

**การใช้ประโยชน์จากเปลือกไข่เป็ดและเปลือกหอยแครง
เพื่อเสริมแคลเซียมในข้าวหอมมะลิ**

**UTILIZATION OF DUCK EGG SHELL AND COCKLE SHELL ON
CALCIUM FORTIFIED OF THAI JASMINE RICE**

นิตชกานต์ สวงนวิชัยกุล

NITCHAKAN SANGUANVICHAIKUL

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2562

KMITL-2019-AI-M-053-353

การใช้ประโยชน์จากเปลือกไข่เป็ดและเปลือกหอยแครง
เพื่อเสริมแคลเซียมในข้าวหอมมะลิ

UTILIZATION OF DUCK EGGSHELL AND COCKLE SHELL ON
CALCIUM FORTIFIED OF THAI JASMINE RICE

ณิชกานต์ สวงนวิชัยกุล

NITCHAKAN SANGUANVICHAIKUL

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2562

KMITL-2019-AI-M-053-353

**UTILIZATION OF DUCK EGGSHELL AND COCKLE SHELL ON
CALCIUM FORTIFIED OF THAI JASMINE RICE**

NITCHAKAN SANGUANVICHAIKUL

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN FOOD SCIENCE
FACULTY OF AGRO-INDUSTRY
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2019
KMITL-2019-AI-M-053-353**

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การใช้ประโยชน์จากเปลือกไข่เป็ดและเปลือกหอยแครงเพื่อเสริมแคลเซียมในข้าวหอมมะลิ
นักศึกษา	นางสาวณิชกานต์ สงวนวิชัยกุล
รหัสประจำตัว	59608004
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การอาหาร
พ.ศ.	2562
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.ธงชัย พุฒทองศิริ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	รศ.ดร.บรรจง บุญชม

บทคัดย่อ

แคลเซียมเป็นแร่ธาตุที่พบมากในร่างกายและมีความสำคัญเพราะเป็นส่วนประกอบของกระดูกและฟัน แคลเซียมยังมีประโยชน์ช่วยให้กระดูกและฟันมีสุขภาพแข็งแรง และช่วยลดความเสี่ยงต่อการเป็นโรคกระดูกเสื่อมและกระดูกหัก โดยแคลเซียมยังสามารถสกัดได้จากแหล่งต่าง ๆ รวมทั้งวัสดุเหลือทิ้งในอุตสาหกรรม เช่น เปลือกไข่เป็ด และเปลือกหอยแครง และข้าวเป็นหนึ่งในพืชอาหารชั้นนำของโลกซึ่งเป็นอาหารหลักของประชากรกว่าครึ่งโลก อย่างไรก็ตามข้าวเป็นอาหารที่มีแคลเซียมต่ำ งานวิจัยนี้จึงศึกษาการใช้ประโยชน์จากเปลือกไข่เป็ดและเปลือกหอยแครงเพื่อเสริมแคลเซียมในข้าวหอมมะลิ โดยศึกษาความชื้น ปริมาณแคลเซียม และค่าความสามารถในการละลายน้ำของผงแคลเซียมแลคเตท แคลเซียมอะซิเตท แคลเซียมแลคเตทผสมกับแคลเซียมอะซิเตท จาก 2 แหล่ง คือ เปลือกไข่เป็ด และเปลือกหอยแครง จากการทดลองพบว่าค่าความสามารถในการละลายของผงแคลเซียมแลคเตทมีค่ามากที่สุด และศึกษาชนิดของแคลเซียมจาก 2 แหล่ง คือ เปลือกไข่เป็ด และเปลือกหอยแครง โดยวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียม ความชื้น ค่าสี คุณสมบัติเนื้อสัมผัส และการยอมรับของผู้บริโภค จากการทดลองพบว่าข้าวที่มีการเสริมแคลเซียมแลคเตทจากเปลือกไข่เป็ดและเปลือกหอยแครงมีปริมาณแคลเซียมสูงที่สุด คือ 90.77 ± 4.16 และ 91.81 ± 8.26 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ ข้าวเสริมแคลเซียมจากทั้ง 2 แหล่ง คือ เปลือกไข่เป็ดและเปลือกหอยแครงมีค่าความชื้นที่เหมาะสม และข้าวที่มีการเสริมแคลเซียมจะมีค่าดัชนีความขาวและค่าความแข็งมากกว่าข้าวที่ไม่ได้เสริมแคลเซียม ส่วนการทดสอบทางประสาทสัมผัสคะแนนความชอบอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงปานกลาง ส่วนการเปรียบเทียบความแตกต่างของข้าวที่ไม่ได้เสริมแคลเซียมกับข้าวที่เสริมแคลเซียมมีค่าความแตกต่างเล็กน้อย และการเสริมแคลเซียมแลคเตทจากเปลือกไข่เป็ดและเปลือกหอยแครงลงในข้าวช่วยยืดอายุการเก็บรักษาได้นานยิ่งขึ้น

Thesis	Utilization of duck eggshell and cockle shell on calcium fortified of Thai jasmine rice
Student	Miss. Nitchakan Sanguanvichaikul
Student ID.	59608004
Degree	Master of Science
Program	Food Science
Year	2019
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr.Tongchai Puttongsiri
Thesis Co-Advisor	Assoc. Prof. Dr. Banjong Boonchom

ABSTRACT

Calcium is a mineral that found in the body and important because it is a component of bones and teeth. Calcium helps bones and teeth healthy. Calcium reduce the risk of bone disease. Calcium can be extracted from various sources including waste materials in industry e.g. duck eggshell and cockle shell. Rice is one of the leading food crops of the world, and is the staple food of over half the world's population. During processing, a considerable portion of nutrients in the rice are destroyed or lost particularly minerals. Therefore, the objective of this study was utilization of duck eggshell and cockle shell on calcium fortified of Thai jasmine rice. To study the moisture content, calcium content and water solubility index of calcium lactate, calcium acetate and calcium lactate mixed with calcium acetate from 2 sources: duck eggshell and cockle shell. From the experiment found that water solubility index of calcium lactate powder most valuable. To study the type of calcium from 2 sources: duck eggshell and cockle shell. Then analyze with analytical method are as follow calcium content, moisture content, color measurement, textural properties, and sensory evaluation and consumer testing. From the experiment found that calcium lactate fortified rice from duck eggshell and cockle shell had the maximum calcium content of 90.77 ± 4.16 and 91.81 ± 8.26 mg/100g respectively. Calcium fortified rice from duck eggshell and cockle shell had moisture content appropriate. Whiteness index and hardness of calcium fortified rice was higher than non-fortified rice. Sensory tests, 9-point hedonic scale had preference score at a level slight to medium. Difference from control method had a few differences. Adding calcium lactate from duck eggshell and cockle shell in rice helps extend the shelf life.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขา วิทยาศาสตร์การอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง การจัดทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเพราะได้รับความกรุณา จาก ผศ.ดร.ธงชัย พุฒทองศิริ ให้เกียรติเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และรศ.ดร.บรรจง บุญชม อาจารย์ประจำภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ ให้เกียรติเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ ให้คำปรึกษา ความรู้ แนวคิด และข้อเสนอแนะในการดำเนินการรวมถึงการตรวจสอบแก้ไขเล่ม วิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้มีความถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณ เป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการได้แก่ รศ. เขียวลักษณ์ สุรพันธ์พิศิษฐ์ ผศ.ดร.ยุพร พิชกมูทร และดร.ระจิตร สุวพานิช อาจารย์คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เป็นอย่างสูงที่ให้เกียรติเป็นคณะกรรมการสอบปกป้องวิทยานิพนธ์ และกรุณาให้ ความรู้ คำแนะนำและชี้แนะต่างๆ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้มีความ สมบูรณ์มากขึ้น

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ที่ให้คำแนะนำการใช้เครื่องมือ รวมถึงเจ้าหน้าที่ทุกท่าน ของคณะอุตสาหกรรมเกษตรที่ให้ความรู้ ความช่วยเหลือ และคำแนะนำต่าง ๆ ในการดำเนินงาน เพื่อใช้ประกอบการทำวิทยานิพนธ์นี้ให้ลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณครอบครัวที่ให้เงินสนับสนุน เป็นกำลังใจ ให้คำปรึกษา ตลอดระยะเวลาของ การเรียนและการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณเพื่อนปริญญาโท และปริญญาเอกของคณะอุตสาหกรรมเกษตรที่เป็นกำลังใจ ให้ความช่วยเหลือ และให้คำแนะนำต่าง ๆ

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์แก่นิสิต นักศึกษา และผู้สนใจอ่านทั่วไป และหากมีข้อความใดหรือเนื้อหาตอนหนึ่งตอนใดผิดพลาดไปเนื่องจากการ พิมพ์หรือด้วยเหตุใดก็ตาม ผู้จัดทำยินดีรับการติชมจากผู้อ่านด้วยใจจริง

ณิชกานต์ สวงวิชัยกุล

ผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	2
	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ข้าวหอมมะลิ	3
2.2 องค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าทางอาหารของข้าว	3
2.3 เปลือกไข่	5
2.4 เปลือกหอย	7
2.5 แคลเซียม	9
2.6 การคัดเลือกชนิดเกลือแคลเซียม	10
2.7 เทคนิคการตรวจวิเคราะห์ Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)	11
2.8 เทคนิคการตรวจวิเคราะห์ Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy	13
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	15
	17
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีดำเนินการ	
3.1 วัสดุดิบ	20
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	20
3.3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	21

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	27
4.1 ผลการศึกษาองค์ประกอบของเปลือกไข่เป็ดผงและเปลือกหอยแครงผง โดย เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR)	27
4.2 ผลการศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพของผงแคลเซียมจาก 2 แหล่ง คือ เปลือก ไข่เป็ด และเปลือกหอยแครง	28
4.3 ผลการศึกษาชนิดของแคลเซียมแลคเตท, แคลเซียมอะซิเตท และแคลเซียม แลคเตทผสมกับแคลเซียมอะซิเตท จากเปลือกไข่เป็ดและเปลือกหอยแครงที่มีต่อคุณภาพ ของข้าวหอมมะลิเสริมแคลเซียม	32
4.4 ผลการศึกษารสชาติของข้าวหอมมะลิหุงสุกและการยอมรับทางประสาท สัมผัสของผู้บริโภคที่มีต่อข้าวหอมมะลิเสริมแคลเซียม	42
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	45
5.1 สรุปผลการทดลอง	45
5.2 ข้อเสนอแนะ	45
บรรณานุกรม	46
ภาคผนวก	50
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี	51
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียม	56
ภาคผนวก ค แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส	58
ภาคผนวก ง วิธีการคำนวณ	61
ภาคผนวก จ ภาพผงแคลเซียมที่เตรียมได้	64
ประวัติผู้เขียน	65

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของข้าวเปลือกและส่วนที่ได้จากการขัดสีที่ความชื้น 14%	5
2.2 ปริมาณวิตามินและเกลือแร่ของข้าวเปลือกและส่วนที่ได้จากการขัดสีที่ความชื้น 14%	6
2.3 คุณค่าทางอาหารของข้าวคิบนชนิดต่างๆ	6
2.4 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกไข่	7
2.5 ปริมาณแคลเซียมที่ร่างกายต้องการต่อวัน	11
2.6 ปริมาณของแคลเซียมในอาหารชนิดต่างๆ	11
2.7 คุณลักษณะที่สำคัญของเกลือแคลเซียมทั่วไปที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร	13
4.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียม ความชื้น ความสามารถในการละลายน้ำ และร้อยละผลผลิตของผงแคลเซียมจาก 2 แหล่ง คือ เปลือกไข่เป็ดและเปลือกหอยแครง	29
4.2 ปริมาณความชื้นของข้าวหอมมะลิที่ไม่ได้เสริมแคลเซียม และข้าวหอมมะลิที่มีการเสริมแคลเซียม	33
4.3 คุณสมบัติเนื้อสัมผัสของข้าวหอมมะลิที่ไม่ได้เสริมแคลเซียม และข้าวหอมมะลิที่มีการเสริมแคลเซียมที่ยังไม่หุงสุก	35
4.4 ค่าสีของข้าวหอมมะลิที่ไม่ได้เสริมแคลเซียม และข้าวหอมมะลิที่มีการเสริมแคลเซียมที่ยังไม่หุงสุก	36
4.5 ค่าปริมาณความร้อนของข้าวที่ไม่ได้เสริมแคลเซียมและเสริมแคลเซียมที่ยังไม่หุงสุก	39
4.6 ค่าสีของข้าวหอมมะลิที่ไม่ได้เสริมแคลเซียม และข้าวหอมมะลิที่มีการเสริมแคลเซียมหุงสุก	40
4.7 คุณสมบัติเนื้อสัมผัสของข้าวหอมมะลิที่ไม่ได้เสริมแคลเซียม และข้าวหอมมะลิที่มีการเสริมแคลเซียมหุงสุก	41
4.8 ระยะเวลาในการเน่าเสียของข้าวที่ไม่ได้เสริมแคลเซียมและเสริมแคลเซียมที่หุงสุก	43
4.9 คะแนนความชอบต่อคุณลักษณะทางด้านประสาทสัมผัสของข้าวหอมมะลิเสริมแคลเซียมแลคเตทจากเปลือกไข่เป็ดและเปลือกหอยแครง	43
4.10 คะแนนค่าเฉลี่ยความแตกต่างของข้าวหอมมะลิเสริมแคลเซียมแลคเตทจากเปลือกไข่เป็ดและเปลือกหอยแครง	44

สารบัญญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 โครงร่างของเมล็ดข้าว	4
2.2 แผนผังแสดงองค์ประกอบของเครื่องวัดการดูดกลืนแสงของอะตอม	14
2.3 ช่วงความถี่ของพันธะต่าง ๆ ในอินฟราเรดสเปกตรัม	15
2.4 การทำงานของ interferometer	16
4.1 เส้นสเปกตรัม FTIR ของเปลือกไข่เป็ดผง (A) และเปลือกหอยแครงผง (B)	28
4.2 เส้นสเปกตรัม FTIR ของผงแคลเซียม 3 ชนิดที่ทำมาจากเปลือกไข่เป็ด	31
4.3 เส้นสเปกตรัม FTIR ของผงแคลเซียม 3 ชนิดที่ทำมาจากเปลือกหอยแครง	32
4.4 ปริมาณแคลเซียมในข้าวที่ไม่ได้เสริมแคลเซียมและข้าวที่เสริมแคลเซียม	34
4.5 เส้นสเปกตรัม FTIR ของข้าวที่ไม่ได้เสริมแคลเซียมและเสริมแคลเซียม ที่ยังไม่หุงสุก	37
4.6 ลักษณะ โครงสร้างของข้าวที่ไม่ได้เสริมแคลเซียมและเสริมแคลเซียม จากเปลือกไข่เป็ด	38
4.7 ลักษณะ โครงสร้างของข้าวที่ไม่ได้เสริมแคลเซียมและเสริมแคลเซียม จากเปลือกหอยแครง	38

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

แคลเซียมเป็นแร่ธาตุที่พบมากในร่างกายและมีความสำคัญเพราะเป็นส่วนประกอบของกระดูกและฟันที่จำเป็นในการสร้างกระดูกในวัยเด็ก วัยรุ่น วัยหนุ่มสาว และช่วยรักษาเนื้อกระดูกเมื่ออายุมากขึ้น (Chulakarangka, 2007) และแคลเซียมยังมีประโยชน์ช่วยป้องกันโรคกระดูกพรุน, ช่วยลดความเสี่ยงต่อการเป็นโรคกระดูกเสื่อมและกระดูกหัก และช่วยให้กระดูกและฟันมีสุขภาพแข็งแรง โดยแคลเซียมยังสามารถสกัดได้จากแหล่งต่างๆ รวมทั้งวัสดุเหลือทิ้งในอุตสาหกรรม เช่น เปลือกไข่เป็ด และเปลือกหอยแครง ซึ่งในปัจจุบันมีการใช้ไข่เป็ดในอุตสาหกรรมขนมไทย ได้แก่ ทองหยิบ, ทองหยอด, ฝอยทอง และขนมหม้อแกง ซึ่งเปลือกไข่ก็จะเหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก (วรรณวิบูลย์ และ หทัยรัตน์, 2556) ส่วนเปลือกหอยแครง เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากการบริโภค เนื่องจากหอยแครงเป็นสัตว์เศรษฐกิจของประเทศไทยที่ได้รับความนิยมนำมาบริโภคทำให้มีเปลือกหอยเป็นของเสียเหลือทิ้งจำนวนมาก จึงนำเปลือกไข่เป็ดและเปลือกหอยแครงมาทำเป็นแคลเซียมเพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งและยังช่วยลดปริมาณขยะได้อีกด้วย

ข้าวเป็นหนึ่งในพืชอาหารชั้นนำของโลกซึ่งเป็นอาหารหลักของประชากรกว่าครึ่งโลก มีหลักฐานว่าประเทศไทยปลูกข้าวมานานกว่า 5,000 ปี ข้าวเจ้าได้แพร่เข้ามาในประเทศไทยราว พ.ศ. 1000 มีหลายกลุ่มชาติพันธุ์ที่บริโภคข้าวเจ้าเป็นอาหารหลัก ในระหว่างการแปรรูปสารอาหารที่มีอยู่ในข้าวจะถูกทำลาย และการแปรรูปเป็นสิ่งที่ไม่ดีเนื่องจากข้าวเปลือกไม่สามารถบริโภคได้ จึงทำให้วิตามินและแร่ธาตุในข้าวนั้นได้สูญหายไป

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงต้องการใช้ประโยชน์จากเปลือกไข่เป็ดและเปลือกหอยแครงเพื่อเสริมแคลเซียมในข้าวหอมมะลิ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ข้าวหอมมะลิเสริมแคลเซียมที่เหมาะสมมีคุณภาพตรงตามความต้องการของผู้บริโภค อีกทั้งยังช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและมีสารอาหารที่จำเป็นต่อร่างกายมากขึ้น และช่วยลดปริมาณขยะวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรม

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาโครงสร้างของเปลือกไข่เป็ดและเปลือกหอยแครงผง โดยเครื่อง Fourier transform Infrared Spectrophotometer (FTIR)

1.2.2 เพื่อศึกษาการเตรียมแคลเซียมจาก 2 แหล่งคือ เปลือกไข่เป็ดและเปลือกหอยแครง

1.2.3 เพื่อศึกษาชนิดของแคลเซียมที่ใช้ในการเสริมคุณค่าทางโภชนาการให้กับข้าวหอมมะลิ

1.2.4 เพื่อศึกษาการนำเชื้อของข้าวหอมมะลิหุงสุกและการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อข้าวหอมมะลิเสริมแคลเซียม

1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 ทราบโครงสร้างของเปลือกไข่เป็ด และเปลือกหอยแครงผง

1.3.2 ทราบการเตรียมแคลเซียมแลคเตท, แคลเซียมอะซิเตท และแคลเซียมแลคเตทผสมกับแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกไข่เป็ด และเปลือกหอยแครง

1.3.3 ทราบชนิดของแคลเซียมที่เหมาะสมที่ใช้ในการเคลือบข้าวหอมมะลิ

1.3.4 ทราบการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อข้าวหอมมะลิเสริมแคลเซียม

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้มีเป้าหมายคือ การใช้ประโยชน์จากเปลือกไข่เป็ดและเปลือกหอยแครงเพื่อเสริมแคลเซียมในข้าวหอมมะลิ โดยดูโครงสร้างและองค์ประกอบของเปลือกไข่เป็ดและเปลือกหอยแครง และวิธีการเตรียมแคลเซียมจาก 2 แหล่ง จากนั้นศึกษาชนิดของแคลเซียมที่เหมาะสมที่มีผลต่อคุณภาพของข้าวหอมมะลิเสริมแคลเซียม และศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อข้าวหอมมะลิเสริมแคลเซียม

บทที่ 2

ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้าวหอมมะลิ

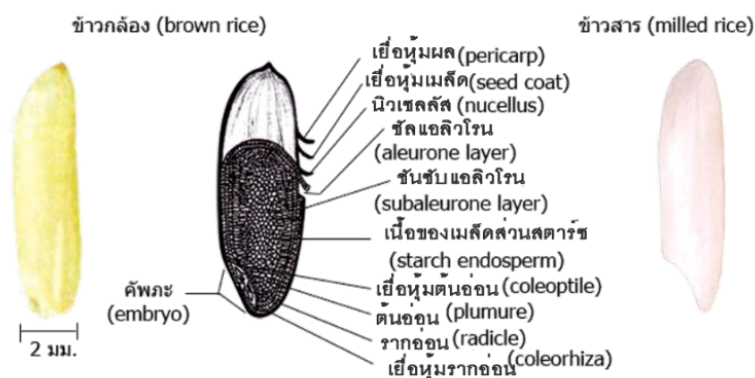
ข้าวหอมมะลิหรือข้าวดอกมะลิ (Jasmine rice) เป็นพันธุ์ข้าว (Rice) มีที่มาจากสีของข้าวที่ขาวเหมือนดอกมะลิ มีกลิ่นหอมเหมือนใบเตย ลักษณะที่สำคัญของข้าวหอมมะลิ คือ เมื่อหุงหรือหนึ่งสุกแล้วเมล็ดข้าวสุกจะอ่อนนุ่มมากกว่าข้าวเจ้าทั่วไป แต่ร่วนน้อยกว่าและมีกลิ่นหอม เป็นที่นิยมของผู้บริโภคทั้งในและต่างประเทศ และผู้บริโภคส่วนใหญ่จะเป็นคนฐานะดี มีกำลังซื้อสูง มีปริมาณการส่งออกปีละ 1.0-1.4 ล้านตันข้าวสาร คิดเป็นมูลค่าปีละกว่า 20,000 ล้านบาท คุณสมบัติที่ทำให้ข้าวหอมมะลิมีคุณภาพดีและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคคือ ข้าวสารเมล็ดเรียวยาว ขาวใสเป็นเงาและมีท้องไข่น้อย ข้าวสุกจะเลื่อมมัน อ่อนนุ่มและมีกลิ่นหอม (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2545)

2.1.1 คุณสมบัติของข้าวหอมมะลิ

ข้าวหอมมะลิที่นิยมปลูกและบริโภคกันอย่างแพร่หลายคือ พันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 และ พันธุ์ กข 15 ความหอมของข้าวหอมมะลิเกิดจากสารระเหยชื่อ 2-acetyl-1-pyrroline ซึ่งเป็นสารที่ระเหยหายไปได้ การรักษาความหอมของข้าวหอมที่ดีต้องเริ่มตั้งแต่การเก็บเกี่ยว การเก็บรักษาข้าวเปลือกจากการสีข้าว และการเก็บรักษาข้าวที่สีเรียบร้อยแล้ว การจะรักษาความหอมของข้าวเอาไว้ต้องพยายามหลีกเลี่ยงภาวะแวดล้อมที่ร้อนอบอ้าว และมีความชื้นสูง การตากแดดหรือไถ่สถานที่ร้อนจัดเป็นเวลานาน ๆ เป็นสิ่งที่ควรหลีกเลี่ยงอย่างยิ่งสภาวะที่เหมาะสมคือที่มีอากาศค่อนข้างเย็น มีการถ่ายเทของอากาศดี ความชื้นไม่สูง

2.1.2 โครงสร้างของเมล็ดข้าวและการแปรรูปข้าวเปลือก

เมล็ดข้าวโดยทั่วไปจะประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ ส่วนที่ห่อหุ้มหรือที่เรียกว่า แกลบและส่วนที่รับประทานได้หรือส่วนของข้าวกล้อง ในส่วนของข้าวกล้องหรือเนื้อผลนี้จะประกอบด้วยเยื่อหุ้มผล ซึ่งเป็นเนื้อเยื่อชั้นนอกมีความหนาประมาณ 10 ไมครอน ห่อหุ้มผลที่อยู่ภายในมีลักษณะเป็นเซลล์ที่มีผนังเซลล์เส้นใย 6 ชั้น มีสารสีหรือรงควัตถุปนอยู่ทำให้ข้าวกล้องมีสีต่างๆ เช่น น้ำตาลอ่อน น้ำตาลแก่ น้ำตาลแดง น้ำตาลม่วง น้ำตาลจนเกือบดำ เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีโปรตีน เฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบสำคัญ (ภาพที่ 2.1)



ภาพที่ 2.1 โครงร่างของเมล็ดข้าว

ที่มา : อรอนงค์ (2547)

2.1.3 สรรพคุณและประโยชน์ของข้าวหอมมะลิ

- ช่วยลดระดับไขมันคอเลสเตอรอลในเส้นเลือดเนื่องจากในข้าวหอมมะลิมีสารตัวหนึ่งชื่อว่า Gamma-Orzanol ซึ่งสารตัวนี้ช่วยลดระดับไขมันและคอเลสเตอรอลในเส้นเลือด ดังนั้นจึงมีผลทำให้ระบบไหลเวียนโลหิตของเราทำงานได้อย่างเป็นปกติ เลือดจึงสามารถไปเลี้ยงส่วนต่างๆของร่างกายได้ดี ทำให้อวัยวะสำคัญของร่างกายอย่าง หัวใจ ตับ ไต มีเลือดไปเลี้ยงเพียงพอ อวัยวะใดที่เสื่อมสภาพก็กลับมาทำงานได้เป็นปกติ

- ช่วยลดระดับ LDL ข้าวหอมมะลิมีสวนในการช่วยลดระดับแอล ดี แอล คอเลสเตอรอล ซึ่งคอเลสเตอรอลชนิดนี้ก่อให้เกิดโทษต่อร่างกายของเรา ดังนั้นเมื่อเรารับประทานข้าวหอมมะลิเข้าไป ระดับ แอล ดี แอล คอเลสเตอรอลก็จะลดลง ไม่ก่อให้เกิดระดับไขมันและคอเลสเตอรอลในเส้นเลือดสูง

- ช่วยเพิ่มระดับ HDL ข้าวหอมมะลิมีสวนในการช่วยเพิ่มระดับ เอช ดี แอล คอเลสเตอรอล ซึ่งคอเลสเตอรอลชนิดนี้ ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อร่างกายของเรา ดังนั้นเมื่อเรารับประทานข้าวหอมมะลิเข้าไป ระดับ เอช ดี แอลคอเลสเตอรอลก็จะเพิ่มมากขึ้น และร่างกายของเราก็จะได้รับประโยชน์จากคอเลสเตอรอลชนิดนี้ในปริมาณที่พอดี ไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกาย

- สรรพคุณข้าวหอมมะลิมีโอเมก้า 3 มักจะเคยได้ยินกันบ่อยๆ ว่าในปลาทะเลจะมีโอเมก้า 3 ซึ่งช่วยในการบำรุงสมอง แต่สำหรับข้าวหอมมะลิมียังมีโอเมก้า 3 เช่นเดียวกัน ดังนั้นเมื่อเรารับประทานข้าวหอมมะลิเข้าไปก็เท่ากับเป็นการบำรุงสมอง ไม่เพียงแต่จะช่วยบำรุงแต่ยังช่วยป้องกันภาวะเสื่อมของสมองได้ ซึ่งภาวะความเสื่อมนี้เป็นสาเหตุของโรคความจำเสื่อม โรคอัลพอลต์ และ โรคอัลไซเมอร์

- ช่วยเสริมสร้างภูมิคุ้มกัน เนื่องจากในข้าวหอมมะลิมียังมีวิตามินอีในรูปของโทโคเฟอรอล และโทโคไทรอินอล ซึ่งทั้งสองตัวนี้ช่วยยับยั้งการเกิดอนุมูลอิสระ และทำให้ร่างกาย

ของเรามีภูมิคุ้มกัน โรคต่างๆ ได้ดี ดังนั้นร่างกายของเราจึงแข็งแรงไม่เจ็บป่วยง่ายๆ โดยเฉพาะในกลุ่มผู้ที่ป่วยเป็น โรคภูมิแพ้จะรักษาได้ผลดีมาก หากรับประทานข้าวหอมมะลิ

- ช่วยบำรุงผิวพรรณ ประโยชน์ในข้อนี้ถือว่าเรียกคะแนนเสียงจากสาว ๆ ได้ดีทีเดียว เพราะในข้าวหอมมะลีสารชนิดหนึ่งชื่อว่า “เซราไมด์” ซึ่งสารตัวนี้มีคุณสมบัติที่ช่วยบำรุงผิวพรรณให้นุ่มนวลอ่อนเยาว์ ลบเลือนริ้วรอยเหี่ยวย่น ลดจุดด่างดำ ฝ้า และกระ

- ช่วยลดอาการอักเสบ ในข้าวหอมมะลีสารไตรกรีเซอไรด์ ที่ช่วยลดอาการอักเสบ ลดอาการบวม และยังช่วยสลายลิมโฟด์จึงทำให้เลือดของเราไหลเวียนได้ปกติ ไม่จับตัวเป็นลิ่ม นอกจากนี้ผู้ป่วยไขข้ออักเสบ หรือเป็นโรคเก๊าท์จะเห็นผลได้ดีมาก (นิรนาม, 2016)

2.2 องค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าทางอาหารของข้าว

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของข้าวเปลือก และส่วนที่ได้จากการกะเทาะเปลือก, การขัดขาว และการขัดมัน พบว่าแต่ละส่วนมีองค์ประกอบทางเคมี คือ โปรตีน, ไขมัน, เส้นใยหยาบ, เถ้า, คาร์โบไฮเดรต, เส้นใยอาหาร และพลังงานแตกต่างกัน (ตารางที่ 2.1)

ตารางที่ 2.1 ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของข้าวเปลือกและส่วนที่ได้จากการขัดสีที่ความชื้น 14%

ส่วนของข้าว	โปรตีน (g)	ไขมัน (g)	เส้นใยหยาบ (g)	เถ้า (g)	คาร์โบไฮเดรต (g)	เส้นใยอาหาร (g)	พลังงาน	
							KJ	Kcal
ข้าวเปลือก	5.8-7.7	1.5-2.3	7.2-10.4	2.9-5.2	6.4-7.3	6.4-19.2	1,580	378
ข้าวกล้อง	7.1-8.3	1.6-2.8	0.6-1.0	1.0-1.5	73-87	2.9-3.9	1,520-1,610	383-385
ข้าวสาร	6.3-7.1	0.3-0.5	0.2-0.5	0.3-0.8	77-89	0.7-2.3	1,460-1,560	349-373
รำข้าว	11.3-14.9	15.0-19.7	7.0-11.4	6.6-9.9	34-62	24-29	670-1,990	399-476
แกลบ	2.0-2.8	0.3-0.8	34.5-54.9	13.2-21.0	22-34	66-74	1,110-1,390	265-332

ที่มา : Juliano (1993) อ้างโดย อรอนงค์ (2547)

และปริมาณวิตามินในปริมาณต่างๆ ซึ่งได้แก่ ไทอะมิน (วิตามินบี 1), ไรโบเฟลวิน (วิตามินบี 2), ไนอะซิน (กรดนิโคตินิก) และ α -ทอโคเฟอรอล (วิตามินอี) ส่วนแร่ธาตุ ได้แก่ แคลเซียม, ฟอสฟอรัส, ฟอสฟอรัสในไฟทินหรือไฟดินฟอสเฟต และเหล็ก พบว่ามีปริมาณที่แตกต่างกัน ในแต่ละส่วนของข้าวเช่นกัน (ตารางที่ 2.2)

ตารางที่ 2.2 ปริมาณวิตามินและเกลือแร่ของข้าวเปลือกและส่วนที่ได้จากการขัดสีที่ความชื้น 14%

ส่วนของข้าว	โทอะมิน (mg)	ไรโบฟลาวิน (mg)	ไนอะซิน (mg)	α-ทอโคเฟอรอล (mg)	แคลเซียม (mg)	ฟอสฟอรัส (mg)	ฟิทินฟอสเฟต (g)	เหล็ก (g)	สังกะสี (mg)
ข้าวเปลือก	0.26-0.33	0.06-0.11	2.9-5.6	0.90-2.00	10-80	0.17-0.39	0.18-0.21	1.4-6.0	1.7-3.1
ข้าวกล้อง	0.29-0.61	0.04-0.14	3.5-5.3	0.90-2.50	10-50	0.17-0.43	0.13-0.27	0.2-5.2	0.6-2.8
ข้าวสาร	0.02-0.11	0.02-0.06	1.3-2.1	75-0.30	10-30	0.08-0.15	0.02-0.07	0.2-2.8	0.6-2.3
รำข้าว	1.20-2.40	0.18-0.43	26.7-49.9	2.60-13.3	30-120	1.1-2.5	0.9-2.2	8.6-43.0	4.3-25.8
แกลบ	0.09-0.21	0.05-0.07	1.6-4.2	0	60-130	0.03-0.07	0	3.9-9.5	0.9-4.0

ที่มา : Juliano (1993) อ้างโดย อรอนงค์ (2547)

ตารางที่ 2.3 คุณค่าทางอาหารของข้าวคิบนชนิดต่างๆ

สารอาหาร	คุณค่าทางอาหารของข้าวคิบนชนิดต่างๆ (ปริมาณสารอาหารต่อข้าวคิบ 100 กรัม)				
	ข้าวขาว	ข้าวกล้อง	ข้าวเหนียว	ข้าวมันญี่ปุ่น	
พลังงาน (KJ)	351	347	353	347	
โปรตีน (g)	6.7	7.1	6.3	5.8	
ไขมัน (g)	0.8	2	0.6	2.9	
คาร์โบไฮเดรต (g)	79.4	75.1	80.4	72.5	
ใยอาหาร (g)	0.7	2.1	0.8	4	
วิตามิน					
	บี 1 (mg)	0.07	0.26	0.09	0.44
	บี 2 (mg)	0.02	0.04	0.03	0.18
	ไนอะซิน (mg)	1.79	5.4	1.82	2.14
เกลือแร่					
	โซเดียม (mg)	79	84	-	-
	โพแทสเซียม (mg)	121	144	-	-
	แคลเซียม (mg)	6	9	7	16
	ฟอสฟอรัส (mg)	195	267	61	120
	แมกนีเซียม (mg)	27	60	-	-
	เหล็ก (mg)	1.2	1.3	-	-
	สังกะสี (mg)	0.48	0.49	-	-
	ทองแดง (mg)	0.14	0.11	-	-

ที่มา : ม.ป.ป. (2544)

เนื่องจากข้าวกล้องเป็นข้าวที่ไม่ได้ผ่านการสีเอาคัพกะและเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวออก จึงยังคงมีวิตามินและแร่ธาตุที่สมบูรณ์มากกว่าข้าวขาวถึง 3 เท่าและมีปริมาณไขมันสูง มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบอยู่ถึง ร้อยละ 7 (ตารางที่ 2.3) ในทางการแพทย์เชื่อว่าข้าวเป็นยารักษาโรคแบบธรรมชาติช่วยรักษาอาการผิดปกติของการย่อยอาหาร เช่น อาหารไม่ย่อย โรคถุงตันที่ลำไส้ใหญ่ (Diverticular disease) เป็นต้น สำหรับแป้งที่มีอยู่ในข้าวกล้อง พบว่าจะถูกย่อยและถูกดูดซึมได้ช้า ทำให้การปลดปล่อยน้ำตาลกลูโคสเข้าสู่กระแสเลือดเป็นไปอย่างช้าๆ และสม่ำเสมอ จึงมีส่วนช่วยควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดของผู้ป่วยที่เป็นโรคเบาหวานได้ดีขึ้น

2.3 เปลือกไข่

ไข่ถูกห่อหุ้มด้วยเปลือกที่มีความหนาประมาณ 0.2-0.4 มิลลิเมตร สีของเปลือกไข่จะแตกต่างกันขึ้นกับชนิดและสายพันธุ์ของสัตว์ปีก โดยทั่วไปไข่ไก่จะมีเปลือกสีเหลือง ไข่เป็ดจะมีสีขาว และไข่นกส่วนใหญ่จะมีจุดบนเปลือกไข่ เมื่อกล่าวถึงเปลือกไข่ของสัตว์ปีกโดยทั่วไปเปลือกไข่จะประกอบด้วยชั้นสำคัญๆ 2 ชั้น คือ เปลือกชั้นนอกเรียกว่า Spongy layer กับเปลือกชั้นในเรียกว่า Mammillary layer ชั้นนอกเป็นแคลเซียมในรูปผลึกของหินปูน (Calcite) ตั้งตรงทางแกนยาวของผลึกกับผิวเปลือกเป็นชั้นที่แข็งแรงที่สุด ชั้นในนั้นเป็นสารประกอบของแมกนีเซียมกับฟอสเฟต แร่ธาตุต่างๆเหล่านี้ไม่อยู่ในรูปผลึกเวลาไข่ร้าวก็จะร้าวถึงภายในด้วย ส่วนด้านในเปลือกไข่จะเป็นชั้นเคลือบผิวไข่ (Cuticle layer) จะมีเยื่อหุ้มบางๆ 2 ชั้น ชั้นนอกที่ติดเปลือก (Shell membrane) และชั้นในที่ติดกับไข่ขาว (Egg membrane) มีหน้าที่ป้องกันอันตรายจากภายนอกและให้แคลเซียมในการสร้างกระดูก (อินทรีย์, 2560)

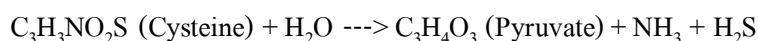
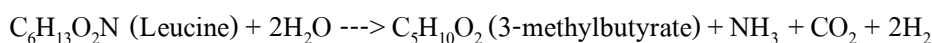
เปลือกไข่ประกอบด้วยแร่ธาตุประมาณร้อยละ 95 ในส่วนนี้จะมีแคลเซียมคาร์บอเนตประมาณร้อยละ 96 สารอนินทรีย์อื่นๆรวมถึง ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม และซัลเฟอร์มีปริมาณน้อยมาก ซึ่งโครงสร้างเหล่านี้อาจแตกต่างกันไปตามชนิดของสัตว์ปีกดังตารางที่ 2.4 (วิชัย, 2555)

ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกไข่

แร่ธาตุ	ร้อยละ โดยน้ำหนัก		
	เปลือกไข่ไก่	เปลือกไข่เป็ด	เปลือกไข่นกกระทา
CaCO ₃	99.0	96.5	97.3
S	0.1	1.2	0.4
Mg	0.5	0.1	1.0
P	0.2	0.5	1.1
K	-	0.0839	-

ที่มา : วิชัย (2555)

เปลือกไข่จากภาคครัวเรือนและจากภาคอุตสาหกรรมอาหาร จะถูกกำจัดโดยทิ้งให้เป็นภาระของเทศบาลร่วมกับขยะชนิดอื่นๆ โดยการฝังกลบ ซึ่งต้องเสียค่าใช้จ่ายแล้วบริเวณที่ฝังกลบเปลือกไข่ยังนำมาซึ่งปัญหาต่างๆ ทางสิ่งแวดล้อมตามมามากมาย เช่น เป็นแหล่งเพาะพันธุ์ของแมลงวันและเป็นที่อยู่อาศัยของหนู ส่งกลิ่นเหม็นเนื่องจากเกิดแก๊สแอมโมเนีย (NH_3) และแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ที่ผลิตขึ้นจากการหมักกรดอะมิโนที่ได้จากการย่อยสลายส่วนที่เป็นโปรตีนในเปลือกไข่โดยจุลินทรีย์ดังกล่าว



นอกจากนี้เมื่อเกิดฝนตกหรือน้ำค้างยังเป็นที่มาของน้ำเสียที่ปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ รวมทั้งดินบริเวณที่ฝังกลบเปลือกไข่จะมีความเป็นด่างสูงเนื่องจากแคลเซียมในเปลือกไข่ทำให้ดินบริเวณนั้นมีสถานะไม่เหมาะสมต่อการเพาะปลูก

2.3.1 ประโยชน์ของเปลือกไข่

- เปลือกไข่ต้ม : เปลือกไข่ที่เผาไฟแล้วบดละเอียด จะมีสารแคลเซียมเมื่อผสมกับน้ำก็จะได้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งมีฤทธิ์เป็นเบส(ด่าง) สามารถขับไล่แมลงได้ วิธีทำ ล้างเปลือกไข่ให้สะอาด เผาให้เหลืองและแห้งสนิท ใส่เปลือกไข่ที่ล้างแล้วใส่ครก ตำให้ละเอียด เทเปลือกไข่ลงในแก้ว 1 ส่วนแล้วเติมน้ำ 2 ส่วน คนให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง ใช้ฉีดพ่น หรือราดบริเวณรังแมลง

- เปลือกไข่ซักผ้า : เปลือกไข่ทำให้ผ้าขาว เวลาซักผ้า ให้เอาเปลือกไข่หลายๆฟองห่อผ้าเอาไว้ แล้วนำไปต้มรวมกับผ้าขาว เสร็จแล้วก็นำไปซักหรือขยี้ผ้าตามปกติทั่วไป จะทำให้ผ้าดูขาวขึ้น หรือนำเปลือกไข่บดละเอียดผสมกับโซดาซักผ้าอย่างละ 1 ส่วนเท่าๆ กัน ก็นำไปใช้แทนผงซักผ้าได้

- สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิง : ในกรณีที่เราต้องการใช้เตาถ่าน โดยที่ขณะก่อไฟให้หุบเปลือกไข่จนแตกละเอียดแล้วใช้กระดาษห่อมัดไว้วางข้างใต้ฟืนจะทำให้ไฟแรงขึ้น

- กินเปลือกไข่เพิ่มแคลเซียม : เปลือกไข่อุดมด้วยธาตุเหล็ก นำเปลือกไข่มาล้างให้สะอาด อบแห้งให้ร้อนแล้วตำให้เป็นผงละเอียดนำไปหุงปนกับข้าวสาร เป็นอาหารที่มีคุณค่าบำรุงดีมาก และสารอาหารที่จะได้รับจากเปลือกไข่ ก็คือ แคลเซียม หรือนำผงเปลือกไข่ไปผสมอาหารสัตว์เพื่อเสริมแคลเซียมก็ได้เหมือนกัน

- เป็นเครื่องมือทำความสะอาด : สามารถนำเปลือกไข่ไป ใช้ขัดล้างอ่างล้างหน้าอ่างอาบน้ำและเครื่องใช้เซรามิคทั้งหลาย ใช้แทนแปรงล้างขวดหรือภาชนะที่มีปากแคบใส่เปลือกไข่ลงไปแล้วเขย่าๆ ขวด

- ใช้เป็นปุ๋ยให้ต้นไม้ได้ : นำเปลือกไข่ตำเป็นผง โรยลงไปบนดินก็สามารถเพิ่มแคลเซียมให้กับต้นไม้ได้ หรือใช้เปลือกไข่ปนผสมในปุ๋ยหมัก ทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์มากขึ้น ช่วยให้พืชผักในบ้านของเราเจริญเติบโตงอกงามกว่าเดิม

2.4 เปลือกหอย

เปลือกหอย หรือ ฝาหอย หรือ กาบหอย คือ สสารที่เป็นของแข็งที่ห่อหุ้มลำตัวภายนอกของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังจัดอยู่ในไฟลัมมอลลัสคา (Phylum molluska) ซึ่งจัดเป็นไฟลัมที่ใหญ่ที่สุด ไฟลัมหนึ่งของสัตว์ที่ไม่มีกระดูกสันหลัง พบได้ทั่วไปทั้งในน้ำเค็ม น้ำจืด และบนบก ตัวอย่างสัตว์ในไฟลัมนี้คือ หอยสองฝา (Bivalve) หอยฝาเดียว (Gastropod) ปลาหมึกและลึนทะเล เป็นต้น เปลือกหอยประกอบด้วยสารจำพวกแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นส่วนใหญ่ ส่วนที่เหลือเป็นสารอื่น ๆ เช่น แคลเซียมฟอสเฟต แมกนีเซียมคาร์บอเนต แมกนีเซียมฟอสเฟต แมกนีเซียมซิลิเกต โปรตีน ประเภทคอนไคโอลิน (Concholin) เปลือกหอยแบ่งออกเป็น 3 ชั้น คือ

1. ชั้นนอกสุด เรียก ชั้นผิวหนัง (Periostracum layer) ประกอบด้วยสารส่วนใหญ่เป็นโปรตีน ประเภทคอนไคโอลิน เป็นชั้นที่บางและหยาบคาย ซึ่งจะสังเกตได้จากหอยที่ตายแล้วและเปลือกที่ถูกทิ้งอยู่ตามชายหาด หรือหอยที่ยังมีชีวิตแต่เปลือกถูกคลื่นซัดหรือทรายขัดสี เปลือกชั้นนี้อาจหลุดหายไปจนไม่เหลือให้เห็น
2. ชั้นกลาง เรียก ชั้นฉีกแคลเซียม (Prismatic layer) ประกอบด้วยผลึกรูปต่างๆ กันของสารประกอบแคลเซียมซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในรูปของแคลไซต์ (Calcite) เป็นชั้นที่หนาและแข็งแรงที่สุด
3. ชั้นในสุด เรียก ชั้นมุก (Nacreous layer) ประกอบด้วยผลึกรูปต่างๆ กันของสารประกอบแคลเซียมซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในรูปของอะราโกไนต์ (Aragonite) เป็นชั้นที่เรียบมีความหนาบางแตกต่างกันไปตามแต่ชนิดของหอย ทำให้เปลือกมีสีแวววาวและเป็นมันแวววาวแตกต่างกัน

หอยยังจัดแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ หอยฝาเดียว จัดอยู่ใน Class Gastropod สามารถดำรงชีวิตอยู่ในแทบทุกสภาพของระบบนิเวศและเป็นกลุ่มเดียวที่สามารถขึ้นมาดำรงชีวิตอยู่บนบกได้ หอยฝาเดียวมีรูปร่างทรงกรวย มียอดแหลมและขดเป็นวงกลม ภายได้เปลือกกลางมีตัวหอยบรรจุอยู่ หอยฝาเดียวส่วนใหญ่ประกอบด้วยผลึกของหินปูนหรือแคลเซียมคาร์บอเนตพวกอะราโกไนต์ (Aragonite) หรือ แคลไซต์ (Calcite) หรือมีทั้งสองอย่างปนกัน แต่ในหอยบกนั้นสารประกอบแคลเซียมที่พบบ่อยคือ แคลเซียมฟอสเฟต (Calcium phosphate) และหอยสองฝา จัดอยู่ใน Class Bivalvia (Pelecypode) อาศัยอยู่ในทะเล น้ำกร่อยน้ำจืด แต่ไม่สามารถขึ้นมาอยู่บนบกได้ หอยสองฝาโดยทั่วไปมีลำตัวแบนข้าง เช่น หอยแครง หอยลาย หอยเชลล์ (สำนักงานราชบัณฑิตยสภา, 2539)

จากลักษณะองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกหอยพบว่าเปลือกชนิดต่างๆจะมีปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตอยู่ในช่วง 80-98% โดยมีปริมาณแคลเซียมประกอบอยู่ในช่วง 31-42% ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของเปลือกหอย เช่น หอยนางรม 38.0-42.5%Ca หอยแครง 39.0-41.2%Ca หอยเชลล์ 27.85-32.50%Ca และหอยแมลงภู่ 39.0-41.2%Ca โดยปริมาณองค์ประกอบที่เหลือจะเป็นธาตุชนิดอื่นๆ เช่น แมกนีเซียม ทองแดง สังกะสี ซิลิกา แมงกานีส โดยองค์ประกอบเหล่านี้จะมีปริมาณมาก

น้อยแตกต่างกันตามแหล่งที่หอยเจริญเติบโตในแต่ละภูมิภาคและแหล่งน้ำ (บรรจง และ ภิชก, 2560)

ปริมาณเปลือกหอยในประเทศไทยมีไม่ต่ำกว่าห้าแสนตันต่อปี โรงงานอุตสาหกรรมทางอาหารทะเลส่วนใหญ่จะนิยมนำหอยมาผลิตเป็นอาหารทะเลรูปแบบต่างๆ ซึ่งทำให้มีของเสียเหลือทิ้ง โดยเฉพาะเปลือกหอยทำให้ยากต่อการจัดเก็บและทำลายอีกทั้งหากกำจัดไม่ถูกวิธียังส่งผลกระทบต่อธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เช่น การฝังกลบที่ต้องใช้ระยะเวลาในการย่อยสลายเป็นเวลานาน ทำให้ส่งผลกระทบต่อความอุดมสมบูรณ์ของดินที่ใช้ในการเพาะปลูก หรือการทำลายโดยวิธีเผาไหม้ซึ่งอาจจะส่งผลทำให้เกิดภาวะเรือนกระจก อีกทั้งยังทำให้สิ่งแวดล้อมเกิดมลพิษในด้านต่างๆซึ่งส่งผลกระทบต่อโดยตรงต่อมนุษย์และสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศน์ เป็นต้น โดยทุกวันนี้มีการนำเอาเปลือกหอยไปใช้ประโยชน์อยู่บ้าง คือ ผลิตเป็นหินปูนเปลือกหอย ปูนดิบและปูนสุกจากเปลือกหอย ทำอิฐบล็อก ทำเป็นเกลือแร่อาหารสัตว์ ใช้เป็นสารตั้งต้นของแหล่งแคลเซียมในการทำวิจัย ทำเป็นสารผสมในอุตสาหกรรมเซรามิกส์ ผลิตเป็นสารตั้งต้นทำกระดูกเทียม เป็นต้น (น้ำพล และ กรกฎ, 2555)

2.5 แคลเซียม

แคลเซียมเป็นแร่ธาตุที่สำคัญ ประมาณร้อยละ 99 ของแคลเซียมในร่างกายใช้ในการสร้างกระดูกและฟัน เพิ่มความหนาแน่นให้กระดูกทำให้กระดูกมีความแข็งแรง ส่วนอีกร้อยละ 1 อยู่ในเลือดมีบทบาทควบคุมการทำงานของอวัยวะต่างๆในร่างกาย เช่น การหดตัวของกล้ามเนื้อ, การเต้นของหัวใจ, การแข็งตัวของเลือดเมื่อมีบาดแผล, การทำงานของระบบประสาท และช่วยกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์หลายชนิด

2.5.1 ความต้องการแคลเซียมของร่างกาย

ปริมาณแคลเซียมที่ร่างกายต้องการในแต่ละวันจะแปรผันไปตามช่วงอายุ เพศ ลักษณะการดำรงชีวิต ในกรณีการตั้งครรภ์หรือการให้นมบุตรจะมีความต้องการแคลเซียมมากกว่าปกติ เป็นต้น โดยปริมาณแคลเซียมที่ต้องการต่อวันแสดงดังตารางที่ 2.5

2.5.2 ปริมาณของแคลเซียมในอาหาร

แคลเซียมเป็นสารอาหารที่มีความสำคัญ เนื่องจากเป็นสารอาหารที่มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของเซลล์ต่างๆในร่างกายส่วนใหญ่อยู่ในกระดูก โดยปกติร่างกายมนุษย์ไม่สามารถสร้างแคลเซียมได้เองจึงจำเป็นต้องบริโภคอาหาร เพื่อให้ได้รับสารอาหาร โดยแคลเซียมพบมากในผลิตภัณฑ์จากนม และปลาที่สามารถเคี้ยวกระดูกได้ เป็นต้น ตัวอย่างแหล่งอาหารที่มีปริมาณของแคลเซียมสูงแสดงดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.5 ปริมาณแคลเซียมที่ร่างกายต้องการต่อวัน

อายุ	ปริมาณความต้องการแคลเซียมต่อวัน (มิลลิกรัม)
ทารก	
3-5 เดือน	360
6-8 เดือน	420
9-11 เดือน	480
เด็ก	
1-10 ปี	800
11-21 ปี	1,200
ผู้ใหญ่ 25 ปีขึ้นไป	800
หญิงตั้งครรภ์ และให้นมบุตร	1,200
หญิงวัยหมดระดู	1,000-1,500

ที่มา : นิพล (2541)

ตารางที่ 2.6 ปริมาณของแคลเซียมในอาหารชนิดต่างๆ

อาหาร	มก./100กรัม	อาหาร	มก./100กรัม
กุ้งแห้ง	2,305	ถั่วเขียว, ดิบ	125
ข้าวหอมมะลิ	7	ถั่วดำ, ดิบ	57
ปลาข้าว	55	ถั่วลันเตา	171
ข้าวสาลี	42	นมผง	650
ข้าวโพดเหลือง, ดิบ	10	ปลาทู	170
ข้าวโพดเหลือง, ต้ม	11	ผักคะน้า	125
ไข่ไก่	126	มะขาม, ฝักอ่อน	425
งาขาว, ดิบ	86	มันสำปะหลัง	84
งาดำ, ดิบ	1,228	ขอ, ใบ	841
ตำลึง	126	สะเดา, ยอด	354

ที่มา : กองโภชนาการ (2547)

2.6 การคัดเลือกชนิดเกลือแคลเซียม

การคัดเลือกแหล่งของเกลือแคลเซียมที่เหมาะสม สำหรับนำไปใช้ในการเติมลงในอาหาร จะต้องพิจารณาคุณสมบัติต่างๆที่เกี่ยวข้องต่อผลิตภัณฑ์ เช่น ค่าการละลาย, ปริมาณแคลเซียม, รสชาติ และการดูดซึมไปใช้ อีกทั้งเหตุผลทางด้านต้นทุนการผลิต ก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ต้องนำมา

พิจารณา โดยเกลือแคลเซียมที่ดีในการใช้เสริมในอาหารจะต้องมีค่าการดูดซึมในร่างกายที่สูง และสามารถเพิ่มมวลกระดูกได้ง่าย มีราคาถูก ปลอดภัย และสามารถเข้ากันได้กับอาหารที่นำไปใช้ (Weaver, 1998)

2.6.1 ค่าการละลายและปริมาณแคลเซียม

เมื่อเติมแคลเซียมลงในอาหารค่าการละลาย, ลักษณะการละลายและผลต่ออาหาร เป็นปัจจัยหลักที่ต้องนำมาพิจารณาโดยเกลือแคลเซียมที่มีค่าการละลายสูง เช่น แคลเซียมอะซิเตท แคลเซียมแลคเตท (ค่าการละลาย 66 กรัม/ลิตร) แคลเซียมกลูโคเนต (ค่าการละลาย 35 กรัม/ลิตร) แคลเซียมแลคเตทกลูโคเนต (ค่าการละลาย 400 กรัม/ลิตร) จะสามารถใช้เติมลงในผลิตภัณฑ์ได้ในปริมาณที่มากขึ้น ส่วนเกลือแคลเซียมที่มีปริมาณความเข้มข้นแคลเซียมสูง เช่น แคลเซียมคาร์บอเนตและแคลเซียมฟอสเฟต (38-40% แคลเซียม) มีค่าการละลายต่ำ ดังนั้น การเติมในอาหาร จึงใช้ได้ปริมาณน้อย อีกทั้งยังทำให้เกิดรสชาติขม และเค็มในผลิตภัณฑ์อีกด้วย ดังนั้นการเลือกชนิดของเกลือแคลเซียมจึงต้องคำนึงถึงค่าการละลาย และความเข้มข้นของแคลเซียม ในเกลือแคลเซียมที่ต้องการใช้แต่ละชนิดและผลต่ออาหารต่างชนิดกันด้วย

2.6.2 รสชาติและเนื้อสัมผัส

โดยทั่วไปที่ความเข้มข้นของเกลือแคลเซียมสูง แคลเซียมจะอยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำ เนื่องจากเกิดการตกตะกอนของเกลือแคลเซียม อีกทั้งยังมีผลต่อรสชาติของผลิตภัณฑ์ โดยคุณลักษณะที่สำคัญของเกลือแคลเซียมทั่วไปที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร แสดงดังตารางที่ 2.7

2.6.3 การดูดซึมของร่างกาย

ร่างกายสามารถดูดซึมแคลเซียมจากอาหารไปใช้ได้ประมาณ 10-30% โดยปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณการดูดซึมของแคลเซียมขึ้นกับชนิดของเกลือแคลเซียมที่ใช้ โดยพบว่าเกลืออินทรีย์ เช่น ไตรแคลเซียมอะซิเตท แคลเซียมแลคเตท แคลเซียมแลคเตทกลูโคเนต และแคลเซียมกลูโคเนต จะสามารถถูกร่างกายดูดซึมไปใช้ได้ดีกว่าเกลืออนินทรีย์ เช่น แคลเซียมคลอไรด์ แคลเซียมคาร์บอเนต และแคลเซียมฟอสเฟต เป็นต้น

2.6.4 ต้นทุนการผลิตและปริมาณการใช้

เกลือแคลเซียมอนินทรีย์จะมีราคาถูกกว่าเกลือแคลเซียมอินทรีย์ และเนื่องจากมีปริมาณความจุของแคลเซียมสูง การใช้เสริมในผลิตภัณฑ์ จึงใช้ในปริมาณที่น้อย เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เกลือแคลเซียมอินทรีย์

ตารางที่ 2.7 คุณลักษณะที่สำคัญของเกลือแคลเซียมทั่วไปที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร

ชนิด	การละลาย	รสชาติ	ความเข้มข้นของแคลเซียม (%)
แคลเซียมคาร์บอเนต	ต่ำ	เปรี้ยว	40
แคลเซียมฟอสเฟต	ต่ำ	จืด	38
แคลเซียมซิเตรต	ปานกลาง	เปรี้ยว	21
แคลเซียมอะซิเตท	ปานกลาง	เปรี้ยว	18
แคลเซียมแลคเตท	สูง	ไม่เด่นชัด	13
แคลเซียมกลูโคเนต	สูงมาก	ไม่เด่นชัด	9

ที่มา : Weaver (1998)

2.7 เทคนิคการตรวจวิเคราะห์ Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

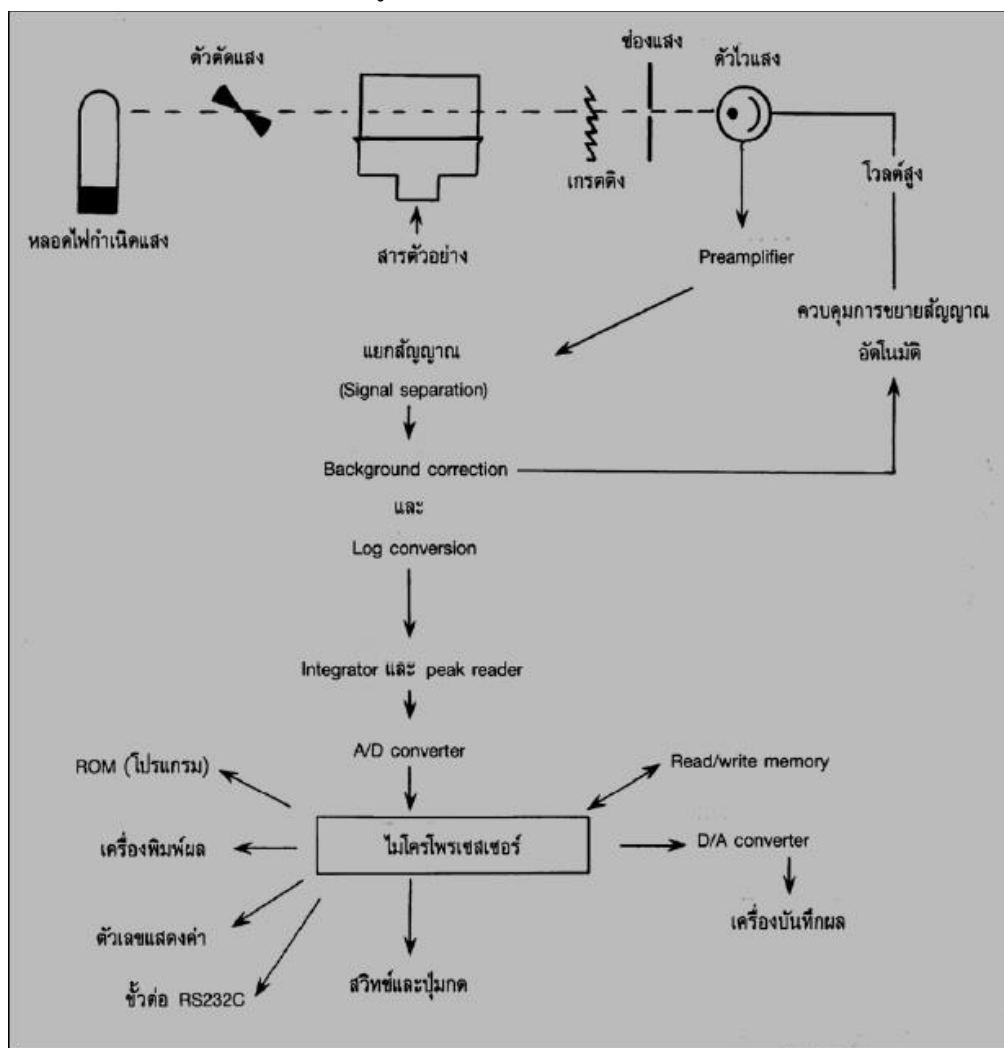
Atomic Absorption Spectrometer เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ธาตุอย่างหนึ่ง ซึ่งสามารถทำได้ทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณวิเคราะห์ ที่ได้รับความนิยมมากวิธีหนึ่ง เพราะเป็นเทคนิคที่สะดวก รวดเร็ว มีความเที่ยง ความแม่นยำ มีสภาพไวสูง และเป็นเทคนิคที่เฉพาะดีมาก สามารถวิเคราะห์หาปริมาณธาตุโลหะหนักที่มีจำนวนน้อยๆได้ ค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ไม่สูงมากนัก ดังนั้นห้องปฏิบัติการวิเคราะห์โดยทั่วไปมักนิยมใช้เทคนิคนี้กันมาก ความสามารถของเทคนิคนี้สูงมาก เพราะสามารถใช้วิเคราะห์ธาตุต่าง ๆ ได้ถึง 67 ธาตุ ทำให้การใช้งานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

หลักการของเครื่องคือ นำน้ำตัวอย่างที่เตรียมในรูปของสารละลายมาดูด (Aspirate) เข้าไปในเปลวไฟ Air-Acetylene ของเครื่อง Atomic Absorption Spectrometer พลังงานความร้อนจากเปลวไฟจะทำให้สารละลายตัวอย่างเกิดกระบวนการแตกตัว (Dissociation) หรือเปลี่ยนให้เป็นไอ (Vaporization) หรืออาจแตกตัวเป็นอะตอม (Atomization) อยู่ที่สภาวะพื้น อะตอมที่สภาวะพื้นจะเปลี่ยนสถานะไปสู่สภาวะกระตุ้นโดยการดูดกลืนแสงที่ผ่านมาจากแหล่งกำเนิดภายนอก (Hollow Cathode Lamp) ที่ความยาวคลื่นที่เฉพาะเจาะจง ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของธาตุ ธาตุแต่ละชนิดจะมีระดับของพลังงานแตกต่างกัน จึงมีการดูดกลืนพลังงานแตกต่างกัน ซึ่งธาตุแต่ละตัวจะดูดกลืนแสงได้ดีในช่วงความยาวคลื่นต่างกัน (ชัญชิตา, ม.ป.ป.)

2.7.1 องค์ประกอบและคุณสมบัติ

เครื่องวัดการดูดกลืนแสงของอะตอม มีองค์ประกอบหลักคล้ายกับเครื่องวัดการดูดกลืนแสงกล่าวคือ มีหลอดไฟกำเนิดแสง (Light source) มีเปลวไฟซึ่งทำหน้าที่เหมือนควาทท์ มีตัวแยกแสง (Monochromator) มีภาชนะขยายสัญญาณและภาคแสดงผล แต่เพื่อให้การวัดปริมาณธาตุมีความถูกต้องสูง จึงจำเป็นต้องมีระบบไมโครโพรเซสเซอร์ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบการวิเคราะห์ตัวอย่างเช่น ระบบควบคุมอัตราการขยายสัญญาณอัตโนมัติ (Automatic gain control)

ระบบแก้การรบกวนจากพื้นหลัง (Background correction) และ โปรแกรมคำนวณต่างๆ (ภาพที่ 2.2) มีองค์ประกอบหลักที่เหมือนกันคือ (ชูชาติ, ม.ป.ป.)



ภาพที่ 2.2 แผนผังแสดงองค์ประกอบของเครื่องวัดการดูดกลืนแสงของอะตอม

ที่มา : ชูชาติ (ม.ป.ป.)

1. หลอดไฟกำเนิดแสง เพื่อให้การวัดมีความไว (Sensitivity) มากที่สุด หลอดไฟกำเนิดแสงที่ดีควรปล่อยคลื่นแสงจำเพาะที่มีความเข้มและแคบมากออกมาอย่างสม่ำเสมอ
2. หลอดไฟกำเนิดแสงอ้างอิง (Reference light source) นิยมใช้หลอดไฮโดรเจน (Hydrogen lamp) ซึ่งปล่อยแสงช่วงความยาวคลื่น 190-280 นาโนเมตร หรือใช้หลอดดิวทีเรียม (Deuterium lamp) ที่ปล่อยแสงช่วงความยาวคลื่น 190-325 นาโนเมตร สำหรับเป็นลำแสงอ้างอิงสำหรับการวิเคราะห์ในช่วงความยาวคลื่นแสงอัลตราไวโอเล็ต และใช้หลอดทังสเตนฮาโลเจนเป็นลำแสงอ้างอิงสำหรับการวิเคราะห์ในช่วงคลื่นแสงที่ตามองเห็น (visible light) สัญญาณของลำแสงที่ผ่านอะตอมอิสระออกมาจะถูกเปรียบเทียบกับสัญญาณอ้างอิงอยู่ตลอดเวลาที่วัด
3. ตัวสร้างอะตอม (Atomizer) เป็นอุปกรณ์ที่ทำให้ธาตุแตกตัวเป็นอะตอมอิสระ (Free atom)

โดยใช้พลังงานความร้อนจากเปลวไฟหรือใช้กระแสไฟฟ้า

4. ช่องแสง (Slit) ใช้สำหรับปรับความกว้างของลำแสง (Band width) ที่ตกกระทบตัวไวแสง การวิเคราะห์โดยทั่วไปนิยมใช้ช่องแสงกว้าง (Slit width) 0.7 นาโนเมตร การใช้ช่องแสงที่แคบลงจะช่วยลดการรบกวนจากความยาวคลื่นแสงข้างเคียงอื่น ๆ ได้ แต่ความเข้มของแสงน้อยลงเป็นผลให้มีการตอบสนองของตัวไวแสงไม่ดีเท่าที่ควร แต่ถ้าใช้ช่องแสงกว้างมากเกินไปการรบกวนจากคลื่นแสงข้างเคียงจะมีมากขึ้น และขีดจำกัดการวิเคราะห์ช่วงต่ำลดลง

5. ตัวแยกแสง (Monochromator) นิยมใช้เกรตติงแยกแสงหลายความยาวคลื่นที่ผ่านออกมาจากเปลวไฟให้กลายเป็นลำแสงสีเดียว (Monochromatic light) ที่มีความยาวคลื่นที่ต้องการ

6. ตัวไวแสง (Photo sensor) เป็นหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ทิวบ์ เนื่องจากมีอัตราการขยายสูง สามารถวัดความเข้มของแสงปริมาณน้อย ๆ ได้ดี

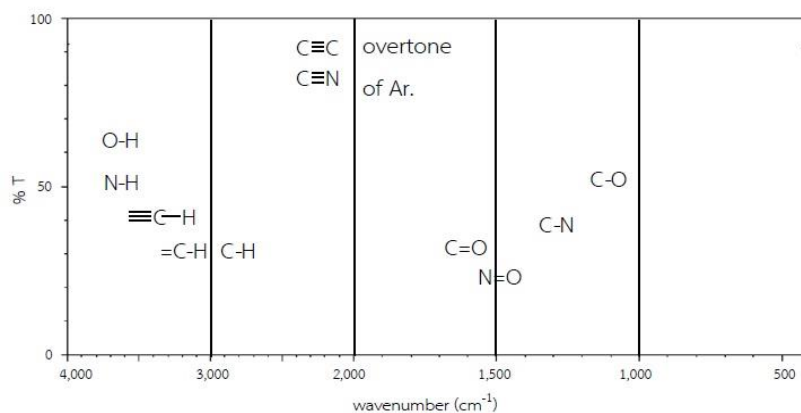
7. ภาคนขยายสัญญาณ (Amplifier circuit) อาจประกอบด้วยวงจขยายแบบล็อก (log amplifier) เพื่อเปลี่ยนสัญญาณจาก %T ให้เป็น A และวงจขยายความแตกต่างของสัญญาณ (Differential amplifier) และวงจขยายแบบเส้นตรง (Linear amplifier)

8. ภาคนแสดงผล (Read out device) อาจประกอบด้วยตัวเลขแสดงผล (Digital display) เครื่องพิมพ์ผล (Printer) จอภาพ (Monitor) และเครื่องบันทึกผล (Recorder)

9. แผงควบคุม อาจประกอบด้วยปุ่มและสวิตช์ควบคุมต่าง ๆ

2.8 เทคนิคการตรวจวิเคราะห์ Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy

Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy เป็นเป็นเทคนิคทางด้าน Infrared spectroscopic ที่มีประสิทธิภาพในการจำแนกประเภทของสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ และพันธะเคมีในโมเลกุลรวมถึงที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในโมเลกุลของสารผสมตัวอย่างที่ไม่ทราบชนิด อีกทั้งยังใช้ระยะเวลาในการตรวจสอบน้อยกว่าวิธีอื่นๆ

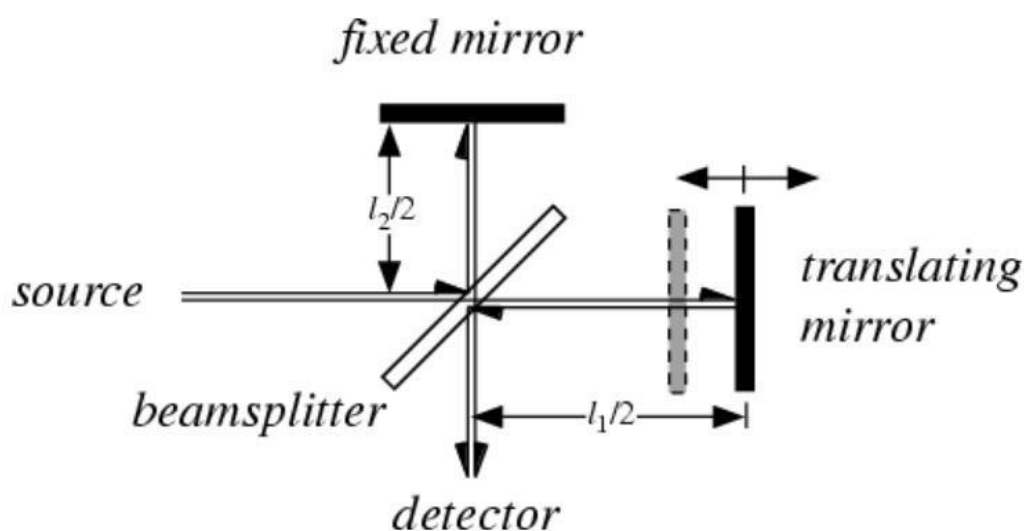


ภาพที่ 2.3 ช่วงความถี่ของพันธะต่าง ๆ ในอินฟราเรดสเปกตรัม

ที่มา : มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม เข้าถึงเมื่อวันที่ 5 ธันวาคม 2562. เข้าถึงได้จาก pws.npru.ac.th

Infrared (IR) spectroscopy เป็นเทคนิคหนึ่งใน spectroscopic ที่นำไปใช้ในทางเคมีอินทรีย์และเคมีอินทรีย์ โดยการตรวจวัดการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของตัวอย่างที่มีความถี่ต่างๆ ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของแต่ละพันธะ

Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างของสาร โดยการตรวจวัดการดูดกลืนรังสีในช่วงอินฟราเรดที่อยู่ในช่วงเลขคลื่น (Wave number) ที่ $12800-10\text{ cm}^{-1}$ โดยสามารถตรวจวัดตัวอย่างได้ทั้งของแข็ง ของเหลวและก๊าซสำหรับอุปกรณ์ อินเตอร์เฟอโรมิเตอร์นั้นจะประกอบไปด้วยกระจกแบนราบ (Planar mirrors) 2 แผ่นที่วางทำมุมตั้งฉากกัน โดยจะมี 1 แผ่นวางอยู่กับที่ (Fixed mirror) ในขณะที่กระจกอีกแผ่นจะสามารถเคลื่อนที่กลับไปกลับมาได้ด้วยความเร็วคงที่ในทิศทางที่ตั้งฉากกับระนาบของผิวกระจกที่อยู่กับที่ นอกจากนี้ยังมีตัวแยกลำแสง (Beam splitter) ซึ่งวางทำมุม 45 องศา อยู่ระหว่างกระจกทั้ง 2 อัน ดังภาพที่ 2.4 ซึ่งตัวแยกลำแสงนี้จะทำหน้าที่แบ่งแยกลำแสงออกมาจากแหล่งกำเนิดแสง ให้แยกออกเป็น 2 ส่วน กล่าวคือลำแสงจะทะลุผ่านตัวแยกลำแสง 50% แล้วไปสู่กระจกที่วางอยู่กับที่ ในขณะที่อีก 50% ของลำแสงที่เหลือจะหักเหไปสู่กระจกที่เคลื่อนที่



ภาพที่ 2.4 การทำงานของ interferometer

ที่มา : Chemistry libretxts, เข้าถึงเมื่อวันที่ 24 พฤศจิกายน 2562. เข้าถึงได้จาก shorturl.at/ozHPU

ผลจากการแยกแสงและการสะท้อนของแสงในลักษณะดังกล่าวจะทำให้รูปแบบของคลื่นแสงที่จะเข้าไปสู่ดีเทคเตอร์ถูกรบกวนให้เปลี่ยนแปลงไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระยะทางของกระจกที่เคลื่อนที่ด้วย ซึ่งสัญญาณของแสงที่รวมกันใหม่เพื่อจะเข้าสู่ดีเทคเตอร์นี้มีลักษณะเป็น Time domain หรือกราฟคลื่น Sine wave ที่สัมพันธ์กับแกนระยะทางหรือเวลา เนื่องจากกระจกเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ซึ่งถูกถอดรหัสหรือแปลงไปเป็น Frequency domain หรือกราฟที่สัมพันธ์กับแกนความถี่ โดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่า Fourier transform โดยข้อมูลที่ได้อาจจะ

ถูกนำไปเขียนเป็นสเปกตรัมอินฟราเรด แสดงเป็นกราฟระหว่างปริมาณความเข้มของแสงกับความถี่หรือเลขคลื่น (วิจิตรา, 2555)

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กัญญา และ กันยรัตน์ (2557) ศึกษาการวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุในเมล็ดข้าวพื้นเมืองบริเวณตอนเหนือของจังหวัดนครราชสีมา มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบปริมาณแร่ธาตุในเมล็ดข้าวพื้นเมืองบริเวณตอนเหนือของจังหวัดนครราชสีมา จำนวน 10 พันธุ์ปลูก ได้แก่ ข้าวหอม นวล, ข้าวทองทราย, ข้าวเหลืองทอง, ข้าวหอมมะลิแดง, ข้าวเหนียวดา, ข้าวเหลืองตาแห้ง, ข้าวมะรุ้ม, ข้าวกำ, ข้าวลอยสายบัว, ข้าวหยอดเบา เทียบกับ ข้าวขาวดอกมะลิ 105 โดยใช้เครื่อง Atomic absorption spectrophotometer เป็นเครื่องในการวัดปริมาณแร่ธาตุต่างๆ ผลการทดลอง พบว่า ข้าวลอยสายบัว มีปริมาณฟอสฟอรัสสูงสุด 21.200 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ข้าวหยอดเบา มีปริมาณแคลเซียมสูงสุด 9.964 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม และยังมีปริมาณเหล็กในปริมาณสูง 10.458 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ข้าวเหลืองตาแห้ง มีปริมาณทองแดงสูงสุด 2.023 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ในขณะที่ข้าวหอมมะลิ 105 มีปริมาณทองแดงต่ำสุด 0.283 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม และมีปริมาณแคลเซียม 7.389 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม

จิราพร และคณะ (2548) ได้ศึกษาวิธีการเตรียมเปลือกไข่ไก่ผงที่มีคุณภาพและเหมาะสมในการเติมในผลิตภัณฑ์อาหาร จากการศึกษาพบว่าวิธีการเตรียมเปลือกไข่ไก่ผงที่เหมาะสมคือ ล้างเปลือกไข่ไก่ด้วยน้ำให้สะอาด และนำไปต้มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที สะเด็ดน้ำออก จากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง และนำไปบดให้ละเอียดแล้วร่อนผ่านตะแกรง 100 mesh เปลือกไข่ไก่ผงที่ได้มีแคลเซียมอยู่ร้อยละ 39, ไม่พบเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค, มีตะกั่วน้อยกว่า 0.5 ppm และอาร์เซนิกน้อยกว่า 0.1 ppm มีค่า aw เท่ากับ 0.15

พรทิพย์ และคณะ (2554) ได้ทำการศึกษาข้าวเสริมแคลเซียม โดยแช่ข้าวสารในสารละลายแคลเซียมแลกเตต (ความเข้มข้นร้อยละ 3 และ 5) ที่อุณหภูมิห้อง (25 ± 2 องศาเซลเซียส), 40 องศาเซลเซียส และ 60 องศาเซลเซียส จากนั้นนึ่งและทำให้แห้ง นำข้าวเสริมแคลเซียมมาตรวจคุณภาพเปรียบเทียบกับข้าวสาร พบว่าข้าวเสริมแคลเซียมมีค่าความสว่าง (L^*) ลดลงและค่าความแตกต่างของสี (ΔE) มากขึ้น เมื่อนำไปหุงสุกไม่มีความแตกต่างของค่าการดูดซึมน้ำระหว่างการหุงต้ม แต่ข้าวเสริมแคลเซียมมีปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำหุงต้มมากกว่า โดยเฉพาะตัวอย่างที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิสูง ผู้ชิมให้การยอมรับข้าวเสริมแคลเซียมทั้งหมด โดยปริมาณแคลเซียมในข้าวเสริมแคลเซียมที่ผ่านการแช่ในสารละลายแคลเซียมแลกเตตร้อยละ 3 และ 5 เป็น 112.53-148.63 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม และ 170.23-194.27 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ ข้าวเสริมแคลเซียมมีความคงตัวของแคลเซียมและค่าการละลายของแคลเซียมในน้ำย่อยจำลองแตกต่างกันสภาวะ การ

ผลิตข้าวเสริมแคลเซียมด้วยวิธีแช่น้ำที่เหมาะสม คือ แช่ข้าวสารในสารละลายแคลเซียมแลคเตต ความเข้มข้นร้อยละ 5 ที่อุณหภูมิห้อง

วิจิตร และ ปิยวรรณ (2550) ศึกษาผลของแคลเซียมแลคเตตและแคลเซียมกลูโคเนตต่อกระบวนการหมักโยเกิร์ตน้ำนมข้าวโพด โดยเตรียมโยเกิร์ตน้ำนมข้าวโพดจากข้าวโพดหวานพันธุ์ เอทีเอส 5 ทำการศึกษาที่ปริมาณแคลเซียม 3 ระดับ คือ 60, 90 และ 120 มิลลิกรัมแคลเซียมต่อ 100 มิลลิลิตร เปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่เติมแคลเซียม (ตัวอย่างควบคุม) ทำการวัดค่า pH และปริมาณกรดทั้งหมด (คำนวณเป็น ร้อยละของกรดแลคติก) พบว่าการเติมแคลเซียมแลคเตต และปริมาณแคลเซียมแลคเตตที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่า pH ลดลง และปริมาณกรดทั้งหมด (คำนวณเป็น ร้อยละของกรดแลคติก) เพิ่มขึ้น ส่วนการเติมแคลเซียมกลูโคเนต 90 และ 120 มิลลิกรัมแคลเซียมต่อ 100 มิลลิลิตร ทำให้ค่า pH ของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น แต่ไม่มีผลต่อปริมาณกรดทั้งหมด ทำการเตรียมแคลเซียมแลคเตตและแคลเซียมกลูโคเนตจากเปลือกไข่ เติมแคลเซียมแลคเตตและแคลเซียมกลูโคเนตจากเปลือกไข่ และที่จำหน่ายในทางการค้าในโยเกิร์ตน้ำนมข้าวโพดในปริมาณ 60 มิลลิกรัมแคลเซียมต่อ 100 มิลลิลิตร ศึกษาคุณภาพในด้านต่างๆ ของโยเกิร์ตน้ำนมข้าวโพดที่ได้เปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่เติมแคลเซียม (ตัวอย่างควบคุม) ในระหว่างการเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 และ 7 วัน ผลการทดลองพบว่า การเติมแคลเซียมแลคเตตที่จำหน่ายในทางการค้าและจากเปลือกไข่ไม่มีผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด pH ค่าความเป็นกรดทั้งหมด (คิดเป็น ร้อยละของกรดแลคติก) ค่าสี และการแยกชั้นของน้ำ ($p > 0.05$) คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของรสชาติ เนื้อ สัมผัสและความชอบรวมไม่แตกต่างกัน ส่วนคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของสี กลิ่นและความหนืดแตกต่างกัน โดยมีคะแนนลดลงเมื่อเติมแคลเซียมกลูโคเนตทั้งจากเปลือกไข่และที่จำหน่ายในทางการค้า ดังนั้นโยเกิร์ตน้ำนมข้าวโพดเสริมแคลเซียมจากเปลือกไข่สามารถเป็นแหล่งที่ดีของแคลเซียมได้ โดยมีปริมาณแคลเซียมอยู่ในช่วงร้อยละ 25.00-28.93 Thai RDI (199.80-231.45 มิลลิกรัมต่อ 1 หน่วยบริโภค หรือ 150 มิลลิลิตร)

Daengprok และคณะ (2002) ศึกษาผลของการเสริมแคลเซียมแลคเตตในระดับเชิงพาณิชย์และเชิงกลที่มีต่อคุณสมบัติทางจุลชีววิทยาและทางเคมีกายภาพของແໜມ (ไส้กรอกหมูที่หมักแบบไทย) ระดับแคลเซียมในແໜມเป็น 150, 300 และ 450 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม เมื่อเทียบกับตัวควบคุม (ไม่มีการเสริมแคลเซียม) การเสริมแคลเซียมในແໜມไม่ส่งผลต่อจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกหรือค่าสี แรงเฉือนของແໜມที่เสริมด้วยแคลเซียมแลคเตตจากเปลือกไข่ลดลง ($P < 0.05$) จาก 32.2 N ในตัวควบคุม และ 19.5-22.8 N ในແໜມที่เสริมด้วยแคลเซียมแลคเตตจากเปลือกไข่ อย่างไรก็ตามແໜມที่เสริมแคลเซียมแลคเตตที่จำหน่ายในทางการค้ามีแรงเฉือนเหมือนกันกับตัวควบคุม คะแนนทางประสาทสัมผัสของรสเปรี้ยว กลิ่น และการยอมรับโดยรวมไม่แตกต่างกันระหว่างตัวควบคุมกับແໜມที่เสริมแคลเซียมที่ระดับแคลเซียม 150 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม

LEE และคณะ (1995) ศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวเสริมแคลเซียม โดยการแช่ข้าวในแคลเซียมแลคเตทร้อยละ 3 เป็นเวลา 3 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง จากการศึกษาข้าวเสริมแคลเซียมและข้าวที่ไม่ได้เสริมแคลเซียม มีปริมาณแคลเซียม 134 ± 2 มิลลิกรัมของแคลเซียมต่อ 100 กรัมของข้าว และ 64 ± 3 มิลลิกรัมของแคลเซียมต่อ 100 กรัมของข้าว ตามลำดับ ข้าวเสริมแคลเซียมที่ไม่หุงสุกกับข้าวเสริมแคลเซียมที่หุงสุก มีค่าความแข็งและความแน่นเนื้อมากกว่า ข้าวที่ไม่ได้เสริมแคลเซียม

Mridula และคณะ (2015) ใช้แคลเซียมคลอไรด์ในการเคลือบโดยใช้วิธีการแช่และฉีดพ่นตามด้วยการเคลือบด้วยโพลีเมอร์ ได้แก่ hydroxypropyl methyl cellulose (HPMC), methyl cellulose (MC), การรวมกันของ HPMC and MC และ zein วิธีฉีดพ่นจะได้ข้าวเสริมแคลเซียมที่มีความขาวสูงขึ้นและเนื้อสัมผัสแข็งมากกว่าวิธีการแช่ ปริมาณแคลเซียมในตัวอย่างข้าวเสริมแคลเซียมโดยใช้วิธีแช่และฉีดพ่นมีค่าอยู่ในช่วง 9.93-22.39 และ 11.84-25.39 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ข้าวเสริมแคลเซียมที่เคลือบพอลิเมอร์ชีวภาพลดการสูญเสียแคลเซียมในขั้นตอนการล้าง การเก็บรักษาแคลเซียมหลังจากล้างด้วยน้ำกลั่น 2 ครั้งการเคลือบด้วย zein (9% level) ที่ข้าวเสริมแคลเซียม มีค่าสูงสุด ตามด้วยการรวมกันของ HPMC และ MC ที่ 2% level คะแนนการยอมรับโดยรวมสำหรับตัวอย่างที่สุกแล้วของข้าวเสริมแคลเซียมมีค่าอยู่ระหว่าง 7.66 ถึง 8.14 เทียบกับข้าวที่ไม่ได้เสริมแคลเซียมมีคะแนนการยอมรับโดยรวมเท่ากับ 8.07 ถึงแม้ว่าไม่เป็นนัยสำคัญแต่คะแนนความชอบโดยรวมสูงสำหรับการเคลือบ HPMC และ MC (2% level) ที่ข้าวเสริมแคลเซียมที่ปรุงสุก ซึ่งให้เห็นว่าควรมีการพัฒนาข้าวเสริมแคลเซียมโดยการฉีดพ่นสารละลายแคลเซียม 120 มิลลิกรัมแคลเซียมต่อมิลลิลิตร ตามด้วยการเคลือบ HPMC และ MC (2% level) และทำแห้ง

Tzia และคณะ (2011) วัตถุประสงค์ของงานวิจัยที่คือ การเสริมวิตามินในข้าว 3 แบบ คือ ข้าวกล้อง, ข้าวขาว และข้าวหนึ่ง ด้วยวิตามินบีรวม (B1, B2, B3, B5, B6, B12) โดยใช้ 2 วิธีคือ การแช่และการฉีดพ่น พบว่าปริมาณวิตามินในวิธีการแช่มี 53.5-76.2% ส่วนวิธีการฉีดพ่นมีวิตามิน 54.3-85.3% การวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยของกลิ่นและรสชาติ ส่วนค่าสีวิธีการแช่มีค่าสีมากกว่าวิธีการฉีดพ่น

บทที่ 3

อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการ

3.1 วัสดุดิบ

3.1.1 วัสดุดิบที่ใช้ในการทดลอง

- 3.1.1.1 ข้าวหอมมะลิ จากทุ่งกุลาร้องไห้
- 3.1.1.2 เปลือกไข่เป็ด จากโรงงานขนมไทยบ้านทองหยอด
- 3.1.1.3 เปลือกหอยแครง จากตลาดวัดพุทธ เขตทุ่งครุ กรุงเทพมหานคร

3.1.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

- 3.1.2.1 กรดแลคติก (Food grade) จากบริษัท เคมีภัณฑ์ คอร์ปอเรชั่น จำกัด, ไทย
- 3.1.2.2 กรดอะซิติก (Food grade) จากหจก. เอ็มแอนด์พี อิมเป็กซ์, ไทย
- 3.1.2.3 กรดไฮโดรคลอริก (AR grade) จากหจก. เอ็มแอนด์พี อิมเป็กซ์, ไทย
- 3.1.2.4 กรดไนตริก (AR grade) จากหจก. เอ็มแอนด์พี อิมเป็กซ์, ไทย

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 3.2.1 เครื่องชั่งละเอียด 2 ตำแหน่ง (Sartorius, Bp3100S, Germany)
- 3.2.2 เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง (Denver, SI-234, Germany)
- 3.2.3 เครื่องวัดสี (Minolta, CR 400, Japan)
- 3.2.4 เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Stable Micro System, TA-XT Plus, UK)
- 3.2.5 เครื่อง Atomic absorption spectrophotometer (PerkinElmer, AAnalyst 200)
- 3.2.6 เครื่อง Fourier transform infrared spectrophotometer (Spectrum GX, PerkinElmer)
- 3.2.7 เครื่อง Scanning electron microscope (FEI, Quanta 250, USA)
- 3.2.8 เครื่องบดผงแห้ง (Bonny รุ่น 20B YLFJ-20B-JL-S)
- 3.2.9 เครื่องอบลมร้อน (Mettler, Germany)
- 3.2.10 เครื่องวัดความเป็นกรด - ด่าง (Mettler Toledo, Easy Pro, Switzerland)
- 3.2.11 Hot Plate Stirrer (Cimarec, USA)
- 3.2.12 เตาเผา (Furnace) (Carbolite, RWF 1100)
- 3.2.13 เครื่อง Centrifuge (Eppendorf, 5804 R, Germany)
- 3.2.14 เครื่องปั่นแห้งสแตนเลส

- 3.2.15 กระจกชนิดน้ำขนาดเล็ก
- 3.2.16 โถดูดความชื้น (Desicator)
- 3.2.17 อุปกรณ์เครื่องแก้วต่างๆ
- 3.2.18 อุปกรณ์เครื่องครัวต่างๆ

3.3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.3.1 การเตรียมเปลือกไข่เป็ดผง

วิธีการผลิตเปลือกไข่ผงเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการสกัดแคลเซียมในขั้นตอนต่อไปมีวิธีการทำดังต่อไปนี้คือ นำเอาเปลือกไข่มาทำการล้างด้วยน้ำสะอาด และล้างสกรบต่างๆออกไป ทำการสะเด็ดน้ำ แล้วนำไปต้มในน้ำอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำไปอบให้แห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมงแล้วนำมาบดเป็นผงละเอียดโดยใช้เครื่อง Pin mill ร่อนผ่านตะแกรง 50 mesh ก็จะได้เปลือกไข่ผงตามต้องการ (จิราพร และคณะ, 2548)

3.3.1.1 การวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometer (FTIR)

นำเปลือกไข่เป็ดที่บดละเอียดเป็นผงแล้วไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometer (FTIR) เป็นเทคนิคที่สามารถบอกหมู่ฟังก์ชันในสารตัวอย่าง

3.3.2 การเตรียมเปลือกหอยแครงผง

นำเปลือกหอยมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำสะอาด จากนั้นนำไปแช่ในสารละลายคลอรีนความเข้มข้นร้อยละ 5 หลังจากนั้นนำไปล้างด้วยน้ำให้สะอาด ตากแดด และอบแห้งที่ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส จนกระทั่งเปลือกหอยแห้งสนิท จากนั้นนำไปบดให้ละเอียดด้วยเครื่อง Pin mill กรองผ่านตะแกรงขนาด 50 mesh (สุภกร และคณะ, 2556)

3.3.2.1 การวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometer (FTIR)

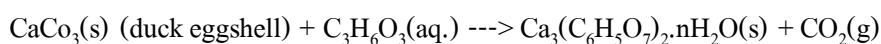
นำเปลือกหอยแครงที่บดละเอียดเป็นผงแล้วไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometer (FTIR) เป็นเทคนิคที่สามารถบอกหมู่ฟังก์ชันในสารตัวอย่าง

3.3.3 การเตรียมแคลเซียมจาก 2 แหล่ง คือ เปลือกไข่เป็ด และเปลือกหอยแครง

3.3.3.1 การเตรียมแคลเซียมแลคเตทจากเปลือกไข่เป็ด

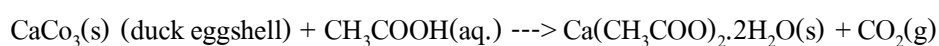
ทำการเตรียมแคลเซียมแลคเตทจากเปลือกไข่เป็ดผงโดยการนำมาทำปฏิกิริยาด้วยกรดแลคติก ซึ่งสามารถเตรียมได้ดังนี้คือ ทำการละลายเปลือกไข่เป็ดผงจำนวน 50 กรัม ในกรดแลคติกจำนวน 180 กรัม (สัดส่วนของเปลือกไข่เป็ดผงต่อกรดแลคติกได้จากการคำนวณจากสมการเคมีคือ แคลเซียมคาร์บอเนตในเปลือกไข่เป็ดผงจำนวน 1 โมลจะสามารถทำปฏิกิริยาพอดีกับกรดแลคติกจำนวน 2 โมล และกำหนดให้ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตในเปลือกไข่เป็ดผง

เท่ากับร้อยละ 90 และความเข้มข้นของกรดแลคติกที่ใช้คือ ร้อยละ 50) แล้วทำการคนให้เข้ากัน จากนั้นทิ้งไว้ 15 นาทีเพื่อให้ทำปฏิกิริยาจนเสร็จสมบูรณ์ และนำไปอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง (คัดแปลงจากบรรจง และภิเชก, 2560) สมการปฏิกิริยาเคมีคือ



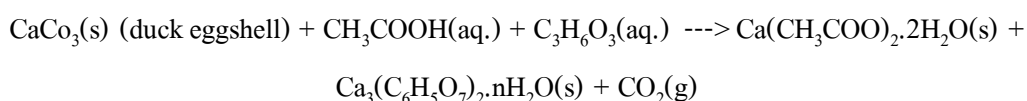
3.3.3.2 การเตรียมแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกไข่เป็ดผง

ทำการเตรียมแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกไข่เป็ดผง โดยการนำมาทำปฏิกิริยาด้วยกรดอะซิติก ซึ่งสามารถเตรียมได้ดังนี้คือ ทำการละลายเปลือกไข่เป็ดผงจำนวน 50 กรัม ในกรดอะซิติกจำนวน 120 กรัม (ความเข้มข้นของกรดอะซิติกที่ใช้คือ ร้อยละ 50) แล้วทำการคนให้เข้ากัน จากนั้นทิ้งไว้ 15 ชั่วโมงเพื่อให้ทำปฏิกิริยาจนเสร็จสมบูรณ์ และนำไปอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง (คัดแปลงจากบรรจง และภิเชก, 2560) สมการปฏิกิริยาเคมีคือ



3.3.3.3 การเตรียมแคลเซียมอะซิเตทผสมกับแคลเซียมแลคเตทจากเปลือกไข่เป็ดผง

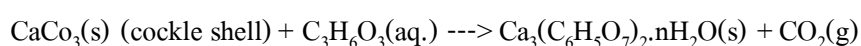
ทำการเตรียมแคลเซียมอะซิเตทผสมกับแคลเซียมแลคเตทจากเปลือกไข่เป็ดผง โดยการนำมาทำปฏิกิริยาด้วยกรดอะซิติกผสมกับกรดแลคติก ซึ่งสามารถเตรียมได้ดังนี้คือ ทำการละลายเปลือกไข่เป็ดผงจำนวน 50 กรัม ในกรดอะซิติกและกรดแลคติกที่ผสมกันจำนวน 60 และ 90 กรัม ตามลำดับ (ความเข้มข้นของกรดอะซิติกและกรดแลคติกที่ใช้คือ ร้อยละ 50) แล้วทำการคนให้เข้ากัน จากนั้นทิ้งไว้ 2 ชั่วโมงเพื่อให้ทำปฏิกิริยาจนเสร็จสมบูรณ์ และนำไปอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง ก็จะได้อะซิเตทผสมกับแลคเตทจากเปลือกไข่เป็ดตามต้องการ (คัดแปลงจากบรรจง และภิเชก, 2560) สมการปฏิกิริยาเคมีคือ



3.3.3.4 การเตรียมแคลเซียมแลคเตทจากเปลือกหอยแครงผง

เตรียมในทำนองเดียวกันกับการเตรียมแคลเซียมแลคเตทจากเปลือกไข่เป็ดผง

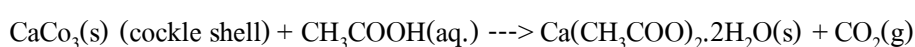
(3.3.3.1) แต่ใช้เปลือกหอยแครงผงแทนเปลือกไข่เป็ดผง สมการปฏิกิริยาเคมีคือ



3.3.3.5 การเตรียมแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยแครงผง

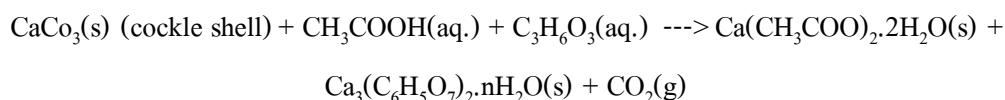
เตรียมในทำนองเดียวกันกับการเตรียมแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกไข่เป็ดผง

(3.3.3.2) แต่ใช้เปลือกหอยแครงผงแทนเปลือกไข่เป็ดผง สมการปฏิกิริยาเคมีคือ



3.3.3.6 การเตรียมแคลเซียมอะซิเตทผสมกับแคลเซียมแลคเตทจากเปลือก หอยแครงผง

เตรียมในทำนองเดียวกันกับการเตรียมแคลเซียมอะซิเตทผสมกับแคลเซียมแลคเตทจากเปลือกไข่เป็ดผง (3.3.3.3) แต่ใช้เปลือกหอยแครงผงแทนเปลือกไข่เป็ดผง สมการปฏิกิริยาเคมีคือ



3.3.3.7 การวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียม

ทำการวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียม โดยวิธีการไตเตรทตามวิธีของ Committee of Food Chemical Codex (1996) ทำการไตเตรทด้วย 0.05M Disodium EDTA โดยใช้ Murexide เป็นอินดิเคเตอร์ จุดยุติเป็นสีม่วง

3.3.3.8 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

ทำตามวิธีของ AOAC (2000) โดยการนำตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักแน่นอน ไปทำการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมงหรือจนแห้งสนิท แล้วคำนวณปริมาณความชื้น จากน้ำหนักของตัวอย่างที่หายไป

3.3.3.9 วิเคราะห์ความสามารถในการละลายน้ำ

ทำการวิเคราะห์ความสามารถในการละลายน้ำของแคลเซียมที่ทำมาจากเปลือกไข่เป็ดและเปลือกหอยแครงตามวิธีของ Anderson และคณะ, 1969

3.3.3.10 วิเคราะห์หาร้อยละผลผลิต

นำผงเปลือกไข่เป็ด และผงเปลือกหอยแครงมาอย่างละ 10 กรัม ทำปฏิกิริยากับกรด คือ กรดแลคติก กรดอะซิติก และกรดอะซิติกผสมกับกรดแลคติก โดยเมื่อปฏิกิริยาลิ้นสุดลงแล้วจะได้ผลผลิตทันทีเป็นแคลเซียมแลคเตท แคลเซียมอะซิเตท และแคลเซียมอะซิเตทผสมกับแคลเซียมแลคเตท จากเปลือกไข่เป็ดและเปลือกหอยแครง จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักและคำนวณหาร้อยละผลผลิต

3.3.3.11 วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometer (FTIR)

นำผงแคลเซียมที่บดแล้วไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometer (FTIR) เป็นเทคนิคที่สามารถบอกหมู่ฟังก์ชันในสารตัวอย่าง

3.3.4 ศึกษาชนิดของแคลเซียมแลคเตท, แคลเซียมอะซิเตท และแคลเซียมแลคเตทผสมกับแคลเซียมอะซิเตท จากเปลือกไข่เป็ดและเปลือกหอยแครงที่มีผลต่อคุณภาพข้าวหอมมะลิ เสริมแคลเซียม

นำแคลเซียมที่เตรียมไว้ในข้อ 3.3.3 ซึ่งเป็นแคลเซียมแลคเตท, แคลเซียมอะซิเตท และแคลเซียมแลคเตทผสมกับแคลเซียมอะซิเตท ที่มาจากเปลือกไข่เป็ดและเปลือกหอยแครง วิธีที่ใช้ในการเคลือบแคลเซียมลงบนข้าวคือ การฉีดพ่น (Spraying) จะฉีดพ่นข้าวหอมมะลิ โดยจะ ใช้ความเข้มข้นของแคลเซียมแต่ละชนิดที่เท่ากันคือ 50,000 ppm นำสารละลายแคลเซียมความเข้มข้น 50,000 ppm มา 2 มิลลิลิตร ฉีดพ่นลงในข้าว 100 กรัม จากนั้นทำให้แห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบ ถาด (Tray dryer) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

3.3.4.1 วิธีในการหุงข้าว

นำข้าวหอมมะลิที่เสริมแคลเซียมและไม่เสริมแคลเซียมไปหุงสุก โดยจะ ใช้หม้อหุงข้าวในการหุงสุก อัตราส่วนข้าวต่อน้ำคือ 1:2 เช่น ข้าว 100 กรัม ต่อน้ำ 200 มิลลิลิตร ใช้เวลาในการหุง 11 นาที (Mridula และคณะ, 2015)

3.3.4.2 วิเคราะห์คุณภาพของข้าวหอมมะลิที่ยังไม่ได้หุงสุก

1.) การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

ทำตามวิธีของ AOAC (2000) โดยการนำตัวอย่างที่ทราบน้ำหนัก แนนอนไปทำการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมงหรือจนแห้งสนิท แล้วคำนวณ ปริมาณความชื้น จากน้ำหนักของตัวอย่างที่หายไป

2.) วิเคราะห์ปริมาณแคลเซียม

วิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมในตัวอย่างข้าวที่มีการเสริมแคลเซียมและไม่ ได้เสริมแคลเซียม วิธีการเตรียมตัวอย่างสามารถทำได้ โดยใส่ตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน (ประมาณ 1 กรัม) ลงในถ้วยครุชเชิล นำไปประเหยน้ำออกบนอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ แล้วเผาบน hot plate ในตู้ดูดควันจนหมดควัน แล้วเผาต่อในเตาเผาถ้ำจนได้ถ้ำขาว ทำการละลายถ้ำด้วย สารละลายกรดไนตริกร้อยละ 65 ทำการตรวจวัดปริมาณแคลเซียมด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AOAC, 2000)

3.) วิเคราะห์คุณสมบัติเนื้อสัมผัส

ตรวจวัดคุณสมบัติทางเนื้อสัมผัสของข้าวที่ไม่ได้เสริมแคลเซียมและ ข้าวที่เสริมแคลเซียม โดยใช้เครื่อง Texture Analyzer รุ่น TA-XT plus โดยข้าวหอมมะลิที่ไม่ได้หุง สุกจะใช้วิธีของ (Mridula และคณะ, 2015) โดยจะใช้เมล็ดข้าว 1 เม็ด และตั้งค่าดังนี้ Pre-test และ post- test speed 2 mm/s, test speed 1 mm/s, distance 0.4 mm และใช้หัววัด SMS P/5

4.) วัดค่าสี

โดยการวัดคือ นำตัวอย่างใส่ลงในภาชนะให้เต็มจากนั้นใช้เครื่องวัดสี กดลงไปบนตัวอย่าง โดยเครื่องวัดสีที่ใช้คือเครื่อง CR-400 Chroma Meter รายงานผลออกมาเป็นค่า L^* , a^* , b^* และ Whiteness index โดยค่า L^* หมายถึงค่าความสว่างมีค่าตั้งแต่ 0-100 (มืด-สว่าง) ค่า a^* หมายถึงค่าสีแดง ถ้ามีค่า + คือสีแดง ถ้ามีค่า - คือสีเขียว ส่วนค่า b^* หมายถึงค่าสีเหลือง ถ้ามีค่า + คือสีเหลือง ถ้ามีค่า - คือสีน้ำเงิน ทำการ calibrate เครื่องด้วยแผ่นเทียบสีมาตรฐานสีขาว คำนวณค่าดัชนีความขาว (Whiteness Index, WI) จาก

$$\text{ค่าดัชนีความขาว} = 100 - [(100-L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}]^{0.5} \quad (\text{Li และ Lee, 1996})$$

5.) วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometer (FTIR)

นำข้าวที่ไม่ได้เสริมแคลเซียมและข้าวที่เสริมแคลเซียม ไปบดละเอียด เป็นผงแล้วไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometer (FTIR) เป็นเทคนิคที่สามารถบอกหมู่ฟังก์ชันในสารตัวอย่าง

6.) วิเคราะห์ลักษณะ โครงสร้างภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ

ส่องกราด (Scanning electron microscope : SEM)

นำข้าวที่ไม่ได้เสริมแคลเซียมและข้าวที่เสริมแคลเซียม ไปบดละเอียด เป็นผงแล้วไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Scanning electron microscope (SEM) ภายใต้กำลังขยายของกล้องที่ 5,000x

7.) วิเคราะห์หาค่าปริมาณความร้อนด้วยเครื่อง Bomb Calorimeter

นำข้าวที่ไม่ได้เสริมแคลเซียมและข้าวที่เสริมแคลเซียม ไปบดละเอียด เป็นผงแล้วชั่งน้ำหนัก 1 กรัม จากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Bomb Calorimeter เป็นเครื่องมือหาค่าความร้อนของตัวอย่างผง ของแข็ง มีหลักการทำงานโดยใส่ตัวอย่างลงไป ในลูกบอมบ์เพื่อเผาจน ตัวอย่างลุกไหม้ให้ความร้อนออกมา ความร้อนจะถ่ายเทให้กับน้ำที่ล้อมรอบลูกบอมบ์ เทอร์โมมิเตอร์อิเล็กทรอนิกส์จะวัดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำและรายงานผลค่าพลังงานความร้อนได้

3.3.4.3 วิเคราะห์คุณภาพของข้าวหอมมะลิหุงสุก

1.) วิเคราะห์คุณสมบัติเนื้อสัมผัส

ตรวจวัดคุณสมบัติทางเนื้อสัมผัสของข้าวที่ไม่ได้เสริมแคลเซียมและข้าวที่เสริมแคลเซียม โดยใช้เครื่อง Texture Analyzer รุ่น TA-XT plus โดยข้าวหอมมะลิหุงสุกจะใช้ เม็ดข้าว 8 เม็ด และใช้วิเคราะห์ด้วยวิธี Texture profile analysis (TPA) โดยตั้งค่าดังนี้ Pre-test และ post- test speed 2 mm/s, test speed 0.5 mm/s, strain 90% และใช้หัววัด SMS P/35 (Wang และคณะ, 2015)

2.) วัดค่าสี

ใช้วิธีในการวัดสีวิธีเดียวกับการวิเคราะห์คุณภาพของข้าวหอมมะลิที่ยังไม่ได้หุงสุก (3.3.4.2)

3.3.4.4 การวิเคราะห์ทางสถิติ (Statistical Analysis)

การวิเคราะห์ความชื้น ปริมาณแคลเซียม ค่าสี และคุณสมบัติเนื้อสัมผัส วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Complete randomized design, CRD) และวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของข้อมูลด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป IBM SPSS Statistics Version 22

3.3.5 ศึกษาการนำเสียนของข้าวหอมมะลิหุงสุกและการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อข้าวหอมมะลิเสริมแคลเซียม

นำข้าวที่เสริมแคลเซียมที่เหมาะสม สมจาก 2 แหล่ง คือจากเปลือกไข่เป็ด และเปลือกหอยแครง มาหุงสุกและนำไปศึกษาการนำเสียนโดยนำข้าวที่ไม่ได้เสริมแคลเซียมและเสริมแคลเซียมที่หุงสุกแล้วใส่ภาชนะละตั้งทิ้งไว้ในอุณหภูมิห้อง จากนั้นจดบันทึกการเปลี่ยนแปลงของข้าวคือ สี กลิ่น ลักษณะปรากฏ และศึกษาการยอมรับของผู้บริโภค โดยนำข้าวที่เสริมแคลเซียมที่เหมาะสมจาก 2 แหล่ง คือจากเปลือกไข่เป็ด และเปลือกหอยแครง มาหุงสุกและทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยใช้ผู้ทดสอบชิมซึ่งเป็นนักศึกษาคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จำนวน 30 คน ด้วยวิธีการทดสอบความชอบแบบ Hedonic Scaling (9 Scales) พิจารณาคูณลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ความนุ่ม และความชอบโดยรวม ให้คะแนนความชอบผลิตภัณฑ์จากค่า 1-9 (1 = ไม่ชอบมากที่สุด, 5 = เฉยๆ, 9 = ชอบมากที่สุด) (Chamber และ Wolf, 1996) และวิธีการเปรียบเทียบความแตกต่างของลักษณะกับตัวอย่างควบคุม (Difference from control) พิจารณาคูณลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ และความนุ่ม

3.3.5.1 การวิเคราะห์ทางสถิติ (Statistical Analysis)

วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) ด้วยแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) และเปรียบเทียบความแตกต่างจากตัวอย่างด้วย Dunnett และค่าเฉลี่ยของข้อมูลด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป IBM SPSS Statistics Version 22

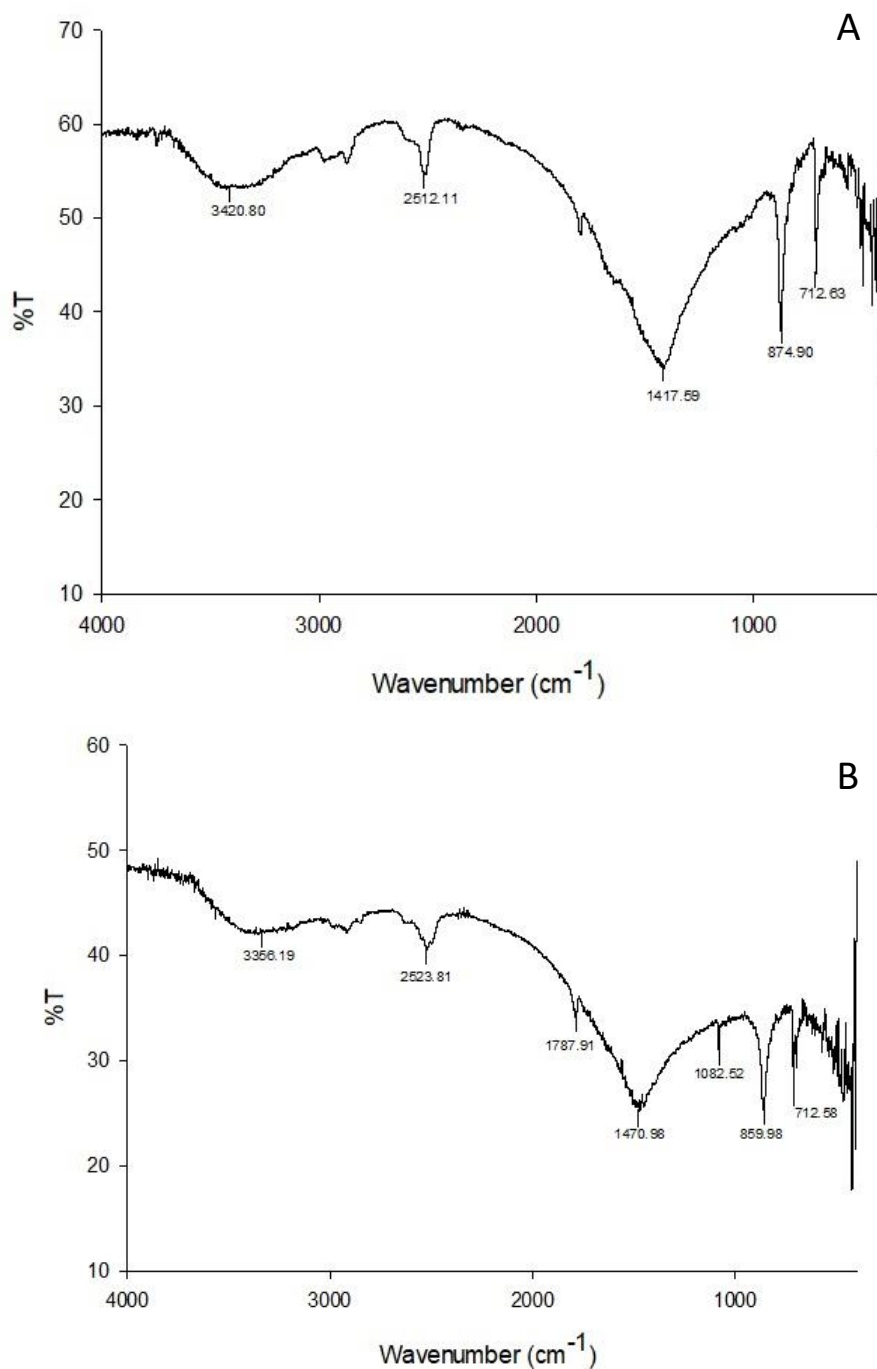
บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ผลการศึกษาองค์ประกอบของเปลือกไข่เป็ดผงและเปลือกหอยแครงผงโดยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR)

จากการวิเคราะห์ประเภทของสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ และพันธะเคมีในโมเลกุลรวมถึงองค์ประกอบที่อยู่ในโมเลกุลของเปลือกไข่เป็ดผงและเปลือกหอยแครงผงด้วยเครื่อง FTIR พบว่าสเปกตรัมจากเครื่อง FTIR ของเปลือกไข่เป็ดผงและเปลือกหอยแครงผงอยู่ที่ช่วงความถี่ 400-4000 cm^{-1} แสดงดังภาพที่ 4.1 เส้นสเปกตรัมของเปลือกไข่เป็ดผงและเส้นสเปกตรัมของเปลือกหอยแครงผงมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย คือเส้นสเปกตรัมของเปลือกหอยแครงผง พบว่ามีคลื่นความถี่เกิดขึ้นเพิ่มขึ้นมาที่ตำแหน่ง 1082.52 cm^{-1} จากการพิจารณาการสั่นของ โครงสร้างเส้นสเปกตรัม พบว่าเปลือกไข่เป็ดผงและเปลือกหอยแครงผง ปรากฏคลื่นความถี่ของพันธะและหมู่ฟังก์ชันในช่วงที่เหมือนกัน ดังนี้ ช่วงความถี่คลื่น 3600-3200 cm^{-1} แสดงความถี่การสั่นของพันธะ O-H และ N-H หมู่คาร์บอกซิลิก สารประกอบฟีนอลิก กรดอะมิโน และกรดอะมิโนที่มีโครงสร้างเป็นวงแหวนทั้งรูปแบบ indolic และ pyrrolic (Mboniyirivuze และคณะ, 2015) ในช่วงความถี่คลื่น 3200-2500 cm^{-1} แสดงความถี่การสั่นของพันธะ O-H ในช่วงความถี่คลื่น 2350-2100 cm^{-1} แสดงความถี่การสั่นของพันธะ $\text{C}\equiv\text{C}$ (alkynes) (Mboniyirivuze และคณะ, 2015; UCSC) ในช่วงความถี่ 1510-1580 cm^{-1} แสดงความถี่การสั่นของพันธะ N-H C-N C-C และหมู่เอไมด์ (Hilderson และ Ralston, 1994) ในช่วงความถี่คลื่น 1625-1440 cm^{-1} แสดงความถี่การสั่นของพันธะ C=C ของสารประกอบอะโรมาติก ในช่วงความถี่คลื่น 1468-1330 cm^{-1} แสดงความถี่การสั่นของพันธะ C-H ของสารในกลุ่มของ aliphatic อยู่ในเมลานิน (Mboniyirivuze และคณะ, 2015) ในช่วงความถี่คลื่น 1375-1315 cm^{-1} แสดงความถี่การสั่นของพันธะ O-H ในพวกโพลีแซ็กคาไรด์ (D'Souza และ Kamat, 2017) ในช่วงความถี่คลื่น 1200-1020 cm^{-1} แสดงความถี่การสั่นของพันธะ C-OH ตามลำดับ

อย่างไรก็ตามพบว่า ภาพที่ 4.1 ซึ่งพบพีคตรงตำแหน่งเหมือนกันไม่ว่าจะเป็นเปลือกไข่เป็ดผงและเปลือกหอยแครงผง แต่จะมีพีคเลื่อนขึ้นหรือเลื่อนลงเล็กน้อย โดยทั้งหมดเป็นรูปแบบการสั่นของคาร์บอนเนตไอออน (CO_3^{2-}) พีค 1417.59 1470.96 712.63 และ 712.58 cm^{-1} เป็นเอกลักษณ์การสั่นของรูปแบบการสั่นที่ไม่ซ้อนสถานะของ E ขณะที่พีคตรงตำแหน่ง 874.90 และ 859.98 cm^{-1} เป็นเอกลักษณ์การสั่นแบบไม่ซ้อนสถานะ A_2 ส่วนพีคอื่นๆเกิดการสั่นแบบโอเวอร์โทน เส้นสเปกตรัมของเปลือกไข่เป็ดผงและเส้นสเปกตรัมของเปลือกหอยแครงผงมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย เพราะโครงสร้างของเปลือกไข่เป็ดผงและเปลือกหอยแครงผง มีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นองค์ประกอบ



ภาพที่ 4.1 เส้นสเปกตรัม FTIR ของเปลือกไข่เป็ดผง (A) และเปลือกหอยแครงผง (B)

4.2 ผลการศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพของผงแคลเซียมจาก 2 แหล่ง คือ เปลือกไข่เป็ด และเปลือกหอยแครง

จากการศึกษาผงแคลเซียมแลคเตท แคลเซียมอะซิเตท แคลเซียมแลคเตทผสมกับแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกไข่เป็ด และผงแคลเซียมแลคเตท แคลเซียมอะซิเตท แคลเซียมแลคเตทผสมกับแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยแครง ที่มีต่อปริมาณแคลเซียม ความชื้น ความสามารถในการละลายน้ำ และร้อยละผลผลิตดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียม ความชื้น ความสามารถในการละลายน้ำ และร้อยละผลผลิตของผงแคลเซียมจาก 2 แหล่ง คือ เปลือกไข่เป็ดและเปลือกหอยแครง

วิเคราะห์	เปลือกไข่เป็ด			เปลือกหอยแครง		
	แคลเซียม แลคเตท	แคลเซียม อะซิเตท	แคลเซียม แลคเตท+ อะซิเตท	แคลเซียม แลคเตท	แคลเซียม อะซิเตท	แคลเซียม แลคเตท+ อะซิเตท
ปริมาณแคลเซียม (%)	26.75±0.12 ^b	26.23±0.51 ^a	28.93±0.24 ^c	28.54±0.22 ^c	30.72±0.10 ^d	30.56±0.12 ^d
ความชื้น (%)	13.27±1.59 ^b	8.22±1.52 ^a	12.71±1.45 ^b	14.02±0.86 ^b	8.05±1.64 ^a	13.03±1.63 ^b
ความสามารถในการละลายน้ำ (%)	71.81±1.17 ^d	54.70±1.42 ^a	67.94±1.12 ^c	74.27±1.60 ^c	54.54±0.48 ^a	65.50±1.16 ^b
ร้อยละผลผลิต (%)	98.82±0.11 ^a	98.71±0.13 ^a	98.79±0.09 ^a	97.52±0.12 ^b	97.49±0.11 ^b	97.31±0.13 ^b

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่กำกับค่าแวนอนที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากการศึกษาคุณสมบัติผงแคลเซียมแลคเตท แคลเซียมอะซิเตท แคลเซียมแลคเตทผสมกับแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกไข่เป็ด และผงแคลเซียมแลคเตท แคลเซียมอะซิเตท แคลเซียมแลคเตทผสมกับแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยแครง ได้ผลดังตารางที่ 4.1 พบว่าผงแคลเซียมที่ทำจากเปลือกไข่เป็ดมีปริมาณแคลเซียมที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยผงแคลเซียมแลคเตท แคลเซียมอะซิเตท และแคลเซียมแลคเตทผสมกับแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกไข่เป็ดมีปริมาณแคลเซียมร้อยละ 26.75±0.12, 26.23±0.51 และ 28.93±0.24 ตามลำดับ ส่วนปริมาณแคลเซียมแลคเตทที่ทำจากเปลือกหอยแครงมีความแตกต่างจากแคลเซียมอะซิเตท และแคลเซียมแลคเตทผสมกับแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยแครงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยแคลเซียมแลคเตท แคลเซียมอะซิเตท และแคลเซียมแลคเตทผสมกับแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยแครงมีปริมาณแคลเซียมร้อยละ 28.54±0.22, 30.72±0.10 และ 30.56±0.12 ตามลำดับ

ค่าความชื้นของผงแคลเซียมแลคเตท แคลเซียมอะซิเตท แคลเซียมแลคเตทผสมกับแคลเซียมอะซิเตทจาก 2 แหล่ง คือ เปลือกไข่เป็ด และเปลือกหอยแครง ดังตารางที่ 4.1 พบว่าผงแคลเซียมแลคเตท แคลเซียมอะซิเตท และแคลเซียมแลคเตทผสมกับแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกไข่เป็ดมีปริมาณความชื้นร้อยละ 13.27±1.59, 8.22±1.52 และ 12.71±1.45 ตามลำดับ ส่วนผงแคลเซียมแลคเตท แคลเซียมอะซิเตท และแคลเซียมแลคเตทผสมกับแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยแครงมีปริมาณความชื้นร้อยละ 14.02±0.86, 8.05±1.64 และ 13.03±1.63 ตามลำดับ ปริมาณความชื้นของแคลเซียมอะซิเตทที่ทำจากเปลือกไข่เป็ดและเปลือกหอยแครงมีความแตกต่างจาก

ตัวอย่างอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยมีปริมาณความชื้นร้อยละ 8.22 ± 1.52 และ 8.05 ± 1.64 ตามลำดับ

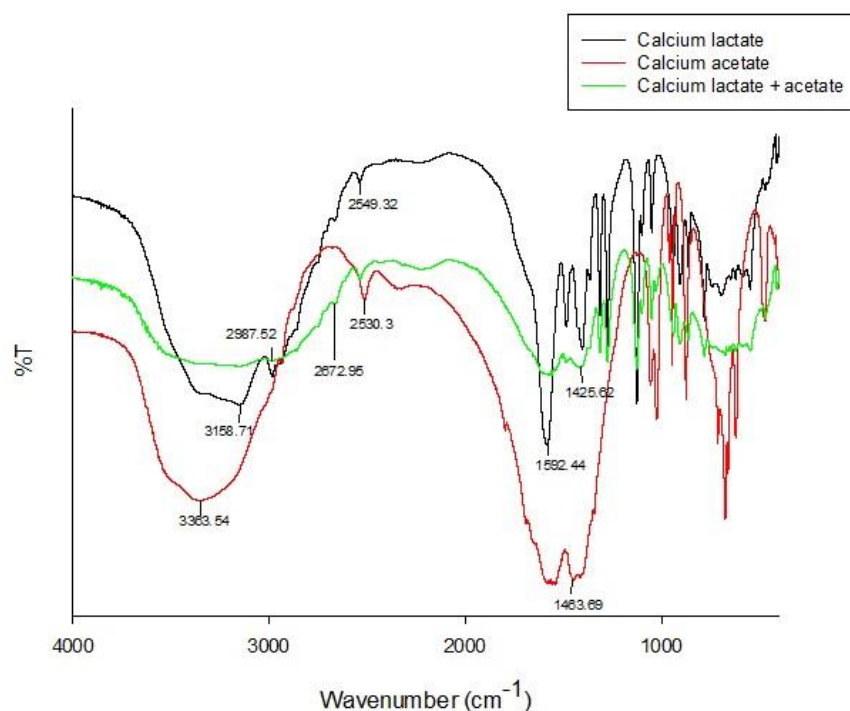
ค่าความสามารถในการละลายน้ำ (Water solubility index) ของผงแคลเซียมแลคเตท แคลเซียมอะซิเตท แคลเซียมแลคเตทผสมกับแคลเซียมอะซิเตทจาก 2 แหล่ง คือ เปลือกไข่เป็ด และเปลือกหอยแครง ดังตารางที่ 4.1 พบว่าผงแคลเซียมที่ทำมาจากเปลือกไข่เป็ดมีค่าความสามารถในการละลายน้ำที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยผงแคลเซียมแลคเตท แคลเซียมอะซิเตท และแคลเซียมแลคเตทผสมกับแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกไข่เป็ดมีค่าความสามารถในการละลายน้ำร้อยละ 71.81 ± 1.17 , 54.70 ± 1.42 และ 67.94 ± 1.12 ตามลำดับ ส่วนผงแคลเซียมที่ทำมาจากเปลือกหอยแครงก็มีค่าความสามารถในการละลายน้ำที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยผงแคลเซียมแลคเตท แคลเซียมอะซิเตท และแคลเซียมแลคเตทผสมกับแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยแครงมีค่าความสามารถในการละลายน้ำร้อยละ 74.27 ± 1.60 , 54.54 ± 0.48 และ 65.50 ± 1.16 ตามลำดับ แคลเซียมแลคเตทที่ทำมาจากเปลือกไข่เป็ดและเปลือกหอยแครงมีความสามารถในการละลายน้ำมากที่สุดคือ 71.81 ± 1.17 และ 74.27 ± 1.60 ตามลำดับ ซึ่งจะสอดคล้องกับ Weaver (1998) ที่กล่าวว่าแคลเซียมแลคเตทมีค่าความสามารถในการละลายน้ำที่สูง

จากการศึกษาร้อยละผลผลิตของผงแคลเซียมแลคเตท แคลเซียมอะซิเตท แคลเซียมแลคเตทผสมกับแคลเซียมอะซิเตทจาก 2 แหล่ง คือ เปลือกไข่เป็ด และเปลือกหอยแครง ดังตารางที่ 4.1 พบว่าผงแคลเซียมแลคเตท แคลเซียมอะซิเตท และแคลเซียมแลคเตทผสมกับแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกไข่เป็ดมีร้อยละผลผลิตคือ 98.82 ± 0.11 , 98.71 ± 0.13 และ 98.79 ± 0.09 ตามลำดับ ส่วนผงแคลเซียมแลคเตท แคลเซียมอะซิเตท และแคลเซียมแลคเตทผสมกับแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยแครงมีร้อยละผลผลิตคือ 97.52 ± 0.12 , 97.49 ± 0.11 และ 97.31 ± 0.13 ตามลำดับ ผงแคลเซียมที่เตรียมจากเปลือกไข่เป็ดและเปลือกหอยแครงมีร้อยละการผลิดที่สูงซึ่งคุ้มค่าในการนำมาใช้เป็นแหล่งของแคลเซียม

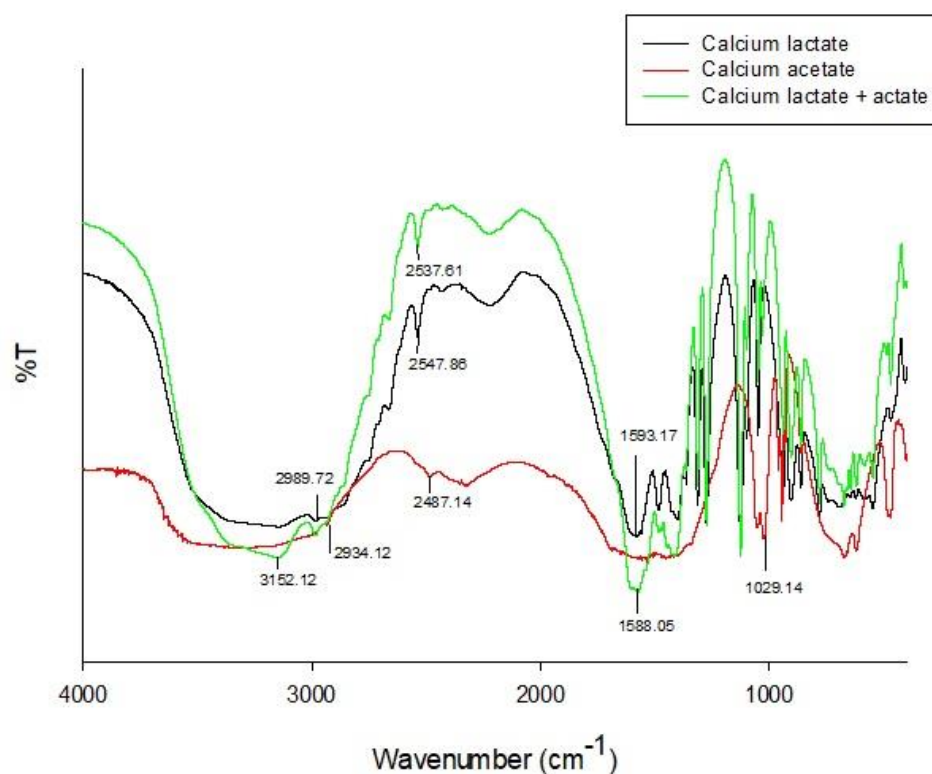
การวิเคราะห์ประเภทของสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ และพันธะเคมีใน โมเลกุลรวมถึงองค์ประกอบที่อยู่โมเลกุลของผงแคลเซียมแลคเตท แคลเซียมอะซิเตท แคลเซียมแลคเตทผสมกับแคลเซียมอะซิเตทจาก 2 แหล่ง คือ เปลือกไข่เป็ด และเปลือกหอยแครงด้วยเครื่อง FTIR พบว่าผงแคลเซียมแลคเตท แคลเซียมอะซิเตท และแคลเซียมแลคเตทผสมกับแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกไข่เป็ด (ภาพที่ 4.2) มีโครงสร้างเส้นสเปคตรัมที่แตกต่างกัน อยู่ที่ช่วงความถี่ $400-4000 \text{ cm}^{-1}$ ส่วนผงแคลเซียมแลคเตท แคลเซียมอะซิเตท และแคลเซียมแลคเตทผสมกับแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยแครง (ภาพที่ 4.3) มีโครงสร้างเส้นสเปคตรัมที่แตกต่างกัน อยู่ที่ช่วงความถี่ $400-4000 \text{ cm}^{-1}$ ช่วงความถี่คลื่น $3600-3200 \text{ cm}^{-1}$ แสดงความถี่การสั่นของพันธะ O-H และ N-H หมู่คาร์บอกซิลิก สารประกอบฟีนอลิก กรดอะมิโน และกรดอะมิโน ที่มีโครงสร้างเป็นวงแหวน ทั้ง

รูปแบบ indolic และ pyrrolic (Mboniyirivuze และคณะ, 2015) ในช่วงความถี่คลื่น $3200-2500\text{ cm}^{-1}$ แสดงความถี่การสั่นของพันธะ O-H ในช่วงความถี่คลื่น $2350-2100\text{ cm}^{-1}$ แสดงความถี่การสั่นของพันธะ $\text{C}\equiv\text{C}$ (alkynes) (Mboniyirivuze และคณะ, 2015; UCSC) ในช่วงความถี่ $1510-1580\text{ cm}^{-1}$ แสดงความถี่การสั่นของพันธะ N-H C-N C-C และหมู่เอไมด์ (Hilderson และ Ralston, 1994) ในช่วงความถี่คลื่น $1625-1440\text{ cm}^{-1}$ แสดงความถี่การสั่นของพันธะ C=C ของสารประกอบอะโรมาติก ในช่วงความถี่คลื่น $1468-1330\text{ cm}^{-1}$ แสดงความถี่การสั่นของพันธะ C-H ของสารในกลุ่มของ aliphatic อยู่ในเมลานิน (Mboniyirivuze และคณะ, 2015) ในช่วงความถี่คลื่น $1375-1315\text{ cm}^{-1}$ แสดงความถี่การสั่นของพันธะ O-H ในพวกลิพิดแซ็คคาไรด์ (D'Souza และ Kamat, 2017) ในช่วงความถี่คลื่น $1200-1020\text{ cm}^{-1}$ แสดงความถี่การสั่นของพันธะ C-OH ตามลำดับ

ผงแคลเซียมแลคเตทจากเปลือกไข่เป็ดและเปลือกหอยแครง ซึ่งสารนี้มีหน่วยย่อยคือ CH_3 , CHOH และ COO^- ส่วนผงแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกไข่เป็ดและเปลือกหอยแครง ซึ่งสารนี้มีหน่วยย่อยคือ CH_3 และ COO^- ส่วนผงแคลเซียมแลคเตทผสมกับแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกไข่เป็ดและเปลือกหอยแครง ซึ่งสารนี้มีหน่วยย่อยคือ CH_3 , CHOH และ COO^- การสั่นแบบไม่สมมาตรและสมมาตรของ C=O ตำแหน่งที่ 1592.44 , 1593.17 และ 1588.05 cm^{-1} การสั่นแบบโค้งงอของ CH_3 คือ 1425.62 และ 1463.69 cm^{-1} การสั่นในช่วง $1000-900\text{ cm}^{-1}$ เป็นการสั่นแบบไม่สมมาตรและสมมาตรของ C-OH การสั่นในช่วง $500-400$ เป็นการสั่นของพันธะ Ca-O อย่างไรก็ตามพบว่าเส้นฟิสิกการสั่นของผงแคลเซียมทั้งสามชนิดจากเปลือกไข่เป็ดและเปลือกหอยแครงมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย



ภาพที่ 4.2 เส้นสเปกตรัม FTIR ของผงแคลเซียม 3 ชนิดที่ทำมาจากเปลือกไข่เป็ด



ภาพที่ 4.3 เส้นสเปกตรัม FTIR ของผงแคลเซียม 3 ชนิดที่ทำมาจากเปลือกหอยแครง

4.3 ผลการศึกษาชนิดของแคลเซียมแลคเตท, แคลเซียมอะซิเตท และแคลเซียมแลคเตท ผสมกับแคลเซียมอะซิเตท จากเปลือกไข่เป็ดและเปลือกหอยแครงที่มีต่อคุณภาพของ ข้าวหอมมะลิเสริมแคลเซียม

4.3.1 ศึกษาคุณภาพของข้าวหอมมะลิเสริมแคลเซียมที่ยังไม่ได้หุงสุก

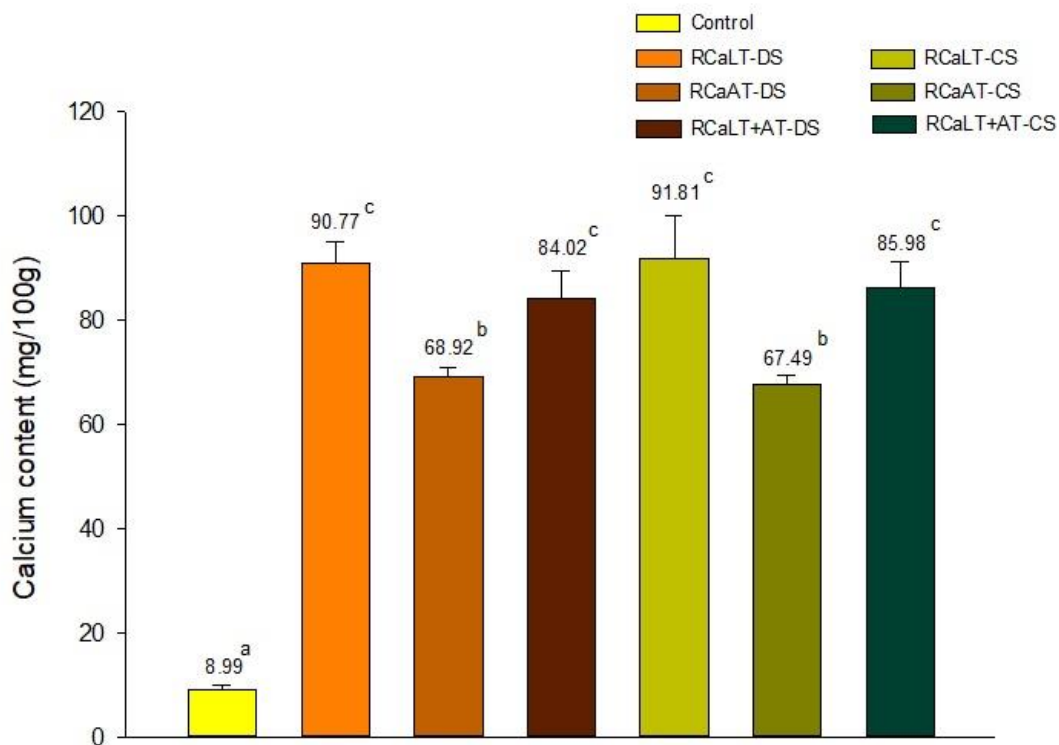
จากการหาปริมาณความชื้นของข้าวหอมมะลิที่ไม่ได้เสริมแคลเซียม และข้าวหอมมะลิที่เสริมแคลเซียมแลคเตท แคลเซียมอะซิเตท แคลเซียมแลคเตทผสมกับแคลเซียมอะซิเตทจาก 2 แหล่ง คือ เปลือกไข่เป็ด และเปลือกหอยแครง พบว่าข้าวหอมมะลิที่ไม่ได้เสริมแคลเซียมมีปริมาณความชื้นแตกต่างจากข้าวหอมมะลิที่เสริมแคลเซียมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยมีปริมาณความชื้นร้อยละ 10.19 ± 0.24 ส่วนข้าวที่มีการเสริมแคลเซียมจะมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 11.00-13.00 ตามที่กองวิจัยและพัฒนาข้าว (2559) กล่าวว่าความชื้นข้าวที่เหมาะสมคือ ช่วงร้อยละ 12-15

ตารางที่ 4.2 ปริมาณความชื้นของข้าวหอมมะลิที่ไม่ได้เสริมแคลเซียม และข้าวหอมมะลิที่มีการเสริมแคลเซียม

ตัวอย่าง	ความชื้น (%)
ข้าวหอมมะลิ (ไม่มีการเสริมแคลเซียม)	10.19±0.24 ^a
ข้าวเสริมแคลเซียมแลคเตทจากเปลือกไข่เป็ด	11.82±1.00 ^b
ข้าวเสริมแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกไข่เป็ด	12.53±0.30 ^b
ข้าวเสริมแคลเซียมแลคเตท+อะซิเตทจากเปลือกไข่เป็ด	11.95±1.04 ^b
ข้าวเสริมแคลเซียมแลคเตทจากเปลือกหอยแครง	11.51±0.23 ^b
ข้าวเสริมแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยแครง	12.46±0.49 ^b
ข้าวเสริมแคลเซียมแลคเตท+อะซิเตทจากเปลือกหอยแครง	11.98±0.62 ^b

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่กำกับค่าแนวตั้งที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากการหาปริมาณแคลเซียมของข้าวหอมมะลิที่ไม่ได้เสริมแคลเซียม และข้าวหอมมะลิที่เสริมแคลเซียมแลคเตท แคลเซียมอะซิเตท แคลเซียมแลคเตทผสมกับแคลเซียมอะซิเตทจาก 2 แหล่ง คือ เปลือกไข่เป็ด และเปลือกหอยแครง พบว่า ข้าวหอมมะลิที่ไม่ได้เสริมแคลเซียมมีปริมาณแคลเซียมแตกต่างจากข้าวหอมมะลิที่เสริมแคลเซียมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยมีปริมาณแคลเซียม 8.99±0.82 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับกองโภชนาการ (2547) คือข้าวหอมมะลิมีปริมาณแคลเซียม 7 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม หรืองานวิจัยของกัญญา และ กันขรัตน์ (2557) มีปริมาณแคลเซียมในข้าวหอมมะลิ 7.39 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ส่วนข้าวที่มีการเสริมแคลเซียมแลคเตทจากเปลือกไข่เป็ดและเปลือกหอยแครงมีปริมาณแคลเซียมสูงที่สุด คือ 90.77±4.16 และ 91.81±8.26 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ รองลงมาคือข้าวที่มีการเสริมแคลเซียมแลคเตทผสมกับแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกไข่เป็ดและเปลือกหอยแครง มีปริมาณแคลเซียมคือ 84.02±5.17 และ 85.98±5.00 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ และข้าวที่มีการเสริมแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกไข่เป็ดและเปลือกหอยแครง มีปริมาณแคลเซียมคือ 68.92±1.78 และ 85.98±5.00 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ ดังภาพที่ 4.4 จากการศึกษาพบว่าปริมาณแคลเซียมในข้าวที่มีการเสริมแคลเซียมแลคเตทจากเปลือกไข่เป็ดและเปลือกหอยแครงมีปริมาณสูงที่สุด เพราะแคลเซียมแลคเตทมีค่าความสามารถในการละลายน้ำสูงจึงส่งผลให้เมื่อนำผงแคลเซียมแลคเตทจากทั้งสองแหล่ง ไปละลายน้ำเกิดการละลายน้ำได้ดี และเมื่อนำไปฉีดพ่นลงบนข้าวทำให้ข้าวสามารถดูดซึมสารละลายแคลเซียมได้ดี



ภาพที่ 4.4 ปริมาณแคลเซียมในข้าวที่ไม่ได้เสริมแคลเซียมและข้าวที่เสริมแคลเซียม

หมายเหตุ : ข้าวหอมมะลิ (ไม่มีการเสริมแคลเซียม) (Control)

ข้าวเสริมแคลเซียมแลคเตทจากเปลือกไข่เป็ด (RCaLT-DS)

ข้าวเสริมแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกไข่เป็ด (RCaAT-DS)

ข้าวเสริมแคลเซียมแลคเตท+อะซิเตทจากเปลือกไข่เป็ด (RCaLT+AT-DS)

ข้าวเสริมแคลเซียมแลคเตทจากเปลือกหอยแครง (RCaLT-CS)

ข้าวเสริมแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยแครง (RCaAT-CS)

ข้าวเสริมแคลเซียมแลคเตท+อะซิเตทจากเปลือกหอยแครง (RCaLT+AT-CS)

จากการวัดเนื้อสัมผัสของข้าวหอมมะลิที่ไม่ได้เสริมแคลเซียม และข้าวหอมมะลิที่เสริมแคลเซียมแลคเตท แคลเซียมอะซิเตท แคลเซียมแลคเตทผสมกับแคลเซียมอะซิเตทจาก 2 แหล่ง คือ เปลือกไข่เป็ด และเปลือกหอยแครง พบว่าข้าวหอมมะลิที่ไม่ได้เสริมแคลเซียมมีค่าความแข็งแตกต่างจากข้าวหอมมะลิที่เสริมแคลเซียมอย่างมีนัยสำคัญทาง สถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยมีค่าความแข็ง คือ 68.91 ± 1.21 นิวตัน ส่วนข้าวที่มีการเสริมแคลเซียมจะมีค่าความแข็งอยู่ในช่วง 83.00-87.00 นิวตัน ซึ่งข้าวที่มีการเสริมแคลเซียมจะมีค่าความแข็งที่มากกว่าข้าวที่ไม่ได้เสริมแคลเซียม เพราะข้าวที่เสริมแคลเซียมมีการเติมแคลเซียมเพิ่มเข้าไปทำให้ข้าวมีความแข็งที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ LEE และคณะ (1995) ที่มีผลการวิจัยว่าข้าวเสริมแคลเซียมที่ไม่หุงสุก มีค่าความแข็งและความแน่นเนื้อมากกว่าข้าวที่ไม่ได้เสริมแคลเซียม (ตารางที่ 4.3)

ตารางที่ 4.3 คุณสมบัติเนื้อสัมผัสของข้าวหอมมะลิที่ไม่ได้เสริมแคลเซียม และข้าวหอมมะลิที่มีการเสริมแคลเซียมที่ยังไม่หุงสุก

ตัวอย่าง	Hardness (N)	Toughness (N)
ข้าวหอมมะลิ (ไม่มีการเสริมแคลเซียม)	68.91±1.21 ^a	0.02±0.01 ^a
ข้าวเสริมแคลเซียมแลคเตทจากเปลือกไข่เป็ด	85.88±9.72 ^b	0.03±0.01 ^b
ข้าวเสริมแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกไข่เป็ด	86.78±0.92 ^b	0.03±0.004 ^b
ข้าวเสริมแคลเซียมแลคเตท+อะซิเตทจากเปลือกไข่เป็ด	85.47±5.91 ^b	0.04±0.007 ^{ab}
ข้าวเสริมแคลเซียมแลคเตทจากเปลือกหอยแครง	84.80±7.94 ^b	0.03±0.002 ^b
ข้าวเสริมแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยแครง	83.14±1.63 ^b	0.04±0.006 ^{ab}
ข้าวเสริมแคลเซียมแลคเตท+อะซิเตทจากเปลือกหอยแครง	85.28±7.84 ^b	0.04±0.002 ^{ab}

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่กำกับค่าแนวตั้งที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากการวัดค่าสีของข้าวหอมมะลิที่ไม่ได้เสริมแคลเซียม และข้าวหอมมะลิที่เสริมแคลเซียมแลคเตท แคลเซียมอะซิเตท แคลเซียมแลคเตทผสมกับแคลเซียมอะซิเตทจาก 2 แหล่ง คือ เปลือกไข่เป็ด และเปลือกหอยแครง (ตารางที่ 4.4) พบว่าค่า L^* ของข้าวที่ไม่ได้เสริมแคลเซียมมีค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ข้าวที่เสริมแคลเซียมแลคเตท แคลเซียมอะซิเตท แคลเซียมแลคเตทผสมกับแคลเซียมอะซิเตทจาก 2 แหล่ง คือ เปลือกไข่เป็ด และเปลือกหอยแครงมีค่าความสว่าง (L^*) มากกว่าข้าวที่ไม่ได้เสริมแคลเซียม ซึ่งอาจเกิดจากการสะสมของอนุภาคแคลเซียมบางส่วนบนพื้นผิวข้าวที่เสริมแคลเซียมส่งผลให้ค่า L^* สูงขึ้น (Kyritsi และคณะ, 2011) ข้าวที่เสริมแคลเซียมมีค่า a^* และ b^* อยู่ในช่วง -0.40 ถึง -0.80 และ 9.00 ถึง 10.00 ตามลำดับ ส่วนค่าดัชนีความขาว (Whiteness Index, WI) ของข้าวที่ไม่ได้เสริมแคลเซียมมีค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ข้าวที่เสริมแคลเซียมแลคเตท แคลเซียมอะซิเตท แคลเซียมแลคเตทผสมกับแคลเซียมอะซิเตทจาก 2 แหล่ง คือ เปลือกไข่เป็ด และเปลือกหอยแครงมีค่าดัชนีความขาว (Whiteness Index, WI) มากกว่าข้าวที่ไม่ได้เสริมแคลเซียม ซึ่งสอดคล้องกับ Mridula และคณะ (2015) กล่าวว่า ดัชนีความขาวของข้าวเสริมแคลเซียมที่ใช้วิธีการฉีดพ่นแสดงค่าดัชนีความขาวที่เพิ่มขึ้น

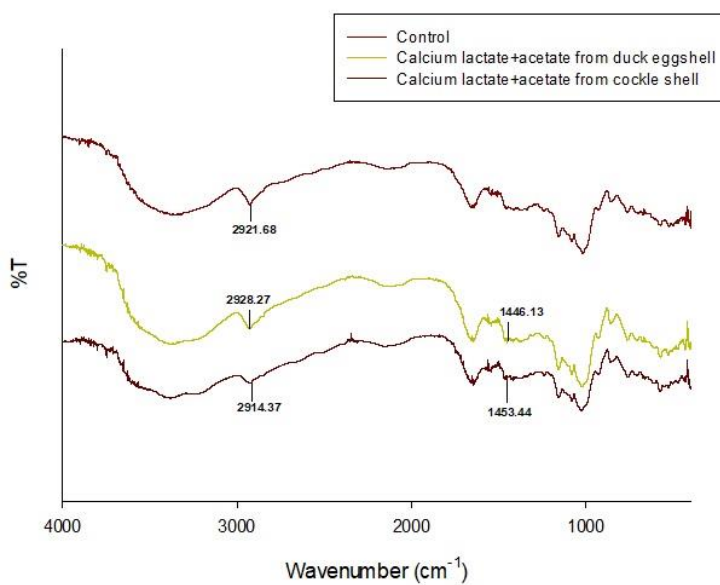
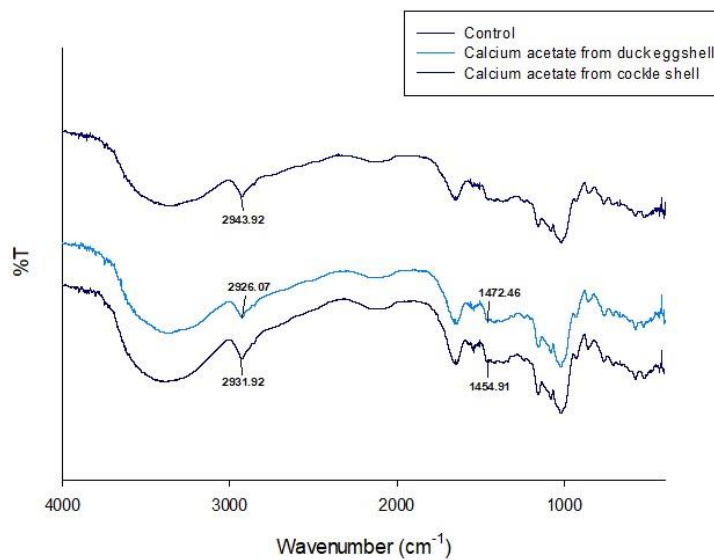
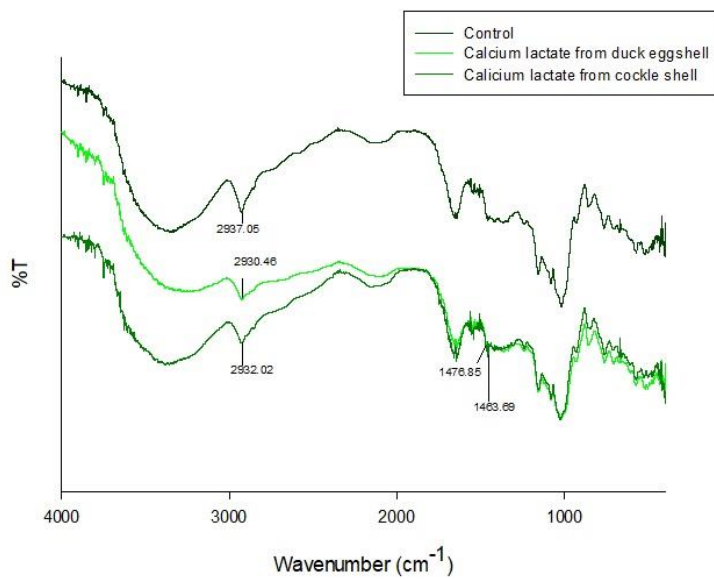
ตารางที่ 4.4 ค่าสีของข้าวหอมมะลิที่ไม่ได้เสริมแคลเซียม และข้าวหอมมะลิที่มีการเสริมแคลเซียมที่ยังไม่หุงสุก

ค่าสี	ข้าวที่ไม่ได้เสริมแคลเซียม	ข้าวเสริมแคลเซียมจากเปลือกไข่เป็ด			ข้าวเสริมแคลเซียมจากเปลือกหอยแครง		
		แคลเซียมแลคเตท	แคลเซียมอะซิเตท	แคลเซียมแลคเตท+อะซิเตท	แคลเซียมแลคเตท	แคลเซียมอะซิเตท	แคลเซียมแลคเตท+อะซิเตท
L*	66.95±0.48 ^a	69.89±1.65 ^b	69.63±1.38 ^b	69.95±1.47 ^b	68.43±0.87 ^{ab}	68.76±1.11 ^{ab}	69.60±1.15 ^b
a*	-0.70±0.04 ^{ab}	-0.46±0.19 ^c	-0.56±0.04 ^{bc}	-0.69±0.10 ^{ab}	-0.47±0.12 ^c	-0.77±0.07 ^a	-0.58±0.12 ^{abc}
b*	8.30±0.18 ^a	9.25±0.21 ^{bc}	9.65±0.31 ^{cd}	9.47±0.21 ^{bcd}	9.48±0.25 ^{bcd}	9.78±0.36 ^d	9.16±0.15 ^b
Whiteness Index	65.92±0.44 ^a	68.50±1.63 ^b	68.13±1.40 ^b	68.48±1.40 ^b	67.03±0.78 ^{ab}	67.25±0.98 ^{ab}	68.25±1.09 ^b

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่กำกับค่าเนวนอนที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

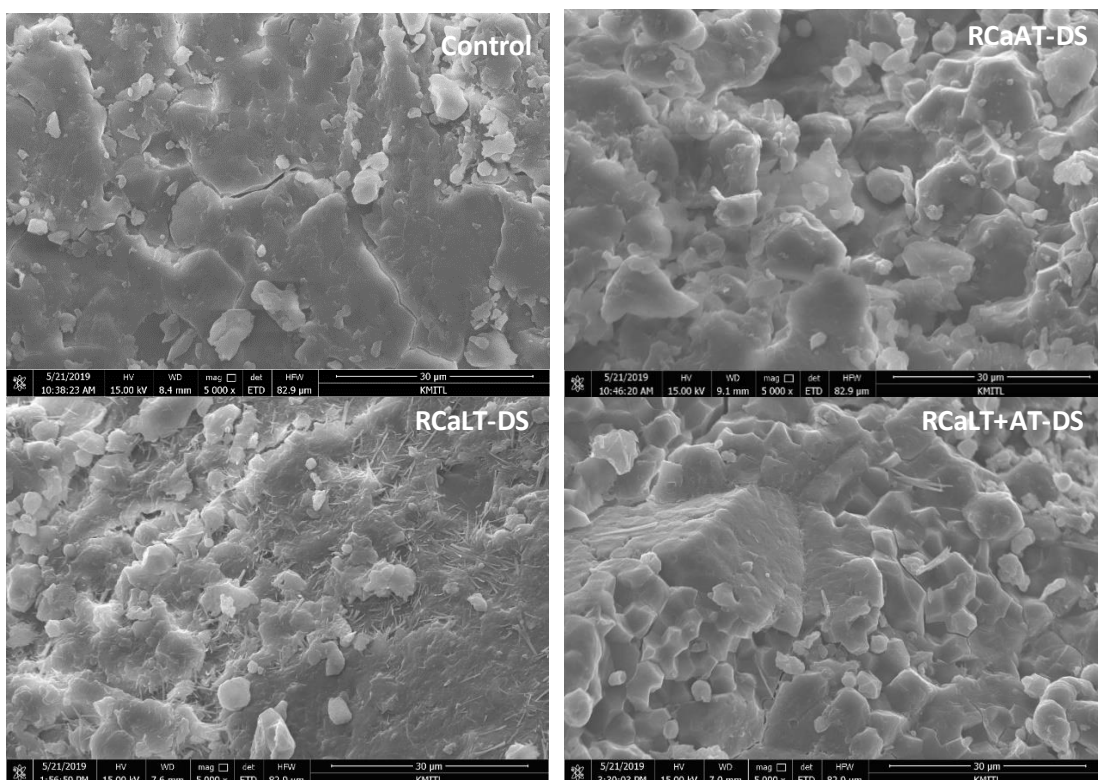
การวิเคราะห์ประเภทของสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ และพันธะเคมีในโมเลกุล รวมถึงองค์ประกอบที่อยู่ในโมเลกุลของข้าวที่ไม่ได้เสริมแคลเซียม และข้าวที่แคลเซียมแลคเตท แคลเซียมอะซิเตท แคลเซียมแลคเตทผสมกับแคลเซียมอะซิเตทจาก 2 แหล่ง คือ เปลือกไข่เป็ด และเปลือกหอยแครงด้วยเครื่อง FTIR พบว่าข้าวที่ไม่ได้เสริมแคลเซียม และข้าวที่เสริมแคลเซียมแลคเตท แคลเซียมอะซิเตท และแคลเซียมแลคเตทผสมกับแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกไข่เป็ด (ภาพที่ 4.5) มีโครงสร้างเส้นสเปกตรัมที่ไม่แตกต่างกัน ซึ่งอยู่ในช่วงความถี่ 400-4000 cm^{-1} ขณะที่แถบฟังกว้าง 3000-3400 cm^{-1} เป็นแถบการสั่นของน้ำแบบสมมาตรและไม่สมมาตร พีกช่วงประมาณ 2900 cm^{-1} เกิดจากการสั่นของพันธะ C-H โดยเส้นฟังกที่เกิดขึ้นนั้นมีลักษณะที่คล้ายกันไม่ว่าจะถูกเตรียมจากเปลือกไข่เป็ดหรือเปลือกหอยแครง

การศึกษาลักษณะ โครงสร้างภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ ส่องกราด ภายใต้กำลังขยายของกล้องที่ 5,000x ของข้าวที่ไม่ได้เสริมแคลเซียม และข้าวที่แคลเซียมแลคเตท แคลเซียมอะซิเตท แคลเซียมแลคเตทผสมกับแคลเซียมอะซิเตทจาก 2 แหล่ง คือ เปลือกไข่เป็ด และเปลือกหอยแครง พบว่าข้าวที่ไม่ได้เสริมแคลเซียมมีลักษณะ โครงสร้างเรียบ ขรุขระเล็กน้อย ข้าวที่เสริมแคลเซียมแลคเตทจากเปลือกไข่เป็ดและเปลือกหอยแครง มีลักษณะ โครงสร้างขรุขระ และมีเส้นเล็กๆภายในเป็นจำนวนมาก ข้าวที่เสริมแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกไข่เป็ดและเปลือกหอยแครง มีลักษณะ โครงสร้างที่ขรุขระ และข้าวที่เสริมแคลเซียมแลคเตทผสมกับ

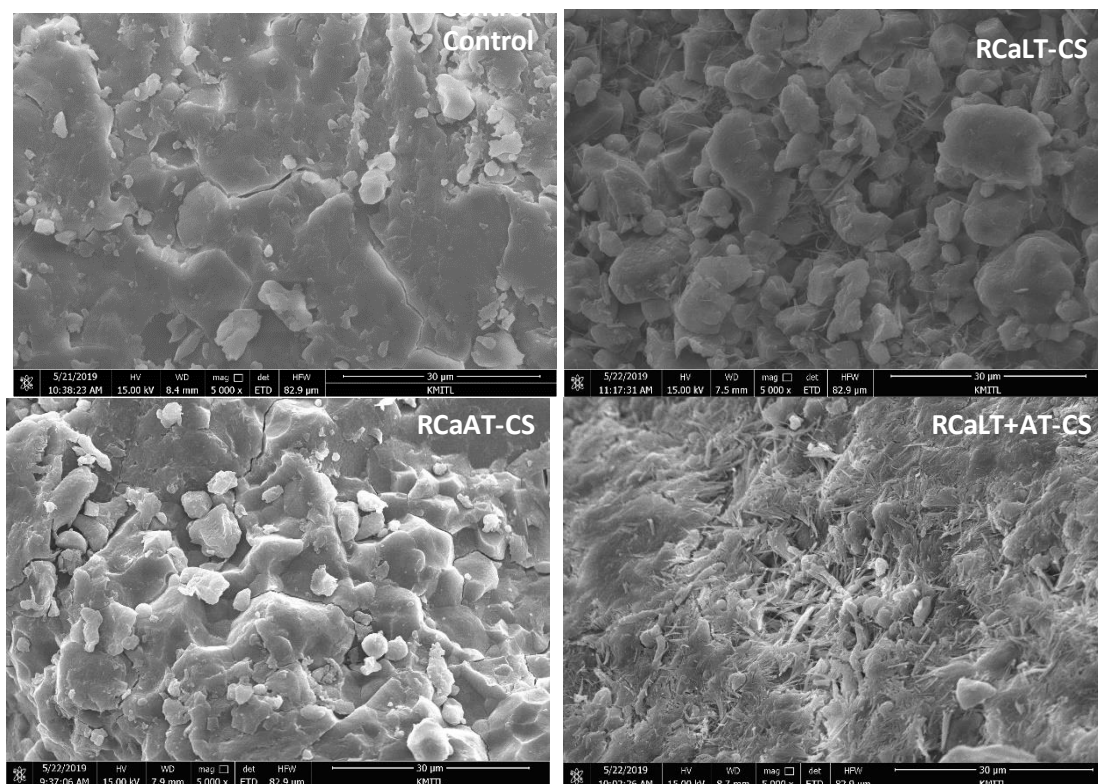


ภาพที่ 4.5 เส้นสเปกตรัม FTIR ของข้าวที่ไม่ได้เสริมแคลเซียมและเสริมแคลเซียมที่ยังไม่หุงสุก

แคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกไข่เป็ดและเปลือกหอยแครง มีลักษณะ โครงสร้างที่ขรุขระและมีเส้นเล็ก ๆ ภายในเล็กน้อย (ภาพที่ 4.6 และ 4.7)



ภาพที่ 4.6 ลักษณะ โครงสร้างของข้าวที่ไม่ได้เสริมแคลเซียมและเสริมแคลเซียมจากเปลือกไข่เป็ด



ภาพที่ 4.7 ลักษณะ โครงสร้างของข้าวที่ไม่ได้เสริมและเสริมแคลเซียมจากเปลือกหอยแครง

หมายเหตุ : ข้าวหอมมะลิ (ไม่มีการเสริมแคลเซียม) (Control)

ข้าวเสริมแคลเซียมแลคเตทจากเปลือกไข่เป็ด (RCaLT-DS)

ข้าวเสริมแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกไข่เป็ด (RCaAT-DS)

ข้าวเสริมแคลเซียมแลคเตท+อะซิเตทจากเปลือกไข่เป็ด (RCaLT+AT-DS)

ข้าวเสริมแคลเซียมแลคเตทจากเปลือกหอยแครง (RCaLT-CS)

ข้าวเสริมแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยแครง (RCaAT-CS)

ข้าวเสริมแคลเซียมแลคเตท+อะซิเตทจากเปลือกหอยแครง (RCaLT+AT-CS)

ตารางที่ 4.5 ค่าปริมาณความร้อนของข้าวที่ไม่ได้เสริมแคลเซียมและเสริมแคลเซียมที่ยังไม่หุงสุก

ตัวอย่าง	ค่าปริมาณความร้อน			
	J/g	cal/g	kcal/g	kcal/100g
ข้าวหอมมะลิ (ไม่มีการเสริมแคลเซียม)	15729	3756.81	3.76	375.68
ข้าวเสริมแคลเซียมแลคเตทจากเปลือกไข่เป็ด	15394	3676.79	3.68	367.68
ข้าวเสริมแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกไข่เป็ด	15344	3664.85	3.66	366.48
ข้าวเสริมแคลเซียมแลคเตท+อะซิเตท จากเปลือกไข่เป็ด	15239	3639.77	3.64	363.98
ข้าวเสริมแคลเซียมแลคเตทจากเปลือกหอยแครง	15115	3610.16	3.61	361.02
ข้าวเสริมแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยแครง	15286	3651.00	3.65	365.10
ข้าวเสริมแคลเซียมแลคเตท+อะซิเตท จากเปลือกหอยแครง	15147	3617.80	3.62	361.78

จากการทดลองวิเคราะห์หาค่าปริมาณความร้อนของข้าวหอมมะลิที่ไม่ได้เสริมแคลเซียม และข้าวหอมมะลิที่เสริมแคลเซียมแลคเตท แคลเซียมอะซิเตท แคลเซียมแลคเตทผสมกับแคลเซียมอะซิเตทจาก 2 แหล่ง คือ เปลือกไข่เป็ด และเปลือกหอยแครง (ตารางที่ 4.5) ซึ่งทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Bomb Calorimeter โดยใช้ตัวอย่างในการวิเคราะห์ 1 กรัม พบว่าข้าวหอมมะลิที่ไม่ได้เสริมแคลเซียมมีค่าปริมาณความร้อน 3.76 kcal/g หรือ บริโภคข้าวที่ไม่ได้เสริมแคลเซียม 100 g จะได้รับปริมาณแคลอรี 375.68 kcal ส่วนข้าวที่เสริมแคลเซียมแลคเตท แคลเซียมอะซิเตท และแคลเซียมแลคเตทผสมกับแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกไข่เป็ดและเปลือกหอยแครงมีค่าปริมาณความร้อนที่น้อยกว่าข้าวที่ไม่ได้เสริมแคลเซียม เมื่อบริโภคข้าวที่เสริมแคลเซียมแลคเตท แคลเซียมอะซิเตท และแคลเซียมแลคเตทผสมกับแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกไข่เป็ด 100 g จะได้รับปริมาณแคลอรีคือ 367.68, 366.48 และ 363.98 kcal ตามลำดับ ส่วนเมื่อบริโภคข้าวที่เสริมแคลเซียมแลคเตท แคลเซียมอะซิเตท และแคลเซียมแลคเตทผสมกับแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือก

หอยแครง 100 g จะได้รับปริมาณแคลอรีคือ 361.02, 365.10 และ 361.78 kcal ตามลำดับ สรุปได้ว่าเมื่อบริโภคข้าวที่มีการเสริมแคลเซียมนั้นจะให้ปริมาณแคลอรีที่น้อยกว่าข้าวที่ไม่ได้เสริมแคลเซียม

4.3.2 ศึกษาคุณภาพของข้าวหอมมะลิที่เสริมแคลเซียมที่หุงสุก

จากการวัดค่าสีของข้าวหอมมะลิที่ไม่ได้เสริมแคลเซียม และข้าวหอมมะลิที่เสริมแคลเซียมแลคเตท แคลเซียมอะซิเตท แคลเซียมแลคเตทผสมกับแคลเซียมอะซิเตทจาก 2 แหล่ง คือ เปลือกไข่เป็ด และเปลือกหอยแครง (ตารางที่ 4.6) พบว่าค่า L^* ของข้าวที่ไม่ได้เสริมแคลเซียมมีค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ข้าวที่เสริมแคลเซียมมี L^* มากกว่าข้าวที่ไม่ได้เสริมแคลเซียม ซึ่งอาจเกิดจากการสะสมของอนุภาคแคลเซียมบางส่วน บนพื้นผิวข้าวที่เสริมแคลเซียมส่งผลให้ค่า L^* สูงขึ้น (Kyritsi และคณะ, 2011) ข้าวที่เสริมแคลเซียมมีค่า a^* และ b^* อยู่ในช่วง -1 ถึง -2 และ 3.0 ถึง 4.0 ตามลำดับ ส่วนค่าดัชนีความขาว (Whiteness Index) ของข้าวที่ไม่ได้เสริมแคลเซียมมีค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ข้าวที่เสริมแคลเซียมแลคเตท แคลเซียมอะซิเตท แคลเซียมแลคเตทผสมกับแคลเซียมอะซิเตทจาก 2 แหล่ง คือ เปลือกไข่เป็ด และเปลือกหอยแครงมีค่าดัชนีความขาวมากกว่าข้าวที่ไม่ได้เสริมแคลเซียม ซึ่งสอดคล้องกับ Mridula และคณะ (2015) กล่าวว่า ดัชนีความขาวของข้าวเสริมแคลเซียมที่ใช้วิธีการฉีดพ่นแสดงค่าดัชนีความขาวที่เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.6 ค่าสีของข้าวหอมมะลิที่ไม่ได้เสริมแคลเซียม และข้าวหอมมะลิที่มีการเสริมแคลเซียม
หุงสุก

ค่าสี	ข้าวที่ไม่ได้เสริมแคลเซียม	ข้าวเสริมแคลเซียมจากเปลือกไข่เป็ด			ข้าวเสริมแคลเซียมจากเปลือกหอยแครง		
		แคลเซียมแลคเตท	แคลเซียมอะซิเตท	แคลเซียมแลคเตท+อะซิเตท	แคลเซียมแลคเตท	แคลเซียมอะซิเตท	แคลเซียมแลคเตท+อะซิเตท
L^*	66.71±1.04 ^a	72.91±1.04 ^b	73.92±1.66 ^b	72.49±1.07 ^b	72.52±1.32 ^b	74.29±2.94 ^b	73.33±2.16 ^b
a^*	1.96±0.07 ^a	1.39±0.03 ^b	1.40±0.12 ^b	1.39±0.07 ^b	1.30±0.02 ^b	1.44±0.15 ^b	1.38±0.08 ^b
b^*	2.60±0.32 ^a	3.17±0.63 ^{ab}	3.31±0.33 ^{ab}	3.32±0.26 ^{ab}	3.11±0.28 ^{ab}	3.77±0.62 ^c	3.49±0.12 ^c
Whiteness Index	66.55±1.02 ^a	72.68±0.96 ^b	73.67±1.67 ^b	72.25±1.08 ^b	72.31±1.33 ^b	73.97±2.89 ^b	73.07±2.14 ^b

หมายเหตุ: a,b ที่แตกต่างกันในแนวนอน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 4.7 คุณสมบัติเนื้อสัมผัสของข้าวหอมมะลิที่ไม่ได้เสริมแคลเซียม และข้าวหอมมะลิที่มีการเสริมแคลเซียมหุงสุก

ตัวอย่าง	Hardness (N)	Adhesiveness (g.sec)	Springiness	Cohesiveness	Chewiness	Resilience
ข้าวหอมมะลิ (ไม่มีการเสริม แคลเซียม)	5.43±0.89 ^a	4.24±1.72 ^c	0.50±0.11 ^b	0.38±0.01 ^{ab}	0.03±0.03 ^a	0.21±0.002 ^{ab}
ข้าวเสริม แคลเซียม แลกเตทจาก เปลือกไข่เป็ด	11.41±1.21 ^b	6.54±1.13 ^{ab}	0.28±0.07 ^a	0.35±0.02 ^a	0.83±0.44 ^c	0.17±0.02 ^a
ข้าวเสริม แคลเซียม อะซิเตทจาก เปลือกไข่เป็ด	11.84±0.21 ^b	6.74±0.56 ^{ab}	0.23±0.05 ^a	0.38±0.06 ^{ab}	0.32±0.20 ^{ab}	0.20±0.08 ^{ab}
ข้าวเสริม แคลเซียม แลกเตท+อะซิเตท จากเปลือกไข่เป็ด	11.71±1.48 ^b	7.49±0.29 ^a	0.25±0.02 ^a	0.39±0.02 ^{ab}	0.21±0.09 ^a	0.20±0.02 ^{ab}
ข้าวเสริม แคลเซียมแลกเตท จากเปลือก หอยแครง	11.55±1.36 ^b	6.07±0.85 ^{abc}	0.26±0.06 ^a	0.41±0.04 ^{abc}	0.19±0.17 ^a	0.21±0.04 ^{ab}
ข้าวเสริม แคลเซียมอะซิเตท จากเปลือก หอยแครง	12.69±0.86 ^b	6.76±0.96 ^{abc}	0.22±0.05 ^a	0.41±0.02 ^{bc}	0.24±0.14 ^{ab}	0.20±0.03 ^{ab}
ข้าวเสริม แคลเซียม แลกเตท+อะซิเตท จากเปลือก หอยแครง	12.57±1.52 ^b	6.98±1.56 ^a	0.31±0.01 ^a	0.45±0.01 ^c	0.67±0.33 ^{bc}	0.26±0.002 ^b

หมายเหตุ: a,b,c ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากการวัดเนื้อสัมผัสของข้าวหอมมะลิที่ไม่ได้เสริมแคลเซียม และข้าวหอมมะลิที่เสริมแคลเซียม แลคเตท แคลเซียมอะซิเตท แคลเซียมแลคเตทผสมกับแคลเซียมอะซิเตท จาก 2 แหล่ง คือ เปลือกไข่เป็ด และเปลือกหอยแครง พบว่า ข้าวหอมมะลิที่ไม่ได้เสริมแคลเซียมมีค่าความแข็งแตกต่างจากข้าวหอมมะลิที่เสริมแคลเซียมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยมีค่าความแข็ง คือ 5.43 ± 0.89 นิวตัน ส่วนข้าวที่มีการเสริมแคลเซียมจะมีค่าความแข็งอยู่ในช่วง 11.00-13.00 นิวตัน ซึ่งข้าวที่มีการเสริมแคลเซียมจะมีค่าความแข็งที่มากกว่าข้าวที่ไม่ได้เสริมแคลเซียม เพราะข้าวที่เสริมแคลเซียมมีการเติมแคลเซียมเพิ่มเข้าไปทำให้ข้าวมีความแข็งที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ LEE และคณะ (1995) ที่มีผลการวิจัยว่าข้าวเสริมแคลเซียมที่ไม่หุงสุก มีค่าความแข็งมากกว่าข้าวที่ไม่ได้เสริมแคลเซียม (ตารางที่ 4.7) ส่วนค่า Adhesiveness หรือค่าการจับตัวจากการทดลองพบว่าข้าวหอมมะลิที่ไม่ได้เสริมแคลเซียมมีค่าการจับตัวที่น้อยกว่าข้าวหอมมะลิที่มีการเสริมแคลเซียมจากชนิดต่างๆ ส่วนข้าวที่มีการเสริมแคลเซียมมีการจับตัวที่เพิ่มขึ้น

จากการศึกษาชนิดของแคลเซียมแลคเตท, แคลเซียมอะซิเตท และแคลเซียมแลคเตทผสมกับแคลเซียมอะซิเตท จากเปลือกไข่เป็ดและเปลือกหอยแครงที่มีต่อคุณภาพของข้าวหอมมะลิเสริมแคลเซียม พบว่าชนิดของแคลเซียมที่เหมาะสมที่สุดของทั้งเปลือกไข่เป็ดและเปลือกหอยแครงคือชนิดของแคลเซียมแลคเตท เพราะจากการทดลองชนิดของแคลเซียมแลคเตทที่ทำมาจากเปลือกไข่เป็ดและเปลือกหอยแครงมีความสามารถในการละลายน้ำสูงคือ 71.81 ± 1.17 และ 74.27 ± 1.60 ตามลำดับ ส่งผลให้ชนิดของแคลเซียมแลคเตทเมื่อเสริมลงในข้าวหอมมะลิแล้วมีปริมาณแคลเซียมสูงเพราะสามารถดูดซึมสารละลายแคลเซียมได้ดี ข้าวที่มีการเสริมแคลเซียมแลคเตทจากเปลือกไข่เป็ดและเปลือกหอยแครงมีปริมาณแคลเซียมคือ 90.77 ± 4.16 และ 91.81 ± 8.26 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตามลำดับ

4.4 ผลการศึกษาการเน่าเสียของข้าวหอมมะลิหุงสุกและการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคที่มีต่อข้าวหอมมะลิเสริมแคลเซียม

การศึกษาการเน่าเสียข้าวหอมมะลิหุงสุกคือ นำข้าวที่เสริมแคลเซียมแลคเตทจากทั้ง 2 แหล่ง คือจากเปลือกไข่เป็ด และเปลือกหอยแครง มาหุงสุกแล้วใส่ภาชนะและตั้งทิ้งไว้จากนั้นจดบันทึกการเปลี่ยนแปลงของข้าวคือ สี กลิ่น ลักษณะปรากฏ ดังตารางที่ 4.8

จากการทดลองพบว่าข้าวหอมมะลิที่ไม่มีการเสริมแคลเซียมเมื่อนำไปหุงสุกและตั้งทิ้งไว้จะเห็นได้ว่าเริ่มเน่าเสียในวันที่ 1 เริ่มมีกลิ่นบูด ส่วนข้าวหอมมะลิที่เสริมแคลเซียมแลคเตทจากเปลือกไข่เป็ดและเปลือกหอยแครงที่หุงสุกแล้ว เมื่อตั้งทิ้งไว้หลายๆก็เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงจากวันแรกที่เริ่มหุงเสร็จแต่จะเริ่มเน่าเสียในวันที่ 4 คุณสมบัติของแคลเซียมแลคเตทนั้นสามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาได้จึงส่งผลให้เมื่อเสริมลงในข้าวแล้วทำให้สามารถเก็บรักษาได้นานยิ่งขึ้น

ตารางที่ 4.8 ระยะเวลาในการนำเสียบของข้าวที่ไม่ได้เสริมแคลเซียมและเสริมแคลเซียมที่หุงสุก

วัน	ข้าวหอมมะลิ (ไม่เสริมแคลเซียม)	ข้าวเสริมแคลเซียมแลคเตท จากเปลือกไข่เป็ด	ข้าวเสริมแคลเซียมแลคเตท จากเปลือกหอยแครง
0	สีขาวนวล มีกลิ่นหอมมาก กลิ่นเอกลักษณ์ ของข้าวหอมมะลิ	สีขาวนวล มีกลิ่นหอมกลิ่น เอกลักษณ์ของข้าวหอมมะลิ	สีขาวนวล มีกลิ่นหอมกลิ่น เอกลักษณ์ของข้าวหอมมะลิ
1	มีสีขาว ลักษณะของข้าวมี ความละเอียดและมีกลิ่นบูด	มีสีขาว ยังมีกลิ่นหอมของข้าว เล็กน้อย ด้านบนมีลักษณะแข็ง	มีสีขาว ยังมีกลิ่นหอมของ ข้าวเล็กน้อย ด้านบนมี ลักษณะแข็ง
2	สีของข้าวเริ่มเปลี่ยนไป ลักษณะของข้าวมีความ ละเอียดและมีกลิ่นบูด มีเชื้อราขึ้น	สีของข้าวเริ่มเข้มขึ้น กลิ่นหอม ของข้าวหายไป ด้านบนมี ลักษณะแข็ง	สีของข้าวเริ่มเข้มขึ้น กลิ่น หอมของข้าวหายไป ด้านบน มีลักษณะแข็ง
3	-	สีของข้าวเริ่มเข้มขึ้น กลิ่นหอม ของข้าวหายไป ด้านบนมี ลักษณะแข็ง	สีของข้าวเริ่มเข้มขึ้น กลิ่น หอมของข้าวหายไป ด้านบน มีลักษณะแข็ง
4	-	สีของข้าวเข้ม กลิ่นหอมของ ข้าวหายไป ด้านบนมีลักษณะ แข็งและมีเชื้อราขึ้น	สีของข้าวเข้ม กลิ่นหอมของ ข้าวหายไป ด้านบนมีลักษณะ แข็งและมีเชื้อราขึ้น

การศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อข้าวหอมมะลิเสริมแคลเซียมแลคเตทจากเปลือกไข่เป็ดและเปลือกหอยแครงจำนวน 30 คน โดยใช้ผู้ทดสอบชิมซึ่งเป็นผู้ศึกษาคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประเมินคุณภาพโดยการให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9-point hedonic scale) ต่อคุณลักษณะลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ความนุ่ม และความชอบโดยรวม ผลการทดลองแสดงดังนี้ (ตารางที่ 4.9)

ตารางที่ 4.9 คะแนนความชอบต่อคุณลักษณะทางด้านประสาทสัมผัสของข้าวหอมมะลิเสริมแคลเซียมแลคเตทจากเปลือกไข่เป็ดและเปลือกหอยแครง

ตัวอย่าง	คุณลักษณะ				
	สี	กลิ่น	รสชาติ	ความนุ่ม	ความชอบโดยรวม
ข้าวเสริมแคลเซียมแลคเตท จากเปลือกไข่เป็ด	7.20	6.20	6.40	6.43	6.63
ข้าวเสริมแคลเซียมแลคเตท จากเปลือกหอยแครง	6.87	5.73	6.13	6.40	6.17

จากการทดสอบข้าวเสริมแคลเซียมแลคเตทจากเปลือกไข่เป็ดของผู้บริโภค พบว่าคุณลักษณะด้านสี ผู้ทดสอบให้คะแนนอยู่ในระดับชอบปานกลาง และด้านกลิ่น รสชาติ ความนุ่ม และความชอบโดยรวม ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย ส่วนการทดสอบข้าวเสริมแคลเซียมแลคเตทจากเปลือกหอยแครงของผู้บริโภค พบว่าคุณลักษณะด้านสี รสชาติ ความนุ่ม และความชอบโดยรวม ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย และคุณลักษณะด้านกลิ่น ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบอยู่ในระดับเฉยๆ

การศึกษาการเปรียบเทียบความแตกต่างของข้าวหอมมะลิที่ไม่ได้เสริมแคลเซียมกับข้าวหอมมะลิเสริมแคลเซียมแลคเตทจากเปลือกไข่เป็ดและเปลือกหอยแครงจำนวน 30 คน ด้วยวิธีการเปรียบเทียบความแตกต่างของลักษณะกับตัวอย่างควบคุม (Difference from control) โดยใช้ตัวอย่างควบคุม (ข้าวหอมมะลิที่ไม่ได้เสริมแคลเซียม) เป็นตัวเปรียบเทียบ จากนั้นทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยวิเคราะห์ปัจจัยคุณลักษณะด้านสี กลิ่น รสชาติ และความนุ่ม ผลการทดลองแสดงดังนี้ (ตารางที่ 4.10)

ตารางที่ 4.10 คะแนนค่าเฉลี่ยความแตกต่างของข้าวหอมมะลิเสริมแคลเซียมแลคเตทจากเปลือกไข่เป็ดและเปลือกหอยแครง

ปัจจัยคุณภาพ	คะแนนค่าเฉลี่ยความแตกต่าง	
	ข้าวหอมมะลิเสริมแคลเซียมแลคเตทจากเปลือกไข่เป็ด	ข้าวหอมมะลิเสริมแคลเซียมแลคเตทจากเปลือกหอยแครง
สี	0.43	0.47
กลิ่น	1.6	1.23
รสชาติ	1.5	1.32
ความนุ่ม	1.33	1.08

จากตารางที่ 4.10 พบว่า ปัจจัยคุณภาพด้านสี กลิ่น รสชาติ และความนุ่มของข้าวเสริมแคลเซียมแลคเตทจากเปลือกไข่เป็ดและเปลือกหอยแครงของผู้บริโภค เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม (ข้าวที่ไม่ได้เสริมแคลเซียม) พบว่าคุณลักษณะด้านสี ไม่มีความแตกต่างเมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม แสดงว่าข้าวที่มีการเสริมแคลเซียมนั้น ไม่มีความแตกต่างจากข้าวที่ไม่มีการเสริมแคลเซียม คุณลักษณะด้านกลิ่น รสชาติและความนุ่มมีความแตกต่างเล็กน้อยเมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม แสดงว่าความแตกต่างที่เกิดขึ้นนั้นอาจเกิดจากแคลเซียมแลคเตทที่ใส่ลงไปข้าวทำให้กลิ่นและรสชาติเปลี่ยนแปลงไป ส่วนความนุ่มเมื่อมีการเสริมแคลเซียมลงไป ข้าวจะทำให้ความนุ่มของข้าวที่มีการเสริมแคลเซียมนั้น น้อยลงทำให้เกิดความแตกต่างเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวที่ไม่มีการเสริมแคลเซียม

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 ผงแคลเซียมแลคเตทจากทั้ง 2 แหล่ง คือ เปลือกไข่เป็ดและเปลือกหอยแครงมีค่าความสามารถในการละลายน้ำดีที่สุด

5.1.2 ค่าความชื้นของข้าวเสริมแคลเซียมแลคเตท แคลเซียมอะซิเตท และแคลเซียมแลคเตทผสมกับแคลเซียมอะซิเตทจากทั้ง 2 แหล่ง คือ เปลือกไข่เป็ดและเปลือกหอยแครงมีค่าความชื้นที่เหมาะสม

5.1.3 ปริมาณแคลเซียมในข้าวเสริมแคลเซียมแลคเตทจากเปลือกไข่เป็ดและเปลือกหอยแครงมีปริมาณแคลเซียมสูงที่สุดจากทั้ง 3 ชนิด เพราะแคลเซียมแลคเตทมีค่าความสามารถในการละลายน้ำที่ดีที่สุดส่งผลให้เมื่อนำผงแคลเซียมแลคเตทจากทั้ง 2 แหล่งไปละลายน้ำจะเกิดการละลายน้ำได้ดี และเมื่อนำไปฉีดพ่นลงบนข้าวทำให้ข้าวสามารถดูดซึมสารละลายแคลเซียมได้ดีเป็นผลทำให้ปริมาณแคลเซียมในข้าวเพิ่มขึ้น

5.1.4 ข้าวที่มีการเสริมแคลเซียมจะมีค่าดัชนีความขาวและค่าความแข็งมากกว่าข้าวที่ไม่ได้เสริมแคลเซียม

5.1.5 การทดสอบทางประสาทสัมผัสคะแนนความชอบอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงปานกลาง ส่วนการเปรียบเทียบความแตกต่างของข้าวที่ไม่ได้เสริมแคลเซียมกับข้าวที่เสริมแคลเซียมมีค่าความแตกต่างเล็กน้อย

5.1.6 การเสริมแคลเซียมแลคเตทจากเปลือกไข่เป็ดและเปลือกหอยแครงลงในข้าวช่วยยืดอายุการเก็บรักษาได้นานยิ่งขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับปริมาณที่ใช้ในการเสริมแคลเซียมลงในข้าว

5.2.1 ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการล้างข้าวก่อนนำไปหุงสุก หรือจำนวนครั้งในการล้างข้าวก่อนนำไปหุงสุก

5.2.3 ควรมีศึกษาเปรียบเทียบแหล่งวัตถุดิบที่จะนำมาใช้ในการทำแคลเซียมเพิ่มมากขึ้น

บรรณานุกรม

- กัญญา มานอก และ กันยรัตน์ แฉกกระโทก. 2557. การวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุในเมล็ดข้าวพื้นเมืองบริเวณตอนเหนือของจังหวัดนครราชสีมา. ปัญหาพิเศษทางชีววิทยา. สาขาวิชาชีววิทยา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา.
- กรมส่งเสริมการเกษตร. 2545. ข้าวหอมมะลิ: การผลิตให้มีคุณภาพดีและผลผลิตสูง. 30น.
- กองโภชนาการ. 2547. ปริมาณแคลเซียมในอาหารไทย. กรุงเทพฯ: กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. 48น.
- กองวิจัยและพัฒนาข้าว. 2559. องค์ความรู้เรื่องข้าว. กรมการข้าว.
- จิราพร หอมสุคนธ์, นัศรแก้ว วิรูปุตร์, ชมพูนุช สันติเพ็ญกุล และ รศ.ดร. เพ็ญขวัญ ชมปรีดา. 2548. การผลิตแคลเซียมจากเปลือกไข่ไก่เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร. ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ชูชาติ อารีจิตรานุสรณ์. ม.ป.ป. เครื่องวัดการดูดกลืนแสงของอะตอม. คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ชนัญชิตา สายขุมดี. ม.ป.ป. การวิเคราะห์โลหะหนักในน้ำเสียโดยการใช้เครื่อง AAS. นักวิทยาศาสตร์ 5 สำนักวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมโรงงาน.
- นิพล ธนัญญา. 2541. แคลเซียมกับกระดูก. นิตยสารหมอชาวบ้าน. 20(283): 11-13.
- นำพล อินสิน และ กรกฎ นิยมสัจย์. 2555. นวัตกรรมการผลิตตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์คุณภาพสูงสำหรับการผลิตไบโอดีดินเซลและสกัดแยกกลีเซอรอลจากไบโอดีเซลด้วยชั้นโครงสร้างแคลเซียมคาร์บอเนต/แคลเซียมออกไซด์ที่มีรูพรุนสูงแปรรูปจากเปลือกหอยแมลงภู่เหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมอาหารทะเล. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.
- นรินาม. 2015. เปลือกไข่ ประโยชน์ที่คุณอาจไม่รู้. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา : https://thaisituation.blogspot.com/2015/03/blog-post_27.html, (24 พฤศจิกายน 2562)
- นรินาม. 2016. 10 สรรพคุณ...ประโยชน์ของข้าวหอมมะลิ ข้าวพันธุ์ดี กลิ่นหอม พร้อมวิตามิน. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา : <http://sukkaphap-d.com/10-สรรพคุณประโยชน์ของข้าว/>, (11 ตุลาคม 2560)
- บรรจง บุญชม และ ภิชะกร รุ่งโรจน์ชัยพร. 2560. การผลิตสารประกอบแคลเซียมอินทรีย์จากเปลือก

หอยและเปลือกไข่เพื่อการใช้งานต่างๆ. คณะวิทยาศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

พรทิพย์ ศิริสุนทรลักษณ์, ไพลิน ลิ้มบุญ และ สุจิตรา จตุวงศ์. 2554. **คุณภาพทางเคมีกายภาพของข้าวเสริมแคลเซียมที่ผลิตด้วยวิธีแช่น้ำ**. คณะเทคโนโลยีและนวัตกรรมผลิตภัณฑ์การเกษตร และคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

มปป. 2544. **ข้าวแหล่งอาหารอันวิเศษจากธรรมชาติ**. นิตยสาร Health&cuisine ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 กุมภาพันธ์.

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม. มปป. **อินฟาเรดสเปกโทรสโกปี**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา : <http://www.pws.npru.ac.th>, (5 ธันวาคม 2562).

วิจิตรา แดงปรก และ ปิยวรรณ ศุภวิทิตพัฒนา. 2550. **โยเกิร์ตน้ำนมข้าวโพดเสริมแคลเซียมจากเปลือกไข่**. ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่.

วิชัย ดำรงโกภักดิ์. 2555. **เทคโนโลยีการนำเปลือกไข่มาใช้ประโยชน์**. คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

วรรณวิบูลย์ กาญจนกฤษกร และ หทัยรัตน์ ศรีสุภะ. 2556. **การแปรรูปไข่ขาวจากไข่เป็ด**. คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สำนักงานราชบัณฑิตยสภา. 2539. **เปลือกหอย**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา : <http://www.royin.go.th/?knowledges=เปลือกหอย>, (24 พฤศจิกายน 2562)

สุภกร บุญยีน, พัชรพร เทียมปาน และ สมลักษณ์ เรื่องสุทธีนฤภาพ. 2556. **การสังเคราะห์ตัวเร่งวิวิธพันธ์จากเปลือกหอยเหลือทิ้งเพื่อใช้เตรียมไบโอดีเซล**. ว.วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 21: 526-532.

อินทรีย์ ศรีสุข. 2560. **การศึกษาการใช้ผงเปลือกไข่ไก่ผสมในอีพอกซีเรซิน**. คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

อรอนงค์ นัยวิกุล. 2547. **ข้าว : วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**. กรุงเทพฯ. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Anderson, R. A., Conway, H. F., Pfeifer, V. F., & Griffin, E.L. (1969). **Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking**. Cereal Science Today, 14, 4-12.

Ando, M., Minami, J., Takata M., Ohinishi, F., & Kawamoto, S. 1980. **Process for producing**

- instant-cooking rice.** U.S. Patent 4, 233, 327.
- AOAC. 2000. **Official Method of Analysis of AOAC International.** 17th ed. AOAC Inc. Arlington, Virginia, USA.
- Chamber IV, E., & Wolf, M.B. 1996. **Sensory testing methods.** (2th ed.). Philadelphia: USA. American Society for Testing and Materials. USA.
- Chulakarangka, S (2007). **Foundation of Nutrition.** Bangkok: Publishing House Kasetsart University.
- Committee on Food Chemicals Codex, Food and Nutrition Board, Institute of Medicine. 1996. **Food Chemicals Codex.** 3rd ed. National Academy press, Washington, D.C.
- Daengprok, W., Garnjanagoonchorn W. & Mine Y. 2002. **Fermented pork sausage fortified with commercial or hen eggshell calcium lactate.** Meat Science. 62(2) : 199-204.
- Downes, F.P. & Ito, K. 2001. **Compendium of methods for the microbiological examination of foods.** Washington, DC.: American Public Health Association.
- D'Souza, R. A. and Kamat N.M. 2017. "**Potential of FTIR spectroscopy in chemical characterization of Termitomyces Pellets.**" Journal of Applied Biology & Biotechnology. 5(04) : 080-084.
- Hilderson, H. J. and Ralston, G. B. 1994. **Physicochemical Methods in the Study of Biomembranes.** New York : Plenum Press.
- Juliano, B.O., & Bechtel, D.B. (1985). **The rice grain and its gross composition.** In B.O. Juliano (Ed.), Rice : Chemistry and technology (2nd ed., pp. 17-50). St Paul, Minnesota, USA : American Association of Cereal Chemists.
- Lee, M.H., Gnanasambandam, R., Hettiarachchy, N.S. & Mcnew, R.W. 1995. **Physicochemical properties of Calcium-Fortified Rice.** Cereal Chemists. 72(4): 352-355.
- Li, M., & Lee, T.C. (1996). **Effect of cysteine on the functional properties and microstructure of wheat flour extrudates.** Journal of Agricultural and Food Chemistry, 44, 1871-1880.
- Mbonyiryivuze, A., Mwakikunga, B., Simon Mokhotjwa Dhlamini, S.M.and Maaza, M. 2015. "**Fourier transform infrared spectroscopy for sepia melanin.**" Physics and Materials Chemistry. 3(2) : 25-29.

- Mridula, D., & Jha P. 2013. **Preparation of iron-fortified rice using edible coating materials.** International Journal of Food Science and Technology. 49 : 246–252.
- Mridula, D., Sahay, D., Gupta, R.K., & Goswami D. 2015. **Development of biopolymer coated calcium fortified rice using spraying and soaking methods.** Food Science and Technology. 62 : 209-215.
- Tzia, C., Kyritsi, A. & Karathanos, V.T. 2011. **Vitamin fortified rice grain using spraying and soaking methods.** Food Science and Technology. 44: 312-320.
- Wang, L., Chen, Z., Zhang, X., Cheng, M., Wang, R., Luo, X. & Li, Y. 2015. **Influence of ultrasonic enzyme treatment on the cooking and eating quality of brown rice.** Journal of cereal science. 63:140-146.
- Weaver, C.M. 1998. **Calcium in food fortification strategies.** International Dairy Journal. 8: 443-449.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี

ก-1 ความสามารถในการละลายน้ำ (Water Solubility Index) (Anderson และคณะ, 1969)

อุปกรณ์

1. อลูมิเนียมแกน
2. ขวดรูปชมพูนขนาด 150 มิลลิลิตร
3. หลอด Centrifuge
4. เครื่อง Centrifuge (Eppendorf, 5804 R)
5. เครื่อง Hot air oven
6. เครื่อง Stirrer

วิธีการ

1. ชั่งผงแคลเซียม 2.5 กรัมลงในขวดรูปชมพู่ที่ชั่งน้ำหนักแล้ว
2. เติมน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร stirrer ด้วยความเร็วรอบ 400 rpm เป็นเวลา 10 นาที
3. นำไปปั่นเหวี่ยงที่ 3000 rpm เป็นเวลา 10 นาที
4. นำส่วนใสไประเหยด้วยเครื่อง hot air oven อบที่ 105 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่
แล้วนำไปคำนวณหาความสามารถการละลาย

การคำนวณ

$$\text{ความสามารถในการละลายน้ำ (Water Solubility Index, WSI, \%)} = \frac{\text{น้ำหนักส่วนใสหลังอบแห้ง} \times 100}{\text{น้ำหนักผงแคลเซียมเริ่มต้น}}$$

ก-2 การวัดค่าสี

อุปกรณ์

1. เครื่องวัดสี (Minolta, CR-400, Japan)
2. ฟาอะลูมิเนียมแคน

วิธีการ

1. นำตัวอย่างใส่ในอะลูมิเนียมแคน
2. ปรับมาตรฐานเครื่อง (Calibration) โดย
 - 2.1 ต่อปลั๊กไฟให้เข้าด้านหลังเครื่องตรงช่อง DC
 - 2.2 เปิด power ไปที่ ON กดที่ Calibrate
 - 2.3 วางปลายหัวในแนบกับผิวหน้าของแผ่น Calibrate (แผ่นพลาสติกสีขาว)
 - 2.4 กดปุ่ม measuring head อ่ย้ายกหัวออกจนกว่าเครื่องจะ Calibrate เสร็จ โดย

หน้าจอจะแสดง 'END'

3. ใช้แผ่นพลาสติกคลุมหัววัดก่อนทำการวัด เพื่อป้องกันอุปกรณ์ชำรุด
4. ใช้หัววัดสีวางทาบลงบนตัวอย่าง ในแนวตั้งจากและอ่านค่าแสดงผลการวัด
5. เครื่องจะแสดงค่า L^* , a^* และ b^* โดยค่า

L^* คือ ค่าความสว่าง มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 100

a^* คือ ค่าสีแดงและสีเขียว

เมื่อ a^* มีค่าเป็นบวก แสดงสีแดง

เมื่อ a^* มีค่าเป็นลบ แสดงสีเขียว

b^* คือ ค่าสีเหลืองและสีน้ำเงิน

เมื่อ b^* มีค่าเป็นบวก แสดงสีเหลือง

เมื่อ b^* มีค่าเป็นลบ แสดงสีน้ำเงิน

ก-3 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัส

เครื่องมือวิเคราะห์ : เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Stable Micro System, TA-XT Plus, UK)

ตัวอย่าง : ข้าวหอมมะลิที่ไม่หุงสุก

1. สุ่มตัวอย่างเมล็ดข้าว 1 เม็ดต่อการทดลอง
2. ตั้งค่ามาตรฐาน (Calibration) ของเครื่องตามโปรแกรม
- 3 ใช้หัววัด SMS P/5 (หัววัดแรงเจาะทะลุขนาด 5 มิลลิเมตร) ดังภาพภาคผนวกที่ ก-3.1



ภาพภาคผนวกที่ ก-3.1 : หัววัด SMS P/5

4. ตั้งค่าระยะของหัววัด (Distance) 0.4 มิลลิเมตร / วินาที
5. โดยตั้งค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของ Load cell ดังนี้

Pre-Test Speed = 2.0 มิลลิเมตร / วินาที

Test Speed = 1.0 มิลลิเมตร / วินาที

Post-Test Speed = 2.0 มิลลิเมตร / วินาที

ตัวอย่าง : ข้าวหอมมะลิหุงสุก

1. สุ่มตัวอย่างเมล็ดข้าว 8 เม็ดต่อการทดลอง
2. ตั้งค่ามาตรฐาน (Calibration) ของเครื่องตามโปรแกรม
3. ใช้หัววัด P/35 (ทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 35 มิลลิเมตร) ดังภาพภาคผนวกที่

ก-3.2



ภาพภาคผนวกที่ ก-3.2 : หัววัด P/35

4. ตั้งค่าระยะของหัววัด (Strain) ที่ร้อยละ 90
5. วิเคราะห์แบบ Texture profile analysis (TPA) โดยตั้งค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของ Load cell ดังนี้

Pre-Test Speed = 2.0 มิลลิเมตร / วินาที

Test Speed = 0.5 มิลลิเมตร / วินาที

Post-Test Speed = 2.0 มิลลิเมตร / วินาที



ภาพภาคผนวกที่ ก-3.3 : เครื่องวัดเนื้อสัมผัส

ก-4 การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น (AOAC, 2000)

1. อบกระป๋องหาความชื้นพร้อมฝาในตู้อบลมร้อนแบบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105±2 องศาเซลเซียสนาน 3 ชั่วโมงทำให้เย็นในโถดูดความชื้นนาน 30 นาทีชั่งน้ำหนัก (W1) โดยชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งที่ความละเอียด 4 ตำแหน่ง
2. ชั่งตัวอย่างประมาณ 3 กรัมใส่กระป๋องหาความชื้นที่อบและชั่งน้ำหนักไว้เรียบร้อยแล้ว (W2)
3. นำกระป๋องหาความชื้นพร้อมฝาโดยเปิดฝาทิ้งไว้จนเย็นไปอบที่ตู้อบลมร้อนแบบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105±2 องศาเซลเซียสนาน 4 ชั่วโมง
4. นำกระป๋องหาความชื้นออกจากตู้อบลมร้อนแบบไฟฟ้าโดยปิดฝาทันทีและทำให้เย็นในโถดูดความชื้นนาน 30 นาทีชั่งน้ำหนักที่แน่นอน
5. นำไปอบต่อและนำมาชั่งน้ำหนักทุกชั่วโมงจนได้น้ำหนักคงที่ (W3)
6. คำนวณหาปริมาณความชื้นหน่วยเป็นร้อยละ โดยนำน้ำหนักที่หายไปหารด้วยน้ำหนักตัวอย่างที่ใช้คูณด้วย 100

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น} = \frac{(W2 - W3)}{(W2 - W1)} \times 100$$

เมื่อ W1 = น้ำหนักของกระป๋องหาความชื้น (กรัม)

W2 = น้ำหนักของกระป๋องหาความชื้นและตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)

W3 = น้ำหนักของกระป๋องหาความชื้นและตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

ภาคผนวก ข.

การวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียม

ข-1 การวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมด้วยวิธีไตเตรท EDTA (Committee on Food Chemical Codex, 1996)

อุปกรณ์

1. บิวเรตขนาด 50 มิลลิลิตร
2. ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร

สารเคมี

1. สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง
2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์
3. 0.05 M edetate disodium (EDTA)
4. อินดิเคเตอร์ Murexide

วิธีการทดลอง

1. ตวงน้ำกลั่นปริมาตร 148 มิลลิลิตร เติมสารละลาย 3 N กรดไฮโดรคลอริกเจือจาง 2 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร หลังจากนั้นทำการเติมตัวอย่างแคลเซียมที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน (ประมาณ 350 มิลลิกรัม)

2. เติมสารละลาย 0.05 M EDTA ปริมาณ 30 มิลลิลิตร

3. เติม 1 N โซเดียมไฮดรอกไซด์ ปริมาณ 30 มิลลิลิตร หลังจากนั้นเติมอินดิเคเตอร์ Murexide (ประมาณ 0.3 กรัม) จะได้สารละลายที่มีสีชมพู ทำการไตเตรทด้วย 0.05 M EDTA จนกระทั่งถึงจุดยุติ จะได้สารละลายที่มีสีม่วง

4. บันทึกปริมาณ EDTA ที่ใช้ทั้งหมด (30 มิลลิลิตร + ปริมาณที่ไตเตรท) หลังจากนั้นคำนวณปริมาณแคลเซียมในแต่ละตัวอย่างดังนี้

$$\% \text{ แคลเซียมในตัวอย่าง} = \frac{\text{M ของ EDTA} \times \text{ปริมาณ EDTA ที่ใช้ (มิลลิลิตร)} \times 2.04 \times 100}{0.05 \times \text{น้ำหนักของตัวอย่าง (มิลลิกรัม)}}$$

ข-2 การวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมด้วยวิธี Atomic Absorption Spectrophotometer (AOAC, 2000)

อุปกรณ์

1. ถ้วยครุชเชิล
2. ขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร
3. กระดาษกรองเบอร์ 42

สารเคมี

1. กรดไนตริกเข้มข้นร้อยละ 65

วิธีการทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างข้าวที่บดละเอียด 3.00xx กรัม ลงในถ้วยระเหย จากนั้นนำไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง
2. ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง จะได้ตัวอย่างเป็นเถ้าสีเทาหรือสีขาว จากนั้นเติมกรดไนตริกเข้มข้นร้อยละ 65 ปริมาตร 20 มิลลิลิตร
3. นำตัวอย่างข้าวไปย่อยบนแผ่นให้ความร้อน ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จนปริมาตรสารละลายเหลือประมาณ 1 ใน 3 ของถ้วยกระเบื้อง แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
4. นำสารละลายที่ผ่านการย่อยแล้วไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออน
5. นำสารละลายตัวอย่างไปวิเคราะห์ที่ความยาวคลื่นของแคลเซียม ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)
6. นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปเทียบหาปริมาณ โลหะกับกราฟมาตรฐานของแคลเซียม

ภาคผนวก ค.

แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ค-1 แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ

แบบสอบถามทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ (9 Hedonic scaling)

ชื่อผู้ทดสอบ

วันที่

ตัวอย่าง : ข้าวเสริมแคลเซียมแลคเตทจากเปลือกไข่แป็คและเปลือกหอยแครง

คำแนะนำ : กรุณาทดสอบตัวอย่างและให้คะแนนความชอบตามที่ท่านรู้สึก ให้ตรงกับรหัสตัวอย่าง

สเกลความชอบ : 1 = ไม่ชอบมากที่สุด 2 = ไม่ชอบมาก 3 = ไม่ชอบปานกลาง

4 = ไม่ชอบเล็กน้อย 5 = เฉยๆ 6 = ชอบเล็กน้อย

7 = ชอบปานกลาง 8 = ชอบมาก 9 = ชอบมากที่สุด

คุณลักษณะ	คะแนนความชอบ			
สี				
กลิ่น				
รสชาติ				
ความนุ่ม				
ความชอบโดยรวม				

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

ค-2 แบบทดสอบทางประสามสัมพัทธ์ด้วยวิธีการเปรียบเทียบความแตกต่างกับตัวอย่างควบคุม

แบบสอบถามทางประสามสัมพัทธ์ด้วยวิธีเปรียบเทียบความแตกต่างกับตัวอย่างควบคุม

(Difference from control test)

ชื่อผู้ทดสอบ

วันที่

ตัวอย่าง : ข้าวเสริมแคลเซียมจากเปลือกไข่เป็ด

คำแนะนำ : กรุณาทดสอบตัวอย่างแต่ละคู่ โดยทดสอบตัวอย่าง “C” ก่อนแล้วจึงทดสอบตัวอย่างที่มีรหัสและประเมินความแตกต่างด้านต่างๆของตัวอย่างดังกล่าวกับตัวอย่าง “C” โดยขีดเครื่องหมาย | ลงบนเส้นตามความรู้สึกของท่าน โดยมีระดับความแตกต่างดังนี้

รหัส

สี

-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	
แตกต่างกัน้อย					ไม่แตกต่าง						แตกต่างมาก

กลิ่น

-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	
แตกต่างกัน้อย					ไม่แตกต่าง						แตกต่างมาก

รสชาติ

-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	
แตกต่างกัน้อย					ไม่แตกต่าง						แตกต่างมาก

ความนุ่ม

-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	
แตกต่างกัน้อย					ไม่แตกต่าง						แตกต่างมาก

รหัส

สี

-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	
แตกต่างกัน้อย					ไม่แตกต่าง						แตกต่างมาก

กลิ่น

-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	
แตกต่างกัน้อย					ไม่แตกต่าง						แตกต่างมาก

รสชาติ

-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	
แตกต่างกัน้อย					ไม่แตกต่าง						แตกต่างมาก

ความนุ่ม

-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	
แตกต่างกัน้อย					ไม่แตกต่าง						แตกต่างมาก

แบบสอบถามทางประสามสัมพัสดด้วยวิธีเปรียบเทียบความแตกต่างกับตัวอย่างควบคุม
(Difference from control test)

ชื่อผู้ทดสอบ

วันที่

ตัวอย่าง : ข้าวเสริมแคลเซียมจากเปลือกหอยแครง

คำแนะนำ : กรุณาทดสอบตัวอย่างแต่ละคู่ โดยทดสอบตัวอย่าง “C” ก่อนแล้วจึงทดสอบตัวอย่างที่มีรหัสและประเมินความแตกต่างด้านต่างๆของตัวอย่างดังกล่าวกับตัวอย่าง “C” โดยขีดเครื่องหมาย | ลงบนเส้นตามความรู้สึกของท่าน โดยมีระดับความแตกต่างดังนี้

รหัส

สี

-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
แตกต่างน้อย					ไม่แตกต่าง					แตกต่างมาก

กลิ่น

-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
แตกต่างน้อย					ไม่แตกต่าง					แตกต่างมาก

รสชาติ

-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
แตกต่างน้อย					ไม่แตกต่าง					แตกต่างมาก

ความนุ่ม

-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
แตกต่างน้อย					ไม่แตกต่าง					แตกต่างมาก

รหัส

สี

-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
แตกต่างน้อย					ไม่แตกต่าง					แตกต่างมาก

กลิ่น

-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
แตกต่างน้อย					ไม่แตกต่าง					แตกต่างมาก

รสชาติ

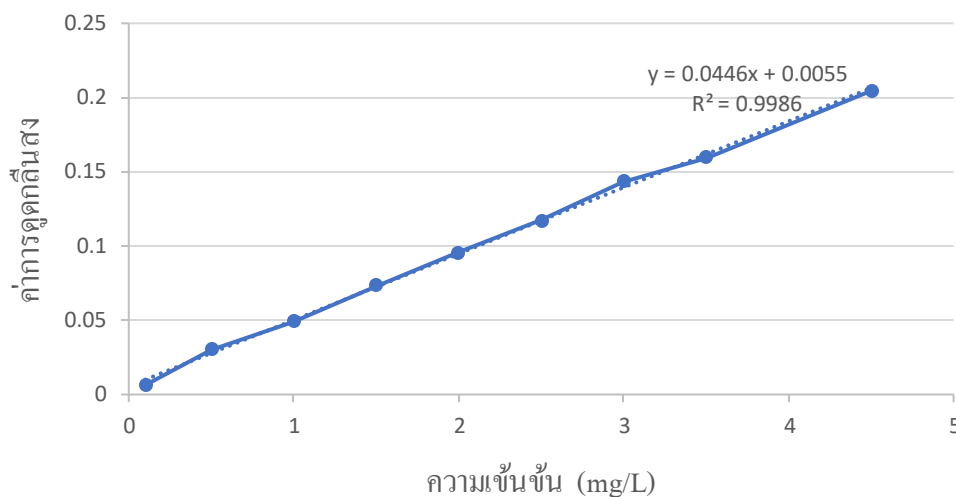
-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
แตกต่างน้อย					ไม่แตกต่าง					แตกต่างมาก

ความนุ่ม

-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
แตกต่างน้อย					ไม่แตกต่าง					แตกต่างมาก

ภาคผนวก ง. วิธีการคำนวณ

ง-1 การคำนวณปริมาณแคลเซียม



ภาพภาคผนวกที่ ง-1.1 : กราฟมาตรฐานของแคลเซียม

ตัวอย่าง การคำนวณหาปริมาณแคลเซียม

น้ำหนักข้าวหอมมะลิที่ไม่ได้เสริมแคลเซียมครั้งที่ 1 ที่ บดละเอียด 3.2721 กรัม

สารละลายตัวอย่างข้าวหอมมะลิที่ไม่ได้เสริมแคลเซียมครั้งที่ 1 วัดค่าการดูดกลืนแสงได้เท่ากับ 0.111 จากกราฟสารละลายมาตรฐานแคลเซียม จะได้สมการเส้นตรง $y = 0.0446x + 0.0055$

จากสมการเส้นตรง

$$y = 0.0446x + 0.0055$$

$$\text{แทนค่า } 0.111 = 0.0446x + 0.0055$$

$$x = 2.365$$

ดังนั้น สารละลายตัวอย่างข้าวหอมมะลิที่ไม่ได้เสริมแคลเซียมครั้งที่ 1 มีปริมาณแคลเซียม 2.365 มิลลิกรัมต่อลิตร

ฉะนั้น

ถ้าสารละลายตัวอย่าง 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร มีแคลเซียมอยู่ 2.365 มิลลิกรัม

ปริมาตรตัวอย่างสุดท้าย 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร มีแคลเซียมอยู่ $\frac{100 \times 2.3655}{1000}$

$$= \frac{236.55}{1000}$$

$$= 0.2365 \text{ มิลลิกรัม}$$

ฉะนั้น

ตัวอย่างข้าวหอมมะลิที่ไม่ได้เสริมแคลเซียมครั้งที่ 1 ที่ 3.2721 กรัมมีแคลเซียมอยู่ 0.2365 มิลลิกรัม
ถ้าตัวอย่างข้าวหอมมะลิที่ไม่ได้เสริมแคลเซียมครั้งที่ 1 100 กรัม มีแคลเซียมอยู่ 0.2365×100

$$3.2721$$

$$= 7.229 \text{ มิลลิกรัมต่อ } 100 \text{ กรัม}$$

เพราะฉะนั้น

ข้าวหอมมะลิที่ไม่ได้เสริมแคลเซียมครั้งที่ 1 มีปริมาณแคลเซียม 7.229 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม

ง-2 การคำนวณความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียม

1. สารละลายแคลเซียมแลคเตท

M.W. ของแคลเซียมแลคเตท คือ 218.22 กรัมต่อโมล มีแคลเซียม 40 กรัม

สารละลายแคลเซียม 1 ลิตร จะมีความเข้มข้น 40,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

ถ้าต้องการความเข้มข้น 50,000 มิลลิกรัมต่อลิตร จะต้องชั่งผงแคลเซียมกี่กรัม

$$\text{ความเข้มข้น } 40,000 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร ชั่ง } 218.22 \text{ กรัม}$$

$$\text{ถ้าต้องการความเข้มข้น } 50,000 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร ต้องชั่ง } \frac{218.22 \times 50,000}{40,000}$$

$$40,000$$

$$= 272.775 \text{ กรัมต่อลิตร}$$

ดังนั้น ถ้าต้องการสารละลายแคลเซียมแลคเตท 50,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ต้องชั่งผงแคลเซียม

272.775 กรัม ต่อ น้ำ 1 ลิตร

2. สารละลายแคลเซียมอะซิเตท

M.W. ของแคลเซียมอะซิเตท คือ 158.17 กรัมต่อโมล มีแคลเซียม 40 กรัม

สารละลายแคลเซียม 1 ลิตร จะมีความเข้มข้น 40,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

ถ้าต้องการความเข้มข้น 50,000 มิลลิกรัมต่อลิตร จะต้องชั่งผงแคลเซียมกี่กรัม

$$\text{ความเข้มข้น } 40,000 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร ชั่ง } 158.17 \text{ กรัม}$$

$$\text{ถ้าต้องการความเข้มข้น } 50,000 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร ต้องชั่ง } \frac{158.17 \times 50,000}{40,000}$$

$$40,000$$

$$= 197.713 \text{ กรัมต่อลิตร}$$

ดังนั้น ถ้าต้องการสารละลายแคลเซียมอะซิเตท 50,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ต้องชั่งผงแคลเซียม

197.713 กรัม ต่อ น้ำ 1 ลิตร

3. สารละลายแคลเซียมแลคเตท+แคลเซียมอะซิเตท

M.W. ของแคลเซียมแลคเตท คือ 218.22 กรัมต่อโมล

M.W. ของแคลเซียมอะซิเตท คือ 158.17 กรัมต่อโมล

M.W. = $\frac{218.22 + 158.17}{2}$ = 188.195 กรัมต่อโมล มีแคลเซียม 40 กรัม

2

สารละลายแคลเซียม 1 ลิตร จะมีความเข้มข้น 40,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

ถ้าต้องการความเข้มข้น 50,000 มิลลิกรัมต่อลิตร จะต้องชั่งผงแคลเซียมกี่กรัม

ความเข้มข้น 40,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ชั่ง 188.195 กรัม

ถ้าต้องการความเข้มข้น 50,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ต้องชั่ง $\frac{188.195 \times 50,000}{40,000}$

40,000

= 235.244 กรัมต่อลิตร

ดังนั้น ถ้าต้องการสารละลายแคลเซียมแลคเตท+แคลเซียมอะซิเตท 50,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ต้องชั่ง
ผงแคลเซียม 235.244 กรัม ต่อน้ำ 1 ลิตร

ภาคผนวกจ.
ภาพผงแคลเซียมที่เตรียมได้

จ-1 ภาพผงแคลเซียมจากเปลือกไข่เปิดที่เตรียมได้



จ-2 ภาพผงแคลเซียมจากเปลือกหอยแครงที่เตรียมได้



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นางสาวณิชนกานต์ สวงนวิชัยกุล
วัน เดือน ปี เกิด	6 กุมภาพันธ์ 2537
ที่อยู่	12 ซอยพุทธบูชา 34 ถนนพุทธบูชา แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพมหานครฯ 10140
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2559 จบการศึกษาระดับปริญญาตรี คณะอุตสาหกรรมเกษตร สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตรและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปทุมธานี
การนำเสนอผลงาน	Effect of calcium fortification from duck eggshells on the quality of Thai jasmine rice ที่งานประชุมวิชาการ The 21 st Food Innovation Asia Conference 2019 (FIAC 2019) จัดโดยสมาคมวิทยาศาสตร์และ เทคโนโลยีการอาหารแห่งประเทศไทย วันที่ 13 - 15 มิถุนายน 2562 ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทค, ประเทศไทย