บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัสดุพันธุ์พืช

ผลสตรอเบอรี่พันธุ์ 329 มาตรฐานชั้น 3 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 2.75-2.50 เซนติเมตร เก็บเกี่ยวที่ระยะความแก่และสุกของผลโดยพิจารณาจากสีผิวที่มีสีแดง 70-80 เปอร์เซ็นต์ จากแหล่งปลูกศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่แฮ (บ่อแก้ว) อำเภอสะเมิง จังหวัดเชียงใหม่ ถูกขนส่งมาที่โรงคัดบรรจุของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่แฮ ทำการลดอุณหภูมิเฉียบพลัน และขนส่งต่อมายังห้องปฏิบัติการหลังการเก็บเกี่ยวพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยรถขนส่งของมูลนิธิโครงการหลวงที่มีการควบคุมอุณหภูมิที่ 4 องศาเซลเซียส

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.2.1 ห้องลดอุณหภูมิเฉียบพลันของผลิตผลด้วยวิธี Forced-Air Tunnel Cooling ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่แฮ อำเภอสะเมิง จังหวัดเชียงใหม่

3.2.2 เครื่อง Squirrel Data Logger 8 channel รุ่น SQ 800 ยี่ห้อ Grant ประเทศอังกฤษ

3.2.3 Thermistor Probe type U รุ่น CS-U-AO4-O ยี่ห้อ Grant ประเทศอังกฤษ

3.2.4 Humidity & Temperature Probe รุ่น RH-GZ3-O ยี่ห้อ 3M ประเทศอังกฤษ

3.2.5 Anemometer DP-50A ยี่ห้อ Digicon ประเทศญี่ปุ่น

3.2.6 เครื่องชั่งขนาด 35 กิโลกรัม

3.2.7 ผ้าใบพลาสติกขนาด 0.6x4.5 เมตร

3.2.8 ตะกร้าพลาสติก

3.2.9 เครื่องวัดความแน่นเนื้อ (Fruits Hardiness Tester) รุ่น FHR-1 ของบริษัท NIPPON OPTICAL WORKS ขนาด 1 กิโลกรัม หัววัดรูปทรงกระบอก (cylinder shape) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ยาว 10 มิลลิเมตร

3.2.10 เครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Digital Refractometer) รุ่น PR-101 ของบริษัท ATAGO อ่านค่าได้ตั้งแต่ 0-45 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.2.11 เครื่องชั่งละเอียดแบบทศนิยม 2 ตำแหน่ง รุ่น EK-600H ของบริษัท AND ชั่งน้ำหนักได้สูงสุด 600 กรัม และแบบทศนิยม 4 ตำแหน่ง รุ่น HR-200 ของบริษัท AND ชั่งน้ำหนักได้สูงสุด 210 กรัม

3.2.12 เครื่องปั่นผลไม้ (Blender) รุ่น S(643) ของบริษัท Moulinex ประเทศสเปน

3.2.13 เครื่องวัดความเป็นกรดเป็นด่าง (pH-Meter) รุ่น CG842 ของบริษัท SCHOTT GLAS Maint ประเทศเยอรมัน

3.2.14 เครื่องไทเทรต (Digital Burette) รุ่น Burette Digital IIIของบริษัท Brand ประเทศเยอรมัน

3.2.15 เครื่องกวนสารเคมีด้วยแท่งแม่เหล็กและให้ความร้อน รุ่น SP 18420-26 ของบริษัท Nuova II ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.2.16 เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (Digital Spectrophotometer) รุ่น Spectro 23 ของบริษัท Labomed ประเทศสหรัฐอเมริกา และเครื่องวัดการดูดกลืนแสง (thermospectronic) รุ่น GENESYS 10 UV Scanning ของบริษัท Ken Qauty ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.2.17 เครื่อง Centrifuge รุ่น Z383K ของบริษัท HERMLE หมุนเหวี่ยงด้วยความเร็วสูงสุดที่ 15,000 รอบต่อนาที

3.2.18 Micropipette ของบริษัท GILSON

3.2.19 Water bath รุ่น WB 10 ของบริษัท Memmert

3.2.20 เครื่อง Mixer รุ่น MS1 Minishaker ของบริษัท IKA JK

3.2.21 กระดาษกรอง Whatman No.1

3.2.22 เครื่องวัดสี (Chroma Meter) ตัวเครื่องรุ่น CR-300 หัววัด CR-310 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร ของบริษัท Minolta ซึ่งวัดสีออกมาเป็นค่า L*, a* และ b* โดยมีรายละเอียดดังนี้ คือ (ภาพ 5 และ 6)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

L* = The lightness factor (value)

ค่า L* แสดงความสว่าง

- มีค่าความสว่างมากเมื่อมีค่าใกล้ 100
- มีค่าความมืดมากเมื่อมีค่าใกล้ 0

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

ค่า a* - มีค่าบวก หมายถึง วัตถุมีสีแดง

- มีค่าลบ หมายถึง วัตถุมีสีเขียว

ค่า b* - มีค่าบวก หมายถึง วัตถุมีสีเหลือง

- มีค่าลบ หมายถึง วัตถุมีสีน้ำเงิน

ค่า a* และ b* มีค่าอยู่ระหว่าง -60 ถึง 60

ทั้ง a* และ b* หากมีค่าเป็นศูนย์ หมายถึง วัตถุมีสีเทา

ค่า chroma - มีค่าเข้าใกล้ 0 หมายถึง วัตถุมีสีซีดจาง (เทา)

- มีค่าเข้าใกล้ 60 หมายถึง วัตถุมีสีเข้ม

คำนวณหาค่า chroma ซึ่งเป็นค่าที่แสดงให้เห็นถึงความอิ่มตัวของสี (McGuire, 1992)

ค่า hue angle (h^o) เป็นค่าที่แสดงถึงมุมในการตกกระทบของค่า a* ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0-360 องศา (McGuire, 1992)

ค่า h^o เป็นค่าที่แสดงช่วงสีของวัตถุ คือ

0-45 องศา แสดงสีม่วงแดงถึงสีส้มแดง

45-90 องศา แสดงสีส้มแดงถึงสีเหลือง

90-135 องศา แสดงสีเหลืองถึงเหลืองเขียว

135-180 องศา แสดงสีเหลืองเขียวถึงเขียว

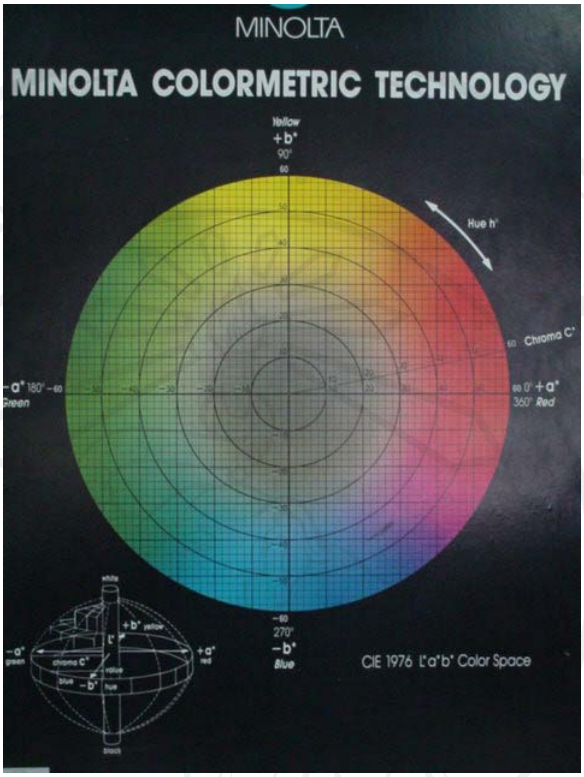
180-225 องศา แสดงสีเขียวถึงสีน้ำเงิน

225-270 องศา แสดงสีน้ำเงินเขียวถึงน้ำเงิน

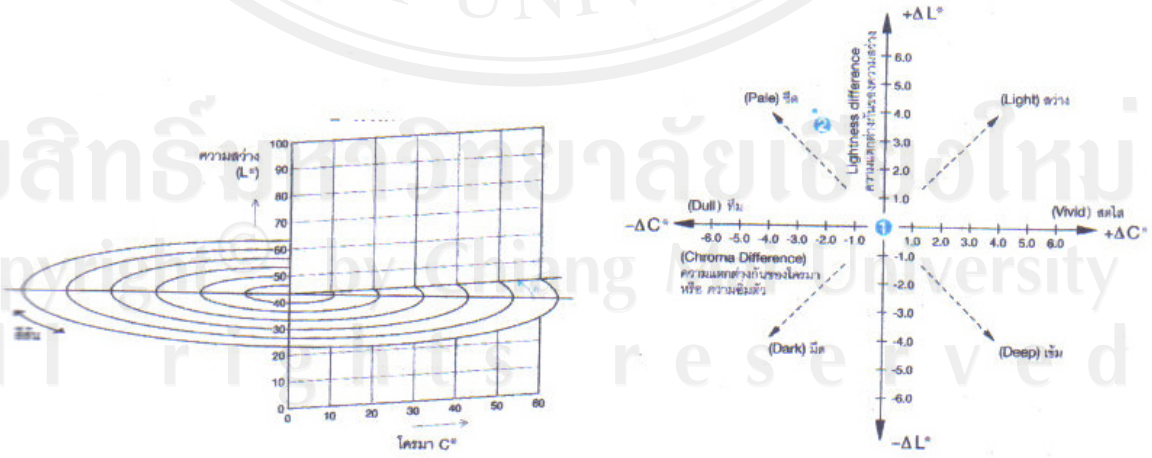
270-315 องศา แสดงสีน้ำเงินถึงม่วง

315-360 องศา แสดงสีม่วงถึงม่วงแดง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 7 แผนภาพของสีที่อ่านค่าเป็นค่า L*, a* และ b*



ภาพ 8 ค่าความอิ่มตัว (chroma) และความสว่าง (lightness) ของสี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

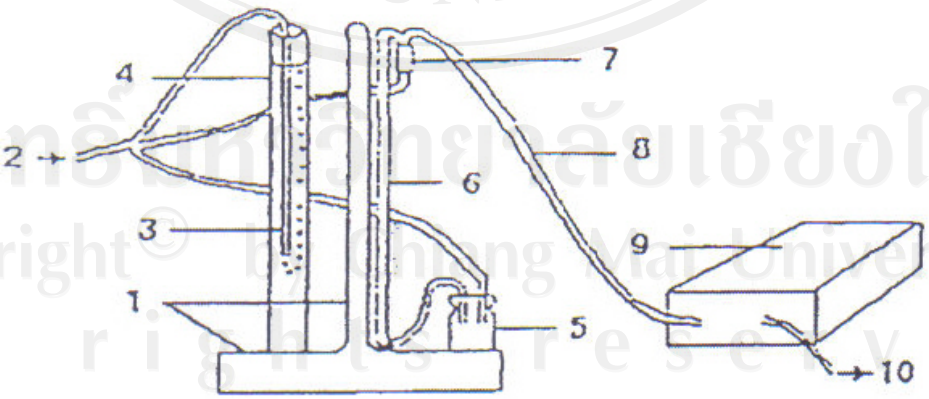
3.2.23 ตู้เย็น

3.2.24 กล้องถ่ายรูป

3.2.25 ชั้นวางหลอดทดลอง

3.2.26 ชุดแผงควบคุมการไหลของอากาศ (flow board) ประกอบด้วย (ภาพ 7)

1. แผงและฐานไม้
2. ทางอากาศเข้า
3. หลอดแก้วระบายอากาศ
4. ขวดแก้วใหญ่บรรจุน้ำเต็ม
5. หลอดแก้ว
6. แคพิลลารี (capillary)
7. หลอดนำก๊าซ
8. ภาชนะบรรจุผลิตผล
9. ทางอากาศออก



ภาพ 9 ชุดแผงควบคุมการไหลของอากาศ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หลักการทำงานของชุดแผงควบคุมการไหลของอากาศ คือ เมื่อให้อากาศจากเครื่องสูบลมผ่านเข้าช่องอากาศเข้า (2) อากาศจะแยกออกเป็น 3 ทาง คือ ผ่านไปเข้าสู่น้ำในหลอดแก้วระบายอากาศ (3) หรือผ่านเข้าไปในหลอดบรรจุน้ำ (5) หรือออกไปทางหลอดแคพิลลารี (7) แล้วออกสู่ภาชนะบรรจุผลิตผล (9) กรณีที่อากาศผ่านเข้ามามีแรงดันต่ำ อากาศส่วนใหญ่จะไหลไปทางหลอดแคพิลลารี เพราะไม่สามารถดันน้ำในหลอดแก้วระบายอากาศ (3) หรือในขวดแก้ว (5) ได้ แต่เมื่อเพิ่มความดันของอากาศที่ผ่านเข้ามาให้มากขึ้น อากาศจะออกทางหลอดแคพิลลารีไม่ทัน เพราะมีช่องขนาดเล็ก อากาศจะดันน้ำในหลอดแก้วระบายอากาศ (3) ให้ต่ำลง และดันน้ำในหลอดแก้ว (5) ขึ้นไปตามหลอดแก้วแสดงระดับความดัน (6) ซึ่งจะสูงเท่ากับระดับความดันของอากาศที่ผ่านเข้ามาในขณะนั้น ถ้าความดันอากาศเพิ่มขึ้นจะดันน้ำในหลอดแก้ว (3) ให้ต่ำลงจนเห็นเป็นฟองอากาศออกไปที่ปลายหลอดแก้วระบายอากาศ (3)

3.2.27 ชุดวัดอัตราการไหลของอากาศ (Air Flow Meter) ประกอบด้วย

- ทางอากาศเข้า
- บิวเรต (burette)
- ลูกยางบรรจุน้ำสบู่

ภาพ 10 ชุดวัดอัตราการไหลของอากาศ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หลักการทำงานของเครื่อง คือ เมื่อต่อสายยางที่มีอากาศผ่านจากแคพิลลารีในชุดแผงควบคุมอัตราการไหลเข้ากับชุดวัดอัตราการไหลของอากาศแล้ว เมื่อบีบลูกยางให้น้ำสบู่ไหลขึ้นไปปิดทางออกอากาศ ขณะที่อากาศไหลออกจากหลอดแคพิลลารีเข้าสู่บิวเรต อากาศจะดันน้ำสบู่ให้เป็นฟองไหลออกไปตามบิวเรต วัดอัตราการไหลของอากาศโดยจับเวลาการเคลื่อนที่ของฟองสบู่แล้วคำนวณเป็นอัตราไหลของอากาศมีหน่วยเป็นมิลลิเมตรต่อนาที

3.2.28 เครื่อง gas chromatography รุ่น GC-8A ของบริษัท SHIMADZU ประเทศญี่ปุ่นโดยมีรายละเอียดดังนี้

- Detector : Thermal Conductivity Detector (TCD)
- Column : Molecular Sieve 5A และ Parapak Type N
- Carrier Gas : Helium,25 ml/min
- Oven Temperature : 110 ^{o}C
- Injection Temperature: 110 ^{o}C
- Column Temperature: 110 ^{o}C

3.2.29 นาฬิกาจับเวลา ของบริษัท CASIO

3.2.30 เครื่องแก้ว

- บีกเกอร์ (beaker)
- ขวดรูปชมพู่ (erlenmeyer flask)
- ขวดปรับปริมาตร (volumetric flask)
- กระบอกตวง (cylinder)
- บิวเรต (burette)
- ปิเปต (pipette)
- แท่งแก้วคนสารละลาย (stirrer)
- หลอดหยด (dropper)
- กรวยกรอง(buchner funnel)
- ช้อนตักสารเคมี (spatular)
- หลอดทดลอง (test tube)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

3.3 สารเคมีและวิธีการเตรียมสารเคมี

3.3.1 สารเคมีที่ใช้วิเคราะห์ปริมาณกรดที่ไทรเทรตได้

- สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide, UNIVAR) ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล เตรียมโดยชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4.0 กรัม ละลายในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 1,000 มิลลิลิตร

3.3.2 สารเคมีที่ใช้วิเคราะห์ปริมาณวิตามินซี

- กรดออกซาลิก (Oxalic Acid, UNIVAR) ความเข้มข้น 0.4 เปอร์เซ็นต์ เตรียมโดยชั่งกรดออกซาลิก 4.0 กรัม ละลายในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 1,000 มิลลิลิตร

- 2, 6-ไดคลอโรฟีนอล อินโดฟีนอล (2, 6-Dichlorophenol Indophenol, SIGMA) ความเข้มข้น 0.04 เปอร์เซ็นต์ เตรียมโดยชั่ง 2, 6-ไดคลอโรฟีนอล อินโดฟีนอล 0.4 กรัม ละลายในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 1,000 มิลลิลิตร แล้วนำมากรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No. 1 เก็บในขวดสีชาที่อุณหภูมิต่ำ

- กรดแอสคอร์บิกมาตรฐาน (Ascorbic Acid, Merck) ชั่งกรดแอสคอร์บิก 0.05 กรัม ละลายในกรดออกซาลิกความเข้มข้น 0.4 เปอร์เซ็นต์แล้วปรับปริมาตรด้วยกรดออกซาลิกให้ครบ 50 มิลลิลิตร แล้วนำไปไทเทรตกับ 2,6-ไดคลอโรฟีนอล อินโดฟีนอล ความเข้มข้น0.04 เปอร์เซ็นต์ จนถึงจุดยุติ แล้วบันทึกปริมาตร 2, 6-ไดคลอโรฟีนอล อินโดฟีนอลที่ใช้ไปเพื่อเป็นมาตรฐานในการคำนวณหาปริมาณวิตามินซี

3.3.3 สารเคมีที่ใช้วิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานิน

- กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric Acid, J. T. Baker) ความเข้มข้น1.5 นอร์มัล เตรียมโดยใช้กรดไฮโดรคลอริกปริมาตร 62.17 มิลลิลิตร เติมลงในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 500 มิลลิลิตร

- เอทธาโนลิกไฮโดรคลอริก (เอทธานอล : กรดไฮโดรคลอริก) เตรียมโดยใช้เอทธานอล 95 เปอร์เซ็นต์ : กรดไฮโดรคลอริก 1.5 นอร์มัล ในอัตราส่วน 85 : 15 แล้วเก็บในขวดสีชาที่อุณหภูมิต่ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.4 วิธีการทดลอง

ดำเนินการทดลองเป็นระยะเวลา 2 ปี จำนวน 3 ครั้ง ตามวันและเวลาดังนี้

การทดลองครั้งที่ 1 ทำการทดลองวันที่ 26/02/2549

การทดลองครั้งที่ 2 ทำการทดลองวันที่ 14/01/2550

การทดลองครั้งที่ 3 ทำการทดลองวันที่ 27/02/2550

3.4.1 การทดลองครั้งที่ 1 ผลของการลดอุณหภูมิแบบเฉียบพลันโดยวิธีผ่านอากาศเย็นต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลสตรอเบอรี่พันธุ์ 329 ที่เก็บเกี่ยวในเดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2549 บรรจุในกล่องพลาสติกขนาด 11x16x6 เซนติเมตร

ทำการบรรจุผลสตรอเบอรี่ในกล่องพลาสติกขนาด 11x16x6 เซนติเมตร และมีอัตราส่วนของพื้นที่รูเปิดของกล่อง ต่อ พื้นที่ปิดของกล่องทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 5.50 เปอร์เซ็นต์ ในการทดลองครั้งที่ 1 แบ่งออกเป็น 2 การทดลองย่อย ดังต่อไปนี้

การทดลองย่อยที่ 1 การลดอุณหภูมิแบบเฉียบพลันด้วยวิธี Forced-Air Tunnel Cooling

จัดเรียงกล่องที่บรรจุผลสตรอเบอรี่ลงในตะกร้าทรงสี่เหลี่ยมที่มีขนาด 40×60×30 เซนติเมตร ปรับอุณหภูมิห้อง Forced-Air Tunnel Cooling ที่ 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 95 เปอร์เซ็นต์จากนั้นปฏิบัติตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. ชั่งน้ำหนักของผลสตรอเบอรี่แต่ละตะกร้าก่อนทำการลดอุณหภูมิ
2. วัดอุณหภูมิของสตรอเบอรี่ก่อนเข้าห้อง forced-air tunnel cooling
3. จัดเรียงตะกร้าของสตรอเบอรี่ในห้อง forced-air tunnel cooling
4. วัดอุณหภูมิของสตรอเบอรี่ ณ จุดกึ่งกลางตระกร้าที่วางซ้อนกันอยู่ที่ตำแหน่งต่างๆ กัน พร้อมกับวัดและบันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในห้องเย็นทุกๆ 1 นาที
5. วัดความเร็วลมของอากาศที่ผ่านหน้าตะกร้าที่บรรจุผลสตรอเบอรี่ภายในห้องเย็น
6. ลดอุณหภูมิสตรอเบอรีให้ถึง 4 องศาเซลเซียสทุกหัววัด
7. ชั่งน้ำหนักของสตรอเบอรี่หลังผ่านการลดอุณหภูมิ
8. คำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก cooling coefficient, lag factor, half-time cooling และ seven-eighths cooling time

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การบันทึกผลการทดลอง

Temperature Ratio

การประมาณค่าเวลาในการลดความร้อนของผลิตผลจากอุณหภูมิปกติจนถึงอุณหภูมิที่ต้องการหลังจากผ่านการทำความเย็นแล้วจะขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตผลและอุณหภูมิของอากาศและผลิตผลเริ่มต้น ซึ่งสามารถคำนวณหาได้จากสมการ (Dincer, 1994)

$$\theta = \frac{T - Ta}{Ti - Ta} \qquad (1)$$

เมื่อ θ คือ dimensionless temperature

T คือ อุณหภูมิใดๆ (^{o}C)

T_a คือ อุณหภูมิของตัวกลาง ในที่นี้คือ อากาศ (^{o}C)

T_i คือ อุณหภูมิเริ่มต้น (^{o}C)

นำค่า θ ที่คำนวณได้ไปเขียนกราฟเทียบกับเวลา ซึ่งรูปแบบของกราฟจะอยู่ในรูปของเอกซ์โพเนนเชียลเชิงลบ (negative exponential) ดังสมการต่อไปนี้

$$\theta = je^{-Ct} \qquad (2)$$

เมื่อ θ คือ dimensionless temperature

j คือ ค่า lag facter

C คือ ค่า cooling coefficient (1/s)

t คือ เวลา (s)

สามารถแปลงสมการ (2) ให้อยู่ในรูปของสมการเชิงเส้นได้โดยการประยุกต์ลอการิทึมจะได้สมการดังนี้

$$\ln \theta = \ln j - Ct \qquad (3)$$

จากสมการ (3) สามารถเขียนเป็นสมการเส้นตรงได้ดังสมการต่อไปนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

$$Y = a_o + a_1 x \qquad (4)$$

เมื่อ

$$Y = \ln \theta$$
$$a_o = \ln j$$
$$a_1 = -C$$
$$x = t$$

เมื่อนำค่า ln θ ไปเขียนกราฟเทียบกับเวลาจะได้กราฟเส้นตรง และสามารถหาค่าของ lnj และ C ได้ เมื่อนำค่าของ lag factor และ cooling coefficient แทนค่าลงในสมการที่ (5) และ (6) ในบทที่ 2 จะได้ค่าของ half cooling time และ seven-eighths cooling time ตามลำดับ

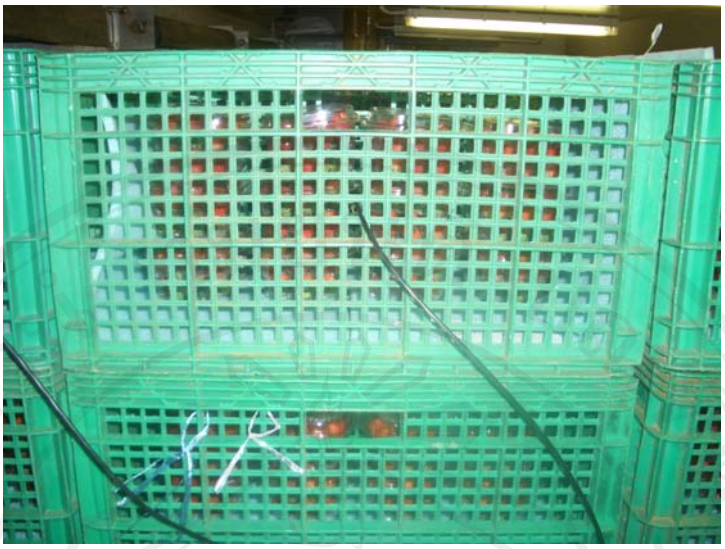
ภาพ 11 เครื่องมือบันทึกอุณหภูมิ (Data Logger) ของสตรอเบอรี่พันธุ์ 329

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพ 12 วิธีการวัดอุณหภูมิใจกลางของผลสตรอเบอรี่พันธุ์ 329

ภาพ 13 ตำแหน่งหัววัดอุณหภูมิในกล่องพลาสติกที่บรรจุผลสตรอเบอรี่พันธุ์ 329

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 14 ตำแหน่งหัววัดอุณหภูมิของผลสตรอเบอรี่พันธุ์ 329 ที่บรรจุในตะกร้า ในขณะทำการลดอุณหภูมิเฉียบพลันโดยวิธีผ่านอากาศเย็น

ภาพ 15 การจัดเรียงตะกร้าที่บรรจุผลสตรอเบอรี่พันธุ์ 329 ในขณะทำการลดอุณหภูมิเฉียบพลันโดยวิธีผ่านอากาศเย็น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การทดลองย่อยที่ 2 ผลของการลดอุณหภูมิต่อคุณภาพทางกายภาพและเคมีของสตรอเบอรี่พันธุ์ 329

ขนส่งผลสตรอเบอรี่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิและที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ มายังห้องปฏิบัติการหลังการเก็บเกี่ยวพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยรถขนส่งของมูลนิธิโครงการหลวงหลังจากนั้นนำผลสตรอเบอรี่ไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0, 5, 10 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิห้อง วางแผนการทดลองแบบปัจจัยร่วมในสุ่มสมบูรณ์ Factorial in CRD เปรียบเทียบกับผลสตรอเบอรี่ที่ไม่ได้ผ่านการลดอุณหภูมิ โดยแต่ละวิธีการมี 3 ซ้ำ แต่ละซ้ำประกอบด้วย สตรอเบอรี่ 250 กรัม แล้วทำการตรวจสอบสมบัติทางกายภาพและเคมีเมื่อวันเริ่มต้นและทุกๆ 2 วันจนหมดอายุการเก็บรักษา ดังนี้

การบันทึกผลการทดลอง

(1) เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก

โดยการชั่งน้ำหนักผลสตรอเบอรี่พร้อมภาชนะบรรจุ ด้วยเครื่องชั่งละเอียดแบบทศนิยม 2 ตำแหน่ง EK-600H แล้วนำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก จากสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก} = \frac{\text{น้ำหนักผลก่อนการเก็บรักษา-น้ำหนักผลหลังการเก็บรักษา x 100}}{\text{น้ำหนักผลก่อนการเก็บรักษา}}$$

(2) ความแน่นเนื้อ

วัดโดยใช้เครื่องวัดความแน่นเนื้อ รุ่น FHR-1 ของบริษัท NIPPON OPTICAL WORKS ขนาด 1 กิโลกรัม หัววัดรูปทรงกระบอก (cylinder shape) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ยาว 10 มิลลิเมตร

(3) สีผิว

โดยการวัดสีผิวภายนอกผลละ 1 ตำแหน่ง จำนวน 10 ผล/ซ้ำ ด้วยเครื่อง Chroma Meter ค่าที่ได้แสดงเป็น L*, a* และ b* คำนวณหาค่า chroma และ hue angle จากสมการดังนี้

$$\text{chroma} = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$$
$$\text{hue angle} = \text{arctangent } (b^*/a^*)$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(4) ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (Total Soluble Solids; TSS)

โดยใช้เครื่องวัดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (digital refractometer) โดยอ่านค่าจากน้ำคั้นของผลสตรอเบอรี่ที่ปั่นรวมกันจนกระทั่งผลสตรอเบอรี่ละเอียดเป็นเนื้อเดียวกัน

(5) ปริมาณกรดที่ไทรเทรตได้ (Titratable Acidity; TA)

นำผลสตรอเบอรี่มาปั่นรวมกันจนกระทั่งผลสตรอเบอรี่ละเอียดเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วนำส่วนที่ปั่นได้ 25 กรัม มาเติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร แล้วจึงไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัลโดยใช้เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง จนสารละลายมีความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 8.2 แล้วจึงนำสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้มาคำนวณหาปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ในรูปของกรดซิตริก มีหน่วยเป็น เปอร์เซ็นต์ โดยใช้สูตร

$$\%TA = \frac{\text{normality of NaOH (0.1N) x equi.wt.of citric acid (0.070) x vol. NaOH x 100}}{25}$$

(6) ปริมาณวิตามินซี

วิเคราะห์หาปริมาณวิตามินซีในผลสตรอเบอรี่ ด้วยวิธี Indophenol โดยนำของเหลวที่ปั่นได้มา 10 มิลลิลิตร แล้วเติมกรดออกซาลิกความเข้มข้น 0.4 เปอร์เซ็นต์ ให้ได้ปริมาตรเท่ากับ 100 มิลลิลิตร กรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No. 1 นำสารละลายที่กรองได้มา 10 มิลลิลิตร แล้วเติมกรดออกซาลิกให้ได้ปริมาตร 40 มิลลิลิตร แล้วจึงนำไปไทเทรตกับ 2, 6-ไดคลอโรฟีนอล อินโดฟีนอล ความเข้มข้น 0.04 เปอร์เซ็นต์ จนถึงจุดยุติซึ่งสารละลายมีสีชมพูประมาณ 15 วินาที แล้วคำนวณหาปริมาณวิตามินซีโดยใช้ปริมาณ 2, 6-ไดคลอโรฟีนอล อินโดฟีนอล ที่ใช้กับสารตัวอย่างเทียบกับ 2, 6-ไดคลอโรฟีนอล อินโดฟีนอล ที่ใช้กับวิตามินซีมาตรฐาน โดยคำนวณตามสูตร

ปริมาตร indophenol dye a มิลลิลิตร มี ascorbic acid เท่ากับ 1 มิลลิกรัม (จาก standard)
ปริมาตร indophenol dye a มิลลิลิตร มี ascorbic acid เท่ากับ (1xb) / a มิลลิกรัม (จากสารละลายตัวอย่าง)
สารละลาย 10 มิลลิลิตร มี ascorbic acid เท่ากับ c มิลลิกรัม
สารละลาย 100 มิลลิลิตร มี ascorbic acid เท่ากับ (cx100) / 10 มิลลิกรัม
เท่ากับ d มิลลิกรัม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เนื้อตัวอย่าง 10 กรัม มี ascorbic acid	เท่ากับ d มิลลิกรัม
เนื้อตัวอย่าง 100 กรัม มี ascorbic acid	เท่ากับ (dx100) / 10 มิลลิกรัม
	เท่ากับ e มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด

(7) ปริมาณแอนโทไซยานิน

การหาปริมาณแอนโทไซยานินตามวิธีการ Ranganna (1977) ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ผิวสตรอเบอรี่ 1 กรัม หั่นละเอียด

↓

เติม ethanolic HCL ปริมาตร 25 มิลลิลิตร

↓

เปลี่ยนสารละลายทุก 3 ชั่วโมง จนผิวสตรอเบอรี่ไม่มีสี

↓

กรองด้วยกระดาษกรอง

↓

นำสารละลายที่กรองได้มารวมกัน

↓

ปรับปริมาตรด้วยสารละลาย ethanolic HCL ให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

↓

วัดค่าการดูดกลืนแสง (OD) ที่ความยาวคลื่น 535 นาโนเมตร

นำค่า OD ที่ได้ไปแทนค่าในสูตรหาปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด มีหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด

สูตรที่ใช้คำนวณคือ

$$\text{Total absorbance} = \frac{\text{Absorbance at 535 nm x final volume x 100}}{\text{weight of sample}}$$

$$\text{Total anthocyanin content} = \frac{\text{Total absorbance}}{98.2}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.4.2 การทดลองครั้งที่ 2 ผลของการลดอุณหภูมิแบบเฉียบพลันโดยวิธีผ่านอากาศเย็นต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลสตรอเบอรี่พันธุ์ 329 ที่เก็บเกี่ยวในเดือน มกราคม พ.ศ. 2549 บรรจุในกล่องพลาสติกขนาด 9x13x5 เซนติเมตร

ทำการบรรจุผลสตรอเบอรี่ในกล่องพลาสติขนาด 9x13x5 เซนติเมตร และมีอัตราส่วนของพื้นที่รูเปิดของกล่อง ต่อ พื้นที่ปิดของกล่องทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 7.30 เปอร์เซ็นต์ ในการทดลองครั้งที่ 2 แบ่งออกเป็น 3 การทดลองย่อย ดังต่อไปนี้

การทดลองย่อยที่ 1 ศึกษาการลดอุณหภูมิแบบเฉียบพลันด้วยวิธี Forced-Air Tunnel Cooling

จัดเรียงกล่องที่บรรจุผลสตรอเบอรี่ลงในตะกร้าทรงสี่เหลี่ยมที่มีขนาด 40×60×30 เซนติเมตร ปรับอุณหภูมิห้อง Forced-Air Tunnel Cooling ที่ 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 95 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นทำการบันทึกผลการทดลองเหมือนกับการทดลองครั้งที่ 1 ในการทดลองย่อยที่ 1 ทุกขั้นตอน

การทดลองย่อยที่ 2 ศึกษาการลดอุณหภูมิต่อคุณภาพทางกายภาพและเคมีของสตรอเบอรี่พันธุ์ 329

ขนส่งผลสตรอเบอรี่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิและที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ มายังห้องปฏิบัติการหลังการเก็บเกี่ยวพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยรถขนส่งของมูลนิธิโครงการหลวง หลังจากนั้นนำผลสตรอเบอรี่ไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0, 5, 10 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิห้อง วางแผนการทดลองแบบปัจจัยร่วมในสุ่มสมบูรณ์ Factorial in CRD เปรียบเทียบกับผลสตรอเบอรี่ที่ไม่ได้ผ่านการลดอุณหภูมิ โดยแต่ละวิธีการมี 3 ซ้ำ แต่ละซ้ำประกอบด้วย สตรอเบอรี่ 250 กรัม แล้วทำการตรวจสอบสมบัติทางกายภาพและเคมีเมื่อวันเริ่มต้นและทุก ๆ 2 วันจนหมดอายุการเก็บรักษา ดังนี้

(1) เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก
(2) ความแน่นเนื้อ
(3) สีผิว
(4) ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้
(5)ปริมาณกรดที่ไทรเทรตได้
(6) ปริมาณวิตามินซี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(7) ลักษณะปรากฏ (คะแนน)

อายุการเก็บรักษา พิจารณาจากเกณฑ์การให้คะแนนของผู้ประเมินที่ได้รับการฝึกฝน จำนวน 10 คนหากคะแนนมีค่าต่ำกว่า 5 คะแนน จะถือว่าผู้บริโภคไม่ยอมรับในตัวผลิตภัณฑ์แล้ว

9 = ชอบมากที่สุด	6 = ชอบเล็กน้อย	3 = ไม่ชอบปานกลาง
8 = ชอบมาก	5 = บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่	2 = ไม่ชอบมาก
7 = ชอบปานกลาง	4 = ไม่ชอบเล็กน้อย	1 = ไม่ชอบมากที่สุด

การทดลองย่อยที่ 3 ศึกษาผลของการลดอุณหภูมิต่ออัตราการหายใจของสตรอเบอรี่พันธุ์ 329 เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ใช้ผลสตรอเบอรี่พันธุ์ 329 ที่ผ่านการลดอุณหภูมิ และที่ไม่ได้ผ่านการลดอุณหภูมิ วัดอัตราการหายใจด้วยระบบไหล (Flow System) เก็บผลสตรอเบอรี่ไว้ในภาชนะที่ปิดสนิท มีอากาศเข้าและออก โดยต้องควบคุมอัตราเร็วของการไหล เข้าของก๊าซ โดยอาศัยความแตกต่างของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ไหลผ่านเข้าออกจากภาชนะ การวัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์นั้น หาได้จากการใช้เครื่อง Gas Chromotograph ทำการวัดอัตราการหายใจของผลสตรอเบอรี่ทุกๆ วันจนหมดอายุการเก็บรักษาโดยใช้การทดสอบทางประสาทสัมผัส

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) มี 2 ทรีตเมนต์ ทรีตเมนต์ละ 3 ซ้ำ นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Least Significant Difference (LSD) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การบันทึกผลการทดลอง

วัดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และออกซิเจนภายในกล่อง โดยใช้เครื่อง Gas Chromatography โดยนำผลสตรอเบอรี่ที่มีน้ำหนัก 500 กรัม บรรจุลงในกล่องพลาสติก ขนาด 13x18.7x9.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร นำกล่องพลาสติกที่บรรจุผลสตรอเบอรี่แล้วต่อกับชุดแผงควบคุมอัตราการไหลของอากาศ วัดอัตราการหายใจของผลสตรอเบอรี่ทุกวันจนหมดอายุการเก็บรักษา แล้วนำมาคำนวณอัตราการหายใจ โดยคำนวณจากสูตร

อัตราการหายใจ (มิลลิกรัม CO_2/กิโลกรัม/ชั่วโมง)

$$= \frac{(\%CO_2\text{-blank}\%CO_2)*\text{flow rate (ml/min)}*321750\ \text{mg kg}^{-1}\ \text{hr}^{-1}}{\text{weight (g)} * (\ 273+\text{measured flow rate Temp}\ ^{o}\text{C}\ )}$$

3.4.3 การทดลองครั้งที่ 3 ศึกษาผลของการลดอุณหภูมิแบบเฉียบพลันโดยวิธีผ่านอากาศเย็น ต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลสตรอเบอรี่พันธุ์ 329 ที่เก็บเกี่ยวในเดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550บรรจุในกล่องพลาสติกขนาด 9x13x5 เซนติเมตร

ทำการบรรจุผลสตรอเบอรี่ในกล่องพลาสติขนาด 9x13x5 เซนติเมตร และมีอัตราส่วนของพื้นที่รูเปิดของกล่อง ต่อ พื้นที่ปิดของกล่องทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 7.30 เปอร์เซ็นต์ ในการทดลองครั้งที่ 2 แบ่งออกเป็น 3 ตอนดังต่อไปนี้

การทดลองย่อยที่ 1 ศึกษาการลดอุณหภูมิแบบเฉียบพลันด้วยวิธี Forced-Air Tunnel Cooling

จัดเรียงกล่องที่บรรจุผลสตรอเบอรี่ลงในตะกร้าทรงสี่เหลี่ยมที่มีขนาด 40×60×30 เซนติเมตร ปรับอุณหภูมิห้อง Forced-Air Tunnel Cooling ที่ 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 95 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นทำการบันทึกผลการทดลองเหมือนกับการทดลองครั้งที่ 1 ในการทดลอง-ย่อยที่ 1 ทุกขั้นตอน

การทดลองย่อยที่ 2 ศึกษาการลดอุณหภูมิต่อคุณภาพทางกายภาพและเคมีของสตรอเบอรี่พันธุ์ 329

ขนส่งผลสตรอเบอรี่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิและที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ มายังห้องปฏิบัติการหลังการเก็บเกี่ยวพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยรถขนส่งของมูลนิธิโครงการหลวง หลังจากนั้นนำผลสตรอเบอรี่ไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0, 5, 10

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิห้อง วางแผนการทดลองแบบปัจจัยร่วมในสุ่มสมบูรณ์ Factorial in CRD เปรียบเทียบกับผลสตรอเบอรี่ที่ไม่ได้ผ่านการลดอุณหภูมิ โดยแต่ละวิธีการมี 3 ซ้ำ แต่ละซ้ำประกอบด้วย สตรอเบอรี่ 250 กรัม แล้วทำการตรวจสอบสมบัติทางกายภาพและเคมีเมื่อวันเริ่มต้นและทุก ๆ 2 วันจนหมดอายุการเก็บรักษา ดังนี้

(1) เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก
(2) ความแน่นเนื้อ
(3) สีผิว
(4) ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้
(5) ปริมาณกรดที่ไทรเทรตได้
(6) ปริมาณวิตามินซี
(7) ปริมาณแอนโทไซยานิน
(8) ลักษณะปรากฏ (คะแนน)

การทดลองย่อยที่ 3 ศึกษาผลของการลดอุณหภูมิต่ออัตราการหายใจของสตรอเบอรี่พันธุ์ 329 เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ทำการบันทึกผลการทดลองเช่นเดียวกันกับการทดลองครั้งที่ 2 ในการทดลองย่อยที่ 3

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved