

บทที่ 3

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัสดุอุปกรณ์

3.1.1 วัตถุดิบ

1. มะม่วงโชนอนันต์ จากสวนในขอนแก่น มีอายุเก็บเกี่ยว 110 วัน

3.1.2 สารเคมี

1. เมทิลเซลลูโลส (methylcellulose) AR. ผลิตโดยบริษัท Fluka, Switzerland
2. แอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 95 (95% ethyl alcohol) บริษัท พีเคซี อินสตรูเมนต์

ประเทศไทย

3. แซนแทนกัม (xanthan gum) Food grade บริษัท คาร์กิลสยาม จำกัด
4. ทวิน 80 (tween 80) Food grade บริษัท คาร์กิลสยาม จำกัด

3.1.3 บรรจุภัณฑ์

1. ถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ประกบกับโพลีเอทิลีน (polyethylene) จากบริษัท อีสานพลาสติกขอนแก่น
2. ถุงพลาสติกที่ผลิตจากไนลอน (nylon) ประกบกับโพลีเอทิลีน (polyethylene) ที่มีความหนา 59 ไมโครเมตร มีอัตราการซึมผ่านของอากาศเป็น $30 \text{ cm}^3/\text{m}^2/24 \text{ hr}$ ที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส มีค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศร้อยละ 70 และอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ เป็น $20 \text{ g}/\text{m}^2/24 \text{ hr}$ ที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส จากบริษัท อีสานพลาสติกขอนแก่น

3.1.4 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องวัดค่าสีด้วยระบบ CIE Lab (Hunter Associates Laboratories Inc , USA)
2. เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ (Thermoconstanter : Novasina model TH200, Axair ,AG , Switzerland)
3. เครื่องผสมอาหาร (Food mixer : Kitchen Aid, Model ULM-400, USA)
4. เครื่องปิดผนึกถุงด้วยสุญญากาศ (Vacuum Sealer) บริษัท Super Vac® ประเทศเยอรมัน
5. บีกเกอร์ขนาด 250 และ 500 มิลลิลิตร
6. กระจกตวง ขนาด 100 และ 10 มิลลิลิตร
7. ชุดภาชนะโลหะสำหรับหาความชื้น (Moisture can)
8. ชุดอุปกรณ์ทดสอบชิม
9. เครื่องปั่นไอศกรีมยี่ห้อ รุ่น Gelato Pro 3000 ของบริษัท NEMOX ประเทศอิตาลี
10. เครื่องวัดค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH meter) รุ่น LE 409 ของบริษัท Mettler Toledo ประเทศสวิตเซอร์แลนด์

11. ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) รุ่น U30 ของบริษัท Memmert ประเทศเยอรมัน
12. เครื่องชั่งละเอียด (Balance) รุ่น AB104 ของบริษัท Metler Toledo ประเทศสวิตซ์เซอร์แลนด์
13. ตู้แช่แข็งอุณหภูมิ - 18 °ซ รุ่น SF - 4992 NG ของบริษัท SANYO Uniliversell electric จำกัด มหาชน
14. ตู้ถ่ายเชื้อ (Lamina flow) รุ่น Biological safety cabinet class II ของบริษัท Gibthai ประเทศออสเตรเลีย
15. ตู้บ่มเชื้อ (Incubator) รุ่น BD-53 ของบริษัท Binder ประเทศเยอรมัน
16. หม้อนึ่งความดันสูง (Autoclave) รุ่น SS-325 ของบริษัท Tomy Seiko ประเทศญี่ปุ่น
17. เครื่องตีปั่นผสม (Stomacher 400 Lab Blender) รุ่น Seward ของประเทศอังกฤษ

3.2 การเตรียมมะม่วง

มะม่วงที่ใช้ในการทดลองเป็นมะม่วงโศคนันต์ซึ่งได้จากสวนในจังหวัดขอนแก่นที่มีอายุเก็บเกี่ยว 110 วันจากนั้นนำมาคัดผลที่อยู่ในสภาพดี ไม่มีรอยแตกหรือรอยช้ำ แล้วนำมาทดสอบการจมน้ำเพื่อคัดผลที่แก่จัดในระดับใกล้เคียงกันซึ่งจะสังเกตจากการจมน้ำของผลมะม่วง จากนั้นผึ่งลมให้แห้ง นำมะม่วงโศคนันต์ที่คัดเลือกได้มาบ่มให้สุกโดยการคลุมด้วยกระดาษป่านเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6-8 วัน หลังจากนั้นคัดมะม่วงโศคนันต์ที่สุกจัดแล้วอีกครั้ง โดยพิจารณาจากที่สีเปลือกเป็นสีเหลืองทั้งหมด (เกษม นันทชัย และ สมไฉน นานาภากุล 2543) มะม่วงโศคนันต์ที่คัดเลือกได้นี้ใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการศึกษาต่อไป

3.3 การเตรียมเนื้อมะม่วงโศคนันต์บด

นำมะม่วงโศคนันต์สุกจัดที่ได้จากการคัดเลือกในข้อ 3.2 มาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำเปล่า จากนั้นปอกเปลือกแยกส่วนเนื้อมะม่วง และเมล็ดออกแล้วด้วยมีดที่สะอาด จากนั้นจึงนำเฉพาะส่วนเนื้อมะม่วงโศคนันต์มาปั่นด้วยเครื่องปั่นด้วยความเร็วสูงสุดเป็นเวลา 2 นาที แล้วสุมเนื้อมะม่วงโศคนันต์บดไปตรวจวัดคุณสมบัติดังนี้

- ค่าปริมาณกรดทั้งหมดที่ไตเตรทได้ (AOAC 2000) ซึ่งรายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค (5)
- ค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยใช้ pH meter ซึ่งรายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค (4)
- ค่าสีในระบบ CIELAB โดยแสดงค่าสีในรูป L* a* และ b* ซึ่งรายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค (1)
- ค่าปริมาณความชื้น (AOAC 2000) ซึ่งรายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค (3)
- ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด โดยใช้ Hand Refractometer ซึ่งรายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค (2)
- ค่าปริมาณ ascorbic acid (Compendium of Method for Food Analysis 2003) ซึ่งรายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค (6)

- ค่าปริมาณ β -carotene (Compendium of Method for Food Analysis 2003) ซึ่งรายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค (7)

สำหรับเนื้อมะม่วงที่เหลือจากการสุ่มไปวัดคุณสมบัติทางเคมีกายภาพแล้วนำไปผสมกับกรดซิตริกร้อยละ 0.1 (โดยน้ำหนัก) ให้เข้ากันดี จากนั้นบรรจุแบบสุญญากาศในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ประกบกับโพลีเอทิลีนถุงละ 500 กรัมแล้วเก็บที่อุณหภูมิ - 20 องศาเซลเซียส จนกว่าจะใช้ในการทดลอง

3.4 การศึกษาผลของปริมาณเมทิลเซลลูโลสและเวลาในการตีปั่นต่อลักษณะของโฟมเนื้อมะม่วง

3.4.1 การเตรียมสารละลายเมทิลเซลลูโลส

นำผงแห้งของเมทิลเซลลูโลสมาละลายน้ำที่มีอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเพื่อให้ผงแห้งกระจายจากนั้นเติมน้ำที่อุณหภูมิห้องแล้วค่อยๆ คนจนละลายเพื่อให้ได้ความเข้มข้นของสารละลายเมทิลเซลลูโลสเป็นร้อยละ 2.5, 5 และ 10 โดยน้ำหนัก (Karim and Wai 1999)

3.4.2 ขั้นตอนการทำให้เกิดโฟม

นำเนื้อมะม่วงที่ผ่านการบดมา 360 กรัมผสมรวมกับสารละลายเมทิลเซลลูโลสที่มีความเข้มข้นต่างๆ (ที่เตรียมได้ในข้อ 3.4.1) 40 กรัม เพื่อให้ของผสมที่ได้มีปริมาณเมทิลเซลลูโลสสุดท้ายเป็นร้อยละ 0.25, 0.5 และ 1.0 โดยน้ำหนัก ตามลำดับและในการทดลองจะใช้ตัวอย่างเนื้อมะม่วงโซคอนันต์บด 360 กรัม ผสมกับน้ำกลั่น 40 กรัม เพื่อให้ได้ตัวอย่างที่มีส่วนผสมของเมทิลเซลลูโลสร้อยละ 0 โดยน้ำหนัก (Karim and Wai 1999)



จากนั้นนำของผสมที่มีปริมาณเมทิลเซลลูโลสในปริมาณต่างๆมาตีปั่นให้ขึ้นโฟมโดยใช้เครื่องผสม Kenwood ที่ความเร็วสูงสุด โดยแปรเวลาในการตีปั่นเป็น 0, 10, 20 และ 25 นาที



นำโฟมที่ได้จากทุกสภาวะการทดลองตรวจสอบคุณภาพต่อไป

คุณภาพของโฟมตรวจสอบคุณภาพได้แก่

- ความหนาแน่นของโฟม (Foam density) (Karim and Wai 1999) ซึ่งรายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค (8)
- ค่าการขยายโฟม (Foam overrun) (Karim and Wai 1999) ซึ่งรายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค (9)
- ค่าความคงตัวของโฟม (Foam stability) (Karim and Wai 1999) ซึ่งรายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค (10)

ในการทดลองขั้นตอนนี้ได้วางแผนการทดลองแบบ 4×4 Factorial in Completely Randomized Design (CRD) โดยตัวแปรที่ศึกษาคือ ปริมาณของสารเมทิลเซลลูโลสในเนื้อมะม่วงบดร้อยละ 0, 0.25, 0.5 และ 1.0 โดยน้ำหนัก และเวลาในการตีปั่น (0, 10, 20 และ 25 นาที) จากนั้นวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล



(ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย treatment โดยวิธี Duncan New's multiple range test โดยใช้โปรแกรม SPSS for Windows version 16 โดยทำการทดลอง 2 ซ้ำ

เกณฑ์ในการคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการทำให้เกิดโฟมคือ ปริมาณสารเมทิลเซลลูโลสในเนื้อมะม่วงบดและเวลาในการตีปั่นที่ทำให้ค่าความคงตัวของโฟมสูงที่สุดโดยโฟมที่ได้มีค่าความหนาแน่นต่ำสุดและมีค่าการขึ้นโฟมสูงสุด

3.5 การศึกษาผลของอุณหภูมิในการทำแห้งต่อค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำในระหว่างการทำแห้งและสมบัติของโฟมแห้งที่ได้

ผลิตโฟมเนื้อมะม่วง โขคนั่นโดยใช้สภาวะที่ทำให้โฟมที่เกิดขึ้นมีความคงตัวสูงสุดซึ่งเลือกได้จากการทดลองที่ 3.4 (เมทิลเซลลูโลสร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก และตีปั่น 25 นาที) จากนั้น นำโฟมมา เกลี่ยเป็นแผ่นบางบนถาด ให้มีความหนา 1 มิลลิเมตร แล้วนำไปทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส โดยใช้ความเร็วลมประมาณ 1.0 เมตรต่อวินาที จนกว่าจะได้ความชื้นสุดท้ายประมาณร้อยละ 0.5 (โดยน้ำหนักแห้ง) ขณะทำแห้งจะติดตามการเปลี่ยนแปลงมวลของตัวอย่างและอุณหภูมิของลมร้อนทุกๆ 5 นาที เพื่อนำข้อมูลไปศึกษาหาสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำต่อไป ส่วนผลิตภัณฑ์โฟมแห้งที่ได้จะนำไปบดและร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 50-100 เมช แล้วนำไปตรวจสอบคุณภาพดังนี้

- ค่าสีในระบบ CIELAB โดยแสดงค่าสีในรูป $L^* a^* b^*$ ซึ่งรายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค (1)
- ค่าปริมาณความชื้น (AOAC 2000) ซึ่งรายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค (3)
- ค่าปริมาณ ascorbic acid (Compendium of Method for Food Analysis 2003) ซึ่งรายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค (6)
- ค่าปริมาณ β -carotene (Compendium of Method for Food Analysis 2003) ซึ่งรายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค (7)
- ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (บวรศักดิ์ ลีนานนท์ 2548) ซึ่งรายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข (1)
- ปริมาณยีสต์และรา (บวรศักดิ์ ลีนานนท์ 2548) ซึ่งรายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข (2)
- ปริมาณ โคลิฟอร์มแบคทีเรีย (บวรศักดิ์ ลีนานนท์ 2548) ซึ่งรายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข (3)

ในการวิเคราะห์คุณสมบัติของโฟมมะม่วงแห้งที่ได้จะใช้แผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย treatment โดยวิธี Duncan New's multiple range test โดยใช้โปรแกรม SPSS for Windows version 16 โดยทำการทดลอง 2 ซ้ำ

สำหรับการหาสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำ (Moisture diffusivity) ในระหว่างการทำแห้งทำได้โดยนำข้อมูลการทำแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ ไป fit กับสมการการแพร่ของฟิค (Fick's law of diffusion) ซึ่งมีรูปแบบดังสมการที่ (6) (Thuwapanichhayanan and others 2008;Kadam and Balasubramanian 2011) โดยใช้ Non-linear regression analysis ของโปรแกรม SPSS for Windows

$$\frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(\frac{-\pi^2 Dt}{4L^2}\right) \dots\dots\dots(6)$$

- เมื่อ
- M คือ ความชื้นที่เวลาใดๆ (เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง)
 - M₀ คือ ความชื้นที่เริ่มต้น (เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง)
 - M_e คือ ความชื้นสมดุลที่สภาวะการทำแห้งหนึ่งๆซึ่งสมมุติว่าเป็นศูนย์
 - t คือ เวลาในการทำแห้ง (นาที)
 - D_{eff} คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ (Effective moisture diffusivity) (ตารางเมตรต่อวินาที)
 - L คือ ครึ่งหนึ่งของความหนาโฟม (เมตร)

โดยทั่วไปแล้วในการทำแห้งแบบโฟมจะสมมุติให้ค่าความชื้นของอาหารที่สภาวะสมดุล (% db) เป็น 0 (Thuwapanichhayanan and others 2008;Kadam and Balasubramanian 2011) ดังนั้นสมการที่ (6) จึงลดรูปเหลือเพียง

$$\frac{M}{M_0} = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(\frac{-\pi^2 Dt}{4L^2}\right) \dots\dots\dots(7)$$

หรือ

$$M = M_0 \frac{8}{\pi^2} \exp\left(\frac{-\pi^2 Dt}{4L^2}\right) \dots\dots\dots(8)$$

สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำกับอุณหภูมิของลมร้อน หาได้โดยอาศัยความสัมพันธ์ของ Arrhenius ดังแสดงในสมการต่อไปนี้ (Thuwapanichhayanan and others 2008)

$$D = D_0 \exp\left(\frac{-Ea}{RT}\right) \dots\dots\dots(9)$$

- เมื่อ
- D คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำ (ตารางเมตรต่อวินาที)
 - D₀ คือ ค่าพารามิเตอร์ของสมการ
 - E_a คือ ค่าพลังงานกระตุ้นของการแพร่ของน้ำ (จูลต่อ โมล)
 - R คือ ค่าคงที่ของก๊าซ (8.314 จูลต่อ โมล)
 - T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ (เคลวิน)

3.6 การประยุกต์ใช้โฟมมะม่วงแห้งที่บดเป็นผงในผลิตภัณฑ์ไอศกรีม

โดยในการทดลองขั้นนี้ได้เตรียมโฟมเนื้อมะม่วงที่มีความคงตัวสูงสุดที่เลือกได้จากข้อ3.4 (เมทิลเซลลูโลสร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักและตีปั่น 25 นาที) จากนั้นนำโฟมมาเกลี่ยเป็นแผ่นบางบนถาดให้มีความหนา 1 มิลลิเมตร แล้วนำไปทำแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลมประมาณ 1.0 เมตรต่อวินาที เป็นเวลา 45

นาที่ ซึ่งเป็นสภาวะการทำแห้งที่เลือกได้จากข้อ 3.5 จนกว่าจะได้รับความชื้นสุดท้ายประมาณร้อยละ 0.5 (โดยน้ำหนักแห้ง) จากนั้นนำโพนแห้งไปบดและร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 50- 100 เมชเพื่อใช้ในการผลิตไอศกรีมต่อไปโดยมีรายละเอียดดังนี้

นำมะม่วงผงแห้งที่ได้จากกระบวนการทำแห้งแบบโพน มาคูดน้ำกลับคืนจนได้เนื้อมะม่วงบดที่มีความชื้นเท่ากับเนื้อมะม่วงสด (ความชื้นร้อยละ 82) จากนั้นนำเนื้อมะม่วงบดทั้งสองลักษณะไปใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตไอศกรีมต่อไป สำหรับรายละเอียดขั้นตอนของการผลิตไอศกรีมมะม่วงเป็นดังนี้

เติมนมสดและครีมลงในถังผสมและให้ความร้อนจนอุณหภูมิถึง 50 องศาเซลเซียสคนให้เข้ากัน เติมน้ำตาล นมผงขาดมันเนย สเตบิลไลเซอร์ อิมัลซิไฟเออร์ และมะม่วง (เนื้อมะม่วงคั้นรูปและเนื้อมะม่วงสดที่มีความชื้นเท่ากัน) ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 30 นำส่วนผสมที่ได้ไปผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องปั่นผสม (Bamix) จากนั้นนำไปพาสเจอร์ไรส์ ที่อุณหภูมิ 69 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้วทำให้เย็นลงที่ 4 องศาเซลเซียส บ่มที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 12 ชั่วโมง (aging) นำส่วนผสมมาเข้าเครื่องปั่นไอศกรีม จากนั้นบรรจุใส่ภาชนะ นำไปแช่เยือกแข็ง (hardening) และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส นำไอศกรีมทั้ง 2 ทริตเมนต์ไปหา เเปอร์เซ็นต์ overrun และการห่อมตัวตามวิธีของ Moeenfarad and Tehrani (2008) นอกจากนั้นยังนำไปประเมินคะแนนความชอบทางด้านสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส รสชาติ และการยอมรับรวมของตัวอย่าง โดยใช้ Hedonic scale 9 ระดับ ใช้ผู้ทดสอบกึ่งฝึกฝน 30 คน (ดัดแปลงจาก สุวีณา จันทพิรกิจ 2553)

การทดลองขั้นตอนนี้วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) สำหรับการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของไอศกรีม และ Randomized Complete Block Design (RCBD) สำหรับการทดสอบชิม วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) โดยใช้โปรแกรม SPSS for Windows โดยทำการทดลอง 2 ซ้ำ