โครงการ
การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ ผลของลิพิดและอิมัลซิไฟเออร์ต่อพฤติกรรมการเกิดเพสต์และสมบัติของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้า

ชื่อนิสิต นางสาวปุณญานุช สุทธิบุญ
นางสาวพัณณิดา ถนอมกุล

ภาควิชา เทคโนโลยีทางอาหาร
ปีการศึกษา 2561

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงงานทางวิชาการที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงงานทางวิชาการที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด
The abstract and full text of senior projects in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the senior project authors' files submitted through the faculty.

ผลของลิพิดและอิมัลซิไฟเออร์ต่อพฤติกรรมการเกิดเพสต์และสมบัติของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้า

โดย

นางสาวปุณญานุช สุทธิบุญ

นางสาวพัณณิดา ถนอมกุล

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนจันทร์ มหาวนิช

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร

ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประจำปีการศึกษา 2561

EFFECT OF LIPIDS AND EMULSIFIERS ON PASTING BEHAVIOR AND GEL PROPERTIES OF NAMWA BANANA FLOUR

Punyanut Suttiboon

Pannida Thanomkul

Project Advisor

Asst. Prof. Thanachan Mahawanich, Ph.D.

A Report Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Bachelor of Science Program in Food Technology

Department of Food Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2018

หัวข้องานวิจัย	ผลของลิพิดและอิมัลซิไฟเออร์ต่อพฤติกรรมการเกิดเพสต์และสมบัติของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้า
โดย	นางสาวปุณญานุช สุทธิบุญ
	นางสาวพัณณิดา ถนอมกุล
สาขาวิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนจันทร์ มหาวนิช
ปีการศึกษา	2561

ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
อนุมัติให้รายงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
ประจำปีการศึกษา 2561

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.ขนิษฐา ธนานุวงศ์)
หัวหน้าภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนจันทร์ มหาวนิช)
อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

หัวข้องานวิจัย ผลของลิพิดและอิมัลซิไฟเออร์ต่อพฤติกรรมการเกิดเพสต์และสมบัติของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้า

โดย นางสาวปุณญานุช สุทธิบุญ
นางสาวพัณณิดา ถนอมกุล
สาขาวิชา เทคโนโลยีทางอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนจันทร์ มหาวนิช

ปีการศึกษา 2561

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของลิพิดและอิมัลซิไฟเออร์ต่อพฤติกรรมการเกิดเพสต์และสมบัติของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้า โดยงานวิจัยนี้มีการแปรชนิดของลิพิดเป็น 2 ชนิด ได้แก่ กรดสเทียริก (SA) และน้ำมันรำข้าว (RBO) แปรชนิดของอิมัลซิไฟเออร์เป็น 2 ชนิด ได้แก่ ดิสทิลด์โมโนกลีเซอไรด์ (DMG) และซอร์บิแทนโมโนสเทียเรตซึ่งมีชื่อทางการค้า Span® 60 (SPN) แปรความเข้มข้นของลิพิดและอิมัลซิไฟเออร์เป็น 3 ระดับ ได้แก่ 1.0, 2.0 และ 4.0% โดยน้ำหนักของฟลาวร์ ศึกษาพฤติกรรมการเกิดเพสต์ของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่มีการเติมลิพิดและอิมัลซิไฟเออร์ ศึกษาสมบัติของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่มีการเติมลิพิดและอิมัลซิไฟเออร์ ได้แก่ รูปแบบเนื้อสัมผัส, สี และการขับน้ำ ณ วันที่ 0, 3, 7 และ 10 ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จากการศึกษาพฤติกรรมการเกิดเพสต์ของฟลาวร์กล้วยน้ำว้า พบว่าการเติมลิพิดและอิมัลซิไฟเออร์ส่งผลให้ peak viscosity ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) การเติม RBO และอิมัลซิไฟเออร์ส่งผลให้ breakdown viscosity ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) การเติม SA ส่งผลให้ final viscosity และ setback viscosity เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) ส่วนการเติม RBO ส่งผลให้ final viscosity และ setback viscosity ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) การเติม SPN ส่งผลให้ setback viscosity เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) จากการศึกษารูปแบบเนื้อสัมผัสของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้า พบว่าการเติมลิพิดและอิมัลซิไฟเออร์ส่งผลให้ hardness ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) จากการศึกษาสีของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่มีการเติมลิพิด พบว่าการเติม SA ส่งผลให้ดัชนีความขาวและดัชนีความเหลืองลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) ณ วันที่ 0, 3, 7 และ 10 ของการเก็บรักษา จากการศึกษาสีของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่มีการเติมอิมัลซิไฟเออร์ การเติม DMG ส่งผลให้ดัชนีความขาวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) การเติม SPN ส่งผลให้ดัชนีความขาวลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) การเติมอิมัลซิไฟเออร์ส่งผลให้ดัชนีความเหลืองลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) ณ วันที่ 0, 3, 7 และ 10 ของการเก็บรักษา จากการศึกษาการขับน้ำของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้า พบว่าเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่มีการเติมลิพิดมีแนวโน้มของการขับน้ำที่ไม่แน่นอน ส่วนการเติมอิมัลซิไฟเออร์ส่งผลให้เจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้ามีแนวโน้มของการขับน้ำที่มากขึ้น

Project Title Effect of lipids and emulsifiers on pasting behavior and gel properties of Namwa banana flour

Student Punyanut Suttiboon

Pannida Thanomkul

Study Program Bachelor of Science in Food Technology

Advisor Asst. Prof. Thanachan Mahawanich, Ph.D.

Academic Year 2018

ABSTRACT

This study aimed to investigate the effect of lipids and emulsifiers on pasting behavior and gel properties of Namwa banana flour. The lipids used in this study were stearic acid (SA) and rice bran oil (RBO). The emulsifiers used in this study were distilled monoglyceride (DMG) and sorbitan monostearate, with the trade name of Span® 60 (SPN). The lipids and emulsifiers were added at 1.0, 2.0 and 4.0% by weight of flour. The pasting behavior of Namwa banana flour with the addition of lipids and emulsifiers were investigated in this study. The gel properties of Namwa banana flour with the addition of lipids and emulsifiers (texture profile analysis, color, and syneresis) after being stored for 0, 3, 7 and 10 days at 4°C were also explored. Regarding the pasting behavior, addition of lipids and emulsifiers caused a decrease in peak viscosity. Addition of RBO and emulsifiers induced a decrease in breakdown viscosity. SA fortification rendered an increase in final and breakdown viscosity. Addition of RBO was proved to cause a decrease in final and setback viscosity while SPN incorporation prompted an increase in setback viscosity ($p \leq 0.05$). Addition of lipids and emulsifiers resulted in a decrease in gel hardness ($p \leq 0.05$). For color of gel of Namwa banana flour, addition of SA caused a decrease in the gel whiteness and yellowness indices after being stored for 0, 3, 7 and 10 days. DMG induced an increase in the gel whiteness index of the stored gels. SPN addition rendered a decrease in whiteness index and addition of emulsifiers caused a decrease in yellowness index of the gel stored for 0, 3, 7 and 10 days ($p \leq 0.05$). Changes in syneresis of the gel upon adding lipid did not possess a consistent trend. On the other hand, addition of emulsifiers resulted in an increase in syneresis of the banana flour gel.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการเรียนการสอนในระดับปริญญาตรี ของภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้รับทุนอุดหนุนจากงบประมาณของโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ ปีการศึกษา 2561

โครงการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่ได้ตั้งไว้อย่างสมบูรณ์โดยความกรุณาและความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนจันทร์ มหาวนิช ที่ได้เสียสละเวลาให้คำปรึกษา แนะนำ ชี้แนะแนวทางการแก้ไขปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอ

ขอขอบคุณเพื่อนนิสิตภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำในเรื่องต่างๆ ตลอดจนเป็นกำลังใจในการทำโครงการวิจัยนี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความช่วยเหลือ แนะนำ และอำนวยความสะดวกในการทำโครงการวิจัยนี้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย……..……..ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ……..……จ

กิตติกรรมประกาศ……...ฉ

สารบัญ……..……ช

สารบัญตาราง……..…ฎ

สารบัญภาพ……...…ฐ

บทที่ 1 บทนำ……...1

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา……1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย……..2

1.3 ขอบเขต/กรอบแนวคิดของการวิจัย……...2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย……2

บทที่ 2 แนวคิดทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง……..……3

2.1 ฟลาวร์กล้วย……..3

2.2 กล้วย……3

2.2.1 กล้วยดิบ……...3

2.2.2 กล้วยน้ำว้า (Namwa, Pisang Awak หรือ Ducasse banana)……..5

2.3 สตาร์ชทนย่อย……...5

2.4 เจลาทิไนเซชัน……..5

หน้า

2.5 รีโทรเกรเดชัน……...6

2.6 ลิพิด……..6

2.7 อิมัลซิไฟเออร์……...7

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย……...8

3.1 วัตถุดิบ สารเคมี วัสดุ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองและวิเคราะห์……..……..8

3.1.1 วัตถุดิบ……8

3.1.2 สารเคมี……8

3.1.2.1 สารเคมีที่ใช้ในการผลิตฟลาวร์กล้วยน้ำว้า……..……8

3.1.2.2 ลิพิด……8

3.1.2.3 อิมัลซิไฟเออร์……..……8

3.1.2.4 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์……9

3.1.3 วัสดุและอุปกรณ์……..……9

3.1.3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตฟลาวร์กล้วย……9

3.2 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย……17

3.2.1 การผลิตฟลาวร์กล้วยน้ำว้า……..……17

3.2.2 การศึกษาผลของลิพิดต่อพฤติกรรมการเกิดเพสต์และสมบัติของเจลฟลาวร์กล้วยน้ำว้า……..……17

3.2.2.1 พฤติกรรมการเกิดเพสต์……..……17

3.2.2.2 สมบัติของเจล……17

หน้า

3.2.3 การศึกษาผลของอิมัลซิไฟเออร์ต่อพฤติกรรมการเกิดเพสต์และสมบัติของเจลฟลาวร์กล้วยน้ำว้า……18

3.2.4 การวางแผนการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ……...……18

บทที่ 4 ผลการวิจัย และวิจารณ์ผล……...……19

4.1 การผลิตฟลาวร์กล้วยน้ำว้า……..…..……19

4.2 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของฟลาวร์กล้วยน้ำว้า……19

4.3 ศึกษาพฤติกรรมการเกิดเพสต์ของฟลาวร์กล้วยน้ำว้า……..20

4.4 ศึกษาสมบัติของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้า……24

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ……50

เอกสารอ้างอิง……53

ภาคผนวก……...……57

ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์……...……58

ก.1 การผลิตฟลาวร์กล้วยน้ำว้าและการคำนวณผลได้ (yield) ……58

ก.2 การศึกษาพฤติกรรมการเกิดเพสต์ของฟลาวร์กล้วยน้ำว้า……..59

ก.3 การวิเคราะห์รูปแบบเนื้อสัมผัส (texture profile analysis, TPA) ของเจลฟลาวร์กล้วยน้ำว้า……...……61

ก.4 การวิเคราะห์สีของเจลฟลาวร์กล้วยน้ำว้า……..……62

ก.5 การวิเคราะห์การขับน้ำของเจลฟลาวร์กล้วยน้ำว้า……...…..……62

ภาคผนวก ข กราฟข้อมูล……..……64

หน้า

ภาคผนวก ค รายละเอียดโครงการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์…..…….65

ภาคผนวก ง ประวัติผู้วิจัย…….77

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางโภชนาการของกล้วยดิบ……4

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางโภชนาการของกล้วยน้ำว้า……5

ตารางที่ 3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตฟลาวร์กล้วยน้ำว้า……...……10

ตารางที่ 3.2 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี……...……12

ตารางที่ 3.3 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาพฤติกรรมการเกิดเพสต์……...……..14

ตารางที่ 3.4 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาสมบัติของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้า……15

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของฟลาวร์กล้วยน้ำว้า..……...……..19

ตารางที่ 4.2 พฤติกรรมการเกิดเพสต์ของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่เติมลิพิด..……...……..20

ตารางที่ 4.3 พฤติกรรมการเกิดเพสต์ของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่เติมอิมัลซิไฟเออร์..……...……23

ตารางที่ 4.4 สมบัติของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่เติมลิพิด ณ วันที่ 0 ของการเก็บรักษา ที่คำนวณได้จากกราฟการวิเคราะห์รูปแบบเนื้อสัมผัส (texture profile analysis, TPA)……25

ตารางที่ 4.5 สมบัติของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่เติมลิพิด ณ วันที่ 3 ของการเก็บรักษา ที่คำนวณได้จากกราฟการวิเคราะห์รูปแบบเนื้อสัมผัส (texture profile analysis, TPA)……26

ตารางที่ 4.6 สมบัติของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่เติมลิพิด ณ วันที่ 7 ของการเก็บรักษา ที่คำนวณได้จากกราฟการวิเคราะห์รูปแบบเนื้อสัมผัส (texture profile analysis, TPA)……27

ตารางที่ 4.7 สมบัติของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่เติมลิพิด ณ วันที่ 10 ของการเก็บรักษา ที่คำนวณได้จากกราฟการวิเคราะห์รูปแบบเนื้อสัมผัส (texture profile analysis, TPA)……28

ตารางที่ 4.8 สมบัติของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่เติมอิมัลซิไฟเออร์ ณ วันที่ 0 ของการเก็บรักษา ที่คำนวณได้จากกราฟการวิเคราะห์รูปแบบเนื้อสัมผัส (texture profile analysis, TPA)……...30

ตารางที่ 4.9 สมบัติของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่เติมอิมัลซิไฟเออร์ ณ วันที่ 3 ของการเก็บรักษา ที่คำนวณได้จากกราฟการวิเคราะห์รูปแบบเนื้อสัมผัส (texture profile analysis, TPA)……....31

ตารางที่ 4.10 สมบัติของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่เติมอิมัลซิไฟเออร์ ณ วันที่ 7 ของการเก็บรักษา ที่คำนวณได้จากกราฟการวิเคราะห์รูปแบบเนื้อสัมผัส (texture profile analysis, TPA)……....32

ตารางที่ 4.11 สมบัติของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่เติมอิมัลซิไฟเออร์ ณ วันที่ 10 ของการเก็บรักษา ที่คำนวณได้จากกราฟการวิเคราะห์รูปแบบเนื้อสัมผัส (texture profile analysis, TPA)……....33

ตารางที่ 4.12 สีของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่เติมลิพิด ณ วันที่ 0 ของการเก็บรักษา...……....35

ตารางที่ 4.13 สีของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่เติมลิพิด ณ วันที่ 3 ของการเก็บรักษา...……....36

ตารางที่ 4.14 สีของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่เติมลิพิด ณ วันที่ 7 ของการเก็บรักษา...……....37

ตารางที่ 4.15 สีของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่เติมลิพิด ณ วันที่ 10 ของการเก็บรักษา...……..…….....38

ตารางที่ 4.16 สีของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่เติมอิมัลซิไฟเออร์ ณ วันที่ 0 ของการเก็บรักษา...…....41

ตารางที่ 4.17 สีของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่เติมอิมัลซิไฟเออร์ ณ วันที่ 3 ของการเก็บรักษา...…....42

ตารางที่ 4.18 สีของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่เติมอิมัลซิไฟเออร์ ณ วันที่ 7 ของการเก็บรักษา...…....43

ตารางที่ 4.19 สีของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่เติมอิมัลซิไฟเออร์ ณ วันที่ 10 ของการเก็บรักษา...…..44

ตารางที่ 4.20 การขับน้ำ (% syneresis) ของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่เติมลิพิด...…….…….....47

ตารางที่ 4.21 การขับน้ำ (% syneresis) ของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่เติมอิมัลซิไฟเออร์...…….....48

ตารางที่ ก.1 อัตราส่วนของลิพิดและอิมัลซิไฟเออร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้...……..…….....60

สารบัญภาพ

ภาพ หน้า

ภาพที่ 3.1 กล้วยน้ำว้าที่ใช้ในงานวิจัย……..8

ภาพที่ ก.1 เส้นแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความหนืดที่ได้จากการศึกษาพฤติกรรมการเกิดเพสต์ของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าโดยใช้ rapid visco analyzer……..……..61

ภาพที่ ข.1 เส้นพฤติกรรมการเกิดเพสต์ของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่เติมลิพิด……..….64

ภาพที่ ข.2 เส้นพฤติกรรมการเกิดเพสต์ของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่เติมอิมัลซิไฟเออร์……...64

ภาพที่ ค.1 แบบจำลองโมเลกุลแสดงการเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสและกรดไขมัน……..…...……68

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

เนื่องจากสภาพภูมิอากาศของโลกที่เปลี่ยนแปลงอย่างรุนแรงในปัจจุบัน อุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชหลายชนิดและทำให้ปริมาณผลผลิตลดลงโดยเฉพาะอย่างยิ่งข้าว ข้าวโพด และข้าวสาลี ซึ่งเป็นพืชผลเกษตรที่เป็นอาหารหลักของมนุษย์ (Cho and McCarl, 2017) ปริมาณผลผลิตทางการเกษตรที่ลดลงนี้ยังสวนทางกับจำนวนประชากรที่ทำนายไว้ว่าจะเพิ่มขึ้นจาก 7,600 ล้านคนในปัจจุบันเป็น 9,800 ล้านคนในปี ค.ศ. 2050 (Nichols, 2015) นักวิทยาศาสตร์ได้ตระหนักถึงภาวะคุกคามจากการขาดแคลนอาหารนี้ การแสวงหาพืชทดแทนเป็นวิธีการหนึ่งในการแก้ปัญหาดังกล่าว

กล้วยเป็นพืชที่เจริญเติบโตได้ดีในภูมิอากาศร้อน มีอายุการเก็บเกี่ยวที่สั้น (Joshi and Sarangi, 2014) นอกจากนี้ผลกล้วยยังประกอบด้วยสตาร์ชในปริมาณสูง (61.7% โดยน้ำหนักแห้งในกล้วยดิบ) (Zhang et al., 2005) กล้วยจึงมีศักยภาพในการพัฒนาเป็นพืชอาหารหลักของมนุษย์ในอนาคต (McGrath, 2012) อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาพฤติกรรมการเกิดเพสต์ของฟลาวร์และสตาร์ชกล้วยไข่ กล้วยหอมทอง และกล้วยน้ำว้า พบว่าฟลาวร์และสตาร์ชกล้วยทุกชนิดมีความหนืดเซ็ตแบ็ก (setback viscosity) ที่สูงซึ่งสะท้อนให้เห็นว่า ฟลาวร์และสตาร์ชกล้วยดังกล่าวเกิดรีโทรเกรเดชันได้มากและมีแนวโน้มที่จะให้เจลที่แข็ง (ไพลำภา นิ่มสังข์, มาศอุบล ทองงาม และ อรอนงค์ นัยวิกุล, 2550) ซึ่งอาจมีผลจำกัดการนำฟลาวร์และสตาร์ชกล้วยไปประยุกต์ในผลิตภัณฑ์อาหาร

วัตถุเจือปนอาหารเป็นหนึ่งในหลายปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราการเกิดรีโทรเกรเดชันของสตาร์ช ลิพิดและอิมัลซิไฟเออร์เป็นวัตถุเจือปนอาหารที่มีรายงานว่าสามารถชะลอการเกิดรีโทรเกรเดชันของฟลาวร์และสตาร์ชจากพืชชนิดต่างๆ (Fu et al., 2015) การเติมลิพิดลงในสตาร์ชมีผลทำให้เกิดโครงสร้างเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสและลิพิด ซึ่งเป็นโครงสร้างที่แข็งแรงมาก ทำให้แอมิโลสเกิดอันตรกิริยาระหว่างกันได้น้อยลง ส่งผลให้เกิดการยับยั้งรีโทรเกรเดชันของแอมิโลส ส่วนการเติมอิมัลซิไฟเออร์ลงในสตาร์ชก็ให้ผลทำนองเดียวกับการเติมลิพิด โดยมีการเกิดเป็นโครงสร้างเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสและอิมัลซิไฟเออร์ ทำให้แอมิโลสเกิดอันตรกิริยาระหว่างกันได้น้อยลง และส่งผลชะลอการเกิดรีโทรเกรเดชัน (Fu et al., 2015)

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาผลของลิพิดต่อพฤติกรรมการเกิดเพสต์และสมบัติของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้า

1.2.2 เพื่อศึกษาผลของอิมัลซิไฟเออร์ต่อพฤติกรรมการเกิดเพสต์และสมบัติของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้า

1.3 ขอบเขต/กรอบแนวคิดของการวิจัย

ศึกษาผลของชนิด (กรดสเทียริก และน้ำมันรำข้าว) และปริมาณ (1.0, 2.0 และ 4.0% โดยน้ำหนักของฟลาวร์) ของลิพิดต่อพฤติกรรมการเกิดเพสต์และสมบัติของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้า รวมทั้งศึกษาผลของชนิด (ดิสทิลด์โมโนกลีเซอไรด์ และ Span® 60) และปริมาณ (1.0, 2.0 และ 4.0% โดยน้ำหนักของ ฟลาวร์) ของอิมัลซิไฟเออร์ต่อพฤติกรรมการเกิดเพสต์และสมบัติของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้า

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

ได้ข้อมูลพฤติกรรมการเกิดเพสต์และสมบัติของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้า เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการใช้ประโยชน์จากฟลาวร์กล้วยน้ำว้า

บทที่ 2

แนวคิดทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ฟลาวร์กล้วย

ฟลาวร์กล้วยดิบ (unripe banana flour หรือ green banana flour) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำกล้วยดิบมาอบให้แห้งและบดให้ละเอียด มีคุณค่าทางโภชนาการสูง สามารถนำไปเป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ ในอดีตมีการใช้ฟลาวร์กล้วยเพื่อทดแทนฟลาวร์ข้าวสาลีในบางพื้นที่ของโลก เช่น แอฟริกา และจาเมกา เนื่องจากมีราคาถูกกว่า ในปัจจุบันมีการใช้ฟลาวร์กล้วยเพิ่มขึ้น โดยส่วนใหญ่เพื่อการตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคเฉพาะกลุ่ม ได้แก่ การใช้ในแง่การเป็นฟลาวร์ปราศจากกลูเต็น (gluten-free flour) และในแง่การเป็นแหล่งของสตาร์ชทนย่อย (resistant starch) แต่ยังไม่มีการนำมาใช้เพื่อเป็นอาหารหลัก ฟลาวร์กล้วยมีกลิ่นเฉพาะตัว รวมตัวกับน้ำได้ดี เมื่อให้ความร้อนจะเกิดเจลาทิไนเซชัน และเมื่อเย็นตัวลงสามารถเกิดเป็นเจลได้ เนื่องจากฟลาวร์กล้วยมีปริมาณแอมิโลสสูงจึงสามารถนำมาทดแทนฟลาวร์ข้าวสาลีในผลิตภัณฑ์บางประเภท เช่น ขนมอบ โดยอาจทดแทนได้สูงถึง 80% ของฟลาวร์ข้าวสาลี สมบัติของฟลาวร์กล้วยขึ้นอยู่กับชนิดและระดับความสุกของกล้วยเป็นหลัก กล้วยดิบมีปริมาณสตาร์ชและแทนนินสูง ในขณะที่มีปริมาณน้ำตาลต่ำ สีของฟลาวร์กล้วยจะไม่ขาวเหมือนฟลาวร์จากธัญพืชหรือพืชหัว เนื่องจากไม่ได้ผ่านกระบวนการฟอกสี เมื่อนำไปเป็นส่วนผสมผลิตภัณฑ์อาหารที่ได้อาจมีสีค่อนข้างคล้ำ

2.2 กล้วย

2.2.1 กล้วยดิบ

ในกล้วยดิบมีสตาร์ชเป็นองค์ประกอบหลัก คิดเป็น 60% โดยน้ำหนักแห้ง สตาร์ชแกรนูลของกล้วยมีผนังที่เป็นชั้นหนาซึ่งส่งผลให้ต้านทานต่อเอนไซม์และไฮโดรไลซิส ตารางที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบทางโภชนาการของกล้วยดิบ

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางโภชนาการของกล้วยดิบ

องค์ประกอบ	**ปริมาณต่อ 100 กรัม**	**องค์ประกอบ**	**ปริมาณต่อ 100 กรัม**
องค์ประกอบหลัก		***วิตามิน***	
น้ำ	74.91 กรัม	วิตามินซี	8.7 มิลลิกรัม
พลังงาน	89 กิโลแคลอรี	ไทอะมีน	0.031 มิลลิกรัม
โปรตีน	1.09 กรัม	ไรโบฟลาวิน	0.073 มิลลิกรัม
ลิพิด	0.33 กรัม	ไนอะซิน	0.665 มิลลิกรัม
คาร์โบไฮเดรต, คำนวณจากส่วนต่าง	22.84 กรัม	วิตามินบี 6	0.367 มิลลิกรัม
ใยอาหาร	2.6 กรัม	โฟเลต	20 ไมโครกรัม
น้ำตาล	12.23 กรัม	วิตามินบี 12	0
แร่ธาตุ		วิตามินเอ	3 ไมโครกรัม
แคลเซียม	5 มิลลิกรัม	วิตามินอี	0.10 มิลลิกรัม
เหล็ก	0.26 มิลลิกรัม	วิตามินดี	0
แมกนีเซียม	27 มิลลิกรัม	วิตามินเค	0.5 ไมโครกรัม
ฟอสฟอรัส	22 มิลลิกรัม	***ลิพิด***	
โพแทสเซียม	358 มิลลิกรัม	กรดไขมันอิ่มตัว	0.112 กรัม
โซเดียม	1 มิลลิกรัม	กรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดมีพันธะคู่หนึ่งตำแหน่ง	0.032 กรัม
สังกะสี	0.15 มิลลิกรัม	กรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดมีพันธะคู่หลายตำแหน่ง	0.073 กรัม
		โคเลสเตอรอล	0

ที่มา: ดัดแปลงจาก USDA (2018)

2.2.2 กล้วยน้ำว้า (Namwa, Pisang Awak หรือ Ducasse banana)

กล้วยน้ำว้าเป็นกล้วยที่รับประทานได้ (edible banana) มีจีโนม AABB รับประทานได้ทั้งในรูปผลสดและนำมาแปรรูป ตารางที่ 2.2 แสดงองค์ประกอบทางโภชนาการของกล้วยน้ำว้า

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางโภชนาการของกล้วยน้ำว้า

องค์ประกอบ	**ปริมาณต่อ 100 กรัม**
น้ำ	72 กรัม
น้ำตาล	22 กรัม
ใยอาหาร	2.0 กรัม
เบต้าแคโรทีน	272 ไมโครกรัม
โพแทสเซียม	270 มิลลิกรัม
วิตามินซี	10 มิลลิกรัม

ที่มา: สำนักโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข (2553)

2.3 สตาร์ชทนย่อย

สตาร์ชกล้วยดิบเป็นแหล่งสำคัญของสตาร์ชทนย่อย โดยสตาร์ชทนย่อยในกล้วยดิบจัดเป็นสตาร์ชทนย่อยประเภท RS2 ซึ่งเป็นสตาร์ชเนทีฟ (native starch) ที่มีโครงสร้างแบบกึ่งผลึก (semicrystalline) ทำให้เอนไซม์ย่อยสตาร์ช (digestive enzyme) เข้าถึงได้อย่างจำกัด

สตาร์ชทนย่อยเป็นสตาร์ชที่ไม่ถูกย่อยที่กระเพาะอาหารและไม่ถูกดูดซึมที่ลำไส้เล็ก จึงผ่านเข้าไปได้จนถึงบริเวณลำไส้ใหญ่และเป็นสับสเตรทให้กับจุลินทรีย์ที่อยู่ภายในลำไส้ใหญ่ซึ่งรวมถึงจุลินทรีย์โพรไบโอติก หรืออาจกล่าวได้ว่าสตาร์ชทนย่อยมีสมบัติเป็นพรีไบโอติก จุลินทรีย์โพรไบโอติกที่อาศัยอยู่บริเวณลำไส้ใหญ่จะสามารถใช้สตาร์ชทนย่อยเป็นสับสเตรทและผลิตกรดไขมันสายโซ่สั้นที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย โดยเฉพาะระบบทางเดินอาหาร

2.4 เจลาทิไนเซชัน

เมื่อนำสตาร์ชมาแขวนลอยในน้ำที่อุณหภูมิปกติ น้ำจะซึมผ่านเข้าสู่บริเวณส่วนอสัณฐานของสตาร์ชแกรนูลได้ แต่ไม่สามารถซึมผ่านเข้าสู่บริเวณส่วนผลึกได้ เนื่องจากในบริเวณส่วนผลึกมีพันธะ

ไฮโดรเจนเกิดขึ้นระหว่างโมเลกุลสตาร์ช ทำให้เกิดเป็นโครงสร้างที่หนาแน่นและมีความเป็นระเบียบสูง เมื่อให้ความร้อนแก่สารแขวนลอยสตาร์ช ความร้อนจะทำลายพันธะไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นระหว่างโมเลกุลสตาร์ช ทำให้น้ำสามารถซึมผ่านเข้าสู่บริเวณส่วนผลึกของสตาร์ชแกรนูลได้ ส่งผลให้สตาร์ชแกรนูลพองตัวและสูญเสียสมบัติไบรีฟรินเจนซ์ เมื่อให้ความร้อนต่อไป สตาร์ชแกรนูลจะพองตัวมากขึ้น จากนั้นสตาร์ชแกรนูลซึ่งเปราะบางจะแตกออก ปัจจัยที่มีผลต่ออุณหภูมิเจลาทิไนเซชัน ได้แก่ ความยาวของสายโซ่แอมิโลสและส่วนที่เป็นสายตรงของแอมิโลเพกทิน และอัตราส่วนของแอมิโลสต่อแอมิโลเพกทิน

2.5 รีโทรเกรเดชัน

รีโทรเกรเดชันประกอบด้วยกระบวนการสองแบบของแอมิโลสและแอมิโลเพกทิน กระบวนการแบบแรกเป็นการจับกันของแอมิโลสสองสายด้วยพันธะไฮโดรเจน เกิดเป็นโครงสร้างแบบเกลียวคู่ ทำให้แอมิโลสมีความสามารถในการละลายและการเคลื่อนที่ลดต่ำลง และทำให้เกิดเจลอย่างรวดเร็ว รวมทั้งการเกิดเป็นผลึกของแอมิโลส ส่วนรีโทรเกรเดชันแบบที่สองเป็นการเกิดเป็นโครงสร้างแบบผลึกอย่างช้าๆ ของแอมิโลเพกทิน ซึ่งเป็นการจับกันของสายโซ่กิ่งของแอมิโลเพกทิน โดยมักเป็นการจับกันภายในโมเลกุลเดียวกัน แอมิโลเพกทินเกิดรีโทรเกรเดชันได้ยากและช้ากว่าแอมิโลส เนื่องจากแอมิโลเพกทินมีโครงสร้างเชิงกิ่งจึงขัดขวางการเกิดอันตรกิริยาระหว่างโมเลกุล

2.6 ลิพิด

ลิพิดเป็นวัตถุเจือปนประเภทหนึ่งที่สามารถลดการเกิดรีโทรเกรเดชันของสตาร์ชได้ เนื่องจากลิพิดสามารถเกิดอันตรกิริยากับแอมิโลสเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของแอมิโลสและลิพิด (amylose-lipid complex) โครงสร้างเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสและลิพิดนี้มีสมบัติไม่ชอบน้ำจึงมีผลชะลอการดูดน้ำและลดการพองตัวของสตาร์ชระหว่างการเกิดเจลาทิไนเซชันและในขณะเดียวกันโครงสร้างดังกล่าวนี้ยังขัดขวางการเกิดอันตรกิริยาของโมเลกุลแอมิโลสในระหว่างการเกิดรีโทรเกรเดชัน

D'Silva et al. (2011) ศึกษาผลของการเติมกรดสเทียริกต่อสมบัติการเกิดเพสต์ของสตาร์ชจากเทฟ (teff) และข้าวโพด แปรความเข้มข้นของกรดสเทียริกที่ระดับต่างๆ ได้แก่ 0.25, 0.5, 1.5, 2.0, 3.0 และ 4.0%โดยน้ำหนักของสตาร์ช พบว่าตัวอย่างที่เติมกรดสเทียริกเข้มข้น 0.25 และ 1.5% ไม่ปรากฏ pasting peakในระหว่างการให้ความร้อน อย่างไรก็ตามเมื่อรักษาอุณหภูมิไว้ที่ 91 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที สตาร์ชเพสต์ทั้งสองตัวอย่างมีความหนืดเพิ่มขึ้นประมาณ 3 เท่า

2.7 อิมัลซิไฟเออร์

อิมัลซิไฟเออร์เป็นวัตถุเจือปนอาหารอีกประเภทหนึ่งที่สามารถลดการเกิดรีโทรเกรเดชันในอาหารฐานสตาร์ชได้ โดยโมเลกุลของอิมัลซิไฟเออร์จะจับกับแอมิโลสและแอมิโลเพกทินในลักษณะที่แตกต่างกันออกไป แอมิโลสเป็นโมเลกุลเชิงเส้นที่มีโครงสร้างแบบเกลียวแอลฟา ซึ่งช่องว่างด้านในของเกลียวแอลฟามีสมบัติไม่ชอบน้ำ ทำให้โมเลกุลอิมัลซิไฟเออร์สามารถเข้าไปจับกับเกลียวแอลฟาที่บริเวณช่องว่างภายในเกลียวเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่เสถียรและแข็งแรง และมีผลยับยั้งการเกิดรีโทรเกรเดชันของสตาร์ชได้

Ali and Hasnain (2012) ศึกษาผลของอิมัลซิไฟเออร์ต่อการเกิดรีโทรเกรเดชันของสตาร์ชข้าวฟ่างขาวและสตาร์ชข้าวฟ่างขาวดัดแปร โดยอิมัลซิไฟเออร์ที่ใช้ในการศึกษามี 3 ชนิด ได้แก่ glycerol monostearate (GMS-90), diacetyl tartaric acid esters of monoglycerides (DATEM) และ sodium stearoyl lactylate (SSL) แปรความเข้มข้นของอิมัลซิไฟเออร์เป็น 3 ระดับ ได้แก่ 0.5, 0.75 และ 1% โดยน้ำหนักของสตาร์ช พบว่าตัวอย่างที่เติมอิมัลซิไฟเออร์เข้มข้น 1% มีอัตราส่วนของอุณหภูมิรีโทรเกรเดชันต่ออุณหภูมิเจลาทิไนเซชันต่ำที่สุด ตามด้วยตัวอย่างที่เติมอิมัลซิไฟเออร์เข้มข้น 0.75 และ 0.5% ตามลำดับ อัตราส่วนของอุณหภูมิรีโทรเกรเดชันต่ออุณหภูมิเจลาทิไนเซชันที่ต่ำแสดงให้เห็นว่าการเติมอิมัลซิไฟเออร์มีผลชะลอการเกิดรีโทรเกรเดชัน

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 วัตถุดิบ สารเคมี วัสดุ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองและวิเคราะห์

3.1.1 วัตถุดิบ

กล้วยที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้แก่ กล้วยน้ำว้าดิบ จากจังหวัดสมุทรปราการ

ภาพที่ 3.1 กล้วยน้ำว้าที่ใช้ในงานวิจัย

3.1.2 สารเคมี

3.1.2.1 สารเคมีที่ใช้ในการผลิตฟลาวร์กล้วยน้ำว้า

Sodium metabisulfite, food grade

3.1.2.2 ลิพิด

Stearic acid, AR grade

Rice bran oil, food grade

3.1.2.3 อิมัลซิไฟเออร์

Distilled monoglyceride, food grade

Span® 60 (sorbitan monostearate), food grade

3.1.2.4 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์

Boric acid, AR grade

Ethanol 99.9%, AR grade

Hydrochloric acid 36.5-38%, AR grade

Petroleum ether, bp 40-60ºC, AR grade

Sodium hydroxide, AR grade

Sulfuric acid 98%, AR grade

3.1.3 วัสดุและอุปกรณ์

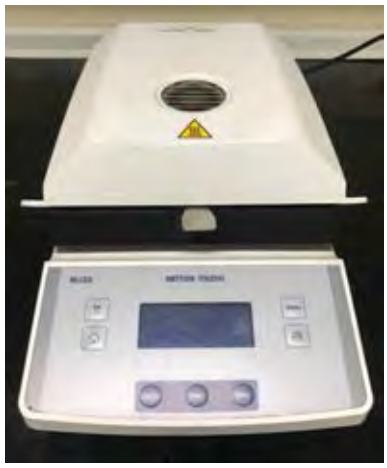
3.1.3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตฟลาวร์กล้วย

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตฟลาวร์กล้วยแสดงดังตารางที่ 3.1 และวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 3.2-3.4

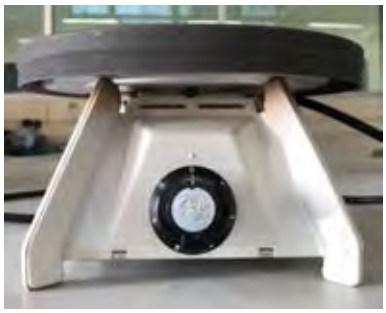
ตารางที่ 3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตฟลาวร์กล้วยน้ำว้า

วัสดุและอุปกรณ์	**ภาพประกอบ**
ตู้อบลมร้อน (Contherm, Hutt City, New Zealand)	
สไลเซอร์ (Beckers, Treviglio, Italy)	
Stainless steel grain grinder (เซียวเฮงฮวด, กรุงเทพฯ, ประเทศไทย)	
Vibration flour sifter (เซียวเฮงฮวด, กรุงเทพฯ, ประเทศไทย)	

ตารางที่ 3.1 (ต่อ)

วัสดุและอุปกรณ์	ภาพประกอบ
ตะแกรงร่อนขนาด 80 ยูเอสเมช (เชียวเฮงฮวด, กรุงเทพฯ, ประเทศไทย)	
เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 3 ตำแหน่ง (Mettler Toledo, Greifensee, Switzerland)	
เครื่องวิเคราะห์ความชื้น (Mettler Toledo MJ33, Greifensee, Switzerland)	

ตารางที่ 3.2 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

วัสดุและอุปกรณ์	ภาพประกอบ
เตาไฟฟ้า (EGO 22720, Oberderdingen, Germany)	
ตู้อบ (Memmert UF110, Schwabach, Germany)	
เตาเผา (Carbolite Gero CWF 1200, Hope, United Kingdom)	

ตารางที่ 3.2 (ต่อ)

วัสดุและอุปกรณ์	ภาพประกอบ
Nitrogen distillation unit (BUCHI K-355, Bangkok, Thailand)	
Soxhlet apparatus (Gerhardt, Königswinter, Germany)	
Rotary evaporator (EYELA, Tokyo, Japan)	

ตารางที่ 3.3 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาพฤติกรรมการเกิดเพสต์

วัสดุและอุปกรณ์	**ภาพประกอบ**
Rapid visco analyzer (RVA) (Newport Scientific, Warriewood, Australia)	
เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 3 ตำแหน่ง (Mettler Toledo, Greifensee, Switzerland)	

ตารางที่ 3.4 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาสมบัติของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้า

วัสดุและอุปกรณ์	ภาพประกอบ
Water bath (Memmert WNB14 waterbath, Schwabach, Germany)	
Magnetic stirrer-heater (IKA® C-MAG HS7, Sigma-Aldrich, Singapore)	
Centrifuge (Hettich EBA 21, Tuttlingen, Germany)	

ตารางที่ 3.4 (ต่อ)

วัสดุและอุปกรณ์	ภาพประกอบ
Minolta chroma meter (CR400, Tokyo, Japan)	
Texture analyzer (TA.XT2i, Stable Micro Systems, Surrey, UK)	
หัววัด P/100 สำหรับ texture analyzer (Stable Micro Systems, Surrey, UK)	

3.2 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย

3.2.1 การผลิตฟลาวร์กล้วยน้ำว้า

ผลิตฟลาวร์จากกล้วยน้ำว้าดิบตามขั้นตอนในภาคผนวก ก.1 วิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (proximate composition) ของฟลาวร์กล้วยที่ผลิตได้ ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณโปรตีนหยาบ ปริมาณไขมันหยาบ ปริมาณเส้นใยหยาบ และปริมาณเถ้า ตามวิธีของ AOAC (2016) และคำนวณปริมาณคาร์โบไฮเดรตจากผลต่าง

3.2.2 การศึกษาผลของลิพิดต่อพฤติกรรมการเกิดเพสต์และสมบัติของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้า

สำหรับการศึกษาในส่วนนี้ แปรชนิดของลิพิดเป็น 2 ชนิด ได้แก่ กรดสเทียริก (SA) และน้ำมันรำข้าว (RBO) และแปรความเข้มข้นของลิพิดเป็น 3 ระดับ ได้แก่ 1.0, 2.0 และ 4.0% โดยน้ำหนักของฟลาวร์ กำหนดให้ตัวอย่างฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่ไม่เติมลิพิดเป็นตัวอย่างควบคุม

3.2.2.1 พฤติกรรมการเกิดเพสต์

ศึกษาพฤติกรรมการเกิดเพสต์โดยใช้เครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) ตามวิธี AACC Method 76-21 (2000) (ภาคผนวก ก.2)

3.2.2.2 สมบัติของเจล

เตรียมเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าโดยดัดแปลงจากวิธีของ Muadklay and Charoenrein (2008) (ภาคผนวก ก.3) เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และวิเคราะห์สมบัติดังต่อไปนี้ ณ วันที่ 0, 3, 7 และ 10 ของการเก็บรักษา

รูปแบบเนื้อสัมผัส (texture profile analysis, TPA) วิเคราะห์ด้วยเครื่อง texture analyzer (TA.XT2i, Stable Micro Systems, Surrey, UK) (ภาคผนวก ก.3) คำนวณพารามิเตอร์ด้านเนื้อสัมผัสจากกราฟ TPA ได้แก่ hardness, adhesiveness, springiness, cohesiveness, gumminess และ chewiness

สี วัดด้วยเครื่อง Minolta chroma meter (CR400, Tokyo, Japan) โดยวัดค่า L^*, a^*, b^* ในระบบ CIELAB และคำนวณมุมสี (hue angle, H^o) ความเข้มสี (chroma, C^*) ดัชนีความขาว (whiteness index, WI) และดัชนีความเหลือง (yellowness index, YI) (ภาคผนวก ก.4)

การขับน้ำ (syneresis) วิเคราะห์โดยดัดแปลงจากวิธีของ Verbeken et al. (2006) และ Wani et al. (2014) (ภาคผนวก ก.5)

3.2.3 การศึกษาผลของอิมัลซิไฟเออร์ต่อพฤติกรรมการเกิดเพสต์และสมบัติของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้า

สำหรับการศึกษาในส่วนนี้ แปรชนิดของอิมัลซิไฟเออร์เป็น 2 ชนิด ได้แก่ ดิสทิลด์โมโนกลีเซอไรด์ (DMG) และซอร์บิแทนโมโนสเทียเรตซึ่งมีชื่อทางการค้า Span® 60 (SPN) แปรความเข้มข้นของอิมัลซิไฟเออร์เป็น 3 ระดับ ได้แก่ 1.0, 2.0 และ 4.0% โดยน้ำหนักของฟลาวร์ กำหนดให้ตัวอย่างฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่ไม่เติมอิมัลซิไฟเออร์เป็นตัวอย่างควบคุม

ศึกษาพฤติกรรมการเกิดเพสต์และสมบัติของเจลตามรายละเอียดในหัวข้อ 3.2.2.1และ 3.2.2.2 ตามลำดับ

3.2.4 การวางแผนการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลโดยใช้ analysis of variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's new multiple range test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

4.1 ผลได้ของฟลาวร์กล้วยน้ำว้า

ในการผลิตฟลาวร์กล้วยน้ำว้าจากกล้วยน้ำว้าดิบ พบว่าผลได้เท่ากับ 18.88% ผลได้นี้คิดเทียบกับเนื้อกล้วย (ภาคผนวก ก.1) การที่ผลได้มีค่าค่อนข้างต่ำมีสาเหตุหลักจากการสูญเสียความชื้นระหว่างการอบแห้งและการสูญเสียฟลาวร์ส่วนที่ไม่ผ่านตะแกรงร่อน

4.2 องค์ประกอบทางเคมีของฟลาวร์กล้วยน้ำว้า

องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของฟลาวร์กล้วยน้ำว้า แสดงดังตารางที่ 4.1 พบว่าองค์ประกอบหลักของฟลาวร์กล้วยน้ำว้า ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โดยมีปริมาณสูงถึงประมาณ 90% ผลที่ได้นี้สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ ตัวอย่างเช่น Suntharalingam and Ravindran (1993) รายงานว่าฟลาวร์กล้วยประกอบด้วยสตาร์ช 70.0% และน้ำตาลที่ละลายน้ำได้ (soluble sugars) 2.8% ทั้งนี้องค์ประกอบทางเคมีของฟลาวร์กล้วยขึ้นอยู่กับพันธุ์กล้วยด้วย

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของฟลาวร์กล้วยน้ำว้า

องค์ประกอบทางเคมี	**ปริมาณ (% โดยน้ำหนักเปียก)**
Moisture	6.13 ± 0.24
Crude protein	1.98 ± 0.02
Crude fat	0.04 ± 0.02
Crude fiber	0.33 ± 0.06
Ash	1.96 ± 0.03
Carbohydrate	89.56 ± 0.27

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

4.3 พฤติกรรมการเกิดเพสต์ของฟลาวร์กล้วยน้ำว้า

สำหรับการศึกษาผลของลิพิดต่อพฤติกรรมการเกิดเพสต์ของฟลาวร์กล้วยน้ำว้า ได้แปรชนิดของลิพิดเป็น 2 ชนิด ได้แก่ กรดสเทียริก (SA) และน้ำมันรำข้าว (RBO) และแปรความเข้มข้นของลิพิดเป็น 3 ระดับ ได้แก่ 1.0, 2.0 และ 4.0% โดยรหัสตัวอย่างแสดงในรูปความเข้มข้นของลิพิดตามด้วยชนิดของลิพิด เช่น 1SA คือตัวอย่างฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่เติมกรดสเทียริกเข้มข้น 1.0% ตัวอย่างควบคุม (Ctr) คือฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่ไม่เติมวัตถุเจือปน ตารางที่ 4.2 แสดงสมบัติการเกิดเพสต์ของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่เติมลิพิด (เส้นพฤติกรรมการเกิดเพสต์แสดงดังภาพที่ ข.1 ในภาคผนวก ข.)

ตารางที่ 4.2 สมบัติการเกิดเพสต์ของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่เติมลิพิด

Sample	Pasting temperature (°C)	Peak viscosity (cP)	Breakdown viscosity (cP)	Final viscosity (cP)	Setback viscosity (cP)
Ctr	83.3±0.08^{b}	3310.0±72.96^{a}	810.0±37.24^{a}	4127.0±118.07^{c}	1627.0±63.32^{d}
1SA	83.6±0.44^{ab}	3179.3±33.72^{b}	824.3±22.14^{a}	4377.7±54.65^{b}	2022.7±54.50^{c}
2SA	83.5±0.55^{ab}	3079.0±4.36^{c}	822.3±26.10^{a}	4576.0±27.22^{a}	2319.3±37.43^{b}
4SA	84.1±0.09^{a}	2865.7±17.10^{d}	788.7±5.51^{ab}	4540.0±32.23^{a}	2463.0±10.54^{a}
1RBO	83.3±0.10^{b}	3143.3±9.87^{b}	736.7±42.74^{b}	3938.3±42.90^{d}	1531.7±40.72^{e}
2RBO	83.3±0.06^{b}	3069.7±24.58^{c}	748.0±41.62^{b}	3863.3±51.62^{d}	1541.7±10.07^{e}
4RBO	83.8±0.52^{ab}	2887.7±28.04^{d}	669.0±41.87^{c}	3644.3±14.01^{e}	1425.7±39.95^{f}

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.2 พบว่าการเติมลิพิดมีผลอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ต่อสมบัติต่างๆ ได้แก่ peak viscosity, breakdown viscosity, final viscosity และ setback viscosity โดยตัวอย่างที่เติม SA และตัวอย่างที่เติม RBO มี peak viscosity ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ผลที่ได้นี้สอดคล้องกับ Tang and

Copeland (2007) ซึ่งรายงานว่าเมื่อการเติม SA ส่งผลให้เพสต์สตาร์ชข้าวสาลีมี peak viscosity ลดต่ำลง นอกจากนี้ Zhou et al. (2007) รายงานว่าการเติม SA ในปริมาณ 0.5, 1.0 และ 1.5% โดยน้ำหนักแห้งของสตาร์ชส่งผลให้เพสต์สตาร์ชข้าวมี peak viscosity ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อความเข้มข้นของ SA เพิ่มขึ้น Desrumaux et al. (1999) เสนอว่าการเติมลิพิดสามารถช่วยยับยั้งการดูดน้ำและการพองตัวของสตาร์ชแกรนูลระหว่างกระบวนการเจลาทิไนเซชัน โดยลิพิดจะเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับแอมิโลสระหว่างกระบวนการเจลาทิไนเซชัน นอกจากนี้ลิพิดที่เติมเข้าไปอาจทำหน้าที่ห่อหุ้มสตาร์ชแกรนูลส่งผลจำกัดการดูดน้ำและการพองตัวของสตาร์ชแกรนูล

สำหรับ breakdown viscosity เป็นพารามิเตอร์ที่แสดงถึงความทนทานของสตาร์ชแกรนูลต่อแรงเฉือนในขณะที่เพสต์ได้รับความร้อน (Lee et al., 2002) จากการศึกษาของ Zhou et al. (2007) พบว่าการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างลิพิดและแอมิโลสเกี่ยวข้องกับโครงสร้างของสตาร์ชแกรนูล และเมื่อมีการเติมกรดไขมันอิ่มตัวในสตาร์ชจะมีผลให้ breakdown viscosity มีค่าลดลง จากผลที่ได้ในงานวิจัยนี้พบว่าการเติม SA ไม่ทำให้ breakdown viscosity มีค่าแตกต่างกับตัวอย่างควบคุม ($p>0.05$) ในขณะที่การเติม RBO ส่งผลให้ breakdown viscosity ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ผลที่ได้นี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Yassaroh et al. (2019) ที่พบว่าการเติมกรดลิโนเลอิกในสตาร์ชมันสำปะหลังทำให้เพสต์ที่ได้มี breakdown viscosity ลดลง ทั้งนี้น้ำมันรำข้าวมีกรดไขมันหลัก 3 ชนิด ได้แก่ กรดโอเลอิก (MUFA) 38.4-42.3% กรดลิโนเลอิก (PUFA) 33.1-37.0% และกรดปาล์มมิติก (SFA) 17.0-21.5% (Lai et al., 2019)

งานวิจัยนี้ยังพบว่าการเติม RBO ส่งผลให้ final viscosity ของเพสต์มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในทางตรงกันข้ามการเติม SA ส่งผลให้ final viscosity ของเพสต์มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ก่อนหน้านี้ Zhou et al. (2007) รายงานว่าการเติม SA เข้มข้น 1.0% โดยน้ำหนักแห้งของสตาร์ชข้าวทำให้ final viscosity มีค่าเพิ่มขึ้น และ D'Silva et al. (2011) รายงานว่าการเติม SA เข้มข้น 3.0 และ 4.0% โดยน้ำหนักแห้งของสตาร์ชข้าวโพด ทำให้เพสต์ที่ได้มี final viscosity เพิ่มขึ้น

สำหรับ setback viscosity เป็นค่าที่แสดงถึงการคืนตัวของเพสต์ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่ได้ โดยเพสต์สตาร์ชที่มีค่า setback viscosity เป็นบวกจะเกิดรีโทรเกรเดชันได้มากและมีแนวโน้มที่จะให้เจลสตาร์ชที่แข็ง (ปิติพร ฤทธิเรืองเดช และคณะ, 2546) จากงานวิจัยนี้พบว่าการเติม SA ส่งผลให้ setback viscosity เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่การเติม RBO ส่งผลให้ setback viscosity ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

สำหรับการศึกษาผลของอิมัลซิไฟเออร์ต่อพฤติกรรมการเกิดเพสต์ของฟลาวร์กล้วยน้ำว้า ได้แปรชนิดของอิมัลซิไฟเออร์เป็น 2 ชนิด ได้แก่ ดิสทิลด์โมโนกลีเซอไรด์ (DMG) และซอร์บิแทนโมโนสเทียเรตซึ่งมีชื่อทางการค้า Span® 60 (SPN) และแปรความเข้มข้นของอิมัลซิไฟเออร์เป็น 3 ระดับ ได้แก่ 1.0, 2.0 และ 4.0% โดยรหัสตัวอย่างแสดงในรูปความเข้มข้นของอิมัลซิไฟเออร์ตามด้วยชนิดของอิมัลซิไฟเออร์ เช่น 1DMG คือตัวอย่างฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่เติมดิสทิลด์โมโนกลีเซอไรด์เข้มข้น 1.0% ตัวอย่างควบคุม (Ctr) คือฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่ไม่เติมวัตถุเจือปน ตารางที่ 4.3 แสดงสมบัติการเกิดเพสต์ของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่เติมอิมัลซิไฟเออร์ (เส้นพฤติกรรมการเกิดเพสต์แสดงดังภาพที่ ข.2 ในภาคผนวก ข.)

ตารางที่ 4.3 สมบัติการเกิดเพสต์ของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่เติมอิมัลซิไฟเออร์

Sample	Pasting temperature (°C)	Peak viscosity (cP)	Breakdown viscosity (cP)	Final viscosity (cP)	Setback viscosity (cP)
Ctr	83.3±0.08^{bc}	3310.0±72.96^{ab}	810.0±37.24^{bc}	4127.0±118.07^{bcd}	1627.0±63.32^{cd}
1DMG	83.3±0.03^{c}	3228.0±32.36^{cd}	880.3±43.78^{a}	5690.0±342.78^{a}	3342.3±354.04^{a}
2DMG	83.9±0.49^{ab}	3321.3±16.17^{a}	676.3±53.14^{e}	3628.3±676.15^{d}	983.3±738.16^{e}
4DMG	84.2±0.09^{a}	3242.0±32.51^{bc}	590.7±17.50^{f}	3784.3±197.17^{cd}	1133.0±180.63^{de}
1SPN	83.8±0.45^{abc}	3163.7±58.05^{d}	817.3±8.33^{ab}	4213.3±70.22^{bc}	1867.0±14.42^{bc}
2SPN	83.8±0.42^{abc}	3011.3±27.61^{e}	747.7±40.82^{cd}	4609.0±49.51^{b}	2345.3±77.02^{b}
4SPN	84.2±0.05^{a}	2818.7±6.43^{f}	699.0±35.79^{de}	5505.3±80.31^{a}	3385.7±115.85^{a}

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.3 พบว่าการเติมอิมัลซิไฟเออร์มีผลอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ต่อสมบัติการเกิดเพสต์บางประการได้แก่ breakdown viscosity, peak viscosity และ setback viscosity จากผลที่ได้ในการศึกษานี้พบว่าการเติมอิมัลซิไฟเออร์ทำให้ peak viscosity ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Azizi and Rao (2005) ที่ศึกษาผลของอิมัลซิไฟเออร์ต่อพฤติกรรมการเกิดเพสต์ของสตาร์ชข้าวสาลี สตาร์ชข้าวโพด และสตาร์ชมันฝรั่ง อิมัลซิไฟเออร์ที่ใช้ในการศึกษาดังกล่าวได้แก่ sodium stearoyl lactylate (SSL), diacetyl tartaric acid ester of mono- and diglycerides (DATEM), glycerol monostearate (GMS) และ distilled glycerol monostearate (DGMS) พบว่าการเติมอิมัลซิไฟเออร์ทำให้ peak viscosity ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ซึ่งผู้วิจัยเสนอว่าเป็นผลจากความสามารถของอิมัลซิไฟเออร์ในการเกิดอันตรกิริยากับสตาร์ช ซึ่งเกิดจากประจุของโมเลกุลและความแตกต่างระหว่างค่าสมดุลความชอบน้ำ-ไม่ชอบน้ำ (hydrophile-lipophile balance, HLB) ที่

แตกต่างกัน โดย SSL, DATEM, GMS และ DGMS มีค่า HLB เท่ากับ 10-12, 8-10, 3-4 และ 3-4 ตามลำดับ

สำหรับงานวิจัยนี้พบว่าการเติม DMG และ SPN ทำให้ breakdown viscosity มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ซึ่งผลที่ได้นี้ต่างจากงานวิจัยของ Kim and Walker (1992) ที่รายงานว่าอิมัลซิไฟเออร์ซึ่งได้แก่ sucrose ester F-160 และ polysorbate 60 มีผลลดความคงตัวของเพสต์ร้อน (hot paste consistency) ของสตาร์ชที่เติมน้ำตาล

สำหรับ setback viscosity จากงานวิจัยนี้พบว่าการเติม DMG เข้มข้น 2.0% ทำให้ค่า setback viscosity ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Krog et al. (1989) ซึ่งพบว่าการเติม DMG ที่ความเข้มข้นสูงกว่า 1% สามารถลดอัตราการเกิดรีโทรเกรเดชันของสตาร์ช เนื่องจากมีการเพิ่มขึ้นของอันตรกิริยาระหว่าง DMG และแอมิโลส อย่างไรก็ตามพบว่าการเติม SPN ไม่ส่งผลต่อ setback viscosity ของฟลาวร์กล้วยน้ำว้า ก่อนหน้านี้ Ashwini et al. (2009) ศึกษาพฤติกรรมการเกิดเพสต์ของฟลาวร์ข้าวสาลีที่เติมไฮโดรคอลลอยด์ ได้แก่ gum arabic (AR), xanthan gum (XN), guar gum (GR), carrageenan (CG) และ hydroxypropylmethylcellulose (HPMC) ร่วมกับอิมัลซิไฟเออร์ ได้แก่ glycerol monostearte (GMS) และ sodium stearoyl lactylate (SSL) ในอัตราส่วนไฮโดรคอลลอยด์ต่ออิมัลซิไฟเออร์ เท่ากับ 1:1 พบว่าการเติมไฮโดรคอลลอยด์ร่วมกับอิมัลซิไฟเออร์ SSL ทำให้ setback viscosity สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญโดยขึ้นกับชนิดของไฮโดรคอลลอยด์ ในขณะที่การเติมไฮโดรคอลลอยด์ร่วมกับอิมัลซิไฟเออร์ GMS ทำให้ setback viscosity มีค่าลดลง

4.4 สมบัติของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้า

ตารางที่ 4.4-4.7 แสดงสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่เติมลิพิด ณ วันที่ 0, 3, 7 และ 10 ของการเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

ตารางที่ 4.4 สมบัติด้านเนื้อสัมผัสของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่เติมลิพิด ณ วันที่ 0 ของการเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส ที่คำนวณได้จากกราฟการวิเคราะห์รูปแบบเนื้อสัมผัส (texture profile analysis, TPA)

Sample	Hardness	Adhesiveness	Springiness	Cohesiveness	Gumminess	Chewiness
Ctr	3.67± 0.27^{a}	-5.55±5.66^{a}	0.55±0.02^{b}	0.40±0.10^{bc}	1.47±0.31^{a}	0.81±0.14^{b}
1SA	0.70± 0.04^{e}	-8.53±7.67^{a}	0.32±0.04^{c}	0.49±0.08^{abc}	0.35±0.04^{b}	0.11±0.01^{c}
2SA	0.43± 0.07^{e}	-17.89±13.14^{a}	0.27±0.03^{c}	0.53±0.12^{abc}	0.22±0.01^{b}	0.06±0.00^{c}
4SA	0.53± 0.03^{e}	-51.12±12.32^{b}	0.31±0.06^{c}	0.32±0.15^{c}	0.17±0.07^{b}	0.05±0.01^{c}
1RBO	1.81±0.13^{d}	-25.44±14.69^{ab}	0.78±0.02^{a}	0.79±0.13^{a}	1.43±0.15^{a}	1.11±0.15^{a}
2RBO	2.36±0.38^{c}	-2.72±3.03^{a}	0.49±0.02^{b}	0.67±0.15^{ab}	1.61±0.56^{a}	0.78±0.28^{b}
4RBO	2.76±0.28^{b}	-24.48±31.94^{ab}	0.51±0.11^{b}	0.48±0.33^{abc}	1.27±0.73^{a}	0.59±0.19^{b}

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.5 สมบัติด้านเนื้อสัมผัสของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่เติมลิพิด ณ วันที่ 3 ของการเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส ที่คำนวณได้จากกราฟการวิเคราะห์รูปแบบเนื้อสัมผัส (texture profile analysis, TPA)

Sample	**Hardness**	**Adhesiveness**	**Springiness**	**Cohesiveness** [ns]	**Gumminess**	**Chewiness**
Ctr	3.88±0.08[bc]	-6.09±6.27[ab]	0.42±0.04[b]	0.29±0.04	1.11±0.17[ab]	0.46±0.03[b]
1SA	1.47±0.19[d]	-2.01±1.45[a]	0.31±0.03[c]	0.23±0.19	0.31±0.21[c]	0.09±0.06[c]
2SA	0.99±0.04[d]	-10.77±9.19[b]	0.30±0.01[c]	0.17±0.02	0.17±0.02[c]	0.05±0.00[c]
4SA	1.17±0.18[d]	-5.76±3.11[ab]	0.28±0.30[c]	0.31±0.06	0.36±0.12[c]	0.10±0.04[c]
1RBO	4.41±0.49[ab]	-1.50±1.26[a]	0.50±0.06[a]	0.32±0.08	1.43±0.49[a]	0.70±0.20[a]
2RBO	4.77±0.78[a]	-1.49±1.34[a]	0.55±0.02[a]	0.25±0.03	1.19±0.22[ab]	0.65±0.10[a]
4RBO	3.57±0.17[c]	-1.68±1.59[a]	0.50±0.04[a]	0.25±0.04	0.89±0.16[b]	0.45±0.11[b]

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

[ns] ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.6 สมบัติด้านเนื้อสัมผัสของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่เติมลิพิด ณ วันที่ 7 ของการเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส ที่คำนวณได้จากกราฟการวิเคราะห์รูปแบบเนื้อสัมผัส (texture profile analysis, TPA)

Sample	**Hardness**	**Adhesiveness**	**Springiness** [ns]	**Cohesiveness**	**Gumminess**	**Chewiness**
Ctr	5.52±0.25[a]	-1.93±1.57[a]	0.43±0.10	0.51±0.29[ab]	2.80±1.57[a]	1.14±0.49[a]
1SA	1.61±0.21[d]	-4.81±3.86[ab]	0.31±0.04	0.21±0.11[b]	0.33±0.20[b]	0.10±0.06[b]
2SA	1.37±0.27[de]	-7.74±4.47[b]	0.39±0.07	0.20±0.01[b]	0.27±0.07[b]	0.11±0.04[b]
4SA	1.08±0.19[e]	-4.82±1.75[ab]	0.35±0.04	0.18±0.02[b]	0.20±0.04[b]	0.07±0.01[b]
1RBO	4.62±0.35[bc]	-2.88±1.00[a]	0.38±0.09	0.57±0.15[a]	2.61±0.55[a]	0.97±0.02[a]
2RBO	4.77±0.07[b]	-1.65±1.04[a]	0.37±0.15	0.64±0.30[a]	3.05±1.41[a]	0.97±0.21[a]
4RBO	4.23±0.07[c]	-2.30±0.17[a]	0.39±0.05	0.48±0.12[ab]	2.03±0.53[a]	0.78±0.10[a]

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

[ns] ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.7 สมบัติด้านเนื้อสัมผัสของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่เติมลิพิด ณ วันที่ 10 ของการเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส ที่คำนวณได้จากกราฟการวิเคราะห์รูปแบบเนื้อสัมผัส (texture profile analysis, TPA)

Sample	**Hardness**	**Adhesiveness** [ns]	**Springiness** [ns]	**Cohesiveness**	**Gumminess**	**Chewiness**
Ctr	5.79±0.17[a]	-1.73±1.92	0.40±0.02	0.57±0.08[ab]	3.31±0.53[a]	1.31±0.14[a]
1SA	1.48±0.25[c]	-1.12±0.92	0.34±0.05	0.11±0.05[d]	0.17±0.11[b]	0.06±0.05[c]
2SA	1.57±0.27[c]	-1.84±1.37	0.34±0.02	0.24±0.04[cd]	0.37±0.05[b]	0.13±0.01[c]
4SA	1.32±0.17[c]	-8.45±10.97	0.37±0.08	0.37±0.08[bc]	0.49±0.06[b]	0.19±0.06[c]
1RBO	4.73±0.43[b]	-1.47±0.42	0.43±0.08	0.48±0.16[abc]	2.29±0.83[a]	0.95±0.23[b]
2RBO	4.82±0.70[b]	-3.34±1.31	0.41±0.09	0.56±0.19[ab]	2.62±0.64[a]	1.04±0.08[ab]
4RBO	4.44±0.18[b]	-0.96±0.52	0.37±0.02	0.66±0.20[a]	2.96±0.96[a]	1.09±0.29[ab]

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

[ns] ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

การวิเคราะห์รูปแบบเนื้อสัมผัสเป็นการวัดพารามิเตอร์ของเนื้อสัมผัสอาหารที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีแรงมากระทำ โดยเครื่องมือถูกออกแบบจำลองมาจากการเคี้ยวชิ้นอาหารโดยฟันกราม 2 ครั้ง และสามารถคำนวณพารามิเตอร์ด้านเนื้อสัมผัสต่างๆ จากกราฟการวิเคราะห์รูปแบบเนื้อสัมผัส ได้แก่ hardness คือแรงสูงสุดที่เกิดขึ้นระหว่างการกดครั้งแรก adhesiveness คือการยึดติดหรือแรงที่ใช้ในการเอาชนะแรงระหว่างพื้นผิวของตัวอย่างกับพื้นผิวของวัสดุ springiness เป็นค่าที่บอกถึงความสามารถในการคืนตัวอย่างหลังการเสียรูปจากการกดครั้งแรก cohesiveness คือพลังงานยึดเกาะกันภายในเนื้ออาหาร gumminess คือพลังงานที่ต้องใช้ในการบดเคี้ยวอาหารกึ่งแข็งให้อยู่ในสภาพที่พร้อมจะกลืนได้ และ chewiness แสดงถึงแรงที่ใช้ในการบดตัวอย่างจนกระทั่งเสียรูป (ธัญญาภรณ์ ศิริเลิศ, 2550)

จากงานวิจัยนี้พบว่าการเติมลิพิดมีผลทำให้ hardness ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ของ Yu et al. (2018) ที่ทดลองเติม SA ลงในสตาร์ชข้าวสาลี แล้ววิเคราะห์ความแน่นเนื้อของเจล (gel firmness) พบว่าเจลสตาร์ชที่เติม SA มีค่าความแน่นเนื้อลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้ในงานวิจัยของ D'Silva et al. (2011) ที่เติม SA เข้มข้น 0.25% โดยน้ำหนักแห้งของสตาร์ชในสตาร์ชข้าวโพดและสตาร์ชเทฟ (teff) พบว่าความแน่นเนื้อของเจลสตาร์ชลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.01$) อย่างไรก็ตามพบว่าการเติมลิพิดไม่มีผลต่อค่า adhesiveness และ cohesiveness อย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ในด้าน springiness พบว่า ณ วันที่ 0 และ 3 ของการเก็บรักษา การเติม SA ทำให้ springiness มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) อย่างไรก็ตาม เจลฟลาวร์กล้วยที่เติม SA ที่เก็บรักษาไว้เป็นเวลา 7 และ 10 วัน มีค่า springiness ไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม ($p > 0.05$) นอกจากนี้พบว่า gumminess และ chewiness มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อในตัวอย่างเจลที่เติม SA

ตารางที่ 4.8-4.11 แสดงสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่เติมอิมัลซิไฟเออร์ ณ วันที่ 0, 3, 7 และ 10 ของการเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

ตารางที่ 4.8 สมบัติด้านเนื้อสัมผัสของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่เติมอิมัลซิไฟเออร์ ณ วันที่ 0 ของการเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส ที่คำนวณได้จากกราฟการวิเคราะห์รูปแบบเนื้อสัมผัส (texture profile analysis, TPA)

Sample	Hardness	Adhesiveness	Springiness	Cohesiveness	Gumminess	Chewiness
Ctr	3.67±0.27^{a}	-5.55±5.66^{a}	0.55±0.02^{ab}	0.40±0.10^{b}	1.47±0.31^{a}	0.81±0.14^{a}
1DMG	1.37±0.21^{bc}	-5.54±1.86^{a}	0.33±0.17^{cd}	0.55±0.29^{b}	0.72±0.28^{bc}	0.25±0.16^{b}
2DMG	1.31±0.15^{bc}	-4.05±1.21^{a}	0.46±0.07^{abc}	0.31±0.06^{b}	0.41±0.10^{c}	0.18±0.03^{b}
4DMG	1.09±0.08^{c}	-37.40±2.28^{b}	0.61±0.01^{a}	0.32±0.20^{b}	0.35±0.03^{c}	0.21±0.02^{b}
1SPN	1.51±0.01^{b}	-1.38±0.84^{a}	0.42±0.05^{bcd}	0.36±0.13^{b}	0.54±0.20^{bc}	0.22±0.05^{b}
2SPN	1.43±0.09^{b}	-1.93±0.60^{a}	0.38±0.00^{cd}	0.60±0.17^{ab}	0.88±0.31^{b}	0.33±0.11^{b}
4SPN	0.77±0.12^{d}	-4.36±5.04^{a}	0.27±0.11^{d}	0.84±0.13^{a}	0.63±0.06^{bc}	0.17±0.06^{b}

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.9 สมบัติด้านเนื้อสัมผัสของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่เติมอิมัลซิไฟเออร์ ณ วันที่ 3 ของการเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส ที่คำนวณได้จากกราฟการวิเคราะห์รูปแบบเนื้อสัมผัส (texture profile analysis, TPA)

Sample	**Hardness**	**Adhesiveness** ^{ns}	**Springiness**	**Cohesiveness** ^{ns}	**Gumminess**	**Chewiness**
Ctr	3.88±0.08^{a}	-6.09±6.27	0.42±0.04^{bc}	0.29±0.04	1.11±0.17^{ab}	0.46±0.03^{b}
1DMG	3.69±0.15^{a}	-16.17±17.21	0.49±0.04^{a}	0.35±0.04	1.29±0.21^{a}	0.64±0.10^{a}
2DMG	2.52±0.11^{b}	-10.62±0.98	0.45±0.05^{ab}	0.30±0.09	0.75±0.23^{bc}	0.33±0.06^{bc}
4DMG	1.72±0.19^{c}	-2.12±2.32	0.36±0.04^{c}	0.27±0.13	0.45±0.21^{c}	0.16±0.06^{c}
1SPN	2.59±0.49^{b}	-0.63±0.70	0.40±0.02^{bc}	0.22±0.12	0.60±0.38^{c}	0.25±0.16^{c}
2SPN	2.17±0.31^{b}	-1.53±0.33	0.40±0.05^{bc}	0.19±0.04	0.42±0.14^{c}	0.17±0.06^{c}
4SPN	1.70±0.13^{c}	-7.24±9.93	0.40±0.03^{bc}	0.29±0.15	0.49±0.21^{c}	0.20±0.11^{c}

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

^{ns} ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.10 สมบัติด้านเนื้อสัมผัสของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่เติมอิมัลซิไฟเออร์ ณ วันที่ 7 ของการเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส ที่คำนวณได้จากกราฟการวิเคราะห์รูปแบบเนื้อสัมผัส (texture profile analysis, TPA)

Sample	**Hardness**	**Adhesiveness** [ns]	**Springiness**	**Cohesiveness**	**Gumminess**	**Chewiness**
Ctr	5.52±0.25[a]	-1.93±1.57	0.43±0.10[a]	0.51±0.29[ab]	2.80±1.57[a]	1.14±0.49[a]
1DMG	2.90±0.16[bc]	-1.69±0.27	0.45±0.07[a]	0.29±0.12[b]	0.82±0.30[bcd]	0.35±0.09[bc]
2DMG	2.31±0.41[cd]	-1.73±0.68	0.38±0.06[abc]	0.29±0.07[b]	0.66±0.23[cd]	0.24±0.06[bc]
4DMG	2.09±0.11[de]	-3.17±1.15	0.42±0.04[ab]	0.26±0.05[b]	0.55±0.14[d]	0.23±0.04[bc]
1SPN	3.07±0.53[b]	-1.86±0.47	0.31±0.09[bc]	0.67±0.23[a]	1.96±0.37[ab]	0.58±0.09[b]
2SPN	2.65±0.35[bcd]	-1.73±1.13	0.26±0.02[c]	0.67±0.14[a]	1.76±0.30[abc]	0.46±0.05[bc]
4SPN	1.53±0.30[e]	-2.07±1.76	0.33±0.04[abc]	0.25±0.90[b]	0.39±0.16[d]	0.13±0.04[c]

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

[ns] ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.11 สมบัติด้านเนื้อสัมผัสของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่เติมอิมัลซิไฟเออร์ ณ วันที่ 10 ของการเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส ที่คำนวณได้จากกราฟการวิเคราะห์รูปแบบเนื้อสัมผัส (texture profile analysis, TPA)

Sample	**Hardness**	**Adhesiveness** [ns]	**Springiness**	**Cohesiveness**	**Gumminess**	**Chewiness**
Ctr	5.79±0.17[a]	-1.73±1.92	0.40±0.02[bc]	0.57±0.08[a]	3.31±0.53[a]	1.31±0.14[a]
1DMG	2.71±0.26[cd]	-1.08±0.26	0.44±0.06[ab]	0.17±0.05[b]	0.45±0.11[cd]	0.20±0.07[cd]
2DMG	2.76±0.23[cd]	-1.39±1.18	0.41±0.06[abc]	0.27±0.14[b]	0.72±0.31[bcd]	1.15±0.24[a]
4DMG	2.25±0.11[de]	-1.63±1.19	0.40±0.02[bc]	0.24±0.08[b]	0.55±0.17[bcd]	0.14±0.09[d]
1SPN	3.33±0.57[b]	-0.86±0.39	0.47±0.02[a]	0.31±0.05[b]	1.02±0.00[b]	0.48±0.02[b]
2SPN	2.92±0.26[bc]	-0.73±0.94	0.41±0.02[abc]	0.32±0.11[b]	0.95±0.39[bc]	0.38±0.14[bc]
4SPN	1.76±0.16[e]	-1.20±0.23	0.37±0.03[c]	0.21±0.04[b]	0.37±0.10[d]	0.14±0.05[d]

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

[ns] ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ผลการวิเคราะห์รูปแบบเนื้อสัมผัสของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่เติมอิมัลซิไฟเออร์ พบว่าการเติมอิมัลซิไฟเออร์มีผลอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ต่อพารามิเตอร์ด้านเนื้อสัมผัสบางประการ ได้แก่ hardness, springiness, gumminess และ chewiness โดยพบว่า hardness มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Gujral (2003) ซึ่งศึกษาผลของ sodium lauryl sulfate (SLS) ต่อเนื้อสัมผัสของเค้ก โดยพบว่าการเติมอิมัลซิไฟเออร์ทำให้ hardness ของเค้กลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ผู้วิจัยอธิบายว่าที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากอิมัลซิไฟเออร์สามารถเกิดอันตรกิริยากับโมเลกุลของสตาร์ชได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่เสถียร การเติมอิมัลซิไฟเออร์จึงเป็นวิธีหนึ่งที่ช่วยรักษาคุณภาพของอาหารฐานสตาร์ชได้ นอกจากนี้ในงานวิจัยดังกล่าวยังพบว่าการเติมอิมัลซิไฟเออร์ยังช่วยลดค่า gumminess และ chewiness ได้อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.12-4.15 แสดงสมบัติด้านสีของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่เติมลิพิด ณ วันที่ 0, 3, 7 และ 10 ของการเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยวัดสีในรูป L^*, a^*, b^* ในระบบ CIELAB จากนั้นคำนวณมุมสี (H^o) ความเข้มสี (C^*) ดัชนีความขาว (WI) และดัชนีความเหลือง (YI)

ตารางที่ 4.12 สีของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่เติมลิพิด ณ วันที่ 0 ของการเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส

Sample	*L**	*a**	*b**	*H°*	*C**	**WI**	**YI**
Ctr	53.13±0.18^{e}	2.69±0.14^{d}	6.83±0.19^{b}	1.196±0.01^{a}	7.338±0.22^{e}	89.964±0.17^{a}	18.357±0.56^{b}
1SA	53.87±0.42^{de}	6.56±0.08^{b}	5.49±0.12^{d}	0.697±0.01^{d}	8.554±0.14^{c}	89.078±0.12^{c}	14.566±0.39^{c}
2SA	56.74±0.40^{b}	7.07±0.03^{a}	5.79±0.15^{d}	0.686±0.01^{d}	9.141±0.10^{b}	88.739±0.06^{d}	14.569±0.27^{c}
4SA	59.38±0.57^{a}	7.28±0.07^{a}	6.27±0.06^{c}	0.710±0.01^{d}	9.610±0.03^{a}	88.470±0.04^{d}	15.082±0.10^{c}
1RBO	54.35±0.34^{cd}	3.44±0.07^{c}	7.02±0.08^{b}	1.115±0.01^{c}	7.818±0.05^{d}	89.667±0.03^{ab}	18.452±0.11^{b}
2RBO	54.65±0.66^{cd}	3.54±0.16^{c}	7.48±0.33^{a}	1.148±0.03^{b}	8.170±0.54^{cd}	89.333±0.31^{c}	19.551±1.09^{a}
4RBO	55.22±0.78^{c}	3.35±0.21^{c}	7.57±0.28^{a}	1.156±0.01^{b}	8.279±0.34^{cd}	89.357±0.28^{bc}	19.585±0.90^{a}

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.13 สีของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่เติมลิพิด ณ วันที่ 3 ของการเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส

Sample	*L**	*a**	*b**	H^o	*C**	**WI**	**YI**
Ctr	54.70±0.86^{d}	2.76±0.28^{d}	6.31±0.32^{abc}	1.158±0.02^{a}	6.893±0.40^{e}	90.365±0.33^{a}	16.495±1.08^{ab}
1SA	55.22±0.37^{cd}	6.96±0.07^{b}	5.50±0.10^{d}	0.669±0.01^{e}	8.876±0.04^{c}	88.886±0.05^{c}	14.238±0.29^{d}
2SA	57.64±0.42^{b}	7.36±0.08^{a}	6.03±0.22^{c}	0.686±0.02^{e}	9.519±0.14^{b}	88.469±0.10^{d}	14.940±0.44^{cd}
4SA	59.95±0.04^{a}	7.60±0.13^{a}	6.66±0.19^{ab}	0.719±0.01^{d}	10.105±0.22^{a}	88.081±0.18^{d}	15.860±0.47^{bc}
1RBO	55.40±0.18^{cd}	3.52±0.12^{c}	6.29±0.14^{bc}	1.060±0.01^{c}	7.208±0.16^{de}	90.174±0.13^{ab}	16.213±0.39^{abc}
2RBO	55.77±0.27^{c}	3.48±0.07^{c}	6.28±0.23^{bc}	1.065±0.01^{c}	7.179±0.23^{de}	90.215±0.18^{ab}	16.077±0.66^{abc}
4RBO	55.56±0.68^{cd}	3.50±0.22^{c}	6.76±0.42^{a}	1.093±0.01^{b}	7.616±0.47^{d}	89.877±0.38^{b}	17.395±1.24^{a}

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.14 สีของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่เติมลิพิด ณ วันที่ 7 ของการเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส

Sample	*L**	*a**	*b**	H^o	*C**	**WI**	**YI**
Ctr	54.26±0.31^{e}	2.88±0.09^{d}	6.75±0.55^{a}	1.165±0.02^{a}	7.345±0.54^{d}	90.012±0.38^{ab}	17.773±1.34^{ab}
1SA	55.03±0.31^{d}	7.88±0.17^{a}	0.86±0.08^{d}	0.109±0.01^{e}	7.924±0.17^{bc}	89.620±0.15^{bc}	2.230±0.19^{e}
2SA	57.18±0.35^{b}	7.95±0.11^{a}	2.21±0.31^{c}	0.271±0.04^{d}	8.257±0.10^{ab}	89.468±0.09^{c}	5.530±0.80^{d}
4SA	59.70±0.33^{a}	8.05±0.10^{a}	2.94±0.06^{b}	0.350±0.00^{c}	8.574±0.11^{a}	89.332±0.10^{c}	7.030±0.15^{c}
1RBO	55.42±0.17^{cd}	3.36±0.03^{bc}	6.67±0.13^{a}	1.105±0.01^{b}	7.471±0.10^{cd}	89.980±0.06^{ab}	17.201±0.27^{ab}
2RBO	55.86±0.28^{c}	3.20±0.10^{c}	6.59±0.20^{a}	1.119±0.01^{b}	7.327±0.20^{d}	90.109±0.16^{a}	16.852±0.58^{b}
4RBO	55.61±0.79^{cd}	3.49±0.29^{b}	7.15±0.45^{a}	1.117±0.01^{b}	7.956±0.53^{bc}	89.620±0.42^{bc}	18.367±1.26^{a}

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.15 สีของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่เติมลิพิด ณ วันที่ 10 ของการเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส

Sample	*L**	*a**	*b**	H^o	*C**	**WI**	**YI**
Ctr	54.54±0.41^{c}	2.99±0.15^{d}	6.59±0.22^{a}	1.146±0.01^{a}	7.243±0.25^{b}	90.104±0.20^{c}	17.278±0.71^{a}
1SA	54.52±0.08^{c}	7.88±0.15^{a}	3.02±0.14^{b}	0.366±0.02^{d}	8.445±0.14^{a}	89.194±0.11^{e}	7.925±0.35^{b}
2SA	56.92±0.64^{b}	7.67±0.17^{a}	3.03±0.03^{b}	0.376±0.01^{d}	8.255±0.15^{a}	89.455±0.14^{d}	7.616±0.09^{bc}
4SA	61.14±2.11^{a}	7.89±0.13^{a}	3.01±0.35^{b}	0.364±0.04^{d}	8.453±0.06^{a}	89.501±0.11^{d}	7.026±0.59^{cd}
1RBO	56.33±0.22^{b}	3.73±0.06^{c}	2.62±0.15^{c}	0.612±0.02^{c}	4.557±0.13^{d}	91.973±0.08^{a}	6.647±0.38^{d}
2RBO	56.02±0.48^{bc}	3.99±0.03^{b}	2.95±0.13^{bc}	0.636±0.02^{c}	4.967±0.09^{c}	91.715±0.07^{b}	7.530±0.36^{bc}
4RBO	55.92±0.42^{bc}	3.86±0.16^{bc}	3.19±0.18^{b}	0.691±0.02^{b}	5.011±0.23^{c}	91.683±0.15^{b}	8.159±0.49^{b}

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.12-4.15 พบว่า ณ วันที่ 0 ของการเก็บรักษา เจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่เติมลิพิดทั้งสองชนิดมี L^* เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อความเข้มข้นของ SA เพิ่มขึ้น เจลที่ได้มี L^* เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และมีค่าสูงกว่าเจลที่เติม RBO ที่ความเข้มข้นเท่ากัน สำหรับค่า a^* และ b^* พบว่าการเติมลิพิดทั้งสองชนิดทำให้ a^* มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ b^* มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในตัวอย่างเจลที่เติม SA แต่มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในตัวอย่างเจลที่เติม RBO สำหรับมุมสีและความเข้มสี พบว่าการเติมลิพิดทำให้มุมสีลดลง ($p \leq 0.05$) และความเข้มสีเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อพิจารณาดัชนีความขาวและดัชนีความเหลือง พบว่าการเติมลิพิดทำให้ดัชนีความขาวลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และการเติม SA ทำให้ดัชนีความเหลืองลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่การเติม RBO ทำให้ดัชนีความเหลืองเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ณ วันที่ 3 ของการเก็บรักษา เจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่เติมลิพิดทั้งสองชนิดมีค่า L^* เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อความเข้มข้นของ SA เพิ่มขึ้นมีผลให้เจลที่ได้มีค่า L^* เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยมีค่าสูงกว่าการเติม RBO ที่ความเข้มข้นเท่ากัน สำหรับค่า a^* และ b^* พบว่าการเติมลิพิดทั้งสองชนิดทำให้ค่า a^* เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่ค่า b^* ไม่เปลี่ยนแปลง ($p > 0.05$) สำหรับมุมสีและความเข้มสี พบว่าการเติมลิพิดทำให้มุมสีลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในขณะเดียวกันความเข้มสีเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อพิจารณาดัชนีความขาวและดัชนีความเหลือง พบว่าการเติม SA ทำให้ดัชนีความขาวและดัชนีความเหลืองลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และมีค่าต่ำกว่าเมื่อเทียบกับการเติม RBO

ณ วันที่ 7 ของการเก็บรักษา เจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่เติมลิพิดทั้งสองชนิดมีค่า L^* เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อความเข้มข้นของ SA เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า L^* เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และมีค่าสูงกว่าการเติม RBO สำหรับค่า a^* และ b^* พบว่าการเติมลิพิดทั้งสองชนิดทำให้ค่า a^* เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) การเติม RBO ไม่มีผลต่อค่า b^* ($p > 0.05$) แต่การเติม SA มีผลให้ค่า b^* ลดลง ($p \leq 0.05$) สำหรับมุมสีและความเข้มสี พบว่าการเติมลิพิดทำให้มุมสีลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ความเข้มสีเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อพิจารณาดัชนีความขาวและดัชนีความเหลือง พบว่าการเติม SA ทำให้ดัชนีความขาวและดัชนีความเหลืองลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่การเติม RBO ไม่มีผลต่อดัชนีความขาวและดัชนีความเหลือง

ณ วันที่ 10 ของการเก็บรักษา เจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่เติมลิพิดทั้งสองชนิดมีค่า L^* เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) สำหรับค่า a^* และ b^* พบว่าการเติมลิพิดทั้งสองชนิดทำให้ค่า a^* เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในทางกลับกันค่า b^* ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) สำหรับมุมสีและความเข้มสี พบว่าการเติมลิพิดทำให้มุมสีลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในขณะเดียวกันความเข้มสีเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเติม SA ($p \leq 0.05$) แต่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเติม RBO ($p \leq 0.05$) เมื่อพิจาณาดัชนีความขาวและดัชนีความเหลือง พบว่าการเติม SA ทำให้ดัชนีความขาวลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่การเติม RBO ทำให้ดัชนีความขาวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และนอกจากนี้ยังพบว่าการเติมลิพิดทำให้ดัชนีความเหลืองลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.16-4.19 แสดงสมบัติด้านสีของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่เติมอิมัลซิไฟเออร์ ณ วันที่ 0, 3, 7 และ 10 ของการเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

ตารางที่ 4.16 สีของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่เติมอิมัลซิไฟเออร์ ณ วันที่ 0 ของการเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส

Sample	*L**	*a**	*b**	*H*^{o}	*C**	**WI**	**YI**
Ctr	53.13±0.18^{d}	2.69±0.14^{f}	6.83±0.19^{a}	1.196±0.01^{a}	7.338±0.22^{b}	89.964±0.17^{b}	18.357±0.56^{a}
1DMG	54.66±1.40^{bc}	4.37±0.03^{e}	4.75±0.08^{bc}	0.827±0.01^{bc}	6.458±0.05^{c}	90.672±0.06^{a}	12.419±0.29^{b}
2DMG	55.40±0.52^{b}	4.55±0.07^{d}	4.52±0.27^{c}	0.781±0.04^{c}	6.414±0.14^{c}	90.743±0.07^{a}	11.640±0.59^{b}
4DMG	57.26±0.50^{a}	4.29±0.09^{e}	5.01±0.30^{b}	0.860±0.04^{b}	6.605±0.19^{c}	90.709±0.12^{a}	12.493±0.69^{b}
1SPN	52.81±0.51^{d}	7.07±0.07^{c}	1.99±0.25^{e}	0.273±0.03^{e}	7.357±0.13^{b}	89.939±0.12^{b}	5.395±0.71^{d}
2SPN	53.42±0.78^{cd}	7.28±0.17^{b}	2.24±0.30^{de}	0.312±0.03^{de}	7.622±0.25^{b}	89.770±0.18^{b}	5.999±0.77^{cd}
4SPN	55.76±0.72^{b}	7.65±0.04^{a}	2.58±0.18^{d}	0.325±0.02^{d}	8.074±0.07^{a}	89.540±0.03^{c}	6.613±0.37^{c}

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.17 สีของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่เติมอิมัลซิไฟเออร์ ณ วันที่ 3 ของการเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส

Sample	*L**	*a**	*b**	*H*^{o}	*C**	**WI**	**YI**
Ctr	54.70±0.86^{bc}	2.76±0.28^{d}	6.31±0.32^{a}	1.158±0.02^{a}	6.893±0.40^{b}	90.365±0.33^{c}	16.495±1.08^{a}
1DMG	58.06±0.87^{a}	4.23±0.07^{c}	4.07±0.13^{c}	0.764±0.01^{d}	5.881±0.12^{d}	91.257±0.05^{a}	10.015±0.17^{d}
2DMG	58.14±1.04^{a}	4.44±0.06^{bc}	4.65±0.19^{b}	0.808±0.02^{c}	6.436±0.12^{c}	90.878±0.08^{b}	11.433±0.36^{c}
4DMG	57.77±0.27^{a}	4.73±0.28^{b}	6.02±0.30^{a}	0.905±0.01^{b}	7.657±0.41^{a}	89.956±0.31^{d}	14.885±0.70^{b}
1SPN	53.99±0.12^{c}	7.45±0.05^{a}	1.30±0.11^{e}	0.172±0.02^{f}	7.565±0.03^{a}	89.841±0.02^{d}	3.434±0.30^{f}
2SPN	55.22±0.41^{b}	7.48±0.29^{a}	2.11±0.24^{d}	0.275±0.02^{e}	7.784±0.32^{a}	89.743±0.25^{d}	5.472±0.64^{e}
4SPN	57.41±0.43^{a}	7.34±0.05^{a}	1.98±0.11^{d}	0.263±0.01^{e}	7.606±0.05^{a}	89.980±0.04^{d}	4.924±0.23^{e}

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.18 สีของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่เติมอิมัลซิไฟเออร์ ณ วันที่ 7 ของการเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส

Sample	*L**	*a**	*b**	*H*^{o}	*C**	**WI**	**YI**
Ctr	54.26±0.31^{c}	2.88±0.09^{e}	6.75±0.55^{a}	1.165±0.02^{a}	7.345±0.54^{c}	90.012±0.38^{b}	17.773±1.34^{a}
1DMG	56.26±1.66^{b}	4.80±0.11^{d}	4.73±0.29^{d}	0.737±0.04^{c}	6.494±0.15^{d}	90.731±0.04^{a}	11.080±0.42^{e}
2DMG	57.36±0.32^{b}	4.82±0.10^{d}	4.81±0.05^{cd}	0.785±0.01^{b}	6.810±0.07^{d}	90.566±0.07^{a}	11.983±0.15^{cde}
4DMG	59.06±0.72^{a}	4.76±0.06^{d}	4.83±0.09^{cd}	0.793±0.01^{b}	6.780±0.10^{d}	90.679±0.04^{a}	11.680±0.16^{de}
1SPN	53.50±0.30^{c}	6.77±0.06^{c}	4.81±0.17^{cd}	0.617±0.01^{d}	8.308±0.15^{b}	89.253±0.13^{c}	12.839±0.52^{bcd}
2SPN	54.47±0.55^{c}	6.94±0.06^{b}	4.99±0.15^{c}	0.623±0.02^{d}	8.554±0.04^{b}	89.105±0.06^{c}	13.096±0.52^{bc}
4SPN	57.09±0.72^{b}	7.35±0.05^{a}	5.61±0.28^{b}	0.652±0.02^{d}	9.247±0.21^{a}	88.669±0.19^{d}	14.049±0.80^{b}

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.19 สีของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่เติมอิมัลซิไฟเออร์ ณ วันที่ 10 ของการเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส

Sample	*L**	*a**	*b**	*H*^{o}	*C**	**WI**	**YI**
Ctr	54.54±0.41^{cd}	2.99±0.15^{d}	6.59±0.22^{a}	1.146±0.01^{a}	7.243±0.25^{d}	90.104±0.20^{b}	17.278±0.71^{a}
1DMG	55.68±1.12^{abc}	4.90±0.25^{c}	4.63±0.07^{d}	0.758±0.02^{b}	6.743±0.22^{e}	90.525±0.15^{a}	11.890±0.16^{d}
2DMG	56.89±1.35^{ab}	4.88±0.09^{c}	4.59±0.20^{d}	0.753±0.02^{b}	6.708±0.16^{e}	90.618±0.19^{a}	11.545±0.77^{d}
4DMG	57.14±0.82^{a}	4.85±0.11^{c}	4.56±0.14^{d}	0.754±0.02^{b}	6.659±0.11^{e}	90.664±0.10^{a}	11.399±0.30^{d}
1SPN	53.99±0.27^{d}	6.69±0.09^{b}	4.64±0.22^{d}	0.605±0.02^{d}	8.144±0.20^{c}	89.403±0.16^{c}	12.267±0.63^{cd}
2SPN	55.50±0.46^{bc}	7.06±0.17^{a}	5.12±0.22^{c}	0.627±0.01^{d}	8.720±0.26^{b}	89.022±0.19^{d}	13.178±0.48^{c}
4SPN	57.01±0.52^{a}	7.26±0.06^{a}	5.67±0.13^{b}	0.662±0.01^{c}	9.221±0.11^{a}	88.690±0.07^{e}	14.209±0.32^{b}

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.16-4.19 พบว่า ณ วันที่ 0 ของการเก็บรักษา เจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่เติม DMG และเจลที่เติม SPN เข้มข้น 4.0% มีค่า L^* เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) สำหรับค่า a^* และ b^* พบว่า การเติมอิมัลซิไฟเออร์ทั้งสองชนิดทำให้ a^* มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในขณะเดียวกัน b^* มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) สำหรับมุมสีและความเข้มสี พบว่าการเติมอิมัลซิไฟเออร์ทำให้มุมสีลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และความเข้มสีลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเติม DMG แต่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเติม SPN เข้มข้น 4.0% เมื่อพิจารณาดัชนีความขาวและดัชนีความเหลือง พบว่าการเติม DMG ทำให้ดัชนีความขาวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่การเติม SPN เข้มข้น 4.0% ทำให้ดัชนีความขาวลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และพบว่าการเติมอิมัลซิไฟเออร์ทำให้ดัชนีความเหลืองลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยการเติม DMG ทำให้ดัชนีความเหลืองมีค่าสูงกว่าเมื่อเทียบกับการเติม SPN

ณ วันที่ 3 ของการเก็บรักษา พบว่าเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่เติม DMG และ SPN เข้มข้น 4.0% มีค่า L^* เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) สำหรับค่า a^* และ b^* พบว่า การเติมอิมัลซิไฟเออร์ทั้งสองชนิดทำให้ค่า a^* เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ค่า b^* ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) สำหรับมุมสีและความเข้มสี พบว่าการเติมอิมัลซิไฟเออร์ทำให้มุมสีลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และความเข้มสีลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเติม DMG เข้มข้น 1.0 และ 2.0% แต่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเติม DMG เข้มข้น 4.0% และ SPN เมื่อพิจารณาดัชนีความขาวและดัชนีความเหลือง พบว่าการเติม DMG เข้มข้น 1.0 และ 2.0% ทำให้ดัชนีความขาวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่การเติม DMG เข้มข้น 4.0% และ SPN ทำให้ดัชนีความขาวลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และพบว่าการเติมอิมัลซิไฟเออร์ทำให้ดัชนีความเหลืองลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยการเติม DMG ทำให้ดัชนีความเหลืองมีค่าสูงกว่าเมื่อเทียบกับการเติม SPN

ณ วันที่ 7 ของการเก็บรักษา พบว่าเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่เติม DMG และ SPN เข้มข้น 4.0% มีค่า L^* เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) สำหรับค่า a^* และ b^* พบว่า การเติมอิมัลซิไฟเออร์ทั้งสองชนิดทำให้ค่า a^* เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในขณะเดียวกันค่า b^* ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) สำหรับมุมสีและความเข้มสี พบว่าการเติมอิมัลซิไฟเออร์ทำให้มุมสีลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และความเข้มสีลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเติม DMG แต่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเติม SPN เมื่อพิจารณาดัชนีความขาวและดัชนีความเหลือง พบว่าการเติม DMG ทำให้ดัชนีความขาวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่การเติม SPN ทำให้ดัชนีความขาวลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

($p \leq 0.05$) และพบว่าการเติมอิมัลซิไฟเออร์ทำให้ดัชนีความเหลืองลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยการเติม DMG ทำให้ดัชนีความเหลืองมีค่าต่ำกว่าเมื่อเทียบกับการเติม SPN

ณ วันที่ 10 ของการเก็บรักษา พบว่าเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่เติม DMG และ SPN เข้มข้น 4.0% มีค่า L^* เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) สำหรับค่า a^* และ b^* พบว่า การเติมอิมัลซิไฟเออร์ทั้งสองชนิดทำให้ค่า a^* เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในขณะเดียวกันค่า b^* ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) สำหรับมุมของสีและความเข้มสี พบว่าการเติมอิมัลซิไฟเออร์ทำให้มุมของสีลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และความเข้มสีลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเติม DMG แต่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเติม SPN เมื่อพิจารณาดัชนีความขาวและดัชนีความเหลือง พบว่าการเติม DMG ทำให้ดัชนีความขาวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่การเติม SPN ทำให้ดัชนีความขาวลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และพบว่าการเติมอิมัลซิไฟเออร์ทำให้ดัชนีความเหลืองลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยการเติม DMG ทำให้ดัชนีความเหลืองมีค่าต่ำกว่าเมื่อเทียบกับการเติมSPN

ตารางที่ 4.20 และ 4.21 แสดงปริมาณการขับน้ำ (syneresis) เจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่เติมลิพิดและอิมัลซิไฟเออร์ตามลำดับ โดยเติมลิพิดและอิมัลซิไฟเออร์ในปริมาณ 1.0, 2.0 และ 4.0% การขับน้ำ คือ ปรากฏการณ์ที่น้ำถูกขับออกมาจากเจลฟลาวร์หรือเจลสตาร์ชเมื่อเกิดรีโทรเกรเดชันของแอมิโลสและแอมิโลเพกทินระหว่างการเก็บรักษา เมื่อสตาร์ชเกิดการเจลาทิไนเซชันแล้วเย็นตัวลง โมเลกุลของแอมิโลสที่มีขนาดเล็กจะกระจายตัวออกจากสตาร์ชแกรนูลและเกิดการเรียงตัวเป็นโครงร่างแหสามมิติขึ้น เนื่องจากโมเลกุลแอมิโลสมีลักษณะเป็นสายตรงจึงสามารถจัดเรียงตัวขนานกับโมเลกุลแอมิโลสด้วยกันเองหรือส่วนที่เป็นเส้นตรงของโมเลกุลแอมิโลเพกทิน เมื่อเข้าใกล้กันมากพอจะเกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้น การจัดเรียงตัวใหม่ในลักษณะนี้ส่งผลให้โมเลกุลน้ำที่เคยไฮเดรตโมเลกุลสตาร์ชอยู่ก่อนถูกกำจัดออกไป น้ำจึงถูกขับออกมาจากเจล และส่งผลต่อเนื้อสัมผัสของเจล โดยปริมาณการขับน้ำสามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนของน้ำที่ถูกขับออกมาต่อน้ำหนักเจลเริ่มต้น (จิรนาถ บุญคง, 2554; Clerici, 2019)

ตารางที่ 4.20 ร้อยละการขับน้ำของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่เติมลิพิดในระหว่างการเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส

Sample	**วันที่ 0**	**วันที่ 3**	**วันที่ 7**	**วันที่ 10**
Ctr	39.18±0.71^{b}	41.53±0.61^{c}	45.17±0.78^{bc}	47.74±0.90^{ab}
1SA	35.59±2.10^{c}	44.60±1.30^{ab}	44.96±1.06^{bc}	44.90±0.75^{b}
2SA	39.26±1.20^{b}	45.80±0.61^{a}	47.11±0.94^{a}	48.45±4.10^{ab}
4SA	40.89±1.51^{ab}	43.92±1.17^{bc}	46.73±0.59^{ab}	51.65±5.03^{a}
1RBO	41.08±0.61^{ab}	43.90±0.93^{bc}	43.84±0.82^{cd}	45.13±0.21^{b}
2RBO	40.48±0.34^{ab}	40.89±0.81^{c}	41.55±1.72^{e}	44.83±0.44^{b}
4RBO	41.51±0.16^{a}	42.47±1.24^{bc}	42.26±0.86^{de}	44.02±1.12^{b}

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.21 ร้อยละการขับน้ำของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่เติมอิมัลซิไฟเออร์ในระหว่างการเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส

Sample	**วันที่ 0**	**วันที่ 3**	**วันที่ 7**	**วันที่ 10**
Ctr	39.18±0.71^{cd}	41.53±0.61^{cd}	45.17±0.78^{c}	47.74±0.90^{ab}
1DMG	44.10±7.04^{bc}	48.40±1.70^{a}	51.70±0.37^{a}	52.29±0.83^{a}
2DMG	41.45±7.59^{bcd}	47.40±0.38^{ab}	48.32±1.24^{b}	49.66±0.87^{ab}
4DMG	53.82±0.42^{a}	50.01±3.90^{a}	47.91±1.43^{b}	52.12±2.55^{a}
1SPN	36.06±0.19^{d}	40.87±0.07^{d}	41.46±2.06^{d}	45.45±5.90^{b}
2SPN	38.75±1.18^{cd}	44.31±1.38^{bc}	47.82±0.40^{b}	48.00±0.43^{ab}
4SPN	48.31±2.67^{ab}	47.95±1.21^{a}	46.28±1.81^{bc}	45.95±1.96^{b}

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.20 จะเห็นได้ว่า ณ วันที่ 0 ของการเก็บรักษา การเติม SA เข้มข้น 1.0% ส่งผลให้การขับน้ำลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และการเติม RBO เข้มข้น 4.0% ส่งผลให้การขับน้ำเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ส่วนในวันที่ 3 ของการเก็บรักษา การเติม SA เข้มข้น 1.0 และ 2.0% ส่งผลให้การขับน้ำเพิ่มขึ้นอย่างมีอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และในวันที่ 7 ของการเก็บรักษา การเติม SA เข้มข้น 2.0% ส่งผลให้การขับน้ำเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และการเติม RBO เข้มข้น 2.0 และ 4.0% ส่งผลให้การขับน้ำลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และ ณ วันที่ 10 ของการเก็บรักษา การเติม SA และ RBO ไม่ส่งผลให้การขับน้ำเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ในงานวิจัยนี้พบว่าการขับน้ำของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่เติมลิพิดมีแนวโน้มที่ไม่แน่นอน ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากการที่มีปัจจัยหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อความสามารถในการกักเก็บน้ำของเมริกซ์ของเจลฟลาวร์ เช่น การเกิดรีโทรเกรเดชันของสตาร์ช และสมบัติเฉพาะของลิพิดที่เติมลงไป

จากตารางที่ 4.21 พบว่า ณ วันที่ 0 ของการเก็บรักษา การเติม DMG เข้มข้น 4.0% และ SPN เข้มข้น 4.0% ส่งผลให้การขับน้ำเพิ่มขึ้นอย่างมีอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และในวันที่ 3 ของการเก็บรักษา การเติม DMG และ SPN เข้มข้น 4.0% ส่งผลให้การขับน้ำเพิ่มขึ้นอย่างมีอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ส่วนในวันที่ 7 ของการเก็บรักษา การเติม DMG และ SPN เข้มข้น 2.0% ส่งผลให้การขับน้ำเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และการเติม SPN เข้มข้น 1.0% ส่งผลให้การขับน้ำลดลงอย่างมีอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และ ณ วันที่ 10 ของการเก็บรักษา การเติม DMG และ SPN ไม่ส่งผลให้การขับน้ำเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) การเติมอิมัลซิไฟเออร์ทั้งสองชนิดส่งผลให้เจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้ามีแนวโน้มการขับน้ำที่มากขึ้นเมื่อความเข้มข้นของ DMG หรือ SPN เพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากอิมัลซิไฟเออร์มีผลขัดขวางการจับกันของโมเลกุลสตาร์ชกับน้ำ น้ำจึงถูกขับออกมาจากเมทริกซ์ของเจลได้มากขึ้น

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของลิพิดและอิมัลซิไฟเออร์ต่อพฤติกรรมการเกิดเพสต์และสมบัติของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้า โดยแปรชนิดของลิพิดเป็น 2 ชนิด ได้แก่ กรดสเทียริก (SA) และน้ำมันรำข้าว (RBO) แปรชนิดของอิมัลซิไฟเออร์เป็น 2 ชนิด ได้แก่ ดิสทิลด์โมโนกลีเซอไรด์ (DMG) และซอร์บิแทนโมโนสเทียเรตซึ่งมีชื่อทางการค้า Span® 60 (SPN) แปรความเข้มข้นของลิพิดและอิมัลซิไฟเออร์เป็น 3 ระดับ ได้แก่ 1.0, 2.0 และ 4.0% โดยน้ำหนักของฟลาวร์ ฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่ใช้ในงานวิจัยนี้เตรียมในห้องปฏิบัติการโดยใช้กล้วยน้ำว้าดิบจากจังหวัดสมุทรปราการ ในการผลิตฟลาวร์กล้วยน้ำว้าพบว่าผลได้เท่ากับ 18.88% และจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของฟลาวร์กล้วยน้ำว้า พบว่ามีปริมาณความชื้น โปรตีนหยาบ ไขมันหยาบ เส้นใยหยาบ เถ้า และคาร์โบไฮเดรตเท่ากับ 6.13, 1.98, 0.04, 0.33, 1.96 และ 89.56% โดยน้ำหนักเปียก ตามลำดับ

ในการศึกษาผลของลิพิดต่อพฤติกรรมการเกิดเพสต์และสมบัติของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้า สำหรับพฤติกรรมการเกิดเพสต์ของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่เติมลิพิด พบว่าการเติมลิพิดส่งผลให้ peak viscosity ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากลิพิดสามารถเกิดอันตรกิริยากับแอมิโลสเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของแอมิโลสและลิพิด (amylose-lipid complex) ซึ่งโครงสร้างเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสและลิพิดนี้มีสมบัติไม่ชอบน้ำจึงมีผลชะลอการดูดน้ำและลดการพองตัวของสตาร์ชแกรนูลระหว่างการเกิดเจลาทิไนเซชัน สำหรับการเติม RBO ส่งผลให้ breakdown viscosity ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่าการเติม SA ส่งผลให้ final viscosity และ setback viscosity เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่การเติม RBO ส่งผลให้ final viscosity และ setback viscosity ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการคืนตัวของเพสต์มีระดับลดลง แสดงว่าการเติมลิพิดมีผลลดการเกิดรีโทรเกรเดชันของสตาร์ชได้ สำหรับการศึกษาสมบัติของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่เติมลิพิด ในงานวิจัยนี้ได้ติดตามการเปลี่ยนแปลงของรูปแบบเนื้อสัมผัส สี และการขับน้ำ ณ วันที่ 0, 3, 7 และ 10 ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส พบว่าการเติมลิพิดและส่งผลให้ hardness ของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ซึ่งแสดงถึงการลดลงของรีโทรเกรเดชัน สำหรับสีของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่เติมลิพิด พบว่าการเติม SA ส่งผลให้ดัชนีความขาวและดัชนีความเหลืองลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ณ วันที่ 0, 3, 7 และ 10 ของการเก็บรักษา และ

จากการศึกษาการขับน้ำของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้า พบว่าการเปลี่ยนแปลงของสมบัติการขับน้ำของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่เติมลิพิดมีแนวโน้มที่ไม่แน่นอน ซึ่งอาจเนื่องมาจากการที่มีปัจจัยหลายประการที่ส่งผลต่อความสามารถในการกักเก็บน้ำของเจล เช่น การเกิดรีโทรเกรเดชันของสตาร์ช และสมบัติเฉพาะตัวของลิพิดที่เติมลงไป

ในแง่ของการศึกษาผลของอิมัลซิไฟเออร์ต่อพฤติกรรมการเกิดเพสต์และสมบัติของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้า สำหรับพฤติกรรมการเกิดเพสต์ของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่เติมอิมัลซิไฟเออร์ พบว่าการเติมอิมัลซิไฟเออร์ ส่งผลให้ peak viscosity ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)ซึ่งเป็นผลเนื่องจากความสามารถในการเกิดอันตรกิริยาระหว่างอิมัลซิไฟเออร์และสตาร์ช ซึ่งเป็นผลจากความสามารถของอิมัลซิไฟเออร์ในการเกิดอันตรกิริยากับสตาร์ชที่เกิดจากประจุของโมเลกุลและความแตกต่างระหว่างค่าสมดุลความชอบน้ำ-ไม่ชอบน้ำ (hydrophile-lipophile balance, HLB) ที่แตกต่างกัน นอกจากนี้การเติมอิมัลซิไฟเออร์ ส่งผลให้ breakdown viscosity ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ส่วนการเติม SPN ส่งผลให้ setback viscosity เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) สำหรับการศึกษาสมบัติของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่เติมอิมัลซิไฟเออร์ ได้แก่ รูปแบบเนื้อสัมผัส สี และการขับน้ำ ณ วันที่ 0, 3, 7 และ 10 ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส พบว่าการเติมอิมัลซิไฟเออร์ส่งผลให้ hardness ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ซึ่งแสดงถึงการลดลงของการเกิดรีโทรเกรเดชัน สำหรับสีของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่เติมอิมัลซิไฟเออร์ พบว่าการเติม DMG ส่งผลให้ดัชนีความขาวมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ส่วนการเติม SPN ส่งผลให้ดัชนีความขาวลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้การเติมอิมัลซิไฟเออร์ส่งผลให้ดัชนีความเหลืองลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ณ วันที่ 0, 3, 7 และ 10 ของการเก็บรักษา และจากการศึกษาการขับน้ำของเจลของ ฟลาวร์กล้วยน้ำว้า พบว่าการเติมอิมัลซิไฟเออร์ส่งผลให้เจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้ามีแนวโน้มของการขับน้ำที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการที่อิมัลซิไฟเออร์มีผลขัดขวางการจับกันของโมเลกุลสตาร์ชกับน้ำ น้ำในเมทริกซ์ของเจลจึงถูกขับออกมาได้มากขึ้น

ข้อเสนอแนะ

ระบบอาหารเป็นระบบที่มีความซับซ้อน ซึ่งประกอบด้วยองค์ประกอบหลายชนิดที่อาจเกิดอันตรกิริยากันและส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติขององค์ประกอบแต่ละชนิด นอกจากวัตถุเจือปนอาหารที่ใช้ในงานวิจัยนี้แล้ว ยังมีการใช้วัตถุเจือปนอาหารประเภทอื่นในระบบอาหารที่มีสตาร์ชเป็น

องค์ประกอบ จึงมีความน่าสนใจที่จะศึกษาผลของวัตถุเจือปนอาหารเหล่านั้นต่อสมบัติของระบบสตาร์ช

เอกสารอ้างอิง

จิรนาถ บุญคง. (2555). การศึกษาสมบัติทางเคมี-กายภาพของสตาร์ชฟอสเฟตจากเมลด็ขนุน. วารสารเทคโนโลยกีารอาหารมหาวทิยาลยัสยาม 1: 40-50.

ธัญญาภรณ์ ศิริเลิศ. (2549). การประเมินลักษณะเนื้อสัมผัสในอาหาร. วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม 1: 6-13.

ปิติพร ฤทธิเรืองเดช, ธงชัย สุวรรณสิชณ์, วิชัย หทัยธนาสันติ์ และกล้าณรงค์ ศรีรอต. (2546). พฤติกรรมด้านความหนืดและคุณสมบัติทางกลของแป้งท้าวยายม่อม (Tacca leontoopetaloides Ktze). ใน การประชุมทางวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 4, หน้า 53-60. 3-7 กุมภาพันธ์ 2546 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ

ไพลำภา นิ่มสังข์, มาศอุบล ทองงาม และ อรอนงค์ นัยวิกุล. (2550). องค์ประกอบทางเคมี, สัณฐานวิทยา และสมบัติเชิงอุณหภูมิของแป้งและสตาร์ชจากกล้วยดิบ. ใน รายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 45, หน้า 672-680. 30 มกราคม-2 กุมภาพันธ์ 2550 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ

สำนักโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. (2553). คุณค่าทางโภชนาการในผลไม้. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://nutrition.anamai.moph.go.th/images/file/fruit_nutritioin3.pdf [6 เมษายน 2561]

Ali, T.M., and Hasnain, A. (2012). Effect of emulsifiers on complexation and retrogradation characteristics of native and chemically modified White sorghum (*Sorghum bicolor*) starch. Thermochimica Acta 552: 46-53.

Ashwini, A., Jyotsna, R., and Indrani, D. (2009). Effect of hydrocolloids and emulsifiers on the rheological, microstructural and quality characteristics of eggless cake. Food Hydrocolloids 23: 700–707.

Azizi, M.H., and Rao, G.V. (2005). Effect of surfactant in pasting characteristics of various starches. Food Hydrocolloids 19: 739–743.

Bi, Y., Zhang, Y., Jiang, H., Hong, Y., Gu, Z., Gheng, L., Li, Z., and Li, C. (2017). Molecular structure and digestibility of banana flour and starch. Food Hydrocolloids 72: 219-227.

Cho, S.J., and McCarl, B.A. (2017). Climate change influences on crop mix shifts in the United States [Online]. Available from: https://www.nature.com/articles/srep40845.pdf [2018, April 4]

Desrumaux, A., Bouvier, J.R., and Burri, J. (1999). Effect of free fatty acid addition on corn grits extrusion cooking. Cereal Chemistry 76: 699-704.

D'Silva, T.V., Taylor, J.R.N., and Emmambux, M.N. (2011). Enhancement of the pasting properties of teff and maize starches through wet-heat processing with added stearic acid. Journal of Cereal Science 53: 192-197.

Englyst, H.N., and Hudson, G.J. (1996). The classification and measurement of dietary carbohydrates. Food Chemistry 57: 15-21.

Fu, Z., Chen, J., Luo, S.J., Liu, C.M., and Liu, W. (2015). Effect of food additives on starch retrogradation: A review. Starch/Stärke 67: 69-78.

Gujral, H.S., Rosell, C.M., Sharma, S., and Singh, S. (2003). Effect of Sodium Lauryl Sulphate on the Texture of Sponge Cake. Food Science and Technology International 9: 89-93.

Joshi, G., and Sarangi, M.K. (2014). A review on banana starch. Planta Activa 2014: 1-8.

Kibar, E.A.A., Gönenç, I., and Us, F. (2014). Effects of fatty acid addition on the physicochemical properties of corn starch. International Journal of Food Properties 17: 204-218.

Kim, C. S. and Walker, C. E. 1992. Changes in starch pasting properties due to sugars and emulsifiers as determined by viscosity measurement. Journal of Food Science 57: 1009-1013.

Krog, N., Olesen, S. K., Toemaes, H., and Joensson, T. (1989). Retrogradation of the Starch Fraction in Wheat Bread. Cereal Foods World 34: 281-285.

Lai, O.M., Jacoby, J.J., Leong, W.F., and Lai, W.T. (2019). Rice Bran and Rice Bran Oil. Netherlands: Andre Gerhard Wolff.

Lee, M.H., Baek, M.H., Cha, D.S., Park, H.J., and Lim S.T. (2002). Freeze-thaw stabilization of sweet potato starch gel by polysaccharide gums. Food Hydrocolloids 16: 345-352.

McGrath, M. (2012). Bananas could replace potatoes in warming world [Online]. Available from: http://www.bbc.co.uk/news/science-environment-20126452 [2018, April 4]

Muadklay, J., and Charoenrein, S. (2008) Effects of hydrocolloids and freezing rates on freeze–thaw stability of tapioca starch gels. Food Hydrocolloids 22: 1268-1272.

Nichols, M. (2015). Scientists urge growers to plant heat resistant beans to fight climate change effects [Online] Available from: http://www.designtrend.com/articles/45757/20150329/ scientists-urge-growers-plant-heat-resistant-beans-fight-climate-change.html [2018, April 4]

Raguzzoni, J., Delgadillo, I., and Silva, J.A.L.D. (2016). Freeze-thaw stabilization of sweet potato starch gel by polysaccharide gums. Carbohydrate Polymers 150: 369-377.

Suntharalingam, S. and Ravindran, G. (1993). Physical and biochemical properties of green banana flour. Plant Foods for Human Nutrition 43: 19-27.

Tang, C.M., and Copeland, L. (2007). Analysis of complexes between lipids and wheat starch. Carbohydrate Polymers 67: 80-85.

USDA. (2018). Full Report (All Nutrients): 09040, Bananas, raw [online]. Available from: https://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/2159?format=Full [2018, April 6]

Varavinit, S., Shobsngob, S., Varanyanond, W., Chinachoti, P., and Naivikul, O. (2002). Freezing and thawing conditions affect the gel stability of different varieties of rice flour. Starch/Stärke 54: 31-36.

Verbeken, D., Bael, K., Thas, O., and Dewettinck, K. (2006). Interactions between k-carrageenan, milk proteins and modified starch in sterilized dairy desserts. International Dairy Journal 16:

482-488.

Wani, A.A., Wani, I.A., Hussain, P.R., Gani, A., Wani, T.A., and Masoodi, F.A. (2015). Physicochemical properties of native and -irradiated wild arrowhead (Sagittaria sagittifolia L.) tuber starch. International Journal of Biological Macromolecules 77: 360-368.

Yassaroh, Y., Woortman, A.J.J., and Loos, K. (2019). A new way to improve physicochemical properties of potato starch. Carbohydrate Polymers 204: 1-8.

Yu, Z., Wang, Y.S., Chen, H.H., Li, Q.Q., and Wang, Q. (2018). The gelatinization and retrogradation properties of wheat starch with the addition of stearic acid and sodium alginate. Food hydrocolloids 81: 77-86.

Zhang, P., and Hamaker, B.R. (2012). Banana starch structure and digestibility. Carbohydrate Polymers 87: 1552-1558.

Zhang, P., Whistler, R.L., BeMiller, J.N., and Hamaker, B.R. (2005). Banana starch: Production, physicochemical properties, and digestibility-A review. Carbohydrate Polymers 59: 443-458.

Zhang, Y., Li, D., Yang, N., Jin, Z., and Xu, X. (2018). Comparison of dextran molecular weight on wheat bread quality and their performance in dough rheology and starch retrogradation. LWT - Food Science and Technology 98: 39–45.

Zhou, Z., Robards, K., Helliwell, S., and Blanchard, C. (2007). Effect of the addition of fatty acids on rice starch properties. Food Research International 40: 209-214.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

วิธีการวิเคราะห์

ก.1 การผลิตฟลาวร์กล้วยน้ำว้าและการคำนวณผลได้ (yield)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. มีดสเตนเลสสตีล
2. เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 3 ตำแหน่ง (Mettler Toledo, Greifensee, Switzerland)
3. สไลเซอร์ (Beckers, Treviglio, Italy)
4. บีกเกอร์ขนาด 1,000 มิลลิลิตร
5. ตู้อบลมร้อน (Contherm, Hutt City, New Zealand)
6. เครื่องวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (Mettler Toledo, MJ33, Greifensee, Switzerland)
7. Stainless steel grain grinder (เซียวเฮงฮวด, กรุงเทพฯ, ประเทศไทย)
8. Vibration flour sifter machine (เซียวเฮงฮวด, กรุงเทพฯ, ประเทศไทย)
9. ตะแกรงร่อนขนาด 80 ยูเอสเมช (เซียวเฮงฮวด, กรุงเทพฯ, ประเทศไทย)

วิธีการวิเคราะห์

นำกล้วยน้ำว้าดิบมาปอกเปลือกด้วยมีดสเตนเลสสตีล บันทึกน้ำหนักของเนื้อกล้วยที่ได้ แล้วหั่นเป็นแผ่นบางให้มีความหนาประมาณ 1 มิลลิเมตร จากนั้นแช่แผ่นกล้วยลงในสารละลายโซเดียมเมทาไบซัลไฟต์เข้มข้น 0.1% เป็นเวลา 30 นาที เพื่อป้องกันการเกิดสีน้ำตาล นำแผ่นกล้วยที่ได้มาสะเด็ดน้ำและอบแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนกระทั่งมีความชื้นประมาณ 6% โดยน้ำหนักเปียก บดกล้วยที่อบแห้งแล้วด้วยเครื่องบด (stainless steel grain grinder) ร่อนกล้วยที่บดแล้วด้วยเครื่อง vibration flour sifter machine ผ่านตะแกรงขนาด 80 ยูเอสเมช เก็บฟลาวร์กล้วยส่วนที่ผ่านตะแกรงร่อน ชั่งน้ำหนัก และคำนวณหาผลได้จากสมการที่ (ก.1)

$$\%\ \text{ผลได้} = \frac{\text{น้ำหนักฟลาวร์กล้วยที่ได้}}{\text{น้ำหนักเนื้อกล้วย}} \times 100 \qquad \text{...(ก.1)}$$

ก.2 การศึกษาพฤติกรรมการเกิดเพสต์ของฟลาวร์กล้วยน้ำว้า

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. Rapid visco analyzer (Newport Scientific, Warriewood, Australia)
2. เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 3 ตำแหน่ง (Mettler Toledo, Greifensee, Switzerland)

วิธีการวิเคราะห์

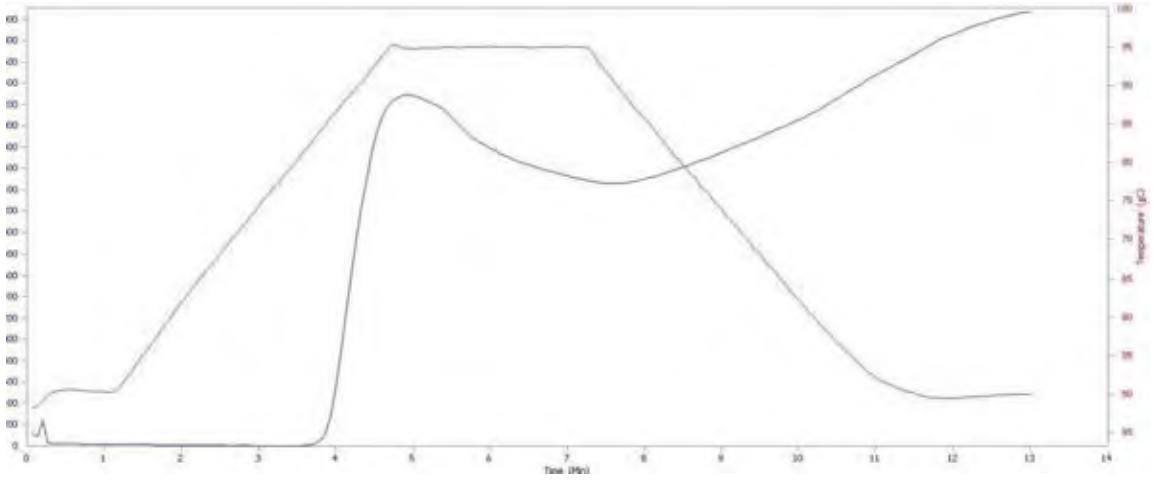
ศึกษาพฤติกรรมการเกิดเพสต์ของตัวอย่างฟลาวร์กล้วยน้ำว้าและฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่เติมวัตถุเจือปนอาหารโดยใช้เครื่อง rapid visco analyzer ตามวิธี AACC Method 76-21 (AACC, 2000) ซึ่งใช้น้ำปริมาณ 25 กรัม ต่อฟลาวร์ปริมาณ 3 กรัม แต่เนื่องจากฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่ผลิตได้ในงานวิจัยนี้มีปริมาณความชื้นเท่ากับ 8.22% โดยน้ำหนักเปียก ดังนั้นจึงใช้น้ำปริมาณ 25.19 กรัม และฟลาวร์กล้วยน้ำว้า 2.81 กรัม โดยลิพิดและอิมัลซิไฟเออร์ที่ใช้มีอัตราส่วนตามตารางที่ ก.1

บรรจุตัวอย่างฟลาวร์และน้ำลงในถ้วยตัวอย่าง (RVA canister) จากนั้นนำถ้วยตัวอย่างไปประกอบเข้ากับเครื่อง RVA และเริ่มต้นการวิเคราะห์ โดยที่หน้าจอจะแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ (เส้นสีแดง) และความหนืด (เส้นสีน้ำเงิน) ตามระยะเวลาดังภาพที่ ก.1 โดยเริ่มให้ความร้อนแก่ตัวอย่างที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิจาก 50 องศาเซลเซียส จนถึง 95 องศาเซลเซียสในเวลา 3.42 นาที และคงอุณหภูมิไว้ที่ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3.10 นาที จากนั้นลดอุณหภูมิลงเป็น 50 องศาเซลเซียสในเวลา 4.28 นาที และคงอุณหภูมิไว้ที่ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 นาที เมื่อเสร็จสิ้นการวิเคราะห์ทำการบันทึกค่าทางพฤติกรรมในการเกิดเพสต์ ได้แก่ pasting temperature, peak viscosity, breakdown viscosity, final viscosity และ setback viscosity

ตารางที่ ก.1 อัตราส่วนของลิพิดและอิมัลซิไฟเออร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

Sample code	**Ratio**
Ctr	NWF
1RBO	99 NWF : 1 RBO
2RBO	98 NWF : 2 RBO
4RBO	96 NWF : 4 RBO
1SA	99 NWF : 1 SA
2SA	98 NWF : 2 SA
4SA	96 NWF : 4 SA
1DMG	99 NWF : 1 DMG
2DMG	98 NWF : 2 DMG
4DMG	96 NWF : 4 DMG
1SPN	99 NWF : 1 SPN
2SPN	98 NWF : 2 SPN
4SPN	96 NWF : 4 SPN

NWF หมายถึง ฟลาวร์กล้วยน้ำว้า, RBO หมายถึง น้ำมันรำข้าว, SA หมายถึง กรดสเทียริก, DMG หมายถึง ดิสทิลด์โมโนกลีเซอไรด์ และ SPN หมายถึง Span® 60



ภาพที่ ก.1 เส้นแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความหนืดที่ได้จากการศึกษาพฤติกรรมการเกิดเพสต์ของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าโดยใช้ rapid visco analyzer

ก.3 การวิเคราะห์รูปแบบเนื้อสัมผัส (texture profile analysis, TPA) ของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้า

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 3 ตำแหน่ง (Mettler Toledo, Greifensee, Switzerland)
2. Magnetic stirrer-heater (IKA® C-MAG HS7, Sigma-Aldrich, Singapore)
3. Water bath (Memmert WNB14 waterbath, Schwabach, Germany)
4. Texture analyzer (TA.XT2i, Stable Micro Systems, Surrey, UK) และหัววัด P/100 (Stable Micro Systems, Surrey, UK)

วิธีการวิเคราะห์

เตรียมเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าโดยดัดแปลงจากวิธีของ Muadklay and Charoenrein (2008) เตรียมสารแขวนลอยฟลาวร์ ผสมฟลาวร์กล้วยน้ำว้าหรือของผสมของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าและลิพิดหรืออิมัลซิไฟเออร์ ปริมาณ 80.0 กรัม กับน้ำกลั่นปริมาณ 320.0 กรัม (ความเข้มข้น 20% โดยน้ำหนัก) โดยเติมฟลาวร์หรือของผสมของฟลาวร์และลิพิดหรืออิมัลซิไฟเออร์อย่างช้าๆ ลงในบีกเกอร์ที่บรรจุน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้อง (28±2 องศาเซลเซียส) พร้อมกับกวนตลอดเวลาด้วยความเร็ว 800 รอบ/นาที เป็นเวลา 20 นาที นำสารแขวนลอยที่ได้มาให้ความร้อนในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9

นาที พร้อมกับกวนเป็นระยะ นำเพสต์ที่ได้บรรจุลงในพิมพ์อลูมิเนียมขนาด 190×90×73 เซนติเมตร จากนั้นนำตัวอย่างไปให้ความร้อนในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที นำตัวอย่างออกมาตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 60 นาที เพื่อให้เซ็ตตัวเป็นเจล นำเจลที่ได้มาตัดแต่งให้เป็นรูปทรงลูกบาศก์ที่มีด้านกว้าง 20 มิลลิเมตร

วิเคราะห์รูปแบบเนื้อสัมผัสของตัวอย่างเจลด้วยเครื่อง texture analyzer ตามวิธีของ Zhen et al. (2018) ทำโดยนำตัวอย่างเจลวางลงบนแท่นของเครื่องวัด กดด้วยหัววัด P/100 กำหนดให้หัววัดกดลงบนตัวอย่างเจลเป็นระยะทาง 50% และกดด้วยความเร็ว 1.0 มิลลิเมตร/วินาที วิเคราะห์รูปแบบเนื้อสัมผัสของตัวอย่างเจล ณ วันที่ 0, 3, 7 และ 10 ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

ก.4 การวิเคราะห์สีของเจลฟลาวร์กล้วยน้ำว้า

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. Minolta chroma meter (CR400, Tokyo, Japan)

วิธีการวิเคราะห์

วัดค่าสีของตัวอย่างเจลในระบบ CIELAB ด้วยเครื่อง Minolta chroma meter และคำนวณมุมสี (hue angle, H^o) ความเข้มสี (chroma, C^*) ดัชนีความขาว (whiteness index, WI) และดัชนีความเหลือง (yellowness index, YI) โดยวัดสีของตัวอย่างเจล ณ วันที่ 0, 3, 7 และ 10 ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

ก.5 การวิเคราะห์การขับน้ำของเจลฟลาวร์กล้วยน้ำว้า

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องเหวี่ยงแยก (centrifuge) (Hettich EBA 21, Tuttlingen, Germany)
2. เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 3 ตำแหน่ง (Mettler Toledo, Greifensee, Switzerland)

วิธีการวิเคราะห์

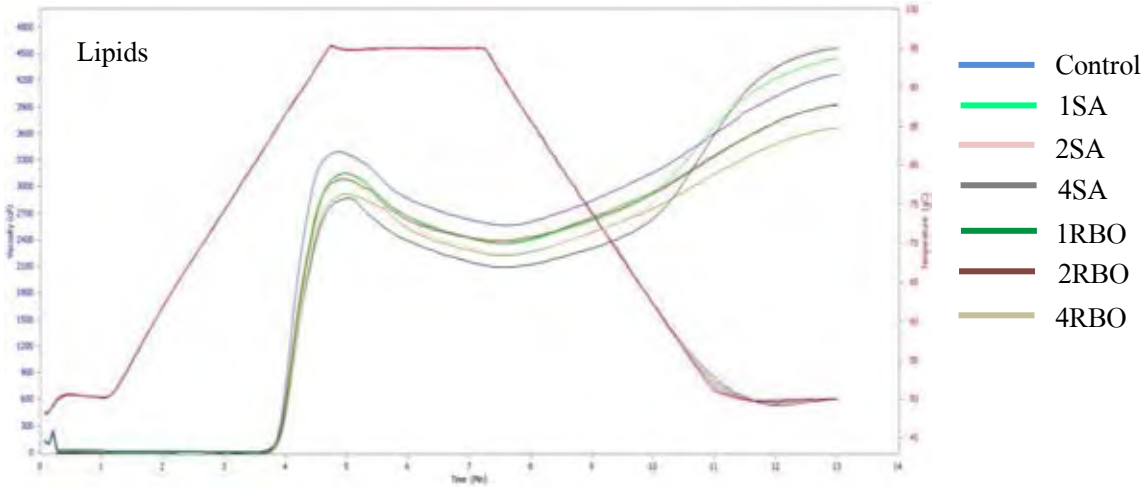
การวิเคราะห์การขับน้ำของเจลดัดแปลงจากวิธีของ Verbeken et al. (2006) และ Wani et al. (2014) ทำโดยชั่งตัวอย่างเจลฟลาวร์กล้วยน้ำว้าปริมาณ 5 กรัม ใส่หลอดเซนทริฟิวจ์ นำไปเหวี่ยงแยกที่

ความเร็ว 5000 รอบ/นาที เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นใช้หลอดหยด (dropper) ดูดของเหลวที่แยกออกมาแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก วิเคราะห์การขับน้ำของตัวอย่างเจล ณ วันที่ 0, 3, 7 และ 10 ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส คำนวณการขับน้ำจากสมการที่ (ก.2)

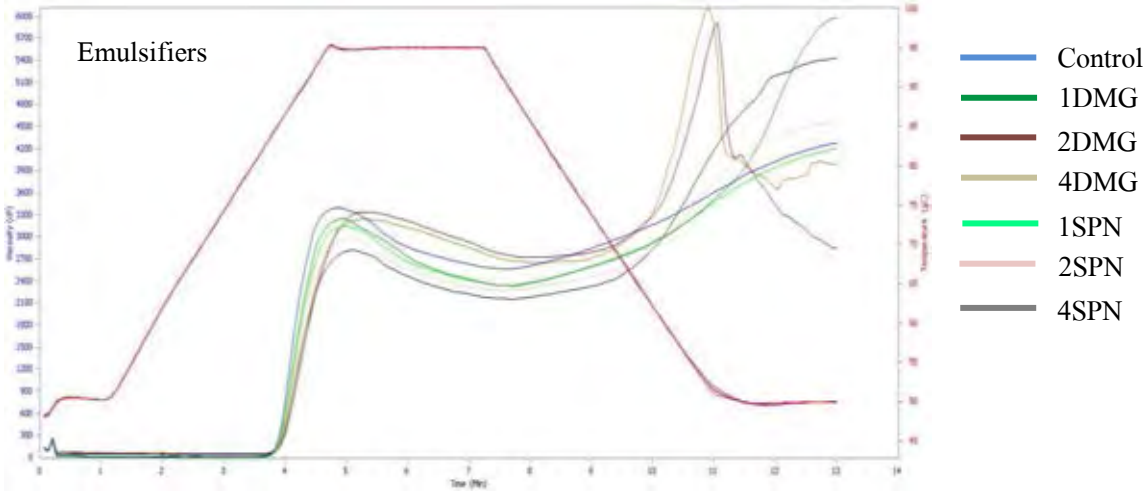
$$\% \text{ Syneresis} = \frac{\text{น้ำหนักของเหลวที่ถูกขับออก}}{\text{น้ำหนักเจลเริ่มต้น}} \times 100 \qquad \text{...(ก.2)}$$

ภาคผนวก ข

กราฟข้อมูล



ภาพที่ ข.1 เส้นพฤติกรรมการเกิดเพสต์ของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่เติมลิพิด



ภาพที่ ข.2 เส้นพฤติกรรมการเกิดเพสต์ของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่เติมอิมัลซิไฟเออร์

ภาคผนวก ค

รายละเอียดโครงการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ประจำปีการศึกษา 2561

ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์

ชื่อโครงการ ผลของอิมัลซิไฟเออร์และลิพิดต่อพฤติกรรมการเกิดเพสต์ และสมบัติของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้า

(Effect of emulsifier and lipid on pasting behavior and properties of gel made from Namwa flour)

นิสิตผู้เข้าร่วมโครงการ นางสาวปุณญานุช สุทธิบุญ

นางสาวพัณณิดา ถนอมกุล

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ผศ.ดร.ธนจันทร์ มหาวนิช

มูลเหตุจูงใจในการนำเสนอโครงการ

เนื่องจากสภาพภูมิอากาศของโลกที่เปลี่ยนแปลงอย่างรุนแรงในปัจจุบัน อุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชหลายชนิดและทำให้ปริมาณผลผลิตลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้าว ข้าวโพด และข้าวสาลี ซึ่งเป็นพืชผลเกษตรที่เป็นอาหารหลักของมนุษย์ (Cho and McCarl, 2017) ปริมาณผลผลิตทางการเกษตรที่ลดลงนี้ยังสวนทางกับจำนวนประชากรที่ทำนายไว้ว่าจะเพิ่มขึ้นจาก 7,600 ล้านคนในปัจจุบันเป็น 9,800 ล้านคนในปี ค.ศ. 2050 (Nichols, 2015) นักวิทยาศาสตร์ได้ตระหนักถึงภาวะคุกคามจากการขาดแคลนอาหารนี้ การแสวงหาพืชทดแทนเป็นวิธีการหนึ่งในการแก้ปัญหาดังกล่าว

กล้วยเป็นพืชที่เจริญเติบโตได้ดีในภูมิอากาศร้อน มีอายุการเก็บเกี่ยวที่สั้น (Joshi and Sarangi, 2014) นอกจากนี้ผลกล้วยยังประกอบด้วยสตาร์ชในปริมาณสูง (61.7% โดยน้ำหนักแห้งในกล้วยดิบ) (Zhang et al., 2005) กล้วยจึงมีศักยภาพในการพัฒนาเป็นพืชอาหารหลักของมนุษย์ในอนาคต (McGrath, 2012) อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาพฤติกรรมการเกิดเพสต์ของฟลาวร์และสตาร์ชกล้วยไข่

กล้วยหอมทอง และกล้วยน้ำว้า โดยไพลำภา นิ่มสังข์, มาศอุบล ทองงาม และ อรอนงค์ นัยวิกุล (2550) พบว่าฟลาวร์และสตาร์ชกล้วยทุกชนิดมีค่าความหนืดเซ็ตแบ็ค (setback viscosity) ที่สูงซึ่งชี้ให้เห็นว่าฟลาวร์และสตาร์ชกล้วยเกิดรีโทรเกรเดชันได้มากและมีแนวโน้มที่จะให้เจลที่แข็ง ซึ่งอาจมีผลจำกัดการนำฟลาวร์และสตาร์ชกล้วยไปประยุกต์ในผลิตภัณฑ์อาหาร

วัตถุเจือปนอาหารเป็นหนึ่งในหลายปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราการเกิดรีโทรเกรเดชันของสตาร์ชลิพิดและอิมัลซิไฟเออร์เป็นวัตถุเจือปนอาหารที่มีรายงานว่าสามารถชะลอการเกิดรีโทรเกรเดชันของฟลาวร์และสตาร์ชจากพืชชนิดต่างๆ (Fu et al., 2015) การเติมลิพิดลงในสตาร์ชมีผลทำให้เกิดโครงสร้างเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสและลิพิด ซึ่งเป็นโครงสร้างที่แข็งแรงมาก ทำให้แอมิโลสเกิดอันตรกิริยาระหว่างกันได้น้อยลง ส่งผลให้เกิดการยับยั้งรีโทรเกรเดชันของแอมิโลส ส่วนการเติมอิมัลซิไฟเออร์ลงในสตาร์ชก็ให้ผลทำนองเดียวกับการเติมลิพิด โดยมีการเกิดเป็นโครงสร้างเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสและอิมัลซิไฟเออร์ ทำให้แอมิโลสเกิดอันตรกิริยาระหว่างกันได้น้อยลง และส่งผลชะลอการเกิด รีโทรเกรเดชัน (Fu et al., 2015)

แนวคิด เหตุผล และทฤษฎีสำคัญ

กล้วยเป็นไม้ผลที่คนไทยรู้จักกันมานาน เนื่องจากกล้วยมีถิ่นกำเนิดในเอเชียใต้และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ จากการศึกษาพบว่ากล้วยมีวิวัฒนาการมาถึง 50 ล้านปีแล้ว กล้วยจึงเป็นไม้ผลที่มนุษย์รู้จักบริโภคเป็นอาหารกันอย่างแพร่หลายและเชื่อกันว่ากล้วยเป็นไม้ผลชนิดแรกที่มีการเพาะปลูกโดยมนุษย์ และได้แพร่พันธุ์จากเอเชียใต้และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ไปยังดินแดนอื่นๆ ในระยะเวลาต่อมา

เมื่อจำแนกตามชนิดจีโนม กล้วยน้ำว้าจัดอยู่ในกลุ่ม ABB กล้วยกลุ่มนี้มีปริมาณสตาร์ชที่สูง ขนาดผลใหญ่ โดยทั่วไปไม่นิยมรับประทานสดเพราะเมื่อสุกมีรสไม่หวานมากและบางครั้งอาจมีรสฝาด กล้วยน้ำว้าจำแนกออกเป็น 3 ชนิดตามสีของเนื้อผล คือ น้ำว้าแดง น้ำว้าขาว และน้ำว้าเหลือง คนไทยรับประทานกล้วยน้ำว้าทั้งผลสดและนำมาประกอบอาหาร ซึ่งโดยมากมักใช้ทำขนม ยังไม่มีการนำกล้วยน้ำว้าหรือ ฟลาวร์กล้วยน้ำว้ามาใช้ในแง่การเป็นอาหารหลักมากนัก

ฟลาวร์กล้วยเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำกล้วยดิบมาอบให้แห้งและบดให้ละเอียด มีคุณค่าทางโภชนาการสูง สามารถนำไปเป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ ในอดีตมีการใช้ฟลาวร์กล้วยเพื่อทดแทนฟลาวร์ข้าวสาลีในบางพื้นที่ของโลก เช่น แอฟริกา และจาไมก้า เนื่องจากมีราคาถูก

กว่า ในปัจจุบัน ฟลาวร์กล้วย (unripe banana flour หรือ green banana flour) มีปริมาณการใช้เพิ่มขึ้น โดยส่วนใหญ่เพื่อการตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคเฉพาะกลุ่ม ได้แก่ การใช้ในแง่การเป็นฟลาวร์ปราศจากกลูเต็น (gluten-free flour) และในแง่การเป็นแหล่งของสตาร์ชทนย่อย (resistant starch) แต่ยังไม่มีการนำมาใช้เพื่อเป็นอาหารหลัก ฟลาวร์กล้วยจะมีกลิ่นเฉพาะตัว รวมตัวกับน้ำได้ดี เมื่อให้ความร้อนจะเกิดเจลาทิไนเซชัน และเมื่อเย็นตัวลงสามารถเกิดเป็นเจลได้ เนื่องจากฟลาวร์กล้วยมีปริมาณแอมิโลสสูง จึงสามารถนำมาทดแทนฟลาวร์ข้าวสาลีในผลิตภัณฑ์ขนมอบได้ ขนมอบบางชนิดอาจทดแทนฟลาวร์ข้าวสาลีด้วยฟลาวร์กล้วยได้สูงถึง 80% สมบัติของฟลาวร์กล้วยจะขึ้นอยู่กับชนิดและความสุกของกล้วยเป็นหลัก กล้วยดิบมีปริมาณสตาร์ชและแทนนินสูง ในขณะที่มีปริมาณน้ำตาลต่ำ สีของฟลาวร์กล้วยจะไม่ขาวเหมือนฟลาวร์จากธัญพืชหรือพืชหัว เนื่องจากไม่ได้ผ่านกระบวนการฟอกสี เมื่อนำไปเป็นส่วนผสม ผลิตภัณฑ์อาหารที่ได้จะมีสีค่อนข้างคล้ำ

สตาร์ชประกอบด้วยโมเลกุล 2 ชนิด ได้แก่ แอมิโลสและแอมิโลเพกทิน โดยสตาร์ชจากพืชต่างชนิดมีอัตราส่วนของแอมิโลสต่อแอมิโลเพกทินที่แตกต่างกันไป แอมิโลสเป็นพอลิเมอร์สายตรง (linear polymer) ที่ประกอบด้วยหน่วยย่อย α-D-glucopyranose เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิกชนิด α-(1→4) การหมุน (rotation) ของพันธะไกลโคซิดิกทำให้โมเลกุลแอมิโลสเกิดเป็นโครงสร้างแบบเกลียว (helical structure) (รูปที่ 1) หมู่ไฮดรอกซีของหน่วยย่อยกลูโคสจัดเรียงตัวในตำแหน่งด้านนอกของโครงสร้างเกลียวทำให้ด้านนอกของโครงสร้างเกลียวมีสมบัติชอบน้ำ ในขณะที่อะตอมออกซิเจนของพันธะไกลโคซิดิกมีตำแหน่งหันเข้าด้านในของเกลียว ช่องว่างภายในโครงสร้างเกลียวจึงมีสมบัติไม่ชอบน้ำและให้สารที่ไม่มีขั้วหรือมีขั้วต่ำเข้าไปอยู่ภายในช่องว่างของเกลียวและเกิดเป็นโครงสร้างเชิงซ้อนขึ้นได้ เช่น เมื่อเติมลิพิดลงในฟลาวร์ระหว่างการเกิดเจลาทิไนเซชัน ลิพิดจะเกิดอันตรกิริยากับแอมิโลสเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของแอมิโลสและลิพิด (amylose-lipid complex) โครงสร้างเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสและลิพิดนี้มีสมบัติไม่ชอบน้ำจึงมีผลชะลอการดูดน้ำและลดการพองตัวของสตาร์ชระหว่างการเกิดเจลาทิไนเซชัน และในขณะเดียวกันโครงสร้างดังกล่าวนี้จะขัดขวางการเชื่อมข้ามและการเกิดโครงสร้างแบบเกลียวคู่ (double helical structure) ระหว่างโมเลกุลแอมิโลส ดังนั้นจึงชะลอการเกิดรีโทรเกรเดชันได้

D'Silva et al. (2010) ศึกษาผลของการเติมกรดสเทียริกต่อสมบัติการเกิดเพสต์ของสตาร์ชจากเทฟ (teff) และข้าวโพด แปรความเข้มข้นของกรดสเทียริกที่ระดับต่างๆ ได้แก่ 0.25, 0.5, 2.5, 2.0, 3.0 และ 4.0% โดยน้ำหนักของสตาร์ช พบว่าตัวอย่างที่เติมกรดสเทียริกเข้มข้น 0.25 และ 1.5% ไม่ปรากฏ

pasting peak ในระหว่างการให้ความร้อน อย่างไรก็ตามเมื่อรักษาอุณหภูมิไว้ที่ 91 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที สตาร์ชเพสต์ทั้งสองตัวอย่างมีความหนืดเพิ่มขึ้นประมาณ 3 เท่า

ภาพที่ ค.1 แบบจำลองโมเลกุลแสดงการเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสและกรดไขมัน

ที่มา: Fu et al. (2015)

สำหรับอิมัลซิไฟเออร์ มีรายงานว่าอิมัลซิไฟเออร์สามารถเกิดอันตรกิริยากับแอมิโลสได้ในลักษณะใกล้เคียงกับลิพิด เนื่องจากโมเลกุลอิมัลซิไฟเออร์ประกอบด้วยส่วนที่มีสมบัติชอบน้ำและไม่ชอบน้ำ การเกิดอันตรกิริยาระหว่างแอมิโลสและอิมัลซิไฟเออร์ได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีความเสถียร ทำให้สตาร์ชเกิดรีโทรเกรเดชันได้ช้าลง

Ali and Hasnain (2012) ศึกษาผลของอิมัลซิไฟเออร์ต่อการเกิดรีโทรเกรเดชันของสตาร์ชข้าวฟ่างขาวและสตาร์ชข้าวฟ่างขาวดัดแปร โดยอิมัลซิไฟเออร์ที่ใช้ในการศึกษานี้มี 3 ชนิด ได้แก่ glycerol monostearate (GMS-90), diacetyl tartaric acid esters of monoglycerides (DATEM) และ sodium stearoyl lactylate (SSL) แปรความเข้มข้นของอิมัลซิไฟเออร์เป็น 3 ระดับ ได้แก่ 0.5, 0.75 และ 1% โดยน้ำหนักของสตาร์ช พบว่าตัวอย่างที่เติมอิมัลซิไฟเออร์เข้มข้น 1% มีอัตราส่วนของอุณหภูมิรีโทรเกรเดชันต่ออุณหภูมิเจลาทิไนเซชันต่ำที่สุด ตามด้วยตัวอย่างที่เติมอิมัลซิไฟเออร์เข้มข้น 0.75 และ 0.5% ตามลำดับ อัตราส่วนของอุณหภูมิรีโทรเกรเดชันต่ออุณหภูมิเจลาทิไนเซชันที่ต่ำแสดงให้เห็นว่าการเติมอิมัลซิไฟเออร์มีผลชะลอการเกิดรีโทรเกรเดชัน

วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาผลของลิพิดต่อพฤติกรรมการเกิดเพสต์และสมบัติของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้า

2. เพื่อศึกษาผลของอิมัลซิไฟเออร์ต่อพฤติกรรมการเกิดเพสต์และสมบัติของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้า

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ข้อมูลพฤติกรรมการเกิดเพสต์และสมบัติของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้า เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการใช้ประโยชน์จากฟลาวร์กล้วยน้ำว้า

รายละเอียดของการดำเนินโครงการ

1. ศึกษาค้นคว้าข้อมูลจากหนังสือ วารสาร สิ่งพิมพ์ต่างๆ และสื่ออิเล็กทรอนิกส์ ที่เกี่ยวกับวัตถุดิบ กระบวนการวิจัย และวิธีวิเคราะห์

2. วิเคราะห์ข้อมูลทางวิชาการต่างๆ ที่รวบรวมได้ วางแผนและออกแบบการทดลอง รวมทั้งจัดหาวัตถุดิบ สารเคมี เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ

3. ดำเนินการทดลองโดยแบ่งเป็นขั้นตอน ดังนี้

3.1 การผลิตฟลาวร์กล้วยน้ำว้า

เตรียมเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าโดยดัดแปลงจากวิธีของ Muadklay and Charoenrein (2008) วิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (proximate composition) ของฟลาวร์กล้วยที่ผลิตได้ ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณโปรตีนหยาบ ปริมาณไขมันหยาบ ปริมาณเส้นใยหยาบ และปริมาณเถ้าตามวิธีของ AOAC (2016) และคำนวณปริมาณคาร์โบไฮเดรตจากผลต่าง

3.2 การศึกษาผลของลิพิดต่อพฤติกรรมการเกิดเพสต์และสมบัติของเจลฟลาวร์กล้วยน้ำว้า

สำหรับการศึกษาในส่วนนี้ แปรชนิดของลิพิดเป็น 2 ชนิด ได้แก่ กรดสเทียริก (SA) และน้ำมันรำข้าว (RBO) และแปรความเข้มข้นของลิพิดเป็น 3 ระดับ ได้แก่ 1.0, 2.0 และ 4.0% โดยน้ำหนักของฟลาวร์ กำหนดให้ตัวอย่างฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่ไม่เติมลิพิดเป็นตัวอย่างควบคุม

3.2.1 พฤติกรรมการเกิดเพสต์

ศึกษาพฤติกรรมการเกิดเพสต์โดยใช้เครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) ตามวิธี AACC Method 76-21 (2000)

3.2.2 สมบัติของเจล

เตรียมเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้าโดยดัดแปลงจากวิธีของ Muadklay and Charoenrein (2008) เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และวิเคราะห์สมบัติดังต่อไปนี้ ณ วันที่ 0, 3, 7 และ 10 ของการเก็บรักษา

รูปแบบเนื้อสัมผัส (texture profile analysis, TPA) วิเคราะห์ด้วยเครื่อง texture analyzer (TA.XT2i, Stable Micro Systems, Surrey, UK) คำนวณพารามิเตอร์ด้านเนื้อสัมผัสจากกราฟ TPA ได้แก่ hardness, adhesiveness, springiness, cohesiveness, gumminess และ chewiness

สี วัดด้วยเครื่อง Minolta chroma meter (CR400, Tokyo, Japan) โดยวัดค่า L^*, a^*, b^* ในระบบ CIELAB และคำนวณมุมสี (hue angle, H^o) ความเข้มสี (chroma, C^*) ดัชนีความขาว (whiteness index, WI) และดัชนีความเหลือง (yellowness index, YI)

การขับน้ำ (syneresis) วิเคราะห์โดยดัดแปลงจากวิธีของ Verbeken et al. (2006) และ Wani et al. (2014)

3.3 การศึกษาผลของอิมัลซิไฟเออร์ต่อพฤติกรรมการเกิดเพสต์และสมบัติของเจลฟลาวร์กล้วยน้ำว้า

สำหรับการศึกษาในส่วนนี้ แปรชนิดของอิมัลซิไฟเออร์เป็น 2 ชนิด ได้แก่ ดิสทิลด์โมโนกลีเซอไรด์ (DMG) และซอร์บิแทนโมโนสเทียเรตซึ่งมีชื่อทางการค้า Span® 60 (SPN) แปรความเข้มข้นของอิมัลซิไฟเออร์เป็น 3 ระดับ ได้แก่ 1.0, 2.0 และ 4.0% โดยน้ำหนักของฟลาวร์ กำหนดให้ตัวอย่างฟลาวร์กล้วยน้ำว้าที่ไม่เติมอิมัลซิไฟเออร์เป็นตัวอย่างควบคุม

ศึกษาพฤติกรรมการเกิดเพสต์และสมบัติของเจลตามรายละเอียดในหัวข้อ 3.2.1และ 3.2.2 ตามลำดับ

3.4 การวางแผนการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลโดยใช้ analysis of variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's new multiple range test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

4. รวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล

5. สรุปผลและจัดทำรายงาน

ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1. ศึกษาค้นคว้าข้อมูล	←	→								
2. วางแผนและออกแบบการทดลอง		←	→							
3. เตรียมวัตถุดิบ สารเคมี วัสดุ และอุปกรณ์ต่างๆ				←	→					
4. ดำเนินการทดลอง 4.1 ทดลองผลิตฟลาวร์จากกล้วยน้ำว้า 4.2 การผลิตฟลาวร์จากกล้วยน้ำว้า 4.3 การศึกษาผลของลิพิดต่อพฤติกรรมการเกิดเพสต์และสมบัติของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้า 4.4 การศึกษาผลของอิมัลซิไฟเออร์ต่อพฤติกรรมการเกิดเพสต์และสมบัติของเจลของฟลาวร์กล้วยน้ำว้า				←	←	←		←	→	
4. รวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล									←	→
5. สรุปผลและจัดทำรายงาน										←

งบประมาณ

1.	หมวดค่าใช้จ่าย	
	- ค่าสำเนาเอกสารและสิ่งพิมพ์	1000 บาท
	- ค่าเดินทางในการจัดหาวัตถุดิบ	1500 บาท
	- ค่าวัสดุอุปกรณ์ในการทำรายงานและการนำเสนอ	1500 บาท
2.	วัตถุดิบ	
	- กล้วยน้ำว้า	2000 บาท
3.	วัสดุวิทยาศาสตร์และสารเคมี	
	- วัสดุวิทยาศาสตร์ เช่น เครื่องแก้ว วัสดุสิ้นเปลือง	3500 บาท
	- Span® 60 (ซอร์บิแทน โมโนสเทียเรต)	960 บาท
	- ดิสทิลด์โมโนกลีเซอไรด์	640 บาท
	- กรดสเทียริก	680 บาท
	- น้ำมันรำข้าว	640 บาท
	รวม	12420 **บาท**

เอกสารอ้างอิง

ไพลำภา นิ่มสังข์, มาศอุบล ทองงาม และ อรอนงค์ นัยวิกุล. (2550). องค์ประกอบทางเคมี, สัณฐานวิทยาและสมบัติเชิงอุณหภูมิของแป้งและสตาร์ชจากกล้วยดิบ. ใน รายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 45, หน้า 672-680. 30 มกราคม-2 กุมภาพันธ์ 2550 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ

Ali, T.M., and Hasnain, A. (2012). Effect of emulsifiers on complexation and retrogradation characteristics of native and chemically modified White sorghum (*Sorghum bicolor*) starch. Thermochimica Acta 552: 46-53.

Ashwini, A., Jyotsna, R., and Indrani, D. (2009). Effect of hydrocolloids and emulsifiers on the rheological, microstructural and quality characteristics of eggless cake. Food Hydrocolloids 23: 700–707.

Azizi, M.H., and Rao, G.V. (2005). Effect of surfactant in pasting characteristics of various starches. Food Hydrocolloids 19: 739–743.

Banerjee, S., and Bhattacharya, S. (2010). Compressive textural attributes, opacity and syneresis of gels prepared from gellan, agar and their mixtures. Journal of Food Engineering 102: 287-292.

Campuzano, A., Rosell, C.M., and Cornejo, F. (2018). Physiochemical and nutritional characteristics of banana flour during ripening. Food Chemistry 256: 11-17.

Cho, S.J., and McCarl, B.A. (2017). Climate change influences on crop mix shifts in the United States [Online]. Available from: https://www.nature.com/articles/srep40845.pdf [2018, April 4]

D'Silva, T.V., Taylor, J.R.N., and Emmambux, M.N. (2011). Enhancement of the pasting properties of teff and maize starches through wet-heat processing with added stearic acid. Journal of Cereal Science 53: 192-197.

Fu, Z., Chen, J., Luo, S.J., Liu, C.M., and Liu, W. (2015). Effect of food additives on starch

retrogradation: A review. Starch/Stärke 67: 69-78.

Joshi, G., and Sarangi, M.K. (2014). A review on banana starch. Planta Activa 2014: 1-8.

McGrath, M. (2012). Bananas could replace potatoes in warming world [Online]. Available from: http://www.bbc.co.uk/news/science-environment-20126452 [2018, April 4]

Muadklay, J., and Charoenrein, S. (2008) Effects of hydrocolloids and freezing rates on freeze–thaw stability of tapioca starch gels. Food Hydrocolloids 22: 1268-1272.

Nichols, M. (2015). Scientists urge growers to plant heat resistant beans to fight climate change effects [Online] Available from: http://www.designtrend.com/articles/45757/20150329/scientists-urge-growers-plant-heat-resistant-beans-fight-climate-change.html [2018, April 4]

Varavinit, S., Shobsngob, S., Varanyanond, W., Chinachoti, P., and Naivikul, O. (2002). Freezing and thawing conditions affect the gel stability of different varieties of rice flour. Starch/Stärke 54: 31-36.

Verbeken, D., Bael, K., Thas, O., and Dewettinck, K. (2006). Interactions between k-carrageenan, milk proteins and modified starch in sterilized dairy desserts. International Dairy Journal 16: 482-488.

Wani, A.A., Wani, I.A., Hussain, P.R., Gani, A., Wani, T.A., and Masoodi, F.A. (2015). Physicochemical properties of native and -irradiated wild arrowhead (Sagittaria sagittifolia L.) tuber starch. International Journal of Biological Macromolecules 77: 360-368.

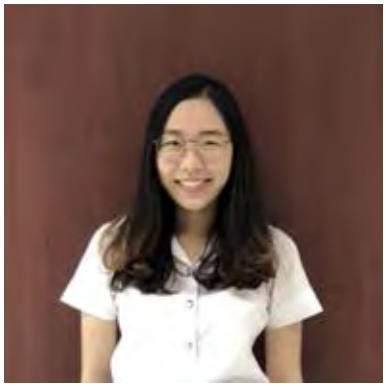
Zhang, P., Whistler, R.L., BeMiller, J.N., and Hamaker, B.R. (2005). Banana starch: Production, physicochemical properties, and digestibility-A review. Carbohydrate Polymers 59: 443-458

Wani, A.A., Wani, I.A., Hussain, P.R., Gani, A., Wani, T.A., and Masoodi, F.A. (2015). Physicochemical properties of native and -irradiated wild arrowhead (Sagittaria sagittifolia L.) tuber starch. International Journal of Biological Macromolecules 77: 360-368.

Verbeken, D., Bael, K., Thas, O., and Dewettinck, K. (2006). Interactions between k-carrageenan, milk proteins and modified starch in sterilized dairy desserts International Dairy Journal 16: 482-488.

ภาคผนวก ง

ประวัติผู้วิจัย



ชื่อ-สกุล	นางสาวปุณญานุช สุทธิบุญ
ตำแหน่ง	หัวหน้าโครงการ
วุฒิการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.)
ภาควิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีที่สำเร็จการศึกษา	2562
โทรศัพท์	081-411-4880
Email	queen_pyn@hotmail.com

ชื่อ-สกุล	นางสาวพัณณิดา ถนอมกุล
ตำแหน่ง	ผู้วิจัยร่วม
วุฒิการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.)
ภาควิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีที่สำเร็จการศึกษา	2562
โทรศัพท์	085-388-9450
Email	boom_pannida@hotmail.com