บทที่ 3

วิธีการทดลอง

3.1 วัสดุและอุปกรณ์

3.1.1 วัสดุเกษตร

ส้มเขียวหวานพันธุ์สายน้ำผึ้ง จากสวนส้มซันวาเล่ย์ อำเภอฝาง จ.เชียงใหม่ โดยคัดเลือกผลส้มขนาดเบอร์ 5 เกรดเอ (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 ซม. และน้ำหนักผลเฉลี่ย 11.72 กรัม)

3.1.2 ภาชนะบรรจุ

(1) ภาชนะบรรจุชนิดกล่องแบบสวม ภาพ 3.1 (ก) บรรจุส้มจำนวน 84 ผล น้ำหนัก 11 กิโลกรัม

(2) ภาชนะบรรจุชนิดกล่องแบบเปิด-ปิด ภาพ 3.1 (ข) บรรจุส้มจำนวน 84 ผล น้ำหนัก 11 กิโลกรัม

(3) ตะกร้าพลาสติก ภาพ 3.1 (ค) บรรจุส้มจำนวน 220 ผล น้ำหนัก 25 กิโลกรัม

3.1.3 อุปกรณ์วิทยาศาสตร์

(1) เครื่องวัดความเป็นกรดด่าง (pH meter, รุ่น HI 221, Hanna, Japan)

(2) เครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (pocket refractometer, รุ่น pal-1, Atago, Japan) อ่านค่าได้ตั้งแต่ 0-53 องศาบริกซ์ (^{o}Brix)

(3) เครื่องวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และความเข้มแสง (data logger รุ่น H8 , HOBO, USA)

(4) เครื่องชั่งละเอียดแบบทศนิยม 2 ตำแหน่ง (รุ่น BA 3100P, Sartorius, Germany) และแบบทศนิยม 4 ตำแหน่ง (รุ่น AB 204-S, Mettler Toledo, Switzerland)

(5) เครื่องคั้นน้ำผลไม้

(6) เครื่องวัดสี (Minolta color reader, รุ่น CR-10, Japan) ค่าที่วัดได้แสดงเป็นค่า L*, a*, b*, C* และ h^{o} ซึ่งจะสามารถเทียบเป็นสีที่ได้ตามแผนเทียบสี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รูปที่ 3.1 (ก) ภาชนะบรรจุชนิดกล่องแบบสวม

รูปที่ 3.1 (ข) ภาชนะบรรจุชนิดกล่องแบบเปิด-ปิด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รูปที่ 3.1 (ค) ภาชนะบรรจุชนิดตะกร้าพลาสติก

โดยค่า L* = The lightness factor (value)

a* ,b* = The chromaticity coordinates (hue)

C* = chroma

h^{o} = hue angle

เมื่อ L* มีค่าเข้าใกล้ 0 หมายถึง วัตถุมีสีคล้ำ หากเข้าใกล้ 100 หมายถึงวัตถุมีสีสว่าง

a* มีค่าเป็นบวก หมายถึง วัตถุมีสีแดง หากเป็นลบ หมายถึง วัตถุมีสีเขียว

b* มีค่าเป็นบวก หมายถึง วัตถุมีสีเหลือง หากเป็นลบ หมายถึง วัตถุมีสีน้ำเงิน

ทั้ง a* และ b* มีค่าอยู่ในช่วง -60 ถึง +60 หากมีค่าเป็น 0 หมายถึง วัตถุมีสีเทา

C* มีค่าเข้าใกล้ 0 หมายถึง วัตถุมีสีซีดจาง หากมีค่าเข้าใกล้ 60 หมายถึง วัตถุมีสีเข้ม

h^{o} มีค่าเข้าใกล้มุม 90 องศา สีของวัตถุจะอยู่ในกลุ่มสีเหลือง (+b) หากมีค่าเข้าใกล้ 180 องศา สีของวัตถุจะอยู่ในกลุ่มสีเขียว (-a)

(7) กล้องถ่ายรูป Casio รุ่น EX-M1 ประเทศญี่ปุ่น

(8) กระดาษกรอง Whatman No.1

(9) เครื่องแก้ว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

- บีกเกอร์
- ขวดแก้วรูปชมพู่
- ขวดปรับปริมาตร
- บิวเรต
- ปิเปต ขนาด 1, 2 และ 5 มิลลิลิตร
- กระบอกตวง
- แท่งแก้วคนสารละลาย
- ช้อนตักสารเคมี
- กรวยกรอง

3.1.4 สารเคมีและวิธีการเตรียมสาร

(1) สารเคมีสำหรับการหาปริมาณวิตามินซี

- สารละลาย HPO_3 (3%) + กรดอะซิติก (8%) (pH ~ 1.3 – 1.5)

ชั่งเกล็ด HPO_3 30 กรัม ละลายในกรดอะซิติก 80 ml. และน้ำกลั่น 400 ml. ปรับปริมาตรให้ครบ 1 ลิตร (เก็บใส่ขวดไว้ในตู้เย็นได้ประมาณ 7 วัน) อาจใช้กรดออกซาลิกแทนเมตาฟอสฟอริก

- สารละลายกรดแอสคอบิกมาตรฐาน (1mg/ml)

ละลาย L- ascorbic acid 0.0500 กรัม ในสารละลาย HPO_3 –HOAc จำนวน 45 ml. ปรับปริมาตรให้ครบ 50 ml. ด้วยสารละลายกรดดังกล่าว เก็บใส่ขวดสีชาไว้ในตู้เย็น และควรเตรียมทันทีก่อนใช้

- สารละลาย Indophenol

ชั่ง 0.0500 กรัม ของเกลือโซเดียมของ 2,6-dichlorophenol-indophenol ละลายในน้ำกลั่นประมาณ 100 ml. ที่มี $NaHCO_3$ 0.0420 กรัมละลายอยู่ ปรับปริมาตรให้ครบ 200 ml. ด้วยน้ำกลั่น กรองผ่านกระดาษกรองบรรจุในขวดสีชา เก็บไว้ในตู้เย็นจนกว่าจะนำมาใช้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

(2) สารเคมีสำหรับการหาปริมาณกรดที่ไทเทรตได้

- สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide , Merck) เตรียมความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล โดยชั่ง โซเดียมไฮดรอกไซด์ 4.0 กรัม ละลายในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 1,000 มิลลิลิตร

3.1.5 สถานที่ทำการทดลอง

1. ห้องปฏิบัติการของสถานวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
2. สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ
3. สวนส้มซันวาเล่ย์ อ. ไชยปราการ จ. เชียงใหม่

3.2 วิธีการวิจัย

การทดลองเป็นแบบ factorial design โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ (การเดินทางของรถ 1 เที่ยว คือ 1 ซ้ำ) ส้มเขียวหวานพันธุ์สายน้ำผึ้ง จากสวนส้มซันวาเล่ย์ อำเภอฝาง จ.เชียงใหม่ จำนวน 1 สวน ผ่านการเคลือบผิวและคัดเกรดที่โรงคัดบรรจุ ใช้ส้มเบอร์ 5 บรรจุลงกล่อง ๆ ละ 11 กิโลกรัม ส่วนตะกร้าบรรจุ 25 กิโลกรัม ใช้รถบรรทุก 10 ล้อ ขนาดบรรทุก 16 ตัน ในการขนส่ง โดยไม่มีผลิตผลเกษตรอื่น ๆ มาปะปนด้วย ส่วนการวางตำแหน่งของภาชนะในรถบรรทุก จะวางตะกร้าพลาสติกไว้ด้านล่างแล้วเอาไม้กระดานกั้นแบ่งครึ่ง จากนั้นวางภาชนะบรรจุแบบกล่องไว้ด้านบน ใส่ data logger ในภาชนะบรรจุเพื่อทำการบันทึกค่าความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิ ขณะอยู่บนรถบรรทุก การวางภาชนะบรรจุวาง 3 ตำแหน่ง คือ ด้านหน้า ตรงกลาง และท้ายของรถบรรทุก ขนส่งจากอำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ไปยังตลาดกลางค้าส่งสี่แยกมหานาค กรุงเทพมหานคร ระยะทาง 850 กิโลเมตร เวลาที่ใช้เดินทางทั้งหมด 12 ชั่วโมง ทำการบันทึกผลและวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของผลส้ม ทำการทดลองครั้งแรกวันที่ 25 พฤศจิกายน 2548 (ส้มผ่านการเก็บเกี่ยว 1 คืน) ครั้งที่สอง วันที่ 8 ธันวาคม 2548 (ส้มผ่านการเก็บเกี่ยว 1 วัน 1 คืน) และครั้งที่สามวันที่ 23 ธันวาคม 2548 (ส้มผ่านการเก็บเกี่ยว 1 คืน)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

3.3 การวิเคราะห์คุณภาพ

3.3.1 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ

(1) การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกด้านนอกของส้มเขียวหวานพันธุ์สายน้ำผึ้ง เครื่องวัดสี (Minolta color reader, รุ่น CR-10, Japan) วัดค่าสี 3 จุดต่อผล (บน

กลาง ล่าง) ใช้ส้มจำนวน 3 ผล ต่อ 1 สิ่งทดลอง ค่าที่วัดได้แสดงเป็นค่า L*, a* ,b*, C* และ h^{o}

(2) เปอร์เซ็นต์ส้มที่ไม่สามารถขายได้ (Unmarketable Fruit Percentage)

ตรวจสอบความผิดปกติที่เกิดขึ้นของส้มหลังผ่านการขนส่ง โดยตรวจดูความเสียหาย

ทางกล การเน่าเสีย

(3) เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด (Weight Loss Percentage)

การสูญเสียน้ำหนัก ทำโดยชั่งน้ำหนักเริ่มต้นก่อนการขนส่งทั้งภาชนะบรรจุแบบกล่อง และตะกร้าพลาสติก และหลังการขนส่งแล้วคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์จากสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก} = \frac{(\text{น้ำหนักเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักสุดท้าย}) \times 100}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น}}$$

3.3.2 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมี

(1) การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total Soluble Solid, TSS)

เครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (digital refractometer) (รุ่น paz-1, Atago, Japan) อ่านค่าได้ตั้งแต่ 0-53 องศาบริกซ์ (^{o}Brix) โดยใช้น้ำส้มมาหยดลงบนตำแหน่งที่ใช้วัดของเครื่องมือ

(2) การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (Titratable Acidity; TA)

นำผลส้มมาคั้นน้ำโดยเครื่องคั้นน้ำส้ม นำของเหลวที่ได้ 10 มิลลิลิตร เทใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด หยดสารละลาย phenolphthalein 0.1 % ลงไป 2-3 หยด เพื่อเป็นอินดิเคเตอร์ไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.1 normal จนถึงจุดยุติ วัดปริมาณสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้แล้วนำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์กรดจากสูตร

$$\%\ TA = \frac{\text{ความเข้มข้นของ NaOH (0.1 N)} * \text{ปริมาตรของ NaOH ที่ใช้ (มล.)} * 0.064 * 100}{\text{ปริมาตรน้ำคั้น (มล.)}}$$

หมายเหตุ milliequivalent of citric acid (anhydrous) = 0.064

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

(3) การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

นำน้ำคั้นของผลส้มที่ได้มาวัดหาค่า pH ด้วยเครื่อง pH meter (รุ่น HI 221, Hanna, Japan)

(4) ปริมาณวิตามินซี (Ascorbic Acid)

วิเคราะห์ตัวอย่างตามวิธี A.O.A.C (2000) โดยนำน้ำส้มคั้นที่ได้มา 10 มิลลิลิตร เติมกรดออกซาลิกความเข้มข้น 0.4 % ให้ได้ปริมาตรของเหลวเท่ากับ 100 มิลลิลิตร กรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 นำของเหลวที่กรองได้มา 10 มิลลิลิตร แล้วเติมกรดออกซาลิกให้ครบ 50 มิลลิลิตร แล้วจึงนำไปไทเทรตกับ 2,6 ไดคลอโรฟีนอล อินโดฟีนอล ความเข้มข้น 0.04 % จนถึงจุดยุติ ซึ่งทำให้สารละลายมีสีชมพู ประมาณ 15 วินาที แล้วคำนวณตามสูตร

$$\text{ปริมาณวิตามินซี} = \frac{a*0.001*100*1000}{b*c}$$

เมื่อ a = ปริมาตร 2,6 ไดคลอโรฟีนอล อินโดฟีนอลที่ใช้ในการไทเทรตกับสารตัวอย่าง

b = ปริมาตร 2,6 ไดคลอโรฟีนอล อินโดฟีนอลที่ใช้ในการไทเทรตกับวิตามินซีมาตรฐาน

c = ปริมาตรสารตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

3.4 การพยากรณ์คุณภาพของส้มสายน้ำผึ้งหลังการขนส่งทางรถบรรทุกโดยใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

ได้เลือกใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบ Multilayer-Layered Feedforward Neural Network ซึ่งเป็นการเรียนรู้โดยใช้วิธี backpropagation algorithm ซึ่งเป็นโครงข่ายประสาทเทียมแบบมีผู้สอน (Superviced Learning) นำมาพยากรณ์ค่าคุณภาพของส้มสายน้ำผึ้งหลังการขนส่งทางรถบรรทุก จำนวน 11 ค่า โดยแต่ละค่าคุณภาพทำการสร้างโครงข่ายประสาทเทียมจำนวน 5 โครงข่าย โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) ประกอบไปด้วย 3 ส่วน หรือ 3 layers ได้แก่ ชั้นของ input units ที่ถูกเชื่อมต่อกับชั้นของ hidden units ซึ่งเชื่อมต่อกับชั้นของ output units แต่ละแบบจำลองมี input ที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับแบบจำลองนั้นๆ และทุกแบบจำลองใช้ hidden layer จำนวน 2 neurons (ได้มีการทดลองเปลี่ยน hidden layer ที่มากกว่า 2 neurons หรือน้อยกว่า 2 neurons แต่พบว่า 2 neurons ได้ค่าความผิดพลาดที่ต่ำที่สุด) โดยข้อมูลทั้งหมด 27 ชุด จัดเตรียมกระบวนการเรียนรู้ (training set) จากข้อมูลทั้งหมด 22 ชุดที่มีอยู่ เพื่อใช้ในการสอนโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network or ANN) โดยทำการเลือก inputs และ outputs พร้อมทั้ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

จัดเตรียมและกระบวนการทดสอบ (testing set) 5 ชุดเพื่อใช้ทดสอบผลงานของ ANN หลังจากเสร็จสิ้นการสอน โดยแต่ละแบบจำลองนั้นมีการเรียนรู้ (trained) จนกระทั่ง RMS error ลดลงและเพิ่มขึ้นจนเป็น 0.01 หรือ number of iteration มากกว่า 1,000,000 เมื่อกระบวนการเรียนรู้หยุดลง จึงนำมาทดสอบความถูกต้อง ทำการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลองจริงและค่าที่ได้จากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อเลือกแบบจำลองที่ดีที่สุด โดยใช้ค่า R^2 ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด (Absolute Percentage Error, APE) ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด (Mean Absolute Percentage Error, MAPE) ค่าความผิดพลาด (Absolute Error) และค่าเฉลี่ยของความผิดพลาด (Average Absolute Error) มีสมการดังนี้

$$APE = \left(|t_i - y_i| / t_i\right) * 100$$

$$MAPE = (1/N_T) \sum APE$$

$$Absolute\ \ Error = |t_i - y_i|$$

$$Average\ \ Absolute\ \ Error = |t_i - y_i| / N_T$$

เมื่อ t_i คือ ค่าที่ได้จากการทดลองจริง

Y_i คือ ค่าที่ได้จากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

N_T คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

ทำการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของโครงข่ายประสาทเทียมแต่ละแบบจำลองโดยวิธี LSD (Least-Significant Difference)

โปรแกรมโครงข่ายประสาทเทียมในการทดลอง คือโปรแกรม Qnet v2000 package โดย Vesta Services

และทำการเปรียบเทียบกับการพยากรณ์ด้วยการวิเคราะห์รีเกรสชันเส้นตรงแบบหลายตัวแปร (Multiple Linear Regression) โดยใช้การเปรียบเทียบสถิติแบบ t-test

3.5 การวิเคราะห์ผลด้านคุณภาพของส้มสายน้ำผึ้งโดยวิธีทางสถิติ

การวิเคราะห์ผลทางสถิติของแผนการทดลองโดยใช้ 3^2 factorial และทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ (เที่ยวของการขนส่ง) ในทุกคุณภาพได้ใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ RCBD (Randomized Complete Block Design) และทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี CRD (Completely Randomized Design) ส่วนสมการทำนายคุณภาพส้มใช้วิธีการวิเคราะห์รีเกรสชันเส้นตรงแบบหลายตัวแปร (Multiple Linear Regression)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved