บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัตถุดิบ

– แอปเปิล

แอปเปิลที่ใช้ในการทดลอง เป็นแอปเปิลพันธุ์ฟูจิโดยซื้อมาจากตลาดสุเทพ (ต้นพยอม) ตำบลสุเทพ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ คัดเลือกเฉพาะลูกที่มีขนาดเท่ากัน และเก็บแอปเปิลในห้องเย็นอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสก่อนนำมาทดลอง

– น้ำตาลทรายขาว

น้ำตาลทรายขาวมิตรผล โดยซื้อมาจากตลาดสุเทพ (ต้นพยอม) ตำบลสุเทพ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

3.2 สารเคมี

1. กรดแอสคอร์บิค (ascorbic acid) (Union science Co., Ltd)
2. น้ำกลั่น

3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่อง Electro Square Porator (BTX Harvard Apparatus รุ่น ECM 830, Thailand)
2. แผ่นเหล็กสแตนเลสทำหน้าที่เป็นขั้วอิเล็กโทรด
3. ใบมีดคัตเตอร์
4. บีกเกอร์ (Beaker)
5. กระบอกตวง (Graduated Cylinder)
6. ขวดปริมาตรก้นกลม (Round Bottom Flask)
7. ขวดปริมาตรทรงกรวย (Erlenmeyer Flask)
8. แท่งแก้วคนสาร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

9. ช้อนตักสาร
10. ขวดปริมาตรชนิดนี้มีลักษณะเป็นขวดคอยาวที่มีขีดบอกปริมาตรบนคอขวดเพียงขีดเดียว (Volumetric Flask)
11. ชุดอุปกรณ์สุญญากาศ ประกอบด้วย
    - โถดูดความชื้น (Desicstor)
    - ปั๊ม (Super suction unit รุ่น ss-200, Thailand)
    - สายยาง
    - Clamp and ckamp holder
    - Stran and ring
    - Heating circulator water bath
12. ตู้อบลมร้อน (Memmert รุ่น UNE 400, Germany)
13. เครื่องทำแห้งลมร้อนแบบถาด (Tray dryer, Armfield, Model UOP 8, England) พร้อมถาด
14. นาฬิกาจับเวลา
15. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Analytical balance, Santorius รุ่น CP224S, Germany)
16. กระป๋องหาความชื้น (Moisture can)
17. เขียงและมีด
18. ถาด
19. เครื่องวัดความเร็วลมด้วย Anemometer (DIGICON, Model No. DA-42, Japan)
20. ไม้บรรทัด
21. เทอร์โมมิเตอร์
22. โถดูดความชื้น
23. ตู้เย็น 4 องศาเซลเซียส (Sanyo, Thailand)
24. เครื่องวัดค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (a_w) โดยใช้เครื่อง Water activity meter (Aqua Lab TE3, USA)
25. เครื่องวิเคราะห์ค่าสี (Minolta chroma รุ่น CR-400, Japan)
26. เครื่องวัดปริมาณของแข็งทั้งหมด (Hand refractometer, Japan)
27. เครื่องวัดเนื้อสัมผัสอาหาร (Texture Analyzer: TA.XT.plus, England)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

3.4 การเตรียมวัตถุดิบและสารละลายในการทดลอง

3.4.1 การเตรียมชิ้นแอปเปิล

นำแอปเปิลออกจากห้องเย็น ล้างให้สะอาด หั่นแอปเปิลให้ได้ขนาด 2×2×1 เซนติเมตร

3.4.2 การเตรียมสารละลายกรดแอสคอร์บิค

- ชั่งกรดแอสคอร์บิก ละลายด้วยน้ำกลั่นในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร เข้มข้น 1 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

- โดยใช้อัตราส่วนแอปเปิลต่อสารละลาย คือแอปเปิล 10 ชิ้นต่อสารละลายกรดแอสคอร์บิค 500 มิลลิลิตร

3.5 วิธีการทดลอง

การทดลองที่ 1 การศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายกรดแอสคอร์บิคและเวลาในการแช่ต่อการลดการเกิดสีน้ำตาลในแอปเปิลที่ผ่านการเตรียมด้วยสนามไฟฟ้าความเข้มสูงกระตุ้นเป็นจังหวะ

นำชิ้นแอปเปิลที่เตรียมไว้แช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิคร่วมกับเทคนิคการแทรกซึมโดยใช้สุญญากาศ จุดประสงค์เพื่อผลักดันสารละลายกรดแอสคอร์บิคเข้าในช่องว่างเซลล์ของแอปเปิลให้ได้มากที่สุด โดยวางบีกเกอร์ไว้โถดูดความชื้นที่ต่อพ่วงกับปั๊ม ปรับสภาพภายในโถดูดความชื้นให้อยู่ในสภาวะสุญญากาศ (จนความดันภายในโถดูดความชื้นลดลงถึง 60 นิ้วปรอท) เป็นเวลา 5 นาที เพื่อดูดอากาศที่แทรกอยู่ภายในช่องว่างระหว่างเซลล์ของแอปเปิลออก จากนั้นปล่อยสารละลายกรดแอสคอร์บิคจำนวน 250 มิลลิลิตร เข้าบีกเกอร์ที่บรรจุแอปเปิลในโถดูดความชื้นจนสาละลายท่วมชิ้นแอปเปิล และความดันเพิ่มขึ้นแล้วปรับเข้าสู่ความดันบรรยากาศ ทำให้สารละลายกรดแอสคอร์บิคจะเข้าไปแทรกแทนที่อากาศภายในช่องว่างระหว่างเซลล์ หลังจากนั้นซับชิ้นแอปเปิลให้แห้งด้วยกระดาษทิชชู หลังจากนั้นนำแอปเปิลมาผ่านการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้าแบบจังหวะ ที่ความเข้ม 1.0 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร แล้วนำชิ้นแอปเปิลไปแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิคเข้มข้น 1 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 3 4 และ 5 นาที ทำการกวนอย่างสม่ำเสมอ เมื่อครบเวลาที่กำหนด นำตัวอย่างมาผ่านน้ำสะอาดและซับด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กระดาษทิชชูให้แห้ง นำไปวัดค่าสีด้วยระบบ CIE ได้ค่า L* a* และ b* เพื่อคำนวณหาค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาล แสดงเป็นค่า Browning index (BI) (Aquino-Bolanos, 2004) ดังสมการ 3.1 และ 3.2

$$BI = \frac{100 \times (x - 0.31)}{0.17} \quad (3.1)$$

$$x = \frac{(a^* + 1.75L^*)}{(5.645L^* + a^* - 3.012b^*)} \quad (3.2)$$

ทำการวัดค่าสีชิ้นแอปเปิลที่เวลาที่ 0 20 40 และ 60 นาที เพื่อเปรียบเทียบลักษณะการเกิดสีน้ำตาลเมื่อเวลาผ่านไปที่อุณหภูมิห้อง ทำการทดลอง 3 ครั้งโดยแต่ละครั้งทำการตรวจวัดข้อมูล 2 ซ้ำแล้วหาค่าเฉลี่ย เปรียบเทียบกับตัวอย่างแอปเปิลสดและตัวอย่างแอปเปิลที่ผ่านสนามไฟฟ้าความเข้มสูงกระตุ้นเป็นจังหวะ

การทดลองที่ 2 การศึกษาผลของความเข้มข้นสารละลายซูโครส อุณหภูมิ และความเข้มสนามไฟฟ้ากระตุ้นเป็นจังหวะต่อกระบวนการทำแห้งแบบออสโมติกของแอปเปิล

นำชิ้นแอปเปิลที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นจากตอนที่ 1 โดยการแช่แอปเปิลในสารละลายกรดแอสคอร์บิค 2 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ ซับตัวอย่างให้แห้งแล้วนำไปผ่านการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้าแบบจังหวะ (กำหนดให้จำนวน pulse เท่ากับ 10 ในช่วง 100 ไมโครวินาที) ที่ความเข้ม 0.5 0.75 และ 1.0 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร และแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิคที่ความเข้มข้นเดียวกันอีกครั้งเป็นเวลา 3 นาที เมื่อครบตามกำหนดเวลาซับตัวอย่างให้แห้ง หลังจากนั้นนำตัวอย่างไปแช่ในสารละลายซูโครสที่ความเข้มข้น 50 60 และ 70 องศาบริกซ์ โดยวางใน heating circulator water bath ที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง มีการกวนทุกๆ 30 นาที เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด ทำการกำจัดน้ำตาลส่วนเกินโดยการล้างผ่านน้ำกลั่น ปล่อยให้สะเด็ดน้ำ แล้วซับด้วยกระดาษทิชชู สุ่มตัวอย่างไปชั่งน้ำหนักหลังการทำแห้งแบบออสโมติกเพื่อคำนวณหาปริมาณการสูญเสียน้ำ (water loss, WL) และปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (solid gain, SG) ดังสมการ 3.3 และ 3.4 ส่วนตัวอย่างที่เหลือนำไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีดังต่อไปนี้

ก. การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

- วิเคราะห์ค่าสี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

- วิเคราะห์เนื้อสัมผัส

ก. การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี

- วิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (a_w)
- วิเคราะห์หาปริมาณความชื้น (AOAC,2000) ดังสมการ 3.5

ข. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้โปรแกรม SPSS Statistics series 17.0 และคำนวณทางสถิติหาสมการความสัมพันธ์ด้วยโปรแกรมสำเร็จทางสถิติ (Design-Expert series 6.0.2 และ Sigma Plot series 10.0)

การคำนวณหาปริมาณการสูญเสียน้ำ และ ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น

— ปริมาณการสูญเสียน้ำ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)

$$WL = \left[\frac{\left(W_i M_i - W_f M_f\right)}{W_i}\right] \times 100 \qquad (3.3)$$

— ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)

$$SG = \left[\frac{\left(\frac{W_f (100 - M_f)}{100}\right) - \left(\frac{W_i (100 - M_i)}{100}\right)}{W_i}\right] \times 100 \qquad (3.4)$$

เมื่อ W_i คือ น้ำหนักเริ่มต้นของตัวอย่าง (กรัม)

W_f คือ น้ำหนักตัวอย่างที่เวลาใด ๆ (กรัม)

M_i คือ ปริมาณความชื้นเริ่มต้นของตัวอย่าง (กรัมน้ำต่อ 100 กรัมน้ำหนักเริ่มต้น)

M_f คือ ปริมาณความชื้นของตัวอย่างที่เวลาใดๆ (กรัมน้ำต่อ 100 กรัมน้ำหนักเริ่มต้น

— ปริมาณความชื้น (เปอร์เซ็นต์)

$$\text{ปริมาณความชื้น} = \frac{\left(\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}\right)}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}} \times 100 \qquad (3.5)$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หลังจากนำชิ้นแอปเปิลที่ผ่านการทำแห้งแบบออสโมติกมาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมี ประเมินผลการทดลองเพื่อคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งแบบออสโมติกแอปเปิล วิเคราะห์ทางสถิติโดยวางแผนการทดลองแบบ Central Composite Design (CCD), Second order model ทำการทดลองซ้ำที่จุดกึ่งกลาง 3 ซ้ำ ได้ 17 สิ่งทดลอง ดังแสดงในตาราง 3.1

ตาราง 3.1 แผนการทดลองแบบ CCD ชนิด 3 ปัจจัย 17 สิ่งทดลอง

สิ่งทดลองที่	γ_1	γ_2	γ_3	ตัวแปรตอบสนอง		
				สารละลายซูโครส (องศาบริกซ์), X_1	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส), X_2	ความเข้มสนามไฟฟ้า (กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร), X_3
1	-1	-1	-1	50	30	0.5
2	-1	-1	1	50	30	1.0
3	-1	1	-1	50	50	0.5
4	-1	1	1	50	50	1.0
5	1	-1	-1	70	30	0.5
6	1	-1	1	70	30	1.0
7	1	1	-1	70	50	0.5
8	1	1	1	70	50	1.0
9	0	0	0	60	40	0.75
10	0	0	0	60	40	0.75
11	0	0	0	60	40	0.75
12	-1.682	0	0	43.18	40	0.75
13	1.682	0	0	76.82	40	0.75
14	0	-1.682	0	60	23.18	0.75
15	0	1.682	0	60	56.82	0.75
16	0	0	-1.682	60	40	0.33
17	0	0	1.682	60	40	1.17

โดยความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเดิม (Natural variables) กับตัวแปรเข้ารหัส (Coded variables) คือ

$$\text{ตัวแปรเข้ารหัส} = \frac{\text{ตัวแปรเดิม} - \frac{\text{ระดับสูง} + \text{ระดับต่ำ}}{2}}{\frac{\text{ระดับสูง} - \text{ระดับต่ำ}}{2}}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อ γ_1 คือ ตัวแปรเข้ารหัสของความเข้มข้นของสารละลายซูโครส (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)

γ_2 คือ ตัวแปรเข้ารหัสของอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)

γ_3 คือ ตัวแปรเข้ารหัสของความเข้มสนามไฟฟ้ากระตุ้นเป็นจังหวะ (กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร)

ได้สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายซูโครส อุณหภูมิ และความเข้มสนามไฟฟ้า ดังสมการต่อไปนี้

$$\hat{y}_{Yield} = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{33} X_3^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3$$

เมื่อ $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \ldots, \beta_{23}$ คือ ค่าคงที่

X_1 คือ ความเข้มข้นของสารละลายซูโครส (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)

X_2 คือ อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)

X_3 คือ ความเข้มสนามไฟฟ้ากระตุ้นเป็นจังหวะ (กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร)

การทดลองที่ 3 การศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการทำแห้งแอปเปิลด้วยเครื่องทำแห้งลมร้อนแบบถาด

นำแอปเปิลสด แอปเปิลที่ผ่านการทำแห้งแบบออสโมติก และแอปเปิลที่ผ่านการเตรียมขั้น (แช่แอปเปิลในสารละลายกรดแอสคอร์บิคเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักร่วมกับ VI และ PEF และแช่ที่ความดันปกติเป็นเวลา 3 นาที แล้วนำมาทำแห้งแบบออสโมติกในสารละลายซูโครสความเข้มข้น 70 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และความเข้มสนามไฟฟ้า 0.5 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร) หลังจากนั้นนำมาทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งลมร้อนแบบถาด ที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส และความเร็วลมเท่ากับ 1.0 เมตรต่อวินาที ซึ่งการทำแห้งแต่ละครั้งใช้ชิ้นแอปเปิลจำนวน 20 ชิ้นต่อครั้ง เรียงแอปเปิลบนถาดให้มีระยะห่างเท่ากันเพื่อให้แอปเปิลทุกชิ้นสัมผัสลมร้อนได้ทั่วถึง และวางที่ตำแหน่งเดิมทุกครั้งของการทดลอง สุ่มตัวอย่างเพื่อชั่งน้ำหนักทุก 5 นาทีใน 1 ชั่วโมงแรก ทุกๆ 10 นาทีในชั่วโมงที่ 2 ทุกๆ 15 นาทีในชั่วโมงที่ 3 ทุกๆ 30 นาทีในชั่วโมงที่ 4 และหลังจากนั้นทุกๆ 1 ชั่วโมงจนกระทั่งน้ำหนักคงที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อทำแห้งจนน้ำหนักตัวอย่างคงที่ นำตัวอย่างที่ได้มาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมี และคำนวณหาค่าอัตราส่วนความชื้น และอัตราการทำแห้ง ดังสมการ 3.6 และ 3.7

ก. การวิเคราะห์สมบัติทางการภาพ

- วิเคราะห์ค่าสี

ข. การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี

- วิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC,2000)
- วิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (a_w)

การคำนวณหาอัตราส่วนความชื้น และอัตราการทำแห้ง

– อัตราส่วนความชื้น (moisture ratio, MR)

$$MR = \frac{\left(M_t - M_e\right)}{\left(M_i - M_e\right)} \tag{3.6}$$

เมื่อ MR คือ อัตราส่วนความชื้น

M_i คือ ความชื้นที่เวลาเริ่มต้น

M_t คือ ความชื้นในเวลาใดๆ

M_e คือ ความชื้นสมดุล

– อัตราการทำแห้ง (drying rate, R)

$$R = -\frac{1}{A}\frac{dm}{dt} \tag{3.7}$$

เมื่อ R คือ อัตราการทำแห้ง (กรัมต่อตารางเซนติเมตรต่อนาที)

A คือ พื้นที่ที่เกิดการระเหย (ตารางเซนติเมตร)

$\frac{dm}{dt}$ คือ มวลของน้ำที่ระเหยต่อหนึ่งหน่วยเวลา (กรัมต่อนาที)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved