

ฟิล์มเคลือบบริโกลได้สำหรับชีวิตอายุการเก็บรักษาเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทอง



นางสาวยุวลักษณ์ ศิริพลบุญ

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

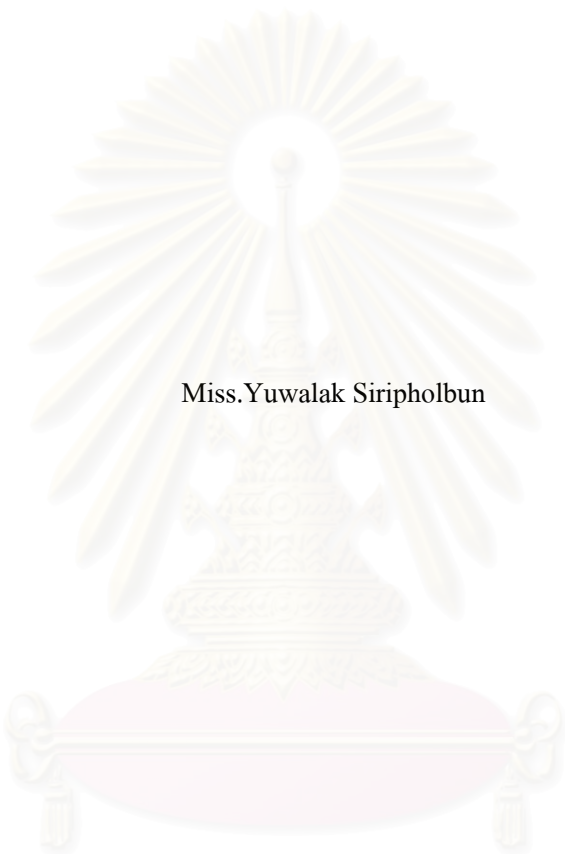
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-53-1514-1

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EDIBLE COATING FILMS FOR PROLONGING SHELF – LIFE OF
DURIAN PULP CV. MONTHONG



Miss.Yuwalak Siripholbun

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2005

ISBN 974-53-1514-1

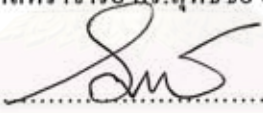
หัวข้อวิทยานิพนธ์	ฟิล์มเคลือบบริโกลได้สำหรับยึดอายุการเก็บรักษาเนื้อทุเรียนพันธุ์ หมอนทอง
โดย	นางสาวชวลักษณ์ ศิริพลบุญ
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร. โสรดา กนกพานนท์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุทธิชัย อัสสะบำรุงรักษ์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร. โสรดา กนกพานนท์)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริพร ดำรงค์ศักดิ์กุล)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริรุ่ง ปรีชานนท์)

ผู้ดุษฎี ศิริพลบุญ: फिल्मเคลือบบริโกลได้สำหรับยืดอายุการเก็บรักษาเนื้อทุเรียนพันธุ์
หมอนทอง (EDIBLE COATING FILMS FOR PROLONGING SHELF-LIFE OF
DURIAN PULP CV. MONTHONG) อ.ที่ปรึกษา : อ.ดร. โสรดา กนกพานนท์
166 หน้า ISBN 974-53-1514-1

งานวิจัยนี้เป็นรายงานครั้งแรกที่มีการพัฒนาสูตร และทดสอบฟิล์มเคลือบบริโกลได้สำหรับเคลือบเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทอง ฟิล์มผลิตจากส่วนผสมของพอลิเมอร์ชีวภาพที่ผลิตได้ในประเทศไทย 2 ชนิด คือ โคลโคซาน และเจลาติน โดยมีการผสมสารซอร์บิทอลเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของฟิล์มแล้วนำไปทดสอบค่าความทนแรงดึง การยืดตัว ความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำ และอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว ฟิล์มเคลือบเนื้อผลไม้ที่ผลิตขึ้นมีอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วอยู่ในระหว่าง -20 ถึง 5 องศาเซลเซียส มีความทนแรงดึงของฟิล์ม (tensile strength) ระหว่าง 2.40 – 13.74 เมกะปาสคาล การยืดตัว (% elongation) 99.8 – 216.68 เปอร์เซ็นต์ และความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำ $1.7 - 4.4 \times 10^{-10}$ กรัม-เมตรต่อพื้นที่-วินาที-ความดัน ในงานวิจัยนี้ได้มีการคัดเลือกสูตรของฟิล์มที่มีการศึกษาลักษณะทางกายภาพและทางกล 4 สูตร และนำมาพ่นเคลือบในอัตรา 23.2 มิลลิเมตรต่อเนื้อทุเรียน 1 กิโลกรัม เป่าให้แห้ง แล้วเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 100 เปอร์เซ็นต์ เป็นระยะเวลา 26 วัน เนื้อทุเรียนหมอนทองกลุ่มที่ได้รับการเคลือบด้วยฟิล์มบริโกลได้มีลักษณะทางคุณภาพที่ดีกว่าเนื้อทุเรียนกลุ่มควบคุม (ไม่ได้รับการเคลือบ) โดยมีการสูญเสียน้ำหนัก อัตราการหายใจและอัตราการผลิตเอทิลีนต่ำกว่าเนื้อทุเรียนกลุ่มที่ไม่ได้เคลือบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่การเคลือบเนื้อทุเรียนด้วยฟิล์มเคลือบบริโกลได้ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีเนื้อ ค่าความแน่นเนื้อ และปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ จากการศึกษเปรียบเทียบลักษณะทางคุณภาพของเนื้อทุเรียนในระหว่างกลุ่มที่มีการเคลือบพบว่าสูตรที่ให้ประสิทธิภาพการเก็บรักษาเนื้อทุเรียนหมอนทองดีที่สุดประกอบด้วย เจลาติน 2%, โคลโคซาน 1%, และ ซอร์บิทอล 0.2% (โดยน้ำหนัก) ซึ่งสามารถลดการสูญเสียน้ำหนักของเนื้อทุเรียนลง 36% และลดอัตราการหายใจลง 48.5 เปอร์เซ็นต์ และลดการผลิตเอทิลีนลง 27.5 เปอร์เซ็นต์ (ในวันที่ 5 ของการทดลอง (climacteric peak)) เมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อทุเรียนที่ไม่ได้เคลือบ การเคลือบฟิล์มนี้ไม่ทำให้เกิดกลิ่นและรสชาติผิดปกติ เป็นที่พึงพอใจของผู้บริโภค และสามารถใช้ในการเก็บรักษาเนื้อทุเรียนเป็นเวลาอย่างน้อย 26 วัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 100 เปอร์เซ็นต์ สูตรสารเคลือบดังกล่าวจึงมีความเหมาะสมที่จะถูกนำไปใช้ในการยืดอายุการเก็บรักษาเนื้อทุเรียนหมอนทอง และสามารถใช้เป็นสูตรพื้นฐานสำหรับพัฒนาสูตรสารเคลือบเนื้อทุเรียนในขั้นต่อไป หรือนำไปประยุกต์ใช้กับผลไม้เขตร้อนชนิดอื่นๆ

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี..... ลายมือชื่อนิติศ สุก สักงาม ศิริพลบุญ.....
สาขาวิชา.....วิศวกรรมเคมี..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... Dr.S.....
ปีการศึกษา.....2548

4670448721 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORD: EDIBLE FILM / GELATIN / CHITOSAN / DURIAN COATING

YUWALAK SIRIPHOLBUN: EDIBLE COATING FILMS FOR PROLONGING SHELF-LIFE OF DURIAN PULP CV. MONTHONG. THESIS ADVISOR: SORADA KANOKPANONT, Ph.D., 166 pp. ISBN 974-53-1514-1

This is a first report of using of edible film to extend the shelf-life of fresh durian (cv. Monthong) pulps. Edible films produced from gelatin and chitosan, the abundant biopolymers of Thailand, were fabricated with different compositions. A plasticizer, sorbitol, was added to the films at different concentrations to modified their physical and mechanical properties. The modified films had glass transition temperature (T_g) ranged from -20 to 5 °C, tensile strength, %elongation, water vapor permeability in the range of $2.40 - 13.74$ MPa, $99.8 - 216.68\%$, and $1.7 - 4.4$ g-m/m²-s-Pa respectively. Four (4) formulations of films were selected based on these properties as well as their invisibility to coat on durian pulps. The evaluation of film efficacy in extending the shelf-life of durian pulp was done at 5 °C, and 100% relative humidity for the 26 days-period. Durian pulps were coated (sprayed) with the formulated solutions at 23.2 ml solutions/1 kg. The pulps were air dried and wrapped in plastic wraps before storage. Quality of durian pulps coated with edible films were higher than that of the control group (no coating). Coating the pulps with these edible films reduced weight loss, respiration rate, and ethylene production. However, the pulp color, firmness, and soluble solid contents were not significantly changes. The most effective formula for coating durian pulps composed of 2% gelatin, 1% chitosan, and 0.2% sorbitol (w/v). This edible film reduced weight loss by 36% , respiration rate by 48.5% and ethylene production by 27.5% at climacteric peak (day 5 of the experiment), compared to the uncoated pulps. Results from the experiments showed this formulation was able to keep acceptable quality of durian (cv. Monthong) for at least 26 days at 5 °C and 100% relative humidity. Edible films produced in this project has promising quality in extending the shelf-life for durian pulp and can be use as basis for developing edible coating films for other tropical fruits.

Department...Chemical.Engineering

Student's signature...Yuwalak Siripholbun.....

Field of study...Chemical.Engineering

Advisor's signature...Sorada Kanokpanont.....

Academic year...2005

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากบุคคลหลายๆท่าน ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ อ.ดร.โสครดา กนกพานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ อ.ดร.อภิตา บุญศิริ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ให้คำแนะนำวิธีการทำงานวิจัยตลอดจนตรวจทาน แก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ รศ.ดร.ศิริพร ดำรงค์ศักดิ์กุล ผศ.ดร.สีรุ่ง ปรีชานนท์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และรศ.ดร.สุทธิชัย อัสสะบำรุงรักษ์ ประธานสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำ และแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยคณะวิศวกรรมศาสตร์

บริษัทซีเฟรชโคโตซาน แลป จำกัด ที่กรุณาเอื้อสารโคโตซานเพื่อใช้ในการงานวิจัยจนสำเร็จ ลุล่วง

บริษัทเมทเลอร์ โทเลโด ประเทศไทย จำกัด ที่อนุเคราะห์เครื่องมือสำหรับหาค่าอุณหภูมิ เปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของฟิล์ม

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่อนุเคราะห์เครื่องมือสำหรับวัด คุณสมบัติเชิงกลของฟิล์ม

พี่ๆ ที่ฝ่ายปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขต กำแพงแสน ที่กรุณาให้คำแนะนำในการใช้เครื่องมือและให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย

งานวิจัยนี้จะสำเร็จลงไม่ได้ถ้าขาดบุคคลเหล่านี้ นางราตรี ศิริพลบุญ นายธำรงค์ อัมพรรัตน์ นางสาวพองเพ็ญ อรรคสีวร นางสาวนลินี ดัชนีกุล นายประชานารถ กิตติไกวัด ที่ช่วยเหลือให้ งานวิจัยในด้านการเคลือบเนื้อทุเรียนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี นายภูววรรณ ตูลยาภิรัฐ และนายภรดี ภิญญาวัธน์ สำหรับการช่วยเหลือ และให้กำลังใจด้วยดีเสมอมา เพื่อนๆ น้องๆห้องปฏิบัติการและ วิจัยวิศวกรรมชีวเคมีทุกคนสำหรับคำแนะนำ กำลังใจ และบรรยากาศที่ดีในการทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา น้องสาว ที่เป็นกำลังใจและมีส่วนช่วยเหลือใน ส่วนของการเคลือบเนื้อทุเรียน โดยเฉพาะการจัดหาคนสำหรับชิม และการตรวจทานเล่ม วิทยานิพนธ์ รวมไปถึงการให้การสนับสนุนเงินลงทุนสำรองในงานวิจัย จนกระทั่งงานวิจัยสำเร็จ ลุล่วงไปได้ด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ทูเรียน.....	4
2.2 การเปลี่ยนแปลงของกระบวนการทางชีวเคมีในผักและผลไม้.....	6
2.3 องค์ประกอบทางเคมีและการเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยว.....	10
2.4 ปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อชีววิทยาของผักและผลไม้หลังเก็บเกี่ยว.....	13
2.5 फिल्मเคลือบบริโกลได้.....	15
2.6 พอลิเมอร์ผสมระหว่างเจลาตินและไคโตซาน.....	30
2.7 พลาสติกไซเซอร์.....	33
2.8 การวัดความสามารถในการแพร่ผ่านของ फिल्मเคลือบ.....	34
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	37
3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย.....	37
3.2 วัตถุประสงค์ สารเคมี และอุปกรณ์ในการวิจัย.....	41
3.3 การทดสอบสมบัติทางกายภาพของ फिल्मเคลือบบริโกลได้.....	42
3.4 การเคลือบ फिल्म.....	44
3.5 การตรวจสอบคุณภาพของเนื้อทูเรียน.....	45
3.6 สถานที่ทำการวิจัย.....	48

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	49
4.1 ลักษณะและสมบัติทางกายภาพของฟิล์มเคลือบบริโกลได้.....	50
4.2 ประสิทธิภาพของฟิล์มเคลือบบริโกลได้.....	64
4.3 วิเคราะห์ต้นทุนของฟิล์มเคลือบบริโกลได้.....	94
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง วิจัยผลผลิตการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	99
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	99
5.2 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	100
5.3 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต.....	101
รายการอ้างอิง.....	102
ภาคผนวก.....	109
ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ และตัวอย่างการคำนวณ.	109
ภาคผนวก ข วิธีการทดสอบ และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบสมบัติทางกายภาพ ของฟิล์มเคลือบบริโกลได้.	133
ภาคผนวก ค ข้อมูลดิบ และสรุปการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของการทดสอบ สมบัติทางกล และความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำ.....	140
ภาคผนวก ง วิธีการทดสอบ และเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพ ของเนื้อทุเรียน.....	149
ภาคผนวก จ สรุปการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของการทดสอบคุณภาพของ เนื้อทุเรียน.....	156
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	166

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 Glass transition temperature (Tg) ของไคโตซาน ไคโตซาน – แป้ง และ ไคโตซาน – pullulan.....	21
ตารางที่ 2.2 การใช้ไคโตซานในการยับยั้งการทำงานของกลุ่มจุลินทรีย์.....	22
ตารางที่ 2.3 กรดอะมิโนที่พบในเจลาติน.....	27
ตารางที่ 2.4 อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Tg) ของเจลาตินที่ผลิตจากหนังวัว และหนังหมู.....	29
ตารางที่ 2.5 อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Tg) ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างเจลาติน และไคโตซาน.....	31
ตารางที่ 3.1 แสดงสัดส่วนที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มจากการศึกษาจาก งานวิจัยก่อนหน้านี้.....	38
ตารางที่ 3.2 แสดงสัดส่วนที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มสำหรับงานวิจัย.....	39
ตารางที่ 4.1 ลักษณะทั่วไปของฟิล์มเคลือบบริโกลคได้ที่เตรียมได้สำหรับงานวิจัยนี้.....	50
ตารางที่ 4.2 สรุปข้อมูลของสูตรที่ทำการทดสอบสมบัติทางกายภาพของฟิล์ม เคลือบบริโกลคได้.....	63
ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบเนื้อทุเรียนเมื่อไม่ได้เคลือบและเคลือบด้วยสูตรทั้ง 4 สูตรในวันที่ 0 และวันที่ 26 ของการเก็บรักษา.....	65
ตารางที่ 4.4 คะแนนสีเนื้อทุเรียนจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคเมื่อ ไม่ได้เคลือบสาร และเคลือบด้วยสูตร A3, B2, C1 และ C2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 100% เป็นระยะเวลา 26 วัน.....	81
ตารางที่ 4.5 คะแนนกลิ่นหอมของเนื้อทุเรียนจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของ ผู้บริโภคเมื่อไม่ได้เคลือบสาร และเคลือบด้วยสูตร A3, B2, C1 และ C2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 100% เป็นระยะเวลา 26 วัน.....	84
ตารางที่ 4.6 คะแนนความหวานของเนื้อทุเรียนจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของ ผู้บริโภคเมื่อไม่ได้เคลือบสาร และเคลือบด้วยสูตร A3, B2, C1 และ C2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 100% เป็นระยะเวลา 26 วัน.....	85
ตารางที่ 4.7 คะแนนรสมันของเนื้อทุเรียนจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของ ผู้บริโภคเมื่อไม่ได้เคลือบสาร และเคลือบด้วยสูตร A3, B2, C1 และ C2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 100% เป็นระยะเวลา 26 วัน.....	87

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.8 คะแนนความนุ่มของเนื้อทุเรียนจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคเมื่อไม่ได้เคลือบสาร และเคลือบด้วยสูตร A3, B2, C1 และ C2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 100% เป็นระยะเวลา 26 วัน.....89

ตารางที่ 4.9 คะแนนกลิ่นผิดปกติของเนื้อทุเรียนจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคเมื่อไม่ได้เคลือบสาร เคลือบด้วยสูตร A3, B2, C1 และ C2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 100% เป็นระยะเวลา 26 วัน.....91

ตารางที่ 4.10 คะแนนรสชาติผิดปกติของเนื้อทุเรียนจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคเมื่อไม่ได้เคลือบสาร เคลือบด้วยสูตร A3, B2, C1 และ C2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 100% เป็นระยะเวลา 26 วัน.....92

ตารางที่ 4.11 คะแนนความชอบของเนื้อทุเรียนจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคเมื่อไม่ได้เคลือบสาร เคลือบด้วยสูตร A3, B2, C1 และ C2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 100% เป็นระยะเวลา 26 วัน.....93

ตารางที่ 4.12 สรุปข้อมูลที่ได้จากผลการทดลองที่ 1 และผลการทดลองที่ 2.....95

ตารางที่ 4.13 วิเคราะห์ต้นทุนของฟิล์มเคลือบบริโภคได้สูตร C1 สำหรับเคลือบเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทอง.....97

ตารางที่ ก.1 รูปแบบข้อมูลของการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ที่มีจำนวนซ้ำเท่ากัน.....111

ตารางที่ ก.2 สูตรการวิเคราะห์ความแปรปรวน เมื่อ n ในแต่ละกลุ่มตัวอย่างเท่ากัน.....112

ตารางที่ ก.3 ข้อมูลความทนแรงดึงของสูตร A1, A2 และ A3 เมื่อมีจำนวนซ้ำในการทดลองเท่ากับ 5.....115

ตารางที่ ก.4 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างสูตร A1, A2 และ A3.....118

ตารางที่ ก.5 สรุปค่า F จำนวนที่ได้ของข้อมูลความทนแรงดึง การยึดตัว และความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำเปรียบเทียบกับ F ตารางที่ได้.....119

ตารางที่ ก.6 รูปแบบข้อมูลของการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ของการสูญเสียน้ำหนักในแต่ละทริทเมนต์และการคำนวณค่าต่างๆเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีจำนวนซ้ำเท่ากัน.....120

ตารางที่ ก.7 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างทริทเมนต์ของข้อมูลการสูญเสียน้ำหนักในวันที่ 22 ของการเก็บรักษา.....123

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ ก.8 สรุปค่า F จำนวนที่ได้ของข้อมูลการสูญเสียน้ำหนัก การเปลี่ยนแปลงสีเนื้อ ความแน่นเนื้อ ปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ อัตราการหายใจและการผลิตเอทีเอ็น เปรียบเทียบกับ F ตารางที่ได้ ตลอดระยะเวลา 26 วันที่เก็บรักษา.....	124
ตารางที่ ก.9 รูปแบบข้อมูลของการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ของคะแนนความหวานที่ได้จากผู้ชิมในแต่ละทริทเมนต์และการคำนวณค่าต่างๆ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีจำนวนซ้ำเท่ากัน (10 คน).....	126
ตารางที่ ก.10 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างทริทเมนต์ของข้อมูลความหวานของ เนื้อทุเรียนจากผู้ชิมในวันที่ 26 ของการเก็บรักษา.....	129
ตารางที่ ก.11 สรุปค่า F จำนวนที่ได้ของข้อมูลคุณภาพในการรับประทานในเรื่องสี กลิ่นหอม ความหวาน รสมัน ความนุ่ม กลิ่นและรสชาติผิดปกติ และความชอบ ตั้งแต่วันที่ 10 ถึง 26 วันของการเก็บรักษา.....	130
ตารางที่ ก.12: ปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ คะแนนความหวานจากผู้ชิม และค่าที่ใช้ในการคำนวณค่า a, b และ r.....	131
ตารางที่ ค.1 ข้อมูลความทนแรงดึงของฟิล์มเคลือบบริโกลได้.....	141
ตารางที่ ค.2 ข้อมูลการยึดตัวของฟิล์มเคลือบบริโกลได้.....	142
ตารางที่ ค.3 ข้อมูลความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำของฟิล์มเคลือบบริโกลได้.....	143
ตารางที่ ค.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของความทนแรงดึง การยึดตัว และ ความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำของฟิล์มเคลือบบริโกลได้.....	144
ตารางที่ จ.1 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของเนื้อทุเรียน ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบ ชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส.....	157
ตารางที่ จ.2 การเปลี่ยนแปลงสีเนื้อ (ค่าความสว่าง, L) ของเนื้อทุเรียนซึ่งเคลือบด้วย ฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส.....	158
ตารางที่ จ.3 การเปลี่ยนแปลงสีเนื้อ (ค่าความเป็นสีเหลือง, b) ของเนื้อทุเรียนซึ่ง เคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส.....	159
ตารางที่ จ.4 ค่าความแน่นเนื้อของเนื้อทุเรียนซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส.....	160
ตารางที่ จ.5 ปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ของเนื้อทุเรียนซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบ ชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส.....	161

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ จ.6 อัตราการหายใจของเนื้อุเรียนซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส.....	162
ตารางที่ จ.7 การผลิตเอทิลีนของเนื้อุเรียนซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส.....	164



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 เปรียบเทียบอัตราการหายใจของผลไม้ประเภท climacteric และ non – climacteric.....	7
รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการสังเคราะห์เอทิลีน.....	8
รูปที่ 2.3 การยับยั้งการสร้างและการทำงานของเอทิลีน.....	9
รูปที่ 2.4 ขั้นตอนการเกิดสีน้ำตาลในผักผลไม้ที่ปอกหรือหั่น.....	11
รูปที่ 2.5 เปรียบเทียบโครงสร้างของไคติน ไคโตซานและสารละลายไคโตซาน.....	19
รูปที่ 2.6 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายไคโตซานที่ใช้เคลือบ.....	24
รูปที่ 2.7 ขั้นตอนการเคลือบสารละลายลงบนผัก ผลไม้.....	24
รูปที่ 2.8 โครงสร้างของเจลาติน.....	26
รูปที่ 2.9 การยืดหยุ่นแบบหนืดในห้าสถานะของพอลิเมอร์.....	33
รูปที่ 2.12 โครงสร้างของซอร์บิทอล.....	34
รูปที่ 2.13 เครื่องมือตัวอย่างที่ใช้ในการวัดความสามารถในการแพร่ผ่านของก๊าซ.....	35
รูปที่ 3.1 แผนผังการดำเนินงานวิจัย.....	37
รูปที่ 3.2 แผนควบคุมการไหลของอากาศ.....	46
รูปที่ 4.1 ลักษณะของฟิล์มเคลือบบริโกลได้ที่ได้ในการทดลอง	51
รูปที่ 4.2 DSC Thermogram ของฟิล์มเคลือบบริโกลได้จากเจลาติน.....	52
รูปที่ 4.3 DSC Thermogram ของฟิล์มเคลือบบริโกลได้จากไคโตซาน.....	53
รูปที่ 4.4 DSC Thermogram ของฟิล์มเคลือบบริโกลได้ระหว่างเจลาตินและไคโตซาน.....	54
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซอร์บิทอลกับค่าความทนแรงดึง และการยืดตัว ของฟิล์มเคลือบบริโกลได้จากเจลาติน ไคโตซาน และฟิล์มผสมระหว่างเจลาติน และไคโตซาน ดำเนินการทดลองที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส.....	58

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซอร์บิทอลกับความสามารถในการแพร่ผ่านของ ไอน้ำของฟิล์มเคลือบบริโกลได้จากเจลาติน ไคโตซาน และฟิล์มผสมระหว่างเจลาติน และไคโตซาน ดำเนินการที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 50%.....	63
รูปที่ 4.7 การสูญเสียน้ำหนักของเนื้อทุเรียนเมื่อไม่ได้เคลือบและเคลือบด้วยสูตร A3, B2, C1 และ C2 และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 100% เป็นระยะเวลา 26 วัน.....	67
รูปที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงสีเนื้อทุเรียน (ก) ค่าความสว่าง, L (ข) ค่าความเป็นสีเหลือง , b เมื่อไม่ได้เคลือบและเคลือบด้วยสูตร A3, B2, C1 และ C2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 100% เป็นระยะเวลา 26 วัน.....	69
รูปที่ 4.9 ความแน่นเนื้อของเนื้อทุเรียนเมื่อไม่ได้เคลือบและเคลือบด้วยสูตร A3, B2, C1 และ C2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 100% เป็นระยะเวลา 26 วัน.....	71
รูปที่ 4.10 ปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ของเนื้อทุเรียนเมื่อไม่ได้เคลือบและ เคลือบด้วยสูตร A3, B2, C1 และ C2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 100% เป็นระยะเวลา 26 วัน.....	73
รูปที่ 4.11 อัตราการหายใจของเนื้อทุเรียนเมื่อไม่ได้เคลือบและเคลือบด้วยสูตร A3, B2, C1 และ C2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 100% เป็นระยะเวลา 26 วัน.....	75
รูปที่ 4.12 การผลิตเอทิลีนของเนื้อทุเรียนเมื่อไม่ได้เคลือบและเคลือบด้วยสูตร A3, B2, C1 และ C2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 100% เป็นระยะเวลา 26 วัน.....	78

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ของคะแนนความหวานจากการทดสอบทางประสาทสัมผัส กับปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ที่วิเคราะห์โดยใช้ Hand refractometer ในวันที่ 26 ของการเก็บรักษา.....	83
รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ของคะแนนความนุ่มจากการทดสอบทางประสาทสัมผัส กับความแน่นเนื้อที่วิเคราะห์โดยใช้ Firmness tester ในวันที่ 26 ของการเก็บรักษา.....	93
รูปที่ 4.15 กระบวนการผลิตสารเคลือบเนื้อทุเรียน.....	98
รูปที่ ข.1 แบบของชิ้นงานที่ใช้วัดคุณสมบัติทางกล.....	134
รูปที่ ข.2: Universal testing machine ที่ใช้ในการทดลองของคณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.....	135
รูปที่ ข.3 ลักษณะกราฟที่ได้.....	135
รูปที่ ข.4: ขั้นตอนการทดลองหาความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำ.....	136
รูปที่ ข.5 ลักษณะการทำงานของเครื่อง DSC.....	138
รูปที่ ข.6 (ก) ตัวอย่างกราฟเส้นฐาน (Baseline) และ (ข) กราฟ Tg ที่ได้จากการทดลอง.....	139
รูปที่ ง.1 เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่งที่ใช้ในการทดลอง.....	146
รูปที่ ง.2 ระบบ Hunter scale.....	147
รูปที่ ง.3 เครื่องมือวัดสีที่ใช้ในการทดลองและลักษณะของข้อมูลที่ได้.....	147
รูปที่ ง.4 เครื่องมือวัดความแน่นเนื้อ และขนาดหัวรับแรงกดขนาดต่างๆ.....	148
รูปที่ ง.5 Hand refractometer ที่ใช้ในการทดลอง.....	149
รูปที่ ง.6 เครื่อง Gas chromatography (GC-8A) ที่ใช้ในการทดลองฉีดเอทิลีนและฉีด คาร์บอนไดออกไซด์.....	152
รูปที่ ง.7 โครมาโทแกรมของเอทิลีน และโครมาโทแกรมของคาร์บอนไดออกไซด์.....	153

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

ทุเรียน (*Durio zibethinus* Murray.) เป็นผลไม้เขตร้อนที่มีความสำคัญในทางเศรษฐกิจของประเทศไทยและได้รับความนิยมนจากผู้บริโภคทั้งภายในและต่างประเทศ โดยทั่วไปแล้วนิยมนำรับประทานทั้งสด แช่แข็ง และแปรรูป ในปี พ.ศ. 2546 พบว่าการส่งออกทุเรียนสดมีมูลค่าถึง 1,324.21 ล้านบาท ซึ่งส่งออกไปตลาดต่างประเทศที่สำคัญ ได้แก่ ฮองกง และไต้หวัน ส่วนทุเรียนแช่แข็งมีมูลค่าการส่งออก 675.42 ล้านบาท ตลาดส่งออกที่สำคัญ ได้แก่ ฮองกง และสหรัฐอเมริกา และการส่งออกทุเรียนแปรรูปโดยใช้น้ำตาล มีมูลค่าส่งออก 17.1 ล้านบาท ตลาดส่งออกที่สำคัญ ได้แก่ สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น และฮองกง (กรมศุลกากร, 2547) ปัญหาเรื่องการตลาดที่พบคือ ทุเรียนเป็นไม้ผลที่มีขนาดใหญ่ น้ำหนักมาก มีหนามแหลมคม ทำให้ไม่สะดวกในการขนส่ง ตลอดจนการเก็บรักษา ถ้าทำไม่ดีพออาจประสบปัญหาการสุกเร็วและเน่าเสียได้ เนื่องจากทุเรียนเป็นผลไม้เขตร้อนประเภท climacteric ในระหว่างการสุกทุเรียนจะมีอัตราการหายใจสูง คือ มากกว่า 200 mg CO₂/kg-hr (จริงแท้ ศิริพานิช, 2546) มีการผลิตก๊าซเอทิลีนสูง และความแน่นเนื้อ (firmness) มีค่าลดลง (Ketsa และ Daengkanit, 1999) ซึ่งเป็นลักษณะสำคัญที่เป็นตัวบ่งชี้คุณภาพและความสุกของเนื้อทุเรียนเมื่อเปรียบเทียบกับผลไม้เขตร้อนชนิดอื่น นอกจากนี้ฝักหรือผลไม้เมื่อปอกเปลือกหรือตัด หั่นแล้วจะเน่าเสียได้ง่าย เนื่องจากขาดเปลือกผลที่ช่วยปกป้องเนื้อผลจากการรุกรานจากเชื้อโรคได้ง่าย นอกจากนั้นกระบวนการเกิดสีน้ำตาล (browning) ที่เกิดจากเอนไซม์ polyphenol oxidase ที่มีต่อ สารประกอบจำพวกฟีนอล เมื่อสัมผัสกับออกซิเจนทำให้เกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ สิ่งเหล่านี้เป็นปัญหาในการค้าขายฝัก ผลไม้ที่ถูกตัด หั่น หรือ ปอกเปลือก เช่น การวางขายในร้านซูเปอร์มาร์เก็ต ตลอดจนอุตสาหกรรมฝักผลไม้กระป๋อง ฝักผลไม้แช่แข็ง งานวิจัยนี้เน้นการพัฒนาสูตรสารเคลือบเนื้อผลไม้แบบบริโภคได้เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาทุเรียนที่ปอกเปลือกแล้ว โดยสารเคลือบเป็นสารวัสดุชีวภาพที่ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคหรือได้รับอนุญาตจากองค์การอาหารและยาสองชนิด คือ เจลาติน และไลโคซานเป็นส่วนประกอบสำคัญ

เจลาติน (gelatin) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสลายตัวครั้งแรกของคอลลาเจน (collagen) ซึ่งเป็นองค์ประกอบของเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (connective tissue) ที่พบในกระดูก ผิวหนัง และเอ็นจากสัตว์ (Sobral และคณะ, 2001) ประกอบไปด้วยหมู่กรดอะมิโนหลายหมู่เกาะเกี่ยวกันอยู่ด้วยพันธะเปปไทด์ เป็นผลิตภัณฑ์จากกระบวนการกำจัดของเสียในโรงฆ่าสัตว์ และอุตสาหกรรมหนังสัตว์ที่นำมา

สกัดเพื่อเพิ่มมูลค่าในเชิงพาณิชย์ เนื่องจากในปัจจุบันตลาดของผลิตภัณฑ์ที่มีเจลาตินเป็นองค์ประกอบหลักกำลังขยายตัวอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะทางด้านอุตสาหกรรมอาหารและยา โดยมีการใช้ในลักษณะต่างๆ เช่นเป็น gelling agent ในการผลิตเยลลี่ และแยม เป็นสารคงตัวในไอศกรีม และใช้ทำแคปซูลในการบรรจุยา เป็นต้น

ไคโตซาน (chitosan) เป็นสารพอลิแซคคาไรด์ ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลอะมิโน (amino sugar) เป็นสารอนุพันธ์ที่ได้จากไคติน พบในธรรมชาติในเปลือกของสัตว์พวกครัสเตเชียน โดยเฉพาะ กุ้ง ปู กุ้ง และยังพบได้ตามผนังเซลล์ของเห็ด ราและยีสต์ (Muzzarelli, 2003) ไคโตซานเป็นสารที่ไม่เป็นพิษ มีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ (biocompatible) และเป็นพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้ในธรรมชาติ (biodegradable) (Khan, Peh และ Chang, 2000; Cervera และคณะ, 2004) ซึ่งปัจจุบันไคโตซานสามารถประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะด้านอุตสาหกรรมอาหาร พบว่าไคโตซานสามารถใช้เป็นสารป้องกันเชื้อรา แบคทีเรีย และจุลินทรีย์ได้ (Muzzarelli, 2003) นอกจากนี้ยังมีประโยชน์ต่อร่างกายทั้งสารอาหารและใช้เป็นสารลดไขมันและคอเลสเตอรอล (ปิยะบุตร วานิชพงษ์พันธุ์, 2544)

จากข้อดีของพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดทำให้เกิดแนวคิดในการนำวัสดุซึ่งเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพมาผสมกัน เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของพอลิเมอร์ให้ดีขึ้น และประยุกต์ใช้งานได้อย่างกว้างขวาง โดยเติมสารพลาสติกไซเซอร์ (plasticizer) ลงไปเพื่อช่วยในการปรับปรุงคุณสมบัติของฟิล์ม ช่วยลดความเปราะของฟิล์ม ทำให้ฟิล์มมีความยืดหยุ่นมากขึ้น (Aydinli และคณะ, 2003) ซึ่งในการทดลองใช้ sorbitol ซึ่งเป็นสารพวกน้ำตาลแอลกอฮอล์ที่ประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารต่างๆ มากมาย เช่น เป็นส่วนผสมในการทำขนมเค้ก ขนมหวานพวก ไอศกรีม เป็นส่วนผสมกับน้ำในการทำน้ำเชื่อมในแพนเค้ก เป็นส่วนประกอบในขนมหวานพวกลูกกวาด และทำให้ขนมที่เป็นผลไม้

คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนาฟิล์มเคลือบผลไม้บริโภคน้ำตาลได้จากเจลาติน และไคโตซาน เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทอง โดยมีการขึ้นรูปฟิล์มที่มีส่วนผสมของเจลาติน ไคโตซาน และซอร์บิทอล ในอัตราส่วนต่างๆ ทดสอบสมบัติทางกายภาพ และทางกลของฟิล์ม แล้วจึงคัดเลือกฟิล์มที่เหมาะสมไปเคลือบบนเนื้อทุเรียน และประเมินลักษณะทางคุณภาพของเนื้อทุเรียน ได้แก่ เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก การเปลี่ยนแปลงสีเนื้อ ความแน่นเนื้อ ปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ อัตราการหายใจ การผลิตก๊าซเอทิลีน และความพึงพอใจของผู้บริโภค โดยมีการเปรียบเทียบกลุ่มที่ไม่ได้เคลือบ และเคลือบ และมีการวิเคราะห์ความแตกต่างของลักษณะทางคุณภาพในเชิงสถิติ ทั้งนี้เพื่อให้ได้สูตรฟิล์มเคลือบเนื้อทุเรียนที่มีประสิทธิภาพในการยืดอายุการเก็บรักษา เพื่อการปรับปรุงและประยุกต์ใช้กับผลไม้เขตร้อนชนิดอื่น

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพของฟิล์มเคลือบบริโกลด์ที่มีส่วนผสมของพอลิเมอร์ชีวภาพที่ผลิตได้ในประเทศไทย 2 ชนิด คือ เจลาตินและไคโตซานในการเก็บรักษาเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทอง โดยมีวัตถุประสงค์ ดังนี้คือ

1. ศึกษาและทดสอบสมบัติทางกายภาพของฟิล์มบาง 3 ชนิด คือ เจลาติน ไคโตซาน และพอลิเมอร์ผสมของเจลาติน และไคโตซาน
2. ศึกษาและเปรียบเทียบลักษณะทางคุณภาพของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองหลังจากเคลือบด้วยฟิล์มบางของสารเคลือบทั้ง 3 ชนิด เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบกับเนื้อทุเรียนที่ไม่ได้เคลือบเป็นเวลา 26 วัน
3. เพื่อวิเคราะห์ต้นทุนของฟิล์มเคลือบบริโกลด์สำหรับเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทอง

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. พัฒนาสูตรของฟิล์มเคลือบบริโกลด์ซึ่งเตรียมจากสารเจลาติน ไคโตซาน และพอลิเมอร์ผสมของเจลาตินและไคโตซานในการเคลือบเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทอง
2. ศึกษาและทดสอบสมบัติเชิงกายภาพของฟิล์มเคลือบที่เหมาะสมในการเคลือบเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทอง ได้แก่ ความทนแรงดึง (tensile strength) การยืดตัว (%elongation) ความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำ และอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงสถานะคล้ายแก้ว (Tg)
3. ใช้วิธีการพ่นสารเคลือบลงบนผิวของทุเรียนพันธุ์หมอนทองเพื่อเตรียมฟิล์มบางจากฟิล์มที่คัดเลือกจากข้อ 2
4. ประเมินคุณภาพของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองที่เคลือบด้วยฟิล์มที่ได้จากข้อ 2 ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสเปรียบเทียบกับเนื้อทุเรียนที่ไม่ได้เคลือบ เป็นเวลา 26 วัน
5. วิเคราะห์ต้นทุนของฟิล์มเคลือบบริโกลด์ได้แบบที่ให้ผลดีที่สุดจากการทดลองสำหรับเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทอง

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทูเรียน

ทูเรียน (Durian) พันธุ์ที่ผลิตเป็นการค้ามีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า "*Durio zibethinus* Murray." อยู่ในวงศ์ Bombacaceae มีถิ่นกำเนิดทางเอเชียตะวันออกเฉียงใต้แถบหมู่เกาะบอร์เนียว ประเทศอินโดนีเซีย ต่อมาได้แพร่กระจายไปยังแหล่งต่างๆ รวมถึงประเทศไทย ทูเรียนเป็นผลไม้ที่มีความสำคัญในทางเศรษฐกิจ ดังจะเห็นได้จากมูลค่าที่ส่งออกทูเรียนไปยังต่างประเทศในปี พ.ศ. 2546 การส่งออกทูเรียนสดมีมูลค่าสูงถึง 1,324.21 ล้านบาท โดยส่งออกไปตลาดต่างประเทศที่สำคัญ ได้แก่ ฮองกง และ ไต้หวัน และ 675.42 ล้านบาทสำหรับทูเรียนแช่แข็ง โดยส่งออกไปตลาดต่างประเทศที่สำคัญ ได้แก่ ฮองกง และ สหรัฐอเมริกา และการส่งออกทูเรียนแปรรูปโดยใช้น้ำตาล มีมูลค่าส่งออก 17.1 ล้านบาท ตลาดส่งออกที่สำคัญ ได้แก่ สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น และ ฮองกง (กรมศุลกากร, 2547) แหล่งผลิตทูเรียนที่สำคัญ อยู่ในเขตจังหวัดภาคตะวันออกเฉียงใต้ ประมาณ 49 เปอร์เซ็นต์ ได้แก่ จังหวัดระยอง จันทบุรี ตราด และปราจีนบุรี รองลงมาคือ ภาคใต้ 44 เปอร์เซ็นต์ (Salakpetch, 2000) ฤดูกาลของผลผลิตทูเรียนทางภาคตะวันออกเฉียงใต้ คือ เดือนเมษายน และทางภาคใต้คือ เดือนมิถุนายน-เดือนสิงหาคม (สถิติการปลูกไม้ผลไม้ยืนต้น กองแผนงาน กรมส่งเสริมการเกษตร, 2543)

พันธุ์ทูเรียนที่มีการส่งเสริมในปัจจุบัน มีอยู่ 4 พันธุ์ คือ ชะนี หมอนทอง ก้านยาว และ กระดุมทอง ซึ่งทูเรียนโดยทั่วไปแล้วจะมีความหมายของคำต่างๆที่ใช้ในมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ ดังต่อไปนี้ (มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2546)

แกน หมายถึง ลักษณะเนื้อทูเรียนที่แข็งเป็นไต

เต่าเผา หมายถึง ลักษณะของเนื้อทูเรียนบางส่วนที่มีสีน้ำตาล หรือน้ำตาลไหม้

ไส้ซึม หมายถึง ไส้กลางของผลและและอาการนี้อาจลามไปถึงเนื้อ

พูสมบวม หมายถึง ลักษณะภายนอกของพูทูเรียนที่เป็นพูเต็มตลอดความยาวของผล

ทูเรียนแต่ละพันธุ์ จะมีดัชนีเก็บเกี่ยวแตกต่างกันไป เกษตรกรต้องพิจารณาทั้งระยะเวลา ตั้งแต่ดอกบาน ถึงเกสรที่ปลายนาม ความแข็งของหนาม สีผิวของก้าน ประกอบกับการสังเกตรอยต่อระหว่างก้านผล (ปลิง) บวมขึ้น ร่วมกับการเคาะฟังเสียง โดยที่ทูเรียนพันธุ์หมอนทองมีดัชนีการเก็บเกี่ยวอยู่ที่ 115 – 130 วันหลังดอกบาน พันธุ์ก้านยาวและชะนีอยู่ที่ 100 -120 วันหลังดอก

บาน และพันธุ์กระดุมอยู่ที่ 90 -100 วันหลังดอกบาน (จริงแท้ ศิริพานิช และ ชีรนุศ ร่มโพธิ์ภักดิ์, 2543)

ลักษณะโดยทั่วไป ทูเรียนเป็นผลไม้ที่มีขนาดใหญ่ รูปร่างโดยทั่วไปมีลักษณะเป็นวงรี น้ำหนักเฉลี่ยประมาณ 2 - 4 กิโลกรัม แต่มีส่วนที่รับประทานได้เพียง 30 - 50 %ของน้ำหนักผลเท่านั้น และคุณภาพภายในมีความแปรปรวนมาก โดยเฉพาะพันธุ์ชะนีซึ่งอาจมีอาการแค้นไส้ซึมเต่าเผา นอกจากนั้นทูเรียนเมื่อเก็บเกี่ยวแล้วยังประสบปัญหาเกี่ยวกับโรคที่เกิดขึ้น เนื่องจากการเข้าทำลายของเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆ เช่น *Phytophthora botryose* โดยเชื้อจุลินทรีย์จะทำให้ผลทูเรียนเน่าและอาจส่งผลกระทบต่อเนื้อทูเรียนที่อยู่ภายในผลได้ วิธีการป้องกันกำจัดเชื้อ *Phytophthora botryose* แก้ไขโดยใช้คาร์เบนดาซิม (carbendazim) นีดฟอสลับกับแมนโคเซป (mancozeb) ตั้งแต่ระยะช่อดอกจนถึงใกล้เก็บเกี่ยวร่วมกับจุ่มผลในคาร์เบนดาซิม หรือไทอะเบนดาโซล (thiabendazole) แล้วเก็บที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส เนื่องจากทูเรียนเป็นผลไม้ประเภท climacteric การดำเนินการที่เหมาะสมในการเก็บรักษาผลทูเรียน คือที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส ช่วงความชื้นสัมพัทธ์ที่ดี คือ 80 - 90% โดยจะมีอายุการเก็บรักษาประมาณ 2 -3 สัปดาห์ (จริงแท้ ศิริพานิช และ ชีรนุศ ร่มโพธิ์ภักดิ์, 2543) ส่วนเนื้อทูเรียนการศึกษาทดลองพบว่ามีความทนทานมากกว่าทูเรียนทั้งผล สามารถเก็บรักษาได้ที่อุณหภูมิ 4-5 องศาเซลเซียส นานถึง 6 สัปดาห์โดยที่ยังมีคุณภาพเป็นที่ยอมรับได้ (จริงแท้ ศิริพานิช, 2546)

ทูเรียนเป็นผลไม้สดที่มีคุณค่าทางอาหารสูง ในเนื้อทูเรียน 100 กรัม จะให้พลังงานสูงถึง 153 แคลอรี นอกจากนี้ยังมีพวกความชื้น 64.1 กรัม โปรตีน 2.6 กรัม ไขมัน 3.4 กรัม คาร์โบไฮเดรต 27.9 กรัม แร่ธาตุ 103.9 กรัม เบต้าแคโรทีน 140 มิลลิกรัม วิตามินบี 1 0.1 มิลลิกรัม วิตามินบี 2 0.13 มิลลิกรัม และวิตามินซี 23.2 มิลลิกรัม (Salakpetch, 2000)

ในปัจจุบันมีการแปรรูปผักและผลไม้สดพร้อมบริโภค ทูเรียนก็เช่นเดียวกันโดยหลังจากแกะเนื้อออกจากพูแล้ว มักใช้กระดาษสีขาวห่อปิดรอยตัดจากไส้กลางผล วางบนถาดโฟมหรือถาดพลาสติกแล้วห่อด้วยพลาสติกใส (จริงแท้ ศิริพานิช, 2546) ซึ่งสาเหตุที่ทำให้ปัจจุบันนิยมรับประทานทูเรียนที่ปอกเปลือกแล้ว ได้แก่

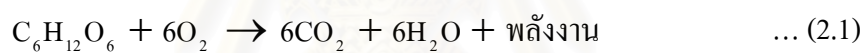
1. ผลมีขนาดใหญ่ ทำให้ไม่สะดวกในการซื้อมารับประทาน
2. มีปัญหาเรื่องคุณภาพภายในที่ตรวจสอบไม่ได้จากภายนอก เช่นทูเรียนไส้ซึม
3. การปอกผลทำได้ยากและเสียเวลา
4. เปลือก หรือส่วนที่รับประทานไม่ได้มีเป็นจำนวนมาก

2.2 การเปลี่ยนแปลงของกระบวนการทางชีวเคมีในผักและผลไม้

ในช่วงชีวิตของผักและผลไม้ก่อนจะถึงมือของผู้บริโภคจะต้องผ่านกระบวนการที่เกิดขึ้นในหลายกระบวนการ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นภายในเนื้อของผักและผลไม้เอง เช่น การเจริญเติบโต การสุก (ripening) และสุดท้ายเกิดการเสื่อมสลาย (senescence) การเปลี่ยนแปลงที่แสดงให้เห็นในกระบวนการต่างๆ เกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาเคมีเป็นส่วนสำคัญ (ทนาง ภัครัชพันธุ์, 2526)

- การหายใจ

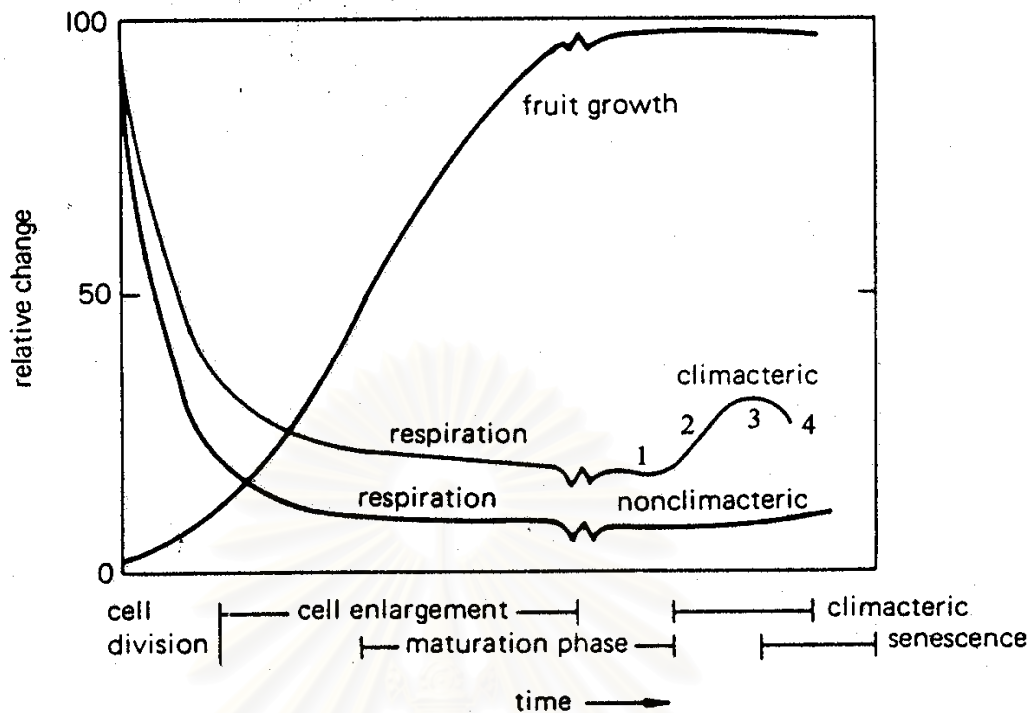
การหายใจเป็นกระบวนการทางชีวเคมีที่มีความสำคัญมากที่สุดกระบวนการหนึ่งในสิ่งมีชีวิตเพราะเป็นกระบวนการที่พลังงานซึ่งอยู่ในรูปอาหารสะสมถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของพลังงานที่สามารถนำไปใช้ได้ทันทีสำหรับกิจกรรมต่างๆ เช่น การเจริญเติบโต การเคลื่อนย้ายอาหาร และการขยายพันธุ์ (จริงแท้ สิริพานิช, 2546) การหายใจที่ใช้กลูโคสเป็น substrate แสดงสมการได้ดังนี้ คือ



จากสมการจะได้พลังงานออกมาใช้ประโยชน์ ซึ่งเป็นพลังงานเคมีอยู่ในรูปของโมเลกุล ATP (adenosine triphosphate) ซึ่งสามารถนำไปใช้ได้ทันที (จริงแท้ สิริพานิช, 2546; ทนาง ภัครัชพันธุ์, 2526)

ผลไม้หลายชนิดมีการหายใจเพิ่มขึ้นเมื่อผลไม้สุกเพิ่มขึ้น หลังจากเก็บเกี่ยวแล้วพบว่าผลไม้มีการหายใจสูงขึ้น ลักษณะเช่นนี้เรียกว่า climacteric ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.1: เปรียบเทียบอัตราการหายใจของผลไม้ประเภท climacteric และ non-climacteric
ที่มา จริงแท้ ศิริพานิช, 2546

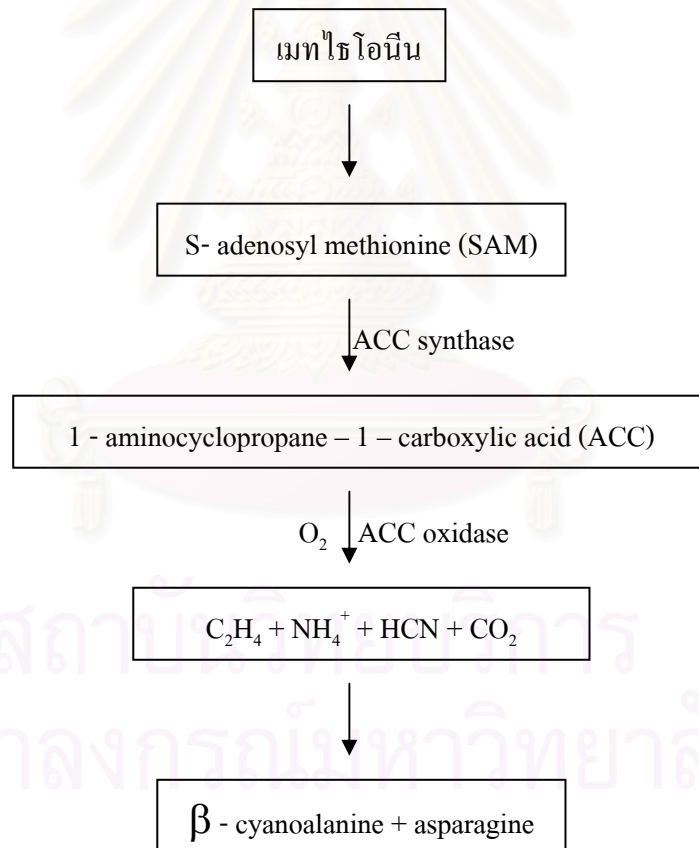
จากรูป เมื่อระยะเวลาผ่านไปอัตราการหายใจจะมีค่าต่ำลง แต่ในผลไม้บางชนิด มีอัตราการหายใจเพิ่มสูงขึ้นอย่างชัดเจนในขณะที่ผลไม้สุก เช่นทุเรียน ลักษณะของการสูงขึ้นของอัตราการหายใจนี้ เรียกว่า climacteric ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ระยะ ได้แก่ 1. pre-climacteric, 2. climacteric rise, 3. climacteric peak และ 4. post-climacteric ผลไม้ที่มีลักษณะการหายใจแบบนี้เรียกว่า climacteric fruit และผลไม้ที่มีอัตราการหายใจที่แตกต่างไปจาก climacteric เรียกว่า non-climacteric ซึ่งผลไม้พวกนี้มีอัตราการหายใจที่สม่ำเสมอ

- การคายน้ำ

ผักและผลไม้ต่างๆ มีการคายน้ำอยู่ตลอดเวลาเพื่อระบายความร้อนที่เกิดจากการหายใจ และปริมาณความชื้นภายในที่มีอยู่มากกว่า 80% ซึ่งสูงกว่าความชื้นของอากาศภายนอก ดังนั้นน้ำภายในผักและผลไม้จึงพยายามเคลื่อนตัวออกสู่ภายนอกผลิตผลอยู่ตลอดเวลา ถึงแม้ผักและผลไม้จะมีโครงสร้างต่างๆ เพื่อป้องกันการระเหยของน้ำ เช่น ชั้นของไข (wax) ที่ปกคลุมผิวอยู่ แต่ผักและผลไม้ก็มีช่องเปิดต่างๆ ที่ยอมให้น้ำและอากาศผ่านเข้าออกได้ เช่น ปากใบ และเลนติเซล จึงทำให้เกิดการสูญเสียน้ำเกิดขึ้น ทำให้คุณภาพในการรับประทานลดลง โดยเฉพาะในแง่ของเนื้อสัมผัส (texture) ทำให้ผิวเหี่ยวขุ่นไม่ดึงดูดใจต่อผู้บริโภค (จริงแท้ ศิริพานิช และ ชีรนุต ร่มโพธิ์ภักดิ์, 2543)

- เอทิลีน (Ethylene)

เอทิลีนเป็นฮอร์โมนพืชชนิดเดียวที่มีสถานะเป็นแก๊ส ไม่มีสี มีกลิ่นเล็กน้อย จัดเป็นสารประเภทไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon) มีสูตรทางเคมีคือ $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ สามารถแพร่กระจายไปยังส่วนต่างๆ ของพืชได้ง่าย ทำให้มีอิทธิพลค่อนข้างกว้างต่อการพัฒนาของพืช โดยทั่วไปเอทิลีนไปเร่งอัตราการเสื่อมสภาพของพืชหรือส่วนของพืช ทั้งนี้เพราะเอทิลีนสามารถกระตุ้นเนื้อเยื่อทุกชนิดให้มีอัตราการหายใจสูงขึ้นได้ ในผลไม้เอทิลีนกระตุ้นให้เกิดการสุกได้เร็วขึ้น ส่วนผลไม้ประเภท climacteric เอทิลีนกระตุ้นให้เกิดการสุกขึ้น และมีรสชาติเหมาะแก่การบริโภค (จริงแท้ ศิริพานิช, 2546) พืชชั้นสูงทุกชนิดและจุลินทรีย์บางชนิดสามารถผลิตเอทิลีนได้ โดยอาศัยกรดอะมิโนที่จำเป็นที่สัตว์ไม่สามารถผลิตได้ชนิดหนึ่งคือ เมทไธโอนีน (methionine) เป็นต้นกำเนิดในการสังเคราะห์เอทิลีน แสดงขั้นตอนการผลิตเอทิลีนดังรูปที่ 2.2



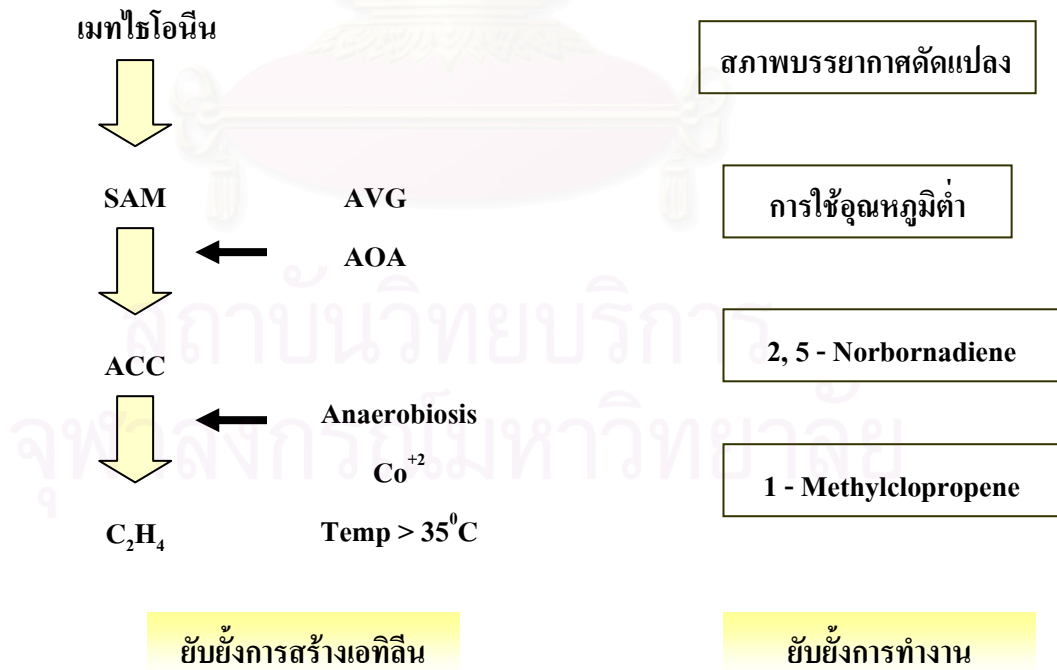
รูปที่ 2.2: ขั้นตอนการสังเคราะห์เอทิลีน

ที่มา เอกสารประกอบการฝึกอบรมวิทยากรหลังการเก็บเกี่ยวพืชสวน, 2547

จากรูป เมทไธโอนีน ถูกเปลี่ยนไปเป็น S-adenosyl methionine (SAM) ทั้ง เมทไธโอนีน และ SAM นี้้อาจถูกใช้ไปในการสังเคราะห์โปรตีนบางอย่าง แต่ SAM ถูกใช้ในการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ ลิกนิน และเพคตินด้วย ในลำดับต่อมา SAM ถูกเปลี่ยนเป็น 1 - aminocyclopropane - 1 - carboxylic acid (ACC) ACC นั้นไม่ปรากฏว่าถูกนำไปใช้ประโยชน์อย่างอื่น นอกจากถูกเปลี่ยนเป็นเอทิลีนในลำดับสุดท้ายโดยเอนไซม์ ACC oxidase

เอทิลีนจะทำงานหรือแสดงอิทธิพลโดยผ่านตัวกลางหรือตัวรับ (receptor) เมื่อพิจารณาถึงกระบวนการสุกของผลไม้ประเภท climacteric เมื่อผลไม้ยังไม่บรรจบจะมีความต้านทานต่อการสุกหรือต้านทานต่ออิทธิพลของเอทิลีนมาก แต่เมื่อผลไม้บรรจบแล้วความต้านทานต่ออิทธิพลของเอทิลีนลดลง ในผลไม้ประเภทนี้การผลิตเอทิลีนจัดได้เป็น 2 ระบบ คือ system I และ system II system I นั้นคือการสร้างเอทิลีนตามปกติที่มีอยู่ในเนื้อเยื่อต่างๆ ไป ส่วน system II จะเกิดขึ้นเมื่อการสังเคราะห์เอทิลีน ACC synthase และ ACC oxidase ถูกกระตุ้นขึ้นโดยเอทิลีนเอง (autocatalysis) ผลไม้ประเภท non - climacteric และเนื้อเยื่อ vegetative อื่นๆ มีการผลิตเอทิลีนใน system I เท่านั้น ไม่มี autocatalysis เกิดขึ้น (จริงแท้ ศิริพานิช, 2546)

การป้องกันความเสียหายจากเอทิลีน เช่น กำจัดแหล่งที่มาของเอทิลีน โดยใช้สารดูดซับเอทิลีน ได้แก่ โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (KMnO₄) หรือยับยั้งการสร้างและการทำงานของเอทิลีนแสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3: การยับยั้งการสร้างและการทำงานของเอทิลีน ที่มา เอกสารประกอบการฝึกอบรมวิชาการหลังการเก็บเกี่ยวพืชสวน, 2547

จากรูป สาร L - 2 - amino - 4 - (2 - aminoethoxy) - trans - 3 - butenoic acid (AVG) และ aminooxy acetic acid (AOA) ทั้ง 2 ชนิดสามารถยับยั้งการผลิตเอทิลีนในลำดับของ ACC synthase ส่วน Co^{2+} นั้นยับยั้งการผลิตเอทิลีนในลำดับสุดท้ายจาก ACC เป็นเอทิลีน นอกจากนี้การใช้ฮอร์โมนสูงสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ACC oxidase ที่เปลี่ยน ACC เป็นเอทิลีน สำหรับการยับยั้งการทำงานซึ่งใช้ในงานวิจัยนี้ ได้แก่ การใช้บรรยากาศดัดแปลง (MA) เช่นการเคลือบผิว ทำให้การแลกเปลี่ยนก๊าซเป็นไปได้น้อย ทำให้มีปริมาณออกซิเจน (O_2) ต่ำลงและคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) สูงขึ้น สภาพดังกล่าวสามารถยับยั้งการสร้างเอทิลีน (สภาพการทำงานแบบไม่ใช้ออกซิเจนเนื่องจากมีปริมาณออกซิเจนต่ำ) และยับยั้งการทำงานของเอทิลีนเนื่องจากสูตรโครงสร้างที่คล้ายคลึงกันของคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และเอทิลีน (C_2H_4) โดยคาร์บอนไดออกไซด์ไปแย่งที่เอทิลีนในการจับกับตัวรับ กระบวนการสุกของผลไม้จึงชะลอลงและการหายใจในผลิตผลลดลงด้วย (จริงแท้ ศิริพานิช, 2546) การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำก็สามารถยับยั้งการทำงานของเอทิลีนได้ เนื่องจากอุณหภูมิต่ำควบคุมอัตราการเกิดการเกิดปฏิกิริยาอุณหภูมิสูงย่อมกระตุ้นให้ปฏิกิริยาเคมีต่างๆเกิดขึ้นในอัตราที่สูงขึ้น ส่วนสาร 2,5 - Norbornadiene และ 1-Methylcyclopropane เป็นสารที่เติมลงไปเพื่อยับยั้งการทำงานของเอทิลีน

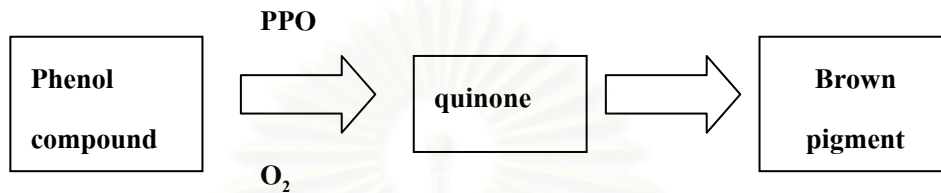
2.3 องค์ประกอบทางเคมีและการเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยว

เนื่องจากผักและผลไม้เป็นสิ่งที่ยังมีชีวิต จึงมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา องค์ประกอบทางเคมีของผักและผลไม้ก็เปลี่ยนแปลงไปด้วย และเปลี่ยนไปในทางที่ทำให้คุณภาพลดลง ดังนั้นในการทดลองที่เกี่ยวข้องกับการเก็บรักษาผักและผลไม้ให้มีคุณภาพคืออยู่ได้นานที่สุด จึงจำเป็นต้องเข้าใจถึงองค์ประกอบต่างๆ ที่มีอยู่ในผักและผลไม้แต่ละชนิดและการเปลี่ยนแปลงในสภาพแวดล้อมต่างๆ กัน

- การเปลี่ยนแปลงของสี

การเปลี่ยนแปลงของผักและผลไม้ระหว่างการสุกที่เห็นได้ชัด คือ การเปลี่ยนแปลงสี โดยสีที่พบในผักและผลไม้ประกอบด้วยรงควัตถุ 3 กลุ่ม คือ แคโรทีนอยด์ (carotenoids) คลอโรฟิลล์ (chlorophyll) และแอนโทไซยานิน (anthocyanin) ในผลไม้การสูญเสียสีเขียวหรือคลอโรฟิลล์แสดงให้เห็นถึงคุณภาพในการรับประทาน และมักเกิดขึ้นพร้อมๆ กับการปรากฏขึ้นของสีเหลืองและสีแดงซึ่งเป็นสารสีประเภทหนึ่ง คือ คาโรทีนอยด์ ซึ่งเป็นแหล่งของวิตามินเอ ในเนื้อทุเรียนพบว่ามีปริมาณเบต้าแคโรทีนซึ่งเป็นสารให้สีเหลืองในเนื้อทุเรียน (สุภารัตน์ สุตพันธ์, 2536) ส่วนแอนโทไซยานินเป็นสารให้สีแดงและสีม่วงแก่ผักและผลไม้ และทำให้เกิดสีน้ำตาลขึ้นในผลิตภัณฑ์ได้เมื่อ

แอนโทไซยานินถูกออกซิไดซ์ด้วยเอนไซม์ polyphenol oxidase ที่มีอยู่มากในเซลล์พืชโดยเฉพาะเมื่อพืชถูกกระทบกระเทือน ทำให้ผลิตภัณฑ์เปลี่ยนสีและทำให้เกิดสีน้ำตาลขึ้น นอกจากนี้ สารประกอบฟีนอลอื่นๆซึ่งปกติไม่มีสีก็อาจทำให้เกิดสีน้ำตาลขึ้นได้ เช่น เมื่อปอกเปลือกผลไม้ทิ้งไว้สักพักเนื้อของผลไม้เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเนื่องจากเอนไซม์ polyphenol oxidase ที่มีต่อสารประกอบจำพวกฟีนอลเมื่อสัมผัสกับออกซิเจน (จริงแท้ ศิริพานิช, 2546) ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4: ขั้นตอนการเกิดสีน้ำตาลในผักและผลไม้ที่ปอกหรือหั่น
ที่มา จริงแท้ ศิริพานิช, 2546

ในการควบคุมหรือยับยั้งการเกิดเอนไซม์ชนิดนี้อาจทำได้โดยใช้ความร้อน หรือเติมสารบางชนิดลงไป เช่น กรดแอสคอร์บิก (วิตามินซี) ซิสทีน โซเดียมคลอไรด์ และอะดินีนไดฟอสเฟต เป็นต้น (ทนาง ภักฤษพันธุ์, 2526)

- ลักษณะเนื้อสัมผัส

ในระหว่างการสุกเนื้อเยื่อของผักและผลไม้จะอ่อนตัวลง สาเหตุใหญ่ในการเปลี่ยนแปลงครั้งนี้เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของผนังเซลล์ สารที่เกี่ยวข้องมากที่สุดได้แก่สารประกอบพวกเพคติน โดยมีเอนไซม์ที่สำคัญ 2 ตัว คือ pectinesterase และ polygalacturonase โดยเอนไซม์สองตัวนี้รวมกันเรียกว่า protopectinase (ทนาง ภักฤษพันธุ์, 2526) ทำการย่อยสลายสารโปรโตเพคตินเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของสารที่ละลายน้ำได้มากขึ้นหรือ เพคติน (ทนาง ภักฤษพันธุ์, 2526; Imsabai, Ketsa และ Doorn, 2002; Ketsa และ Daengkanit, 1999b)

Ketsa และ Daengkanit (1999a) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าความแน่นเนื้อ ผลของเพคตินที่สามารถละลายน้ำได้ และกิจกรรมของไฮโดรไลติกเอนไซม์ ได้แก่ polygalacturonase, pectinesterase, β - galactosidase และ cellulase โดยทำการศึกษากับเนื้อทุเรียนพันธุ์ชะนีที่เก็บเกี่ยวมาที่ระยะเวลาต่างกัน คือ ทุเรียนอายุ 109 ± 2 วัน และ 102 ± 2 วัน พบว่าทุเรียนอายุ 109 ± 2 วัน มีค่าความแน่นเนื้อต่ำกว่าทุเรียนอายุ 102 ± 2 วัน แต่หลังจากเก็บไว้ตั้งแต่วันที่ 4 พบว่าค่าที่ได้มีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก โดยการลดลงของค่าความแน่นเนื้อจะส่งผลควบคู่ไปกับการเพิ่มขึ้นของเพคตินที่ละลายน้ำได้ พบว่าทุเรียนอายุ 109 ± 2 วัน มีเพคตินที่ละลายน้ำได้สูงกว่า

ทุเรียนอายุ 109 ± 2 วัน แสดงว่าทุเรียนอายุ 109 ± 2 วัน มีเอนไซม์ที่เป็นตัวย่อยสลายผนังเซลล์ของเพคตินมากกว่าทุเรียนอายุ 102 ± 2 วัน และผลของกิจกรรมของเอนไซม์ทั้ง 4 ตัวพบว่า มีเพียงเอนไซม์ polygalacturonase และ pectinesterase เท่านั้นที่ส่งผลต่อการลดลงของค่าความแน่นเนื้อและความสามารถในการละลายของเพคตินของเนื้อทุเรียนพันธุ์ชะนีที่เก็บเกี่ยวที่ระยะเวลาต่างกัน

ImSabai และคณะ (2002) ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิ 3 ระดับ คือที่ 12, 27 และ 34 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ $85 \pm 5\%$ และกิจกรรมของเอนไซม์ polygalacturonase และ pectinesterase ต่อความอ่อนนุ่มของเนื้อทุเรียนพันธุ์ชะนีพบว่าที่อุณหภูมิ 27 และ 34 องศาเซลเซียส ค่าความแน่นเนื้อของทุเรียนมีค่าต่ำลงมากเมื่อเทียบกับที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ในขณะที่กิจกรรมของเอนไซม์ polygalacturonase ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส มีค่าสูงกว่าที่ 34 องศาเซลเซียส ส่วนเอนไซม์ pectinesterase มีค่าสูงในช่วงที่เก็บเกี่ยวจากนั้นมีค่าเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส พบว่าค่าความแน่นเนื้อเปลี่ยนแปลงน้อยมากและกิจกรรมของเอนไซม์ polygalacturonase และ pectinesterase มีค่าต่ำ และเพคตินละลายน้ำได้มีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

- การเปลี่ยนแปลงกลิ่นและรสชาติ

กลิ่นและรสชาติเป็นคุณสมบัติเฉพาะอย่างหนึ่ง ซึ่งแตกต่างกันตามชนิดของผักและผลไม้ พบว่าทุเรียนเมื่อปอกเปลือกแล้ว มีการส่งกลิ่นและมีกลิ่นแรงขึ้นเมื่อตั้งไว้ในระยะเวลาที่นานขึ้น ส่งผลให้รสชาติเปลี่ยนแปลงได้ (จริงแท้ ศิริพานิช, 2546) เนื่องจากผักและผลไม้เป็นสิ่งมีชีวิตหลังการเก็บเกี่ยว และยังคงรักษาความสดอยู่ได้ทราบเท่าที่เมทาบอลิซึม (metabolism) ยังคงดำเนินอยู่ได้แก่ การดูดซึมออกซิเจน ไปย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตให้เป็น คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และพลังงาน ถ้าปริมาณออกซิเจนที่ใช้ได้มีจำกัด ปฏิกริยาทางเคมีของผักและผลไม้จะเปลี่ยนไป กล่าวคือมีการผลิตแอลกอฮอล์ขึ้น ทำให้กลิ่นรสของผักและผลไม้เปลี่ยนไปและเซลล์ของพืชถูกทำลาย กระบวนการที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า anaerobic decay ซึ่งทำให้ผักและผลไม้เสียภายใน 2 – 3 ชั่วโมง (ทงนง ภัครัชพันธุ์, 2526)

- น้ำตาลและแป้ง

โดยปกติผลไม้จำพวก climacteric มีปริมาณน้ำตาล ซึ่งเกิดจากการสลายตัวของคาร์โบไฮเดรตโมเลกุลใหญ่ เช่น แป้ง เมื่อผลไม้สุก แป้งจะถูกเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาล ทำให้ผลไม้มีรสหวานขึ้น ผลผลิตที่มีการหายใจตลอดเวลามีการใช้น้ำตาลเป็นแหล่งอาหาร หรือพลังงาน ทำให้ปริมาณน้ำตาลที่สะสมอยู่ลดน้อยลง (จริงแท้ ศิริพานิช และธีรนุต ร่มโพธิ์ภักดิ์, 2543)

2.4 ปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อชีววิทยาของผักและผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว

จากกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีในผักและผลไม้พบว่าปัจจัยที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในผลิตภัณฑ์ 2 ปัจจัย คือ ปัจจัยภายในและปัจจัยภายนอก

2.4.1 ปัจจัยภายใน เช่น ขนาดของผลิตภัณฑ์ พันธุกรรม

- ขนาดของผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่ มีพื้นที่ผิวในการระเหยน้ำได้มากกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดเล็ก แต่เมื่อคิดเทียบต่อน้ำหนักที่เท่ากันแล้ว ผลขนาดเล็กมีพื้นที่ผิวมากกว่า ดังนั้นผลขนาดเล็กกว่ามีสูญเสียน้ำได้มากกว่าและเหี่ยวได้เร็วกว่าผลขนาดใหญ่ (จริงแท้ ศิริพานิช, 2546)

- พันธุกรรม

พันธุกรรมที่แตกต่างกันของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดย่อมส่งผลให้มีอัตราการหายใจที่ต่างกันไป ผลส้มที่เก็บเกี่ยวมาแล้วไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลงใดเกิดขึ้นชัดเจน จึงมีอัตราการหายใจต่ำกว่าผลไม้ชนิดอื่น เช่น กัลยัม มะม่วง ทูเรียน ซึ่งต่างก็มีการเปลี่ยนแปลง มีการสุกเกิดขึ้นอย่างชัดเจน จะเห็นได้ว่าทั้งกัลยัม มะม่วง หรือทูเรียนซึ่งเป็นผลไม้ประเภท climacteric หรือเมื่อเปรียบเทียบกับส้มซึ่งเป็นผลไม้ประเภท non-climacteric พบว่าอัตราการหายใจของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดมีความแตกต่างกันทั้งนี้ก็เพราะพันธุกรรมที่ต่างกัน (จริงแท้ ศิริพานิช, 2546)

2.4.2 ปัจจัยภายนอก

เป็นปัจจัยที่สามารถควบคุมได้เนื่องจากปัจจัยภายในเป็นสิ่งที่โดนกำหนดมาแล้วว่าให้มีลักษณะของผลิตภัณฑ์เป็นอย่างไร การเปลี่ยนแปลงลักษณะของผลิตภัณฑ์ก็ได้ลำบาก และทำได้ยาก เช่นการตัดต่อยีน ดังนั้นถ้าจะเปลี่ยนแปลงหรือควบคุมผลิตภัณฑ์ก็ต้องคำนึงถึงปัจจัยภายนอกของผลิตภัณฑ์เป็นสำคัญ ปัจจัยภายนอกที่สามารถควบคุมได้ เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ สภาพบรรยากาศ หรือความเครียดทางกายภาพ

- อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญ เพราะอุณหภูมิที่สูงขึ้นปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ก็สามารถเกิดขึ้นได้ในอัตราที่สูงขึ้น เช่น การหายใจ การคายน้ำ หรือการผลิตเอทิลีน ทำให้การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิต่ำเป็นสิ่งที่สำคัญ แต่สำหรับผลิตภัณฑ์บางชนิดที่มีถิ่นกำเนิดในเขตร้อนหรือกึ่งร้อน เช่น ผลทูเรียน พบว่าเมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 10 – 12 องศาเซลเซียส อัตราการหายใจเพิ่ม

สูงขึ้น และเมื่อเก็บรักษาทุเรียนไว้ที่ อุณหภูมิ 4 – 5 องศาเซลเซียส ทำให้ผลทุเรียนมีลักษณะผิดปกติขึ้น ลักษณะเช่นนี้เรียกว่าอาการสะท้อนหนาว หรือ chilling injury โดยเปลือกจะมีสีน้ำตาลคล้ำมาก และมีรอยปริที่ช่องหนาม ก้านและปลิงเหี่ยว ผลจะสุกผิดปกติหรือไม่ยอมสุกเลย เป็นต้น (สุรพงษ์ โกสิทธิ์จินดา, 2529) แต่สำหรับเนื้อทุเรียนจากการศึกษา พบว่าเมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 – 5 องศาเซลเซียส สามารถเก็บรักษาไว้ได้อย่างน้อย 6 สัปดาห์ (จริงแท้ ศิริพานิช, 2546)

- ความชื้นสัมพัทธ์

ในอากาศมีโมเลกุลของน้ำแทรกอยู่เสมอ แต่ส่วนใหญ่มักไม่อิ่มตัวด้วยไอน้ำ ผลผลิตจึงมีการสูญเสียไอน้ำอยู่ตลอดเวลา ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเป็นส่วนสำคัญ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นอากาศจะรับไอน้ำได้มากขึ้น (ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำลง) ในทางตรงกันข้ามเมื่ออุณหภูมิต่ำลง อากาศรับไอน้ำได้น้อยลง (ความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้น) ดังนั้นนอกจากอุณหภูมิต่ำจะช่วยลดการเสื่อมสภาพของผลผลิตแล้วยังช่วยลดการสูญเสียไอน้ำด้วย (จริงแท้ ศิริพานิช และ ธีรนุด ร่มโพธิ์ภักดิ์, 2543) จากอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ กล่าวได้ว่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์มีความสัมพันธ์กัน ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเก็บรักษาผลผลิตในเรื่องการสูญเสียไอน้ำออกจากผลผลิต

- บรรยากาศ

ออกซิเจนในบรรยากาศเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับกระบวนการหายใจและการสร้างเอทิลีนในพืช ถ้าความเข้มข้นของออกซิเจนลดต่ำลง ทำให้ทั้งอัตราการหายใจและการสร้างเอทิลีนลดลง ส่งผลให้การเสื่อมสภาพของผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยวเกิดช้าลง คาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นก๊าซที่ได้จากการหายใจ ถ้ามีการสะสมมากในสภาพแวดล้อมของการเก็บรักษา ทำให้ทั้งการหายใจและการผลิตเอทิลีนลดต่ำลงและยืดอายุการเก็บรักษาผลผลิตออกไป แต่อย่างไรก็ตามถ้าปริมาณออกซิเจนลดต่ำลงเกินไป (น้อยกว่า 5 – 10%) หรือปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศสูงมากเกินไป (มากกว่า 10 – 15%) จะกระตุ้นให้เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน หรือเกิดกระบวนการหมักขึ้นในผักและผลไม้ ทำให้เกิดการสะสมแอลกอฮอล์ ซึ่งมีผลต่อผักและผลไม้ทำให้เกิดกลิ่นและรสชาติที่ผิดปกติได้ (จริงแท้ ศิริพานิช และ ธีรนุด ร่มโพธิ์ภักดิ์, 2543)

- ความเครียดทางกายภาพ

การกระทบกระเทือนของผลผลิตทำให้เกิดความชื้นและส่งผลต่ออัตราการหายใจที่เพิ่มสูงขึ้น การเพิ่มขึ้นของอัตราการหายใจเนื่องจากความเครียดทางกายภาพนี้เกิดขึ้นพร้อมๆ กับการเพิ่มของอัตราการผลิตเอทิลีน (จริงแท้ ศิริพานิช, 2546)

2.5 ฟิล์มเคลือบบริโภคได้ (Edible Coating Film)

แนวคิดในการใช้ฟิล์มเคลือบบริโภคได้ในการใช้เคลือบป้องกันอาหารได้ถูกตีพิมพ์เป็นเอกสารในปี ค.ศ.1800 และในปี ค.ศ. 1950 มีการจดสิทธิบัตรของการใช้ฟิล์มเคลือบบริโภคได้ในการใช้ยืดอายุการเก็บรักษาอาหาร เช่น เนื้อแช่แข็ง สัตว์ปีกจำพวก เป็ด และไก่ และพวกอาหารทะเล โดยใช้สารจำพวก แอลจินेट ไขมัน กัมและแป้ง (Guilbert, Gontard และ Gorris, 1996) ฟิล์มเคลือบบริโภคได้เป็นวัสดุที่มีลักษณะเป็นชั้นบาง สามารถใช้เคลือบหรือห่อหุ้มผลิตภัณฑ์ เพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงในด้านคุณภาพอาหาร ฟิล์มดังกล่าวทำหน้าที่คล้ายผิวอีกชั้นหนึ่งของผลิตภัณฑ์ช่วยชะลอการซึมผ่านของไอน้ำ ก๊าซ และสารให้กลิ่นรสที่ระเหยได้ อันเป็นผลให้ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ที่เคลือบได้ (Miller และ Limited, 1997) มีรายงานว่าได้มีการพัฒนาฟิล์มเคลือบบริโภคได้ในการป้องกันและยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้หลายชนิด เช่น ส้ม แอปเปิ้ล และเกรฟฟรุต (Park, 1999) และสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น การใช้สารพวกไขมันบริโภคได้สำหรับเคลือบผักและผลไม้ การใช้สารพวกเซลลูล์ซเคลือบบนลูกอมหรือถั่วชนิดต่างๆ บรรจุภัณฑ์ที่ทำจากวัสดุธรรมชาติสำหรับเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ หรือการใช้สารจำพวกเจลาตินในการเคลือบแคปซูลสำหรับงานด้านเภสัชกรรม (Petersen และคณะ, 1999)

สมบัติของฟิล์มเคลือบบริโภคได้มีทั้งสมบัติที่ใช้เป็นตัวกั้นสารเช่น ก๊าซออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจน และเอทิลีน เป็นตัวกั้นการแพร่ผ่านของไอน้ำ และกลิ่น และยังแสดงสมบัติทางกลได้ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่ใช้ในการขึ้นรูปฟิล์มและโครงสร้างในการยึดติดกัน (cohesion) ของฟิล์ม (Guilbert และคณะ, 1996) โดยวัดได้ในรูปของความทนแรงดึง (tensile strength) ของฟิล์ม การยืดตัวของฟิล์ม (%elongation) ซึ่งเป็นสมบัติทางกายภาพที่สำคัญของฟิล์มบริโภคได้ โดยความทนแรงดึงเป็นค่าความเค้นสูงสุดของตัวอย่างฟิล์มที่เกิดขึ้นขณะทดสอบด้วยการดึงให้ขาดออกจากกัน ส่วนร้อยละการยืดตัวแสดงถึงความสามารถของตัวอย่างในการยืดตัวออกเมื่อได้รับแรงดึง และสารพลาสติกไซเซอร์ที่เดิมเป็นส่วนประกอบในฟิล์มมีผลทำให้ความทนแรงดึงต่ำลง ขณะที่การยืดตัวสูงขึ้น และอีกตัวที่มีความสัมพันธ์กับความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มคือความหนาของวัสดุ ถ้าวัสดุมีความหนาเพิ่มขึ้นมักมีความทนแรงดึง และการยืดตัวเพิ่มขึ้น (Gennadios และคณะ, 1994)

การเคลือบฟิล์มบริโภคได้บนผิวของผลิตภัณฑ์อาหาร โดยทั่วไปจะเคลือบเป็นชั้นบาง วิธีการเคลือบทำได้หลากหลายวิธีขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร และวัตถุประสงค์ที่นำไปใช้ โดย Grant และ Burns (1994) รายงานวิธีการใช้ฟิล์มบริโภคได้กับผลิตภัณฑ์อาหาร ได้แก่ การชุบเคลือบ การทำให้เกิดฟอง การพ่นฝอย และการขึ้นรูปแผ่นฟิล์ม

1. การชุบเคลือบ – การชุบเคลือบเป็นการเคลือบฟิล์มลงบนผิวของผลิตภัณฑ์อาหารโดยการชุบ หรือจุ่มในสารเคลือบ ส่วนใหญ่วิธีนี้ใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีผิวไม่สม่ำเสมอ หลังการชุบ หรือจุ่มต้องกำจัดสารเคลือบส่วนเกินออก จากนั้นทำให้แห้ง หรือทำให้เกิดการแข็งตัวกรณีที่สารเคลือบนั้นเป็นไขมัน ผลิตภัณฑ์อาหารที่นิยมเคลือบด้วยวิธีนี้ได้แก่ ผัก ผลไม้ และผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์

2. การทำให้เกิดฟอง – Hartman และ Isenberg (1956) และ Long และ Leggo (1959) รายงานวิธีการใช้ไขมันชั้นเป็นสารเคลือบผิวในรูปฟอง ซึ่งเตรียมโดยเติมสารที่ทำให้เกิดฟอง หรือโดยการอัดอากาศที่ความดันต่ำกว่า 3.5 กิโลปาสกาล เข้าไปในถังบรรจุไขมันชั้น จากนั้นหยดโฟมที่ได้ลงบนผลิตภัณฑ์ที่เคลือบที่อยู่บนลูกกลิ้งหมุน กระจายสารเคลือบให้ทั่วทั้งผลโดยใช้แปรง หรือเครื่องพัดโบกที่ทำด้วยผ้า (cloth flaps) กำจัดสารเคลือบส่วนเกินออกโดยใช้ลูกกลิ้งยางที่ติดตั้งอยู่ใต้ลูกกลิ้งหมุน และวนสารเคลือบกลับมาใช้ใหม่ได้ ผิวของผลิตภัณฑ์ที่เคลือบมีลักษณะไม่เรียบ และไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากผลิตภัณฑ์ต้องมีการกลิ้งไปมาเพื่อให้โฟมแตกออก และช่วยในการกระจายตัวของสารเคลือบ

3. การพ่นฝอย – การพ่นฝอยเป็นการพ่นสารเคลือบในลักษณะละอองขนาดเล็กลงบนผิวของผลิตภัณฑ์อาหาร ชั้นเคลือบที่ได้มีลักษณะบาง และมีความสม่ำเสมอมากกว่าการชุบเคลือบ แต่การพ่นฝอยสามารถเคลือบผลิตภัณฑ์ได้เพียงด้านเดียว จึงใช้ในงานที่ต้องการการเคลือบแค่ด้านเดียว เช่น การเคลือบฟิล์มบนผิวหน้าของแป้งพิชซ่า เพื่อป้องกันไม่ให้ความชื้นจากชั้นของส่วนที่เป็นหน้าพิชซ่า ซึมเข้าไปในส่วนของแป้ง

4. การขึ้นรูปแผ่นฟิล์ม – การขึ้นรูปฟิล์มเป็นแผ่นใช้วิธีเดียวกับการขึ้นรูปฟิล์มพลาสติกด้วยเครื่องจักรอัตโนมัติ โดยส่วนใหญ่ทำบนวัสดุที่มีผิวเรียบและสม่ำเสมอ โดยการเทสารเคลือบแล้วแผ่ให้กระจายทั่วพื้นที่ ปรับความหนาของฟิล์ม จากนั้นทำให้แห้งจะได้แผ่นฟิล์มบริโกลได้ ซึ่งใช้ห่อหุ้มอาหาร

ประโยชน์ของการใช้ฟิล์มเคลือบบริโกลได้กับผักและผลไม้ เป็นการใส่สารเคลือบผิวไปปกคลุม ทับ หรือทดแทนไขที่เคยมีอยู่และปิดช่องต่างๆ ตามธรรมชาติ ทำให้การสูญเสียน้ำและการแลกเปลี่ยนก๊าซน้อยลง เนื่องจากผักและผลไม้มีการหายใจ ทำให้มีการใช้ออกซิเจนในปริมาณที่สูงส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนภายในลดลง ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้นพร้อมกับการผลิตเอทิลีนซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นแรก (primary metabolism) ถ้าเป็นผลไม้ที่เริ่มมีการสร้างเอทิลีนแล้วจะมีเอทิลีนสะสมอยู่ในมากกว่าผลไม้ที่ไม่ได้รับการเคลือบผิว แต่เอทธิพลของเอทิลีนต่อการเปลี่ยนแปลงต่างๆ อาจเกิดขึ้นได้น้อย เพราะปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีอยู่มากจะขัดขวางการทำงานของเอทิลีน (จริงแท้ ศิริพานิช, 2546)

การใช้ฟิล์มเคลือบบริโกลได้ที่ความเข้มข้นสูง หรือหนาเกินไป นอกจากจะเป็นการสิ้นเปลืองแล้ว ยังอาจทำให้ปริมาณออกซิเจนภายในผลต่ำเกินไปเป็นอันตรายต่อผลิตภัณฑ์ได้ เช่น

อาจทำให้เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน ส่งผลให้เกิดการสะสมแอลกอฮอล์ และ acetaldehyde ทำให้ผลผลิตมีอาการผิดปกติมีกลิ่นและรสชาติที่เปลี่ยนไป (Petersen และคณะ, 1999) และการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนนี้ทำให้เกิดแบคทีเรียที่หายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนขึ้นจำพวก *Clostridium botulinum* เป็นอันตรายต่อผลิตภัณฑ์ของเราได้ (Guilbert และคณะ, 1996; Petersen และคณะ, 1999)

โดยพอลิเมอร์ชีวภาพที่ได้จากธรรมชาติมีข้อดีกว่า พอลิเมอร์ชีวภาพที่สังเคราะห์ได้ เนื่องจากเป็นวัสดุที่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติและผลิตขึ้นมาใหม่ได้อีก โดยสามารถแบ่งพอลิเมอร์ชีวภาพที่ใช้ในการทำฟิล์มบรีโกลได้ ออกเป็น 3 ประเภทหลักๆ คือฟิล์มเคลือบแบบบรีโกลได้จากไขมัน (lipid – based films), พอลิแซคคาไรด์ (polysaccharide – based films) และโปรตีน (proteins – based films) (Petersen และคณะ, 1999)

2.5.1 ฟิล์มเคลือบบรีโกลได้จากไขมัน (Lipids – based Edible Films)

ฟิล์มเคลือบบรีโกลได้ชนิดแรกที่ใช้เคลือบผักและผลไม้ คือ ไบบริโกลได้ (edible wax) ซึ่งเป็นฟิล์มเคลือบบรีโกลได้จากไขมัน (Guilbert และคณะ, 1996; Park, 1999) ชนิดของไขมันที่ใช้ในการผลิตฟิล์ม ได้แก่ กลีเซอไรด์ และอะซิโตกลีเซอไรด์ กรดไขมัน (fatty acid) และไบบริโกลได้ (edible wax) เช่น carnauba wax, beeswax, paraffin wax และเซลแล็ก (Gennadios, Hanna และ Kurth , 1997) สมบัติของฟิล์มเคลือบบรีโกลได้จากไขมันพบว่ามีสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำ หรือก๊าซ (Kester และ Fennema, 1989) เนื่องจากไขมันมีคุณสมบัติที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) จึงมีสมบัติที่เป็นตัวกั้นการแพร่ผ่านของน้ำได้ดี แต่จะมีคุณสมบัติที่ทึบแสง และไม่ยืดหยุ่น (inflexible) คือมีสมบัติที่เปราะ แตกง่าย และมีกลิ่นเหม็นหืน (Guiberge และคณะ, 1996)

Kester และ Fennema (1989) อธิบายว่า สารพลาสติกไซเซอร์ทำหน้าที่ลดแรงดึงดูระหว่างโมเลกุลของสายโซ่พอลิเมอร์ที่อยู่ใกล้กัน ทำให้ความทนแรงดึง (tensile strength) ของฟิล์มลดลง และทำให้สมบัติด้านการป้องกันการซึมผ่านของก๊าซ และไอน้ำลดลง

2.5.2 फिल्मเคลือบบริโกลได้จากพอลิแซคคาไรด์ (Polysaccharide – based Edible Films)

ชนิดของพอลิแซคคาไรด์ที่ใช้ในการผลิตฟิล์ม ได้แก่ แป้ง และแป้งตัดแปร เซลลูโลส และ เซลลูโลสตัดแปร คาร์ราจีแนน เพคติน แอลจินेट และไคโตซาน (Gennadios และคณะ, 1997) เนื่องจากธรรมชาติโดยทั่วไปของพอลิแซคคาไรด์มีความชอบน้ำ (hydrophilic) จึงมีข้อจำกัดเกี่ยวกับความสามารถในการป้องกันการสูญเสียน้ำ (Gennadios และคณะ, 1997; Guiberge และคณะ, 1996) แต่มีความเหมาะสมทางด้านสมบัติทางกล และในการขึ้นรูปเป็นฟิล์มที่ดี (Guiberge และคณะ, 1996) ฟิล์มจากพอลิแซคคาไรด์ช่วยปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ด้านความแข็ง (hardness), ความอัดแน่น (compactness) ความเชื่อมแน่นของเนื้อสัมผัส (cohesiveness) การเกิดเจล (gelation) และความรู้สึกภายในปาก (Whistler และ Daniel, 1990) โดยฟิล์มเคลือบบริโกลได้จากพอลิแซคคาไรด์มีความสำคัญในอุตสาหกรรมอาหาร เนื่องจากราคาถูก ไม่เป็นพิษ และมีการใช้อย่างแพร่หลาย (Whistler, 1991)

การใช้ฟิล์มเคลือบบริโกลได้จากพอลิแซคคาไรด์ในการเคลือบผัก และผลไม้ เช่น ไคโตซาน สามารถยืดอายุการเก็บรักษา ป้องกันการสูญเสียน้ำในแก้วที่ปกปิดแล้ว ลำไย และ ลิ้นจี่ (Pen และ Jiang, 2003; Jiang และ Li, 1997; Zhang และ Quantick, 1997) นอกจากนี้ยังมีการใช้สารพวกกลามิเนต ซึ่งมีส่วนประกอบของ ไคโตซาน – เซลลูโลส – พอลิคาร์โบแลกโตน เคลือบหัวผักกาดหอม กะหล่ำปลี บร็อกโคลี่ มะเขือเทศ และข้าวโพดหวาน (Lazaridou และ Biliaderis, 2002)

จากคุณสมบัติข้างต้นของฟิล์มเคลือบบริโกลได้จากพอลิแซคคาไรด์ พบว่าเมื่อเติมสารที่เป็นพลาสติกไซเซอร์พวกที่เป็น polyol หรือน้ำตาลแอลกอฮอล์ (เติมในปริมาณความเข้มข้นในช่วง 10 – 60 กรัม/ กรัมของพอลิเมอร์ที่ใช้) ลงไป พบว่าช่วยลดแรงภายในโมเลกุล เพิ่มความสามารถในการเคลื่อนที่ของโซ่พอลิเมอร์ ช่วยเพิ่มความยืดหยุ่น และความสามารถในการขยายตัวของฟิล์ม (Lazaridou และ Biliaderi, 2002)

Yang และ Paulson (2000) ศึกษาสมบัติของฟิล์มจาก gellan โดยมีผลจากกลีเซอรอล พบว่าความเข้มข้นต่ำสุดของกลีเซอรอลที่มีประสิทธิภาพคือ ประมาณ 60% จากการทดลองพบว่าที่ความเข้มข้นต่ำกว่านี้ทำให้ฟิล์มมีแนวโน้มที่เปราะได้ง่าย ในขณะที่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกลีเซอรอลถึง 75% ทำให้ฟิล์มมีแนวโน้มที่เหนียวขึ้น การเพิ่มกลีเซอรอลเข้าไปทำให้การยึดตัวของฟิล์มและการแพร่ผ่านของไอน้ำเพิ่มขึ้น แต่ทำให้ความทนแรงดึงและอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงคล้ายแก้ว (Tg) ลดลง

- फिल्मเคลือบบริโภคได้จากไคโตซาน (Chitosan – based Edible Film)

ไคโตซานเป็นอนุพันธ์ของไคตินเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติประเภทคาร์โบไฮเดรตที่สามารถย่อยสลายได้ในธรรมชาติและไม่เป็นพิษต่อมนุษย์ มีชื่อทางเคมีว่า Poly-β-(1,4)-2-amino-2-deoxy-D-glucose (Arvanitoyannis, Nakayama และ Aiba, 1998) สูตรทั่วไป คือ $(C_8H_{11}O_4N)_n$ พบมากในเปลือกหุ้มของสัตว์จำพวกไม่มีกระดูกสันหลัง เช่น แมลง หอย หัวกุ้งและเปลือกกุ้ง ไคโตซานเกิดจากการกำจัดหมู่อะซิทิลในไคตินออก (deacetylation) โดยที่หมู่อะซิทิล(-CO-CH₃) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 จะถูกตัดออกเหลือเพียงหมู่เอมีน(-NH₂) แสดงดังรูปที่ 2.5 การเกิดไคโตซานนั้นขึ้นอยู่กับ การเกิด deacetylation โดยดูได้จากค่า Degree of Deacetylation (%DD) ไคตินที่มีค่า %DD ประมาณร้อยละ 50 จะถูกเรียกว่าไคโตซาน แต่โดยทั่วไปแล้วไคโตซานมี %DD อยู่ในช่วงร้อยละ 70 – 90 ซึ่งก็ยังคงมีหมู่ N – acetyl เหลืออยู่ใน โครงสร้าง ~ 10 – 30% ถ้าหมู่อะซิทิลถูกกำจัดออกไปประมาณร้อยละ 90 – 100 จะเรียกว่า full deacetylation ชนิดของไคโตซานในทางการค้าจะมีความแตกต่างของค่า %DD และน้ำหนักโมเลกุล %DD ที่แตกต่างกันจะมีอิทธิพลในการที่จะนำไคโตซานไปประยุกต์ใช้กับงานต่างๆ ได้แตกต่างกัน (Khan และคณะ, 2000) ซึ่งในปัจจุบันประเทศไทยสามารถที่จะผลิตไคโตซานได้ในระดับ food grade ที่มีความบริสุทธิ์สูง ซึ่งมีค่า %DD ต่างๆ ตั้งแต่ 0% ถึง 95%



(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ 2.5: เปรียบเทียบโครงสร้างของ (ก) ไคติน (ข) ไคโตซาน และ (ค) สารละลายไคโตซาน

ที่มา Dalwoo-chitosan, 2002

ไคโตซานมีมวลโมเลกุลอยู่ระหว่าง 50 – 1000 kD คุณสมบัติโดยทั่วไป คือมีโครงสร้างเป็นโครงร่างผลึก (crystalline) (Francis – Suh และ Matthew, 2000) เป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติประเภทย่อยสลายได้ทางชีวภาพ เนื่องจากไคโตซานจะมีการปรากฏของเอนไซม์ chitosanase ทำ

ให้ไคโตซานมีคุณสมบัติที่สามารถย่อยสลายได้ (Sakurai, Maegawa และ Takahashi, 2000) ไคโตซานมีความสามารถในการละลายในสารละลายที่มีสภาพที่เป็นกรดที่มีค่า pH < 6 และไม่ละลายในสารละลายที่มีค่า pH > 7 ซึ่งชี้ให้เห็นว่าไคโตซานจัดเป็นสารที่มีคุณสมบัติในการละลายแบบ pH – dependent soluble (Francis – Suh และ Matthew, 2000) ดังนั้นในการทดลองมีการใช้กรดอินทรีย์ ซึ่งเป็นสารที่พบตามธรรมชาติในผักและผลไม้ การใช้กรดอินทรีย์เพื่อยืดอายุผักและผลไม้สดพร้อมบริโภคมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับค่าความเป็นกรด-เบสของผลิตภัณฑ์ให้ต่ำกว่า 4.6 ซึ่งไม่เหมาะต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ นอกจากนี้ใช้เพื่อปรับปรุงกลิ่นรสของอาหาร (Wiley, 1994) เช่น กรดซิตริกซึ่งเป็นกรดอินทรีย์หลักของผลไม้ตระกูลส้ม สตรอเบอร์รี่ วัตถุประสงค์ของการใช้กรดซิตริกในอาหารเพื่อป้องกันการเน่าเสีย ปรับค่าความเป็นกรด-เบสในผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้กระป๋อง ให้กลิ่นรสในอาหารและเครื่องดื่ม ดักจับโลหะที่จำเป็นต่อการเจริญของจุลินทรีย์ ดังนั้นกรดซิตริกจึงสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสียและจุลินทรีย์ที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ได้ (Beuchat และ Golden, 1989)

ไคโตซานสามารถใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น ด้านอุตสาหกรรมกระดาษ ใช้ไคโตซานเป็นสารเติมแต่ง (additive) เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กระดาษ ส่วนน้ำเสียที่เกิดขึ้นในอุตสาหกรรมยังสามารถบำบัดด้วยการเติมไคโตซานเป็นสารช่วยในการตกตะกอน ด้านอุตสาหกรรมสิ่งทอ ใช้ไคโตซานในเส้นใยสิ่งทอที่มีการย้อมสีติดยากเช่น เส้นใยสังเคราะห์ โดยนำเอาเส้นใยมาผสมและเคลือบผิว ด้านการแพทย์ นำไคโตซานมาทำผิวหนังเทียม ไหมเย็บแผล ผลิตภัณฑ์คอนแทกเลนส์ และสำหรับด้านอุตสาหกรรมอาหารมีการนำไคโตซานมาใช้ ซึ่งไคโตซานเป็นสารที่ไม่เป็นพิษจึงมีความปลอดภัยที่จะนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร โดยสามารถนำมาเตรียมเป็นแผ่นฟิล์มที่ใช้ในการเคลือบเนื้อผลไม้เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาให้ยาวนานออกไปและป้องกันเชื้อรา (รัตเกล้า ภูติวรรณ, 2540)

การศึกษาสมบัติทางกายภาพของฟิล์มทั้งสมบัติทางกลของฟิล์ม และความสามารถในการแพร่ผ่านของก๊าซจำเป็นต้องมีการศึกษาค่า Tg ของฟิล์ม (Lazaridou และ Biliaderis, 2000) จากการศึกษาค่า Tg ของฟิล์มไคโตซานที่ความเข้มข้น 1.5% โดยน้ำหนักในกรดอะซิติกเข้มข้น 2% โดยปริมาตร โดยใช้เครื่อง Differential Scanning Calorimeter, DSC พบว่า Tg = 203 °C เปรียบเทียบกับการหาค่า Tg ด้วยวิธี Dynamic Mechanical Analysis, DMA พบว่า Tg = 205 °C ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน (Sakurai และคณะ, 2000)

Khan และ คณะ (2000) ได้ศึกษาระดับการดื้ออะซิติกเลชัน โดยใช้เครื่อง UV – Spectrophotometry และคำนวณระดับของการดื้ออะซิติกเลชัน จากการทดลองมีระดับการดื้ออะซิติกเลชัน เท่ากับ $84.05 \pm 0.17\%$ และมีการคำนวณน้ำหนักโมเลกุลซึ่งสัมพันธ์กับความหนืด โดยมีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ $1.00 \pm 0.04 \times 10^6$ Da

Cervera และคณะ (2004) ศึกษาสมบัติทางกลของฟิล์ม ได้แก่ ความทนแรงดึง และร้อยละการยืดตัว เตรียมแผ่นฟิล์มไคโตซานโดยใช้เทคนิคการหล่อฟิล์ม และใส่พลาสติกไซเซอร์ คือ กลีเซอรอล ซอร์บิทอล และอิริททอล โดย ฟิล์มไคโตซาน – กลีเซอรอล และฟิล์มไคโตซาน – อิริททอล มีความทนแรงดึงและร้อยละการยืดตัวที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับฟิล์มไคโตซานบริสุทธิ์ ส่วนฟิล์มไคโตซาน – ซอร์บิทอลนั้นมีความเปราะมากจนไม่สามารถที่จะวัดค่าได้

Lazaridou และ Biliaderis (2002) ศึกษาสมบัติทางความร้อนของฟิล์มไคโตซาน ไคโตซาน – แป้ง (chitosan – starch) และ ไคโตซาน – พัลลูลาน (chitosan – pullulan) แสดงค่า Tg ดังตารางที่ 2.1 การศึกษาสมบัติทางความร้อนนี้เพื่อเป็นแนวทางหนึ่งในการออกแบบสูตรสารเคลือบสำหรับไคซานในงานวิจัยนี้

ตารางที่ 2.1: อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Tg) ของไคโตซาน ไคโตซาน – แป้ง และไคโตซาน – พัลลูลาน (% dry matter)

ตัวอย่าง	Tg (องศาเซลวิน)
ไคโตซาน	367.9
ไคโตซาน:ซอร์บิทอล (70:30)	332.6
ไคโตซาน:แป้ง (50:50)	363.7
ไคโตซาน:แป้ง:ซอร์บิทอล (35:35:30)	325.1
ไคโตซาน:pullulan (50:50)	353.5
ไคโตซาน:pullulan:ซอร์บิทอล (35:35:30)	321.7

ที่มา Lazaridou และ Biliaderis, 2002

ไคโตซานมีคุณสมบัติเป็นตัวยับยั้งการเกิดขึ้นของจุลินทรีย์ (antimicrobial) และยับยั้งการเกิดพวกเห็ด รา (antifungal) การเคลือบผลไม้สามารถใช้ไคโตซานเป็นฟิล์มเคลือบบรรจุภัณฑ์ได้ เนื่องจากไคโตซานที่ใช้เป็นตัวปรับสภาพบรรยากาศภายใน ช่วยลดการระเหย ชะลอการสุกของผลไม้และสามารถใช้ควบคุมเอนไซม์ที่ทำให้เกิดกระบวนการเกิดสีน้ำตาล (browning) ในผลไม้ได้ (Muzzarelli, 2003) ความเข้มข้นน้อยสุดของไคโตซานที่สามารถเป็นสารยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียและราแสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2: การใช้ไคโตซานในการยับยั้งการทำงานของกลุ่มจุลินทรีย์

ชนิดของแบคทีเรีย	ความเข้มข้น น้อยสุดที่ใช้ ยับยั้ง (ppm)	ชนิดของรา	ความเข้มข้น น้อยสุดที่ใช้ ยับยั้ง (ppm)
<i>Agrobacterium tumefaciens</i>	100	<i>Botrytis cinerea</i>	10
<i>Bacillus cereus</i>	1,000	<i>Fusarium oxysporum</i>	100
<i>Corinebacterium michiganennc</i>	10	<i>Drechstera sorokiana</i>	10
<i>Erwinia sp.</i>	500	<i>Micronectriella nivalis</i>	10
<i>Erwinia carotovora subsp</i>	200	<i>Piricularia oryzae</i>	5,000
<i>Escherichia coli</i>	20	<i>Rhizoctonia salani</i>	1,000
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	700	<i>Trichophyton equinum</i>	2,500
<i>Micrococcus luteus</i>	20		
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	500		
<i>Staphylococcus aureus</i>	20		
<i>Xanthomonas campestris.</i>	500		

ที่มา Liu และคณะ, 2001

กลไกการทำงานของไคโตซานในการยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์ขนาดเล็ก เกิดจากโครงสร้างของไคโตซานมีประจุบวกที่สามารถเข้าแทรกแซงที่ผิวของโมเลกุลขนาดเล็กที่มีประจุลบ ไคโตซานมีปฏิกิริยาต่อความสามารถในการเลือกผ่านของเซลล์ อย่างไรก็ตามไคโตซานสามารถยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์ต่างๆ ได้ในช่วง pH ที่เป็นกรดเท่านั้นเนื่องจากความสามารถในการละลายของไคโตซานจะต่ำลงเมื่อ pH มีค่าสูงกว่า 6.5

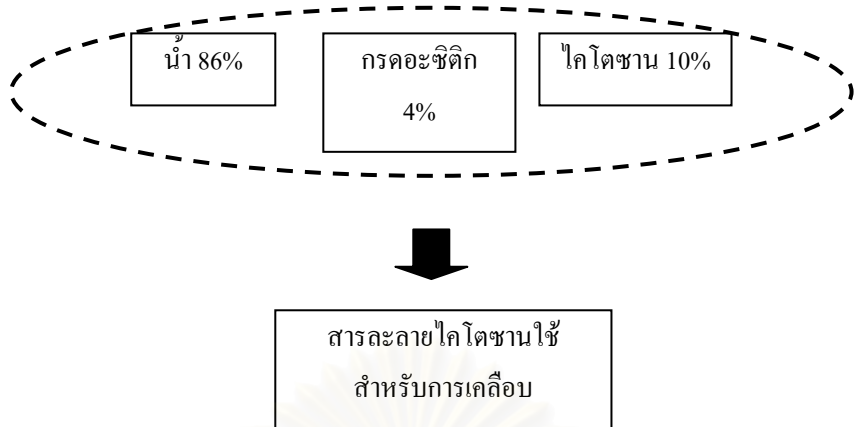
Jiang และ Li (1997) ได้ศึกษาผลของการใช้ไคโตซานที่ระดับความเข้มข้น 0.5, 1.0 และ 2.0 % โดยน้ำหนักเคลือบเปลือกลำไย เก็บรักษาลำไยไว้ที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส พบว่าการใช้ไคโตซานเคลือบเปลือกลำไยช่วยลดอัตราการหายใจชะลอการทำงานของเอนไซม์ polyphenol oxidase (PPO) ที่ทำให้ผลิตผลเปลี่ยนสีและทำให้เกิดสีน้ำตาลขึ้น Zhang และ Quantick (1997) ศึกษาผลการใช้ไคโตซานที่ระดับความเข้มข้น 1.0 และ 2.0 % โดยน้ำหนักเคลือบเปลือกลำไย เก็บรักษาลำไยไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสพบว่าผลของการใช้ไคโตซานเคลือบเปลือกลำไยช่วยลดอัตราการเกิดขึ้นของสารสีแอนโทไซยานินซึ่งเป็นสารให้สีแดงและสีม่วงแก่ผักและผลไม้ ชะลอการทำงานของ

ของเอนไซม์ polyphenol oxidase (PPO) ซึ่งมีผลต่อกระบวนการเกิดสีน้ำตาลขึ้นในผลไม้ และช่วยลดการสูญเสียน้ำหนักด้วย

Dong และคณะ (2003) ศึกษาผลการใช้ไคโตซานที่ระดับความเข้มข้น 1.0, 2.0 และ 3.0 % โดยน้ำหนักเคลือบเปลือกผลไม้เช่นเดียวกันกับงานของ Zhang และ Quantick (1997) แต่การทดลองนี้เก็บรักษาลิ้นจี่ไว้ที่อุณหภูมิ -1 องศาเซลเซียส พบว่าการเคลือบผิวช่วยลดการสูญเสีย น้ำหนัก ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ polyphenol oxidase (PPO) ซึ่งมีผลต่อกระบวนการเกิดสีน้ำตาลขึ้นในผลไม้ ปริมาณของของแข็งละลายน้ำได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้น พร้อมกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณกรดแอสคอร์บิกที่ไคเตรตได้ และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผู้ชิมค่อยๆ ลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่นานขึ้น

Han และคณะ (2004) ทดลองเคลือบสตอเบอรี่และราสเบอรี่โดยใช้ไคโตซาน โดยเพิ่มแคลเซียมและวิตามินอีลงไปเพื่อเพิ่มปริมาณสารอาหารให้ผลไม้สดหรือผลไม้แช่แข็ง ที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิ -23 องศาเซลเซียสตามลำดับ การเคลือบผิวเป็นการช่วยลดการสูญเสีย น้ำหนัก การเปลี่ยนแปลงสี ลดการเกิดหยดน้ำและช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสของสตอเบอรี่แช่แข็ง และจากการทดลองยังพบว่าการเคลือบผิวโดยใช้ไคโตซานสามารถเก็บรักษาสตอเบอรี่และราสเบอรี่ที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส ได้นานเป็นระยะเวลา 3 สัปดาห์ และสามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -23 องศาเซลเซียสได้นานกว่า 6 เดือน

จากผลที่ได้พบว่าการใช้ไคโตซานในการเคลือบผิวช่วยลดการสูญเสีย น้ำหนัก ชะลอการทำงาน of เอนไซม์ polyphenol oxidase (PPO) ซึ่งมีผลต่อกระบวนการเกิดสีน้ำตาลขึ้นในผลไม้ และสามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้ดังที่กล่าวมา นอกจากการใช้ไคโตซานในการเคลือบผลไม้ที่มีการศึกษาในการทดลองแล้วยังได้มีการจดสิทธิบัตรเกี่ยวกับสารไคโตซาน โดย Iverson และคณะ (2003) หมายเลขสิทธิบัตร US 6,586,029 B1 ซึ่งวัตถุประสงค์ของงานนี้ คือ ปรับปรุงวิธีการเตรียมสารที่ใช้ในการเคลือบ วิธีการเคลือบเพื่อนำไคโตซานที่เตรียมได้ไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม โดยการไฮโดรไลซ์ไคโตซานให้มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำก่อนเพื่อให้ได้สารละลายที่มีความหนืดน้อยลง และสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมได้ โดยทดลองใช้วิธีการเคลือบต่างๆ เช่น ฟัน ทาหรือจุ่ม ในการทดลองสารเคลือบที่ได้จากงานนี้สามารถสรุปได้ดังรูปที่ 2.6 และ 2.7



รูปที่ 2.6: ขั้นตอนการเตรียมสารละลายโคโคซานที่ใช้เคลือบผักและผลไม้
ที่มา Iverson และคณะ, 2003



รูปที่ 2.7: ขั้นตอนการเคลือบสารละลายโคโคซานลงบนผักและผลไม้
ที่มา Iverson และคณะ, 2003

ส่วนของทฤษฎีและการตรวจสอบผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเป็นการผลิตฟิล์มเพื่อทดสอบสมบัติทางกายภาพ และการใช้โคโคซานในการเคลือบผลไม้ชนิดต่างๆ หรือการใช้โคโคซานในอุตสาหกรรมที่ได้มีการจดสิทธิบัตรแล้ว เป็นแนวทางในการทำงานวิจัย และการหาข้อแตกต่างสำหรับการใช้สารเคลือบเพื่อสามารถผลิตสารในเชิงพาณิชย์ได้ โดยการผสมกับเจลาตินซึ่งเป็นสารที่ได้รับการยอมรับโดยทั่วไปในอุตสาหกรรมอาหารและยา ซึ่งจะได้กล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

2.5.3 ฟิล์มเคลือบบริโภคได้จากโปรตีน (Protein – based Edible Films)

ฟิล์มเคลือบบริโภคได้จากโปรตีนพบมากในสัตว์ และพืช ชนิดของโปรตีนที่ใช้ในการผลิตฟิล์ม ได้แก่ คอลลาเจน เจลาติน โปรตีนถั่วเหลือง โปรตีนน้ำนม กลูเต็นข้าวสาลี (wheat gluten) โปรตีนข้าวโพด และโปรตีนจากถั่ว (Genmadios และคณะ, 1997) สมบัติของฟิล์มเคลือบบริโภคได้จากโปรตีนสามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้ดี และใช้ในการพัฒนาสูตรสารเคลือบสำหรับผักและผลไม้ มีประสิทธิภาพในการกั้นการแพร่ผ่านของก๊าซออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ และ

พบว่าสมบัติที่คล้ายกันกับฟิล์มเคลือบบริโกลได้จากพอลิแซคคาไรด์ (Gennadios และคณะ, 1997) คือมีข้อจำกัดในการป้องกันการสูญเสียน้ำ ซึ่งธรรมชาติของโปรตีนมีสมบัติที่ชอบน้ำ (hydrophilic) ฟิล์มเคลือบบริโกลได้จากโปรตีนที่มีการเติมพลาสติกไซเซอร์เข้าไป เช่น กลีเซอรอล และซอร์บิทอล ทำให้ฟิล์มไม่เปราะ และยืดหยุ่นได้ง่าย ฟิล์มเคลือบจากโปรตีนจะเป็นตัวกั้นการแพร่ผ่านของออกซิเจนได้ดีที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ เช่น คอลลาเจน กลูเต็นข้าวสาลี โปรตีนข้าวโพด และโปรตีนถั่วเหลือง เป็นต้น (Gennadios และคณะ, 1997; Petersen และคณะ, 1999)

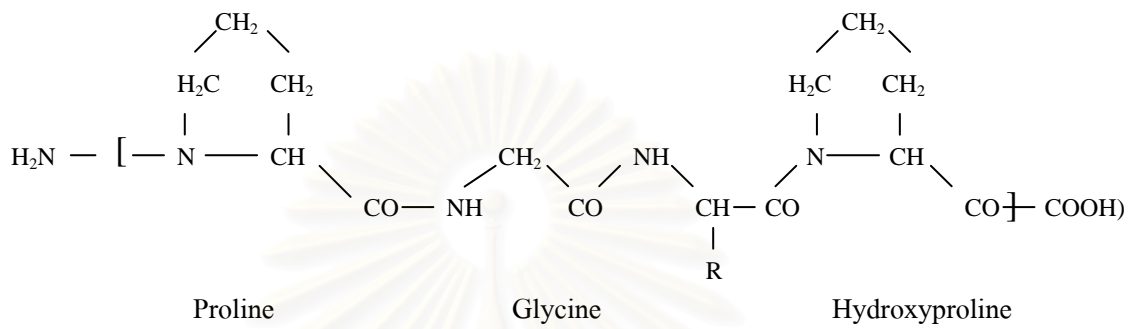
Bai และคณะ (2003) ศึกษาการเคลือบผลแอปเปิ้ลด้วยโปรตีนข้าวโพด โดยเตรียมโปรตีนข้าวโพดและพอลิโพรพิลีนไกลคอล (propylene glycol) จากการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นของทั้งโปรตีนข้าวโพดและโพรพิลีนไกลคอล (propylene glycol) ทำให้แอปเปิ้ลที่เคลือบมีความมันวาว และการซึมผ่านของออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของโปรตีนข้าวโพด โดยระดับความเข้มข้นที่ยอมรับได้คือ โปรตีนข้าวโพด 10 % โดยน้ำหนัก และ โพรพิลีนไกลคอล 10 % โดยน้ำหนัก ซึ่งสามารถใช้ได้กับ “Gala” apple โดยพบว่าสามารถคงไว้ซึ่งคุณภาพเมื่อเปรียบเทียบกับเคลือบด้วยเซลแล็ก (shellac)

Jangchud และ Chinnan (1999) ศึกษาการนำโปรตีนถั่วลิสงผสมกับพลาสติกไซเซอร์ จากการทดลองชนิดของพลาสติกไซเซอร์ที่ใช้คือ กลีเซอรอล โดยเตรียมที่ความเข้มข้น 3 ระดับคือ 0.67, 1.17 และ 1.67 กรัม/กรัมของปริมาณโปรตีนถั่วลิสง พบว่าที่ความเข้มข้นของกลีเซอรอลระหว่าง 0.67 และ 1.67 กรัม/กรัมปริมาณโปรตีนถั่วลิสงไม่มีผลต่อการซึมผ่านของไอน้ำและออกซิเจน อย่างไรก็ตามค่าความทนแรงดึงลดลงจาก 5.14 – 4.10 MPa เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกลีเซอรอลจาก 1.17 – 1.67 กรัม/กรัมของโปรตีนถั่วลิสง และการยืดตัวของฟิล์มเพิ่มจาก 105 – 164% เมื่อเพิ่มปริมาณของกลีเซอรอล

- ฟิล์มเคลือบบริโกลได้จากเจลาติน (Gelatin – based Edible Film)

เจลาตินเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสลายตัวครั้งแรกของคอลลาเจน (collagen) ซึ่งเป็นองค์ประกอบของเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (connective tissue) ที่พบในกระดูก ผิวหนัง และเอ็นจากสัตว์ เจลาตินประกอบไปด้วยหมู่กรดอะมิโนหลายหมู่เกาะเกี่ยวกันอยู่ด้วยพันธะเปปไทด์ซึ่งมีชนิดของหมู่อะมิโนแตกต่างกันไป ดังตารางที่ 2.3 (Sobral และคณะ, 2001) โครงสร้างของเจลาตินประกอบไปด้วยหมู่กรดอะมิโนหลายหมู่เกาะเกี่ยวกันอยู่ด้วยพันธะเปปไทด์เป็นแบบ Ala-Gly-Pro-Arg-Gly-Glu-4Hyp-Gly-Pro- ซึ่งมีองค์ประกอบของ glycine, proline และ 4-hydroxyproline เป็นองค์ประกอบหลัก แสดงดังรูปที่ 2.8 การผลิตเจลาตินโดยทั่วไปกระทำโดยการทำให้คอลลาเจนเสียสภาพ (denature) ด้วยการเติมกรด เรียกเจลาตินชนิดนี้ว่าเป็นแบบ ชนิด A หรือด้วยการเติมด่าง

เรียกเจลาตินชนิดนี้ว่า ชนิด B (Abrusci และคณะ, 2004) เจลาตินสามารถละลายในน้ำที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และในสารละลายจำพวก polyhydric alcohol เช่น sorbitol, glycerol, polyethylene glycol หรือในตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีขี้



รูปที่ 2.8: โครงสร้างของเจลาติน
ที่มา Geltech. Co.,Ltd., 2000

ตารางที่ 2.3: กรดอะมิโนที่พบในเจลาติน (กรัม/100 กรัมโปรตีน)

ชนิดหมู่อะมิโน	เจลาตินจากหนังวัว	เจลาตินจากหนังหมู
Alanine	12.92	10.08
Arginine	4.80	4.01
Aspartic acid	7.31	6.76
Glutamic acid	11.98	11.12
Phenylalanine	2.00	1.99
Glycine	22.16	22.60
Histidine	0.73	0.72
Isoleucine	1.82	1.33
Leucine	2.73	2.54
Lysine	3.87	3.50
Methionine	0.66	0.68
Proline	3.29	2.21
Serine	3.26	7.63
Tyrosine	0.40	0.62
Threonine	1.78	1.35
Valine	2.37	4.84
Amonium	7.68	9.60

ที่มา Sobral และคณะ, 2001

การสกัดเจลาตินมี 2 วิธี คือ

1. กระบวนการเติมด่าง (liming process)

วิธีนี้นิยมใช้กับวัตถุดิบที่เป็นพวกกระดูก เขาและหนังจากโคและกระบือ สารละลายของด่างที่ใช้ได้แก่ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)

2. กระบวนการเติมกรด (acid process)

วิธีนี้นิยมใช้กับวัตถุดิบจำพวกหนังหมู กรดที่ใช้ส่วนมากได้แก่ HCl , H_2SO_4 , H_3PO_4 และ H_2SO_3

วิธีเหล่านี้จะช่วยเปลี่ยนคอลลาเจนไปเป็นเจลลาตินได้ง่ายขึ้น ช่วยกำจัดสารที่ไม่ต้องการ จำพวกสารโปรตีนที่ละลายน้ำได้ เช่น mucin และ albumin ซึ่งมีผลต่อสีและความใสของเจลลาติน และประการสุดท้ายช่วยให้เจลลาตินที่สกัดได้มีความแข็งแรงของเจลสูงขึ้น (gel strength) สูงขึ้น

วัตถุดิบที่ผ่านกระบวนการเติมด่างหรือกรดแล้วถูกนำมาสกัดเจลลาตินโดยใช้ความร้อน อุณหภูมิที่ใช้อยู่ในช่วง 55 - 100 องศาเซลเซียส ถ้าใช้อุณหภูมิในการสกัดสูงเกินไปเจลลาตินที่ผลิตได้จะมีคุณภาพต่ำ ดังนั้นจึงนิยมสกัดที่อุณหภูมิไม่สูงมากนักเพราะจะได้เจลลาตินที่มีคุณภาพดี คือมีความแข็งแรงของเจลสูง สีไม่คล้ำ สารละลายของเจลลาตินที่สกัดได้ผ่านการฟอกสีก่อนนำไปฝังให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง เพื่อลดความชื้นออกบางส่วนแล้วจึงไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

เจลลาตินแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ชนิด A และ ชนิด B (Abrusci และคณะ, 2004)

- ชนิด A ผลิตโดยใช้กระบวนการเติมกรด มีค่า isoelectric point อยู่ในช่วง 7 - 9
- ชนิด B ผลิตโดยใช้กระบวนการเติมด่าง มีค่า isoelectric point อยู่ในช่วง 4.6 - 5.2

หลังจากการสกัดจะได้เจลลาตินผง เมื่อนำไปละลายน้ำจะได้สารละลายเจลลาติน ซึ่งจะจับตัวกันเป็นวุ้น เจลลาตินมีลักษณะเป็นผงละเอียด มีสีใสเหมือนแก้ว ไม่มีรส ไม่มีกลิ่น มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.3 - 1.4 โมเลกุลมีรูปร่างเป็นเส้น เจลลาตินจะไม่ละลายในแอลกอฮอล์ อะซิโตน คาร์บอนเตตระคลอไรด์ และตัวทำละลายไม่มีขั้ว แต่จะละลายในน้ำ เจลลาตินเมื่อละลายน้ำจะดูดน้ำและพองตัว การดูดน้ำของเจลลาตินจะเป็นปฏิกิริยาคายความร้อนซึ่งสามารถเร่งปฏิกิริยาได้โดยการลดอุณหภูมิที่ความเข้มข้นของเกลือต่ำๆ แต่หากความเข้มข้นสูงเกินไปจะทำให้เจลลาตินตกตะกอนเมื่อเม็ดเจลลาตินพองตัวออก แรงเกาะกันก็จะมึนน้อยลงและจะเปลี่ยนจากลักษณะแข็งเปราะเป็นอ่อนและยืดหยุ่น โมเลกุลมีรูปร่างเป็นเส้นจึงมีความสามารถในการดูดซึมเอาน้ำไว้ได้มาก (ปฐมพงษ์ อาษาคง และมณฑนา บันลือศักดิ์, 2544)

การศึกษาสมบัติทางกายภาพของเจลลาตินที่ได้มีผู้ทำการศึกษา เช่น Barreto และคณะ (2003) ศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ในการย่อยสลาย (thermal degradation) ของฟิล์มเจลลาติน เตรียมฟิล์มโดยใช้เทคนิคการหล่อฟิล์ม และใส่พลาสติกไซเซออร์ คือ ซอร์บิทอล พบว่าฟิล์มเจลลาตินบริสุทธิ์มีอุณหภูมิเริ่มต้นในการย่อยสลายเท่ากับ 296 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิสูงสุดที่ใช้ในการย่อยสลายเท่ากับ 329 องศาเซลเซียส และฟิล์มเจลลาติน - ซอร์บิทอลมีอุณหภูมิเริ่มต้นในการย่อยสลายเท่ากับ 281 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิสูงสุดที่ใช้ในการย่อยสลายเท่ากับ 310 องศาเซลเซียส

Sobral และคณะ (2001) ศึกษาสมบัติทางกล สมบัติในการแพร่ผ่านของไอน้ำ และคุณสมบัติทางความร้อน ซึ่งได้ทดลองโดยใช้ทั้งเจลลาตินที่มาจากหนังหมู และหนังวัว ฟิล์มถูกเตรียมโดยใช้เทคนิคการหล่อฟิล์มโดยละลายเจลลาติน 1 กรัมในน้ำ 100 มิลลิลิตร โดยมีการเติมพลาสติกไซเซออร์ คือ ซอร์บิทอลลงไปเป็นปริมาณ 15 - 65 กรัมซอร์บิทอล/100กรัมของเจลลาตินที่ใช้ โดยตัวอย่างดำเนินการที่ความชื้นสัมพัทธ์ 58% อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส พบว่าความสามารถ

ในการแพร่ผ่านของไอน้ำ และการเปลี่ยนรูปร่างจากการกด (puncture deformation) เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณพลาสติกไซเซออร์ ส่วนแรงที่ใช้ในการกด (puncture force) และอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) มีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณพลาสติกไซเซออร์ แนวทางการเลือกสูตรสำหรับผลิตฟิล์มเคลือบบริโภคได้สำหรับงานวิจัยคือ สมบัติทางความร้อนของฟิล์ม ซึ่ง Sobral และคณะ (2001) ได้ทำการศึกษาดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4: อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) ของเจลาคินที่ผลิตจากหนังวัว และหนังหมู

ตัวอย่าง	T_g ($^{\circ}\text{C}$)	T_g ($^{\circ}\text{C}$)
เจลาคิน 1 % โดยน้ำหนัก	ของเจลาคินที่ได้จากหนังวัว	ของเจลาคินที่ได้จากหนังหมู
ซอร์บิทอล 0.15 % โดยน้ำหนัก	60	50
ซอร์บิทอล 0.25 % โดยน้ำหนัก	45	45
ซอร์บิทอล 0.35 % โดยน้ำหนัก	25	25
ซอร์บิทอล 0.45 % โดยน้ำหนัก	12.5	12.5
ซอร์บิทอล 0.55 % โดยน้ำหนัก	2	-10
ซอร์บิทอล 0.65 % โดยน้ำหนัก	-5	-25

ที่มา คัดแปลงจาก Sobral และคณะ, 2001

จากตารางแสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณซอร์บิทอลทำให้ค่า T_g มีค่าลดลง อธิบายโดยใช้ทฤษฎีปริมาตรว่าง คือ พลาสติกไซเซออร์จะช่วยเพิ่มที่ว่างหรือปริมาตรอิสระระหว่างสายโซ่ ทำให้พอลิเมอร์เกิดการเคลื่อนที่ได้ง่ายขึ้น พลาสติกไซเซออร์ที่มีประสิทธิภาพสูงทำให้พอลิเมอร์มีอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะจากแข็งเหมือนแก้วไปเป็นยืดหยุ่นเหมือนยางอยู่ในช่วงกว้าง พลาสติกไซเซออร์เป็นผลให้พอลิเมอร์อ่อนตัวและเปลี่ยนรูปร่างได้ง่ายขึ้นส่งผลต่อสมบัติทางกล ได้แก่ ความทนแรงดึงมีค่าลดลง ความสามารถในการยืดออก และการยืดตัว ณ จุดขาด เพิ่มขึ้น การแพร่ของไอน้ำอากาศ แก๊สเพิ่มขึ้น โดยแปรผันตามปริมาณพลาสติกไซเซออร์ที่เพิ่มขึ้น (อรอุยา สรวารี, 2546)

การตรวจสอบสิทธิบัตรที่เกี่ยวข้องกับเจลาตินได้มี Miller และ Limited (1997) หมายเลขสิทธิบัตร 5,622,740 ใช้เจลาตินในการผลิตสิ่งหุ้มห่อบริโกลได้ในการใช้ห่อหุ้มผลิตภัณฑ์ เช่น ไม้กรอก โดยการเติมไคโตซานเพื่อลดความเปราะของฟิล์ม และง่ายต่อการขึ้นรูป พลาสติกไซเซออร์ที่ใช้ คือ กลิเซอรอล หรือน้ำตาลแอลกอฮอล์ชนิดอื่น เช่น ซอร์บิทอล แมนนิทอล และโพรพิลีนไกลคอล และมีการเติม hydroxpropylcellulose ซึ่งอัตราส่วนในการเตรียมฟิล์มดังนี้ เจลาตินที่ใช้อยู่ในช่วงระหว่าง 40 – 65% โดยน้ำหนัก ไคโตซานอยู่ในช่วงระหว่าง 1 – 20 % โดยน้ำหนัก สัดส่วนการละลายไคโตซานในกรดแลคติก 26:1:0.54 hydroxpropylcellulose อยู่ในช่วงระหว่าง 1 – 20 % โดยน้ำหนัก และเติมกลูตารัลดีไฮด์ช่วงความเข้มข้น 10 -200 ppm โดยน้ำหนัก หรือ dextrose ช่วงความเข้มข้น 0.25 – 20% โดยน้ำหนัก เป็นตัว cross – link ฟิล์มให้เกิดโครงร่างตาข่าย พอลิเมอร์มีลักษณะแข็ง ดังนั้นงานนี้เน้นการปรับปรุงสูตรเพื่อให้ได้สิ่งห่อหุ้มบริโกลได้สำหรับใช้ห่อหุ้มผลิตภัณฑ์โดยแสดงผลในรูปของ pH ของสารละลายที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มคือ 5.1 มีความทนแรงดึงที่ได้เท่ากับ 1,160 psi หรือเท่ากับ 7.9 MPa และการยืดตัวเท่ากับ 140%

ทางด้านอุตสาหกรรมอาหาร ใช้เจลาตินเป็น gelling agent เช่น การผลิตเยลลี่ ใช้ในอาหารประเภทแยม สามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้ดี เป็นสารคงตัวในไอศกรีม เป็นสารทำให้เข้ากันในอุตสาหกรรมเนื้อสัตว์ส่วนในด้านอื่นๆ เช่น อุตสาหกรรมยา ใช้เป็นแคปซูลยา ใช้เป็นตัวประสานในเม็ดยา ใช้เป็นสารเพิ่มเสถียรภาพ ใช้ในการฆ่าตัด โดยใช้เป็นตัวดูดซับเลือดในขณะรักษาได้ซึ่งจะสามารถทิ้งไว้ในร่างกายได้โดยไม่เป็นอันตราย (Cade และคณะ, 1997) ส่วนในด้านอื่นๆ เช่น ใช้ในการผลิตท่อ PVC การผลิตกระดาษไร้คาร์บอนซึ่งไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม แต่จากงานวิจัยในการเคลือบผักและผลไม้ยังไม่มีการนำสารเคลือบเจลาตินมาใช้

2.6 พอลิเมอร์ผสมระหว่างเจลาตินและไคโตซาน

พอลิเมอร์ผสม คือ พอลิเมอร์สองชนิดหรือมากกว่ามาผสมกันทางกายภาพ เช่น ใช้วิธีหลอมหรือละลายโดยใช้ตัวทำละลายให้ผสมกันเนื่องจากพอลิเมอร์ไม่สามารถละลายซึ่งกันและกัน เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของพอลิเมอร์ให้ดีขึ้น และประยุกต์ใช้งานได้อย่างกว้างขวาง (ชลลดา ฤทธิวีรุพห์, 2545)

ส่วนมากพอลิเมอร์ผสมระหว่างเจลาตินและไคโตซานใช้ผลิตเป็นโครงเลี้ยงเซลล์ (scaffold) แต่สำหรับการผลิตเป็นฟิล์มเคลือบบริโภคนำได้ Arvanitoyannis และคณะ (1998) ได้ทำการทดลองโดยนำไคโตซาน และเจลาตินมาผสมกันโดยใช้สารพลาสติกไซเซอร์ คือ ซอร์บิทอล และกลีเซอรอล เตรียมฟิล์มโดยใช้เทคนิคการหล่อฟิล์ม จากนั้นทำการระเหยเอาน้ำออกที่อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส และ 60 องศาเซลเซียส พบว่าความแข็งแรงของพอลิเมอร์ผสมของเจลาตินและไคโตซานลดลงเนื่องจากการกระจายตัวของไคโตซานในร่างแหของเจลาติน ทำให้เกิดการเจือจางของเจลาติน การใส่พลาสติกไซเซอร์ทำให้ความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำและก๊าซมีค่าเพิ่มขึ้น ร้อยละการยืดตัวเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณพลาสติกไซเซอร์ ส่วนความทนแรงดึงและ Tg มีค่าลดลง

นอกจากนี้งานของ Arvanitoyannis และคณะ (1998) ได้ทดลองสมบัติทางความร้อนของฟิล์มผสมระหว่างเจลาติน และไคโตซาน ซึ่งเป็นแนวทางสำหรับผู้วิจัยในการทดลองเพื่อใช้ในการปรับปรุงสูตรเพื่อให้ได้ค่า Tg ที่เหมาะสม แสดงดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5: อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Tg) ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างเจลาตินและไคโตซาน

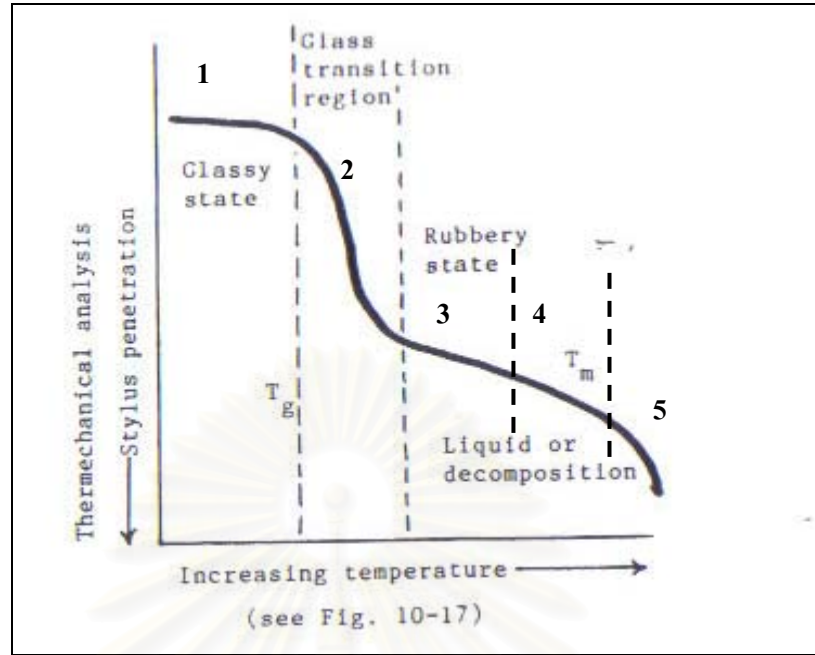
ตัวอย่าง	อัตราส่วนที่ใช้ในการผสมสาร				Tg (°C)	Tm (°C)
	ไคโตซาน	เจลาติน	ซอร์บิทอล	น้ำ		
a	45.5	45.5	4	5	50	145
b	42.5	42.5	10	5	35	140
c	40.5	40.5	14	5	30	130
d	36.5	36.5	22	5	10	120
e	35.0	35.0	25	5	-2	80
f	32.5	32.5	30	5	-30	50

ที่มา คัดแปลงจาก Arvanitoyannis และคณะ, 1998

ตารางที่ 2.5 แสดงค่า T_g และ T_m ซึ่งสามารถอธิบายในเชิงทฤษฎีของพฤติกรรมยืดหยุ่นแบบหนึ่งได้ในห้าสถานะ (ไพบูลย์ อินนาจิตร, 2538) ดังนี้

1. สถานะคล้ายแก้ว (the glassy state) พอลิเมอร์มีลักษณะแข็งและเปราะเหมือนแก้ว โมเลกุลลูกโซ่แกนกลางไม่มีการเคลื่อนไหวแต่กลุ่มด้านข้างมีการเคลื่อนไหวได้บ้างเมื่อมีความเค้นมากกระทำพอลิเมอร์จะตอบสนองเหมือนของแข็งซึ่งมีความยืดหยุ่น ความเค้นทำให้พันธะในโมเลกุลเกิดการงอและยึดได้บ้างอย่างยืดหยุ่นนั่นคือเมื่อเอาความเค้นออกวัสดุจะหดกลับสู่สภาพเดิม
2. สถานะแข็งเหนียว (the leathery state) เป็นบริเวณเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว โมดูลัสลดลงอย่างรวดเร็ว พอลิเมอร์แสดงคุณสมบัติแข็งเหนียวเหมือนหนังสัตว์ นั่นคือมีความยืดหยุ่นแบบหน่วง (retarded elastic) โมดูลัสลดลงอย่างรวดเร็วเพราะว่าบางส่วนของโมเลกุลลูกโซ่แกนกลางเริ่มเคลื่อนไหวได้อย่างช้าๆ อุณหภูมิ T_g จะอยู่ในช่วงนี้
3. สถานะยางเหนียว (the rubbery state) เป็นบริเวณที่แสดงสมบัติคล้ายยาง เกิดหลังการลดลงอย่างรวดเร็วที่ T_g แสดงสมบัติคล้ายยาง มีความยืดหยุ่นสูง ดึงยึดได้หลายเท่า และหดกลับเมื่อปล่อยแรง
4. สถานะยางเหนียวไหลได้ (the rubbery flow state) พอลิเมอร์จะแสดงพฤติกรรมการยืดหยุ่นทันทีแล้วเกิดการไหล ในช่วงนี้ส่วนต่างๆของโมเลกุลลูกโซ่แกนกลางเคลื่อนไหวได้มาก
5. สถานะไหลหนืด (the viscous flow) โมดูลัสลดลงอย่างรวดเร็วอีก พอลิเมอร์แสดงพฤติกรรมเหมือนของไหลหนืดซึ่งเมื่อถูกความเค้นกระทำแล้วไม่เกิดการหดกลับสู่สภาพเดิม หลังจากการเอาความเค้นออกในช่วงนี้โมเลกุลสามารถเคลื่อนไหว โดยลื่นผ่านกันได้ แสดงพฤติกรรมยืดหยุ่นแบบหนึ่งได้ในห้าสถานะ ดังรูปที่ 2.9

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.9: การยืดหยุ่นแบบหนืดในห้าสถานะของพอลิเมอร์
ที่มา Donald และ Dominick, 1989

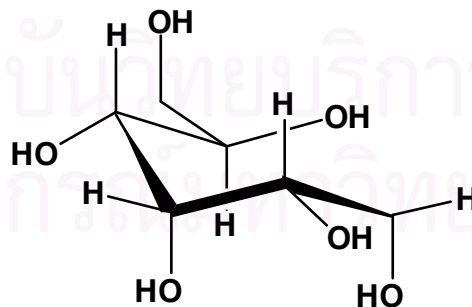
การตรวจสอบสิทธิบัตรที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลาสติกไซเซอร์และเจลาติน Ninomiya และคณะ (1997) หมายเลขสิทธิบัตร 5,620,757 ผลิตฟิล์มเคลือบบริโภคน้ำได้เพื่อใช้สำหรับปิดผนึก และใช้เป็นวัสดุห่อหุ้มอาหารแห้ง อาหารเม็ด อาหารที่มีน้ำมัน โดยการเตรียมฟิล์มมีการเตรียมชั้นฟิล์มหลักโดยเป็นชั้นที่มีองค์ประกอบของสารที่เป็นพอลิแซ็กคาไรด์เป็นองค์ประกอบหลัก ได้แก่ คาร์ราจีแนน โดยมีสารที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ที่มีคุณสมบัติรับประทานได้ และสามารถเก็บน้ำไว้ภายในได้แก่ สารจำพวก polyhydric alcohol เช่น เอทิลีนไกลคอล โพรพิลีนไกลคอล กลีเซอรอล และพวกน้ำตาลแอลกอฮอล์ เช่น ซอร์บิทอล แมนนิทอล หรือไซลิทอล ส่วนชั้นฟิล์มรอง (subfilm layer) ประกอบด้วยส่วนของโปรตีน เช่น โปรตีนน้ำนม และเจลาติน โดยเน้นการเปรียบเทียบการเตรียมสารแต่ละสูตรแล้ววัดค่าต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบกันระหว่างฟิล์มแต่ละชนิด โดยแสดงผลในรูปของความทนแรงดึง การยืดตัว ความทนแรงกด ความทนความร้อนที่ใช้ในการปิดผนึก ความต้านทานของฟิล์มต่ออุณหภูมิต่ำ และการละลายในน้ำร้อน

2.7 พลาสติกไซเซอร์

พลาสติกไซเซอร์ คือสารที่เติมลงไปเพื่อช่วยในการปรับปรุงคุณสมบัติของฟิล์มช่วยลดแรงระหว่างโมเลกุล เพิ่มการเคลื่อนที่ของสายโซ่พอลิเมอร์ และช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางกลของฟิล์มช่วยลดความเปราะของฟิล์ม และมีความยืดหยุ่นมากขึ้น ตลอดจนการยึดติดกันของฟิล์มลดลง ดังนั้นการเติมพลาสติกไซเซอร์ลงไปเป็นการเพิ่มความสามารถในการแพร่ผ่าน ทั้งนี้พลาสติกไซเซอร์ ต้องมีความเข้ากันได้กับพอลิเมอร์ และต้องละลายในตัวทำละลาย (Aydinli และคณะ, 2003) พลาสติกไซเซอร์ส่วนใหญ่ที่ใช้ในงานวิจัยจะเป็นพวก polyols หรือน้ำตาลแอลกอฮอล์ เป็นสารให้ความหวานที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ มีอยู่ในอาหาร ตัวอย่างของ polyols ที่ผสมลงไปในการอาหาร เช่น โพรพิลีนไกลคอล (propylene glycol), กลีเซอรอล (glycerol (glycerin)), ซอร์บิทอล (sorbitol), มอลทิทอล (maltitol), แมนนิทอล (mannitol), ไซลิตอล (xylitol), อิริททอล (erythritol), ไอโซมอลต์ (isomalt) และแลคติทอล (lactitol) แม้น้ำตาลแอลกอฮอล์จะไม่ได้ใช้ในครัวเรือนทั่วไป แต่ก็มีการใช้ในอาหารบางอย่าง ที่ระบุว่าปราศจากน้ำตาล หรือ sugar free ในลูกกวาด ลูกกี้ หมากฝรั่ง เครื่องดื่ม ยาม โดยเฉพาอย่างยิ่งใช้มากในผลิตภัณฑ์ยาสีฟัน และน้ำยาบ้วนปาก (จันทนา อึ้งชูศักดิ์, 2547)

- ซอร์บิทอล (Sorbitol)

ซอร์บิทอลเป็นสารที่มีจุดเดือดสูง ละลายน้ำได้ มีขี้ว และละลายเข้ากับพอลิเมอร์ได้ โดยเฉพาะโปรตีน (Barreto, Pires และ Soldi, 2003) สูตรทั่วไป คือ $C_6H_{14}O_6$ แสดงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10: โครงสร้างของซอร์บิทอล

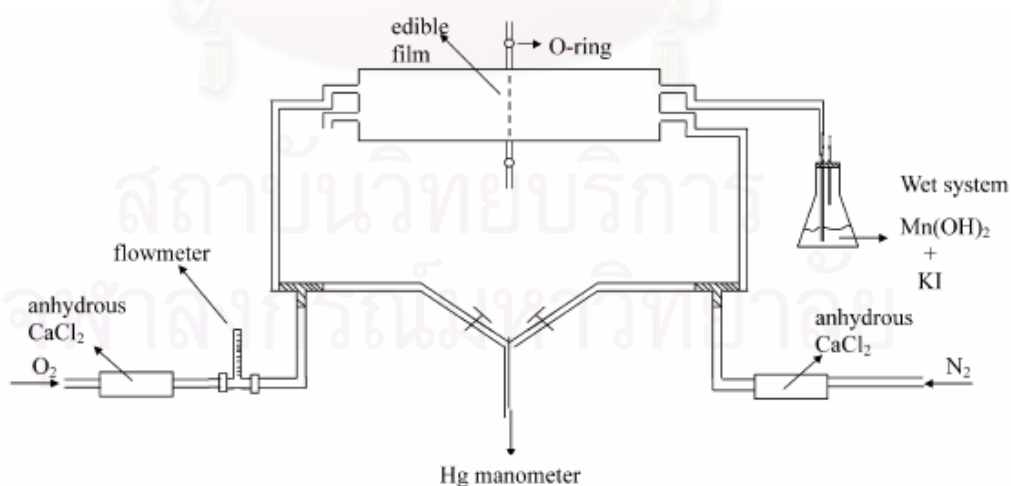
ที่มา School of life sciences

ประโยชน์ของซอร์บิทอลทางด้านอุตสาหกรรมอาหาร ใช้เป็นส่วนผสมในขนมปัง เป็นส่วนผสมในการทำนมเล็ก นมหวานพวก ไอศกรีม เป็นส่วนผสมกับน้ำในการทำน้ำเชื่อมในแพนเค้ก เป็นส่วนประกอบในขนมหวาน และพวกลูกกวาดและทำไส้ขนมที่เป็นผลไม้ และด้านอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง ใช้ซอร์บิทอลเป็นองค์ประกอบอยู่ในยาสีฟัน ซึ่งมีความเข้มข้นอยู่ถึง 30 – 70% ขององค์ประกอบ และให้ลักษณะที่สารรวมเป็นกลุ่มก้อน และมีความหนืด นอกจากนั้นแล้วยังประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมยา เช่น ยาที่มีลักษณะเป็นน้ำเชื่อม

2.8 การวัดความสามารถในการแพร่ผ่านของฟิล์มเคลือบ

เนื่องจากสมบัติของฟิล์มเคลือบบริโกลได้้นอกจากแสดงสมบัติทางกลแล้ว ยังแสดงสมบัติที่ใช้เป็นตัวกั้นสารได้เช่น ก๊าซออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจน และเอทิลีน เป็นตัวกั้นการแพร่ผ่านของไอน้ำ และกลิ่น โดยเฉพาะก๊าซออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และไอน้ำ มีความสำคัญต่อการเก็บรักษาผลไม้ การใช้ฟิล์มมาเคลือบไว้จึงจำเป็นต้องมีการวัดความสามารถในการแพร่ผ่านเพื่อศึกษาคุณภาพของฟิล์มในการนำมาเคลือบผลิตภัณฑ์และเพื่อนำไปพัฒนาเป็นสูตรสำหรับเคลือบผลไม้ต่อไป

Arvanitoyannis และคณะ (1998) ได้ทดลองวัดความสามารถในการแพร่ผ่านของก๊าซ โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Davenport apparatus ต่อเชื่อมกับ IBC/PC ในการวัดค่า ส่วน Ayranci และ Tunc (2003) วัดความสามารถในการแพร่ผ่านของแก๊ส โดยจัดเครื่องมือดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11: เครื่องมือตัวอย่างที่ใช้ในการวัดความสามารถในการแพร่ผ่านของก๊าซ
ที่มา Ayranci และ Tunc, 2003

จากรูปฟิล์มบริโกลที่เตรียมได้จะถูกยึดติดอยู่ระหว่างถ้วยแก้ว 2 ใบ ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร และลึก 5 เซนติเมตร ก๊าซออกซิเจนถูกป้อนเข้าทางด้านหนึ่งของฟิล์ม และถูกวิเคราะห์ออกซิเจนที่แพร่ผ่านออกมาโดยวิธีการไตเตรต ซึ่งตัวพาที่ใช้คือ ไนโตรเจน

สำหรับการวัดค่าความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำ Arvanitoyannis และคณะ (1998) ศึกษาโดยนำฟิล์มที่เตรียมมาวางไว้ในโหลแก้ว โดยวางไว้เหนือสารละลายเกลือ หรือ phosphorus pentoxide และปริมาณความชื้นถูกวัดโดยการนำไปชั่งน้ำหนัก Sobral และคณะ (2001) วัดความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำของฟิล์มเคลือบบริโกลได้ตามมาตรฐาน ASTM E96 – 80 โดยฟิล์มถูกติดลงบนตำแหน่งของเซลล์ที่ประกอบด้วยซิลิกาเจลอยู่ จากนั้นนำไปวางไว้ในโถดูดความชื้น (desiccator) ที่มีน้ำกลั่นวางอยู่ โดยชั่งตัวอย่างจะถูกนำมาชั่งน้ำหนักทุกวันเป็นเวลา 8 – 9 วัน

Bozdemir และ Tutas (2003) วัดความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำของฟิล์มเคลือบบริโกลได้ ตามมาตรฐาน ASTM E96-93 ทดสอบโดยยึดติดฟิล์มกับขวดแก้วขนาดเล็กที่มีน้ำอยู่ภายใน จากนั้นนำขวดแก้วไปวางไว้ในโหลแก้วโดยวางโหลแก้วไว้ในที่ที่มีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ วัดค่าในรูปของอัตราการแพร่ผ่านของไอน้ำ (water vapor transmission rate, WVTR)

Jo และคณะ (2004) ทดลองวัดความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำ ของฟิล์มเพคตินและเจลาติน ตามมาตรฐาน ASTM E96-95 โดยการทดลองจะประยุกต์นำเอาถ้วยที่ทำจาก polymethylacrylate ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 46 มิลลิเมตร และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 87 มิลลิเมตร และมีความลึก 21 มิลลิเมตร เติมน้ำกลั่น 16 มิลลิลิตรลงไปในถ้วยและยึดติดฟิล์มบนเหนือถ้วย หลังจากนั้นวัดน้ำหนักเริ่มต้นและชั่งน้ำหนัก ทุกๆ 2 ชั่วโมงจนกระทั่งครบ 12 ชั่วโมง โดยควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่แวดล้อมถ้วยอยู่ที่ 25 องศาเซลเซียสและ 50%RH

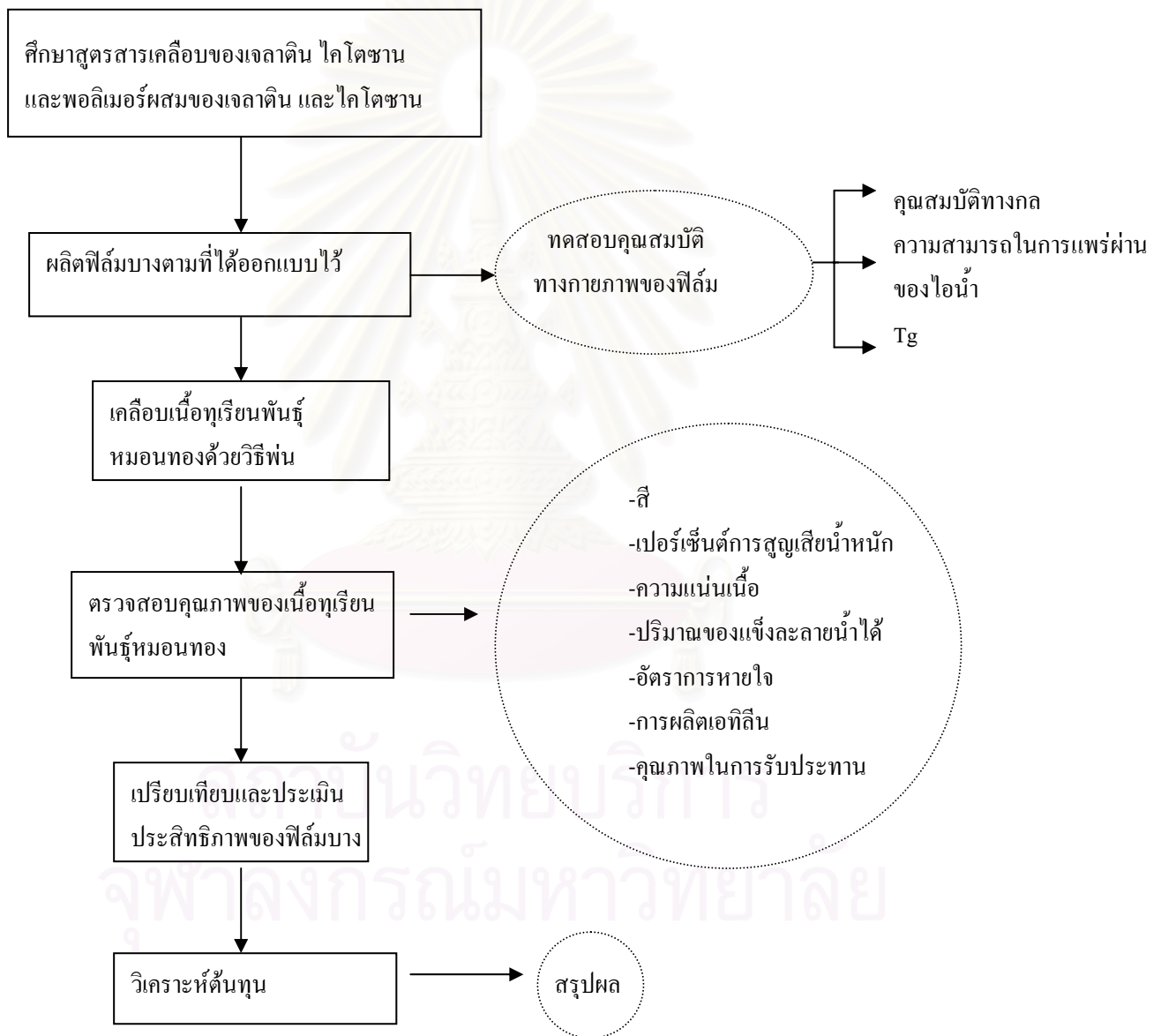
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

3.1 การดำเนินงานวิจัย

สามารถสรุปได้ดังแผนผังรูปที่ 3.1 โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.1: แผนผังการดำเนินงานวิจัย

จากรูปมีรายละเอียดการทดลองดังต่อไปนี้

1. ผลิตฟิล์มเคลือบบริโกลได้ โดยศึกษาจากผลงานตีพิมพ์ในวารสารของต่างประเทศเพื่อคัดเลือกฟิล์มที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้เคลือบเนื้อทุเรียนหมอนทองที่ทำการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1: แสดงสัดส่วนที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มจากการศึกษาจากงานวิจัยก่อนหน้านี้

สูตร	ไคโตซาน (%w/v)	เจลาติน (%w/v)	ซอร์บิทอล (%w/v)	กรดอะซิติก (%w/v)	Tg (^o C)	Tm (^o C)	เอกสารอ้างอิง
ก1	-	1	0.25	-	45	95	
ก2	-	1	0.35	-	32	90	Sobral และคณะ, 2001
ก3	-	1	0.45	-	26	85	
ก4	-	1	0.55	-	-10	62	
ข1	1	-	-	0.2	94.9	-	Lazaridou และ
ข2	1	-	0.3	0.2	59.6	-	Biliaderis, 2002
ค1	2	5	0.22	2	30	135	Arvanitoyannis,
ค2	2	5	0.25	2	10	125	Nakayama และ
ค3	2	5	0.3	2	-5	70	Aiba, 1998

เมื่อพิจารณาค่า Tg จากงานวิจัยที่ผ่านมา สามารถนำมาดัดแปลงสัดส่วนของไคโตซาน/เจลาติน และซอร์บิทอลให้มีค่า Tg ที่เหมาะสมได้ดังตารางที่ 3.2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.2: แสดงสัดส่วนที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มสำหรับการทดลอง

สูตร	ไคโตซาน (%w/v)	เจลาติน (%w/v)	ซอร์บิทอล (%w/v)	กรดซิตริก (%w/v)	อุณหภูมิที่ใช้ใน การเตรียมสารละลาย (°C)
A1	-	1.00	0.50	-	50 °C
A2	-	1.00	0.60	-	
A3	-	1.00	0.75	-	
B1	1.00	-	0.50	3.50	อุณหภูมิห้อง = 29±2 °C
B2	1.00	-	0.60	3.50	
B3	1.00	-	0.75	3.50	
C1	1.00	2.00	0.20	3.50	ละลายเจลาตินที่อุณหภูมิ 50 °C
C2	1.00	2.00	0.30	3.50	จากนั้นละลายไคโตซานและ
C3	1.00	2.00	0.50	3.50	ซอร์บิทอลต่อที่อุณหภูมิห้อง
C4	1.00	2.00	0.75	3.50	

ฟิล์มของสารละลายสูตรต่างๆในตารางที่ 2 ถูกนำมาขึ้นรูปในถาดพลาสติก แล้วอบที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เก็บรักษาไว้ในโถสุญญากาศขึ้นเพื่อรอวัดคุณสมบัติต่างๆ ต่อไป

2. ทดสอบลักษณะทางกายภาพและทางกลของฟิล์มบาง โดยศึกษาคุณสมบัติทางกลของฟิล์ม ได้แก่ ความทนแรงดึง การยืดตัวของฟิล์ม ความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำ (water vapor permeability, WVP) และอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงสถานะคล้ายแก้ว (T_g) ของฟิล์ม เปรียบเทียบและประเมินประสิทธิภาพของฟิล์มที่ได้รับของสมบัติทางกล และความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำ ใช้การวิเคราะห์ผลความแตกต่างทางสถิติแบบ ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และใช้วิธีการทดสอบแบบพหุเชิงพหุของดันแคน (Duncan's new multiple range test) ในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของสูตรต่างๆเป็นคู่ๆ (comparing pairs of treatment means)

3. ฟิล์มเคลือบเนื้อผลไม้ที่ถูกคัดเลือกจากข้อ 2 ถูกนำมาเคลือบเนื้อทุเรียนด้วยวิธีการพ่นด้วยกระบอกพ่นพลาสติกเพื่อให้ได้ฟิล์มบาง ออกแบบการทดลองโดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design, CRD) ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 100% ใช้ปริมาณสารเคลือบเท่ากับ 23.2 มิลลิลิตรต่อเนื้อทุเรียน 1 กิโลกรัม ทำการทดลองทั้งหมด 4 ซ้ำ โดยภาชนะบรรจุ 1 ใบต่อ 1 ซ้ำ บันทึกเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก การ

เปลี่ยนแปลงสีเนื้อ ความแน่นเนื้อ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ทุกๆ 2 วัน อัตราการหายใจ การผลิตเอทิลีนทุกๆ 12 ชั่วโมง และคุณภาพในการรับประทาน

4. เปรียบเทียบ และประเมินประสิทธิภาพของฟิล์มบางในการยืดอายุการเก็บรักษาเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทอง โดยวัดเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก การเปลี่ยนแปลงสีเนื้อ ความแน่นเนื้อ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ อัตราการหายใจ การผลิตเอทิลีน และคุณภาพในการรับประทาน มีการวิเคราะห์ผลความแตกต่างทางสถิติแบบ ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และใช้วิธีการทดสอบแบบพหุเชิงพหุของดันแคน (Duncan's new multiple range test) ในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทริทเมนต์เป็นคู่ๆ (comparing pairs of treatment means)

5. วิเคราะห์ต้นทุนของฟิล์มเคลือบบริโกลได้แบบที่ให้ผลดีที่สุดสำหรับเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทอง

6. สรุปผลการทดลอง



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2 วัสดุดิบ สารเคมี และอุปกรณ์ในการวิจัย

3.2.1 วัสดุดิบ และสารเคมี

1. เนื้อทุเรียนที่ใช้เป็นทุเรียนพันธุ์หมอนทอง จากองค์การตลาดเพื่อเกษตรกร (ตลาด อดท.)
2. ไคโตซานที่ใช้คือ 85%DAC จากบริษัท Seafresh Chitosan (Lab) Co. Ltd., Bangkok, Thailand
3. เจลาติน ที่ใช้เป็นแบบ lab grade จากบริษัท LABORATORY CHEMICAL (LABCHEM), New Zealand
4. กรดซิตริก ที่ใช้มีน้ำหนักโมเลกุล 210.14 จากบริษัท ANALYTICAL REAGENT (UNIVAR), New Zealand
5. พลาสติกไซเซอร์ที่ใช้ คือ ซอร์บิทอล มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 182.17 จากบริษัท LABORATORY REAGENT (UNIVAR), Australia

3.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำวิจัย

1. ถาดพลาสติกเพื่อใช้หล่อฟิล์ม
2. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (4-digit balance) ของบริษัท Mettler Toledo, Switzerland
3. หม้อฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำ (autoclave) บริษัท Hirayama Manufacturing Corporation, Tokyo, Japan รุ่น HL24ADY
4. ตู้อบควบคุมอุณหภูมิ (Hot Air Oven) บริษัท Memmert, Germany รุ่น ULM 500
5. แท่งกวนแม่เหล็กและแผ่นให้ความร้อน (Magnetic stirrer/hot plate) รุ่น RCT Basic ของบริษัท Ika labortechnik, Germany
6. เครื่อง Freeze Dryer รุ่น Freezone 450 ของบริษัท Labconco
7. โถดูดความชื้น (Desiccator)
8. เครื่องวัดความเป็นกรด – ด่าง (pH – meter) รุ่น MP220 ของบริษัทเมทเลอร์-โทเลโด ประเทศไทย จำกัด
9. อุปกรณ์เครื่องแก้ว
10. Universal Testing Machine รุ่น LLOYD 500 ของคณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

11. Differential Scanning Calorimeter, DSC รุ่น DSC822° ของบริษัทเมทเทอร์-โทเลโด ประเทศไทย จำกัด
12. Scanning Electron Microscope, SEM ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-5400
13. Micrometer ยี่ห้อ Fowler 0 – 25 0.01
16. เครื่องมือวัดลึ ยี่ห้อ CE MINOLTA รุ่น CR-300, Japan
17. เครื่องมือวัดความแน่นเนื้อ ยี่ห้อ Effegi
18. เครื่องเหวี่ยง (centrifuge) ยี่ห้อ Jouan รุ่น MR23i
19. Hand refractometer ยี่ห้อ ATAGO N1 (Brix 0 - 32%), Japan
20. Gas chromatography ยี่ห้อ SHIMADZU รุ่น GC-8A ของบริษัท SHIMADZU CORPORATION, Japan

3.3 การทดสอบสมบัติทางกายภาพของฟิล์มเคลือบบริโกลได้

3.3.1 ความทนแรงดึง (Tensile strength) และการยืดตัว (%Elongation)

ความทนแรงดึงเป็นความสามารถของวัสดุในการต้านแรงดึงที่กระทำต่อวัสดุจนกระทั่งวัสดุขาด (คู่มือการทดสอบได้ที่ภาคผนวก ข.)

เครื่องมือ: Universal Testing Machine เป็นรุ่น LLOYD 500 ของ ภาควิชาทันตวัสดุศาสตร์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มาตรฐาน: ASTM D638

ภาชนะที่ใช้ในการทดสอบ:

ขนาด Load cell	100 นิวตัน
อัตราเร็วในการดึง	30 มิลลิเมตรต่อนาที

3.3.2 การทดสอบค่าอัตราการแพร่ผ่านของไอน้ำผ่านฟิล์ม

การทดสอบทำโดยประยุกต์จากวิธีของ Jo และคณะ (2004) ตามมาตรฐาน ASTM E96-95 เพื่อศึกษาความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำสำหรับฟิล์มเคลือบบริโกลได้ชนิดต่างๆ การทดลองจะประยุกต์นำเอาขวดแก้ว ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 13 มิลลิเมตร และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 18 มิลลิเมตร และมีความลึก 60 มิลลิเมตร เติมน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตรลงในขวดแก้วและยึดติดฟิล์มเหนือปากขวด หลังจากนั้นวัดน้ำหนักเริ่มต้นและชั่งน้ำหนักอีกครั้งเมื่อครบ 24 ชั่วโมง ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 50% เพื่อหาอัตราการแพร่ผ่านของไอน้ำ (water vapor transmission rate, WVTR) ดังสมการ

$$WVTR = [(\Delta w / (\Delta t \cdot A))] \quad \dots (3.1)$$

โดย $\Delta w / \Delta t$ = จำนวนของน้ำที่แพร่ผ่านต่อหน่วยเวลา
 A = พื้นที่สำหรับการใช้ในการแพร่ผ่านของน้ำ
 และทดลองหาความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำดังสมการ 3.2

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

โดย $WVTR$ = อัตราการแพร่ผ่านของไอน้ำ (water vapor transmission rate)
 L = ความหนาของฟิล์ม (m)
 ΔP = ความแตกต่างของค่า partial vapor pressure ระหว่างฟิล์มซึ่งคิดเป็น 2 เฟส (Pa)
 คู่มือการทำและวิธีการคำนวณได้ดังภาคผนวก ข.

3.3.3 การทดสอบสมบัติทางความร้อน

การวัดคุณสมบัติทางความร้อนของการผลิตฟิล์มเคลือบบริโกลได้สำหรับงานวิจัยนี้ได้ใช้การทดสอบด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) รุ่น DSC822^o ของบริษัท เมทเธอร์-โทเลโด ประเทศไทย จำกัด เป็นเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของวัสดุกับความร้อนที่ใช้ เครื่อง DSC นี้สามารถวัดปริมาณความร้อนที่ใช้ไปในกระบวนการทั้งกระบวนการดูดความร้อนและกระบวนการคายความร้อน โดยมากเครื่อง DSC นิยมใช้ในการวิเคราะห์หาอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (glass transition temperature) จุดหลอมเหลวของโครงสร้างผลึกของพอลิเมอร์ ค่าความร้อนที่ใช้ในการหลอมเหลวของโครงสร้างผลึก (Heat of melting, ΔH_m) (Gan Z., et al., 1997) ตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC นี้ เตรียมโดยตัดฟิล์มของแต่ละตัวอย่างให้มีน้ำหนักของชิ้นตัวอย่างในช่วง 3 - 10 มิลลิกรัม โดยวางชิ้นตัวอย่างในภาชนะบรรจุตัวอย่างที่ทำจากอลูมิเนียม ให้ความร้อนแก่ชิ้นตัวอย่างด้วยอัตรา 10 องศาเซลเซียส/นาที ในช่วงอุณหภูมิ -45 - 80°C โดยหลักการทำงานแสดงดังภาคผนวก ข.

3.4 การเคลือบฟิล์ม

เมื่อเตรียมสารละลายเรียบร้อยแล้วนำมาใส่ไว้ในอุปกรณ์ที่จะทำการพ่นเพื่อเตรียมเคลือบฟิล์ม โดยมีวิธีการทำ ดังนี้

1. การทดลองในส่วนนี้ทางผู้ทดลองได้นำผลทุเรียนจากตลาด อดก. ซึ่งแม่ค้าได้นำมาจากสวนจังหวัดระยอง มีความแก่ 80% และมีน้ำหนักเฉลี่ย 3.5 กิโลกรัม/ผลทุเรียน จากนั้นขนส่งด้วยรถยนต์เดินทางไปทดสอบคุณภาพในการเก็บรักษาเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองที่ฝ่ายปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

2. ปอกเปลือกทุเรียนพันธุ์หมอนทองที่นำมาใช้ในการทำการทดลอง โดยเครื่องมือที่ใช้ในการทำการเคลือบและภาชนะสำหรับวางเนื้อทุเรียนต้องสะอาดพอโดยผ่านการฆ่าเชื้อด้วยแอลกอฮอล์ 70% ใช้เวลาในการปอกทุเรียนทั้งหมด 110 กิโลกรัมเป็นเวลา 8 ชั่วโมง จากนั้นนำเนื้อทุเรียนที่ปอกเสร็จเรียบร้อยแล้วมาวางไว้บนถาดโฟม

3. นำสารละลายเจลาตินและไคโตซานที่เตรียมไว้ใส่ในอุปกรณ์พ่นทำการพ่นลงบนเนื้อทุเรียน โดยพ่นเพียงด้านเดียวก่อนใช้เวลา 10 นาที ทำให้แห้งโดยการเป่าด้วยลมเย็นเป็นเวลา 20 นาทีในแต่ละด้าน รวมระยะเวลาในการเคลือบทั้ง 2 ด้านและรอให้ฟิล์มแห้งแล้วคิดเป็นเวลา 1 ชั่วโมงหุ้มด้วยฟิล์มที่ใช้ห่อหุ้มอาหารยี่ห้อ m-wrap ซึ่งทำจากพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC)

4. นำทุเรียนทั้งหมดไปชั่งน้ำหนักในตอนเริ่มต้น บันทึกภาพเนื้อทุเรียนในวันที่ 0 และทดสอบคุณภาพของเนื้อทุเรียน

5. นำทุเรียนที่เคลือบฟิล์มแล้วทั้งหมดไปเก็บไว้ที่ห้องเย็นที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 100% เพื่อรอที่จะทำการทดลองในวันต่อไป

6. บันทึกภาพเนื้อทุเรียนอีกครั้งในวันที่ 26 ของการเก็บรักษาเพื่อเปรียบเทียบกับเนื้อทุเรียนในวันที่ 0

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.5 การตรวจสอบคุณภาพของเนื้อทุเรียน

3.5.1 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก

ชั่งน้ำหนักหลังการเก็บรักษา เปรียบเทียบกับน้ำหนักเมื่อเริ่มทำการทดลอง มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ แสดงดังสูตร (แสดงตัวอย่างในการคำนวณและเครื่องมือที่ใช้ดังภาคผนวก ง.)

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

3.5.2 การเปลี่ยนแปลงสีเนื้อ

ใช้เครื่องมือวัดสีที่เรียกว่า Colormeter ยี่ห้อ CE MINOLTA รุ่น CR-300, Japan ในระบบ Hunter's scale ซึ่งเป็นระบบ L a b color space บันทึกค่า L หรือค่าความสว่างและค่า b หรือค่าความเป็นสีเหลือง ในแต่ละซ้ำวัดค่าทั้งหมด 2 ค่าเพื่อหาค่าเฉลี่ย (หลักการทำงานและเครื่องมือที่ใช้ดังภาคผนวก ง.)

3.5.3 ความแน่นเนื้อ

ใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Firmness tester ยี่ห้อ Effegi และหัววัดแรงกดรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 2, 5, 8 และ 10 มิลลิเมตร กดลงไปบนเนื้อทุเรียนบริเวณแก้ม ในระยะห่างจากผิวที่กำหนดแล้วอ่านค่า ทำซ้ำอีก 5 จุด เพื่อหาค่าเฉลี่ย แปลงค่าแรงกดที่ได้จาก กิโลกรัมเป็นนิวตัน (คูณด้วย 9.81) (แสดงตัวอย่างในการคำนวณและเครื่องมือที่ใช้ดังภาคผนวก ง.)

3.5.4 ปริมาณของแข็งละลายน้ำได้

ค่าปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ของผลไม้ เป็นดัชนีบ่งชี้ความสุกของผลไม้ตัวหนึ่ง เมื่อผลไม้เริ่มสุก แป้งจะมีการเปลี่ยนแปลงกลายเป็นน้ำตาลซึ่งสามารถละลายน้ำได้สามารถวัดได้โดยใช้เครื่อง Hand refractometer อ่านการสะท้อนของแสงที่หักเหออกมาหลังจากที่ส่องผ่านสารละลายบนปริซึม ซึ่งค่าที่อ่านได้เรียกว่าค่าบrix (brix)

ก่อนการใช้เครื่องมือ ควรปรับค่ามาตรฐานเสียก่อน โดยการหยดน้ำกลั่นลงไปบนปริซึม และปรับให้ค่าที่อ่านได้เท่ากับ 0 ก่อนที่จะทำการวัดตัวอย่างอื่นๆ ทดสอบโดยใช้เนื้อทุเรียน 10 กรัม กับน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร (เนื้อทุเรียน: น้ำกลั่น = 3, dilution factor = 3) ด้วยเครื่อง Homogenizer จากนั้นนำไปเหวี่ยงด้วยเครื่องเหวี่ยง (Centrifuge) ที่ความเร็ว 6,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที แล้วนำสารละลายส่วนใสมหาปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ โดยใช้ Hand refractometer รายงานผล

เป็น %SS โดยคุณค่าที่อ่านได้ด้วย 3 (แสดงตัวอย่างในการคำนวณและเครื่องมือที่ใช้ดังกล่าว
ภาคผนวก ง.)

3.5.5 อัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีน

การวัดอัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีนมีขั้นตอนในการทำดังนี้

1. นำเนื้อทุเรียนในแต่ละทริทเมนต์ไปเก็บไว้ในขวดโหลและต่อเข้ากับแผงควบคุมการไหลของอากาศ (flow board) (รูปที่ 3.2) เป็นการผ่านอากาศเข้าไปยังเนื้อทุเรียนที่เก็บไว้ในภาชนะ จากนั้นทุกๆ 12 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างก๊าซของเนื้อทุเรียนปริมาณ 8.0 มิลลิลิตร โดยใช้กระบอกนิตยาขนาด 10.0 มิลลิลิตร ปิดปลายไซริงค์ด้วยเซปตัม (septum) ทันทีเพื่อป้องกันการรั่วของก๊าซ แทนที่ก๊าซในน้ำเกลือเข้มข้นเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 วัน ก่อนนำมาฉีดเข้าเครื่อง GC



รูปที่ 3.2: แผงควบคุมการไหลของอากาศ (flow board)

2.ฉีดก๊าซเข้าเครื่อง GC โดยนำกระบอกฉีดขนาด 3 มิลลิลิตรดูดก๊าซออกจากหลอด ปริมาณ 1 มิลลิลิตรจากนั้นวัดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และเอทิลีนโดยใช้เครื่อง Gas chromatography, GC (แสดงตัวอย่างในการคำนวณและเครื่องมือที่ใช้ดังภาคผนวก ง.) โดยรายละเอียดสำหรับการทดลองมีดังนี้

สารที่ตรวจสอบ:	ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	ก๊าซเอทิลีน
Gas chromatography		
คอลัมน์:	Porapak Q	Porapak Q
Inject/detector temperature ($^{\circ}\text{C}$)	150	150
Column temperature ($^{\circ}\text{C}$)	70	80
Carrier gas:	He	N_2
Detector:	TCD	FID (H_2 , O_2 สำหรับจุดเฟรม)

3.5.6 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

คุณภาพในการรับประทานเป็นการประเมินแบบจิตวิสัย (subjective) ซึ่งต่างจากแบบวัตถุวิสัย (objective) ที่สามารถวัดได้ด้วยเครื่องมือ หรืออุปกรณ์ต่างๆที่สามารถวัดได้ง่าย มีความผิดพลาดน้อย ไม่มีอคติ แต่วิธีการนี้มีข้อจำกัด เช่นการวัดน้ำตาล กรด หรือสารอื่นๆ สามารถวัดได้ทีละอย่างเท่านั้น ซึ่งต่างจากการใช้คนชิมรสที่สามารถรับรู้กลิ่น-รส และเนื้อสัมผัสได้ในเวลาเดียวกัน โดยรายละเอียดสำหรับการทดลองมีดังนี้

1. คัดเลือกผู้ชิมจำนวนประมาณ 10 คนในการประเมิน ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design, CRD) โดยนำเนื้อทุเรียนที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสเมื่อสุกแล้วมาทดสอบโดยจัดให้ผู้ชิมคือจำนวนซ้ำ วิเคราะห์ผลความแตกต่างทางสถิติแบบ ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และใช้วิธีการทดสอบแบบพิสัยเชิงพหุของดันแคน (Duncan's new multiple range test) ในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์ต่าง ๆ เป็นคู่ๆ (comparing pairs of treatment means)
2. จัดสถานที่สำหรับการชิมโดยห้องต้องสะอาด ปราศจากกลิ่น
3. เตรียมตัวอย่างโดยตัดเป็นชิ้นเล็กๆขนาดประมาณชิ้นละ 1 นิ้วในแต่ละสูตรแล้วนำมาคละรวมกันเพื่อให้ตัวอย่างมีความสม่ำเสมอมากขึ้น
4. การนำเสนอตัวอย่าง ต้องพยายามไม่ให้ผู้ประเมินเห็นหลักฐาน หรือข้อมูลใดๆ ดังนั้นควรใช้เลข 3 หลักที่ได้จากการสุ่มแทนที่จะใช้หมายเลขเรียงกัน เช่น 1, 2 และ 3
5. เมื่อชิมเสร็จแล้วรวบรวมตัวเลข หาค่าเฉลี่ย โดยแสดงแบบทดสอบที่ใช้ดังภาคผนวก ง.

3.6 สถานที่ทำการวิจัย

ห้องปฏิบัติการวิจัยวิศวกรรมชีวเคมี ชั้น 5 ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ฝ่ายปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขต
กำแพงแสน จ.นครปฐม

ทดสอบคุณสมบัติทางกลของฟิล์ม ณ ภาควิชาทันตวัสดุศาสตร์ คณะทันตแพทยศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทดสอบหาค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว ที่บริษัทเมทเธอร์-โทเลโด ประเทศไทย
จำกัด

ศูนย์เครื่องมือวิเคราะห์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

การทดลองผลิตฟิล์มเคลือบบริโกลได้ ซึ่งมีวิธีดำเนินการวิจัยดังที่กล่าวมาแล้ว มีผลการทดลอง 3 ส่วนใหญ่ๆ ดังนี้

4.1 ผลิตฟิล์มเคลือบบริโกลได้ และทดสอบสมบัติทางกายภาพของฟิล์มเคลือบบริโกลได้ 3 ชนิด คือ เจลาติน ไคโตซาน และพอลิเมอร์ผสมระหว่างเจลาตินและไคโตซาน ซึ่งมีการศึกษา และทดสอบค่าต่างๆ ดังนี้

4.1.1 ลักษณะของฟิล์มเคลือบบริโกลได้

4.1.2 สมบัติทางความร้อน ได้แก่ อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของฟิล์ม (Tg)

4.1.3 สมบัติทางกล ได้แก่ ความทนแรงดึง (tensile strength) และการยืดตัวของฟิล์ม (%elongation)

4.1.4 ความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำ

4.2 ทดสอบประสิทธิภาพของฟิล์มเคลือบบริโกลได้ที่ได้รับการคัดเลือกจากข้อ 4.1 โดยการเคลือบฟิล์มลงบนเนื้อทุเรียน และตรวจสอบคุณสมบัติต่างๆ ในการยืดอายุการเก็บรักษาเนื้อทุเรียนที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบกับเนื้อทุเรียนที่ไม่ได้เคลือบเป็นเวลา 4 สัปดาห์ โดยดูลักษณะของเนื้อทุเรียนที่เคลือบและวัดคุณภาพของเนื้อทุเรียน ดังนี้

4.2.1 ลักษณะภายนอกของเนื้อทุเรียนจากการถ่ายรูปบันทึกไว้

4.2.2 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก

4.2.3 สี

4.2.4 ความแน่นเนื้อ

4.2.5 ปริมาณของแข็งละลายน้ำได้

4.2.6 อัตราการหายใจ

4.2.7 การผลิตเอทิลีน

4.2.8 คุณภาพในการรับประทาน

4.3 วิเคราะห์ต้นทุนของฟิล์มเคลือบบริโกลได้ โดยมีรายละเอียดของผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลองดังต่อไปนี้

4.1 ลักษณะและสมบัติทางกายภาพของฟิล์มเคลือบบริโกลได้

4.1.1 ลักษณะของฟิล์มเคลือบบริโกลได้

ในขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาลักษณะทั่วไปในการผลิตฟิล์มเคลือบบริโกลได้ที่ผลิตได้ในการทดลอง เพื่อคัดเลือกฟิล์มให้เหมาะสมที่จะใช้กับเนื้อทุเรียน โดยขั้นแรกพิจารณา กลิ่น สี และ pH ของสารละลายที่ใช้ในการเตรียมฟิล์ม ดังตารางที่ 4.1

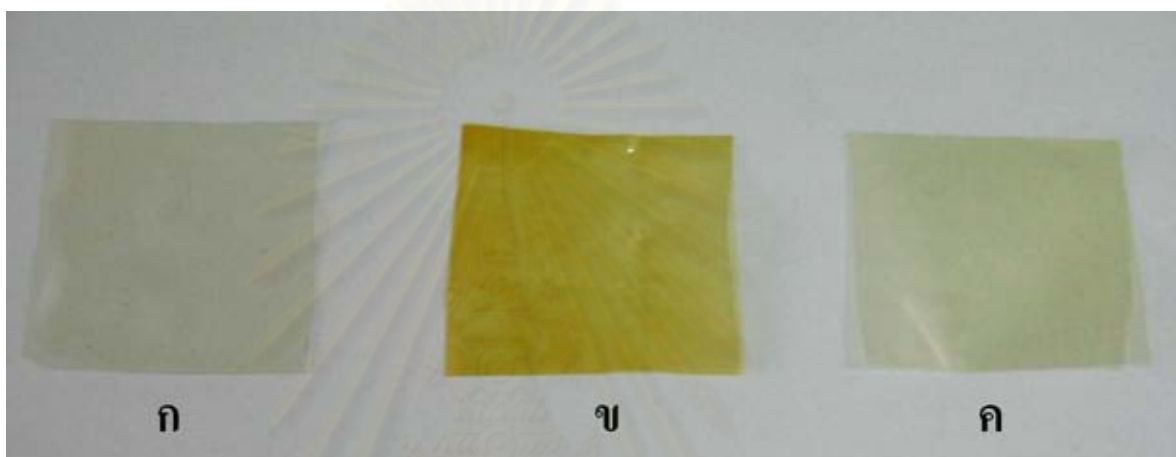
ตารางที่ 4.1 ลักษณะทั่วไปของฟิล์มเคลือบบริโกลได้ที่เตรียมได้สำหรับงานวิจัยนี้

สูตร	ไคโตซาน (%w/v)	เจลาติน (%w/v)	ซอร์บิทอล (%w/v)	กรดซิตริก (%w/v)	สีและกลิ่น	pH
A1	-	1.00	0.50	-	ฟิล์มมีสีขาวใส	5.66
A2	-	1.00	0.60	-	ไม่มีกลิ่น	6.03
A3	-	1.00	0.75	-		6.29
B1	1.00	-	0.50	3.50	ฟิล์มมีสีเหลืองเข้ม	3.07
B2	1.00	-	0.60	3.50	มีกลิ่นของกรดที่ใช้	3.09
B3	1.00	-	0.75	3.50	เป็นตัวทำละลาย	3.05
C1	1.00	2.00	0.20	3.50	ฟิล์มมีสีเหลืองอ่อน	3.43
C2	1.00	2.00	0.30	3.50	มีกลิ่นของกรดเพียง	3.47
C3	1.00	2.00	0.50	3.50	เล็กน้อย	3.53
C4	1.00	2.00	0.75	3.50		3.46
น้ำกลั่น						6.2

การทดลองนี้ใช้เทคนิคการหล่อฟิล์ม และระเหยเอาตัวทำละลายออกโดยการนำไปอบที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ความหนาของฟิล์มที่ผลิตได้วัดโดยใช้เครื่องไมโครมิเตอร์มีความหนาเท่ากับ 0.06 มิลลิเมตร โดยฟิล์มไคโตซานมีกลิ่นของกรดมากกว่าฟิล์มผสมระหว่างเจลาตินและไคโตซาน และมากกว่าฟิล์มเจลาติน เนื่องจากไคโตซานจะละลายได้สภาวะที่เป็นกรดอ่อนที่มีค่า pH น้อยกว่า 6 (Francis – Suh และ Matthew, 2000) การทดลองใช้กรดซิตริกเป็นตัวทำละลายไคโตซาน ซึ่งแตกต่างจากรายงานวิจัยที่ผ่านมาซึ่งใช้กรดอะซิติกเป็นตัวทำละลายไคโตซาน กรดซิตริกเป็นสารที่พบตามธรรมชาติในผลไม้ตระกูลส้ม สตรอเบอรี่ เป็นตัวปรับค่าความเป็นกรด-เบสของผลิตภัณฑ์ให้ต่ำกว่า 4.6 ซึ่งไม่เหมาะต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ นอกจากนั้นยังช่วย

ปรับปรุงกลิ่นรสของอาหาร (Wiley, 1994) จากกลิ่นที่ได้พบว่าสอดคล้องกับ pH ของสารละลาย
ที่ได้ คือเมื่อมีกลิ่นของกรดเพิ่มขึ้น ค่า pH ที่ได้มีค่าต่ำลง

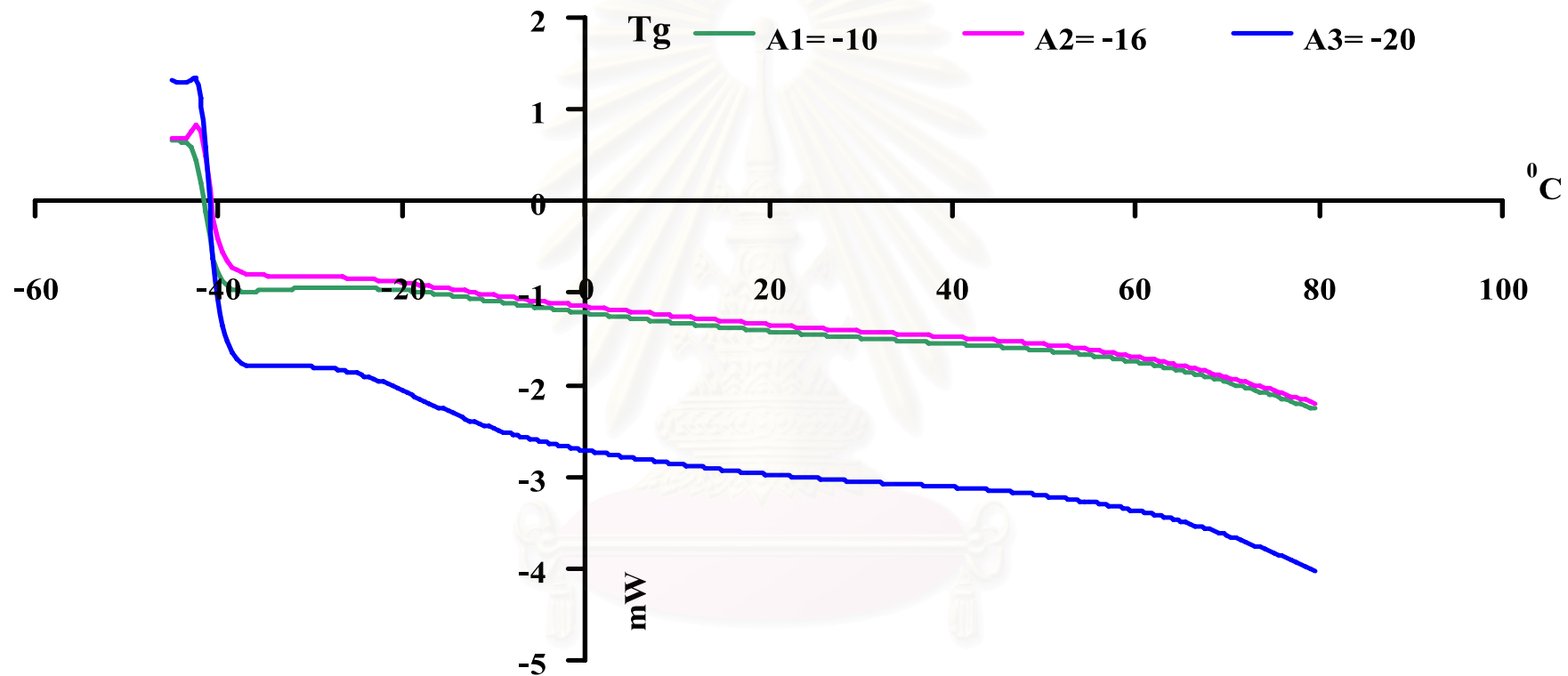
เมื่อพิจารณาถึงสีของฟิล์มเคลือบบริโกลด์ที่ได้ผลิตได้ในการทดลองนี้ พบว่ามีสีที่ได้รับ
เหมาะสมกับการเคลือบบนเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองที่มีสีเหลือง โดยฟิล์มเจลาตินมีสีขาว ใส
ฟิล์มไคโตซานจะมีสีเหลืองเข้ม และฟิล์มผสมระหว่างเจลาตินและไคโตซานมีสีเหลืองอ่อน ไม่ใส
เหมือนฟิล์มเจลาติน แสดงลักษณะฟิล์มที่ได้ (รูปที่ 4.1)



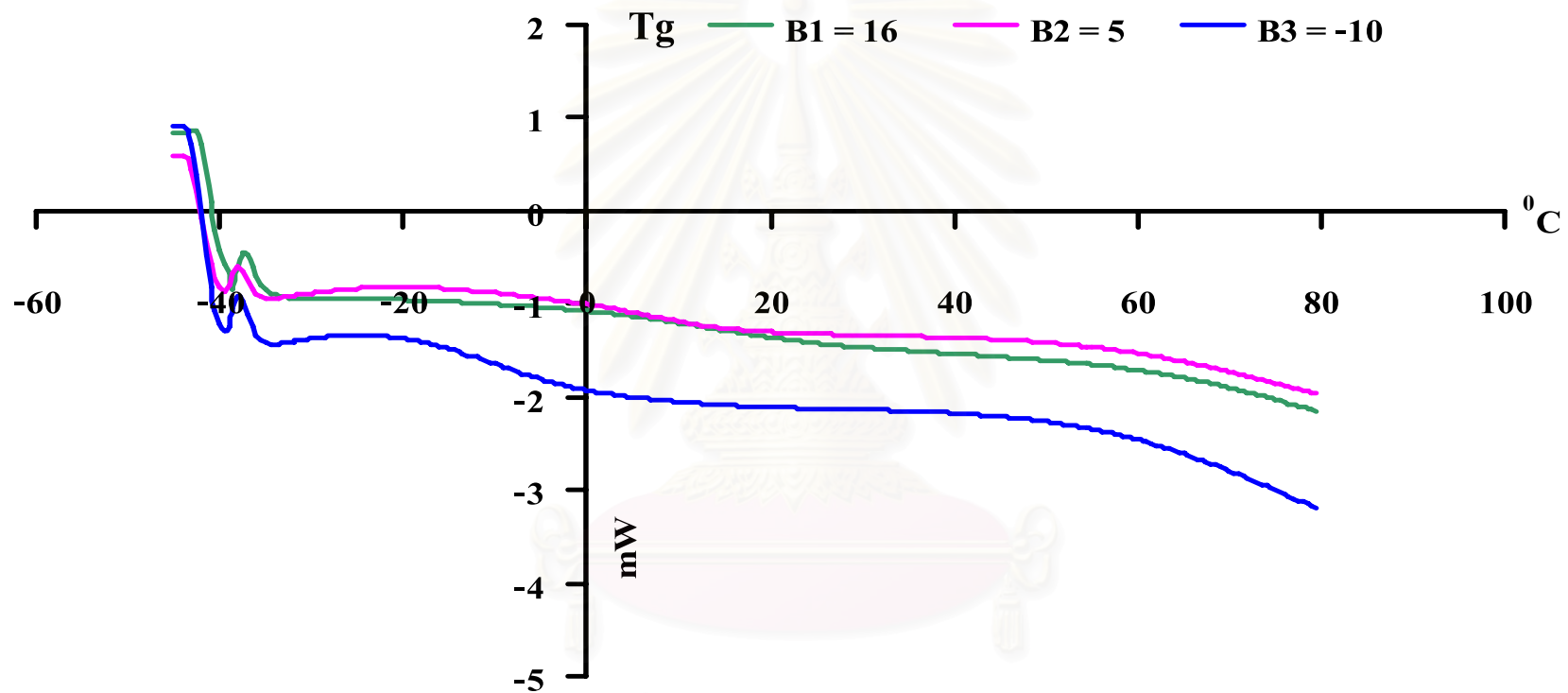
รูปที่ 4.1: ลักษณะของฟิล์มเคลือบบริโกลด์ที่ได้ในการทดลอง (ก) ฟิล์มเจลาติน (ข) ฟิล์มไคโตซาน (ค) ฟิล์ม
ผสมระหว่างเจลาตินและไคโตซาน

4.1.2 สมบัติทางความร้อน

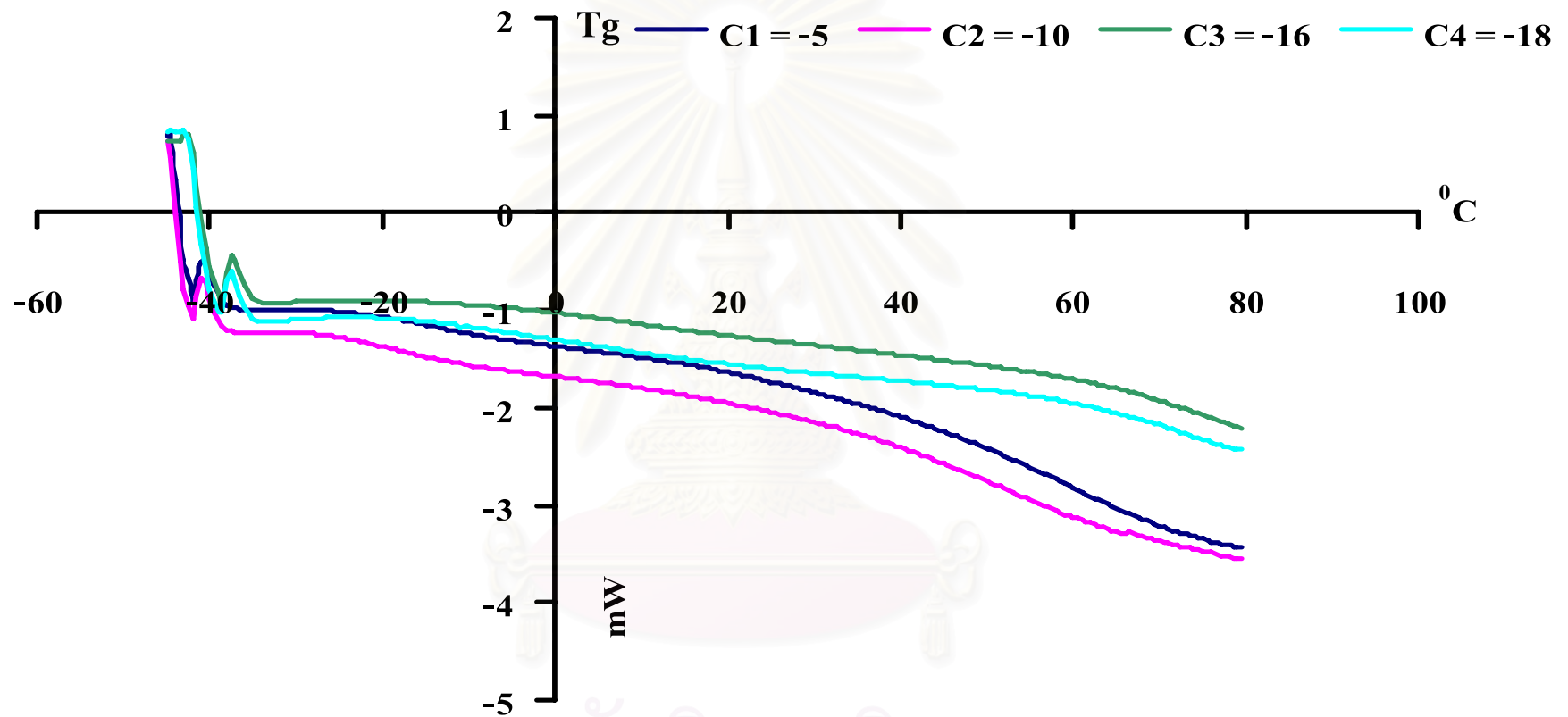
สมบัติทางความร้อนมีความสำคัญในการคัดเลือกฟิล์มเพื่อนำไปทดสอบกับเนื้อทุเรียน
เนื่องจากมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษา รูปที่ 4.2 แสดงค่าการดูดความร้อนเมื่อใส่
ซอร์บิทอลลงไป ปริมาณที่เท่ากับ 0.5, 0.6 และ 0.75 % โดยน้ำหนัก ฟิล์มเคลือบบริโกลด์ได้จาก
เจลาตินวิเคราะห์ค่า T_g ได้เท่ากับ -10, -16 และ -20 องศาเซลเซียสตามลำดับ ฟิล์มเคลือบบริโกลด์
จากไคโตซานวิเคราะห์ค่า T_g ได้เท่ากับ 16, 5 -10 องศาเซลเซียส ตามลำดับ (รูปที่ 4.3) และฟิล์ม
ผสมระหว่างเจลาตินและไคโตซานที่มีการใส่ปริมาณซอร์บิทอลในปริมาณที่เท่ากับ 0.2, 0.3, 0.5
และ 0.75 % โดยน้ำหนัก วิเคราะห์ค่า T_g ได้เท่ากับ -5, -10, -16 และ -18 องศาเซลเซียสตามลำดับ
(รูปที่ 4.4)



รูปที่ 4.2: DSC Thermogram ของฟิล์มเจลาตินสูตร A1 (เจลาติน 1% และซอร์บิทอล 0.50% โดยน้ำหนัก), สูตร A2 (เจลาติน 1% และซอร์บิทอล 0.60% โดยน้ำหนัก) และสูตร A3 (เจลาติน และซอร์บิทอล 0.75% โดยน้ำหนัก)



รูปที่ 4.3: DSC Thermogram ของฟิล์มไคโตซานสูตร B1 (ไคโตซาน 1% และซอร์บิทอล 0.50% โดยน้ำหนัก), สูตร B2 (ไคโตซาน 1% และซอร์บิทอล 0.60% โดยน้ำหนัก) และสูตร B3 (ไคโตซาน 1% และซอร์บิทอล 0.75% โดยน้ำหนัก)



รูปที่ 4.4: DSC Thermogram ของฟิล์มเจลาตินและไคโตซานสูตร C1 (เจลาติน 2% ไคโตซาน 1% และซอร์บิทอล 0.20%โดยน้ำหนัก), สูตรC2 (เจลาติน 2% ไคโตซาน 1% และซอร์บิทอล 0.30%โดยน้ำหนัก) สูตร C3 (เจลาติน 2% ไคโตซาน 1% และซอร์บิทอล 0.50%โดยน้ำหนัก) และสูตร C4 (เจลาติน 2% ไคโตซาน 1% และซอร์บิทอล 0.75%โดยน้ำหนัก)

ฟิล์มเคลือบบริโกลได้จากเจลาตินมีค่า T_g ต่ำสุดเมื่อเทียบกับฟิล์มเคลือบบริโกลได้จากไคโตซานและฟิล์มผสมระหว่างเจลาตินและไคโตซาน และเมื่อใส่ซอร์บิทอลในปริมาณที่เพิ่มขึ้น อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของฟิล์มทั้ง 3 ชนิดมีค่าลดลง พบว่าแนวโน้มการลดลงของ T_g เมื่อเพิ่มปริมาณซอร์บิทอลเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับรายงานของ Sobral และคณะ (2001) ซึ่งผลิตฟิล์มเจลาตินเข้มข้น 1% โดยน้ำหนัก และใส่ซอร์บิทอลในปริมาณที่เท่ากับ 0.15, 0.25, 0.35, 0.45, 0.55 และ 0.65 % โดยน้ำหนัก T_g ที่ได้มีค่าเท่ากับ 50, 45, 25, 12.5, -10 และ -25 องศาเซลเซียส ตามลำดับ Lazaridou และ Biliaderis (2002) ผลิตฟิล์มไคโตซานเข้มข้น 1% โดยน้ำหนัก ละลายในกรดอะซิติกเข้มข้น 2% โดยน้ำหนัก ใส่ซอร์บิทอลเท่ากับ 0.10 และ 0.30% โดยน้ำหนัก พบว่า T_g มีค่าลดลงจาก 94.9 เป็น 59.6 องศาเซลเซียส และ Arvanitoyannis และคณะ (1998) ผลิตฟิล์มผสมระหว่างเจลาตินและไคโตซาน ใส่ซอร์บิทอลเท่ากับ 0.04, 0.10, 0.14, 0.22, 0.25 และ 0.30% โดยน้ำหนัก T_g ที่ได้เท่ากับ 50, 35, 30, 10, -10 และ -30 องศาเซลเซียสตามลำดับ

การใส่ซอร์บิทอลในปริมาณที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ T_g มีค่าลดลง เนื่องจากซอร์บิทอลเข้าไปแทรกตัวอยู่ภายในสายโซ่โมเลกุลทำให้ปริมาตรว่างเพิ่มขึ้นเกิดขึ้นจากการที่โมเลกุลไม่สามารถจัดตัวเป็นระเบียบเข้าด้วยกันได้ทำให้ปริมาณความร้อนที่ให้แก่ฟิล์มมีน้อยลงค่า T_g ที่ได้จึงมีค่าลดลง ทฤษฎีปริมาตรว่างพิจารณาว่าสารมีปริมาตรว่าง พลาสติกไซเซออร์มีขนาดโมเลกุลเล็กกว่าพอลิเมอร์ และเคลื่อนไหวได้มากกว่าจึงมีปริมาตรว่างมากกว่าลูกโซ่พอลิเมอร์ พอลิเมอร์มีปริมาตรว่างน้อยกว่า เนื่องจากการเคลื่อนไหวของแต่ละอะตอมถูกจำกัดเพราะต้องพาทั้งโมเลกุลลูกโซ่เคลื่อนตามไปด้วย ดังนั้นการใส่พลาสติกไซเซออร์จึงทำให้พอลิเมอร์มีปริมาตรว่างเพิ่มขึ้นและเคลื่อนไหวโมเลกุลได้ง่ายขึ้น (ไพบูลย์ อินนาจิตร, 2538) ในการทดลองสามารถคัดเลือกฟิล์มที่เหมาะสมได้ โดยเลือกค่า T_g ที่ใกล้เคียงหรือต่ำกว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษา คือ 5 องศาเซลเซียส เพื่อให้ได้ฟิล์มอยู่ในสถานะกึ่งของไหลและมีลักษณะที่มีความยืดหยุ่นดี ไม่แข็งหรือหนืดไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.3 สมบัติทางกล

สมบัติทางกลมีความสำคัญกับการบริโภคของผู้บริโภคที่ชอบผลไม้ที่มีลักษณะที่เป็นธรรมชาติ ฟิล์มเคลือบเนื้อทุเรียนจึงควรมีลักษณะที่มองไม่เห็น (invisible) แต่ในขณะที่เดียวกันก็มีความแข็งแรงพอที่จะเคลือบผิวไว้ได้ และต้องไม่เหนียวจนผู้บริโภคไม่ยอมรับ ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้พบว่า ฟิล์มที่ผลิตจากจากเจลาตินอย่างเดียวมีลักษณะที่แข็ง เปราะ ไม่เหมาะสมที่ใช้ในงานเคลือบผลไม้ ส่วนฟิล์มเคลือบบริโภคได้จากไคโตซานที่ไม่ใส่ซอร์บิทอลมีลักษณะที่แข็ง ไม่เปราะ มีค่าความทนแรงดึงสูงถึง 39.1 MPa และการยืดตัวของฟิล์มเท่ากับ 66.8% ไม่เหมาะกับการใช้เคลือบลงบนเนื้อทุเรียนหรืออาหาร การเติมซอร์บิทอลทำให้ฟิล์มที่ได้มีลักษณะฟิล์มที่มีความยืดหยุ่นดี ไม่แข็งและไม่เปราะ ฟิล์มเคลือบบริโภคได้จากเจลาตินที่ใส่ซอร์บิทอลปริมาณ 0.5, 0.6 และ 0.75 % โดยน้ำหนัก (สูตร A1, A2 และ A3) มีความทนแรงดึงเท่ากับ 12.9, 8.9 และ 2.4 MPa และมีการยืดตัวเท่ากับ 116, 127.4 และ 216.7% ตามลำดับ (รูปที่ 4.5) เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่าการใส่ซอร์บิทอลส่งผลให้สูตร A3 มีความทนแรงดึงน้อยกว่าสูตร A1 และ A2 อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) และการยืดตัวของสูตร A3 มีค่ามากกว่าสูตร A1 และ A2 อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) นั่นคือการใส่ซอร์บิทอลในปริมาณที่เพิ่มขึ้นจาก 0.5 เป็น 0.75% โดยน้ำหนัก ทำให้ฟิล์มเคลือบบริโภคได้จากเจลาตินมีความทนแรงดึงที่น้อยลงและการยืดตัวของฟิล์มที่เพิ่มสูงขึ้น

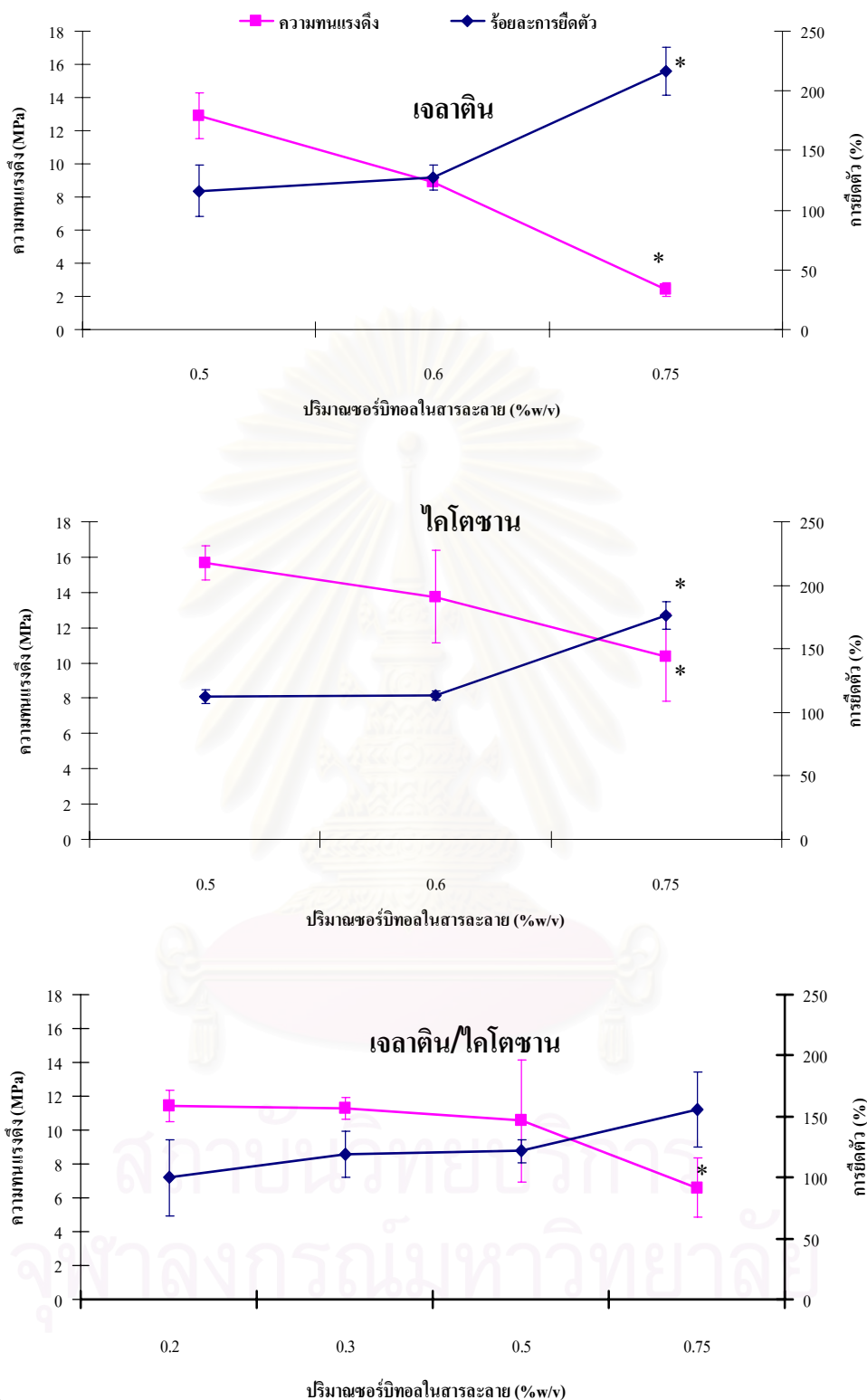
ฟิล์มเคลือบบริโภคได้จากไคโตซานที่ใส่ซอร์บิทอลปริมาณ 0.5, 0.6 และ 0.75 % โดยน้ำหนัก (สูตร B1, B2 และ B3) มีความทนแรงดึงเท่ากับ 15.7, 13.7 และ 10.3 MPa และมีการยืดตัวเท่ากับ 112.6, 113.3 และ 176.3% ตามลำดับ (รูปที่ 4.5) เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่าการใส่ซอร์บิทอลส่งผลให้สูตร B3 มีความทนแรงดึงน้อยกว่าสูตร B1 และ B2 อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) และการยืดตัวของสูตร B3 มีค่ามากกว่าสูตร B1 และ B2 อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) นั่นคือการใส่ซอร์บิทอลในปริมาณที่เพิ่มขึ้นจาก 0.5 เป็น 0.75% โดยน้ำหนัก ทำให้ฟิล์มเคลือบบริโภคได้จากไคโตซานมีความทนแรงดึงที่น้อยลง และการยืดตัวของฟิล์มที่เพิ่มสูงขึ้น แต่การเพิ่มปริมาณซอร์บิทอลจาก 0.5 เป็น 0.6% โดยน้ำหนักค่าความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มมีค่าไม่แตกต่างกัน

เมื่อนำพอลิเมอร์ทั้ง 2 ชนิดมาผสมกันในอัตราส่วนเจลาติน 2 % โดยน้ำหนัก และไคโตซาน 1 % โดยน้ำหนัก โดยใส่ซอร์บิทอลปริมาณ 0.2, 0.3, 0.5 และ 0.75 % โดยน้ำหนัก (สูตร C1, C2, C3 และ C4) มีความทนแรงดึงเท่ากับ 11.4, 11.3, 10.5 และ 6.6 MPa และมีการยืดตัวเท่ากับ 99.9, 119.2, 121.9 และ 155.66% ตามลำดับ (รูปที่ 4.5) เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่าการใส่ซอร์บิทอลในปริมาณที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อค่าความทนแรงดึง นั่นคือค่าความทนแรงดึงที่ได้ในแต่ละสูตรมีค่าไม่แตกต่างกัน แต่การยืดตัวของสูตร C3 และ C4 มีค่ามากกว่าสูตร C1 และ C2 อย่างมี

นัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) นั่นคือการใส่ซอร์บิทอลเพิ่มขึ้นจาก 0.2 เป็น 0.75 มีผลทำให้การยืดตัวของฟิล์มมีค่าสูงขึ้น และแตกต่างกับการยืดตัวของสูตร C1 และ C2 (แสดงตัวอย่างการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติดังภาคผนวก ก. และสรุปการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของสมบัติทางกลทั้งหมดดังตารางภาคผนวก ค.4)



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.5: ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณชอว์บิทอลกับค่าความทนแรงดึง (■) และการยืดตัวของฟิล์มเคลือบบริโกลได้ (◆) จากเจลลาติน ไคโตซาน และฟิล์มผสมระหว่างเจลลาตินและไคโตซาน ดำเนินการทดลองที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส (n=5)

* ความทนแรงดึง และการยืดตัวของฟิล์มเคลือบบริโกลได้ระหว่างสูตรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ใช้การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เมื่อเพิ่มปริมาณซอร์บิทอลความทนแรงดึงของฟิล์มเคลือบบริโกลได้ทั้ง 3 ชนิดมีค่าลดลง และการยืดตัวของฟิล์มมีค่าเพิ่มขึ้น เห็นได้ว่าการใส่ซอร์บิทอลช่วยปรับปรุงสมบัติทางกลของฟิล์มให้มีความยืดหยุ่น ไม่แข็งและเปราะ เนื่องจากซอร์บิทอลเป็นพลาสติกไซเซออร์เมื่อผสมเข้ากับพอลิเมอร์ช่วยเพิ่มความอ่อนตัว และยืดตัว ผลของซอร์บิทอลอธิบายได้โดยทฤษฎีปริมาตรว่างเมื่อซอร์บิทอลมีขนาดโมเลกุลเล็กกว่าพอลิเมอร์และเคลื่อนไหวได้มากกว่าจึงมีปริมาตรว่างมากกว่าลูกโซ่พอลิเมอร์ พอลิเมอร์มีปริมาตรว่างน้อยกว่า เนื่องจากการเคลื่อนไหวของแต่ละอะตอมถูกจำกัดเพราะต้องพาทั้งโมเลกุลลูกโซ่เคลื่อนตามไปด้วย ดังนั้นการใส่พลาสติกไซเซออร์จึงทำให้พอลิเมอร์มีปริมาตรว่างเพิ่มขึ้น และเคลื่อนไหวโมเลกุลได้ง่ายขึ้น (ไพบูลย์ อินนาจิตร, 2538) สำหรับการใส่โคโคซานเป็นการช่วยปรับปรุงสมบัติทางกลของฟิล์ม โดยโคโคซานช่วยลดความเปราะของฟิล์มเจลาติน (Miller และ Limited, 1997)

Khan และคณะ (2000) ได้รายงานการทดสอบสมบัติทางกลของการผลิตฟิล์มโคโคซานเข้มข้น 1.4 % โดยน้ำหนักในกรดอะซิติก 2 % หรือกรดแลกติก 1% โดยน้ำหนัก ไม่มีการใส่พลาสติกไซเซออร์ พบว่าที่ฟิล์มความหนาเฉลี่ย 0.048 มิลลิเมตร ฟิล์มของโคโคซาน - กรดอะซิติก มีความทนแรงดึงเท่ากับ 67.11 ± 1.27 MPa และการยืดตัวเท่ากับ 21.35 ± 2.12 % ฟิล์มของโคโคซาน - กรดแลกติก มีความทนแรงดึงเท่ากับ 59.87 ± 2.21 MPa และการยืดตัวเท่ากับ 67.10 ± 2.87 % ในการทดลองครั้งนี้มีการใช้กรดซิตริกเป็นตัวทำลายโคโคซานซึ่งมีการยืดตัวเท่ากับ 66.8% ที่ความหนาของฟิล์มเฉลี่ย 0.06 มิลลิเมตร Arvanitoyannis และคณะ (1998) ผลิตฟิล์มผสมระหว่างเจลาตินและโคโคซาน โดยใช้ความเข้มข้นของเจลาตินเท่ากับ 5 % โดยน้ำหนัก และความเข้มข้นของโคโคซานเท่ากับ 2 % โดยน้ำหนัก ใส่ซอร์บิทอลเท่ากับ 0.04 และ 0.14% โดยน้ำหนัก พบว่าที่ความหนาเฉลี่ย 0.80 มิลลิเมตรมีความทนแรงดึงลดลงจาก 106 เป็น 75 MPa และการยืดตัวของฟิล์มเพิ่มขึ้นจาก 8.90 เป็น 27.50%

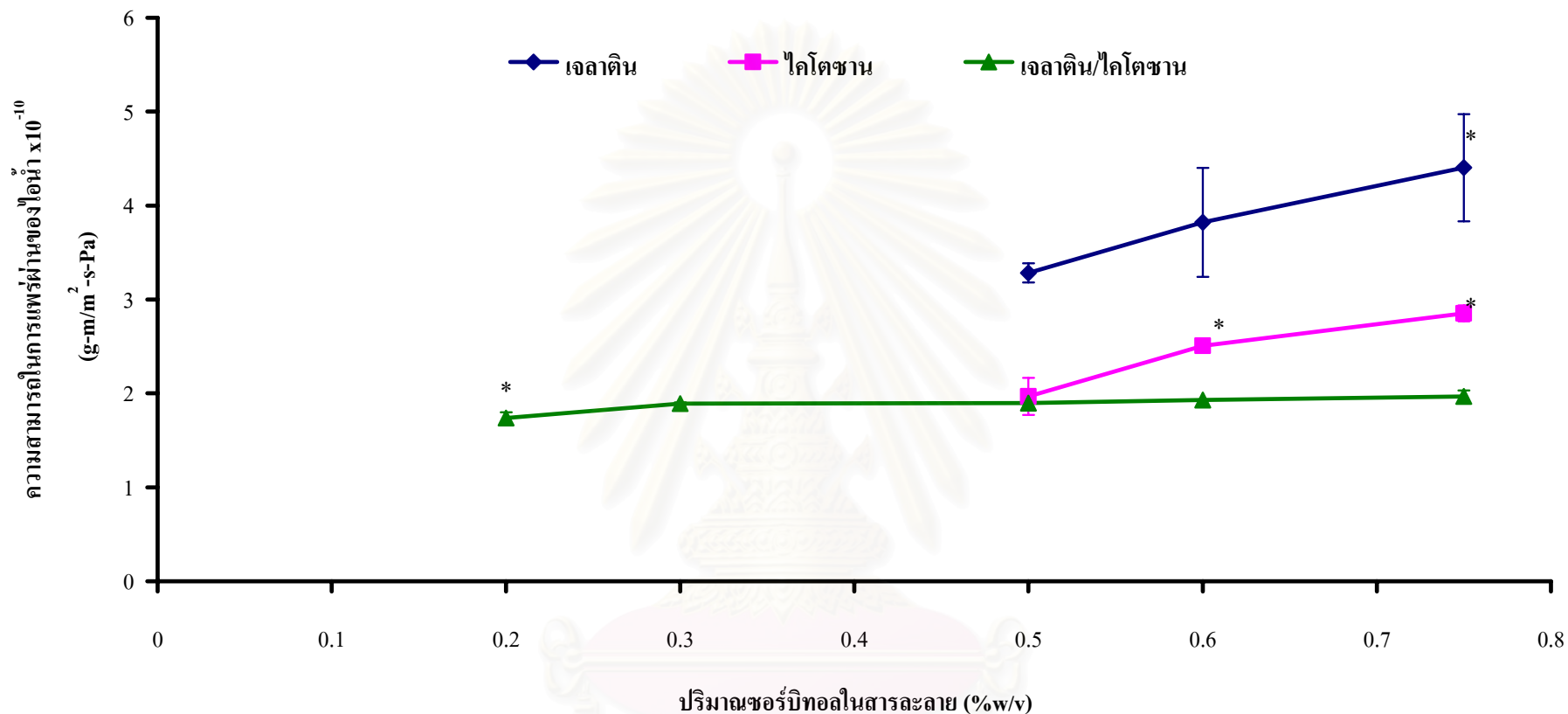
4.1.4 ความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำ

ความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำเป็นสมบัติค่าหนึ่งที่สำคัญสำหรับฟิล์มเคลือบบริโกลได้ เนื่องจากผลไม้ส่วนใหญ่มีน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่ภายในมากกว่า 80% การที่ฟิล์มเคลือบบริโกลได้มีความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำต่ำเป็นผลดีต่อผลิตภัณฑ์ เนื่องจากฟิล์มเคลือบบริโกลได้จะทำหน้าที่กักน้ำอีกชั้นหนึ่งของผลิตภัณฑ์ช่วยชะลอการซึมผ่านของไอน้ำ (Miller และ Limited, 1997) ทำให้ลดการสูญเสียน้ำหนักและการเหี่ยวของผลิตภัณฑ์ การทดสอบทำโดยประยุกต์จากวิธีของ Jo และคณะ (2004) ตามมาตรฐาน ASTM E96-95 เพื่อศึกษาความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำสำหรับฟิล์มเคลือบบริโกลได้ชนิดต่างๆ

ผลการทดลองที่ได้พบว่าเมื่อใส่ซอร์บิทอลลงไป ปริมาณ 0.5, 0.6 และ 0.75 % โดยน้ำหนัก (สูตร A1, A2 และ A3) พิล์มเคลือบบริโกลได้จากเจลาตินมีความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำเท่ากับ 3.3, 3.8 และ $4.4 \times 10^{-10} \text{ g-m/m}^2\text{-s-Pa}$ ตามลำดับ (รูปที่ 4.6) เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่าการใส่ซอร์บิทอลลงไป ปริมาณที่แตกต่างกันส่งผลให้ความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำของสูตร A3 มีค่ามากกว่าสูตร A1 และ A2 อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) นั่นคือการใส่ซอร์บิทอลในปริมาณที่เพิ่มขึ้นจาก 0.5 เป็น 0.75% โดยน้ำหนัก ทำให้ฟิล์มเคลือบบริโกลได้จากเจลาตินมีความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำสูงขึ้น แต่การเพิ่มปริมาณซอร์บิทอลจาก 0.5 เป็น 0.6% โดยน้ำหนักทำให้ความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำที่ได้มีค่าไม่แตกต่างกัน

ฟิล์มเคลือบบริโกลได้จากโคโคซานเมื่อใส่ซอร์บิทอลลงไป ปริมาณ 0.5, 0.6 และ 0.75 % โดยน้ำหนัก (สูตร B1, B2 และ B3) มีความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำเท่ากับ 2.0, 2.5 และ $2.8 \times 10^{-10} \text{ g-m/m}^2\text{-s-Pa}$ ตามลำดับ (รูปที่ 4.6) เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติสำหรับสูตร B1, B2 และ B3 พบว่าการใส่ซอร์บิทอลลงไป ปริมาณที่แตกต่างกันส่งผลให้ความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำของสูตร B3 มีค่ามากกว่าสูตร B1 และ B2 อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างสูตร B1 และ B2 ความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำของสูตร B2 มีค่ามากกว่าสูตร B1 อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) นั่นคือการใส่ซอร์บิทอลในปริมาณที่เพิ่มขึ้นจาก 0.5 เป็น 0.6% โดยน้ำหนัก ทำให้ฟิล์มเคลือบบริโกลได้จากโคโคซานมีความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำที่เพิ่มสูงขึ้น

ฟิล์มผสมระหว่างเจลาตินและโคโคซาน เมื่อใส่ปริมาณซอร์บิทอลในปริมาณ 0.2, 0.3, 0.5 และ 0.75 % โดยน้ำหนัก (สูตร C1, C2, C3 และ C4) มีค่าความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำเท่ากับ 1.7, 1.9, 1.9 และ $2.0 \times 10^{-10} \text{ g-m/m}^2\text{-s-Pa}$ ตามลำดับ (รูปที่ 4.6) เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่าการใส่ซอร์บิทอลลงไป ปริมาณที่แตกต่างกันส่งผลให้ความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำของสูตร C1 มีค่าน้อยกว่าสูตร C2, C3 และ C4 อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) นั่นคือ พิล์มเคลือบบริโกลได้ระหว่างเจลาตินและโคโคซานเมื่อใส่ปริมาณซอร์บิทอลเพิ่มขึ้นจาก 0.2 เป็น 0.3, 0.5 และ 0.75% โดยน้ำหนัก ทำให้ความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำเพิ่มสูงขึ้นและแตกต่างกับสูตร C1 ซึ่งมีค่าความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำต่ำสุด (แสดงตัวอย่างการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติดังภาคผนวก ก. และสรุปการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติทั้งหมดดังตารางภาคผนวก ค.4)



รูปที่ 4.6: ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซอร์บิทอลกับความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำของฟิล์มเคลือบบริโกลด์ได้จากเจลาติน ไคโตซาน และฟิล์มผสมระหว่างเจลาตินและไคโตซาน ดำเนินการที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 50% (n=5)

* ความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำของฟิล์มเคลือบบริโกลด์ได้ระหว่างสูตรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ใช้การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ฟิล์มเคลือบบริโกลได้จากเจลาตินมีความสามารถในการกั้นการแพร่ผ่านของไอน้ำต่ำสุด เมื่อเทียบกับฟิล์มเคลือบบริโกลได้จากไคโตซานและฟิล์มผสมระหว่างเจลาตินและไคโตซาน และเมื่อใส่ซอร์บิทอลในปริมาณที่เพิ่มขึ้นความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำของฟิล์มทั้ง 3 ชนิดมีค่าเพิ่มขึ้น พบว่าแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำเมื่อเพิ่มปริมาณซอร์บิทอลเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับรายงานของ Sobral และคณะ (2001) ซึ่งผลิตฟิล์มเจลาตินเข้มข้น 1 % โดยน้ำหนัก ใส่ซอร์บิทอลในปริมาณที่เท่ากับ 0.15, 0.25, 0.35, 0.45, 0.55 และ 0.65 % โดยน้ำหนัก ค่าความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำเพิ่มขึ้นจาก 5, 5.14, 5, 6.11, 6.94 และ 8.89×10^{-11} g-m/m²-s-Pa ตามลำดับ Arvanitoyannis และคณะ (1998) ผลิตฟิล์มผสมระหว่างเจลาตินและไคโตซาน ใส่ซอร์บิทอลเท่ากับ 0.04 และ 0.14% โดยน้ำหนัก พบว่าที่ความหนาเฉลี่ย 0.80 มิลลิเมตรมีความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำเพิ่มขึ้นจาก 1.4 เป็น 3.8×10^{-11} g-m/m²-s-Pa

การใส่ซอร์บิทอลในปริมาณที่เพิ่มขึ้นความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากซอร์บิทอลที่เข้าไปแทรกตัวอยู่ในสายโซ่โมเลกุลเป็นการทำให้พอลิเมอร์มีปริมาตรว่างเพิ่มขึ้น และเคลื่อนไหวโมเลกุลได้ง่ายขึ้น โอกาสที่โมเลกุลของน้ำจะแพร่ผ่านออกมาจึงมีมากขึ้น ค่าความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำจึงสูงขึ้น ฟิล์มเคลือบบริโกลได้จากเจลาตินยอมให้ไอน้ำแพร่ผ่านในอัตราที่สูงกว่าฟิล์มเคลือบบริโกลได้จากไคโตซาน แต่ฟิล์มผสมระหว่างเจลาตินและไคโตซานยอมให้ไอน้ำแพร่ผ่านในอัตราที่ต่ำกว่าฟิล์มทั้ง 2 ชนิด แสดงให้เห็นว่าการนำเจลาตินและไคโตซานมาผสมกันโดยใส่ซอร์บิทอลลงไปเพียงเล็กน้อยแต่ทำให้ความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำต่ำ เนื่องจากเจลาตินประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นผลึก และอสัณฐาน (amorphous) กระจายอยู่ภายในพอลิเมอร์ (Arvanitoyannis และคณะ, 1998) โดยพอลิเมอร์อสัณฐานโมเลกุลไม่สามารถจัดเรียงตัวเป็นระเบียบเข้าด้วยกันได้ และส่วนของพอลิเมอร์ที่ผลึกก็มีโมเลกุลพันกันอยู่ (ไพบูลย์ อินนาจิตร, 2538) โครงสร้างของเจลาตินประกอบไปด้วยหมู่กรดอะมิโนหลายหมู่เกาะเกี่ยวกันอยู่ด้วยพันธะเปปไทด์ และธรรมชาติของเจลาตินที่ชอบน้ำเป็นสาเหตุทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของพันธะไฮโดรเจนระหว่างเจลาตินกับน้ำ โอกาสที่น้ำแพร่ผ่านออกมาเพิ่มขึ้น ด้วยโครงสร้างของไคโตซานที่เป็นระเบียบกว่าเจลาตินทำให้โมเลกุลของน้ำเข้าไปแทรกตัวมีน้อยลงโมเลกุลของน้ำที่แพร่ผ่านออกมาจึงน้อยลง และเมื่อผลิตฟิล์มผสมระหว่างเจลาตินและไคโตซานทำให้ความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำต่ำลงอาจเนื่องจากการกระจายตัวของไคโตซานในเจลาตินทำให้โมเลกุลมีความเป็นระเบียบขึ้น ปริมาตรว่างน้อยลง

จากผลการทดสอบลักษณะทางกายภาพและทางกลของฟิล์มพบว่ามีฟิล์ม 4 สูตรที่เหมาะสมจะนำไปใช้ทดสอบเนื้อทุเรียนเพื่อทดสอบประสิทธิภาพการยืดอายุการเก็บรักษา คือสูตร A3 (ฟิล์มเจลาติน) สูตร B2 (ฟิล์มไคโตซาน) สูตร C1 และ C2 ฟิล์มผสมของเจลาติน/ไคโตซาน) ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4.2: สรุปข้อมูลของสูตรที่ทำการทดสอบสมบัติทางกายภาพของฟิล์มเคลือบบริโกลได้

สูตร	ไคโตซาน (%w/v)	เจลาติน (%w/v)	ซอร์บิทอล (%w/v)	กรดซิตริก (%v/v)	Tg °C	ความทนแรงดึง (MPa)	ความยืดตัว (%)	ความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำ $\times 10^{-10}$ (g-m/s-m ² -Pa)
A1	-	1.00	0.50	-	-10	12.90	116.00	3.28
A2	-	1.00	0.60	-	-16	8.91	127.44	3.82
A3	-	1.00	0.75	-	-20	2.40	216.68	4.40
B1	1.00	-	0.50	3.50	16	15.68	112.62	1.97
B2	1.00	-	0.60	3.50	5	13.74	113.26	2.51
B3	1.00	-	0.75	3.50	-10	10.33	176.34	2.85
C1	1.00	2.00	0.20	3.50	-5	11.43	99.88	1.74
C2	1.00	2.00	0.30	3.50	-10	11.29	119.22	1.89
C3	1.00	2.00	0.50	3.50	-16	10.54	121.90	1.90
C4	1.00	2.00	0.75	3.50	-18	6.61	155.66	2.00

สมบัติทางกายภาพ และทางกลที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกฟิล์ม ได้แก่ สี กลิ่น ความทนแรงดึงฟิล์ม ค่า Tg สมบัติทางกลและความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำ ฟิล์มที่เหมาะสมควรจะมีสี ไม่มีกลิ่นซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการบริโภคของผู้บริโภคที่ชอบผลไม้ที่มีลักษณะที่เป็นธรรมชาติ เมื่อดึงฟิล์มที่ผลิตได้ด้วยมือควรจะมีคามยืดตัวดี แต่ไม่มากเกินไป มีค่า Tg ใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษา (5°C) ประกอบกับความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำมีค่าต่ำและมีการยืดตัวที่ไม่ต่ำหรือสูงเกินไป สูตรฟิล์มที่ได้รับการคัดเลือกคือ A3, B2, C1 และ C2 เพื่อนำมาทดสอบกับเนื้อทุเรียนต่อไป


4.2 ประสิทธิภาพของฟิล์มเคลือบบริโกลได้

จากการทดสอบฟิล์มเคลือบบริโกลได้ทั้ง 4 สูตรที่ได้รับคัดเลือกมาจากการทดลองนี้ เปรียบเทียบกับเนื้อทุเรียนที่ไม่ได้เคลือบ (สิ่งทดลองควบคุม หรือทริทเมนต์ควบคุม) วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และใช้การทดสอบเอฟในการยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐาน โดยวิธีการวิเคราะห์และตัวอย่างการคำนวณทั้งหมดแสดงดังภาคผนวก ก.

4.2.1 ลักษณะภายนอกของเนื้อทุเรียน

การสังเกตลักษณะภายนอกของเนื้อทุเรียนเป็นการศึกษาเพื่อดูความแตกต่างของเนื้อทุเรียนเมื่อไม่ได้เคลือบสารกับเนื้อทุเรียนเมื่อเคลือบด้วยสูตรทั้ง 4 สูตรเมื่อใช้ปริมาณสารเคลือบเฉลี่ยอยู่ที่ 23.2 ± 1.16 มิลลิลิตรต่อเนื้อทุเรียนที่ใช้ 1 กิโลกรัม ทำการศึกษาโดยการถ่ายรูปบันทึกภาพไว้ในวันที่ 0 เปรียบเทียบกับเนื้อทุเรียนในวันที่ 26 แสดงดังตารางที่ 4.3 จากการสังเกตความมันหรือสีเนื้อทุเรียนพบว่าเนื้อทุเรียนที่เคลือบด้วยสูตรทั้ง 4 สูตรไม่มีความแตกต่างกับเนื้อทุเรียนที่ไม่ได้เคลือบ และเนื้อทุเรียนทั้งที่เคลือบและไม่เคลือบสารยังคงสภาพดี และจากการสังเกตพบว่ามีหยดน้ำเกิดขึ้นทุกวันเมื่อนำเนื้อทุเรียนออกมาทดสอบ ซึ่งเกิดจากการกลั่นตัวของไอน้ำในอากาศบริเวณรอบๆ ผลไม้

ตารางที่ 4.3: เปรียบเทียบเนื้อทุเรียนเมื่อไม่ได้เคลือบและเคลือบด้วยสูตรทั้ง 4 สูตรในวันที่ 0 และวันที่ 26 ของการเก็บรักษา

Day 0	Day 26	ทรีทเมนต์
		ไม่เคลือบ
		เคลือบด้วยสูตร A3
		เคลือบด้วยสูตร B2
		เคลือบด้วยสูตร C1
		เคลือบด้วยสูตร C2

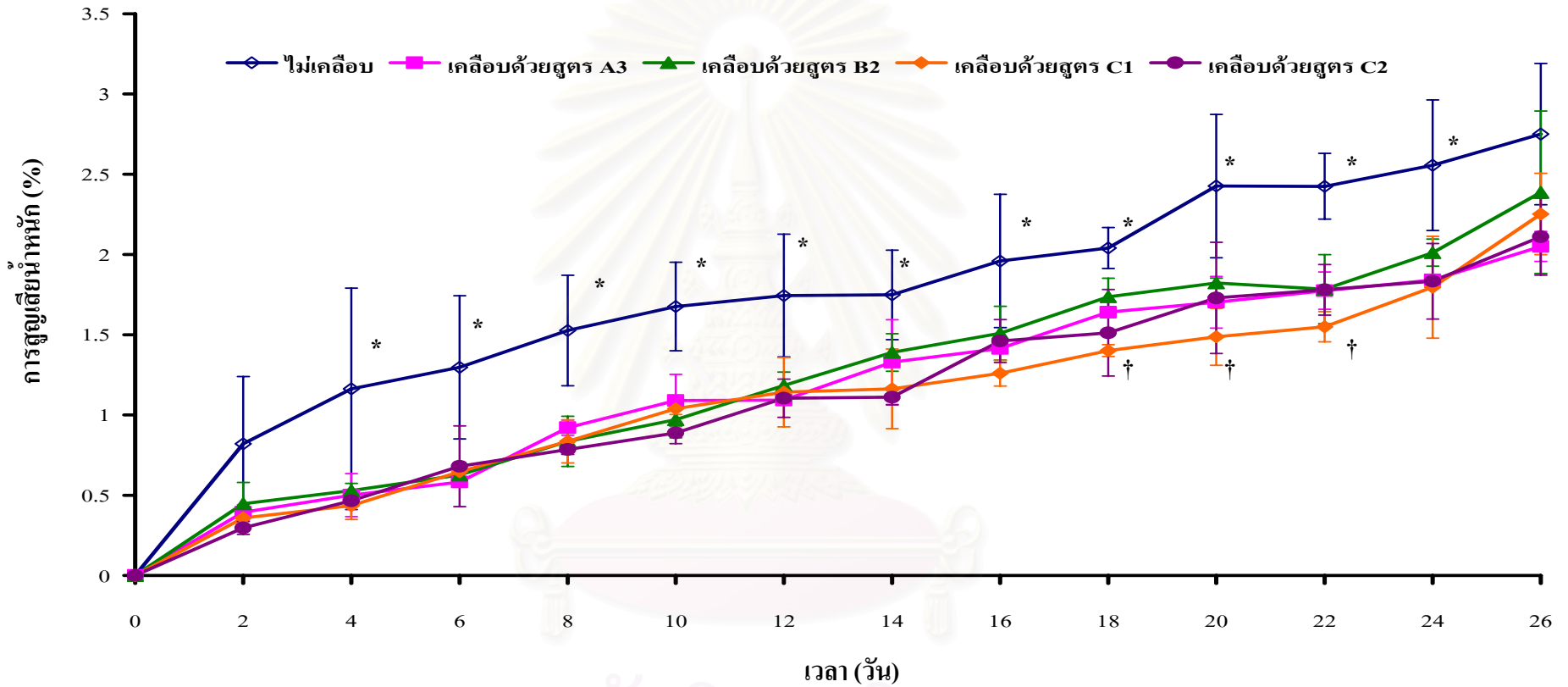
4.2.2 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก

เมื่อผลไม้ถูกเก็บเกี่ยวมาแล้วยังคงมีการสูญเสียน้ำเนื่องจากผลผลิตสดมีน้ำเป็นองค์ประกอบสูง ทำให้มีการสูญเสียน้ำมาก และเกิดการเหี่ยวขึ้นในผลิตผล มีผลต่อราคาขายผลิตผลไม่ดึงดูดใจต่อผู้บริโภค การใช้ฟิล์มมาเคลือบผลิตผลไว้เป็นการช่วยชะลอการแพร่ผ่านของไอน้ำทำโดยชั้นน้ำหนักในวันที่ 0 เอาไว้ และชั่งน้ำหนักในวันต่อไปทุกๆ 2 วัน หากค่าได้เป็นเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของแต่ละวัน

ผลการทดลองในรูปที่ 4.7 พบว่าเนื้อทุเรียนในทุกทรีทเมนต์มีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นตามจำนวนวันของการเก็บรักษา เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่าเนื้อทุเรียนที่เคลือบด้วยสูตรทั้ง 4 สูตรมีการสูญเสียน้ำน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เปรียบเทียบกับเนื้อทุเรียนที่ไม่ได้เคลือบ ตั้งแต่วันที่ 4 ถึงวันที่ 24 ของการเก็บรักษา และในวันที่ 18 ถึง 22 ของการเก็บรักษา เนื้อทุเรียนที่เคลือบด้วยสูตร C1 มีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าเนื้อทุเรียนที่เคลือบด้วยสูตร A3, B2, C2 และเนื้อทุเรียนที่ไม่ได้เคลือบ การเคลือบเนื้อทุเรียนด้วยสูตร A3, B2 และ C2 ได้ผลที่ไม่มีความแตกต่างกัน (แสดงตัวอย่างการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติดังภาคผนวก ก. และสรุปการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติทั้งหมดดังตารางภาคผนวก จ.1)

ผลการทดลองที่ได้ตั้งแต่วันที่ 18 ของการทดลองเป็นต้นไปเนื้อทุเรียนที่เคลือบด้วยสูตร C1 มีการสูญเสียน้ำหนักที่น้อยกว่าเนื้อทุเรียนที่เคลือบด้วยสูตร A3, B2, C2 และเนื้อทุเรียนที่ไม่ได้เคลือบ สอดคล้องกับผลการทดลองในส่วนที่ 1 ที่สูตร C1 มีความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำต่ำกว่าในสูตรอื่นๆ จึงทำให้เนื้อทุเรียนที่เคลือบด้วยสูตร C1 มีการสูญเสียน้ำหนักที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับเนื้อทุเรียนที่เคลือบด้วยสูตรอื่น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



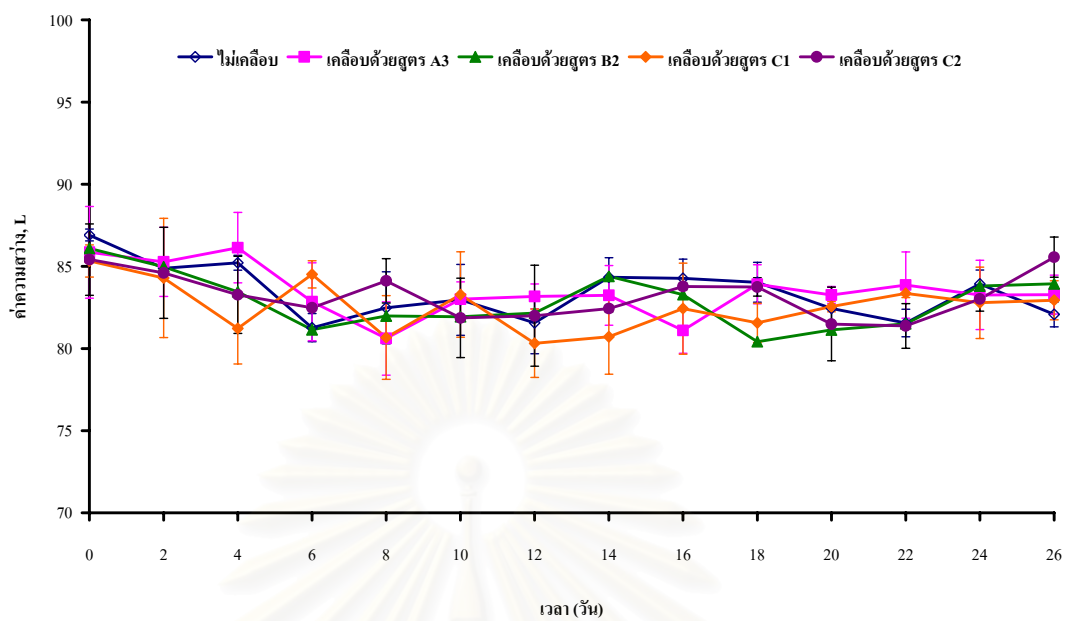
รูปที่ 4.7: การสูญเสียน้ำหนักของเนื้อุเรียน เมื่อ ไม่ได้เคลือบและเคลือบด้วยสูตร A3, B2, C1 และ C2 และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสความชื้นสัมพัทธ์ 100% เป็นระยะเวลา 26 วัน
 * เนื้อุเรียนที่เคลือบด้วยสูตร A3, B2, C1 และ C2 มีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับเนื้อุเรียนที่ไม่ได้เคลือบ
 † เนื้อุเรียนที่เคลือบด้วยสูตร C1 มีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับเนื้อุเรียนที่เคลือบด้วยสูตร A3, B2, C2 และเนื้อุเรียนที่ไม่ได้เคลือบ

4.2.3 สี

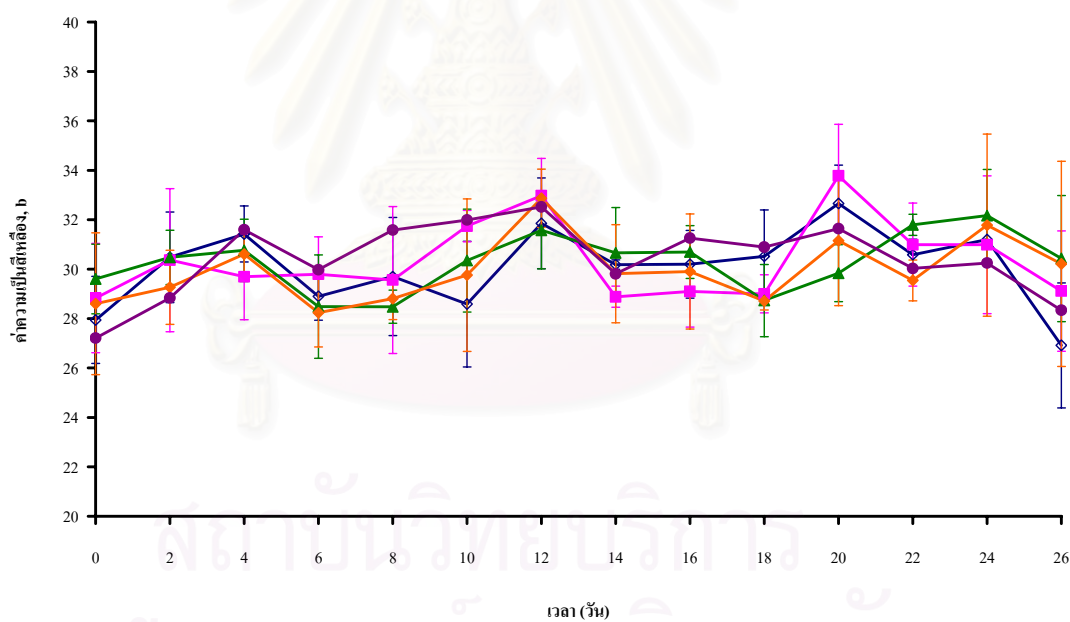
สีเป็นการเปลี่ยนแปลงของผักและผลไม้ในระหว่างการสุกที่เห็นได้ชัด โดยส่วนมากแล้วเมื่อผลิตผลถูกเก็บเกี่ยวมาแล้วมักมีการเปลี่ยนแปลงสีเกิดขึ้น การทดสอบการเปลี่ยนแปลงสีเนื้อของทุเรียนสามารถทำได้ใช้เครื่องมือ Colormeter รายงานผลเป็นค่า L และค่า b โดยค่า L แสดงค่าความสว่างถ้าใกล้ 100 แสดงว่าสว่างมาก ค่า b แสดงค่าสีเหลืองกับสีน้ำเงินถ้าค่า b มีค่าเป็นบวก แสดงว่าวัตถุมีสีเหลือง และถ้าค่า b มีค่าเป็นลบแสดงว่าวัตถุมีสีน้ำเงิน

รูปที่ 4.8 แสดงการเปลี่ยนแปลงสีเนื้อตลอดช่วงระยะเวลา 26 วันที่เก็บรักษา เนื้อทุเรียนในทุกทริทเมนต์มีแนวโน้มของค่าความสว่าง (L) ที่ลดลง ในช่วง 87 เป็น 80% เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่าค่าความสว่างระหว่างกลุ่มไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในทุกทริทเมนต์ตลอดระยะเวลาที่เก็บรักษา (แสดงตัวอย่างการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติดังภาคผนวก ก. และสรุปการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติทั้งหมดดังตารางภาคผนวก จ.2) สำหรับค่า b ที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แสดงว่าเนื้อทุเรียนมีการเปลี่ยนแปลงของสีเหลืองที่เพิ่มขึ้นระหว่าง 26 ถึง 34 และเมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่าค่าความเป็นสีเหลืองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในทุกทริทเมนต์ตลอดระยะเวลาที่เก็บรักษา (แสดงตัวอย่างการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติดังภาคผนวก ก. และสรุปการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติทั้งหมดดังตารางภาคผนวก จ.3)

จากรายงานของสุธีรา (2546) ซึ่งทำการทดลองเคลือบผลทุเรียนพันธุ์หมอนทองเพื่อศึกษาความพอใจของผู้บริโภคด้วยสารเคลือบผิว methylcellulose, sta-fresh#7055, chitosan และ glucomannan วัตถุประสงค์การเปลี่ยนแปลงสีเนื้อพบว่ามีความสว่างที่มีแนวโน้มลดลง และค่า b ที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น นอกจากนั้นแล้วสุธีรายังทดลองเคลือบเนื้อทุเรียนโดยใช้โคโตซานที่ผสมสารกันเสีย 2 ชนิด คือ Nisin และ โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ลงไป พบว่าสีของเนื้อทุเรียนมีสีเหลืองเข้มขึ้นทำให้ค่าความสว่างลดลงและค่า b เพิ่มขึ้น ส่วนการเก็บรักษาเนื้อทุเรียนในทุกทริทเมนต์ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีเนื้อ เนื่องจากเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองมีสีเหลืองอ่อน และมีการเปลี่ยนแปลงของสีเพียงเล็กน้อยเท่านั้นเมื่อเปรียบเทียบกับพันธุ์อื่นๆ (สุดารัตน์ สุดพันธ์, 2536)



(ก)



(ข)

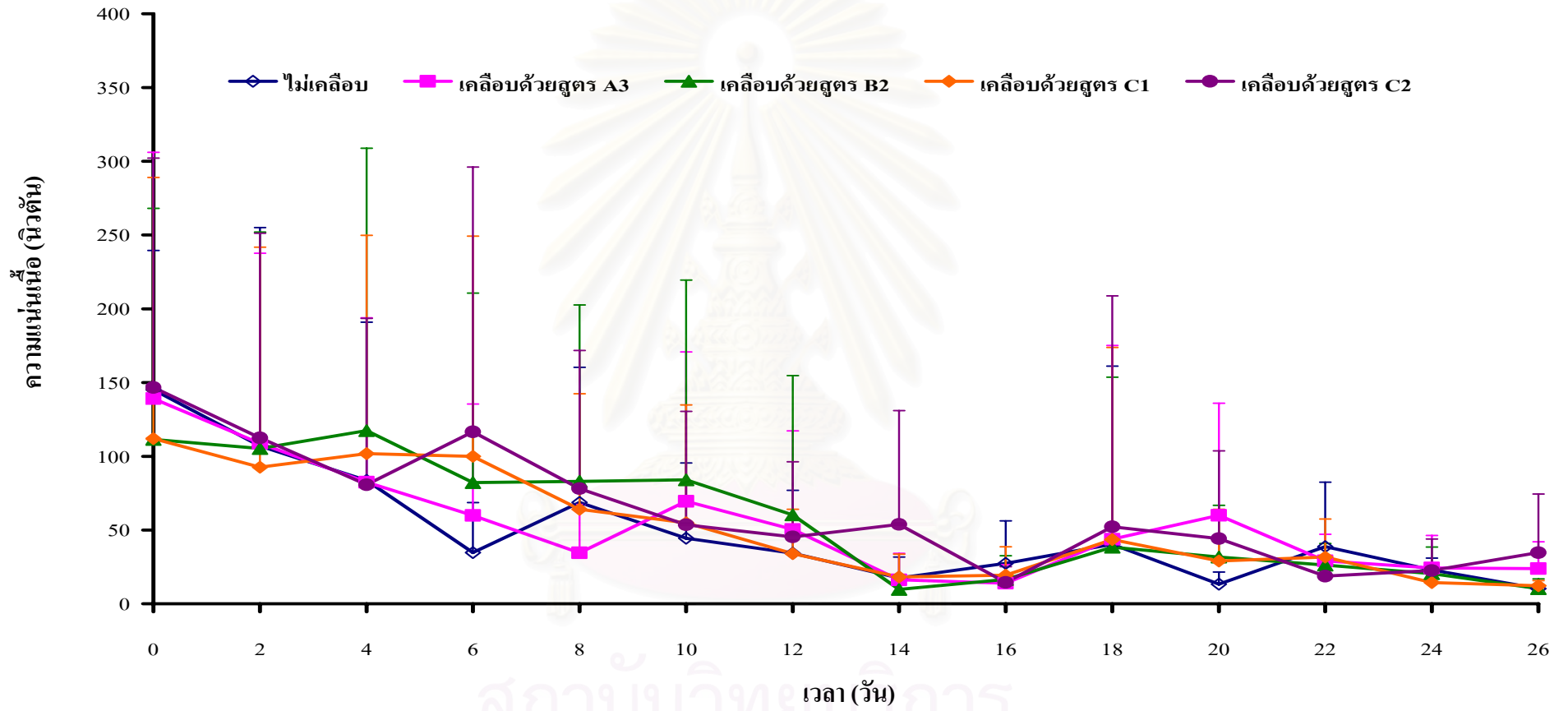
รูปที่ 4.8: การเปลี่ยนแปลง (ก) ค่าความสว่าง, L (ข) ค่าความเป็นสีเหลือง, b ของเนื้อทุเรียนเมื่อไม่ได้เคลือบและเคลือบด้วยสูตร A3, B2, C1 และ C2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 100% เป็นระยะเวลา 26 วัน

4.2.4 ความแน่นเนื้อ

ในระหว่างการสุกเนื้อเยื่อของผักและผลไม้จะอ่อนตัวลง สาเหตุใหญ่ในการเปลี่ยนแปลงครั้งนี้เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของผนังเซลล์ สารที่เกี่ยวข้องมากที่สุดได้แก่สารประกอบพวกเพคติน โดยมีเอนไซม์ที่สำคัญ 2 ตัว คือ pectinesterase และ polygalacturonase โดยสองตัวนี้รวมกันเรียกว่า protopectinase ทำการย่อยสลายสาร โปรโตเพคติน ทำให้เกิดอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้มากขึ้นที่เรียกว่า เพคติน (ทงง ภักฤษพันธ์, 2526) ทำการทดสอบความแน่นเนื้อโดยใช้หัวรับแรงกด กดลงไปบนเนื้อทุเรียนบริเวณแก้มแปลงค่าแรงกดที่ได้จาก กิโลกรัมเป็นนิวตันคูณด้วย 9.81

รูปที่ 4.9 แสดงการเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อตลอดช่วงระยะเวลา 26 วันที่เก็บรักษา เนื้อทุเรียนที่เก็บรักษาในทุกทรีทเมนต์มีแนวโน้มของค่าความแน่นเนื้อที่ลดลง และมีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัดในช่วงวันที่ 4 ถึงวันที่ 6 ของการเก็บรักษาจากนั้นความแน่นเนื้อของเนื้อทุเรียนลดลงอย่างต่อเนื่องและมีการเปลี่ยนแปลงอย่างคงที่และใกล้เคียงกันในทุกทรีทเมนต์ เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่าค่าความแน่นเนื้อไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในทุกทรีทเมนต์ตลอดระยะเวลาที่เก็บรักษา (แสดงตัวอย่างการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติดังภาคผนวก ก. และสรุปการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติทั้งหมดดังตารางภาคผนวก จ.4)

จากรายงานของของสุชีรา (2537) ทำการทดลองเก็บรักษาเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองโดยบรรจุเนื้อทุเรียนในถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืด PVC ฟิล์มหด PVC และฟิล์มหด polyolefin เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 1 และ 4 องศาเซลเซียส พบว่าทุกทรีทเมนต์เนื้อทุเรียนมีความแน่นเนื้อลดลงอย่างรวดเร็วใน 4 วันแรก ช่วงวันที่ 4-12 ความแน่นเนื้อลดลงเพียงเล็กน้อย หลังจากนั้นมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างคงที่และใกล้เคียงกันในทุกทรีทเมนต์ และเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าทั้งอิทธิพลของอุณหภูมิค่าและการหุ้มด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ ไม่มีผลต่อความแน่นเนื้อตลอดระยะเวลาที่เก็บรักษา เนื่องจากเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองเป็นพันธุ์ที่มีเนื้อที่ไม้อ่อนหรือไม้อ่อนนุ่มเหมือนทุเรียนพันธุ์อื่นๆ เช่นพันธุ์ชะนี



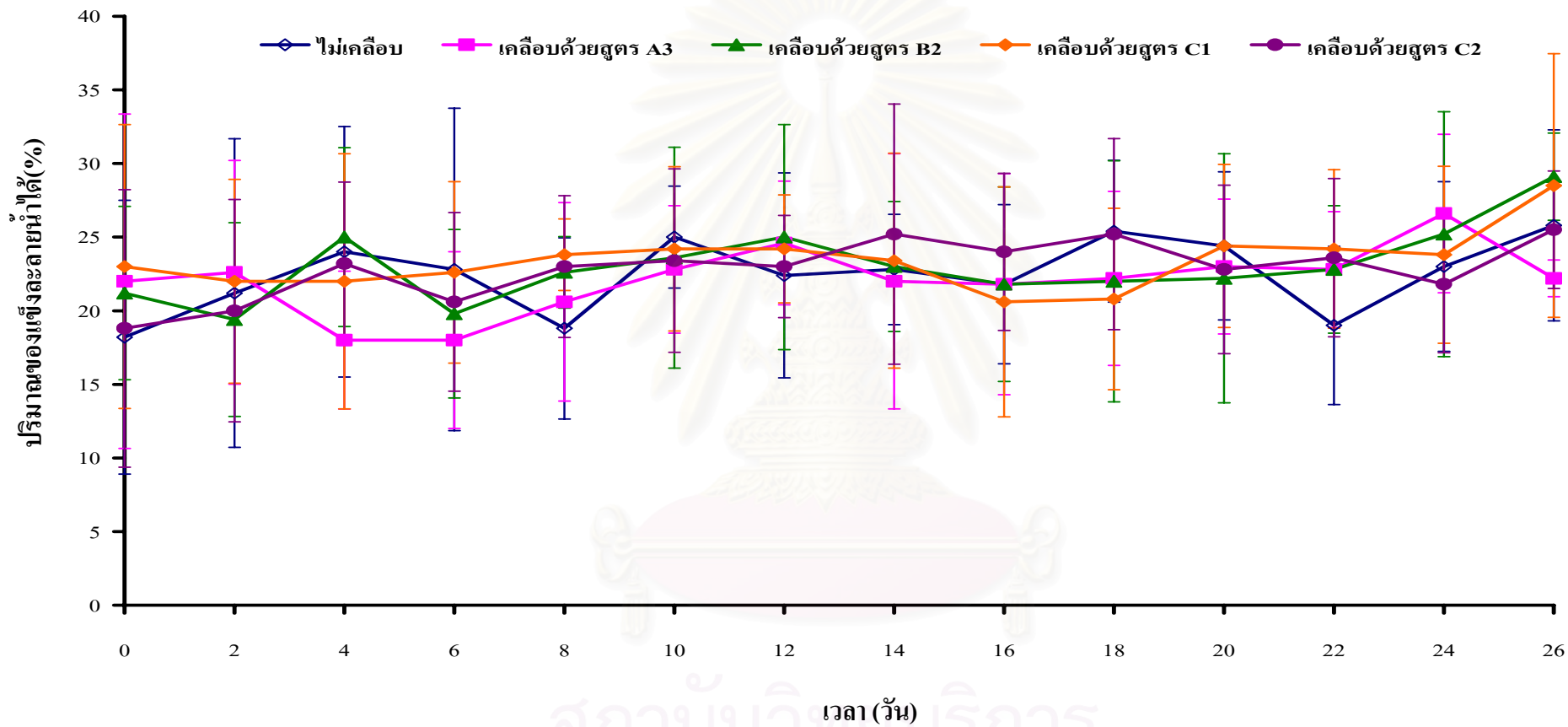
รูปที่ 4.9: ความแน่นเนื้อของเนื้อทุเรียนเมื่อไม่ได้เคลือบและเคลือบด้วยสูตร A3, B2, C1 และ C2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 100% เป็นระยะเวลา 26 วัน

4.2.5 ปริมาณของแข็งละลายน้ำได้

เนื่องจากผลไม้จำพวก climacteric มีปริมาณน้ำตาลซึ่งเกิดจากการสลายตัวของคาร์โบไฮเดรตโมเลกุลใหญ่ เช่น แป้ง เมื่อผลไม้สุก แป้งจะถูกเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาล ทำให้ผลไม้มีสหวานขึ้น ค่าปริมาณของแข็งละลายน้ำได้เป็นค่าหนึ่งที่สามารถใช้บ่งบอกความสุกของเนื้อทุเรียนในการทดลองครั้งนี้ได้ ทำโดยปั่นเนื้อทุเรียนกับน้ำในอัตราส่วน 1:3 นำไปปั่นให้ตกตะกอน แล้วจึงเอาสารละลายส่วนใสมาอ่านค่าโดยใช้ Hand refractometer

ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.10 พบว่าตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษาเนื้อทุเรียน ปริมาณของแข็งละลายน้ำได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น คือมีค่าปริมาณของแข็งละลายน้ำได้เพิ่มขึ้นในช่วง 18 ถึง 29% เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่าปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในทุกทริทเมนต์ตลอดระยะเวลาที่เก็บรักษา นั่นคือเนื้อทุเรียนที่เก็บรักษาในทุกทริทเมนต์มีปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ที่ไม่แตกต่างกันหรือผลที่ได้ในทุกทริทเมนต์มีค่าใกล้เคียงกัน (แสดงตัวอย่างการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติดังกล่าวในภาคผนวก ก. และสรุปการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติทั้งหมดดังตารางภาคผนวก จ.5)

จากรายงานของสุชีรา (2537) ทำการทดลองเก็บรักษาเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองโดยบรรจุเนื้อทุเรียนในถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืด PVC ฟิล์มหูด PVC และฟิล์มหูด polyolefin เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 1 และ 4 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ของเนื้อทุเรียนในทุกทริทเมนต์มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 32 วัน เนื่องจากทุเรียนเป็นผลไม้ประเภท climacteric ที่มีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีเมื่อผลสุกมีการเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาล ที่ทำให้เนื้อทุเรียนหวานขึ้น แต่การเคลือบสารลงบนเนื้อทุเรียนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าปริมาณของแข็งละลายน้ำได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น

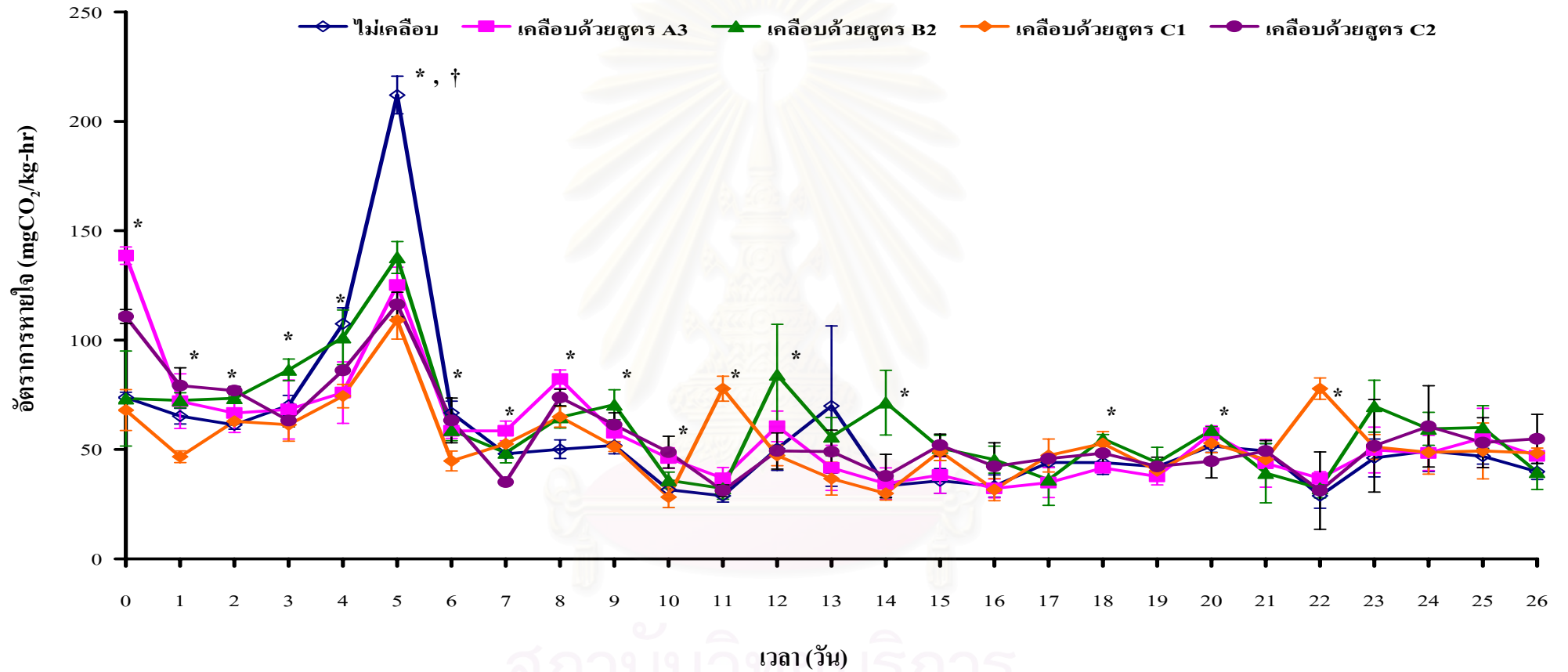


รูปที่ 4.10: ปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ของเนื้อทุเรียนเมื่อไม่ได้เคลือบและเคลือบด้วยสูตร A3, B2, C1 และ C2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 100% เป็นระยะเวลา 26 วัน

4.2.6 อัตราการหายใจ

การหายใจของผลไม้เป็นตัวบ่งบอกถึงอัตราของปฏิกิริยาชีวเคมีภายในผลไม้ซึ่งในทุเรียนมักมีอัตราการหายใจเพิ่มสูงขึ้นเมื่อผลไม้สุก การทดสอบทำได้โดยการฉีดก๊าซที่เก็บมาจากในโหลแล้วฉีดเข้าเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี หรือ GC อ่านค่าความเข้มข้นจากกราฟที่ได้และนำมาคำนวณแสดงดังภาคผนวก ง.

อัตราการหายใจของเนื้อทุเรียนในรูปที่ 4.11 พบว่าอัตราการหายใจของเนื้อทุเรียนมีการเพิ่มสูงขึ้นในวันที่ 5 ของการเก็บรักษา เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่าเนื้อทุเรียนที่เคลือบด้วยสูตรทั้ง 4 สูตรมีอัตราการหายใจต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เปรียบเทียบกับเนื้อทุเรียนที่ไม่ได้เคลือบซึ่งมีอัตราการหายใจเท่ากับ 212.04 $\text{mgCO}_2/\text{kg-hr}$ เนื้อทุเรียนที่เคลือบด้วยสูตร C1 มีอัตราการหายใจที่ต่ำกว่าเนื้อทุเรียนที่เคลือบด้วยสูตร A3, B2, C2 และเนื้อทุเรียนที่ไม่ได้เคลือบ ซึ่งมีอัตราการหายใจเท่ากับ 109.11 $\text{mgCO}_2/\text{kg-hr}$ และเนื้อทุเรียนที่เคลือบด้วยสูตร A3, B2 และ C2 มีอัตราการหายใจเท่ากับ 125.2, 137.8 และ 116.3 $\text{mgCO}_2/\text{kg-hr}$ ตามลำดับ การเคลือบเนื้อทุเรียนด้วยสูตร A3, B2 และ C2 ได้ผลที่ไม่มีความแตกต่างกัน (แสดงตัวอย่างการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติดังภาคผนวก ก. และสรุปการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติทั้งหมดดังตารางภาคผนวก จ.6) หลังจากนั้นอัตราการหายใจเริ่มลดลงอย่างรวดเร็วและคงที่ในช่วงระยะเวลาหลังๆของการเก็บรักษา เนื่องจากอุณหภูมิต่ำทำให้อัตราการหายใจและกระบวนการเมตาบอลิซึมต่างๆลดลง



รูปที่ 4.11: อัตราการหายใจของเนื้อทุเรียนเมื่อไม่ได้เคลือบและเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบสูตร A3, B2, C1 และ C2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 100% เป็นระยะเวลา 26 วัน

* เนื้อทุเรียนที่เคลือบด้วยสูตร A3, B2, C1 และ C2 มีอัตราการหายใจน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับเนื้อทุเรียนที่ไม่ได้เคลือบ

† เนื้อทุเรียนที่เคลือบด้วยสูตร C1 มีอัตราการหายใจน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับเนื้อทุเรียนที่เคลือบด้วยสูตร A3, B2, C2 และเนื้อทุเรียนที่ไม่ได้เคลือบ

อัตราการหายใจของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองยังไม่มีรายงานผลการทดลอง แต่สำหรับพันธุ์ชะนีพบว่าอัตราการหายใจสูงสุดในวันที่ 5 หลังเก็บเกี่ยวเท่ากับ $190 \text{ mgCO}_2/\text{kg-hr}$ และมีค่าต่ำกว่าผลทุเรียนพันธุ์ชะนีทั้งผลโดยมีอัตราการหายใจสูงสุดในวันที่ 2 หลังการเก็บเกี่ยวเท่ากับ $340 \text{ mgCO}_2/\text{kg-hr}$ (จริงแท้ ศิริพานิช, 2546) เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองนี้ซึ่งใช้เนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองพบว่าเนื้อทุเรียนที่ไม่ได้เคลือบมีอัตราการหายใจสูงสุดในวันที่ 5 ของการเก็บรักษาเท่ากับ $212.04 \text{ mgCO}_2/\text{kg-hr}$ ค่าที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน จากรายงานของสุชีรา (2537) ทำการทดลองเก็บรักษาเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองโดยบรรจุเนื้อทุเรียนในถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืด PVC ฟิล์มหด PVC และฟิล์มหด polyolefin เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 1 และ 4 องศาเซลเซียสเก็บก๊าซทุกๆ 4 วัน ได้รายงานผลเป็นเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ถ้าเปรียบเทียบกับผลการทดลองนี้ที่ได้คำนวณอัตราการหายใจซึ่งต้องทราบค่าความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำหนักของผลิตภัณฑ์และอัตราการหายใจ ดังสูตร

$$\text{Respiration rate}(\text{mg CO}_2/\text{kg} - \text{hr}) = \frac{\text{Flow rate} \times 60 \times \% \text{CO}_2 \times 1,000 \times \text{CF}}{100 \times \text{weight of fruits}}$$

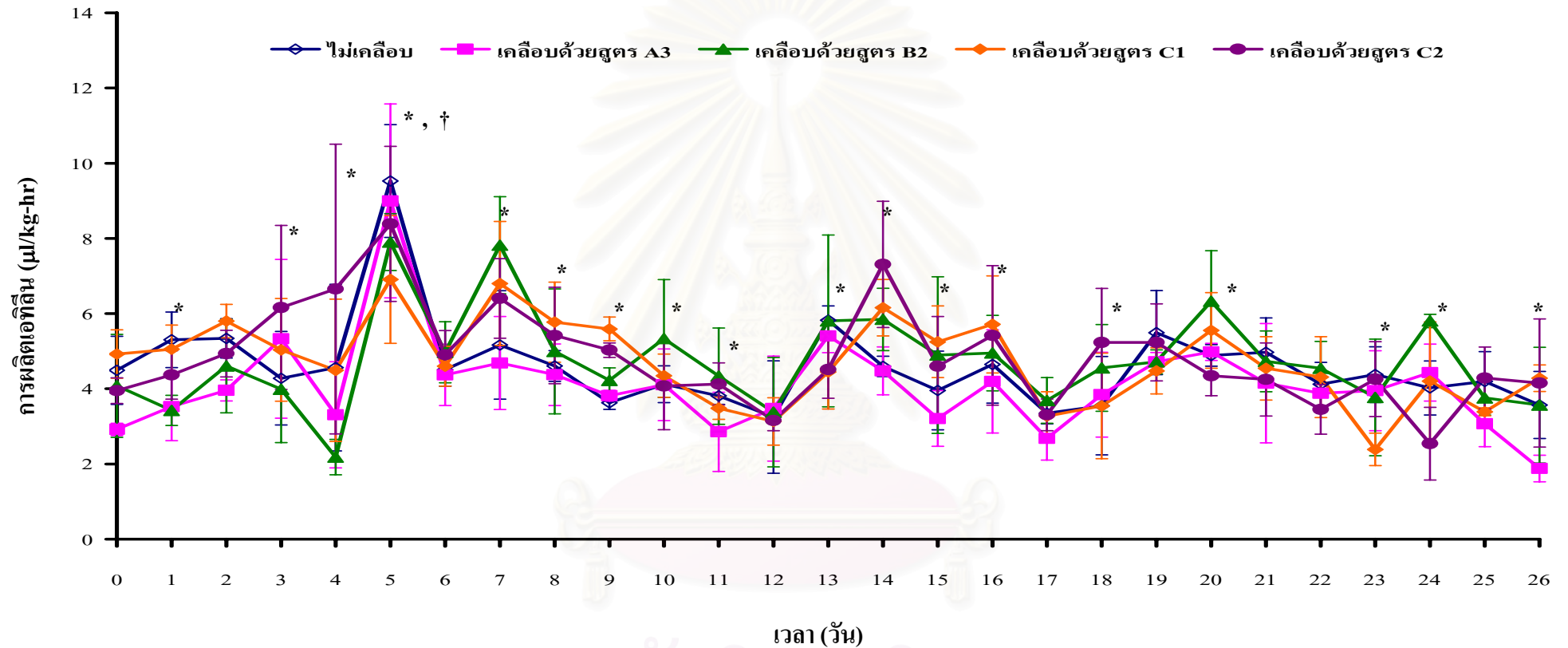
จากสูตรได้ว่าอัตราการหายใจแปรผันโดยตรงกับความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ และผลของสุชีราพบว่า climacteric peak เกิดขึ้นในวันที่ 16 ของการเก็บรักษา หลังจากนั้นเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์เริ่มลดลงอย่างรวดเร็วและคงที่ในช่วงระยะเวลาหลังๆ ของการเก็บรักษา

ผลไม้หลายชนิดมีการหายใจเพิ่มขึ้นเมื่อผลไม้สุกเพิ่มขึ้น หลังจากเก็บเกี่ยวแล้วพบว่าผลไม้มีการหายใจสูงขึ้น ลักษณะเช่นนี้เรียกว่า climacteric การเพิ่มขึ้นของอัตราการหายใจในการทดลองนี้สัมพันธ์กับการผลิตเอทิลีนซึ่งจะได้กล่าวถึงในหัวข้อถัดไป สำหรับเนื้อทุเรียนที่ไม่ได้เคลือบมีอัตราการหายใจที่สูงขึ้นในวันที่ 5 ของการเก็บรักษาและมีค่าที่สูงกว่าในทรีทเมนต์อื่นๆ เนื่องจากการใช้สารเคลือบไปเคลือบเนื้อทุเรียนไว้เป็นการตัดแปลงบรรยากาศทำให้การแลกเปลี่ยนก๊าซเป็นไปได้น้อย ปริมาณออกซิเจน (O_2) ภายในต่ำลงและคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ภายในสูงขึ้น สภาพดังกล่าวสามารถยับยั้งการสร้างเอทิลีน (สภาพการทำงานแบบไม่ใช้ออกซิเจนเนื่องจากมีปริมาณออกซิเจนที่ต่ำ) และยับยั้งการทำงานของเอทิลีนเนื่องจากสูตรโครงสร้างที่คล้ายคลึงกันของคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และเอทิลีน (C_2H_4) โดยคาร์บอนไดออกไซด์จะแย่งที่เอทิลีนในการจับกับตัวรับ กระบวนการสุกของผลไม้จึงชะลอลงและการหายใจในผลิตภัณฑ์ลดลงด้วย จึงช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลผลิตออกไปได้ (จริงแท้ ศิริพานิช, 2546)

4.2.7 การผลิตเอทิลีน

เอทิลีนเป็นฮอร์โมนพืชที่มีสถานะเป็นก๊าซ จึงสามารถแพร่กระจายไปยังส่วนต่างๆ ของพืชได้ง่าย และมีผลให้ผลไม้มักสุกเร็วขึ้น การใช้ฟิล์มเคลือบบริโปกได้มาเคลือบเนื้อทุเรียนเป็นการคัดแปลงบรรยากาศบริเวณรอบเนื้อทุเรียนให้มีปริมาณออกซิเจนที่ต่ำลงและคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงขึ้น สภาพเช่นนี้สามารถยับยั้งการทำงานของเอทิลีนได้ (จริงแท้ ศิริพานิช, 2546) การทดสอบทำโดยฉีดก๊าซที่เก็บมาจากในโหลแล้วฉีดเข้าเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี หรือ GC อ่านค่าความเข้มข้นจากกราฟที่ได้และนำมาคำนวณดังแสดงตัวอย่างในภาคผนวก ง.

รูปที่ 4.12 แสดงการผลิตเอทิลีนที่มีค่าเพิ่มสูงขึ้นในวันที่ 5 ของการเก็บรักษาซึ่งเป็นช่วงระยะเวลาเดียวกับอัตราการหายใจที่มีค่าสูงสุด เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่าเนื้อทุเรียนที่เคลือบด้วยสูตร B2, C1 และ C2 มีการผลิตเอทิลีนน้อยกว่าเนื้อทุเรียนที่ไม่ได้เคลือบ ซึ่งมีการผลิตเอทิลีนเท่ากับ $9.53 \mu\text{l/kg-hr}$ และเนื้อทุเรียนที่เคลือบด้วยสูตร A3 ซึ่งมีการผลิตเอทิลีนเท่ากับ $9 \mu\text{l/kg-hr}$ เนื้อทุเรียนที่เคลือบด้วยสูตร C1 มีการผลิตเอทิลีนน้อยกว่าเนื้อทุเรียนที่เคลือบด้วยสูตร A3, B2, C2 และเนื้อทุเรียนที่ไม่ได้เคลือบ โดยมีการผลิตเอทิลีนเท่ากับ $6.91 \mu\text{l/kg-hr}$ และเนื้อทุเรียนที่เคลือบด้วยสูตร B2 และ C2 มีการผลิตเอทิลีนเท่ากับ 7.9 และ $8.39 \mu\text{l/kg-hr}$ ตามลำดับ (แสดงตัวอย่างการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติดังภาคผนวก ก. และสรุปการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติทั้งหมดดังตารางภาคผนวก จ.7)



รูปที่ 4.12: การผลิตเอทิลินของเนื้อุเรียนเมื่อไม่ได้เคลือบและเคลือบด้วยสูตร A3, B2, C1 และ C2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 100% เป็นระยะเวลา 26 วัน

* เนื้อุเรียนที่เก็บรักษาในทรีทเมนต์ต่างๆมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

† เนื้อุเรียนที่เคลือบด้วยสูตร C1 มีการผลิตเอทิลินน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับเนื้อุเรียนที่เคลือบด้วยสูตร A3, B2, C2 และเนื้อุเรียนที่ไม่ได้เคลือบ

การผลิตเอทิลีนของผลและเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองยังไม่ได้มีรายงานไว้ แต่จากรายงานของผลทุเรียนพันธุ์ชะนีเมื่อเก็บเกี่ยวที่อายุ 102 วันหลังดอกบานพบว่ามีการผลิตเอทิลีนสูงสุดในวันที่ 4 ของการเก็บรักษาเท่ากับ $6.5 \mu\text{l/kg-hr}$ และผลทุเรียนพันธุ์ชะนีเก็บเกี่ยวที่อายุ 109 วันหลังดอกบานมีการผลิตเอทิลีนสูงสุดในวันที่ 5 ของการเก็บรักษาเท่ากับ $4.5 \mu\text{l/kg-hr}$ (Ketsa และ Daengkanit, 1999a) โดยที่เนื้อทุเรียนพันธุ์ชะนีมีการผลิตเอทิลีนที่ค่อนข้างคงที่และอยู่ในช่วง $1 - 10 \mu\text{l/kg-hr}$ (จริงแท้ ศิริพานิช, 2546) เมื่อเปรียบเทียบกับ การทดลองนี้ซึ่งใช้เนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองพบว่าเนื้อทุเรียนที่ไม่ได้เคลือบมีการผลิตเอทิลีนสูงสุดในวันที่ 5 ของการเก็บรักษาเท่ากับ $9.53 \mu\text{l/kg-hr}$ จากรายงานของสุชีรา (2537) ทำการทดลองเก็บรักษาเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองโดยบรรจุเนื้อทุเรียนในถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืด PVC ฟิล์มหด PVC และฟิล์มหด polyolefin เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 1 และ 4 องศาเซลเซียสเก็บก๊าซทุกๆ 4 วัน ได้รายงานผลความเข้มข้นของการผลิตเอทิลีนถ้าเปรียบเทียบกับ การทดลองนี้ที่ได้คำนวณอัตราการผลิตเอทิลีนซึ่งต้องทราบค่าความเข้มข้นของเอทิลีน น้ำหนักของผลิตผล และอัตราการหายใจ ดังสูตร

$$\text{Ethylene production} = \frac{\text{C}_2\text{H}_4 (\text{ppm}) \times \text{Flowrate} \times 60}{\text{weight of fruits (g)}}$$

จากสูตรจะเห็นได้ว่าอัตราการผลิตเอทิลีนแปรผันโดยตรงกับความเข้มข้นของเอทิลีน และผลของสุชีราพบว่า climacteric peak เกิดขึ้นในวันที่ 16 ของการเก็บรักษาสัมพันธ์เช่นเดียวกับเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้รับ หลังจากนั้นความเข้มข้นของเอทิลีนเริ่มลดลงอย่างรวดเร็วและคงที่ในช่วงระยะเวลาต่างๆของการเก็บรักษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.8 คุณภาพในการรับประทาน

คุณภาพในการรับประทานเป็นการประเมินโดยใช้ผู้ชิมทั้งหมด 10 คน โดยแบบสอบถามที่ใช้แสดงถึงภาคผนวก ง. การใช้ผู้ชิมสามารถรับรู้กลิ่น-รส และเนื้อสัมผัสได้ในเวลาเดียวกันโดยการทดสอบทางประสาทสัมผัสเป็นการทดสอบจากคุณลักษณะของ สีเนื้อ กลิ่นหอม ความหวาน รสมัน ความนุ่ม กลิ่นและรสชาติผิดปกติ และความชอบของผู้บริโภค ซึ่งต่างจากการวัดสี ความแน่นเนื้อ ปริมาณของแข็งละลายน้ำได้โดยใช้เครื่องมือ หรืออุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งสามารถวัดได้ทีละอย่างเท่านั้น

4.2.8.1 สีเนื้อ

คะแนนสีเนื้อของเนื้อทุเรียนจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคแสดงดังตารางที่ 4.4 คะแนนสีเนื้อที่ได้จากผู้บริโภคบ่งบอกสีของเนื้อทุเรียน คะแนนสูงบ่งบอกว่าเนื้อทุเรียนมีสีสวยมาก พบว่าคะแนนสีเนื้อของเนื้อทุเรียนที่ไม่ได้เคลือบมีค่าลดลงเปรียบเทียบกับเนื้อทุเรียนที่เคลือบด้วยสูตร C1 และ B2 ที่คะแนนสีเนื้อทุเรียนมีแนวโน้มที่สูงขึ้น ในวันที่ 10 ถึงวันที่ 18 ของการเก็บรักษา พบว่าเนื้อทุเรียนที่เก็บรักษาในทุกทริทเมนต์มีคะแนนสีเนื้อแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ในวันที่ 10 ของการเก็บรักษาพบว่าเนื้อทุเรียนที่ไม่เคลือบและเนื้อทุเรียนที่เคลือบด้วยสูตร A3 มีคะแนนสีเนื้อสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญกับเนื้อทุเรียนที่เคลือบด้วยสูตร B2, C1 และ C2 หรือในวันที่ 16 พบว่า เนื้อทุเรียนที่ไม่เคลือบและเนื้อทุเรียนที่เคลือบด้วยสูตร A3 มีคะแนนสีเนื้อต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญกับเนื้อทุเรียนที่เคลือบด้วยสูตร B2, C1 และ C2 แต่หลังจากนั้นตั้งแต่วันที่ 20 ถึง วันที่ 26 ของการเก็บรักษาพบว่าเนื้อทุเรียนที่เก็บรักษาในทุกทริทเมนต์มีคะแนนสีเนื้อไม่แตกต่างกัน (แสดงตัวอย่างการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติดังภาคผนวก ก.)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.4: คะแนนสีเนื่องจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคเมื่อไม่ได้เคลือบสาร และเคลือบด้วยสูตร A3, B2, C1 และ C2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 100% เป็นระยะเวลา 26 วัน

ทริทเมนต์	สี (คะแนน)								
	10วัน ^{1/}	12วัน ^{1/}	14วัน ^{1/}	16วัน ^{1/}	18วัน ^{1/}	20วัน ^{1/}	22วัน ^{1/}	24วัน ^{1/}	26วัน ^{1/}
ไม่เคลือบ	4.2±0.66a	2.7±0.48b	2.3±0.48c	3.0±0.47b	3.5±0.26b	3.5±0.42	3.9±0.44	3.7±0.41	3.7±0.34
A3	4.1±0.55a	3.5±0.53a	3.0±0.47b	3.3±0.62b	3.6±0.26b	3.5±0.42	3.5±0.54	3.9±0.64	3.6±0.35
B2	3.3±0.88b	3.8±0.42a	3.4±0.52b	4.0±0.47a	4.4±0.26a	4.2±0.32	4.0±0.47	3.9±0.44	3.8±0.57
C1	3.4±0.79b	2.8±0.42b	3.8±0.42a	4.3±0.41a	3.8±0.21b	3.9±0.44	4.3±0.41	3.6±0.35	4.0±0.47
C2	3.5±0.89b	3.4±0.52a	3.7±0.67a	3.6±0.71a	3.5±0.26b	4.2±0.39	4.1±0.50	3.7±0.41	3.7±0.34
F-test	*	*	*	*	*	ns	ns	ns	ns

1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns เนื้อทุเรียนที่เก็บรักษาในทุกทริทเมนต์มีคะแนนสีเนื้อไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

* เนื้อทุเรียนที่เก็บรักษาในทุกทริทเมนต์มีคะแนนสีเนื้อแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตัวอักษร a-c ที่แตกต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงคะแนนสีเนื้อแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อใช้การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทริทเมนต์เป็นคู่ๆ

ในกรณีที่ผู้ทดลองต้องการทราบความสัมพันธ์ของค่าที่วัดได้จากเครื่องมือกับผลจากการทดสอบการรับประทานของผู้ชิมว่ามีความสัมพันธ์นั้นมีรูปแบบอย่างไร ก็ใช้วิธีการศึกษาที่เรียกว่า รีเกรสชัน (regression) โดยค่าที่วิเคราะห์ได้โดยใช้เครื่องมือเป็นตัวแปรปรวนอิสระ (x) เนื่องจากเครื่องมือไม่สามารถบอกความชอบของคนได้ ดังนั้นค่าที่ได้จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสก็คือตัวแปรปรวนตาม (y) จากนั้นหาสัมประสิทธิ์ของสหสัมพันธ์ (correlation coefficient, r) เพื่อดูความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้ง 2 ตัว (สุรพล อุปคิสสกุล, 2523) พบว่าสีของเนื้อทุเรียนจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้ชิมมีความสอดคล้องกับค่าความเป็นสีเหลือง (b) ที่วิเคราะห์โดยใช้ Colormeter ซึ่งค่า r ที่คำนวณได้ตั้งแต่วันที่ 10 ถึง 26 คือ 0.32, 0.35, 0.48, 0.80, 0.75, 0.89, 0.21, 0.86 และ 0.71

4.2.8.2 กลิ่นหอม

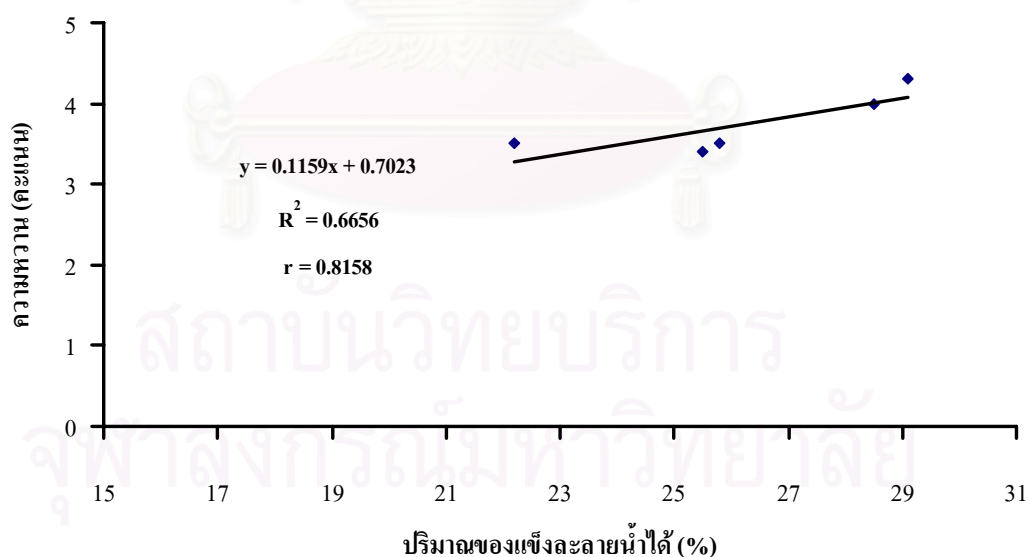
กลิ่นหอมของเนื้อทุเรียนเป็นลักษณะหนึ่งที่มีความสำคัญในการตัดสินใจเลือกซื้อทุเรียนสำหรับผู้บริโภค แสดงคะแนนกลิ่นหอมดังตารางที่ 4.5 คะแนนกลิ่นหอมที่ได้จากผู้บริโภคบ่งบอกกลิ่นหอมของเนื้อทุเรียน คะแนนสูงบ่งบอกว่าเนื้อทุเรียนมีกลิ่นหอมมาก พบว่าคะแนนกลิ่นหอมของเนื้อทุเรียนที่เก็บรักษาในทุกทริทเมนต์มีแนวโน้มสูงขึ้น เนื้อทุเรียนที่เก็บรักษาเป็นเวลา 10 วันในทุกทริทเมนต์มีคะแนนกลิ่นหอมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยเนื้อทุเรียนที่เคลือบด้วยสูตร C2 และ A3 มีคะแนนกลิ่นหอมสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญกับเนื้อทุเรียนที่เคลือบด้วยสูตร B2, C1 และเนื้อทุเรียนที่ไม่ได้เคลือบ เนื้อทุเรียนที่เก็บรักษาเป็นเวลา 26 วันในทุกทริทเมนต์มีคะแนนกลิ่นหอมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ พบว่าเนื้อทุเรียนที่เคลือบด้วยสูตร C1 และ C2 มีคะแนนกลิ่นหอมสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญกับเนื้อทุเรียนที่เคลือบด้วยสูตร A3, B2 และ เนื้อทุเรียนที่ไม่ได้เคลือบ (แสดงตัวอย่างการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติดังภาคผนวก ก.)

จากรายงานของสุธีรา (2546) ที่ได้ทำแบบสอบถามเกี่ยวกับข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับพฤติกรรมของผู้บริโภคต่อทุเรียน พบว่าปัจจัยที่ผู้บริโภคให้ความสำคัญในการเลือกซื้อเนื้อทุเรียนมี 5 ปัจจัยคือ ภาพลักษณ์ของทุเรียน (image) ความสดและความสะอาด ขนาดและน้ำหนักของเนื้อทุเรียนรสชาติและกลิ่นของเนื้อทุเรียน จากคะแนนกลิ่นหอมและการสูญเสียน้ำหนักที่ได้ในการทดลองครั้งนี้เนื้อทุเรียนที่เคลือบด้วยสูตร C1 มีคะแนนกลิ่นหอมที่สูงและมีการสูญเสียน้ำหนักที่น้อยซึ่งมีผลต่อการดึงดูดใจต่อผู้บริโภคในการซื้อได้ดี

4.2.8.3 ความหวาน

คะแนนความหวานของเนื้อทุเรียนจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคแสดงดังตารางที่ 4.6 พบว่าคะแนนความหวานของเนื้อทุเรียนที่เก็บรักษาในทุกทริทเมนต์มีแนวโน้มสูงขึ้น นั่นคือเนื้อทุเรียนที่ผู้ชิมสัมผัสได้มีความหวานเพิ่มขึ้น เนื้อทุเรียนที่เก็บรักษาเป็นเวลา 10 วันในทุกทริทเมนต์มีคะแนนความหวานแตกต่างกัน เนื้อทุเรียนที่เคลือบด้วยสูตร B2 มีคะแนนความหวานสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญกับเนื้อทุเรียนที่เคลือบด้วยสูตร A3, C1, C2 และเนื้อทุเรียนที่ไม่ได้เคลือบ เปรียบเทียบกับเนื้อทุเรียนที่เก็บรักษาเป็นเวลา 26 วันในทุกทริทเมนต์มีคะแนนความหวานแตกต่างกัน พบว่าเนื้อทุเรียนที่เคลือบด้วยสูตร B2 และ C1 มีคะแนนความหวานสูงกว่าเนื้อทุเรียนที่เคลือบด้วยสูตร A3, C2 และเนื้อทุเรียนที่ไม่ได้เคลือบ (แสดงตัวอย่างการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ดังภาคผนวก ก.)

ความหวานของเนื้อทุเรียนจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้ชิมมีความสอดคล้องกับปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ที่วิเคราะห์โดยใช้ Hand refractometer ซึ่งค่า r ที่คำนวณได้ตั้งแต่วันที่ 10 ถึง 26 คือ 0.58, 0.46, 0.89, 0.68, 0.71, 0.60, 0.96, 0.95 และ 0.82 แสดงตัวอย่างกราฟความสัมพันธ์ที่ได้ในวันที่ 26 ของการเก็บรักษาดังรูปที่ 4.13 (ตัวอย่างการคำนวณสมการเส้นตรงรีเกรสชันดังภาคผนวก ก.)



รูปที่ 4.13: ความสัมพันธ์ของคะแนนความหวานจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสกับปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ที่วิเคราะห์โดยใช้ Hand refractometer ในวันที่ 26 ของการเก็บรักษา

ตารางที่ 4.5: คะแนนกลิ่นหอมจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคเมื่อไม่ได้เคลือบสาร และเคลือบด้วยสูตร A3, B2, C1 และ C2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 100% เป็นระยะเวลา 26 วัน

ทรีทเมนต์	กลิ่นหอม (คะแนน)								
	10วัน ^{1/}	12วัน ^{1/}	14วัน ^{1/}	16วัน ^{1/}	18วัน ^{1/}	20วัน ^{1/}	22วัน ^{1/}	24วัน ^{1/}	26วัน ^{1/}
ไม่เคลือบ	1.8±0.77b	3.5±0.79a	3.0±0.53	2.2±0.32	3.5±0.35	3.7±0.24a	3.2±0.57	3.6±0.48	3.2±0.16b
A3	2.8±0.81a	2.7±0.75b	2.6±0.48	2.6±0.26	3.3±0.34	3.0±0.47ab	3.5±0.48	3.3±0.58	3.4±0.59b
B2	2.5±0.98ab	2.9±0.72b	2.6±0.48	2.1±0.16	3.3±0.34	2.5±0.35b	3.2±0.46	3.1±0.50	3.2±0.74b
C1	1.7±0.75b	3.7±0.67a	2.3±0.41	2.4±0.26	3.2±0.32	3.7±0.24a	3.6±0.42	3.1±0.44	3.7±0.53a
C2	2.8±0.70a	2.7±0.82b	2.3±0.41	2.4±0.26	3.2±0.57	3.6±0.26a	3.2±0.52	3.5±0.42	3.7±0.47a
F-test	*	*	ns	ns	ns	*	ns	ns	*

1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns เนื้อทุเรียนที่เก็บรักษาในทุกทรีทเมนต์มีคะแนนกลิ่นหอมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

* เนื้อทุเรียนที่เก็บรักษาในทุกทรีทเมนต์มีคะแนนกลิ่นหอมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตัวอักษร a-b ที่แตกต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงคะแนนกลิ่นหอมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อใช้การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์เป็นคู่ๆ

ตารางที่ 4.6: คะแนนความหวานของเนื้อทุเรียนจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคเมื่อไม่ได้เคลือบสาร และเคลือบด้วยสูตร A3, B2, C1 และ C2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 100% เป็นระยะเวลา 26 วัน

ทรีทเมนต์	ความหวาน (คะแนน)								
	10วัน ^{1/}	12วัน ^{1/}	14วัน ^{1/}	16วัน ^{1/}	18วัน ^{1/}	20วัน ^{1/}	22วัน ^{1/}	24วัน ^{1/}	26วัน ^{1/}
ไม่เคลือบ	3.2±0.52b	2.7±0.78	2.4±0.48b	3.1±0.50	3.8±0.39	4.2±0.39a	3.4±0.67	3.5±0.48	3.5±0.71b
A3	2.8±0.99b	3.3±0.47	3.0±0.62a	3.4±0.59	3.8±0.21	3.8±0.52b	3.7±0.41	3.8±0.39	3.5±0.53b
B2	4.0±0.82a	2.7±0.78	2.6±0.48b	2.8±0.70	3.5±0.35	3.5±0.26b	3.9±0.37	4.0±0.41	4.3±0.67a
C1	2.8±0.88b	2.7±0.94	3.1±0.55a	3.4±0.63	3.2±0.61	4.5±0.35a	4.0±0.41	3.6±0.26	4.0±0.82ab
C2	2.7±0.88b	3.1±0.96	3.1±0.64a	3±0.24	3.7±0.47	3.9±0.37b	3.9±0.44	2.9±0.37	3.4±0.70b
F-test	*	ns	*	ns	ns	*	ns	*	*

1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns เนื้อทุเรียนที่เก็บรักษาในทุกทรีทเมนต์มีคะแนนความหวานไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

* เนื้อทุเรียนที่เก็บรักษาในทุกทรีทเมนต์มีคะแนนความหวานแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตัวอักษร a-b ที่แตกต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงคะแนนความหวานแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อใช้การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์เป็นคู่ๆ

4.2.8.4 รสมัน

คะแนนรสมันของเนื้อทุเรียนจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคแสดงดังตารางที่ 4.7 พบว่าคะแนนรสมันของเนื้อทุเรียนที่เก็บรักษาในทุกทริทเมนต์มีค่าที่ได้ค่อนข้างคงที่ในช่วงระยะเวลา 26 วันของการเก็บรักษา เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติในวันที่ 10 ถึง 22 ของการเก็บรักษาพบว่าเนื้อทุเรียนที่เก็บรักษาในทุกทริทเมนต์มีคะแนนรสมันแตกต่างกัน โดยเนื้อทุเรียนที่ไม่ได้เคลือบ และเนื้อทุเรียนที่เคลือบด้วยสูตร A3 ในวันที่ 10 ถึง 14 ของการเก็บรักษามีคะแนนรสมันสูงกว่าเนื้อทุเรียนที่เคลือบด้วยสูตร B2, C1 และ C2 สำหรับเนื้อทุเรียนที่ไม่ได้เคลือบในวันที่ 16 ถึง 20 ของการเก็บรักษามีคะแนนรสมันสูงกว่าเนื้อทุเรียนที่เคลือบด้วยสูตร A3, B2, C1 และ C2 และเนื้อทุเรียนที่เก็บรักษาทุกทริทเมนต์ในวันที่ 24 และ 26 มีคะแนนรสมันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) (แสดงตัวอย่างการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติดังภาคผนวก ก.)

คะแนนรสมันที่ได้มีความสัมพันธ์กับคะแนนความหวานที่ได้จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค ในวันที่ 10 ของการเก็บรักษาเนื้อทุเรียนที่เคลือบด้วยสูตร B2 มีคะแนนความหวานสูงกว่าเนื้อทุเรียนที่เก็บในทริทเมนต์อื่น แต่คะแนนรสมันของเนื้อทุเรียนที่เคลือบด้วยสูตร B2 มีคะแนนต่ำกว่าเนื้อทุเรียนที่เก็บในทริทเมนต์อื่น แสดงว่าถ้าผู้ชิมให้คะแนนความหวานมากรสมันที่ผู้ชิมสัมผัสได้มีค่าน้อยลง

ตารางที่ 4.7: คะแนนรสมันของเนื้อทุเรียนจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคเมื่อไม่ได้เคลือบสาร และเคลือบด้วยสูตร A3, B2, C1 และ C2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 100% เป็นระยะเวลา 26 วัน

ทรีทเมนต์	รสมัน (คะแนน)								
	10วัน ^{1/}	12วัน ^{1/}	14วัน ^{1/}	16วัน ^{1/}	18วัน ^{1/}	20วัน ^{1/}	22วัน ^{1/}	24วัน ^{1/}	26วัน ^{1/}
ไม่เคลือบ	2.8±0.77a	2.1±0.55a	2.4±0.42a	3.3±0.47a	3.4±0.42a	2.9±0.50a	1.4±0.52b	2.7±0.24	2.6±0.26
A3	2.9±0.37a	2.4±0.67a	2.2±0.57a	2.7±0.34b	2.4±0.26b	2.2±0.21b	2.3±0.48a	2.5±0.48	2.4±0.71
B2	1.5±0.82b	1.7±0.82b	1.8±0.66b	2.5±0.54b	2.0±0.33b	1.7±0.24b	1.7±0.48b	2.1±0.37	2.3±0.47
C1	2.1±0.55b	1.6±0.42b	1.8±0.57b	3.0±0.62ab	2.6±0.35b	2.0±0.24b	2.0±0.47ab	2.3±0.34	2.6±0.48
C2	1.7±0.58b	2.1±0.72a	1.7±0.58b	2.7±0.41b	2.5±0.26b	2.0±0.24b	2.2±0.63a	2.6±0.35	2.6±0.42
F-test	*	*	*	*	*	*	*	ns	ns

1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns เนื้อทุเรียนที่เก็บรักษาในทุกทรีทเมนต์มีคะแนนรสมันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

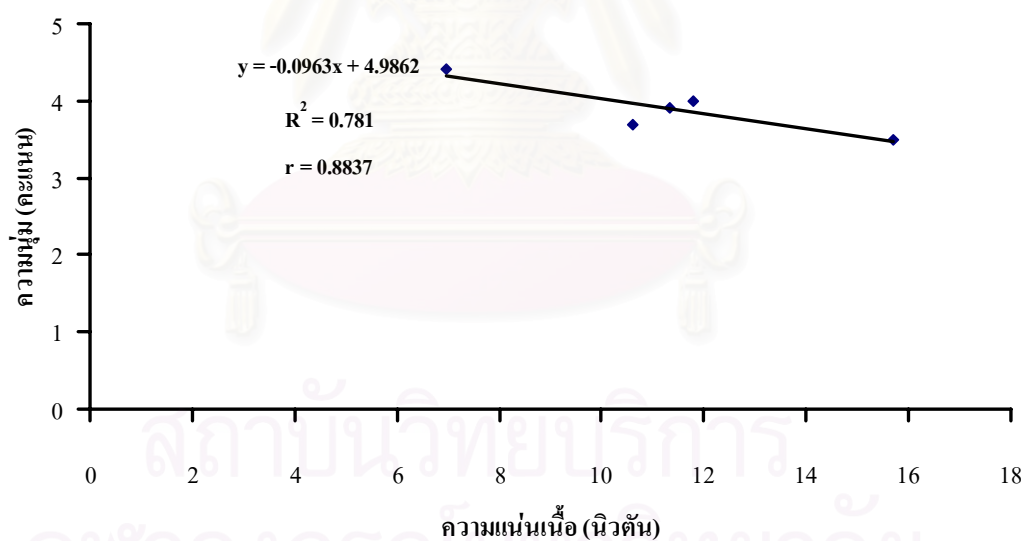
* เนื้อทุเรียนที่เก็บรักษาในทุกทรีทเมนต์มีคะแนนรสมันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตัวอักษร a-b ที่แตกต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงคะแนนรสมันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อใช้การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์เป็นคู่ๆ

4.2.8.5 ความนุ่ม

คะแนนความนุ่มของเนื้อทุเรียนจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคแสดงดังตารางที่ 4.8 พบว่าคะแนนความนุ่มของเนื้อทุเรียนที่เก็บรักษาในทุกทริทเมนต์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น นั่นคือเนื้อทุเรียนมีความนุ่มเพิ่มขึ้น เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติในวันที่ 10 ถึง 16 ของการเก็บรักษา พบว่าเนื้อทุเรียนที่เก็บรักษาในทุกทริทเมนต์มีคะแนนความนุ่มแตกต่างกัน โดยเนื้อทุเรียนที่ไม่ได้เคลือบในวันที่ 10 และวันที่ 16 มีคะแนนความนุ่มน้อยกว่าเนื้อทุเรียนที่เคลือบด้วยสูตร A3, B2, C1 และ C2 และเนื้อทุเรียนที่เก็บรักษาในทุกทริทเมนต์ในวันที่ 20 ถึง 26 มีคะแนนความนุ่มไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) (แสดงตัวอย่างการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติดังภาคผนวก ก.)

ความนุ่มของเนื้อทุเรียนจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้ชิมมีความสอดคล้องกับค่าความแน่นเนื้อซึ่งวิเคราะห์โดยใช้ Firmness tester ซึ่งค่า r ที่คำนวณได้ตั้งแต่วันที่ 10 ถึง 26 คือ 0.86, 0.45, 0.97, 0.93, 0.82, 0.60, 0.54, 0.70 และ 0.88 แสดงตัวอย่างกราฟความสัมพันธ์ที่ได้ในวันที่ 26 ของการเก็บรักษาดังรูปที่ 4.14 ตัวอย่างการคำนวณสมการเส้นตรงรีเกรสชันดังภาคผนวก ก.)



รูปที่ 4.14: ความสัมพันธ์ของคะแนนความนุ่มจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสกับความแน่นเนื้อที่วิเคราะห์โดยใช้ Firmness tester ในวันที่ 26 ของการเก็บรักษา

ตารางที่ 4.8: คะแนนความนุ่มของเนื้อทุเรียนจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคเมื่อไม่ได้เคลือบสาร และเคลือบด้วยสูตร A3, B2, C1 และ C2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 100% เป็นระยะเวลา 26 วัน

ทรีทเมนต์	ความนุ่ม (คะแนน)								
	10วัน ^{1/}	12วัน ^{1/}	14วัน ^{1/}	16วัน ^{1/}	18วัน ^{1/}	20วัน ^{1/}	22วัน ^{1/}	24วัน ^{1/}	26วัน ^{1/}
ไม่เคลือบ	2.5±0.42b	3.0±0.82b	3.1±0.44	2.3±0.24b	3.8±0.32b	4.1±0.37	3.6±0.42	3.7±0.34	3.7±0.34
A3	3.5±0.68a	3.4±0.63b	3.4±0.54	4.3±0.34a	3.9±0.44b	3.9±0.37	3.8±0.57	3.9±0.55	3.5±0.48
B2	3.6±0.48a	3.7±0.53ab	3.7±0.41	3.5±0.54a	4.6±0.26a	3.7±0.34	4.2±0.39	3.8±0.39	4.4±0.26
C1	3.4±0.35a	4.2±0.46a	3.1±0.60	3.7±0.58a	4.0±0.41b	4.4±0.26	3.7±0.34	3.9±0.50	3.9±0.64
C2	3.6±0.63a	3.6±0.63ab	3.2±0.46	3.4±0.75a	3.9±0.37b	4.2±0.32	3.9±0.50	4.0±0.33	4.0±0.41
F-test	*	*	ns	*	*	ns	ns	ns	ns

1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns เนื้อทุเรียนที่เก็บรักษาในทุกทรีทเมนต์มีคะแนนความนุ่มไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

* เนื้อทุเรียนที่เก็บรักษาในทุกทรีทเมนต์มีคะแนนความนุ่มแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตัวอักษร a-b ที่แตกต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงคะแนนความนุ่มแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อใช้การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์เป็นคู่ๆ

4.2.8.6 กลิ่นและรสชาติผิดปกติ

คะแนนกลิ่นและรสชาติผิดปกติของเนื้อทุเรียนจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคแสดงดังตารางที่ 4.9 และ 4.10 พบว่าคะแนนกลิ่นและรสชาติผิดปกติมีค่าที่ได้ค่อนข้างคงที่และเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้นคือคะแนนกลิ่นผิดปกติอยู่ในช่วง 0.7 – 2.0 และคะแนนรสชาติผิดปกติมีคะแนนอยู่ในช่วง 0.7 -1.9 เนื้อทุเรียนที่เก็บรักษาเป็นเวลา 10 วันในทุกทรีทเมนต์มีคะแนนกลิ่นและรสชาติผิดปกติไม่แตกต่างกัน และเนื้อทุเรียนที่เก็บรักษาเป็นเวลา 26 วันในทุกทรีทเมนต์มีคะแนนกลิ่นและรสชาติผิดปกติไม่แตกต่างกัน (แสดงตัวอย่างการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติดังภาคผนวก ก.)

ในผลิตผลบางชนิดเมื่อเก็บรักษาในสภาพที่ขาดออกซิเจนหรือมีการรับอนไดออกไซด์มากเกินไปส่งผลให้เกิดการสะสมแอลกอฮอล์ และ acetaldehyde ทำให้ผลิตผลมีอาการผิดปกติมีกลิ่นและรสชาติที่เปลี่ยนไป (Petersen และคณะ, 1999) ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการเก็บรักษาแบบบรรยากาศดัดแปลง แต่จากการชิมเนื้อทุเรียนเพื่อประเมินคุณภาพไม่พบลักษณะที่ผิดปกติดังกล่าวเกิดขึ้นตลอดระยะเวลา 26 วันที่เก็บรักษาโดยดูจากคะแนนที่ได้

4.2.8.7 ความชอบ

ความชอบจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคดังตารางที่ 4.11 พบว่าคะแนนความชอบที่ได้มีแนวโน้มที่สูงขึ้น และคะแนนความชอบของผู้บริโภคค่อนข้างสูงคืออยู่ในช่วง 3-5 แสดงว่าทั้งเนื้อทุเรียนทั้งที่เคลือบและไม่ได้เคลือบการยอมรับของผู้บริโภคก็ยังคงเหมือนเดิม พบว่าเนื้อทุเรียนที่เก็บรักษาในทุกทรีทเมนต์ในวันที่ 10 มีคะแนนความชอบแตกต่างกัน โดยเนื้อทุเรียนที่ไม่ได้เคลือบ และเนื้อทุเรียนที่เคลือบด้วยสูตร A3 ในวันที่ 10 ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบมากกว่าเนื้อทุเรียนที่เคลือบด้วยสูตร C1 และ C2 สำหรับเนื้อทุเรียนที่เก็บรักษาในทุกทรีทเมนต์ในวันที่ 26 มีคะแนนความชอบแตกต่างกัน โดยเนื้อทุเรียนที่ไม่ได้เคลือบ เนื้อทุเรียนที่เคลือบด้วยสูตร C1 และ C2 ในวันที่ 26 ผู้บริโภคมีความชอบมากกว่าเนื้อทุเรียนที่เคลือบด้วยสูตร A3 และ B2 (แสดงตัวอย่างการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติดังภาคผนวก ก.)

ตารางที่ 4.9: คะแนนกลิ่นผิดปกติของเนื้อทุเรียนจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคเมื่อไม่ได้เคลือบสาร และเคลือบด้วยสูตร A3, B2, C1 และ C2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 100% เป็นระยะเวลา 26 วัน

ทรีทเมนต์	กลิ่นผิดปกติ (คะแนน)								
	10วัน ^{1/}	12วัน ^{1/}	14วัน ^{1/}	16วัน ^{1/}	18วัน ^{1/}	20วัน ^{1/}	22วัน ^{1/}	24วัน ^{1/}	26วัน ^{1/}
ไม่เคลือบ	1.8±0.32	1.4±0.35	1.1±0.44	1.2±0.21b	1.4±0.26b	0.8±0.32b	0.7±0.41b	1.1±0.50b	1.2±0.39
A3	1.2±0.39	1.9±0.50	1.6±0.48	1.5±0.26b	1.7±0.34a	1.3±0.41a	1.5±0.63a	1.6±0.71a	1.6±0.48
B2	1.6±0.75	2.0±0.71	1.3±0.53	1.9±0.16a	1.8±0.32a	1.2±0.32a	1.4±0.59a	1.7±0.53a	1.5±0.48
C1	1.7±0.53	2.0±0.67	1.5±0.35	1.2±0.21b	1.8±0.32a	0.8±0.46b	0.7±0.53b	1.0±0.47b	1.8±0.46
C2	1.4±0.82	2.0±0.58	1.2±0.46	1.5±0.26b	2.0±0.24a	0.9±0.50ab	1.0±0.62ab	1.2±0.39ab	1.5±0.42
F-test	ns	ns	ns	*	*	*	*	*	ns

1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns เนื้อทุเรียนที่เก็บรักษาในทุกทรีทเมนต์มีคะแนนกลิ่นผิดปกติไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

* เนื้อทุเรียนที่เก็บรักษาในทุกทรีทเมนต์มีคะแนนกลิ่นผิดปกติแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตัวอักษร a-b ที่แตกต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงคะแนนกลิ่นผิดปกติแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อใช้การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์เป็น

คู่ๆ

ตารางที่ 4.10: คะแนนรสชาติผิดปกติของเนื้อทุเรียนจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคเมื่อไม่ได้เคลือบสาร และเคลือบด้วยสูตร A3, B2, C1 และ C2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 100% เป็นระยะเวลา 26 วัน

ทรีทเมนต์	รสชาติผิดปกติ (คะแนน)								
	10วัน ^{1/}	12วัน ^{1/}	14วัน ^{1/}	16วัน ^{1/}	18วัน ^{1/}	20วัน ^{1/}	22วัน ^{1/}	24วัน ^{1/}	26วัน ^{1/}
ไม่เคลือบ	0.9±0.44	1.3±0.41	1.0±0.47b	1.5±0.26	1.3±0.41b	0.8±0.61b	0.9±0.50b	1.1±0.60b	1.3±0.42
A3	1.2±0.39	1.3±0.41	1.3±0.47ab	1.7±0.34	1.5±0.26b	0.7±0.47b	1.5±0.75a	1.9±0.90a	1.5±0.35
B2	1.3±0.58	1.5±0.35	1.8±0.66a	1.8±0.21	1.9±0.16a	1.5±0.59a	2.0±0.85a	1.5±0.72b	1.9±0.60
C1	1.3±0.41	1.2±0.39	1.4±0.48ab	1.8±0.21	1.8±0.21a	1.0±0.53b	1.0±0.33b	1.4±0.67b	1.6±0.57
C2	1.1±0.28	1.5±0.42	1.8±0.46a	1.7±0.24	1.4±0.26b	1.2±0.61a	1.4±0.48a	1.6±0.71ab	1.6±0.54
F-test	ns	ns	*	ns	*	*	*	*	ns

1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns เนื้อทุเรียนที่เก็บรักษาในทุกทรีทเมนต์มีคะแนนรสชาติผิดปกติไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

* เนื้อทุเรียนที่เก็บรักษาในทุกทรีทเมนต์มีคะแนนรสชาติผิดปกติแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตัวอักษร a-b ที่แตกต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงคะแนนรสชาติผิดปกติแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อใช้การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์เป็นคู่ๆ

ตารางที่ 4.11: คะแนนความชอบของเนื้อทุเรียนจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคเมื่อไม่ได้เคลือบสาร และเคลือบด้วยสูตร A3, B2, C1 และ C2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 100% เป็นระยะเวลา 26 วัน

ทรีทเมนต์	ความชอบ (คะแนน)								
	10วัน ^{1/}	12วัน ^{1/}	14วัน ^{1/}	16วัน ^{1/}	18วัน ^{1/}	20วัน ^{1/}	22วัน ^{1/}	24วัน ^{1/}	26วัน ^{1/}
ไม่เคลือบ	4.0±0.58a	3.1±0.86bc	3.8±0.66	3.5±0.35	4.1±0.44	4.2±0.46a	4.1±0.44	3.7±0.47	3.9±0.48a
A3	4.0±0.58a	4.0±0.58a	3.9±0.50	3.4±0.42	3.9±0.68	3.6±0.42ab	3.9±0.37	3.4±0.42	3.0±0.67b
B2	3.1±0.72ab	3.2±0.94b	3.3±0.58	3.4±0.63	3.6±0.48	3.4±0.59b	3.7±0.47	3.3±0.58	3.2±0.52b
C1	2.9±0.93b	2.4±1.00c	3.9±0.44	3.3±0.53	3.7±0.62	4.1±0.37ab	3.9±0.37	3.4±0.42	3.8±0.46a
C2	2.7±0.91b	2.9±1.06bc	3.6±0.67	3.5±0.42	3.5±0.54	3.4±0.48b	3.7±0.34	3.5±0.54	3.8±0.46a
F-test	*	*	ns	ns	ns	*	ns	ns	*

1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns เนื้อทุเรียนที่เก็บรักษาในทุกทรีทเมนต์มีคะแนนความชอบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

* เนื้อทุเรียนที่เก็บรักษาในทุกทรีทเมนต์มีคะแนนความชอบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตัวอักษร a-c ที่แตกต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงคะแนนความชอบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อใช้การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์เป็นคู่ๆ

คะแนนความชอบที่ได้สอดคล้องกับคะแนนกลิ่นและรสชาติผิดปกติที่ได้ เนื่องจากคะแนนกลิ่นและรสชาติผิดปกติที่ได้จากผู้ชิมยังน้อย การสะสมแอลกอฮอล์ และ acetaldehyde ยังไม่เกิดขึ้น ผู้ชิมจึงยังยอมรับเนื้อทุเรียน แสดงให้เห็นว่าเนื้อทุเรียนสามารถที่เก็บรักษาต่อไปได้อีก แต่จากผลการทดลองทั้งหมดที่ได้ทั้งการตรวจสอบคุณภาพองเนื้อทุเรียน อัตราการหายใจ การผลิตเอทิลีน และคุณภาพในการรับประทาน สามารถบอกแนวโน้มได้ เช่นถ้าสามารถเก็บรักษาเนื้อทุเรียนต่อไปเป็นเวลามากกว่า 26 วัน ความแน่นเนื้อก็มีค่าลดลง ปริมาณของแข็งละลายน้ำได้มีค่าเพิ่มขึ้น การสูญเสียน้ำหนักมีค่าเพิ่มขึ้น และคุณภาพในการรับประทานเกี่ยวกับความชอบของเนื้อทุเรียนอาจมีค่าลดลง เนื่องมาจากการสะสมของแอลกอฮอล์ และ acetaldehyde

4.3 วิเคราะห์ต้นทุนของฟิล์มเคลือบบริโภคน้ำได้

จากผลการทดลองในส่วนที่ 1 และส่วนที่ 2 สามารถสรุปข้อมูลได้ดังตารางที่ 4.12 เพื่อคัดเลือกฟิล์มที่มีประสิทธิภาพที่สุดสำหรับเคลือบเนื้อทุเรียนในการทดลองนี้ และนำไปวิเคราะห์ต้นทุนของฟิล์มเคลือบบริโภคน้ำได้ต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.12: สรุปข้อมูลที่ได้จากผลการทดลองที่ 1 และผลการทดลองที่ 2

ทรีทเมนต์	Tg (°C)	ความทนแรงดึง (MPa)	ร้อยละการยืด ตัว (%)	ความสามารถใน การแพร่ผ่านของ ไอน้ำ x10 ⁻¹⁰ (g-m/m ² -s-Pa)	การสูญเสีย น้ำหนัก (%) ^{1/}	สีเนื้อ (L, b) ความแน่นเนื้อ (นิวตัน) ปริมาณของแข็ง ละลายน้ำได้ (%)	อัตราการหายใจ (mgCO ₂ /kg-hr) ^{1/}	การผลิตเอทิลีน (µl/kg-hr) ^{1/}	ความชอบ (คะแนน) 1/
ไม่เคลือบ	-	-	-	-	2.56a	ns	212.04a	9.53a	3.9a
A3	-20	2.40	216.68	4.40	1.84b	ns	125.20b	9.00a	3.0b
B2	5	13.74	113.26	2.51	2.01b	ns	137.80b	7.90b	3.2b
C1	-5	11.43	99.88	1.74	1.80b	ns	109.11c	6.91c	3.8a
C2	-10	11.29	119.22	1.89	1.83b	ns	116.28b	8.39ab	3.8a

1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns เนื้อทุเรียนที่เก็บรักษาในทุกทรีทเมนต์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

* เนื้อทุเรียนที่เก็บรักษาในทุกทรีทเมนต์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตัวอักษร a-c ที่แตกต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อใช้การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์เป็นคู่ๆ

เมื่อสรุปข้อมูลจากผลการทดลองส่วนที่ 1 และผลการทดลองส่วนที่ 2 พบว่าเนื้อทุเรียนที่เคลือบด้วยสูตร C1 มีการสูญเสียน้ำหนักต่ำกว่าทุกทรีทเมนต์และสอดคล้องกับค่าความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำ มีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงสถานะคล้ายแก้วกับ -5 องศาเซลเซียสซึ่งใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษา มีค่าความทนแรงดึงและร้อยละการยืดตัวที่เหมาะสม และในวันที่ 5 ของการเก็บรักษาเนื้อทุเรียนพบว่าเนื้อทุเรียนที่เคลือบด้วยสูตร C1 มีอัตราการหายใจและการผลิตเอทิลินที่ให้ climacteric peak ต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับเนื้อทุเรียนที่เคลือบด้วยสูตร A3, B2, C2 และเนื้อทุเรียนที่ไม่ได้เคลือบ ความชอบของผู้บริโภคในวันที่ 26 ของการเก็บรักษาพบว่าเนื้อทุเรียนที่เคลือบด้วยสูตร C1 และ C2 และเนื้อทุเรียนที่ไม่ได้เคลือบมีคะแนนสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับเนื้อทุเรียนที่เคลือบด้วยสูตร A3 และ B2 ส่วนการเปลี่ยนแปลงสีเนื้อ ความแน่นเนื้อ และปริมาณของแข็งละลายน้ำได้พบว่าเนื้อทุเรียนที่เก็บรักษาในทุกทรีทเมนต์ให้ผลที่ไม่แตกต่างกัน เนื่องจากเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองมีลักษณะที่เฉพาะตัว เช่น เนื้อทุเรียนมีสีเหลืองอ่อนมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้นเมื่อเทียบกับพันธุ์อื่น หรือเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองเป็นพันธุ์ที่มีเนื้อที่ไม่และและขำมากเหมือนพันธุ์อื่นๆ เช่นพันธุ์ชะนี เป็นต้น

จากผลการทดลองที่ได้สามารถเลือกสูตร C1 ให้เป็นสูตรที่มีประสิทธิภาพที่สุดสำหรับเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองในการทดลองครั้งนี้ และสามารถใช้เป็นสูตรพื้นฐานสำหรับปรับปรุงสูตรในงานวิจัยต่อไปได้ ดังนั้นในการทดลองครั้งต่อไปจึงได้มีการคิดต้นทุนของราคาวัตถุดิบที่ใช้ในการเตรียมสารเคลือบสูตรนี้ไว้เพื่อเป็นแนวทางหนึ่งสำหรับผู้สนใจต่อไป

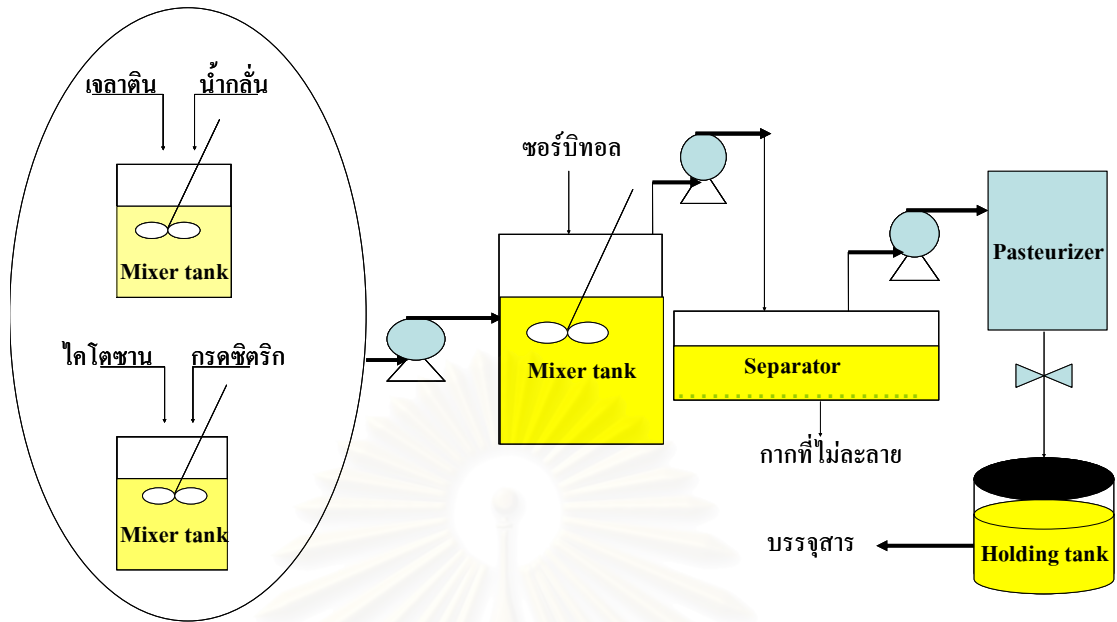
ถ้าเปรียบเทียบการทดลองที่ทำนี้เป็นหน่วยผลิตที่ทำการแปลงรูปปัจจัยที่ใส่เข้าไป (inputs) ให้เป็นผลผลิตออกมา (outputs) ในที่นี้ คือ สารเคลือบเนื้อผลไม้ที่สามารถคงคุณภาพของเนื้อทุเรียนหรือผลไม้เขตร้อนชนิดอื่นๆ ได้ ดังนั้นสูตร C1 หรือสูตรที่มีส่วนผสมของเจลาติน 2% (w/v) + ไคโตซาน 1% (w/v) + ซอร์บิทอล 0.2% (w/v) + กรดซิตริก 3.5 % (w/v) มีราคาวัตถุดิบที่ใช้ในการเตรียมสารเคลือบเนื้อทุเรียน ดังตารางที่ 4.13

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.13: วิเคราะห์ต้นทุนของฟิล์มเคลือบบริโกลคได้สูตร C1 สำหรับเคลือบเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทอง

วัสดุ	บริษัทผู้ผลิต	ราคาต่อกิโลกรัม (บาท)	ปริมาณที่ใช้ (กรัมต่อกิโลกรัม)	คิดเป็นมูลค่า (บาท)
เจลาติน	บิกเบเกอร์	390	0.464	0.181
ไคโตซาน	ซีเฟรชไคโตซาน	2,000	0.232	0.464
ซอร์บิทอล	สงหวด จำกัด	43.75	0.0464	0.002
กรดซิตริก	สงหวด จำกัด	65	0.812	0.053
น้ำกลั่น	น้ำดื่ม ทราหยอง จำกัด	20 L = 7 บาท	23.2 ml	0.008
รวม				0.71

เพราะฉะนั้นราคาของวัตถุดิบซึ่งเป็นราคาขายปลีกของสูตร C1 ที่ใช้รวมทั้งหมด เท่ากับ 0.71 บาทต่อเนื้อทุเรียนที่ใช้ 1 กิโลกรัม (โดยปกติทุเรียนทั้งผล มีเนื้อทุเรียน ประมาณ 40 % โดยน้ำหนัก) โดยไม่คิดค่าติดตั้งเครื่องมือต่างๆ ที่ต้องซื้อเช่น ถังผสมสำหรับใช้ผสมสาร (mixer tank) หม้อฆ่าเชื้อ (pasteurizer) ถังสำหรับแยกกากของแข็งที่ไม่ละลาย (separator) ถังที่ใช้เก็บสารละลายชั่วคราวก่อนบรรจุ (holding tank) สามารถแสดงกระบวนการผลิตสารเคลือบอย่างคร่าวๆ ได้ดังรูปที่ 4.15 โดยเสนอการทำงานเป็นแบบ batch คือไม่ได้ผลิตสารแบบต่อเนื่อง แต่จะผลิตสารเป็นครั้งๆ ไป โดยใส่สารเข้าไปก่อนทั้งหมดและไม่มีการใส่เพิ่มอีก กวนสารในถังผสมเพื่อให้ทำปฏิกิริยาหรือให้เข้ากันได้ดี เมื่อได้ตามต้องการแล้วต้องหยุดเครื่องเพื่อนำผลิตภัณฑ์ออกมา เพื่อบรรจุน้ำจำหน่ายต่อไป นอกจากนั้นแล้วอุปกรณ์ที่ใช้ในการพ่น สารเคมีเพิ่มเติมที่ใช้สำหรับฆ่าเชื้ออุปกรณ์คือ แอลกอฮอล์ 70% ค่าแรงงานสำหรับบุคลากรที่มีความรู้ในการเคลือบ ถาดโฟมสำหรับบรรจุเนื้อทุเรียนที่เคลือบแล้ว ฟิล์มที่ใช้ห่อหุ้มอาหาร สิ่งเหล่านี้ล้วนแต่เป็นค่าใช้จ่ายทั้งสิ้นถ้ามีการคิดทำต่อในระดับการค้า และควรมีการศึกษาข้อมูลเพิ่มเติม แต่ที่คิดไว้เป็นเฉพาะค่าวัตถุดิบที่มีราคาคงที่หรือมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้นเพื่อสามารถนำไปใช้ได้ทันที



รูปที่ 4.15: กระบวนการผลิตสารเคลือบเนือทุเรียน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยเพื่อพัฒนาฟิล์มเคลือบเนื้อทุเรียนหมอนทอง และศึกษาเปรียบเทียบผลของฟิล์มเคลือบที่มีต่อลักษณะทางคุณภาพของเนื้อทุเรียนนี้ ได้มีการผลิตฟิล์มเคลือบบริโกลได้ 3 ชนิด จากไคโตซานและเจลาติน ฟิล์มเคลือบบริโกลได้จากไคโตซานอย่างเดียวมีกลิ่นกรดที่สูงกว่าฟิล์มจากเจลาตินและฟิล์มผสม เนื่องจากสมบัติการละลายของไคโตซานที่ละลายได้ในกรดอ่อนเท่านั้น สำหรับการผลิตฟิล์มเคลือบเจลาตินอย่างเดียวแม้จะละลายได้ในสารละลายที่เป็นกลาง แต่จะต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่า 40 องศาเซลเซียส และยังได้สารละลายที่แข็งตัวเร็วมาก เนื่องจากเจลาตินเป็นสารประเภท thermo set มี gel point ที่ประมาณ 30 องศาเซลเซียส การใช้ฟิล์มผสมระหว่างเจลาตินและไคโตซานจึงจะให้ประโยชน์ในปรับปรุงสมบัติของสารละลายที่ใช้พ่นเคลือบเนื้อทุเรียน ส่วนการใช้ซอร์บิทอลมีผลต่อการปรับปรุงค่า T_g ฟิล์มที่ได้มีความทนแรงดึง ความยืดหยุ่น และมีความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำที่เหมาะสม ที่อุณหภูมิในการเก็บรักษา

การเคลือบฟิล์มไม่มีผลต่อค่าสี ความแน่นเนื้อ และปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ สำหรับเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทอง แต่มีผลต่อการสูญเสียน้ำหนัก อัตราการหายใจ และการผลิตเอทิลีนที่ climacteric peak การเคลือบเนื้อทุเรียนด้วยสูตร C1 ซึ่งประกอบด้วยเจลาติน 2% โดยน้ำหนัก ไคโตซาน 1% โดยน้ำหนัก ซอร์บิทอล 0.2% โดยน้ำหนัก และกรดซิตริก 3.5% โดยน้ำหนัก โดยใช้สารเคลือบที่ใช้ 23.2 มิลลิลิตรต่อเนื้อทุเรียน 1 กิโลกรัม ฟิล์ม สามารถกั้นการแพร่ผ่านของไอน้ำได้ดี ทำให้มีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับสูตรสารเคลือบชนิดอื่น เนื้อทุเรียนที่เคลือบด้วยสูตร C1 มีการสูญเสียน้ำหนักลดลง 36% อัตราการหายใจลดลง 48.5% และการผลิตเอทิลีนลดลง 27.5% (ที่ climacteric peak หรือวันที่ 5 ของการทดลอง) เมื่อเทียบกับเนื้อทุเรียนที่ไม่ได้เคลือบ ฟิล์มเคลือบสูตรนี้ยังสามารถรักษาคุณภาพของเนื้อทุเรียนให้เป็นที่พอใจแก่ผู้บริโภคเป็นเวลาอย่างน้อย 26 วัน โดยไม่ทำให้เกิดกลิ่นและรสชาติผิดปกติ โดยราคาของวัตถุดิบซึ่งเป็นราคาขายปลีกของสูตร C1 ที่ใช้รวมทั้งหมด เท่ากับ 0.71 บาทต่อเนื้อทุเรียนที่ใช้ 1 กิโลกรัม

5.2 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. การทดสอบฟิล์มเคลือบบริโกลด์กับเนื้อทุเรียน ซึ่งยังไม่มีใครเคยทำมาก่อนทำให้ได้สูตรสารเคลือบสำหรับใช้เคลือบเนื้อทุเรียน และเป็นพื้นฐานในการพัฒนาสูตรสำหรับผลไม้เขตร้อนชนิดอื่น
2. ข้อมูลสมบัติทางกล ความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำ Tg ของฟิล์มที่พัฒนาทั้ง 10 สูตร สามารถใช้เป็นพื้นฐานในการปรับปรุงสูตรต่อไปให้ดีขึ้น
3. เพิ่มความสะดวกสำหรับผู้บริโภค เนื่องจากแนวโน้มการซื้อขายผลไม้ที่ปอกเปลือกแล้วมีปริมาณเพิ่มขึ้น
4. ส่งเสริมการแยกขยะสด ได้แก่ เปลือก มาใช้ประโยชน์
5. ส่งเสริมการเพิ่มมูลค่าวัสดุพอลิเมอร์ชีวภาพ คือ เจลาตินที่ได้จากกระบวนการกำจัดของเสียในโรงฆ่าสัตว์ และอุตสาหกรรมอาหารแห้ง ส่วนโคโคซาน ได้จากกากของเหลือจากอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่แข็ง
6. ส่งเสริมงานเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำหรับผลไม้ในเขตร้อน ได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการทำวิจัย
7. ขยายผลไปยังภาคอุตสาหกรรมอาหาร เช่น ผักที่ตัด หั่น ผลไม้ที่ปอกเปลือกแล้ว ผักผลไม้แช่แข็ง ผลไม้กระป๋อง

5.3 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

เพื่อให้การใช้สูตรสารเคลือบบริโภคน้ำตาลได้มีประโยชน์ในการยืดอายุการเก็บรักษาเนื้อทุเรียนหรือผลไม้ชนิดอื่น อาจใช้ความรู้ที่ได้จากงานวิจัยนี้เป็นพื้นฐานในการปรับปรุงคุณภาพของฟิล์มโดยศึกษาเพิ่มเติมในแง่ต่างๆ ดังนี้

1. ศึกษาผลของความหนาและคุณภาพของเนื้อทุเรียนเมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณสารเคลือบเนื่องจากมีผลต่อการปรับปรุงบรรยากาศ และอัตราผ่านเข้าออกของก๊าซและไอน้ำโดยตรง
2. ทดสอบฟิล์มเคลือบที่ผลิตได้ในการคงคุณภาพเนื้อทุเรียนแช่แข็ง เนื่องจากมีการส่งออกเนื้อทุเรียนแช่แข็งปอกเปลือกแล้วไปยังประเทศต่างๆ เป็นจำนวนมาก เนื้อทุเรียนที่แช่แข็งและตั้งทิ้งไว้ก่อนการรับประทานจะไม่สามารถคงคุณภาพและรสชาติเดิมไว้ได้
3. ทำการทดสอบคุณภาพของเนื้อทุเรียนในระยะเวลาที่ยาวขึ้น หรือจนกว่าจะสังเกตการเน่าเสียอย่างชัดเจนเพื่อให้การวิเคราะห์ผลมีความสมบูรณ์มากขึ้น
4. ลดอัตราส่วนระหว่างเจลาตินและโคโตซานที่ใช้ในฟิล์มเคลือบบริโภคน้ำตาลได้ เพราะอาจเป็นแนวทางในการลดต้นทุนของราคาวัตถุดิบที่ใช้ ทั้งนี้ควรมีการทดสอบกับผลไม้ซ้ำ
5. ทดสอบฟิล์มเคลือบบริโภคน้ำตาลได้กับผลไม้ชนิดอื่นๆ โดยเฉพาะผลไม้เขตร้อนที่ต้องมีการปอกเปลือก ตัด หรือหั่น เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของฟิล์มในการลด browning reaction
6. การใช้สารเคลือบในระดับการค้า ควรมีการตรวจสอบปริมาณจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นเมื่อเก็บรักษาเนื้อทุเรียนในระยะเวลาที่นานขึ้น และศึกษาข้อมูล เกี่ยวกับค่ามาตรฐานของหน่วยงานต่างๆ เช่น กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ที่กำหนดค่าปริมาณจุลินทรีย์ ยีสต์ และราทั้งหมด สำหรับอาหารพร้อมบริโภค

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- จริงแท้ ศิริพานิช. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. 700 เล่ม. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2546.
- จริงแท้ ศิริพานิช และ ชีรนุช ร่มโพธิ์ภักดิ์. การจัดการหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. 7,000 เล่ม. พิมพ์ครั้งที่ 1. นครปฐม: โครงการเกษตรสู่ชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2543.
- จันทนา อึ้งชูศักดิ์. มารู้จักน้ำตาลแอลกอฮอล์. [Online].2547. <http://www.anamai.mbps.go.th/oralhealth/kanom/bank07.php> [2548, เมษายน 30].
- ชลลดา ฤทธิวีรุฬห์. เอกสารประกอบการเรียนวิชาพอลิเมอร์ผสม. กรุงเทพมหานคร: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2545.
- ดารณี ปานขลิบ. การปลูกผลและการเก็บรักษาเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาพืชสวน บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม, 2544.
- ทนง ภัครัชพันธุ์. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของผักและผลไม้ เล่มที่ 1. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2526.
- ไพบุลย์ อินนาจิตร. วิศวกรรมพอลิเมอร์ เล่ม 1. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2538.
- ปฐมพงษ์ อาษาคง และ มณฑนา บันลือศักดิ์. การเตรียมพลาสติกหุ้มไส้กรอกเจลาติน. โครงการงานระดับปริญญาตรี ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.
- ปิยะบุตร วานิชพงศ์พันธุ์. สารมหัศจรรย์ 'ไคติน-ไคโตซาน' ผลงานการวิจัยชิ้นเยี่ยมของ 'มจร.'. [Online].2544. http://digital.lib.kmutt.ac.th/news_content.php?n_id=93#1679 [2548, พฤษภาคม 3]
- รัตเกล้า ภูติวรรณ. การทำให้เกิดโครงร่างตาข่ายของแผ่นฟิล์มไคโตซานด้วยการใช้กลูตารัลดีไฮด์เป็นสารช่วยในการเกิดโครงร่างตาข่าย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวัสดุศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.
- ศุลกากร, กรม. ปริมาณการส่งออกผลไม้ประจำปี พ.ศ. 2546. กรุงเทพมหานคร: กรมศุลกากร, 2547.

ส่งเสริมการเกษตร, กรม. สถิติการปลูกไม้ผลไม้ยืนต้น. กรุงเทพมหานคร: กองแผนงาน กรมส่งเสริมการเกษตร, 2543.

ส่งเสริมการส่งออก, กรม. การจัดการหลังเก็บเกี่ยวผักผลไม้สดเพื่อการแปรรูป.

กรุงเทพมหานคร: สำนักบริการการส่งออก กรมส่งเสริมการส่งออก, 2546.

สายชล สิ้นสมบูรณ์ทอง. การวางแผนการตลาดทางการเกษตร. พิมพ์ครั้งที่ 2.

กรุงเทพมหานคร: โครงการตำรา คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2546.

สุชีรา วัฒนกุล. การยืดอายุการเก็บรักษาผลทุเรียนสดและเนื้อทุเรียนพร้อมรับประทาน.

วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2546.

สุชีรา เขียงยุคดีสากล. การเก็บรักษาผลและเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองที่หุ้มด้วยฟิล์ม.

วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาพืชสวน บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม, 2537.

สุรัตน์ สุดพันธ์. การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อทุเรียนพันธุ์ชะนีและพันธุ์หมอนทองภายหลังการเก็บเกี่ยว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาพืชสวน

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม, 2536.

สุรพงษ์ โกสิยจินดา. วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวของเงาะ มังคุด ทุเรียน. เคหการเกษตร

10(115): 37-41, 2529.

สุรพล อุปติสสกุล. สถิติการวางแผนการตลาดเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 2.

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2523.

อิทธิพล แจ่มชัด. พอลิเมอร์ฟลิคส์. กรุงเทพมหานคร: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ

ทหารลาดกระบัง, 2543.

อรสา สรวารี. สารเติมแต่งพอลิเมอร์ เล่ม 1, 2,000 เล่ม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร:

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.

เอกสารประกอบการฝึกอบรมวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวพืชสวน. 26 – 30 ตุลาคม 2547.

ภาษาอังกฤษ

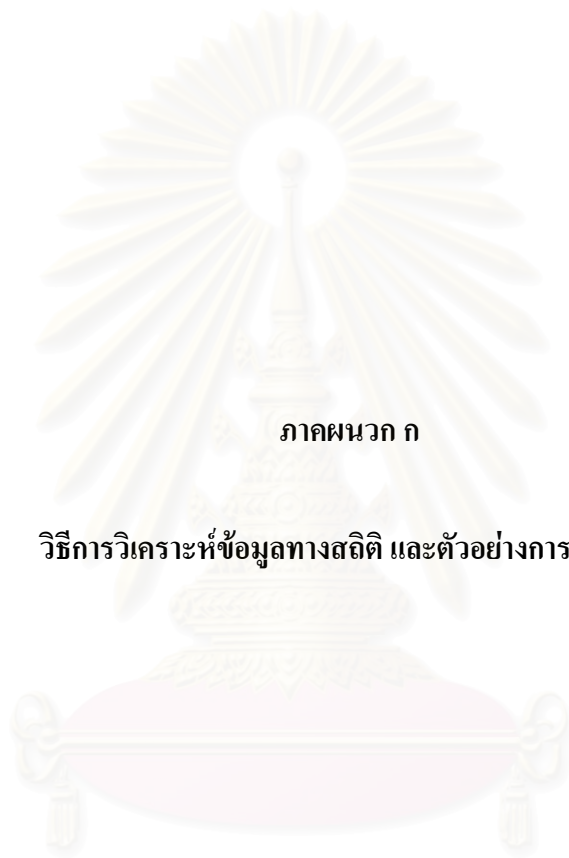
- Abrusci, C., Martin – Gonzalez, A., Del Amo, A., Catalina, F., Bosch, P., and Corrales, T. Chemiluminescence study of commercial type – B gelatins. Journal of Photochemistry and Photobiology. 163 (2003): 537-546.
- Arvanitoyannis, I. S., Nakayama, A., and Aiba, S. Chitosan and gelatin based edible films: state diagrams, mechanical and permeation properties. Journal of Carbohydrate Polymers. 37 (1998): 371-382.
- Aydinli, M., Tutas, M. and Bozdemir, A., O. Mechanical and light transmittance properties of locust bean gum based edible films. Journal of Turk Chem. 28 (2003): 163-171.
- Ayranci, E., and Tunc, S. A method for the measurement of the oxygen permeability and the development of edible films to reduce the rate of oxidative reactions in fresh foods. Journal of Food Chemistry. 80 (2003): 423-431.
- Bai, J., Alleyne, V., Hagenmaier, R.D., Mattheis, J.P., and Baldwin, E.A. Formulation of zein coatings for apples (*Malus domestica* Borkh). Journal of Postharvest Biology and Technology. 100 (2003):1-10.
- Barreto, P. L. M., Pires, A. T. N., and Soldi, V. Thermal degradation of edible films based on milk proteins and gelatin in inert atmosphere. Journal of Polymer Degradation and Stability. 79 (2003):147-152.
- Beuchat, L.R. and Golden, D.A. Antimicrobial occurring naturally in foods. Food Technol. 43 (1) (1989): 134-142.
- Bozdemir, O.A., and Tutas, M. Plasticizer effect on water vapor permeability properties of locust bean gum based-edible films. Journal of Turk Chem. 27 (2003): 773-782.
- Cade, D., Colmar, Madit, N., Mulhouse, Warner-Lambert Company and Morris Plains, N.J. Process for stabilizing gelatin products. Patent of United States. US 5,620,704, 1997.
- Cervera, M. F., Hoinamaki, J., Krogars, K., Jorgensen, A. C., Karjalainen, M., Colarte, A. J., and Yliruusi, J. Solid – state and mechanical properties of aqueous chitosan – amylase starch films plasticized with polyols. Journal of Pharm Sci Tech. 5(1) (2004): 1-6.

- Dalwoo-chitosan. Structure of chitin/chitosan and cellulose. [Online]. 2002. Available From: <http://dalwoo.com/chitosan/struture.htm> [2003, November 25]
- Donald, V. Rosato, and Dominick, V. Rosato. Plastics processing data handbook. Van Nostrand Reinhold, 1989.
- Dong, H., Cheng, L., Tan, J., Zheng K., Jiang Y. Effect of Chitosan coating on quality and shelf-life of peel litchi fruit. Journal of Food Engineering. 64 (2004):355-358.
- Francis - Suh, J. K., and Matthew, H. W. T. A review: Application of chitosan – based polysaccharide biomaterials in cartilage tissue engineering. Journal of Biomaterial. 21 (2000): 2589-2598.
- Gan, Z., Liang, Q., Zhang, J., and Jing, X. Enzymatic degradation of poly(ϵ -caprolactone) film in phosphate buffer solution containing lipase. Polymer Degradation and Stability. 56 (1997): 209-213.
- Geltech. Co., Ltd. Gelatin structure. [Online]. 2000. Available from: <http://www.geltech.co.kr/htm/image/a1-5.gif> [2003, November 25]
- Gennadios, A., Hanna, M. A., and Kurth, L. B. A review: Application of edible coatings on meats, poultry and seafood. Journal of Lebensm – Wiss. U. Technol.30 (1997): 337-350.
- Gennadios, A., McHugh, T. H., Weller, C. L. and Krochta, J. M. Edible coatings and films based on protein. In J. M. Krochta E. A. Baldwin and M. O. N. Carriedo (eds), Edible coatings and films to improve food quality, pp. 201-269. Pennsylvania: Technomic, 1994.
- Guilbert, S., Gontard, N. and Gorris, L. G. M. A review article: Prolongation of the shelf – life of perishable food products using biodegradable films and coatings. Journal of Lebensm. – Wiss. U. Technol. 29 (1996): 10-17.
- Han, C., Zhao, Y., Leonard, H.W., and Traber, M.G. Edible coatings to improve stability and enhance nutritional value of fresh and frozen strawberries (*Fragaris x ananassa*) and Raphberries (*Rubus ideaus*). Journal of Postharvest Biology and Technology. 33 (2004): 67-78.
- Hartman, J., and Isenberg, F.,M. Waxing vegetables. New York Agric. Ext. Ser. Bull. No. 965. (1956)

- Hatakeyama, T., and Quinn, F.X. Thermal analysis: fundamental and applications to polymer science. John Wiley & Sons Ltd., 1994.
- Imsabai, W., Ketsa, S., and Doorn, W. G. Effect of temperature on softening and the activities of polygalacturonase and pectinesterase in durian fruit. Journal of Postharvest Biology and Technology. 26 (2002):347 – 351.
- Iverson, E., C., Ager, P., S., and CH₂O Incorporated. Method of coating food products and a coating composition. Patent of United States. US 6,586,029 B1, 2003.
- Jangchud, A., and Chinnan, M. S. Properties of peanut protein film: sorption isotherm and plasticizer effect. Journal of Lebensm-Wiss U technol. 32 (1999): 89-94.
- Jiang, Y., and Li, Y. Effect of chitosan coating on postharvest life and quality of longan fruit. Journal of Food Chemistry. 73 (1997): 139-143.
- Jo, C., Kang, H., Lee, N. Y., Kwon, J. H., Byun, M. W. Pectin- and gelatin-based film: effect of gamma irradiation on the mechanical properties and biodegradation. Journal of Radiation Physics and Chemistry. (2004): 1-6.
- Ketsa, S., and Daengkanit, T. Firmness and activities of polygalacturonase, pectinesterase, β - galactosidase and cellulase in ripening durian harvested at different stages of maturity. Journal of Scientia Horticulture. 80 (1999a):181 – 182.
- Ketsa, S., and Daengkanit, T. Softening of durian cultivars. Journal of Plant Physiol. 154 (1999b):408-411.
- Kester, J. J., and Fennema, O. R. An edible film of lipids and cellulose ethers: Barrier properties to moisture vapor transmission and structural evaluation. J. Food Sci. 50 (1989):1382-1389.
- Khan, T. A., Peh, K. K., and Chang, H. S. Mechanical bioadhesive strength and biological evaluations of chitosan films for wound dressing. J. Pharmaceut Sci. 3(3) (2000):303 – 311.
- Lazaridou, A., and Biliaderis, C. G. Thermophysical properties of chitosan, chitosan – starch and chitosan – pullulan films near the glass transition. Journal of Carbohydrate Polymers. 48 (2002):179 – 190.

- Liu, X.F., Guan, Y.L., Yang, D.Z., Li, Z., Yao K.D. Antibacterial action of chitosan and carboxymethylated chitosan. Journal of Applied Polymer Science. 79 (2001): 1324 – 1335.
- Long, J. K., and Leggo, D. Waxing citrus fruit. CSIRO Food Preserve. Quart. 19 (1959): 32-37.
- Miller, T., A., and Limited, D. Method for preparing edible casings and compositions thereof. Patent of United States. US5,622,740, 1997.
- Muzzarelli, C. and Muzzarelli, R.A.A.: Chitin related science today (and two centuries ago): special highlight: Chitin/Chitosan. AGRO Food Industry. (September/October 2003) : 39-41.
- Ninomiya, H., Suzuki, S., Ishii, K., and Mitsubishi Rayon Co., Ltd. Edible film and method of making same. Patent of United States. US5,620,757,1997.
- Park H.J. Development of advanced edible coatings for fruits. Trends in Food Science and Technology. 10 (1999):254-260.
- Pen, L. T., and Jiang, Y. M. Effect of chitosan coating on shelf -life and quality of fresh cut chinese water chestnut. Journal of Lebensm-Wiss U Technol. 36 (2003):359-364.
- Petersen, K., Nielsen, P. V., Bertelsen, G., Lawther, M., Olsen, M. B., Nilsson, N. H., and Mortensen, G. A review: Potential of biobased materials for food packaging. Journal of Food Science and Technology. 10 (1999): 52-68.
- Sakurai, K., Maegawa, T., and Takahashi, T. Glass transition temperature of chitosan and miscibility of chitosan/poly (N – vinyl pyrrolidone) blends. Journal of Polymer. 41 (2000): 7051-7056.
- Salakpetch, S.: Durian production in thailand. Chanthaburi: Horticultural Research Center, 2000.
- School of life sciences. Carbohydrate. [Online]. Available from: http://www.lifesci.sussex.ac.uk/teaching/c7024/SJ-lect2_05.ppt [2003, November 25]
- Sobral, P. J. A., Menegalli, F. C., Hubinger, M. D., and Roques, M. A. Mechanical, water vapor barrier and thermal properties of gelatin based edible films. Journal of Food Hydrocolloids. 15 (2001): 423-432.

- Whistler, R. L. and Daniel, J. R. Functions of polysaccharides in foods. In A.L. Branen, P. M. Davidson, and S. Salminen (eds.), Food additives, pp.395-424. New York: Marcel Dekker, 1990.
- Whistler, R.L. Introduction to industrial short course 18th AACC short course on gum chemistry and technology, November 6-8. Chicaco, 1991.
- Wiley, R.C. Minimally processed refrigerated fruit and vegetable. pp. 368. New York: Chapman & Hall, Inc., 1994.
- Xu, S., Xu, L., D., Chen, X. Determining optimum edible films for kiwifruits using an analytical hierarchy process. Journal of Computers and Operations Research, 2003
- Yang, L. and Paulson, A. T. Mechanical and water vapor barrier properties of edible gellan films. Journal of Food Research International. 33 (2000): 563-570.
- Zhang, D. and Quantick, P. C. Effects of chitosan coating on enzymatic browning and decay during postharvest storage of litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) fruit. Journal of Postharvest Biology and Technology. 12 (1997): 195-202.



ภาคผนวก ก

วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ และตัวอย่างการคำนวณ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติที่ใช้ในการทดลอง

ก.1 การวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์

เป็นแบบที่สะดวก และง่ายที่สุด โดยที่เป็นการจัดทริทเมนต์ให้แก่หน่วยทดลองซึ่งเป็นไปอย่างสุ่มเพื่อไม่ให้เกิดความเอนเอียงในการทดลอง แต่ละทริทเมนต์อาจจะมีจำนวนซ้ำได้หลายครั้ง และจำนวนซ้ำในแต่ละทริทเมนต์อาจเท่ากันหรือไม่เท่ากันก็ได้ โดยปกติมักจะใช้จำนวนซ้ำเท่ากันเพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์ข้อมูล การวางแผนการทดลองแบบนี้เมื่อหน่วยทดลองมีความสม่ำเสมอกัน หน่วยทดลองแต่ละหน่วยมีโอกาสที่จะได้รับทริทเมนต์ต่างๆเท่ากัน (สายชล สตินสมบูรณ์ทอง, 2546)

ก.2 การวิเคราะห์ข้อมูลแบบ ANOVA (Analysis of Variance)

ใช้กับงานวิจัยที่ต้องการเปรียบเทียบผลระหว่างหลายๆกลุ่ม ตั้งแต่ 3 กลุ่มขึ้นไปมีชื่อเรียกว่าการวิเคราะห์ความแปรปรวน ซึ่งเรียกย่อๆ ว่า ANOVA ในการทดลองใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลส่วนการทดสอบสมบัติทางกายภาพของฟิล์มเคลือบบริโกลได้ และการทดสอบประสิทธิภาพของฟิล์มเคลือบบริโกลได้ที่ได้รับการคัดเลือก โดยการเคลือบฟิล์มลงบนเนื้อทุเรียน ตรวจสอบว่าตัวแปรอิสระ 1 ตัวในที่นี้คือสูตรสำหรับเคลือบซึ่งแบ่งออกเป็น 5 ทริทเมนต์ จะส่งผลแตกต่างกันหรือไม่ มีปัจจัยที่ศึกษาเพียงปัจจัยเดียวคือที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส และมีตัวแปรตาม 1 ตัว คือผลของการยืดอายุการเก็บรักษาเนื้อทุเรียนสด โดยการตรวจสอบคุณภาพของเนื้อทุเรียน

ความเข้าใจพื้นฐานเกี่ยวกับการวิเคราะห์

1. ในการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มหลายๆ กลุ่ม จะมีความแปรปรวนที่ต้องคำนวณอยู่ 2 ตัว คือ ความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม และความแปรปรวนภายในกลุ่ม
2. สมมติฐานไร้นัยสำคัญ (Null hypothesis) จะเป็นดังนี้

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k$$
 (เมื่อ k คือจำนวนทริทเมนต์ และ μ คือค่าเฉลี่ย)
3. สูตรที่ใช้ในการทดสอบ คือ F - ratio โดยคำนวณค่า F ที่ได้จากสูตรเปรียบเทียบกับ F ที่เปิดได้จากตารางถ้าพบว่า F คำนวณมากกว่า F ตารางก็จะปฏิเสธ H_0 และยอมรับ H_1 สรุปได้ว่ามีค่าเฉลี่ยอย่างน้อย 1 คู่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ ก.1: รูปแบบข้อมูลของการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ที่มีจำนวนซ้ำเท่ากัน

ค่าสังเกต	ทรีทเมนต์					
	1	2	...	j	...	k
1	X_{11}	X_{12}		X_{1j}		X_{1k}
2	X_{21}	X_{22}		X_{2j}		X_{2k}
·	·	·		·		·
·	·	·		·		·
n	X_{n1}	X_{n2}		X_{nj}		X_{nk}
ผลรวม	X_1	X_2		X_3		X_4

โดยที่ X_1, X_2, X_3 และ X_4 คือ ผลรวมของแต่ละทรีทเมนต์ โดยทรีทเมนต์สำหรับงานวิจัยนี้คือสูตรที่ใช้ในการเคลื่อนเนื้อทุเรียน 4 สูตร และเนื้อทุเรียนที่ไม่ได้เคลื่อน ดังนั้นทรีทเมนต์ที่ใช้ทั้งหมดในงานวิจัยนี้คือ 5 ทรีทเมนต์ หรือกล่าวง่าย ๆ คือการจัดสิ่งทดลองทั้ง 5 ชนิดให้กับหน่วยทดลองซึ่งในที่นี้ คือ เนื้อทุเรียน

X_{11} หมายความว่า เป็นข้อมูลตัวที่ 1 ของกลุ่มตัวอย่างกลุ่มที่ 1

สูตรการทดสอบ

$$F = \frac{MS_B}{MS_W}$$

โดยที่ MS_B คือ Mean square between- group

MS_W คือ Mean square within- group

ตารางที่ ก.2: สูตรการวิเคราะห์ความแปรปรวน เมื่อ n ในแต่ละกลุ่มตัวอย่างเท่ากัน

ตัวแปร	องศาความเป็นอิสระ	ผลรวม	ค่าเฉลี่ย	F
ระหว่างกลุ่ม	$k-1$	$SS_B = \frac{\sum_{j=1}^k T_j^2}{n_j} - \frac{T^2}{N}$	$MS_B = \frac{SS_B}{k-1}$	$F = \frac{MS_B}{MS_W}$
ภายในกลุ่ม	$k(n-1)$	$SS_W = SS_T - SS_B$	$MS_W = \frac{SS_W}{k(n-1)}$	
รวม	$nk - 1$	$SS_T = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} X_{ij}^2 - \frac{T^2}{N}$		

โดยที่ T_j = ผลรวมของค่า n ค่าในแต่ละทริทเมนต์

$\sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} X_{ij}^2$ = ผลรวมของค่าแต่ละตัวยกกำลังสองทุกๆค่าในทุกกลุ่มตัวอย่าง

n_j = จำนวนซ้ำในแต่ละกลุ่มตัวอย่าง

k = จำนวนทริทเมนต์

N = จำนวนค่าที่ได้รับทั้งหมด

T = ผลรวมของค่าที่ได้ทั้งหมด

T^2 = ผลรวมของค่าที่ได้ทั้งหมดยกกำลังสอง

นิยาม 1 องศาความเป็นอิสระ (degree of freedom) หรือ df. คือ เลขจำนวนเต็มบวก ที่บอกว่ามีค่าของตัวแปรสุ่มที่เหลืออยู่ที่ค่า ที่นำมาสร้างค่าสถิติแล้วสามารถเปลี่ยนแปลง หรือ กำหนดค่าได้อย่างอิสระ องศาความเป็นอิสระในการทดลองนี้จึงเท่ากับ $nk - 1$ หรือจำนวนตัวอย่างทั้งหมดลบด้วย 1

ขั้นตอนการทดสอบ

ขั้นที่ 1 ตั้งสมมติฐาน H_0 และ H_1 ดังนี้

H_0 : $\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k$ (เมื่อ k คือจำนวนทริทเมนต์, μ = ค่าเฉลี่ยของแต่ละทริทเมนต์)

H_1 : อย่างน้อยที่สุดมีค่าเฉลี่ยของสองทริทเมนต์ไม่เท่ากัน

ขั้นที่ 2 กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติ

ขั้นที่ 3 คำนวณค่า F จากสูตร $F = \frac{MS_B}{MS_W}$

ขั้นที่ 4 หาค่า F จากตาราง ซึ่งต้องทราบค่าดังต่อไปนี้

- 1) α ซึ่งโดยทั่วไปนิยมตั้งที่ระดับ 0.05 และ 0.01
- 2) df ของ MS_B $df_1 = k-1$
- 3) df ของ MS_W $df_2 = N-k$

ขั้นที่ 5 เปรียบเทียบค่า F ที่คำนวณได้กับค่า F ที่ได้จากรายการ

ขั้นที่ 6 สรุปผล

การสรุปผล และแปลความหมาย

ลักษณะที่ 1 ถ้า F คำนวณน้อยกว่า F ตารางจะยอมรับ H_0 ในกรณีที่เป็นการวิจัยเชิงทดลอง ก็จะสรุปได้ว่าตัวแปรอิสระแต่ละประเภทที่จัดกระทำให้กลุ่มตัวอย่างต่าง ๆ นั้น ให้ผลแตกต่างกัน อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ หรือกล่าวให้เข้าใจง่ายๆว่า ตัวแปรอิสระประเภทต่างๆ เหล่านี้ให้ผล คล้ายคลึงกัน

ลักษณะที่ 2 ถ้าพบว่า F คำนวณมากกว่า F ตารางก็จะปฏิเสธ H_0 และยอมรับ H_1 สรุปได้ว่า มีค่าเฉลี่ยอย่างน้อย 1 คู่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งจะต้องทดสอบอีกครั้งหนึ่งเพื่อหาว่า ค่าเฉลี่ยคู่ใดบ้างที่แตกต่างกัน ดังจะได้กล่าวถึงต่อไป

ก.3. การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์ (comparisons of treatment means)

ในการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ เราได้วิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้ค่าสถิติ ทดสอบเอฟในการทดสอบ ถ้าค่าสถิติทดสอบเอฟไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่าไม่มีค่าเฉลี่ย ของทรีทเมนต์คู่ไหนเลยที่มีความแตกต่างกัน แต่ถ้าค่าสถิติทดสอบเอฟมีนัยสำคัญทางสถิติ ก็แสดง ว่ามีค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์อย่างน้อย 1 คู่ ที่มีความแตกต่างกัน การสรุปผลที่ได้จากการวิเคราะห์ ความแปรปรวนนี้ยังไม่สามารถบอกได้ว่ามีทรีทเมนต์คู่ไหนบ้างที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกัน จึงต้องทำ การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์ต่อไป ในการทดลองใช้เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของสูตรต่างๆ ที่ ได้ผลิตขึ้นมาในส่วนที่ 1 และเนื้อทุเรียนที่ไม่ได้เคลือบ และเนื้อทุเรียนที่เคลือบด้วยสูตร 4 สูตร ซึ่ง ใช้เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนในขั้นตอนแรกแล้วมีความแตกต่าง โดยมีการเปรียบเทียบความ ทนแรงดึง การยึดตัว ความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำ ระหว่างสูตร A1, A2 และ A3 ระหว่างสูตร B1, B2 และ B3 หรือระหว่างสูตร C1, C2, C3 และ C4 การสูญเสียน้ำหนัก อัตราการ หายใจ การผลิตเอทิลีน และคุณภาพในการรับประทาน

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์เป็นคู่ๆ (comparing pairs of treatment means)

เป็นการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์เป็นคู่ๆ โดยจะกระทำเมื่อค่าสถิติทดสอบเอฟในตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ใช้การทดสอบแบบพิสัยเชิงพหุของคันแคน (Duncan's new multiple range test) ในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์เป็นคู่ๆ นิยมใช้ Duncan ในกรณีที่มีทรีทเมนต์จำนวนมากและต้องการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์ทั้งหมดในคราวเดียวกัน โดยมีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

1. จัดเรียงค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์จากน้อยไปหามาก
2. หาผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยแต่ละคู่ ${}^nC_2 = n(n-1)/2$ ($n =$ จำนวนกลุ่ม)
3. คำนวณค่าสถิติที่ใช้ในการทดสอบ คือ

$$LSR_{\alpha} = r_{\alpha}(p, f) \sqrt{\frac{MS_w}{2} \left(\frac{1}{r_i} + \frac{1}{r_j} \right)} \quad ; \quad r_i \neq r_j$$

$$LSR_{\alpha} = r_{\alpha}(p, f) \sqrt{\frac{MS_w}{r}} \quad ; \quad r_i = r_j$$

เมื่อ $r_{\alpha}(p, f)$ คือ ค่าวิกฤติของพิสัยของ Duncan ที่ระดับนัยสำคัญ α โดยที่ p คือ จำนวนค่าเฉลี่ยในช่วงการเปรียบเทียบ ซึ่งเท่ากับผลต่างของอันดับ $+1$ และมีจำนวนองศาความเป็นอิสระของความคลาดเคลื่อนเท่ากับ f

MS_w คือ ค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อนในตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน

r_i, r_j คือ จำนวนซ้ำของทรีทเมนต์ i และ j ที่ต้องการเปรียบเทียบตามลำดับ

4. เปรียบเทียบผลต่างของค่าเฉลี่ยสูงสุดและค่าเฉลี่ยต่ำสุดกับค่า LSR ถ้าผลต่างนั้นมีค่ามากกว่า LSR แสดงว่าค่าเฉลี่ยในช่วงนั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
5. ถ้าผลต่างนั้นยังมีค่ามากกว่า LSR ให้ทำต่อไปเรื่อยๆ คือเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสูงสุดและค่าเฉลี่ยถัดขึ้นมาจากการเปรียบเทียบครั้งก่อน จะหยุดการเปรียบเทียบก็ต่อเมื่อผลต่างนั้นมีค่าน้อยกว่า LSR และสรุปว่าค่าเฉลี่ยที่อยู่ในช่วงนั้นไม่แตกต่างกัน

6. เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสูงสุดของแต่ละค่าเฉลี่ยอื่นๆหมดแล้ว ก็ให้เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรองสูงสุดกับค่าเฉลี่ยอื่นๆ ทำเช่นนี้ต่อไปเรื่อยๆ
7. จัดกลุ่มค่าเฉลี่ยตามความแตกต่างโดยใช้สัญลักษณ์ที่แตกต่างกัน

ก.4 ตัวอย่างการคำนวณการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติในส่วนการทดสอบสมบัติทางกายภาพของฟิล์มเคลือบบริโกลไค

ยกตัวอย่างข้อมูลความทนแรงดึงของสูตร A1, A2 และ A3 โดยมีข้อมูลแสดงดังตารางที่ ก.

3

ตารางที่ ก.3: ข้อมูลความทนแรงดึงของสูตร A1, A2 และ A3 เมื่อมีจำนวนซ้ำในการทดลองเท่ากับ

5

ค่าที่/สูตรที่	ความทนแรงดึง (MPa)		
	A1	A2	A3
1	11.56	8.852	2.768571
2	15.03	9.26	2.801429
3	12.475	8.472	2.490714
4	13.43	8.92	2.054286
5	11.98	9.06	1.88
ผลรวม	64.475	44.564	11.995
ค่าเฉลี่ย	12.895	8.9128	2.399

แสดงขั้นตอนดังนี้

1. องศาความเป็นอิสระระหว่างกลุ่ม = $k-1 = 3-1 = 2$ (k คือจำนวนกลุ่มตัวอย่างเท่ากับ 5)
2. องศาความเป็นอิสระภายในกลุ่ม = $k(n-1) = 3 \times (5-1) = 12$ (n คือจำนวนซ้ำในแต่ละกลุ่มเท่ากับ 5)
3. คำนวณผลรวมทั้งหมดที่ใช้ในการทดลองยกกำลังสองจากสูตรคือค่า T^2

$$= (64.475 + 44.564 + 11.995)^2 = (121.034)^2$$

$$= 14649.22916$$

จากนั้นหา $T^2/N = 14649.22916/15 = 976.6152771$ (โดย N เป็นจำนวนค่าสังเกตทั้งหมด)

4. คำนวณผลบวกของ(ผลรวมของแต่ละทริทเมนต์)² จากสูตรคือค่า $\sum_{j=1}^k T_j^2$

โดยที่ T_j แต่ละกลุ่มเท่ากับ 64.475, 44.564 และ 11.995

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น} &= (64.475)^2 + (44.564)^2 + (11.995)^2 \\ &= 4157.025625 + 1985.950096 + 143.880025 \end{aligned}$$

$$\sum_{j=1}^k T_j^2 = 6286.855746$$

$$\text{จากนั้นหา } \frac{\sum_{j=1}^k T_j^2}{n} = 6286.855746/5 = 1257.371149$$

$$5. \text{ คำนวณหา } SS_B \text{ หรือ sum square between group จาก } SS_B = \frac{\sum_{j=1}^k T_j^2}{n_j} - \frac{T^2}{N}$$

$$\text{ดังนั้น } SS_B = 1257.371149 - 976.6152771 = 280.7558721$$

$$6. \text{ คำนวณผลบวกของ(ข้อมูลจากแต่ละหน่วยทดลอง)² จากสูตรคือค่า } \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} X_{ij}^2$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น} &= (11.56)^2 + (8.852)^2 + (2.768571429)^2 + (15.03)^2 + (9.26)^2 + (2.801428571)^2 + (12.475)^2 + \\ &(8.472)^2 + (2.490714286)^2 + (13.43)^2 + (8.92)^2 + (2.054285714)^2 + (11.98)^2 + (9.06)^2 + (1.88)^2 \end{aligned}$$

$$\sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} X_{ij}^2 = 1266.04685$$

$$7. \text{ คำนวณหา } SS_T \text{ หรือ sum square total จาก } SS_T = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} X_{ij}^2 - \frac{T^2}{N}$$

$$\text{ดังนั้น } SS_T = 1266.04685 - 976.6152771 = 289.4315732$$

$$8. \text{ คำนวณหา } SS_W \text{ หรือ sum square within group จาก } SS_W = SS_T - SS_B$$

$$\text{ดังนั้น } SS_W = 289.4315732 - 280.755872 = 8.675701045$$

$$9. \text{ คำนวณหา } MS_B \text{ หรือ Mean square between- group จาก } MS_B = \frac{SS_B}{k-1}$$

$$\text{ดังนั้น } MS_B = 280.7558721/2 = 140.3779361$$

$$10. \text{ คำนวณหา } MS_W \text{ หรือ Mean square within- group จาก } MS_W = \frac{SS_W}{k(n-1)}$$

$$\text{ดังนั้น } MS_W = 8.675701045/12 = 0.7229751$$

$$11. \text{ คำนวณหาค่า } F \text{ คำนวณ จาก } F = \frac{MS_B}{MS_W}$$

$$\text{ดังนั้น } F = 140.3779361/0.7229751 = 194.16704$$

12. เปิดค่า F ตารางจากตารางค่า F (สุรพล อุปดิษฐกุล, 2523) ที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 โดยองศาความเป็นอิสระของ MS_B หรือ $df_1 = k-1 = 2$ และองศาความเป็นอิสระของ MS_W หรือ $df_2 = k(n-1) = 3(5-1) = 12$

ดังนั้น $F_{0.05(2,12)} = 3.89$

13. สรุปผลได้ว่า F จำนวนที่คำนวณได้เท่ากับ 194.16704 ซึ่งมากกว่า F ตารางซึ่งเท่ากับ 3.89 ดังนั้น F จำนวนมากกว่า F ตาราง สรุปได้ว่ามีค่าเฉลี่ยอย่างน้อย 1 คู่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งจะต้องทดสอบอีกครั้งหนึ่งเพื่อหาค่าเฉลี่ยคู่ใดบ้างที่แตกต่างกัน โดยใช้การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทริทเมนต์เป็นคู่ๆ และใช้วิธีของคันแคน (Duncan's new multiple range test) ในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทริทเมนต์เป็นคู่ๆ

14. เรียงค่าเฉลี่ยจากน้อยไปหามาก ดังนี้

(1)	(2)	(3)
2.399	8.9128	12.895

15. จำนวนหาจำนวนที่ใช้เปรียบเทียบว่าใช้กี่คู่จาก ${}^nC_2 = n(n-1)/2$ ($n =$ จำนวนกลุ่ม)

ดังนั้น $= (3 \times 2)/2 = 3$ คู่

16. จำนวนค่าสถิติที่ใช้ในการทดสอบ คือ $LSR_\alpha = r_\alpha(p, f) \sqrt{\frac{MS_w}{r}}$

(LSR คือ least significant ranges) โดยอาศัยตาราง Significant Studentized ranges, SSR ในหนังสือสถิติทั่วไป

โดยที่ p ในที่นี้ คือ จำนวนค่าเฉลี่ยในช่วงการเปรียบเทียบ ซึ่งเท่ากับผลต่างของอันดับ +1 นั่นคือเท่ากับ 2 และ 3 เช่น ข้อมูลนี้มี 3 กลุ่มเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของข้อมูลชุดที่ 3 กับ ข้อมูลที่ 1 ผลต่างของ 3 กับ 1 คือ 2 บวกเข้าไปอีก 1 คือ 3 หรือถ้าจะเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลชุดที่ 2 กับข้อมูลชุดที่ 1 ผลต่างของ 2 กับ 1 คือ 1 บวกเข้าไปอีก 1 คือ 2 ทำอย่างนี้เรื่อยๆจนครบ 3 กลุ่มที่ต้องการเปรียบเทียบค่าสูงสุดที่ได้ก็คือ 3 นั่นเอง

f ในที่นี้ คือ องศาความเป็นอิสระภายในกลุ่มเท่ากับ $k(n-1) = 3 \times (5-1) = 12$

r ในที่นี้ คือ จำนวนซ้ำในแต่ละทริทเมนต์

α ในที่นี้ คือ ระดับนัยสำคัญ = 0.05

$$\sqrt{\frac{MS_w}{r}} = \sqrt{\frac{0.7229751}{5}} = 0.3802565$$

p	2	3
$r_{0.05(p,12)}$	3.08	3.23
$LSR_{0.05}$	1.171190067	1.228228544

17. เปรียบเทียบผลต่างของค่าเฉลี่ยสูงสุดและค่าเฉลี่ยต่ำสุดกับค่า LSR ถ้าผลต่างนั้นมีค่ามากกว่า LSR แสดงว่าค่าเฉลี่ยในช่วงนั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แสดงดังตารางที่ ก.5

ตารางที่ ก.4: การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างสูตร A1, A2 และ A3

ผลต่างของค่าเฉลี่ยชุดที่	ผลต่างของค่าเฉลี่ยที่คำนวณได้		$LSR_{0.05}$
(3) – (1)	10.496	>	>1.228228544*
(3) – (2)	3.9822	>	>1.171190067*
(2) – (1)	6.5138	>	>1.171190067*

* ค่าเฉลี่ยในช่วงนั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

18. เพื่อให้เห็นการเปรียบเทียบอย่างชัดเจน ได้มีการใส่ตัวอักษรกำกับไว้ดังนี้

(1)	(2)	(3)
c	b	a

19. ดังนั้นจากข้อมูลความทนแรงดึงของสูตร A1, A2 และ A3 จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติสามารถสรุปได้ว่า การใส่ซอร์บิทอลลงไปปริมาณที่แตกต่างกันส่งผลให้ค่าความทนแรงดึงที่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) คือฟิล์มเคลือบบริโกลได้จากเจลาตินเมื่อใส่ซอร์บิทอลในปริมาณที่เพิ่มขึ้นทำให้ฟิล์มมีความทนแรงดึงที่น้อยลง โดยสูตร A3 มีความทนแรงดึงน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับสูตร A2 และ A1

20. แสดงค่า F จำนวนของข้อมูลความทนแรงดึง การยึดตัว และความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำเปรียบเทียบกับ F ตารางที่ได้ดังตาราง ก.5 และเปรียบเทียบกับ F ที่เปิดได้จากตาราง

ตารางที่ ก.5: สรุปค่า F จำนวนที่ได้ของข้อมูลความทนแรงดึง การยืดตัว และความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำเปรียบเทียบกับ F ตารางที่ได้

สูตร	F จำนวน			F ตาราง
	ความทนแรงดึง	การยืดตัว	ความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำ	
ฟิล์มเคลือบ บริโกลได้จากเจ ลาตินสูตร A1, A2 และ A3	194.16704*	46.598794*	6.9749166*	3.89
ฟิล์มเคลือบ บริโกลได้จากไค โตซานสูตร B1, B2 และ B3	7.8493397*	126.64749*	63.223948*	3.89
ฟิล์มเคลือบ บริโกลได้ ระหว่างเจลาติน และไคโตซาน สูตร C1, C2, C3 และ C4	2.981217	4.5647432*	10.902151*	3.24

หมายเหตุ * F จำนวน > F ตาราง นั่นคือข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ก.5 ตัวอย่างการคำนวณการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติในส่วนของ การทดสอบประสิทธิภาพของฟิล์มเคลือบบริโกลได้

ยกตัวอย่างข้อมูลการสูญเสียน้ำหนักในวันที่ 22 ของการเก็บรักษา โดยมีข้อมูลแสดงดังตารางที่ ก.6

ตารางที่ ก.6: รูปแบบข้อมูลของการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ของการสูญเสียน้ำหนักในแต่ละทรีทเมนต์และการคำนวณค่าต่างๆเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีจำนวนซ้ำเท่ากัน

Day 22 ค่าสังเกต	ทรีทเมนต์ (%)				
	ไม่เคลือบ	A3	B2	C1	C2
1	2.642892381	1.787192934	1.656907936	1.472392638	1.633415004
2	2.394056136	1.652574942	1.662122944	1.655113877	1.946041575
3	2.237211166	1.883908577	2.032719654	1.52221654	1.76044011
4	2.417744927	1.756356009	1.782310234	1.550869465	1.772490276
ผลรวม	9.691904611	7.080032463	7.134060768	6.200592521	7.112386964
ค่าเฉลี่ย	2.422976153	1.770008116	1.783515192	1.55014813	1.778096741

แสดงขั้นตอนดังนี้

1. องศาความเป็นอิสระระหว่างกลุ่ม = $k-1 = 5-1 = 4$ (k คือจำนวนกลุ่มตัวอย่างเท่ากับ 5)
2. องศาความเป็นอิสระภายในกลุ่ม = $k(n-1) = 5 \times (4-1) = 15$ (n คือค่าสังเกตในแต่ละกลุ่มเท่ากับ 4)
3. ค่ารวมผลรวมทั้งหมดที่ใช้ในการทดลองยกกำลังสองจากสูตรคือค่า T^2

$$= (9.691904611 + 7.080032463 + 7.134060768 + 6.200592521 + 7.112386964)^2 = (37.21897733)^2 = 1,385.252273$$

จากนั้นหา $T^2/N = 1,385.252273/20 = 69.26261366$ (โดย N เป็นจำนวนค่าสังเกตทั้งหมด)

4. ค่ารวมผลบวกของ (ผลรวมของแต่ละทรีทเมนต์)² จากสูตรคือค่า $\sum_{j=1}^k T_j^2$

โดยที่ T_j แต่ละกลุ่มเท่ากับ 9.691904611, 7.080032463, 7.13406768, 6.200592521 และ 7.112386964

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น} &= (9.691904611)^2 + (7.080032463)^2 + (7.13406768)^2 + (6.200592521)^2 + (7.112386964)^2 \\ &= 93.93301499 + 50.12685968 + 50.89482304 + 38.44734761 + 50.58604833 \end{aligned}$$

$$\sum_{j=1}^k T_j^2 = 283.9880936$$

จากนั้นหา $\frac{\sum_{j=1}^k T_j^2}{n} = 283.9880936/4 = 70.99702341$

5. คำนวณหา SS_B หรือ sum square between group จาก $SS_B = \frac{\sum_{j=1}^k T_j^2}{n_j} - \frac{T^2}{N}$

ดังนั้น $SS_B = 70.99702341 - 69.26261366 = 1.734409748$

6. คำนวณผลบวกของ (ข้อมูลจากแต่ละหน่วยทดลอง)² จากสูตรคือค่า $\sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} X_{ij}^2$

ดังนั้น $(2.642892381)^2 + (1.787192934)^2 + (1.656907936)^2 + (1.472392638)^2 + (1.633415004)^2 + (2.394056136)^2 + (1.652274942)^2 + (1.662122944)^2 + (1.655113877)^2 + (1.946041575)^2 + (2.237211166)^2 + (1.883908577)^2 + (2.032719654)^2 + (1.52221654)^2 + (1.76044011)^2 + (2.417744927)^2 + (1.756356009)^2 + (1.782310234)^2 + (1.550869465)^2 + (1.772490276)^2$

$$\sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} X_{ij}^2 = 71.26820016$$

7. คำนวณหา SS_T หรือ sum square total จาก $SS_T = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} X_{ij}^2 - \frac{T^2}{N}$

ดังนั้น $SS_T = 71.26820016 - 69.26261366 = 2.005586493$

8. คำนวณหา SS_W หรือ sum square within group จาก $SS_W = SS_T - SS_B$

ดังนั้น $SS_W = 2.005586493 - 1.734409748 = 0.271176745$

9. คำนวณหา MS_B หรือ Mean square between- group จาก $MS_B = \frac{SS_B}{k-1}$

ดังนั้น $MS_B = 1.734409748/4 = 0.433602437$

10. คำนวณหา MS_W หรือ Mean square within- group จาก $MS_W = \frac{SS_W}{k(n-1)}$

ดังนั้น $MS_W = 0.271176745/15 = 0.01807845$

11. คำนวณหาค่า F คำนวณ จาก $F = \frac{MS_B}{MS_W}$

ดังนั้น $F = 0.433602437/0.01807845 = 23.98449229$

12. เปิดค่า F ตารางจากตารางค่า F (สุรพล อุปดิษฐกุล, 2523) ที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 โดยองศาความเป็นอิสระของ MS_B หรือ $df_1 = k-1 = 4$ และองศาความเป็นอิสระของ MS_W หรือ $df_2 = k(n-1) = 5 \times (4-1) = 15$

ดังนั้น $F_{0.05(4,15)} = 3.06$

13. สรุปผลได้ว่า F จำนวนที่คำนวณได้เท่ากับ 23.98449229 ซึ่งมากกว่า F ตารางซึ่งเท่ากับ 3.29 ดังนั้น F จำนวนมากกว่า F ตาราง สรุปได้ว่ามีค่าเฉลี่ยอย่างน้อย 1 คู่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญต่างสถิติ ซึ่งจะต้องทดสอบอีกครั้งหนึ่งเพื่อหาค่าเฉลี่ยคู่ใดบ้างที่แตกต่างกัน โดยใช้การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทริทเมนต์เป็นคู่ๆ และใช้วิธีของดันแคน (Duncan's new multiple range test) ในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทริทเมนต์เป็นคู่ๆ

14. เรียงค่าเฉลี่ยจากน้อยไปหามาก ดังนี้

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
1.55014813	1.770008116	1.778096741	1.783515192	2.422976153

15. จำนวนหาจำนวนที่ใช้เปรียบเทียบว่าใช้กี่คู่จาก ${}^nC_2 = n(n-1)/2$ ($n =$ จำนวนกลุ่ม)

ดังนั้น $= (5 \times 4)/2 = 10$ คู่

16. จำนวนค่าสถิติที่ใช้ในการทดสอบ คือ $LSR_\alpha = r_\alpha(p, f) \sqrt{\frac{MS_w}{r}}$

(LSR คือ least significant ranges) โดยอาศัยตาราง Significant Studentized ranges, SSR ในหนังสือสถิติทั่วไป

โดยที่ p ในที่นี้ คือ จำนวนค่าเฉลี่ยในช่วงการเปรียบเทียบ ซึ่งเท่ากับผลต่างของอันดับ +1 นั่นคือเท่ากับ 2, 3, 4 และ 5 เช่นข้อมูลนี้มี 5 กลุ่มเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของข้อมูลชุดที่ 5 กับ ข้อมูลที่ 1 ผลต่างของ 5 กับ 1 คือ 4 บวกเข้าไปอีก 1 คือ 5 หรือถ้าจะเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลชุดที่ 4 กับข้อมูลชุดที่ 2 ผลต่างของ 4 กับ 2 คือ 2 บวกเข้าไปอีก 1 คือ 3 ทำอย่างนี้เรื่อยๆจนครบ 10 กลุ่มที่ต้องการเปรียบเทียบค่าสูงสุดที่ได้ก็คือ 5 นั่นเอง

f ในที่นี้ คือ องศาความเป็นอิสระภายในกลุ่มเท่ากับ $k(n-1) = 5 \times (4-1) = 15$

r ในที่นี้ คือ จำนวนซ้ำในแต่ละทริทเมนต์

α ในที่นี้ คือ ระดับนัยสำคัญ = 0.05

$$\sqrt{\frac{MS_w}{r}} = \sqrt{\frac{0.01807845}{4}} = 0.067228063$$

p	2	3	4	5
$r_{0.05(p,15)}$	3.01	3.16	3.25	3.31
$LSR_{0.05}$	0.202356469	0.212440678	0.218491204	0.222524888

17. เปรียบเทียบผลต่างของค่าเฉลี่ยสูงสุดและค่าเฉลี่ยต่ำสุดกับค่า LSR ถ้าผลต่างนั้นมีค่ามากกว่า LSR แสดงว่าค่าเฉลี่ยในช่วงนั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แสดงดังตารางที่ ก.7

ตารางที่ ก.7: การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างทริทเมนต์ของข้อมูลการสูญเสียน้ำหนักในวันที่ 22 ของการเก็บรักษา

ผลต่างของค่าเฉลี่ยชุดที่	ผลต่างของค่าเฉลี่ยที่คำนวณได้		LSR _{0.05}
(5) – (1)	0.872828023	>	0.222524888*
(5) – (2)	0.652968037	>	0.218491204*
(5) – (3)	0.644879412	>	0.212440678*
(5) – (4)	0.639460961	>	0.202356469*
(4) – (1)	0.233367062	>	0.218491204*
(4) – (2)	0.013507076	<	0.212440678
(4) – (3)	0.005418451	<	0.202356469
(3) – (1)	0.227948611	>	0.212440678*
(3) – (2)	0.008088625	<	0.202356469
(2) – (1)	0.219859986	>	0.202356469*

* ค่าเฉลี่ยในช่วงนั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

18. เพื่อให้เห็นการเปรียบเทียบอย่างชัดเจนได้มีการใส่ตัวอักษรกำกับไว้ดังนี้

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
c	b	b	b	a

19. ดังนั้นจากข้อมูลการสูญเสียน้ำหนักในวันที่ 22 ของการเก็บรักษาจากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติสามารถสรุปได้ว่า เนื้อุเรียนที่เคลือบด้วยสูตรทั้ง 4 สูตรมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทริทเมนต์ควบคุม และเนื้อุเรียนที่เคลือบด้วยสูตร C1 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับเนื้อุเรียนที่เคลือบด้วยสูตร A3, B2, C2 และเนื้อุเรียนที่ไม่ได้เคลือบ และยังสามารถสรุปได้อีกว่าเนื้อุเรียนที่เคลือบด้วยสูตร A3, B2 และ C2 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

20. แสดงค่า F จำนวนของข้อมูลการสูญเสียน้ำหนัก การเปลี่ยนแปลงสีเนื้อ ความแน่นเนื้อ ปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ อัตราการหายใจและการผลิตเอทิลินดังตารางที่ ก. 8 เปรียบเทียบกับ F ตารางที่ได้

ตารางที่ ก.8: สรุปค่า F จำนวนที่ได้ของข้อมูลการสูญเสียน้ำหนัก การเปลี่ยนแปลงสีเนื้อ ความแน่นเนื้อ ปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ อัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีนเปรียบเทียบกับ F ตารางที่ได้ ตลอดระยะเวลา 26 วันที่เก็บรักษา

Day	F จำนวน							F ตาราง
	การสูญเสีย น้ำหนัก	สีเนื้อ, L	สีเนื้อ, b	ความแน่นเนื้อ	ปริมาณของแข็ง ละลายน้ำได้	อัตราการหายใจ	การผลิตเอทิลีน	
0	-	0.30576761	0.457850002	0.032416825	0.148235621	23.98810398*	2.5909601	3.06
1	-	-	-	-	-	9.112960167*	4.704475211*	3.06
2	0.314691492	0.08079415	0.57418138	0.008455735	0.084884163	7.783824477*	2.581576738	3.06
3	-	-	-	-	-	5.914334719*	6.450607957*	3.06
4	3.327687709*	2.957372674	1.02384132	0.040151336	0.46656535	7.550289761*	28.24555483*	3.06
5	-	-	-	-	-	23.534376718*	7.790713104*	3.06
6	5.003873104*	2.284750737	0.555598793	0.20163128	0.229384966	7.500917934*	1.451252361	3.06
7	-	-	-	-	-	34.2948605*	10.68855837*	3.06
8	8.754912207*	1.673543398	1.305318167	0.13934548	0.523326572	32.4821449*	5.874260466*	3.06
9	-	-	-	-	-	30.65118356*	31.99395726*	3.06
10	8.22859334*	0.232244043	1.358380997	0.083399988	0.066896024	15.51774805*	4.47448131*	3.06
11	-	-	-	-	-	32.3943057*	7.559883415*	3.06
12	5.362190421*	0.820116471	0.516378775	0.100035079	0.120896717	4.582296993*	0.159705011	3.06

Day	F จำนวน							F ตาราง
	การสูญเสีย น้ำหนัก	สีเนื้อ, L	สีเนื้อ, b	ความแน่นเนื้อ	ปริมาณของแข็ง ละลายน้ำได้	อัตราการหายใจ	การผลิตเอทีเอ็น	
13	-	-	-	-	-	1.825735833	9.366233451*	3.06
14	4.219584476*	2.662586638	0.705278295	0.675279969	0.08825	10.69025888*	9.197344385*	3.06
15	-	-	-	-	-	1.909210766	13.95198762*	3.06
16	4.587883215*	3.045518394	0.949463995	0.261632836	0.10428101	2.722296037	15.79245425*	3.06
17	-	-	-	-	-	2.001931169	1.437790647	3.06
18	13.03843587*	2.757672607	1.407716405	0.028676886	0.310818713	5.279168036*	11.63769242*	3.06
19	-	-	-	-	-	2.972563948	3.050839232	3.06
20	17.442947744*	0.929714362	2.050723017	0.388908786	0.081679894	4.765893218*	8.047639833*	3.06
21	-	-	-	-	-	2.788274597	1.899562274	3.06
22	23.98449229*	2.731123837	2.689366629	0.246907196	0.512400794	1.540470089	2.008222356	3.06
23	-	-	-	-	-	1.601156603	10.00801452*	3.06
24	4.616807696*	0.270375119	0.228375174	0.166930088	0.278553299	1.884270298	16.53165497*	3.06
25	-	-	-	-	-	2.5	2.749361714	3.06
26	2.00319615*	2.356819582	0.858724703	0.885131381	0.508474576	2.262955187	13.18061362*	3.06

หมายเหตุ * F คำนวณ > F ตาราง นั่นคือการเก็บรักษาเนื้อทุเรียนในแต่ละทรีทเมนต์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ก.6 ตัวอย่างการคำนวณการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติใน ส่วนการทดสอบทางประสาทสัมผัส

ยกตัวอย่างข้อมูลคะแนนความหวานที่ได้จากผู้ชิมในแต่ละทรีทเมนต์และการคำนวณค่าต่างๆเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีจำนวนซ้ำเท่ากัน (10 คน) ในวันที่ 26 ของการเก็บรักษา ดังตารางที่ก.9

ตารางที่ ก.9: รูปแบบข้อมูลของการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ของคะแนนความหวานที่ได้จากผู้ชิมในแต่ละทรีทเมนต์และการคำนวณค่าต่างๆเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีจำนวนซ้ำเท่ากัน (10 คน)

Day 26 จำนวนซ้ำ	ทรีทเมนต์ (คะแนน)				
	ไม่เคลือบ	A3	B2	C1	C2
1	3	3	3	3	3
2	3	4	4	5	3
3	3	3	4	4	3
4	5	3	5	3	3
5	3	4	4	4	3
6	3	3	5	3	3
7	4	3	5	4	3
8	4	4	4	5	4
9	3	4	5	5	5
10	4	4	4	4	4
ผลรวม	35	35	43	40	34
ค่าเฉลี่ย	3.5	3.5	4.3	4.0	3.4

แสดงขั้นตอนดังนี้

1. องศาความเป็นอิสระระหว่างกลุ่ม = $k-1 = 5-1 = 4$ (k คือจำนวนกลุ่มตัวอย่างเท่ากับ 5)
2. องศาความเป็นอิสระภายในกลุ่ม = $k(n-1) = 5 \times (10-1) = 45$ (n คือค่าสังเกตในแต่ละกลุ่มเท่ากับ 10)

3. คำนวณผลรวมทั้งหมดที่ใช้ในการทดลองยกกำลังสองจากสูตรคือค่า T^2

$$= (3+3+3+5+3+3+4+4+3+4+\dots+5+4)^2$$

$$= (187)^2$$

$$= 34,969$$

จากนั้นหา $T^2/N = 34,969/50 = 699.38$ (โดย N เป็นจำนวนข้อมูลทั้งหมด)

4. คำนวณผลบวกของ (ผลรวมของแต่ละทรีทเมนต์)² คือค่า $\sum_{j=1}^k T_j^2$

โดยที่ T_j แต่ละกลุ่มเท่ากับ 35, 35, 43, 40 และ 34

$$\text{ดังนั้น} = (35)^2 + (35)^2 + (43)^2 + (40)^2 + (34)^2$$

$$= 1225 + 1225 + 1849 + 1600 + 1156$$

$$\sum_{j=1}^k T_j^2 = 7,055$$

$$\text{จากนั้นหา} \frac{\sum_{j=1}^k T_j^2}{n} = 7,055/10 = 705.5$$

5. คำนวณหา SS_B หรือ sum square between group จาก $SS_B = \frac{\sum_{j=1}^k T_j^2}{n} - \frac{T^2}{N}$

$$\text{ดังนั้น} SS_B = 705.5 - 699.38 = 6.12$$

6. คำนวณผลบวกของ (ข้อมูลจากแต่ละหน่วยทดลอง)² จากสูตรคือค่า $\sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} X_{ij}^2$

$$\text{ดังนั้น} = (3)^2 + (3)^2 + (3)^2 + (5)^2 + (3)^2 + \dots + (5)^2 + (4)^2$$

$$\sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} X_{ij}^2 = 727$$

7. คำนวณหา SS_T หรือ sum square total จาก $SS_T = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} X_{ij}^2 - \frac{T^2}{N}$

$$\text{ดังนั้น} SS_T = 727 - 699.38 = 27.62$$

8. คำนวณหา SS_W หรือ sum square within group จาก $SS_W = SS_T - SS_B$

$$\text{ดังนั้น} SS_W = 27.62 - 6.12 = 21.5$$

9. คำนวณหา MS_B หรือ Mean square between- group จาก $MS_B = \frac{SS_B}{k-1}$

$$\text{ดังนั้น} MS_B = 6.12/4 = 1.53$$

10. คำนวณหา MS_W หรือ Mean square within- group จาก $MS_W = \frac{SS_W}{k(n-1)}$

$$\text{ดังนั้น} MS_W = 21.5/45 = 0.48$$

$$11. \text{ คำนวณหาค่า } F \text{ คำนวณ จาก } F = \frac{MS_B}{MS_W}$$

$$\text{ดังนั้น } F = 1.53/0.48 = 3.20$$

12. เปิดค่า F ตารางจากตารางค่า F (สุรพล อุปดิศสกุล, 2523) ที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 โดยองศาความเป็นอิสระของ MS_B หรือ $df_1 = k-1 = 4$ และองศาความเป็นอิสระของ MS_W หรือ $df_2 = k(n-1) = 5 \times (10-1) = 45$

$$\text{ดังนั้น } F_{0.05(4,45)} = 2.575$$

13. สรุปผลได้ว่า F คำนวณที่คำนวณได้เท่ากับ 3.20 ซึ่งมากกว่า F ตารางซึ่งเท่ากับ 2.575 ดังนั้น F คำนวณมากกว่า F ตาราง สรุปได้ว่ามีค่าเฉลี่ยอย่างน้อย 1 คู่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งจะต้องทดสอบอีกครั้งหนึ่งเพื่อหาว่าค่าเฉลี่ยคู่ใดบ้างที่แตกต่างกัน โดยใช้การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทริทเมนต์เป็นคู่ๆ และใช้วิธีของดันแคน (Duncan's new multiple range test) ในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทริทเมนต์เป็นคู่ๆ

14. เรียงค่าเฉลี่ยจากน้อยไปหามาก ดังนี้

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
3.4	3.5	3.5	4	4.3

15. คำนวณหาจำนวนที่ใช้เปรียบเทียบว่าใช้กี่คู่จาก ${}^nC_2 = n(n-1)/2$ ($n =$ จำนวนกลุ่ม)

$$\text{ดังนั้น } = (5 \times 4)/2 = 10 \text{ คู่}$$

$$16. \text{ คำนวณค่าสถิติที่ใช้ในการทดสอบ คือ } LSR_\alpha = r_\alpha(p, f) \sqrt{\frac{MS_W}{r}}$$

(LSR คือ least significant ranges) โดยอาศัยตาราง Significant Studentized ranges, SSR ในหนังสือสถิติทั่วไป

โดยที่ p ในที่นี้ คือ จำนวนค่าเฉลี่ยในช่วงการเปรียบเทียบ ซึ่งเท่ากับผลต่างของอันดับ $+1$ นั่นคือเท่ากับ 2, 3, 4 และ 5 เช่นข้อมูลนี้มี 5 กลุ่มเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของข้อมูลชุดที่ 5 กับ ข้อมูลที่ 1 ผลต่างของ 5 กับ 1 คือ 4 บวกเข้าไปอีก 1 คือ 5 หรือถ้าจะเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลชุดที่ 4 กับข้อมูลชุดที่ 2 ผลต่างของ 4 กับ 2 คือ 2 บวกเข้าไปอีก 1 คือ 3 ทำอย่างนี้เรื่อยๆจนครบ 10 กลุ่มที่ต้องการเปรียบเทียบค่าสูงสุดที่ได้ก็คือ 5 นั่นเอง

$$f \text{ ในที่นี้ คือ องศาความเป็นอิสระภายในกลุ่มเท่ากับ } k(n-1) = 5 \times (10-1) = 45$$

$$r \text{ ในที่นี้ คือ จำนวนซ้ำ } = 10$$

$$\alpha \text{ ในที่นี้ คือ ระดับนัยสำคัญ } = 0.05$$

$$\sqrt{\frac{MS_E}{r}} = \sqrt{\frac{0.48}{10}} = 0.2186$$

p	2	3	4	5
$r_{0.05(p,45)}$	2.85	3	3.09	3.16
$LSR_{0.05}$	0.6229567	0.6557439	0.6754162	0.6907169

17. เปรียบเทียบผลต่างของค่าเฉลี่ยสูงสุดและค่าเฉลี่ยต่ำสุดกับค่า LSR ถ้าผลต่างนั้นมีค่ามากกว่า LSR แสดงว่าค่าเฉลี่ยในช่วงนั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แสดงดังตารางที่ ก.10

ตารางที่ ก.10: การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างทรีทเมนต์ของข้อมูลความหวานของเนื้อทุเรียนจากผู้ชิมในวันที่ 26 ของการเก็บรักษา

ผลต่างของค่าเฉลี่ยชุดที่	ผลต่างของค่าเฉลี่ยที่คำนวณได้		$LSR_{0.05}$
(5) – (1)	0.9	>	0.6907169*
(5) – (2)	0.8	>	0.6754162*
(5) – (3)	0.8	>	0.6557439*
(5) – (4)	0.3	<	0.6229567
(4) – (1)	0.6	<	0.6754162
(4) – (2)	0.5	<	0.6557439
(4) – (3)	0.5	<	0.6229567
(3) – (1)	0.1	<	0.6557439
(3) – (2)	0	<	0.6229567
(2) – (1)	0.1	<	0.6229567

* ค่าเฉลี่ยในช่วงนั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

18. เพื่อให้เห็นการเปรียบเทียบอย่างชัดเจนได้มีการใส่ตัวอักษรกำกับไว้ดังนี้

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
b	b	b	ab	a

19. ดังนั้นจากข้อมูลสามารถสรุปได้ว่า เนื้อทุเรียนที่เคลือบด้วยสูตร A3, C2 และเนื้อทุเรียนที่ไม่ได้เคลือบแตกต่างกันทางสถิติกับเนื้อทุเรียนที่เคลือบด้วยไคโตซาน แต่เนื้อทุเรียนที่เคลือบด้วยสูตร C1 ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับเนื้อทุเรียนที่เคลือบด้วยสูตร B2 และไม่แตกต่างกันทางสถิติกับเนื้อทุเรียนที่เคลือบด้วยสูตร A3, C2 และเนื้อทุเรียนที่ไม่ได้เคลือบ

20. แสดงค่า F จำนวนของข้อมูลคุณภาพในการรับประทานเปรียบเทียบกับ F ตารางที่ได้ ดังตารางที่ ก.11

ตารางที่ ก.11: สรุปค่า F จำนวนที่ได้ของข้อมูลคุณภาพในการรับประทานในเรื่องสี กลิ่นหอม ความหวาน รสมัน ความนุ่ม กลิ่นและรสชาติผิดปกติ และความชอบ ตั้งแต่วันที่ 10 ถึง 26 วันของการเก็บรักษา

Day	F จำนวน								F ตาราง
	สี	กลิ่นหอม	ความหวาน	รสมัน	ความนุ่ม	กลิ่นผิดปกติ	รสชาติผิดปกติ	ความชอบ	
10	4.038461538*	2.8604651*	3.2222222*	3.75*	2.7391304*	1.5483193	1.3442623	3.678762*	2.575
12	10.73262032*	3.3559322*	1.3157895	3.4028269*	3.9452055*	1.5266781	1.2736486	4.5066865*	2.575
14	13.06225681*	1.3411131	3.6070039*	1.3917703	1.6923077	1.7485493	4.0534351*	1.8068966	2.575
16	3.007343941*	1.3571429	1.5930233	3.8017241*	6.7692308*	5.0816327*	1.8181818	1.1080617	2.575
18	6.532994924*	1.2432432	1.0733945	6.0773196*	7.2992126*	3.2727273*	3.4855491*	1.7331461	2.575
20	2.141199226	5.8965517*	2.7391304*	6.3658537*	1.7427056	3.4137931*	3.3465704*	2.8661258*	2.575
22	1.23364486	1.4061758	1.8799314	5.529148*	1.5047319	2.8161926*	5.6579805*	1.7368421	2.575
24	1.212598425	1.6704871	3.64637*	1.2669903	1.2805755	3.0848057*	3.9230769*	1.7472924	2.575
26	1.292786421	2.8230563*	3.9682997*	1.4186047	1.8	2.4450867	1.8154506	2.9849246*	2.575

หมายเหตุ * F จำนวน > F ตาราง นั่นคือการเก็บรักษาเนื้อทุเรียนในแต่ละทรีทเมนต์มีคะแนนที่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ก.7 การคำนวณสมการเส้นตรงรีเกรสชันและการหาค่าสัมประสิทธิ์ของสหสัมพันธ์
(correlation coefficient, r)

สามารถหาได้จากการใช้สมการหรือพลอตกราฟใน Excel ก็สามารถหาสมการเส้นตรงได้ และหาค่า r ได้ โดยยกตัวอย่างข้อมูลความหวานในวันที่ 26 ของการเก็บรักษา แสดงดังตาราง ก.12

ตารางที่ ก.12: ปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ คะแนนความหวานจากผู้ชิม และค่าที่ใช้ในการคำนวณค่า a, b และ r

ปริมาณของแข็ง ละลายน้ำได้, X	คะแนนความ หวาน, Y	X ²	Y ²	XY
25.8	3.5	665.64	12.25	90.3
22.2	3.5	492.84	12.25	77.7
29.1	4.3	846.81	18.49	125.13
28.5	4	812.25	16	114
25.5	3.4	650.25	11.56	86.7
ผลรวม = 131.1	18.7	3467.79	70.55	493.83
เฉลี่ย = 26.22	3.74			

จากสมการเส้นตรง $Y = a + bX$

โดยที่ $a = \bar{y} - b\bar{x}$

$$b = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

ดังนั้น $b = \frac{5(493.83) - (131.1)(18.7)}{5(3467.79) - (131.1)^2}$

$$b = 0.11585$$

$$a = 3.74 - (26.22 \times 0.11585)$$

$$= 0.70225$$

จากนั้นคำนวณค่า $r = \frac{\sum xy - \frac{(\sum x)(\sum y)}{n}}{\sqrt{[\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}][\sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n}]}}$

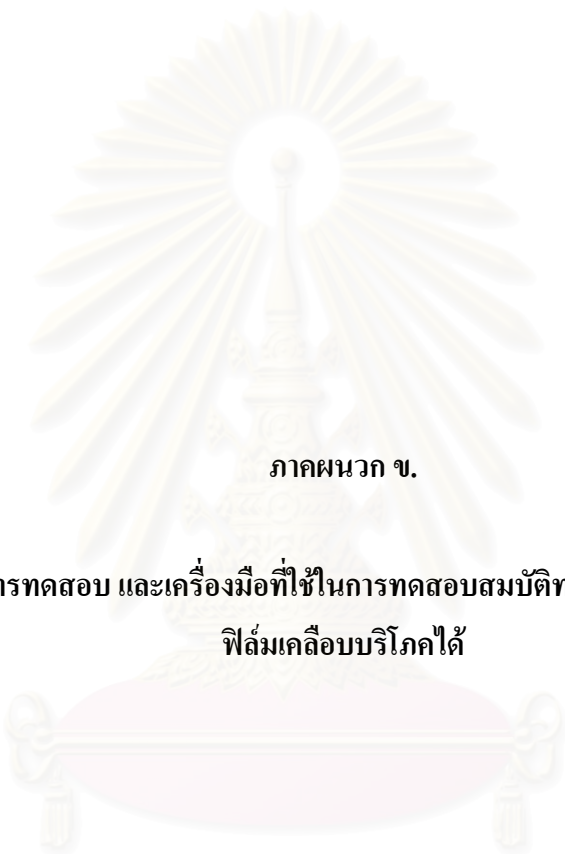
$$= \frac{493.83 - (131.1)(18.7)/5}{\sqrt{[3467.79 - (131.1)^2 / 5][70.55 - (18.7)^2 / 5]}}$$

$$r = 0.8158$$

ดังนั้นสมการเส้นตรงรีเกรสชันที่ได้ คือ $Y = 0.7022 + 0.1158X$ ซึ่งสอดคล้องกับค่าที่คำนวณได้จาก การพลอตกราฟใน Excel โดยมีค่า $r = 0.8158$ r ที่ได้เข้าใกล้ค่า +1 นั่นคือข้อมูลมีความสัมพันธ์อย่าง สมบูรณ์ระหว่าง 2 ลักษณะในทางเดียวกัน ถ้า r ที่คำนวณได้เข้าใกล้ 0 แสดงว่า ข้อมูลไม่มีความสัมพันธ์กันเลย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



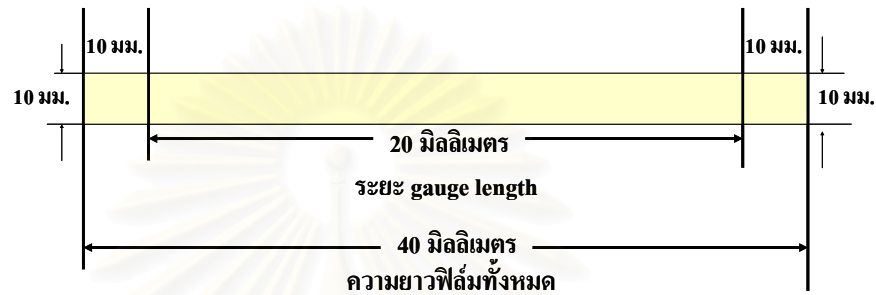
ภาคผนวก ข.

วิธีการทดสอบ และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบสมบัติทางกายภาพของ
ฟิล์มเคลือบบริโกลได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข.1 วิธีการทดสอบสมบัติทางกลและตัวอย่างการคำนวณ

1. เตรียมตัวอย่าง โดยขึ้นงานตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัยมีลักษณะดังรูปที่ ข.1 โดยจำนวนแผ่นฟิล์มในการทดสอบแต่ละชุดไม่น้อยกว่า 5 ชิ้นงาน แผ่นฟิล์มตัวอย่างมีขนาด 10x40 มิลลิเมตร โดยบริเวณขอบของฟิล์มต้องไม่เกิดรอยตำหนิจากการเตรียม



รูปที่ ข.1: แบบของชิ้นงานที่ใช้วัดคุณสมบัติทางกล

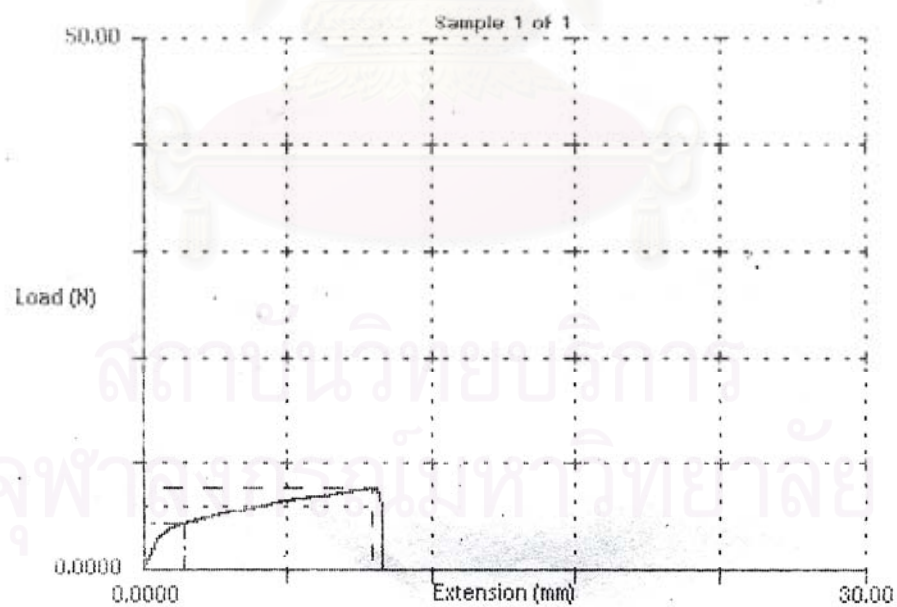
2. การทดสอบเริ่มต้นด้วยการนำชิ้นงานใส่ในเครื่อง Universal Testing Machine แสดงดังรูปที่ ข.2 โดยยึดชิ้นงานที่จุดยึด จากนั้นกำหนดตัวแปรที่ต้องการทำให้เครื่องแสดง จากนั้นตั้งค่าความหนาและความกว้างของชิ้นงานในคอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งพร้อมกับเครื่อง Universal Testing Machine
3. เริ่มทำการทดสอบชิ้นงานและเมื่อชิ้นงานขาด (ทดสอบเสร็จสิ้น) เครื่องคอมพิวเตอร์จะรายงานค่า แรงที่ใช้ (Load) พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงาน และค่าความทนแรงดึงรวมทั้งค่าอื่นๆ ที่ทำการกำหนดไปเมื่อทำการตั้งค่าต่างๆ ของการทดสอบ แสดงลักษณะกราฟที่ได้ ดังรูปที่

ข.3

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ข.2: Universal testing machine ที่ใช้ในการทดลองของคณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



	Maximum Load (N)	Maximum Stress (N/mm ²)	Ext @ Max Load (mm)	Strain @ Max Load (%)	Load @ Break (N)	Strain @ High Yld (%)	Sample Width (mm)	Sample Thick (mm)
1 -	7.622	14.11	9.499	47.49	5.867	8.392	9.00000	0.060000

รูปที่ ข.3: ลักษณะกราฟที่ได้

วิธีการคำนวณ

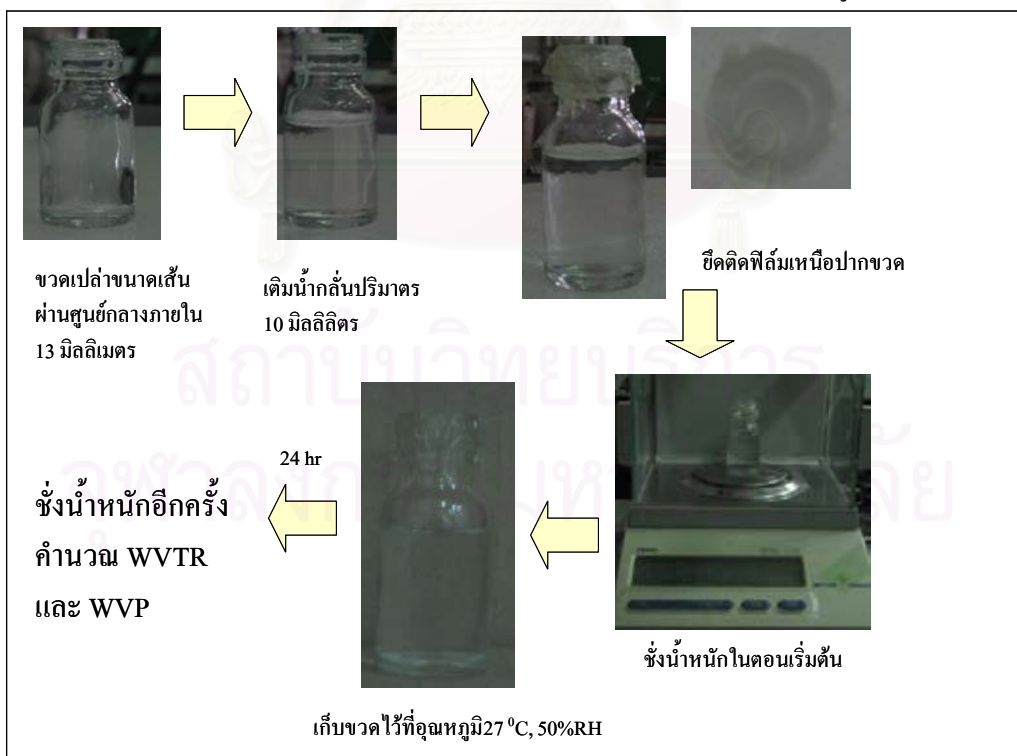
ความทนแรงดึงที่ได้จากกราฟที่แสดงการรายงานผล จากกราฟจะได้อ่านความทนแรงดึงที่ได้เท่ากับ 14.11 N/mm^2 หรือ 14.11 MPa หรือใช้สูตรในการคำนวณ

$$\begin{aligned} \text{ความทนแรงดึง} &= \frac{\text{น้ำหนักสูงสุดที่ใช้ (maximum load)}}{\text{พื้นที่การตัดขวาง (cross sectional area)}} \\ &= \frac{7.622}{(9 \times 0.06)} = 14.11 \text{ N/mm}^2 = 14.11 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละการยืดตัว} &= \frac{\text{ระยะทางที่ตัวอย่างสามารถยืดออกได้ ณ จุดขาด} \times 100}{\text{ความยาวในตอนเริ่มต้น}} \\ &= \frac{(9.499/20) \times 100}{1} = 47.495\% \end{aligned}$$

ข.2 เครื่องมือที่ใช้และตัวอย่างการคำนวณอัตราการแพร่ผ่านของไอน้ำ

แสดงขั้นตอนการวัดค่าความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำดังรูป ข.4



รูปที่ ข.4: ขั้นตอนการทดลองหาความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำ

ตัวอย่างการคำนวณ

น้ำหนักฟิล์มเริ่มต้นเท่ากับ 45.8932 กรัม จากนั้นชั่งน้ำหนักฟิล์มเมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง ได้เท่ากับ 45.7879 กรัม ดังนั้น $\Delta W = 45.8932 - 45.7879 = 0.1053$ กรัม โดยที่ $\Delta t = 24$ ชั่วโมงเมื่อมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของขวดเท่ากับ 13 มิลลิเมตร ดังนั้นมีพื้นที่ที่ใช้ในการแพร่ผ่านของน้ำเท่ากับ 1.32665 ลูกบาศก์เซนติเมตร หรือเท่ากับ 1.32665×10^{-4} ลูกบาศก์เมตรจากสูตรหาอัตราการแพร่ผ่านของไอน้ำ

$$WVTR = [(\Delta w / (\Delta t \cdot A))] \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$$

ดังนั้นอัตราการแพร่ผ่านของไอน้ำเท่ากับ $9.2 \times 10^{-3} \text{ g/s} \cdot \text{m}^2$

จากนั้นนำมาหาความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำโดยคิดว่าภายในขวดที่มีน้ำกลั่นอยู่เมื่อเทียบกับผลไม้ที่มีน้ำอยู่ภายในเป็นองค์ประกอบซึ่งสำหรับพืชแล้วน้ำในเซลล์ไม่บริสุทธิ์แต่น้ำที่ระเหยออกมาอยู่ในช่องว่างระหว่างเซลล์ได้มากใกล้เคียง 100% ซึ่งเราถือว่าในผลิตภัณฑ์ที่เก็บเกี่ยวมานี้อากาศมีความชื้นอยู่ 100% มีความดันไอในระดับอิ่มตัว (saturated vapor pressure) ซึ่งมีความดันไอน้ำที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียสอ่านค่าจากแผนภูมิไซโครเมตริก (psychrometric chart) ได้เท่ากับ 38 มิลลิบาร์หรือเท่ากับ 3,800 Pa ถ้าขวดน้ำกลั่นที่เราเก็บไว้ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียสเช่นเดียวกันแต่มีความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 50% เมื่ออ่านค่าความดันไจากแผนภูมิไซโครเมตริกได้เท่ากับ 21 มิลลิบาร์หรือเท่ากับ 2,100 Pa ดังนั้นความแตกต่างของความดันไอน้ำมีค่าเท่ากับ 1,700 Pa โดยมีความหนาของฟิล์มเท่ากับ 0.06 มิลลิเมตร หรือเท่ากับ 0.00006 เมตร ดังนั้นจากสูตรการหาค่าความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำ

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

ดังนั้นความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำเท่ากับ $3.25 \times 10^{-10} \text{ g} \cdot \text{m} / \text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$

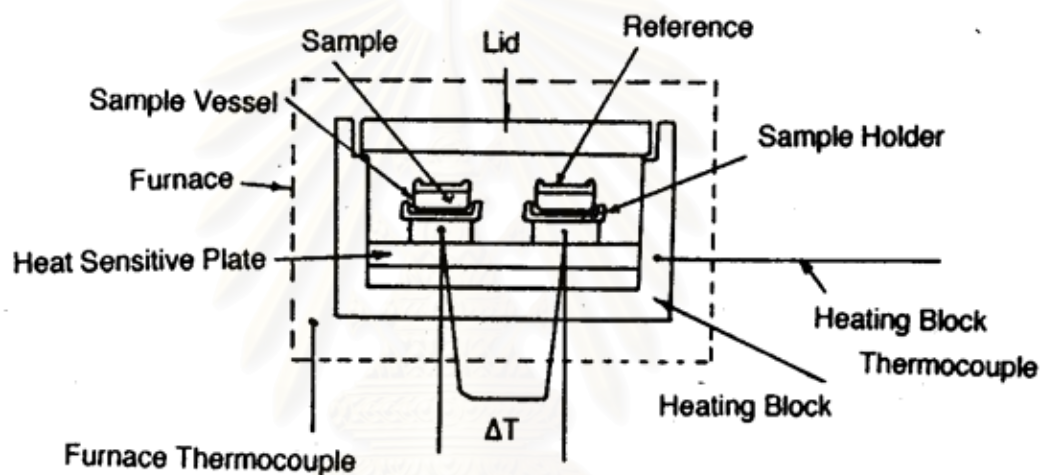
ข.3 หลักการทำงานของเครื่อง Differential Scanning Calorimeter, DSC

DSC เป็นเทคนิคที่อาศัยการเปลี่ยนแปลงความร้อนหรือค่าความร้อนจำเพาะ (specific heat) ต่ออุณหภูมิ ซึ่งมีหลักการทำงานโดย ตัวอย่างและตัวอ้างอิง (reference) จะอยู่ที่อุณหภูมิเดียวกัน แต่ปริมาณความร้อนที่ให้ต่างกัน เนื่องจากปริมาณพลังงานที่ให้แก่ตัวอย่างหรือปริมาณพลังงานที่ตัวอย่างคายออกมา เพื่อที่จะรักษาระดับความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างตัวอย่างและตัวอ้างอิงให้มีความแตกต่างของอุณหภูมิมีค่าเป็น 0 ซึ่งค่าพลังงานนี้จะแสดงในรูปของกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความร้อนกับอุณหภูมิหรือเวลา

การเตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่างที่นำมาใช้ควรจะแห้ง บาง และมีขนาดเล็ก เพื่อลดผลกระทบจากความแตกต่างของ อุณหภูมิ จากนั้นนำวางบนภาชนะที่ใส่ตัวอย่างและปิดฝาให้สนิทเพื่อป้องกันรั่วไหลของความร้อน ที่ใช้ไปสู่ด้านนอก

ตัวอย่างและตัวอ้างอิงจะอยู่ในสภาวะแวดล้อมเดียวกันเมื่อทำการวิเคราะห์โดยตัวอย่างและ ตัวอ้างอิง จะเก็บใน pan ที่ทำจากโลหะดังรูปที่ ข.5



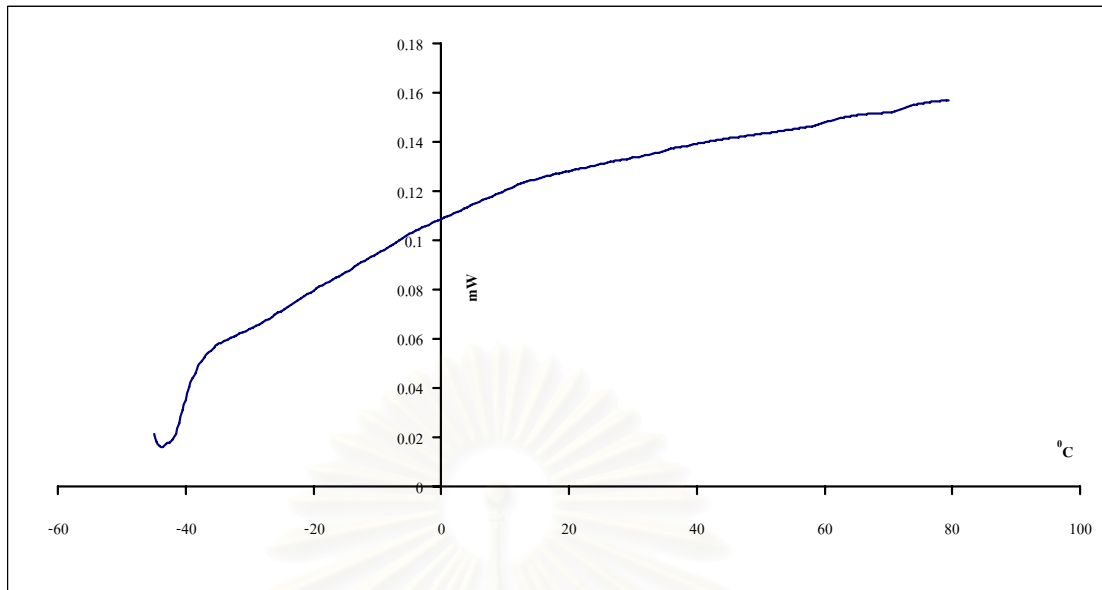
รูปที่ ข.5: ลักษณะการทำงานของเครื่อง DSC

ที่มา Hatakeyama และQuinn, 1994

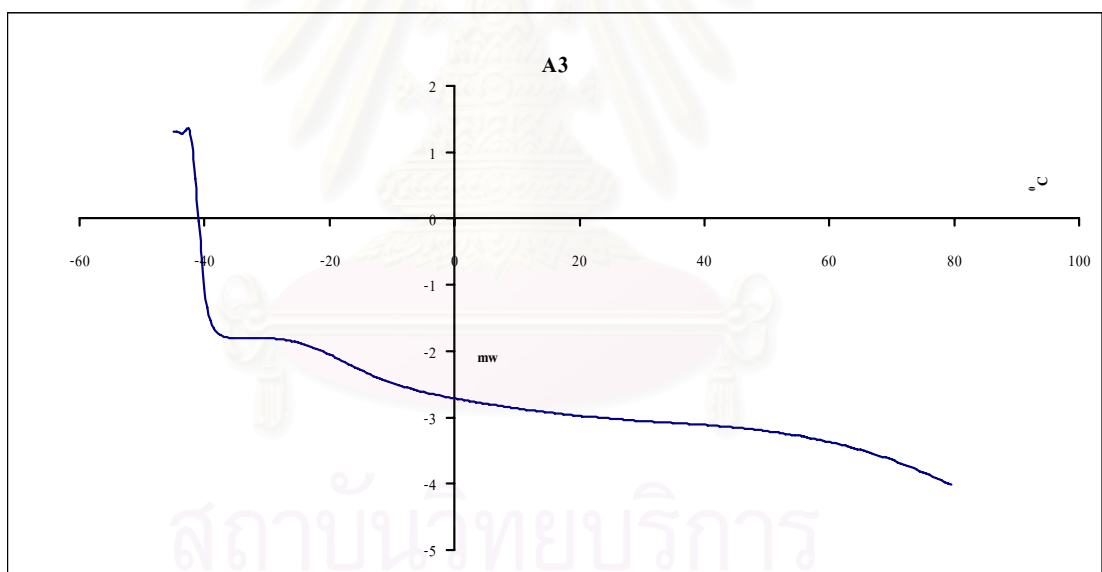
ผลที่ได้จากการวิเคราะห์

จากการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่อง DSC ค่าความร้อนที่ใช้จะอยู่ในรูปที่เป็นฟังก์ชันกับ เวลาหรืออุณหภูมิ เมื่อทำการวิเคราะห์โดยปราศจากตัวอย่าง เส้นกราฟที่ได้จะเรียกว่า เส้นฐาน (Baseline) เปรียบเทียบกับลักษณะกราฟที่ได้จากการทดลองดังรูปที่ ข.6 เมื่อทำการวิเคราะห์ ตัวอย่าง ค่าความร้อนที่ใช้ไปที่เวลาหรืออุณหภูมิต่างๆ มีการเบี่ยงเบนออกจากเส้นฐาน ในบางช่วง ตามค่าความร้อนที่ใช้ไป เมื่อสิ้นสุดการวิเคราะห์เส้นกราฟจะกลับเข้าสู่เส้นฐาน

การวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้สามารถนำไปใช้หาอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass Transition Temperature - T_g), อุณหภูมิหลอมตัวผลึก (Melting Temperature - T_m) และค่าความร้อน ที่ใช้ในการหลอมเหลวของโครงสร้างผลึกของพอลิเมอร์ได้ (Heat of Fusion - ΔH_f)



(ก)



(ข)

รูปที่ ข.6: (ก) ตัวอย่างกราฟเส้นฐาน (Baseline) และ (ข) กราฟ Tg ที่ได้จากการทดลอง



ภาคผนวก ค

ข้อมูลดิบ และสรุปการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของสมบัติทางกล
และความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค.1 ข้อมูลดิบของค่าความทนแรงดึง การยึดตัวของฟิล์มและความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำแสดงดังตารางที่ ค.1 ค.2 และ ค.3 ตามลำดับ

ตารางที่ ค.1: ข้อมูลความทนแรงดึงของฟิล์มเคลือบบริโกลคได้ (ทำการทดลอง 5 ครั้ง)

ค่าที่/สูตรที่	ความทนแรงดึง (MPa)									
	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3	C4
1	11.56	8.852	2.768571	16.9175	15.196	7.128571	10.845	10.49	15.38857	4.589231
2	15.03	9.26	2.801429	15.755	14.252	12.22857	10.395	12.17	6.385714	8.744615
3	12.475	8.472	2.490714	15.995	9.736	10.61714	12.3525	11.065	12.46857	5.106154
4	13.43	8.92	2.054286	14.21	12.848	8.588571	12.4475	11.56	10.76857	7.958462
5	11.98	9.06	1.88	15.525	16.664	13.08	11.095	11.175	7.674286	6.632308
ผลรวม	64.475	44.564	11.995	78.4025	68.696	51.64286	57.135	56.46	52.68571	33.03077
ค่าเฉลี่ย	12.895	8.9128	2.399	15.6805	13.7392	10.32857	11.427	11.292	10.53714	6.606154

ตารางที่ ค.2: ข้อมูลการยึดตัวของฟิล์มเคลือบบริโกลได้ (ทำการทดสอบ 5 ครั้ง)

ค่าที่/สูตรที่	ร้อยละการยึดตัว (%)									
	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3	C4
1	141.8	137.3	235.1	114.8	110.2	171.1	116.9	106.4	110.4	146.1
2	136.4	130.1	227.6	120.9	116.3	187.2	118.89	109.7	128.4	106.8
3	94.34	120.9	197.5	109.7	116.6	187.2	100.9	137.3	116.5	173.4
4	105.8	136.4	230.6	111.5	113.7	162.3	117.33	141.8	120.3	182.6
5	101.6	112.5	192.6	106.2	109.5	173.9	45.37	100.9	133.9	169.4
ผลรวม	579.94	637.2	1083.4	563.1	566.3	881.7	499.39	596.1	609.5	778.3
ค่าเฉลี่ย	115.988	127.44	216.68	112.62	113.26	176.34	99.878	119.22	121.9	155.66

ตารางที่ ค.3: ข้อมูลความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำของฟิล์มเคลือบปริโคคได้ (ทำการทดลอง 5 ครั้ง)

ค่าที่/สูตรที่	ความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำ $\times 10^{-10}$ (g-m/m ² -s-Pa)									
	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3	C4
1	3.2423	4.2708	4.45	2.0738	2.5649	2.7189	1.9091	1.9106	1.8229	1.9660
2	3.4487	3.0083	4.2523	2.0014	2.4818	2.9237	1.7136	1.8921	1.9229	1.8721
3	3.1838	3.5195	4.4309	1.6258	2.5064	2.9144	1.7320	1.8706	1.9060	2.0430
4	3.2300	3.8705	5.25	2.0092	2.5172	2.8790	1.7105	1.8844	1.8921	2.0030
5	3.3101	4.4402	3.63957	2.1231	2.4710	2.8220	1.6212	1.8952	1.9414	1.9584
ผลรวม	16.415	19.109	22.016	9.833	12.541	14.258	8.686	9.453	9.485	9.842
ค่าเฉลี่ย	3.283	3.822	4.403	1.967	2.508	2.852	1.737	1.891	1.897	1.968

สรุปการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของความทนแรงดึง การยืดตัว และความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำดังตารางที่ ค.4

ตารางที่ ค.4: การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของความทนแรงดึง การยืดตัว และความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำของฟิล์มเคลือบปิโกลได้ (n=5)

สูตร/สมบัติทางกายภาพ	ความทนแรงดึง (MPa)	การยืดตัว (%)	ความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำ $\times 10^{-10}$ (g-m/m ² -s-Pa)
A1	12.895a	115.988a	3.283a
A2	8.9128b	127.44a	3.822a
A3	2.399c	216.68b	4.403b
F-test	*	*	*
B1	15.6805a	112.62a	1.967a
B2	13.7392a	113.26a	2.508b
B3	10.32857b	176.34b	2.852c
F-test	*	*	*
C1	11.427	99.878a	1.737a
C2	11.292	119.22a	1.891b
C3	10.53714	121.9ab	1.897b
C4	6.60615	155.66b	1.968b
F-test	ns	*	*

* ข้อมูลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ns ข้อมูล ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตัวอักษร a-c ที่แตกต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยใช้การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างสูตรต่างๆเป็นคู่ๆ โดยวิธีของ Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ภาคผนวก ง.

วิธีการทดสอบ และเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพเนื้อทุเรียน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

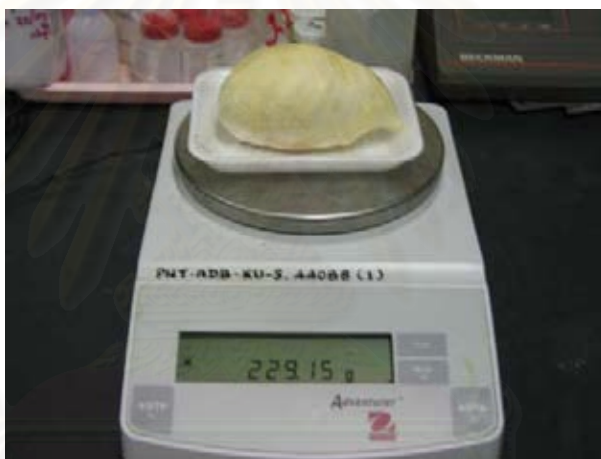
ง.1 ตัวอย่างการคำนวณเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก

น้ำหนักวันแรกของเนื้อทุเรียนที่ไม่ได้เคลือบเท่ากับ 115.25 กรัม ซึ่งน้ำหนักในวันถัดมาได้ 113.38 กรัม หาค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักได้ดังสูตร

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

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้นเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักที่ได้} &= ((115.25 - 113.38) \times 100) / 115.25 \\ &= 1.622 \% \end{aligned}$$

แสดงรูปเครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 2 ตำแหน่งที่ใช้ในการทดลองดังรูปที่ ง.1

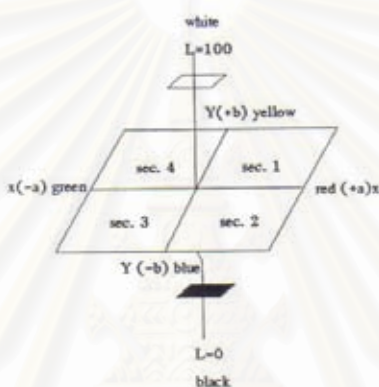


รูปที่ ง.1: เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่งที่ใช้ในการทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ง.2 ลักษณะของข้อมูลการเปลี่ยนแปลงสีเนื้อที่ได้

ในการทดลองใช้เครื่องวัดสีที่เรียกว่า Colormeter ในระบบ Hunter's Scale ซึ่งเป็นระบบ L a b color space แสดงดังรูปที่ ง.2 โดยที่ระบบนี้ค่า L เป็นค่าความสว่าง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0-100 (0 เท่ากับสีดำ และ 100 เท่ากับสีขาว) โดยที่ความสว่างมากค่า L จะใกล้ 100 แต่ถ้าความสว่างน้อย ค่าของ L ก็จะเข้าใกล้ 0 ค่า a จะบอกให้ทราบว่า วัตถุมีสีแดงหรือสีเขียวมากน้อยเพียงใด ถ้า a มีค่าเป็นบวก ยิ่งค่ามากแสดงว่าวัตถุมีสีแดงอยู่มาก แต่ถ้า a เป็นค่าลบ ก็จะบอกให้เราทราบว่าวัตถุมีสีเขียว ยิ่งค่าติดลบมากแสดงว่าวัตถุมีสีเขียวมาก และค่า b บอกให้ทราบว่าวัตถุมีสีน้ำเงินหรือสีเหลืองมากน้อยเพียงใด ถ้า b เป็นค่าบวกแสดงว่าวัตถุจะมีสีเหลืองมาก แต่ถ้า b เป็นลบ แสดงว่าวัตถุมีสีน้ำเงินมาก แสดงเครื่องมือวัดสีที่ใช้ในการทดลองและลักษณะข้อมูลที่ได้ดังรูปที่ ง.3



รูปที่ ง.2: ระบบ Hunter scale

ที่มา เอกสารประกอบการอบรมวิทยากรหลังการเก็บเกี่ยวพืชสวน รุ่นที่19



010	Hunter	L 82.66	a -7.73	b+29.37
011	Hunter	L 76.68	a -5.11	b+30.11
012	Hunter	L 80.02	a -7.11	b+28.42
013	Hunter	L 83.44	a -8.43	b+30.95
014	Hunter	L 72.64	a -7.56	b+27.86
015	Hunter	L 79.77	a -7.45	b+33.40
016	Hunter			

รูปที่ ง.3: เครื่องมือวัดสีที่ใช้ในการทดลองและลักษณะของข้อมูลที่ได้

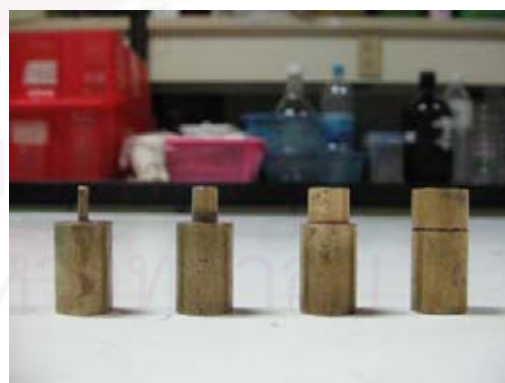
ง.3 การคำนวณหาปริมาณความแน่นเนื้อของเนื้อทุเรียน

จากการทดลองวัดความแน่นเนื้อของเนื้อทุเรียนเราจะได้อ่านค่าการวัดในหน่วยกิโลกรัมมา และมีการเปลี่ยนขนาดหัววัดแรงกดซึ่งขึ้นอยู่กับความแน่นเนื้อของทุเรียนในการทดลองแต่ละครั้ง แต่เพื่อให้สามารถนำค่าที่วัดมาเปรียบเทียบกันได้ จึงต้องมีการแปลงค่าที่อ่านได้จากขนาดหัวชนิดหนึ่งมาเป็นค่าที่อ่านได้จากหัวชนิดอีกขนาดหนึ่ง โดยในช่วงวันแรกจะใช้หัวกดขนาดเล็กเนื่องจากเนื้อทุเรียนยังมีความแข็งอยู่และค่อยเปลี่ยนมาเป็นหัวรับแรงกดขนาดใหญ่ ซึ่งในการทดลองนี้จะเป็นการเปลี่ยนค่าที่ได้มาเป็นขนาดหัวรับแรงกดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร หยอดทุกค่า โดยการเปลี่ยนค่าสามารถทำได้ดังนี้

ค่าที่อ่านได้จากหัวรับแรงกดขนาด 8 มิลลิเมตรเท่ากับ 1.8 กิโลกรัม ซึ่งขนาดหัวรับแรงกดขนาด 8 มิลลิเมตร มีพื้นที่เท่ากับ 50.24 ตารางมิลลิเมตร และขนาดหัวรับแรงกดขนาด 10 มิลลิเมตร มีพื้นที่เท่ากับ 78.5 ตารางมิลลิเมตร ซึ่งสามารถหาค่าที่ขนาดหัวรับแรงกด 10 มิลลิเมตรโดยการเทียบ

พื้นที่กด	50.24	ตารางมิลลิเมตร	อ่านค่าได้	1.8	กิโลกรัม
พื้นที่กด	78.5	ตารางมิลลิเมตร	อ่านค่าได้	2.8125	กิโลกรัม

โดยนำค่าที่ได้นี้ไปคูณกับ 9.81 เพื่อที่จะเปลี่ยนเป็นแรงกดที่มีหน่วยเป็นนิวตัน แสดงเครื่องมือวัดความแน่นเนื้อที่ใช้ในการทดลอง และขนาดหัวรับแรงกดขนาดต่างๆดังรูปที่ ง.4



รูปที่ ง.4: เครื่องมือวัดความแน่นเนื้อ และขนาดหัววัดแรงกดขนาด 2, 5, 8 และ 10 มิลลิเมตร

ง.4 การคำนวณหาค่าปริมาณของแข็งละลายน้ำได้

การวัดค่าปริมาณของของแข็งละลายน้ำได้ใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Hand refractometer แสดงเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองดังรูปที่ ง.5 เป็นอุปกรณ์ที่วัดค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในสารละลายโดยอาศัยหลักการหักเหของแสง ค่าที่อ่านได้เป็นค่าบริกซ์ (Brix) แล้วนำค่าที่อ่านได้มาคูณด้วย 3 คือ dilution factor ของเนื้อทุเรียน: น้ำกลั่น (2:1)

ตัวอย่างถ้าค่าที่อ่านได้จาก Hand refractometer เท่ากับ 10% การรายงานผลนำค่า 10% ที่คูณด้วย 3 ดังนั้นปริมาณของแข็งละลายน้ำได้มีค่าเท่ากับ 30%



รูปที่ ง.5: Hand refractometer ที่ใช้ในการทดลอง

ง.5 การคำนวณอัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีน

นำตัวอย่างก๊าซที่ได้มาฉีดเข้าเครื่อง GC แสดงเครื่อง GC ที่ใช้ในการทดลองดังรูปที่ ง.6 อ่านค่าที่ได้แสดงกราฟที่ได้จากการทดลองดังรูปที่ ง.7 แล้วนำมาคำนวณค่าอัตราการหายใจและอัตราการผลิตเอทิลีนดังนี้

การคำนวณอัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีนมีค่าที่ต้องทราบดังนี้

1. อุณหภูมิ (เคลวิน) และความดัน (มิลลิเมตรปรอท) ที่ทำการทดลอง
2. อัตราการไหลของอากาศผ่านขวดแก้วบรรจุผลไม้ (มิลลิลิตร/นาที)
3. น้ำหนักของเนื้อผลไม้ (กรัม)
4. ความเข้มข้นของแก๊ส เป็น เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร
5. Conversion Factor (CF) จะเชื่อมโยงกับอุณหภูมิและความดันที่เราทดลอง จึงต้องมีการคำนวณทุกครั้ง ถ้า ความดันที่ใช้ มีค่าเท่ากับ 1 บาร์ หรือ เท่ากับ 760 มิลลิเมตรปรอท และอุณหภูมิที่ใช้เท่ากับ 0 องศาเซลเซียส หรือเท่ากับ 273 องศาเคลวิน ค่า CF = 1.96 โดย CF จะมีการคำนวณ ดังนี้

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

จากนั้นคำนวณอัตราการหายใจดังสมการ

$$\text{Respiration Rate (mg CO}_2\text{/kg - hr)} = \frac{\text{Flow rate} \times 60 \times \% \text{CO}_2 \times 1,000 \times CF}{100 \times \text{weight of fruits}}$$

และคำนวณการผลิตเอทิลีนดังสมการ

$$\text{Ethylene production} = \frac{\text{C}_2\text{H}_4 \text{ (ppm)} \times \text{Flowrate} \times 60}{\text{weight of fruits (g)}}$$

ตัวอย่างการคำนวณอัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีน

ผลไม้หนัก 171.76 กรัม เก็บไว้ในขวดโหลที่มีอัตราการไหลของอากาศผ่านขวดแก้วบรรจุผลไม้ เท่ากับ 101.28 มิลลิลิตร/นาที โดยวัดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ 0.0828% โดยปริมาตร และความเข้มข้นของเอทิลีนเท่ากับ 0.1695 ppm ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศหรือ 760 มิลลิเมตรปรอทดังนั้นค่า CF จะมีค่าเท่ากับ

$$\frac{273 \times 760 \times 1.96}{278 \times 760} = 1.925$$

คำนวณอัตราการหายใจ

ก๊าซ	100	มิลลิลิตร	มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	0.0828	มิลลิลิตร
อัตราการไหล	101.28	มิลลิลิตร	มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	0.08386	มิลลิลิตร
ในเวลา	1	นาที	มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	0.08386	มิลลิลิตร
ในเวลา	60	นาที	มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	5.032	ml CO ₂ /hr
เนื้อทุเรียน	171.76	กรัม	มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	5.032	มิลลิลิตร
เนื้อทุเรียน	1000	กรัม	มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	29.297	ml CO ₂ /kg-hr

ดังนั้นอัตราการหายใจ เท่ากับ $29.297 \times CF = 29.297 \times 1.925^* = 56.40 \text{ mg CO}_2/\text{kg-hr}$

*ก๊าซ 1 g-mole มีปริมาตร 22.4 ลิตร ที่ 0 องศาเซลเซียส 1 บรรยากาศ

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 1 g-mole หนัก 44 กรัม

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 22,400 มิลลิลิตร หนัก 44,000 มิลลิกกรัม

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 1 มิลลิลิตร หนัก 1.96 มิลลิกกรัม

หรือคำนวณตามสูตรที่ให้ไว้ข้างต้น

$$\frac{(101.28 \times 60 \times 0.0828 \times 1000 \times CF)}{(100 \times 171.76)} = 56.4 \text{ mg CO}_2 / \text{kg} - \text{hr}$$

คำนวณการผลิตเอทิลีน

ก๊าซ	1,000,000	มิลลิลิตร	มีก๊าซเอทิลีน	0.1695	มิลลิลิตร
อัตราการไหล	101.28	มิลลิลิตร	มีก๊าซเอทิลีน	0.0000172	มิลลิลิตร
ในเวลา	1	นาที	มีก๊าซเอทิลีน	0.0000172	มิลลิลิตร
ในเวลา	60	นาที	มีก๊าซเอทิลีน	0.001032	มิลลิลิตร (ml/hr)
เนื้อทุเรียน	171.76	กรัม	มีก๊าซเอทิลีน	0.001032	ml/hr
เนื้อทุเรียน	1,000	กรัม	มีก๊าซเอทิลีน	0.00601	ml/kg-hr

ดังนั้นอัตราการผลิตเอทิลีน เท่ากับ 0.00601 ml/kg-hr หรือเท่ากับ 6.01 $\mu\text{l}/\text{kg-hr}$

หรือคำนวณตามสูตรที่ให้ไว้ข้างต้น $\frac{0.1695 \times 101.28 \times 60}{171.76} = 6.01 \mu\text{l} / \text{kg} - \text{hr}$



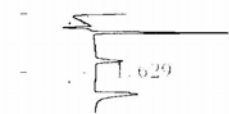
(ก)



(ข)

รูปที่ ๖.6: เครื่อง Gas chromatography (GC-8A) ที่ใช้ในการทดลองของฝ่ายปฏิบัติการวิจัยและเรียนปลูกพืชทดลอง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน (ก) ถีดเอทีลีน (ข) ถีดคาร์บอนไดออกไซด์

C-RSA CHROMATOPAC CH-1 DATA-1:%CHRM1.C00 ATTEN= 3 SPEED= 5.0

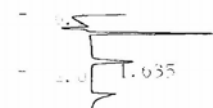


C-RSA CHROMATOPAC CH-1 Report No. 72 DATA-1:%CHRM1.C00 05/02/15 18:00:58

** CALCULATION REPORT **

CH	PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC	NAME
1	1	1.629	1706	267		1	0.5635	C2H4
TOTAL			1706	267			0.5635	

C-RSA CHROMATOPAC CH-1 DATA-1:%CHRM1.C00 ATTEN= 3 SPEED= 5.0



C-RSA CHROMATOPAC CH-1 Report No. 73 DATA-1:%CHRM1.C00 05/02/15 18:09:30

** CALCULATION REPORT **

CH	PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC	NAME
1	1	1.635	2579	406		1	0.8522	C2H4
TOTAL			2579	406			0.8522	

(ก)

C-RSA CHROMATOPAC CH-1 DATA-1:%CHRM1.C00 ATTEN= 7 SPEED= 7.0



C-RSA CHROMATOPAC CH-1 Report No. 68 DATA-1:%CHRM1.C00 05/02/19 15:55:44

** CALCULATION REPORT **

CH	PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC	NAME
1	1	0.38	705840	218106	S			
	2	0.971	443	113	T	1	0.0449	CO2
TOTAL			706283	218219			0.0449	

C-RSA CHROMATOPAC CH-1 DATA-1:%CHRM1.C00 ATTEN= 7 SPEED= 7.0



C-RSA CHROMATOPAC CH-1 Report No. 69 DATA-1:%CHRM1.C00 05/02/19 15:59:44

** CALCULATION REPORT **

CH	PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC	NAME
1	1	0.117	59	5				
	2	0.377	844763	235905	V			
	3	0.967	624	146		1	0.0633	CO2
TOTAL			845447	236056			0.0633	

(ข)

รูปที่ ๖.7: (ก) โครมาโทแกรมของเอทิลีน (ข) โครมาโทแกรมของคาร์บอนไดออกไซด์

การอ่านความเข้มข้นของเอทิลีนที่ได้โดยการทดลองเริ่มต้นจากชนิด standard C_2H_4 และ ทุกๆครั้งที่ฉีดตัวอย่างพืชที่ได้จะออกตรงเวลาเดียวกันกับที่ฉีด standard เห็นได้ว่าพืชของเอทิลีนที่เกิดขึ้นจะออกที่เวลาเท่ากับ 1.629 และ 1.635 นาที ซึ่งเวลาที่ได้ใกล้เคียงกันโดยอ่านความเข้มข้นของเอทิลีนได้เท่ากับ 0.5635 และ 0.8522 ppm ตามลำดับจากนั้นก็นำมาคำนวณการผลิตเอทิลีนของแต่ละวันดังแสดงการคำนวณในขั้นต้น สำหรับการอ่านความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ก็มีหลักการเช่นเดียวกันโดยการทดลองเริ่มต้นจากการฉีด standard CO_2 ซึ่งทุกครั้งที่ได้ฉีดตัวอย่างพืชที่ได้จะออกตรงเวลาเดียวกันกับที่ฉีด standard เห็นได้ว่าพืชของคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะออกที่เวลาเท่ากับ 0.971 และ 0.967 นาทีซึ่งเวลาที่ได้ใกล้เคียงกันโดยอ่านความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ได้เท่ากับ 0.0419 และ 0.0633 % (v/v) ตามลำดับจากนั้นก็ได้นำค่าที่ได้มาคำนวณอัตราการหายใจดังที่ได้แสดงวิธีการคำนวณไปแล้วข้างต้น



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แบบทดสอบการทดสอบทางประสาทสัมผัส

ง.6 ลักษณะแบบสอบถามที่ใช้

วันที่.....

ชื่อผู้ทดสอบ.....

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสของการชิมเนื้อทุเรียน

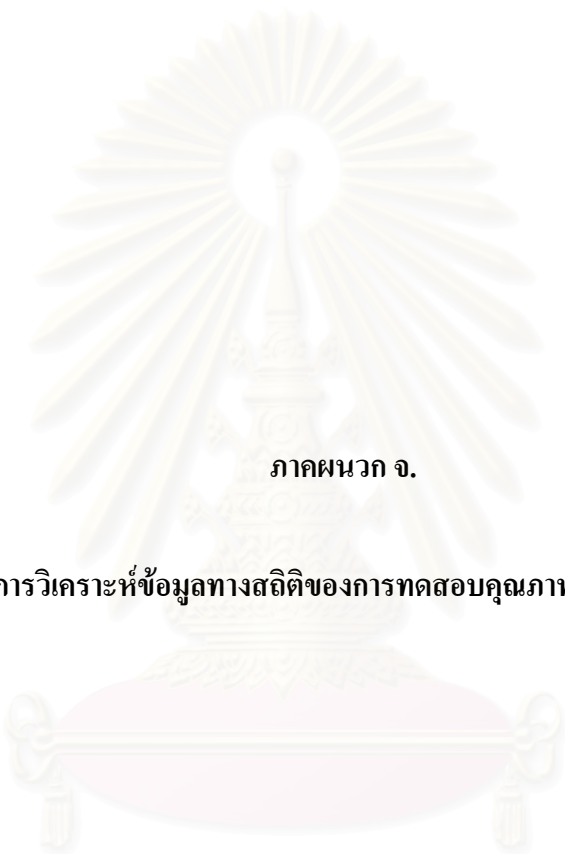
คำแนะนำ กรุณาทดสอบตัวอย่างจากซ้ายไปขวา และทำเครื่องหมายสำหรับหมายเลขที่คุณชอบมากที่สุดให้ตรงกับรหัสตัวอย่าง

ตัวอย่างหมายเลข.....

สี	ไม่สวย	0	1	2	3	4	5	สวยงาม
กลิ่นหอม	ไม่มีกลิ่น	0	1	2	3	4	5	มีกลิ่นหอมมาก
ความหวาน	ไม่หวาน	0	1	2	3	4	5	หวานมาก
ความมัน	ไม่มัน	0	1	2	3	4	5	มันมาก
ความนุ่ม	แข็ง	0	1	2	3	4	5	นุ่มมาก
กลิ่นฝืดปกติ	ไม่มี	0	1	2	3	4	5	ฝืดปกติมาก
รสชาติฝืดปกติ	ไม่มี	0	1	2	3	4	5	ฝืดปกติมาก
ความชอบ	ไม่ชอบ	0	1	2	3	4	5	ชอบมาก

ตัวอย่างหมายเลข.....

สี	ไม่สวย	0	1	2	3	4	5	สวยงาม
กลิ่นหอม	ไม่มีกลิ่น	0	1	2	3	4	5	มีกลิ่นหอมมาก
ความหวาน	ไม่หวาน	0	1	2	3	4	5	หวานมาก
ความมัน	ไม่มัน	0	1	2	3	4	5	มันมาก
ความนุ่ม	แข็ง	0	1	2	3	4	5	นุ่มมาก
กลิ่นฝืดปกติ	ไม่มี	0	1	2	3	4	5	ฝืดปกติมาก
รสชาติฝืดปกติ	ไม่มี	0	1	2	3	4	5	ฝืดปกติมาก
ความชอบ	ไม่ชอบ	0	1	2	3	4	5	ชอบมาก



ภาคผนวก จ.

สรุปการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของการทดสอบคุณภาพของเนื้อทุเรียน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จ.1 ตารางสรุปการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

แสดงการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของการสูญเสียน้ำหนัก การเปลี่ยนแปลงสีเนื้อ (ค่าความสว่าง, L) การเปลี่ยนแปลงสีเนื้อ (ค่าความเป็นสีเหลือง, b) ความแน่นเนื้อ ปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ อัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีนดังตารางที่ จ.1 จ.2 จ.3 จ.4 จ.5 จ.6 และ จ.7 ตามลำดับ

ตารางที่ จ.1: เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของเนื้อทุเรียน ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ทรีทเมนต์	การสูญเสียน้ำหนัก (%)												
	2วัน ^{1/}	4วัน ^{1/}	6วัน ^{1/}	8วัน ^{1/}	10วัน ^{1/}	12วัน ^{1/}	14วัน ^{1/}	16วัน ^{1/}	18วัน ^{1/}	20วัน ^{1/}	22วัน ^{1/}	24วัน ^{1/}	26วัน ^{1/}
ไม่เคลือบ	0.82	1.16a	1.30a	1.53a	1.68a	1.74a	1.75a	1.96a	2.04a	2.43a	2.42a	2.56a	2.75
A3	0.39	0.50b	0.58b	0.92b	1.09b	1.09b	1.33b	1.41b	1.64b	1.70b	1.77b	1.84b	2.05
B2	0.45	0.53b	0.62b	0.84b	0.97b	1.18b	1.39b	1.51b	1.74b	1.82b	1.78b	2.01b	2.39
C1	0.36	0.43b	0.65b	0.84b	1.04b	1.14b	1.16b	1.26b	1.40c	1.49c	1.55c	1.80b	2.25
C2	0.30	0.46b	0.68b	0.78b	0.89b	1.10b	1.11b	1.46b	1.51bc	1.73b	1.78b	1.83b	2.11
F-test	ns	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	ns

1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns ข้อมูลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

* ข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตัวอักษร a-c ที่แตกต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงแตกต่างทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ จ.2: การเปลี่ยนแปลงสีเนื้อ (ค่าความสว่าง, L) ของเนื้อทุเรียนซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ทรีทเมนต์	การเปลี่ยนแปลงสีเนื้อ (ค่าความสว่าง, L)													
	0วัน ^{1/}	2วัน ^{1/}	4วัน ^{1/}	6วัน ^{1/}	8วัน ^{1/}	10วัน ^{1/}	12วัน ^{1/}	14วัน ^{1/}	16วัน ^{1/}	18วัน ^{1/}	20วัน ^{1/}	22วัน ^{1/}	24วัน ^{1/}	26วัน ^{1/}
ไม่เคลือบ	86.91	84.89	85.21	81.27	82.48	82.96	81.56	84.34	84.27	84.03	82.44	81.55	83.94	82.08
A3	85.86	85.28	86.14	82.85	80.62	83.01	83.18	83.24	81.10	83.91	83.26	83.86	83.26	83.29
B2	86.09	84.98	83.46	81.15	81.98	81.94	82.16	84.40	83.28	80.42	81.14	81.50	83.80	83.95
C1	85.33	84.30	81.22	84.52	80.67	83.28	80.32	80.71	82.43	81.56	82.56	83.36	82.78	82.94
C2	85.42	84.61	83.27	82.48	84.12	81.86	82.00	82.43	83.78	83.75	81.49	81.37	83.01	85.56
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns ข้อมูลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ ๑.3: การเปลี่ยนแปลงสีเนื้อ (ค่าความเป็นสีเหลือง, b) ของเนื้อทุเรียนซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ทรีทเมนต์	การเปลี่ยนแปลงสีเนื้อ (ค่าความเป็นสีเหลือง, b)													
	0วัน ^{1/}	2วัน ^{1/}	4วัน ^{1/}	6วัน ^{1/}	8วัน ^{1/}	10วัน ^{1/}	12วัน ^{1/}	14วัน ^{1/}	16วัน ^{1/}	18วัน ^{1/}	20วัน ^{1/}	22วัน ^{1/}	24วัน ^{1/}	26วัน ^{1/}
ไม่เคลือบ	27.94	30.48	31.42	28.90	29.70	28.58	31.86	30.18	30.20	30.52	32.66	30.59	31.20	26.92
A3	28.83	30.36	29.69	29.80	29.56	31.74	32.98	28.88	29.10	29.00	33.78	31.00	31.00	29.11
B2	29.60	30.47	30.76	28.48	28.48	30.35	31.58	30.66	30.69	28.73	29.84	31.79	32.16	30.43
C1	28.60	29.27	30.61	28.24	28.81	29.76	32.87	29.82	29.90	28.71	31.15	29.54	31.78	30.22
C2	27.21	28.84	31.59	29.98	31.58	32.00	32.52	29.81	31.26	30.89	31.64	30.03	30.25	28.34
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns ข้อมูลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ จ.4: ค่าความแน่นเนื้อของเนื้อทุเรียนซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ทรีทเมนต์	ความแน่นเนื้อ (นิวตัน)													
	0วัน ^{1/}	2วัน ^{1/}	4วัน ^{1/}	6วัน ^{1/}	8วัน ^{1/}	10วัน ^{1/}	12วัน ^{1/}	14วัน ^{1/}	16วัน ^{1/}	18วัน ^{1/}	20วัน ^{1/}	22วัน ^{1/}	24วัน ^{1/}	26วัน ^{1/}
ไม่เคลือบ	145.26	106.90	83.60	34.69	68.68	44.45	34.27	17.53	27.40	40.30	13.31	38.81	22.99	10.34
A3	139.14	108.86	32.46	59.91	34.53	69.49	50.38	16.20	13.96	43.80	59.98	29.17	24.31	23.93
B2	111.44	105.29	117.33	82.11	83.00	84.00	60.29	9.71	16.44	38.40	31.70	26.21	20.48	10.27
C1	111.95	92.57	101.86	99.90	64.12	54.92	34.03	18.26	19.38	43.47	28.98	31.68	14.44	12.26
C2	146.63	112.51	80.77	116.60	78.14	53.55	45.35	53.79	14.46	52.19	44.23	18.70	22.59	34.67
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns ข้อมูลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ ๑.5: ปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ของเนื้อทุเรียนซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ทรีทเมนต์	ปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ (%)													
	0วัน ^{1/}	2วัน ^{1/}	4วัน ^{1/}	6วัน ^{1/}	8วัน ^{1/}	10วัน ^{1/}	12วัน ^{1/}	14วัน ^{1/}	16วัน ^{1/}	18วัน ^{1/}	20วัน ^{1/}	22วัน ^{1/}	24วัน ^{1/}	26วัน ^{1/}
ไม่เคลือบ	18.2	21.2	24	22.8	18.8	25.0	22.4	22.8	21.8	25.4	24.4	19.0	23.0	25.8
A3	22.0	22.6	18.0	18.0	20.6	22.8	24.6	22.0	21.8	22.2	23.0	22.8	26.6	22.2
B2	21.2	19.4	25.0	19.8	22.6	23.6	25.0	23.0	21.8	22.0	22.2	22.8	25.2	29.1
C1	23.0	22.0	22.0	22.6	23.8	24.2	24.2	23.4	20.6	20.8	24.4	24.2	23.8	28.5
C2	18.8	20.0	23.2	20.6	23.0	23.4	23.0	25.2	24.0	25.2	22.8	23.6	21.8	25.5
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns ข้อมูลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ จ.6: อัตราการหายใจของเนื้อทุเรียนซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ทรีทเมนต์	อัตราการหายใจ (mg CO ₂ /kg-hr)													
	0 ^{1/}	1 ^{1/}	2 ^{1/}	3 ^{1/}	4 ^{1/}	5 ^{1/}	6 ^{1/}	7 ^{1/}	8 ^{1/}	9 ^{1/}	10 ^{1/}	11 ^{1/}	12 ^{1/}	13 ^{1/}
ไม่เคลือบ	73.77c	65.26b	61.22b	70.20b	107.44a	212.04a	66.79a	48.04c	50.16d	51.86d	31.66bc	28.88d	50.38b	69.87
A3	138.61a	72.08ab	66.68b	68.30b	76.03b	125.20b	58.54b	58.51a	82.16a	57.72c	46.07a	36.81b	60.58b	41.60
B2	73.31c	72.48ab	73.47a	86.37a	101.24a	137.80b	58.82b	48.44c	64.74c	70.49a	35.97b	32.20c	84.19a	55.88
C1	68.01c	46.73c	62.93b	61.32b	74.41b	109.11c	44.77c	52.62b	64.98c	51.40d	28.24c	77.83a	47.28b	36.67
C2	110.81b	79.18a	76.87a	63.25b	86.11b	116.28b	63.29ab	35.08d	73.74b	61.32b	48.80a	31.22c	49.34b	49.03
F-test	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	ns

1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns ข้อมูลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

* ข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตัวอักษร a-d ที่แตกต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงแตกต่างทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ ๖.6 (ต่อ)

ทรีทเมนต์	อัตราการหายใจ (mg CO ₂ /kg-hr)												
	14 ^{1/}	15 ^{1/}	16 ^{1/}	17 ^{1/}	18 ^{1/}	19 ^{1/}	20 ^{1/}	21 ^{1/}	22 ^{1/}	23 ^{1/}	24 ^{1/}	25 ^{1/}	26 ^{1/}
ไม่เกลือ	33.56b	35.66	33.30	44.09	44.04c	42.20	51.58ab	49.36	28.88b	46.14	49.28	46.92	39.93
A3	34.39b	38.34	32.24	34.84	41.63c	37.69	57.49a	43.71	36.81b	49.80	48.36	55.29	47.10
B2	71.42a	50.72	45.39	36.20	54.91a	44.00	58.81a	39.21	32.20b	69.84	59.46	60.11	39.64
C1	29.94b	49.13	31.66	47.28	52.78ab	40.31	52.90ab	45.42	77.83a	51.16	48.68	49.37	48.39
C2	37.89b	52.02	42.30	45.83	48.33b	42.27	44.65b	49.33	31.22b	51.71	60.59	53.15	54.89
F-test	*	ns	ns	ns	*	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns

1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns ข้อมูลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

* ข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตัวอักษร a-d ที่แตกต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงแตกต่างทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ ๑.7: การผลิตเอทีลินของเนื้อทุเรียนซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ทรีทเมนต์	การผลิตเอทีลิน ($\mu\text{l/kg-hr}$)													
	0 ^{1/}	1 ^{1/}	2 ^{1/}	3 ^{1/}	4 ^{1/}	5 ^{1/}	6 ^{1/}	7 ^{1/}	8 ^{1/}	9 ^{1/}	10 ^{1/}	11 ^{1/}	12 ^{1/}	13 ^{1/}
ไม่เคลือบ	4.49	5.30a	5.34	4.28c	4.56b	9.53a	4.51	5.17c	4.61b	3.63d	4.12b	3.81ab	3.25	5.83a
A3	2.92	3.52b	3.96	5.33b	3.31c	9.00a	4.37	4.69c	4.37b	3.82d	4.11b	2.86c	3.47	5.41a
B2	4.08	3.42b	4.60	3.99c	2.18d	7.90b	4.97	7.82a	4.99ab	4.22c	5.34a	4.34a	3.38	5.81a
C1	4.93	5.05a	5.80	5.04b	4.49b	6.91c	4.60	6.80b	5.77a	5.59a	4.35b	3.48b	3.13	4.45b
C2	3.95	4.37ab	4.94	6.16a	6.65a	8.39ab	4.91	6.40b	5.42a	5.03b	4.08b	4.13a	3.16	4.51b
F-test	ns	*	ns	*	*	*	ns	*	*	*	*	*	ns	*

1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns ข้อมูลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

* ข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตัวอักษร a-d ที่แตกต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงแตกต่างทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ จ.7 (ต่อ)

ทรีทเมนต์	การผลิตเอทิลีน ($\mu\text{l/kg-hr}$)												
	14 ^{1/}	15 ^{1/}	16 ^{1/}	17 ^{1/}	18 ^{1/}	19 ^{1/}	20 ^{1/}	21 ^{1/}	22 ^{1/}	23 ^{1/}	24 ^{1/}	25 ^{1/}	26 ^{1/}
ไม่เคลือบ	4.60c	3.95b	4.65b	3.35	3.55c	5.49	4.89c	4.97	4.12	4.38a	4.02b	4.20	3.57b
A3	4.48c	3.21c	4.20a	2.68	3.84c	4.72	4.98b	4.15	3.88	3.95a	4.43b	3.07	1.88c
B2	5.85b	4.90a	4.95b	3.69	4.56b	4.72	6.33a	4.73	4.55	3.77a	5.80a	3.76	3.57b
C1	6.16b	5.25a	5.71a	3.27	3.54c	4.48	5.55b	4.54	4.31	2.39b	4.20b	3.39	4.28a
C2	7.31a	4.60ab	5.42a	3.31	5.24a	5.23	4.35c	4.25	3.45	4.26a	2.54c	4.28	4.15b
F-test	*	*	*	ns	*	ns	*	ns	ns	*	*	ns	*

1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns ข้อมูลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

* ข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตัวอักษร a-d ที่แตกต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงแตกต่างทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวยุวลักษณ์ ศิริพลบุญ เกิดเมื่อวันที่ 13 เมษายน พ.ศ. 2524 ที่อำเภอเมือง จังหวัดตรัง สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสภาราชนี จังหวัดตรัง ในปีการศึกษา 2542 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ในปีการศึกษา 2545 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2546

การเผยแพร่วิทยานิพนธ์ทางสื่อสิ่งพิมพ์และอิเล็กทรอนิกส์

- Siripholbun, Yuwalak and Kanokpanont, Sorada, "Gelatin-chitosan edible films for postharvest application", The 14th National Chemical Engineering and Applied Chemistry Conference, RSCE 2004, Bangkok, 1-3 December 2004.

ทุนการศึกษาที่ได้รับ

- ทุนส่งเสริมงานวิจัยคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ทุนผู้ช่วยสอน ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย