บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

1. การศึกษาสูตรของสารละลายที่เหมาะสม ซึ่งองค์ประกอบของสารละลายประกอบด้วยสาร 6 ชนิด ได้แก่ น้ำตาลซูโครส กลีเซอรอล โพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ โพแทสเซียมซอร์เบท โซเดียมคลอไรด์ และแคลเซียมคลอไรด์ ใช้แผนการทดลองแบบ Plackett and Burman design ทำการคัดเลือกสารที่มีความสำคัญหรือเป็นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ พบว่ามี 4 ชนิด ได้แก่ น้ำตาลซูโครส กลีเซอรอล โซเดียมคลอไรด์ และแคลเซียมคลอไรด์ จากนั้นหาระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารทั้ง 4 ชนิดโดยใช้แผนการทดลองแบบ 2^2 Factorial experiment (Central composite design) ซึ่งสามารถศึกษาระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมได้ครั้งละ 2 ปัจจัย จากผลการทดลองสามารถหา สมการความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารต่างๆต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังนี้

ผลของความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครสและกลีเซอรอลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

ความแข็ง	$= 2.32 - 0.023\,(G) - 0.015\,(S) + 0.0004(G^*S)$	$R^2 = 0.84$
รสหวาน	$= -0.34 + 0.047(G) + 0.0045\,(S) - 0.0006\,(G)^2$	$R^2 = 0.84$
น้ำตาลซูโครส	$= -6.93 + 0.39\,(G) + 0.73\,(S) - 0.013\,(G^*S)$	$R^2 = 0.89$
น้ำตาลทั้งหมด	$= -0.4451 + 0.89\,(G) + 0.92\,(S) - 0.016\,(G^*S)$	$R^2 = 0.82$
Aw	$= 0.0055 + 0.0040\,(G) + 0.0051\,(S) - 0.00010\,(G^*S)$	$R^2 = 0.86$
ความชื้น	$= 36.68 - 0.34\,(G) - 0.35\,(S) + 0.0060\,(G^*S)$	$R^2 = 0.86$

เมื่อ G **หมายถึง ความเข้มข้นของกลีเซอรอล (% w/w) และ**
S **หมายถึง ความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครส (% w/w)**

สมการความสัมพันธ์ที่ได้ สามารถสรุปความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครสและกลีเซอรอลที่เหมาะสม ได้แก่ น้ำตาลซูโครสร้อยละ 55 และกลีเซอรอลร้อยละ 45

ผลของความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์และแคลเซียมคลอไรด์ต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

รสเค็ม = $0.82 - 2.88\ (Na)^2 + 0.86\ (Na) + 0.075\ (Ca)^2 - 0.15\ (Ca)$ $R^2 = 0.87$

ปริมาณเกลือ = $0.00285+0.00458(Na)$ $R^2 = 0.88$

เมื่อ Ca หมายถึง ความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ (% w/w) และ
Na หมายถึง ความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ (% w/w)

สมการความสัมพันธ์ที่ได้ สามารถสรุปความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์และแคลเซียม-คลอไรด์ที่เหมาะสม ได้แก่ โซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 1.5 และแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.15 ของปริมาณน้ำที่ใช้

2. การศึกษาระดับความสุกและความหนาของมะม่วงที่เหมาะสม โดยวางแผนการทดลองแบบ 2^2 Factorial experiment with 3 center points สามารถหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสุกและความหนาต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ๆได้ดังนี้

สีเหลือง = $0.7616 + 0.00583(RI) + 0.1053\ (TH) + 0.01534(RI*TH) - 0.1367\ (TH)^2$ $R^2 = 0.99$

กลิ่นมะม่วง = $0.9843+0.0052(RI) -0.2066(TH)+0.1033(TH)^2$ $R^2 = 0.96$

รสหวาน = $0.7274+0.0104(RI)$ $R^2 = 0.87$

รสเปรี้ยว = $1.1675-0.0110(RI)$ $R^2 = 0.73$

ค่าสี L = $83.7270-0.6469(RI)$ $R^2 = 0.83$

ค่าสี a = $-1.4455+0.4129(RI)$ $R^2 = 0.88$

ปริมาณกรดทั้งหมด (ในรูปร้อยละกรดซิตริก) = $1.9562-0.0463(RI)$ $R^2 = 0.73$

ปริมาณเกลือ = $1.3563-0.0037(RI) -0.87(TH)+0.3800(TH)^2$ $R^2 = 0.99$

ปริมาณน้ำตาลซูโครส = $38.1964-9.5850(TH)$ $R^2 = 0.85$

ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด = 44.2129-8.4000(TH) $R^2 = 0.88$

เมื่อ RI **หมายถึง ระดับความสุกในรูปของสัดส่วนของน้ำตาลทั้งหมดต่อกรด** (Sugar acid ratio)
TH **หมายถึง ความหนาของมะม่วง (เซนติเมตร)**

สมการความสัมพันธ์สามารถสรุประดับความสุกและความหนาของมะม่วงที่เหมาะสม ได้แก่ ความสุกระดับสูงสุดที่มีสัดส่วนของน้ำตาลทั้งหมดต่อกรด (Sugar acid ratio) เป็น 20.72 และความหนาเท่ากับ 0.5 เซนติเมตร

3. การศึกษากระบวนการแช่มะม่วงในสารละลายที่เหมาะสม โดยเปรียบเทียบวิธีการแช่แบบสภาวะนิ่งและแบบที่มีการกวนสารละลายด้วยใบกวนอย่างสม่ำเสมอ และหาเวลาการแช่ที่เหมาะสม ทำการวัดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (Total soluble solid) ในชิ้นมะม่วงและในสารละลายออสโมติก ปริมาณน้ำที่สูญเสียจากชิ้นมะม่วง (Water loss) และปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นในชิ้นมะม่วง (Solid gain) ที่เปลี่ยนแปลงไประหว่างกระบวนการแช่ทุกๆ 3 ชั่วโมง จากผลการทดลองพบว่า การแช่แบบที่มีการกวนสารละลายมีประสิทธิภาพดีกว่า คือสามารถทำให้มีปริมาณของแข็งในชิ้นมะม่วงเพิ่มขึ้นมากกว่าและใช้เวลาสั้นกว่าการแช่แบบสภาวะนิ่ง ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่ากระบวนการแช่ที่เหมาะสมคือการแช่แบบมีการกวนสารละลายและเวลาที่เหมาะสม คือ 6 ชั่วโมง

4. การศึกษากระบวนการทำแห้งที่เหมาะสม เปรียบเทียบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศและเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ ผลการทดลองเมื่อผันแปรอุณหภูมิในการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศเป็น 40 45 50 55 และ 60 องศาเซลเซียส พบว่า กระบวนการที่เหมาะสมที่สุดคืออุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส และใช้เวลาทำแห้งทั้งสิ้น 4.78 ชั่วโมง ในขณะที่การทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ใช้เวลา 2.95 ชั่วโมง ซึ่งใช้เวลาสั้นกว่าเครื่องอบแห้งสุญญากาศ เพราะมีอุณหภูมิค่อนข้างสูงและความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาต้นทุนด้านพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งยังพบว่าเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีความเหมาะสมมากกว่าเพราะสามารถช่วยลดต้นทุนการผลิตได้

5. ศึกษาชนิดของภาชนะบรรจุและอุณหภูมิการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสม โดยผันแปรอุณหภูมิการเก็บรักษาเป็น 0 30 และ 37 องศาเซลเซียส ส่วนภาชนะบรรจุมี 2 แบบคือ ถุง

อลูมิเนียมเปลว และถุง Oriented Polypropylene ทำการวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์มะม่วงแก้วอบแห้งที่ระยะเวลาการเก็บรักษาเมื่อเริ่มต้น 2 , 4 , 8 , 16 และ 24 สัปดาห์ ผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิมีผลต่อคุณภาพด้านสี L และ b ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและน้ำตาลซูโครส การยอมรับด้านสีเหลืองและรสเปรี้ยว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มากที่สุด คือ 0 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิ 30 และ 37 องศาเซลเซียสจะเร่งให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพผลิตภัณฑ์ให้เป็นที่ยอมรับน้อยลง ตามลำดับ สำหรับชนิดของภาชนะบรรจุมีผลต่อการยอมรับด้านความแข็งเท่านั้น โดยการยอมรับด้านความแข็งต่อผลิตภัณฑ์ที่บรรจุถุงอลูมิเนียมเปลวมีค่าใกล้เคียงอุดมคติมากกว่าถุง OPP ดังนั้นชนิดของภาชนะบรรจุที่เหมาะสม ได้แก่ อลูมิเนียมเปลว

เมื่อศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ที่สภาวะการเก็บรักษาต่างๆดังกล่าว โดยมีค่าการยอมรับสีเหลืองเป็นดัชนีชี้บ่งการเสื่อมเสีย พบว่า สามารถสร้างสมการคาดคะเนอัตราเร็วของปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงการยอมรับสีเหลืองของผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ในถุง OPP และอลูมิเนียมเปลว แสดงดังสมการที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ดังนี้

$k = 0.080 - 21.59\ (1/T)$ $\quad R^2 = 0.98$ $\quad (P \leq 0.10)$ ..... (1)

$k = 0.073 - 19.85\ (1/T)$ $\quad R^2 = 0.96$ $\quad (P \leq 0.15)$ .....(2)

เมื่อ k คือ อัตราเร็วของปฏิกิริยา และ T คืออุณหภูมิ (องศาเคลวิน)

ค่า k ที่ได้จากสมการสามารถนำมาใช้คาดคะเนอายุการเก็บรักษาได้ โดยใช้สมการของ Arrhenius ซึ่งผลการทดลอง พบว่า การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิต่ำจะทำให้อายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์นานกว่าอุณหภูมิสูง และการบรรจุผลิตภัณฑ์ด้วยถุงอลูมิเนียมเปลวจะสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นานกว่าถุง OPP

ข้อเสนอแนะ

1. การเลือกมะม่วงที่ใช้เป็นวัตถุดิบควรมีคุณภาพด้านความแก่อย่างสม่ำเสมอ ซึ่งมีความสำคัญมากต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากมะม่วงแก้วแก่จัดเมื่อนำมาบ่มเพื่อให้เป็นมะม่วงสุกก่อนนำมาใช้จะได้คุณภาพที่ดีกว่า ถ้ามะม่วงยังอ่อนอยู่จะไม่สามารถบ่มเพื่อให้มีคุณภาพดีได้ หรือถ้าไม่แก่จัดก็จะทำให้มะม่วงสุกที่ได้จากการบ่มมีรสไม่หวานและมีรสเปรี้ยวมากเกินไป เนื่องจากมะม่วงจะไม่ถูกตีป่นเป็นเนื้อเดียวกันก่อนการอบ ดังนั้นความสม่ำเสมอของวัตถุดิบจึงมีผลอย่างมากต่อความสม่ำเสมอของคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และการคัดเลือกสายพันธุ์มะม่วงแก้วเขียวก็มีความจำเป็นต้องทำอย่างระมัดระวังเพราะมะม่วงแก้วมีหลายสายพันธุ์และแต่ละสายพันธุ์ก็มีคุณภาพแตกต่างกันไป หากมีการใช้สายพันธุ์อื่นร่วมด้วยก็จะทำให้เกิดความผิดพลาดได้ เนื่องจากมะม่วงแก้วเขียว แก้วขาว และแก้วจุก มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่แตกต่างกัน โดยมะม่วงแก้วขาวและแก้วจุก เมื่อสุกเนื้อจะนิ่มเละและมีสีขาวซีด ซึ่งเป็นลักษณะที่ไม่ต้องการ ในขณะที่มะม่วงแก้วเขียวเมื่อสุกเนื้อจะแน่นและมีสีเหลือง ซึ่งเป็นลักษณะที่ดีตามที่ต้องการ ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการใช้มะม่วงหลายชนิดในการทดลองร่วมกันจะทำให้เกิดความผิดพลาดในการสรุปผลการทดลองได้

2. สารละลายที่ใช้ในกระบวนการแช่มะม่วง มีต้นทุนค่อนข้างสูงเนื่องจากมีการใช้กลีเซอรอลร่วมด้วย ดังนั้นควรหาวิธีการนำกลับมาใช้อีกเพื่อลดต้นทุนการผลิต ซึ่ง Mujumdar (1995) กล่าวว่าสารละลายสามารถนำกลับมาใช้ได้หลายครั้ง และสามารถรักษาความเข้มข้นของสารละลายให้มีค่าตามที่ต้องการด้วยการละลายตัวถูกละลายกลับเข้าไปอีก หรือโดยการระเหยน้ำส่วนเกินที่เพิ่มขึ้นในสารละลายจากการแพร่ออกมาจากชิ้นอาหารระหว่างกระบวนการแช่ ซึ่งการระเหยน้ำเป็นวิธีที่เหมาะสมเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณตัวถูกละลายในสารละลายเกิดขึ้นไม่มากนักเพราะการแทรกซึมของตัวถูกละลายเข้าสู่เนื่อเยื่อเกิดขึ้นได้เพียงผิวหน้าเท่านั้น

3. การทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ เป็นการอาศัยพลังงานความร้อนจากธรรมชาติ แม้ว่าจะมีประสิทธิภาพสูงแต่ก็มีข้อจำกัดเพราะประสิทธิภาพของเครื่องขึ้นอยู่กับฤดูกาลและสภาวะอากาศ เพื่อให้สามารถรองรับการผลิตได้ตลอดทั้งปีจึงควรเพิ่มแหล่งพลังงานสำรอง เช่น ก๊าซหุงต้ม ไฟฟ้า หรือพลังงานในรูปแบบอื่น เพื่อลดการสูญเสียหากเกิดกรณีที่สภาพธรรมชาติไม่อำนวย

4. ในการทดลองขั้นตอนการแช่มะม่วงในสารละลายผสมเข้มข้น ได้ใช้ใบกวนที่มีความกว้าง 20 เซนติเมตร และความเร็วรอบประมาณ 350 รอบต่อนาที ซึ่งเป็นความเร็วที่ค่อนข้างสูง ทำให้มีผลต่อชิ้นมะม่วงภายหลังการแช่ คือ ชิ้นมะม่วงบางส่วนที่จมลงสู่ก้นถังแช่จะฉีกขาดและนิ่มเละ แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากการผลิตครั้งละมากๆ ถังกวนจะมีขนาดใหญ่ในขณะที่ใบกวนมีขนาดเล็กและอยู่ตำแหน่งล่างสุดของถังกวน จึงต้องใช้ความเร็วค่อนข้างสูงในการกวนให้ชิ้นมะม่วงและสารละลายเคลื่อนที่ไปช้าๆ ดังนั้นควรแก้ไขด้วยการปรับปรุงเครื่องกวน เช่น สร้างตะแกรงกั้นเหนือใบกวนป้องกันไม่ให้ชิ้นมะม่วงจมลงสู่ก้นถัง หรือปรับปรุงลักษณะใบกวนให้มีการโค้งทำมุมเพื่อเพิ่มแรงหมุนเหวี่ยงให้สูงขึ้นและลดความเร็วรอบของใบกวนลง

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University