การพัฒนาอัลจิเนตเพื่อเป็นสารเคลือบผิวของอาหารที่ผ่านการทำแห้งเยือกแข็ง

นายอินทร์ธวัช จรัสแสงวิโรจน์ รหัสประจำตัวนิสิต 5736586533

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โครงการปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
เภสัชศาสตรบัณฑิตสาขาวิชาเภสัชศาสตร์
คณะเภสัชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2561

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด
The abstract and full text of Senior Project in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the Senior Project authors' files submitted through the faculty.

Development of alginate-based edible surface coating for freeze-dried food

Mr. Intawat Jaratsangvirote ID 5736586533

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

A Senior Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement
for the Doctor of Pharmacy Program in Pharmaceutical Sciences
Chulalongkorn University
Academic Year 2018

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด
The abstract and full text of Senior Project in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the Senior Project authors' files submitted through the faculty.

สาขาการค้นพบและพัฒนายา

หัวข้อโครงการปริญญานิพนธ์	การพัฒนาอัลจิเนตเพื่อเป็นสารเคลือบผิวของอาหารที่ผ่านการทำแห้งเยือกแข็ง
นิสิตผู้ดำเนินโครงการ	นายอินทร์ธวัช จรัสแสงวิโรจน์ 5736586533
สาขาวิชา/ภาควิชา	การค้นพบและพัฒนายา/ อาหารและเภสัชเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์	รศ. ภญ. ดร.วรางคณา วารีสน้อยเจริญ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	-

คณะเภสัชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้โครงการปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาเภสัชศาสตรบัณฑิต

.....คณบดี
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เภสัชกรหญิง ดร.รุ่งเพ็ชร สกุลบำรุงศิลป์)

.....ประธานสาขาการค้นพบและพัฒนายา
(รองศาสตราจารย์ เภสัชกรหญิง ดร.สุรีย์ เจียรณ์มงคล)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

.....อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์
(รองศาสตราจารย์ เภสัชกรหญิง ดร.วรางคณา วารีสน้อยเจริญ)

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด
The abstract and full text of Senior Project in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the Senior Project authors' files submitted through the faculty.

คำนำ

โครงการปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรเภสัชศาสตรบัณฑิต คณะเภสัชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาผลของสารเคลือบผิวต่อคุณสมบัติของตัวอย่างอาหารหลังผ่านกระบวนการทำแห้งเยือกแข็ง

คณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าโครงการปริญญานิพนธ์นี้คงเป็นประโยชน์ต่อผู้สนใจการค้นพบและพัฒนาด้านอาหารเคมีเพื่อใช้ประโยชน์ทางด้านการพัฒนาผลิตภัณฑ์ต่อไป หากมีข้อผิดพลาด ประการใดคณะผู้จัดทำขออภัยมา ณ ที่นี้

คณะผู้จัดทำ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด
The abstract and full text of Senior Project in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the Senior Project authors' files submitted through the faculty.

โครงการลำดับที่ 3.5
ปีการศึกษา 2561

บทคัดย่อปริญญานิพนธ์

ชื่อโครงการ : การพัฒนาอัลจิเนตเพื่อเป็นสารเคลือบผิวของอาหารที่ผ่านการทำแห้งเยือกแข็ง
หัวหน้าโครงการ : นายอินทร์ธวัช จรัสแสงวิโรจน์ 5736586533
อาจารย์ที่ปรึกษา : รศ. ภญ. ดร.วรางคณา วารีสน้อยเจริญ
สาขา/ภาควิชา : การค้นพบและพัฒนายา/ อาหารและเภสัชเคมี

อัลจิเนต (alginate) เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่ได้จากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล (Phaeophyceae) ที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร โดยเป็นสารทำให้คงตัว (stabilizer) และสารก่อเจลหรือฟิล์ม (gelling agent) alginate เป็นสารที่ใช้ในก่อฟิล์มเคลือบผิวอาหารได้โดยมีข้อดี คือ ไม่เป็นพิษ สามารถย่อยสลายได้ มีความเข้ากันได้ทางชีวภาพและราคาไม่แพง อัลจิเนตสามารถเกิดเจลหรือพอลิเมอร์ที่ไม่ละลายน้ำได้โดยการทำปฏิกิริยากับไอออนโลหะชนิดบวกหลายวาเลนซี (multivalent cations) เช่น แคลเซียม ทั้งนี้อาหารที่ผ่านกระบวนการทำแห้งเยือกแข็ง (freeze drying) อาจพบการเปลี่ยนแปลงของเซลล์ตลอดจนคุณสมบัติต่างๆของอาหารได้ การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเตรียมสารละลายเคลือบผิวที่เหมาะสม โดยมีส่วนผสมของ alginate และ trehalose และเพื่อศึกษาผลของสารเคลือบผิวต่อคุณสมบัติของตัวอย่างอาหารหลังผ่านกระบวนการทำแห้งเยือกแข็ง การเตรียมสารเคลือบผิวทำโดยละลายผง alginate ในน้ำกลั่นและใช้ความร้อนและคนผสมจนได้สารละลายใส จากนั้นเติมกลีเซอรอลที่ความเข้มข้น 1% w/w เป็น plasticizer และ trehalose เป็น cryoprotectant คนผสมให้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน ในการศึกษาจะมีการเตรียมสารละลายต่างๆใช้ความเข้มข้นของ alginate และ trehalose ที่แตกต่างกัน เตรียมสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0.4% w/v เพื่อใช้ในการก่อฟิล์มของ alginate การพัฒนาสูตรตำรับที่มีความเหมาะสมที่สุดทำโดยใช้การประเมินคุณสมบัติของตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งเยือกแข็งคือ ปริมาณความชื้น (moisture) การสูญเสียมวล (mass loss) ค่า rehydration capacity (RC) ความแน่น (firmness) และสีของตัวอย่าง จากการทดลอง พบว่าตัวอย่างอาหาร (แอปเปิ้ลหั่นเป็นชิ้น) ที่เคลือบด้วยสารละลายเคลือบผิวที่ใช้อัลจิเนต 2% และทรีฮาโลส 6% w/v มีค่า %RC และ firmness เฉลี่ยสูงที่สุด ในขณะที่ตัวอย่างอาหาร (แอปเปิ้ลหั่นเป็นชิ้น) ที่เคลือบด้วยสารละลายเคลือบผิวที่ใช้อัลจิเนต 1.2% w/v และทรีฮาโลส 6% w/v มีค่า %moisture, %mass loss ต่ำที่สุด และเมื่อวิเคราะห์สีพบว่ามีค่า lightness-darkness (L*) และ redness-greenness (b*) เฉลี่ยสูงที่สุด และมีค่า yellowness-blueness (a*) เฉลี่ยเข้าใกล้ 0 ที่สุด สรุปได้ว่าสูตรตำรับที่ใช้สารละลายเคลือบผิวที่ประกอบไปด้วยสารละลายอัลจิเนต 1.2% w/v และทรีฮาโลส 6% w/v มีคุณสมบัติทางกายภาพและมีความคงตัวที่เหมาะสม อย่างไรก็ตามสูตรตำรับที่เหมาะสมที่สุดนั้นจะขึ้นอยู่กับการนำไปใช้งานในแต่ละประเภท

คณะเภสัชศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ลายมือชื่อนิสิต .....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด
The abstract and full text of Senior Project in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the Senior Project authors' files submitted through the faculty.

Project No. 3.5

Academic year 2018

Abstract

Senior project title : Development of alginate-based edible surface coating for freeze-dried food

Students' name : Intawat Jaratsangvirote 5736586533

Advisor/Co-advisor : Assoc. Prof. Warangkana Warisnoicharoen, Ph.D.

Field/Department : Drug Discovery and Development/ Food and Pharmaceutical Chemistry

Alginate is a biopolymer that could be considered for edible coatings. Alginate, a polysaccharide derived from marine brown algae (Phaeophyceae) is finding increasing use in the food industry as stabilizer and gelling agents. Alginate is an appealing film-forming compound because of its non-toxicity, biodegradability, biocompatibility, and low price. Alginate can form gels or insoluble polymers upon reaction with multivalent metal cations like calcium. In addition, freeze-dried food may be found changes in cells as well as various properties of food. The aim of this study was to formulate the proper surface coating solution containing food-grade ingredients. (i.e. alginate and trehalose) and to study the effect of a coating solution on properties of food samples after freeze drying process. Coating solutions are prepared by dissolving alginate powder in distilled water under controlled heating and stirring until clear. Glycerol at 1% (w/w) is added as a plasticizer and trehalose is added as a cryoprotectant. The components are homogenized by magnetic stirring. Calcium chloride solution (0.4% w/v) is required for crosslinking carbohydrate polymers. The best formula was modeled and optimized with properties of freeze-dried samples. Moisture content, mass loss, rehydration capacity (RC), texture and color of the samples were investigated. Through this model was found that samples (sliced apples) coated with 2% w/v alginate solution and 6% w/v trehalose had the highest average %RC and firmness value. While samples coated with 1.2% w/v alginate solution and 6% w/v trehalose had the lowest average %moisture, %mass loss; and for color analysis, the highest values of lightness-darkness (L*) and redness-greenness (b*) with near-zero value of yellowness-blueness (a*) were found. In conclusion, the coating formulation containing 1.2% w/v alginate solution and 6% w/v trehalose had physical properties and suitable stability. However, the most proper formulation depends on application aspects.

Faculty of Pharmaceutical Sciences
Chulalongkorn University

Student's signature .....

Advisor's signature .....

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด
The abstract and full text of Senior Project in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the Senior Project authors' files submitted through the faculty.

กิตติกรรมประกาศ

ในการศึกษาโครงการปริญญานิพนธ์นี ผู้ศึกษาขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ เภสัชกรหญิง ดร.วรางคณา วารีสน้อยเจริญ ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำและช่วยตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องของโครงการนี้ ตลอดจนให้ ความรู้และข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อโครงการนี้ และขอบพระคุณที่ท่านดูแลให้การดำเนินงาน สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีจนโครงการเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ของภาควิชาอาหารและเภสัชเคมี คณะเภสัชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่านที่กรุณาประสิทธิประสาทวิชาความรู้ให้แก่ผู้ศึกษา ซึ่งเป็นรากฐานอย่างดียิ่งในการศึกษาค้นควาโครงการในครั้งนี้

ขอขอบคุณเภสัชกรหญิงณิชญารัชต์ อินวิเชียร นิสิตปริญญาโทที่ให้คำแนะนำในการทำวิจัยตลอดจนเจ้าหน้าที่ในภาควิชาอาหารและเภสัชเคมีที่กรุณาให้ใช้สถานที่และอำนวยความสะดวกในการทำการทดลองตลอดโครงการนี้ ขอขอบคุณศูนย์เครื่องมือวิจัยทางเภสัชศาสตร์ คณะเภสัชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือและสถานที่ในการทำวิจัยครั้งนี้

ท้ายนี้ผู้ศึกษาขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้การอบรมเลี้ยงดู การสนับสนุนด้านการเงินเป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือทุกอย่างแก่ผู้ศึกษาเป็นอย่างดีตลอดมา

คณะผู้จัดทำ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด
The abstract and full text of Senior Project in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the Senior Project authors' files submitted through the faculty.

สารบัญ

		หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย		ง
กิตติกรรมประกาศ		จ
สารบัญ		ฉ
สารบัญตาราง		ช
สารบัญรูปภาพ		ซ
บทที่		
1	บทนำ	1
	1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
	1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
2	เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
3	วิธีดำเนินการวิจัย	12
	3.1 การเตรียมสารละลายเคลือบผิว	13
	3.2 การเคลือบตัวอย่างแอปเปิ้ล	13
	3.3 การทำแห้งแบบเยือกแข็ง	13
	3.4 การศึกษาคุณสมบัติของแอปเปิ้ลที่ผ่านการทำแห้งเยือกแข็ง	13
4	ผลการทดลองและอภิปราย	16
	4.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น	16
	4.2 ผลการวิเคราะห์การสูญเสียมวล	17
	4.3 ผลการวิเคราะห์ Rehydration Capacity	19
	4.4 ผลการวิเคราะห์พื้นผิว	20
	4.5 ผลการวิเคราะห์สี	22
5	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	25
รายการอ้างอิง		26
ภาคผนวก		27

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด
The abstract and full text of Senior Project in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the Senior Project authors' files submitted through the faculty.

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 : การคำนวณ %ปริมาณความชื้น	16
ตารางที่ 2 : การคำนวณ %การสูญเสียมวล	18
ตารางที่ 3 : การคำนวณ %RC	19
ตารางที่ 4 : การวิเคราะห์พื้นผิว	21
ตารางที่ 5 : การวิเคราะห์สี	22

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด
The abstract and full text of Senior Project in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the Senior Project authors' files submitted through the faculty.

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 : ลักษณะโครงสร้างของอัลจิเนต	5
ภาพที่ 2 : การก่อตัวของ "eggbox"	8
ภาพที่ 3 : Intermolecular และ intramolecular interactions	8
ภาพที่ 4 : Two gel preparing methods	10
ภาพที่ 5 : แสดง %ปริมาณความชื้น	17
ภาพที่ 6 : แสดง %ปริมาณการสูญเสียมวล	18
ภาพที่ 7 : แสดง %RC	20
ภาพที่ 8 : แสดงค่าเฉลี่ย Max Force	22
ภาพที่ 9 : แสดงค่าเฉลี่ย Luminosity (L*)	23
ภาพที่ 10 : แสดงค่าเฉลี่ย Yellow-Blue (a*)	23
ภาพที่ 11 : แสดงค่าเฉลี่ย Red-Green (b*)	24

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด
The abstract and full text of Senior Project in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the Senior Project authors' files submitted through the faculty.

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การทำแห้ง (drying) ในอุตสาหกรรมอาหารมีวัตถุประสงค์คือ ทำให้อาหารมีความคงสภาพ ลดการเน่าเสีย (spoilage) ของผลิตภัณฑ์อาหารเนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมี ลดค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาและการขนส่ง ซึ่งการทำแห้งสำหรับอาหารที่ไวต่อความร้อน เช่น ผัก ผลไม้ รวมถึงผลิตภัณฑ์ชีวภาพอื่นๆ การเลือกเทคโนโลยีการทำแห้งที่เหมาะสม เช่น การทำแห้งเยือกแข็ง (freeze drying, FD) ซึ่งเป็นวิธีการที่ดีที่สุดในการทำให้อาหารแห้งเพื่อให้อาหารคงคุณภาพได้สูงสุด วิธีการทำแห้งแบบนี้จะอาศัยการระเหิด (sublimation) ซึ่งจะช่วยลดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง และรักษาสารอาหารหรือสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ รวมถึงรสชาติของผลิตภัณฑ์ได้

การทำ FD ประกอบด้วยสามขั้นตอนหลัก[1] ได้แก่ (1) การทำเยือกแข็ง (freezing) (2) การทำแห้งปฐมภูมิ (primary drying) ซึ่งเป็นการเอาน้ำแข็งออกโดยการระเหิดโดยตรงโดยการลดความดัน และ (3) การทำแห้งทุติยภูมิ (secondary drying) ซึ่งเป็นการปลดปล่อยน้ำ (unfrozen water) โดยการคาย (desorption) และการแพร่ (diffusion) โดยอัตราเร็วในการทำเยือกแข็ง (freezing rate) มีความสำคัญต่อคุณสมบัติสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทำแห้งแล้ว โดยมีผลต่อขนาดของรู (pore size) หลังกระบวนการระเหิดของน้ำแข็ง สำหรับขั้นตอนการทำเยือกแข็งจะสามารถแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน[1] ได้แก่ (1) การเกิดนิวเคลียสหรือการเกิดเม็ดผลึก (crystal seed) (2) การแพร่กระจาย (propagation) หรือการเติบโตของผลึกน้ำแข็ง (ice crystal) และ (3) การตกผลึกซ้ำ (recrystallization)

อย่างไรก็ตาม ก่อนที่อาหารจะผ่านเข้าสู่กระบวนการทำแห้งแบบ FD อาหารจะต้องผ่านกระบวนการเตรียม หรือ pretreatment ซึ่งโดยทั่วไปจะมีการดำเนินการตามลำดับขั้นตอน ได้แก่ การล้าง (washing) การหั่น (slicing) การลวกด้วยน้ำร้อน (blanching) การทำให้เย็นอย่างรวดเร็ว (quick cooling) และการระบายน้ำที่เหลือ (draining)[2] สำหรับการลวกในขั้นตอน pretreatment จะทำเพื่อยับยั้งเอนไซม์และกำจัดอากาศออกจากช่องว่างระหว่างเซลล์ (intercellular space) ของอาหาร เพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงของสีและกลิ่นระหว่างการทำแห้ง อย่างไรก็ตามการลวกอาจไม่เหมาะสมสำหรับอาหารที่ไวต่อความร้อน เช่น ผักและผลไม้ ดังนั้นการใช้วิธีการเคลือบผิวของอาหาร (coating) ด้วยสารละลายที่เหมาะสมในการทำ pretreatment อาจเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ใช้ทดแทนการลวกได้ โดยการเคลือบผิวจากวัสดุที่รับประทานได้ (edible coating) สามารถลดการสูญเสียความชุ่มชื้น ลดปฏิกิริยาทางเคมีที่ไม่พึงประสงค์ การเน่าเสีย และการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด
The abstract and full text of Senior Project in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the Senior Project authors' files submitted through the faculty.

สารในกลุ่มพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) นิยมใช้ในการเคลือบผิวของอาหารเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาอาหาร โดยเฉพาะผักและผลไม้ โดยการลดการหายใจและการแลกเปลี่ยนแก๊ส[3] อัลจิเนต (alginate) เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่ได้จากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล (Phaeophyceae) ที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร โดยเป็นสารเพิ่มความข้นหนืด (thickening agent) สารทำให้คงตัว (stabilizer) สารทำอิมัลชัน (emulsifier) สารช่วยแขวนลอย (suspending agent) และสารก่อเจลหรือฟิล์ม (gelling agent) alginate เป็นสารที่ใช้ในก่อฟิล์มเคลือบผิวอาหารได้โดยมีข้อดี คือ ไม่เป็นพิษ สามารถย่อยสลายได้ มีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ และราคาถูก มีคุณสมบัติเป็นคอลลอยด์ รวมถึงสามารถเกิดเจลหรือพอลิเมอร์ที่ไม่ละลายน้ำได้โดยการทำปฏิกิริยากับไอออนโลหะชนิดบวกหลายวาเลนซี (multivalent cations) เช่น แคลเซียม[3]

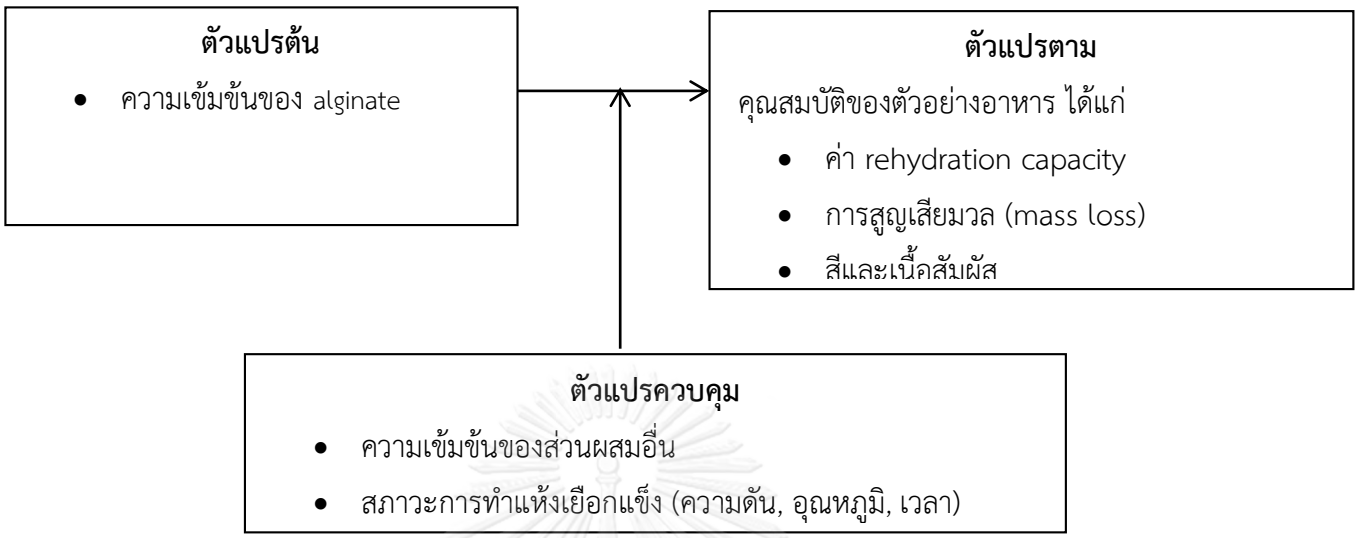
นอกจากนี้ ในขั้นตอนการเตรียมอาหารและผลิตภัณฑ์ทางชีวภาพก่อนเข้าสู่กระบวนการ FD ควรใช้สารปกป้องกันเซลล์จากความเย็นยิ่งยวด (cryoprotectant) เพื่อรักษาโครงสร้างเซลล์ของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทำแห้ง[4] ซึ่งมีหลายการศึกษาถึงการใช้น้ำตาลทรีฮาโลส (trehalose) เป็น cryoprotectant น้ำตาลtrehalose (α-d-glucopyranosyl-α-d-glucopyranoside) เป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่ (non-reducing disaccharide) ที่สามารถปกป้องโปรตีนและไขมันของเซลล์เมมเบรนจากความร้อน และการเยือกแข็งสลับการละลาย (freeze-thaw) ข้อดีของการใช้ trehalose เมื่อเทียบกับน้ำตาลอื่นๆ เช่น น้ำตาลซูโครสและแล็กโตส (lactose) ได้แก่ ความสามารถในการจับกับโมเลกุลน้ำ (water binding) ซึ่งจะช่วยป้องกันการเกิดผลึกน้ำแข็งภายในเซลล์และภายนอกเซลล์ นอกจากนี้ trehalose มีความคงตัวที่ดี ไม่มีสี ปราศจากกลิ่น มีรสหวานเล็กน้อย และสามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลของผลิตภัณฑ์ระหว่างการผลิตจากปฏิกิริยา Maillard reaction ได้[4] ดังนั้นในการศึกษานี้ จะทำการเตรียมสารเคลือบผิวที่สามารถรับประทานได้ โดยใช้ alginate และ trehalose และศึกษาผลของสารเคลือบผิวต่อคุณสมบัติของตัวอย่างอาหารหลังผ่านกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแล้ว

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- เพื่อเตรียมสารละลายเคลือบผิวที่เหมาะสม โดยมีส่วนผสมของ alginate และ trehalose
- เพื่อศึกษาผลของสารเคลือบผิวต่อคุณสมบัติของตัวอย่างอาหารหลังผ่านกระบวนการทำแห้งเยือกแข็ง

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด
The abstract and full text of Senior Project in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the Senior Project authors' files submitted through the faculty.

1.3 กรอบแนวความคิดการวิจัย



1.4 สมมติฐานการวิจัย

สารละลายเคลือบผิวที่เตรียมได้มีความเหมาะสมต่อคุณสมบัติของตัวอย่างอาหารที่ผ่านการทำแห้งเยือกแข็ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด
The abstract and full text of Senior Project in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the Senior Project authors' files submitted through the faculty.

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การยืดอายุการเก็บผลไม้เป็นเป้าหมายสำคัญ เทคนิคการเก็บรักษาจำนวนมากได้รับการพัฒนาเพื่อขยายทางการตลาดและช่วงเวลาหลังการเก็บเกี่ยว วิธีหนึ่งในการยืดอายุการเก็บรักษาหลังการเก็บเกี่ยวคือการใช้สารเคลือบที่บริโภคได้ การเคลือบดังกล่าวจะใช้ในการทำให้ผลไม้สด โดยการสร้างเมมเบรนแบบกึ่งซึมผ่านและสร้างอากาศที่ปรับเปลี่ยนภายในเพื่อชะลอการสุกและลดการสลายตัว การดัดแปลงองค์ประกอบของก๊าซภายในทำได้โดยผ่านการควบคุมความชื้น ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ ไขมัน กลิ่นและสารแต่งกลิ่นในระบบอาหาร อย่างไรก็ตามการซึมผ่านของออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสิ่งจำเป็นเพื่อหลีกเลี่ยง anaerobiosis ซึ่งจะส่งผลให้เกิดความผิดปกติภายนอกและการสูญเสียคุณภาพอย่างรวดเร็ว มีงานวิจัยบางชิ้นเกี่ยวกับการใช้สารเคลือบที่บริโภคได้ในการเก็บรักษาแอปเปิ้ล ประสิทธิภาพของสารเคลือบในการเก็บรักษาแอปเปิ้ลนั้นสัมพันธ์กับความสัมพันธ์ระหว่างออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ การซึมผ่านที่สูงขึ้นส่งผลให้ CO_2 ภายในลดลงและ O_2 ภายในสูงขึ้น การปรับเปลี่ยนก๊าซที่มากเกินไปภายในทำให้เกิดการหายใจที่เพิ่มขึ้นอย่างฉับพลันของผลไม้ การสะสมของเอทานอล

คุณลักษณะที่จำเป็นสำหรับการเคลือบขึ้นอยู่กับเมทริกซ์ของผลิตภัณฑ์และกระบวนการเสื่อมสภาพของผลิตภัณฑ์ โปรตีน ไขมัน และพอลิแซ็กคาไรด์ เป็นองค์ประกอบหลักของฟิล์มและสารเคลือบที่บริโภคได้ โปรตีน ได้แก่ โปรตีนจากกลูเตน, ข้าวโพดซีซีน, โปรตีนจากถั่วเหลือง, โปรตีนจากไข่อัลบูมิน, โปรตีนนมและเจลาติน ไขมัน ได้แก่ waxes, acyl glycerols และ fatty acids พอลิแซ็กคาไรด์ ได้แก่ เซลลูโลสและอนุพันธ์ อัลจิเนต เพกติน แป้ง และอนุพันธ์อื่นๆ[6]

สารเคลือบที่บริโภคได้กำลังได้รับความสำคัญเป็นทางเลือกเพื่อลดผลกระทบที่เป็นอันตรายในกระบวนการผลิตขั้นต่ำสำหรับผลไม้สดตัด สารเคลือบที่บริโภคได้มีวัตถุประสงค์เพื่อยืดอายุการเก็บการรักษา โดยการลดความชื้น การเคลื่อนย้ายของตัวถูกละลาย การแลกเปลี่ยนก๊าซ อัตราการหายใจ และอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น รวมทั้งยับยั้งความผิดปกติของผลไม้สดตัด สารเคลือบผิวที่บริโภคได้อาจทำหน้าที่เป็นวัตถุเจือปนอาหาร เช่น anti-browning และ antimicrobials agents, colorants, flavors, nutrients และ spices

การเคลือบโดยใช้พอลิแซ็กคาไรด์ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผักและผลไม้ โดยลดการหายใจและการแลกเปลี่ยนก๊าซเนื่องมาจากการซึมผ่านของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ อัลจิเนตและเจลแลนสามารถนำมาทำเป็นไบโอพอลิเมอร์ที่สามารถก่อฟิล์มและเคลือบ เนื่องจาก

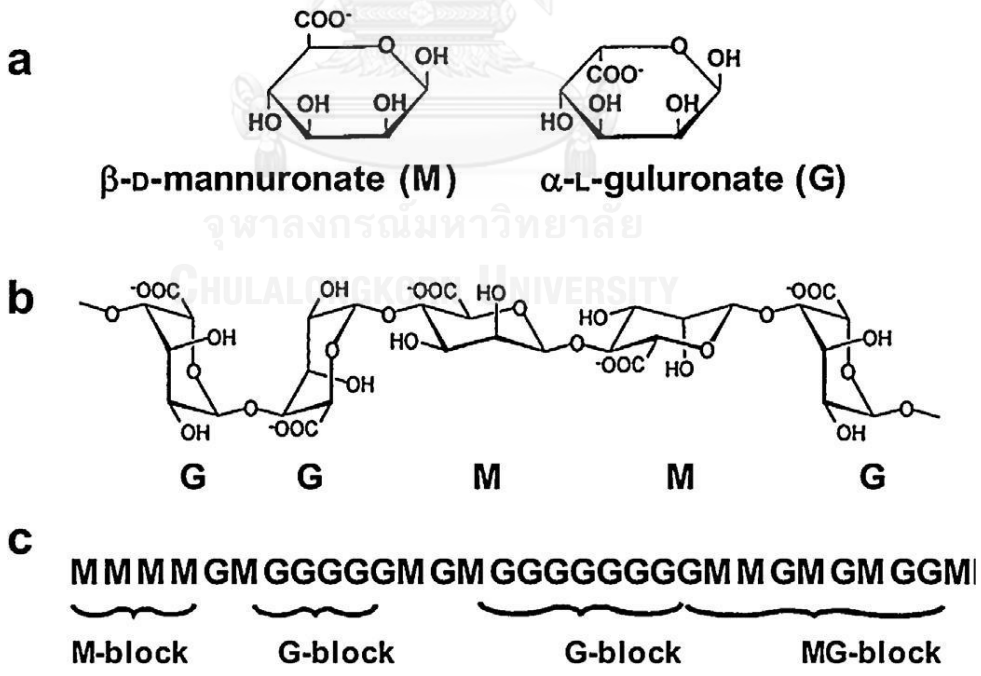
บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด
The abstract and full text of Senior Project in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the Senior Project authors' files submitted through the faculty.

คุณสมบัติคอลลอยด์ที่เป็นเอกลักษณ์และความสามารถในการสร้างเจลที่แข็งแกร่งหรือพอลิเมอร์ที่ไม่ละลายน้ำได้

Hydrophilic films และสารเคลือบผิว เช่น โปรตีนและพอลิแซ็กคาไรด์ โดยทั่วไปจะเป็นเกราะป้องกันออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ที่ดี แต่ไม่ดีต่อไอน้ำ นอกจากนี้การป้องกันไอน้ำที่ไม่ดีอาจให้ประโยชน์บางอย่าง เนื่องจากช่วยให้การเคลื่อนที่ของไอน้ำทั่วทั้งฟิล์มจึงป้องกันการควบแน่นของน้ำ ซึ่งเป็นแหล่งที่มาของการเน่าเสียของจุลินทรีย์ Plasticizers เช่น กลีเซอรอล เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับ polysaccharide และ protein-based edible films เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นของฟิล์มและความสามารถในการแปรรูป โดยการเพิ่มปริมาตรอิสระหรือความคล่องตัวในการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของพอลิเมอร์เพื่อลดพันธะไฮโดรเจนภายในระหว่างโซ่พอลิเมอร์ Plasticizers ส่งผลกระทบต่อความสามารถของระบบในการดึงดูดน้ำและยังเพิ่มการซึมผ่านของออกซิเจน[5]

2.1 Alginate

อัลจิเนตเป็นสารประกอบขึ้นรูปฟิล์มที่น่าสนใจเนื่องจากไม่มีพิษ สามารถย่อยสลายทางชีวภาพ มีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ และราคาต่ำ



รูปที่ 2.1 ลักษณะโครงสร้างของอัลจิเนต: (a) alginate monomers, (b) chain conformation, (c) block distribution[3]

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด
The abstract and full text of Senior Project in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the Senior Project authors' files submitted through the faculty.

ในการสกัดอัลจิเนต สาหร่ายจะถูกแบ่งออกเป็นชิ้นๆ และกวนด้วยสารละลายร้อนของ อัลคาไลน์ ซึ่งมักจะเป็นโซเดียมคาร์บอเนต หลังจากผ่านไปประมาณ 2 ชั่วโมง อัลจิเนตจะละลายเป็นโซเดียมอัลจิเนตให้สารละลายข้นหนืดและประกอบด้วยส่วนที่ไม่ละลายของสาหร่าย ซึ่งส่วนใหญ่เป็นเซลลูโลส สารละลายถูกเจือจางด้วยน้ำปริมาณมาก จากนั้นนำไปผ่านการกรองในเครื่องกรองพร้อมกับสารช่วยกรอง ขั้นตอนสุดท้ายคือการตกตะกอนของอัลจิเนตจากสารละลายที่ผ่านการกรองไม่ว่าจะเป็นกรดอัลจินิกหรือแคลเซียมอัลจิเนต การปรับสภาพล่วงหน้า (ก่อนการสกัดด้วยอัลคาไลน์) ของสาหร่ายทะเลด้วยกรดทำให้การสกัดมีประสิทธิภาพมากขึ้น ผลิตภัณฑ์สีจางลง และลดการสูญเสียความหนืดในระหว่างการสกัด เนื่องจากมีสารประกอบจำพวกฟีนอลิก

จากโครงสร้างโซ่ตรงของอัลจิเนตสามารถสร้างฟิล์มที่แข็งแรงและโครงสร้างเส้นใยที่เพียงพอในสถานะของแข็ง ดังนั้นอัลจิเนตจึงเป็นวัสดุก่อฟิล์มที่ดี อัลจิเนตถูกนำไปใช้มากมาย สามารถใช้ในอาหารเพื่อจำกัดการสูญเสียน้ำของเนื้อสัตว์ ปลา และผลไม้ ในอุตสาหกรรมเครื่องดื่มใช้เป็นสารเพิ่มความคงตัว การขึ้นรูปเจลและคอลลอยด์ ในอุตสาหกรรมที่ไม่ใช่อาหาร เช่น การพิมพ์สิ่งทอ รวมถึงในทางยาและการแพทย์ อัลจิเนตสามารถใช้เป็นเมทริกซ์พอลิเมอร์เพื่อห่อหุ้มยา โปรตีน เซลล์ และ DNA

อัลจิเนตสามารถแยกได้จากผนังเซลล์ของสาหร่ายสีน้ำตาล (*Laminaria digitata* และ *Ascophyllum nodosum*) ซึ่งมีแคลเซียม แมกนีเซียม และเกลือโซเดียมของกรดแอลจินิก นอกจากนี้ยังสามารถสังเคราะห์โดยจุลินทรีย์ อัลจิเนตเป็นโครงสร้างประจุลบพอลิแซ็กคาไรด์ที่ละลายน้ำได้ ประกอบด้วยหน่วยโมโนเมอิกของ 1-4-linked -d-mannuronate (M) และ -l-guluronate (G) (รูปที่ 2.1a, b) ห่วงโซ่พอลิเมอร์ของอัลจิเนตประกอบด้วย 3 ชนิดในสัดส่วนที่ต่างกันและการแตกต่างกันในโซ่ (รูปที่ 2.1c) ในคุณสมบัติทางกายภาพของอัลจิเนตขึ้นอยู่กับสัดส่วนสัมพัทธ์ของ 3 ชนิด ชนิด G ประกอบด้วยหน่วยที่ได้จากกรด l-guluronic ซึ่งทำให้เกิดความแข็งแรงของเจลที่มากขึ้น ชนิด M จะประกอบด้วยกรด d-mannuronic และชนิด MG ประกอบด้วยหน่วยสลับของกรด d-mannuronic และกรด l-guluronic ซึ่งเป็นตัวกำหนดความสามารถในการละลายของอัลจิเนตในกรด ชนิด M และ G เป็นที่รู้จักกันในชื่อ homopolymeric blocks และชนิด MG เป็น heteropolymeric block สัดส่วนสัมพัทธ์ของแต่ละหน่วยขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ ส่วน และอายุของสาหร่ายทะเลที่นำมาแยกอัลจิเนต แหล่งที่มาทางชีวภาพ การเจริญเติบโต และฤดูกาลก็เป็นตัวกำหนดเช่นกัน

องค์ประกอบและลำดับของอัลจิเนตโมโนเมอร์ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติของเจลอัลจิเนต เนื่องจากการเลือกไอออนที่จำเป็นสำหรับการสร้างเจล

สารละลายอัลจิเนตสามารถสร้างเจลได้โดยการลดค่า pH ต่ำกว่าค่า pKa ของ guluronic หรือมี divalent ions ไอออนเหล่านี้รวมถึงแคลเซียม, แมกนีเซียม, แมงกานีส, อลูมิเนียม และเหล็ก

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด
The abstract and full text of Senior Project in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the Senior Project authors' files submitted through the faculty.

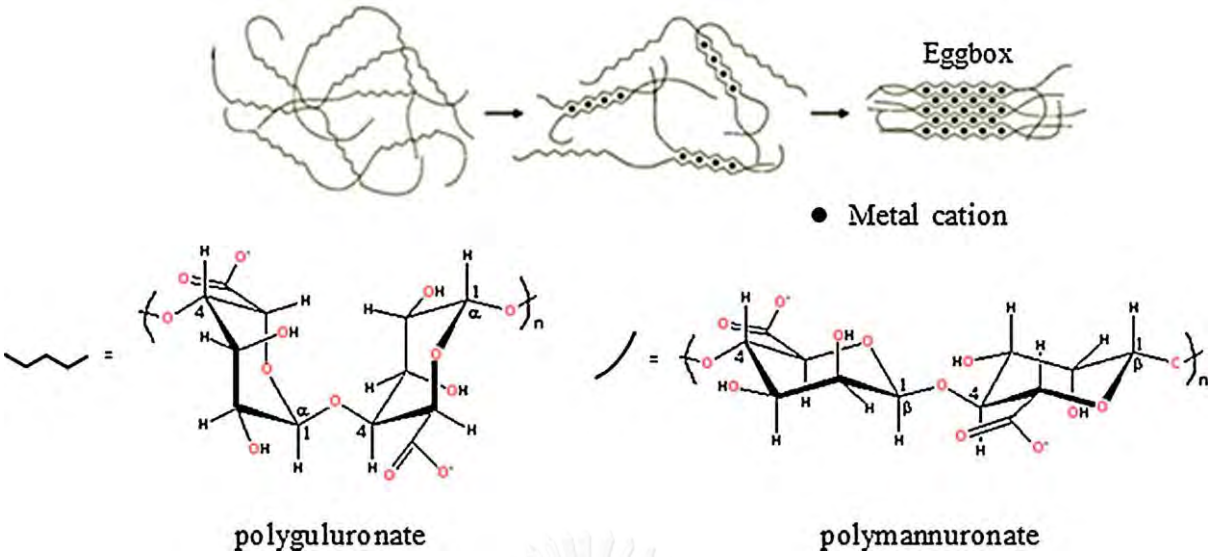
ความสามารถของอัลจิเนตต่อไอออนลดลงตามลำดับ: Pb> Cu> Cd> Ba> Sr> Ca> Co, Ni, Zn> Mn

คุณสมบัติที่มีประโยชน์ของอัลจิเนต เป็นสาเหตุของเจลที่แข็งแรงหรือพอลิเมอร์ที่ละลายในน้ำต่ำ หมายถึงความสามารถในการทำปฏิกิริยากับไอออนบวกของโลหะโพลีวาเลนท์โดยเฉพาะแคลเซียมไอออน ไอออนเหล่านี้ช่วยในการก่อตัวของความสัมพันธ์ระหว่างบล็อก M และ G ความยาวของบล็อก G กำหนดความสามารถของอัลจิเนตและความจำเพาะเพื่อสร้างปฏิกิริยา บล็อก M และบล็อก MG นั้นแทบจะไม่มีความจำเพาะ การกระจายตัวของไอออนในสารละลายอัลจิเนตทำให้เกิดกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนซึ่งอัลจิเนตที่ละลายน้ำได้ เช่น อยู่ในรูปโซเดียมหรือโพแทสเซียมจะต้องแลกเปลี่ยนไอออนกับ Ca^{2+} การเกิด cross-linking นี้จะเป็นการก่อให้เกิดการเย็นอย่างรวดเร็วและเจลที่ทนต่อความร้อน เมื่อสร้างเจลอัลจิเนตสองตัวที่อยู่ติดกันและเชื่อมโยงกันแบบ diaxially linked ของส่วน guloronic จะก่อตัวเป็นโพรงซึ่งทำหน้าที่เป็นแหล่งรวมของแคลเซียมไอออน การจัดเรียงนี้เป็นภาพเป็นแบบ “egg-box” model (รูปที่ 2.2) คุณสมบัติเชิงกลของฟิล์มเกี่ยวข้องโดยตรงกับจำนวนของไซต์ของ eggbox ดังนั้นสามารถปรับปรุงคุณสมบัติของฟิล์มได้เช่นเดียวกับน้ำและ mechanical resistant, barrier properties, cohesiveness, และ rigidity สามารถปรับปรุงได้

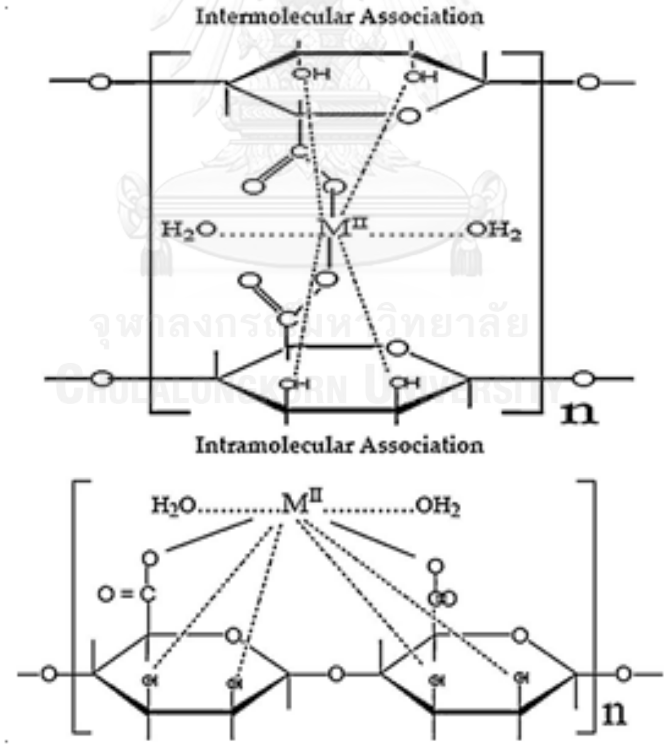
อย่างไรก็ตามกลไกที่ชัดเจนของเจลอัลจิเนตยังไม่แน่ชัด แคทไอออนจะจับกับ carboxylate และ hydroxyl groups ของอัลจิเนต การจับกันนี้ไม่ง่ายแต่เป็นสะพานเชื่อมระหว่างไอออนโลหะและ carboxylate สองตัว และ hydroxyl groups หนึ่งคู่หรือมากกว่านั้น เกิดขึ้นผ่านพันธะไอออนิก ดังนั้นจึงมีการเสนอกลไกสองขั้นตอนสำหรับการศึกษาดังกล่าว (รูปที่ 2.3) ขั้นตอนแรกการก่อตัวจาก van der Waals และพันธะไฮโดรเจน ตามด้วยการก่อตัวของความสัมพันธ์ระหว่าง intermolecular dimer ระหว่างคาร์บอกซิเลทและไฮดรอกซิล

บล็อกของอัลจิเนต 3 ชนิดนั้นมีปฏิกิริยาที่ต่างกัน ชนิด M จับกับประจุบวกกลุ่มคาร์บอกซีเลต ในขณะที่บล็อก G รวมประจุบวกเข้าไปในโครงสร้างที่เหมือนกระเป๋าที่เกิดจากส่วนของ G ที่อยู่ติดกัน ในบล็อก MG จะเกิดในโครงสร้างจากคู่ M-G

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด
The abstract and full text of Senior Project in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the Senior Project authors' files submitted through the faculty.



รูปที่ 2.2 การก่อตัวของ "eggbox" ในระหว่างการเกิดเจลอัลจิเนต[3]



รูปที่ 2.3 Intermolecular และ intramolecular interactions ของ alginate และ metal cations[3]

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด
The abstract and full text of Senior Project in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the Senior Project authors' files submitted through the faculty.

การผสมโดยตรงของอัลจิเนตและโลหะแคทไอออนโพลีวาเลนท์ไม่ได้สร้างเจลแบบ homogeneous เนื่องจากเป็นการก่อตัวที่รวดเร็วและเป็นแบบ irreversible การก่อตัวของก้อนเจลเป็นผลมาจากการผสมดังกล่าว ยกเว้นเพียงอย่างเดียวคือปริมาณอัลจิเนตน้อยมากภายใต้แรงเฉือนสูง เพื่อเอาชนะปัญหานี้ความสามารถในการควบคุม crosslinking ไอออนจึงเป็นสิ่งจำเป็น การควบคุมนี้สามารถทำได้โดยใช้วิธีการเตรียมเจลที่แตกต่างกันสองวิธี: diffusion และ internal setting ในวิธี diffusion (รูปที่ 2.4a) cross-linking ions เช่น Ca^{2+} จะกระจายจากด้านนอกไปยังสารละลายอัลจิเนต ในวิธี internal setting (in situ gelation) (รูปที่ 2.4b) inert ion จะถูกเปลี่ยนเป็น active cation โดยการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของสารละลายอัลจิเนตหรือโดยจำกัดการละลายของเกลือแคลเซียม

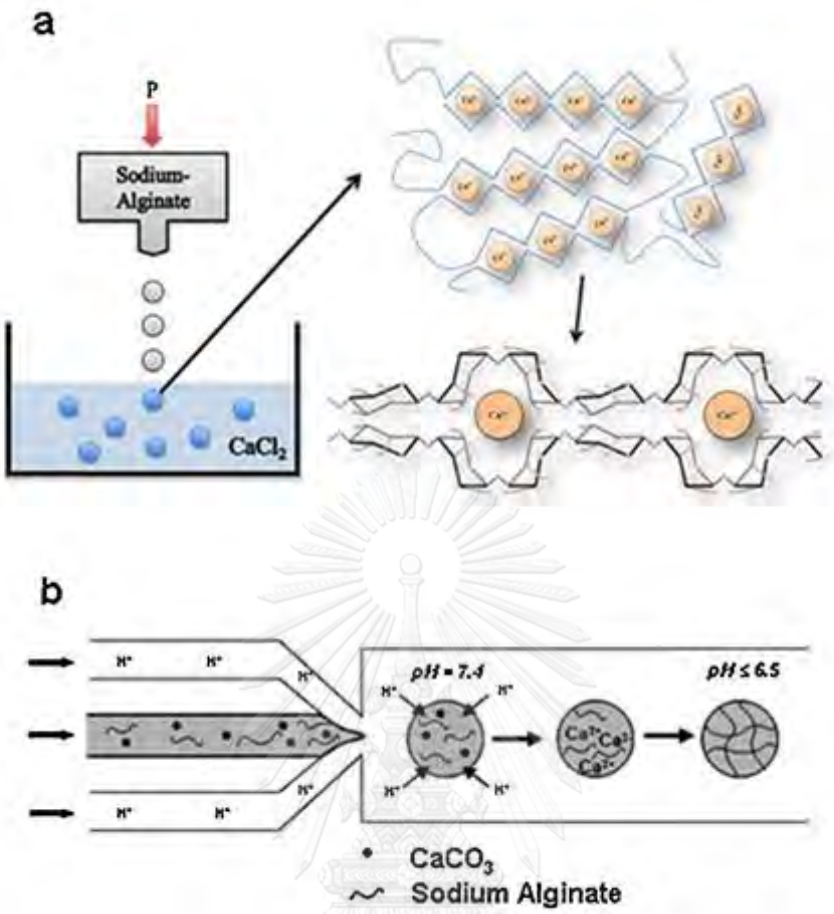
ในวิธี diffusion Ca^{2+} จะทำการ cross-link ผิวหน้าฟิล์มโดยดึงสายพอลิเมอร์ให้อยู่ในรูปแบบที่พื้นผิวสามารถซึมผ่านได้น้อยลง ดังนั้นวิธีการแพร่ทำให้เจลที่มีระดับความเข้มข้นของไอออน Ca^{2+} ผ่านความหนา ในขณะที่วิธี internal setting ให้เจลที่มีความเข้มข้นของไอออนสม่ำเสมอตลอด

โดยการเพิ่มความเข้มข้นของไอออนบวกในระหว่างการเกิดเจลของอัลจิเนต โครงสร้างที่มีการเชื่อมที่หนาแน่นมากขึ้นจะทำให้โครงสร้างมีรูพรุนน้อยลง รวมถึงการลดปริมาณน้ำและการซึมผ่านของเจล อย่างไรก็ตามการมี cross-linker ในปริมาณที่เหมาะสมสามารถเพิ่มจำนวนของไอออนบวกที่ใช้โดยไม่ได้เป็นการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของเจลอย่างมีนัยสำคัญ

โซเดียมอัลจิเนตสามารถสร้างฟิล์มที่มีคุณสมบัติในการละลายน้ำได้ดี มีความมันวาว แข็งแรง ไม่มีกลิ่น ยืดหยุ่น ซึมผ่านออกซิเจนและน้ำมันได้ต่ำ

ในวิธี internal setting โดยใช้ $CaCO_3$ เป็นแหล่งกำเนิดของไอออนแคลเซียม ปฏิกิริยาระหว่างกรดและคาร์บอเนตนำไปสู่การเกิดของ CO_2 ซึ่งทำให้เกิดการก่อตัวของโพรงภายในฟิล์ม ดังนั้นฟิล์มและสารเคลือบที่เตรียมโดยวิธีนี้จะใช้ external cross-linking เป็นฟิล์มที่บางกว่า มีพื้นผิวที่เรียบกว่า มีความแข็งของเมทริกซ์ ความแข็งและการซึมผ่านได้ดีกว่าฟิล์มและสารเคลือบ internally cross-linked[3]

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด
The abstract and full text of Senior Project in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the Senior Project authors' files submitted through the faculty.



รูปที่ 2.4 Two gel preparing methods: diffusion setting (a), internal setting (b)[3]

การทำแห้งเยือกแข็งนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายเป็นเทคนิคในการเก็บรักษาระยะยาวสำหรับแบคทีเรียและยีสต์ อุณหภูมิที่ต่ำโดยเฉพาะต่ำกว่าจุดเยือกแข็งอาจทำให้เกิดความเสียหายอย่างรุนแรงต่อจุลินทรีย์เนื่องมาจากการก่อตัวของผลึกน้ำแข็งภายในเซลล์ ดังนั้นสาร cryoprotective อาจถูกเพิ่มเข้ามาก่อนกระบวนการทำแห้งเยือกแข็ง เพราะมีบทบาทสำคัญในการเก็บรักษาเชื้อจุลินทรีย์

มีงานวิจัยหลายชิ้นแนะนำให้ใช้ทรีฮาโลสเป็น cryoprotective เนื่องจากให้อัตราการรอดชีวิตของเชื้อจุลินทรีย์สูงหลังจากผ่านกระบวนการแช่แข็งและการทำแห้งเยือกแข็ง Trehalose (α-D-glucopyranosyl α-D-glucopyranoside) เป็น non-reducing disaccharide ของ glucose และมีหน้าที่ที่สำคัญคือการปกป้องโปรตีนและไขมันที่รวมอยู่ในโครงสร้างของเมมเบรนภายใต้ความร้อนและ freeze-thaw ข้อได้เปรียบหลักของการใช้ทรีฮาโลสเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำตาลอื่นๆ เช่น ซูโครสและแลคโตส คือความสามารถในการจับกับน้ำ เพื่อป้องกันการก่อตัวของผลึกน้ำแข็งในเซลล์และนอก

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด
The abstract and full text of Senior Project in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the Senior Project authors' files submitted through the faculty.

เซลล์ นอกจากนี้ทรีฮาโลสมีความคงตัว ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น มีรสหวานเพียง 45% ของซูโครส และป้องกันการเกิดสีน้ำตาลของผลิตภัณฑ์ในระหว่างกระบวนการปฏิกิริยา Maillard[4]

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด
The abstract and full text of Senior Project in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the Senior Project authors' files submitted through the faculty.

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

~~วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง~~

~~แอปเปิ้ล~~

~~สาร~~เคมีที่ใช้ในการทดลอง

สารละลายอัลจิเนตที่ความเข้มข้น 1.2% 1.6% และ 2% w/v (batch no. 9700852)
สารละลายทรีฮาโลสที่ความเข้มข้น 6% w/v (batch no. 6D14)
สารละลายกลีเซอรอลที่ความเข้มข้น 1% w/w
สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0.4% w/v (batch no. 10035-04-8)

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. เครื่องวัดความชื้น (Sartorius รุ่น MA35, Germany)
2. เครื่องชั่งทศนิยม 3 ตำแหน่ง (Mettler Toledo รุ่น ML203E/01, Switzerland)
3. เครื่อง Ultra-low temperature freezer
4. เครื่อง Lyophilizer Labconco Freezone Plus
5. เครื่องวัดและเทียบสี รุ่น UltraSoan XE
6. เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส รุ่น EZ-S 500N

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด
The abstract and full text of Senior Project in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the Senior Project authors' files submitted through the faculty.

3.1 การเตรียมสารละลายเคลือบผิว

เตรียมสารละลายเคลือบผิวโดยการละลายอัลจิเนต (1.2% 1.6% และ 2% w/v) ในน้ำกลั่นภายใต้การควบคุมความร้อนและกวนจนกว่าส่วนผสมจะใส สารละลายกลีเซอรอล 1% w/w ถูกเติมเป็นพลาสติไซเซอร์ สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (0.4% w/v) สำหรับการเกิดพอลิเมอร์ crosslinking สารละลายทรีฮาโลสที่ความเข้มข้น 6% w/v ถูกเติมเป็น cryoprotectant

3.2 การเคลือบตัวอย่างแอปเปิ้ล

แอปเปิ้ลสะอาดถูกตัดเป็นชิ้นเล็กๆที่มีขนาดใกล้เคียงกัน 10 มม. × 10 มม. × 10 มม. แอปเปิ้ลถูกจุ่มลงในสารละลายเคลือบผิวเป็นเวลา 2 นาที ปล่อยให้น้ำไหลออกจากตัวอย่างเป็นเวลา 1 นาที ก่อนที่จะแช่ตัวอย่างไว้นาน 2 นาทีในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ตัวแปรควบคุมคือแอปเปิ้ลที่ไม่เคลือบผิวจะถูกแช่อยู่ในน้ำกลั่นภายใต้วิธีทำเดียวกัน ผลไม้ที่เคลือบผิวและไม่เคลือบผิวถูกเก็บไว้ในตู้เย็นเป็นเวลา 60 ชั่วโมง

3.3 การทำแห้งแบบเยือกแข็ง

ตัวอย่างแอปเปิ้ลที่เคลือบด้วยสารละลายเคลือบผิวชนิดต่างๆ ชนิดละประมาณ 30 ชิ้น จะถูกนำไปใส่ลงในถาด ซึ่งถูกควบคุมด้วยระบบทำความร้อนและระบบทำความเย็นภายใน chamber โดยใช้ ultra-low temperature freezer ดำเนินการแช่แข็ง (ที่ −80 ° C) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากการแช่แข็งเป็นเวลา 24 ชั่วโมงแล้ว แอปเปิ้ลแช่แข็งข้างต้นจะถูกถ่ายโอนไปยังเครื่องทำแห้งเยือกแข็งผ่านกระบวนการ Freeze Drying (FD) อุณหภูมิตลอดกระบวนการ FD ถูกควบคุมตามที่ตั้งไว้ล่วงหน้าโดยอัตโนมัติ จนกระทั่งอุณหภูมิสิ้นสุดที่ −65 ° C ที่ความดันห้อง 40 Pascal การทำแห้งเยือกแข็งดำเนินการเป็นเวลา 60 ชั่วโมง

3.4 การศึกษาคุณสมบัติของแอปเปิ้ลที่ผ่านการทำแห้งเยือกแข็ง

3.4.1 ปริมาณความชื้น

ตรวจสอบปริมาณความชื้นของแอปเปิ้ลแห้งที่เคลือบด้วยสารละลายเคลือบผิวชนิดต่างๆ ชนิดละประมาณ 3 ชิ้น โดยใช้เครื่องวัดความชื้น Sartorius รุ่น MA35

3.4.2 การสูญเสียมวล

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด
The abstract and full text of Senior Project in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the Senior Project authors' files submitted through the faculty.

แอปเปิ้ลแห้งที่เคลือบด้วยสารละลายเคลือบผิวชนิดต่างๆ ชนิดละประมาณ 30 ชิ้น ถูกนำมาวัดเพื่อหาค่าการสูญเสียมวล การสูญเสียมวลของตัวอย่างที่ผ่านการทำ FD จะคำนวณโดยใช้สูตรต่อไปนี้:

$$ML\ (\%) = 100\% \times [(m_o - m_f) \div (mo)]$$

โดย ML (%) เป็นเปอร์เซ็นต์ของมวลที่สูญเสียของตัวอย่าง และ m_0 (g) และ m_f (g) เป็นน้ำหนักของตัวอย่างก่อนและหลังผ่านการทำ FD ตามลำดับ

3.4.3 Rehydration capacity

แอปเปิ้ลแห้งที่เคลือบด้วยสารละลายเคลือบผิวชนิดต่างๆ มาชั่งให้ได้ชนิดละประมาณ 1 กรัม จากนั้นนำมาแช่ในน้ำกลั่น 100 มล. ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที นำมาวางบนตะแกรงเพื่อสะเด็ดน้ำที่พื้นผิวเป็นเวลา 2 นาที หลังจากนั้นบันทึกค่าน้ำหนัก และนำมาคำนวณค่า rehydration capacity (RC) จากสมการ:

$$RC = m_f/m_o$$

โดยที่ m_f และ m_0 เป็นน้ำหนักหลังการแช่น้ำ และน้ำหนักเริ่มต้นของตัวอย่าง FD ตามลำดับ

3.4.4 การวิเคราะห์พื้นผิว

ทำการวิเคราะห์พื้นผิวตัวอย่างแอปเปิ้ลแห้งที่เคลือบด้วยสารละลายเคลือบผิวชนิดต่างๆ ชนิดละประมาณ 3 ชิ้น โดยใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส รุ่น EZ-S 500N (texture analyzer) ซึ่งมี cylindrical penetrometer probe ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 ซม. และทดสอบการบีบอัด (compression test) เพื่อให้เกิดการเสียรูปที่ 7 มม. ที่อัตรา 1.5 มม./วินาที

3.4.5 การวิเคราะห์สี

ทำการวิเคราะห์สีตัวอย่างแอปเปิ้ลแห้งที่เคลือบด้วยสารละลายเคลือบผิวชนิดต่างๆ ชนิดละประมาณ 3 ชิ้น โดยใช้เครื่องวัดและเทียบสี รุ่น UltraSoan XE ค่าสีของตัวอย่าง FD จะพิจารณาจากเทคนิคการประมวลผลภาพ โดยวางตัวอย่างในกล่องภาพ (60 ซม. x 60 ซม. x 60 ซม. ทึบแสง) ซึ่งติดตั้งกล้องดิจิตอลและมีไฟ LED 2 ดวง (25 W, 40 ซม., 6500 K) เพื่อป้องกันเงาของผลิตภัณฑ์ บันทึกภาพด้วยกล้อง DSLR และวิเคราะห์โดยใช้ซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ที่เหมาะสม (Matlab) ค่าสีของตัวอย่างจะถูกแปลงจาก R, G, B เป็นค่า Hunter

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด
The abstract and full text of Senior Project in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the Senior Project authors' files submitted through the faculty.

L, a, b โดยปรับเทียบค่า Hunter L, a, b โดยใช้สีขาว (L: 97.46; a: 0.02; b: 1.72) เป็นตัวเทียบ กำหนดค่าพารามิเตอร์ a (สีแดงเขียว), b (สีเหลืองสีน้ำเงิน) และ L (ความส่องสว่าง) ความแตกต่างของสีทั้งหมด (ΔEab) คำนวณเป็น

$$\Delta E_{ab} = \sqrt{(L_f^* - L_0^*)^2 + (a_f^* - a_0^*)^2 + (b_f^* - b_0^*)^2}$$

ที่ o และ f แสดงถึงค่าเริ่มต้น(ก่อน FD) และค่าสุดท้าย (หลัง FD) ของพารามิเตอร์ a และ b

3.4.6 สถิติและการวิเคราะห์ข้อมูล

ค่าที่ได้จากการทดลองจะมี 3 ค่าและผลลัพธ์จะแสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด
The abstract and full text of Senior Project in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the Senior Project authors' files submitted through the faculty.

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

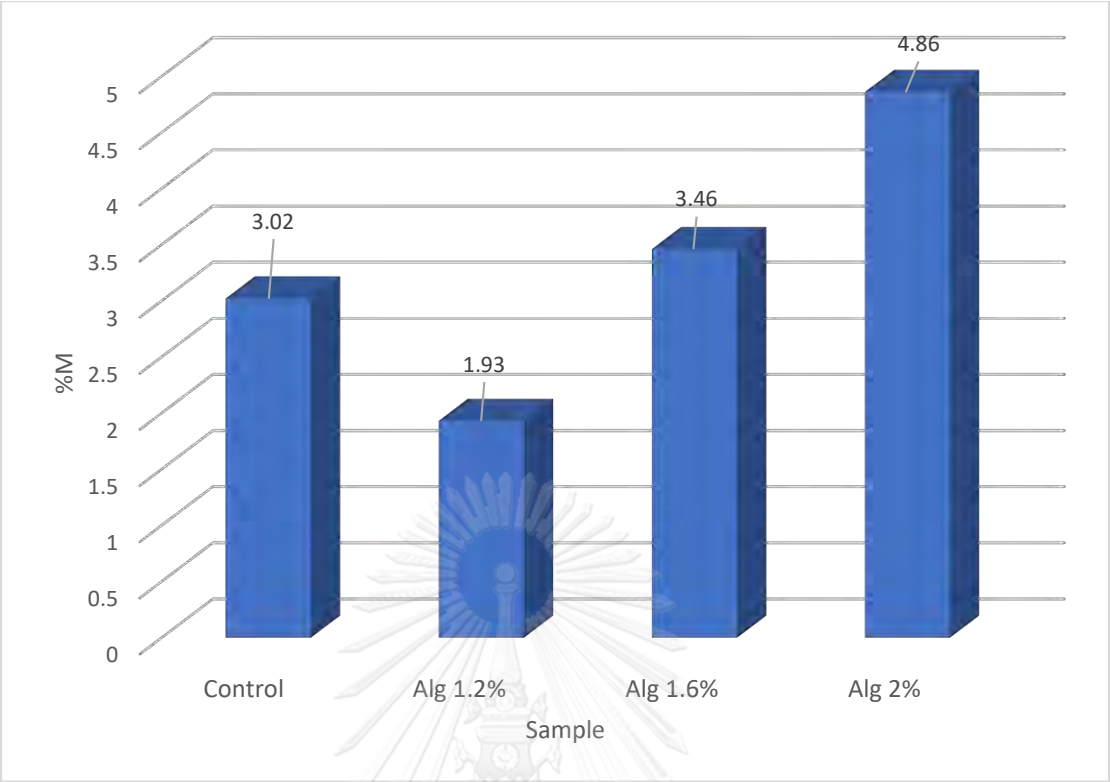
4.1 ปริมาณความชื้น

จากการนำเนื้อผลแอปเปิ้ลไปผ่านกระบวนการทดสอบหาความชื้น โดยนำแอปเปิ้ลแห้งที่เคลือบด้วยสารละลายเคลือบผิวชนิดต่างๆ ชนิดละประมาณ 3 ชิ้น โดยใช้เครื่องวัดความชื้น Sartorius รุ่น MA35 ได้ปริมาณความชื้นจากแอปเปิ้ลดังนี้

ตารางที่1 การคำนวณ %ปริมาณความชื้น

Sample	Control 0.347 g	Control 0.322 g	Control 0.348 g		
%M	3.16	2.45	3.44	Mean 3.02	S.D. 0.51
Sample	Alg 1.2% 0.393 g	Alg 1.2% 0.331 g	Alg 1.2% 0.303 g		
%M	1.02	2.41	2.35	Mean 1.93	S.D. 0.79
Sample	Alg 1.6% 0.193 g	Alg 1.6% 0.263 g	Alg 1.6% 0.205 g		
%M	3.61	3.79	2.97	Mean 3.46	S.D. 0.43
Sample	Alg 2% 0.272 g	Alg 2% 0.294 g	Alg 2% 0.223 g		
%M	1.47	8.19	4.93	Mean 4.86	S.D. 3.36

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด
The abstract and full text of Senior Project in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the Senior Project authors' files submitted through the faculty.



รูปที่ 2.5 แสดง %ปริมาณความชื้น

การหาปริมาณความชื้นพบว่าในตัวอย่างที่เคลือบด้วยสารละลายเคลือบผิวอัลจิเนต 2% มีค่า %M เฉลี่ยสูงที่สุด รองลงมาคือ อัลจิเนต 1.6%, control และอัลจิเนต 1.2% ตามลำดับ เนื่องจากปริมาณน้ำอิสระเป็นส่วนหนึ่งในปริมาณความชื้น เมื่อปริมาณน้ำอิสระเพิ่มขึ้น ค่า Moisture Content มักเพิ่มขึ้นด้วย แต่เป็นการเพิ่มแบบไม่เป็นเส้นตรง นอกจากนี้กราฟ Moisture Sorption Isotherms ของผลิตภัณฑ์คนละชนิดจะมีลักษณะที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความดันไอของโมเลกุลของน้ำในช่องว่างเหนือผลิตภัณฑ์และพลังงานของการจับพันธะของน้ำในผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด

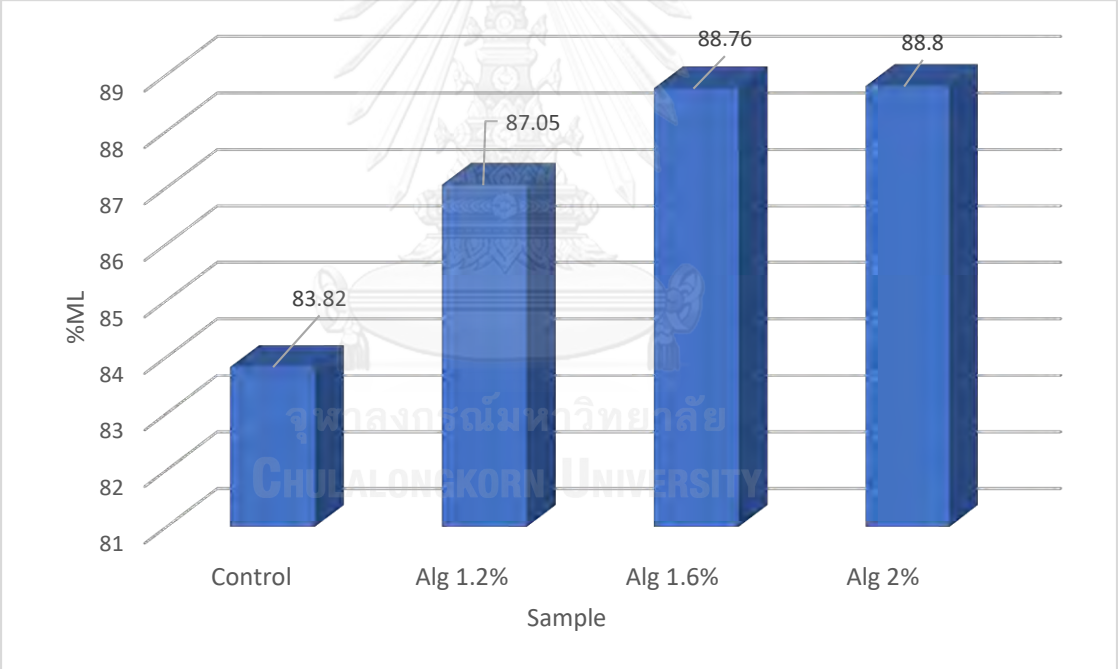
4.2 การสูญเสียมวล

จากการนำเนื้อผลแอปเปิ้ลไปผ่านกระบวนการทดสอบการสูญเสียมวล โดยนำแอปเปิ้ลแห้งที่เคลือบด้วยสารละลายเคลือบผิวชนิดต่างๆ ชนิดละประมาณ 30 ชิ้น ถูกนำมาวัดเพื่อหาค่าการสูญเสียมวล ได้ ML (%) จากแอปเปิ้ลชนิดต่างๆ ดังนี้

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด
The abstract and full text of Senior Project in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the Senior Project authors' files submitted through the faculty.

ตารางที่2 การคำนวณ %การสูญเสียมวล

Sample	m_0 (g)	m_f (g)	%ML
Control	84.505	13.668	83.82
Alg 1.2%	68.137	8.823	87.05
Alg 1.6%	55.960	6.289	88.76
Alg 2%	59.502	6.660	88.80



รูปที่ 2.6 แสดง %ปริมาณการสูญเสียมวล

การหาปริมาณการสูญเสียมวลพบว่าในตัวอย่างที่ไม่เคลือบด้วยสารละลายเคลือบผิวด้วยอัลจิเนตมีค่า %ML ต่ำที่สุด รองลงมาคือ อัลจิเนต 1.2%, อัลจิเนต 1.6% และอัลจิเนต 2% ตามลำดับ เนื่องจากตัวอย่างที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายอัลจิเนตเมื่อนำไปผ่านการทำ Freeze Drying อาจมีการสูญเสียมวลที่เพิ่มมากขึ้นกว่าตัวอย่างที่ไม่เคลือบด้วยสารละลายเคลือบผิวด้วยอัลจิเนต และพบว่าตัวอย่างที่เคลือบผิวด้วยสารละลายอัลจิเนต

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด
The abstract and full text of Senior Project in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the Senior Project authors' files submitted through the faculty.

1.2% มีการสูญเสียมวลน้อยกว่าตัวอย่างที่เคลือบผิวด้วยสารละลายอัลจิเนตความเข้มข้นชนิดอื่นๆ

4.3 Rehydration capacity

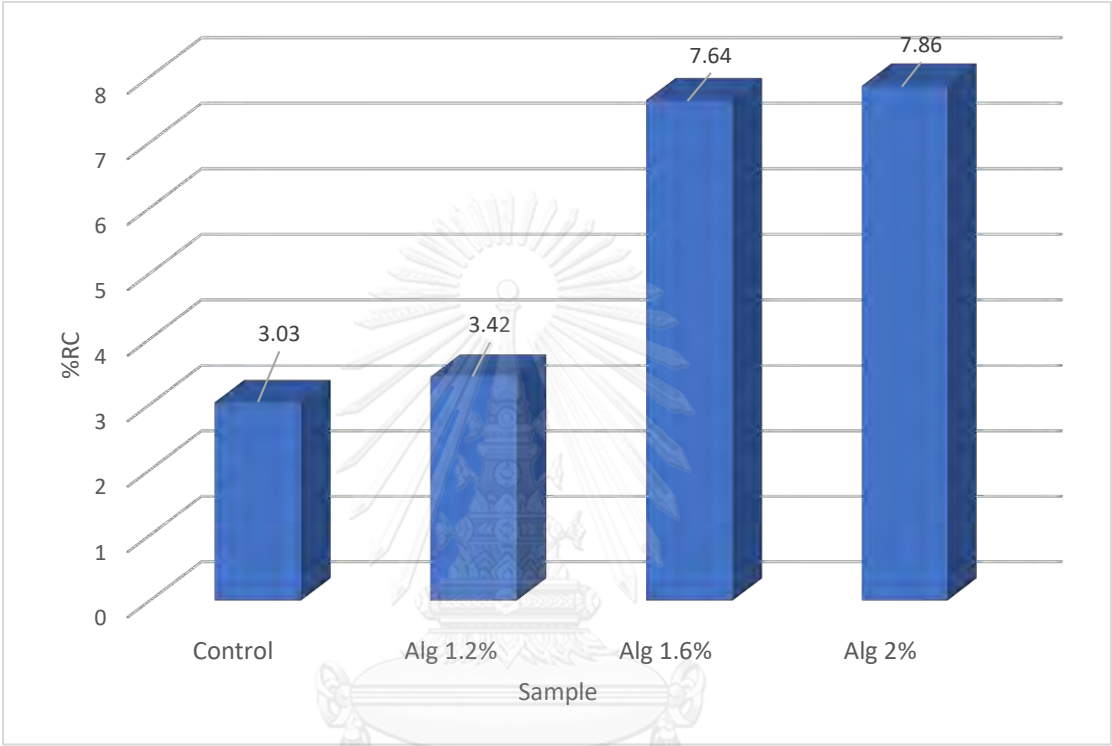
จากการนำเนื้อผลแอปเปิ้ลไปผ่านกระบวนการทดสอบหาค่า rehydration capacity (RC) โดยนำแอปเปิ้ลแห้งที่เคลือบด้วยสารละลายเคลือบผิวชนิดต่างๆ มาชั่งให้ได้ชนิดละประมาณ 1 กรัม ถูกนำมาวัดเพื่อหาค่า rehydration capacity (RC) จากแอปเปิ้ลชนิดต่างๆ ดังนี้

ตารางที่3 การคำนวณ %RC

Sample	m_0 (g)	m_f (g)	%RC		
Control	1.068	3.088	2.891		
	1.089	3.774	3.466		
	1.066	2.924	2.743	Mean 3.03	S.D. 0.38
Alg 1.2%	1.068	3.910	3.661		
	1.094	4.101	3.749		
	1.078	3.080	2.857	Mean 3.42	S.D. 0.49
Alg 1.6%	1.028	7.623	7.415		
	1.044	8.100	7.759		
	1.090	8.438	7.741	Mean 7.64	S.D. 0.19
Alg 2%	1.069	9.004	8.423		

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด
The abstract and full text of Senior Project in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the Senior Project authors' files submitted through the faculty.

	1.060	7.825	7.382		
	1.035	8.058	7.786	Mean 7.86	S.D. 0.52



รูปที่ 2.7 แสดง %RC

การหาค่า rehydration capacity (RC) พบว่าในตัวอย่างที่เคลือบผิวด้วยสารละลายเคลือบผิวอัลจิเนต 2% มีค่า %RC เฉลี่ยสูงที่สุด รองลงมาคือ อัลจิเนต 1.6%, อัลจิเนต 1.2% และ control ตามลำดับ เนื่องจากตัวอย่างที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายอัลจิเนตที่ความเข้มข้นที่มากกว่าจะมีความสามารถในการคืนตัวที่เพิ่มมากขึ้น และพบว่าตัวอย่างที่ไม่เคลือบผิวด้วยสารละลายอัลจิเนตมีค่า %RC น้อยที่สุด

4.4 การวิเคราะห์พื้นผิว

จากการนำเนื้อผลแอปเปิ้ลไปผ่านกระบวนการทดสอบการวิเคราะห์พื้นผิว โดยนำแอปเปิ้ลแห้งที่เคลือบด้วยสารละลายเคลือบผิวชนิดต่างๆ ชนิดละประมาณ 3 ชิ้น โดยใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส รุ่น EZ-S 500N (texture analyzer) ได้ลักษณะดังนี้

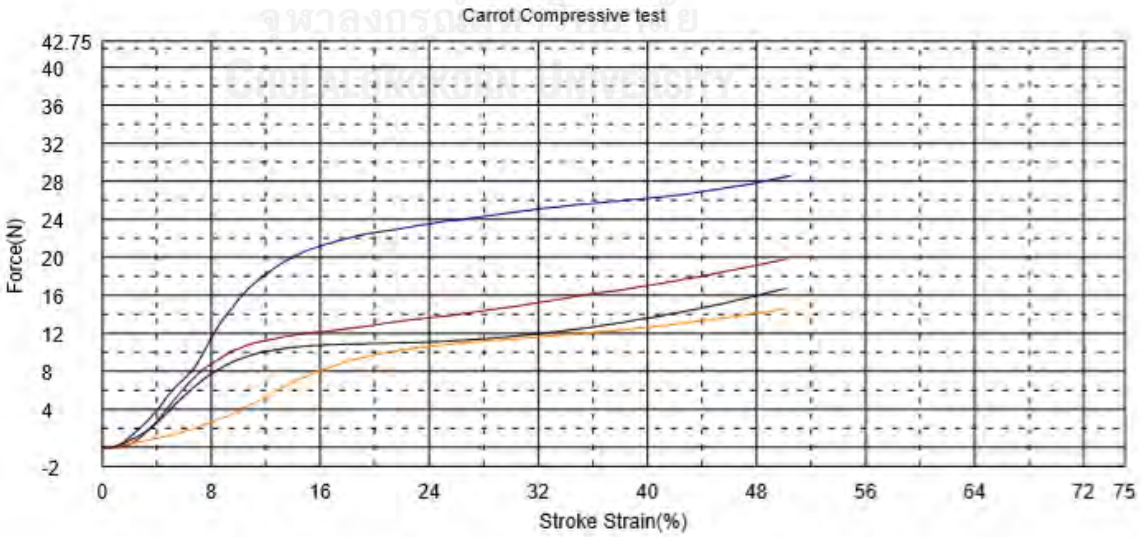
บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด
The abstract and full text of Senior Project in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the Senior Project authors' files submitted through the faculty.

ตารางที่4 การวิเคราะห์พื้นผิว

Shape: Plate

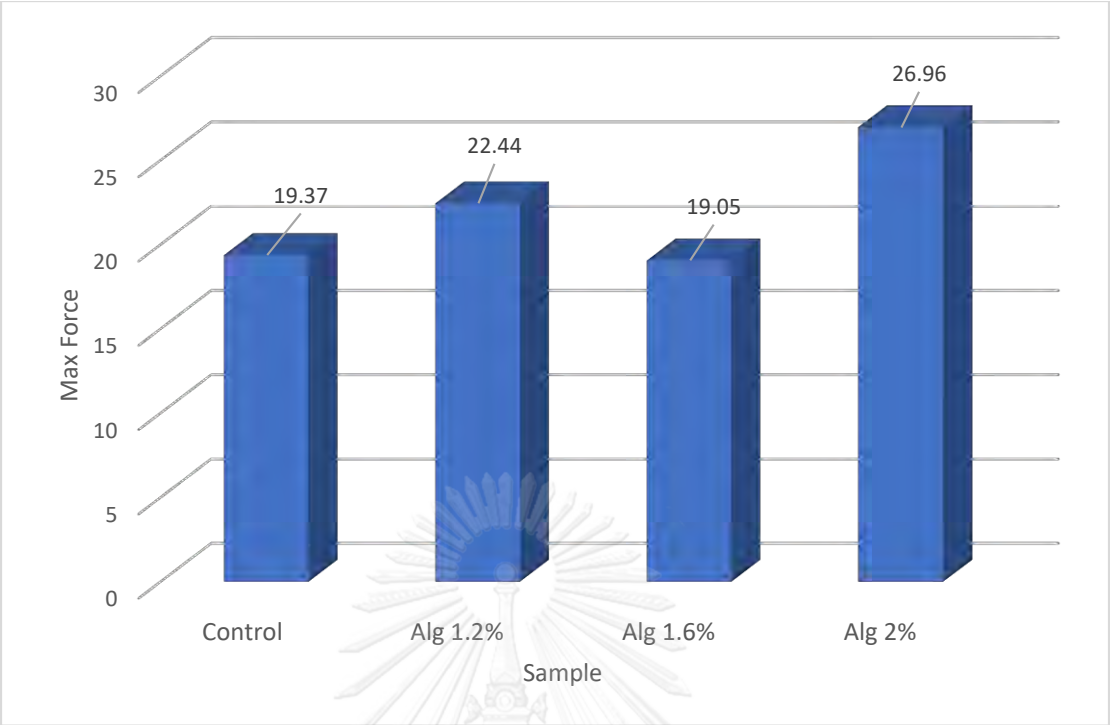
	Thickness	Width	Height
Units	mm	mm	mm
1 - 1	13.4300	11.4500	13.8900
1 - 2	12.4200	11.4100	12.1300
1 - 3	13.3100	13.1500	14.5600
2 - 1	13.6400	15.1200	13.6300
2 - 2	13.0900	14.3800	14.1200
2 - 3	11.7800	12.4300	14.2000
3 - 1	11.6700	13.3700	14.5100
3 - 2	12.5000	14.8900	14.2900
3 - 3	12.9400	12.1500	15.4700
4 - 1	11.6300	12.0300	13.3000
4 - 2	13.3500	13.9300	13.5600
4 - 3	11.5300	12.1600	12.6300

Name	Max_Force	Max_Disp	Max_Stress	Max_Strain	Elastic
Parameter					1, 5 N
Units	N	mm	N/mm2	%	N/mm2
1 - 1	18.5450	6.96700	0.12060	50.1584	1.35031
1 - 2	19.8425	6.08767	0.14002	50.1869	1.13491
1 - 3	18.7675	7.30067	0.10723	50.1419	0.75452
Mean	19.0517	6.78511	0.12262	50.1624	1.07991
Standard Deviation	0.69386	0.62662	0.01649	0.02277	0.30168
2 - 1	29.6125	6.84333	0.14358	50.2079	1.17285
2 - 2	28.6450	7.13800	0.15218	50.5524	0.81643
2 - 3	22.6375	7.17700	0.15460	50.5423	1.21559
Mean	26.9650	7.05278	0.15012	50.4342	1.06829
Standard Deviation	3.77882	0.18243	0.00579	0.19605	0.21916
3 - 1	28.5675	7.28967	0.18309	50.2389	1.85423
3 - 2	24.1475	7.17267	0.12974	50.1936	0.37599
3 - 3	14.6325	7.75900	0.09307	50.1551	0.34130
Mean	22.4492	7.40711	0.13530	50.1959	0.85717
Standard Deviation	7.12105	0.31031	0.04527	0.04194	0.86365
4 - 1	16.7500	6.66900	0.11972	50.1429	0.91194
4 - 2	26.1575	6.78400	0.14066	50.0295	1.27421
4 - 3	15.2150	6.32667	0.10852	50.0924	0.50412
Mean	19.3742	6.59322	0.12297	50.0883	0.89676
Standard Deviation	5.92446	0.23790	0.01631	0.05681	0.38527
Total Mean	21.9600	6.95956	0.13275	50.2202	0.97553
Total Standard Deviation	5.41414	0.45512	0.02479	0.16217	0.44578



Units 1 - Alg 1.6% Units 2 - Alg 2% Units 3 - Alg 1.2% Units 4 – Control

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด
The abstract and full text of Senior Project in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the Senior Project authors' files submitted through the faculty.



รูปที่ 2.8 แสดงค่าเฉลี่ย Max Force

4.5 การวิเคราะห์สี

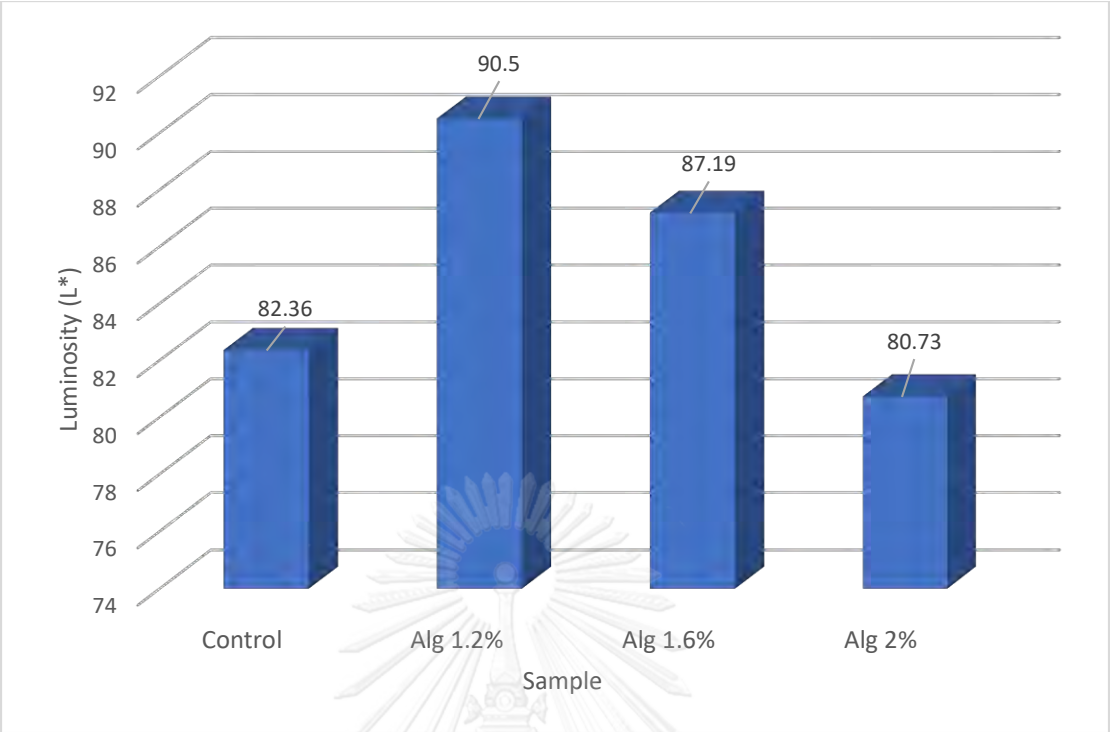
จากการนำเนื้อผลแอปเปิ้ลไปผ่านกระบวนการทดสอบการวิเคราะห์สี โดยนำแอปเปิ้ลแห้งที่เคลือบด้วยสารละลายเคลือบผิวชนิดต่างๆ ชนิดละประมาณ 3 ชิ้น โดยใช้เครื่องวัดและเทียบสี รุ่น UltraSoan XE ได้ลักษณะดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

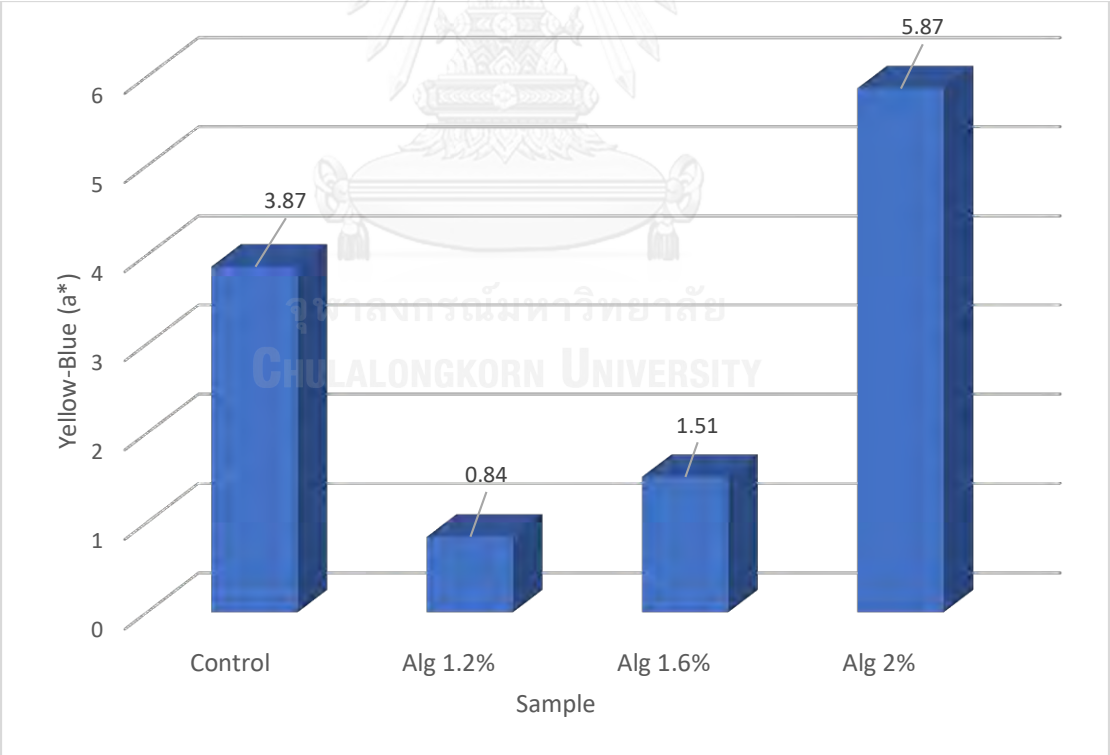
ตารางที่5 การวิเคราะห์สี

	ID	Product ID	Date	Time	L*	a*	b*	dL*	da*	db*	dE*	Delta Descriptor - Re	Opacity Y
2	control1		5-Feb-19	12:19:45	82.06	7.24	35.51	82.06	7.24	35.51			100.6
3	control2		5-Feb-19	12:20:24	82.94	7.81	36.24	82.94	7.81	36.24			100.7
4	control3		5-Feb-19	12:20:53	82.07	8.44	40.05	82.07	8.44	40.05			100.3
5	1.2alg1		5-Feb-19	12:22:14	89.93	0.55	22.94	7.87	-6.69	-12.57	16.27	Lighter, Less Red, Le	100.3
6	1.2alg2		5-Feb-19	12:22:48	91.73	1.07	24.54	8.8	-6.73	-11.7	16.11	Lighter, Less Red, Le	100.8
7	1.2alg3		5-Feb-19	12:23:20	89.84	0.9	24.06	7.78	-7.54	-15.98	19.31	Lighter, Less Red, Le	100.6
8	1.6alg1		5-Feb-19	12:24:14	86.41	2.57	18.3	4.35	-4.67	-17.21	18.35	Lighter, Less Red, Le	101.2
9	1.6alg2		5-Feb-19	12:24:45	87.72	1.34	15.58	4.79	-6.46	-20.66	22.17	Lighter, Less Red, Le	103.5
10	1.6alg3		5-Feb-19	12:25:16	87.45	0.62	13.64	5.39	-7.81	-26.4	28.06	Lighter, Less Red, Le	100.8
11	2alg1		5-Feb-19	12:26:01	70.53	9.1	24.68	-11.54	1.86	-10.83	15.93	Darker, Redder, Less	102.7
12	2alg2		5-Feb-19	12:26:30	86.28	3.22	19.44	3.34	-4.59	-16.8	17.74	Lighter, Less Red, Le	100.4
13	2alg3		5-Feb-19	12:27:14	85.39	5.29	21.23	3.32	-3.14	-18.82	19.36	Lighter, Less Red, Le	100.5

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด
The abstract and full text of Senior Project in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the Senior Project authors' files submitted through the faculty.

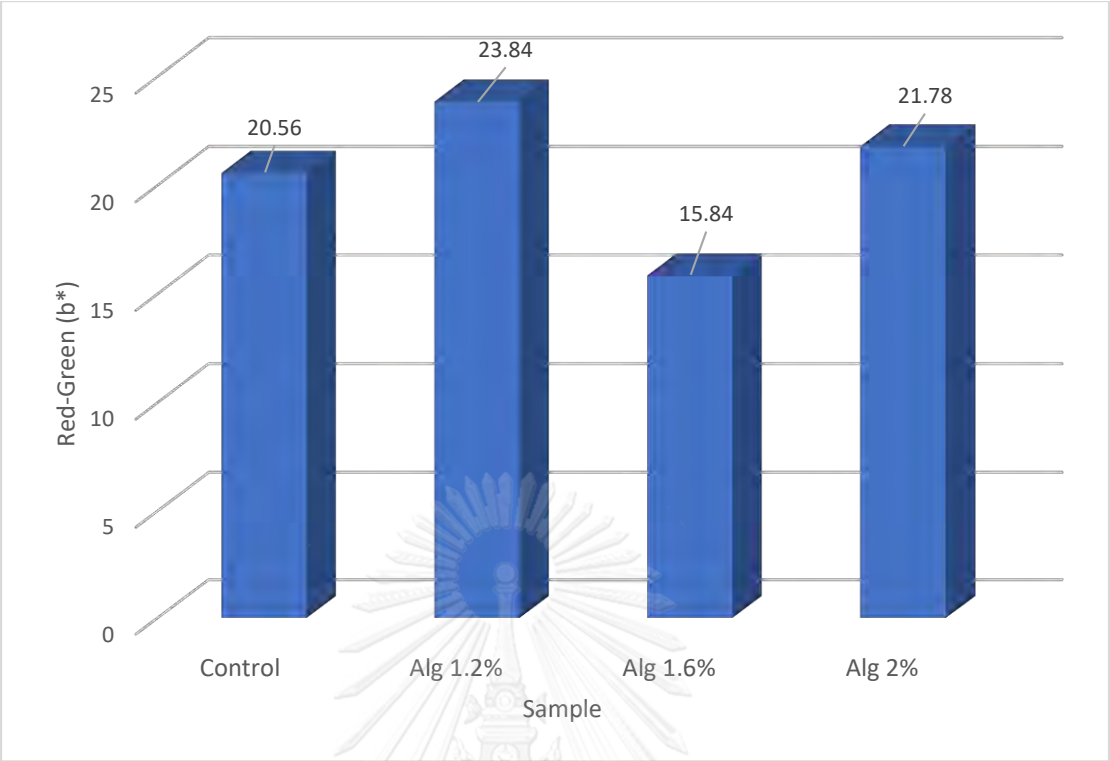


รูปที่ 2.9 แสดงค่าเฉลี่ย Luminosity (L*)



รูปที่ 2.10 แสดงค่าเฉลี่ย Yellow-Blue (a*)

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด
The abstract and full text of Senior Project in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the Senior Project authors' files submitted through the faculty.



รูปที่ 2.11 แสดงค่าเฉลี่ย Red-Green (b*)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด
The abstract and full text of Senior Project in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the Senior Project authors' files submitted through the faculty.

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาผลของสารเคลือบผิวต่อคุณสมบัติของตัวอย่างอาหารหลังผ่านกระบวนการทำแห้งเยือกแข็ง โดยเพื่อเตรียมสารละลายเคลือบผิวที่เหมาะสม สารละลายเคลือบผิวมีส่วนผสมของ alginate และ trehalose โดยประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองด้วยวิธีการศึกษาผลของสารเคลือบผิวต่อคุณสมบัติของตัวอย่างอาหารหลังผ่านกระบวนการทำแห้งเยือกแข็ง เพื่อหาสูตรตำรับที่มีคุณสมบัติทางกายภาพและความคงตัวที่เหมาะสมที่สุด เมื่อนำตัวอย่างแอปเปิ้ลมาผ่านกระบวนการ Freeze Drying มาศึกษาคุณสมบัติของตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งเยือกแข็งด้วยเครื่อง Lyophilizer Labconco Freezone Plus พบว่าการวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นพบว่าในตัวอย่างที่เคลือบด้วยสารละลายเคลือบผิวอัลจิเนต 2% มีค่า %M เฉลี่ยสูงที่สุด นั่นคือการเคลือบผิวด้วยสารละลายเคลือบผิวอัลจิเนต 2% มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการกักเก็บรักษาความชื้น การหาปริมาณการสูญเสียมวลพบว่าในตัวอย่างที่ไม่เคลือบด้วยสารละลายเคลือบผิวด้วยอัลจิเนตมีค่า %ML ต่ำที่สุด รองลงมาคือ อัลจิเนต 1.2% นั่นคือการเคลือบผิวด้วยสารละลายเคลือบผิวอัลจิเนต 1.2% มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการกักเก็บการสูญเสียมวลมากกว่าตัวอย่างที่เคลือบผิวด้วยสารละลายอัลจิเนตความเข้มข้นชนิดอื่นๆ การหาค่า rehydration capacity (RC) พบว่าในตัวอย่างที่เคลือบผิวด้วยสารละลายเคลือบผิวอัลจิเนต 2% มีค่า %RC เฉลี่ยสูงที่สุด นั่นคือการเคลือบผิวด้วยสารละลายเคลือบผิวอัลจิเนต 2% มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการคืนตัว จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าสูตรตำรับที่ใช้สารละลายเคลือบผิวที่ประกอบไปด้วยสารละลายอัลจิเนต 1.2% w/v และทรีฮาโลส 6% w/v มีคุณสมบัติทางกายภาพและมีความคงตัวที่เหมาะสม อย่างไรก็ตามสูตรตำรับที่เหมาะสมที่สุดนั้นจะขึ้นอยู่กับการนำไปใช้งานในแต่ละประเภท

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด
The abstract and full text of Senior Project in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the Senior Project authors' files submitted through the faculty.

เอกสารอ้างอิง

1. Salazar, N. A., Alvarez, C., Orrego, C. E. (2018). Optimization of freezing parameters for freeze-drying mango (*Mangifera indica* L.) slices. Drying Technology, 36(2): 192-204.
2. Wang, H., Fu, Q., Chen, S., Hu, Z., Xie, H. (2018). Effect of hot-water blanching pretreatment on drying characteristics and product qualities for the novel integrated freeze-drying of apple slices. Journal of Food Quality, Article ID 1347513, 12 pages.
3. Tavassoli-Kafrani, E., Shekarchizadeh, H., Masoudpour-Behabadi, M. (2016). Development of edible films and coatings from alginates and carrageenans, Carbohydrate Polymers 137: 360–374.
4. Stefanello, R. F.; Machado, A. A. R., Cavalheiro C. P.; Santos, M. L. B., Nabeshima, E. H., Copetti, M. V.; Fries, L. L. M. (2018). Trehalose as a cryoprotectant in freeze-dried wheat sourdough production. LWT - Food Science and Technology. 89: 510–517.
5. Rojas-Graũ, M. A, Tapia, M. S., Rodríguez, F. J, Carmona, A, J., Martin-Belloso, O. (2007) Alginate and gellan-based edible coatings as carriers of antibrowning agents applied on fresh-cut Fuji apples. Food Hydrocolloids 21: 118–127.
6. Falcão-Rodrigues, M. M., Moldão-Martins, M., Beirão-da-Costa M. L. (2007). DSC as a tool to assess physiological evolution of apples preserved by edibles coatings. Food Chemistry 102: 475–480.
7. Klangmuanga, P., Sothornvita, R. (2018). Active hydroxypropyl methylcellulose-based composite coating powder to maintain the quality of fresh mango. LWT - Food Science and Technology 91: 541–548.
8. Cam, I. B., Gulmez, H. B., Eroglu E., Topuz, A. (2018). Strawberry drying: Development of a closed-cycle modified atmosphere drying system for food products and the performance evaluation of a case study. Drying Technology (in press).

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด
The abstract and full text of Senior Project in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the Senior Project authors' files submitted through the faculty.

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด
The abstract and full text of Senior Project in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the Senior Project authors' files submitted through the faculty.

ภาคผนวก ก.
วิธีการวิเคราะห์

ก.1 วิธีวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น โดยใช้ moisture analyzer

อุปกรณ์

1. เครื่องวิเคราะห์ความชื้น (moisture analyzer) (Sartorius รุ่น MA 35)

วิธีทดลอง

1. ตั้งโปรแกรมการหาความชื้นของเครื่องเป็นแบบอัตโนมัติ และใช้อุณหภูมิ 105 °C
2. นำถาดหาความชื้นที่ผ่านการอบไล่ความชื้นและทิ้งให้เย็นแล้ว วางบนแท่นรองรับ
3. ปิดฝาครอบเครื่อง เสร็จแล้วกดปุ่ม tare เพื่อหักน้ำหนักถาดออก
4. เปิดฝาครอบเครื่องชั่งน้ำหนักใส่ถาด (เครื่องจะบันทึกน้ำหนักที่แน่นอนไว้) เสร็จ แล้วปิดฝาเครื่องจะเริ่มทำงาน
5. เมื่อเครื่องหาความชื้นเสร็จแล้วเครื่องจะหยุดทำงานอัตโนมัติพร้อมกับแสดงค่าปริมาณความชื้น (%) ของตัวอย่าง

ก.2 วิธีวิเคราะห์การสูญเสียมวล

อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งละเอียด ทศนิยม 3 ตำแหน่ง (Mettler Toledo รุ่น ML203E/01, Switzerland)

วิธีทดลอง

1. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างทั้งหมดก่อนผ่านการทำ FD
2. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างทั้งหมดหลังผ่านการทำ FD
3. คำนวณหาปริมาณมวลที่สูญเสียของตัวอย่าง โดยใช้สูตร

$$ML\ (\%) = 100\% \times [(m_o - m_f) \div (mo)]$$

โดย ML (%) เป็นเปอร์เซ็นต์ของมวลที่สูญเสียของตัวอย่าง และ m_0 (g) และ m_f (g) เป็นน้ำหนักของตัวอย่างก่อนและหลังผ่านการทำ FD ตามลำดับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด
The abstract and full text of Senior Project in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the Senior Project authors' files submitted through the faculty.

ก.3 วิธีวิเคราะห์ Rehydration capacity

อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งละเอียด ทศนิยม 3 ตำแหน่ง (Mettler Toledo รุ่น ML203E/01, Switzerland)
2. ตะแกรง

สารเคมี

1. น้ำกลั่น

วิธีทดลอง

1. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างหลังผ่านการทำ FD ให้ได้ประมาณ 1 กรัม
2. นำมาแช่ในน้ำกลั่น 100 มล. ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที
3. นำมาวางบนตะแกรงเพื่อสะเด็ดน้ำที่พื้นผิวเป็นเวลา 2 นาที
4. บันทึกค่าน้ำหนัก และนำมาคำนวณ โดยใช้สูตร RC = m_f/m_o โดยที่ m_f และ m_0 เป็นน้ำหนักหลังการแช่น้ำ และน้ำหนักเริ่มต้นของตัวอย่าง FD ตามลำดับ

ก.4 วิธีวิเคราะห์พื้นผิว

อุปกรณ์

1. เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส รุ่น EZ-S 500N (texture analyzer)

วิธีทดลอง

1. เปิดเครื่องสำรองไฟ และเครื่องคอมพิวเตอร์
2. เปิดเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส ปุ่มสวิทซ์ ด้านหลังของเครื่อง
3. คลิ๊กเข้าโปรแกรม Texture
4. เลือกเมนู T.A. Settings...
5. เมนู Target Mode เปลี่ยนจาก Distance เป็น Strain
6. ตั้งค่า Pre-Test speed ต้องให้เท่ากับ Test Speed เสมอ
7. กำหนดค่า Strain คือ เปอร์เซ็นต์ความสูงของตัวอย่างที่ต้องการให้หัววัดกดลงไป เมื่อให้ความสูงของตัวอย่างทั้งหมดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งต้องกำหนดค่าเปอร์เซ็นต์ Strain อย่างน้อยให้เท่ากับครึ่งหนึ่งของความสูงตัวอย่าง คือ Strain 50 % แล้วคลิ๊ก OK
8. เมนู T.A. เลือก Run a Test...
9. คลิ๊ก Probe Selection เพื่อเลือกชนิดหัววัด
10. เมนู Unknown คลิ๊กเพื่อเลือกหัววัด P/50

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด
The abstract and full text of Senior Project in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the Senior Project authors' files submitted through the faculty.

11. คลิ๊ก Archive Information
12. ใส่ชื่อตัวอย่างในช่อง File ID และ ใส่จำนวนซ้ำที่ช่อง File Number โดยเริ่มจากซ้ำที่ 1
13. เลือก Browse ในช่อง Path เพื่อบันทึกผลการทดลอง
14. เลือกไฟล์ Disk (D) เพื่อเก็บข้อมูลผลการทดลอง
15. สร้าง New Folder ชื่อผู้ทำการทดลอง แล้วคลิ๊ก Open
16. นำตัวอย่างมาวางบนฐานของเครื่องวัด
17. กด Start Test เครื่องจะทำการวัดตัวอย่างให้อัตโนมัติ
18. โปรมแกรมจะถามว่าสัญลักษณ์ อยู่ตรงจุดสูงสุดของเส้นกราฟหรือไหม ถ้าใช่ ให้กด Yes
19. เมื่อวิเคราะห์ตัวอย่างซ้ำต่อไปให้คลิ๊ก T.A. เลือก Quick Test Run โปรมแกรมจะทำการบันทึกชื่อกับจำนวนซ้ำของตัวอย่างและวิเคราะห์ตัวอย่างให้อัตโนมัติ

ก.5 วิธีวิเคราะห์สี

อุปกรณ์

1. เครื่องวัดและเทียบสี รุ่น UltraSoan XE

วิธีทดลอง

1. เปิดเครื่องสำรองไฟและคอมพิวเตอร์
2. เปิดเครื่องวัดค่าสี โดยกดปุ่มสวิทซ์ทางด้านหลังของเครื่อง
3. ดับเบิ้ลคลิ๊ก เพื่อเข้าโปรแกรม EZMQC
4. คลิ๊ก Sensor เลือก Set Modes
5. คลิ๊กเลือก Mode #1 คือ RSEX-Reflectance Specular Excluded เพื่อวัดตัวอย่างที่ทึบแสง
6. คลิ๊ก Standardize
7. นำแผ่นเทียบสีมาตรฐานสีดำ (Light Trap) มาวางที่ Reflectance Port อยู่ทางด้านข้างของเครื่อง Scan วัดค่าสี
8. คลิ๊ก Next
9. นำแผ่นเทียบสีมาตรฐานสีขาว (White tile) มาวางที่ Reflectance Port อยู่ทางด้านข้างของเครื่อง Scan วัดค่าสี
10. คลิ๊ก Next
11. คลิ๊ก Finish
12. คลิ๊ก OK

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด
The abstract and full text of Senior Project in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the Senior Project authors' files submitted through the faculty.

13. นำตัวอย่างใส่ในคิวเวตแก้วทรงกระบอกปริมาณ ¾ ของคิวเวต (น้ำหนักตัวอย่างที่ใส่ต้องเท่ากันทุกครั้ง)
14. เช็ดคิวเวตทรงกระบอกส่วนของด้านใสให้แห้งด้วยกระดาษทิชชู่ โดยใช้มือจับคิวเวตส่วนของด้านทึบ
15. นำคิวเวตที่มีตัวอย่างไปวางที่ Reflectance โดยให้ส่วนใสของคิวเวตอยู่ตรงช่องวัดค่าสี
16. ปิดฝาครอบคิวเวต เพื่อไม่ให้แสงภายนอกมีผลต่อสีของตัวอย่าง
17. คลิ๊ก Read Sample เครื่องจะทำการวิเคราะห์ค่าสีของตัวอย่างให้อัตโนมัติ
18. ใส่ชื่อตัวอย่างที่ช่องเมนู Sample ID แล้วคลิ๊ก OK
19. ตารางแสดงผลการทดลอง ค่า L,a,b
20. เมื่อเสร็จสิ้นการทดลอง ปิดโปรแกรมวัดค่าสี EZMQC ในหน้าจอคอมพิวเตอร์
21. ปิดเครื่องคอมพิวเตอร์และเครื่องสำรองไฟ
22. ทำความสะอาดอุปกรณ์และเช็ดให้แห้งเก็บไว้ให้เป็นระเบียบเพื่อสะดวกในการใช้ครั้งต่อไป
23. ลงชื่อจดบันทึกการใช้งาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด
The abstract and full text of Senior Project in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the Senior Project authors' files submitted through the faculty.

ภาคผนวก ข.
วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองและผลิตภัณฑ์ระหว่างกระบวนการ

ข.1 แอปเปิ้ลที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการทดลอง

รูปที่ ข.1 แอปเปิ้ลที่ใช้ในการทดลอง

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด
The abstract and full text of Senior Project in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the Senior Project authors' files submitted through the faculty.

ข.2 การเคลือบผิว

รูปที่ ข.2.1 ขั้นตอนการเคลือบผิว

รูปที่ ข.2.2 ขั้นตอนการเคลือบผิว

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด
The abstract and full text of Senior Project in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the Senior Project authors' files submitted through the faculty.

ข.3 การทำแห้งแบบเยือกแข็ง

รูปที่ ข.3 ขั้นตอนการทำแห้งแบบเยือกแข็ง

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด
The abstract and full text of Senior Project in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the Senior Project authors' files submitted through the faculty.

ข.4 วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

รูปที่ ข.4.1 สารละลายเคลือบผิวที่ใช้

รูปที่ ข.4.2 สารละลายเคลือบผิวที่ใช้

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด
The abstract and full text of Senior Project in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the Senior Project authors' files submitted through the faculty.

รูปที่ ข.4.3 สารละลายเคลือบผิวที่ใช้

ข.5 การประเมินคุณสมบัติ

รูปที่ ข.5.1 ความชื้น

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด
The abstract and full text of Senior Project in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the Senior Project authors' files submitted through the faculty.

รูปที่ ข.5.2 Rehydration capacity

รูปที่ ข.5.3 การวิเคราะห์พื้นผิว

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด
The abstract and full text of Senior Project in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the Senior Project authors' files submitted through the faculty.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงงานปริญญานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด
The abstract and full text of Senior Project in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the Senior Project authors' files submitted through the faculty.