

การผลิตผงบุกโดยการสกัดแบบเปียกร่วมกับการทำแห้งแบบพ่นกระจาย
และการประยุกต์ใช้ในการยืดอายุการเก็บรักษาชมพูพันธุ์ทับทิมจันทร์



นายชูลิทธิ หงษ์กุลทรัพย์

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

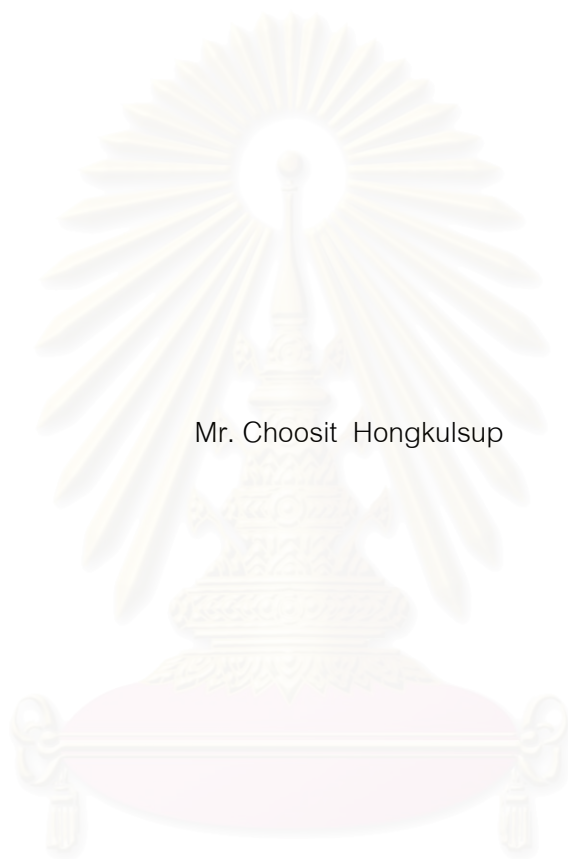
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2549

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PRODUCTION OF KONJAC POWDER USING COMBINATION OF WET PROCESS
EXTRACTION AND SPRAY DRYING AND APPLICATION ON EXTENDING SHELF LIFE
OF 'TUP TIM JUN' JAVA APPLE (*Eugenia jambos*)



Mr. Choosit Hongkulsup

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
For the Degree of Master of Science Program in Food Technology

Department of Food Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2006

Copyright of Chulalongkorn University

ชูลิทธิ หงษ์กุลทรัพย์ : การผลิตผงบุกโดยการสกัดแบบเปียกร่วมกับการทำแห้งแบบพ่นกระจาย และการประยุกต์ใช้ในการยืดอายุการเก็บรักษาชมพูพันธุ์ทับทิมจันทร์ (PRODUCTION OF KONJAC POWDER USING COMBINATION OF WET PROCESS EXTRACTION AND SPRAY DRYING AND APPLICATION ON EXTENDING SHELF LIFE OF 'TUP TIM JUN' JAVA APPLE (*Eugenia Jumbos*)) อาจารย์ที่ปรึกษา : อ.ดร. ชาลิตา บรมพิชัยชาติกุล, อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม : ผศ.ดร. อภิรดี อุทัยรัตนกิจ, 99 หน้า.

บุกพันธุ์เนื้อทราย (*Amorphophallus oncophyllus*) เป็นพันธุ์พื้นเมืองของไทยที่มีความสำคัญเนื่องจากใช้ประโยชน์ทางอุตสาหกรรมผลิตผงบุกหรือกลูโคแมนแนน ซึ่งเป็นเส้นใยอาหาร (dietary fiber) จึงมีแนวคิดที่จะศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการสกัดผงบุก และศึกษาผลการนำผงบุกที่สกัดได้นี้ไปใช้ประโยชน์ งานวิจัยแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้ ขั้นตอนแรกศึกษาการผลิตผงบุกจากหัวบุกสดโดยการสกัดแบบเปียกร่วมกับการทำแห้งแบบพ่นกระจาย (Spray drying) โดยใช้สารละลายเอทานอล 95 % ในวาล์ว จากนั้นนำของแข็งที่กรองได้ไปผสมกับน้ำในอัตราส่วนความเข้มข้น 1 % นำไปทำแห้งแบบพ่นกระจายโดยใช้อุณหภูมิ 4 ระดับ คือ 140, 160, 180 และ 200 องศาเซลเซียส จากการทดลองพบว่า อุณหภูมิในการทำแห้งมีผลต่อคุณภาพของผงบุก โดยที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ผงบุกที่ได้จะมีคุณภาพดี ความหนืดเมื่อละลายน้ำ ขนาดอนุภาค และปริมาณกลูโคแมนแนนดีกว่าที่รีดเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ขั้นตอนที่สองเป็นการศึกษาการเตรียมฟิล์มจากผงบุกที่สกัดได้ โดยเตรียมฟิล์มจากผงบุกความเข้มข้น 1 % กับกลีเซอรอล 0.3 % (Treatment 1) และฟิล์มจากผงบุกความเข้มข้น 1 % โบกลีเซอรอล 0.3 % และโปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) 0.5 M 0.14% (Treatment 2) จากผลการทดลองพบว่า สารละลายต่าง (KOH) มีผลต่อสมบัติของฟิล์มบุก โดยฟิล์มบุกที่เติม KOH (Treatment 2) มีค่าการต้านทานแรงดึงขาด การยืดตัวสูงกว่า แต่ค่าการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซออกซิเจนต่ำกว่าฟิล์มบุกที่ไม่มี KOH (Treatment 1) อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และขั้นตอนสุดท้ายเป็นการศึกษานำผงบุกไปใช้เป็นสารเคลือบผิวชมพูพันธุ์ทับทิมจันทร์เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา โดยมี 3 ทรีตเมนต์ คือ ชมพู่มะเคลือบผิว ชมพู่มะเคลือบผิวด้วยสารละลาย Treatment 1 และชมพูมะเคลือบผิวด้วยสารละลาย Treatment 2 โดยทั้งหมดเก็บที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 88% จากผลการทดลองพบว่า สารเคลือบผิวช่วยลดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของชมพู โดยสารเคลือบผิวทั้งสองทรีตเมนต์สามารถชะลอการสูญเสียน้ำหนัก ความแน่นเนื้อ ลดอัตราการหายใจ และอัตราการผลิตก๊าซเอทิลีนได้ดีกว่าชมพูที่ไม่เคลือบผิวอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 15 วัน

ภาควิชา.....เทคโนโลยีทางอาหาร.....

สาขาวิชา.....เทคโนโลยีทางอาหาร.....

ปีการศึกษา.....2549.....

ลายมือชื่อนิสิต.....ชูลิทธิ หงษ์กุลทรัพย์.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....อ.ดร. ชาลิตา บรมพิชัยชาติกุล.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....อภิรดี อุทัยรัตนกิจ.....

4772279423 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY

KEY WORD : KONJAC POWDER / SPRAY DRYING / EDIBLE COATING / JAVA APPLE

CHOOSIT HONGKULSUP : PRODUCTION OF KONJAC POWDER USING COMBINATION OF WET PROCESS EXTRACTION AND SPRAY DRYING AND APPLICATION ON EXTENDING SHELF LIFE OF 'TUP TIM JUN' JAVA APPLE (*Eugenia Jumbos*). THESIS ADVISOR : CHALEEDA BAROMPICHAICHARTKUL, Ph.D., THESIS COADVISOR : ASST.PROF. APIRADEE UTHAIRATANAKIJ, Ph.D. 99 pp.

Elephant yam (*Amorphophallus oncophyllus*) is an important local species used for the production of konjac powder (glucomannan), a dietary fiber. Suitable conditions for konjac powder production and edible coating application for maintaining storage quality of fruit were studied. This experiment was divided into 3 parts; the first part was production of konjac powder using a combination of wet process extraction and spray drying. Konjac slices were rinsed by blending with ethanol 95 %. Filtered solids were mixed with water at concentration of 1 % and spray dried at inlet temperature 140, 160, 180 and 200 °C. The results showed that drying temperature affected the quality of konjac powder. Spray drying at temperature 140 °C produced good colour, viscosity when dissolved, particle size and significantly better glucomannan quantity than other treatments ($p \leq 0.05$). Part two was the preparation of konjac films from konjac powder 1 % and glycerol 0.3 % (treatment 1) and from konjac powder 1 %, glycerol 0.3 % and KOH 0.5 M 0.14 % (treatment 2). The results showed that additional KOH affected the properties of konjac film. Konjac film with added KOH (treatment 2) had higher tensile strength and elongation but significantly lower water vapour permeability and oxygen permeability than Konjac film without adding KOH (treatment 1) ($p \leq 0.05$). In the final part konjac powder was used as an edible coating for 'tup tim jun' java apple. Konjac coating (treatment 1) and (treatment 2) were compared with non-coating (control) at storage temperature 13 °C and relative humidity 88 %. The results showed that the coating delayed the change of java apple's quality. Both konjac coatings (treatment 1 and treatment 2) could significantly retard firmness, weight loss, respiration rate and ethylene production ($p \leq 0.05$) during 15 days storage.

Department.....FOOD TECHNOLOGY...

Field of study...FOOD TECHNOLOGY...

Academic year.....2006.....

Student's signature.....

Advisor's signature.....

Co-advisor's signature.....

Chosit Hongkulsup

Chaleeda Barompichaichartkuli

Apirodee

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ โดยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก อาจารย์ ดร.ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ แห่งภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อภिरดี อุทัยรัตนกิจ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม แห่งสายวิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่กรุณาเสียสละเวลาให้คำแนะนำ แนวคิด และคำปรึกษาในระหว่างดำเนินงานวิจัยตลอดมา

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.สุวรรณา สุภิमारส ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พาสวดี ประทีปะเสน และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อุบลรัตน์ สิริภัทราวรรณ ที่กรุณาสละเวลาตรวจสอบ แก้ไข ให้คำแนะนำ และร่วมเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณอาจารย์มงคล และอาจารย์อรนุช เกษประเสริฐ แห่งกรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์หวั่นุกในการทดลอง และกรุณาให้คำแนะนำปรึกษาในระหว่างดำเนินงานวิจัย

ขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ นิสิตปริญญาโท ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และสายวิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ให้ความช่วยเหลือและกำลังใจในการทำงานวิจัย และขอขอบคุณนักวิทยาศาสตร์ประจำห้องปฏิบัติการ สำหรับการอำนวยความสะดวกในด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำวิจัย

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ และขอขอบคุณพี่และน้อง สำหรับความช่วยเหลือ การสนับสนุน ความเข้าใจ และกำลังใจที่มีให้ตลอดมา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
2 วารสารปริทัศน์	
2.1 นुक.....	3
2.2 การปลูกนุกในประเทศไทย.....	6
2.3 สารที่พบในนุก.....	6
2.4 คุณสมบัติของแป้งนุก.....	8
2.5 การใช้ประโยชน์จากผงนุก.....	11
2.6 การผลิตผงนุก.....	12
2.7 การอบแห้ง.....	15
2.8 फिल्मและสารเคลือบที่รับประทานได้.....	20
2.9 ชมพู.....	23
3 การดำเนินงานวิจัย	
3.1 วัตถุประสงค์ อุปกรณ์ และสารเคมี.....	31
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	33
4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	
4.1 การผลิตผงนุกจากหัวนุกสดโดยการสกัดแบบเปียกร่วมกับการทำแห้ง แบบพ่นกระจาย.....	38
4.2 ผลการเตรียม फिल्मจากผงนุกและการตรวจสอบคุณสมบัติของ फिल्म.....	49
4.3 ผลของสารเคลือบผิวจากผงนุกต่อคุณภาพของชมพูพันธุ์ทับทิมจันท์ระหว่าง การเก็บรักษา.....	53

5	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
5.1	สรุปผลการทดลอง.....	67
5.2	ข้อเสนอแนะ.....	68
	รายการอ้างอิง.....	69
	ภาคผนวก	
	ภาคผนวก ก.....	80
	ภาคผนวก ข.....	83
	ภาคผนวก ค.....	94
	ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	99



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1	ค่าสีของผงบุกจากวิธีการสกัดแบบเปียกและทำแห้งแบบพ่นกระจายที่อุณหภูมิต่างๆ เปรียบเทียบกับวิธีการสกัดแบบแห้ง..... 39
4.2	ปริมาณผงบุกที่ผลิตได้ (yield) จากการสกัดแบบเปียกและทำแห้งแบบพ่นกระจาย ที่อุณหภูมิต่างๆ..... 42
4.3	ค่าความชื้นของผงบุกจากวิธีการสกัดแบบเปียกและทำแห้งแบบพ่นกระจายที่ อุณหภูมิต่างๆ เปรียบเทียบกับวิธีการสกัดแบบ..... 43
4.4	ปริมาณกลูโคแมนแนนของผงบุกจากวิธีการสกัดแบบเปียกและทำแห้งแบบ พ่นกระจายที่อุณหภูมิต่างๆ เปรียบเทียบกับวิธีการสกัดแบบแห้ง..... 44
4.5	ค่าความหนืดปรากฏของสารละลายบุกความเข้มข้น 0.5% ที่อุณหภูมิ 25°C และอัตราเฉือน 272 s ⁻¹ 46
4.6	ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของฟิล์มบุก 1%, กลีเซอรอล 0.3 % และ ฟิล์มบุก 1%, กลีเซอรอล 0.3 % ที่เติม KOH 0.5 M 0.14%..... 50
4.7	ผลการทดสอบสมบัติการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซออกซิเจนของฟิล์มบุก 1%, กลีเซอรอล 0.3% และฟิล์มบุก 1%, กลีเซอรอล 0.3% ที่เติม KOH 0.5 M 0.14% (ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 67, อุณหภูมิ 27°C)..... 50
ข. 1	อุปกรณ์และสภาวะในการหาอัตราการหายใจและการผลิตเอทีเอ็น..... 92
ค. 1	ผลของสารเคลือบผิวต่อสีของชมพูพันธุ์ทับทิมจันทน์ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 13°C ความชื้นสัมพัทธ์ 88%..... 95

ตารางที่

หน้า

ค. 2	ผลของสารเคลือบผิวต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของชมพูพันธุ์ทับทิมจันทร์ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 13°C ความชื้นสัมพัทธ์ 88%.....	95
ค. 3	ผลของสารเคลือบผิวต่อปริมาณ ascorbic Acid ของชมพูพันธุ์ทับทิมจันทร์ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 13°C ความชื้นสัมพัทธ์ 88%.....	96
ค. 4	ผลของสารเคลือบผิวต่อการสูญเสียน้ำหนักของชมพูพันธุ์ทับทิมจันทร์ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 13°C ความชื้นสัมพัทธ์ 88%.....	96
ค. 5	ผลของสารเคลือบผิวต่อความแน่นเนื้อของชมพูพันธุ์ทับทิมจันทร์ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 13°C ความชื้นสัมพัทธ์ 88%.....	97
ค. 6	ผลของสารเคลือบผิวต่ออัตราการหายใจของชมพูพันธุ์ทับทิมจันทร์ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 13°C ความชื้นสัมพัทธ์ 88%.....	97
ค. 7	ผลของสารเคลือบผิวต่ออัตราการผลิตเอทิลีนของชมพูพันธุ์ทับทิมจันทร์ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 13°C ความชื้นสัมพัทธ์ 88%.....	98
ค. 8	ผลของสารเคลือบผิวต่อการยอมรับคุณภาพโดยรวมของชมพูพันธุ์ทับทิมจันทร์ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 13°C ความชื้นสัมพัทธ์ 88%.....	98

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ลักษณะของบุงกระษฏกิจพันธุ์เนื้อทราย (<i>Amorphophallus oncophyllus</i>)..... 5 A. ต้น B. การเกิดหัวบวบ C. หัวใต้ดิน	
2.2 โครงสร้างโมเลกุลของสารกลูโคแมนแนน..... 8	
2.3 กระบวนการผลิตบุงแบบแห้ง (dry method)..... 13	
2.4 กระบวนการผลิตบุงแบบเปียก (wet method)..... 14	
2.5 การทำงานของเครื่องทำแห้งแบบพ่นกระจาย..... 16	
2.6 หัวบุงแบบหมูน..... 17	
2.7 เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยชนิดการไหลตามกัน..... 18	
2.8 การกำจัดความชื้นออกจากหยดของเหลว..... 19	
2.9 ลักษณะของผลชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์..... 25	
2.10 การคัดเกรดผลชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์..... 26	
3.1 เครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจาย (spray dryer) รุ่น DV-II..... 32	
4.1 บุงจากการสกัดแบบเปียกและทำแห้งแบบพ่นกระจายที่อุณหภูมิ 140°C (A), 160°C (B), 180°C (C) และ 200°C (D) เปรียบเทียบกับการสกัดบุงแบบแห้ง โดยทำแห้งด้วย tray drying ที่อุณหภูมิ 120°C (E)..... 41	

ภาพที่

หน้า

4.2	ภาพถ่ายผงบุกจากการสกัดแบบเปียกและทำแห้งแบบพ่นกระจายที่อุณหภูมิ 140°C (A), 160°C (B), 180°C (C) และ 200°C (D) ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM).....	47
4.3	แผ่นฟิล์มบุก 1%, กลีเซอรอล 0.3% (A) และแผ่นฟิล์มบุก 1%, กลีเซอรอล 0.3% ที่เติม KOH 0.5 M 0.14% (B).....	49
4.4	ภาพถ่ายด้านบนบนแผ่นฟิล์มบุก (A) และแผ่นฟิล์มบุกที่เติมสารละลาย KOH (B) ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM).....	51
4.5	ภาพถ่ายตัดขวางแผ่นฟิล์มบุก (A และ B) และแผ่นฟิล์มบุกที่เติมสารละลาย KOH (C และ D) ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM).....	52
4.6	ชมพูที่ไม่เคลือบผิว (A), ชมพูที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุก (B) และชมพูที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุกกับ KOH 0.5 M 0.14% (C) ก่อนเริ่มการทดลอง.....	53
4.7	ค่า a^* ของชมพูพันธุ์ทับทิมจันทิที่ไม่เคลือบผิว เคลือบผิวด้วยสารละลายบุก 1% และสารละลายบุก 1% + KOH 0.5 M 0.14% เก็บที่อุณหภูมิ 13°C ความชื้นสัมพัทธ์ 88%.....	54
4.8	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ($^{\circ}$ Brix) ของชมพูพันธุ์ทับทิมจันทิที่ไม่เคลือบผิว เคลือบผิวด้วยสารละลายบุก 1% และสารละลายบุก 1% + KOH 0.5 M 0.14% เก็บที่อุณหภูมิ 13°C ความชื้นสัมพัทธ์ 88%.....	55
4.9	ปริมาณ Ascorbic acid ของชมพูพันธุ์ทับทิมจันทิที่ไม่เคลือบผิว เคลือบผิวด้วยสารละลายบุก 1% และสารละลายบุก 1% + KOH 0.5 M 0.14% เก็บที่อุณหภูมิ 13°C ความชื้นสัมพัทธ์ 88%.....	57

ภาพที่

หน้า

4.10	การสูญเสียน้ำหนักของชมพูทับทิมจันทน์ที่ไม่เคลือบผิว เคลือบผิวด้วยสารละลายบุก 1% และสารละลายบุก 1% + KOH 0.5 M 0.14% เก็บที่อุณหภูมิ 13°C ความชื้นสัมพัทธ์ 88%.....	58
4.11	ลักษณะปรากฏของผลชมพูพันธุ์ทับทิมจันทน์ที่ไม่เคลือบผิว (A), ที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุก (B) และที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุกกับ KOH (C) เก็บที่อุณหภูมิ 13°C ความชื้นสัมพัทธ์ 88% เป็นเวลา 15 วัน.....	59
4.12	ความแน่นเนื้อของชมพูทับทิมจันทน์ที่ไม่เคลือบผิว เคลือบผิวด้วยสารละลายบุก 1% และสารละลายบุก 1% + KOH 0.5 M 0.14% เก็บที่อุณหภูมิ 13°C ความชื้นสัมพัทธ์ 88%.....	61
4.13	อัตราการหายใจของชมพูทับทิมจันทน์ที่ไม่เคลือบผิว เคลือบผิวด้วยสารละลายบุก 1% และสารละลายบุก 1% + KOH 0.5 M 0.14% เก็บที่อุณหภูมิ 13°C ความชื้นสัมพัทธ์ 88%.....	63
4.14	อัตราการผลิตเอทิลีนของชมพูพันธุ์ทับทิมจันทน์ที่ไม่เคลือบผิว เคลือบผิวด้วยสารละลายบุก 1% และสารละลายบุก 1% + KOH 0.5 M 0.14% เก็บที่อุณหภูมิ 13°C ความชื้นสัมพัทธ์ 88%.....	64
4.15	การยอมรับคุณภาพโดยรวมของชมพูทับทิมจันทน์ที่ไม่เคลือบผิว เคลือบผิวด้วยสารละลายบุก 1% และสารละลายบุก 1% + KOH 0.5 M 0.14% เก็บที่อุณหภูมิ 13°C ความชื้นสัมพัทธ์ 88%.....	65
ก. 1	ขั้นตอนการใช้เครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจาย รุ่น DV-II.....	81
ข. 1	แผนผังแสดงค่าสีที่รายงานเป็นค่า a b และ ค่า Hue angle.....	84
ข. 2	การวิเคราะห์หาปริมาณกลูโคแมนแนน.....	86

ภาพที่

หน้า

- ข. 3 ชุดทดสอบการซึมผ่านของไอน้ำประกอบด้วย เดซิเคเตอร์ที่มีสารละลาย Potassium iodide อิมิตัว (A) และถ้วยทดสอบการซึมผ่านของไอน้ำ (B)..... 88
- ข. 4 เครื่องวัดค่าการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน Model 8500..... 89



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในประเทศไทยบุกพันธุ์เนื้อทราย (*Amorphophallus oncophyllus*) เป็นพันธุ์พื้นเมืองที่มีความสำคัญ เนื่องจากนำมาผลิตผงบุกหรือกลูโคแมนแนน (glucomannan) ซึ่งเป็นเส้นใยอาหาร (dietary fiber) ที่มีประโยชน์ทางการแพทย์ช่วยลดระดับคอเลสเตอรอล ระดับไขมันในเส้นเลือด บำบัดอาการท้องผูก ใช้เป็นอาหารควบคุมน้ำหนัก โดยไม่มีผลข้างเคียงต่ออวัยวะอื่นๆ ในร่างกาย (Sugiyama and Shimahara, 1974) และในอุตสาหกรรมอาหารมีการนำมาใช้เป็นสารให้ความชื้นเหน็ดและทำให้เกิดเจลในผลิตภัณฑ์แยมและเยลลี่ ใช้เป็นสารให้ความชื้นเหน็ดและความคงตัวในผลิตภัณฑ์ประเภทอิมัลชัน (Ford and Chesey, 1986) ใช้เพื่อทดแทนไขมันและเพิ่มเส้นใยอาหารในผลิตภัณฑ์แปรรูปจากเนื้อสัตว์ (Tye, 1991) การสกัดหรือการผลิตผงบุกมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อคุณภาพของผงบุก หรือกลูโคแมนแนนที่ได้ โดยเฉพาะขั้นตอนการอบแห้งด้วยความร้อน และเวลาที่ใช้ในการอบแห้งมีผลต่อคุณภาพของผงบุกที่ได้ในด้านสี ความเหน็ด และปริมาณกลูโคแมนแนน ดังนั้น การพัฒนากระบวนการอบแห้งที่เร็วและมีประสิทธิภาพในการผลิตผงบุกช่วยให้สามารถผลิตผงบุกที่มีคุณภาพดี นอกจากนี้กลูโคแมนแนนในหัวบุกเป็นสารโพลีแซคคาไรด์สามารถนำมาผลิตเป็นฟิล์มบริโภคได้ (edible film) ที่มีสมบัติป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำ ก๊าซออกซิเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Cheng et al., 2002) ปัจจุบันชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์เป็นชมพู่พันธุ์ที่กำลังได้รับความนิยมจากผู้บริโภคในประเทศไทย เพราะเนื้อผลกรอบแข็ง ความแน่นเนื้อสูง ผลขนาดใหญ่ และไม่มีเมล็ด ประกอบกับมีสีผลเป็นลักษณะเด่น คือ มีสีผิวเป็นสีแดงเข้มตลอดทั้งผล (เปรมปวี ฐ สงขลา, 2543) นอกจากนี้ ชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ยังมีราคาจำหน่ายสูงกว่าชมพู่พันธุ์อื่นๆ (โสภี ทุมลา, 2549) ดังนั้นจึงเป็นพันธุ์ที่มีการสนับสนุนในการเพาะปลูกและผลิต เพื่อการส่งออกในอนาคตและสำหรับตลาดภายในประเทศ ชมพู่เป็นผลไม้ที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 90-92 จัดเป็นผลไม้ที่มีน้ำมาก และมีผิวเปลือกที่บางจึงมักเกิดอาการเหี่ยว เนื่องจากสูญเสียน้ำจากช่องเปิดต่างๆ ได้ง่าย รวมทั้งซ้ำและเน่าเสียง่าย ทำให้มีอายุการเก็บรักษาสั้น (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2542) ดังนั้นการใช้สารเคลือบผิวในปริมาณที่เหมาะสมควบคู่กับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ น่าจะเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาเพื่อลดการสูญเสีย น้ำ ชะลออัตราการหายใจ การสุก ลดความเสียหาย และความผิดปกติทางสรีรวิทยาของผลชมพู่ได้ งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาวิธีการผลิตผงบุกที่มีประสิทธิภาพและรวดเร็ว โดย

ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตผงบุก โดย Wet Process ร่วมกับ Spray Drying และนำผงบุกที่ผลิตได้นี้ไปใช้ประโยชน์ โดยทำเป็น Edible Film เคลือบผิวชมพู เพื่อศึกษาผลของการเคลือบผิวด้วยผงบุกต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของชมพูพันธุ์ทับทิมจันทร์ และเป็นแนวทางในการพัฒนาการผลิตและการใช้ประโยชน์จากหัวบุกต่อไป

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาวิธีการผลิตผงบุกโดยการสกัดแบบเปียกร่วมกับการทำแห้งแบบพ่นกระจายที่อุณหภูมิต่าง ๆ
2. ศึกษาผลของอุณหภูมิในขั้นตอนการทำแห้งที่มีต่อคุณภาพและปริมาณสารกลูโคแมนแนนของผงบุกที่สกัดได้
3. ศึกษาผลการใช้ประโยชน์จากผงบุกที่สกัดได้โดยการพัฒนาเป็นสารเคลือบผิวต่อคุณภาพการเก็บรักษาของชมพูพันธุ์ทับทิมจันทร์

ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาวิธีการผลิตผงบุกจากหัวบุกสดโดยการสกัดแบบเปียกร่วมกับการทำแห้งแบบพ่นกระจายที่อุณหภูมิ 140, 160, 180 และ 200 องศาเซลเซียส
2. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ ได้แก่ สี ความชื้น ปริมาณสารกลูโคแมนแนน ความหนืด และลักษณะอนุภาคของผงบุก จากการสกัดแบบเปียกร่วมกับการทำแห้งแบบพ่นกระจาย
3. ศึกษาสมบัติของฟิล์มบุกที่ผลิตได้ ได้แก่ การต้านทานแรงดึง การยืดตัว การซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน และการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มบุกทั้งที่มีและไม่มีสารเติมแต่ง และผลการนำฟิล์มจากผงบุกไปใช้เป็นสารเคลือบผิวต่อคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษาของชมพูพันธุ์ทับทิมจันทร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 บุก

บุก เป็นพืชล้มลุกในวงศ์ Araceae อยู่ในสกุล *Amorphophallus* ออกดอกในช่วงต้นฤดูฝน เวลาบานส่งกลิ่นเหม็น เมื่อดอกโรยแล้วจะมีใบงอกออกมา ก้านดอกและก้านใบกลมยาว หน้าแล้ง ต้นจะตาย เหลือหัวอยู่ใต้ดิน (พจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน, 2542) การเจริญเติบโตจะเป็นแบบถ่ายหัว คือ เมื่อต้นใหม่งอกในฤดูถัดไป หัวเก่าจะผ่อและสร้างหัวใหม่ขึ้นมาแทนที่ (มงคล เกษประเสริฐ และอรนุช เกษประเสริฐ, 2540) บุกมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Amorphophallus* sp. มีชื่อสามัญภาษาไทยหลายชื่อแตกต่างกันไปตามชนิดและท้องถิ่นที่พบ เช่น มันบุก มันกระบุก มันหู้ช้าง มันชูรัน หัวบุก ฟังเพราะ ดอกก้าน กระแท่ง บุกคางคก บุกเปีย ลอกใหญ่ ชื่อสามัญภาษาอังกฤษ เช่น Elephant yam, Elephant foot yam, Elephant bread, Sweet yam, Telinga potato แพร่กระจายพันธุ์อยู่ในภูมิภาคเขตร้อนของทวีปเอเชีย แอฟริกา และภาคตะวันออกเฉียงเหนือของทวีปออสเตรเลีย ไปจนถึงเขตอบอุ่นตอนกลางของประเทศจีน เกาหลี และญี่ปุ่น ประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่มีบุกอยู่มากมายหลายชนิด และสามารถเจริญได้ในสภาพพื้นที่และภูมิอากาศที่แตกต่างกัน (มงคล เกษประเสริฐ, 2547)

บุกจัดเป็นพืชอาหารและสมุนไพร โดยประเทศญี่ปุ่นและจีนตอนใต้มีการปลูกบุกเชิงพาณิชย์ ซึ่งได้ปรับปรุงพันธุ์บุก (*A. konjac* หรือ *A. riveri*) และพัฒนาวิธีการผลิตผงบุกและผลิตภัณฑ์จากผงบุกมาเป็นเวลานานแล้ว จนกระทั่งกลายเป็นอาหารประจำชาติอย่างหนึ่งของทั้งสองประเทศ ซึ่งรู้จักกันในนามของ คอนนิยากู (Konnyaku) รวมทั้งมีการศึกษาและวิจัยทางชีวเคมีในเรื่องการใช้ประโยชน์และชนิดของแป้งในบุกนี้มานานกว่า 40 ปี (หรรษา จักรพันธุ์ ณ อยุธยา, 2527)

2.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ลำต้นมีลักษณะอวบ มีหลายสีหลายลักษณะแตกต่างกันตามชนิด บางชนิดลำต้นเรียบเป็นมัน บางชนิดมีจุดสีขาวปนเขียวโดยเฉพาะในบุกเนื้อทราย สีของลำต้นมีหลายลักษณะแตกต่างกันไป เช่น สีเขียวอ่อนลายเป็นขีดสีขาว สีเขียวอมชมพูลายดำ หรือน้ำตาลปนขาว และอื่น ๆ (มงคล เกษประเสริฐ, 2547) บางชนิดลำต้นขรุขระคล้ายหนาม ลักษณะเป็นต้นเดี่ยวไม่มีกิ่งก้าน ความสูง

ประมาณ 1-3 เมตร แล้วแต่ชนิดและสภาพทางนิเวศวิทยา หัวใต้ดินมีอายุได้ 4-6 ปี มีสีน้ำตาล ทรงกลมแบนหรือทรงกระบอก สีของเนื้อหัวมีสีขาวครีม หรือขาวปนเหลืองถึงส้ม หรือชมพู ใบเกิดตรงปลายยอดของลำต้นแยกออกเป็น 3 ใบ แผ่กางออกคล้ายร่มและหยักเว้าเป็นแฉกบางชนิดมีหัวเล็ก ๆ บนใบ ดอกเป็นดอกช่อแบบสพาดิกซ์ (spadix) บางชนิดมีก้านดอกยาวโดยเกิดตรงจากหัวใต้ดิน บางชนิดมีก้านดอกสั้น ขนาดลำใหญ่ใกล้เคียงกับลำต้น ส่วนใหญ่เมื่อปลูกอายุ 2-3 ปี จึงจะมีดอก ผลเป็นผลสด สีส้มแดง เนื้อนุ่ม การขยายพันธุ์ทำได้หลายวิธี เช่น การเพาะด้วยเมล็ด (อัตราการงอก 97 เปอร์เซ็นต์) การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อซึ่งมีอัตราการขยายพันธุ์ได้รวดเร็วที่สุด การขยายพันธุ์แบบที่ง่ายที่สุดและให้ผลผลิตสูงคือการแยกหัวย่อยที่เกิดขึ้นรอบๆ หัวเดิม หรือหน่อย่อยที่เกิดบนซอกใบของบูกบางชนิด ไปปลูกหรือตัดแบ่งหัวเก่าออกเป็นส่วนๆ เช่น 4, 6 หรือ 8 ส่วน แล้วนำไปปลูก แต่อาจประสบปัญหาหัวเน่าก่อนงอกเนื่องจากการทำลายของเชื้อราหรือแบคทีเรีย (หรรษา จักรพันธุ์ ณ อยุธยา และอรนุช เกษประเสริฐ, 2532)

ปัจจุบันในประเทศไทยพบว่ามีบูกอยู่ 3 พันธุ์ ที่มีสารกลูโคแมนแนน ซึ่งเป็นสารสำคัญที่ต้องการทางการค้า (นิรนาม, 2533) คือ

1. บูกเนื้อทราย (*A. oncophyllus* Prain ex Hook f.) เป็นบูกซึ่งหัวมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 เซนติเมตร ใบขนาดใหญ่ 1 เมตร ก้านใบยาว 2.5 เซนติเมตร ช่อดอกยาว 20 เซนติเมตร มีกาบหุ้ม บูกพันธุ์นี้แยกจากบูกพันธุ์อื่นได้ง่ายคือ รูปร่างของหัวซึ่งกลมแบน มีรูลึกตรงกลาง หัวสดมีสีต่าง ๆ ได้แก่ เหลืองอมชมพู และขาวเหลือง เป็นต้น ก้านใบมีสีต่าง ๆ ได้แก่ เขียว เขียวมีจุดขาว เขียวทางขาวและเขียวปนชมพู และมีการเกิดหัวบนใบหรือที่เรียกว่าไขบูก ซึ่งสามารถนำไปเพาะในดินเพื่อขยายพันธุ์ได้ ดังแสดงในภาพที่ 2.1 พันธุ์นี้มีกลูโคแมนแนนสูงประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักบูกสด หรือประมาณ 50-70 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักบูกแห้ง พบทางภาคตะวันตกและภาคเหนือของประเทศได้แก่ กาญจนบุรี กำแพงเพชร ตาก เชียงใหม่ และพะเยา ชาวพื้นเมืองใช้เป็นอาหาร

2. บูกดำ (*A. kerrii* N.E. Br.) เป็นพันธุ์ที่มีหัวมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 7 ถึง 15 เซนติเมตร ผิวมัน ใบเดี่ยว ใบแยกเป็นส่วน มีกาบหุ้ม บูกพันธุ์นี้แยกจากบูกพันธุ์อื่นที่รูปร่างของหัวซึ่งกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 9.5 ถึง 15 เซนติเมตร ผิวขรุขระสีน้ำตาล หัวสดมีสีเหลือง เหลืองสดหรือขาว ต้นสีเขียวเข้มมีจุดขาว ก้านดอกยาวรังไข่มีก้านเกสรตัวเมียขาว ก้านสีขาวพบแถบน้ำตาล เชียงใหม่ เลย และกาญจนบุรี หรือที่มีระดับความสูง 1,200 ถึง 1,500 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล มีกลูโคแมนแนนแต่ไม่มากเท่าบูกเนื้อทราย

3. บุกเขา (*A. corrugatus* N.E. Br.) มีใบหลายใบ ช่อดอกมีกาบหุ้มยาว 7 ถึง 17 เซนติเมตร กว้าง 3 ถึง 7 เซนติเมตร รูปกระดิ่ง แยกจากพันธุ์อื่นตรงที่ใบมีหลายส่วนโดยมากมี 7 ส่วน สีน้ำเงินอมเขียว ขอบใบสีชมพู มีปริมาณกลูโคแมนแนนใกล้เคียงกับพันธุ์ *A. oncophyllus* Prain แต่การเพาะปลูกขยายพันธุ์ทำได้ยากกว่า เนื่องจากเหมาะกับการปลูกในป่าเขาที่สูงจากระดับน้ำทะเลประมาณ 600-800 เมตร



A.



B.



C.

ภาพที่ 2.1 ลักษณะของบุกเศรษฐกิจพันธุ์เนื้อทราย (*Amorphophallus oncophyllus*)

A. ต้น B. การเกิดหัวบนใบ C. หัวใต้ดิน

ที่มา : มงคล เกษประเสริฐ (2547)

2.2 การปลูกบุกในประเทศไทย

จากการศึกษารวบรวมพันธุ์บุกทั่วประเทศไทย พบว่ามีอยู่ประมาณ 30-40 ชนิด ตั้งแต่บริเวณชายฝั่งทะเล ที่ราบลุ่มภาคกลางไป จนถึงภูเขาสูงเหนือระดับน้ำทะเล 800-900 เมตร (มงคล เกษประเสริฐ และอรนุช เกษประเสริฐ, 2541) บุกเกือบทุกชนิดในประเทศไทยเป็นพืชป่าที่ยังไม่มีการศึกษาพัฒนาเพื่อใช้ประโยชน์ และมีเพียงไม่กี่ชนิดที่รับประทานได้ ในแต่ละภาคของประเทศไทยรู้จักวิธีนำมาทำเป็นอาหารทั้งในรูปอาหารคาวและอาหารหวาน บางชนิดนำเอาต้น ใบ มาหั่นต้มรวมกับรำข้าว และปลายข้าวเพื่อใช้เลี้ยงสุกร ด้านการเพาะปลูกบุกพบมีอยู่เพียง 2 ชนิดที่ชาวบ้านปลูกไว้บริโภค ชนิดแรกคือ บุกหูช้างหรือบุกโคราช (*A. koratensis* Gagnep.) ปลูกในท้องที่จังหวัดนครราชสีมา บุรีรัมย์ สุโขทัย เพชรบุรี อีกชนิดคือบุกต่างหรือบุกเบียดหรือบุกหลวง (*A. kerrii* N.E. Br.) นำเฉพาะเนื้อหัวไปปรุงเป็นอาหาร มีลักษณะคล้ายบุกโคราช ต่างกันที่ลำต้นบุกเบียดจะมีผิวขรุขระเล็กน้อยและไม่มีหัวย่อย พบปลูกเพียงบางหมู่บ้านที่อำเภอตานระยะ จังหวัดสระแก้ว อำเภอพบพระ จังหวัดตาก และที่อำเภอแม่สรวย จังหวัดเชียงราย เรียกว่า บุกหวาน และบุกที่ใช้ประโยชน์ทางอุตสาหกรรมในประเทศไทยคือบุกเนื้อทราย (*A. onchophyllus* Prain.) ซึ่งชาวบ้านมักเรียกบุกไข่ เนื่องจากมีหัวขึ้นอยู่บนใบ สามารถนำไปใช้ผลิตผงบุกหรือกลูโคแมนแนน ซึ่งเป็นเส้นใยอาหารที่มีประโยชน์ (มงคล เกษประเสริฐ และอรนุช เกษประเสริฐ, 2540) พบในหลายจังหวัดตามแนวชายแดนด้านตะวันตก ตั้งแต่ตอนใต้ของจังหวัดแม่ฮ่องสอน จนถึงภาคใต้ แถบจังหวัดนครศรีธรรมราช โดยพบมากในจังหวัดแม่ฮ่องสอน เชียงใหม่ ตาก กาญจนบุรี และระนอง

ปัจจุบันมีบริษัทเอกชนผลิตบุกออกมาในรูปของผลิตภัณฑ์ อาหารเสริมสุขภาพ อาหารลดความอ้วน ทำให้บุกเป็นที่สนใจของคนทั่วไป โดยมีแหล่งรับซื้อใหญ่ คือ บริษัทสหผลพืช จำกัด อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี และบริษัทสยามคอนยัค จำกัด อำเภอแม่สะเรียง จังหวัดแม่ฮ่องสอน (มงคล เกษประเสริฐ, 2547)

2.3 สารที่พบในบุก

หัวบุกและก้านใบมีสารที่ทำให้เกิดอาการคัน คือ แคลเซียมออกซาเลต (calcium oxalate) นอกจากนี้ยังพบสารพวกเมือก (mucilage) แป้ง (starch) และอาจพบสารอัลคาลอยด์ (alkaloid) โคนิอิน (coniine) (วันดี กฤษณพันธุ์, 2541) แต่สารที่เป็นองค์ประกอบหลักคือ กลูโคแมนแนน ซึ่งเป็นโพลีแซคคาไรด์ที่ประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสและแมนโนส

Smith และ Srivastava (1959) ศึกษาองค์ประกอบของกลูโคแมนแนนโดยการไ้แบคทีเรียที่สร้างสปอร์ได้ (sporulating bacteria) ซึ่งสุมแยกจากแป้งบุก ทำการย่อยแป้งบุกพบว่า ผลที่ได้จากการย่อย คือ น้ำตาลไตรแซคคาไรด์ซึ่งประกอบด้วย น้ำตาลดี-แมนโนส 2 โมเลกุล และน้ำตาลดี-กลูโคส 1 โมเลกุล และเมื่อย่อยแป้งบุกโดยการไ้กรดซัลฟิวริกเป็นเวลา 24 ชั่วโมง วิเคราะห์ด้วยวิธีโครมาโทกราฟีแบบกระดาษ ผลที่พบคือ น้ำตาลดี-แมนโนส และน้ำตาลดี-กลูโคสในอัตราส่วน 1.5:1 ต่อมาได้มีการศึกษาในกลูโคแมนแนนที่บริสุทธิ์ (Kato and Matsuda, 1969) โดยนำกลูโคแมนแนนไปย่อยด้วยกรดซัลฟิวริกอย่างสมบูรณ์ และวิเคราะห์ด้วยวิธีโครมาโทกราฟีแบบกระดาษ พบว่า น้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบของกลูโคแมนแนนคือ น้ำตาลดี-แมนโนส และน้ำตาลดี-กลูโคส ในอัตราส่วนโมลเท่ากับ 1.6:1

นอกจากการศึกษาองค์ประกอบน้ำตาลแล้ว Smith และ Srivastava (1959) และ Kato และ Matsuda (1970) ได้ศึกษาพันธะเชื่อมต่อกของกลูโคแมนแนนพบว่า น้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบนี้เชื่อมต่อกันด้วยพันธะชนิดเบต้าดี (β-D-type) จากนั้นได้มีการนำกลูโคแมนแนนบริสุทธิ์ไปตรวจด้วยเครื่องดูดซับแสงอินฟราเรด (Infrared absorption) และพบว่าดูดซับแสงอินฟราเรดที่ 870 cm^{-1} และที่ 890 cm^{-1} ซึ่งเป็นค่าเฉพาะของพันธะเบต้า-กลูโคซิดิก (β-glucosidic) และพันธะเบต้า-แมนโนซิดิก (β-mannosidic) ทำให้รู้ว่ากลูโคแมนแนน ประกอบด้วยน้ำตาลดี-กลูโคสและน้ำตาลดี-แมนโนสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะเบต้า 1,4-ไกลโคซิดิก (Sugiyama *et al.*, 1972; Maeda *et al.*, 1980)

ส่วนการศึกษาโครงสร้างทางเคมีของแป้งบุก โดยการย่อยแป้งบุกด้วยกรดซัลฟิวริกและเอนไซม์เซลลูเลส แล้วนำไปแยกส่วน (Kato and Matsuda, 1969, 1970) พบว่า กลูโคแมนแนนในแป้งบุกมีหน่วยต่อหนึ่งของโมเลกุลน้ำตาล (repeating unit) 2 แบบ คือ

กลูโคแมนแนน A : -G-G-M-M-M-M-G-M-

กลูโคแมนแนน B : -G-G-M-G-M-M-M-M-

เมื่อ

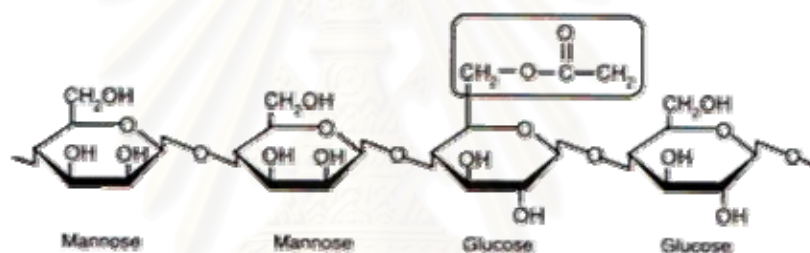
G แทน หน่วยของน้ำตาลดี-กลูโคส

M แทน หน่วยของน้ำตาลดี-แมนโนส

- แทน พันธะเบต้า 1,4-ไกลโคซิดิก

เมื่อวิเคราะห์โครงสร้างกลูโคแมนแนนจากแป้งบุกด้วยวิธี Methylation analysis พบว่า กลูโคแมนแนนมีโครงสร้างการแตกแขนงที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 3 ของน้ำตาลแมนโนสและน้ำตาลกลูโคส (Smith and Srivastava, 1959; Maeda *et al.*, 1980; Nishinari *et al.*, 1992) แต่ Kato และ Matsuda (1970) ไม่พบว่ามีโครงสร้างที่แตกแขนงในกลูโคแมนแนนจากแป้งบุก

Tye (1991) สรุปว่า กลูโคแมนแนนเป็นสารประเภทคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบด้วยแมนโนสและกลูโคสในอัตราส่วน 3 : 2 เชื่อมต่อกันด้วยพันธะเบต้า 1,4-ไกลโคซิดิก มีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 300,000 และมีหมู่อะเซทิลกระจายอยู่ทั่วไปบนสายโมเลกุลของกลูโคแมนแนน ซึ่งมีผลต่อการละลายน้ำ ดังแสดงในภาพที่ 2.2 เมื่อนำแป้งชนิดนี้มาละลายน้ำจะได้สารละลายข้นหนืด และสามารถเกิดเจลได้เมื่อใช้ร่วมกับสารละลายต่างหรือสารไฮโดรคอลลอยด์บางชนิด เช่น แชนแทนกัม และคาราจีแนน เป็นต้น



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างโมเลกุลของสารกลูโคแมนแนน

ที่มา : Tye, 1991

2.4 คุณสมบัติของแป้งบุก

แป้งบุกเป็นเส้นใยอาหารที่สามารถละลายน้ำได้ และดูดน้ำได้ถึง 100 เท่า มีคุณสมบัติเป็นซูโดพลาสติก (pseudoplastic) โดยอนุภาคของแป้งบุกเชื่อมต่อกันเป็นแมคโครโมเลกุล (macromolecule) และพันกัน โมเลกุลน้ำถูกดูดเข้าไปในสายโซ่โดยการสร้างพันธะไฮโดรเจน และเปลี่ยนจากผงแป้งเป็นของเหลวที่มีความหนืด (Nishinari *et al.*, 1987) แป้งบุกมีคุณสมบัติหลายอย่าง เช่น เป็นสารให้ความข้นหนืด สามารถเกิดเจลได้ หรือใช้เป็นสารคงตัว (stabilizer) หรือสารอิมัลซิไฟเออร์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของการเลือกใช้และลักษณะของผลิตภัณฑ์ สมบัติบางประการของแป้งบุกที่น่าสนใจได้แก่

2.4.1 ความข้นหนืด (Viscosity)

เมื่อนำแป้งบุกมาละลายน้ำ อุณหภูมิของแป้งดูดซึมน้ำเข้าไว้แล้วเกิดการพองตัว ทำให้ได้สารละลายที่มีความหนืดเพิ่มขึ้น มีลักษณะโซล (sol) ซึ่งเป็นแบบซิวโดพลาสติก อัตราการดูดซึมน้ำขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและเวลา เมื่อเพิ่มอุณหภูมิมีผลให้อัตราการดูดซึมน้ำเพิ่มอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้การเพิ่มอัตราแรงเฉือนมีผลให้อัตราการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นด้วย (Nishinari *et al.*, 1987)

การศึกษาค่าความข้นหนืดของแป้งบุกและแป้งข้าวเจ้าพบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของแป้งบุกส่งผลให้ความหนืดเพิ่มขึ้น (Fennema, 1996) ค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) คือช่วงที่แป้งบุกสามารถพองตัวได้ดีที่สุด ณ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความหนืดสูงสุดของสารละลายแป้งบุกมีความเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแป้งบุกทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น ที่ระดับความเข้มข้นของแป้งบุกเหมือนกัน ความหนืดสูงสุดมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแป้งบุกที่เป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่ และสามารถแตกตัวได้เป็นน้ำตาลที่มีโมเลกุลเล็กกว่าแป้งบุก (Fennema, 1996) จึงสามารถดึงน้ำได้ดีกว่า ทำให้แป้งบุกดูดซึมน้ำได้น้อยลงเป็นผลให้ความหนืดของสารละลายลดลง

2.4.2 การเกิดเจล (Gel formation)

โดยทั่วไปแล้วเจลที่ได้จากโพลีแซคคาไรด์อื่นๆ เมื่อนำมาให้ความร้อนจนถึงระดับอุณหภูมิหนึ่ง เจลจะแตกหรือเกิดการแยกตัวของโครงสร้างตาข่ายโพลีเมอร์ (polymer network) ทำให้สูญเสียความเป็นเจลไป แป้งบุกในสภาวะที่เติมต่างอ่อน เช่น โพลีแซคคาไรด์คาร์บอนเนต ให้เจลที่ทนต่อความร้อน (thermal stability) มีความแข็งแรงมาก และมีความคงตัวสูงแม้นำไปต้มในน้ำเดือด การให้ความร้อนซ้ำแก่เจลมีส่วนทำให้เจลมีความแข็งแรง และเสถียรภาพมากขึ้น การเกิดเจลของแป้งบุกสามารถแบ่งออกได้ 2 ลักษณะคือ

2.4.2.1 การใช้ต่างในการเกิดเจล

แป้งบุกเป็นการรวมตัวของสารโพลีแซคคาไรด์ที่พันกัน เมื่อทำให้อยู่ในสภาวะต่างอ่อน จะแข็งตัวขึ้น มีความยืดหยุ่นและคงตัวเมื่อได้รับความร้อนสูงถึง 100 – 200 องศาเซลเซียส การที่แป้งบุกไม่สร้างเจลเนื่องมาจากหมู่อะเซทิลที่อยู่ในสายเป็นตัวขัดขวางไม่ให้เกิดการรวมตัวเป็นสายยาว แต่อย่างไรก็ตามแป้งบุกสามารถสร้างเจลได้เมื่อได้รับความร้อนในสภาวะที่เป็นด่าง (pH

9 – 10) โดยหมู่ไฮดรอกซิลจับกับคาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ทำให้หมู่อะเซทิลหลุดออกมา (Dave and McCarthy, 1997; Nishinari *et al.*, 1992; Yoshimura and Nishinari, 1999) สารละลายต่างที่นิยมใช้ ได้แก่ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ และโพแทสเซียมคาร์บอเนต เจลที่ได้เป็นชนิดไม่ผันกลับโดยความร้อน (thermo irreversible gel) การที่เกิดเจลแบบนี้เนื่องมาจากหมู่อะเซทิลของกลูโคแมน แนนถูกกำจัดออกจากโมเลกุล

2.4.2.2 การใช้ไฮโดรคอลลอยด์เพื่อช่วยในการเกิดเจล

แมคโครโมเลกุลที่อยู่ในสารละลาย มีส่วนหนึ่งของโมเลกุลจับตัวกับโมเลกุลอื่น ๆ ที่อยู่ใกล้กันและปล่อยโมเลกุลน้ำที่จับอยู่ให้หลุดออกไป การจับตัวกันนั้นอาจแข็งแรงมากพอที่จะไม่ทำให้แตกตัวออกจากกันที่อุณหภูมิห้อง ถ้าจำนวนโมเลกุลที่จับกันมากพอจะเกิดอนุภาคขึ้นและตกตะกอนออกมา ปรากฏการณ์เช่นนี้มักเกิดขึ้นกับแป้ง การจับตัวแบบอื่นที่พบคือ แต่ละโมเลกุลของแมคโครโมเลกุลมีการจับตัวกับโมเลกุลอื่นมากกว่า 1 ตำแหน่ง ทำให้เกิดโครงสร้างเหมือนร่างแหใน 3 ทิศทาง โครงสร้างที่เกิดขึ้นเรียกว่าเจลโดยมีโมเลกุลน้ำแทรกอยู่ทั่วไป (Whistler and Daneil, 1990) โมเลกุลของน้ำเคลื่อนที่ไม่ได้เมื่อแทรกตัวอยู่ระหว่างโมเลกุลของแมคโครโมเลกุลในร่างแหทำให้เจลแข็งตัวและมีรูปร่างที่แน่นอน (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2539) ความแข็งแรงของเจลขึ้นกับความแข็งแรงของส่วนที่จับตัวกัน ถ้าส่วนที่จับตัวกันมีระยะสั้นมาก การจับตัวกันจะไม่แข็งแรงมากนัก เจลถูกทำลายได้ง่าย เช่น การกวนเบา ๆ หรือใช้ความร้อนต่ำ ในทางตรงกันข้ามถ้าส่วนที่จับตัวกันมีระยะยาวมาก การจับตัวจะแข็งแรงมาก เจลทนความร้อนได้ดี (Whistler and Daneil, 1990) แรงที่อนุภาคใช้จับตัวกันคือ แรงแวนเดอร์วาลส์และแรงประจุ ซึ่งอาจมีโมเลกุลหรืออนุภาคของสารอื่น ๆ เข้ามาเกาะเกี่ยวด้วย

2.4.3 การเกิดฟิล์ม (Film formation)

เมื่อสารละลายแป้งเกิดการสูญเสียน้ำ หรือนำไปทำแห้ง ได้ฟิล์มที่มีลักษณะเหนียว (tough film) และเสถียรทั้งในน้ำร้อนและน้ำเย็น รวมทั้งในระบบที่เป็นกรด-ด่าง มีความคงตัวสูง แม้นำไปต้มน้ำเดือดเป็นเวลาหลายชั่วโมง ฟิล์มจากแป้งมีลักษณะอ่อน (suppleness) และสามารถทำได้ทั้งฟิล์มในลักษณะโปร่งแสง และทึบแสง การเพิ่มปริมาณสาร humectant เช่น กลีเซอริน มีผลทำให้ค่าความแข็งแรงของฟิล์ม (film strength) ลดลง แต่กลับมีผลให้ค่าลักษณะอ่อนของฟิล์มเพิ่มขึ้น การซึมผ่านของน้ำ (water permeability) ในฟิล์มชนิดนี้ขึ้นกับสารที่เติมลงไปว่าเป็นแบบ hydrophilic หรือ hydrophobic material โดยอัตราการแพร่ผ่านของน้ำในฟิล์ม

เพิ่มขึ้นเมื่อใช้ hydrophilic material เช่น กลิเซอริน และมีค่าการแพร่ผ่านของน้ำลดลงเมื่อใช้ hydrophobic material เช่น น้ำมันข้าวโพด (Tye, 1991)

2.5 การใช้ประโยชน์จากผงบุก จากคุณสมบัติของผงบุก สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวาง (มงคล เกษประเสริฐ, 2547) คือ

2.5.1 ด้านอุตสาหกรรมอาหาร

1. เพื่อเพิ่มเส้นใยอาหารในผลิตภัณฑ์แปรรูปจากเนื้อสัตว์ที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบสูง ทำให้สามารถลดปริมาณส่วนผสมที่เป็นไขมันลงได้ แต่ยังคงได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัส ทั้งทางด้านเนื้อสัมผัส ลักษณะปรากฏ และกลิ่นรส เช่น ไส้กรอกไขมันต่ำ ไส้กรอกเทียม หมู/ไก่ ยอ

2. เพื่อปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหาร แต่ยังคงรักษาความรู้สึกทางปาก (mouth feel) ของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการให้ความร้อนหลายครั้งได้ เช่น ผลิตภัณฑ์แปรรูปจากแป้ง ผลิตภัณฑ์พาสต้า (pasta products)

3. เพื่อเป็นสารที่ทำให้เกิดความข้นหนืดและเกิดเจล เช่น เยลลี่เสริมใยอาหาร แยม

4. ผลิตเป็นฟิล์มที่รับประทานได้ใช้ห่อหุ้มอาหาร เช่น ผักและผลไม้ ขนมปังกรอบ ก๋วยเตี๋ยว หรือไส้กรอก

2.5.2 ด้านการแพทย์

1. ควบคุมน้ำหนักตัวและลดความอ้วน เนื่องจากร่างกายไม่สามารถย่อยสลายกลูโคแมนแนนได้ จึงไม่ให้พลังงานแก่ร่างกาย คงอยู่ในกระเพาะอาหารได้นาน ทำให้อิ่มเร็วและนาน ไม่หิวบ่อย อีกทั้งกลูโคแมนแนนสามารถจับกับไขมัน คาร์โบไฮเดรต น้ำตาลที่มากเกินไป มารวมเป็นโมเลกุลใหญ่ ทำให้เอนไซม์ในระบบย่อยอาหารไม่สามารถย่อยได้ง่าย และดูดซึมเข้าระบบร่างกายได้อย่างปกติ

2. ลดไขมันอุดตันในเส้นเลือด กลูโคแมนแนนจะทำปฏิกิริยาเชิงชีวเคมีกับไขมันและคอเลสเตอรอล มีผลในการป้องกันการดูดซึมกลับเข้าไปในเส้นเลือด ลดปริมาณไขมันส่วนเกินที่ร่างกายไม่ต้องการ

3. ลดการเกิดเบาหวาน กลูโคแมนแนนสามารถจับรวมกับโมเลกุลน้ำตาลกลูโคส กลายเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ที่เอนไซม์ในลำไส้ไม่สามารถย่อยได้ และขับถ่ายออกมาพร้อมกับกากอาหาร

4. ลดการเกิดมะเร็งลำไส้ สารกลูโคแมนแนนทำหน้าที่ยับยั้งป้องกันแบคทีเรียและไวรัส ไม่ให้ทำปฏิกิริยากับน้ำตาลที่จะก่อให้เกิดสารพิษ และช่วยดูดซับสารพิษ โลหะหนัก และอนุมูลอิสระต่าง ๆ ที่ตกค้างอยู่ในกระเพาะอาหารและลำไส้ และขับถ่ายออกมาจากร่างกาย อีกทั้งยังช่วยลดความเข้มข้นของความเป็นกรดต่างจากเศษอุจจาระให้เจือจางลงด้วย ซึ่งเป็นการลดอัตราเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งลำไส้ใหญ่ได้เป็นอันมาก

5. ลดอาการท้องผูก กลูโคแมนแนนสามารถละลายน้ำได้ แต่ร่างกายไม่สามารถย่อยได้ จึงยังคงความเป็นเมือกอุ่นจะห่อหุ้มกากอาหาร เพิ่มความชุ่มน้ำเพิ่มน้ำหนักให้กากอาหาร ส่งผลดีต่อการทำงานของลำไส้ ทำให้บีบตัวได้ดีขึ้น ช่วยให้ขับถ่ายได้สะดวก

2.6 การผลิตผงบุก แบ่งเป็น 2 วิธี คือ

2.6.1 การผลิตผงบุกโดยการสกัดแบบแห้ง (dry method)

ล้างทำความสะอาดหัวบุก ปอกเปลือก หั่นเป็นแผ่นหนาประมาณ 5 มิลลิเมตร ทำแห้งโดยการตากแดดหรืออบโดยใช้ลมร้อนให้เหลือความชื้นประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (Sugiyama *et al.*, 1972) หัวบุกที่แห้งแล้วทำให้อนุภาคแยกออกจากกันโดยใช้ stamp mill แล้วแยกแป้งผงบุกและส่วนที่เป็นสารไม่บริสุทธิ์ออกจากกัน ด้วยเครื่องเป่าแยกด้วยลม (air classification) ดังแสดงในภาพที่ 2.3 แต่พบว่าวิธีนี้มีข้อเสียคือ หัวบุกที่นำไปทำแห้งจะมีลักษณะแข็ง เมื่อนำไปบดให้อนุภาคแยกออกจากกันจะทำได้ยาก และผลผลิต (yield) ที่ได้จากวิธีนี้จะต่ำ เนื่องจากการใช้เครื่องเป่าแยกด้วยลมจะทำให้ผงบุกติดปนไปกับสารปนเปื้อนค่อนข้างมาก (Shimizu and Shimahara, 1973)



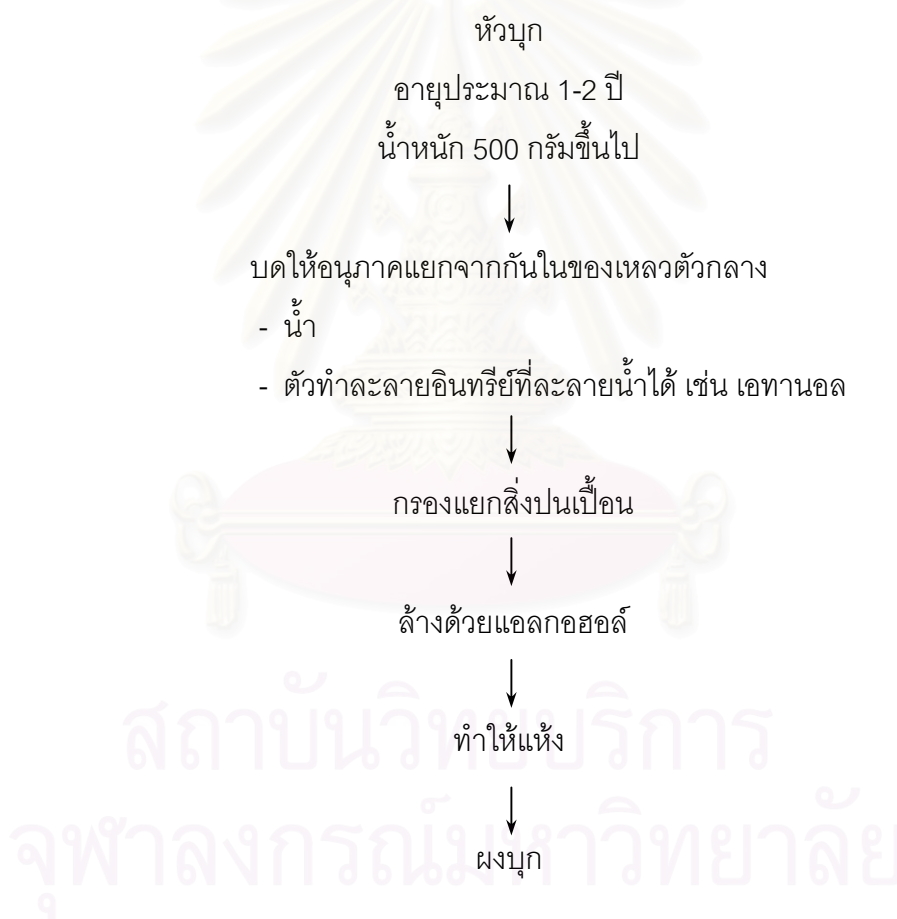
ภาพที่ 2.3 กระบวนการผลิตผงบุกแบบแห้ง (dry method)

2.6.2 การผลิตผงบุกโดยการสกัดแบบเปียก (wet method)

ล้างทำความสะอาดหัวบุก ปอกเปลือก นำหัวบุกไปบดเพื่อให้อนุภาคแยกออกจากกันในตัวกลางที่เป็นของเหลว (pulverizing medium) ซึ่งอาจเป็นน้ำหรือตัวทำละลายอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ (water-miscible organic solvent) กรองผ่านตะแกรงขนาด 120 mesh 2 ครั้ง เพื่อแยกสารปนเปื้อนออกจากอนุภาคบุก จากนั้นล้างบุกโดยใช้สารละลายเอทานอล 70% และนำไปอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิประมาณ 80 – 90 องศาเซลเซียส (Sugiyama *et al.*, 1972) ดังแสดงในภาพที่ 2.4 ซึ่งการผลิตโดยวิธีนี้มีข้อดีว่าการผลิตแบบแห้ง คือ เวลาที่ใช้ในการผลิตน้อยกว่าและได้ผลผลิตมากกว่า เนื่องจากขั้นตอนการบดแยกด้วยตัวทำละลายนั้นทำได้ง่ายและมีประสิทธิภาพสูงกว่าการบดแยกแบบแห้ง

การสกัดแบบเปียกเป็นกระบวนการสกัดใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ที่สามารถละลายน้ำได้เป็นตัวกลาง ได้แก่ methanol, ethanol, propanol, acetone, 5% ethyl acetate และ ethylene

glycol หรือ dimethyl ether เป็นต้น การใช้สารละลายอินทรีย์เป็นตัวกลางสามารถกำจัดสารไม่บริสุทธิ์ออกจากอนุภาคบุกได้ง่ายกว่าการใช้น้ำเป็นตัวกลาง เนื่องจาก บุกนั้นจะไม่มีสารพองตัว และไม่มีลักษณะเป็นแข็งเป็ยก ในขั้นตอนการแยกบุกก็ไม่ต้องรีบทำ นอกจากนี้ยังพบว่า ผงบุกที่ได้มีคุณสมบัติการรวมตัวกับน้ำเพิ่มขึ้น วิธีการสกัดผงบุกแบบเปียกเป็นวิธีแยกกลูโคแมนแนนโดยตรงจากหัวบุก ซึ่งพัฒนาขึ้นเพื่อให้ได้ผงบุกที่มีความบริสุทธิ์เพียงพอสำหรับการบริโภคโดยตรง หรือใช้เป็นยา และเหมาะสำหรับนำไปใช้เป็นส่วนประกอบในการทำอาหารต่างๆ เช่น เยลลี่ โดยผงบุกที่ผลิตได้จะเป็นผงสีขาว ไม่มีกลิ่นรส มีความบริสุทธิ์สูงปราศจากสารพิษ (มงคลเกษประเสริฐ, 2547) แต่อย่างไรก็ตาม การสกัดแบบเปียกจะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในด้านตัวทำละลายมากและมีผลต่อสิ่งแวดล้อม



ภาพที่ 2.4 กระบวนการผลิตผงบุกแบบเปียก (wet method)

การสกัดทั้งสองวิธีนี้ทำให้เกิดสีน้ำตาลในผงบุก ดังนั้นจึงมีการเติมสารฟอกสี (bleaching agent) เช่น โซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ (sodium metabisulfite) ประมาณ 100 - 200 มิลลิกรัมต่อ

ลิตร ซึ่งพบว่าสารฟอกสีเหล่านี้จะไม่มีผลต่อคุณสมบัติการรวมตัวกับน้ำ (Shimizu and Shimahara, 1973)

โดยทั่วไปวิธีในการทำแห้งผงบุก คือ การอบในตู้ (tray dryer) ในโรงงานอุตสาหกรรมใช้การทำแห้งโดยการอบด้วย tray dryer โดยมีระบบการลำเลียงด้วยสายพานเข้าตู้อบ อุณหภูมิที่ใช้ในการอบประมาณ 120-130 องศาเซลเซียส เวลาประมาณ 45 นาที (มงคล เกษประเสริฐ, 2547) การใช้อุณหภูมิในการอบแห้งสูงและระยะเวลาานาน ทำให้คุณภาพด้านสี ปริมาณกลูโคแมนแนน น้ำหนักโมเลกุล และความหนืดเมื่อละลายน้ำของผงบุกลดลง ดังนั้น การปรับปรุงขั้นตอนหรือวิธีการทำแห้งจึงเป็นส่วนสำคัญในการพัฒนาคุณภาพของผงบุกที่ผลิตได้

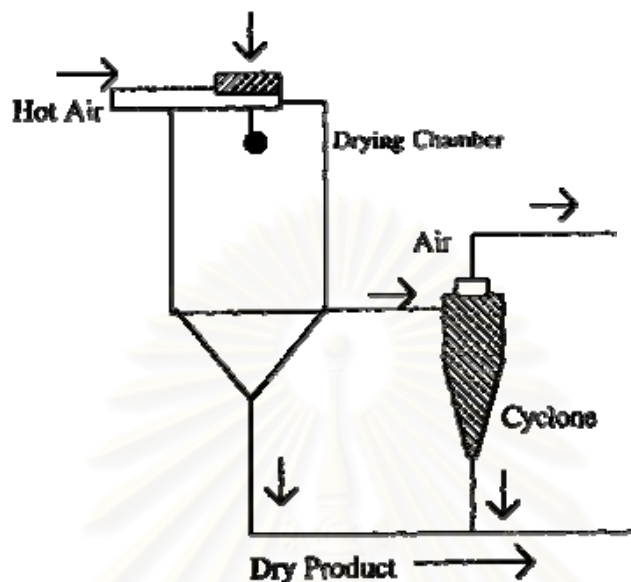
2.7 การอบแห้ง

การอบแห้ง (drying) เป็นขั้นตอนที่สำคัญในการไล่ความชื้นออกจากผงบุก ทั้งในวิธีการสกัดแบบแห้งและแบบเปียกเพื่อให้ได้ผงบุกแห้งสามารถเก็บไว้ได้นาน การอบแห้งเป็นกระบวนการนำความชื้นออกจากอาหาร บางครั้งเรียกกระบวนการนี้ว่าการลดความชื้น (dehydration) การอบแห้งอาหารนิยมใช้อากาศร้อนสัมผัสกับอาหารที่มีความชื้นสูงทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างกัน เพื่อไล่ความชื้นออกจากอาหารด้วยการระเหยน้ำโดยอาศัยความร้อนที่ได้รับซึ่งเป็นความร้อนแฝงของการระเหย (เรียวกโซ โทเอ, 2529) จนปริมาณน้ำหรือความชื้นที่มีในอาหารต่ำลง สามารถเก็บรักษาได้นานเพราะลดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (สมบัติ ขอทวีวัฒนา, 2529)

2.7.1 อบแห้งแบบพ่นกระจาย (spray drying)

การอบแห้งแบบพ่นกระจายเป็นกระบวนการอบแห้งที่ใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารที่มีปริมาณความชื้นเริ่มต้นสูงและอยู่ในสภาพเริ่มต้นเป็นของเหลวได้ดีที่สุด ลักษณะเฉพาะของการอบแห้งแบบพ่นกระจาย คือ วงรอบการอบแห้งเร็ว เวลาที่ผลิตภัณฑ์อยู่ในห้องอบแห้งสั้นและผลิตภัณฑ์สุดท้ายพร้อมที่จะบรรจุทันทีขณะที่ออกจากเครื่องอบแห้ง (รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, 2535) การทำงานของเครื่องทำแห้งแบบพ่นกระจาย ดังแสดงในภาพที่ 2.5 การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งนี้ หยดของเหลวของอาหารจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิกะเปาะเปียกของอากาศร้อนที่ใช้ในเครื่องอบแห้งจนกว่าน้ำจะระเหยออกไปเกือบหมด เนื่องจากมีการระเหยอย่างรวดเร็ว ดังนั้น สารอาหารต่าง ๆ จึงไม่ถูกทำลายโดยความร้อนมากนักผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงมีคุณภาพดี มีลักษณะ

เป็นผงไม่เกาะติดกัน (กิตติพงษ์ ห่วงรักษ์, 2535) ลดการเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ สะดวกต่อการบริโภคและประหยัดค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาและขนส่ง (สมบัติ ขอทวีวัฒนา, 2529) การทำแห้งแบบพ่นกระจายมีขั้นตอนดังนี้



ภาพที่ 2.5 การทำงานของเครื่องทำแห้งแบบพ่นกระจาย

ที่มา : Masters (1979)

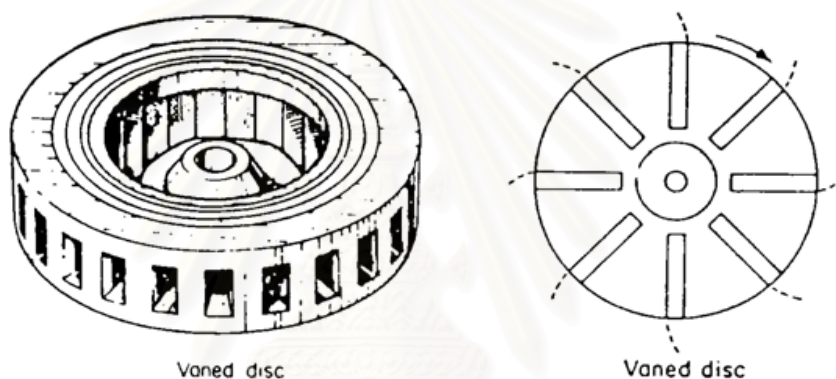
2.7.1.1 การทำอาหารเหลวให้มีอนุภาคเล็กลงหรือเป็นละอองฝอย

การใช้แรงดันสูงฉีดอาหารเหลวผ่านหัวฉีด (atomizer) ให้เป็นละอองฝอย โดยใช้แรงดันจากเครื่องสูบ (feed pump) หัวฉีดในเครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจายมีหน้าที่เป็นตัวควบคุมอัตราการไหลของสารละลายเริ่มต้น เนื่องจากการอบแห้งแบบพ่นกระจายอาศัยหลักการที่ว่า ความร้อนจะเกิดการถ่ายเทอย่างรวดเร็วระหว่างละอองหยดของเหลวกับอากาศร้อน ดังนั้นถ้าหัวฉีดทำงานได้ดีกล่าวคือทำให้หยดของเหลวที่ต้องการอบแห้งมีขนาดเล็กมากเท่าไรพื้นที่ผิวที่จะสัมผัสกับอากาศร้อนจะเพิ่มมากขึ้นเป็นผลให้การอบแห้งเกิดได้อย่างรวดเร็วและได้ผลิตภัณฑ์อาหารผงที่ได้มีคุณภาพดี (สมบัติ ขอทวีวัฒนา, 2529) หัวฉีดที่ใช้ในเครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจายจึงต้องมีคุณสมบัติเฉพาะตัวหลายประการและต้องมีประสิทธิภาพสูง

Masters (1979) กล่าวว่าหน้าที่ของอะตอมไมเซชัน คือ ก่อให้เกิดหยดของเหลวขนาดเล็ก ซึ่งจะได้พื้นที่ผิวสำหรับการระเหยความชื้นจำนวนมาก นอกจากนี้ยังเป็นตัวควบคุมอัตราการไหลของผลิตภัณฑ์ไปยังเครื่องอบแห้ง หัวฉีดจะส่งหยดของเหลวไปยังอากาศร้อนใน

ลักษณะที่ค่อนข้างสม่ำเสมอและให้ขนาดของหยดของเหลวที่เหมาะสม เพื่อจะได้ขนาดของอนุภาคผลิตภัณฑ์อาหารผงตามต้องการ

หัวฉีดแบบหมุน (rotary atomizers) ใช้หลักการของแรงเหวี่ยงทำให้เกิดแผ่นของเหลว ซึ่งแตกออกเป็นหยดตามต้องการ สารละลายเริ่มต้นจะถูกดึงเข้าไปยังผิวที่หมุนและเคลื่อนที่ผ่านผิว เพื่อให้เกิดแผ่นบาง ๆ ที่เส้นรอบวง ดังแสดงในภาพที่ 2.6 เนื่องจากแรงที่ทำให้เกิดแผ่นของเหลวขึ้นกับความเร็วของการหมุนโดยตรง หัวฉีดชนิดนี้สามารถใช้กับอัตราการป้อนสารละลายเริ่มต้นและคุณสมบัติของเหลวต่าง ๆ ได้ในช่วงกว้าง ขนาดของหยดของเหลวจะขึ้นกับความเร็วของจานและอัตราการป้อน



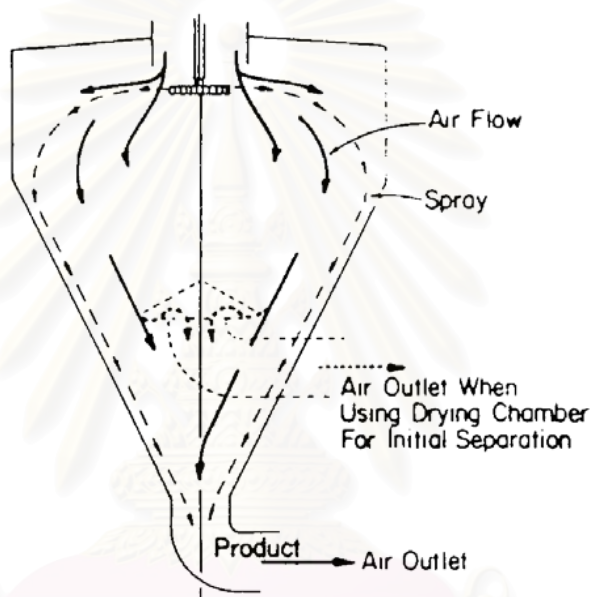
ภาพที่ 2.6 หัวฉีดแบบหมุน

ที่มา : Foust *et al.* (1960)

2.7.1.2 การสัมผัสระหว่างอาหารและลมร้อน

ในขั้นตอนที่ 2 นี้ ละอองอาหารซึ่งได้รับแรงอัดในขั้นตอนที่ 1 จะมีการสัมผัสกับลมร้อน เพื่อให้ในอาหารรับเอาความร้อนจากลมร้อนจึงเกิดการระเหยน้ำออกไป ประสิทธิภาพในการอบแห้งแบบพ่นกระจายขึ้นกับความสามารถในการทำให้สารละลายเริ่มต้นแตกตัวได้ดี ลักษณะและทิศทางของการสัมผัสระหว่างละอองของหยดของเหลวกับอากาศร้อนก็เป็นสิ่งสำคัญเช่นกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของการอบแห้งและลักษณะของสารละลายที่จะอบแห้ง การกำหนดทิศทางเคลื่อนที่ของอากาศร้อนเป็นสิ่งที่จะต้องคำนึงถึงมาก ถ้าทิศทางการไหลของอากาศเหมาะสมก็จะทำให้การถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นได้เร็ว (Patsavas, 1963)

เครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจายชนิดการไหลตามกัน (Co-Current Spray Dryer) จะมีการผสมของอากาศกับหยดของเหลวที่ทางเข้าในหัวฉีด หลังจากการผสมตอนต้นแล้ว ผลิตภัณฑ์อาหารผงและอากาศจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกันในขณะที่กระบวนการอบแห้งดำเนินไป ดังแสดงในภาพที่ 2.7 ผลิตภัณฑ์อาหารผงและอากาศส่วนใหญ่จะออกไปจากห้องอบแห้งที่ทางออกด้านล่างและเคลื่อนที่ไปยังระบบแยกอนุภาคผลิตภัณฑ์อาหารผง ลักษณะการไหลของอากาศเช่นนี้อาจจะดีที่สุดสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารที่ไวต่อความร้อน เนื่องจากสารละลายเริ่มต้นจะสัมผัสกับอากาศขาเข้าที่อุณหภูมิสูงและผลิตภัณฑ์อาหารผงจะสัมผัสกับอากาศหลังจากอุณหภูมิลดลงอย่างมาก



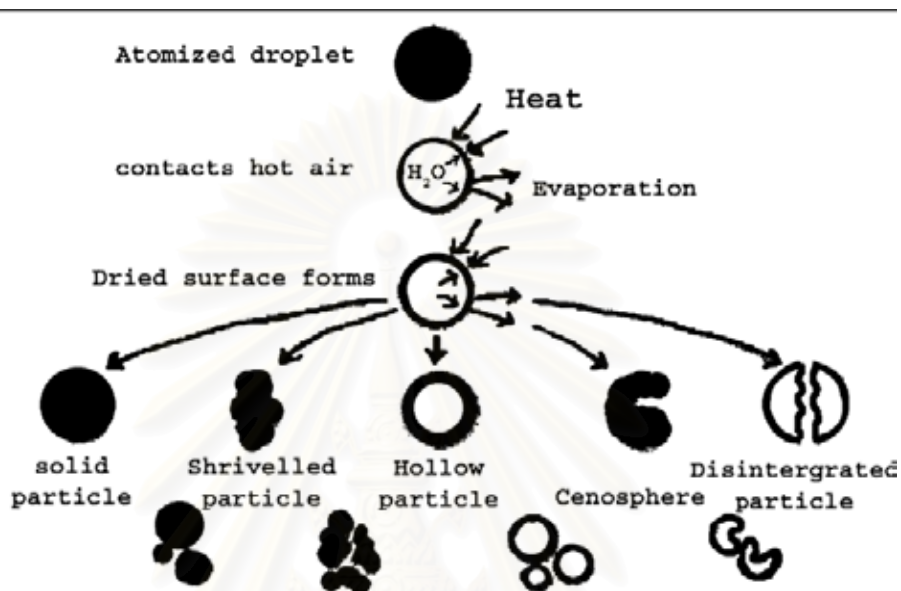
ภาพที่ 2.7 เครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจายชนิดการไหลตามกัน

ที่มา: Patsavas (1963)

2.7.1.3 การกำจัดความชื้นออกจากหยดของเหลว

Masters (1979) กล่าวว่า การกำจัดความชื้นออกจากหยดของเหลวระหว่างการอบแห้งแบบพ่นกระจายเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์อาหารผงจะกระทำได้โดยการถ่ายเทความร้อนของอากาศให้กับมวลน้ำจากหยดของเหลวพร้อมกัน การอบแห้งแบบพ่นกระจายแตกต่างจากการอบแห้งวิธีอื่น คือ ความชื้นปริมาณมากจะถูกกำจัดออกไประหว่างช่วงการอบแห้งอัตราคงที่ เมื่อมีปริมาณความชื้นสูงและเกิดการถ่ายมวลของน้ำที่บริเวณผิวของหยดของเหลวกับความร้อนจากอากาศขึ้น ความร้อนของอากาศสำหรับการระเหยมวลน้ำจะส่งผ่านโดยการนำและการพาจาก

อากาศร้อนไปยังผิวหยดของเหลว จากนั้นไอที่ได้จากการระเหยความชื้นจะถูกส่งโดยการแพร่และการพาจากผิวหยดของเหลวไปยังอากาศร้อน ดังแสดงในภาพที่ 2.8 อัตราของการเกิดกระบวนการนี้จะขึ้นกับอุณหภูมิอากาศ ความชื้นหรือความดันไอ คุณสมบัติการส่งถ่ายของอากาศ เส้นผ่าศูนย์กลางของหยดของเหลว ความเร็วสัมพัทธ์ และธรรมชาติของของแข็งในหยดของเหลว



ภาพที่ 2.8 การกำจัดความชื้นออกจากหยดของเหลว

ที่มา : Masters (1979)

2.7.1.4 การแยกอาหารผงจากห่อทำแห้ง

หลังจากอาหารผงตกลงสู่เบื้องล่างของห่อทำแห้ง ผงที่น้ำหนักเบาจะถูกดูดโดยแรงจากพัดลมและส่งออกทางท่อลมออก ผงตัวอย่างสามารถแยกออกจากลมร้อนได้โดยอาศัยระบบไซโคลน (cyclone) ให้ตกกระทบกับผนังท่อไซโคลนและตกลงในภาชนะที่รองรับ

ความร้อนจากการทำแห้งในกระบวนการทำแห้งผงบุกอาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพและปริมาณสารกลูโคแมนแนนของผงบุกที่สกัดได้ เนื่องจากความร้อนในกระบวนการผลิตทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติต่างๆ ของเส้นใยอาหาร เช่น ทำให้ความแข็งแรงระหว่างพันธะของเส้นใยอาหารลดลง เกิดการสลายตัวของพันธะระหว่างสายโซ่ของเส้นใยอาหาร เช่น พันธะไกลโคซิดิก และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น การสลายตัวของเส้นใยอาหาร (depolymerization) จะเกิดมากขึ้น ทำให้ปริมาณเส้นใยอาหารในผลิตภัณฑ์ลดลง (Food and Agriculture Organization of the United

Nations, 1997) Svanberg (1997) รายงานว่า ผลของกระบวนการผลิตที่มีต่อเส้นใยอาหารในผัก นั้นมีความซับซ้อน โดยทั่วไปความร้อนในกระบวนการผลิตมีผลทำให้เส้นใยอาหารสลายตัว โดยเฉพาะพวกที่มีน้ำหนักโมเลกุลและความหนืดต่ำ เช่น ในแครอท การสลายตัวของโพลีเมอร์ และพันธะของสารโพลีแซคคาไรด์ที่ละลายน้ำได้จะขึ้นอยู่กับระดับความรุนแรงของความร้อนในกระบวนการผลิต Kutos และคณะ (2002) ศึกษาเรื่องปริมาณเส้นใยอาหารในถั่วที่ผ่านการต้ม ด้วยน้ำร้อนอุณหภูมิ 98-100°C และทำแห้ง พบว่า ความร้อนจากกระบวนการผลิตทำให้ปริมาณเส้นใยอาหารในถั่วลดลง และ Mao และคณะ (2004) ศึกษาเรื่องการเกิดดีโพลีเมอร์ไรเซชันต่อคุณสมบัติด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพของโคโคซาน พบว่า เมื่อใช้ความร้อนสูงขึ้นทำให้โคโคซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้นสลายตัวกลายเป็นโคโคซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลเล็กลง

2.8 फिल्मและสารเคลือบที่รับประทานได้

2.8.1 ความหมาย

ฟิล์มและสารเคลือบที่รับประทานได้ (edible film and coating) หมายถึง วัสดุแผ่นบางที่รับประทานได้ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน โดยนำมาเคลือบผิวของผลิตภัณฑ์อาหารด้วยวิธีการต่างๆ เช่น การห่อหุ้ม การจุ่ม การทาด้วยแปรง หรือการพ่นกระจาย (Kester and Fennema, 1986) เพื่อทำหน้าที่กั้นการเคลื่อนตัวของไอน้ำ ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ กลิ่น และไขมัน หรือทำหน้าที่เก็บสารเติมแต่งของอาหาร เช่น วัตถุกันเสีย สารช่วยรักษากลิ่นรส ตลอดจนทำหน้าที่ช่วยให้อาหารนั้นแข็งแรงขึ้นเพื่อสะดวกในการลำเลียง (Krochta *et al.*, 1994) สำหรับสารเคลือบนั้นพบว่าไม่มีความแตกต่างกับฟิล์มอย่างชัดเจน การเคลือบเป็นการนำเอาสารมาเคลือบกับพื้นผิวของผลิตภัณฑ์โดยตรง แต่การใช้ฟิล์มจะต้องมีการผลิตแผ่นฟิล์มขึ้นมาก่อนแล้วจึงนำมาใช้กับผลิตภัณฑ์ (มณฑาทิพย์ ยุณฉลาด, 2535) โปรตีน โพลีแซคคาไรด์และไขมัน จากสัตว์ ผัก และผลไม้ เป็นองค์ประกอบหลักของการขึ้นรูปฟิล์มแต่ฟิล์มที่ได้จะมีความเปราะ จึงต้องมีการเติมสารพลาสติไซเซอร์ (plasticizer) ซึ่งเป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เช่น กลีเซอรอล (glycerol) ซอร์บิทอล (sorbitol) โพลีเอทิลีนไกลคอล (polyethylene glycol) โพรพิลีนไกลคอล (propylene glycol) และกรดไขมัน (fatty acids) (Krochta and Mulder-Johnston, 1997) เพื่อช่วยเพิ่มความอ่อนตัว ความคงทนต่อการใช้งาน และการยึดตัว (Banker, 1966)

2.8.2 การขึ้นรูปฟิล์มและสารเคลือบ

ฟิล์มเกิดจากโครงสร้างของโพลิเมอร์ที่อาศัยแรงสองแรงคือ แรงโคฮีชัน (cohesion) เป็นแรงระหว่างโมเลกุลโพลิเมอร์ด้วยตัวเอง จะเกิดขึ้นระหว่างการเกิดฟิล์มทำให้เกิดการเชื่อมตัวของผิววัตถุเดียวกัน หากแรงโคฮีชันมีค่ามากจะทำให้ฟิล์มมีความยืดหยุ่น ความเป็นรูพรุน การแพร่ผ่านของก๊าซและสารละลายจะลดลง ระดับของแรงโคฮีชันขึ้นอยู่กับโครงสร้างและคุณสมบัติทางเคมีของโพลิเมอร์ทำฟิล์ม การละลายในการเตรียมฟิล์ม และสภาวะในการเตรียมฟิล์ม ส่วนแรงอีกชนิดหนึ่ง คือ แรงแอดฮีชัน (adhesion) เป็นแรงระหว่างโมเลกุลของโพลิเมอร์กับสารอื่นที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มทำให้เกิดโครงร่างของฟิล์มได้ เช่น แรงระหว่างโมเลกุลของโพลิเมอร์กับพลาสติกไซเซออร์ ซึ่งจะมีผลต่อคุณสมบัติต่างๆ ของฟิล์มเช่นกัน (Banker, 1966)

สารเคลือบที่นำมาเคลือบโดยตรงกับวัสดุทำได้โดยการทาด้วยแปรง การพ่น และการจุ่ม ส่วนการห่อหุ้มโดยใช้ฟิล์มที่ขึ้นรูปแล้วควรเป็นฟิล์มที่แห้งเร็ว ติดแน่น หนาสม่ำเสมอ ไม่ย่นหรือขาดง่าย วิธีการประยุกต์ใช้ฟิล์มหรือสารเคลือบผิว (ฐิติยา รัตนไทรภพ, 2546) มีดังนี้

2.8.2.1 การห่อหุ้ม (enrobing) คือ การนำสารละลายที่มีความสามารถในการขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มได้มาทำเป็นแผ่นฟิล์มบางแล้วนำไปห่อหุ้มผลิตภัณฑ์หรืออาหารที่ต้องการ

2.8.2.2 การจุ่ม (dipping) คือ การนำผลิตภัณฑ์หรืออาหารที่ต้องการเคลือบจุ่มลงในสารละลายที่มีความสามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้โดยตรงแล้วนำไปทำแห้ง ซึ่งจะพบได้ในพวกเนื้อ ปลา สัตว์ปีก ผลไม้และผัก

2.8.2.3 การพ่นฝอย (spraying) คือ การพ่นฝอยให้เกิดเป็นแผ่นฟิล์ม และเป็นวิธีที่ทำให้ฟิล์มเป็นเนื้อเดียวกันมากกว่าวิธีการจุ่ม เหมาะสมสำหรับการเคลือบผิวอาหารด้านเดียว เมื่อต้องการป้องกันผิวหน้า วิธีการพ่นฝอยสามารถใช้ในการเคลือบต่างๆ ครั้งที่สองได้ด้วย

2.8.3 คุณสมบัติทางกายภาพของฟิล์มบริโภคได้ (Guilbert, 1986) มีดังนี้

2.8.3.1 ความหนา (Thickness) คือ ระยะตั้งฉากระหว่างผิวหน้าทั้งสองของฟิล์ม มีหน่วยเป็นไมโครเมตรหรือมิลลิเมตร ความหนามีส่วนสัมพันธ์กับคุณสมบัติอื่นๆ เช่น การต้านทานแรงดึง การต้านทานการซึมผ่านไอน้ำ และการต้านทานการซึมผ่านก๊าซออกซิเจน เป็นต้น

2.8.3.2 ค่าการต้านทานแรงดึง (Tensile strength) คือ ค่าความเครียดที่ใช้ในการดึงฟิล์มที่ปลายข้างใดข้างหนึ่งของแผ่นทดสอบที่มีความกว้างคงที่จนแผ่นฟิล์มนั้นขาดภายใต้สภาวะการทดสอบที่กำหนด (ปลายอีกด้านหนึ่งยึดให้อยู่กับที่) มีหน่วยเป็นนิวตันต่อตารางเมตร ค่านี้ขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของพันธะระหว่างสายโพลีเมอร์มากกว่าความแข็งแรงภายในสายโพลีเมอร์ การเติมพลาสติกไซเซออร์ในโครงร่างตาข่ายก็มีผลทำให้ความต้านทานแรงดึงลดลง เมื่อเทียบกับฟิล์มที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซออร์ เพราะพลาสติกไซเซออร์จะไปลดปฏิกิริยาระหว่างโพลีเมอร์กับโพลีเมอร์ โดยพลาสติกไซเซออร์จับกับโพลีเมอร์ด้วยพันธะทุติยภูมิทำให้ความแข็งแรงระหว่างสายโซ่โมเลกุลลดลง

2.8.3.3 ค่าการยืดตัว (Elongation) คือ ร้อยละของระยะทางที่ฟิล์มยืดออกด้วยแรงดึงจนขาดต่อความยาวเดิม ถ้าการยืดตัวของฟิล์มน้อย ฟิล์มจะมีลักษณะเปราะและไม่ยืดหยุ่น การเติมพลาสติกไซเซออร์ในโครงร่างตาข่ายมีผลทำให้การยืดตัวของฟิล์มเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากพลาสติกไซเซออร์ทำให้ความแข็งแรงของพันธะระหว่างสายโซ่โมเลกุลลดลง สายโซ่โพลีเมอร์เคลื่อนที่ได้มากขึ้น

2.8.3.4 อัตราการซึมผ่านของไอน้ำผ่านฟิล์ม (Water vapor transmission rate) คือ ปริมาณไอน้ำที่ซึมผ่านจากผิวหน้าด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่งต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ผิวฟิล์ม ในระยะเวลาที่กำหนดและภายใต้สภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิกับความชื้นสัมพัทธ์ มีหน่วยเป็นกรัมน้ำต่อตารางเมตรต่อวัน และค่าที่ได้จากการหาอัตราการซึมผ่านของไอน้ำเมื่อคำนวณผ่านความหนาของฟิล์มที่ใช้ทดสอบจะเรียกค่านี้ว่า ความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำผ่านฟิล์ม หรือ water vapor permeability

2.8.3.5 อัตราการซึมของก๊าซผ่านฟิล์ม (Gas transmission rate) คือ ปริมาณของก๊าซที่ซึมผ่านจากผิวหน้าด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่งต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ผิวฟิล์มในระยะเวลาที่กำหนด และภายใต้ผลต่างของความดันหนึ่งหน่วย มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เซนติเมตรต่อตารางเมตรต่อวันต่อบรรยากาศ ที่อุณหภูมิในการวิเคราะห์ ค่าที่ได้จากการหาอัตราการซึมผ่านของก๊าซเมื่อคำนวณผ่านความหนาของฟิล์มที่ใช้ทดสอบจะเรียกว่า ความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซผ่านฟิล์ม หรือ gas permeability

2.8.4 สมบัติการซึมของไอน้ำผ่านฟิล์มบุก

ความสามารถในการซึมของไอน้ำผ่านแผ่นฟิล์มขึ้นกับจำนวนของหมู่ที่มีขั้วอิสระ (-OH) ถ้าฟิล์มโพลีเมอรัมีหมู่ไฮดรอกซิลอิสระมาก การซึมของไอน้ำผ่านแผ่นฟิล์มจะเกิดได้สูง ทำให้ฟิล์มมีสมบัติป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ไม่ดี การเกิด deacetylation โดยสารละลายต่าง เช่น ไปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) กับฟิล์มบุกจะเพิ่มการเกิดอันตรกิริยาดัวยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของกลูโคแมนแนน ซึ่งจะนำไปสู่การเกิดโครงสร้างที่เป็นระบบมากขึ้น และลดจำนวนของหมู่ที่มีขั้วอิสระ (-OH) ให้น้อยลง ดังนั้นจะไปขัดขวางการแพร่ผ่านของไอน้ำ (Cheng *et al.*, 2002)

Kubodera (1989) พบว่า เมื่อนำแป้งบุกผสมกับโพลีแซคคาไรด์จากธรรมชาติบางชนิด และกลีเซอรินในภาวะที่มีการใช้และไม่ใช้สารละลายต่างก็จะได้ฟิล์มชนิดกันน้ำ (water-resistant) และอาจมีสมบัติทนต่อความร้อนได้ดีขึ้น การเพิ่มปริมาณกลีเซอรินมีผลทำให้ฟิล์มแป้งบุกมีค่าความแข็งแรงของฟิล์มลดลง แต่จะมีความอ่อนตัวเพิ่มขึ้น จากการศึกษาของ Cheng และคณะ (2002) พบว่า กลูโคแมนแนนเป็นสารโพลีแซคคาไรด์ที่สามารถผลิตเป็นฟิล์มบริโภคนได้ มีคุณสมบัติป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำ ก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ ฟิล์มซึ่งผลิตจากผงบุกที่เติมสารละลายต่าง (KOH) จะช่วยเพิ่มความสามารถในการเกิดผลึก (crystallinity) ลดความสามารถในการดูดซับน้ำ (water-sorptive capacity) และลดความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำของแผ่นฟิล์มบุกได้ดีกว่าฟิล์มบุกที่ไม่มีการเติมสารละลายต่าง

2.9 ชมพู่

ชมพู่เป็นพรรณไม้พุ่มยืนต้นขนาดกลาง ชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Eugenia jambos* อยู่ในวงศ์ Myrtaceae ชื่อสามัญเรียกว่า Java Apple หรือ Wax Apple ลำต้นสูงประมาณ 3-10 เมตร ทรงพุ่มทึบ ลักษณะใบใหญ่ หนาเป็นมัน ดอกบานออกเป็นฝอยฟูยาวพอสสมควร มีสีขาว สีเขียวใบไม้สีชมพูอ่อนๆ ผลผสมกันอยู่ ผลกลมแบนแล้วเรียวยาวมาบานออกคล้ายหยดน้ำ ผลเล็กมีเนื้อนิ่มรสหวาน เมล็ดในสีน้ำตาลอ่อนมีเยื่อพุ่มหุ้มอยู่ภายนอกเมล็ด (วิจิตร วังใน, 2526) มีถิ่นกำเนิดในประเทศอินเดีย แล้วแพร่กระจายสู่ประเทศเขตร้อนแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ รวมถึงประเทศไต้หวันและบางรัฐในประเทศสหรัฐอเมริกา ประเทศไทยจัดว่าสามารถปลูกชมพู่ได้ผลดี เป็นที่นิยมของผู้บริโภคในประเทศเขตร้อนอื่นๆ (เปรมปรี ฌ สงขลา, 2545 ข) ชอบสภาพดินร่วนและดินร่วนเหนียวที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง มีปริมาณน้ำฝนสม่ำเสมอ สภาพความเป็นกรดเป็นด่างประมาณ

5.5-6.5 หลังจากปลูกจะเริ่มให้ผลผลิตเมื่ออายุประมาณ 2 ปี และให้ผลต่อเนื่องไม่ต่ำกว่า 20 ปี ช่วงออกดอกจนถึงดอกบานจะใช้ระยะเวลา 20-25 วัน หลังจากดอกบานถึงผลแก่ประมาณ 30-45 วัน ปกติชมพูจะออกดอกในช่วงเดือนกุมภาพันธ์-เมษายน และสามารถบังคับให้ออกดอกนอกฤดูเพื่อให้ออกในช่วงเดือนอื่นๆ ได้ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2542)

ชมพูเป็นผลไม้ที่อุดมด้วยคุณค่าทางอาหาร โดยเนื้อชมพู 100 กรัม ประกอบด้วยคุณค่าทางอาหาร ได้แก่ พลังงาน 24 กิโลแคลอรี โปรตีน 0.5 กรัม คาร์โบไฮเดรต 5.5 กรัม แคลเซียม 2 มิลลิกรัม ฟอสฟอรัส 18 มิลลิกรัม เหล็ก 0.3 มิลลิกรัม ไบโตนิน 32 มิลลิกรัม (เปรมปรี ฌ สงขลา, 2543) นอกจากนี้จะใช้รับประทานเป็นผลไม้สดแล้วยังสามารถนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้ เช่น เยลลี่ แยม และแช่อิ่ม ผลผลิตของชมพูส่วนใหญ่ใช้บริโภคภายในประเทศ อย่างไรก็ตามมีการส่งออกชมพู โดยตลาดต่างประเทศที่สำคัญได้แก่ ฮองกง สิงคโปร์ และอินโดนีเซีย (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2542)

2.9.1 พันธุ์และลักษณะประจำพันธุ์ของชมพูพันธุ์ทับทิมจันทร์

พันธุ์ชมพูในประเทศไทยมีอยู่หลายพันธุ์ แต่มีเพียง 3 พันธุ์ ที่ได้รับการยอมรับและแนะนำให้ปลูกเป็นการค้า ได้แก่ เพชรทูลเกล้า เพชรสายรุ้ง และทับทิมจันทร์ (เอื้องฟ้า, 2543) นอกเหนือจากนี้ เป็นพันธุ์ที่มีการปลูกบ้างแต่ไม่มากนัก เช่น พันธุ์เพชรสามพราน เพชรจินดา นัมเบอร์วัน แดงอินโด เพชรบ้านแพ้ว เพชรน้ำผึ้งและเพชรชมพู เป็นต้น

2.9.1.1 ชมพูเพชรสายรุ้ง เป็นชมพูที่มีทรงพุ่มขนาดปานกลาง ตัวใบบางทรงรี ดอกสีขาว ผลแก่จะมีสีเขียวมีริ้วสีชมพู ถ้าหากห่อผลจะทำให้ผลมีสีเขียววิวมชมพู ผลทรงระฆังมีเมล็ดอยู่ภายใน รสชาติหวานจัด เนื้อกรอบแข็ง เป็นพันธุ์ที่ปลูกเป็นการค้าในแถบจังหวัดเพชรบุรี

2.9.1.2 ชมพูเพชรทูลเกล้า เป็นชมพูในกลุ่มเดียวกับชมพูเพชร ทรงผลยาวรี ให้ผลเร็ว ออกดอก ติดผลง่าย รสชาติไม่หวานจัด ปลูกมากแถบจังหวัดนครปฐม สมุทรสาคร และราชบุรี

2.9.1.3 ชมพูทับทิมจันทร์ เป็นพันธุ์ที่นำมาจากประเทศอินโดนีเซีย ซึ่งเป็นชมพูที่มีสีแดงเข้ม ทรงผลยาว ก้นผลปิดมีช่องว่างสำหรับเมล็ดน้อย ไม่มีเมล็ด ผลโต เนื้อแน่นกรอบ และมีความหวานสูงถึง 13 องศาบริกซ์ เริ่มมีการแนะนำให้ปลูกในปี พ.ศ. 2541 (นิรนาม, 2545)

ข้อแตกต่างของชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์กับพันธุ์อื่น คือ มีใบใหญ่และหนา ข้อใบค่อนข้างถี่ ทำให้สะดวกในการควบคุมทรงพุ่มไม่ให้สูงโปร่งได้ง่าย (ทองดี บ้านดอน, 2541) ก้านช่อดอกใหญ่และเหนียว มีปริมาณดอกน้อย ผลมีรูปทรงระฆัง (bell shape) เหมือนชมพู่โดยทั่วไป แต่กลางผลมีลักษณะคอดกึ่งเล็กน้อย มีสันขึ้นเป็นแนวตามความยาวผล ผลมีรูปร่างค่อนข้างยาวและมีขนาดใหญ่ น้ำหนักประมาณ 7 – 12 ผลต่อกิโลกรัม ผลมีความแน่นเนื้อและความหวานสูง ผิวมีสีแดงสดถึงเข้ม เนื้อมาก ไม่มีเมล็ด (เปรมปรี ฌ สงขลา, 2545 ก) ดังแสดงในภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 ลักษณะของผลชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์

2.9.2 พื้นที่ปลูกชมพู่ในประเทศไทย

แหล่งที่ปลูกชมพู่ในประเทศไทย ได้แก่ จังหวัดเพชรบุรี ราชบุรี และสมุทรสาคร ตลอดจนรวมไปถึงภาคตะวันออก ภาคใต้ ภาคเหนือ และภาคกลาง ซึ่งมีการปลูกกันอย่างกระจัดกระจาย เป็นแปลงที่มีขนาดไม่ใหญ่มากนัก แต่หากนับรวมเข้าด้วยกันทั่วประเทศแล้วมีประมาณหนึ่งแสนไร่ สำหรับพันธุ์ที่นิยมปลูกได้แก่ ชมพู่พันธุ์เพชรสายรุ้ง เพชรน้ำผึ้ง เพชรทูลเกล้า และชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2542)

2.9.3 การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว

นำชมพู่มาไว้ในโรงเรือน ทำความสะอาด คัดคุณภาพและขนาดผล โดยแยกผลที่ชำ มีตำหนิ ไม่ได้คุณภาพออก บรรจุลงในเชิงหรือตะกร้าที่บุด้วยใบตองหรือกระดาษเพื่อป้องกันผลชำ

แล้วปิดทับด้านหน้าด้วยพลาสติกเพื่อรักษาความชื้นของชมพู่ไว้ เก็บในที่ร่มเพื่อขนส่งสู่ตลาดต่อไป

2.9.4 ลักษณะทางคุณภาพของผลชมพู่

มาตรฐานคุณภาพของผลชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ ไม่ปรากฏเกณฑ์การจำแนกที่แน่นอน การแบ่งชั้นคุณภาพเพื่อการจำหน่ายในปัจจุบัน มักสังเกตคุณภาพภายนอกเป็นหลัก ผลชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ที่จัดว่ามีคุณภาพดีจะต้องมีขนาดใหญ่ รูปทรงตรงตามพันธุ์ ไม่มีร่องรอยตำหนิและสีผิวไม่ซีด (ปลายปีก, 2542) ส่วนใหญ่ใช้เพียงขนาดและน้ำหนักเป็นเกณฑ์ ซึ่งแบ่งได้ 3 ประเภท คือ เกรดหนึ่ง (XXL) ประมาณ 4 – 6 ผลต่อกิโลกรัม เกรดสอง (XL) ประมาณ 7 – 9 ผลต่อกิโลกรัม และเกรดสาม (LL) ประมาณ 9 – 10 ผลต่อกิโลกรัม ดังแสดงในภาพที่ 2.10 สำหรับการส่งออกตลาดต่างประเทศต้องการขนาดผลเกรดหนึ่ง (XXL) เท่านั้น ซึ่งต้องมีลักษณะคุณภาพอื่นๆ ดีด้วย (กองบรรณาธิการหนังสือเมืองไม้ผล, 2546)



ภาพที่ 2.10 การคัดเกรดผลชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์
ที่มา : สมพร สายกลืน (2545)

2.9.5 การเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวและการเก็บรักษา

การเปลี่ยนแปลงที่เป็นปัญหาหลังการเก็บเกี่ยวที่สำคัญของชมพู่ที่พบทั่วไปคือ การเหี่ยว การเกิดสีน้ำตาล และการเข้าทำลายของโรค จากการที่ผลชมพู่มีลักษณะผิวค่อนข้างบางมาก จึง

ทำให้เกิดบาดแผลและรอยถลอกในชั้นการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวและขณะขนส่งได้ง่าย (เปรมปรีณ สงขลา, 2543) โดยเฉพาะการเหี่ยวเป็นปัญหาหลังการเก็บเกี่ยวที่มีผลต่อคุณภาพ การเก็บรักษาและวางจำหน่ายเป็นอย่างมาก ซึ่งมีสาเหตุมาจากการสูญเสียน้ำ การคายน้ำ ปริมาณมากของผล (จริงแท้ ศิริพานิช, 2541) เป็นสาเหตุโดยตรงที่ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำหนัก ของผลิตผล การสูญเสียน้ำหนักร้อยละ 10 ของน้ำหนักผลิตผลหรือมากกว่า ทำให้ผลผลิตเกิด อาการเหี่ยว การสูญเสียน้ำของผลิตผลเป็นกระบวนการที่น้ำเคลื่อนที่จากตัวผลิตผลออกไปสู่อากาศข้างนอก โดยเฉพาะกับผลิตผลที่ส่วนใหญ่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ (สายชล เกตุษา, 2528 ; สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์, 2544)

2.9.5.1 การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา (Physiological changes) เช่น

ผลิตผลเกิดการเหี่ยว ขนาด และน้ำหนักลดลง การเกิดสีน้ำตาล เป็นต้น

1. การเหี่ยว (Wilting) อาการเหี่ยวของผลชมพู่หลังการเก็บเกี่ยวเป็นการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อบริเวณเซลล์ผิวชั้นนอกสุด คือ epidermis เป็นเซลล์ที่ติดต่อกับสิ่งแวดล้อมภายนอก บนผนังเซลล์ด้านบนจะมีชั้นของสารพอกคิวทิน (cutin) ซึ่งเป็นสารคล้ายขี้ผึ้งฉาบอยู่เพื่อป้องกันการระเหยของน้ำ เรียกว่า คิวทิเคิล (cuticle) (เทียมใจ คมกฤษ, 2541) แต่เซลล์ epidermis และ cuticle ของผลชมพู่ค่อนข้างบางมากเมื่อเปรียบเทียบกับผลไม้ชนิดอื่น ประกอบกับมีปริมาณน้ำภายในผลมาก ความชื้นภายในผลสูง โอกาสที่จะเกิดการสูญเสียน้ำออกจากผลชมพู่เกิดขึ้นได้ง่าย โดยเฉพาะเมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศต่ำกว่าในผล ในกรณีนี้ทำให้เซลล์เกิดการสูญเสียน้ำและสูญเสียความเต่ง โดยแควคิวโลลจะมีขนาดเล็กลง โพรโทพลาสต์จะหดตัวจากผนังเซลล์ เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า พลาสโมไลซิส (plasmolysis) ในที่สุดเซลล์จะเหี่ยว (สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์, 2544) โดยอาการเหี่ยวที่เกิดขึ้นในผลชมพู่หลังการเก็บเกี่ยวจะพบที่บริเวณขั้วผลและปลายผล ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างของเซลล์ผิวบริเวณนั้นมีลักษณะบอบบางกว่าบริเวณอื่นๆ (Grierson and Wardoski, 1978)

2. การเกิดสีน้ำตาล (Browning) การกระทำทางกายภาพที่ทำให้เซลล์ได้รับความเสียหายไม่ว่าจะเกิดจากขั้นตอนการเก็บเกี่ยว การแปรรูป หรือการบอบช้ำที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินการ จะทำให้เกิดความผิดปกติทางด้านสี เช่น การเกิดสีน้ำตาล ซึ่งอาจเกิดจากการสูญเสียน้ำที่ผิวชั้นนอก ดังปรากฏกับแครอท หรือการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลโดยเอนไซม์ polyphenol oxidase (PPO) ทำปฏิกิริยากับซับเตรตคือ phenol และรวมกับก๊าซออกซิเจนภายในบรรยากาศ

ทำให้เกิดสีน้ำตาลขึ้น ลักษณะการเกิดสีน้ำตาลโดยกระบวนการนี้สามารถพบได้ในผลแอปเปิ้ลเช่นกัน (Landrigan *et al.*, 1994)

3. ความหนาแน่นเนื้อ (Firmness) ในระหว่างการเก็บรักษาความหนาแน่นเนื้อของผลิตผลจะลดลง เนื่องจากการสลายตัวของโปรโตเพคตินซึ่งไม่ละลายน้ำได้เป็นกรดเพคติกและเพคตินที่ละลายน้ำได้ หรือการเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาล แต่ถ้าในระหว่างการเก็บรักษาไม่มีกระบวนการสุกเกิดขึ้น สารประกอบเพคตินจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก (दनัย บุญยเกียรติ, 2535)

2.9.5.2 การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี (Biochemical changes) เช่น การหายใจลดลง การผลิตเอทิลีนเพิ่มขึ้น (Grierson and Wardowski, 1978).

1. การหายใจ (Respiration) การหายใจเป็นกระบวนการทางชีวเคมีที่สำคัญที่สุดอย่างหนึ่งในการดำรงชีวิตอยู่ของสิ่งมีชีวิต เป็นกระบวนการที่พืชใช้พลังงานที่สะสมไว้ในรูปของสารประกอบอินทรีย์ เช่น คาร์โบไฮเดรต ไปใช้ในการเจริญเติบโตหรือดำรงชีวิตเอาไว้ และปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำออกมา ดังนั้นการหายใจจึงเป็นการดึงเอาอาหารสะสมออกไปจากผลิตผลตลอดเวลา ทำให้คุณค่าทางอาหารของผลิตผลต่อผู้บริโภคลดลงเรื่อยๆ และทำให้ผลิตผลเสื่อมคุณภาพเร็วขึ้นด้วย พืชแต่ละชนิดจะมีอัตราการหายใจแตกต่างกัน ผักหรือส่วนของพืชที่กำลังเจริญเติบโตจะมีอัตราการหายใจสูง แต่ผลไม้บางชนิดมีอัตราการหายใจเพิ่มมากขึ้นเมื่อสุก เช่น กัลยัม มะม่วง และมะละกอ เป็นต้น ผลไม้ประเภทนี้จึงมีการเสื่อมคุณภาพเร็วขึ้นและอายุเก็บรักษาสั้นกว่าผลไม้ที่มีอัตราการหายใจต่ำและไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก เช่น ผลไม้ตระกูลส้ม ชมพู่ (จริงแท้ ศิริพานิช, 2541)

2. การผลิตเอทิลีน (Ethylene production) ก๊าซเอทิลีนเป็นฮอร์โมนพืชอย่างหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของพืชและผลิตผลทางพืชสวนค่อนข้างมาก เนื้อเยื่อพืชทุกชนิดสามารถสร้างเอทิลีนได้ โดยปกติปริมาณเอทิลีนจะมีน้อย แต่เมื่อผลไม้จะสุกหรือได้รับการกระทบกระเทือน เช่น การเกิดบาดแผล การสัมผัสกับความเย็น จะมีการสร้างเอทิลีนเพิ่มขึ้น และเอทิลีนจะไปกระตุ้นกระบวนการต่างๆ เช่น กระบวนการสุก (ripening) การสลายตัวของคลอโรฟิลล์ (chlorophyll degradation) และการหลุดร่วงของดอกและใบ (leaf and flower shedding) เป็นต้น

3. ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (Total sugar) น้ำตาลในผักและผลไม้ที่สำคัญมีอยู่ 3 ชนิด คือ น้ำตาลซูโครส กลูโคส และฟรุกโตส ซึ่งพบสะสมอยู่ในแวคิวโอลเป็นส่วนใหญ่ ปริมาณสัดส่วนของน้ำตาลแต่ละชนิดในผลิตภัณฑ์ต่างๆ แตกต่างกันไป บางชนิดมีน้ำตาลซูโครสมาก ในขณะที่บางชนิดมีอยู่น้อยหรือไม่มีอยู่เลย จึงทำให้รสชาติความหวานของผักและผลไม้แต่ละชนิดไม่เท่ากัน น้ำตาลฟรุกโตสเป็นน้ำตาลที่ทำให้ความหวานมากที่สุด ในขณะที่น้ำตาลซูโครสและกลูโคสมีความหวานน้อยลงตามลำดับ ภายหลังการเก็บเกี่ยวและเก็บรักษาปริมาณน้ำตาลอาจเพิ่มขึ้นหรือลดลงแล้วแต่ชนิดของผลิตภัณฑ์และสภาพแวดล้อม ซึ่งโดยปกติแล้วผลิตภัณฑ์ที่มีการหายใจตลอดเวลาจะใช้น้ำตาลเป็นแหล่งอาหารพลังงาน ทำให้ปริมาณน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ลดลง แต่ปริมาณที่ลดน้อยลงเนื่องจากการหายใจนี้นับว่าต่ำมากเมื่อเทียบกับการสูญเสียน้ำหรือการเปลี่ยนแปลงไปอยู่ในรูปต่างๆ เช่น เปลี่ยนไปเป็นแป้งในข้าวโพดหวาน หรือในถั่วลิสงเตา ทำให้รสชาติจืดชืด หรืออาจเปลี่ยนไปเป็นกรดอินทรีย์ต่างๆ ซึ่งพบในผลไม้ตระกูลส้ม (จริงแท้ศิริพานิช, 2541)

4. วิตามินซี (Ascorbic acid) วิตามินซีเป็นวิตามินที่พบส่วนมากในพืชที่มีรสเปรี้ยว ในพืชที่ใช้เป็นอาหารพบมีมาก ได้แก่ ส้ม มะนาว มะขามป้อม ลำไย มะเขือเทศ พริกหยวก และผักใบสีเขียว มีคุณสมบัติเป็นสารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระอย่างแรง ถูกออกซิไดส์ได้ง่ายโดยออกซิเจนในอากาศ วิตามินซีทำหน้าที่เป็น antioxidant ให้แก่ร่างกายเพื่อไปคอยทำลาย free radical ที่เกิดจากออกซิเจนที่จะมาเป็นอันตรายต่อผนังเซลล์ ในปัจจุบันพบว่า วิตามินซีมีส่วนเกี่ยวข้องกับการทำหน้าที่ immune ในร่างกายได้ เช่น ไปกระตุ้นให้ร่างกายสร้าง interferons ซึ่งเป็นโปรตีนที่จะไปต่อต้านเชื้อไวรัสที่ทำให้เกิดโรคในระบบทางเดินหายใจ นอกจากนี้วิตามินซียังช่วยกระตุ้นให้ร่างกายทำการสังเคราะห์ antibodies IgG และ IgM เพื่อมาทำหน้าที่ป้องกันเกี่ยวกับการติดเชื้อในร่างกาย และยังพบว่าการกินวิตามินซีวันละ 10 มิลลิกรัม สามารถลดอาการแพ้ได้เป็นอย่างดี (สมทรง เลขะกุล, 2543) ในเนื้อชมพู 100 กรัม มีวิตามินซีเป็นองค์ประกอบประมาณ 32 มิลลิกรัม

2.9.6 การเก็บรักษา

2.9.6.1 การใช้อุณหภูมิต่ำในการเก็บรักษา

เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพช่วยทำให้กระบวนการทางชีวภาพต่างๆ เกิดช้าลงและยืดอายุการเก็บรักษาของผลไม้ (Isenberg, 1979) เนื่องจากอุณหภูมิต่ำจะไปยับยั้งการหายใจและกระบวนการเมตาบอลิซึมที่จะนำไปสู่การเสื่อมสภาพ สามารถลดอัตราการหายใจ

ชะลอการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัส และลดการสูญเสียวิตามิน ตลอดจนลดอัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์อีกด้วย (จริงแท้ ศิริพานิช, 2541) ทั้งนี้ผลผลิตแต่ละชนิดจะมีอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเก็บรักษาต่างกัน ผักและผลไม้เขตร้อนมักมีอุณหภูมิในการเก็บรักษาสูงกว่าผักและผลไม้ในเขตกึ่งร้อนและเขตหนาวตามลำดับ เช่น ผลชมพู่ การเก็บรักษาที่ 15-17 องศาเซลเซียส จะเก็บได้ประมาณ 10-15 วัน และที่ 5 องศาเซลเซียส จะเก็บได้ประมาณ 30 วัน (แต่ไม่ได้มีการระบุวิธีการหรือสภาวะในการเก็บรักษา) (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2542)

2.9.6.2 การใช้สารเคลือบผิวในผักและผลไม้

การใช้เคลือบผิวจะปกคลุม ทับ หรือทดแทนไขที่เคยมีอยู่ และปิดช่องเปิดต่าง ๆ ตามธรรมชาติ ทำให้การคายน้ำที่ก่อให้เกิดการสูญเสียน้ำหนัก และการเหี่ยวของผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวลดลง (จริงแท้ ศิริพานิช, 2541) นอกจากนี้ยังช่วยควบคุมการหายใจและช่วยยืดอายุการสุกของผลไม้ด้วย เนื่องจากสารเคลือบผิวสามารถจำกัดการผ่านเข้าออกของก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้ปริมาณก๊าซออกซิเจนค่อยๆ ลดลงในขณะที่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น ทำให้อัตราการหายใจของผลผลิตลดลง และมีการเสื่อมสภาพของผลผลิตช้าลง นอกจากนี้ ในสภาวะที่มีปริมาณก๊าซออกซิเจนลดลงในขณะที่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นจะมีผลต่อการทำงานและการสังเคราะห์ก๊าซเอทิลีน เนื่องจากผลไม้ต้องใช้ก๊าซออกซิเจนในการผลิตเอทิลีน และปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สะสมเพิ่มขึ้นนั้น จะไปแย่งจับกับตัวรับของเอทิลีน จึงเป็นการขัดขวางการทำงานของเอทิลีน (สายชล เกตุษา, 2528) การใช้สารเคลือบผิวชนิดต่างๆ กับผักและผลไม้มีมานานแล้ว แต่มีปัญหาเรื่องสารพิษตกค้างและลักษณะที่ไม่ต้องการจากการใช้สารเคลือบผิว เช่น การเกิดกลิ่นรสผิดปกติ ต่อมาจึงได้มีการศึกษาการใช้สารเคลือบผิวที่รับประทานได้ (Ben-Yehoshua *et al.*, 1993) เป็นสารเคลือบผิวที่ได้จากโปรตีน โพลีแซคคาไรด์ และไขมันจากสัตว์ ผัก และผลไม้ มีรายงานที่ Yang และคณะ (2001) ได้ใช้สารเคลือบผิวโพลีแซคคาไรด์ที่ผลิตจากกลูโคแมนแนกับ sodium carboxymethyl cellulose และ dioctyl sodium sulfosuccinate เคลือบผิวอาหารสด เช่น แคนตาลูป แอปเปิ้ล เป็นต้น เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา โดยสารเคลือบผิวนี้อาจช่วยลดอัตราการหายใจ และการผลิตเอทิลีน ซึ่งเป็นการควบคุมการสุกของผลไม้ และลดการสูญเสียน้ำหนักของผลผลิตได้ เช่นเดียวกับกมลทิพย์ เอกธรรมสุทธิ์ และอดิศักดิ์ เอกโสวรรณ (2543) ที่รายงานว่าการใช้ฟิล์มแบงก์เคลือบผิวส้มเขียวหวานมีแนวโน้มชะลอการสูญเสียน้ำหนัก ปริมาณวิตามินซี และการเปลี่ยนแปลงสีของผิวส้มเขียวหวานได้ดีกว่าส้มเขียวหวานที่ไม่ได้รับการเคลือบผิวในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28-30 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 20 วัน

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

3.1 วัตถุดิบ อุปกรณ์ และสารเคมี

3.1.1 วัตถุดิบ

1. หัวบุกพันธุ์เนื้อทราย (*Amorphophallus oncophyllus*) อายุประมาณ 2 ปี น้ำหนักประมาณ 1 กิโลกรัมจากแปลงปลูกของกรมวิชาการเกษตร จังหวัดตาก หลังเก็บเกี่ยวนำมาตากแดดประมาณ 1 วัน และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13°C
2. ผงบุกจากกรมวิชาการเกษตร ซึ่งได้จากการสกัดแบบแห้ง โดยอบแห้งที่อุณหภูมิ 120°C เป็นเวลา 45 นาที แล้วบดละเอียดเป็นผง
3. ชมพูพันธ์ทับทิมจันทร์ระยะแก่เต็มที่ (สุกแก่ทางการค้า) ขนาดประมาณ 10-11 ผลต่อกิโลกรัม จากอำเภอสามพราน จังหวัดนครปฐม

3.1.2 สารเคมี

1. เอทานอล (Ethanol) 95% บริษัท Merck ประเทศเยอรมนี
2. ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ (Isopropyl alcohol) บริษัท Merck ประเทศเยอรมนี
3. กลีเซอรอล (Glycerol) บริษัท Merck ประเทศเยอรมนี
4. โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium hydroxide) บริษัท Merck เยอรมนี
5. โซเดียมไฮโปคลอไรท์ (Sodium hypochlorite)

3.1.3 อุปกรณ์ในการสกัดผงบุก

1. เครื่องอบแห้งแบบถาด (tray dryer) type HA-100S บริษัท เหยี่ยวเฮง ประเทศไทย
2. เครื่องบดผสม (blender) รุ่น MX-T2GN บริษัท National ประเทศญี่ปุ่น
3. เครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจาย (spray dryer) รุ่น DV-II บริษัท Niro A/S ประเทศเดนมาร์ก ดังแสดงในภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 เครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจาย (spray dryer) รุ่น DV-II

3.1.4 อุปกรณ์ในการเตรียมฟิล์มและสารเคลือบผิว

1. ถาดเมลามีนขนาด 30 × 16 เซนติเมตร
2. ถูกน้ำวัดระนาบ
3. ตู้อบ (hot air oven) รุ่น ED บริษัท WIC Binder ประเทศเยอรมนี

3.1.5 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์คุณภาพ

1. เครื่อง Chroma Meter (Model CR-300 Series) บริษัท Minolta ประเทศญี่ปุ่น
2. เครื่อง Rheometer รุ่น C-VOR 150 Bohlin Instruments บริษัท Malvern Instruments ประเทศอังกฤษ
3. เครื่องวัดความหนา (Digital Thickness Gauge) Model TH-104 บริษัท Tester Sangyo ประเทศญี่ปุ่น
4. เครื่อง Texture Analyzer TA-XT 2 บริษัท Stable Micro Systems ประเทศอังกฤษ
5. เครื่อง Oxygen Permeability Analyser Model 8500 บริษัท Illinois Instruments ประเทศสหรัฐอเมริกา

6. ชุดทดสอบค่าความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำ บริษัท Tester Sangyo ประเทศญี่ปุ่น
7. Digital Refractometer รุ่น PAL-1 ยี่ห้อ Atago
8. เครื่อง Gas Chromatography รุ่น GC-8A บริษัท Shimadzu ประเทศญี่ปุ่น
9. เครื่อง Gas Chromatography รุ่น GC-14B บริษัท Shimadzu ประเทศญี่ปุ่น

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.2.1 การผลิตผงบุกจากหัวบุกสดโดยการสกัดแบบเปียกร่วมกับการทำแห้งแบบพ่นกระจาย

3.2.1.1 การเตรียมหัวบุกโดยการทำแห้งแบบ semi-dry

ทำความสะอาดหัวบุกสด ปอกเปลือก หั่นตามขวางหนาประมาณ 5 มิลลิเมตร และอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลาประมาณ 3 ชั่วโมง ขึ้นบุกจะมีความชื้นประมาณ 12-15% ทิ้งให้เย็น บรรจุในถุงพลาสติกแล้วปิดถุงแบบสุญญากาศเพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

3.2.1.2 การสกัดผงบุกแบบเปียกร่วมกับการทำแห้งแบบพ่นกระจาย

ดัดแปลงจากวิธีของ Shimizu และ Shimahara (1973) ดังนี้ นำขึ้นบุกจากการทดลองในขั้นตอนที่ 3.2.1.1 บดผสมกับสารละลายเอทานอล 95% อัตราส่วนของเนื้อบุกต่อสารละลายเอทานอลเป็น 1 ต่อ 1.5 โดยมวลต่อปริมาตร ด้วย blender กรองด้วยผ้าขาวบาง ทำเช่นนี้ 2 ครั้ง นำของแข็งที่กรองได้ไปผสมกับน้ำในอัตราส่วนร้อยละ 1 โดยมวลต่อปริมาตร และกรองด้วยผ้าขาวบาง นำไปทำแห้งแบบพ่นกระจาย โดยเครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจายที่ใช้ในการทดลองเป็นหัวฉีดแบบหมุน ใช้หลักของแรงเหวี่ยงทำให้เกิดแผ่นของเหลว ซึ่งแตกออกเป็นหยดตามต้องการ ด้วยความเร็วรอบ (atomizer pressure) 1.5 bar อัตราการป้อนสารละลายตัวอย่าง 35 มิลลิลิตรต่อนาที ทิศทางการไหลของอากาศแบบการไหลตามกัน อุณหภูมิเข้าในการทำแห้งคือ 140, 160, 180 และ 200°C และอุณหภูมิขาออกแปรผันตามอุณหภูมิเข้า คือ 78 ± 3 , 85 ± 3 , 92 ± 3 และ 100 ± 3 °C ตามลำดับ สามารถควบคุมอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งให้คงที่ด้วยระบบควบคุมอัตโนมัติโดยกำหนดค่าของอุณหภูมิได้จากผู้ควบคุม

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design : CRD) มีสิ่งทดลอง 4 สิ่ง (ระดับอุณหภูมิหมักร้อนขาเข้า) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ และวิเคราะห์ผลการทดลองโดยโปรแกรม SPSS Version 14 เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's multiple range test

3.2.1.3 การตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของผงบุก นำผงบุกที่ได้จากการทดลองในขั้นตอนที่ 3.2.1.2 ที่อุณหภูมิหมักร้อนขาเข้าต่างกัน มาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีดังนี้

1. ปริมาณผลผลิตที่ได้ (yield)

$$\text{yield} = \frac{\text{น้ำหนักแห้งของผลผลิตที่ได้}}{\text{น้ำหนักแห้งของวัตถุดิบเริ่มต้น}} \times 100$$

2. วิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC, 1995)

3. วัดค่าสีของผงบุกโดยเครื่อง Chroma Meter (Minolta, CR-300)

(ภาคผนวก ข. 1)

4. วัดความเหนียวปรากฏของสารละลายบุก โดยเครื่อง Rheometer รุ่น C-VOR 150 Bohlin Instruments โดยกำหนดสภาวะการทดสอบดังนี้

- สารละลายบุกความเข้มข้น 0.5%
- อัตราเฉือน 272 s^{-1}
- parallel probe number 1/60 (เส้นผ่าศูนย์กลาง 6 เซนติเมตร)
- อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส
- ระยะห่างระหว่าง probe กับฐาน เท่ากับ $150 \mu\text{m}$

5. ปริมาณกอลลโคแมนแนน จากวิธีการตรวจ Total Dietary Fiber ของ AOAC (1995) (ภาคผนวก ข. 2)

6. ลักษณะโครงสร้างของอนุภาคผงบุก ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-5410LV เป็นเครื่องมือของคณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2.2 การเตรียมฟิล์มจากผงบุกและการตรวจสอบคุณภาพของฟิล์ม

เลือกผงบุกที่มีสีขาว ละลายน้ำให้ความหนืดสูง และมีปริมาณกลูโคแมนแนนสูงที่สุดจากภาวะที่เหมาะสมที่สุดในข้อ 3.2.1 มาศึกษาการเตรียมฟิล์มและตรวจสอบคุณภาพของฟิล์มบุกดังต่อไปนี้

3.2.2.1 การเตรียมแผ่นฟิล์มจากผงบุก

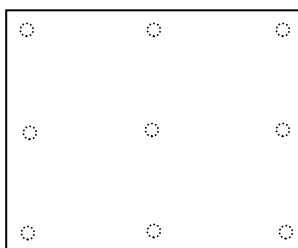
สารละลายบุกที่ไม่มี KOH เตรียมสารละลายจากผงบุกให้มีความเข้มข้นร้อยละ 1.0 โดยมวลต่อปริมาตร ละลายโดยใช้น้ำกลั่น กวนด้วยแท่งแม่เหล็กเป็นเวลาประมาณ 3 ชั่วโมง ให้เป็นเนื้อเดียวกัน เติมกลีเซอรอลร้อยละ 0.3 โดยมวลต่อปริมาตร กวนต่อ 20 นาที

สารละลายบุกที่มี KOH จากวิธีของ Cheng และคณะ (2002) เตรียมสารละลายจากผงบุกให้มีความเข้มข้น 1.0% โดยมวลต่อปริมาตร ละลายโดยใช้น้ำกลั่น กวนด้วยแท่งแม่เหล็ก 3 ชั่วโมง ให้เป็นเนื้อเดียวกัน เติมสารละลาย KOH 0.5 M 0.14% โดยปริมาตรต่อปริมาตร กวนเป็นเวลาประมาณ 15 นาที ตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง เติมกลีเซอรอล 0.3% โดยมวลต่อปริมาตร กวนต่อ 20 นาที

นำสารละลาย 110 มิลลิลิตร ขึ้นรูปบนกระดาษเมลามีนขนาด 28 × 14 cm. อบที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 10 ชั่วโมง ลอกแผ่นฟิล์มออกและนำไปเก็บใน desicator ที่อุณหภูมิห้อง ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 67±2 โดยใช้สารละลาย Potassium iodide อิมิตัว เป็นเวลา 24 ชั่วโมงก่อนนำมาทดสอบสมบัติต่างๆ ต่อไป

3.2.2.2 การตรวจสอบสมบัติของแผ่นฟิล์มบุก แผ่นฟิล์มบุกที่ผลิตได้ในขั้นตอน 3.2.2.1 ตรวจสอบสมบัติของแผ่นฟิล์มบุก ดังนี้

1. วัดความหนา โดยใช้เครื่อง Digital Thickness Gauge Model TH-104 วัดทั้งหมด 9 จุด แล้วหาค่าเฉลี่ย



○ = จุดที่ทำกรวัด

2. ทดสอบค่าการต้านทานแรงดึงและการยืดตัว โดยเครื่อง Texture Analyzer TA-XT 2 หัววัด tensile grip (ภาคผนวก ข. 3)
 3. ทดสอบการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (Oxygen Permeability, $P(O_2)$) โดยเครื่อง Oxygen Permeability Analyser Model 8500 (ภาคผนวก ข. 4)
 4. ทดสอบการซึมผ่านของไอน้ำ (Water Vapor Permeability, WVP) ตามวิธี ASTM E96-95 (ภาคผนวก ข. 5)
 5. ลักษณะโครงสร้างของฟิล์มบุก ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-5410LV เป็นเครื่องมือของคณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- มีสิ่งทดลอง 2 สิ่ง (ฟิล์มบุกที่เติมและไม่เติม KOH) ทำการทดลอง 5 ซ้ำ และวิเคราะห์ผลการทดลองโดยโปรแกรม SPSS Version 14 เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี T-test

3.2.3 การนำผงบุกไปใช้เป็นสารเคลือบผิวชมพูพันธุ์ทับทิมจันทร์เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา

นำผงบุกที่มีคุณภาพและปริมาณกลูโคแมนแนนที่ดีที่สุดตามวิธีการสกัดในข้อ 3.2.1 มาเตรียมเป็นสารเคลือบผิวและนำไปใช้เคลือบผิวชมพูพันธุ์ทับทิมจันทร์ โดยคัดเลือกชมพูที่มีความสม่ำเสมอ ไม่มีตำหนิ ทำความสะอาดด้วยสารละลาย sodium hypochlorite ความเข้มข้น 200 ppm

3.2.3.1 การเตรียมสารเคลือบผิวจากผงบุก เตรียมตามวิธีการในข้อ 3.2.2.1

3.2.3.2 การเคลือบผิวชมพูพันธุ์ทับทิมจันทร์ด้วยสารเคลือบผิวจากผงบุก

จุ่มชมพูในสารเคลือบผิวให้ท่วมผล นำขึ้นทันที วางชมพูบนตะแกรงสแตนเลสในแนวตั้งให้ซั้วผล อยู่ด้านบน ฝั่งให้แห้ง สำหรับสิ่งทดลองคือ ชมพูทั้งหมด 360 ผล แบ่งออกเป็น 3 ส่วนเท่ากัน ดังนี้

- สิ่งทดลองที่ 1 ชมพูที่ไม่เคลือบผิว
- สิ่งทดลองที่ 2 ชมพูที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุก 1% และกลีเซอรอล 0.3%
- สิ่งทดลองที่ 3 ชมพูที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุก 1% กลีเซอรอล 0.3% และ KOH 0.5 M 0.14%

เก็บชมพูที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยผงบุก และชมพูที่ไม่ได้เคลือบผิวไว้ที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 88 ในกล่องกระดาษลูกฟูกขนาด 32 × 24 × 12 เซนติเมตร เป็นเวลา 15 วัน วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design : CRD) มี 3 ซ้ำ แต่ละซ้ำใช้ชมพูจำนวน 4 ผล ตรวจสอบชมพูทุกๆ 3 วัน และวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design : RCBD) สำหรับการทดสอบทางประสาทสัมผัส วิเคราะห์ผลการทดลองโดยโปรแกรม SPSS Version 14 เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's multiple range test

3.2.3.3 การตรวจสอบคุณภาพของชมพูระหว่างการเก็บรักษา สุ่มตัวอย่างชมพูออกมาวิเคราะห์และตรวจสอบคุณภาพดังนี้

1. วัดการเปลี่ยนแปลงสีของผิว โดยเครื่อง Chroma Meter (Model CR-300 Series, Minolta) (ภาคผนวก ข. 1)
2. วัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (°Brix) โดยใช้ Digital Refractometer
3. วัดการสูญเสียน้ำหนักของผลชมพู โดยคัดเลือกผลชมพูจำนวน 4 ผลของแต่ละทรีตเมนต์ บันทึกน้ำหนักในวันเริ่มต้นของแต่ละผล หลังจากนั้นชั่งน้ำหนักผลชมพูชุดเดิมทุก 3 วัน แล้วคำนวณหาอัตราการสูญเสียน้ำหนัก (ภาคผนวก ข. 6)
4. วัดความแน่นเนื้อของของผล โดยเครื่อง Texture Analyzer TA-XT 2 หัววัดขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มม. (ภาคผนวก ข. 7)
5. วิเคราะห์ปริมาณวิตามินซี โดยวิธีการไทเทรตด้วย 2, 6 dichlorophenol indophenol (AOAC, 1995) (ภาคผนวก ข. 8)
6. วัดอัตราการหายใจ โดยเครื่อง Gas Chromatograph รุ่น GC-8A (ภาคผนวก ข. 9)
7. วัดอัตราการผลิตก๊าซเอทิลีน Gas Chromatograph รุ่น GC-14B (ภาคผนวก ข. 9)
8. ประเมินการยอมรับคุณภาพโดยรวมของผู้บริโภค (9-Point Hedonic Scale Test ให้คะแนน ตั้งแต่ 1 - 9) โดย 9 คะแนน คือ ยอมรับมากที่สุด และ 1 คะแนน คือ ไม่ยอมรับมากที่สุด ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 15 คน เตรียมชมพูสำหรับทดสอบ โดยนำชมพูในแต่ละทรีตเมนต์มาล้างทำความสะอาด ฝ่าแบ่งชมพูเป็น 2 ส่วน แล้วเสิร์ฟให้ผู้ทดสอบชิม

บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การผลิตผงบุกจากหัวบุกสดโดยการสกัดแบบเปียกร่วมกับการทำแห้งแบบพ่นกระจาย

4.1.1 ผลของอุณหภูมิในขั้นตอนการทำแห้งต่อคุณภาพสีของผงบุก

สำหรับค่าสีของผงบุกที่มีความสำคัญคือ ค่า L ซึ่งแสดงความสว่างของสี และค่า b* แสดงระดับสีเหลือง-น้ำเงิน เมื่อค่า b* มีค่าเป็นบวกจะแสดงลักษณะสีเหลือง ส่วนค่า a* แสดงระดับสีแดง-เขียว โดย a* จะแสดงลักษณะสีแดงเมื่อมีค่าเป็นบวก ในการทดลองพบว่า อุณหภูมิในขั้นตอนการทำแห้งมีผลต่อสีของผงบุกที่สกัดได้อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่ออุณหภูมิในการทำแห้งเพิ่มสูงขึ้นค่า L ของผงบุกจะลดลง ขณะที่ค่า a* และ b* จะเพิ่มขึ้น ที่อุณหภูมิในการทำแห้ง 140°C มีค่า L สูงที่สุด คือ 88.05 และมีค่า a* และ b* ต่ำที่สุด คือ 0.73 และ 8.19 ตามลำดับ ในขณะที่อุณหภูมิในการทำแห้ง 200°C มีค่า L ต่ำที่สุด คือ 86.09 และมีค่า a* และ b* สูงที่สุด คือ 1.03 และ 9.20 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าสีของผงบุกจากวิธีการสกัดแบบเปียกและทำแห้งแบบพ่นกระจายที่อุณหภูมิต่างๆ เปรียบเทียบกับการสกัดแบบแห้ง

ตัวอย่างผงบุก	ค่าสี		
	L	a*	b*
สกัดแบบเปียกและ ทำแห้งแบบพ่นกระจายที่ 140°C	88.05 ^a ± 0.45	0.73 ^a ± 0.11	8.19 ^a ± 0.12
สกัดแบบเปียกและ ทำแห้งแบบพ่นกระจายที่ 160°C	87.44 ^{ab} ± 0.41	0.82 ^{ab} ± 0.07	8.54 ^b ± 0.10
สกัดแบบเปียกและ ทำแห้งแบบพ่นกระจายที่ 180°C	86.82 ^{bc} ± 0.38	0.94 ^{bc} ± 0.08	8.98 ^c ± 0.13
สกัดแบบเปียกและ ทำแห้งแบบพ่นกระจายที่ 200°C	86.09 ^c ± 0.44	1.03 ^c ± 0.10	9.20 ^c ± 0.17
สกัดแบบแห้งโดยทำแห้งด้วย tray drying ที่ 120°C, 45 นาที	74.74 ^d ± 0.41	5.86 ^d ± 0.07	20.28 ^d ± 0.30

(ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับ a,b,c,d.. ต่างกัน หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's multiple range test)

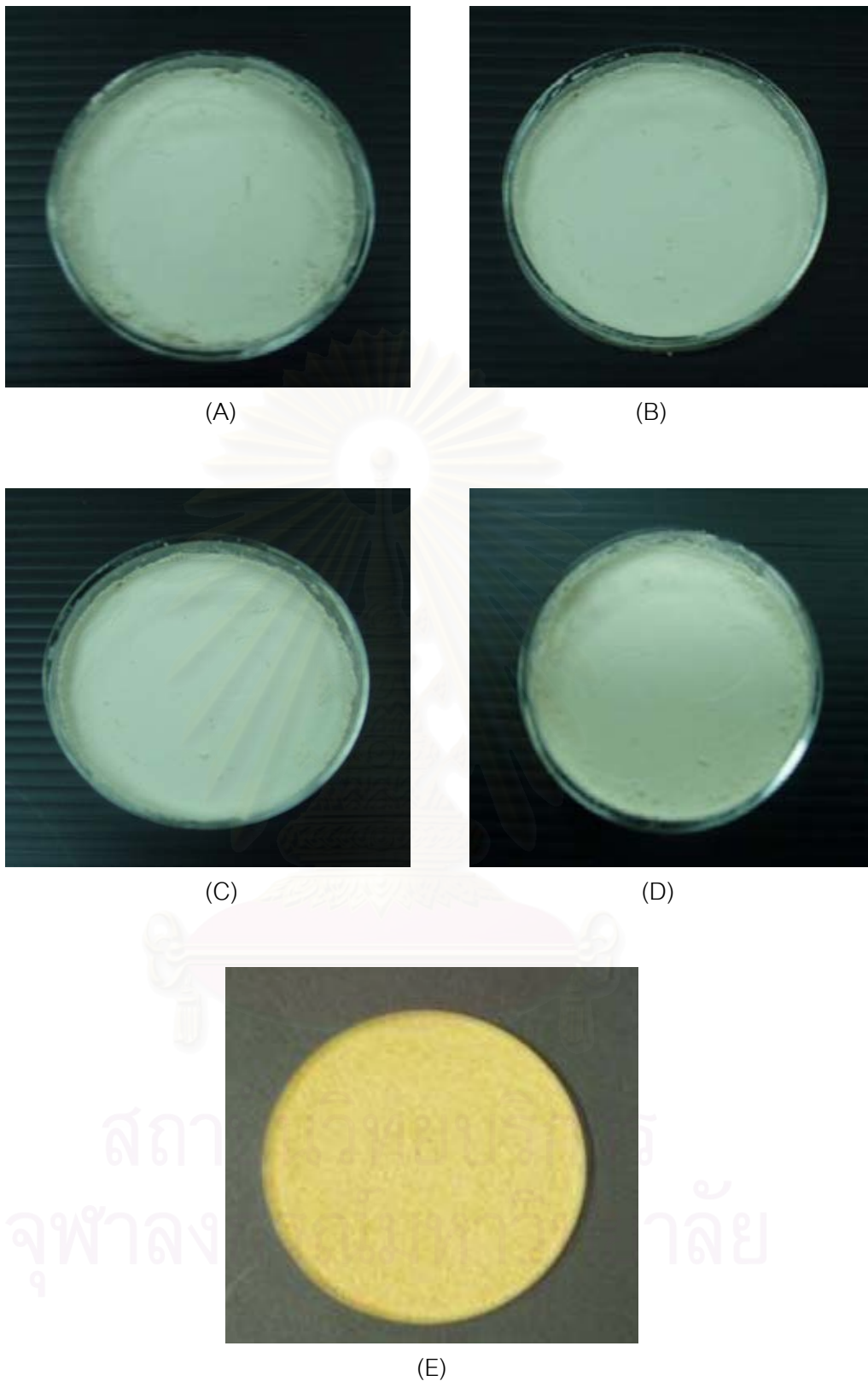
เมื่ออุณหภูมิในการทำแห้งเพิ่มสูงขึ้นผงบุกจะมีสีน้ำตาลมากขึ้น เนื่องจากในระหว่างการทำแห้งจะเกิดการสร้างสีน้ำตาลขึ้น โดยปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่น้ำตาลรีดิวซ์ ซึ่งมีหมู่ที่เป็นอัลดีไฮด์และคีโตนทำปฏิกิริยากับสารประกอบไนโตรเจน เช่น โปรตีนทำให้เกิดสารสีน้ำตาลที่เรียกว่า เมลานอยดิน (melanoidins) (Kamuf *et al.*, 2003) ซึ่งอุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด โดยปฏิกิริยาจะเกิดมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น สอดคล้องกับ Carabasa-Giribet และ Ibarz-Ribas (2000) ที่ศึกษาจลนศาสตร์การเปลี่ยนแปลงสีของสารละลายน้ำตาลที่อุณหภูมิสูง โดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงและวิเคราะห์ปริมาณสาร (hydroxymethyl)-2-furfural (HMF) ซึ่งเป็นสารผลิตภัณฑ์หนึ่งในปฏิกิริยาเมลลาร์ด พบว่า ปฏิกิริยาเมลลาร์ดเกิดมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิในกระบวนการเพิ่มสูงขึ้น เช่นเดียวกับ พรพิมล ม่วงไทย และคณะ (2547) ที่ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดในระบบต้นแบบ

ระหว่างน้ำตาลและกรดอะมิโนมาตรฐาน โดยวิเคราะห์ปริมาณสาร (hydroxymethyl)-2-furfural (HMF) ซึ่งเป็นสารผลิตภัณฑ์หนึ่งในปฏิกิริยาเมลลาร์ดพบว่า การเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดขึ้นกับ อุณหภูมิและเวลาที่ระบบได้รับความร้อน

และเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างผงบุกจากการสกัดแบบแห้งพบว่า ผงบุกจากการสกัดแบบเปียกและทำแห้งแบบพ่นกระจายจะมีค่าสีดีกว่าผงบุกจากการสกัดแบบแห้งอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และสังเกตความแตกต่างได้ชัดเจน ดังแสดงในภาพที่ 4.1 เนื่องจากการทำแห้งแบบพ่นกระจายทำให้การระเหยของน้ำเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ผงบุกสัมผัสกับความชื้นเป็นระยะเวลาสั้น ๆ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการสกัดแบบแห้งแม้ว่าจะใช้อุณหภูมิในการทำแห้งที่ต่ำกว่า (120 องศาเซลเซียส) แต่เวลาที่ใช้ในการทำแห้งนานกว่า จึงเกิดการเปลี่ยนแปลงสีซึ่งเป็นผลจากความชื้นน้อยกว่า



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.1 ผงบุกจากการสกัดแบบเปียกและทำแห้งแบบพ่นกระจายที่อุณหภูมิ 140°C (A), 160°C (B), 180°C (C) และ 200°C (D) เปรียบเทียบกับผงบุกจากการสกัดแบบแห้ง โดยทำแห้งด้วย tray drying ที่อุณหภูมิ 120°C (E)

4.1.2 ผลของอุณหภูมิในขั้นตอนการทำแห้งต่อปริมาณผงบุกที่ผลิตได้ ความชื้น และปริมาณกลูโคแมนแนนของผงบุก

การสกัดแบบเปียกร่วมกับการทำแห้งแบบพ่นกระจายที่อุณหภูมิ 140°C ให้ผลผลิตต่ำที่สุด (20.78%) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ทำแห้งเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ได้ปริมาณผลผลิตผงบุกเพิ่มขึ้น โดยการทำแห้งที่อุณหภูมิ 200°C จะได้ผลผลิตมากที่สุดเท่ากับ 26.55% ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ปริมาณผงบุกที่ผลิตได้ (yield) จากการสกัดแบบเปียกและทำแห้งแบบพ่นกระจายที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิการทำแห้ง	yield (% , dry basis)
140°C	20.78 ^a ± 0.49
160°C	23.18 ^b ± 0.80
180°C	24.89 ^{bc} ± 0.54
200°C	26.55 ^c ± 0.93

(ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับ a,b,c.. ต่างกัน หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's multiple range test)

ปริมาณผงบุกที่ผลิตได้เพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิในการทำแห้งเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการทำแห้งที่อุณหภูมิสูงจะทำให้ความชื้นของผงบุกที่สกัดได้ลดลง ผงบุกจึงติดหรือตกค้างในเครื่องน้อยลง

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของผงบุกพบว่า อุณหภูมิในขั้นตอนการทำแห้งมีผลต่อความชื้นของผงบุกที่สกัดได้อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ที่อุณหภูมิในการทำแห้ง 140, 160, 180 และ 200°C ได้ผงบุกที่มีความชื้นเท่ากับ 7.24, 6.09, 5.03 และ 3.24% dry basis ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าความชื้นของผงบุกจากวิธีการสกัดแบบเปียกและทำแห้งแบบพ่นกระจายที่อุณหภูมิต่างๆ เปรียบเทียบกับการสกัดแบบแห้ง

ตัวอย่างผงบุก	ความชื้น (% , dry basis)
สกัดแบบเปียกและ ทำแห้งแบบพ่นกระจายที่ 140°C	7.24 ^d ± 0.13
สกัดแบบเปียกและ ทำแห้งแบบพ่นกระจายที่ 160°C	6.04 ^c ± 0.14
สกัดแบบเปียกและ ทำแห้งแบบพ่นกระจายที่ 180°C	5.03 ^b ± 0.14
สกัดแบบเปียกและ ทำแห้งแบบพ่นกระจายที่ 200°C	3.24 ^a ± 0.03
สกัดแบบแห้งโดยทำแห้งด้วย tray drying ที่ 120°C, 45 นาที	10.39 ^e ± 0.24

(ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับ a,b,c,d,e.. ต่างกัน หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's multiple range test)

อุณหภูมิในการทำแห้งที่เพิ่มสูงขึ้นทำให้ความชื้นของผงบุกที่สกัดได้จะลดลง เนื่องจากในขณะที่สภาวะอัตราการไหลของอากาศร้อนคงที่ อุณหภูมิอากาศร้อนเข้าและอุณหภูมิกาศร้อนออกมีผลต่อปริมาณความร้อนที่ถ่ายโอนให้แก่น้ำเพื่อใช้ในการระเหยระหว่างการทำแห้ง คือเมื่อเพิ่มอุณหภูมิกาศร้อนเข้าจะเป็นการเพิ่มแรงขับเคลื่อนของน้ำในผลิตภัณฑ์อาหารที่จะระเหยออกไป ทำให้ความสามารถในการระเหยน้ำของเครื่องอบแห้งเพิ่มขึ้นและเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการอบแห้ง สอดคล้องกับวสันต์ ด้วงคำจันทร์ (2546) ที่ศึกษาการอบแบบและพัฒนาเทคโนโลยีการอบแห้งแบบพ่นกระจายของกระเจี๊ยบ พบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิกาศร้อนเข้าหรือเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายเริ่มต้นมีผลทำให้ปริมาณความชื้นของกระเจี๊ยบผงมีค่าลดลง

ความชื้นของตัวอย่างผงบุกจากการสกัดแบบแห้งซึ่งได้รับจากกรมวิชาการเกษตร ซึ่งใช้วิธีการอบแห้งแบบ tray dryer ที่อุณหภูมิ 120-130 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 45 นาที

และนำไปบดละเอียด เท่ากับ 10.39% dry basis ซึ่งผกผันจากการสกัดแบบเปียกและทำแห้งแบบพ่นกระจายในทุกการทดลองมีค่าความชื้นต่ำกว่าผกผันจากการสกัดแบบแห้งมาก ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากการอบแห้งแบบพ่นกระจายเป็นการทำให้อนุภาคของเหลวแตกตัวเป็นละอองหรือหยดเล็กๆ แล้วไหลผ่านไปในห้องอบแห้งที่มีอากาศร้อนไหลผ่านและการทำให้ตัวอย่างเป็นหยดของเหลวที่มีขนาดเล็กมากๆ เช่นนี้ ทำให้มีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมาก เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการถ่ายเทมวลและความร้อน การถ่ายเทความร้อนจึงเกิดขึ้นได้ดีและรวดเร็ว (Masters, 1979)

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณกลูโคแมนแนนของผกผันพบว่า อุณหภูมิในขั้นตอนการทำแห้งมีผลต่อปริมาณกลูโคแมนแนนของผกผันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ที่อุณหภูมิในการทำแห้ง 140, 160, 180 และ 200°C จะได้ผกผันที่มีปริมาณกลูโคแมนแนนเท่ากับ 64.89, 61.80, 60.44 และ 57.12% ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ปริมาณกลูโคแมนแนนของผกผันจากวิธีการสกัดแบบเปียกและทำแห้งแบบพ่นกระจายที่อุณหภูมิต่างๆ เปรียบเทียบกับการสกัดแบบแห้ง

ตัวอย่างผกผัน	กลูโคแมนแนน (% dry basis)
สกัดแบบเปียกและทำแห้งแบบพ่นกระจายที่ 140°C	64.89 ^c ± 1.49
สกัดแบบเปียกและทำแห้งแบบพ่นกระจายที่ 160°C	61.80 ^{bc} ± 1.61
สกัดแบบเปียกและทำแห้งแบบพ่นกระจายที่ 180°C	60.44 ^b ± 0.61
สกัดแบบเปียกและทำแห้งแบบพ่นกระจายที่ 200°C	57.12 ^a ± 0.51
สกัดแบบแห้งโดยทำแห้งด้วย tray drying ที่ 120°C, 45 นาที	61.56 ^b ± 1.32

(ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับ a,b,c.. ต่างกัน หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's multiple range test)

ความร้อนในกระบวนการทำแห้งทำให้ความแข็งแรงภายในพันธะของเส้นใยอาหารลดลง เกิดการสลายตัวของพันธะไกลโคซิดิกในเส้นใยอาหาร ถ้าการสลายตัวนี้เกิดขึ้นมากจนเกิดเป็น alcohol soluble fragment จะทำให้ปริมาณเส้นใยอาหารลดลง (FAO, 1997) ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิในการทำแห้งเพิ่มสูงขึ้นทำให้ปริมาณกลูโคแมนแนนของผงบุกลดลง และขนาดอนุภาคของผงบุกจะเล็กลงด้วย เนื่องจากความร้อนทำให้เกิดการสลายพันธะภายในสายโพลีเมอร์ของกลูโคแมนแนนมากขึ้น สอดคล้องกับ Kutos และคณะ (2002) ที่ศึกษาเรื่องปริมาณเส้นใยอาหารในถั่วที่ผ่านการต้มด้วยน้ำร้อนอุณหภูมิ 98-100°C และทำแห้ง พบว่า ความร้อนจากกระบวนการผลิตทำให้ปริมาณเส้นใยอาหารในถั่วลดลงอย่างมีนัยสำคัญ Holme และคณะ (2003) ศึกษาการเกิดดีโพลีเมอร์ไรเซชันด้วยความร้อนของ alginate พบว่า เมื่อความร้อนในกระบวนการสลายตัวเพิ่มสูงขึ้นทำให้อัตราการเกิดดีโพลีเมอร์ไรเซชันของ alginate เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับ Mao และคณะ (2004) ศึกษาเรื่องการเกิดดีโพลีเมอร์ไรเซชันต่อคุณสมบัติด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพของโคโคซาน พบว่า เมื่อใช้อุณหภูมิสูงขึ้นทำให้โคโคซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงสลายตัวและมีขนาดเล็กลง

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างวิธีการสกัดแบบเปียกและแบบแห้งพบว่า ตัวอย่างผงบุกจากการสกัดแบบแห้งมีปริมาณกลูโคแมนแนนน้อยกว่าการสกัดแบบเปียกและทำแห้งแบบพ่นกระจายที่อุณหภูมิ 140°C อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.4 เนื่องจากการสกัดแบบเปียกนั้นสามารถแยกกลูโคแมนแนนโดยตรงจากผงบุก และชะล้างสารไม่บริสุทธิ์ที่ออกจากอนุภาคบุกได้ง่ายและมีประสิทธิภาพ ซึ่งโดยทั่วไปการสกัดแบบแห้งจะได้ปริมาณกลูโคแมนแนนต่ำและผงบุกที่มีความบริสุทธิ์ต่ำกว่าวิธีการสกัดแบบเปียก (มงคล เกษประเสริฐ, 2547)

4.1.3 ผลของอุณหภูมิในขั้นตอนการทำแห้งที่มีต่อความหนืดของสารละลายบุก และลักษณะอนุภาคของผงบุก

อุณหภูมิในขั้นตอนการทำแห้งมีผลต่อความหนืดของสารละลายบุกความเข้มข้น 0.5% ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และอัตราเฉือน 272 s^{-1} อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ที่อุณหภูมิในการทำแห้ง 140, 160, 180 และ 200°C จะได้ผงบุกที่มีค่าความหนืดเท่ากับ 55.0, 46.6, 45.2 และ 38.6 cP ตามลำดับ และตัวอย่างผงบุกจากการสกัดแบบแห้งมีค่าความหนืดเท่ากับ 50.8 cP ซึ่งน้อยกว่าผงบุกจากการสกัดแบบเปียกและทำแห้งแบบพ่นกระจายที่อุณหภูมิ 140°C อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.5

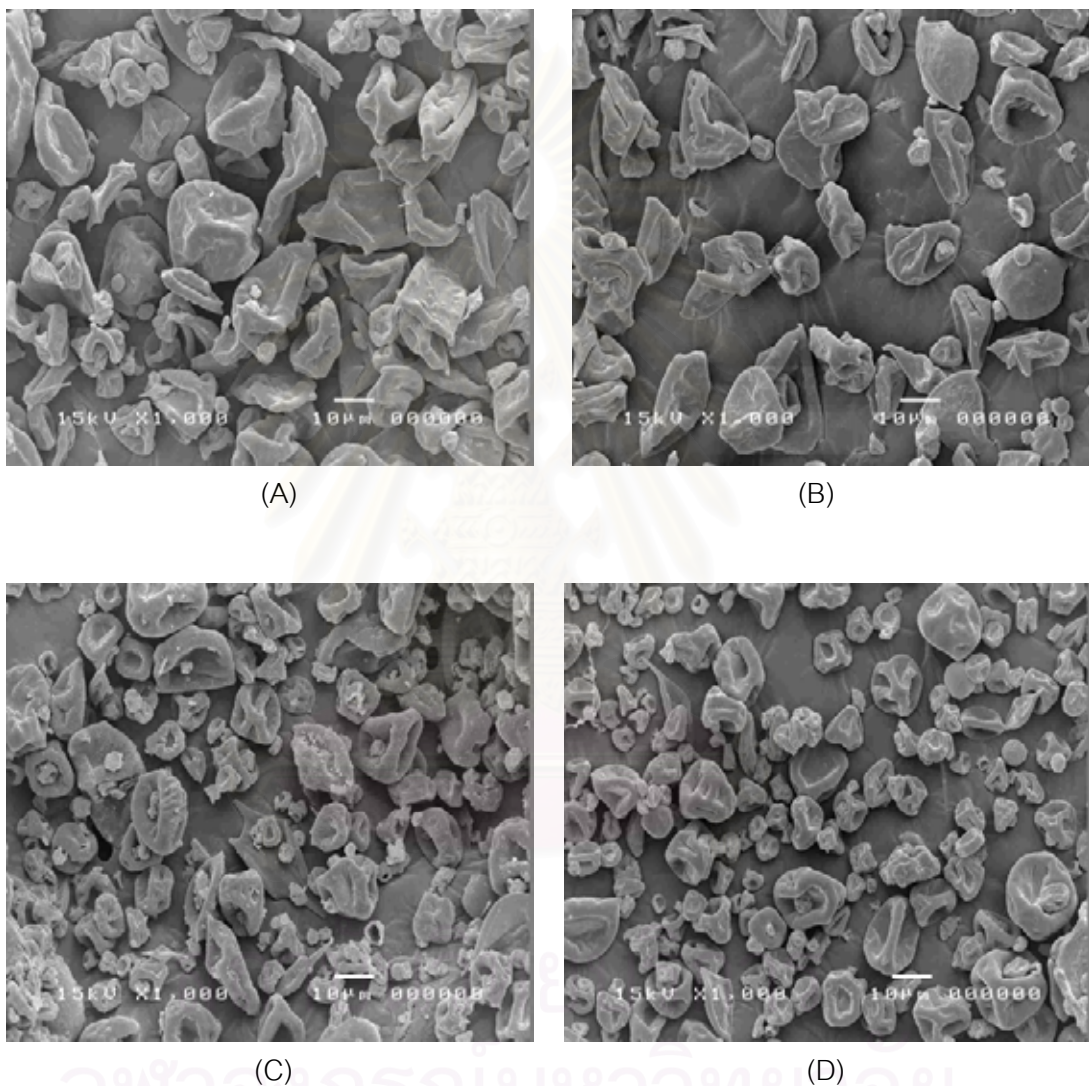
ตารางที่ 4.5 ค่าความหนืดปรากฏของสารละลายบุกความเข้มข้น 0.5% ที่อุณหภูมิ 25°C และอัตราเฉือน 272 s⁻¹

ตัวอย่างผงบุก	ความหนืดปรากฏ (cP)
สกัดแบบเปียกและ ทำแห้งแบบพ่นกระจายที่ 140°C	55.0 ^d ± 0.36
สกัดแบบเปียกและ ทำแห้งแบบพ่นกระจายที่ 160°C	46.6 ^b ± 0.83
สกัดแบบเปียกและ ทำแห้งแบบพ่นกระจายที่ 180°C	45.2 ^b ± 0.87
สกัดแบบเปียกและ ทำแห้งแบบพ่นกระจายที่ 200°C	38.6 ^a ± 1.27
สกัดแบบแห้งโดยทำแห้งด้วย tray drying ที่ 120°C, 45 นาที	50.8 ^c ± 0.72

(ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับ a,b,c,d.. ต่างกัน หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's multiple range test)

อุณหภูมิในการทำแห้งเพิ่มสูงขึ้นทำให้ความหนืดของสารละลายบุกจะลดลง เนื่องจากความร้อนที่เพิ่มสูงขึ้นทำให้เกิดการสลายพันธะภายในสายโพลีเมอร์ของกลูโคแมนแนนมากขึ้น น้ำหนักโมเลกุลจะลดลง ความหนืดของสารละลายบุกจึงลดลง สอดคล้องกับ Holme และคณะ (2001) ที่ศึกษาการเกิดดีโพลีเมอร์ไรเซชันด้วยความร้อนของ chitosan chloride พบว่า การสลายตัวของ chitosan chloride ด้วยความร้อนทำให้ความหนืดของสารละลาย chitosan chloride ลดลง เช่นเดียวกับ Holme และคณะ (2003) ที่ศึกษาการเกิดดีโพลีเมอร์ไรเซชันของ alginate ด้วยความร้อน พบว่าเมื่อเกิดการสลายตัวของ alginate ด้วยความร้อนทำให้ค่าความหนืดของสารละลาย alginate ลดลงเช่นกัน

เมื่อนำผงบุกไปถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าอนุภุมิในชั้นตอนการทำแห้งมีผลต่อลักษณะอนุภาคของผงบุก ที่อุณหภูมิในการทำแห้ง 140°C จะได้ผงบุกที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ที่สุด และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการทำแห้งเป็น 160 , 180 และ 200°C จะได้ผงบุกที่มีขนาดอนุภาคเล็กลงตามลำดับ และสามารถสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจนว่าเมื่ออุณหภูมิในการทำแห้งเพิ่มสูงขึ้นขนาดอนุภาคของผงบุกที่ได้จะเล็กลง ดังแสดงในภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 ภาพถ่ายผงบุกจากการสกัดแบบเปียกและทำแห้งแบบพ่นกระจายที่อุณหภูมิ 140°C (A), 160°C (B), 180°C (C) และ 200°C (D) ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)

เมื่ออุณหภูมิในการทำแห้งเพิ่มสูงขึ้นทำให้ขนาดอนุภาคของผงบุกเล็กลง เนื่องจากความร้อนทำให้เกิดการสลายพันธะภายในสายโพลีเมอร์ของกลูโคแมนแนนมากขึ้น สายโพลีเมอร์จึงสั้นลงส่งผลให้น้ำหนักโมเลกุลของสายโพลีเมอร์กลูโคแมนแนนลดลง และสอดคล้องกับผลการ

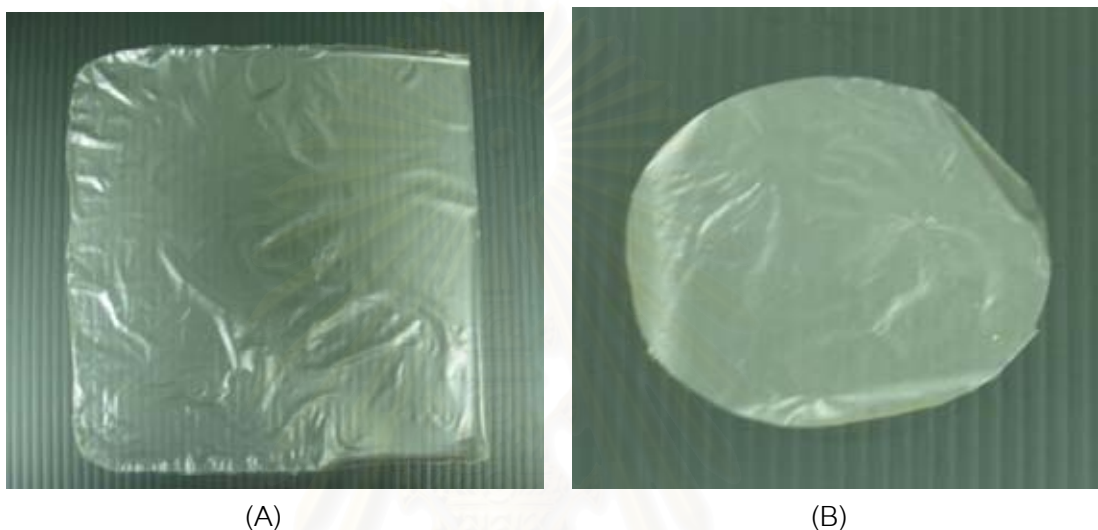
ทดลองในข้อ 4.1.2-4.1.3 เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการทำแห้งส่งผลให้ปริมาณกลูโคแมนแนนของผงบุกและความหนืดของสารละลายบุกลดลง ทั้งนี้เนื่องจากน้ำหนักโมเลกุลของกลูโคแมนแนนลดลงพร้อมกับสายโพลีเมอร์ที่สั้นลง Mao และคณะ (2004) ศึกษาเรื่องการเกิดดีโพลีเมอร์ไรเซชันต่อคุณสมบัติด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพของไคโตซาน พบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิสูงขึ้นทำให้ไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงเกิดการสลายตัวและมีขนาดเล็กลง อย่างไรก็ตามขนาดอนุภาคของผงบุกที่เล็กลงนี้อาจเกิดได้จากการสูญเสียน้ำมากขึ้น เมื่ออุณหภูมิในการทำแห้งเพิ่มสูงขึ้นทำให้ความชื้นลดลง (ตารางที่ 4.3) ขนาดอนุภาคจึงหดตัวเล็กลงมากขึ้น ดังนั้นควรมีการตรวจวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลของผงบุกที่ได้จากอุณหภูมิต่างๆ เพิ่มเติม

จากผลการทดลองในข้อ 4.1.1 - 4.1.3 สามารถสรุปได้ว่า อุณหภูมิในการอบแห้งสูงขึ้นทำให้คุณภาพของผงบุกลดลง โดยมีสีเข้มขึ้น ปริมาณกลูโคแมนแนนลดลงและความหนืดลดลงซึ่งปริมาณกลูโคแมนแนนนั้นสัมพันธ์กับความหนืด เมื่อมีความเข้มข้นของกลูโคแมนแนนมากขึ้น ความหนืดจะเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน อุณหภูมิในการทำแห้งมีผลต่อขนาดของกลูโคแมนแนนโดยที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ขนาดของกลูโคแมนแนนเล็กลง ซึ่งมีผลทำให้ความหนืดลดลงเช่นกัน เนื่องจากสายโพลีเมอร์ที่สั้นลงส่งผลให้น้ำหนักโมเลกุลของกลูโคแมนแนนลดลง

ดังนั้นจึงเลือกภาวะการอบแห้งแบบพ่นกระจายที่อุณหภูมิเข้า 140°C เป็นภาวะที่ใช้ในการผลิตผงบุกเพื่อใช้ในการทดลองขั้นต่อไป เนื่องจากให้ผงบุกที่มีสีขาว ความหนืด ขนาดอนุภาค และปริมาณกลูโคแมนแนนดีกว่าที่รีตเมนต์อื่น

4.2 ผลการเตรียมฟิล์มจากผงบุกและการตรวจสอบคุณสมบัติของฟิล์ม

เตรียมแผ่นฟิล์มจากสารละลายบุกความเข้มข้น 1.0% และจากสารละลายบุกความเข้มข้น 1.0% ที่เติม KOH 0.5 M 0.14% โดยฟิล์มทั้ง 2 ชนิด มีการเติมกลีเซอรอล 0.3% เพื่อช่วยเพิ่มความยืดหยุ่น ไปขึ้นรูปและอบที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 10 ชั่วโมง ได้แผ่นฟิล์มสีขาวขุ่น มีความยืดหยุ่นเล็กน้อย ดังแสดงในภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 แผ่นฟิล์มบุก 1%, กลีเซอรอล 0.3% (A) และแผ่นฟิล์มบุก 1%, กลีเซอรอล 0.3% ที่เติม KOH 0.5 M 0.14% (B)

จากผลการทดสอบสมบัติของฟิล์มบุก พบว่าฟิล์มบุกที่เติมสารละลาย KOH มีค่าการต้านทานแรงดึงขาดและการยืดตัวเท่ากับ 18.48 N/mm² และ 35.3% ตามลำดับ และมีค่าสูงกว่าฟิล์มบุกที่ไม่เติมสารละลาย KOH ที่มีค่าเท่ากับ 14.2 N/mm² และ 32.24% ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.6

เนื่องจากฟิล์มบุกที่มีการเติมสารละลายต่าง KOH ทำให้เกิดการดึงหมู่อะซิทิล (deacetylation) ซึ่งเป็นตัวขัดขวางการจับกันระหว่างโมเลกุลของกลูโคแมนแนนนอก ทำให้โมเลกุลกลูโคแมนแนนจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจนได้มากขึ้น เกิดเป็นลักษณะโครงสร้างตาข่ายที่เป็นระบบมากขึ้น (Cheng *et al.*, 2002) สอดคล้องการศึกษาก่อนของ Kubodera (1989) ที่เตรียมฟิล์มจากแป้งบุกผสมกับโพลีแซคคาไรด์บางชนิด ทั้งในภาวะที่มีการใช้และไม่ใช้สารละลายต่าง พบว่า การเตรียมฟิล์มบุกโดยใช้ต่างร่วมทำให้เกิดฟิล์มที่มีลักษณะแข็งแรงมากขึ้น

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของฟิล์มบุก 1%, กลีเซอรอล 0.3% และ ฟิล์มบุก 1%, กลีเซอรอล 0.3% ที่เติม KOH 0.5 M 0.14%

Film type	Thickness (mm)	Tensile (N/mm ²)	Elongation (%)
บุกที่ไม่มี KOH	0.0248 ^a ± 0.0021	14.20 ^a ± 0.44	32.24 ^a ± 1.33
บุกที่มี KOH	0.0244 ^a ± 0.0037	18.48 ^b ± 1.04	35.30 ^b ± 1.26

(ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับ a,b.. ต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี T-test)

จากผลการทดสอบสมบัติของฟิล์มบุก พบว่าความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำและออกซิเจนของฟิล์มบุกที่เติมสารละลาย KOH มีค่าเท่ากับ 11.85 cm³µm/m²dkgPa และ 1.18 gmm/m²dkgPa ตามลำดับ และต่ำกว่าฟิล์มบุกที่ไม่เติมสารละลาย KOH ที่มีค่าเท่ากับ 15.07 cm³µm/m²dkgPa และ 1.29 gmm/m²dkgPa ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.7

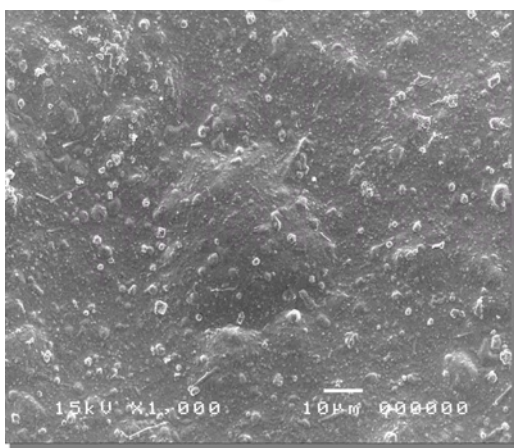
ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบสมบัติการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซออกซิเจนของฟิล์มบุก 1%, กลีเซอรอล 0.3% และฟิล์มบุก 1%, กลีเซอรอล 0.3% ที่เติม KOH 0.5 M 0.14% (ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 67, อุณหภูมิ 27°C)

Film type	P(O ₂) (cm ³ µm/m ² dkgPa)	WVP (g mm/m ² dkgPa)
บุกที่ไม่มี KOH	15.07 ^b ± 2.13	1.29 ^b ± 0.04
บุกที่มี KOH	11.85 ^a ± 2.86	1.18 ^a ± 0.05

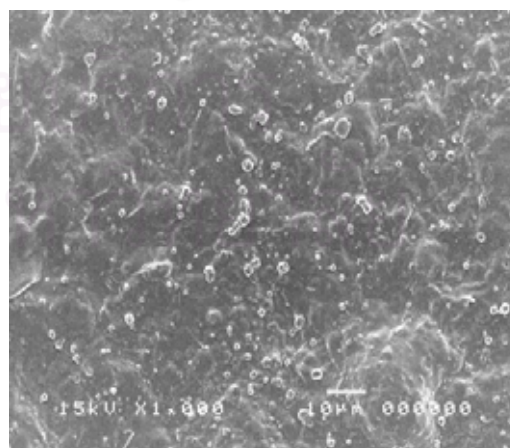
(ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับ a,b.. ต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี T-test)

การเติมสารละลายต่าง (KOH) จะช่วยลดความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำของแผ่นฟิล์มบุกได้ดีกว่าฟิล์มบุกที่ไม่เติมสารละลายต่าง เนื่องจากการเกิด deacetylation โดยสารละลายต่าง (KOH) กับฟิล์มบุกจะเพิ่มการเกิดอันตรกิริยาดัวยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของกลูโคแมนแนน ซึ่งจะไปสู่การเกิดโครงสร้างที่เป็นระบบมากขึ้น และลดจำนวนของหมู่ที่มีขั้วอิสระ (-OH) ให้น้อยลงจึงไปขัดขวางการซึมผ่านของไอน้ำ เนื่องจากความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำในแผ่นฟิล์มจะขึ้นกับจำนวนของหมู่ที่มีขั้วอิสระ (-OH) ของโพลีเมอร์ นอกจากนี้พลังงานในการดึงดูระหว่างสายโซ่โพลีเมอร์มีความสัมพันธ์กับพลังงานที่ไปกระตุ้นการแพร่กระจายของก๊าซและไอน้ำผ่านแผ่นฟิล์ม เมื่อพลังงานในการดึงดูระหว่างสายโซ่โพลีเมอร์สูงขึ้น ทำให้การแพร่กระจายของก๊าซและไอน้ำผ่านแผ่นฟิล์มต้องใช้พลังงานสูงขึ้น ดังนั้นเมื่อแรงดึงดูระหว่างสายโซ่เพิ่มขึ้น การซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำจึงลดลง (Banker, 1966) ซึ่งจากผลการทดลองของ Cheng และคณะ (2002) ที่ศึกษาโครงสร้างและสมบัติทางกายภาพของฟิล์มบุกทั้งที่มีและไม่มีสารเติมสารละลายต่าง พบว่า การเตรียมฟิล์มบุกโดยใช้ต่างร่วมทำให้ความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มบุกที่ไม่มีสารละลายต่าง

จากภาพถ่ายของแผ่นฟิล์มบุกด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่า ฟิล์มบุกที่มี KOH จะมีลักษณะโครงสร้างเรียงตัวกันอย่างหนาแน่นและมีลักษณะรูพรุนน้อยลง ดังแสดงในภาพที่ 4.4 และ 4.5 ซึ่งจากสอดคล้องกับผลของการเติมสารละลาย KOH ที่ทำให้ค่าการต้านทานแรงดึงขาดและการยืดตัวของฟิล์มบุกสูงขึ้น และทำให้ความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำและออกซิเจนของฟิล์มบุกลดลง

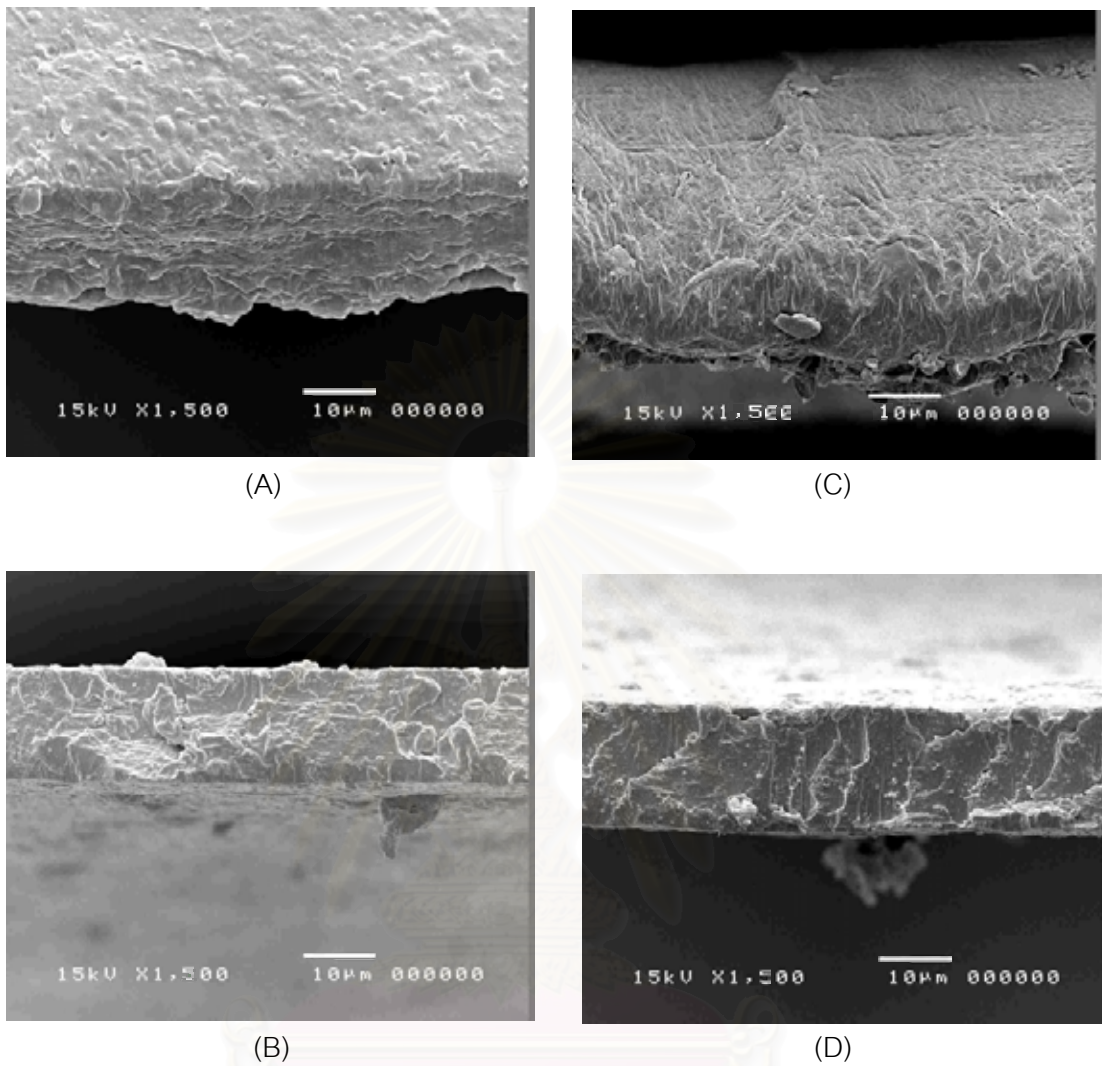


(A)



(B)

ภาพที่ 4.4 ภาพถ่ายด้านบนบนแผ่นฟิล์มบุก (A) และแผ่นฟิล์มบุกที่เติมสารละลาย KOH (B) ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)



ภาพที่ 4.5 ภาพถ่ายตัดขวางแผ่นฟิล์มบุก (A และ B) และแผ่นฟิล์มบุกที่เติมสารละลาย KOH (C และ D) ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3 ผลของสารเคลือบผิวจากผงบุกต่อคุณภาพของชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ระหว่างการเก็บรักษา

ชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์เคลือบผิวด้วยสารละลายบุกความเข้มข้น 1.0% และสารละลายบุกความเข้มข้น 1.0% ร่วมกับ KOH 0.5 M 0.14% โดยสารเคลือบผิวทั้ง 2 ชนิด มีการเติมกลีเซอรอล 0.3% เพื่อช่วยเพิ่มความยืดหยุ่น และเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 88 พบว่า ลักษณะทางกายภาพของผิวของชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุกทั้งที่เติม และไม่เติม KOH มีลักษณะผิวมันเงากว่าชมพู่ที่ไม่ได้เคลือบผิวตลอดระยะเวลาการเก็บรักษานาน 15 วัน ดังแสดงในภาพที่ 4.6



A



B

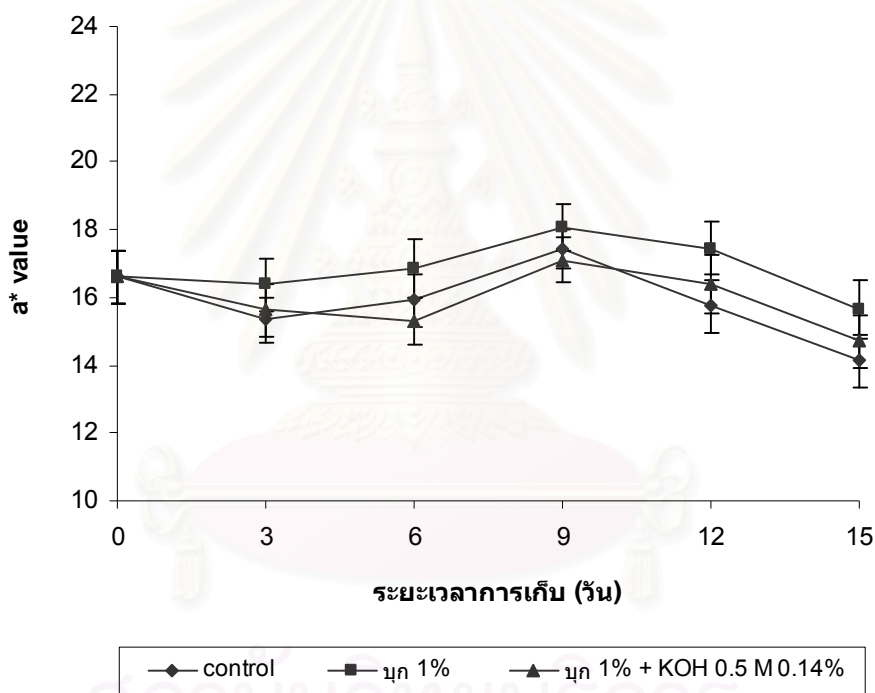


C

ภาพที่ 4.6 ชมพู่ที่ไม่เคลือบผิว (A), ชมพู่ที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุก (B) และชมพู่ที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุกกับ KOH 0.5 M 0.14% (C) ก่อนเริ่มการทดลอง

4.3.1 ผลของสารเคลือบผิวจากผงบุกต่อค่าสีของผิวชมพูพันธุ์ทับทิมจันทร์ระหว่างการเก็บรักษา

ค่าสีของผิวชมพูพันธุ์ทับทิมจันทร์เกิดการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บ เมื่อวัดค่า a^* ซึ่งแสดงถึงสีแดงของผิวชมพูพบว่า ค่า a^* มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยตลอดระยะเวลาการเก็บ ค่า a^* ของผิวชมพูเริ่มต้นที่ 16.61 และในวันที่ 15 ของการเก็บ ค่า a^* ของชมพูที่ไม่เคลือบผิว ชมพูที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุกกับ KOH และชมพูที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุกอย่างเดียวมีค่า a^* เท่ากับ 14.14, 14.5 และ 15.74 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4.7 อย่างไรก็ตามการเคลือบผิวด้วยผงบุกที่เติม KOH และไม่ได้เติม KOH ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีผิว (a^*) ของผลชมพูเปรียบเทียบกับผลชมพูที่ไม่ได้เคลือบผิว (ตาราง ค.1) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



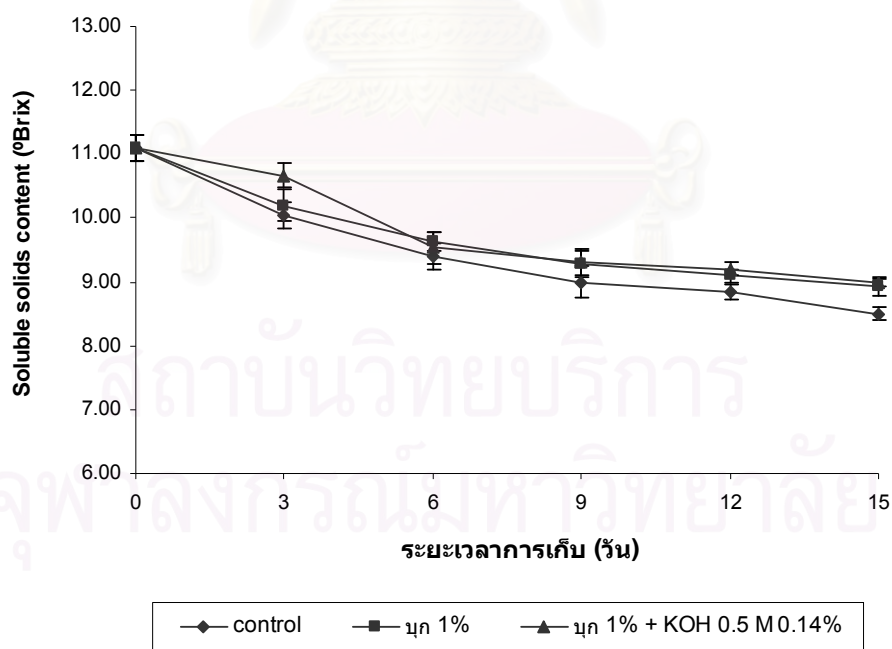
ภาพที่ 4.7 ค่า a^* ของชมพูพันธุ์ทับทิมจันทร์ที่ไม่เคลือบผิว เคลือบผิวด้วยสารละลายบุก 1% และสารละลายบุก 1% + KOH 0.5 M 0.14% เก็บที่อุณหภูมิ 13°C ความชื้นสัมพัทธ์ 88%

การเปลี่ยนแปลงสีน้ำตาลเกิดจากการเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase) และฟีนอลเลส (phenolase) ซึ่งจะไปออกซิไดซ์สารประกอบฟีนอลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีเป็นสีน้ำตาล โดยชมพูที่เคลือบผิวเกิดการเปลี่ยนแปลงสีน้อยกว่าชมพูที่ไม่ได้เคลือบผิว เนื่องจากสารเคลือบผิวช่วยปิดช่องว่างบริเวณผิว ป้องกันผิวผลไม่ให้สัมผัสกับก๊าซออกซิเจนได้น้อยลง ช่วยลดกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสที่เร่งปฏิกิริยาทำให้

แอนโทไซยานินลดลง และค่อยๆ เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล (Underhill and Critchley, 1993) และจากผลการทดลองของ ซินพันธ์ หภา (2539) ที่ศึกษา การใช้สารเคลือบผิวลันจี พบว่าการเคลือบผิวลันจีสามารถลดการสูญเสียแอนโทไซยานินในเปลือกผลลันจีได้ดีกว่าลันจีที่ไม่ได้เคลือบผิว Martinez-Romero และคณะ (2006) รายงานว่า สารเคลือบผิว Aloe vera สามารถรักษาสีแดงสดของผลเชอร์รี่หวานได้ดีกว่าเชอร์รี่หวานที่ไม่ได้เคลือบผิวเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลา 13 วัน

4.3.2 ผลของสารเคลือบผิวจากผงบุกต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ระหว่างการเก็บรักษา

ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีแนวโน้มลดลงใกล้เคียงกันทั้งชมพู่ที่ไม่เคลือบผิวและเคลือบผิว และไม่มี ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ยกเว้นในวันที่ 15 โดยชมพู่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเริ่มต้นที่ 11.10 °Brix และในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา ชมพู่ที่ไม่เคลือบผิวมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดน้อยที่สุด และมีค่าเท่ากับ 8.50 °Brix ชมพู่ที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุก และสารละลายบุกกับ KOH มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 8.93 และ 9.0 °Brix ตามลำดับ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 4.8

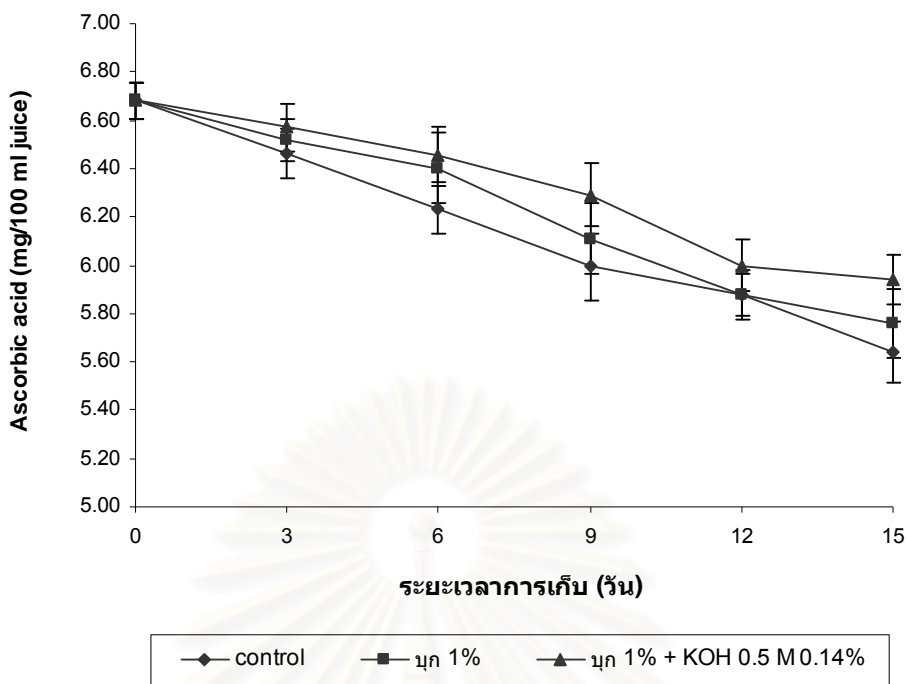


ภาพที่ 4.8 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ที่ไม่เคลือบผิว เคลือบผิวด้วยสารละลายบุก 1% และสารละลายบุก 1% + KOH 0.5 M 0.14% เก็บที่อุณหภูมิ 13°C ความชื้นสัมพัทธ์ 88%

การที่ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของชมพูทั้ง 3 ทรีตเมนต์ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิตินั้นสอดคล้องกับ Kader (1985) ที่รายงานว่า สารเคลือบผิวไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ทั้งหมด เนื่องจากชมพูเป็นผลไม้ประเภท non-climacteric fruit การเปลี่ยนแปลงภายหลังการเก็บเกี่ยวจึงเกิดขึ้นน้อย โดยเฉพาะคุณภาพด้านความหวานจะไม่เพิ่มขึ้นภายหลังจากเก็บเกี่ยว และ Vargas และคณะ (2006) พบว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของสตรอเบอรี่ที่เคลือบผิวด้วยไคโตซาน และสตรอเบอรี่ที่ไม่ได้เคลือบผิวที่อุณหภูมิการเก็บ 4 องศาเซลเซียส ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4.3.3 ผลของสารเคลือบผิวจากผงบุกต่อปริมาณ ascorbic acid ของชมพูพันธุ์ทับทิมจันทร์ระหว่างการเก็บรักษา

ปริมาณ ascorbic acid มีแนวโน้มลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บ 15 วัน โดยชมพูที่เคลือบผิวทั้งสองทรีตเมนต์มีปริมาณ ascorbic acid ลดลงน้อยกว่าชมพูที่ไม่เคลือบผิว โดยมีปริมาณ ascorbic acid เริ่มต้นเท่ากับ 6.68 mg/100 ml juice และในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา ปริมาณ ascorbic acid ของชมพูที่ไม่เคลือบผิว ชมพูที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุก และสารละลายบุกกับ KOH มีค่าลดลงเท่ากับ 5.64, 5.76 และ 5.94 mg/100 ml juice ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4.9 และจากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ปริมาณ ascorbic acid ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างชมพูที่ไม่เคลือบผิวและชมพูที่เคลือบผิวทั้งสองทรีตเมนต์

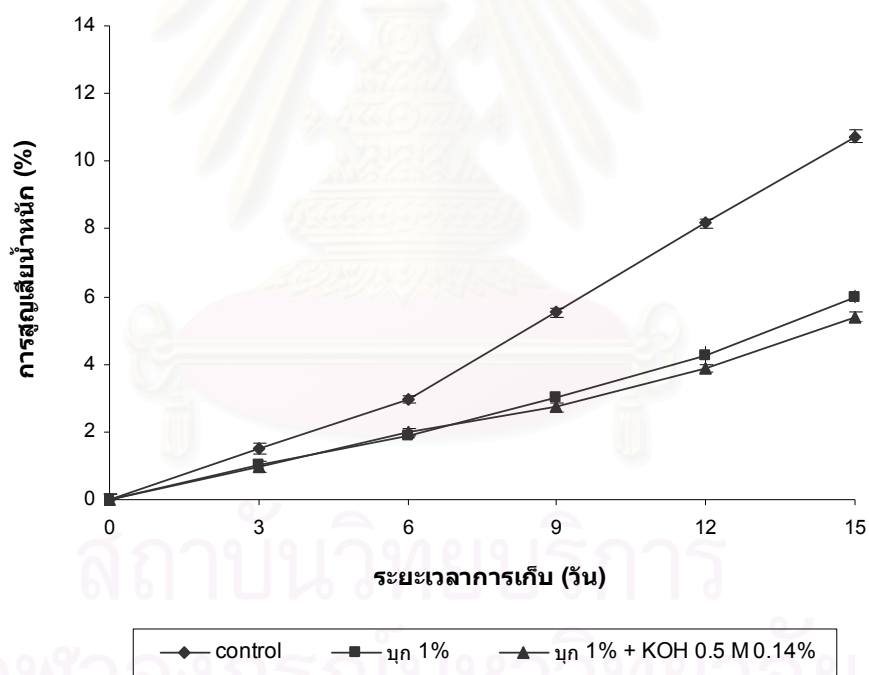


ภาพที่ 4.9 ปริมาณ Ascorbic acid ของชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ที่ไม่เคลือบผิว เคลือบผิวด้วยสารละลายนํก 1% และสารละลายนํก 1% + KOH 0.5 M 0.14% เก็บที่อุณหภูมิ 13°C ความชื้นสัมพัทธ์ 88%

การใช้สารเคลือบผิวจะช่วยปิดช่องเปิดทางธรรมชาติบริเวณผิว ทำให้ปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ซึมผ่านเข้าสู่ผลไม้น้อยกว่าผลที่ไม่ได้เคลือบผิว และทำให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สะสมในผลไม้น้อยขึ้น ซึ่งในสภาวะนี้จะช่วยลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอนไซม์ ascorbic acid oxidase ที่จะทำให้ปริมาณ ascorbic acid หรือวิตามินซีลดลง (Yaman and Bayondrl, 2002) สอดคล้องกับกมลทิพย์ เอกธรรมสุทธิ์ และอดิศักดิ์ เอกโสภาวรรณ (2543) ที่รายงานว่าการใช้ฟิล์มแป้งนํกเคลือบผิวส้มเขียวหวานมีแนวโน้มชะลอการสูญเสียปริมาณวิตามินซีได้ดีกว่าส้มเขียวหวานที่ไม่ได้รับการเคลือบผิวในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28-30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 วัน เช่นเดียวกับ Yaman และ Bayondrl (2002) ที่รายงานว่าการใช้สารเคลือบผิวผลเชอร์รี่จะช่วยลดการสูญเสียวิตามินซีได้ดีกว่าผลเชอร์รี่ที่ไม่เคลือบผิวทั้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิห้อง

4.3.4 ผลของสารเคลือบผิวจากผงบุกต่อการสูญเสียน้ำหนักของชมพูพันธุ์ทับทิม จันท์ระหว่างการเก็บรักษา

การสูญเสียน้ำหนักของชมพูในทุกสิ่งทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และผลชมพูทุกทรีตเมนต์มีการสูญเสียน้ำหนักสูงสุดเมื่อสิ้นสุดการทดลอง โดยในวันที่ 15 ของการเก็บ การสูญเสียน้ำหนักของชมพูที่ไม่เคลือบผิว ชมพูที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุก และสารละลายบุกกับ KOH มีค่าเท่ากับ 10.74, 5.99 และ 5.41 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4.10 ชมพูที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุกกับ KOH มีแนวโน้มการสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุด ($p \leq 0.05$) รองลงมาได้แก่ชมพูที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุกเพียงอย่างเดียว และเมื่อเปรียบเทียบชมพูที่ไม่เคลือบผิวกับชมพูที่เคลือบผิวพบว่า ชมพูที่ไม่เคลือบผิวมีแนวโน้มการสูญเสียน้ำหนักมากกว่าชมพูที่เคลือบผิวทั้งสองทรีตเมนต์อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) สามารถสังเกตได้ชัดเจนว่า ชมพูที่ไม่เคลือบผิวมีอาการเหี่ยวมากกว่าชมพูที่เคลือบผิวทั้ง 2 ทรีตเมนต์ ดังแสดงในภาพที่ 4.11



ภาพที่ 4.10 การสูญเสียน้ำหนักของชมพูทับทิมจันท์ที่ไม่เคลือบผิว เคลือบผิวด้วยสารละลายบุก 1% และสารละลายบุก 1% + KOH 0.5 M 0.14% เก็บที่อุณหภูมิ 13°C ความชื้นสัมพัทธ์ 88%

เนื่องจากการเหี่ยวของผลชมพูหลังการเก็บเกี่ยวเป็นการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อบริเวณเซลล์ผิวชั้นนอกสุด คือ epidermis เป็นเซลล์ที่สัมผัสกับสิ่งแวดล้อมภายนอก บนผนังเซลล์ด้านบน

จะมีชั้นของสารพวกคิวทิน (cutin) ซึ่งเป็นสารคล้ายขี้ผึ้งฉาบอยู่เพื่อป้องกันการระเหยของน้ำ เรียกว่า คิวทิเคิล (cuticle) (เพียมใจ คมกฤต, 2541) แต่เซลล์ epidermis และ cuticle ของผล ชมพู่ค่อนข้างบางมากเมื่อเปรียบเทียบกับผลไม้ชนิดอื่น ประกอบกับผลชมพู่มีปริมาณน้ำภายใน ผลมาก ความชื้นภายในผลสูง โอกาสที่จะเกิดการสูญเสียน้ำออกจากผลชมพู่เกิดขึ้นได้ง่าย ยิ่งเมื่อ อยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศต่ำกว่าในผลผลิตผล ในกรณีนี้ทำให้เซลล์เกิดการสูญเสียน้ำและสูญเสียวางต่าง เมื่อแควคิวโอลมีขนาดเล็กลง โพรโทพลาสต์จะหดตัวจากผนัง เซลล์ เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า พลาสโมไลซิส (plasmolysis) ในที่สุดเซลล์จะเหี่ยว (สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์, 2544)



(A)



(B)



(C)

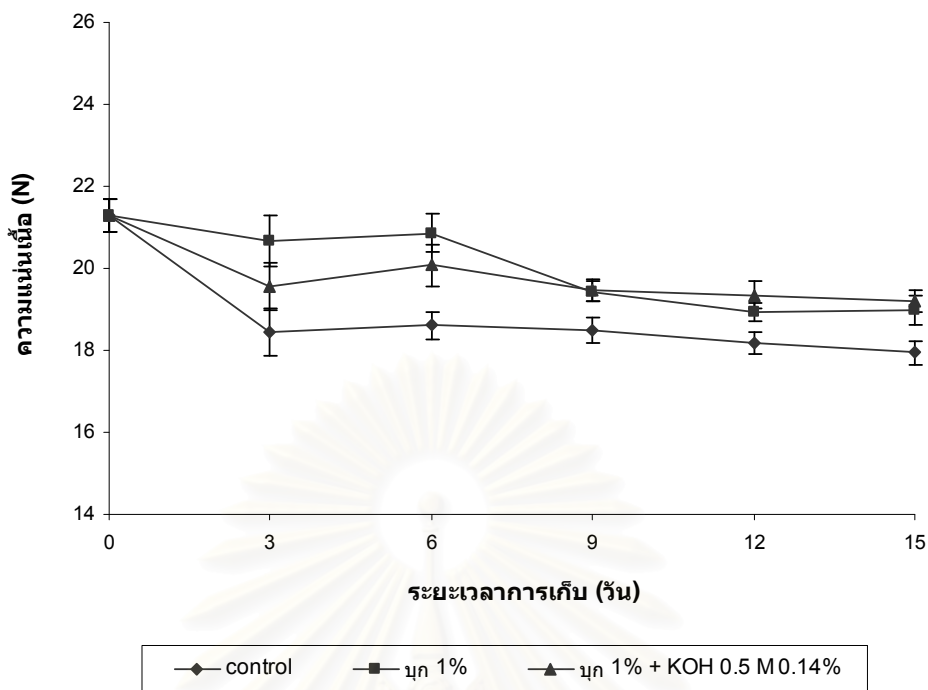
ภาพที่ 4.11 ลักษณะปรากฏของผลชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทิที่ไม่เคลือบผิว (A), ที่เคลือบผิวด้วย สารละลายบุก (B) และที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุกกับ KOH (C) เก็บที่อุณหภูมิ 13°C ความชื้นสัมพัทธ์ 88% เป็นเวลา 15 วัน

อาการเหี่ยวที่เกิดขึ้นในผลชมพูหลังการเก็บเกี่ยวจะพบเกิดขึ้นที่บริเวณขั้วผลและปลายผล อาจเนื่องจากโครงสร้างของเซลล์ผิวบริเวณนั้นมีลักษณะบอบบางกว่าบริเวณอื่นๆ ดังนั้นการใช้สารเคลือบผิวจะช่วยปกคลุม ทับ หรือทดแทนไขที่เคยมียู่ และปิดช่องเปิดต่าง ๆ ของผลไม้ จึงเป็นการลดความสามารถในการแพร่ของน้ำออกจากผลไม้ ทำให้น้ำแพร่ออกจากผลไม้ได้น้อยลง ลดการสูญเสียน้ำจากผลผลิตได้ สอดคล้องกับกมลทิพย์ เอกธรรมสุทธิ และอดิศักดิ์ เอกโสวรรณ (2543) ที่รายงานว่าการใช้ฟิล์มแป้งบุกเคลือบผิวส้มเขียวหวานมีแนวโน้มชะลอการสูญเสียน้ำหนักได้ดีกว่าส้มเขียวหวานที่ไม่ได้รับการเคลือบผิวในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28-30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 วัน และ Kubodera (1989) ที่รายงานว่าการเคลือบผิวส้มด้วยฟิล์มแป้งบุกที่เติม กลีเซอรอลและไฮโดรคอลลอยด์ จะช่วยเก็บรักษาส้มได้นานกว่า 20 วัน เช่นเดียวกับ Han และคณะ (2004) ที่รายงานว่าการเคลือบผิวสตรอเบอรี่และราสเบอร์รี่ด้วยไคโตซานสามารถลดการแพร่ของไอน้ำจากผลไม้ออกสู่ภายนอก จึงช่วยลดการสูญเสียน้ำหนักของผลไม้ได้

ชมพูที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุกที่มี KOH มีแนวโน้มการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าชมพูที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุกอย่างเดียว ($p \leq 0.05$) เนื่องจากการเติมสารละลายต่าง (KOH) จะช่วยลดความสามารถในการดูดซับน้ำ และลดความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำของสารเคลือบผิวบุก เนื่องจากการเกิด deacetylation โดยสารละลายต่าง (KOH) จะเพิ่มการเกิดอันตรกิริยาด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของกลูโคแมนแนน ลดจำนวนของหมู่ที่มีไฮดรอกซิล (-OH) ให้น้อยลงจึงไปขัดขวางการแพร่ผ่านของไอน้ำ เนื่องจากความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำในแผ่นฟิล์มจะขึ้นกับจำนวนของหมู่ที่มีไฮดรอกซิล (-OH) ของโพลีเมอร์นั้น (Cheng *et al.*, 2002)

4.3.5 ผลของสารเคลือบผิวจากผงบุกต่อความแน่นเนื้อของชมพูพันธุ์ทับทิมจันทร์ ระหว่างการเก็บรักษา

ชมพูมีความแน่นเนื้อเมื่อเริ่มต้นเท่ากับ 21.31 นิวตัน และมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา โดยชมพูที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุกเพียงอย่างเดียวและชมพูที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุกที่มี KOH มีความแน่นเนื้อสูงกว่าชมพูที่ไม่ได้เคลือบผิวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในวันที่ 15 ของการเก็บ ความแน่นเนื้อของชมพูที่ไม่เคลือบผิว ชมพูที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุก และสารละลายบุกกับ KOH มีค่าเท่ากับ 18.04, 18.98 และ 19.19 นิวตัน ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4.12



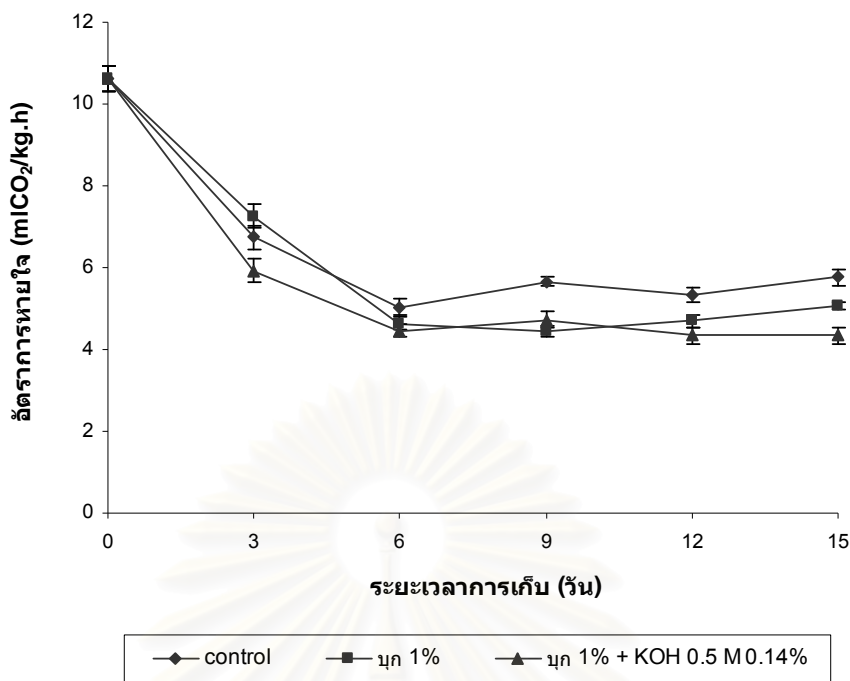
ภาพที่ 4.12 ความแน่นเนื้อของชมพูทับทิมจันทน์ที่ไม่เคลือบผิว เคลือบผิวด้วยสารละลายบุก 1% และสารละลายบุก 1% + KOH 0.5 M 0.14% เก็บที่อุณหภูมิ 13°C ความชื้นสัมพัทธ์ 88%

การลดลงของความแน่นเนื้อของชมพูเป็นผลเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงโมเลกุลต่างๆ ภายในผนังเซลล์ โดยเฉพาะเพคตินซึ่งแต่เดิมอยู่ในรูปของโปรโตเพคตินที่ไม่ละลายน้ำเปลี่ยนเป็นรูปที่ละลายน้ำได้ การเปลี่ยนแปลงนี้เกิดเนื่องจากการทำงานของเอนไซม์ 2 ชนิด คือ pectin esterase และ polygalacturonase โดยชมพูที่เคลือบผิวทั้งสองทรีตเมนต์มีแนวโน้มชะลอการลดลงของความแน่นเนื้อได้ดีกว่าชมพูที่ไม่เคลือบผิวอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากการใช้สารเคลือบผิวจะช่วยปิดช่องเปิดต่างๆ ของผลไม้ ทำให้ปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ผลไม้ได้รับลดลง และปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สะสมในผลไม้สูงขึ้น ส่งผลให้การทำงานของเอนไซม์ pectin esterase และ polygalacturonase ลดลง จึงช่วยรักษาความแน่นเนื้อให้คงอยู่ (Salunkhe *et al.*, 1991) จากการทดลองของ Yaman และ Bayondri (2002) ที่ศึกษาการใช้สารเคลือบผิวผลเชอร์รี่พบว่า การเคลือบผิวผลเชอร์รี่สามารถรักษาความแน่นเนื้อได้ดีกว่าผลเชอร์รี่ที่ไม่ได้เคลือบผิวทั้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิห้อง เช่นเดียวกับ Martinez-Romero และคณะ (2006) รายงานว่า สารเคลือบผิว Aloe vera สามารถรักษาความแน่นเนื้อของผลเชอร์รี่หวานได้ดีกว่าผลเชอร์รี่หวานที่ไม่ได้เคลือบผิวเมื่อเก็บที่อุณหภูมิต่ำ

นอกจากการทำงานของเอนไซม์แล้ว การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อนั้นสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเช่นกัน การลดลงของความแน่นเนื้อเกิดได้จากการสูญเสียน้ำ เซลล์จะสูญเสียความเต่งไปทำให้ซมพูนุ่มและไม่กรอบ โดยเฉพาะผลไม้ในกลุ่มที่มีผิวบอบบางและฉ่ำน้ำ เช่น berry ซึ่งเมื่อเกิดการสูญเสียน้ำมากขึ้นก็จะทำให้ผลผลิตเกิดการอ่อนนุ่มมากขึ้นด้วย มนตรี กลิ่นระรวย (2543) รายงานว่า ผลฝรั่งที่เคลือบผิวด้วยด้วย sucrose ester จะมีการสูญเสียน้ำต่ำ และมีความแน่นเนื้อสูงกว่าผลฝรั่งที่ไม่ได้เคลือบผิว เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

4.3.6 ผลของสารเคลือบผิวจากผงบุกต่ออัตราการหายใจของชมพู่พันธุ์ทับทิม จันท์ระหว่างการเก็บรักษา

อัตราการหายใจวัดจากปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตจากชมพู่ จากการศึกษาพบว่า อัตราการหายใจของชมพู่ในวันแรกเท่ากับ 20.29 mlCO₂/kg.h หลังจากเก็บรักษานาน 9 วัน พบว่า ผลชมพู่ที่ไม่ได้เคลือบผิวมีอัตราการหายใจสูงกว่าผลที่เคลือบผิว ($p \leq 0.05$) และในวันที่ 15 ของการเก็บอัตราการหายใจของชมพู่ที่ไม่เคลือบผิวมีค่าสูงสุดเท่ากับ 11.0 mlCO₂/kg.h ส่วนชมพู่ที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุก และชมพู่ที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุกกับ KOH มีค่าเท่ากับ 9.67 และ 8.30 mlCO₂/kg.h ตามลำดับ และมีอัตราการหายใจต่ำกว่าชมพู่ที่ไม่ได้เคลือบผิวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 4.13

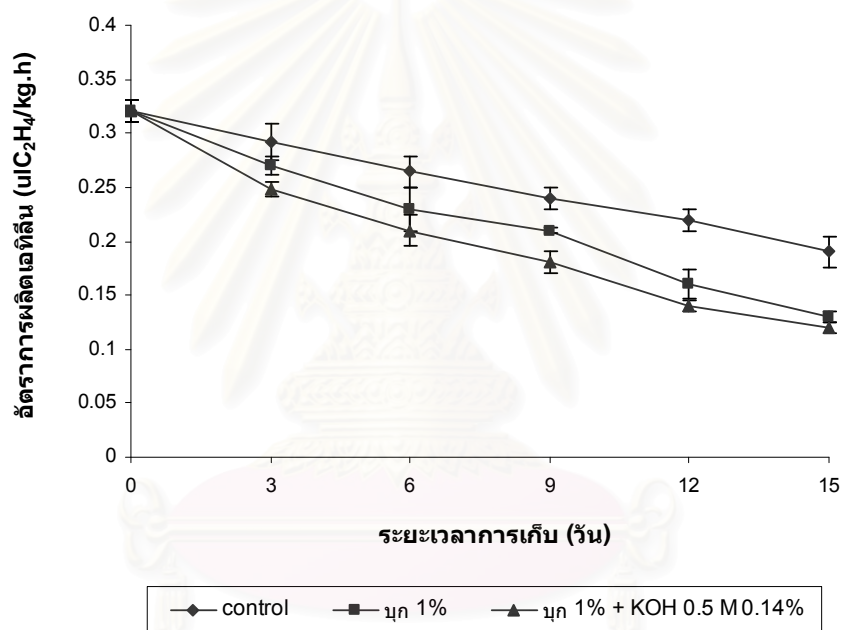


ภาพที่ 4.13 อัตราการหายใจของชมพู่ทับทิมจันทิที่ไม่เคลือบผิว เคลือบผิวด้วยสารละลายนูก 1% และสารละลายนูก 1% + KOH 0.5 M 0.14% เก็บที่อุณหภูมิ 13°C ความชื้นสัมพัทธ์ 88%

อัตราการหายใจของชมพู่มีแนวโน้มลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บ 15 วัน เพราะชมพู่เป็นผลไม้ประเภท non-climacteric fruit มีอัตราการหายใจหลังการเก็บเกี่ยวค่อนข้างต่ำ และจะลดลงเมื่อเก็บรักษานานขึ้น (Kader, 1985) โดยชมพู่ที่เคลือบผิวทั้งสอง ทรีตเมนต์มีอัตราการหายใจลดลงมากกว่าชมพู่ที่ไม่เคลือบผิวอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากสารเคลือบผิวมีผลทำให้ปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ผลไม้ได้รับลดลง ซึ่งในกระบวนการหายใจจำเป็นต้องใช้ออกซิเจนในขั้นตอนสุดท้ายเพื่อรับอิเล็กตรอนจาก cytochrome *a/a3* และสารเคลือบผิวมีผลทำให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สะสมในผลไม้สูงขึ้น ซึ่ง CO_2 จะยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ succinic dehydrogenase ในวงจร *Kreb's cycle* ในกระบวนการหายใจ (จริงแท้ ศิริพานิช, 2541) สอดคล้องกับการศึกษาของ Ben-Yehoshua (1969) ที่รายงานว่า การเคลือบผิวส้ม Shamouti และส้ม Valencia ทำให้อัตราการหายใจมีแนวโน้มลดลง และมีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในผลิตผลสูงขึ้น และ Jiang และ Li (2000) รายงานว่า การเคลือบผิวลำไยด้วยโคโตซานช่วยลดอัตราการหายใจได้ เช่นเดียวกับการทดลองเคลือบผิวผลท้อ สาลี่ญี่ปุ่น และผลกีวี่ด้วยโคโตซานพบว่า ผลที่เคลือบผิวมีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในผลิตผลสูง และปริมาณก๊าซออกซิเจนต่ำกว่าผลที่ไม่ได้เคลือบผิว (Du *et al.*, 1997)

4.3.7 ผลของสารเคลือบผิวจากผงบุกต่ออัตราการผลิตเอทิลีนของชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ระหว่างการเก็บรักษา

อัตราการผลิตเอทิลีนของชมพู่ในวันแรกของการเก็บรักษาเท่ากับ $0.32 \mu\text{C}_2\text{H}_4/\text{kg}\cdot\text{h}$ และในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา อัตราการผลิตเอทิลีนของชมพู่ที่ไม่เคลือบผิว ชมพู่ที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุก และชมพู่ที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุกกับ KOH มีค่าลดลงเท่ากับ 0.19, 0.13 และ $0.12 \mu\text{C}_2\text{H}_4/\text{kg}\cdot\text{h}$ ตามลำดับ อัตราการผลิตเอทิลีนของชมพู่มีแนวโน้มลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บ 15 วัน โดยชมพู่ที่เคลือบผิวทั้งสองที่รีตเมนต์มีอัตราการผลิตเอทิลีนลดลงมากกว่าชมพู่ที่ไม่เคลือบผิว อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 4.14



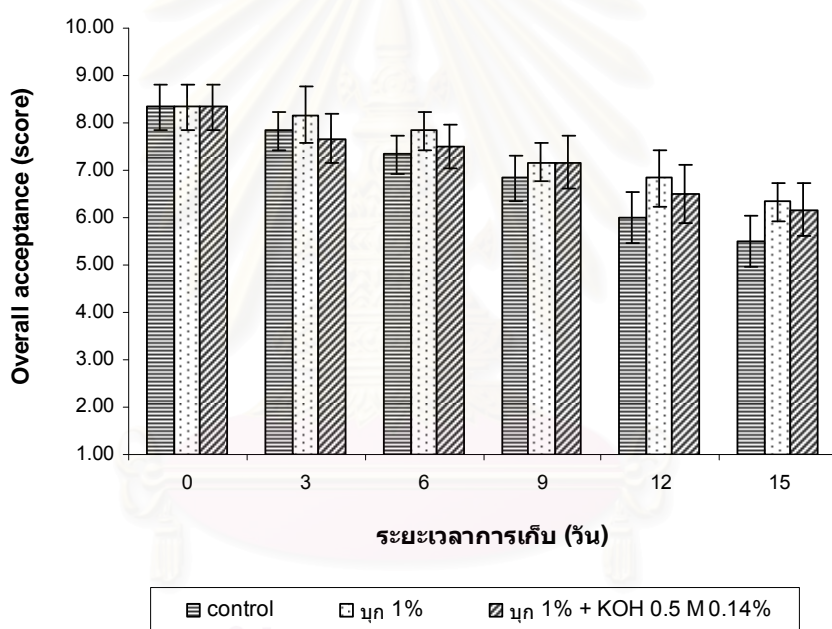
ภาพที่ 4.14 อัตราการผลิตเอทิลีนของชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ที่ไม่เคลือบผิว เคลือบผิวด้วยสารละลายบุก 1% และสารละลายบุก 1% + KOH 0.5 M 0.14% เก็บที่อุณหภูมิ 13°C ความชื้นสัมพัทธ์ 88%

เนื่องจากสารเคลือบผิวมีผลทำให้ปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ผลไม้ได้รับลดลง ซึ่ง O_2 เป็นตัวช่วยเร่งปฏิกิริยาสุดท้ายของเอนไซม์ ACC oxidase ก่อนจะเปลี่ยน ACC ไปเป็นเอทิลีน และสารเคลือบผิวมีผลทำให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สะสมในผลไม้สูงขึ้น ซึ่ง CO_2 จะยับยั้งกิจกรรมของ ACC synthase ที่เปลี่ยนสาร S-adenosylmethionine (SAM) ไปเป็น ACC ซึ่งเป็นขั้นตอนหนึ่งในกระบวนการสังเคราะห์ก๊าซเอทิลีน (จริงแท้ ศิริพานิช, 2541) สอดคล้องกับ

การศึกษาของวิกันดา คงสวัสดิ์ (2541) ที่รายงานว่าการใช้สารเคลือบผิวผลส้มทำให้อัตราการผลิตเอทิลีนมีแนวโน้มลดลงได้มากกว่าผลส้มที่ไม่เคลือบผิว

4.3.8 ผลของสารเคลือบผิวจากผงบุกต่อการยอมรับคุณภาพโดยรวมของชมพูพันธุ์ทับทิมจันทร์ระหว่างการเก็บรักษา

การยอมรับคุณภาพโดยรวมของชมพูมีแนวโน้มลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บ 15 วัน โดยชมพูที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุกไม่มี KOH และมี KOH มีคะแนนการยอมรับคุณภาพโดยรวมสูงกว่าผลชมพูที่ไม่ได้เคลือบผิวในวันสุดท้าย (วันที่ 15) ของการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 4.15



ภาพที่ 4.15 การยอมรับคุณภาพโดยรวมของชมพูทับทิมจันทร์ที่ไม่เคลือบผิว เคลือบผิวด้วยสารละลายบุก 1% และสารละลายบุก 1% + KOH 0.5 M 0.14% เก็บที่อุณหภูมิ 13°C ความชื้นสัมพัทธ์ 88%

จากผลการทดลองในข้อ 4.3.1 - 4.3.8 สามารถสรุปได้ว่า การเคลือบผิวชมพูทับทิมจันทร์ ด้วยสารละลายบุกที่เติม และไม่เติม KOH ช่วยลดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของชมพูในระหว่างการเก็บรักษา โดยสารเคลือบผิวช่วยปิดช่องเปิดต่างๆ บริเวณผิวของผลไม้ ลดการสูญเสียน้ำของผลไม้ ช่วยลดการสูญเสียน้ำหนัก สารเคลือบผิวช่วยลดการแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างผลไม้กับบรรยากาศ ก๊าซออกซิเจนที่ผลไม้ได้รับจึงลดลง ขณะที่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สะสมในผลไม้เพิ่มขึ้น ทำให้อัตราการหายใจ และอัตราการผลิตก๊าซเอทิลีนลดลง การที่ผลไม้ได้รับก๊าซออกซิเจนลดลงช่วยลดการทำงานของเอนไซม์ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อของผลไม้ได้



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

การศึกษาการผลิตผงบุกจากหัวบุกสดโดยการสกัดแบบเปียกร่วมกับการทำแห้งแบบพ่นกระจายที่อุณหภูมิ 140, 160, 180 และ 200 องศาเซลเซียส พบว่า อุณหภูมิในขั้นตอนการทำแห้งมีผลต่อคุณภาพของผงบุก โดยการทำแห้งแบบพ่นกระจายที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการผลิตผงบุก เนื่องจากให้ผงบุกที่มีคุณภาพด้านสี ความหนืด ขนาดอนุภาค และปริมาณกลูโคแมนแนนดีกว่าระดับอุณหภูมิอื่นๆ

เมื่อนำผงบุกมาผลิตเป็นฟิล์มโดยผสมกลีเซอรอลและ KOH และศึกษาสมบัติของฟิล์มที่ผลิตจากสารละลายบุกความเข้มข้น 1% กับฟิล์มที่ผลิตจากสารละลายบุกความเข้มข้น 1% และ KOH 0.5 M 0.14% โดยฟิล์มทั้ง 2 ชนิด มีการเติมกลีเซอรอล 0.3% เพื่อช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นในด้านการต้านทานแรงดึง การยืดตัว การซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน และการซึมผ่านของไอน้ำ พบว่า การเติมสารละลายต่าง (KOH) มีผลต่อสมบัติของฟิล์มบุก โดยฟิล์มบุกที่เติม KOH มีค่าการต้านทานแรงดึงขาดและการยืดตัวสูงกว่าฟิล์มบุกที่ไม่เติม KOH แต่มีค่าการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซออกซิเจนต่ำกว่า ซึ่งจากการทดลองนี้พบว่าฟิล์มจากผงบุกที่มี KOH มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการนำไปใช้เป็นส่วนเคลือบผลิตภัณฑ์ที่ต้องการรักษาความชื้นหรือป้องกันการออกซิเดชัน

และเมื่อนำฟิล์มบุกที่ผสมกลีเซอรอลและ KOH ไปใช้เป็นสารเคลือบผิวชมพูพันธุ์ทับทิมจันทร์ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 88% พบว่า สารเคลือบผิวช่วยลดการเปลี่ยนแปลงทางด้านกายภาพและชีวเคมีของชมพู โดยชมพูที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุกทั้งสองทรีตเมนต์ คือ เคลือบผิวด้วยสารละลายบุก 1% และกลีเซอรอล 0.3% กับเคลือบผิวด้วยสารละลายบุก 1% กลีเซอรอล 0.3% และ KOH 0.5 M 0.14% สามารถรักษาคุณภาพด้านความแน่นเนื้อ ชะลอการสูญเสียน้ำหนัก ลดอัตราการหายใจ และอัตราการผลิตก๊าซเอทิลีน ได้ดีกว่าชมพูที่ไม่เคลือบผิวอย่างมีนัยสำคัญ แต่ไม่มีผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้และปริมาณวิตามินซี โดยการใช้สารละลาย KOH มีผลทำให้ฟิล์มบุกสามารถลดการสูญเสียน้ำหนักของผลชมพูได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับผงบุกที่ไม่ได้เติม KOH อย่างไรก็ตามอัตราการหายใจและอัตราการผลิตก๊าซเอทิลีนของชมพูที่เคลือบผิวด้วยสารละลายทั้งสองชนิดไม่แตกต่าง

กันอย่างมีนัยสำคัญ และคะแนนการยอมรับคุณภาพโดยรวมของชมพูที่เคลือบผิวโดยสารละลายบุกที่ไม่เติม KOH พบว่ามีการยอมรับมากกว่าในทุกช่วงของการทดสอบ แม้ว่าเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติจะไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งในการเลือกสารเคลือบที่เหมาะสมควรต้องคำนึงถึงการยอมรับคุณภาพโดยรวมของผู้บริโภคและค่าใช้จ่ายในการผลิตสารเคลือบ เมื่อความสามารถในการรักษาคุณภาพในด้านต่างๆ ของชมพูมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ การใช้สารละลายบุก 1% และกลีเซอรอล 0.3% เป็นสารเคลือบจึงน่าจะเป็นแนวทางที่เลือกนำมาใช้ในการรักษาคุณภาพของชมพูพันธุ์ทับทิมจันทิในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส

5.2 ข้อเสนอแนะ

การผลิตผงบุกจากหัวบุกสดโดยการสกัดแบบเปียกร่วมกับการทำแห้งแบบพ่นกระจายที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นสภาวะการผลิตที่ให้ผงบุกที่มีความหนืดสูงที่สุด และมีความหนืดสูงกว่าผงบุกจากการสกัดแบบแห้ง อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในช่วงอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 140 องศาเซลเซียส โดยใช้วิธีการอบแห้งแบบอื่น เช่น Fluidized-bed drying ในช่วงอุณหภูมิ 90-140 องศาเซลเซียส เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติด้านความหนืดของผงบุกให้ดียิ่งขึ้น และควรมีการศึกษาในระดับ Molecular Properties ของกลูโคแมนแนนเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างทางโพลีเมอร์ เพื่อใช้ในการอธิบายผลของความร้อนในการทำแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงความหนืดซึ่งเป็นสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งของผงบุกได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กมลทิพย์ เอกธรรมสุทธิ และอดิศักดิ์ เอกโสมวรรณ. 2543. फिल्मแบ่งบุกชนิดบริโภคได้ : การเตรียมสมบัติบางประการ และการนำไปใช้ประโยชน์. *อาหาร* 30 (1): 44-51.

กรมส่งเสริมการเกษตร. 2542. *การปลูกชมพู*. เกษตรสัมพันธ์, กอง. ส่งเสริมการเกษตร, กรม. พิมพ์ครั้งที่ 2. 23 หน้า.

กองบรรณาธิการ. 2546. เปิดสูตรการผลิตทับทิมจันทน์นอกฤดูเพื่อส่งออก. *เมืองไม้ผล*. 3 (26) : 15-34.

กิตติพงษ์ ห่วงรักษ์. 2535. *ผักและผลไม้*. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 311 หน้า.

จินตนา ศรีมุข. 2537. *การศึกษาผลของสภาวะการอบแห้งแบบพ่นฝอยที่มีต่อคุณภาพสารชีวภาพ*. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร. คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

จริงแท้ ศิริพานิช. 2541. *สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้*. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 396 หน้า.

ชินพันธ์ หภา. 2539. *ผลของสารเคลือบผิวที่บริโภคได้ต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลลิ้นจี่พันธุ์ฮงฮวย*. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต. ภาควิชาพืชสวน. คณะเกษตรศาสตร์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ฐิติยา รัตนไตรภพ. 2546. *การพัฒนาสารเคลือบผิวเพื่อยืดอายุการเก็บรักษามังคุด*. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

दन्य बुण्येयति. 2535, *การปฏิบัติภายหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้*. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.
กรุงเทพฯ. 146 หน้า.

ทองดี บ้านดอน (นามแฝง). 2541. ชมพู่พันธุ์ใหม่สดๆร้อนๆ ทับทิมจันทน์. *เคหการเกษตร*. 22(4) :
68-73.

เทียมใจ คมกฤษ, 2541. *กายวิภาคของพฤษ*. เทกซ์แอนด์เจอร์นัลพับลิเคชัน. กรุงเทพฯ.
308 หน้า.

นิธยา รัตนานนท์. 2539. *เคมีอาหาร*. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร.
คณะอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 30 หน้า.

นิรนาม. 2533. สมุนไพรพืชเศรษฐกิจ. *จุดสารข้อมูลสมุนไพร*. 7 (3) : 10-17.

นิรนาม. 2545. สายพันธุ์เชิงธุรกิจ. *เมืองไม่ผล* . 2 (18): 17-18.

ปลายปัก (นามแฝง). 2542. ชมพู่ส่งออก.....ยังมีโอกาส. *เคหการเกษตร* 23 (4): 58-64.

เปรมปรี ฌ สงขลา. 2543. *รวมกลยุทธ์ชมพู่*. เจริญรัฐการพิมพ์. 162 หน้า.

เปรมปรี ฌ สงขลา. 2545 (ก). ทับทิมจันทน์สุดยอดชมพู่แห่งปี. *เคหการเกษตร* 26 (2): 65-75.

เปรมปรี ฌ สงขลา. 2545 (ข). เส้นทางชมพู่ทับทิมจันทน์และงานวิจัยชมพู่ได้หวั่นที่น่าสนใจ.
เคหการเกษตร. 26 (8) : 92-95.

พจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตสถาน. 2542. พิมพ์ครั้งที่ 1. นานมีบุ๊คส์. กรุงเทพฯ. 1436 หน้า.

พรพิมล ม่วงไทย, พิชิต สุดตา, พีรพงษ์ นิชำนาญ และธนวรรณ บุญยศักดิ์เสรี. 2547. *การศึกษา
ปฏิบัติการเมล็ดลาร์ดในระบบต้นแบบระหว่างน้ำตาลและกรดอะมิโนมาตรฐาน*. การประชุม
วิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วทท.). ครั้งที่ 30. 10-12 ตุลาคม.
ณ ศูนย์แสดงสินค้าและการประชุมอิมแพ็ค. เมืองทองธานี. กรุงเทพฯ.

- มงคล เกษประเสริฐ และ อรรนุช เกษประเสริฐ. 2540. การผลิตบุกเนื้อทรายหรือบุกเพื่อการ
อุตสาหกรรมที่ครบวงจร. เอกสารเผยแพร่ทางวิชาการ. พฤษศาสตร์และวัชพืช, กอง.
วิชาการเกษตร, กรม. เกษตรและสหกรณ์, กระทรวง. 19 หน้า.
- มงคล เกษประเสริฐ และ อรรนุช เกษประเสริฐ. 2541. บุกพืชอุตสาหกรรมใหม่จากป่าสู่แปลงปลูก :
การผลิตบุกเนื้อทรายหรือบุกเพื่อการอุตสาหกรรมที่ครบวงจร. เอกสารเผยแพร่ทาง
วิชาการ. พฤษศาสตร์และวัชพืช, กอง. วิชาการเกษตร, กรม. กรุงเทพฯ.
- มงคล เกษประเสริฐ. 2547. บุกและการใช้ประโยชน์จากบุกในประเทศไทย. วิชาการเกษตร, กรม.
กรุงเทพฯ. 208 หน้า.
- มณฑาทิพย์ ยุ่นฉลาด. 2535. फिल्मและสารเคลือบที่รับประทานได้. อาหาร. 22 (1): 1-6.
- มนตรี กลิ่นระรวย. 2543. ผลของสารเคลือบผิวและสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ต่อคุณภาพการ
เก็บรักษาของฝรั่งพันธุ์กลมสาละ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต.
คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. 2535. วิศวกรรมแปรรูปอาหาร: การถนอมอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 1.
สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ. 284 หน้า.
- เรียวโซ โทเอ. 2529. อุปกรณ์อบแห้งในอุตสาหกรรม . สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น),
กรุงเทพฯ. 169 หน้า.
- วสันต์ ดั่งคำจันทร์. 2546. ปัจจัยในการทำงานที่สำคัญสำหรับการออกแบบเครื่องอบแห้งแบบ
พ่นฝอย : กรณีศึกษากระเจี๊ยบฝง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขา
วิศวกรรมเครื่องกล. คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- วัชรพา ปาละ. 2541. ลัง ทองสามสี เกจิไม้ผลเมืองโอ่ง เร่งปลูกชมพู่พันธุ์ใหม่ ทองสามสี ส่งตี
ตลาดนอก. เมืองเกษตร 10 (108): 38-42.

- วันดี กฤษณพันธุ์. 2541. *สมุนไพรน่ารู้*. ภาควิชาเภสัชวินิจฉัย. คณะเภสัชศาสตร์.
มหาวิทยาลัยมหิดล. กรุงเทพฯ. 273 หน้า.
- วิกัندا คงสวัสดิ์. 2541. *ผลของการใช้สีสกัดธรรมชาติและสารเคลือบผิวต่อคุณภาพของผล
ส้มเขียวหวานหลังการเก็บเกี่ยว*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. สาขาวิทยาการหลัง
การเก็บเกี่ยว. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- วิจิตร วังโน. 2526. *ชนิดและพันธุ์ไม้ผลเมืองไทย*. ภาควิชาพืชสวน. คณะเกษตร.
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 101 หน้า.
- สมทรง เลขะกุล. 2543. *ชีวเคมีของวิตามิน*. พิมพ์ครั้งที่ 2. ศุภานิชการพิมพ์. กรุงเทพฯ. 273 หน้า.
- สมบัติ ขอทวีวัฒนา. 2529. *กรรมวิธีการอบแห้ง*. พิมพ์ครั้งที่ 1. ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์
คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 287 หน้า.
- สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์. 2544. *สรีรวิทยาของพืช*. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
237 หน้า.
- สมพร สายกลิน. 2545. *ผลของอุณหภูมิและสภาพบรรยากาศดัดแปลงต่อคุณภาพการเก็บ
รักษาของชมพูพันธุ์ทับทิมจันทร์*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. สาขาเทคโนโลยีหลัง
การเก็บเกี่ยว. คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอม
เกล้าธนบุรี.
- สายชล เกตุษา. 2528. *สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้*. สำนักงานส่งเสริม
และฝึกอบรม. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 326 หน้า.
- โสภี ทุมลา. 2549. *ทูลเกล้า-ทับทิมจันทร์-เพชรสามพราน ชมพูทำเงินสวนป่าทวีที่พิษณุโลก.
เทคโนโลยีชาวบ้าน 18 (377) : 32.*
- หรรษา จักรพันธุ์ ณ ออยุธยา. 2527. *พืชสะสมแป้ง. เอกสารเผยแพร่ทางวิชาการ*. วิชาการเกษตร,
กรม. กรุงเทพฯ. 13 หน้า.

หรรษา จักรพันธุ์ ณ อัญญา และอรนุช เกษประเสริฐ. 2532. พีชสมุนไพรร-พีชหอม.
เอกสารวิชาการ. พฤษศาสตร์และวัชพืช, กอง. วิชาการเกษตร, กรม. บางเขน กรุงเทพฯ.
 109 หน้า.

เอื้องฟ้า (นามแฝง). 2543. ชมพูนอกฤดู.....ตลาดยังไม่ตาย. *เคหการเกษตร* 24 (12): 106-112.

ภาษาอังกฤษ

American Standard for Testing and Materials. 1980. *Standard Test Method for Water Vapor Transmission of Materials. ASTM E96-95*. Annual Book of ASTM Standard, Philadelphia.

Association of Official Analysis Chemists. 1995. *Official Methods of Analysis. 16th ed.*, The Association of Official Analytical Chemists Arlington, Virginia. 1,588 p.

Banker, G.S. 1966. Water vapor transmission properties of free polymer films. *Journal of Pharmacological Sciences*. 18 : 457-472.

Ben-Yehoshua, S. 1969. Gas exchange, transpiration, and the commercial deterioration in storage of orange fruit. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 94 : 524-528.

Ben-Yehoshua, S., S. Fishman, D. Fang and V. Rodov. 1993. New developments in modified atmosphere packaging and surface coating for fruits. *Proceeding of an International Conference held at Chiang Mai. Thailand*. pp. 250-260.

Carabasa-Giribet, M. and A. Ibarz-Ribas. 2000. Kinetics of colour development in aqueous glucose systems at high temperatures. *Journal of Food Engineering*. 44 : 181-189.

- Cheng, L.H., A.A Karim, M.H. Norziah and C.C. Seow. 2002. Modification of the microstructural and physical properties of konjac glucomannan-based films by alkali and sodium carboxymethylcellulose. *Food Research International*. 35 : 829-836.
- Dave, V. and S.P. McCarthy. 1997. Review of konjac glucomannan. *Journal of Environmental Polymer Degradation*. 5 (4) : 237-243.
- Du, J., H. Gemma and S. Luahori. 1997. Effect of chitosan coating on storage of peach, Japanese pear and kiwifruit. *Journal of Japanese Society Horticultural Science*. 66(1) : 15-22.
- Fennema, O.R. 1996. *Food Chemistry*. New York. Marcel Dekker. 1,067 pp.
- Ford, D.M. and P.A., Cheseby. 1986. Air or oil emulsion food product having glucomannans as stabilizer-thickener. *U.S. Patent 4,562,714*.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 1997. Carbohydrates in human nutrition. *FAO Food and Nutrition Paper* – 66.
- Foust, A.S., L.A. Wenzel, C.W. Clump, L. Maus and L.B. Anderson. 1960. *Principles of Unit Operations*. New York. John Wiley and Sons. 768 pp.
- Grierson, W. and W.F. Wardowski. 1978. Relative humidity effects on the postharvest life of fruits and vegetables. *HortScience*. 13 : 570-574.
- Guilbert, S. 1986. *Technology and application of edible protective films*. Elsevier Applied Science Publishing Co., London, England. 545 pp.

- Han, C., Y. Zhao, S.W. Leonard and M.G. Traber. 2004. Edible coatings to improve storability and enhance nutritional value of fresh and frozen strawberries (*Fragaria × ananassa*) and raspberries (*Rubus ideaus*). *Postharvest Biology and Technology*. 33 : 67–78.
- Holme, H.K., H. Foros, H. Pettersen, M. Dornish and O. Smidsrod. 2001. Thermal depolymerization of chitosan chloride. *Carbohydrate Polymers*. 46(3) : 287-294.
- Holme, H.K., K. Lindmo, A. Kristiansen and O. Smidsrød. 2003. Thermal depolymerization of alginate in the solid state. *Carbohydrate Polymers*. 54(4) : 431-438.
- Isenberg, F.M.R. 1979. Controlled atmosphere storage of vegetable. *Horticultural Reviews*. 1 : 337-389.
- Jiang, Y. and Y. Li. 2000. Effects of chitosan coating on postharvest life and quality of longan fruit. *Food Chemistry*. 73(1) : 139-143.
- Kader, A.A. 1985. Postharvest Handling System : Subtropical Fruit. p. 152-156. In A.A Kader, R.F. Kasmire, F.G. Mitchell, M.S. Reid, N.F. Sommer and J.F. Thompson(eds.). *Postharvest Technology of Horticultural Crops*, University of California, Division of Agri. And Nati. Res.
- Kamuf, W., A. Nixon, O. Parker and JR. GC. Barnum. 2003. Overview of caramel colors. *Cereal Food World*. 48(2) : 64-69.
- Kato, K. and K. Matsuda. 1969. Studies on the chemical structure of konjac mannan part I. Isolation and characterization of oligosaccharides from the partial acid hydrolysate of the mannan. *Agricultural and Biological Chemistry*. 33(10) : 1440-1453.

- Kato, K. and K. Matsuda. 1970. Studies on the chemical structure of konjac mannan part II. Isolation and characterization of oligosaccharides from the partial acid hydrolysate of the mannan. *Agricultural and Biological Chemistry*. 34(4): 532-539.
- Kester, J.J. and O.R. Fennema. 1986. Edible films and coatings. *Food Technology*. 40(12) : 47-59.
- Krochta, J.M., E.A. Baldwin and M.O. Nissperos-Carriedo. 1994, *Edible Coating and Films to Improve Food Quality*, New York, Technomic Publishing, 379 pp.
- Krochta, J.M. and C.D. Mulder-Johnston. 1997. Edible films solve problems. *Food Technology*. 51(2) : 60-74.
- Kubodera, M. 1989. Glucomannan/polyhydric alcohol composition and film prepared there from. *US. Patent*. 4,851,394.
- Kutos, T., T. Golob, M. Kac, and A. Plestenjak. 2002. Dietary fibre content of dry and processed beans. *Food Chemistry*. 80(2) : 231-235.
- Landrigan, M.J., V. Sarafis, S.C. Morris and W.B. McGlasson. 1994. Structural aspects of rambutan (*Nephelium Lappaceum*. Linn.) fruits and their relation to postharvest browning. *Journal of Horticultural Science*. 69 : 379-571.
- Mao, S., X. Shuai, F. Unger, M. Simon, D. Bi and T. Kissel. 2004. The depolymerization of chitosan: effects on physicochemical and biological properties. *International Journal of Pharmaceutics*. 281(1-2) : 45-54.
- Masters, K. 1979. *Spray drying handbook*. 3rd. ed., John Wiley & Son. New York. pp. 1 - 680.

- Martinez-Romero, D., N. Albuquerque, J.M. Valverde, F. Guillen, S. Castillo, D. Valero and M. Serrano. 2006. Postharvest sweet cherry quality and safety maintenance by *Aloe vera* treatment: A new edible coating. *Postharvest Biology and Technology*. 39(1) : 93-100.
- Maeda, M., H. Shimahara and N. Sugiyama. 1980. Detail examination of the branched structure of konjac glucomannan. *Agricultural and Biological Chemistry*. 44(2) : 245-252.
- Nishinari, K., K.Y. Kim and K. Kohyama. 1987. Solution properties of konjac mannan. *In Abstracts of 2nd International Workshop on Plant Polysaccharides*. Grenoble. 23 pp.
- Nishinari, K., P.A. Williams and G.O. Phillips. 1992. Review of the physico-chemical characteristics and properties of konjac mannan. *Food Hydrocolloids*. 6 : 199-222.
- Patsavas, A.C. 1963. The spray dryer. *Chemical Engineering Program*. 59(4) : 65-70.
- Salunkhe, D. K., S. S. Kadam and S. J. Jadhav. 1991. *Potato: production, processing, and products*. CRC Press. Boca Raton, Ann Arbor, Boston. 368 p.
- Shimizu, M. and M. Shimahara. 1973. Method of selective separation of konjac flour from the tubers of *Amorphophallus konjac*. *US. Patent*. 3,767,424.
- Smith, F. and H.C. Srivastava. 1959. Constitution of glucomannan of konjac flour. *Journal of the American Chemical Society*. 81 : 1715 - 1718.
- Sugiyama, N., H. Shimahara and T. Andoh. 1972. Molecular weights of konjac mannans of various sources. *Agricultural and Biological Chemistry*. 36(8) : 1381-1387.

- Sugiyama, N. and H. Shimahara. 1974. Method of reducing serum cholesterol level with extract of konjac mannan. *US. Patent 3,856,945*.
- Svanberg, M. 1997. *Effect of processing on dietary fibre in vegetables*. Ph.D. thesis, Lund University, Sweden.
- Tye, R.J. 1991. Konjac flour : Properties and application. *Food Technology*. 45(3) : 86-92.
- Underhill, S.J.R. and C.Critchley. 1993. Lychee pericarp browning caused by heat injury. *HortScience*. 28(7) : 721-722.
- Vargas, M., A. Albors, A. Chiralt, and C. Gonzalez-Martinez. 2006. Quality of cold-stored strawberries as affected by chitosan–oleic acid edible coatings. *Postharvest Biology and Technology*. 41 : 164–171.
- Whistler, R.J. and R. Daniel. 1990. Function of polysaccharides in foods, In A.L. Branen, P.M. Davidson and S. Salinen (eds.). *Food Additives*. NewYork. Marcel Dekker. 395-423 pp.
- Yaman, Ö. and L. Bayondri. 2002. Effects of an edible coating and cold storage on shelf-life and quality of cherries. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*. 35 (2) : 146-150.
- Yang, L., X.M. Yang, R.J. Petcavich and L.J. Mao. 2001. Coating materials for preserving fresh produce. *US. Patent. 6,203,833*.
- Yoshimaru, M. and K. Nishinari. 1999. Dynamic viscoelastic study on the gelation of Konjac glucomannan with different molecule weights. *Food Hydrocolloids*. 13 : 227-233.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

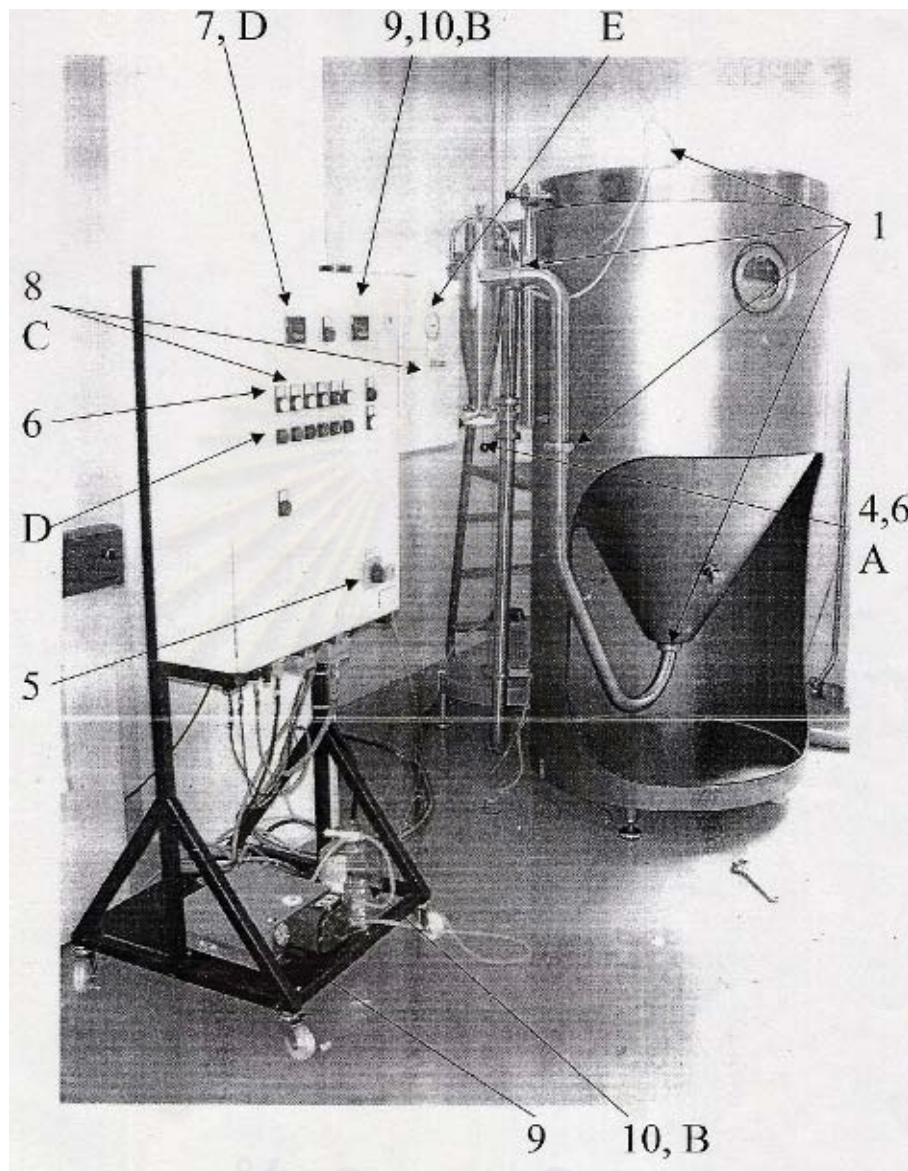
ภาคผนวก ก.

วิธีการทดลอง



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ก. 1 วิธีการใช้งานเครื่อง spray dryer DV-II



ภาพที่ ก. 1 ขั้นตอนการใช้เครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจาย รุ่น DV-II

ขั้นตอนและวิธีการใช้งานเครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจาย ปฏิบัติตามหมายเลขหรือตัวอักษรกำกับในภาพที่ ก.1 ดังนี้

เริ่มทำงาน

1. ตรวจสอบและขันน็อตของ Atomizer Wheel ทุกครั้ง ตรวจสอบข้อต่อท่อลม
2. เปิดสวิตช์ MCB (ระบบไฟฟ้า 380 โวลต์ เท่านั้น)
3. ตรวจสอบความดันลมที่บริเวณตัวกรองลม ไม่ให้ต่ำกว่า 5 bar

4. ใส่ขวดโหลแก้ว ชั้นให้แน่น
5. หมุนสวิตช์หลักไปที่ ON
6. หมุนด้าม Damper Valve ให้เปิด แล้วเริ่มหมุนพัดลม
7. ตั้งอุณหภูมิขาเข้าสูงสุดไม่เกิน 300 องศาเซลเซียส
8. เปิดให้ Heater ทำงาน และเริ่มหมุน Atomizer ซ้ำๆ จนถึงค่าที่ใช้งาน (ขึ้นกับผลิตภัณฑ์)
ถ้ามีเสียงผิดปกติให้หยุดทันที พร้อมตรวจสอบ Atomizer Wheel
9. เมื่ออุณหภูมิขาออกสูงกว่าค่าที่ต้องการประมาณ 10 องศาเซลเซียส เริ่มป้อนน้ำกลั่นผ่าน Feed Pump ซ้ำๆ และปรับอัตราการป้อนจนได้อุณหภูมิขาออกตามค่าที่ต้องการ รอจนอุณหภูมิคงที่ ประมาณ 5 - 10 นาที
10. เปลี่ยนจากน้ำกลั่นเป็น Product ถ้าอุณหภูมิขาออกเปลี่ยนแปลงก็ปรับอัตราการป้อน Product จนกว่าอุณหภูมิจะคงที่

เลิกทำงาน

- A. ถอดขวดโหลแก้ว เก็บผลิตภัณฑ์ในขวดโหล
- B. เปลี่ยนจาก Product เป็นน้ำกลั่น แล้วรอให้อุณหภูมิขาออกคงที่ประมาณ 5-10 นาที
- C. ปิด Heater
- D. เมื่ออุณหภูมิขาเข้าต่ำกว่า 140 องศาเซลเซียส ปิด Feed Pump
- E. ลดความเร็วรอบของ Atomizer เหลือประมาณ 1.5 bar และรอจนอุณหภูมิขาออกต่ำกว่า 60 องศาเซลเซียส ปิด Atomizer
- F. ล้างอุปกรณ์

ภาคผนวก ข.

วิธีวิเคราะห์ผลการทดลอง



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

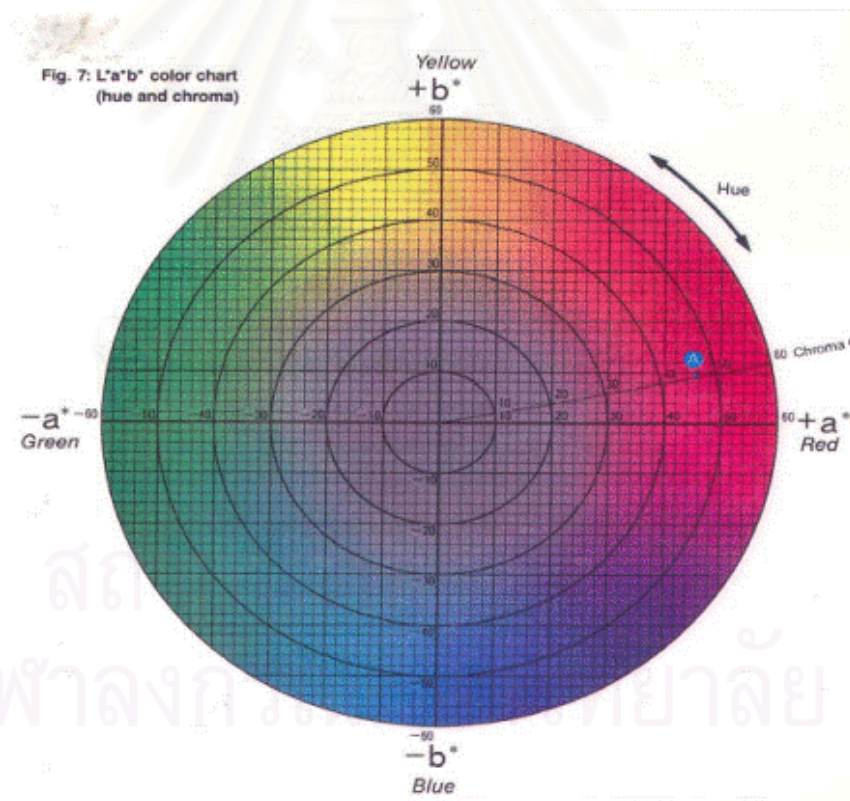
ข. 1 การวัดการเปลี่ยนแปลงสีผิว

ใช้เครื่องวัดสี Minolta Model CR-300 รายงานผลเป็นค่าระบบ CIE Lab ประกอบด้วยค่าต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ ข.1 โดย

ค่า L^* คือ ค่าแสดงความสว่างของสี ซึ่งค่า L^* มีค่า 0 ถึง 100 ถ้าค่า L^* มาก แสดงว่าสีสว่างมาก โดยที่ระดับ L^* เท่ากับ 0 จะเป็นสีดำ

ค่า a^* คือ ค่าแสดงระดับสีแดง-เขียว เมื่อค่า a^* มีค่าเป็นบวกจะแสดงลักษณะสีแดง และเมื่อค่าเป็นลบจะแสดงลักษณะสีเขียว โดยที่เมื่อค่าห่างจาก 0 มากแสดงถึงค่าสีแดงหรือเขียวมากขึ้น

ค่า b^* คือ ค่าแสดงระดับสีเหลือง-น้ำเงิน เมื่อค่า b^* มีค่าเป็นบวกจะแสดงลักษณะสีเหลือง และเมื่อเป็นลบจะแสดงลักษณะสีน้ำเงิน โดยที่เมื่อค่าห่างจาก 0 มากแสดงถึงค่าสีเหลืองหรือน้ำเงินมากขึ้น



ภาพที่ ข. 1 แผนผังแสดงค่าสีที่รายงานเป็นค่า a b และ ค่า Hue angle

ข. 2 การวิเคราะห์หาปริมาณกลูโคแมนแนน

จากวิธีการหาค่าเส้นใยอาหาร (dietary fiber) ของ AOAC (1995) หมายเลข 985.29 ตามวิธีการในภาพที่ ข.2 ดังนี้ ใส่น้ำปริมาณ 200 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ขนาด 1,000 มิลลิลิตร ใช้ปิเปตที่สะอาดดูดเอาเทอร์มาไมล (termamyl) 0.1 มิลลิลิตรลงในน้ำ นำบีกเกอร์ตั้งบนเตาไฟฟ้าที่ปรับอุณหภูมิได้ กวนโดยใช้แท่งแม่เหล็ก จากนั้นซึ่งผงบุกปริมาณ 0.9555-1.000 กรัม อานน้ำหนักของผงบุกที่แน่นอน ค่อยๆ เติมผงบุกลงในบีกเกอร์อย่าให้เกาะเป็นก้อน ปิดบีกเกอร์ ด้วยกระจกนาฬิกา คอยตรวจอุณหภูมิด้วยเทอร์โมมิเตอร์เมื่ออุณหภูมิอุณหภูมิขึ้นถึง 80 – 90 องศาเซลเซียส จับเวลา 30 นาที เมื่อครบตามกำหนดเวลา นำไปเหวี่ยงที่ความเร็ว 4,000 รอบต่อ นาที นาน 30 นาที แยกส่วนใสลงใน Volumetric flask ขนาด 1,000 มิลลิลิตร ส่วนของแข็งนั้น นำไปล้างด้วยน้ำเดือด (ปริมาตรประมาณ 150 มิลลิลิตร) แล้วกรองผ่านกระดาษกรองด้วยเครื่อง กรองระบบสุญญากาศ นำส่วนใสที่กรองได้ผสมลงในส่วนใสที่ได้จากการเหวี่ยง เติมไอโซโพรพิล แอลกอฮอล์ 250 มิลลิลิตร ลงใน volumetric flask เขย่าของเหลวให้เข้ากัน เพื่อตกตะกอนเส้นใย อาหารกลูโคแมนแนน แยกกลูโคแมนแนนที่สกัดได้ออกจาก volumetric flask 1000 มิลลิลิตร ซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นใยสีขาว ลงบนกระจกนาฬิกาที่ผ่านการอบแห้งและบันทึกน้ำหนักที่แน่นอนแล้ว นำไปอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ประมาณ 5 ชั่วโมง หลังจากนั้นปล่อยให้เย็น ในโถอบแห้งแล้วชั่งน้ำหนักบันทึกค่า น้ำหนักกระจกนาฬิกาที่มีกลูโคแมนแนน และคำนวณ ปริมาณกลูโคแมนแนน ดังนี้

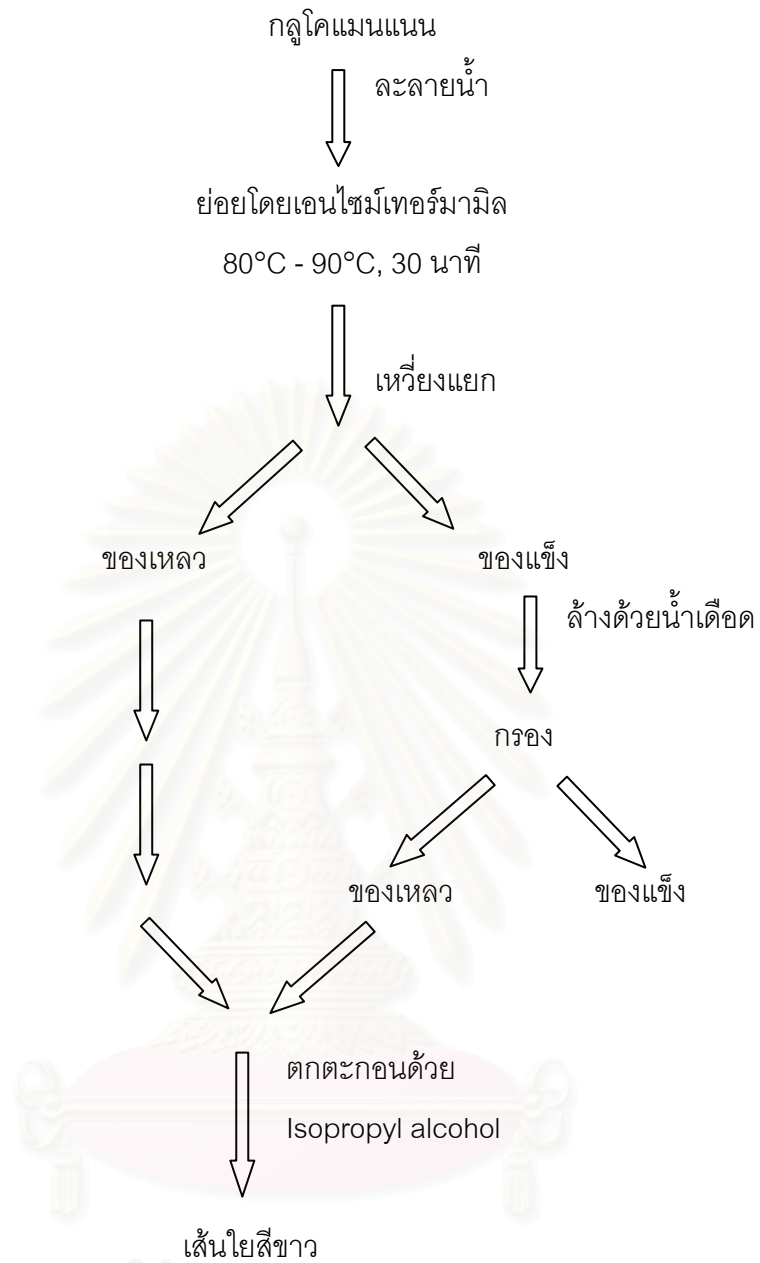
$$\text{ปริมาณกลูโคแมนแนน (\%)} = \frac{(C - B) \times 100}{A}$$

เมื่อ ปริมาณกลูโคแมนแนน แสดงค่าเป็นเปอร์เซ็นต์

A = น้ำหนักแห้งของผงบุกเริ่มต้น (กรัม)

B = น้ำหนักกระจกนาฬิกาอบแห้ง (กรัม)

C = น้ำหนักกระจกนาฬิกาที่มีกลูโคแมนแนน (กรัม)



ภาพที่ ข. 2 การวิเคราะห์หาปริมาณกลูโคแมนแนน

ข. 3 การทดสอบค่าการต้านทานแรงดึงขาดและการยืดตัว (Tensile strength and elongation)

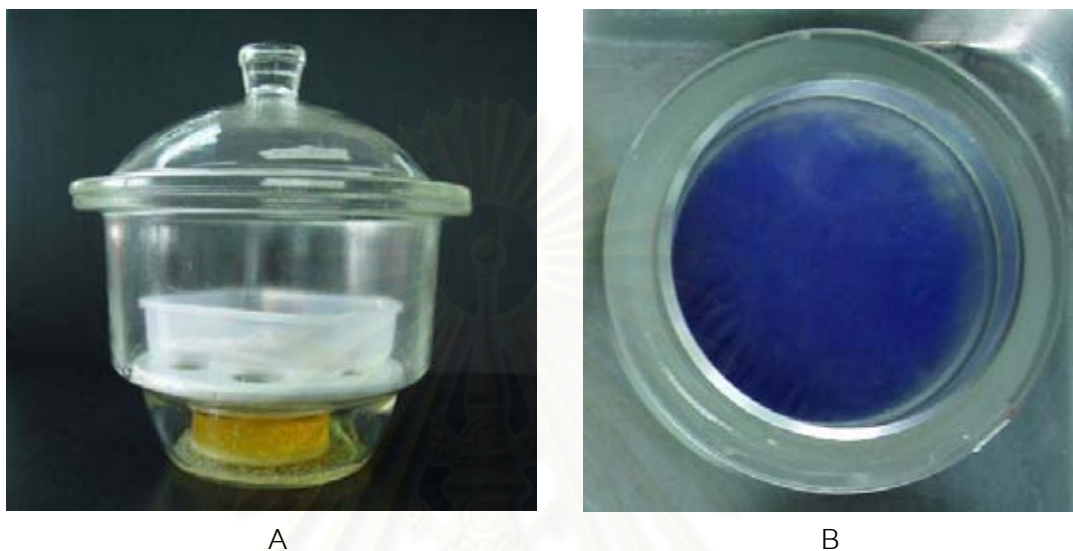
เครื่องมือ เครื่อง Texture Analyzer TA-XT 2 หัววัด tensile grip ซึ่งประกอบด้วยหัวทดสอบที่มีลักษณะเป็นหัวหนีบ 2 หัว ตั้งระยะห่างกัน 10 เซนติเมตร รายงานผลเป็นค่าการต้านทานแรงดึงขาด (tensile strength) และค่าการยืดตัว (elongation)

ชิ้นตัวอย่าง ตัดฟิล์มตัวอย่างให้มีขอบเรียบจำนวน 10 ชิ้นให้มีความกว้าง 25 ± 0.01 มิลลิเมตร และยาว 140 มิลลิเมตร เก็บตัวอย่างมาไว้ที่อุณหภูมิห้อง และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 67 ± 2 เป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมงก่อนการทดสอบ

วิธีการทดสอบ ยึดปลายข้างหนึ่งของชิ้นตัวอย่างกับหัวทดสอบให้แน่น แล้วจึงยึดปลายอีกด้านหนึ่ง ไม่ควรจับชิ้นตัวอย่างส่วนที่อยู่ระหว่างที่ยึด เริ่มทดสอบโดยปรับเครื่องทดสอบให้มีค่าอัตราเร็วในการดึง 20 มิลลิเมตรต่อนาที และมีค่า load cell เท่ากับ 10 กิโลกรัม บันทึกเฉพาะค่าที่ชิ้นตัวอย่างขาดบริเวณกึ่งกลาง ถ้าชิ้นตัวอย่างเลื่อนหรือขาดตรงขอบที่ยึดขณะทดสอบ แสดงว่ามีแรงตามแนวกว้างของชิ้นตัวอย่างไม่สม่ำเสมอให้ตัดค่าที่อ่านได้ทิ้งไป รายงานค่าการต้านทานแรงดึงขาด (นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร) และค่าการยืดตัว (ร้อยละ)

ข. 4 การทดสอบความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำ ตามวิธี ASTM E 96-95

อุปกรณ์และสารเคมี เดซิเคเตอร์ ถ้วยทดสอบการซึมผ่านของไอน้ำ Potassium iodide พาราฟิน และซิลิกาเจลที่อบแห้งแล้ว



ภาพที่ ข. 3 ชุดทดสอบการซึมผ่านของไอน้ำประกอบด้วย เดซิเคเตอร์ที่มีสารละลาย Potassium iodide อิมิตัว (A) และถ้วยทดสอบการซึมผ่านของไอน้ำ (B)

ขึ้นตัวอย่าง ตัดตัวอย่างฟิล์มเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 7 เซนติเมตร ตัวอย่างละ 5 ชิ้น ไม่ให้มีรอยพับ ขีด รูรั้วที่มองเห็นได้ เก็บตัวอย่างมาไว้ที่อุณหภูมิห้อง และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 67 ± 2 เป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมงก่อนการทดสอบ

วิธีทดสอบ ใส่ซิลิกาเจลที่ผ่านการอบแห้งลงในถ้วยทดสอบ นำตัวอย่างมาวางปิดปากด้วยแผ่นครอบปากด้วยด้วยพาราฟินเพื่อมิให้มีรอยรั้ว ซึ่งน้ำหนักอย่างละเอียด เก็บที่อุณหภูมิห้อง และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 67 ± 2 ซึ่งน้ำหนักและบันทึกผลทุก 2 ชั่วโมง เป็นเวลา 5 วัน

การคำนวณ

อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (Water Vapor Transmission Rate = WVTR) = $\frac{(G / t)}{A}$
(กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน)

โดยที่ G / t = อัตราการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักต่อเวลา (กรัมต่อวัน)

A = พื้นที่วงกลม (πr^2) = 0.002827 ตารางเมตร

$$\text{การซึมผ่านของไอน้ำ} = \text{Permeance} \times \text{ความหนาของฟิล์ม (มิลลิเมตร)}$$

(Water Vapor Permeability)

(กรัมมิลลิเมตรต่อตารางเมตรต่อวินาทีกิโปลาสดาล)

$$\text{โดยที่ Permeance} = \text{WVTR} / \Delta p = \text{WVTR} / S (R_1 - R_2)$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } S &= \text{ความดันของไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส} \\ &= 3.54 \text{ กิโปลาสดาล} \end{aligned}$$

$$R_1 = \text{ความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศในห้องทดสอบ} = \text{ร้อยละ 67}$$

$$R_2 = \text{ความชื้นสัมพัทธ์ภายในถ้วยทดสอบ} = \text{ร้อยละ 0}$$

ข. 5 การทดสอบความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน

เครื่องมือ เครื่องวัดค่าการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน Oxygen Permeation Analyzer Model 8500



ภาพที่ ข. 4 เครื่องวัดค่าการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน Model 8500

ขั้นตัวอย่าง ตัดตัวอย่างฟิล์มเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 13 เซนติเมตร ตัวอย่างละ 5 ชิ้น ไม่ให้มีรอยพับ ซีด รุ่ยที่มองเห็นได้ เก็บตัวอย่างมาไว้ที่อุณหภูมิห้อง และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 67 ± 2 เป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมงก่อนการทดสอบ

วิธีทดสอบ เปิดก๊าซออกซิเจนและก๊าซไนโตรเจนให้มีความดันอยู่ระหว่าง 40-70 psi เปิดสวิตช์ที่ด้านหลังเครื่อง เปิดฝาครอบ chamber ออกโดยหมุนน็อตทั้งสามไปในทิศทวนเข็มนาฬิกา

ทา sealant บางๆ บริเวณซี่ลวงแหวนทั้งด้านบนและด้านล่าง วางฟิล์มที่เตรียมไว้บนส่วนล่างของ chamber ซึ่งได้ทา sealant ไว้แล้ว โดยวางให้ตึงไม่มีฟองอากาศเหลืออยู่บริเวณวงแหวน ปิดฝา chamber โดยหมุนน็อตทั้งสามตัวให้แน่น หมุนวาล์วปิด/เปิด sensor ไปที่ตำแหน่ง OPEN ใน Mode Select หมุนสวิทช์ Flow ไปที่ Purge ซึ่งเครื่องจะได้ก๊าซออกซิเจนที่อยู่ใน chamber ทั้งส่วนบนและส่วนล่างออกให้หมด จากนั้นหมุนสวิทช์ Flow ใน Mode Select ไปที่ Test เลือกช่วงของการทดสอบให้เหมาะสม ถ้าที่หน้าจอของส่วนของ Test แสดง “1” หมายความว่าค่าที่วัดได้มีค่ามากกว่าช่วงของการทดสอบที่เลือกให้หมุนปรับช่วงใหม่ ใช้เวลาวัดประมาณ 1 ชั่วโมง เมื่อตัวเลขที่ได้คงที่และกระพริบ บันทึกอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน

การคำนวณ

$$P = \frac{Q}{A \times \Delta P \times t}$$

โดยที่ P = อัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (มิลลิลิตรต่อตารางเมตรต่อวินาทีต่อกิโลปาสกาล)

Q = ปริมาณก๊าซที่ซึมผ่านฟิล์ม (มิลลิลิตร)

A = พื้นที่ของฟิล์ม (ตารางเมตร)

ΔP = ความแตกต่างระหว่างความดันของก๊าซที่อยู่แต่ละด้านของฟิล์ม (กิโลปาสกาล)

t = เวลาที่ก๊าซซึมผ่านฟิล์ม (1 วัน)

การซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน ($P(O_2)$)

= อัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน \times ความหนาของฟิล์ม (ไมโครเมตร)

ข. 6 การสูญเสียน้ำหนัก

คัดเลือกผลชมพูจำนวน 4 ผลของแต่ละทรีตเมนต์ บันทึกน้ำหนักในวันเริ่มต้นของแต่ละผล หลังจากนั้นชั่งน้ำหนักทุก 3 วัน ของผลชมพูชุดเดิม แล้วคำนวณหาอัตราการสูญเสียน้ำหนัก ดังนี้

การสูญเสียน้ำหนักสด (ร้อยละ) = $\frac{\text{น้ำหนักก่อนการเก็บรักษา} - \text{น้ำหนักหลังการเก็บรักษา}}{\text{น้ำหนักก่อนการเก็บรักษา}} \times 100$

ข. 7 การหาความแน่นเนื้อ

ใช้เครื่อง Texture Analyzer TA-XT 2 หัววัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร โดยวางหัววัดให้ตั้งฉากกับผลชมพู และตั้งระยะทางให้หัววัดกดแทงทะลุเข้าไปในเนื้อผลชมพูเท่ากับ 5 มิลลิเมตร บันทึกค่าความแน่นเนื้อ ณ จุดสูงสุดของกราฟ และรายงานผลเป็นหน่วยของนิวตัน (N)

ข. 8 การหาปริมาณวิตามินซี (AOAC, 1995)

ใช้วิธีไทเทรตด้วย 2,6-dichloro-indophenol โดยใช้น้ำคั้นผลชมพู 2 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ จากนั้นเติมสารละลาย metaphosphoric acid ปริมาณ 5 มิลลิลิตร แล้วไทเทรตด้วยสารละลาย dichloro indophenol (dye solution) จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพูอ่อนอย่างน้อย 5 วินาที แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณหาปริมาณวิตามินซี โดยใช้สูตร

$$\text{mg ascorbic acid}/100 \text{ ml juice} = (X-B)(F/E)(V/Y) \times 100$$

เมื่อ X = ปริมาณของ dye solution ที่ใช้ไทเทรตกับตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

B = ปริมาณค่าเฉลี่ยของ dye solution ที่ใช้ไทเทรตกับ blank (มิลลิลิตร)

F = mg. equivalent ascorbic acid/1 ml dye solution

E = ปริมาณ standard ascorbic acid ที่ใช้ (มิลลิลิตร)

V = ปริมาณสารละลายที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)

Y = ปริมาณสารละลายทั้งหมดที่ใช้ในการไทเทรต (มิลลิลิตร)

ข. 8.1 การเตรียมสารละลาย metaphosphoric-acetic acid

ชั่ง metaphosphoric acid (HPO_3) 15 กรัม ละลายในสารละลายที่มีกรดอะซิติก (HOAc) 40 มิลลิลิตร และน้ำ 200 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 500 มิลลิลิตร เก็บในตู้เย็นได้นาน 7-10 วัน

ข. 8.2 การเตรียมสารละลาย indophenol

ละลายเกลือโซเดียมของ 2,6-dichlorophenolindophenol 50 มิลลิกรัม ในน้ำ 50 มิลลิลิตร ที่มีโซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) 42 มิลลิกรัม กวนจนละลายหมดแล้วเติมน้ำให้ครบ 200 มิลลิลิตร กรองใส่ขวดสีชาแล้วเก็บในตู้เย็น

ข. 8.3 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

ละลายสาร ascorbic acid 50 มิลลิกรัม ด้วยสารละลาย $\text{HPO}_3\text{-HOAc}$ ปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร

ข. 9 การหาอัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีน

การวิเคราะห์ด้วยเครื่อง gas chromatography ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น GC 8A สำหรับวิเคราะห์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งใช้ column ชนิด porapak Q (Mesh 80/100) และ / หรือ ออกซิเจน ซึ่งใช้ column ชนิด molecular sieve 5A (Mesh 60/80) และรุ่น GC 14B สำหรับวิเคราะห์ก๊าซเอทิลีน ซึ่งใช้ column ชนิด porapak Q (Mesh 60/80) โดยใช้สภาพของการวัดดังแสดงในตารางที่ ข.1

ตารางที่ ข. 1 อุปกรณ์และสภาวะในการหาอัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีน

	CO_2	O_2	C_2H_4
Column	Porapak Q	Molecular sieve 5A	Porapak Q
Column Temperature	50°C	50°C	80°C
Inject temperature	120°C	120°C	120°C
Detector	TCD	TCD	FID
Carrier gas	He	He	N_2

* TCD = Thermal Conductivity Detector

* FID = Flame Ionization Detector

ข. 9.1 ตัวอย่างการคำนวณอัตราการหายใจของผักและผลไม้

ความเข้มข้นของ CO_2 ที่วัดได้ จากชมพูที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 13°C ในวันที่แรกของการทดลองเท่ากับ 1.470% ชมพูมีน้ำหนัก 185 กรัม ปริมาตรของกล่องเท่ากับ 726 ml

$$\text{Void} = 726 - 185 = 541 \text{ ml}$$

$$\begin{array}{l}
 \text{อากาศ 100 ml. มี CO}_2 \text{ อยู่} \quad (1.470 - 0.03) \text{ ml} \\
 \text{อากาศ 541 ml. มี CO}_2 \text{ อยู่} \quad \frac{(1.470 - 0.03) \times 541}{100} = 7.790 \text{ ml} \\
 \\
 \text{ผลไม้หนัก 185 กรัม มี CO}_2 \quad 7.790 \text{ ml} \\
 \text{ผลไม้หนัก 1,000 กรัม มี CO}_2 \quad \frac{7.790 \times 1000}{185} = 42.110 \text{ ml} \\
 \\
 \text{เก็บไว้ 3.82 ชั่วโมง มี CO}_2 \quad 42.110 \text{ ml} \\
 \text{เก็บไว้ 1 ชั่วโมง มี CO}_2 \quad \frac{42.110 \times 1}{3.82} = 11.0235 \text{ ml}
 \end{array}$$

เพราะฉะนั้นชมพู่มีอัตราการหายใจ เท่ากับ $11.0235 \text{ mlCO}_2/\text{kg.h}$

ข. 9.2 ตัวอย่างการคำนวณอัตราการผลิตเอทิลีน

ความเข้มข้นของ C_2H_4 ที่วัดได้ จากชมพู่ที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 13°C ในวันแรกของการทดลองเท่ากับ 0.60532 ppm . ชมพู่มีน้ำหนัก 185 กรัม ปริมาตรของกล่องเท่ากับ 726 ml

$$\text{Void} = 726 - 185 = 541 \text{ ml}$$

$$\begin{array}{l}
 \text{ในปริมาตร 1,000 ml มี C}_2\text{H}_4 \quad 0.60532 \text{ }\mu\text{l} \\
 \text{ในปริมาตร 541 ml มี C}_2\text{H}_4 \quad \frac{0.60532 \times 541}{1000} = 0.3275 \text{ }\mu\text{l} \\
 \\
 \text{ผลไม้หนัก 185 กรัม มี C}_2\text{H}_4 \quad 0.3275 \text{ }\mu\text{l} \\
 \text{ผลไม้หนัก 1,000 กรัม มี C}_2\text{H}_4 \quad \frac{0.3275 \times 1000}{185} = 1.7703 \text{ }\mu\text{l} \\
 \\
 \text{เก็บไว้ 5 ชั่วโมง มี C}_2\text{H}_4 \quad 1.7703 \text{ }\mu\text{l} \\
 \text{เก็บไว้ 1 ชั่วโมง มี C}_2\text{H}_4 \quad \frac{1.7703 \times 1}{5} = 0.3540 \text{ }\mu\text{l}
 \end{array}$$

เพราะฉะนั้นชมพู่มีอัตราการผลิตเอทิลีน เท่ากับ $0.3540 \text{ }\mu\text{lC}_2\text{H}_4/\text{kg.h}$

ภาคผนวก ค.

ข้อมูลการทดลอง



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค. 1 ผลของสารเคลือบผิวต่อค่าสีของชมพูพันธุ์ทับทิมจันทร์ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 13°C
ความชื้นสัมพัทธ์ 88%

สิ่งทดลอง	a* value					
	ระยะเวลาในการเก็บรักษา (วัน)					
	0	3	6	9	12	15
control	16.61	15.33 ^a	15.92 ^a	17.43 ^a	15.76 ^a	14.14 ^a
บุก 1%	16.61	16.37 ^a	16.84 ^a	18.06 ^a	17.46 ^a	15.64 ^a
บุก 1% + KOH 0.5 M 0.14%	16.61	15.63 ^a	15.30 ^a	17.11 ^a	16.42 ^a	14.70 ^a

* ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับเหมือนกันในแนวตั้ง หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's multiple range test

ตารางที่ ค. 2 ผลของสารเคลือบผิวต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของชมพูพันธุ์ทับทิมจันทร์
เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 13°C ความชื้นสัมพัทธ์ 88%

สิ่งทดลอง	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด					
	ระยะเวลาในการเก็บรักษา (วัน)					
	0	3	6	9	12	15
control	11.1	10.03 ^a	9.40 ^a	9.00 ^a	8.83 ^a	8.50 ^a
บุก 1%	11.1	10.20 ^a	9.63 ^a	9.27 ^a	9.10 ^a	8.93 ^b
บุก 1% + KOH 0.5 M 0.14%	11.1	10.67 ^a	9.53 ^a	9.30 ^a	9.20 ^a	9.00 ^b

* ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับ a,b.. ต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's multiple range test

ตารางที่ ค. 3 ผลของสารเคลือบผิวต่อปริมาณ ascorbic acid ของชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 13°C ความชื้นสัมพัทธ์ 88%

สิ่งทดลอง	ascorbic acid (mg/100 ml juice)					
	ระยะเวลาในการเก็บรักษา (วัน)					
	0	3	6	9	12	15
control	6.68	6.46 ^a	6.23 ^a	5.99 ^a	5.88 ^a	5.64 ^a
บุก 1%	6.68	6.52 ^a	6.40 ^a	6.11 ^a	5.88 ^a	5.76 ^a
บุก 1% + KOH 0.5 M 0.14%	6.68	6.57 ^a	6.46 ^a	6.29 ^a	6.00 ^a	5.94 ^a

* ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับเหมือนกันในแนวตั้ง หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's multiple range test

ตารางที่ ค. 4 ผลของสารเคลือบผิวต่อการสูญเสียน้ำหนักของชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 13°C ความชื้นสัมพัทธ์ 88%

สิ่งทดลอง	การสูญเสียน้ำหนัก (%)					
	ระยะเวลาในการเก็บรักษา (วัน)					
	0	3	6	9	12	15
control	0.00	1.51 ^b	2.95 ^b	5.54 ^c	8.16 ^c	10.74 ^c
บุก 1%	0.00	1.01 ^a	1.91 ^a	3.00 ^b	4.25 ^b	5.99 ^b
บุก 1% + KOH 0.5 M 0.14%	0.00	0.96 ^a	1.99 ^a	2.72 ^a	3.88 ^a	5.41 ^a

* ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับ a,b,c.. ต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's multiple range test

ตารางที่ ค. 5 ผลของสารเคลือบผิวต่อความแน่นเนื้อของชมพูพันธุ์ทับทิมจันทร์ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 13°C ความชื้นสัมพัทธ์ 88%

สิ่งทดลอง	ความแน่นเนื้อ (นิวตัน)					
	ระยะเวลาในการเก็บรักษา (วัน)					
	0	3	6	9	12	15
control	21.31	18.44 ^a	18.61 ^a	18.50 ^a	18.18 ^a	17.94 ^a
บุก 1%	21.31	20.67 ^b	20.86 ^b	19.44 ^b	18.94 ^b	18.98 ^b
บุก 1% + KOH 0.5 M 0.14%	21.31	19.55 ^{ab}	20.07 ^b	19.48 ^b	19.35 ^b	19.19 ^b

* ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับ a,b.. ต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's multiple range test

ตารางที่ ค. 6 ผลของสารเคลือบผิวต่ออัตราการหายใจของชมพูพันธุ์ทับทิมจันทร์ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 13°C ความชื้นสัมพัทธ์ 88%

สิ่งทดลอง	อัตราการหายใจ (mlCO ₂ /kg.h)					
	ระยะเวลาในการเก็บรักษา (วัน)					
	0	3	6	9	12	15
control	10.63	6.75 ^b	5.03 ^a	5.66 ^b	5.33 ^b	5.76 ^c
บุก 1%	10.63	7.26 ^b	4.64 ^a	4.44 ^a	4.69 ^a	5.07 ^b
บุก 1% + KOH 0.5 M 0.14%	10.63	5.93 ^a	4.45 ^a	4.73 ^a	4.34 ^a	4.35 ^a

* ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับ a,b,c.. ต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's multiple range test

ตารางที่ ค. 7 ผลของสารเคลือบผิวต่ออัตราการผลิตเอทิลีนของชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ เมื่อเก็บที่ อุณหภูมิ 13°C ความชื้นสัมพัทธ์ 88%

สิ่งทดลอง	อัตราการผลิตเอทิลีน ($\mu\text{C}_2\text{H}_4/\text{kg.h}$)					
	ระยะเวลาในการเก็บรักษา (วัน)					
	0	3	6	9	12	15
control	0.32	0.29 ^b	0.26 ^b	0.24 ^c	0.22 ^b	0.19 ^b
นุ้ก 1%	0.32	0.27 ^{ab}	0.23 ^a	0.21 ^b	0.16 ^a	0.13 ^a
นุ้ก 1% + KOH 0.5 M 0.14%	0.32	0.25 ^a	0.21 ^a	0.18 ^a	0.14 ^a	0.12 ^a

* ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับ a,b,c.. ต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's multiple range test

ตารางที่ ค. 8 ผลของสารเคลือบผิวต่อการยอมรับคุณภาพโดยรวมของชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 13°C ความชื้นสัมพัทธ์ 88%

สิ่งทดลอง	การยอมรับคุณภาพโดยรวม					
	ระยะเวลาในการเก็บรักษา (วัน)					
	0	3	6	9	12	15
control	8.33 ^a	7.83 ^a	7.33 ^a	6.83 ^a	6.00 ^a	5.50 ^a
นุ้ก 1%	8.33 ^a	8.17 ^a	7.83 ^a	7.17 ^a	6.83 ^a	6.33 ^b
นุ้ก 1% + KOH 0.5 M 0.14%	8.33 ^a	7.67 ^a	7.50 ^a	7.17 ^a	6.50 ^a	6.17 ^b

* ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับ a,b.. ต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's multiple range test

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นาย ชูสิทธิ์ หงษ์กุลทรัพย์ เกิดเมื่อวันที่ 12 สิงหาคม พ.ศ. 2523 ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิตจาก สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เมื่อปีการศึกษา 2544



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย