness (N*mm)	35.93 ± 6.19	NS
	Gumminess (N)	18.86 ± 2.07	NS
Water activity (a_w)		0.47 ± 0.01	<0.75
Moisture content (g/100g)		14.20 ± 0.50	<18
Protein (g/100g)		7.58 ± 0.63	NS
Fat (g/100g)		8.12 ± 1.12	NS
Fiber (g/100g)		4.25 ± 1.97	NS
Carbohydrate (g/100g)		58.27 ± 3.77	NS
Ash (g/100g)		2.35 ± 0.37	NS
Energy (kcal/g)		3.57 ± 0.08	NS
Total phenolic compound (g/g)		169.17 ± 8.32	NS
Radical scavenging ability (%)		49.60 ± 2.80	NS
Total place count (cfu/g)		≤ 250	≤ 10^4
Yeasts and moulds (cfu/g)		≤ 25	≤ 100
Staphylococcus aureus (cfu/g)		≤ 1	< 1
Escherichia coli (MPN)		≤ 3	<3

Mean of 3 samples ± standard deviation
NS = not specific

Table 9 Sensory evaluation of mulberry mixed ar with longan and crispy mix

Quality	Result[1/]
Appearance	6.75 ± 1.06
Colour	6.52 ± 1.14
Taste	6.73 ± 1.03
Odor	6.75 ± 1.23
Texture	6.67 ± 1.15
Overall	6.87 ± 1.06

[1/] Result mean ± standard deviation (n=100)

สรุปผลการทดลอง

การพัฒนาผลิตภัณฑ์หม่อนผสมลำไยชนิดแท่ง ประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก คือ หม่อนอบแห้ง 40% ลำไยอบแห้ง 30% และส่วนผสมกรอบ 30% ผลิตภัณฑ์มีปริมาณโปรตีน 7.5% ไขมัน 8.12% คาร์โบไฮเตรท 58.27% ใยอาหาร 4.25% ให้พลังงาน 357.4 กิโลแคลอรี่/100 ก. สารประกอบโฟลิฟีนอล 169.17 ไมโครกรัม/ก. มีเปอร์เซ็นต์การต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 49.6% ค่า a_w 0.47 ความชื้น 14.20% การวัดลักษณะทางเนื้อสัมผัส มีความแข็ง 38.23 N การเกาะติด -2.34 J การรวมตัว 0.48 ความยืดหยุ่น 1.92 มม. การเคี้ยว 35.93 N*mm และมีความเหนียวยืด 18.86 N มีคุณภาพและความปลอดภัยทางด้านจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เรื่อง ผลไม้อบแห้งมอก 919-2553 และมีคะแนนความชอบเฉลี่ยทุกคุณลักษณะอยู่ในระดับชอบปานกลาง

เอกสารอ้างอิง

กมลวรรณ แจ้งชัด, อนุวัตร แจ้งชัด และประชา บุญญสิริกุล. 2548. การพัฒนาอาหารขบเคี้ยวชนิดแท่งจากข้าวกล้องและผลไม้แห้ง หน้า578-585. *ใน : งานประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 43.* มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 1-4 กุมภาพันธ์ 2548. ณ. กรุงเทพฯ.

ธนกิจ ถาหมี และพิไลรัก อินธิปัญญา. 2555. การพัฒนาสูตรเครื่องดื่มน้ำหม่อน (*Murus alba* L.) สกัดผสมน้ำผึ้ง. *วารสารวิชาการเกษตร* 30(3): 274-289.

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2557. *เคมีอาหาร.* โอเดียนสโตร์. กรุงเทพฯ. 487 หน้า

นิรนาม, 2532. *มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมผลไม้แห้งมอก. 919-2532.* สำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กรุงเทพฯ. 5 หน้า.

นิรนาม, 2553. นวัตกรรมขนมขบเคี้ยวยุคใหม่. *อุตสาหกรรมสาร.* 53:40-41.

นิรนาม, 2557. แนวโน้มอุตสาหกรรมอาหารไทย. *อุตสาหกรรมสาร.* 56:5-7.

ไพโรจน์ วิริยจารี. 2545. *การทดสอบความชอบหรือการยอมรับรวมของผู้บริโภค.* การประเมินทางประสาทสัมผัส (Sensory Evaluation). มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่. 412 หน้า.

วิชมณี ยืนยงพุทธกาล. 2556. ปัจจัยที่มีผลต่อการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซีสของผักและผลไม้. *วิทยาศาสตร์บูรพา.* 18:226-233.

วิมลศิริ ธนะสูติ. 2539. *การพัฒนาอาหารเช้าสำเร็จรูปแบบผสมชนิดแท่ง.* วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ. 187 หน้า

วิโรจน์ แก้วเรือง. 2555. หม่อนผลไม้เภสัชโภชนาภัณฑ์. *หมอชาวบ้าน*. 34: 30-35.

สุจินดา ศรีวัฒนะ. 2548. แบบหุ่นจำลองและสูตรอาหารที่เหมาะสม (Modeling and Optimization for Food Formulation). *อาหาร*. 35:168-176.

สุทัศน์ สุระวัง นพพล เล็กสวัสดิ์ ชาติชาย โขนงนุช และ เมธินี เห่วซึ่งเจริญ. 2550. *รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ เรื่อง การเปรียบเทียบปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในส่วนต่างๆ ของลำไย มะม่วง และลิ้นจี่ทั้งสดและแปรรูป*. เชียงใหม่: คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 171 หน้า

AOAC. 2005. *Ofcial Methods of the Associated of Ofcial Analytical Chemists*. 18th ed. Washington D.C. : The Association of Ofcial Analytical Chemists (AOAC). 1074 p.

Hu, R. 1999. *Food Product Design: A Computer-Aided Statistical Approach*. Technomic Publishing Co.,Ltd. Pennsylvenia, U.S.A. 225 p.

Larry M. and T. P. James. 2001. *Bacteriological Analytical Manual Chapter 3 Aerobic Plate Count*. U.S. Food and Drug Administration. Center for Food Safety and Applied Nutrition, USA. Available : http://www.fda.gov/Food/FoodScienceResearch/LaboratoryMethods/ucm063346.htm. Accessed June 1, 2017.

Mahattanatawee, K., J.A. Manthey, G. Luzio, S.T. Talcott, K. Goodner and E.A. Baldwin. 2006. Total antioxidant activity and ber content of select Florida-grown tropical fruits. *J. Agric. Food Chem.* 54:7355-7363.

Orrego C. E., N. Salgado and C. A. Botero, 2014. Developments and Trends in Fruit Bar Production and Characterization. *J. Crit. Rev. Food Sci. Nutr*. 54:84-97.

Peter F., D. W. Stephen, A. G. Michael and B. William. 2002. Bacteriological Analytical Manual Chapter 4 Enumeration of *Escherichia coli* and the Coliform Bacteria. U.S. Food and Drug Administration. Center for Food Safety and Applied Nutrition, USA. Available : http://www.fda.gov/Food/FoodScienceResearch/Laboratory-Methods/ucm064948.htm. Accessed June 1, 2017.

Reginald W. B. and A. L. Gayle. 2001. Bacteriological Analytical Manual Chapter 12 *Staphylococcus aureus*. U.S. Food and Drug Administration. Center for Food Safety and Applied Nutrition, USA. Available : http://www.fda.gov/Food/FoodScienceResearch/LaboratoryMethods/ucm071429.htm. Accessed June 1, 2017.

Valerie T., E. S. Michael, B. M. Philip, A. K. Herbert and B. Ruth. 2001. *Bacteriological Analytical Manual Chapter 18 Yeasts, Molds and Mycotoxins.* U.S. Food and Drug Administration. Center for Food Safety and Applied Nutrition, USA. Available : http://www.fda.gov/Food/FoodScienceResearch/LaboratoryMethods/ucm071435.htm. Accessed June 1, 2017.

Waterman, P.G. and S, Mole. 1994. *Analysis of Phenolic plant metabolites*. Methods in Ecology. Blackwell Scientic Publications, Oxford, Great Britain. 238 p.