# บทที่ 3
# อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

## 3.1 วัตถุดิบ อุปกรณ์ และสารเคมี

### 3.1.1 วัตถุดิบ

- เสาวรสพันธุ์สีเหลือง จากสวนผู้ปลูกเสาวรสในอำเภอดอยสะเก็ด จังหวัด เชียงใหม่

### 3.1.2 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตแยมเสาวรสลดพลังงาน

- น้ำตาลทราย (Mitrphol, Thailand)
- ซูคราโลส (Sigma, Singapore)
- เพกทินเมทอกซีต่ำ (CP Kelco, Denmark)
- แคลเซียมคลอไรด์ (Fluka, USA)

### 3.1.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตเปลือกในเสาวรสอบแห้ง

- เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง (SK-5001WP, A&D, Japan)
- ตู้แช่เยือกแข็ง (Sanyo, Thailand)
- เครื่องปั่นอเนกประสงค์ (HR 1841, Philips, Netherland)
- เครื่องอบลมร้อน (model 400, Memmert, Germany)
- เครื่องอบแห้งสุญญากาศ (Binder, USA)
- ถาดอลูมิเนียมขนาด 40×30×2.5 เซนติเมตร
- ตะแกรงร่อน ขนาด 60 mesh (Retsh GmbH & Co KG, Germany)
- ถุงพลาสติกอลูมเนียมฟอล์ย
- เครื่องปิดผนึกสุญญากาศ (Jaw Feng Machinery Co., Taiwan)

### 3.1.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตแยมเสาวรสลดพลังงาน

- เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง (SK-5001WP, A&D, Japan)
- เครื่องปั่นผสม (National, MX-T1PN, Taiwan)
- หม้อสเตนเลส (Zebra, Thailand)
- ไม้พาย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

- กรวยบรรจุสเตนเลส
- ขวดแก้วพร้อมฝา และพลาสติกผนึกฝาขวด

**3.1.5 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการศึกษาอายุการเก็บรักษาในสภาวะเร่ง**

- กระดาษกรอง เบอร์ 4 (Whatman, England)
- โถดูดความชื้น
- กรดซัลฟิวริก (LAB-SCAN, Ireland)

**3.1.6 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพ**

- ชุดอุปกรณ์เครื่องแก้วและเครื่องมือวิทยาศาสตร์
- เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง (SK-5001WP, A&D, Japan)
- เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (HR-202i, A&D, Japan)
- ตู้อบลมร้อน (model 400, Memmert, Germany)
- โถดูดความชื้น
- เครื่องวัดสี (Konica Minolta: CR-400 series, Japan)
- กระดาษกรอง เบอร์ 4 (Whatman, England)
- กระป๋องอลูมิเนียมพร้อมฝาปิด
- เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (TA-XTPlus, Stable Micro System, UK)
- เครื่องวัดค่าสี (CR410, Konica-Minolta, Japan)
- เครื่องวัดค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (AWC 200, Novasina, Switzerland)
- เครื่องวัดปริมาณของแข็งละลายได้ (Atago, Japan)
- เครื่องวัดพลังงาน (PARR, Isoperibol Calorimeter, USA)
- เครื่องวัดอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (model 7000, Illinois Instrument, USA)

**3.1.7 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพ**

- กรดซิตริก (AR grade, Merck, Germany)
- โซเดียมซิเตรต (AR grade, Merck, Germany)
- โซเดียมคลอไรด์ (J.T. baker, Maxico)
- โซเดียมไฮดรอกไซด์ (J.T. baker, Maxico)
- กรดเกลือ (Lab-scan, Ireland)
- ฟีนอล์เรด (Lab-scan, Ireland )

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

- เมธทาลีนบลู (Lab-scan, Ireland)
- $K_4Fe(CN)_6.3H_2O$ (Fluka, USA)
- เพกทินเกรด 150 (Genu pectin, Denmark)
- น้ำกลั่น

**3.1.8 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส**

- แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส (ภาคผนวก ค)
- อุปกรณ์ทดสอบชิม ได้แก่ ถ้วยชิมพลาสติกใส ช้อนเล็ก ถาด แก้วน้ำ ขนมปังขาว

**3.2 วิธีการทดลอง**

แบ่งการศึกษาออกเป็น 4 ตอน ได้แก่

**ตอนที่ 1 การศึกษาคุณภาพของเสาวรสและเปลือกในเสาวรสพันธุ์สีเหลือง**

ในการศึกษาคุณภาพของเสาวรส และเปลือกในเสาวรสพันธุ์สีเหลือง ทำโดยการเตรียมวัตถุดิบดังนี้

1) การเตรียมเปลือกในเสาวรส

ทำการคัดเลือกผลเสาวรสที่มีสีเหลืองที่ระยะการเก็บเกี่ยว 60-70 วัน ผิวเรียบไม่เหี่ยว มาทำความสะอาดด้วยน้ำแล้วผึ่งให้แห้ง ชั่งน้ำหนักต่อผลโดยนำตัวอย่างมา 5 ผล แล้วหาค่าเฉลี่ย (น้ำหนักเสาวรสเฉลี่ยทั้งผล) จากนั้นผ่าครึ่งผลเพื่อแยกส่วนที่เป็นเปลือกและเนื้อรวมเมล็ด ส่วนเปลือกที่ได้ชั่งน้ำหนัก (น้ำหนักส่วนเปลือก) นำส่วนเปลือกที่ได้มาต้มด้วยน้ำเดือดนาน 5 นาที แล้วตักขึ้นแช่ในน้ำเย็นอีกครั้ง และแยกส่วนที่เป็นเปลือกด้านใน (น้ำหนักเปลือกใน) บรรจุในถุงพอลิเอทธิลีน (polyethylene) 2 ชั้น เก็บที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เพื่อใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพ

2) การเตรียมน้ำเสาวรสและน้ำเยื่อเสาวรส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

นำผลเสาวรสพันธุ์สีเหลืองมาล้างน้ำทำความสะอาด จากนั้นผ่าผลเสาวรสออกเป็น 2 ส่วนตามขวาง ตักเอาเฉพาะเนื้อส่วนที่เป็นสีส้ม ทำการแยกน้ำเสาวรสจากเมล็ดผ่านกระชอนสแตนเลส (น้ำหนักส่วนน้ำ) และนำส่วนเนื้อและเมล็ดที่เหลือจากการกรองน้ำเสาวรส (น้ำหนักส่วนเนื้อรวมเมล็ด) มาผสมด้วยน้ำสะอาดในอัตราส่วน 1:1 ปั่นด้วยเครื่องปั่นอเนกประสงค์ความเร็ว 12,000 รอบต่อวินาที นาน 3 วินาที เพื่อให้เมล็ดแยกออกจากส่วนที่เป็นเนื้อกรองผ่านกระชอนสแตนเลส จะได้น้ำเยื่อเสาวรส (dilution of passion fruit juice) ทำการเก็บรักษาโดยการต้มฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส 20 วินาที บรรจุขณะร้อน ปิดฝาและทำให้เย็น

จากนั้นนำส่วนต่างๆของเสาวรสมาทำการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านเคมีและกายภาพดังนี้

**1) การวิเคราะห์ปริมาณผลผลิตที่ได้ (Yield)**

ทำการชั่งน้ำหนักในแต่ละส่วนของเสาวรส คือ น้ำหนักเสาวรสเฉลี่ยทั้งผล น้ำหนักของส่วนต่างๆ เช่น ส่วนเปลือก ส่วนเปลือกใน ส่วนน้ำ และส่วนเนื้อรวมเมล็ด คำนวณหาร้อยละตามสูตรการคำนวณ (วิศนี, 2552)

$$\text{ร้อยละของปริมาณผลผลิตที่ได้} = \frac{\text{น้ำหนักแต่ละส่วน} \times 100}{\text{น้ำหนักรวมทั้งผล}}$$

**2) การวิเคราะห์เยลลีเกรด (Jelly grade)**

ทำการวิเคราะห์เยลลีเกรดตามวิธี Ranganna (1986) ดังภาพ 3.1 จากนั้นนำมาวัดแรงกดด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส Texture analyzer รุ่น TA.XT Plus (Stable Micro Systems, UK) วัดแรงกด (compression) ใช้หัววัดทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร (DIA cylinder stainless) กดบริเวณตรงกลางตัวอย่าง โดยกดลงไปลึก 20 มิลลิเมตร (pre-test speed: 10 มิลลิเมตร/วินาที; test speed: 2 มิลลิเมตร/วินาที; post-test speed: 10 มิลลิเมตร/วินาที; trigger force: 5 กรัม) (วิศนี, 2552)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ชั่งเปลือกในเสาวรสที่ผ่านการต้มและบดละเอียด
ตามวิธี Commercial Pectin Preparation Food (ตาราง 3.1)

↓

ผสมน้ำตาลปริมาณ 5 เท่าของเปลือกในเสาวรสที่ใช้

↓

ต้มในน้ำที่ผ่านการไล่คาร์บอนไดออกไซด์ 320 มิลลิตร

↓

เติมสารละลายกรดซิตริกเข้มข้นร้อยละ 50 จำนวน 0.5 มิลลิลิตร
และสารละลายโซเดียมซิเตรทเข้มข้นร้อยละ 25 จำนวน 1 มิลลิลิตร

↓

เติมน้ำตาลที่เหลือ และกวนจนกระทั่งมีน้ำหนักสุดท้าย
คิดเป็นร้อยละ 94 ของน้ำหนักเริ่มต้น

↓

ยกลงจากเตา พักให้เย็น 30 วินาที

↓

เทลงในถ้วยวัดเจลขนาด 135 มิลลิลิตร ที่มีสารละลายกรดซิตริก 1 มิลลิลิตร
และสารละลายโซเดียมซิเตรต 0.25 มิลลิลิตร อยู่ในถ้วยผสมให้เข้ากันจนเป็นเนื้อเดียวกัน

↓

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 18 ชั่วโมง

**ภาพ 3.1** วิธีการวิเคราะห์เยลลีเกรด

**ตาราง 3.1** การทดสอบเยลลีเพื่อหาเกรดของเพกทินตามวิธีของ Commercial Pectin Preparation Food

| เกรด | น้ำหนักเพกทิน (กรัม) | เกรด | น้ำหนักเพกทิน (กรัม) |
|---|---|---|---|
| 10 | 50.00 | 120 | 4.17 |
| 20 | 25.00 | 130 | 3.85 |
| 30 | 16.66 | 140 | 3.57 |
| 40 | 15.50 | 150 | 3.33 |
| 50 | 10.00 | 160 | 3.12 |
| 60 | 8.33 | 170 | 2.94 |
| 70 | 7.14 | 180 | 2.78 |
| 80 | 6.25 | 190 | 2.63 |
| 90 | 5.55 | 200 | 2.50 |
| 100 | 5.00 | 210 | 2.38 |
| 110 | 4.55 | 220 | 2.27 |

ที่มา : Ranganna (1986)

**3) น้ำหนักสมมูล** (Equivalent weight)

นำเปลือกเสาวรสที่ได้จากการต้มมาบดให้ละเอียด ผสมน้ำกลั่นที่ไล่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จำนวน 100 มิลลิลิตร เติมโซเดียมคลอไรด์ (sodium chloride) 1 กรัม และหยดฟีนอลเรด (phenol red) นำไปไตเตรทด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide) 0.1 นอร์มอล จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพู (Ranganna, 1986) และคำนวณหาน้ำหนัก equivalent ตามสูตรการคำนวณ

$$\text{Equivalent weight} = \frac{1{,}000(S)}{(N)(V)}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยที่ S คือ น้ำหนักเปลือกในเสาวรสที่ใช้ (กรัม)
N คือ จำนวนนอร์มอลิตีของด่างที่ใช้ในการไตเตรท
V คือ ปริมาตรของด่างที่ใช้ในการไตเตรท (มิลลิลิตร)

**4) ปริมาณเมทอกซี**

นำสารละลายที่ผ่านการหาน้ำหนักสมมูล มาเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.25 นอร์มอล จำนวน 25 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันจนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีม่วง ปิดปากฟลาสค์ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที เติมสารละลายกรดเกลือ (HCl) 0.25 นอร์มอล แล้วเขย่าจนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนเป็นสีเหลือง นำไปไตเตรทด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพู (Ranganna, 1986) คำนวณหาปริมาณเมทอกซี ตามสูตรการคำนวณ

$$\text{Methoxyl content (meo)} = \frac{(N)(V)(E)100}{1{,}000(S)}$$

โดยที่ N คือ จำนวนนอร์มอลิตีของด่างที่ใช้ในการไตเตรท
V คือ ปริมาตรของด่างที่ใช้ในการไตเตรท (มิลลิลิตร)
E คือ equivalent weight ของ methoxyl เท่ากับ 31
S คือ น้ำหนักเปลือกในเสาวรสที่ใช้ (กรัม)

**5) ปริมาณความเป็นกรดทั้งหมด** (total titratable acidity) ตามวิธีของ AOAC (2000)

**6) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด** (total soluble solid) โดยใช้เครื่อง Hand-held refractometer

**7) ค่าความเป็นกรด-ด่าง** (pH) ตรวจวัดด้วยเครื่อง pH meter

**8) อัตราส่วนของของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดต่อปริมาณกรด** (sugar acid ratio)

**การวิเคราะห์ผลทางสถิติ**

นำข้อมูลจากการทำการทดลอง 3 ซ้ำที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for windows version 16.0 (SPSS Inc., Chicago, IL) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Least-Significant Difference (LSD) สำหรับค่าเยลลีเกรด ซึ่งเป็นค่าที่ได้จาก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การวัดด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส นำไปวิเคราะห์แบบเทียบกับค่าของเพกทินทางการค้าเกรด 150 โดยวิธี One-sample t-test

## ตอนที่ 2 การศึกษาสภาวะการอบแห้งเปลือกในเสาวรสด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด และการอบแห้งด้วยตู้อบแบบสุญญากาศ

ในการผลิตเปลือกในเสาวรสอบแห้ง เตรียมเปลือกในเสาวรส 300 กรัม ผสมน้ำ 300 กรัม (อัตราส่วน 1:1) ปั่นด้วยเครื่องปั่นอเนกประสงค์ ความเร็วปานกลางเป็นเวลา 2 นาที เทเกลี่ยลงถาดอลูมิเนียมที่ปูรองด้วยแผ่นพลาสติกชนิดพอลิพรอพิลีน (polypropylene) ขนาด 40×30×2.5 เซนติเมตร จากนั้นนำเข้าเตาอบลมร้อนแบบถาดหรือแบบสุญญากาศ เมื่อตัวอย่างแห้ง ทำการลอกตัวอย่างออกจากแผ่นพลาสติก ปั่นละเอียดด้วยเครื่องปั่นชนิดแห้งความเร็ว 12,000 รอบต่อวินาที นาน 15-20 วินาที เก็บในถุงสุญญากาศ ปิดผนึกเก็บที่ -18 องศาเซลเซียส

### 3.2.1 การศึกษาหาสภาวะการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด

ในการศึกษาหาสภาวะการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด วางแผนการทดลองแบบ Central Composite Design โดยแปรผันอุณหภูมิ (60-80 องศาเซลเซียส) และเวลา (6-8 ชั่วโมง) ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ Design - Expert version 6.0.10 (Statease Inc., USA) จะได้ผลิตภัณฑ์ทั้งหมด 11 สิ่งทดลอง ที่มีจุดซ้ำ 3 จุดที่จุดกลางรายละเอียดของสิ่งทดลองดังตาราง 3.2

**ตาราง 3.2** สิ่งทดลองของการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด

| สิ่งทดลอง | อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) | เวลา(ชั่วโมง) |
|---|---|---|
| 1 | 60 | 6 |
| 2 | 80 | 6 |
| 3 | 60 | 8 |
| 4 | 80 | 8 |
| 5 | 55.9 | 7 |
| 6 | 84.1 | 7 |

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

| | | |
|---|---|---|
| 7 | 70 | 5.6 |
| 8 | 70 | 8.5 |
| 9 | 70 | 7 |
| 10 | 70 | 7 |
| 11 | 70 | 7 |

นำเปลือกในเสาวรสอบแห้งที่ได้จากทุกสิ่งทดลองมาตรวจสอบคุณภาพทางด้านเคมีและกายภาพดังนี้

**คุณภาพทางด้านเคมีกายภาพ** ทำการวิเคราะห์

1) ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี ($a_w$, AquaLab LITE, USA)
2) ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000)
3) ปริมาณผลผลิตที่ได้ (yield) ตามวิธีการของ วิศนี (2552)
4) เยลลีเกรด (jelly grade) ตามวิธีของ Ranganna (1986)
5) ปริมาณน้ำหนักสมมูล (Ranganna, 1986)
6) ปริมาณเมทอกซี (Ranganna, 1986)

### 3.2.2 การศึกษาหาสภาวะการอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศ

ในการศึกษาหาสภาวการณ์อบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศ วางแผนการทดลองแบบ Complete Randomize Design (CRD) ซึ่งมีปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาคืออุณหภูมิที่ระดับ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส ในสภาวะสุญญากาศ ทำการควบคุมความดันภายในให้คงที่เท่ากับ 20 มิลลิบาร์ โดยทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ และตรวจสอบคุณภาพทางด้านเคมีและกายภาพเช่นเดียวกับในตอนที่ 3.2.1

### 3.2.3 การเปรียบเทียบเปลือกในเสาวรสที่ผ่านการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด และผ่านการอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศ

นำเปลือกในเสาวรสอบแห้งที่เลือกได้จากสภาวะที่เหมาะสม ในข้อ 3.2.1 และ 3.2.2 มาตรวจสอบคุณภาพ ตามข้อ 3.2.1 เปรียบเทียบกัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**ตอนที่ 3 การเปรียบเทียบคุณภาพของเปลือกในเสาวรสสด เปลือกในเสาวรสอบแห้ง และเพกทินเมทอกซีต่ำทางการค้า และการนำไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบแยมลดพลังงาน**

นำเปลือกในเสาวรสสด เปลือกในเสาวรสอบแห้ง (ที่ได้จากการทดลองตอนที่ 2) และเพกทินเมทอกซีต่ำทางการค้า มาทำการตรวจสอบคุณภาพดังนี้

1) เยลลีเกรด (jelly grade) ตามวิธีของ Ranganna (1986)
2) ปริมาณน้ำหนักสมมูล (Ranganna, 1986)
3) ปริมาณเมทอกซี (Ranganna, 1986)

และนำมาผลิตแยมเสาวรสลดพลังงานตามสูตรดัดแปลงและวิธีการผลิต โดยปั่นเปลือกในเสาวรสและน้ำเยื่อเสาวรสเข้าด้วยกันด้วยความเร็ว12,000 รอบต่อวินาที นาน 5 นาที หรือ ผสมเปลือกในเสาวรสอบแห้ง หรือเพกทินเมทอกซีต่ำทางการค้ากับน้ำตาลทราย คนจนละลายในน้ำเยื่อเสาวรส จากนั้นให้ความร้อน และเติมน้ำตาลทรายและซูครา โลส จนน้ำตาลละลายหมดเติมน้ำเสาวรสและแคลเซียมคลอไรด์ที่ละลายกับน้ำเล็กน้อย ให้ความร้อนและกวนจนส่วนผสมเข้ากัน วัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และบรรจุขณะร้อน (วิศนี, 2552) โดยมีส่วนผสมและวิธีการผลิตแยม ดังตาราง 3.3 และภาพ 3.2 ตามลำดับ

**ตาราง 3.3** ส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตแยมเสาวรสลดพลังงาน

| ส่วนผสม | ร้อยละของส่วนผสมทั้งหมด | | |
|---|---|---|---|
| | เพกทินเมทอกซีต่ำทางการค้า | เปลือกในเสาวรสสด | เปลือกในเสาวรสอบแห้ง |
| น้ำเสาวรส | 17.0 | 15.6 | 16.9 |
| น้ำเยื่อเสาวรส | 42.5 | 35.6 | 42.2 |
| น้ำตาลทราย | 39.7 | 34.1 | 39.4 |
| เปลือกในเสาวรส | - | 14.6 | 1.3 |

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

| | | | |
|---|---|---|---|
| เพกทิน | 0.8 | - | - |
| ซูคราโลส | 0.03 | 0.03 | 0.03 |
| แคลเซียมคลอไรด์ | 0.014 | 0.02 | 0.02 |

จากสูตรแยมที่ใช้เปลือกในเสาวรสของวิศนี (2552) ได้มีการใช้เปลือกในเสาวรสร้อยละ 14.6 ของส่วนผสมทั้งหมด (ตาราง 3.3) ซึ่งสามารถคิดเทียบส่วนผสมเปลือกในเสาวรสอบแห้งได้ดังนี้

| | |
|---|---|
| ร้อยละผลผลิตที่ได้ของเปลือกในเสาวรสอบแห้ง | 8.5 |
| ที่ได้จากเปลือกในเสาวรสด 100 กรัม | |
| ในส่วนผสมใช้เปลือกในเสาวรสสดร้อยละ | 14.6 |
| ของส่วนผสมทั้งหมด | |
| ดังนั้น จึงใช้เปลือกในเสาวรสอบแห้ง | 1.3 |

ชั่งส่วนผสม

↓

ปั่นเปลือกในเสาวรส และน้ำเยื่อเสาวรส
ด้วยความเร็ว 12,000 รอบต่อวินาที นาน 5 นาที

↓

หรือ

ผสมเปลือกในเสาวรสอบแห้ง หรือเพกทินเมทอกซีต่ำทางการค้ากับน้ำตาลทราย
จำนวน 5 เท่าของปริมาณน้ำตาลทั้งหมด และคนจนละลายในน้ำเยื่อเสาวรส

↓

ให้ความร้อน ไฟปานกลางนาน 10 นาที

↓

เติมน้ำตาลทราย และซูคราโลส

↓ ให้ความร้อนจนละลาย

เติมน้ำเสาวรส และละลายแคลเซียมคลอไรด์กับน้ำเล็กน้อย

↓ ให้ความร้อนและกวนจนส่วนผสมเข้ากัน

วัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้

↓

บรรจุขณะร้อน

↓

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แยมเสาวรสลดพลังงาน

**ภาพ 3.2** กรรมวิธีการผลิตแยมเสาวรสลดพลังงาน

จากนั้นทดสอบความแตกต่างโดยใช้ การทดสอบเปรียบเทียบตัวอย่างคู่ (simple paired comparison test) เป็นวิธีที่มีการเสนอตัวอย่าง 2 ตัวอย่างพร้อมกันเพื่อให้ผู้ทดสอบเปรียบเทียบตัวอย่าง 2 ตัวอย่าง แล้วระบุว่าตัวอย่างทั้ง 2 เหมือนหรือแตกต่างกัน ใช้ผู้ทดสอบชิมที่ผ่านการคัดเลือกและฝึกฝน จำนวน 20 คน (เพ็ญขวัญ, 2550) โดยทำการทดสอบทีละคู่ ทั้งหมดรวม 3 คู่

ทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการทางประสาทสัมผัส สาขาวิชาเทคโนโลยีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ทำการประเมินความแตกต่างโดยเปรียบเทียบตัวอย่างคู่ โดยมีการคัดเลือกและฝึกฝนผู้บริโภคจำนวน 20 คน (ภาคผนวก ค)

นำแยมที่ผลิตได้มาประเมินคุณภาพ ดังนี้

1) ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (AWC 200, Novasina, Switzerland)
2) ค่าสี L*, a* และ b* (Konica Minolta: CR-400 series, Japan)
3) ค่าแรงกด Firmness ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (TA-XTPlus, Stable Micro System, UK)
4) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TSS) โดยใช้เครื่อง Hand-held refractometer
5) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ตรวจวัดด้วยเครื่อง pH meter
6) ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (AOAC, 2000)
7) พลังงาน (กิโลแคลอรีต่อ 100 กรัม), (Bomb calorimeter PARR Model. 1356. Isoperibol Calorimeter, USA)

**ตอนที่ 4 การศึกษาอายุการเก็บรักษาเปลือกในเสาวรสอบแห้งในสภาวะเร่ง**

นำเปลือกเสาวรสอบแห้งที่เหมาะสม มาประเมินอายุการเก็บในสภาวะเร่ง (accelerated shelf life testing) ด้วยความชื้น (Barbosa - Canovas *et al*., 2007) โดยการหา sorption isotherm ของผลิตภัณฑ์ โดยนำตัวอย่างเก็บไว้ในสภาวะปิดสนิทที่อุณหภูมิ 25 และ 35 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่างกัน โดยใช้สารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้นร้อยละ 30, 40, 50, 60, 70 และ 80 โดย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

น้ำหนัก (Al-Muhtaseb *et al*., 2010) ทิ้งไว้ให้อิ่มตัว เป็นเวลา 24 ชั่วโมงก่อนนำไปใช้ โดยวัดค่าวอเตอร์แอกทิวิตีได้ดังตาราง 3.4

**ตาราง 3.4** ค่าวอเตอร์แอกทิวิตีที่ใช้ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกต่างกันในแต่ละอุณหภูมิ

| ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก (มิลลิตรต่อ100 มิลลิลิตร) | ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี | |
|---|---|---|
| | 25 องศาเซลเซียส | 35 องศาเซลเซียส |
| 30 | 0.731 | 0.756 |
| 40 | 0.573 | 0.592 |
| 50 | 0.348 | 0.371 |
| 60 | 0.210 | 0.224 |
| 70 | 0.144 | 0.149 |
| 80 | 0.067 | 0.071 |

จากนั้นนำตัวอย่างเก็บไว้ในสภาวะที่มีการใช้สารละลายกรดซัลฟิวริก ที่มีการดูดซับความชื้นจนอิ่มตัว นำตัวอย่างที่จุดสมดุลนี้ไปหาปริมาณความชื้นในตัวอย่างที่จุดสมดุล (equilibrium moisture content, EMC)

เมื่อผลิตภัณฑ์มีน้ำหนักคงที่ ทำการตรวจสอบคุณภาพดังนี้

1) เยลลีเกรด (jelly grade) ตามวิธีของ Ranganna (1986)

2) ค่าสี L*, a* และ b* (CR410, Konica-Minolta, Japan)

3) การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค จำนวน 60 คน โดยถามถึงการยอมรับของผลิตภัณฑ์ ในคุณลักษณะด้านสี และลักษณะปรากฏ

นำข้อมูลซอร์ปชันไอโซเทอร์มของเปลือกในเสาวรสอบแห้งที่ได้ มาวิเคราะห์หาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ BET (สมการ 2.1) และ GAB (สมการ 2.2) เพื่อหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมที่สุดในการทำนายลักษณะซอร์ปชันไอโซเทอร์ม โดยการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ในการทำนายแบบจำลองคณิตศาสตร์จากสมการ 2.1 และ 2.2 ผลการทำนายแต่ละ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สมการจะนำมาหาค่าความเหมาะสมของสมการ เปรียบเทียบโดยใช้พารามิเตอร์ทางสถิติได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ควรจะมีค่ามาก และค่าความคลาดเคลื่อนน้อย

จากนั้นนำมาพลอตกราฟระหว่างปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอกทิวิตี และนำมาคำนวณหาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์จากสมการ (2.5) (Bell and Labuza, 2000)

$$\theta_s = \frac{\ln\left[\frac{m_e - m_i}{m_e - m_c}\right]}{\frac{P}{x}\frac{A}{W_s}\frac{p_0}{b}} \qquad (2.5)$$

โดยที่ $m_e$ = ความชื้นสมดุล (g $H_2O$/g dry solid)

$m_i$ = ความชื้นเริ่มต้นของอาหาร (g $H_2O$/g dry solid)

$m_c$ = ความชื้นวิกฤต (g $H_2O$/g dry solid)

$P/x$ = สัมประสิทธิ์การแพร่ผ่าน (กรัมต่อตารางเมตรต่อวันต่อมิลลิเมตรปรอท)

$A$ = พื้นที่ผิวของบรรจุภัณฑ์ (ตารางเมตร)

$W_s$ = น้ำหนักตัวอย่างแห้ง (กรัม)

$p_0$ = ความดันไอของน้ำบริสุทธิ์ ณ อุณหภูมิการเก็บรักษา (มิลลิเมตรปรอท)

$b$ = ความชันที่ได้จากสมการเส้นตรงของ moisture sorption isotherm

$\theta_s$ = อายุการเก็บรักษา (วัน)

สมการที่ใช้ในการทำนายอายุการเก็บรักษาโดยใช้ซอร์ปชันไอโซเทอร์ม (สมการ 2.5) ของผลิตภัณฑ์เปลือกในเสาวรสอบแห้ง ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 30 และ 35 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70 และ 85 เมื่อใช้ฟอล์ยลามิเนท (laminated/PE) เป็นบรรจุภัณฑ์ ซึ่งให้ค่า water vapor transmission rate (WVTR) เท่ากับ 0.310 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน มีขนาดบรรจุ $3.18\times10^{-2}$ ตารางเมตร และมีความชื้นเริ่มต้นของอาหาร 0.04 กรัมน้ำต่อกรัมน้ำหนักแห้ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved