บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

3.1 วัสดุพันธุ์พืช

ผักกาดหอมห่อ *(Lactuca sativa)* ที่เก็บเกี่ยวจากสถานีวิจัยโครงการหลวงทุ่งหลวงและศูนย์พัฒนาโครงการหลวง ในระยะความแก่ทางการค้า ขนส่งมาที่งานคัดบรรจุเชียงใหม่ ศูนย์ผลิตผลโครงการหลวงด้วยรถบรรทุกธรรมดา

3.2 อุปกรณ์

3.2.1 เครื่องลดอุณหภูมิผัก Hydro vacuum cooling ยี่ห้อ Hussmann ประเทศจีน

3.2.2 เครื่องวัดความชื้น Datalogger testo รุ่น175-H2 Vol. 10 ประเทศเยอรมันนี

3.2.3 เครื่องชั่งละเอียดแบบทศนิยม 2 ตำแหน่ง รุ่น EK-600H (บริษัท Sartorius) ชั่งน้ำหนักได้สูงสุด 600 กรัม และแบบทศนิยม 4 ตำแหน่ง รุ่น HR-200 (บริษัท AND, ประเทศญี่ปุ่น) ชั่งน้ำหนักได้สูงสุด 210 กรัม

3.2.4 เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส Texture Analyzer (Instorn) รุ่น 5565 มีความจุสูงสุด 5 กิโลนิวตัน ประเทศอังกฤษ

3.2.5 เครื่องวัดอุณหภูมิภายในผักและผลไม้ รุ่น PDT 550 Digital Thermometer บริษัท Tequipment.NET ประเทศสหรัฐอเมริกา วัดอุณหภูมิได้ -50 ถึง 300 องศาเซลเซียส

3.2.6 เครื่องวัดสี (Chroma meter) ตัวเครื่องรุ่น CR-300 หัววัด CR-310 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร (บริษัท Minolta, ประเทศญี่ปุ่น) ซึ่งวัดสีออกมาเป็นค่า L*, a* และ b* โดยมีรายละเอียดดังนี้ คือ

L* = The lightness factor (value)

ค่า L* แสดงค่าความสว่าง

- วัตถุมีสีขาวเมื่อมีค่าเท่ากับ 100
- วัตถุมีสีดำเมื่อมีค่าเท่ากับ 0

a*, b* = The Chromaticity coordinates (Hue, Chroma)

ค่า a*

- มีค่าบวก หมายถึง วัตถุมีสีแดง
- มีค่าลบ หมายถึง วัตถุมีสีเขียว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ค่า b*

- มีค่าบวก หมายถึง วัตถุมีสีเหลือง
- มีค่าลบ หมายถึง วัตถุมีสีน้ำเงิน

ทั้ง a* และ b* หากมีค่าเป็นศูนย์ หมายถึง วัตถุมีสีเทา

Chroma

- มีค่าเข้าใกล้ 0 หมายถึง วัตถุมีสีซีดจาง (เทา)
- มีค่าเข้าใกล้ 60 หมายถึง วัตถุมีสีเข้ม

คำนวณหาค่า Chroma และ Hue angle จากสมการ ดังนี้

Chroma = $(a^{*2}+b^{*2})^{1/2}$

Hue angle = arctangent (b*/a*) เมื่อ $a^* > 0$ และ $b^* \geq 0$

= arctangent (b*/a*) + 180° เมื่อ $a^* < 0$

= arctangent (b*/a*) + 360° เมื่อ $a^* > 0$ และ $b^* < 0$

โดยที่ ค่า Chroma

- มีค่าเข้าใกล้ 0 หมายถึง วัตถุมีสีซีดจาง (เทา)
- มีค่าเข้าใกล้ 60 หมายถึง วัตถุมีสีเข้ม

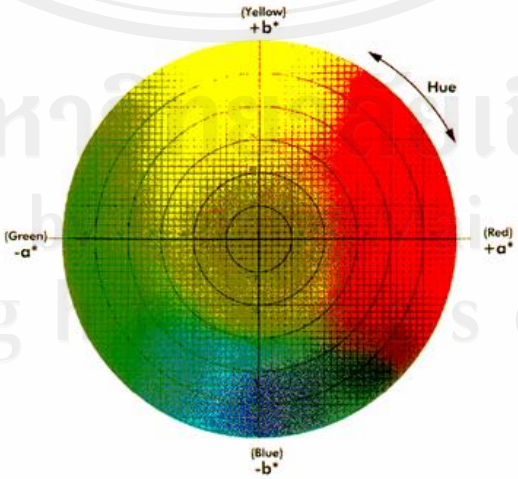
ค่า Hue angle แสดงช่วงสีของวัตถุมีค่าอยู่ระหว่าง 0-360 องศา คือ

0-45 องศา แสดงสีม่วงแดงถึงสีส้มแดง 180-225 องศา แสดงสีเขียวถึงสีน้ำเงิน

45-90 องศา แสดงสีส้มแดงถึงสีเหลือง 225-270 องศา แสดงสีน้ำเงินเขียวถึงน้ำเงิน

90-135 องศา แสดงสีเหลืองถึงเหลืองเขียว 270-315 องศา แสดงสีน้ำเงินถึงม่วง

135-180 องศา แสดงสีเหลืองเขียวถึงเขียว 315-360 องศา แสดงสีม่วงถึงม่วงแดง



ภาพที่ 3.1 แผนภาพของสีที่แสดงค่าเป็นค่า L*, Chroma และ Hue angle

ที่มา: http//www.saleecolour.com/science.php.[online], 23 มิถุนายน 2551

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.2.7 กล้องถ่ายรูป Sony รุ่น T10

3.2.8 ตะกร้าพลาสติก

3.2.9 ตู้เย็นและชั้นวางผักและผลไม้ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้

3.3 สถานที่ทำการวิจัย

- งานคัดบรรจุเชียงใหม่ ศูนย์ผลิตผลโครงการหลวง
- ห้องปฏิบัติการกลาง คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

3.4 วิธีการศึกษา

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการลดอุณหภูมิเฉียบพลันของผักกาดหอมห่อโดยใช้ระบบการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศและสุญญากาศร่วมกับน้ำ ประกอบไปด้วยการทดลอง 3 การทดลอง โดยมีระเบียบวิจัยดังนี้

การทดลองที่ 1: ศึกษากระบวนการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศของผักกาดหอมห่อโดยใช้ระบบการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศและสุญญากาศร่วมกับน้ำ

โดยมีการแบ่งเป็นการทดลองลองย่อย 3 การทดลอง ดังนี้

การทดลองย่อยที่ 1.1: ศึกษาสภาวะการทำงานที่เหมาะสมในการลดอุณหภูมิเฉียบพลันของผักกาดหอมห่อที่บรรจุในตะกร้าพลาสติกโดยใช้ระบบสุญญากาศ

นำผักกาดหอมห่อที่ผ่านการตัดแต่งแล้วบรรจุลงในตะกร้าพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนแบบโปร่ง ขนาด กว้าง 35.56 เซนติเมตร ยาว 55.88 เซนติเมตร สูง 29.21 เซนติเมตร มีปริมาณในการบรรจุ 5 กิโลกรัมต่อ 1 ตะกร้า แล้วนำไปจัดเรียงให้เต็มตู้ลดความดัน โดยใช้ปริมาณผักกาดหอมห่อทั้งหมด 60 ตะกร้าแล้วจึงทำการลดอุณหภูมิผักกาดหอมห่อให้มีอุณหภูมิสุดท้าย 4±2 องศาเซลเซียส โดยกำหนดพารามิเตอร์สำหรับการทำงานของเครื่องในกระบวนการลดอุณหภูมิของผักกาดหอมห่อ ดังนี้

- กำหนดค่าความดันสุดท้ายภายในห้องลดอุณหภูมิ (holding pressure) 3 ระดับ คือ 6.0, 6.5 และ 7.0 มิลลิบาร์
- กำหนดเวลาที่ผักอยู่ในห้องลดอุณหภูมิหลังจากความดันภายในห้องลดลงถึงระดับที่กำหนด (holding time) 3 ระดับ คือ 12.0, 15.0 และ 20.0 นาที

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในระหว่างกระบวนการลดอุณหภูมิทำการบันทึกข้อมูลต่าง ๆ จนสิ้นสุดกระบวนการดังต่อไปนี้

1. เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก (weight loss percentage)
2. เวลาในการทำให้เย็น (cooling time)
3. อุณหภูมิใจกลางผักตลอดกระบวนการลดอุณหภูมิเพื่อนำไปคำนวณตัวแปรแสดงประสิทธิภาพของการลดอุณหภูมิ (cooling parameters)
4. ความสัมพันธ์ระหว่างความดัน อุณหภูมิและเวลา
5. ความชื้นสัมพันธ์ของอากาศในห้องลดอุณหภูมิจนสิ้นสุดกระบวนการ
6. พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการลดอุณหภูมิ

การทดลองย่อยที่ 1.2: ศึกษาสภาวะการทำงานที่เหมาะสมในการลดอุณหภูมิเฉียบพลันของผักกาดหอมห่อที่บรรจุในตะกร้าพลาสติก โดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ (hydro – vacuum cooling)

ทำการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองย่อยที่ 1.1 และเพิ่มการกำหนดเวลาในการพ่นละอองน้ำภายในตู้ลดความดันที่ 5 นาที และ 10 นาที

การทดลองย่อยที่ 1.3: ศึกษาสภาวะการทำงานที่เหมาะสมในการลดอุณหภูมิเฉียบพลันผักกาดหอมห่อที่บรรจุในถุงพลาสติกโดยใช้ระบบสุญญากาศ

นำผักกาดหอมห่อที่ผ่านการตัดแต่งแล้วบรรจุลงในถุงพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนเจาะรู 18 รู ขนาดกว้าง 25.40 เซนติเมตร ยาว 40.64 เซนติเมตร มีปริมาณในการบรรจุ 0.4 กิโลกรัมต่อ 1 ถุง แล้วนำไปจัดเรียงลงในตะกร้าพลาสติกปริมาณ 5 กิโลกรัม ต่อ 1 ตะกร้า หลังจากนั้นนำตะกร้าไปจัดเรียงให้เต็มตู้ลดความดันโดยใช้ปริมาณผักกาดหอมห่อทั้งหมด 60 ตะกร้าแล้วจึงทำการลดอุณหภูมิผักกาดหอมห่อให้มีอุณหภูมิสุดท้าย 4±2 องศาเซลเซียส โดยกำหนดพารามิเตอร์สำหรับการทำงานของเครื่องในกระบวนการลดอุณหภูมิของผักกาดหอมห่อเช่นเดียวกับการทดลองย่อยที่ 1.1

จากนั้น เมื่อได้สภาวะที่เหมาะสมจากการทดลองย่อยที่ 1.1, 1.2 และ 1.3 แล้วนำมาตรวจสอบคุณภาพและ อายุการเก็บรักษาของผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิเฉียบพลันภายใต้ระบบสุญญากาศและสุญญากาศร่วมกับน้ำ และทำการเปรียบเทียบกับผักกาดหอมห่อที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ (ชุดควบคุม) โดยมี 4 กรรมวิธี ดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กรรมวิธีที่ 1: ชุดควบคุม (ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ)

กรรมวิธีที่ 2: ผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยบรรจุในถุงพลาสติก

กรรมวิธีที่ 3: ผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยบรรจุในตะกร้าพลาสติก

กรรมวิธีที่ 4: ผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิร่วมกับน้ำโดยบรรจุในตะกร้าพลาสติก

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ แต่ละซ้ำประกอบไปด้วยผักกาดหอมห่อ 1-2 หัว หลังจากนั้นนำผักกาดหอมห่อทั้งหมดไปเก็บรักษา ใน 2 สภาวะ ดังนี้

การทดลองที่ 2: ศึกษาคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิเฉียบพลันโดยใช้ระบบสุญญากาศที่เก็บรักษาในห้องเย็น

นำผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิจากการทดลองย่อยที่ 1.1, 1.2 และ 1.3 มาเก็บรักษาในห้องเย็นอุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส โดยทำการจำลองการเก็บรักษาในห้องเย็นของศูนย์คัดบรรจุดอยคำ มูลนิธิโครงการหลวงเชียงใหม่ และประเมินคุณภาพทุกวันดังต่อไปนี้

2.1 การประเมินคุณภาพ

2.1.1 วัดอุณหภูมิใจกลาง

วัดโดยใช้เครื่องวัดอุณหภูมิภายในผักและผลไม้ รุ่นPDT 550 Digital Thermometer บริษัท Tequipment.NET ประเทศสหรัฐอเมริกา วัดอุณหภูมิได้ -50 ถึง 300 องศาเซลเซียส แทงตรงใจกลางผักกาดหอมห่อโดยให้มีความลึกประมาณ 6-7 เซนติเมตร

2.1.2 การสูญเสียน้ำหนักสด

วัดโดยใช้เครื่องชั่งละเอียดแบบทศนิยม 2 ตำแหน่ง รุ่น EK-600H (บริษัท Sartorius) แล้วนำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักจากสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก} = \frac{\{\text{น้ำหนักก่อนการเก็บรักษา} - \text{น้ำหนักหลังเก็บรักษา}\}}{\text{น้ำหนักก่อนการเก็บรักษา}} \times 100$$

2.1.3 วัดค่าการเปลี่ยนแปลงสี (L^*, c^*, h^0)

วัดโดยใช้เครื่อง Chromameter รุ่น CR-300 โดยวัดบริเวณกึ่งกลางของผักกาดหอมห่อ ค่าที่ได้แสดงเป็นค่า L*, a*, b* แล้วนำมาคำนวณหาค่า Chroma และ Hue angle จากสมการดังนี้ (McGuire, 1992)

$$\text{Chroma} = (a^* + b^*)^{1/2}$$

$$\text{Hue angle} = \arctan(b^*/a^*)$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.1.4 การเปลี่ยนแปลงความแน่นของหัว

วัดการเปลี่ยนแปลงความแน่นของหัวโดยใช้เครื่อง Texture Analyzer (Instorn) รุ่น 5565 มีความจุสูงสุด 5 กิโลนิวตัน ประเทศอังกฤษ โดยใช้หัวเจาะที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 0.6 มิลลิเมตร และกำหนดให้หัวเจาะสามารถเจาะผักกาดหอมห่อลงไปลึกที่สุดเท่ากับ 50 มิลลิเมตร โดยทำการสุ่มผักกาดหอมห่อมากรรมวิธีละ 1-2 หัว และสุ่มเจาะด้านใดด้านหนึ่งของหัวผักกาดหอมห่อ เมื่อแรงที่หัวเจาะกระทำกับผักกาดหอมห่อจนถึงจุดสูงสุดของกราฟ (yield point) จึงทำการบันทึกค่าสูงสุดที่หัวเจาะสามารถเจาะได้

2.2 การประเมินคุณภาพทางกายภาพ

2.2.1 อายุการวางจำหน่าย

กำหนดให้ผักกาดหอมห่อหมดอายุเมื่อใบของผักกาดหอมห่อเป็นสีน้ำตาล (browning) ที่ขอบใบ, กลางใบ และเกิดจุดทั่วบริเวณใบมากกว่า 50%

2.2.2 ลักษณะปรากฏภายนอกและการเกิดโรค

โดยแบ่งผักกาดหอมห่อออกเป็น 10 ซ้ำ สังเกตการเหี่ยวของใบ การเกิดการไหม้ของขอบใบ ใบมีสีน้ำตาลและมีจุดสีดำทั่วบริเวณใบโดยใช้สายตา

2.2.3 เปอร์เซ็นต์ความเสียหาย

การทดลองที่ 3: ศึกษาคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิเฉียบพลันโดยใช้ระบบสุญญากาศที่เก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่าย

นำผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิจากการทดลองย่อยที่ 1.1, 1.2 และ 1.3 มาเก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่ายอุณหภูมิ 8±2 องศาเซลเซียสโดยทำการจำลองการวางขายในร้านจำหน่ายผลิตผลของมูลนิธิโครงการหลวงเชียงใหม่ แล้วทำการประเมินคุณภาพทุกวันเช่นเดียวกับการทดลองที่ 2

จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองที่ 2 และ 3 มาวิเคราะห์เปรียบเทียบทางสถิติโดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) จากนั้นนำผลการวิเคราะห์ทางกายภาพและทางสรีรวิทยาในระหว่างการเก็บรักษาหาค่าเฉลี่ยและทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน เมื่อพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ได้ทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Least Significant Difference (LSD)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การทดลองที่ 4: การพยากรณ์อุณหภูมิสุดท้าย และเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศโดยใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

ได้เลือกใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบ Multilayer-Layered Feedforward Neural Network ซึ่งเป็นการเรียนรู้โดยใช้วิธี backpropagation algorithm ซึ่งเป็นโครงข่ายประสาทเทียมแบบมีผู้สอน (Superviced Learning) นำมาพยากรณ์อุณหภูมิสุดท้ายและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศ

โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) ประกอบไปด้วย 3 ส่วน หรือ 3 layers ได้แก่ ชั้นของ input units ที่ถูกเชื่อมต่อกับชั้นของ hidden units ซึ่งเชื่อมต่อกับชั้น output units แต่ละแบบจำลองมี input ที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับแบบจำลองนั้น ๆ โดยจัดเตรียมข้อมูลกระบวนการเรียนรู้ (training set) 48 ชุด จากข้อมูลทั้งหมด 56 ชุดที่มีอยู่เพื่อใช้ในการสอนโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network or ANN) โดยทำการเลือก inputs และ outputs พร้อมทั้งจัดเตรียมและกระบวนการทดสอบ (testing set) 8 ชุด เพื่อใช้ทดสอบผลงานของ ANN หลังจากเสร็จสิ้นการสอน โดยแต่ละแบบจำลองนั้นมีการเรียนรู้ (trained) จนกระทั่ง RMS error ลดลงและเพิ่มขึ้นจนเป็น 0.01 หรือ number of iteration มากกว่า 1,000,000 เมื่อกระบวนการเรียนรู้หยุดลงจึงนำมาทดสอบความถูกต้อง ทำการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลองจริงและค่าที่ได้จากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อเลือกแบบจำลองที่ดีที่สุด โดยใช้ค่า R^2, ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด (Absolution Percentage Error, APE) และค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด (Mean Absolute Percentage error, MAPE) มีสมการดังนี้

$$APE = (|t_i - Y_i| / t_i) \times 100$$

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

เมื่อ t_i คือ ค่าที่ได้จากการทดลองจริง

Y_i คือ ค่าที่ได้จากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

N_T คือจำนวนข้อมูลทั้งหมด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โปรแกรมโครงข่ายประสาทเทียมในการทดลอง คือ โปรแกรม Qnet v2000 package โดย Vesta Services และทำการเปรียบเทียบกับการพยากรณ์ด้วยการวิเคราะห์แบบวิธีการแสดงผลตอบสนองต่อโครงร่างพื้นผิว (Response Surface Methodology)