บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 เครื่องมือ

1. โถแก้วดูดความชื้น (desiccators)
2. Multi position heated magnetic stirrer (Labinco)
3. เครื่องชั่งสาร (Mettler Toledo 2 ตำแหน่ง รุ่น PB1502-S, 4 ตำแหน่ง รุ่น AB204-S ประเทศที่ผลิต Switzerland)
4. เครื่องวัดค่าความหนืด หรือ rapid viscosity analyzer : RVA (Newport Scientific รุ่น RVA-4)
5. ตู้อบลมร้อน (Memmert รุ่น UFB 500)
6. เครื่องอบแบบสุญญากาศ (Binder รุ่น VD 53)
7. เครื่องบดตัวอย่าง (Perten รุ่น 3303)
8. เครื่องวัดความชื้นแบบขดลวด (Sartorius รุ่น MA30)
9. เครื่องปิดผนึกแบบสุญญากาศ (Neo Pak รุ่น J-V002H)
10. เครื่อง gas chromatograph (Thermo Finigan รุ่น TRACE GC)
11. เครื่อง universal testing machine (Hounsfield รุ่น H1KS)
12. เครื่องวัดสี (HunterLab รุ่น Color Quest XE)
13. เครื่อง texture analyzer (TA.XT.plus รุ่น TA-XT2I/50)
14. เครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Atago รุ่น PAL-1)
15. เครื่อง automatic titrator (Schott รุ่น titroline easy M2-230V)
16. Data logger (Barnstead รุ่น ERTCO HiTemp102RH)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.2 อุปกรณ์

1. แท่งแม่เหล็กคนสาร (เส้นผ่านศูนย์กลาง 14 มิลลิเมตร ยาว 60 มิลลิเมตร)
2. ชุดเครื่องแก้ว เช่น บีกเกอร์ แท่งแก้วสำหรับคนสาร ฯลฯ
3. ภาชนะบรรจุใช้วิเคราะห์การดูดกลืนเอทิลีน
   - ขวดรูปชมพู่ขนาด 1,000 มิลลิลิตร
   - จุกยาง
   - สายยาง
   - septum

3.3 สารเคมี

1. ดินสอพอง
2. ก๊าซเอทิลีน (C_2H_4)
3. โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ($KMnO_4$)
4. แอมโมเนียมซัลเฟต [$(NH_4)_2SO_4$)]

3.4 สถานที่ดำเนินงาน

1. ห้องปฏิบัติการสถานวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว คณะบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
2. ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
3. ห้องปฏิบัติการภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.5 วิธีการดำเนินงาน

3.5.1 การทดลองที่ 1 ศึกษาอัตราส่วนผสมระหว่าง ดินสอพอง : น้ำ ที่เหมาะสมต่อการผลิตสารดูดกลืนเอทิลีน

วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) ประกอบด้วย 6 กรรมวิธี กรรมวิธีละ 3 ซ้ำ โดยผสมดินสอพองกับน้ำด้วยอัตราส่วน ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 ดินสอพอง : น้ำ ที่ 0.33 : 1 หรือ 1 : 3

กรรมวิธีที่ 2 ดินสอพอง : น้ำ ที่ 0.50 : 1 หรือ 1 : 2

กรรมวิธีที่ 3 ดินสอพอง : น้ำ ที่ 0.67 : 1 หรือ 2 : 3

กรรมวิธีที่ 4 ดินสอพอง : น้ำ ที่ 1 : 1

กรรมวิธีที่ 5 ดินสอพอง : น้ำ ที่ 1.50 : 1 (หรือ 3 : 2)

กรรมวิธีที่ 6 ดินสอพอง : น้ำ ที่ 2 : 1

นำดินสอพองชนิดผงจาก ตำบลทะเลชุบศร อำเภอเมือง จังหวัดลพบุรี มาทดสอบอัตราส่วนการผสมกับน้ำที่เหมาะสมต่อการผลิตสารดูดกลืนเอทิลีน โดยใช้ดินสอพองน้ำหนักคงที่ 500 กรัม ผสมกับน้ำที่อัตราส่วนต่างๆ ที่ magnetic stirrer จะสามารถคนให้เข้ากันได้ตามกรรมวิธีข้างต้น จากนั้นคนให้พอเข้ากันด้วยแท่งแก้วสำหรับคนสาร ก่อนนำไปคนด้วย magnetic stirrer เป็นเวลา 10 นาที จึงนำไปทดสอบความหนืด (viscosity) ด้วยเครื่องวัดค่าความหนืด โดยตั้งค่าการคนสารเริ่มต้นที่ 960 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 วินาที แล้วเริ่มต้นการวิเคราะห์ที่ 400 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที ณ อุณหภูมิคงที่ 30°ซ

3.5.2 การทดลองที่ 2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตสารดูดกลืนเอทิลีน

วางแผนการทดลองแบบ $4 \times 2 \times 3$ factorial in completely randomized design ประกอบด้วย 24 กรรมวิธีร่วม (treatment combinations) กรรมวิธีละ 3 ซ้ำ และแต่ละซ้ำทำการวัดค่าซ้ำ (repeat measures) 2 ครั้ง โดยมี 3 ปัจจัย ดังนี้

ปัจจัยที่ 1 ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ($KMnO_4$) มี 4 ระดับ คือ

1.1) 1% $KMnO_4$

1.2) 3% $KMnO_4$

1.3) 5% $KMnO_4$

1.4) 7% $KMnO_4$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปัจจัยที่ 2 ชนิดตู้อบ มี 2 ชนิด คือ

2.1) ตู้อบลมร้อน

2.2) เครื่องอบแบบสุญญากาศ

ปัจจัยที่ 3 อุณหภูมิที่ใช้อบ มี 3 ระดับ คือ

3.1) 150°ซ

3.2) 175°ซ

3.3) 200°ซ

นำสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ข้างต้น ผสมกับดินสอพองน้ำหนัก 500 กรัม ด้วยอัตราส่วนที่ดีที่สุดจากการทดลองที่ 1 คนด้วย magnetic stirrer เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 10 นาที แล้วนำไปอบด้วยตู้อบทั้ง 2 ชนิด ที่อุณหภูมิต่างๆ ข้างต้น ซึ่งในระหว่างการอบจะทำการกลับถาดทุกๆ 10-15 นาที เพื่อป้องกันตัวอย่างไหม้ และทำการสุ่มตัวอย่างมาวัดความชื้นด้วยเครื่องวัดความชื้นจนตัวอย่างมีความชื้นเหลือ 0.6-1.0 เปอร์เซ็นต์ จึงหยุดการอบ แล้วบันทึกระยะเวลาที่ใช้ในการอบ จากนั้นนำตัวอย่างไปบดด้วยเครื่องบดตัวอย่างและเก็บในถุงปิดผนึกแบบสุญญากาศ

การวิเคราะห์อัตราการดูดกลืนก๊าซเอทิลีน

นำตัวอย่างที่ได้ไปวัดอัตราการดูดกลืนก๊าซเอทิลีนโดยชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 15 กรัม บรรจุลงในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท (ภาพที่ 3.1) ใช้เข็มฉีดยาดูดก๊าซจากภาชนะบรรจุออกเท่ากับปริมาตรที่ต้องฉีดก๊าซเอทิลีนเข้าไปเพื่อให้ภายในภาชนะบรรจุมีก๊าซเอทิลีนเข้มข้น 800 ppm สำหรับการคำนวณปริมาตรก๊าซเอทิลีนสามารถคำนวณได้จาก

$$\text{ปริมาตรก๊าซ } C_2H_4 \text{ ที่ใช้ (ml)} = \frac{\text{head space (ml)} \times \text{ความเข้มข้นของ } C_2H_4 \text{ จากถัง(\%)} \times 1{,}000{,}000}{800 \text{ ppm}}$$

head space (ml) = ปริมาตรที่แท้จริงของภาชนะบรรจุ (ml) - ปริมาตรสารดูดกลืนเอทิลีน (ml)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่ 3.1 ภาชนะบรรจุสำหรับทดสอบอัตราการดูดกลืนก๊าซเอทิลีน

ทำการดูดตัวอย่างก๊าซเอทิลีนมาวิเคราะห์ปริมาณที่เหลืออยู่จากภาชนะบรรจุทุกๆ 1 นาที ใน 10 นาทีแรก ทุกๆ 5 นาทีใน 10 นาทีต่อมา และหลังจากนั้นทำการวัดทุกๆ 10 นาที จนครบ 100 นาที วิเคราะห์ผลเปรียบเทียบกับสารดูดกลืนเอทิลีนที่จำหน่ายในท้องตลาด 2 ชนิด ได้แก่ สารดูดกลืนเอทิลีนยี่ห้อ BeFresh และ Ethyl-Gone

สำหรับการวิเคราะห์ก๊าซเอทิลีนจะวิเคราะห์ด้วยเครื่อง gas chromatograph (Thermo Finigan รุ่น TRACE GC) โดยใช้ชุดตรวจวัด (detector) แบบ FID (flame ionization detector) ซึ่งระบบการทำงานเป็นระบบที่ใช้ก๊าซ helium เป็นก๊าซตัวนำพา (carrier gas) โดยจะพาเอาก๊าซตัวอย่างไหลผ่านคอลัมน์ (column) ซึ่งสารที่แยกจากคอลัมน์นี้จะถูกตรวจวัดเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าโดยใช้ชุดตรวจวัด (detector) และแปรผลการวิเคราะห์เป็นค่าต่างๆ ทางโครมาโทกราฟฟี โดยใช้ชุดประมวลผลวิเคราะห์ ซึ่งสามารถคำนวณหาปริมาณความเข้มข้นของส่วนต่างๆ ที่แยกได้ โดยเทียบกับก๊าซมาตรฐาน (standard gas) ที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน (ชลิต, 2540)

ส่วนประกอบของเครื่องประกอบด้วยส่วนฉีดก๊าซตัวอย่างเข้า (injection port) ใช้อุณหภูมิสำหรับการวิเคราะห์ 135°ซ ส่วนคอลัมน์ (column) หรือท่อวิเคราะห์สารใช้ capillary column ยี่ห้อ OV รุ่น OV1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 มิลลิเมตร ยาว 30 เมตร มี dimethylpolysiloxane เป็น stationary phase อุณหภูมิ 50°ซ สำหรับตัวจับสัญญาณ (detector) เป็นชนิด FID (flame ionization detector) ตั้งค่าการวิเคราะห์ที่อุณหภูมิ 150°ซ และตั้งระยะเวลาการวิเคราะห์เป็น 1 นาที ใช้ก๊าซ helium เป็นก๊าซตัวนำพาที่ความดันคงที่ 50 kPa

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.5.3 การทดลองที่ 3 ศึกษาบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับสารดูดกลืนเอทิลีนที่ผลิตขึ้น แบ่งการทดลองออกเป็น 2 การทดลองย่อย ดังนี้

3.5.3.1 การทดลองที่ 3.1 ศึกษาชนิดของกระดาษที่เหมาะสมต่อการใช้เป็นบรรจุภัณฑ์สารดูดกลืนเอทิลีน

ก. คุณสมบัติการซึมผ่านก๊าซเอทิลีน

วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) ประกอบด้วย 4 กรรมวิธี กรรมวิธีละ 3 ซ้ำ โดยบรรจุสารดูดกลืนเอทิลีนในซองที่ทำจากกระดาษชนิดต่างๆ ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 กระดาษพรูฟ

กรรมวิธีที่ 2 กระดาษสาแบบบาง

กรรมวิธีที่ 5 กระดาษทำโคม

กรรมวิธีที่ 4 ไม่ใส่บรรจุภัณฑ์ (ชุดควบคุม)

นำกระดาษทั้ง 3 ชนิด (ภาคผนวก ก) ทำเป็นซองขนาด 57 × 64 มิลลิเมตร (เท่ากับขนาดซองของสารดูดกลืนเอทิลีน BeFresh ที่จำหน่ายในท้องตลาด) บรรจุสารดูดกลืนเอทิลีนที่ผลิตขึ้น ตามกรรมวิธีที่เหมาะสมที่สุดจากการทดลองที่ 2 ในปริมาณ 10 กรัมต่อซอง จากนั้นปิดผนึกซองกระดาษ แล้วนำไปวิเคราะห์อัตราการดูดกลืนก๊าซเอทิลีนเช่นเดียวกับการทดลองที่ 2

ข. ความแข็งแรงและคุณสมบัติทางกายภาพของกระดาษ

วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) ประกอบด้วย กระดาษ 3 ชนิด ชนิดละ 10 ตัวอย่าง โดยกระดาษที่นำมาใช้ทดสอบ ได้แก่

1. กระดาษพรูฟ (ความหนา 0.0843 มิลลิเมตร)
2. กระดาษสาแบบบาง (ความหนา 0.0911 มิลลิเมตร)
3. กระดาษทำโคม (ความหนา 0.0390 มิลลิเมตร)

ตัดกระดาษแต่ละชนิดให้มีขนาด 25 × 150 มิลลิเมตร นำไปชั่งและบันทึกน้ำหนักเริ่มต้น แล้วนำไปไว้ในโถแก้วที่บรรจุสารละลายเกลืออิ่มตัว [$(NH_4)_2SO_4$] โดยวางไว้ที่อุณหภูมิห้องปกติ ซึ่งทำให้บรรยากาศภายในโถแก้วมีความชื้นสัมพัทธ์ 79 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นบันทึกการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักทุกๆ 2 วัน จนกระทั่งกระดาษอิ่มตัวด้วยความชื้นหรือมีน้ำหนักคงที่แล้วจึงนำไปวัดค่าแรงดึงขาด

นำตัวอย่างกระดาษในชุดเดียวกันไปทดสอบคุณสมบัติด้านความหนาและน้ำหนักต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (grammage) โดยใช้วิธีการตามมาตรฐาน TAPPI T 220 sp-01,

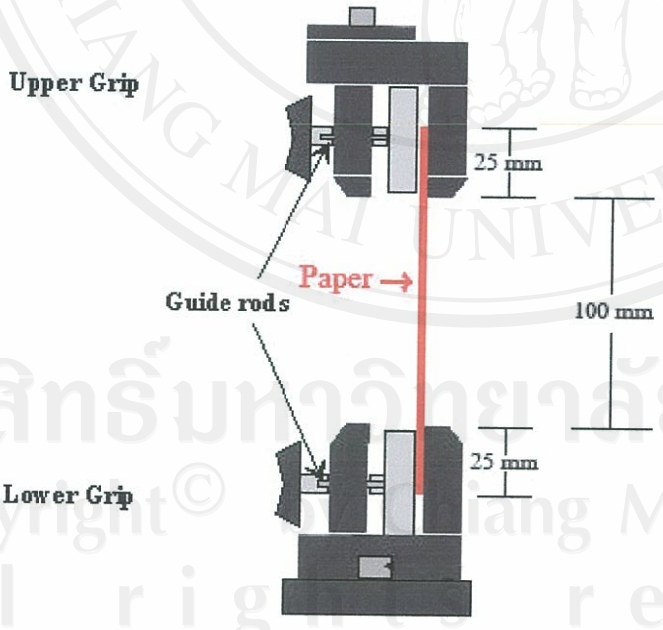
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ทดสอบคุณสมบัติการดูดซึมน้ำของกระดาษ (Cobb test) โดยใช้วิธีการตามมาตรฐาน TAPPI T 441 om-98 และนำตัวอย่างกระดาษไปถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope : SEM)

การทดสอบค่าแรงดึงขาด

นำกระดาษที่อิ่มตัว ณ ความชื้นสัมพัทธ์ 79 เปอร์เซ็นต์ ไปวัดค่าแรงดึงขาดด้วยเครื่อง universal testing machine ยี่ห้อ Hounsfield รุ่น H1KS ใช้ load cell รุ่น THE-1000N-207 ตั้งค่าความเร็วในการทดสอบที่ 25 มิลลิเมตร/นาที โดยให้ยึดจับกระดาษด้วยหัวยึดจับด้านบนและล่าง (upper and lower grip) ให้เหลือระยะห่างระหว่างหัวยึดจับ 100 มิลลิเมตร (ภาพที่ 3.2) แล้วเริ่มทำการทดสอบ จากนั้นบันทึกผลเป็นค่าแรงที่กระทำให้กระดาษเริ่มฉีกขาด (F-break) และรายงานผลเป็นค่า tensile index โดยคำนวณตามสูตร ดังนี้

$$\text{tensile index } (\text{N}\cdot\text{m/g}) = \frac{[\text{F - break (N)} \div \text{ความกว้างของตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ (m)}]}{\text{grammage } (\text{g/m}^2)}$$



ภาพที่ 3.2 ลักษณะการยึดจับกระดาษสำหรับการทดสอบแรงดึงขาดด้วยเครื่อง universal testing machine

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.5.3.2 การทดลองที่ 3.2 ศึกษาอัตราการดูดกลืนก๊าซเอทิลีนของสารดูดกลืนเอทิลีนในบรรจุภัณฑ์กับสารดูดกลืนเอทิลีนในท้องตลาด

วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) ประกอบด้วย 3 กรรมวิธี กรรมวิธีละ 3 ซ้ำ ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 สารดูดกลืนเอทิลีนที่ผลิตขึ้นในบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม

กรรมวิธีที่ 2 สารดูดกลืนเอทิลีน Befresh

กรรมวิธีที่ 3 สารดูดกลืนเอทิลีน Ethyl-Gone

นำสารดูดกลืนเอทิลีนที่ผลิตขึ้นตามกรรมวิธีที่เหมาะสมที่สุดจากการทดลองที่ 2 บรรจุในซองกระดาษที่เหมาะสมที่สุดจากการทดลองที่ 3.1 ในปริมาณ 10 กรัม ปิดผนึกในถุงพลาสติกชนิด oriented polypropylene (OPP) เจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6 มิลลิเมตร ด้วยเข็มฉีดยาเบอร์ 23 จำนวน 16 รู ต่อแถว รวมทั้งหมด 36 แถว โดยแต่ละรูห่างกัน 0.35 มิลลิเมตร (ตามขนาดและจำนวนรูของบรรจุภัณฑ์สารดูดกลืนเอทิลีน BeFresh) จากนั้นทำการฉีดก๊าซเอทิลีนเข้าไปในภาชนะที่ใช้ทดสอบให้มีความเข้มข้น 800 ppm เช่นเดียวกับการทดลองที่ 2 แล้วดูดตัวอย่างก๊าซเอทิลีนมาวิเคราะห์ปริมาณที่เหลืออยู่จากภาชนะบรรจุทุกๆ 5 นาที ใน 20 นาทีแรก ทุกๆ 10 นาที จนครบ 100 นาที และหลังจากนั้นทำการวัดทุกๆ 20 นาที จนครบ 300 นาที วิเคราะห์ผลเปรียบเทียบกับสารดูดกลืนเอทิลีนที่จำหน่ายในท้องตลาด 2 ชนิด ได้แก่ สารดูดกลืนเอทิลีนยี่ห้อ BeFresh และ Ethyl-Gone ในปริมาณบรรจุ 10 กรัม

3.5.4 การทดลองที่ 4 ศึกษาผลของสารดูดกลืนเอทิลีนต่ออายุการเก็บรักษากล้วยหอมทอง

วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) ประกอบด้วย 4 กรรมวิธี กรรมวิธีละ 3 ซ้ำ โดยใส่สารดูดกลืนเอทิลีนในกล่องกระดาษลูกฟูกที่บรรจุกล้วยหอมทอง ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 สารดูดกลืนเอทิลีนที่ผลิตขึ้น

กรรมวิธีที่ 2 สารดูดกลืนเอทิลีน BeFresh

กรรมวิธีที่ 3 สารดูดกลืนเอทิลีน Ethyl-Gone

กรรมวิธีที่ 4 ไม่ใส่สารดูดกลืนเอทิลีน (ชุดควบคุม)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารดูดกลืนเอทิลีน BeFresh : บริษัท Alpine Foods จำกัด
565 ถ.จรัญสนิทวงศ์ บางพลัด กรุงเทพฯ 10700 (02-8810611-7)

สารดูดกลืนเอทิลีน Ethyl-Gone : บริษัท Bio Safer จำกัด
99/220 ถ.เทศบาลสงเคราะห์ แขวงลาดยาว เขตจตุจักร
กรุงเทพฯ 10700 (02-8810611-7)

คัดเลือกกล้วยหอมทองที่ระยะเก็บเกี่ยวเพื่อการค้าที่มี ขนาด สี รูปร่าง และน้ำหนัก สม่ำเสมอกัน โดยจัดหามาจากสวนของเกษตรกรในหมู่บ้านวัดฝังหมิ่น อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย จากนั้นแบ่งกล้วยที่ใช้ทดลองออกเป็น 2 ชุด ได้แก่ ชุดวัดผลแบบทำลาย (destructive) และชุดวัดผลแบบไม่ทำลาย (non-destructive) สำหรับชุดวัดผลแบบทำลายจะใช้วัดค่าสีเปลือก การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (total soluble solid : TSS) และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (titrable acidity : TA) ส่วนชุดวัดผลแบบไม่ทำลายจะใช้วัดเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักและเปอร์เซ็นต์ผลสุกต่อหวี

บรรจุกล้วยหอมทอง 1 หวี ในกล่องกระดาษลูกฟูกแต่ละใบ โดยใช้กล่องกระดาษลูกฟูกที่มีมิติภายใน กว้าง × ยาว × สูง เท่ากับ 36.4 × 36.4 × 20.0 เซนติเมตร หรือมีปริมาตรเท่ากับ 26,499.2 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยคำนวณเปรียบเทียบให้มี head space ใกล้เคียงกับกล่องกระดาษลูกฟูกตามแบบ ศบท.1 (ภาคผนวก ข) ที่บรรจุกล้วยได้ประมาณ 10 กิโลกรัม ดังวิธีคำนวณที่บรรจุไว้ในภาคผนวก ค จากนั้นวางสารดูดกลืนเอทิลีนชนิดต่างๆ ในกล่องกระดาษลูกฟูกที่บรรจุกล้วยหอมทอง และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (อุณหภูมิเฉลี่ย 24.8°ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 42.7 เปอร์เซ็นต์) บันทึกข้อมูลการทดลองทุก 3 วัน ดังนี้

ก. อายุการเก็บรักษา

นับจำนวนผลกล้วยสุกในชุดวัดผลแบบไม่ทำลายในแต่ละหวี โดยสังเกตจากผิวเปลือกเปลี่ยนจากสีเขียวไปเป็นสีเหลืองไม่น้อยกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ของทั้งผล คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ผลสุกต่อทั้งหวี ดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์ผลสุกต่อหวี} = \frac{\text{จำนวนผลสุก}}{\text{จำนวนผลกล้วยทั้งหมดในแต่ละหวี}} \times 100$$

เมื่อกล้วยมีเปอร์เซ็นต์ผลสุกต่อหวีเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ ถือว่าหมดอายุการเก็บรักษา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

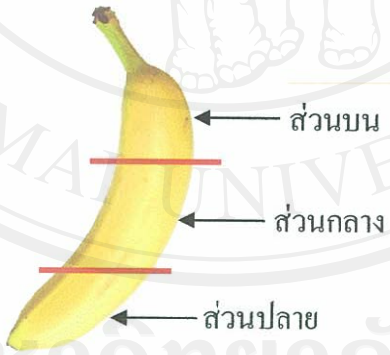
ข. เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด (weight loss)

ชั่งน้ำหนักกล้วยทั้งหวีในชุดวัดผลแบบไม่ทำลายของแต่ละกรรมวิธีทุกๆ 3 วัน และบันทึกการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสดตลอดการเก็บรักษา โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด ดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด} = \frac{\text{น้ำหนักเริ่มต้น} - \text{น้ำหนัก ณ วันที่ทำการทดลอง}}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น}} \times 100$$

ค. การเปลี่ยนแปลงสีเปลือก

สุ่มตัวอย่างกล้วยชุดวัดผลแบบทำลายจากกรรมวิธีต่างๆ โดยตัดผลกล้วยจากตำแหน่งด้านข้างของหวีทั้งสองด้านและตำแหน่งตรงกลางหวี ตำแหน่งละ 2 ผล มาวัดการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกของกล้วยในชุดวัดผลแบบทำลาย ด้วยเครื่องวัดสี HumterLab รุ่น Color Quest XE โดยใช้แหล่งกำเนิดแสง (illuminant) D65 ที่ตำแหน่ง ส่วนบน ส่วนกลาง และส่วนปลายของผลกล้วย (ภาพที่ 3.3) ซึ่งแต่ละตำแหน่งทำการวัด 2 ด้าน (ตรงข้ามกัน) จากนั้นนำค่าสีทุกตำแหน่งมาเฉลี่ยกัน ค่าที่ได้จากการวัดแสดงเป็นค่า L*, a*, b*



ภาพที่ 3.3 ตำแหน่งการวัดสีของกล้วย

โดยค่า L* = the lightness factor (value)

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

นำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่า chroma (C*) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงให้เห็นถึงความอิ่มตัวของสีจากสมการดังนี้ (McGuire, 1992)

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

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

คำนวณหาค่า hue angle (h°) ที่เป็นค่าแสดงถึงมุมในการตกกระทบของค่า a* ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0-360 องศา จากสมการดังนี้ (McGuire, 1992)

THETA = (arctangent (b*/a*) / 6.2832 × 360)

ถ้า $a > 0$ และ $b > 0$; ค่า h° = THETA

ถ้า $a < 0$ และ $b > 0$; ค่า h° = 180 + THETA

ถ้า $a < 0$ และ $b < 0$; ค่า h° = 180 + THETA

ถ้า $a > 0$ และ $b < 0$; ค่า h° = 360 + THETA

เมื่อ L* เป็นค่าความสว่าง ถ้าค่า L* มีค่าเข้าใกล้ 0 หมายถึงวัตถุมีสีทึบ ถ้าค่า L* เข้าใกล้ 100 แสดงว่าวัตถุมีสีสว่าง

a* เป็นค่าที่แสดงถึงสีแดงและสีเขียว ถ้าค่า a เป็นบวก (+) วัตถุมีสีออกแดง แต่ถ้าค่า a เป็นลบ (-) วัตถุจะมีสีเขียว โดยมีค่าระหว่าง -60 ถึง +60

b* เป็นค่าที่แสดงถึงสีเหลืองและสีน้ำเงิน ถ้าค่า b เป็นบวก (+) วัตถุมีสีออกเหลือง แต่ถ้าค่า b เป็นลบ (-) วัตถุจะมีสีออกน้ำเงิน โดยมีค่า -60 ถึง +60

ง. การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อ (firmness)

ปอกเปลือกกล้วย และนำไปวัดการเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อด้วยเครื่อง texture analyzer TA.XT. plus รุ่น TA-XT2I/50 ใช้ load cell 50 กิโลกรัม หัววัดทรงกระบอกขนาด 6 มิลลิเมตร (cylinder P6) ตั้งค่าการทดสอบให้หัววัดกดลงบนเนื้อผลกล้วยเท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์ ของเส้นผ่านศูนย์กลางผล (50% strain) โดยในขณะทดสอบให้หัววัดเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 2 มิลลิเมตร/นาที (ดัดแปลงจาก Boudhrioua *et* al., 2002) ซึ่งการวัดในแต่ละผลทำการวัดทั้งหมด 3 ตำแหน่ง ได้แก่ ส่วนบน ส่วนกลาง และส่วนปลาย ของผลกล้วยด้านใดด้านหนึ่ง บันทึกผลเป็นค่าแรงสูงสุดที่กระทำ (max. force) มีหน่วยเป็นนิวตัน (Newton : N)

จ. ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (total soluble solid : TSS)

ปอกเปลือกกล้วยและปั่นละเอียดรวมกันทุกผลในซ้ำเดียวกัน จากนั้นชั่งเนื้อกล้วย 25 กรัม ผสม น้ำ 100 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน แล้วนำสารละลายส่วนที่ได้ไปวัดปริมาณ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ของแข็งที่ละลายได้ โดยหยดลงบนเครื่อง refractometer ยี่ห้อ Atago รุ่น PAL-1 บันทึกค่าและคำนวณกลับเป็นเปอร์เซ็นต์จาก (ดัดแปลงจาก มาลี, 2544)

ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (%) = ค่าที่อ่านได้จาก refractometer × 4

ฉ. ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (titrable acidity : TA)

นำกล้วยชุดวัดผลแบบทำลายจากกรรมวิธีต่างๆ ปอกเปลือกและปั่นละเอียดรวมกันทุกผลในซ้ำเดียวกัน จากนั้นชั่งตัวอย่างในแต่ละซ้ำ 25 กรัม ซ้ำละ 3 ตัวอย่าง ผสมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร นำไปไทเทรตด้วยเครื่อง automatic titrator (ยี่ห้อ Schott รุ่น titroline easy M2-230V) โดยปรับค่า pH ด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ pH 7 และ pH 10 ทำการไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มาตรฐาน 0.1 N จนกระทั่งถึงจุดยุติ (end point) ที่ค่า pH 8.2 บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ แล้วนำมาคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์กรดที่ไทเทรตได้ดังนี้

$$\text{ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (\%)} = \frac{\text{NaOH (ml)} \times \text{NaOH (N)} \times \text{equi. wt. of acid} \times 100}{1{,}000 \times 25 \text{ ml}}$$

โดยที่ NaOH (ml) คือ ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)

NaOH (N) คือ normality ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (นอร์มัล)

equi. wt. of acid คือ equivalent weight ของกรดที่มีมากที่สุด (predominant acid) ในผลไม้ชนิดนั้นๆ

predominant acid ของกล้วย คือ กรดมาลิค มี equivalent weight เท่ากับ 67

3.6 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้ตาราง Analysis of Variance (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Least Significant Difference (LSD) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Statistix version 8.0

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved