บทที่ 3
วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

1. พืชทดลอง

ผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ (*Mangifera indica* Linn. cv. Nam Dok Mai) ที่ใช้ศึกษาเก็บเกี่ยวมาจากสวนเกษตรกรในอำเภอพร้าว จังหวัดเชียงใหม่ ในช่วงเดือนเมษายน-พฤษภาคม พ.ศ. 2555 เป็นผลมะม่วงที่มีระยะแก่ทางการค้า โดยผลมีระยะความแก่ประมาณ 80-90 เปอร์เซ็นต์ (112 วันหลังดอกบาน) น้ำหนักผลอยู่ในช่วง 400-450 กรัม โดยคัดเลือกผลให้มีขนาดใกล้เคียงกัน และไม่มีตำหนิหรือไม่ถูกทำลายจากโรคและแมลง เปลือกผลมีสีเหลือง เนื่องจากมีการห่อด้วยถุงกระดาษคาร์บอนหลังติดผลประมาณ 35-40 วัน จนกระทั่งเก็บเกี่ยวผล ทำให้ผิวเปลือกของผลมะม่วงมีสภาพเรียบเนียน มีนวล (ขึ้นสี) อกเต็ม แก้มผลอูม และปลายผลมีสีเหลืองเข้มขึ้น (ภาพ 4)

การขนส่งผลมะม่วงทำโดยนำผลมะม่วงใส่ในตาข่ายโฟมและบรรจุในในตะกร้าพลาสติกตะกร้าละ 40 ผล แล้วขนส่งมะม่วงทางรถตู้มายังห้องปฏิบัติการของสถาบันวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยใช้เวลาประมาณ 4 ชั่วโมง

ภาพ 4 ผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ก่อนการเก็บรักษา: สภาพของผลภายนอก (ซ้าย) และสภาพของเนื้อผล (ขวา)

2. เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

1. เครื่องก๊าซโครมาโตกราฟ (gas chromatograph) ยี่ห้อ Agilent Technologies รุ่น 7820 A
2. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 3 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Precisa รุ่น XT 920 M
3. เครื่องวัดสี (colorimeter) ยี่ห้อ Hunter Lab รุ่น Color Quest XE

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4. เครื่องวัดความแน่นเนื้อ (firmness tester) ยี่ห้อ Wagner รุ่น FT-011
5. เครื่องวัดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (digital refractometer) ยี่ห้อ Pocket บริษัท ATAGO Japan รุ่น PR-101
6. เครื่องควบคุมอุณหภูมิของน้ำ (water bath) ยี่ห้อ Memmert รุ่น WB22
7. เครื่อง data logger ยี่ห้อ Bamstead รุ่น ERTCO Hitemp102RH
8. เครื่องวัดอุณหภูมิ (thermometer)
9. เครื่อง Digital Anemomenter ยี่ห้อ Seedburo รุ่น 5951
10. เครื่องตั้งเวลาแบบดิจิตอล ยี่ห้อ Toshino รุ่น TS-EB1
11. เครื่องกวนผสมแบบแม่เหล็กไฟฟ้า (hot plate stirrer) ยี่ห้อ LMS รุ่น HTS-1003
12. ชุดเครื่องแก้ว เช่น บีกเกอร์ บิวเรต ขวดรูปชมพู่ ขวดปรับปริมาตร ฯลฯ
13. ตู้อบลมร้อน (hot air oven) ยี่ห้อ Memmert รุ่น UM 500
14. หลอดอัลตราไวโอเลตชนิดเอ (ultraviolet A; UV-A) ชนิด PL-S ขนาด 7 วัตต์
15. กล่องพลาสติกเอนกประสงค์ ขนาด 90 ลิตร
16. ผ้าขาวบาง
17. ผ้าก๊อซนาโน ของบริษัท นาโนเมด จำกัด
18. Syringe
19. ตาข่ายโฟม

3. สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. ไทเทเนียมไดออกไซด์ (titanium dioxide; TiO_2) บริษัท RFCL Limited
2. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide; NaOH) บริษัท ASP FINECHEM
3. ฟีนอล์ฟทาลีน (phenolphthalein; $C_{20}H_{14}O_4$) บริษัท ASP FINECHEM
4. สารกำจัดเชื้อรา Azoystrobin (อมิสตา)
5. ก๊าซเอทิลีน (ethylene gas; C_2H_4) บริษัท LABGAZ
6. กาวน้ำ (water glue) ยี่ห้อ King

4. วิธีการเตรียมสารเคมี

สารเคมีที่ใช้วิเคราะห์ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล เตรียมโดยชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide; NaOH) จำนวน 4 กรัม ละลายในน้ำกลั่น แล้วปรับให้มีปริมาตรสุดท้ายเท่ากับ 1,000 มิลลิลิตร

สารละลายฟีนอล์ฟทาลีน (phenolphthalein; $C_{20}H_{14}O_4$) ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ เตรียมโดยชั่ง phenolphthalein 1 กรัม ละลายใน ethanol 95 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณ 60 มิลลิลิตร คนให้ละลายและปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น

5. สถานที่ทำการทดลอง

1. สถาบันวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
2. ห้องปฏิบัติการวิจัยสรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

6. วิธีการดำเนินงานทดลอง

การวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาผลของการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยแสงโดย TiO_2 ต่อการสลายตัวของเอทิลีน เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 การทดลอง ดังนี้

6.1 การทดลองที่ 1 การออกแบบเครื่อง TiO_2 photocatalytic oxidation (TPO) และศึกษาหาปริมาณของสารไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เหมาะสมต่อการสลายตัวของเอทิลีน

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (complete randomized design; CRD) ประกอบด้วย 6 กรรมวิธี กรรมวิธีละ 3 ซ้ำ ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 ไม่เปิดหลอด UV-A และไม่ใส่แผ่น TiO_2

กรรมวิธีที่ 2 ไม่เปิดหลอด UV-A แต่ใส่แผ่น TiO_2 ปริมาณ 10 กรัมต่อ 170 ตารางเซนติเมตร

กรรมวิธีที่ 3 เปิดหลอด UV-A แต่ไม่ใส่แผ่น TiO_2

กรรมวิธีที่ 4 เปิดหลอด UV-A และใส่แผ่น TiO_2 ปริมาณ 5 กรัม ต่อ 170 ตารางเซนติเมตร

กรรมวิธีที่ 5 เปิดหลอด UV-A และใส่แผ่น TiO_2 ปริมาณ 7 กรัม ต่อ 170 ตารางเซนติเมตร

กรรมวิธีที่ 6 เปิดหลอด UV-A และใส่แผ่น TiO_2 ปริมาณ 10 กรัม ต่อ 170 ตารางเซนติเมตร

ส่วนประกอบภายในเครื่อง

เครื่อง TiO_2 photocatalytic oxidation (TPO) มีขนาดกว้าง 19 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร

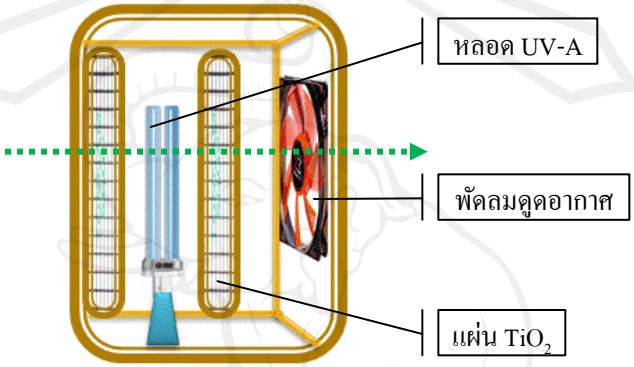
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

และสูง 22 เซนติเมตร (ภาพ 5) ส่วนประกอบภายในประกอบด้วย

1) แผ่นที่เคลือบด้วย TiO_2

2) หลอด UV-A 1 หลอด ชนิดตะเกียบเดี่ยวแบบขั้วเสียบ (PL-S) ขนาด 7 วัตต์ ความยาวคลื่น 315-380 นาโนเมตร

3) พัดลมดูดอากาศ เส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัด 9 เซนติเมตร ซึ่งมีความเร็วลม 1.27 เมตรต่อวินาที

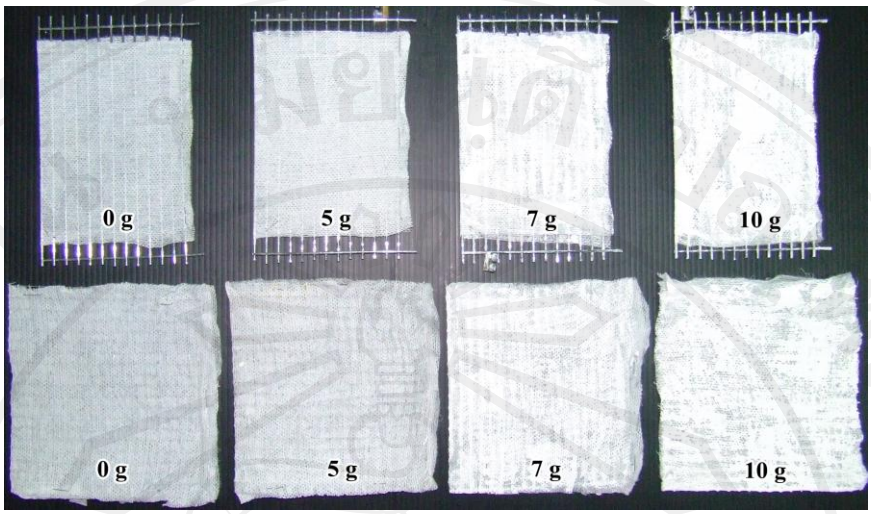


ภาพ 5 ส่วนประกอบของเครื่อง TiO_2 photocatalytic oxidation

การเตรียมสารไทเทเนียมไดออกไซด์

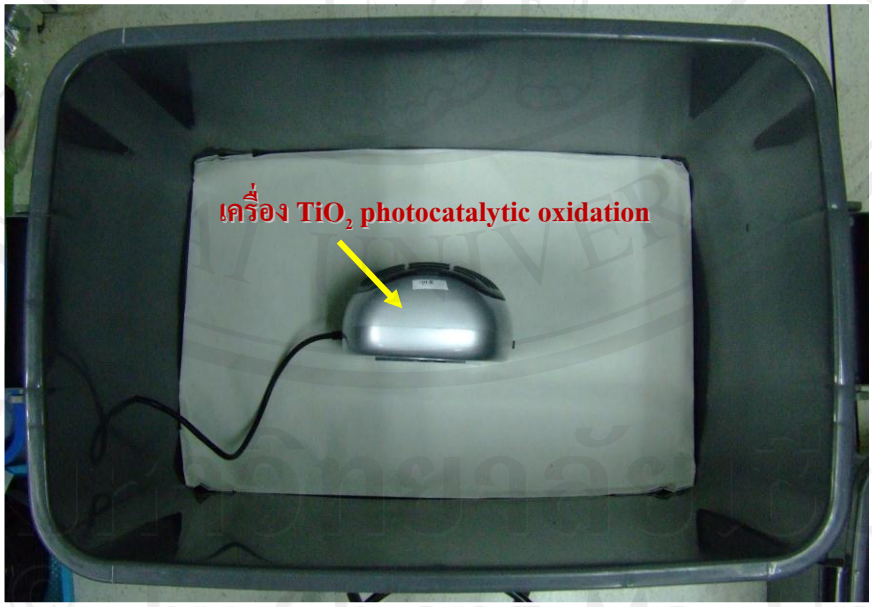
นำกาวใสละลายในน้ำกลั่นอัตราส่วน 1:1 ปริมาตรโดยปริมาตรหรือปริมาณกาวใส 5 มิลลิลิตรต่อน้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร ต่อมานำผง TiO_2 ปริมาณต่างๆ กันตามกรรมวิธีข้างต้น ผสมให้เข้ากันกับกาวผสมน้ำด้วยเครื่องกวนผสมแบบแม่เหล็กไฟฟ้านาน 15 นาทีจนสารเข้ากันได้ดี จากนั้นเคลือบสารละลาย TiO_2 ด้วยวิธีการใช้แปรงทาบนแผ่นตะแกรงสแตนเลสที่หุ้มด้วยผ้าก๊อซนาโนจำนวน 2 แผ่นต่อ 1 เครื่อง ขนาดแผ่นละ 100 และ 70 ตารางเซนติเมตร โดยทาสารละลาย TiO_2 ทั้งสองด้านของแผ่นตะแกรงให้ทั่วสม่ำเสมอ หลังจากเคลือบ TiO_2 แล้ว นำแผ่น TiO_2 ไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที (ภาพ 6)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 6 แผ่นตะแกรงที่เคลือบด้วยสารผสม TiO_2 ที่ปริมาณ 0, 5, 7 และ 10 กรัม หลังอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที

จากนั้นนำแผ่น TiO_2 ทั้งสองแผ่นไปติดตั้งระหว่างหลอด UV-A บริเวณท้ายเครื่อง TPO แล้วติดตั้งพัดลมดูดอากาศผ่านเข้ามาในระบบ โดยเครื่อง TPO จะวางอยู่ภายในภาชนะที่ใช้ทดสอบ ซึ่งปิดสนิทขนาดกว้าง 46 เซนติเมตร ยาว 64 เซนติเมตร และสูง 41 เซนติเมตร (ภาพ 7)



ภาพ 7 ตำแหน่งการวางเครื่อง TiO_2 photocatalytic oxidation ซึ่งอยู่ภายในกล่องซึ่งปิดสนิท

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ติดตั้งเครื่อง TPO โดยที่แต่ละเครื่องมีปริมาณ TiO_2 แตกต่างกันคือ 5, 7 และ 10 กรัมในกล่องปิดสนิท ตั้งเวลาเปิดเครื่อง 7 ชั่วโมง ปิด 1 ชั่วโมงสลับกันไปตลอดเวลาการทดลอง แล้วนำกล่องปิดสนิทเก็บที่อุณหภูมิ 25±2 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบกับกรรมวิธีที่ 1 ไม่เปิด UV-A และไม่ใส่แผ่น TiO_2, กรรมวิธีที่ 2 ไม่เปิด UV-A แต่ใส่แผ่น TiO_2 และกรรมวิธีที่ 3 เปิด UV-A แต่ไม่ใส่แผ่น TiO_2 จำนวนกรรมวิธีละ 3 กล่อง หลังจากนั้นฉีดก๊าซเอทิลีนมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นเข้าไปในกล่องปิดสนิท โดยวัดปริมาณเอทิลีนและคาร์บอนไดออกไซด์เริ่มต้นก่อนเปิดให้เครื่องทำงาน และสุ่มก๊าซในกล่องออกมาตรวจวัดทุก 12 ชั่วโมง เป็นเวลา 144 ชั่วโมง วัดปริมาณเอทิลีนและคาร์บอนไดออกไซด์

การวิเคราะห์ปริมาณเอทิลีนและคาร์บอนไดออกไซด์ภายในกล่อง

การวัดปริมาณเอทิลีนและคาร์บอนไดออกไซด์ภายในกล่องปิดสนิท โดยใช้เข็ม (Syringe, SGE Analytical Science, Australia) ขนาด 5 มิลลิลิตร ดูดก๊าซจากช่องว่างของกล่อง (gas headspace) จากนั้นนำก๊าซที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟ (gas chromatograph, Agilent Technology รุ่น 7820A) ทันทีที่อุณหภูมิห้อง ใช้ชุดตรวจจับ (detector) ชนิด flame ionization detector (FID) สำหรับวิเคราะห์ก๊าซเอทิลีน ส่วนชุดตรวจจับ (detector) ชนิด thermal conductivity detector (TCD) สำหรับวิเคราะห์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยอุณหภูมิของตู้อบ (oven temperature) คือ 200 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิชุดตรวจจับ (detector) ชนิด TCD และ FID คือ 250 และ 300 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งระบบการทำงานเป็นระบบที่ใช้ก๊าซฮีเลียมเป็นตัวนำพา (carrier gas) ซึ่งมีอัตราการไหลเท่ากับ 5 มิลลิลิตรต่อนาที โดยจะพาเอาก๊าซตัวอย่างไหลผ่าน capillary column (Porapak Q, Supelco Inc., USA) ซึ่งคอลัมน์ (column) มีความยาว 50 เมตร และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.53 มิลลิเมตร ซึ่งสารที่แยกจากคอลัมน์นี้จะถูกตรวจวัดเป็นสัญญาณไฟฟ้าโดยชุดตรวจวัด (detector) ใช้เวลาในการวิเคราะห์ 8.5 นาทีต่อตัวอย่าง นำพื้นที่ใต้กราฟที่อ่านได้จากเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟมาคำนวณหาปริมาณก๊าซเอทิลีน โดยเทียบกับก๊าซเอทิลีนมาตรฐาน มีหน่วยเป็นส่วนในล้านส่วน (part per million; ppm) ส่วนการหาปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบกับคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

6.2 การทดลองที่ 2 ผลของการใช้ TiO_2 photocatalytic oxidation ต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมีของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ระหว่างการเก็บรักษา

นำเครื่อง TiO_2 photocatalytic oxidation (TPO) ที่ทดสอบประสิทธิภาพการกำจัดเอทิลีนในการทดลองที่ 1 แล้วเลือกใช้ปริมาณ TiO_2 ที่ดีที่สุดมาทดสอบผลต่อการเก็บรักษาผลมะม่วงพันธุ์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

น้ำดอกไม้ โดยใช้ผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ที่เก็บเกี่ยวเมื่อผลแก่ที่มีอายุประมาณ 112 วัน หลังดอกบาน คัดเลือกที่มีสี ขนาด รูปร่างเสมอกัน และน้ำหนักผลเฉลี่ยประมาณ 400-450 กรัม มากำจัดยางล้างทำความสะอาด หลังจากนั้นนำผลมะม่วงไปแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที (วิลาวัลย์และจำนงค์, 2552) และจุ่มผลมะม่วงด้วยสารกำจัดเชื้อรา Azoystrobin (อมิสตา) ที่ความเข้มข้น 500 ppm ผึ่งลมให้แห้ง แล้วนำผลมะม่วงจำนวน 20 ผล เก็บในภาชนะเก็บรักษาที่มีเครื่อง TPO ซึ่งประกอบด้วย TiO_2 ปริมาณ 10 กรัม เปรียบเทียบกับภาชนะเก็บรักษาของกรรมวิธีควบคุมที่ไม่ใช้เครื่อง TPO วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) โดยประกอบด้วย 2 กรรมวิธี จำนวน 3 ซ้ำ ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 กรรมวิธีควบคุม (ไม่ใช้ TPO)

กรรมวิธีที่ 2 กรรมวิธีที่ใช้ TiO_2 photocatalytic oxidation (ใช้ TPO) โดยใช้แผ่น TiO_2 ปริมาณ 10 กรัมต่อ 170 ตารางเซนติเมตร

นำผลมะม่วงที่บรรจุในภาชนะของทั้ง 2 กรรมวิธีไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90 เปอร์เซ็นต์ วิเคราะห์ก๊าซเอทิลีนและคาร์บอนไดออกไซด์ทุก 2 วัน ส่วนการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมีทำการตรวจสอบทุก 7 วัน จนกระทั่งผลสุกเต็มที่ โดยนำผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้แต่ละกรรมวิธีมาแบ่งเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

กลุ่มที่ 1 วัดปริมาณก๊าซเอทิลีนและคาร์บอนไดออกไซด์

กลุ่มที่ 2 วัดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมี

กลุ่มที่ 1 วัดปริมาณก๊าซเอทิลีนและคาร์บอนไดออกไซด์

สุ่มตัวอย่างก๊าซด้วย syringe ปริมาตร 5 มิลลิลิตร จากกล่องปริมาตร 90 ลิตรที่ภายในบรรจุผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้จำนวน 20 ผล นำมาวิเคราะห์หาปริมาณก๊าซเอทิลีนและคาร์บอนไดออกไซด์ตรวจวัดด้วยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟ (Agilent Technologies รุ่น 7820A) นำค่าที่ได้มาคำนวณหาปริมาณเอทิลีนที่ผลิตได้ ซึ่งมีหน่วยเป็นส่วนในล้านส่วน (ppm) ส่วนปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในระหว่างเก็บรักษามีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ (%)

กลุ่มที่ 2 ศึกษาหาอายุการเก็บรักษาและวัดคุณภาพทางกายภาพและเคมี นำมะม่วงแต่ละกรรมวิธีออกมาวิเคราะห์ผลดังนี้

1. อายุการเก็บรักษาของผลมะม่วง

พิจารณาอายุการเก็บรักษาของผลมะม่วงแต่ละกรรมวิธีการทดลองในสภาพผลดิบและจะถือว่าสิ้นอายุการเก็บรักษาเมื่อผลเกิดการสุกหรือเกิดอาการผิดปกติทางสรีรวิทยา หรือเกิดโรคระหว่างการเก็บรักษา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2. การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ

2.1 การสูญเสียน้ำหนัก

นำผลมะม่วงแต่ละกรรมวิธีมาชั่งน้ำหนักของผลมะม่วงก่อนและหลังการเก็บรักษาทุกๆ 7 วัน จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลองด้วยเครื่องชั่งยี่ห้อ Precisa รุ่น XT 920 M แล้วนำค่าที่ได้มาคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักจากสูตรต่อไปนี้

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

2.2 การวัดสีเปลือกและสีเนื้อ

วัดสีมะม่วงทั้งเปลือกและเนื้อด้วยเครื่อง Color Meter ยี่ห้อ Hunter Lab รุ่น Color Quest XE แต่ละผลวัดสีบริเวณกลางผลทั้ง 2 ด้าน รายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย ก่อนใช้เครื่องวัดสีทุกครั้งนำแผ่นเทียบสีมาตรฐานมาปรับมาตรฐานด้วย โดยค่าที่ได้จะแสดงออกมาเป็นค่า L*, C* และ h^{o} (ภาพ 8) มีรายละเอียดดังนี้

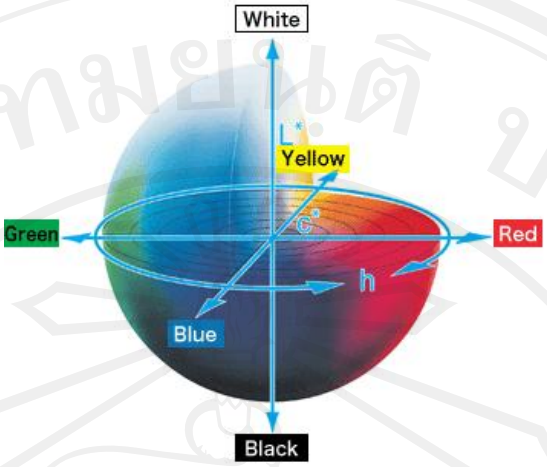
ค่า L* คือค่าความสว่างของสี เมื่อ L* มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่าวัตถุมีสีคล้ำ หากค่า L* เข้าใกล้ 100 แสดงว่าวัตถุมีสีสว่าง

ค่า C* คือค่าความอิ่มตัวหรือค่าโครมา (chroma) เข้าใกล้ 0 แสดงว่าวัตถุมีสีซีดจาง ถ้า C* มีค่าสูงแสดงว่าวัตถุมีสีเข้ม คำนวณได้จากสมการ $C^* = (a^2 + b^2)^{1/2}$

ค่า h^{o} เป็นค่าที่แสดงสีที่แท้จริงของวัตถุหรือค่าฮิว (Hue) เป็นการแสดงถึงมุมตกกระทบของค่า a* คำนวณในรูปขององศา ได้จากสมการ $h^{o} = \arctan(b^*/a^*)$ โดยค่า h^{o} มีค่าตั้งแต่ 0-360 องศา (ภาพ 9) ดังนี้

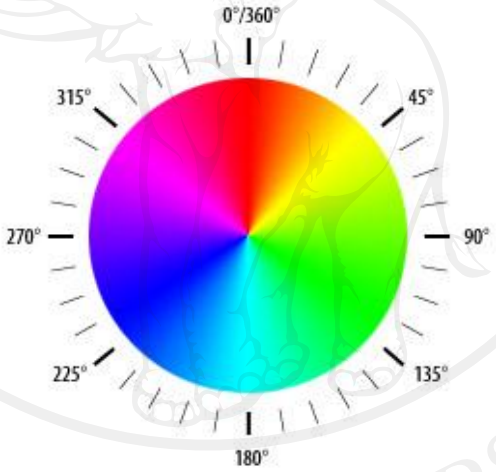
0-45 องศา แสดงสีม่วงแดงถึงส้มแดง
45-90 องศา แสดงสีส้มแดงถึงเหลือง
90-135 องศา แสดงสีเหลืองถึงเหลืองเขียว
135-180 องศา แสดงสีเหลืองถึงเขียว
180-225 องศา แสดงสีเขียวถึงน้ำเงินเขียว
225-270 องศา แสดงสีน้ำเงินเขียวถึงน้ำเงิน
270-315 องศา แสดงสีน้ำเงินถึงม่วง
315-360 องศา แสดงสีม่วงถึงม่วงแดง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 8 รายละเอียดของค่า L*, C* และ h^{o} ของเครื่องวัดสี

ที่มา: Konica Minolta Holdings, Inc. (2012)



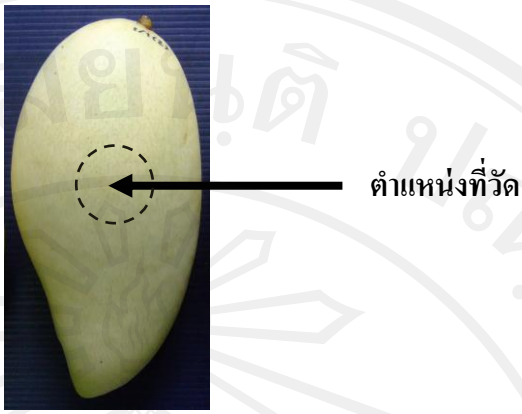
ภาพ 9 แผ่นเทียบสีของค่า hue angle color wheel

ที่มา: Spot Imaging Solutions, Inc. (2012)

2.3 ความแน่นเนื้อ (firmness)

นำผลมะม่วงมาเฉือนเปลือกออกประมาณ 2 มิลลิลิตรบริเวณกลางผลของทั้ง 2 ด้าน แล้วนำผลวัดความแน่นเนื้อด้วยเครื่อง firmness tester ยี่ห้อ Wagner รุ่น FT โดยใช้หัววัดทรงกระบอกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6 เซนติเมตร สำหรับผลดิบ และหัววัดทรงกระบอกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.1 เซนติเมตร สำหรับผลสุก กดหัววัดลงบนเนื้อผลบริเวณกลางผลลึกประมาณ 0.5 เซนติเมตร ซึ่งการวัดในแต่ละผลทำการวัดทั้งสองด้านบริเวณกลางผล (ภาพ 10) ค่าที่ได้นำมาคำนวณในหน่วยกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (kg/cm^2)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 10 ตำแหน่งการวัดสีและความแน่นเนื้อ

3. การเปลี่ยนแปลงทางเคมี

3.1 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (total soluble solids: TSS)

ปลอกเปลือกผลมะม่วงและนำเนื้อมะม่วงมาปั่นละเอียด เอาเนื้อส่วนที่ละเอียดคั้นด้วยผ้าขาวบาง แล้วกรองน้ำคั้นด้วยตะแกรงละเอียดอีกครั้งหนึ่ง นำน้ำคั้นที่ได้มาวัดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ด้วยเครื่อง digital refractometer ยี่ห้อ Pocket บริษัท ATAGO Japan รุ่น PR-101 ช่วงสเกล 0-45 เปอร์เซ็นต์ โดยก่อนที่จะทำการวัดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ให้ใช้น้ำกลั่นปรับสเกลให้เป็นศูนย์ก่อนวัดทุกครั้ง

3.2 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (titratable acidity: TA)

นำน้ำคั้นมะม่วงปริมาณ 2 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร ผสมกับน้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร นำมาไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มาตรฐาน 0.1 นอร์มัล โดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีน (phenolpthalene) 1 เปอร์เซ็นต์เป็นอินดิเคเตอร์ จำนวน 3 หยด เมื่อปริมาณกรดในน้ำคั้นถูกใช้ไปหมดแล้ว โซเดียมไฮดรอกไซด์ส่วนเกินจะทำปฏิกิริยากับฟีนอล์ฟทาลีน เกิดเป็นสารประกอบสีชมพูขึ้น ซึ่งถือว่าเป็นจุดยุติ (end point) แล้วนำค่าของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มาตรฐานที่ถูกใช้ไปมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์กรดที่ไทเทรตได้รูปของกรดซิตริก ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของกรดในผลมะม่วงต่อปริมาณน้ำคั้น 100 มิลลิลิตร จากสูตร

$$\text{ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (\%)} = \frac{\text{ความเข้มข้น NaOH (นอร์มัล) x ปริมาณ NaOH ที่ใช้ x 0.064* x 100}}{\text{ปริมาตรน้ำคั้นมะม่วง (มิลลิลิตร)}}$$

(คิดอยู่ในรูปกรดซิตริก)

หมายเหตุ: *milliequivalent weight of citric acid (anhydrous) = 0.064

3.3 อัตราส่วนของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TSS:TA ratio)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อัตราส่วนระหว่าง TSS:TA คำนวณได้จาก

$$\text{TSS:TA ratio} = \frac{\text{ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (\%TSS)}}{\text{ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (\%TA)}}$$

4. การยอมรับคุณภาพโดยรวมของผู้บริโภค

การประเมินใช้ผู้ชิมที่ผ่านการฝึกอบรมมาแล้วจำนวน 5 คน ซึ่งคัดเลือกไว้สำหรับชิมมะม่วงตลอดการทดลอง โดยผู้ชิมมีอายุระหว่าง 24-26 ปี โดยมีหลักการให้คะแนนการยอมรับแบบ 1-9 ที่เรียกว่า 9-point hedonic scale (Peacock *et al*., 1986) พิจารณาจากกลิ่นและรสชาติ เช่น รสชาติผิดปกติ กลิ่นหมัก/กลิ่นเปรี้ยวกรด ร่วมกับลักษณะที่ปรากฏภายนอก เช่น การเหี่ยวของผล เนื้อสัมผัส ความรุนแรงของการเกิดโรค สีเปลือกและสีเนื้อ ทั้งนี้จะให้ความสำคัญในแง่การเก็บรักษามากกว่าการยอมรับในการบริโภคผลสุก โดยมีเกณฑ์การให้คะแนนดังนี้

1 = ไม่ชอบมากที่สุด (dislike extremely)

2 = ไม่ชอบมาก (dislike very much)

3 = ไม่ชอบปานกลาง (dislike moderately)

4 = ไม่ชอบเล็กน้อย (dislike slightly)

5 = เฉยๆ (like nor dislike)

6 = ชอบเล็กน้อย (like slightly)

7 = ชอบปานกลาง (like moderately)

8 = ชอบมาก (dislike very much)

9 = ชอบมากที่สุด (dislike extremely)

7. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design; CRD) นำผลการทดลองที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน แล้วนำมาเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) วิเคราะห์ผลทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 17

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved