โครงการ
การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ การพัฒนาผลิตภัณฑ์ไส้กรอกจากพืช
(Development of plant-based sausage)

ชื่อนิสิต นายภานุวัฒน์ พงศ์ศรีเพียร
นายอนวัช วนาภิรมย์

ภาควิชา เทคโนโลยีทางอาหาร
ปีการศึกษา 2562

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายงานการวิจัย

ภายใต้โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

เรื่อง

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ไส้กรอกจากพืช

Development of plant-based sausage

โดย

นาย ภานุวัฒน์ พงศ์ศรีเพียร

นาย อนวัช วนาภิรมย์

ประจำปีการศึกษา 2562

ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร

คณะวิทยาศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ไส้กรอกจากพืช

โดย

นาย ภานุวัฒน์ พงศ์ศรีเพียร

นาย อนวัช วนาภิรมย์

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐธิดา โชติช่วง

และ

อาจารย์ ดร. สาริศา สุริยรักษ์

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมสร้างประสบการณ์

ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร

ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประจำปีการศึกษา 2562

Development of plant-based sausage

Panuwat Pongsripian

Anawat Wanapirom

Project Adviser

Nattida Chotechuang, Assistant, Ph.D.

Sarisa Suriyarak, Dr.rer.nat.

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 2019

หัวข้องานวิจัย	การพัฒนาผลิตภัณฑ์ไส้กรอกจากพืช
โดย	นายภานุวัฒน์ พงศ์ศรีเพียร
	นายอนวัช วนาภิรมย์
สาขาวิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐธิดา โชติช่วง
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ ดร. สาริศา สุริยรักษ์
ปีการศึกษา	2562

ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อนุมัติให้รายงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีทางอาหาร

ประจำปีการศึกษา 2562

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.ขนิษฐา ธนานุวงศ์)

หัวหน้าภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร

.....

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐธิดา โชติช่วง

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

.....

อาจารย์ ดร. สาริศา สุริยรักษ์

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

หัวข้องานวิจัย การพัฒนาผลิตภัณฑ์ไส้กรอกจากพืช

โดย นายภานุวัฒน์ พงศ์ศรีเพียร

นายอนวัช วนาภิรมย์

สาขาวิชา เทคโนโลยีทางอาหาร

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐธิดา โชติช่วง

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์ ดร. สาริศา สุริยรักษ์

ปีการศึกษา 2562

บทคัดย่อ

ในกระบวนการทำปศุสัตว์เพื่อผลิตอาหารเป็นการสร้างมลภาวะแก่สิ่งแวดล้อมอย่างมาก อีกทั้งยังใช้พื้นที่ น้ำและทรัพยากรจำนวนมาก อาหารมังสวิรัติจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ช่วยลดการสร้างมลภาวะแก่สิ่งแวดล้อม อีกทั้งผู้บริโภคหันมาสนใจอาหารมังสวิรัติมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นจึงทำให้การเติบโตของตลาดอาหารมังสวิรัติเพิ่มมากขึ้น และในปัจจุบันไส้กรอกเป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์อาหารที่ได้รับความนิยมอย่างมาก แต่ไส้กรอกจากเนื้อสัตว์ส่วนใหญ่จะมีปริมาณไขมันอิ่มตัวและโคเลสเตอรอลสูง ซึ่งเป็นหนึ่งในสาเหตุของโรคอ้วน และโรคหลอดเลือดหัวใจ จึงทำให้เกิดไส้กรอกทางเลือกที่ทำจากโปรตีนพืช งานวิจัยนี้จึงสนใจพัฒนาผลิตภัณฑ์ไส้กรอกโดยใช้วัตถุดิบทั้งหมดจากพืช ประกอบด้วยโปรตีนถั่วลันเตา โปรตีนข้าวกล้อง น้ำมันรำข้าว น้ำมันคาโนลา ที่อุดมไปด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัว เช่น โอเมก้า 3 เพื่อช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการทำให้ผลิตภัณฑ์นี้ส่งผลดีต่อสุขภาพมากกว่าผลิตภัณฑ์ไส้กรอกจากเนื้อสัตว์ เนื่องจากมีไขมันน้อยกว่าไส้กรอกเนื้อสัตว์ถึง 70 เปอร์เซ็นต์ โดยการศึกษานี้ได้ทำการแปรสัดส่วนของแหล่งของโปรตีน คือ โปรตีนถั่วลันเตา 100 เปอร์เซ็นต์ (Pea100), โปรตีนถั่วลันเตา 50 เปอร์เซ็นต์และโปรตีนข้าวกล้อง 50 เปอร์เซ็นต์ (Pea50Rice50) และโปรตีนข้าวกล้อง 100 เปอร์เซ็นต์ (Rice100) จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Profile Analysis), การวัดค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) และค่าสี L* (lightness), a* (redness) และ b* (yellowness) โดยเปรียบเทียบกับตัวอย่างผลิตภัณฑ์ไส้กรอกทางการค้าที่ใช้เป็นตัวอย่างควบคุมทั้งไส้กรอกเนื้อสัตว์และไส้กรอกเจ จากการศึกษาพบว่า ตัวอย่างไส้กรอกทุกชนิด มีค่า Hardness ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และไส้กรอก Pea100 มีค่า Firmness และ Adhesiveness ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับตัวอย่างควบคุมไส้กรอกเจ ($p < 0.05$) นอกจากนี้ ยังพบว่า ค่า a_w ของไส้กรอก Rice100 มีค่าใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุมไส้กรอกเจและไส้กรอกเนื้อสัตว์มากที่สุด ($p < 0.05$) และเมื่อพิจารณาค่าสี พบว่า เมื่อใส่โปรตีนข้าวกล้องปริมาณมากขึ้นทำให้ค่าสี L*, a* และb* มีค่าเพิ่มมากขึ้น

Project Title	Development of plant-based sausage
Student	Panuwat Pongsripian
	Anawach Wanaphirom
Study Program	Bachelor of Science in Food Technology
Advisor	Asst. Prof. Nattida Chotechuang, Ph.D.
Co-Advisor	Sarisa Suriyarak, Dr.rer.nat.
Academic Year	2019

ABSTRACT

In the process of livestock farming for human consumption, it creates the pollution to damage the environment. This also consumes the large amount of agricultural area, water and natural resources. Vegetarian food is one of the alternative choices to help preventing human-made pollution. In addition, people are increasingly interested in vegan food and the vegan food market has significantly grown over the last few years. Nowadays, sausage has become one of the most popular food in the market. Unfortunately, meat sausage contains high saturated fatty acid and cholesterol which cause obesity, cardiovascular disease and increase the risk of cancer. This study aims to develop the plant-based sausage using all plant ingredients (meat-free), including pea protein, rice protein, rice bran oil, canola oil. That is rich in omega-3 and healthier nutrition value than meat product because of its fat content is lower by 70%. In this study, the plant-based sausage was determined the effect of 3 different protein ratios, which are Pea protein 100% (Pea100), Pea protein 50% and Rice protein 50% (Pea50Rice50) and Rice protein 100% (Rice100), on textural parameters, water activity (a_w) and color parameter (L*, a* and b*) compared with the commercial meat control sample and vegan control sample. The results showed that there was no significant difference ($p<0.05$) of hardness among the treatments. The Pea100 sample had no significant difference ($p<0.05$) in firmness and adhesiveness in comparison with commercial vegan control sample. Moreover, the Rice100 showed no significant difference ($p<0.05$) in a_w compared with meat control sample and vegan control sample. Considering color parameters, the inclusion of rice protein resulted in an increase of L*, a* and b*.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยชิ้นนี้เป็นส่วนหนึ่งของการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ในระดับปริญญาบัณฑิต ของภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยได้รับเงินอุดหนุนจาก งบประมาณของโครงการการเรียนการสอนเพื่อส่งเสริมประสบการณ์ ปีการศึกษา 2562 คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมีผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐธิดา โชติช่วงและอาจารย์ ดร. สาริศา สุริยรักษ์ เป็นที่ปรึกษาร่วม

งานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี คณะวิจัยขอขอบคุณ ผศ.ดร.ณัฐธิดา โชติช่วงและอาจารย์ ดร. สาริศา สุริยรักษ์ เป็นอย่างสูงที่สละเวลา ให้คำแนะนำและ ให้คำปรึกษาต่างๆในระหว่างดำเนินงานวิจัย ตลอดจนการตรวจทานและแก้ไขให้งานวิจัยเล่มนี้ออกมาสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารและเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการปฏิบัติการทุกท่าน รวมถึงเพื่อนนิสิตในชั้นปีและรุ่นพี่ที่ช่วยเหลือ ให้คำปรึกษาและอำนวยความสะดวกในด้านสถานที่ อุปกรณ์ เครื่องมือ และสารเคมีตลอดการดำเนินการทำงานวิจัย

คณะวิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า งานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์ไส้กรอกจากพืช และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่อไป

ด้วยความเคารพอย่างสูง

นายภานุวัฒน์ พงศ์ศรีเพียร

นายอนวัช วนาภิรมย์

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย	2
บทที่ 2 วารสารปริทัศน์	3
2.1 เนื้อจากพืช	3
2.2 โปรตีน	3
2.3 ไขมัน	5
2.4 คาร์ราจีแนน	6
2.5 ผงบุก	7
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	8
3.1 วัตถุดิบ	8
3.2 เครื่องมือ	9
3.3 ขั้นตอนในการดำเนินงาน	9
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล	11
4.1 ผลการวิจัย	11
4.2 วิจารณ์ผลการวิจัย	20

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 22

5.1 สรุปผลการวิจัย 22

5.2 ข้อเสนอแนะ 22

เอกสารอ้างอิง 23

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 Protein Content and Amino Acid Composition of Selected Cereal, Legume, and Animal Foods 5

2.2 ปริมาณกรดไขมันชนิดต่างๆ (g) ต่อน้ำมัน 100 g ในน้ำมันทั้ง 3 ชนิด 6

4.1 ค่า Firmness, Toughness, Hardness, Adhesiveness, Springiness, Cohesiveness และ Chewiness ของตัวอย่างผลิตภัณฑ์ไส้กรอก 13

4.2 ค่า a_w ของตัวอย่างผลิตภัณฑ์ไส้กรอก 17

4.3 ค่า L*, a* และ b* ของตัวอย่างผลิตภัณฑ์ไส้กรอก 18

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	โครงสร้าง kappa-carrageenan	7
2.2	โครงสร้างผงบุก	8
4.1	ผลของปริมาณและชนิดของโปรตีนต่อค่า Firmness ของตัวอย่างเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างไส้กรอกเจและตัวอย่างไส้กรอกเนื้อสัตว์	13
4.2	ผลของปริมาณและชนิดของโปรตีนต่อค่า Toughness ของตัวอย่างเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างไส้กรอกเจและตัวอย่างไส้กรอกเนื้อสัตว์	14
4.3	ผลของปริมาณและชนิดของโปรตีนต่อค่า Hardness ของตัวอย่างเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างไส้กรอกเจและตัวอย่างไส้กรอกเนื้อสัตว์	14
4.4	ผลของปริมาณและชนิดของโปรตีนต่อค่า Adhesiveness ของตัวอย่างเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างไส้กรอกเจและตัวอย่างไส้กรอกเนื้อสัตว์	15
4.5	ผลของปริมาณและชนิดของโปรตีนต่อค่า Springiness ของตัวอย่างเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างไส้กรอกเจและตัวอย่างไส้กรอกเนื้อสัตว์	15
4.6	ผลของปริมาณและชนิดของโปรตีนต่อค่า Cohesiveness ของตัวอย่างเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างไส้กรอกเจและตัวอย่างไส้กรอกเนื้อสัตว์	16
4.7	ผลของปริมาณและชนิดของโปรตีนต่อค่า Chewiness ของตัวอย่างเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างไส้กรอกเจและตัวอย่างไส้กรอกเนื้อสัตว์	16
4.8	ตัวอย่างควบคุมไส้กรอกเนื้อสัตว์, ตัวอย่างควบคุมไส้กรอกเจ, ตัวอย่างไส้กรอก Pea100, ตัวอย่างไส้กรอก Pea50Rice50 และตัวอย่างไส้กรอก Rice100	18

4.9 ผลของปริมาณและชนิดของโปรตีนต่อค่าสี L* ของตัวอย่างเมื่อ 19
เปรียบเทียบกับตัวอย่างไส้กรอกเจและตัวอย่างไส้กรอกเนื้อสัตว์
4.10 ผลของปริมาณและชนิดของโปรตีนต่อค่าสี a* ของตัวอย่างเมื่อ 19
เปรียบเทียบกับตัวอย่างไส้กรอกเจและตัวอย่างไส้กรอกเนื้อสัตว์
4.11 ผลของปริมาณและชนิดของโปรตีนต่อค่าสี b* ของตัวอย่างเมื่อ 20
เปรียบเทียบกับตัวอย่างไส้กรอกเจและตัวอย่างไส้กรอกเนื้อสัตว์

บทที่ 1

บทนำ (Introduction)

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ได้จากสัตว์สร้างมลภาวะแก่สิ่งแวดล้อมอย่างมาก (Bruinsma, 2009; Koneswaran and Nierenberg, 2008) อีกทั้งยังใช้พื้นที่ น้ำและทรัพยากรจำนวนมาก ซึ่งการเปลี่ยนพืชผลทางการเกษตรไปเป็นโปรตีนจากเนื้อสัตว์นั้นใช้พลังงานจำนวนมาก (Cassidyet al., 2013; de Boer et al., 2017; Wilkinson, 2011) ดังนั้นอาหารมังสวิรัติจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ช่วยลดการสร้างมลภาวะแก่สิ่งแวดล้อม

มังสวิรัติ หมายถึง การงดเว้นเนื้อสัตว์ ทั้งนี้อาจรวมหรือไม่รวมไข่และผลิตภัณฑ์จากนม ในปัจจุบันพบว่าผู้คนจำนวนมากหันมาให้ความสนใจและบริโภคมังสวิรัติกันมากขึ้น เนื่องจากผู้บริโภคเห็นถึงความสำคัญต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพมากขึ้น จากการศึกษาทางระบาดวิทยาพบว่า การบริโภคอาหารที่มาจากพืชจะช่วยป้องกันการเกิดโรคมะเร็ง โรคหลอดเลือดหัวใจ และโรคเรื้อรังอื่นๆ (Anderson & Major, 2002; Bazzano et al., 2001; Bellisle & Slama, 2002; Champ, 2002; Dillard & German, 2000; Rizkalla, Bazzano, Tees, & Nguyen, 2008; Rochfort & Panozzo, 2007) จึงนำไปสู่การพัฒนา Plant-based meat เพื่อมาแทนที่เนื้อสัตว์

Plant-based meat คือ ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์จากโปรตีนพืชที่มีส่วนประกอบของ กลูเตนข้าวสาลี โปรตีนถั่วเหลือง เห็ด ข้าว และพืชตระกูลถั่ว โดยเติมสารที่ใช้ปรุงแต่งกลิ่นและรสชาติเพื่อให้มีกลิ่นและรสชาติเหมือนเนื้อสัตว์ ในบรรดาผลิตภัณฑ์ที่ทดแทนเนื้อที่เรารู้จักกันดีคือเนื้อที่ทำมาจากเต้าหู้ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากถั่วเหลือง (Shurtleff and Aoyagi, 2011) กลูเตนแป้งสาลีที่ใช้ทำเนื้อสาลี (Malav et al., 2015) และฟองเต้าหู้ ซึ่งได้จากชั้นบางๆที่อยู่บนผิวหน้าน้ำเต้าหู้ต้ม อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์เหล่านี้ยังไม่สามารถทดแทนเนื้อในประเทศทางตะวันตกได้ เพราะขาดลักษณะสำคัญที่ผู้ที่บริโภคเนื้อจะให้การยอมรับ (Hoek et al. (2011, 2013))

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาอัตราส่วนของโปรตีนจากถั่วลันเตาและข้าวกล้องที่เหมาะสมสำหรับไส้กรอกจากโปรตีนพืช
2. ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของไส้กรอกจากโปรตีนพืช

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. ได้ผลิตภัณฑ์ไส้กรอกจากพืชที่มีคุณค่าทางโภชนาการที่ดี

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์ (Literature review)

2.1 เนื้อจากพืช (Plant-based meat)

เนื้อจากพืชเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับผลิตภัณฑ์แทนเนื้อสัตว์ การพัฒนาเพื่อให้คุณลักษณะด้านรสชาติและผิวสัมผัสสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อจากพืชให้เป็นที่ยอมรับจึงเป็นเรื่องที่ท้าทายสำหรับผู้ผลิตเป็นอย่างมาก (Egbert and Borders, 2006) ในปัจจุบันจะเห็นว่าคุณลักษณะด้านต่างๆของเนื้อจากพืชแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน เช่น ผิวสัมผัส รสชาติ สี โดยขึ้นอยู่กับส่วนประกอบที่ใช้ เพื่อให้เข้าใจถึงผลกระทบของส่วนประกอบที่มีผลต่อคุณลักษณะด้านต่างๆของเนื้อจากพืช เราคณะผู้วิจัยจึงศึกษาจากตัวแปรต่างๆในสูตรทั่วไปของเนื้อจากพืชของ Egbert and Borders (2006) ประกอบด้วย น้ำ 50%-80% โปรตีนจากพืชที่ใช้ปรับเนื้อสัมผัส 10%-25% โปรตีนอื่นๆ 4%-20% เครื่องปรุงรส 3%-10% ไขมัน 0%-15% ตัวประสาน 1%-5% สารแต่งสี 0%-0.5%

2.2 โปรตีน

โปรตีน มีคุณสมบัติเฉพาะคืออุ้มน้ำและน้ำมันได้ ละลายได้ เป็นตัวอิมัลซิฟายเออร์ สามารถเกิดโฟมและเจลได้ ซึ่งจำเป็นต่อโครงสร้างของเนื้อเทียม อย่างไรก็ตามคุณสมบัติเหล่านี้ขึ้นอยู่กับชนิดของโปรตีนที่นำมาใช้ นอกจากนี้สภาวะแวดล้อม เช่น pH อุณหภูมิ อาจมีผลต่อคุณสมบัติและโครงสร้างของโปรตีนได้ด้วยเช่นกัน

โปรตีนจากข้าวกล้อง

โปรตีนจากข้าวกล้องถือได้ว่าเป็นหนึ่งในโปรตีนจากพืชที่สำคัญอีกชนิดหนึ่งที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง มีกรดอะมิโน และสารต้านอนุมูลอิสระ อีกทั้งโปรตีนที่ได้จากข้าวยังปราศจากกลูเตนและไม่ค่อยพบคนมีอาการแพ้ ทำให้ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในอาหารสำหรับเด็กอ่อนและผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีกลูเตน (Zheng et al., 2019)

โปรตีนจากถั่วเหลือง

ในถั่วเหลืองมีกรดอะมิโนจำเป็นปริมาณ เช่น lysine และ glutamic ซึ่งองค์ประกอบของกรดอะมิโนมีความใกล้เคียงกับองค์ประกอบของกรดอะมิโนในมนุษย์ในด้านโครงสร้างทางพันธุกรรม มี คุณค่าทางโภชนาการอย่างมากและอุดมไปด้วยโปรตีน (Sen Gupta & Ghosh, 2017)

โปรตีนจากถั่วลันเตา

ถั่วลันเตามีแป้งและโปรตีนสูงมาก ซึ่งประกอบด้วยแป้งมากกว่า 50% และโปรตีน 20%-30% (Aluko, Mofolasayo, & Watts, 2009; Gueguen, 1983; Koyoro & Powers, 1987) และเป็นแหล่งของ กรดอะมิโน อย่างไรก็ตามเมื่อเทียบกับโปรตีนจากถั่วเหลืองโปรตีนจากถั่วลันเตาจะมีข้อจำกัดด้านสมบัติเชิง หน้าที่ (Shand, Ya, Pietrasik, & Wanasundara, 2007)

โปรตีนจากถั่วลูกไก่

ถั่วลูกไก่เป็นพืชตระกูลถั่วที่ปลูกกันอย่างกว้างขวางเป็นอันดับ 2 ของโลก เมล็ดของถั่วลูกไก่อุดมไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการซึ่งมีมากกว่าพืชตระกูลถั่วชนิดอื่นๆ (Jukanti, Gaur, Gowda, & Chibbar, 2012) จากการศึกษาของ Jukanti et al., (2012) พบว่าถั่วลูกไก่ช่วยป้องกันการเกิดโรคเบาหวาน ประเภทที่ 2 โรคทางเดินอาหาร และมะเร็ง (Jukanti et al., 2012) ข้อดีส่วนใหญ่ของถั่วลูกไก่ไม่ได้มาจากองค์ประกอบของโปรตีน แต่มาจากอย่างอื่น เช่น ใยอาหาร แป้ง อะไมโลส ไฟโตสเตอรอล และแคโรที นอยด์ (Jukanti et al., 2012) อย่างไรก็ตามโปรตีนก็ยังคงเป็นองคป์ระกอบหลักของถั่วลูกไก่ด้วยปริมาณ โปรตีนที่มี 15%-30% (Paredes Lopez, Ordorica Falomir, & Olivares Vazquez, 1991)

โปรตีนจากถั่วเลนทิล

โปรตีนจากถั่วเลนทิลได้รับความสนใจอย่างมากจากอุตสาหกรรมอาหารเหมือนกับโปรตีนจากเมล็ดพืชอื่นๆ เนื่องจาก ไม่ใช่ถั่วเหลือง ไม่มีกลูเตน และไม่ใช่เนื้อสัตว์ (Boye, Zare, & Pletch, 2010; Liang & Tang, 2014) โปรตีนจากถั่วเลนทิลมีโกลบูลินมากถึง 50%-65% และอัลบูมิน 10%-25% ของ โปรตีนทั้งหมด (Boye et al., 2010; Jarpa-Parra, 2017)

ตารางที่ 2.1 Protein Content and Amino Acid Composition of Selected Cereal, Legume, and Animal Foods

Amino Acids Content (mg/100 g Product)	Food				
	Rice (Oryza spp.) brown of husked	Soybean (Glycine max)	Chickpea (Cicer arietinum)	Pea (Pisum sativum)	Lentil (Lens culinaris)
Ile	300	1889	891	961	1045
Leu	648	3232	1505	1530	1847
Lys	299	2653	1376	1692	1739
Met	183	525	209	205	194
Cys	84	552	238	252	221
Phe	406	2055	1151	1033	1266
Tyr	275	1303	589	616	789
Thr	307	1603	756	914	960
Trp	98	532	174	202	231
Val	433	1995	913	1058	1211
Arg	650	3006	1891	2142	2101
His	197	1051	531	514	662
Ala	474	1769	872	918	1041
Asx	808	4861	2332	2466	2798
Glux	1622	7774	3187	3632	4013
Gly	393	1736	807	911	1022
Pro	369	2281	849	878	1033
Ser	427	2128	1023	976	1273
Protein (g/100 g Product)	7.5	38	20.1	22.5	24.2

ที่มา : M. Neacsu, D. McBey and A.M. Johnstone, 2017

2.3 ไขมัน

การเติมไขมันหรือน้ำมันลงไปในส่วนผสมระหว่างกระบวนการผลิตจะมีผลต่อการเกิดโครงสร้างที่เป็นเส้นใย จากการศึกษาของ Gwiazda et al. (1987) พบว่าในขั้นตอนเอ็กซ์ทรูชัน (Extrusion) วัตถุดิบที่มีน้ำมันเป็นองค์ประกอบมากกว่า 15 wt% ส่งผลให้วัตถุดิบมีความลื่น ซึ่งส่งผลในด้านลบต่อการจัดตำแหน่งของโมเลกุลขนาดใหญ่ (Gwiazda et al., 1987) จาก Cheftel et al. (1992) และแรงเฉือนในกระบวนการเอ็กซ์

ทรูชัน (Cheftel et al., 1992) อย่างไรก็ตามข้อดีของการเติมไขมันหรือน้ำมันลงไปในส่วนผสมของเนื้อสัตว์จากโปรตีนพืชจะช่วยเพิ่มความชุ่มฉ่ำ ความนิ่ม และรสชาติ (Egbert and Borders, 2006) ที่เป็นองค์ประกอบสำคัญในการตัดสินใจของผู้บริโภค (Reig et al., 2008; Savell and Cross, 1988) ในปัจจุบันมีการใช้น้ำมันหลายชนิดในการผลิตผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์จากโปรตีนพืช เช่น น้ำมัน คาโนลา น้ำมันมะพร้าว น้ำมันดอกทานตะวัน น้ำมันปาล์ม การใส่น้ำมันลงในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์จากโปรตีนพืชจึงเป็นสิ่งจำเป็นเนื่องจากจะช่วยเพิ่มรสชาติให้กับผลิตภัณฑ์โดยการรักษากลิ่นและรสชาติไว้ (Resurreccion, 2004) 2.2.5 โปรตีนจากถั่วเลนทิล

2.3.1 น้ำมันรำข้าว

ในรำข้าวมีสารอาหารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพอยู่จำนวนมาก ดังนั้นน้ำมันรำข้าวที่สกัดได้จากรำข้าวจึงมีคุณค่าทางโภชนาการ

2.3.2 น้ำมันคาโนลา

ในน้ำมันคาโนลามีปริมาณไขมันอิ่มตัวที่ต่ำมากและมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวหนึ่งตำแหน่งและกรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่งปริมาณมาก

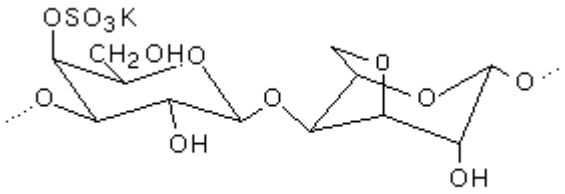
ตารางที่ 2.2 ปริมาณกรดไขมันชนิดต่างๆ (g) ต่อน้ำมัน 100 g ในน้ำมันทั้ง 2 ชนิด

ชนิดของน้ำมัน	กรดไขมันอิ่มตัว	กรดไขมันไม่อิ่มตัวหนึ่งตำแหน่ง	กรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่ง
น้ำมันรำข้าว	7.365	63.276	28.142
น้ำมันคาโนลา	19.7	39.3	35.0

ที่มา : USDA, 2019

2.4 คาร์ราจีแนน (Carrageenan)

คาร์ราจีแนนเป็นกัม (Gum) ชนิดหนึ่งซึ่งมีสมบัติเป็นไฮโดรคอลลอยด์คือดูดน้ำและแขวนลอยในน้ำใช้เป็นวัตถุเจือปนอาหาร (E407) คาร์ราจีแนนสกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีแดง (Rhodophyceae) เป็น Thickening agent ให้ความหนืด, เป็นอิมัลซิไฟเออร์ช่วยให้น้ำกับน้ำมันรวมเป็นเนื้อเดียวกันและเป็น Gelling agent ช่วยให้สารเกิดเจล โครงสร้างคาร์ราจีแนนเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ประเภทเฮทเทอโรพอลิแซ็กคาไรด์

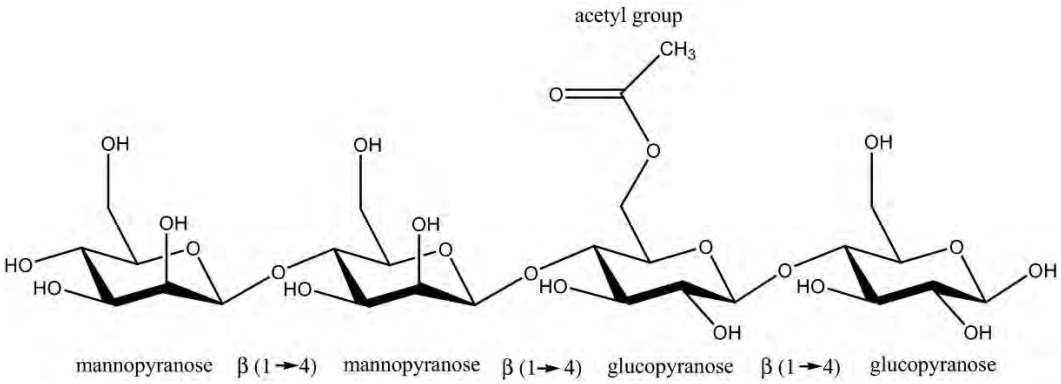


ภาพที่ 2.2 โครงสร้าง kappa-carrageenan

ที่มา : http://www.cybercolloids.net/information/technical-articles/introduction-carrageenan-structure

2.5 ผงบุก (Konjac Powder)

หัวบุกสดมีน้ำประมาณ 80-90% ส่วนที่เป็นของแข็ง เป็นสารอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต ซึ่งประกอบด้วย กลูโคแมนแนน (Glucomannan) ซึ่งประกอบด้วยน้ำตาลแมนโนส (Manose) และกลูโคส (Glucose) ในอัตราส่วน 3: 2 เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ (Glycosidic bond) ที่ตำแหน่งบีตา-1,4 กลูโคแมนแนนจากบุกมีสมบัติพิเศษหลายประการ คือ สามารถดูดน้ำได้มากถึง 100 เท่าของน้ำหนักตัว ละลายน้ำได้ดี ไม่ให้แคลอรี่ ไม่มีไขมัน ไม่มีโปรตีน นำมาใช้เป็นอาหารสุขภาพ เช่น อาหารลดน้ำหนัก อาหารสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวาน โดยนำมาขึ้นรูปให้เป็นเจลแล้วทำเป็นผลิตภัณฑ์อาหารได้หลากหลาย เช่น เส้นก๋วยเตี๋ยว พาสต้า



ภาพที่ 2.3 โครงสร้างผงบุก

ที่มา : https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2903/j.efsa.2017.4864

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง (Materials and methods)

3.1 วัตถุดิบ

3.1.1 ผงโปรตีนสกัดจากถั่ว

3.1.2 ผงโปรตีนสกัดจากข้าวกล้อง

3.1.3 ผงบุก

3.1.4 คาราจีแนน

3.1.5 น้ำมันคาโนลา ยี่ห้อเนเชอเรล

3.1.6 น้ำมันรำข้าว ยี่ห้ออัลฟาวัน

3.1.7 แป้งข้าวโพด ตราคนอร์

3.1.8 น้ำ

3.1.9 เกลือ

3.1.10 โซเดียมซิเตรท

3.1.11 กรดซิตริก

3.1.12 ไส้เซลลูโลส

3.1.13 ไส้กรอกเวียนเนอร์ ตราซีพี

3.1.14 ไส้กรอกกะเพราเจสปาฟู้ดส์

3.2 เครื่องมือ

3.2.1 เครื่องตีผสม KitchenAid

3.2.2 ตู้อบลมร้อน

3.2.3 Texture Analyzer รุ่น TA-XT2i

3.2.4 Konica Minolta Spectrophotometer CM700D/600D

3.2.5 Aqua Lab Series 3

3.3 ขั้นตอนในการดำเนินงาน

3.3.1 การหาสูตรที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์ไส้กรอก

เริ่มจากศึกษาการเกิดเจลอิมัลชันของไส้กรอกเพื่อนำมาใช้ในการเตรียมไส้กรอก จากนั้นปรับอัตราส่วนของคาร์ราจีแนน ผงบุก และน้ำมันต่างๆให้เหมาะสม จากนั้นจึงทำการศึกษาและวิเคราะห์คุณสมบัติไส้กรอกจากโปรตีนพืชโดยการวัดค่าเนื้อสัมผัส ค่าสี และค่าน้ำอิสระ เมื่อได้อัตราส่วนที่ต้องการจึงนำแหล่งโปรตีนข้าวกล้องมาใช้ในการทดลองด้วยอัตราส่วนต่างๆ

3.3.2 ส่วนผสม

อัตราส่วนเจลโปรตีน

- ถั่วลันเตา 100%
- ข้าวกล้อง 100%
- ถั่วลันเตา 50% และข้าวกล้อง 50%

อัตราส่วนไขมัน

- น้ำมันรำข้าว 50% และน้ำมันคาโนลา 50%

3.3.3 วิธีทำการทดลอง

เตรียมเจลถั่วลันเตาและเจลข้าวกล้อง

1. ชั่งโปรตีนไอโซเลท (ถั่วลันเตา หรือ/และ ข้าวกล้อง) 132 กรัม ผสมลงในน้ำ 680 กรัม

2. ต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 15 นาที

ศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของโปรตีนทั้ง 2 ชนิด

1. ใส่เจลโปรตีน 40 กรัม ผงคาราจีแนน 2 กรัม ผงบุก 2 กรัม และน้ำ 28 กรัม ตีผสมให้เข้ากันเป็นเวลา 2 นาที

2. ใส่น้ำมันคาโนลา : น้ำมันรำข้าว ในอัตราส่วน 1:1 อย่างละ 5 กรัม ตีผสมเป็นเวลา 2 นาที

3. ใส่แป้งข้าวโพด 12 กรัม ตีผสมเป็นเวลา 16 นาทีโดนหยุดตีผสมเพื่อกวนด้วยไม้พายให้เข้ากัน

4. นำส่วนผสมที่ผสมเสร็จแล้วมาบรรจุลงไส้เซลลูโลส

5. นำไส้กรอกไปนึ่งเป็นเวลา 20 นาที

วัดค่าเนื้อสัมผัสของตัวอย่างด้วยเครื่อง Texture analyzer รุ่น TA-XT2i

คำนวณค่าทางสถิติด้วยโปรแกรม IBM SPSS รุ่น 22 และคำนวณความแตกต่างทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ด้วยวิธี LSD

บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

4.1 ผลการวิจัย

4.1.1 อิทธิพลของชนิดและปริมาณโปรตีนต่อเนื้อสัมผัสของไส้กรอก

การทดลองนี้ทำการทดสอบผลของปริมาณและชนิดของโปรตีนในไส้กรอกโปรตีนพืช (โปรตีนถั่วลันเตาและโปรตีนข้าวกล้อง) ต่อค่าเนื้อสัมผัสของไส้กรอก มาเปรียบเทียบกับไส้กรอกในท้องตลาด (ตัวอย่างควบคุม) ที่มีทั้งไส้กรอกเนื้อสัตว์และไส้กรอกเจ ที่เป็นตัวแทนของไส้กรอกทั้ง 2 ประเภทมาเป็นตัวอย่างอ้างอิง เพื่อหาความใกล้เคียงด้านเนื้อสัมผัสที่จะนำไปสู่การยอมรับของผู้บริโภคในอนาคต

ในการทดลองนี้ทำการทดสอบเนื้อสัมผัสโดย Warner Bratzler shear apparatus เพื่อทดสอบการตัดหรือการเฉือนของใบมีด โดยบันทึกค่าแรกสูงสุดต่อความหนาของตัวอย่าง จะให้ค่า Firmness และ Toughness และ Texture Profile Analysis (TPA) เพื่อทดสอบจำลองการใช้ฟันบดอาหาร โดยใช้หัวทดสอบแบบแผ่นแบนซึ่งมีแส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่กว่าขนาดของวัสดุในการกด (Compression test) ลงบนตัวอย่างอาหาร 2 ครั้ง

ค่า Firmness เป็นค่าที่แสดงถึงความแน่นเนื้อของตัวอย่างไส้กรอก เมื่อพิจารณาจากค่า Firmness พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของโปรตีนข้าวกล้องจะทำให้ค่า Firmness ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยที่ตัวอย่างไส้กรอก Pea100 กับตัวอย่างควบคุมไส้กรอกเจไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) และไม่มีตัวอย่างใดให้ค่าใกล้เคียงกับตัวอย่างไส้กรอกควบคุมเนื้อสัตว์ ($p<0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.1

ค่า Toughness หรือความเหนียว เป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถของวัสดุที่จะดูดซับพลังงานไว้ได้โดยไม่เกิดการแตกหัก ความเหนียวมีความสัมพันธ์กับความแข็งแรงและความสามารถในการยืดตัวของวัสดุ เมื่อพิจารณาจากค่า Toughness พบว่าให้ผลที่คล้ายกับค่า Firmness คือ ปริมาณของโปรตีนข้าวกล้องที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่า Toughness ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ภายในตัวอย่างไส้กรอกโปรตีนพืช ตัวอย่าง Pea100 มีค่า Toughness มากที่สุด และไม่มีตัวอย่างไส้กรอกโปรตีนพืชที่ให้ผลใกล้เคียงกับตัวอย่างไส้กรอกควบคุม ($p<0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.2

ค่า Hardness หรือความแข็ง เป็นแรงสูงสุดที่เกิดขึ้นระหว่างการกดหรือเทียบได้กับการเคี้ยวครั้งแรก เมื่อพิจารณาจากค่า Hardness พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณโปรตีนข้าวกล้องจะทำให้ค่า Hardness ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) และจากค่าที่วัดได้ กลุ่มตัวอย่างไส้กรอกโปรตีนพืชไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับตัวอย่างควบคุมทั้งสองตัวอย่าง ($p<0.05$) ซึ่งตัวอย่างทั้งหมดที่ใช้ในการทดลองหาค่า Hardness นี้ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ระหว่างกันดังแสดงในตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.3

ค่า Adhesiveness บ่งบอกถึงงานที่จำเป็นต่อการดึงฟันหรือหัววัดออกจากอาหาร เมื่อพิจารณาค่า Adhesiveness พบว่าตัวอย่างไส้กรอก Pea100 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) กับตัวอย่างควบคุมทั้งสอง แต่มีค่าน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) กับไส้กรอกตัวอย่าง Pea50Rice50 และ Rice100 โดยที่ตัวอย่าง Pea50Rice50 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับตัวอย่าง Rice100 ($p<0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.4

ค่า Springiness เป็นค่าที่บอกถึงความสามารถในการคืนตัวของตัวอย่างหลังการเสียรูปจากการกดครั้งแรกของตัวอย่าง เมื่อพิจารณาจากค่า Springiness พบว่าเมื่อปริมาณโปรตีนข้าวกล้องเพิ่มขึ้นมีแนวโน้มทำให้ค่า Springiness ลดลง โดยที่ตัวอย่างไส้กรอก Rice100 มีค่าน้อยกว่าตัวอย่าง Pea100 และ Pea50Rice50 อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) แต่ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มตัวอย่างควบคุมกับกลุ่มตัวอย่างไส้กรอกโปรตีนพืช ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.5

ค่า Cohesiveness เป็นพลังงานยึดเกาะกันภายในเนื้ออาหาร เมื่อพิจารณาจากค่า Cohesiveness พบว่ากลุ่มตัวอย่างไส้กรอกโปรตีนพืช มีค่าน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยที่ภายในกลุ่มตัวอย่างไส้กรอกโปรตีนพืชแต่ละตัวอย่าง ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.6

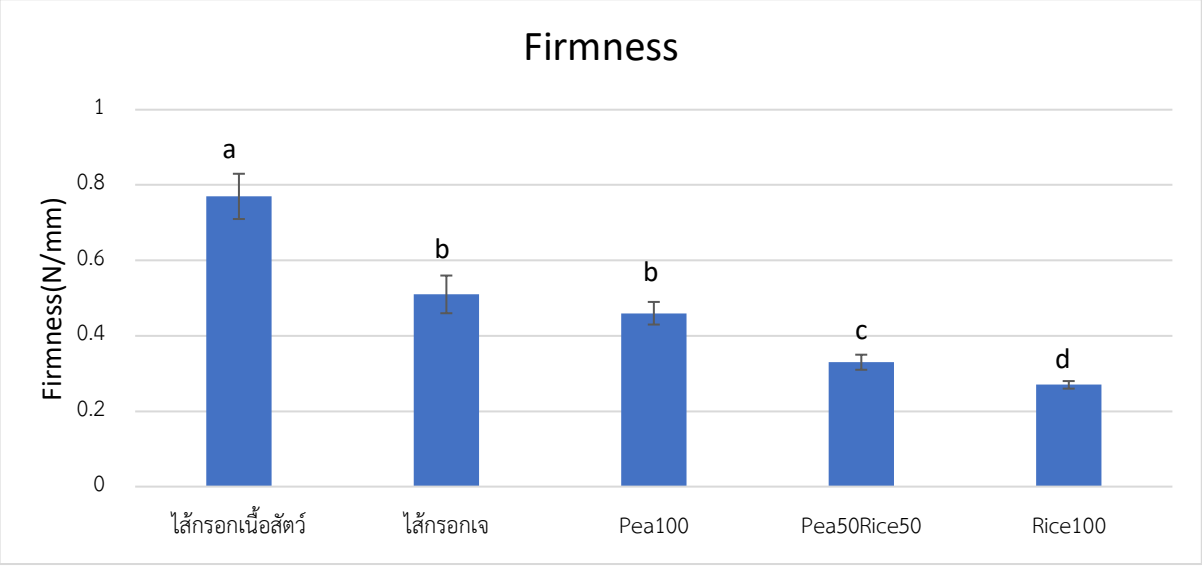
ค่า Chewiness เป็นพลังงานที่ใช้ในการเคี้ยวอาหาร เมื่อพิจารณาจากค่า Chewiness พบว่ากลุ่มตัวอย่างไส้กรอกโปรตีนพืช มีค่าน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยที่ภายในกลุ่มตัวอย่างไส้กรอกโปรตีนพืชแต่ละตัวอย่าง ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.7

ตารางที่ 4.1 ค่า Firmness, Toughness, Hardness, Adhesiveness, Springiness, Cohesiveness และ Chewiness ของตัวอย่างผลิตภัณฑ์ไส้กรอก

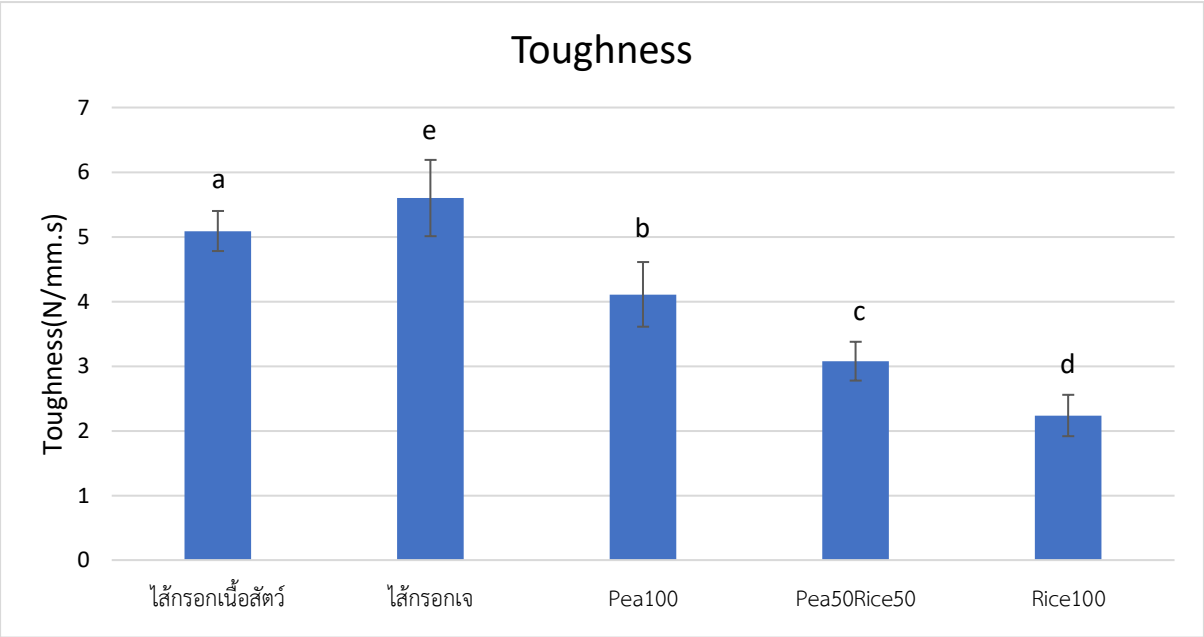
ชนิดตัวอย่าง / ค่าที่วัด	ตัวอย่างควบคุม		ปริมาณและชนิดโปรตีน		
	ไส้กรอกเนื้อสัตว์	ไส้กรอกเจ	Pea100	Pea50Rice50	Rice100
Firmness(N/mm)	0.77±0.06^{a}	0.51±0.05^{b}	0.46±0.03^{b}	0.33±0.02^{c}	0.27±0.01^{d}
Toughness(N/mm.s)	5.09±0.31^{a}	5.60±0.59^{e}	4.11±0.50^{b}	3.08±0.30^{c}	2.24±0.32^{d}
Hardness(g.force)	2640.87±291.65^{a}	2627.00±204.39^{a}	2475.42±172.95^{a}	2207.34±138.24^{a}	1811.35±151.80^{a}
Adhesiveness(g.sec)	-1.54±0.10^{a}	-1.11±0.17^{a}	-2.56±0.18^{a}	-21.79±1.66^{b}	-21.20±1.52^{b}
Springiness	0.92±0.09^{a}	0.67±0.08^{a}	0.46±0.04^{b}	0.44±0.05^{b}	0.31±0.02^{c}
Cohesiveness	0.78±0.08^{a}	0.57±0.05^{c}	0.24±0.03^{b}	0.23±0.02^{b}	0.28±0.03^{b}
Chewiness(g.force)	1898.66±197.74^{a}	1011.36±83.79^{c}	166.45±15.11^{b}	207.60±11.95^{b}	149.18±10.68^{b}

a, b, c แสดงถึงความแตกต่างของค่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

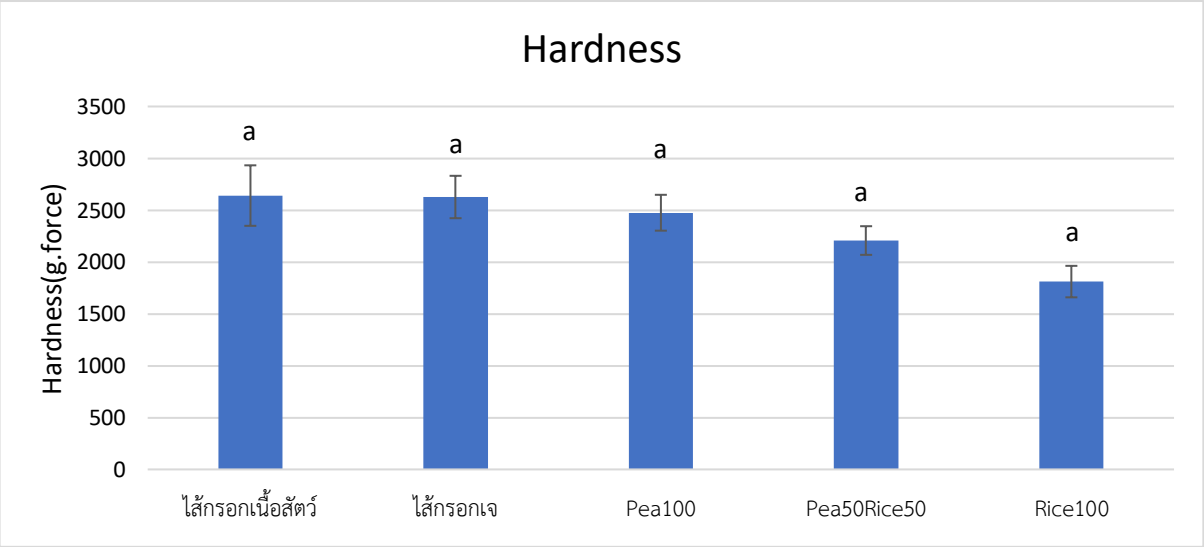
ค่าในตารางแสดงถึง ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ได้จากการทำการทดลอง 3 ซ้ำ



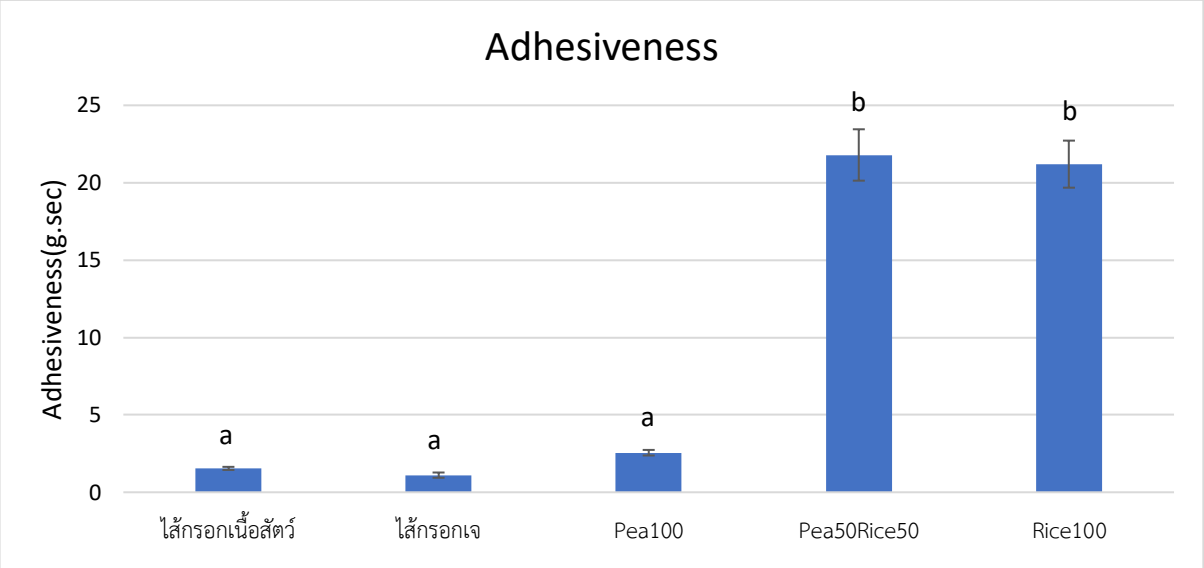
ภาพที่ 4.1 ผลของปริมาณและชนิดของโปรตีนต่อค่า Firmness ของตัวอย่างเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างไส้กรอกเจและตัวอย่างไส้กรอกเนื้อสัตว์ โดยที่ a,b,c แสดงถึงความแตกต่างของค่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติความเชื่อมั่น 95%



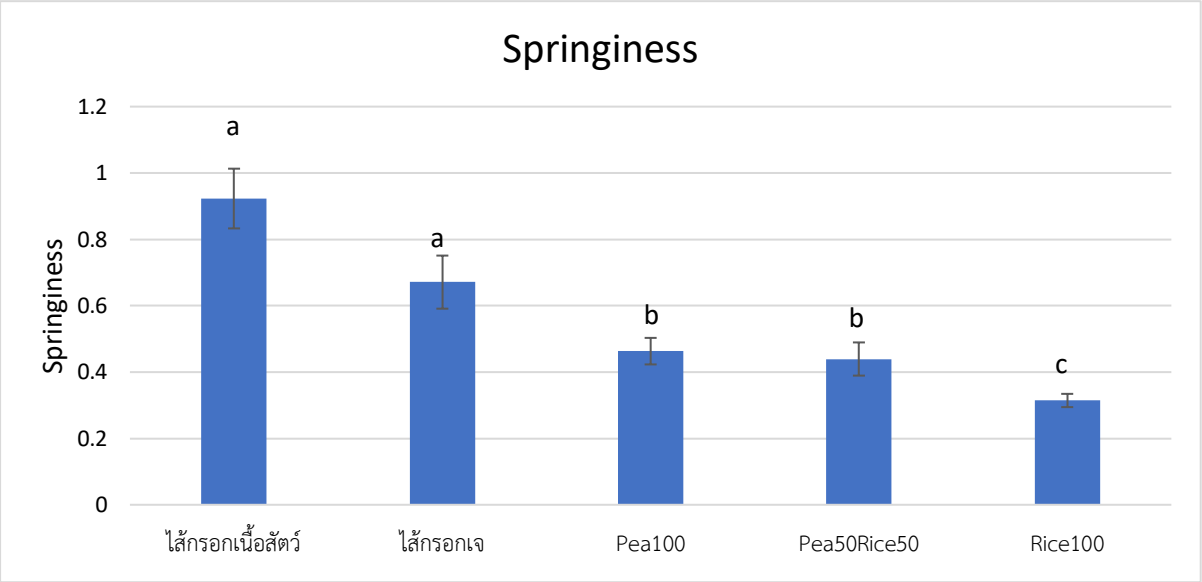
ภาพที่ 4.2 ผลของปริมาณและชนิดของโปรตีนต่อค่า Toughness ของตัวอย่างเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างไส้กรอกเจและตัวอย่างไส้กรอกเนื้อสัตว์ โดยที่ a,b,c แสดงถึงความแตกต่างของค่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติความเชื่อมั่น 95%



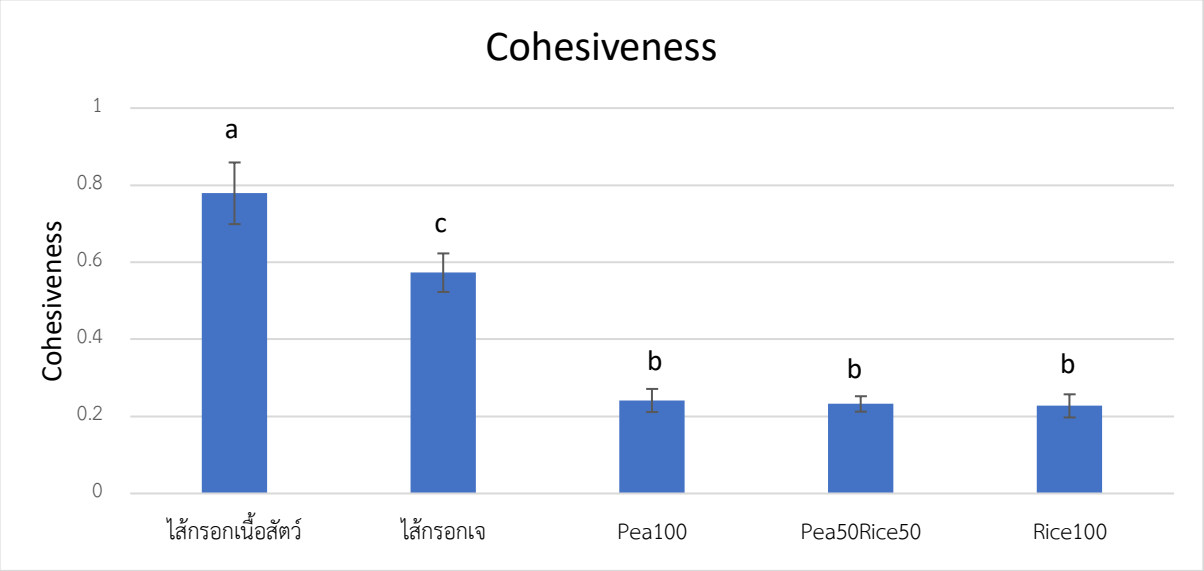
ภาพที่ 4.3 ผลของปริมาณและชนิดของโปรตีนต่อค่า Hardness ของตัวอย่างเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างไส้กรอกเจและตัวอย่างไส้กรอกเนื้อสัตว์ โดยที่ a,b,c แสดงถึงความแตกต่างของค่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติความเชื่อมั่น 95%



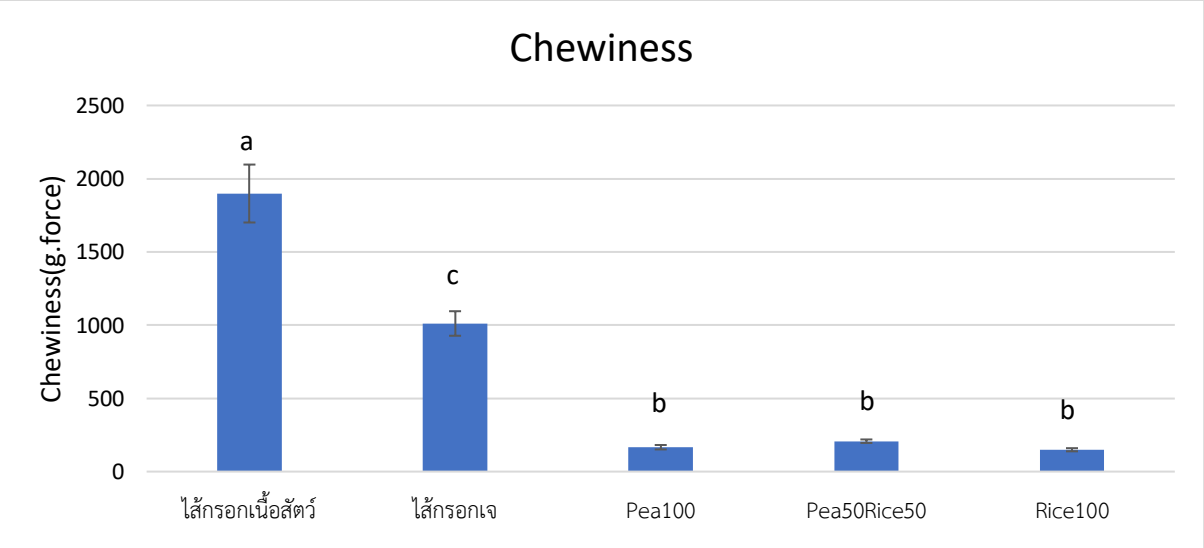
ภาพที่ 4.4 ผลของปริมาณและชนิดของโปรตีนต่อค่า Adhesiveness ของตัวอย่างเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างไส้กรอกเจและตัวอย่างไส้กรอกเนื้อสัตว์ โดยที่ a,b,c แสดงถึงความแตกต่างของค่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติความเชื่อมั่น 95%



ภาพที่ 4.5 ผลของปริมาณและชนิดของโปรตีนต่อค่า Springiness ของตัวอย่างเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างไส้กรอกเจและตัวอย่างไส้กรอกเนื้อสัตว์ โดยที่ a,b,c แสดงถึงความแตกต่างของค่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติความเชื่อมั่น 95%



ภาพที่ 4.6 ผลของปริมาณและชนิดของโปรตีนต่อค่า Cohesiveness ของตัวอย่างเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างไส้กรอกเจและตัวอย่างไส้กรอกเนื้อสัตว์ โดยที่ a,b,c แสดงถึงความแตกต่างของค่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติความเชื่อมั่น 95%



ภาพที่ 4.7 ผลของปริมาณและชนิดของโปรตีนต่อค่า Chewiness ของตัวอย่างเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างไส้กรอกเจและตัวอย่างไส้กรอกเนื้อสัตว์ โดยที่ a,b,c แสดงถึงความแตกต่างของค่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติความเชื่อมั่น 95%

4.1.2 อิทธิพลของชนิดและปริมาณโปรตีนต่อค่าน้ำอิสระของไส้กรอก

เมื่อพิจารณาค่า a_w หรือ Water activity เป็นค่าที่แสดงปริมาณของน้ำอิสระมีความสำคัญต่ออายุการเก็บรักษา การเสื่อมเสีย และความปลอดภัยของอาหาร จะเห็นว่าตัวอย่างไส้กรอกโปรตีนพืชทั้ง 3 ชนิดมีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับตัวอย่างควบคุมไส้กรอกเจ ($p<0.05$) และตัวอย่าง Rice100 มีความใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุมไส้กรอกเนื้อสัตว์ ($p<0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่า a_w ของตัวอย่างผลิตภัณฑ์ไส้กรอก

ชนิดตัวอย่าง / ค่าที่วัด	ตัวอย่างควบคุม		ปริมาณและชนิดโปรตีน		
	ไส้กรอกเนื้อสัตว์	ไส้กรอกเจ	Pea100	Pea50Rice50	Rice100
a_w	0.983 ± 0.002^{a}	0.977 ± 0.003^{ab}	0.974 ± 0.004^{b}	0.975 ± 0.004^{b}	0.977 ± 0.006^{ab}

a, b, c แสดงถึงความแตกต่างของค่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ค่าในตารางแสดงถึง ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ได้จากการทำการทดลอง 3 ซ้ำ

4.1.3 อิทธิพลของชนิดและปริมาณโปรตีนต่อค่าสีของไส้กรอก

ในการทดลองนี้ได้ทำการทดสอบผลของชนิดและปริมาณของโปรตีนพืช(โปรตีนถั่วลันเตาและโปรตีนข้าวกล้อง) ต่อค่าสี (L*, a* และ b*) เปรียบเทียบกับไส้กรอกในท้องตลาด (ตัวอย่างควบคุม) ที่มีผลต่อความชอบและการยอมรับของผู้บริโภค

ค่า L* หรือค่าความสว่าง (Lightness) ของตัวอย่างไส้กรอก เมื่อพิจารณาจากค่า L* พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณโปรตีนข้าวกล้องจะทำให้ค่า L* เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) หรือทำให้สีของไส้กรอกสว่างขึ้น แต่ยังน้อยกว่าตัวอย่างควบคุมไส้กรอกทั้งสอง ซึ่งค่า L* ในตัวอย่างไส้กรอกเนื้อสัตว์มีค่ามากที่สุด ($p<0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.9

ค่า a* หรือค่าความเป็นสีแดง (Redness) ของตัวอย่างไส้กรอก เมื่อพิจารณาจากค่า a* พบว่าค่า a* เมื่อเพิ่มปริมาณโปรตีนข้าวกล้องมีแนวโน้มทำให้ค่า a* เพิ่มขึ้นหรือทำให้สีของตัวอย่างไส้กรอกมีสีแดงมากขึ้น โดยตัวอย่าง Rice100 มีค่ามากกว่าตัวอย่าง Pea100 และ Pea50Rice50 อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) แต่ยังมีค่าน้อยกว่าไส้กรอกตัวอย่างควบคุมทั้งสองอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) และในตัวอย่างไส้กรอกเนื้อสัตว์มีค่า b* มากที่สุด ($p<0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.10

ค่า b* หรือค่าความเป็นสีเหลือง (Yellowness) ของตัวอย่างไส้กรอก เมื่อพิจารณาจากค่า b* พบว่า ค่า b* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณโปรตีนข้าวที่ใส่ไป นั่นคือโปรตีนข้าวทำให้ตัวอย่างไส้

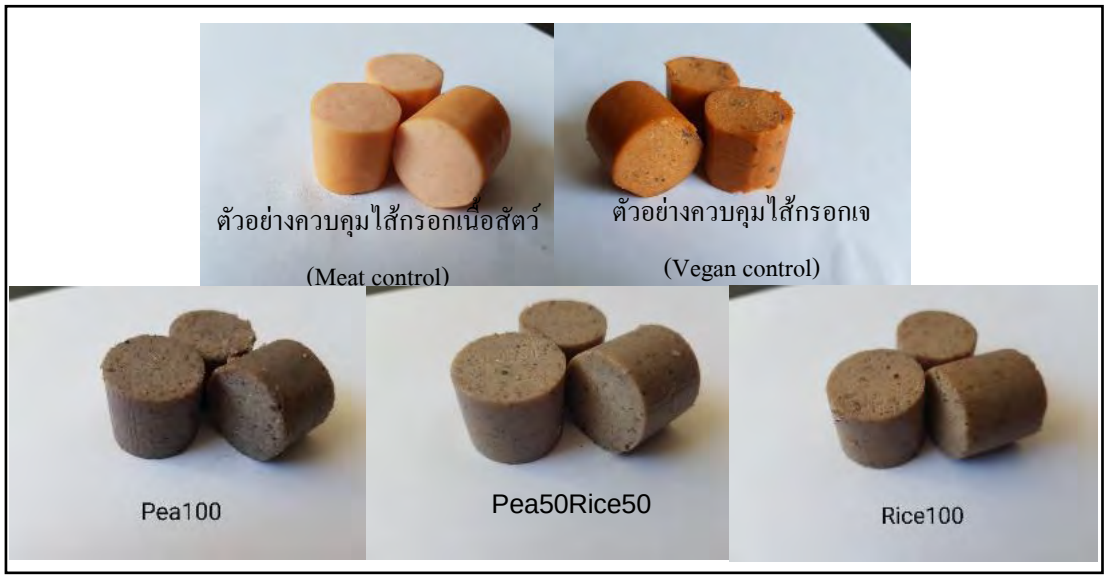
กรอกมีสีที่เหลืองมากขึ้น โดยตัวอย่าง Rice100 มีค่ามากกว่าตัวอย่าง Pea100 และ Pea50Rice50 อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) แต่ยังน้อยกว่าไส้กรอกตัวอย่างควบคุมทั้งสองอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) และในตัวอย่างไส้กรอกเนื้อสัตว์มีค่า b* มากที่สุด ($p<0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.11

ตารางที่ 4.3 ค่า L*, a* และ b* ของตัวอย่างผลิตภัณฑ์ไส้กรอก

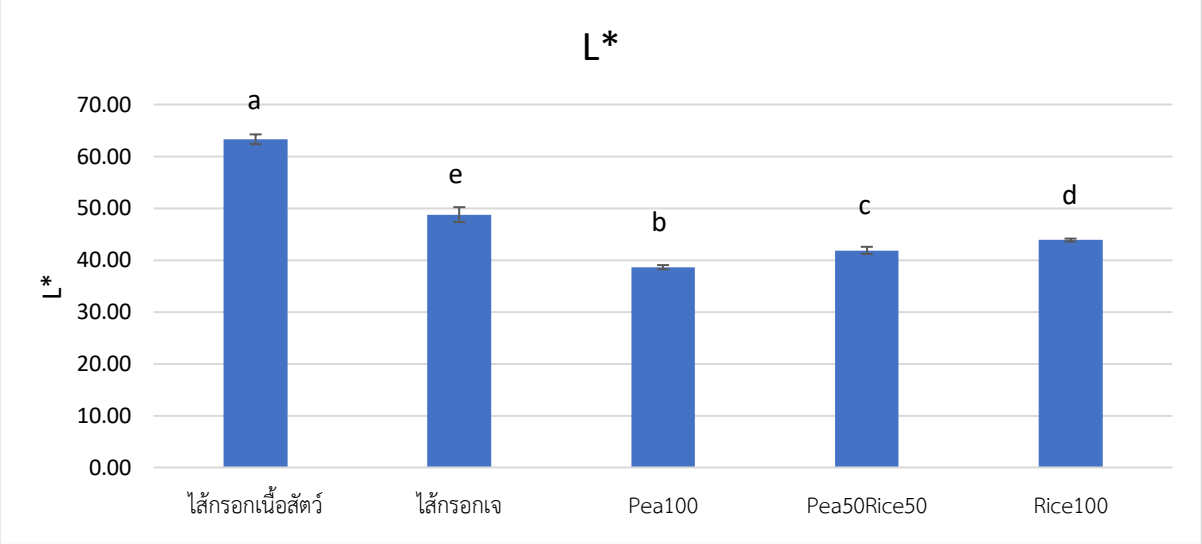
ชนิดตัวอย่าง / ค่าสี	ตัวอย่างควบคุม		ปริมาณและชนิดโปรตีน		
	ไส้กรอกเนื้อสัตว์	ไส้กรอกเจ	Pea100	Pea50Rice50	Rice100
L*	63.30±0.94[a]	48.77±1.43[e]	38.63±0.40[b]	41.87±0.69[c]	43.85±0.29[d]
a*	16.00±0.73[a]	19.90±0.77[d]	3.12±0.13[b]	3.82±0.24[b]	4.89±0.21[c]
b*	36.23±1.64[a]	32.58±1.01[s]	10.84±0.46[b]	13.07±0.74[b]	15.90±1.06[c]

a, b, c แสดงถึงความแตกต่างของค่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

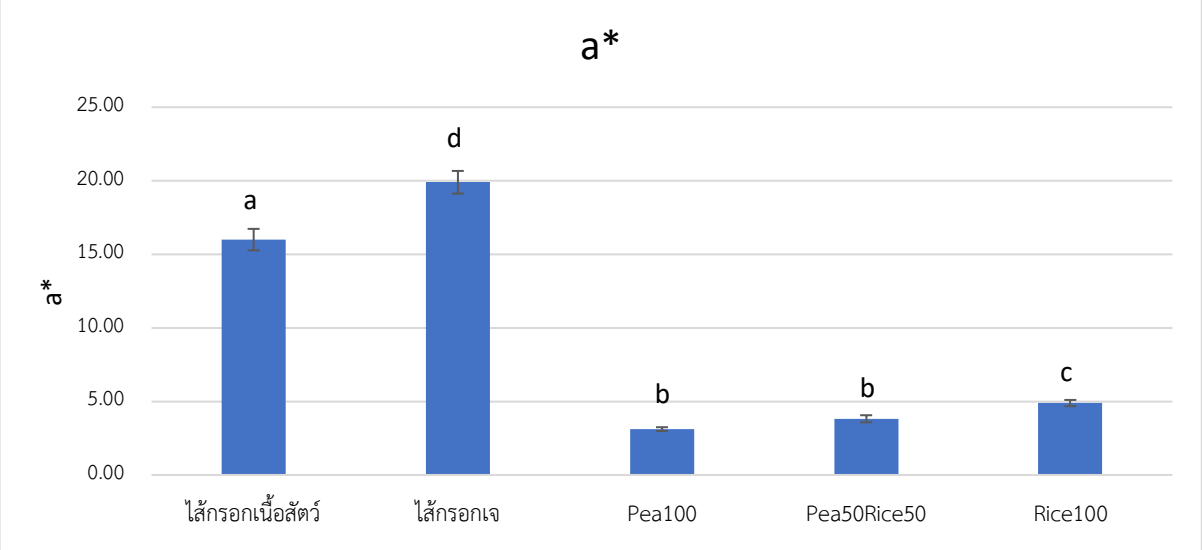
ค่าในตารางแสดงถึง ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ได้จากการทำการทดลอง 3 ซ้ำ



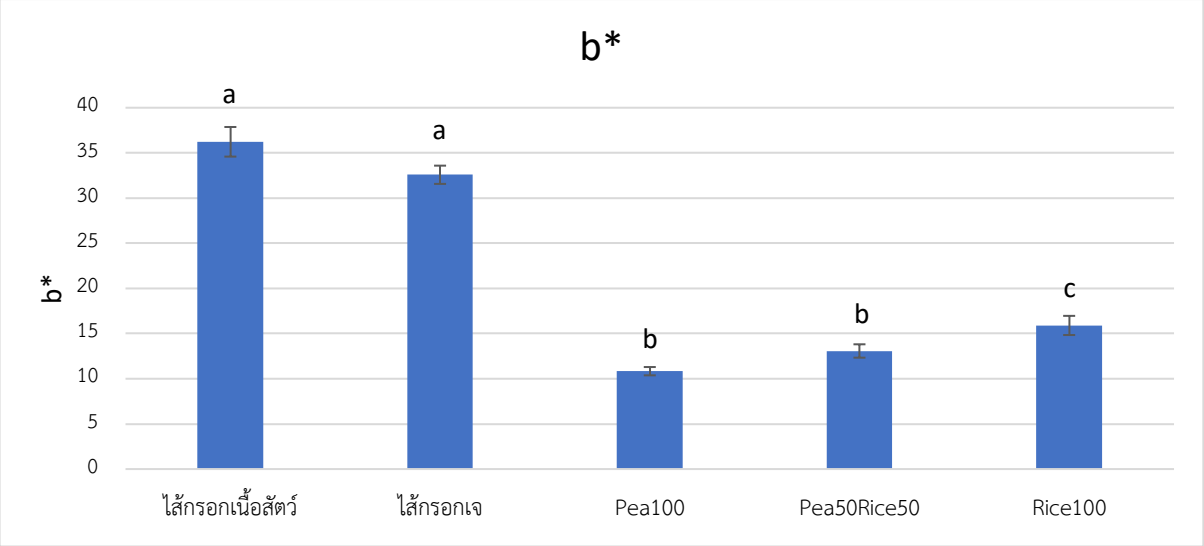
ภาพที่ 4.8 ตัวอย่างควบคุมไส้กรอกเนื้อสัตว์, ตัวอย่างควบคุมไส้กรอกเจ, ตัวอย่างไส้กรอก Pea100, ตัวอย่างไส้กรอก Pea50Rice50 และตัวอย่างไส้กรอก Rice100



ภาพที่ 4.9 ผลของปริมาณและชนิดของโปรตีนต่อค่าสี L* ของตัวอย่างเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างไส้กรอกเจและตัวอย่างไส้กรอกเนื้อสัตว์ โดยที่ a,b,c แสดงถึงความแตกต่างของค่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติความเชื่อมั่น 95%



ภาพที่ 4.10 ผลของปริมาณและชนิดของโปรตีนต่อค่าสี a* ของตัวอย่างเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างไส้กรอกเจและตัวอย่างไส้กรอกเนื้อสัตว์ โดยที่ a,b,c แสดงถึงความแตกต่างของค่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติความเชื่อมั่น 95%



ภาพที่ 4.11 ผลของปริมาณและชนิดของโปรตีนต่อค่าสี b* ของตัวอย่างเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างไส้กรอกเจและตัวอย่างไส้กรอกเนื้อสัตว์ โดยที่ a,b,c แสดงถึงความแตกต่างของค่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติความเชื่อมั่น 95%

เมื่อพิจารณาอิทธิพลของชนิดและปริมาณของโปรตีนโดยภาพรวมที่มีผลต่อเนื้อสัมผัส ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) และค่าสี (L*, a*, b*) ของไส้กรอก พบว่า ในด้านเนื้อสัมผัสตัวอย่างไส้กรอก Pea100 มีค่า Firmness, Hardness และAdhesiveness ใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุมไส้กรอกเจ ในขณะเดียวกันตัวอย่างไส้กรอก Pea50Rice50 และ Rice100 มีเพียงค่า Hardness ที่ใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุมไส้กรอกเจ ส่วนปริมาณน้ำอิสระกลุ่มตัวอย่างไส้กรอกโปรตีนพืชมีค่าใกล้เคียงกับกลุ่มตัวอย่างไส้กรอกควบคุม และค่าสีของกลุ่มตัวอย่างไส้กรอกโปรตีนพืชมีค่าไม่ใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุมใดเลย

4.2 วิจารณ์ผลวิจัย

จากผลการวิเคราะห์ค่าเนื้อสัมผัสสังเกตว่าตัวอย่างไส้กรอก Pea100 มีค่า Firmness สูงกว่าตัวอย่างอื่นอย่างมีนัยสำคัญในขณะที่การเพิ่มปริมาณโปรตีนข้าวกล้องทำให้มีค่า Adhesiveness เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งเกิดจากปริมาณและชนิดของกรดอะมิโนในโปรตีนข้าวกล้องกับโปรตีนถั่วลันเตามีความแตกต่างกัน จากงานวิจัยของ J.F. Zayas มีการศึกษาการอุ้มน้ำของโปรตีน พบว่ากรดอะมิโนไม่มีขั้ว เช่น Alanine และ Valine จะสามารถจับกับโมเลกุลน้ำได้น้อย ในขณะที่กลุ่มที่มีขั้ว เช่น Cysteine และ Threonine จับกับโมเลกุลน้ำได้ปานกลางและ กลุ่มไอออนิก เช่น Glutamic และ Lysine จับกับโมเลกุลน้ำได้มาก ซึ่งโปรตีนถั่วลันเตามีกรดอะมิโนที่มีที่มีขั้วและกลุ่มไอออนิกอยู่มากกว่าโปรตีนข้าว และจากงานวิจัยของ CARL และ LLOYD, 1982 พบว่า Proline เป็นกรดอะมิโนที่มีความสามารถในการอุ้มน้ำสูง

จากค่าสีทั้งสาม พบว่าไส้กรอกโปรตีนพืชมีค่า L*(lightness), a*(redness) และ b*(yellowness) น้อยกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ หรือมีสีที่คล้ำกว่า เขียวกว่าและ น้ำเงินมากกว่าตัวควบคุมทั้ง 2 ชนิดอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากตัวอย่างไส้กรอกโปรตีนพืชมีส่วนผสมของใยอาหารซึ่งเป็นผงที่มีสีคล้ำที่ตัวอย่างไส้กรอกควบคุมไม่มี จึงเป็นสาเหตุนึงให้ไส้กรอกจากพืชที่ได้มีสีที่เข้มกว่าตัวอย่างควบคุม

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากงานวิจัยสรุปได้ว่าตัวอย่างไส้กรอก Pea100 มีค่า Firmness และ Adhesiveness ใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุมไส้กรอกเจ โดยการใส่โปรตีนข้าวกล้องทำให้ค่า Adhesiveness เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับค่า Hardness จากผลการทดลองพบว่า ทุกตัวอย่างของไส้กรอกโปรตีนพืชมีค่า Hardness ใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุมไส้กรอกทั้ง 2 ชนิด และยังพบว่าการใส่โปรตีนข้าวทำให้ค่า Toughness และ Springiness ลดลง แต่ไม่ส่งผลกับค่า Cohesiveness และ Chewiness สำหรับค่าน้ำอิสระ (a_w) จากการทดลองพบว่าค่าน้ำอิสระในไส้กรอกโปรตีนพืชไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับตัวอย่างควบคุมไส้กรอกเจ และเมื่อพิจาณาค่าสี L* (lightness), a* (redness)และ b* (yellowness) พบว่ามีค่ามากขึ้นเมื่อใส่โปรตีนข้าวปริมาณมากขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ศึกษาค่า Water holding capacity ในตัวอย่างไส้กรอกโปรตีนพืช

5.2.2 ศึกษาผลของ Food additive จำพวกเกลือ Phosphate ที่นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกทางการค้าต่อเนื้อสัมผัสของไส้กรอกโปรตีนพืช

เอกสารอ้างอิง

Carl B. Anderson and Lloyd D. Witter. (1982). Water Binding Capacity of 22 L-Amino Acids from Water Activity 0.33 to 0.95. Journal of Food Science, Volume 47.:1952-1954

Cristina, T.F., Maria del Mar Contreras, Isidra, R., Manuel, A. and Javier, V. (2015). Identification and characterization of antioxidant peptides from chickpea protein hydrolysates. Food Chemistry, Volume 180.: 194-202

Dongze, L., Xiaojing, L., Gangcheng, W., Peiyan, L., Hui, Z., Xiguang, Q., Li, W. and Haifeng, Q. (2019). The characterization and stability of the soy protein isolate/1-Octacosanol nanocomplex. Food Chemistry, Volume 297.

Donporn, W., Monthana, W., Somsak, T. and Chi-Tang, H. (2019). Comparative study on amount of nutraceuticals in by-products from solvent and cold pressing methods of rice bran oil processing. Journal of Food and Drug Analysis, Volume 27.: 71-82

Food wiki. Carrageenan [Online] Available from:

http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1274 [2019, September 13]

Food wiki. Konjac Powder [Online] Available from:

http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1850/konjac-%E0%B8%9A%E0%B8%B8%E0%B8%81 [2020, June 13]

J.F. Zayas. (1997). Water Holding Capacity of Proteins. Functionality of Proteins in Food.: 76-133

Konstantina, K., Birgit, D. and Atze Jan van der Goot. (2019). Chapter 6 – Plant-Based Meat Analogues. Sustainable Meat Production and Processing.: 103-126

Maoshen, C., Juhui, L., Fei, L., John, N.A., Feifei, X., Douglas Goff, H., Jianguo, M. and Fang, Z. (2019). Study on the emulsifying stability and interfacial adsorption of pea proteins. Food Hydrocolloids, Volume 88.: 247-255

Marta, A., Iciar, A., Diana, A. and Shai, B. (2019). Using canola oil hydrogels and organogels to reduce saturated animal fat in meat batters. Food Research International, Volume 122.: 129-136

Neacsu, M., McBey, D. and Johnstone, A.M. (2017). Chapter 22 - Meat Reduction and Plant-Based Food: Replacement of Meat: Nutritional, Health, and Social Aspects. Sustainable Protein Sources.: 359375

USDA. Oil, Canola [Online]. 2019. Available from: https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/172336/nutrients [2019, September 13]

USDA. Oil, Rice Bran [Online]. 2019. Available from: https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/171013/nutrients [2019, September 13]

Yingxin, W., Supratim, G. and Michael T. Nickerson. (2019). Effect of pH on the formation of electrostatic complexes between lentil protein isolate and a range of anionic polysaccharides, and their resulting emulsifying properties. Food Chemistry, Volume 298.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

วิธีการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของอาหาร

ภาคผนวก ก.

วิธีการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของอาหาร

ก1. การวิเคราะห์ Firmness และ Toughness

อุปกรณ์

1. เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer)(Stable Micro system, รุ่น TA.XT2i, UK)

2. หัววัดชุดใบมีด HDV/WBV

วิธีการวิเคราะห์

1. ประกอบหัววัดเข้ากับเครื่องวัดเนื้อสัมผัส

2. Calibrate force โดยใช้ตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน 1,000 กรัม

3. Calibrate height โดยตั้งระยะหัววัดให้ห่างจากแท่นวางตัวอย่าง 40 มิลลิเมตร

4. เลือกรูปแบบการวิเคราะห์แบบ Return to start และตั้งค่ารายละเอียดดังต่อไปนี้

Mode: Measure for compression

Option: Return to start

Pre-test speed: 1.50 mm/sec

Test-speed: 1.50 mm/sec

Post-test speed: 10.00 mm/sec

Distance: 30.00 mm

Trigger-type: Auto force 40 gram

Tare mode: Auto

Data acquisition rate: 200 pps

5. วางตัวอย่างไส้กรอกบนชุดใบมีดจากนั้นกด Start เพื่อเริ่มวัดค่า

ก2. การวิเคราะห์ค่า Texture Profile Analysis (TPA)

อุปกรณ์

1. เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer)(Stable Micro system, รุ่น TA.XT2i, UK)

2. หัววัด Rounded End probes P/100 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10.00 เซนติเมตร

วิธีการวิเคราะห์

1. ประกอบหัววัดเข้ากับเครื่องวัดเนื้อสัมผัส

2. Calibrate force โดยใช้ตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน 1,000 กรัม

3. Calibrate height โดยตั้งระยะหัววัดให้ห่างจากแท่นวางตัวอย่าง 40 มิลลิเมตร

4. เลือกรูปแบบการวิเคราะห์แบบ Texture Profile Analysis (TPA) และตั้งค่ารายละเอียดดังต่อไปนี้

   Mode: Measure for compression

   Option: Texture Profile Analysis (TPA)

   Pre-test speed: 2.00 mm/sec

   Test-speed: 2.00 mm/sec

   Post-test speed: 5.00 mm/sec

   Strain: 50%

   Trigger-type: Auto force 5 gram

5. วางตัวอย่างไส้กรอกบนแท่นตัวอย่างครั้งละ 1 ชิ้น โดยตัดให้มีความยาว 2 เซนติเมตร ให้ตัวอย่างอยู่ตรงกลางของหัววัดจานั้นกด Start เพื่อเริ่มวัดค่า

ภาคผนวก ข.

การวิเคราะห์หาค่าน้ำอิสระ

ภาคผนวก ข.

การวิเคราะห์หาค่าน้ำอิสระ

ข1. การวัดค่าน้ำอิสระ

อุปกรณ์

1. เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ (Aqua lab series 3)

วิธีการวิเคราะห์

1. เปิดเครื่องทิ้งไว้ก่อนจะวัดปริมาณน้ำอิสระ 15 นาที
2. สับตัวอย่างไส้กรอกที่ต้องการวัดค่าให้ละเอียดใส่ในภาชนะใส่ตัวอย่างและให้ปริมาณตัวอย่างอยู่สูงเป็นครึ่งของภาชนะใส่ตัวอย่าง

3. ดึงถาดใส่ตัวอย่างออกจากเครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระโดยหมุนตัวล็อคในทิศตามเข็มนาฬิกา
4. นำตัวอย่างวางในถาดใส่ตัวอย่าง แล้วเลื่อนถาดกลับเข้าไปในเครื่องและหมุนตัวล็อคในทิศทวนเข็มนาฬิกาเพื่อเริ่มวัดค่า

ภาคผนวก ค.

การวัดค่าสี

ภาคผนวก ค.

การวัดค่าสี

ค1. การวัดค่าสี

อุปกรณ์

1. เครื่องวัดค่าสี (Konica Minolta Spectophotometer CM-700D/600D)

วิธีการวิเคราะห์

1. เปิดเครื่องแล้วทำการ Calibrate
2. นำหัววัดค่าของเครื่องไปวางทาบกับตัวอย่าง แล้วทำการกดปุ่มวัดค่า โดยวัดทั้งหมด 3 ครั้ง

ภาคผนวก ง.

ผลวิเคราะห์ทางสถิติ

ภาคผนวก ง.

ผลวิเคราะห์ทางสถิติ

โดยโปรแกรม IBM SPSS version 22.0 Statistic

1. อิทธิพลของชนิดและปริมาณโปรตีน

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Firmness

LSD

(I) TRT		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
CP	Pea100	.3133*	.02530	.000	.2570	.3697
	Pea50	.4433*	.02530	.000	.3870	.4997
	Rice100	.5067*	.02530	.000	.4503	.5630
	SPA	.2667*	.02530	.000	.2103	.3230
Pea100	CP	-.3133*	.02530	.000	-.3697	-.2570
	Pea50	.1300*	.02530	.000	.0736	.1864
	Rice100	.1933*	.02530	.000	.1370	.2497
	SPA	-.0467	.02530	.095	-.1030	.0097
Pea50	CP	-.4433*	.02530	.000	-.4997	-.3870
	Pea100	-.1300*	.02530	.000	-.1864	-.0736
	Rice100	.0633*	.02530	.031	.0070	.1197
	SPA	-.1767*	.02530	.000	-.2330	-.1203
Rice100	CP	-.5067*	.02530	.000	-.5630	-.4503
	Pea100	-.1933*	.02530	.000	-.2497	-.1370
	Pea50	-.0633*	.02530	.031	-.1197	-.0070
	SPA	-.2400*	.02530	.000	-.2964	-.1836
SPA	CP	-.2667*	.02530	.000	-.3230	-.2103
	Pea100	.0467	.02530	.095	-.0097	.1030
	Pea50	.1767*	.02530	.000	.1203	.2330
	Rice100	.2400*	.02530	.000	.1836	.2964

Based on observed means.
The error term is Mean Square(Error) = .001.
*. The mean difference is significant at the .05 level.

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Toughness

LSD

(I) TRT		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
CP	Pea100	.9500*	.14504	.000	.6268	1.2732
	Pea50	1.9833*	.14504	.000	1.6602	2.3065
	Rice100	2.8233*	.14504	.000	2.5002	3.1465
	SPA	-.5400*	.14504	.004	-.8632	-.2168
Pea100	CP	-.9500*	.14504	.000	-1.2732	-.6268
	Pea50	1.0333*	.14504	.000	.7102	1.3565
	Rice100	1.8733*	.14504	.000	1.5502	2.1965
	SPA	-1.4900*	.14504	.000	-1.8132	-1.1668
Pea50	CP	-1.9833*	.14504	.000	-2.3065	-1.6602
	Pea100	-1.0333*	.14504	.000	-1.3565	-.7102
	Rice100	.8400*	.14504	.000	.5168	1.1632
	SPA	-2.5233*	.14504	.000	-2.8465	-2.2002
Rice100	CP	-2.8233*	.14504	.000	-3.1465	-2.5002
	Pea100	-1.8733*	.14504	.000	-2.1965	-1.5502
	Pea50	-.8400*	.14504	.000	-1.1632	-.5168
	SPA	-3.3633*	.14504	.000	-3.6865	-3.0402
SPA	CP	.5400*	.14504	.004	.2168	.8632
	Pea100	1.4900*	.14504	.000	1.1668	1.8132
	Pea50	2.5233*	.14504	.000	2.2002	2.8465
	Rice100	3.3633*	.14504	.000	3.0402	3.6865

Based on observed means.
The error term is Mean Square(Error) = .032.
*. The mean difference is significant at the .05 level.

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Hardness

LSD

(I) TRT		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
CP	Pea100	72.56467	439.797018	.872	-907.36416	1052.49349
	Pea50	340.64500	439.797018	.457	-639.28382	1320.57382
	Rice100	736.63900	439.797018	.125	-243.28982	1716.56782
	SPA	102.26400	439.797018	.821	-877.66482	1082.19282
Pea100	CP	-72.56467	439.797018	.872	-1052.49349	907.36416
	Pea50	268.08033	439.797018	.556	-711.84849	1248.00916
	Rice100	664.07433	439.797018	.162	-315.85449	1644.00316
	SPA	29.69933	439.797018	.947	-950.22949	1009.62816
Pea50	CP	-340.64500	439.797018	.457	-1320.57382	639.28382
	Pea100	-268.08033	439.797018	.556	-1248.00916	711.84849
	Rice100	395.99400	439.797018	.389	-583.93482	1375.92282
	SPA	-238.38100	439.797018	.600	-1218.30982	741.54782
Rice100	CP	-736.63900	439.797018	.125	-1716.56782	243.28982
	Pea100	-664.07433	439.797018	.162	-1644.00316	315.85449
	Pea50	-395.99400	439.797018	.389	-1375.92282	583.93482
	SPA	-634.37500	439.797018	.180	-1614.30382	345.55382
SPA	CP	-102.26400	439.797018	.821	-1082.19282	877.66482
	Pea100	-29.69933	439.797018	.947	-1009.62816	950.22949
	Pea50	238.38100	439.797018	.600	-741.54782	1218.30982
	Rice100	634.37500	439.797018	.180	-345.55382	1614.30382

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 290132.126.

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Adhesiveness

LSD

(I) TRT		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
CP	Pea100	-.69767	3.667005	.853	-8.86826	7.47293
	Pea50	-19.93367*	3.667005	.000	-28.10426	-11.76307
	Rice100	-19.34033*	3.667005	.000	-27.51093	-11.16974
	SPA	.95467	3.667005	.800	-7.21593	9.12526
Pea100	CP	.69767	3.667005	.853	-7.47293	8.86826
	Pea50	-19.23600*	3.667005	.000	-27.40660	-11.06540
	Rice100	-18.64267*	3.667005	.000	-26.81326	-10.47207
	SPA	1.65233	3.667005	.662	-6.51826	9.82293
Pea50	CP	19.93367*	3.667005	.000	11.76307	28.10426
	Pea100	19.23600*	3.667005	.000	11.06540	27.40660
	Rice100	.59333	3.667005	.875	-7.57726	8.76393
	SPA	20.88833*	3.667005	.000	12.71774	29.05893
Rice100	CP	19.34033*	3.667005	.000	11.16974	27.51093
	Pea100	18.64267*	3.667005	.000	10.47207	26.81326
	Pea50	-.59333	3.667005	.875	-8.76393	7.57726
	SPA	20.29500*	3.667005	.000	12.12440	28.46560
SPA	CP	-.95467	3.667005	.800	-9.12526	7.21593
	Pea100	-1.65233	3.667005	.662	-9.82293	6.51826
	Pea50	-20.88833*	3.667005	.000	-29.05893	-12.71774
	Rice100	-20.29500*	3.667005	.000	-28.46560	-12.12440

Based on observed means.
The error term is Mean Square(Error) = 20.170.
*. The mean difference is significant at the .05 level.

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Springiness

LSD

(I) TRT		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
CP	Pea100	.45900*	.020373	.000	.41361	.50439
	Pea50	.48267*	.020373	.000	.43727	.52806
	Rice100	.60767*	.020373	.000	.56227	.65306
	SPA	.04533	.020373	.050	-.00006	.09073
Pea100	CP	-.45900*	.020373	.000	-.50439	-.41361
	Pea50	.02367	.020373	.272	-.02173	.06906
	Rice100	.14867*	.020373	.000	.10327	.19406
	SPA	-.41367*	.020373	.000	-.45906	-.36827
Pea50	CP	-.48267*	.020373	.000	-.52806	-.43727
	Pea100	-.02367	.020373	.272	-.06906	.02173
	Rice100	.12500*	.020373	.000	.07961	.17039
	SPA	-.43733*	.020373	.000	-.48273	-.39194
Rice100	CP	-.60767*	.020373	.000	-.65306	-.56227
	Pea100	-.14867*	.020373	.000	-.19406	-.10327
	Pea50	-.12500*	.020373	.000	-.17039	-.07961
	SPA	-.56233*	.020373	.000	-.60773	-.51694
SPA	CP	-.04533	.020373	.050	-.09073	.00006
	Pea100	.41367*	.020373	.000	.36827	.45906
	Pea50	.43733*	.020373	.000	.39194	.48273
	Rice100	.56233*	.020373	.000	.51694	.60773

Based on observed means.
The error term is Mean Square(Error) = .001.
*. The mean difference is significant at the .05 level.

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Cohesiveness

LSD

(I) TRT		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
CP	Pea100	.53433*	.035272	.000	.45574	.61292
	Pea50	.54333*	.035272	.000	.46474	.62192
	Rice100	.54833*	.035272	.000	.46974	.62692
	SPA	.22300*	.035272	.000	.14441	.30159
Pea100	CP	-.53433*	.035272	.000	-.61292	-.45574
	Pea50	.00900	.035272	.804	-.06959	.08759
	Rice100	.01400	.035272	.700	-.06459	.09259
	SPA	-.31133*	.035272	.000	-.38992	-.23274
Pea50	CP	-.54333*	.035272	.000	-.62192	-.46474
	Pea100	-.00900	.035272	.804	-.08759	.06959
	Rice100	.00500	.035272	.890	-.07359	.08359
	SPA	-.32033*	.035272	.000	-.39892	-.24174
Rice100	CP	-.54833*	.035272	.000	-.62692	-.46974
	Pea100	-.01400	.035272	.700	-.09259	.06459
	Pea50	-.00500	.035272	.890	-.08359	.07359
	SPA	-.32533*	.035272	.000	-.40392	-.24674
SPA	CP	-.22300*	.035272	.000	-.30159	-.14441
	Pea100	.31133*	.035272	.000	.23274	.38992
	Pea50	.32033*	.035272	.000	.24174	.39892
	Rice100	.32533*	.035272	.000	.24674	.40392

Based on observed means.
The error term is Mean Square(Error) = .002.
*. The mean difference is significant at the .05 level.

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Chewiness

LSD

(I) TRT		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
CP	Pea100	1662.71800*	65.755158	.000	1516.20638	1809.22962
	Pea50	1621.56167*	65.755158	.000	1475.05004	1768.07329
	Rice100	1679.98333*	65.755158	.000	1533.47171	1826.49496
	SPA	314.70733*	65.755158	.001	168.19571	461.21896
Pea100	CP	-1662.71800*	65.755158	.000	-1809.22962	-1516.20638
	Pea50	-41.15633	65.755158	.545	-187.66796	105.35529
	Rice100	17.26533	65.755158	.798	-129.24629	163.77696
	SPA	-1348.01067*	65.755158	.000	-1494.52229	-1201.49904
Pea50	CP	-1621.56167*	65.755158	.000	-1768.07329	-1475.05004
	Pea100	41.15633	65.755158	.545	-105.35529	187.66796
	Rice100	58.42167	65.755158	.395	-88.08996	204.93329
	SPA	-1306.85433*	65.755158	.000	-1453.36596	-1160.34271
Rice100	CP	-1679.98333*	65.755158	.000	-1826.49496	-1533.47171
	Pea100	-17.26533	65.755158	.798	-163.77696	129.24629
	Pea50	-58.42167	65.755158	.395	-204.93329	88.08996
	SPA	-1365.27600*	65.755158	.000	-1511.78762	-1218.76438
SPA	CP	-314.70733*	65.755158	.001	-461.21896	-168.19571
	Pea100	1348.01067*	65.755158	.000	1201.49904	1494.52229
	Pea50	1306.85433*	65.755158	.000	1160.34271	1453.36596
	Rice100	1365.27600*	65.755158	.000	1218.76438	1511.78762

Based on observed means.
The error term is Mean Square(Error) = 6485.611.
*. The mean difference is significant at the .05 level.

Multiple Comparisons

Dependent Variable: aw

LSD

(I) TRT		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
CP	Pea100	.00867*	.003070	.018	.00183	.01551
	Pea50	.00800*	.003070	.026	.00116	.01484
	Rice100	.00567	.003070	.095	-.00117	.01251
	SPA	.00600	.003070	.079	-.00084	.01284
Pea100	CP	-.00867*	.003070	.018	-.01551	-.00183
	Pea50	-.00067	.003070	.832	-.00751	.00617
	Rice100	-.00300	.003070	.351	-.00984	.00384
	SPA	-.00267	.003070	.405	-.00951	.00417
Pea50	CP	-.00800*	.003070	.026	-.01484	-.00116
	Pea100	.00067	.003070	.832	-.00617	.00751
	Rice100	-.00233	.003070	.465	-.00917	.00451
	SPA	-.00200	.003070	.529	-.00884	.00484
Rice100	CP	-.00567	.003070	.095	-.01251	.00117
	Pea100	.00300	.003070	.351	-.00384	.00984
	Pea50	.00233	.003070	.465	-.00451	.00917
	SPA	.00033	.003070	.916	-.00651	.00717
SPA	CP	-.00600	.003070	.079	-.01284	.00084
	Pea100	.00267	.003070	.405	-.00417	.00951
	Pea50	.00200	.003070	.529	-.00484	.00884
	Rice100	-.00033	.003070	.916	-.00717	.00651

Based on observed means.
The error term is Mean Square(Error) = 1.41E-005.
*. The mean difference is significant at the .05 level.

Multiple Comparisons

Dependent Variable: L*

LSD

(I) TRT		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
CP	Pea100	24.6667*	.72362	.000	23.0543	26.2790
	Pea50	21.4267*	.72362	.000	19.8143	23.0390
	Rice100	19.4433*	.72362	.000	17.8310	21.0557
	SPA	14.5233*	.72362	.000	12.9110	16.1357
Pea100	CP	-24.6667*	.72362	.000	-26.2790	-23.0543
	Pea50	-3.2400*	.72362	.001	-4.8523	-1.6277
	Rice100	-5.2233*	.72362	.000	-6.8357	-3.6110
	SPA	-10.1433*	.72362	.000	-11.7557	-8.5310
Pea50	CP	-21.4267*	.72362	.000	-23.0390	-19.8143
	Pea100	3.2400*	.72362	.001	1.6277	4.8523
	Rice100	-1.9833*	.72362	.021	-3.5957	-.3710
	SPA	-6.9033*	.72362	.000	-8.5157	-5.2910
Rice100	CP	-19.4433*	.72362	.000	-21.0557	-17.8310
	Pea100	5.2233*	.72362	.000	3.6110	6.8357
	Pea50	1.9833*	.72362	.021	.3710	3.5957
	SPA	-4.9200*	.72362	.000	-6.5323	-3.3077
SPA	CP	-14.5233*	.72362	.000	-16.1357	-12.9110
	Pea100	10.1433*	.72362	.000	8.5310	11.7557
	Pea50	6.9033*	.72362	.000	5.2910	8.5157
	Rice100	4.9200*	.72362	.000	3.3077	6.5323

Based on observed means.
The error term is Mean Square(Error) = .785.
*. The mean difference is significant at the .05 level.

Multiple Comparisons

Dependent Variable: a*

LSD

(I) TRT		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
CP	Pea100	12.8833*	.46524	.000	11.8467	13.9200
	Pea50	12.1800*	.46524	.000	11.1434	13.2166
	Rice100	11.1100*	.46524	.000	10.0734	12.1466
	SPA	-3.8967*	.46524	.000	-4.9333	-2.8600
Pea100	CP	-12.8833*	.46524	.000	-13.9200	-11.8467
	Pea50	-.7033	.46524	.162	-1.7400	.3333
	Rice100	-1.7733*	.46524	.003	-2.8100	-.7367
	SPA	-16.7800*	.46524	.000	-17.8166	-15.7434
Pea50	CP	-12.1800*	.46524	.000	-13.2166	-11.1434
	Pea100	.7033	.46524	.162	-.3333	1.7400
	Rice100	-1.0700*	.46524	.044	-2.1066	-.0334
	SPA	-16.0767*	.46524	.000	-17.1133	-15.0400
Rice100	CP	-11.1100*	.46524	.000	-12.1466	-10.0734
	Pea100	1.7733*	.46524	.003	.7367	2.8100
	Pea50	1.0700*	.46524	.044	.0334	2.1066
	SPA	-15.0067*	.46524	.000	-16.0433	-13.9700
SPA	CP	3.8967*	.46524	.000	2.8600	4.9333
	Pea100	16.7800*	.46524	.000	15.7434	17.8166
	Pea50	16.0767*	.46524	.000	15.0400	17.1133
	Rice100	15.0067*	.46524	.000	13.9700	16.0433

Based on observed means.
The error term is Mean Square(Error) = .325.
*. The mean difference is significant at the .05 level.

Multiple Comparisons

Dependent Variable: b*

LSD

(I) TRT		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
CP	Pea100	25.3900*	1.15907	.000	22.8074	27.9726
	Pea50	23.1533*	1.15907	.000	20.5708	25.7359
	Rice100	20.3267*	1.15907	.000	17.7441	22.9092
	SPA	3.6467*	1.15907	.010	1.0641	6.2292
Pea100	CP	-25.3900*	1.15907	.000	-27.9726	-22.8074
	Pea50	-2.2367	1.15907	.082	-4.8192	.3459
	Rice100	-5.0633*	1.15907	.001	-7.6459	-2.4808
	SPA	-21.7433*	1.15907	.000	-24.3259	-19.1608
Pea50	CP	-23.1533*	1.15907	.000	-25.7359	-20.5708
	Pea100	2.2367	1.15907	.082	-.3459	4.8192
	Rice100	-2.8267*	1.15907	.035	-5.4092	-.2441
	SPA	-19.5067*	1.15907	.000	-22.0892	-16.9241
Rice100	CP	-20.3267*	1.15907	.000	-22.9092	-17.7441
	Pea100	5.0633*	1.15907	.001	2.4808	7.6459
	Pea50	2.8267*	1.15907	.035	.2441	5.4092
	SPA	-16.6800*	1.15907	.000	-19.2626	-14.0974
SPA	CP	-3.6467*	1.15907	.010	-6.2292	-1.0641
	Pea100	21.7433*	1.15907	.000	19.1608	24.3259
	Pea50	19.5067*	1.15907	.000	16.9241	22.0892
	Rice100	16.6800*	1.15907	.000	14.0974	19.2626

Based on observed means.
The error term is Mean Square(Error) = 2.015.
*. The mean difference is significant at the .05 level.

Multiple Comparisons

Dependent Variable: MI

LSD

(I) TRT		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
CP	Pea100	.7900*	.05877	.000	.6591	.9209
	Pea50	.7667*	.05877	.000	.6357	.8976
	Rice100	.7667*	.05877	.000	.6357	.8976
	SPA	-.2500*	.05877	.002	-.3809	-.1191
Pea100	CP	-.7900*	.05877	.000	-.9209	-.6591
	Pea50	-.0233	.05877	.700	-.1543	.1076
	Rice100	-.0233	.05877	.700	-.1543	.1076
	SPA	-1.0400*	.05877	.000	-1.1709	-.9091
Pea50	CP	-.7667*	.05877	.000	-.8976	-.6357
	Pea100	.0233	.05877	.700	-.1076	.1543
	Rice100	0.0000	.05877	1.000	-.1309	.1309
	SPA	-1.0167*	.05877	.000	-1.1476	-.8857
Rice100	CP	-.7667*	.05877	.000	-.8976	-.6357
	Pea100	.0233	.05877	.700	-.1076	.1543
	Pea50	0.0000	.05877	1.000	-.1309	.1309
	SPA	-1.0167*	.05877	.000	-1.1476	-.8857
SPA	CP	.2500*	.05877	.002	.1191	.3809
	Pea100	1.0400*	.05877	.000	.9091	1.1709
	Pea50	1.0167*	.05877	.000	.8857	1.1476
	Rice100	1.0167*	.05877	.000	.8857	1.1476

Based on observed means.
The error term is Mean Square(Error) = .005.
*. The mean difference is significant at the .05 level.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	ภานุวัฒน์ พงศ์ศรีเพียร
ตำแหน่ง	หัวหน้าโครงการ
วุฒิการศึกษา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (วท.บ.)
ภาควิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีที่สำเร็จการศึกษา	2562
โทรศัพท์	086-651-1227
E-mail	panuwat.p@student.chula.ac.th

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	อนวัช วนาภิรมย์
ตำแหน่ง	ผู้วิจัยร่วม
วุฒิการศึกษา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (วท.บ.)
ภาควิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีที่สำเร็จการศึกษา	2563
โทรศัพท์	098-371-7644
E-mail	anawat.wana@gmail.com