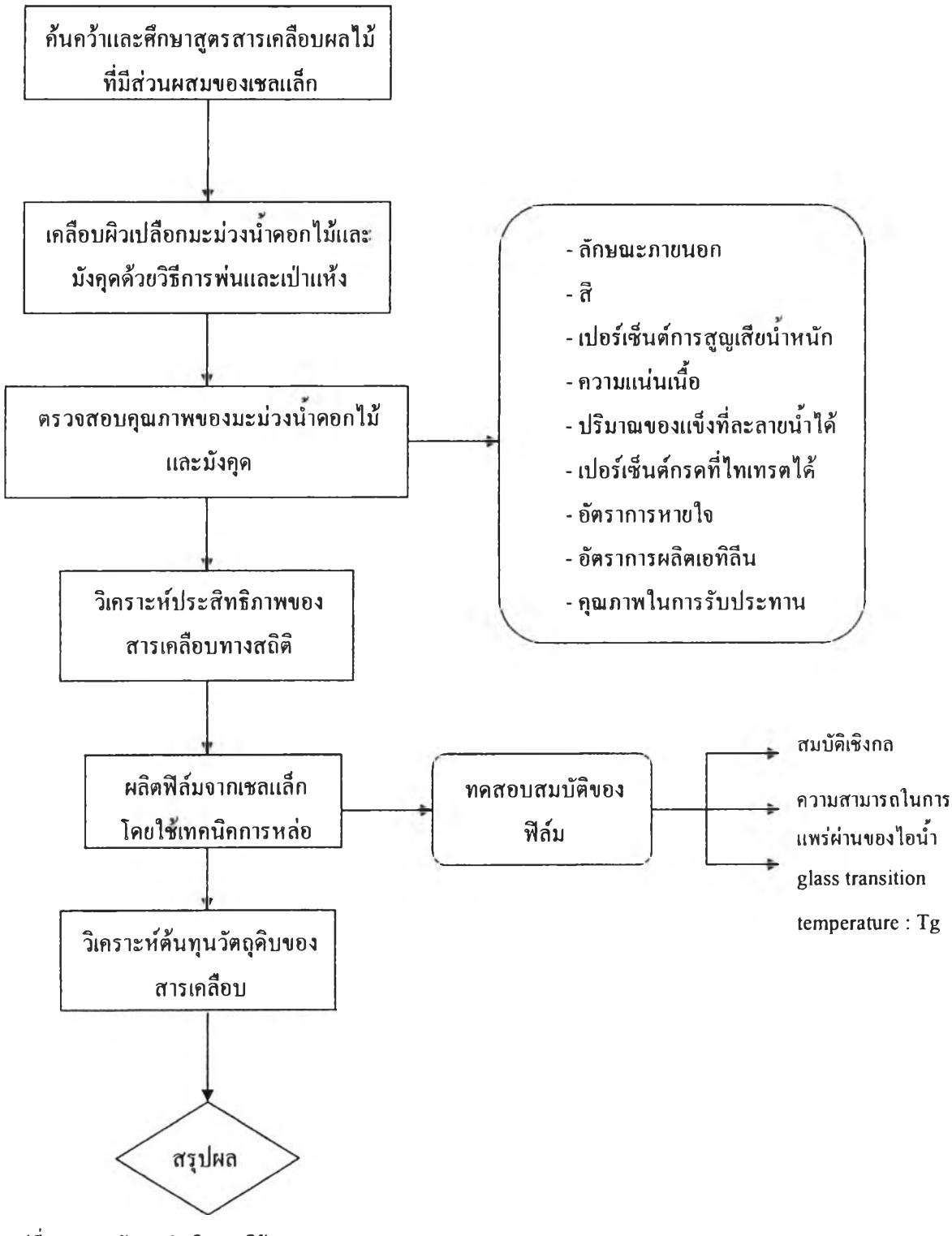
บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

3.1 การดำเนินงานวิจัย

1. ค้นคว้าข้อมูลลักษณะและสมบัติต่างๆ ของมะม่วงน้ำดอกไม้และมังคุด รวมทั้งรายงานผลการทดสอบการเคลือบผลไม้ด้วยสารละลายเซลแล็กสูตรต่างๆ เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาใช้เป็นพื้นฐานในการออกแบบสูตรสารเคลือบที่เหมาะสม
2. ประเมินความสามารถในการยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงน้ำดอกไม้และมังคุด โดยทดสอบคุณสมบัติในการยืดอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาผลไม้ชนิดนั้น คืออุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียสสำหรับมังคุด และ 12 องศาเซลเซียสสำหรับมะม่วงน้ำดอกไม้ เปรียบเทียบกับผลไม้ที่ไม่ได้เคลือบ โดยใช้ดัชนีต่างๆในการตรวจสอบคุณภาพของผลไม้ คือ ลักษณะภายนอก สี เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก (%weight loss) ความแน่นเนื้อ (firmness) ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (total soluble solid content, TSS) เปอร์เซ็นต์กรดที่ไทเทรตได้ (% titratable acidity) อัตราการหายใจ การผลิตเอทิลีน และความพอใจของผู้บริโภค (การชิม)
3. ผลิตฟิล์มจากเซลแล็กโดยใช้เทคนิคการหล่อฟิล์ม (film casting) และศึกษาลักษณะทางกายภาพ โดยศึกษาสมบัติทางกลของฟิล์ม ได้แก่ ความสามารถในการทนแรงดึง ความสามารถในการแพร่ผ่าน (permeability) ของไอน้ำ อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Tg) ของฟิล์ม
4. วิเคราะห์ต้นทุนในทางเศรษฐศาสตร์ โดยศึกษาราคา (cost) ของวัตถุดิบที่จะนำไปผลิตสารเคลือบเซลแล็กที่ให้ผลดีที่สุดสำหรับผลไม้ทั้งสองชนิด

โดยสรุปแผนการดำเนินงานวิจัยดังแผนผังดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนผังการดำเนินงานวิจัย

3.2 วัตถุดิบ สารเคมี และอุปกรณ์ในการวิจัย

3.2.1. วัตถุดิบและสารเคมี

3.2.1.1 วัตถุดิบ

มังคุดระยะที่ 3 จากสวนนายสมชาย จังหวัดระยอง คัดขนาด (75-95 กรัมต่อผล) สีผิวและความสมบูรณ์ของกลีบเลี้ยง

มะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง อายุประมาณ 110-120 วันหลังดอกบาน จากสวนของคุณวิเชียร มงคล กิ่งอำเภอคลองเขื่อน จังหวัดฉะเชิงเทรา

3.2.1.2 สารเคมี

-เซลแล็กขาวเกรดอาหาร ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท เอกเซลแลคส์ จำกัด

-สารเคลือบผิวผลไม้ทางการค้า Teva ได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัท เอกเซลแลคส์ จำกัด

-สารเคลือบผิวผลไม้ที่เตรียมได้จากห้องปฏิบัติการ

-โซเดียมไฮดรอกไซด์เกรดอุตสาหกรรม

-พอลิเอทธิลีน ไกลคอล (Polyethylene glycol; PEG) น้ำหนักโมเลกุล 4000 เกรดวิเคราะห์ จากบริษัท Fluka

-กรดโอลิอิก เกรดห้องปฏิบัติการ จากบริษัท PA (Panreac)

-น้ำมันซิลิโคน (Silicone oil) เกรดห้องปฏิบัติการ จากบริษัท Ajax

-สารละลายแอมโมเนีย 30% เกรดห้องปฏิบัติการ จากบริษัท PA (Panreac)

-น้ำกลั่น

-สารละลายแอลกอฮอล์เข้มข้น 70 %w/w สำหรับทำความสะอาดพื้นผิวต่างๆ

-สารละลายคลอรีน 100 mg/l ในน้ำประปา สำหรับทำความสะอาดผลไม้

-สารฆ่าเชื้อรา Amista (ชื่อทางการค้า)

3.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

-เครื่องกวนสารด้วยแรงแม่เหล็ก รุ่น RCT basic บริษัท Ika Laboratechnik, Germany

-เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง รุ่น MP220 บริษัท Mettler Toledo, Switzerland

-เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (4-digit balance) บริษัท Mettler Toledo, Switzerland

-เครื่องมือวัดสียี่ห้อ CE MINOLTA รุ่น CR-300, Japan

-เครื่องมือวัดความแน่นเนื้อรุ่น Effegi, Italy

-Hand refractometer ยี่ห้อ ATAGO N1 (Brix 0-32%), Japan

-Gas chromatography ยี่ห้อ SHIMADZU รุ่น GC-8A ของบริษัท SHIMADZU CORPORATION, Japan

-แผงควบคุมการไหลของอากาศ (Flow board)

- กาพ่นสี ยี่ห้อ STAR ประเทศไทย

- Micrometer ยี่ห้อ Fowler 0-25 0.01, England

- Differential Scanning Calorimeter, DSC รุ่น DSC822^e บริษัท Mettler Toledo, Switzerland

- Universal Testing Machine ยี่ห้อ INSTRON รุ่น 5567, USA.

- เครื่องวัดความหนืด รุ่น Rhelolab MC 1 บริษัท เมโทร์มสยาม, Japan

- อุปกรณ์เครื่องแก้ว

3.3 สารเคลือบเชลแล็กที่ใช้ในงานวิจัย

จากการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับสารเคลือบที่ใช้กับผลไม้ จึงเลือกสูตรสารเคลือบที่จะนำมาทดสอบสมบัติของฟิล์มดังนี้

ตารางที่ 3.1 องค์ประกอบของสูตรสารเคลือบในหน่วยเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

สูตร	Shellac	Ammonia	Water	Oleic acid	PEG	Antifoam	Oxidize PE
Lab-a	15	0.84	83.16	1	-	-	-
Lab-b	15	0.739	73.16	1	10	0.1	-
Lab-c	10	0.89	88.11	1	-	-	-
Lab-d	5	0.94	93.06	1	-	-	-
Teva	●			-	-	-	●

หมายเหตุ สารเคลือบสูตรทางการค้า (Teva) มีส่วนผสมของเชลแล็ก และออกซิไดซ์พอลิเอทิลีน เป็นองค์ประกอบหลัก (เอกสารทางการค้าของสารเคลือบ Teva ไม่ได้บอกองค์ประกอบที่ชัดเจน)

สารเคลือบสูตร Lab-a และ Lab-b ใช้ในการทดสอบเคลือบมังคุดเปรียบเทียบกับสูตรทางการค้า (Teva) และสารเคลือบสูตร Lab-a และ Lab-c ใช้ในการทดสอบเคลือบมะม่วงน้ำดอกไม้เปรียบเทียบกับสารเคลือบทางการค้า (Teva) สารเคลือบสูตร Lab-d เตรียมเพื่อใช้ทดสอบสมบัติของฟิล์มเพื่อเป็นข้อมูลในการปรับปรุงสูตรต่อไป

3.4 การออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของสารเคลือบเชลแล็ก

การออกแบบการทดลองในการเคลือบเปลือกมะม่วงน้ำดอกไม้และมังคุด โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design, CRD) (สายชล สินสมบูรณ์ทอง, 2546) ทำการทดลองที่สองสภาวะคือที่อุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ 70± 5 และอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการเก็บรักษาคือที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 86 ± 2% สำหรับมังคุด และอุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 86 ± 2% สำหรับมะม่วง เนื่องจากเป็นสภาวะที่เหมาะสมกับการเก็บรักษามังคุดและมะม่วง (จริงแท้ ศิริพานิช, 2541) การทดลองจะเคลือบเปลือกผลไม้ทั้งสองชนิด โดยการพ่น (spray) ด้วยกาพ่นสีเพื่อป้องกันให้เกิดการบอบช้ำน้อยที่สุด และเป็นวิธีที่นิยมใช้ในการเคลือบผิวผลไม้ในระดับอุตสาหกรรมทั่วไป ออกแบบการทดลองโดยการใช้สารเคลือบ 3 สูตรที่มีสารเติมแต่งแตกต่างกันแต่มีองค์ประกอบหลักคือเชลแล็ก เปรียบเทียบกับผลที่ไม่ได้เคลือบโดยแบ่งกลุ่มการทดลองดังนี้

กลุ่มการทดลองสำหรับมังคุด (ทรีทเมนต์)

1. มังคุดที่ไม่ได้เคลือบ (Control)
2. มังคุดที่เคลือบด้วยสารละลายเชลแล็กที่เตรียมได้จากห้องปฏิบัติการ (Lab-a)
3. มังคุดที่เคลือบด้วยสารละลายเชลแล็กที่เตรียมได้จากห้องปฏิบัติการ (Lab-b)
4. มังคุดที่เคลือบด้วยสารละลายเชลแล็กทางการค้า (Teva)

กลุ่มการทดลองสำหรับมะม่วง (ทรีทเมนต์)

1. มะม่วงที่ไม่ได้เคลือบ (Control)
2. มะม่วงที่เคลือบด้วยสารละลายเชลแล็กที่เตรียมได้จากห้องปฏิบัติการ (Lab-a)
3. มะม่วงที่เคลือบด้วยสารละลายเชลแล็กที่เตรียมได้จากห้องปฏิบัติการ (Lab-c)
4. มะม่วงที่เคลือบด้วยสารละลายเชลแล็กทางการค้า (Teva)

ทำการทดลองทั้งหมด 4 ซ้ำโดยบันทึกการเปลี่ยนแปลงสีเนื้อ เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก ความแน่นเนื้อ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ เปอร์เซ็นความเป็นกรด อัตราการหายใจ การผลิตก๊าซเอทิลีน และคุณภาพในการรับประทาน จากนั้นทำการวิเคราะห์ความแตกต่างโดยใช้ความแตกต่างทางสถิติแบบ ANOVA ที่ความเชื่อมั่น 95% (รายละเอียดการวิเคราะห์ทางสถิติดูได้ในภาคผนวก ข)

3.5 การทดสอบประสิทธิภาพของสารเคลือบเชลแล็ก

3.5.1 การเตรียมผลไม้ก่อนการเคลือบ (pretreatmemt)

3.5.1.1 มังคุด (ทำการทดลองระหว่างวันที่ 10 พ.ค. 48 ถึง 10 มิ.ย. 48)

ทำความสะอาดผิวมังคุดก่อนการเคลือบด้วยสารละลายคลอรีนเข้มข้น 100 ส่วนต่อล้านส่วน เพื่อฆ่าเชื้อ โดยใช้ฟองน้ำเช็ดที่ผิวเบาๆ เพื่อกำจัดสิ่งสกปรกและยางมังคุดด้วยความระมัดระวังไม่ให้ผิวบอบช้ำจากนั้นวางผึ่งให้แห้ง (ชุลีพร พูลสวัสดิ์, 2531)

3.5.1.2 มะม่วงน้ำดอกไม้ (ทำการทดลองระหว่างวันที่ 10 ธ.ค. 48 ถึง 10 ม.ค. 49)

1. คัดเลือกมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้อายุ 110-120 วันหลังจากดอกบานที่ซื้อจากสวนมะม่วงของคุณวิเชียร คัดผลที่มีขนาดและน้ำหนักใกล้เคียงกัน และผลมีความบริบูรณ์ โดย ทดสอบด้วยวิธีการนำไปลอยในน้ำ แล้วเลือกผลที่จมน้ำ (ผลมะม่วงที่จมน้ำ แสดงว่า มีความบริบูรณ์)

2. นำมะม่วงที่ผ่านการคัดเลือกแล้วมาตัดขั้ว แล้วคว่ำผลมะม่วงลงบนกระสอบทราย หรือหนังสือพิมพ์ที่สะอาด เพื่อให้น้ำยางแห้งประมาณ 3-4 ชั่วโมง

3. ทำความสะอาดผิวมะม่วงก่อนการเคลือบด้วยสารละลายคลอรีนเข้มข้น 200 mg/l เพื่อฆ่าเชื้อ โดยใช้ฟองน้ำเช็ดที่ผิวมะม่วงเบา ๆ ระวังไม่ให้ผิวของมะม่วงบอบช้ำ

4. นำมะม่วงที่ล้างแล้วแช่น้ำอุ่นที่อุณหภูมิ 52^{0}C เป็นเวลา 5 นาที (กรมวิชาการเกษตร เกษตรดีที่เหมาะสม สำหรับ มะม่วง, 2547) แล้วนำไปแช่ในน้ำยา Amista 250 ppm เพื่อป้องกันโรคแอนเทรคโนส จากนั้นเป่าด้วยพัดลมให้แห้งสนิท (ใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง)

3.5.2 การเคลือบ

3.5.2.1 การเคลือบมังคุด

การเคลือบมังคุดใช้วิธีการพ่นโดยใช้กาพ่นสีที่ฆ่าเชื้อโรคด้วยสารละลายแอลกอฮอล์เข้มข้น 70 %w/w ก่อนและหลังใช้งาน

1. ชั่งน้ำหนักมังคุด 2 ก.ก. วางเรียงกันบนถาด
2. ตวงสารเคลือบ 40 มิลลิลิตร
3. ต่อกาพ่นสีเข้ากับปั๊มลม พ่นสารเคลือบเป็นละอองขนาดเล็กเคลือบลงบนผิวของผลไม้ที่วางเรียงกันให้ทั่วทั้งผล โดยจับที่ขั้วของผลมังคุดแล้วพ่นให้รอบผล
4. เป่าด้วยพัดลมจนสารเคลือบแห้งสนิท (ประมาณ 1 ชม.)
5. ให้สัญลักษณ์สารเคลือบแต่ละทรีทเมนต์ด้วยการพันด้ายสีต่างๆ ที่ขั้วผลของมังคุด

3.5.2.2 การเคลือบมะม่วง

การเคลือบมะม่วงใช้วิธีการพ่นโดยใช้กาพ่นสีที่ฆ่าเชื้อโรคด้วยสารละลายแอลกอฮอล์เข้มข้น 70 %w/w ก่อนและหลังใช้งาน

1. ชั่งน้ำหนักมะม่วง 2 ก.ก. วางเรียงกันบนถาด
2. ตวงสารเคลือบ 40 มิลลิลิตร
3. ต่อกาพ่นสีเข้ากับปั๊มลม พ่นสารเคลือบเป็นละอองขนาดเล็กเคลือบลงบนผิวของผลไม้ที่วางเรียงกันอยู่ที่ละด้าน
4. เป่าด้วยพัดลมจนสารเคลือบแห้งสนิท (ประมาณ 2 ชั่วโมง)
5. ให้สัญลักษณ์สารเคลือบแต่ละทรีทเมนต์

3.5.3 การเก็บรักษา

3.5.3.1 การเก็บรักษามังคุด

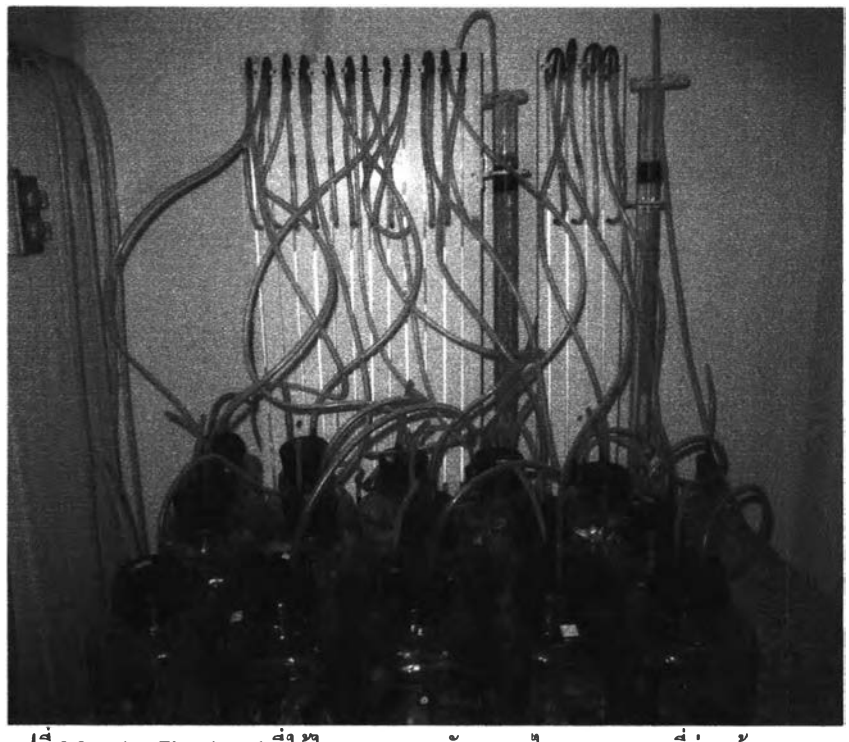
1. การเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

1.1 เก็บมังคุดที่แห้งแล้วไว้ในลังกระดาษลูกฟูกสีน้ำตาลขนาด 28.5x39.5x10 cm^3 ลังละ 24 ผล ที่อุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ 70±5 %

1.2 แบ่งมังคุดทรีทเมนต์ละ 12 ผล (4 ทรีทเมนต์=36 ผล) สำหรับใช้วัดอัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีน โดยใส่มังคุดลงในโหลแก้ว โหลละ 3 ผล จากนั้นต่อ Flow board เข้ากับโหลแก้วที่เก็บมังคุดเพื่อควบคุมอัตราการไหลของอากาศผ่านท่อที่มีรูขนาดเล็กที่มีการวัดอัตราการไหลของอากาศมาก่อนแล้ว เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ 70±5 %

2. การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 ^0C

การแบ่งมังคุดตามทรีทเมนต์ต่างๆ และภาชนะ อุปกรณ์ที่ใช้ทดลองเป็นไปตามหัวข้อการเก็บรักษามังคุดที่อุณหภูมิห้อง แต่ใช้อุณหภูมิในการเก็บรักษาเท่ากับ 13 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 86±2 %



รูปที่ 3.2 แสดง Flow board ที่ใช้ในการควบคุมอัตราการไหลของอากาศที่ผ่านเข้าออก

3.5.3.2 การเก็บรักษามะม่วง

1. การเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

1.1 เก็บมะม่วงที่แห้งแล้วไว้ในลังกระดาษลูกฟูกสีน้ำตาลขนาด 28.5x39.5x10 cm^3 ที่อุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ 70±5 % ลังละ 20-25 ผล

1.2 แบ่งมะม่วงทรีทเมนต์ละ 8 ผล (4 ทรีทเมนต์=32 ผล) สำหรับใช้วัดอัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีน โดยชั่งน้ำหนักมะม่วงลงในโหลแก้ว โหลละ 2 ผล จากนั้นต่อ flow board เข้ากับโหลแก้วที่เก็บมะม่วงเพื่อควบคุมอัตราการไหลของอากาศผ่านท่อที่มีรูขนาดเล็กที่มีการวัดอัตราการไหลของอากาศมาก่อนแล้ว เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ 70±5 %

2. การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12°C

การแบ่งมะม่วงตามทรีทเมนต์ต่าง ๆ และภาชนะ อุปกรณ์ที่ใช้ทดลองเป็นไปตามหัวข้อการเก็บรักษามะม่วงที่อุณหภูมิห้องแต่ใช้อุณหภูมิในการเก็บรักษาเท่ากับ 12 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 86±2 %

3.5.4 การวัดผล

หลังจากเคลือบผิวเปลือกผลไม้ด้วยสารละลายเซลแล็กสูตรต่าง ๆ แล้ว ผลไม้จะถูกนำมาทดสอบลักษณะทางกายภาพและทางเคมี เพื่อเปรียบเทียบกันดังนี้

3.5.4.1 ลักษณะภายนอก

ลักษณะภายนอกของมังคุดและมะม่วงทุกทรีทเมนต์ ถูกนำมาเปรียบเทียบกันด้วยการถ่ายรูป โดยนำมังคุดและมะม่วงแต่ละกลุ่มออกมาจากตู้เย็น แล้วเป่าด้วยพัดลมให้แห้งก่อนจะมาถ่ายรูป โดยนำมังคุดแต่ละกลุ่มมาวางเปรียบเทียบกัน โดยใช้กล้องดิจิตอล Sony รุ่น DSC – P8 เพื่อถ่ายรูปเก็บไว้เปรียบเทียบทุก 1 สัปดาห์สำหรับมังคุดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 ^{0}C และมะม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 ^{0}C และทุก 3 วันสำหรับมังคุดและมะม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

3.5.4.2 การวัดสี

สีของมังคุดวัดการเปลี่ยนแปลงสีของผิวผล และสีของกลีบเลี้ยง สำหรับมังคุดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 ^{0}C วัดผลทุก 1 สัปดาห์ ส่วนมังคุดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องวัดผลทุก 3 วันด้วยเครื่องวัดสี CE MINOLTA รุ่น CR-300

สีของมะม่วงวัดการเปลี่ยนแปลงสีของผิวเปลือก (โดยแสดงค่า L a และ b) และสีเนื้อ (โดยแสดงค่า L a และ b) สำหรับมะม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 ^{0}C วัดผลทุก 1 สัปดาห์ ส่วนมะม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องวัดผลทุก 3 วันด้วยเครื่องวัดสี CE MINOLTA รุ่น CR-300 (เอกสารประกอบการฝึกอบรมวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวพืชสวน, 2547)

3.5.4.3 การสูญเสียน้ำหนัก

เนื่องจากผลไม้ทุกชนิด หลังจากที่ทำการเก็บเกี่ยวมาแล้ว จะมีการสูญเสียน้ำออกไปอยู่ตลอดเวลา ซึ่งนอกจากจะทำให้ผลไม้เหี่ยวเฉา และลักษณะเนื้อสัมผัสเปลี่ยนไปแล้ว ยังทำให้มีน้ำหนักลดลง ซึ่งมีผลโดยตรงต่อราคาขายของผลไม้ ซึ่งใช้น้ำหนักเป็นเกณฑ์ โดยจะมีวิธีการวิเคราะห์ดังนี้ (เอกสารประกอบการฝึกอบรมวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวพืชสวน, 2547)

- ชั่งน้ำหนักเริ่มต้นของมังคุดและมะม่วงในวันที่เคลือบ (วันที่ 0)
- ชั่งน้ำหนักของมังคุดและมะม่วงภายหลังจากการเก็บรักษา โดยแบ่งออกได้ 2 กรณีคือ กรณีที่ 1 มังคุดและมะม่วงที่เก็บรักษาอุณหภูมิห้องชั่งน้ำหนักในวันที่ 3 6 9 และ 12 วัน และกรณีที่ 2 มังคุดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 ^{0}C และมะม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 ^{0}C ชั่งน้ำหนักทุกๆ 7 วันคือ วันที่ 7 14 21 และ 28 ตามลำดับ
- รายงานผลเป็นเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก (% weight loss) โดยคำนวณได้จากสูตร

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

3.5.4.4 ความแข็งเปลือกของมังคุด หรือความแน่นเนื้อของมะม่วง

การวัดค่าความแข็งเปลือก ใช้เครื่องมือที่เรียกว่า firmness tester รุ่น Effegi โดยใช้หัวรับแรงกดขนาดต่าง ๆ โดยมีวิธีการวิเคราะห์ดังนี้

1. ใช้หัวรับแรงกดรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร กดลงไปในเนื้อเปลือกของผลมังคุด ในระยะห่างจากผิวที่กำหนดแล้วอ่านค่า ทำซ้ำผลละ 2 จุด เพื่อหาค่าเฉลี่ย

2. แปลงค่าแรงกดที่ได้จาก กิโลกรัมเป็นนิวตัน (โดยคูณด้วย 9.81)

สำหรับการวัดความแน่นเนื้อของมะม่วงวัดโดยเฉือนเปลือกมะม่วงออก แล้วใช้หัวรับแรงกด กดลงไปในเนื้อแทน แล้วแปลงค่าแรงกดเหมือนกับของมังคุด(เอกสารประกอบการฝึกอบรมวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวพืชสวน, 2547)

3.5.4.5 การวัดปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ (Total Soluble Solid Content, TSS)

การวัดค่า TSS ของผลไม้ เป็นดัชนีบ่งชี้ความสุกของผลไม้ตัวหนึ่ง โดยเมื่อผลไม้เริ่มสุก แป้งจะมีการเปลี่ยนแปลงกลายเป็นน้ำตาลซึ่งสามารถละลายน้ำได้ โดยเราสามารถวัดค่าปริมาณน้ำตาลที่เพิ่มขึ้นได้โดยใช้ Hand Refractometer ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่วัดค่าน้ำตาลในสารละลายโดยอาศัยหลักการหักเหของแสง โดยค่าที่อ่านได้จะเรียกว่าค่าองศาบริกซ์ (^{0}Brix) ซึ่งจะมีค่าเท่ากับความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดในสารละลาย ซึ่งส่วนมากก็คือน้ำตาล โดยมีวิธีการดังนี้ (เอกสารประกอบการฝึกอบรมวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวพืชสวน, 2547)

1. ปอกมังคุดและมะม่วง นำเนื้อมาคั้นน้ำโดยใช้ผ้าขาวบาง คั้นเอาแต่น้ำออกมา 5 มิลลิลิตร

2. จากนั้นนำน้ำคั้นมาหาปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ โดยใช้หลอดหยดดูดน้ำคั้นมาหยดลงบน Hand Refractometer และอ่านค่า ^{0}Brix ที่วัดได้

3.5.4.6 เปอร์เซ็นต์กรดที่ไทเทรตได้ (% Titratable Acidity)

1. ปอกมังคุดและมะม่วง นำเนื้อมาคั้นน้ำ โดยใช้ผ้าขาวบาง คั้นน้ำออกมาพอประมาณให้ได้มากกว่า 5 มิลลิลิตร

2. ปิเปตน้ำคั้น 5 มิลลิลิตร ไปหาความเป็นกรดโดยหยดฟีนอลทาลีน2-3หยดเป็นอินดิเคเตอร์แล้วไทเตรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 M

3. คำนวณหาร้อยละของกรดซิตริก ดังสูตร

$$\% \text{ TA} = \frac{\text{ml of NaOH x Molar of NaOH x mEq of acid x 100}}{\text{ml of sample}}$$

โดยมังคุดจะประกอบด้วย Critic acid เป็นหลัก และมีค่า mEq = 0.064

มะม่วงจะประกอบด้วย Critic acid เป็นหลัก และมีค่า mEq = 0.064

(เอกสารประกอบการฝึกอบรมวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวพืชสวน, 2547)

3.5.4.7 <u>การวัดอัตราการหายใจ และการผลิตเอทิลีน</u>

การวัดอัตราการหายใจของผลไม้สามารถวัดได้จากความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหายใจ และความเข้มข้นของก๊าซเอทิลีนสามารถบ่งบอกความสุกของผลไม้ได้

การวัดอัตราการหายใจ และการผลิตก๊าซเอทิลีน มีขั้นตอนดังนี้

1. ทำความสะอาดโหลแก้วที่จะนำไปใส่มังคุดและมะม่วงเพื่อวัดอัตราการหายใจ ด้วยการล้างและฆ่าเชื้อด้วยการพ่นแอลกอฮอล์ 70 % w/w ให้ทั่วทิ้งไว้ให้แห้ง นำถังไปชั่งน้ำหนักแล้วบันทึกไว้

2. นำตัวอย่างมังคุดและมะม่วงใส่ในโหลแก้วที่ทำความสะอาดแล้ว โดยใส่มังคุด 3 ผลต่อหนึ่งโหล ใส่มะม่วง 2 ผลต่อหนึ่งโหล ปิดฝาด้วยจุกยางให้สนิท แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก บันทึกน้ำหนักไว้

3. นำถังไปต่อเข้ากับ flow board เพื่อควบคุมอัตราการไหลของอากาศที่ผ่านเข้าโหลโดยโหลที่เก็บมังคุดจะถูกเก็บไว้ในห้องเย็นเพื่อควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ 86±2% และที่อุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ 70±5%

4. เก็บตัวอย่างก๊าซทุก 12 ชั่วโมง โดยใช้เข็มฉีดยาขนาด 5 มิลลิลิตรเก็บก๊าซจากสายยางมาปริมาณ 5 มิลลิลิตร แล้วนำก๊าซมาเก็บในหลอดเก็บก๊าซโดยใช้วิธีการแทนที่ในน้ำเกลืออิ่มตัว ก๊าซจะถูกเก็บไว้ในหลอดโดยมีน้ำเกลือกั้นไว้อีกชั้นหนึ่ง เพื่อป้องกันการแพร่ของก๊าซ

5. นำก๊าซมาวิเคราะห์หาความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ หรือเอทิลีนโดยนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง gas chromatography, GC ที่งานวิจัยพืชผลหลังการเก็บเกี่ยว ฝ่ายปฏิบัติงานวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง วิทยาเขตกำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยใช้ก๊าซปริมาตร 1 มิลลิลิตรในการวิเคราะห์แต่ละตัวอย่าง ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 1 ครั้ง (ขุวลักษณ์ ศิริพลบุญ, 2548)

สภาวะของเครื่อง gas chromatography ในการเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

Type of column : Porapak Q

Detector : Flame ionization detector (FID)

Column temperature : 80 °C

Mobile phase : Nitrogen

Injection / detector temperature : 110 °C

ภาวะของเครื่อง gas chromatography ในการเก็บก๊าซเอทิลีน

Type of column : Porapak Q

Detector : Thermal conductivity detector (TCD)

Column temperature : 70 °C

Mobile phase : Helium

Injection / detector temperature : 110 °C

6. จากนั้นคำนวณอัตราการหายใจโดยคำนวณจากปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นดังสมการ

$$\text{Respiration Rate (mg } CO_2\text{/kg - hr)} = \frac{\text{Flow rate} \times 60 \times (\%CO_2) \times 1{,}000 \times CF}{100 \text{ x weight of fruit}}$$

โดยที่ Flow rate คือ อัตราการไหลของอากาศมีหน่วยเป็นมิลลิลิตรต่อชั่วโมง

CF คือ Conversion Factor ซึ่งเป็นค่าที่เชื่อมโยงกับอุณหภูมิและความดันที่ทำการทดลอง จึงต้องมีการคำนวณทุกครั้ง สูตรที่ใช้คำนวณหามีดังนี้

$$CF = \frac{273 \times P \times 1.96}{T \times 760}$$

โดยที่ P คือ ค่าความดันที่ใช้ในการทำการทดลองมีหน่วยเป็นมิลลิเมตรปรอท

T คือ อุณหภูมิที่ใช้ในการทารทดลองมีหน่วยเป็นเคลวิน

ความดันที่ใช้ในการทดลองมีค่าเท่ากับ 760 มิลลิเมตรปรอท

อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองมีค่าเท่ากับ 13 และ 30 องซาเซลเซียสตามลำดับ

ดังนั้น ค่า Convecsion Factor ที่อุณหภูมิ 13 องซาเซลเซียส เท่ากับ 1.87

ค่า Convecsion Factor ที่อุณหภูมิ 30 องซาเซลเซียส เท่ากับ 1.77

7. คำนวณอัตราการผลิตเอทิลีน ดังสมการ

$$\text{Ethylene production } (\mu l/kg - hr) = \frac{C_2H_4\,(ppm) \text{ x flow rate x } 60}{\text{weight of fruit}}$$

3.5.4.8 การวัดความพึงพอใจของผู้บริโภค

1. เตรียมสถานที่และอุปกรณ์ (จาน ส้อม กระดาษเช็ดปาก ถุงสำหรับบ้วนปาก น้ำสำหรับล้างปาก)

2. เตรียมตัวอย่าง โดยจัดตัวอย่างแต่ละทรีทเมนต์ใส่จาน ทรีทเมนต์ละหนึ่งผลสำหรับมังคุดและสำหรับมะม่วงจัดทรีทเมนต์ละหนึ่งชิ้นโดยมีป้ายบอกเบอร์ของตัวอย่างแต่ละทรีทเมนต์ (ใช้เลขสามหลักเรียงกันแบบสุ่ม โดยไม่ให้ผู้ชิมทราบซึ่งอาจจะทำให้เกิดความลำเอียง) (เอกสารประกอบการฝึกอบรมวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวพืชสวน, 2547)

3. แจกตัวอย่างและอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้ผู้ชิม โดยใช้ผู้ชิมจำนวน 10 คน ผู้ชิมเป็นบุคคลเดิมประมาณร้อยละ 70

4. เมื่อผู้ชิมชิมเสร็จและให้คะแนนเรียบร้อยแล้ว (ตัวอย่างใบประเมินการชิมในภาคผนวก ก) รวบรวมคะแนนมาวิเคราะห์ผลทางสถิติแบบ ANOVA ที่ความเชื่อมั่น 95% (รายละเอียดการวิเคราะห์ทางสถิติดูได้ในภาคผนวก ข)

3.6 การทดสอบสมบัติของฟิล์ม

เพื่อตรวจสอบลักษณะของสารเคลือบที่เคลือบลงบนผลไม้ จึงได้ทำการทดลองเตรียมฟิล์มบางของสารเคลือบ และนำมาตรวจสอบดังนี้

3.6.1 ทดสอบสมบัติเชิงกล ได้แก่ ความทนแรงดึง (tensile strength) และ ร้อยละการยืดตัวของฟิล์ม (% elongation) ซึ่งเป็นการทดสอบความแข็งแรงของฟิล์ม และเป็นสมบัติทางกายภาพที่สำคัญของฟิล์ม

เครื่องมือ: Universal Testing Machine เป็นรุ่น LLOYD 500 ของ ห้องปฏิบัติการวิจัยทางพอลิเมอร์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มาตรฐาน: ASTM D638 (รายละเอียดของมาตรฐานในภาคผนวก ค)

ภาวะที่ใช้ในการทดสอบ:

ขนาด Load cell	1	กิโลนิวตัน
อัตราเร็วในการดึง	20	มิลลิเมตรต่อนาที

3.6.2 การทดสอบอัตราการแพร่ผ่านของไอน้ำผ่านฟิล์ม

การทดสอบทำโดยประยุกต์จากวิธีของ Jo et al. (2004) ตามมาตรฐาน ASTM E96-95 (รายละเอียดของมาตรฐานในภาคผนวก ค) เพื่อศึกษาความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำสำหรับฟิล์มเคลือบชนิดต่าง ๆ โดยประยุกต์เอาขวดแก้วที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 12 มิลลิเมตร และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 16 มิลลิเมตร และมีความลึก 43 มิลลิเมตร เติมน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตรลงไปในขวดแก้วและยึดติดฟิล์มเหนือปากขวด หลังจากนั้นชั่งน้ำหนักเริ่มต้นและชั่งน้ำหนักอีกครั้งเมื่อครบ 24 ชั่วโมง ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 50% เพื่อหาอัตราการแพร่ผ่านของไอน้ำ (water vapor transmission rate, WVTR) ดังสมการ

$$WVTR = [\Delta w/(\Delta t \times A)] \qquad (3.1)$$

โดย $\Delta w/\Delta t$ = จำนวนของน้ำที่แพร่ผ่านต่อหน่วยเวลา

A = พื้นที่สำหรับใช้ในการแพร่ผ่านของน้ำ

และทดลองหาความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำดังสมการ 3.2

$$WVP = (WVTR \times L)/\Delta P \qquad (3.2)$$

โดย WVTR = อัตราการแพร่ผ่านของไอน้ำ (water vapor transmission rate)

L = ความหนาของฟิล์ม (m)

ΔP = ความแตกต่างของค่า partial vapor pressure ระหว่างฟิล์มซึ่งคิดเป็น 2 เฟส (Pa)

3.6.3 การทดสอบสมบัติทางความร้อน

การวัดสมบัติทางความร้อนของฟิล์มเคลือบสำหรับงานวิจัยนี้ ใช้การทดสอบด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) รุ่น DSC822^e เป็นเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์การ

เปลี่ยนแปลงของวัสดุกับความร้อน เครื่อง DSC สามารถวัดปริมาณความร้อนที่ใช้ไปในกระบวนการทั้งกระบวนการดูดความร้อนและกระบวนการคายความร้อน โดยมากเครื่อง DSC นิยมใช้ในการวิเคราะห์หาอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (glass transition temperature) จุดหลอมเหลวของโครงสร้างผลึกของพอลิเมอร์ ค่าความร้อนที่ใช้ในการหลอมเหลวของโครงสร้างผลึก (Heat of melting, ΔH_m) (Gan et al., 1997) โดยมีวิธีการดังนี้

1. ตัดฟิล์มเซลแล็กตัวอย่างโดยให้มีขนาดน้ำหนักของชิ้นที่ประมาณ 3 มิลลิกรัม
2. วางชิ้นตัวอย่างในภาชนะบรรจุตัวอย่างที่ทำจากอะลูมิเนียม
3. ให้ความร้อนแก่ชิ้นตัวอย่างด้วยอัตรา 10 องศาเซลเซียสต่อนาทีในช่วงอุณหภูมิ 30-100 องศาเซลเซียสเพื่อวิเคราะห์หาอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Tg) และอุณหภูมิหลอมเหลว (Tm) (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ค)

3.7 การทดสอบการคงตัวของสารเคลือบ

การทดสอบการคงตัวของสารเคลือบใช้วิธีการทดสอบความหนืดของสารเคลือบ โดยวัดความหนืดของสารเคลือบและ pH ของสารละลายเป็นระยะเวลา 3 เดือน ด้วยเครื่องวัดความหนืด Rhelolab MC1 ที่ Share rate 1,500 1/s และวัดค่า pH ของสารละลาย ด้วยเครื่องวัดค่า pH รุ่น MP220 ของบริษัท Mettler Toledo, Switzerland

3.8 สถานที่ทำการวิจัย

พัฒนาสูตรสารเคลือบที่ห้องปฏิบัติการวิจัยวิศวกรรมชีวเคมี ชั้น 5 ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทดสอบสารเคลือบกับผลไม้ที่งานวิจัยพืชผลหลังการเก็บเกี่ยว ฝ่ายปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม

ทดสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์ม ณ ห้องปฏิบัติการวิจัยทางพอลิเมอร์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย