บทที่ 3
อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

3.1 วัตถุดิบ

ลำไยสดพันธุ์ดอ (*Dimocarpus longan* Lour., Longan)

3.2 สารเคมี

1. Potassium penta oxide (P_2O_5) (Laboratory: Ajax Finechem, Australia)
2. Lithium chloride (LiCl) (Laboratory: Ajax Finechem, Australia)
3. Potassium acetate (CH_3COOK) (Laboratory: Ajax Finechem, Australia)
4. Magnesium chloride ($MgCl_2$) (Laboratory: Ajax Finechem, Australia)
5. Potassium Carbonate (K_2CO_3) (Laboratory: Ajax Finechem, Australia)
6. Magnesium Nitrate (Mg $(NO_3)_2$ (Laboratory: Ajax Finechem, Australia)
7. Potassium Iodide (KI) (Laboratory: Ajax Finechem, Australia)
8. Sodium chloride (NaCl) (Laboratory: Ajax Finechem, Australia)
9. Methanol (MeOH) (JT Baker, USA)
10. 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH•) (Fluka, USA)

3.3. เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องอบแห้งแบบ Spouted bed
   (ห้องอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15.5 เซนติเมตรและสูง 170 เซนติเมตร)
2. เม็ดพลาสติกเทฟลอน
   (ขนาด 6x6 มิลลิเมตร ความหนาแน่น 2.0326 กรัมต่อมิลลิลิตร)
3. เครื่องวิเคราะห์กลาสทรานซิชัน โดยเครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) (Diamon DSC, Perkin Elmer, USA)
4. เครื่องวัดค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (a_w) ยี่ห้อ AquaLab รุ่น TE3 Decagon Devices ผู้ผลิต Inc Pullman, USA
5. เครื่องวัดสี Color Quest II Sphere (Chroma Meter CR 300 Series, Japan)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

6. เครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด โดย Hand Refractometer (N-10E, Atago Co., Ltd., Japan)
7. ตู้อบลมร้อน (hot air oven) (Memmert, USA)
8. เครื่องปั่นเหวี่ยง (centrifuge) (Hermle, Germany)
9. โถดูดความชื้น (desicator)

3.4 วิธีการทดลอง

ตอนที่ 1 การเตรียมเนื้อลำไยบด

นำลำไยสดพันธุ์ดอมาล้างน้ำให้สะอาด แกะเปลือกและคว้านเมล็ดออก บดเนื้อลำไยให้มีขนาดอนุภาคเล็กพอที่จะสามารถลอยตัวได้ในห้องอบแห้งเมื่อฉีดพ่นลมร้อนเข้าไป คือขนาดเฉลี่ยประมาณ 0.5 มิลลิเมตร จากนั้นนำเนื้อลำไยบดบรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอล์ยและเก็บไว้ในตู้แช่เยือกแข็งเพื่อนำไปใช้ในการทดลองขั้นตอนต่อไป

วิเคราะห์เนื้อลำไยบดก่อนอบแห้งดังนี้

- ค่าสี โดยใช้เครื่องวัดสี Color Quest II Sphere
- ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000)
- ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (a_w)
- ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (AOAC, 2000)
- ปริมาณของแข็งทั้งหมด (AOAC, 2000)

ตอนที่ 2 การศึกษาพฤติกรรมการอบแห้งและจลนพลศาสตร์การอบแห้งเนื้อลำไยบดที่เหมาะสม

นำเนื้อลำไยบดไปอบแห้งโดยเครื่องสเปาเต็ดเบดที่ความเร็วลม 25 เมตรต่อวินาที ห้องอบมีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 15.5 เซนติเมตรและสูง 170 เซนติเมตร ใช้เนื้อลำไยบดต่ออนุภาคเฉื่อย (เม็ดพลาสติกเทฟลอนขนาด 6x6 มิลลิเมตร ความหนาแน่น 2.0326 กรัมต่อมิลลิลิตร) เท่ากับ 2:1 (เนื้อลำไยบด 400 กรัมต่ออนุภาคเฉื่อย 200 กรัม) อุณหภูมิลมร้อนสำหรับการอบแห้งมี 3 ระดับคือ 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส เวลาการอบแห้ง 180 นาที สุ่มตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น (AOAC, 2000) ระหว่างการอบแห้งทุกๆ 20 นาที วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ทดลอง 3 ซ้ำ สร้างกราฟการลดความชื้น และอัตราการอบแห้ง และเปรียบเทียบลักษณะการอบแห้งที่อุณหภูมิที่แตกต่างกัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

นำข้อมูลความชื้นของเนื้อลำไยบดที่เวลาการอบแห้งต่างๆ จากค่าเฉลี่ยของการทดลอง 3 ซ้ำ ไปคำนวณหาสัดส่วนความชื้น (moisture ratio) เพื่อทำนายจลนพลศาสตร์การเปลี่ยนแปลงความชื้น โดยศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Lewis, Henderson and Pabis และ Wang and Singh และหาแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุด โดยประเมินจากค่าทางสถิติคือ R^2 ที่สูงที่สุด และ Root mean square error (RMSE) ต่ำที่สุด

ตอนที่ 3 การศึกษาหาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสำหรับการอบแห้ง

อบแห้งเนื้อลำไยบดที่อุณหภูมิของลมร้อน 3 ระดับคือ 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 นาที สุ่มตัวอย่างเนื้อลำไยบดอบแห้งทุกๆ 20 นาที วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ประสิทธิภาพการอบแห้งและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ดังต่อไปนี้

3.1 ประสิทธิภาพการอบแห้ง

เปอร์เซ็นต์ผลผลิต (%yield)

$$\%yield = \frac{\text{น้ำหนักของปริมาณแข็งทั้งหมดสุดท้าย}}{\text{น้ำหนักของปริมาณแข็งทั้งหมดเริ่มต้น}} \times 100$$

Evapolative and Overall Efficiencies (Masters, 1995)

Evaporative efficiency

คำนวณจากสมการ $\eta_{eva} = \left[\frac{T_1-T_2}{T_1-T_{sat}}\right] \times 100$

Overall thermal efficiency

คำนวณจากสมการ $\eta_{Overall} = \left[\frac{T_1-T_2}{T_1-T_0}\right] \times 100$

เมื่อ T_1 = อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า

T_2 = อุณหภูมิลมร้อนขาออก

T_0 = อุณหภูมิบรรยากาศแวดล้อม

T_{sat} = adiabatic saturation temperature

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.2 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

- ค่าสี โดยใช้เครื่องวัดสี Color Quest II Sphere
- ความสามารถในการไหล (flowability) โดยใช้วิธีการหา Slope (Barbosa-Canavas *et al*., 2005)
- ความสามารถในการคืนรูป (rehydration) (Shittu and Lawal, 2007)

3.3 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี

- ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000)
- ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (a_w)
- ปริมาณของแข็งทั้งหมด (AOAC, 2000)

จากผลการวิเคราะห์คุณภาพด้านกายภาพและเคมี วิเคราะห์ผลทางสถิติโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (ไพโรจน์, 2535) ปริมาณความชื้นในเกณฑ์มาตรฐาน 3 ระดับไปทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส

3.4 การทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส

นำเนื้อลำไยบดอบแห้งไปทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค ใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 50 คน ด้วยวิธี 9-point Hedonic scoring test (ไพโรจน์, 2535) เพื่อประเมินความชอบในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นลำไย ความกรอบ รสชาติ และความชอบรวม วิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (ไพโรจน์, 2535)

คัดเลือกสภาวะการอบแห้งที่เหมาะสมจากประสิทธิภาพการอบแห้งและสมบัติทางกายภาพ เคมี และการยอมรับทางประสาทสัมผัส เพื่อศึกษาขั้นตอนต่อไป

ตอนที่ 4 การศึกษาอิทธิพลของความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิการเก็บรักษาต่อคุณภาพของเนื้อลำไยบดอบแห้ง

นำตัวอย่างเนื้อลำไยบดอบแห้งที่ผลิตในสภาวะที่เหมาะสม ไปศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษา โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.1 การศึกษาลักษณะซอร์ปชันไอโซเทอร์ม (moisture sorption isotherm)

ศึกษาลักษณะ Sorption isotherm ของตัวอย่างเนื้อลำไยบดอบแห้งด้วยวิธี gravimetric method (Labuza, 2000 และ Boonyai, 2007) เก็บตัวอย่างเนื้อลำไยบดอบแห้งที่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ที่แตกต่างกัน 8 ระดับ (0-75%) ซึ่งให้ค่า a_w ในช่วง 0-0.75 ในสภาวะสมดุลที่อุณหภูมิ 20, 30 และ 40 องศาเซลเซียส จนตัวอย่างเข้าสู่สภาวะสมดุล จากนั้นนำตัวอย่างลำไยบดอบแห้งไปวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น และสร้าง moisture sorption isotherm โดยข้อมูลที่ได้สามารถนำไปใช้ในการทำนายสภาวะการเก็บรักษาที่เหมาะสม ซึ่งความชื้นสัมพัทธ์ที่ระดับต่างๆ นั้นถูกควบคุมโดยการใช้สารละลายเกลืออิ่มตัวชนิดต่างๆ ดังตารางที่ 3.2 ทดลอง 3 ซ้ำ

ตารางที่ 3.2 สารละลายเกลือที่ใช้สำหรับปรับระดับความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศการเก็บรักษา

สารละลายเกลือ	ค่า a_w ที่จุดอิ่มตัว
ฟอสฟอรัสเพนตะออกไซด์ (P_2O_5) (Ajax, Australia)	0
ลิเทียมคลอไรด์ (LiCl) (Ajax, Australia)	0.11
โปแตสเซียมอะซีเตต (CH_3 COOK) (Ajax, Australia)	0.22
แมกนีเซียมคลอไรด์ ($MgCl_2$) (Ajax, Australia)	0.32
โปแตสเซียมคาร์บอเนต (K_2CO_3) (Ajax, Australia)	0.43
แมกนีเซียมไนเตรต ($Mg(NO_3)_2$ (Ajax, Australia)	0.52
โปแตสเซียมไอโอไดด์ (KI) (Ajax, Australia)	0.68
โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) (Ajax, Australia)	0.75

ขั้นตอนการทดลองมีดังนี้

1. เตรียมสารละลายเกลืออิ่มตัว บรรจุในขวดโหลที่เป็นแก้วและปิดสนิทได้ ทิ้งไว้ 12 ชั่วโมงเพื่อให้เกิดสภาวะอิ่มตัว และมีผลึกของเกลือหลงเหลืออยู่ในสารละลาย ให้ปริมาณของเหลวเหนือชั้นของผลึกเกลือหนาประมาณ 2 มิลลิเมตร

2. นำตัวอย่างลำไยอบแห้งมาเก็บในขวดโหล เพื่อให้เกิดการปรับสภาพสมมูลระหว่างตัวอย่างและสารละลายเกลือ เก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิ 20, 30 และ 40 องศาเซลเซียส จนตัวอย่างเข้าสู่สภาวะสมดุลซึ่งค่า a_w จะมีค่าเท่ากับ ความชื้นสัมพัทธ์/100

3. นำตัวอย่างลำไยบดอบแห้งวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น (AOAC, 2000)

4. สร้างกราฟ Moisture Adsorption Isotherm ของตัวอย่างที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่างๆ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเนื้อลำไยแห้งระหว่างการเก็บรักษา

นำเนื้อลำไยแห้งไปเก็บรักษาที่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์แตกต่างกันในระดับที่ทำให้เนื้อลำไยแห้งคงสภาพอยู่ได้ 3 ระดับ เก็บที่อุณหภูมิ 20, 30 และ 40 องศาเซลเซียส สุ่มตัวอย่างทุก ๆ 5 วัน เพื่อวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ เป็นเวลา 1 เดือน วิเคราะห์คุณภาพของตัวอย่างดังนี้

4.2.1 การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

- ค่าสี โดยใช้เครื่องวัดสี Color Quest II Sphere
- ความสามารถในการไหล (flowability) โดยหามุม Slope (Barbosa-Canavas *et al*., 2005)
- ความสามารถในการคืนรูป (rehydration) (Shittu and Lawal, 2007)
- ความสามารถในการละลาย (solubility) (Shittu and Lawal, 2007)
- อุณหภูมิกลาสทรานซิชัน ด้วยเครื่อง Differentail Scanning Calorimeter (DSC) (Noisuwan *et al*., 2008)

4.2.2 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

- ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000)
- ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (a_w)
- ปริมาณของแข็งทั้งหมด (AOAC, 2000)
- กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH scavenging activity) (Ferreiral *et al*., 2009)

4.2.3 การวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์

- จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (AOAC, 2000)
- จำนวนยีสต์และรา (AOAC, 2000)

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลผลการทดลองทางสถิติโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (ไพโรจน์, 2535)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved