

**บทบาทของฟอสเฟตต่อคุณภาพ การยอมรับทางประสาทสัมผัสและการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย
กลุ่มไซโครโทรปของผลิตภัณฑ์หมูยอ**

กนกวรรณ วาจางาม และ ปัทธิมา อุดมไพจิตรกุล*

*ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
กรุงเทพมหานคร 10900*

*pathima.u@ku.th

บทคัดย่อ

หมูยอเป็นผลิตภัณฑ์ที่อนุญาตให้ใช้สารฟอสเฟตเป็นวัตถุเจือปนอาหารเพื่อปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์และสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้อีกด้วย การศึกษานี้จึงมุ่งเน้นไปที่การศึกษาบทบาทของฟอสเฟตในการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคและยับยั้งการเจริญของเชื้อ psychrotrophic bacteria โดยศึกษาผลของสาร sodium acid pyrophosphate (SAPP) หรือ sodium tripolyphosphate (STPP) ที่ระดับความเข้มข้น 1000 2500 และ 5000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในด้านค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังการปรุงสุก ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ ค่าสีและเนื้อสัมผัส การประเมินทางประสาทสัมผัสในด้านความชอบโดยรวม ด้านสี ด้านกลิ่นรสและด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์หมูยอและด้านจุลชีววิทยาเพื่อหาความสามารถในการยับยั้งการเจริญของเชื้อกลุ่ม psychrotrophic bacteria โดยทำการเก็บรักษาทุกตัวอย่างที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสและในถ้ำน้ำแข็งนาน 14 วันและที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสนาน 7 วัน พบว่า ตัวอย่างที่เติมสาร STPP ความเข้มข้น 5000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมสามารถปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ดีที่สุดในด้านเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ ลดการสูญเสียน้ำหนักหลังการปรุงสุก ปรับปรุงเนื้อสัมผัสให้ดีขึ้นและยังเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากที่สุดในด้านความชอบโดยรวม ด้านสี ด้านกลิ่นรสและด้านเนื้อสัมผัส ในขณะที่การยับยั้งการเจริญของเชื้อ psychrotrophic bacteria พบว่าตัวอย่างที่เติมสาร SAPP ความเข้มข้น 5000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมมีประสิทธิภาพมากที่สุดในการยับยั้งการเจริญของเชื้อ psychrotrophic bacteria ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสตลอดการเก็บรักษา 7 วัน เมื่อเทียบกับตัวอย่างที่เติมสารฟอสเฟตอื่นๆ ในขณะเดียวกันที่อุณหภูมิต่ำสารฟอสเฟตทั้ง 2 ชนิดไม่มีผลต่อการยับยั้งการเจริญของเชื้อ psychrotrophic bacteria อย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ดังนั้นอุณหภูมิในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์หมูยอจึงมีความสำคัญมากเพื่อป้องกันการเจริญของเชื้อแบคทีเรียและช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์

คำสำคัญ: หมูยอ, sodium tripolyphosphate, sodium acid pyrophosphate, psychrotrophic bacteria

บทนำ

หมูยอเป็นผลิตภัณฑ์ที่นิยมบริโภคมากในปัจจุบันเนื่องด้วยรสชาติที่อร่อย สามารถหาซื้อบริโภคได้ง่ายตามร้านสะดวกซื้อและรับประทานได้ง่าย ทั้งสามารถรับประทานได้ทันทีหรือนำไปเป็นส่วนประกอบของอาหาร เช่น ยำหรือทอด โดยจากการวิจัยของ ปิยะฉัตรและคณะ (2547) พบว่า ผลิตภัณฑ์หมูยอที่สุ่มตรวจจากตลาดต่างๆในประเทศไทยมีการใช้สารเบนโซเอต ที่สูงเกินมาตรฐานที่ประกาศกระทรวงสาธารณสุขกำหนดให้ใช้ ทั้งยังพบการใช้สารไนไตรท์และไนเตรต เพื่อวัตถุประสงค์ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสีย ซึ่งการใช้วัตถุเจือปนอาหารที่ไม่อนุญาตให้ใช้หรือเกินกว่าที่มาตรฐานกำหนดอาจเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคได้ ทั้งนี้วัตถุเจือปนอาหารที่สามารถเติมได้ในผลิตภัณฑ์หมูยอตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอาหารได้กำหนด (มอก. 1346-2539) คือ สารฟอสเฟต การศึกษานี้เป็นการศึกษาลักษณะทางคุณภาพ การยอมรับของผู้บริโภคและการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์หมูยอที่เติมสารฟอสเฟต 2 ชนิด คือ sodium acid pyrophosphate (SAPP) และ sodium tripolyphosphate (STPP) ที่ความเข้มข้นชนิดละ 1000 2500 และ 5000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สารฟอสเฟตทั้งสองชนิดรวมกันอย่างละ 2500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เพื่อปรับใช้สารฟอสเฟตในการผลิตหมูยอให้มีคุณภาพที่ดีขึ้นและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมหมูยอ

นำเนื้อหมู มันหมู น้ำแข็งและเครื่องปรุงรสผสม โดยเติมสารฟอสเฟต SAPP หรือ STPP ความเข้มข้น 1000 2500 และ 5000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมและสารฟอสเฟตร่วมกันอย่างละ 2500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.1346-2539) เนื้อหมูแต่ละสูตรที่ผสมแล้วนำมาห่อด้วยอลูมิเนียมฟอยล์ชั้นละ 50 ± 2 กรัม หนึ่งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 45 นาที ทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้องภายใน 1 ชั่วโมงและนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น (4 องศาเซลเซียส) และในถังน้ำแข็ง (0 ± 1 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 14 วัน และอุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 7 วัน โดยตัวอย่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็นและในถังน้ำแข็งทำการสุ่มตรวจตัวอย่างเพื่อหาจำนวนเชื้อ psychrotrophic bacteria ในวันที่ 0, 1, 3, 5, 7, 9, 11 และ 14 และตัวอย่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องทำการสุ่มตรวจตัวอย่างในวันที่ 0, 1, 3, 5 และ 7

2. ศึกษาคุณลักษณะทางค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังการปรุงสุก (%cook loss) ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity; WHC) ค่าสีและเนื้อสัมผัส ของผลิตภัณฑ์หมูยอที่เติมสารฟอสเฟตที่ชนิดและความเข้มข้นต่าง ๆ

หมูยอแต่ละสูตรที่ผ่านการทำให้เย็นแล้ว นำมาวิเคราะห์การสูญเสียน้ำหนักหลังการปรุงสุก ตามวิธีการที่ดัดแปลงจาก Murphy และ Marks (2000) วิเคราะห์ความสามารถในการอุ้มน้ำตามวิธีการของ Zheng et al. (2018) และรายงานเป็นค่า %centrifuge loss วิเคราะห์ค่าสี ด้วยเครื่อง Hunter Lab Ultrascan pro ในระบบ CIE L*a*b* และวิเคราะห์เนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง texture analyzer รุ่น TA-XTPlus หัววัด Cylinder Probe Aluminum P/100 ใช้โปรแกรม Texture Profile Analysis (TPA) วิธีการตั้งค่าและวัดค่าดัดแปลงจาก Kim et al. (2014)

3. การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของหมูยอที่เติมสารฟอสเฟตที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างที่เติมสาร SAPP และ STPP ที่ความเข้มข้นแตกต่างกันด้านความชอบโดยรวม สี กลิ่นรสและเนื้อสัมผัสด้วยวิธี 9 - point hedonic scale โดยมีจำนวนผู้ทดสอบจำนวน 60 คน

4. ศึกษาคุณภาพทางจุลชีววิทยาของหมูยอเมื่อเติมสารฟอสเฟตที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

วิเคราะห์หาจำนวนเชื้อ Psychrotrophic bacteria ตามวิธีการ American Public Health Association (Cousin et al. 2001) โดยชั่งตัวอย่าง 25 กรัมใส่ถุงตีปนผสมกับ 0.1% peptone water 225 มิลลิตร ตีปนผสมตัวอย่างด้วยเครื่องตีปั่นที่ความเร็วรอบปานกลางนาน 2 นาที จากนั้นทำการเจือจางตัวอย่างที่ตีปน และ spread plate ลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Plate Count Agar (PCA) นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 7 องศาเซลเซียส นาน 10 วันและนับจำนวนโคโลนี

5. การทดสอบทางสถิติ

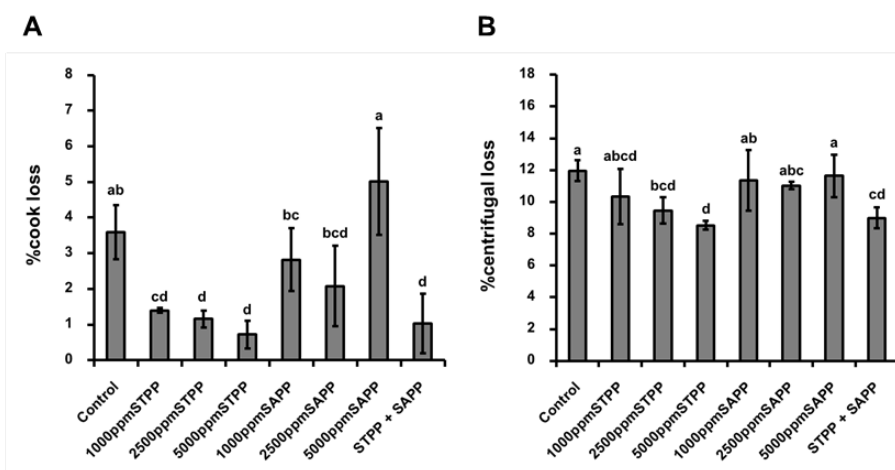
ออกแบบการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design หรือ CRD) โดยผลของการทดลองแสดงในรูปของค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ และวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลองด้วยวิธี one-way analysis of variance (ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างด้วย Duncan's Multiple Range Test ที่ระดับนัยสำคัญ $p = 0.05$ โดยใช้โปรแกรม SPSS (version 22.0)

ผลและอภิปรายผล

ผลของชนิดและความเข้มข้นของสารฟอสเฟตต่อลักษณะคุณภาพต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์หมูยอ

สาร SAPP และ STPP ที่เลือกใช้ในการศึกษานี้เป็นตัวแทนของกลุ่มของฟอสเฟตที่มีสมบัติความเป็นกรดและเบสที่แตกต่างกันตามลำดับ (Long et al. 2011) จากผลการทดลองพบว่าตัวอย่างที่เติมสาร STPP ความเข้มข้น 2500 และ 5000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และตัวอย่างที่เติมสาร SAPP และ STPP ร่วมกันมีค่า %cook loss อยู่ในช่วง 0.72 -1.16% ซึ่งน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่เติม SAPP ความเข้มข้น 1000 และ 5000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมและตัวอย่างควบคุม (ไม่เติมฟอสเฟต) (รูปที่ 1A) โดยตัวอย่างที่เติมสาร STPP ความเข้มข้น 5000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมมีค่า %cook loss น้อยที่สุด (0.72%) ตามมาด้วยตัวอย่างที่เติมสาร SAPP และ STPP ร่วมกัน ส่วนตัวอย่างที่เติมสาร SAPP ความเข้มข้น 5000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมมีค่า %cook loss มากกว่า (5.02%) อย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่เติมสารฟอสเฟตอื่นๆ ($p < 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้านี้ที่รายงานว่าเนื้อวัวปรุงสุกที่เติมสาร 0.5% STPP มีค่า %cook loss น้อยที่สุดในขณะที่ตัวอย่างที่เติมสาร 0.5% SAPP มีค่า %cook loss มากที่สุด (Sickler et al. 2013)

ผลของสาร SAPP และ STPP ต่อค่า WHC ที่แสดงผลการทดลองในรูปของค่า %centrifuge loss (รูปที่ 1B) พบว่า ตัวอย่างที่เติมสาร STPP ความเข้มข้น 5000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีค่า %centrifuge loss น้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับ ตัวอย่างที่เติมสาร SAPP ความเข้มข้น 1000 2500 และ 5000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมและตัวอย่างควบคุม โดยตัวอย่างที่เติมสาร STPP ความเข้มข้น 5000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมมีค่า %centrifuge loss น้อยที่สุด (8.53%) ตามมาด้วยตัวอย่างที่เติมสาร SAPP และ STPP ร่วมกัน (9.00%) ในขณะที่ตัวอย่างที่เติมสาร SAPP ทุกตัวอย่างมีค่า %centrifuge loss ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ในทุกความเข้มข้นที่ทำการทดลองและเมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม สารฟอสเฟตเป็นวัตถุเจือปนอาหารที่มีผลต่อเนื้อสัตว์ในด้านการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของตัวอย่าง เพิ่มค่า ionic strength และทำปฏิกิริยากับโปรตีนในเนื้อสัตว์ (Wong, 1989) ซึ่งสาร STPP ที่มีสมบัติความเป็นเบสทำให้เพิ่มค่า pH ของผลิตภัณฑ์หมูยอสูงขึ้นและห่างออกจากค่า isoelectric point ของโปรตีนไมโอสิบลาร์ (pl ~ 5.1) (Alvarado และ McKee, 2007) ส่งผลให้เพิ่มค่า WHC เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของพลังงาน electrostatics repulsive ภายในโครงสร้างของโปรตีนในเนื้อสัตว์ทำให้เพิ่มขนาดของช่องว่างระหว่างโปรตีนแอกตินและไมโอซินและส่งผลให้โมเลกุลน้ำตรึงในโครงสร้างร่างแหของโปรตีนได้มากขึ้น (Long et al. 2011) ในทางตรงกันข้ามตัวอย่างที่เติมสาร SAPP มีค่า %centrifuge loss ที่สูงกว่าซึ่งอาจเป็นผลมาจากค่า pH ที่ลดลงจนเข้าใกล้ค่า pl



รูปที่ 1 ผลของชนิดและความเข้มข้นของสารฟอสเฟตต่อค่า %cook loss (A) และค่า water holding capacity (B)

ผลของชนิดและความเข้มข้นของสารฟอสเฟตต่อค่าสีในผลิตภัณฑ์หมูยอแสดงในตารางที่ 1 พบว่า ค่า lightness (L^*) และ redness (a^*) ของทุกตัวอย่างการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ในขณะเดียวกันตัวอย่างที่เติมสาร STPP ทุกความเข้มข้น ตัวอย่างที่เติมสาร SAPP ความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมและตัวอย่างควบคุม มีค่า yellowness (b^*) น้อย

กว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่เติมสาร SAPP ความเข้มข้น 2500 และ 5000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมและตัวอย่างที่เติมสาร SAPP และ STPP ร่วมกัน ทั้งนี้อาจเกิดจากตัวอย่างที่เติมสาร SAPP อาจมีค่า pH ลดลงเนื่องจาก SAPP มีสมบัติเป็นกรดเมื่อเติมลงในผลิตภัณฑ์ทำให้ค่า pH ของผลิตภัณฑ์ลดลง (Zheng et al. 1999) และส่งผลให้ค่า yellowness มีค่าเพิ่มขึ้นจากการสร้างเม็ดสี brown metmyoglobin ของผลิตภัณฑ์ (Fernández-López et al. 2004)

ผลของลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์หมูยอที่ใช้สารฟอสเฟตที่ชนิดและความเข้มข้นแตกต่างกันได้แก่ ค่าความแข็ง (Hardness) ค่าความสามารถยึดเกาะ (Cohesiveness) ค่าความยืดหยุ่น (Gumminess) และค่าความคงทนเมื่อเคี้ยว (Chewiness) (อัจฉรา และคณะ, 2557) ของตัวอย่างที่เติมสาร STPP ความเข้มข้น 5000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมมีค่ามากกว่าตัวอย่างที่เติมสาร SAPP ความเข้มข้น 5000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมและตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 1 ทั้งนี้ตัวอย่างที่เติมสาร STPP ความเข้มข้น 5000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมจากผลการทดลองที่พบว่าค่า WHC มากที่สุดจึงส่งผลต่อคุณลักษณะเนื้อสัมผัสของตัวอย่างให้มีค่าความแน่นเนื้อและการเกาะตัวสูงเช่นกันจึงต้องใช้แรงที่ใช้ในการเคี้ยวอาหารสูงดังที่ปรากฏในตารางผลการทดลอง

ตารางที่ 1 คุณลักษณะทางคุณภาพของผลิตภัณฑ์หมูยอที่เติมชนิดและความเข้มข้นของสารฟอสเฟตแตกต่างกัน

Treatment [#]	L* (lightness)	a* (redness)	b* (yellowness)	Hardness (N)	Springiness	Cohesiveness	Gumminess (N)	Chewiness (N)
1	68.01 ± 1.49 ^a	2.05 ± 0.84 ^a	13.41 ± 0.15 ^b	82.73 ± 17.41 ^b	0.78 ± 0.13 ^a	0.43 ± 0.08 ^d	35.70 ± 12.46 ^d	28.81 ± 13.11 ^d
2	66.63 ± 1.73 ^a	2.02 ± 0.84 ^a	13.28 ± 0.33 ^b	109.14 ± 9.26 ^{ab}	0.88 ± 0.03 ^a	0.59 ± 0.06 ^{abc}	62.73 ± 4.67 ^{abcd}	55.43 ± 2.38 ^{abcd}
3	68.54 ± 1.82 ^a	2.21 ± 1.20 ^a	13.59 ± 0.56 ^b	135.04 ± 8.37 ^a	0.89 ± 0.03 ^a	0.64 ± 0.06 ^{ab}	82.35 ± 7.64 ^{ab}	73.35 ± 7.01 ^{ab}
4	67.79 ± 1.26 ^a	2.08 ± 1.07 ^a	13.84 ± 0.92 ^b	134.70 ± 22.19 ^a	0.90 ± 0.01 ^a	0.69 ± 0.05 ^a	90.23 ± 7.34 ^a	81.00 ± 5.79 ^a
5	67.26 ± 2.63 ^a	1.84 ± 0.72 ^a	13.49 ± 0.31 ^b	98.70 ± 19.09 ^{ab}	0.87 ± 0.03 ^a	0.53 ± 0.03 ^{bcd}	51.28 ± 13.81 ^{cd}	44.71 ± 13.22 ^{cd}
6	69.81 ± 1.31 ^a	1.38 ± 0.25 ^a	15.16 ± 0.55 ^a	105.46 ± 34.10 ^{ab}	0.87 ± 0.04 ^a	0.58 ± 0.11 ^{abcd}	60.10 ± 27.71 ^{bcd}	52.60 ± 25.40 ^{bcd}
7	69.40 ± 2.64 ^a	1.56 ± 0.53 ^a	15.83 ± 0.56 ^a	82.76 ± 23.93 ^b	0.82 ± 0.11 ^a	0.48 ± 0.13 ^{cd}	40.12 ± 17.33 ^d	34.48 ± 17.67 ^d
8	69.91 ± 2.41 ^a	1.38 ± 0.53 ^a	15.29 ± 0.54 ^a	119.79 ± 19.53 ^{ab}	0.89 ± 0.02 ^a	0.63 ± 0.10 ^{ab}	74.75 ± 19.71 ^{abc}	66.41 ± 17.44 ^{abc}

^{a-d} ภายในสัณฐานเดียวกันของแต่ละสภาวะการทดลองมีตัวอักษรแตกต่างกันหมายความว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

[#] 1 = ตัวอย่างควบคุม (ไม่เติมฟอสเฟต) 2 = เติม STPP 1000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม 3 = เติม STPP 2500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม 4 = เติม STPP 5000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม 5 = เติม SAPP

1000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม 6 = เติม SAPP 2500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม 7 = เติม SAPP 5000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม 8 = เติม SAPP และ STPP ร่วมกันอย่างละ 2500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ตารางที่ 2 ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของหมูยอที่เติมสารฟอสเฟตที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ

Treatment [#]	ความชอบโดยรวม	สี	กลิ่นรส	เนื้อสัมผัส
1	5.10 ± 1.73 ^c	5.80 ± 1.85 ^b	5.67 ± 1.95 ^b	3.73 ± 1.66 ^d
2	6.67 ± 1.75 ^a	6.63 ± 1.75 ^{ab}	6.90 ± 1.65 ^a	6.63 ± 1.75 ^{ab}
3	6.77 ± 1.36 ^a	6.70 ± 1.73 ^a	6.27 ± 2.20 ^{ab}	6.83 ± 1.37 ^{ab}
4	6.97 ± 1.25 ^a	7.00 ± 1.51 ^a	6.83 ± 1.82 ^a	7.27 ± 1.39 ^a
5	6.97 ± 1.33 ^a	6.50 ± 1.41 ^{ab}	6.20 ± 1.71 ^{ab}	6.90 ± 1.52 ^{ab}
6	5.67 ± 1.47 ^{bc}	6.30 ± 1.24 ^{ab}	5.67 ± 1.94 ^b	5.13 ± 1.68 ^c
7	6.23 ± 1.41 ^{ab}	6.57 ± 1.38 ^{ab}	5.57 ± 1.65 ^b	5.23 ± 1.30 ^c
8	6.60 ± 1.25 ^a	6.37 ± 1.43 ^{ab}	6.07 ± 1.57 ^{ab}	6.37 ± 1.45 ^b

^{a-d} ภายในสัณฐานเดียวกันของแต่ละสภาวะการทดลองมีตัวอักษรแตกต่างกันหมายความว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

[#] 1 = ตัวอย่างควบคุม (ไม่เติมฟอสเฟต) 2 = เติม STPP 1000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม 3 = เติม STPP 2500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม 4 = เติม STPP 5000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม 5 = เติม SAPP 1000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม 6 = เติม SAPP 2500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม 7 = เติม SAPP 5000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม 8 = เติม SAPP และ STPP ร่วมกันอย่างละ 2500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

1. ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของหมูยอที่เติมสารฟอสเฟตที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของหมูยอที่เติมสาร SAPP และ STPP ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่า ด้านความชอบโดยรวมผู้บริโภคริโกลให้คะแนนผลิตภัณฑ์หมูยอที่เติมสาร SAPP และ STPP ทุกระดับความเข้มข้น ยกเว้นตัวอย่างที่เติมสาร SAPP ความเข้มข้น 2500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมสูงกว่าตัวอย่างควบคุม อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 2 โดยตัวอย่างที่เติมสาร STPP ความเข้มข้น 5000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมและเติมสาร SAPP ความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมมีคะแนนสูงที่สุด (6.97 คะแนน) แต่ตัวอย่างควบคุมผู้บริโภคริโกลให้คะแนนน้อยที่สุดคือ 5.10 คะแนน ในด้านสีตัวอย่างที่เติมสาร STPP ความเข้มข้น 2500 และ 5000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมมีคะแนนสูงกว่า (6.70-7.00 คะแนน) อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม (5.80 คะแนน) ในด้านกลิ่นรสผู้บริโภคริโกลให้คะแนนตัวอย่างที่เติมสาร STPP ความเข้มข้น 1000 และ 5000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (6.83-6.90 คะแนน) สูงกว่าตัวอย่างที่เติมสาร SAPP ความเข้มข้น 2500 และ 5000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (5.57-5.67 คะแนน) และตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และในด้านเนื้อสัมผัสตัวอย่างที่เติมสาร SAPP และ STPP ทุกระดับความเข้มข้นมีคะแนนสูงกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยตัวอย่างที่เติมสาร STPP ความเข้มข้น 5000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมมีคะแนนสูงที่สุด (7.27 คะแนน) ในขณะที่ตัวอย่างควบคุมได้คะแนนน้อยที่สุดคือ 3.73 คะแนน (ตารางที่ 3) ดังนั้นจากผลการทดลองผู้บริโภคริโกลยอมรับตัวอย่างที่เติมสาร STPP ความเข้มข้น 5000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมมากที่สุดและตัวอย่างควบคุม (ไม่เติมสารฟอสเฟต) ผู้บริโภคริโกลยอมรับน้อยที่สุด

2. ผลของสารฟอสเฟตที่ชนิดและความเข้มข้นต่าง ๆ ต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ psychrotrophic bacteria ที่พบในผลิตภัณฑ์หมูยอที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสและในถังน้ำแข็ง (0 ± 1 องศาเซลเซียส) พบว่าทุกตัวอย่างการทดลองไม่มีการเปลี่ยนแปลงของจำนวนเชื้อ psychrotrophic bacteria ตลอดการเก็บรักษา 2 สัปดาห์ ($p > 0.05$) ในกรณีส่วนใหญ่จำนวนเชื้อแบคทีเรียมีค่า CFU/g ที่ต่ำกว่าขีดจำกัด (10 CFU/g) ในขณะที่จำนวน CFU/g ของหมูยอทุกตัวอย่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในช่วงที่เก็บรักษา 7 วัน โดยไม่ขึ้นกับการเติมสาร SAPP และ STPP (ตารางที่ 3) ที่ทุกระดับความเข้มข้นที่ทดสอบ การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ส่งผลให้จำนวนเชื้อ psychrotrophic bacteria ของตัวอย่างควบคุมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญตั้งแต่วันที่ 1 (ตารางที่ 3) และเพิ่มจำนวนถึง 6 log CFU/g ภายใน 3 วัน โดยตัวอย่างที่เติมสาร STPP ทุกความเข้มข้นและตัวอย่างที่เติมสาร SAPP ร่วมกับ STPP มีจำนวนเชื้อ psychrotroph ใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุมตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ($p > 0.05$) ในขณะที่ตัวอย่างที่เติมสาร SAPP ความเข้มข้น 5000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียได้อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่เติมสาร STPP ในตัวอย่างที่เก็บรักษาอุณหภูมิที่ 30 องศาเซลเซียส อีกทั้งยังมีจำนวนเชื้อ psychrotroph น้อยที่สุดในวันที่เก็บรักษาวินาที 7 ($5.10 \log \text{CFU/g}$) การที่สาร STPP ไม่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียในผลิตภัณฑ์หมูยอนั้นอาจมีผลมาจากการที่สาร STPP เมื่อผสมกับเนื้อที่ยังไม่ปรุงสุกจะถูกไฮโดรไลซิสอย่างรวดเร็วจากเอนไซม์ภายในเนื้อสัตว์ที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งเป็นผลมาจากค่า pH ที่เหมาะสมต่อการทำปฏิกิริยาของเอนไซม์ tripolyphosphatase (pH 5.0-7.0) ที่มีช่วง pH ที่กว้างมากกว่าเมื่อเทียบกับค่า pH ที่เหมาะสมของเอนไซม์ pyrophosphatase คือ pH 7.0 (Molin et al. 1991)

สรุปผลการวิจัย

สารฟอสเฟตเป็นวัตถุเจือปนอาหารที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมเนื้อสัตว์กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากสารฟอสเฟตสามารถช่วยปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ให้มีคุณภาพที่ดีขึ้น อีกทั้งยังเป็นสารต้านจุลชีพที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียได้อีกด้วย สาร STPP ความเข้มข้น 5000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมที่เติมลงในผลิตภัณฑ์หมูยอมีประสิทธิภาพมากที่สุดในการช่วยให้ความสามารถในการอุ้มน้ำเพิ่มขึ้น ลดน้ำหนักการสูญเสียหลังการปรุงสุกและปรับปรุงเนื้อสัมผัสให้ดีขึ้นและยังเป็นสูตรที่ผู้บริโภคริโกลยอมรับมากที่สุดเมื่อเทียบกับสูตรอื่นๆ ส่วนในด้านการเป็นสารต้านจุลชีพตัวอย่างที่เติมสาร SAPP ความเข้มข้น 5000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมมีประสิทธิภาพมากที่สุดในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ psychrotrophic bacteria เมื่อทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามอุณหภูมิในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์หมูยอจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการเก็บรักษาหมูยอจึง

ควรเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิต่ำเพื่อป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย ยืดอายุการเก็บรักษาและเพิ่มความปลอดภัยของผู้บริโภค

Ethic Committee NO.

KUREC-HS60/037

ตารางที่ 3 จำนวนเชื้อ psychrotrophic bacteria (log CFU/g) ที่พบในหมูยอที่เติมสารฟอสเฟตที่ชนิดและความเข้มข้นต่างๆ ในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

Treatment [#]	วันที่เก็บรักษา (วัน)							
	ถึงน้ำแข็ง (0 ± 1 องศาเซลเซียส)							
	0	1	3	5	7	9	11	14
1	1.0 ± 0.0 ^{A, a}	1.0 ± 0.0 ^{A, a}	1.0 ± 0.0 ^{A, a}	1.0 ± 0.0 ^{A, a}	1.7 ± 0.6 ^{A, a}	1.4 ± 0.5 ^{A, a}	1.4 ± 0.4 ^{A, a}	1.1 ± 0.2 ^{A, a}
2	1.0 ± 0.0 ^{A, a}	1.0 ± 0.0 ^{A, a}	1.3 ± 0.4 ^{A, a}	1.2 ± 0.2 ^{A, a}	1.1 ± 0.2 ^{A, a}	1.3 ± 0.4 ^{A, a}	1.8 ± 0.6 ^{A, a}	1.0 ± 0.0 ^{A, a}
3	1.0 ± 0.0 ^{A, a}	1.6 ± 0.6 ^{A, a}	1.0 ± 0.0 ^{A, a}	1.0 ± 0.0 ^{A, a}	1.3 ± 0.4 ^{A, a}	1.1 ± 0.1 ^{A, a}	1.9 ± 0.6 ^{A, a}	1.0 ± 0.0 ^{A, a}
4	1.0 ± 0.0 ^{A, a}	1.0 ± 0.0 ^{A, a}	1.3 ± 0.4 ^{A, a}	1.0 ± 0.0 ^{A, a}	1.6 ± 0.6 ^{A, a}	1.7 ± 0.6 ^{A, a}	1.6 ± 0.6 ^{A, a}	1.0 ± 0.0 ^{A, a}
5	1.0 ± 0.0 ^{A, a}	1.0 ± 0.0 ^{A, a}	1.2 ± 0.2 ^{A, a}	1.1 ± 0.2 ^{A, a}	1.1 ± 0.2 ^{A, a}	1.0 ± 0.0 ^{A, a}	1.2 ± 0.2 ^{A, a}	1.0 ± 0.0 ^{A, a}
6	1.1 ± 0.2 ^{A, a}	1.4 ± 0.4 ^{A, a}	1.7 ± 0.7 ^{A, a}	1.0 ± 0.0 ^{A, a}	1.1 ± 0.1 ^{A, a}	1.1 ± 0.2 ^{A, a}	1.4 ± 0.3 ^{A, a}	1.1 ± 0.1 ^{A, a}
7	1.0 ± 0.0 ^{A, a}	1.0 ± 0.0 ^{A, a}	1.0 ± 0.0 ^{A, a}	1.0 ± 0.0 ^{A, a}	1.0 ± 0.0 ^{A, a}	1.0 ± 0.0 ^{A, a}	1.1 ± 0.1 ^{A, a}	1.0 ± 0.0 ^{A, a}
8	1.0 ± 0.0 ^{A, a}	1.0 ± 0.0 ^{A, a}	1.2 ± 0.2 ^{A, a}	1.0 ± 0.0 ^{A, a}	1.1 ± 0.1 ^{A, a}	1.1 ± 0.1 ^{A, a}	1.4 ± 0.2 ^{A, a}	1.0 ± 0.0 ^{A, a}
4 องศาเซลเซียส								
1	1.1 ± 0.1 ^{A, a}	1.2 ± 0.2 ^{A, a}	1.0 ± 0.0 ^{A, a}	1.3 ± 0.3 ^{A, a}	1.0 ± 0.0 ^{A, a}	1.0 ± 0.0 ^{A, a}	1.0 ± 0.0 ^{A, a}	1.0 ± 0.0 ^{A, a}
2	1.0 ± 0.0 ^{A, a}	1.0 ± 0.0 ^{A, a}	1.0 ± 0.0 ^{A, a}	1.0 ± 0.0 ^{A, a}	1.0 ± 0.0 ^{A, a}	1.0 ± 0.0 ^{A, a}	1.0 ± 0.0 ^{A, a}	1.0 ± 0.0 ^{A, a}
3	1.0 ± 0.0 ^{A, a}	1.0 ± 0.0 ^{A, a}	1.0 ± 0.0 ^{A, a}	1.0 ± 0.0 ^{A, a}	1.0 ± 0.0 ^{A, a}	1.0 ± 0.0 ^{A, a}	1.0 ± 0.0 ^{A, a}	1.0 ± 0.0 ^{A, a}
4	1.0 ± 0.0 ^{A, a}	1.4 ± 0.4 ^{A, a}	1.0 ± 0.0 ^{A, a}	1.0 ± 0.0 ^{A, a}	1.0 ± 0.0 ^{A, a}	1.4 ± 0.4 ^{A, a}	1.2 ± 0.3 ^{A, a}	1.0 ± 0.0 ^{A, a}
5	1.0 ± 0.0 ^{A, a}	1.0 ± 0.0 ^{A, a}	1.0 ± 0.0 ^{A, a}	1.0 ± 0.0 ^{A, a}	1.1 ± 0.2 ^{A, a}	1.4 ± 0.4 ^{A, a}	1.2 ± 0.2 ^{A, a}	1.0 ± 0.0 ^{A, a}
6	1.0 ± 0.0 ^{A, a}	1.0 ± 0.0 ^{A, a}	1.0 ± 0.0 ^{A, a}	1.0 ± 0.0 ^{A, a}	1.0 ± 0.0 ^{A, a}	1.0 ± 0.0 ^{A, a}	1.0 ± 0.0 ^{A, a}	1.0 ± 0.0 ^{A, a}
7	1.0 ± 0.0 ^{A, a}	1.0 ± 0.0 ^{A, a}	1.0 ± 0.0 ^{A, a}	1.0 ± 0.0 ^{A, a}	1.0 ± 0.0 ^{A, a}	1.0 ± 0.0 ^{A, a}	1.0 ± 0.0 ^{A, a}	1.0 ± 0.0 ^{A, a}
8	1.0 ± 0.0 ^{A, a}	1.0 ± 0.0 ^{A, a}	1.0 ± 0.0 ^{A, a}	1.0 ± 0.0 ^{A, a}	1.0 ± 0.0 ^{A, a}	1.0 ± 0.0 ^{A, a}	1.0 ± 0.0 ^{A, a}	1.0 ± 0.0 ^{A, a}
30 องศาเซลเซียส								
1	1.1 ± 0.1 ^{C, a}	3.1 ± 0.2 ^{B, ab}	6.5 ± 0.8 ^{A, a}	6.3 ± 0.2 ^{A, a}	6.5 ± 0.4 ^{A, a}	ND*	ND	ND
2	1.0 ± 0.0 ^{C, a}	3.4 ± 1.1 ^{B, abc}	5.3 ± 0.3 ^{A, a}	5.7 ± 0.6 ^{A, a}	7.5 ± 1.5 ^{A, a}	ND	ND	ND
3	1.0 ± 0.0 ^{B, a}	3.1 ± 1.3 ^{B, abc}	6.1 ± 1.0 ^{A, a}	6.6 ± 0.4 ^{A, a}	7.1 ± 1.2 ^{A, a}	ND	ND	ND
4	1.0 ± 0.0 ^{B, a}	3.4 ± 1.0 ^{B, abc}	4.9 ± 0.7 ^{A, ab}	6.8 ± 1.2 ^{A, a}	6.9 ± 0.8 ^{A, a}	ND	ND	ND
5	1.0 ± 0.0 ^{B, a}	3.0 ± 1.3 ^{B, abc}	5.6 ± 0.2 ^{A, a}	5.9 ± 1.8 ^{A, ab}	5.6 ± 0.1 ^{A, ab}	ND	ND	ND
6	1.0 ± 0.0 ^{C, a}	3.4 ± 0.1 ^{B, a}	4.6 ± 1.6 ^{B, bc}	4.9 ± 0.6 ^{AB, ab}	5.9 ± 0.3 ^{A, ab}	ND	ND	ND
7	1.0 ± 0.0 ^{B, a}	1.0 ± 0.0 ^{B, c}	3.7 ± 1.3 ^{AB, c}	4.3 ± 1.4 ^{A, b}	5.1 ± 1.4 ^{A, b}	ND	ND	ND
8	1.0 ± 0.0 ^{B, a}	1.6 ± 0.6 ^{B, bc}	5.7 ± 0.7 ^{A, a}	6.7 ± 1.6 ^{A, ab}	6.5 ± 0.7 ^{A, a}	ND	ND	ND

^A ภายในแถวเดียวกันของแต่ละสภาวะการทดลองที่อุณหภูมิเดียวกันมีตัวอักษรตัวพิมพ์ใหญ่แตกต่างกันหมายความว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (p < 0.05)

^a ภายในสัปดาห์เดียวกันของแต่ละช่วงเวลาในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิเดียวกันมีตัวอักษรตัวพิมพ์เล็กแตกต่างกันหมายความว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (p < 0.05)

[#] 1 = ตัวอย่างควบคุม 2 = เติม STPP 1000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม 3 = เติม STPP 2500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม 4 = เติม STPP 5000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม 5

= เติม SAPP 1000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม 6 = เติม SAPP 2500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

7 = เติม SAPP 5000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม 8 = เติม SAPP ร่วมกับ STPP อย่างละ 2500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

* ไม่มีข้อมูลเนื่องจากสุ่มตรวจตัวอย่างในวันที่ 0, 1, 3, 5 และ 7 สำหรับตัวอย่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

กิตติกรรมประกาศ

ได้รับทุนอุดหนุนวิจัยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จากสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์และขอขอบคุณภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหารที่ให้อาศัยสถานที่ในการปฏิบัติการทดลอง

บรรณานุกรม

- Alvarado, C., & McKee, S. (2007). Marination to improve functional properties and safety of poultry meat. *Journal of Applied Poultry Research*, 16(1), 113-120.
- Cousin, M.A., Jay, J.M., & Vasavada, P.C. (2001). Psychrotrophic microorganisms. In F.P. Downes & K. Ito (Eds.), *Compendium of Methods for The Microbiological Examination of Foods* (4th Ed ed., pp. 159-166). Washington, DC: American Public Health Association.
- Fernández-López, J., Sayas-Barberá, E., Pérez-Alvarez, J., & Aranda-Catalá, V. (2004). Effect of sodium chloride, sodium tripolyphosphate and pH on color properties of pork meat. *Color Research*, 29(1), 67-74.
- Kim, H.W., Choi, J.H., Choi, Y.S., Kim, H.Y., Lee, M.A., Hwang, K.E., Song, D.H., Lee, J.W., & Kim, C.J. (2014). Effects of kimchi and smoking on quality characteristics and shelf life of cooked sausages prepared with irradiated pork. *Meat Science*, 96(1), 548-553.
- Long, N.H.B.S., Gál, R., & Bunka, F. (2011). Use of phosphates in meat products. *African Journal of Biotechnology*, 10(86), 19874-19882.
- Molins, R.A., Pickett, C.B., Mantle, T.J., Mannervik, B., & Molins, R.A. (1991). *Phosphates in food*. Boca Raton, Florida: CRC Press.
- Murphy, R., & Marks, B. (2000). Effect of meat temperature on proteins, texture, and cook loss for ground chicken breast patties. *Poultry Science*, 79(1), 99-104.
- Sickler, M.L., Claus, J.R., Marriott, N.G., Eigel, W.N., & Wang, H. (2013). Antioxidative effects of encapsulated sodium tripolyphosphate and encapsulated sodium acid pyrophosphate in ground beef patties cooked immediately after antioxidant incorporation and stored. *Meat Science*, 94(3), 285-288.
- Wong, D. W. S. (1989). Additives. In W. S. Dominic & D. W. S. Wong (Eds.), *Mechanism and theory in food chemistry* (Vol. 115, pp. 314-334). Van Nostrand Reinhold, New York: Springer.
- Zheng, H.B., Han, M.Y., Yang, H.J., Xu, X.L., & Zhou, G.H. (2018). The effect of pressure-assisted heating on the water holding capacity of chicken batters. *Innovative Food Science Emerging Technologies*, 45, 280-286.
- Zheng, M., Toledo, R., & Wicker, L. (1999). Effect of phosphate and pectin on quality and shelf-life of marinated chicken breast. *Journal of Food Quality*, 22(5), 553-564.
- ปิยะฉัตร ใจเอื้อ, ประเวทย์ ตัญเตี๋มวงศ์, ขรณี ตัญเตี๋มวงศ์ และ อรุณศรี ลีจรีจำเนียร. (2547). ผลการปรับสภาพบรรยากาศต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของหมูยอ. ใน การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 42: สาขาวิทยาศาสตร์สาขาการจัดการทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม (น. 43-51). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2539. หมูยอ (Mu Yor Sausage). 1346-2539. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม: กระทรวงอุตสาหกรรม
- อัจฉรา ดลวิทยาคุณ, อำไพ สงวนแว และสุวรรณี ขันการนาวิ. (2557). การผลิตหมูยอโดยใช้ไมโครเวฟ. *วารสารการเกษตรราชภัฏ* 13(1): 80-87.