ผลของการแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งต่อคุณภาพของแยมลิ้นจี่

Effect of Ultra-High Pressure Processing on Qualities of Litchi Jam

พิทยา ใจคำ*

Pittaya Chaikham

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่ง (500 เมกกะปาสคาล ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที) ต่อคุณภาพของแยมลิ้นจี่ โดยผันแปรปริมาณเพคติน 5 ระดับ (1, 2, 3, 4 และ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) จากนั้นทำการเปรียบเทียบคุณภาพกับแยมสูตรควบคุมซึ่งผ่านการแปรรูปด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จากผลการทดลองพบว่า แยมลิ้นจี่ที่ผ่านการแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งทุกชุดการทดลองจะมีสีเข้มน้อยกว่าตัวอย่างชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และความเข้มของสีในตัวอย่างที่เพิ่มขึ้นยังมีความสัมพันธ์กับปริมาณเพคตินที่เพิ่มขึ้นด้วย จากการวิเคราะห์เนื้อสัมผัส และพฤติกรรมการไหลของตัวอย่าง พบว่า ตัวอย่างชุดควบคุมจะมีคุณลักษณะใกล้เคียงกับตัวอย่างที่ผ่านการแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งและมีการเติมเพคติน 3 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณสารไฮดร็อกซีเมทธิลเฟอร์ฟูรัลในตัวอย่างที่ผ่านการแปรรูปด้วยความร้อนมีค่าสูงกว่าแยมชุดการทดลองอื่นๆ ในขณะที่ปริมาณสารสำคัญ (กรดแอสคอร์บิค และสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมด) และประสิทธิภาพในต้านอนุมูลอิสระ (วิธี DPPH และ FRAP) ในตัวอย่างที่ผ่านการแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งจะมีค่าสูงกว่าตัวอย่างชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อวิเคราะห์หากิจกรรมของเอนไซม์พอลีฟีนอลออกซิเดส และเพอร์ออกซิเดส พบว่า กิจกรรมของเอนไซม์ดังกล่าวยังคงหลงเหลืออยู่ในตัวอย่างที่ผ่านการแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งเท่ากับ 1.47-1.54 และ 2.60-2.75 μkatals ตามลำดับ แต่ตรวจไม่พบในตัวอย่างที่แปรรูปด้วยความร้อน นอกจากนั้นยังพบว่า การแปรรูปทั้ง 2 วิธีสามารถทำลายจุลินทรีย์ให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยกับผู้บริโภค และจากการทดสอบทางประสาทพบว่า คะแนนความชอบโดยรวมมีค่าสูงที่สุดในแยมลิ้นจี่ที่ผ่านการแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งที่มีการเติมเพคติน 3 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ : แยมลิ้นจี่ / การแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่ง / การยอมรับ / เพคติน

*อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

ABSTRACT

This research purposed to investigate the effect of ultra-high pressure process (500 MPa at 50°C for 20 min) on qualities of litchi jam varied pectin content with 5 levels (1, 2, 3, 4 and 5%, w/w), compared to the control which were thermally-heated at 70°C. Results showed that all pressurized litchi jams had a significant lower in color intensity than the control, and this parameter apparently increased with the pectin content. The control sample was found to have a similarity in textural and rheological behaviors with pressurized sample combined with 3% pectin. The highest content of hydroxymethylfurfural was found in thermally-heated sample when comparison to other treatments. The levels of bioactive components (ascorbic acid and total phenolic compounds) and antioxidant capacities (DPPH and FRAP assays) in pressurized samples were significant higher than the heated one. The activities of polyphenol oxidase and peroxidase in pressurized samples were ranged between 1.47-1.54 and 2.60-2.75 μkatals, respectively. However, both enzyme activities were not detectable in the heated jam. For microbiological assessments, the results displayed that both methods could inhibit the indicator microbes and all processed jams were safe for consumers. In addition, the sensory evaluation results showed that pressurized litchi jam with 3% pectin displayed the highest in overall acceptability liking score.

Keywords : Litchi jam / Ultra-high pressure process / Acceptability / Pectin

บทนำ

ลิ้นจี่ (*Litchi chinensis* Sonn) เป็นไม้ผลกึ่งเมืองร้อนอีกชนิดหนึ่งที่จัดว่าเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของภาคเหนือของประเทศไทย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาคเหนือตอนบน ปัจจุบันมีผู้นิยมปลูกลิ้นจี่กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากผลผลิตจำหน่ายได้ราคาดี ดูแลรักษาง่าย โรค และแมลงรบกวนน้อย เป็นที่นิยมของผู้บริโภคทั้งชาวไทย และต่างประเทศ แหล่งผลิตลิ้นจี่ที่สำคัญในภาคเหนือ ได้แก่ จังหวัดเชียงราย เชียงใหม่ พะเยา เป็นต้น ลิ้นจี่นอกจากจะรับประทานผลสดแล้ว ยังนำไปแปรรูปเป็นลิ้นจี่กระป๋อง แยมลิ้นจี่ น้ำลิ้นจี่ ลิ้นจี่กวน และลิ้นจี่ตากแห้งได้อีกด้วย ลิ้นจี่ถือว่าเป็นแหล่งที่สำคัญของกรดแอสคอร์บิคหรือวิตามินซี ซึ่งมีสูงถึง 40-90 mg/100 g (Menzel, et al., 2005) และมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิคประมาณ 80 mg GAE/100 g (Dajanta, et al., 2012) เนื้อลิ้นจี่จะมีกลิ่นหอมเฉพาะตัว และมีรสหวานอมเปรี้ยว ซึ่งปกติลิ้นจี่จะมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดประมาณ 21.6 g/100 g และปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริกประมาณ 0.37 g/100 g (Haq & Rab, 2012; Sun, et al., 2010) นอกจากนี้ยังพบสารให้กลิ่นที่ระเหยได้ในลิ้นจี่มากกว่า 40 ชนิด (Wu, et al., 2009) แต่อย่างไรก็ตามเมื่อนำลิ้นจี่ไปผ่านการแปรรูปด้วยความร้อน อาทิเช่น การพาสเจอไรซ์ (pasteurization) และการสเตอริไลซ์ (sterilization) จะทำให้สารสำคัญเหล่านั้น และคุณค่าทางโภชนาการของลิ้นจี่สูญเสียไป นอกจากนั้นคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้อาจไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค (Chaikham, et al., 2017) ดังนั้นการแปรรูปลิ้นจี่ด้วยเทคโนโลยีที่ไม่ใช้ความร้อน เช่น การแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่ง (ultra-high pressure processing) จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพจากลิ้นจี่ได้

กระบวนการใช้ความดันสูงยิ่งเป็นวิธีการถนอมอาหารที่ใช้ระดับความดันสูงกว่าความดันบรรยากาศปกติค่อนข้างมาก ซึ่งมีจุดประสงค์เพื่อทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสีย และจุลินทรีย์ก่อโรค รวมทั้งทำลายเอนไซม์ที่เป็นสาเหตุให้เกิดการเสื่อมเสียของอาหาร ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์อาหารที่มีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนานขึ้น การแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งให้ผลใกล้เคียงกับการแปรรูปด้วยความร้อนระดับการพาสเจอไรซ์เท่านั้น แต่เนื่องจากใช้อุณหภูมิในการแปรรูปต่ำกว่าการพาสเจอไรซ์ จึงทำให้ลดการสูญเสียคุณภาพของอาหาร โดยจะช่วยคงรักษาสี กลิ่น และเนื้อสัมผัส รวมทั้งคุณค่าทางโภชนาการต่างๆ ของอาหารได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับการแปรรูปโดยใช้ความร้อน (Chaikham & Apichartsrangkoon, 2012; Chaikham & Baipong, 2016; Oey, et al., 2008) จากการศึกษาของ Apichartsrangkoon, et al. (2012) พบว่า การแปรรูปน้ำใบบัวบกที่ระดับความดัน 400 เมกกะปาสคาล อุณหภูมิต่ำกว่า 30 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 20 นาที สามารถรักษาสารสำคัญต่างๆ ได้แก่ เอเชียติโคไซด์ เมดแคสโสไซด์ เบต้าแคโรทีน กรดแอสคอร์บิค และสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมด รวมทั้งประสิทธิภาพในต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant capacity) ได้ดีกว่าการแปรรูปด้วยการพาสเจอไรซ์ และสเตอริไลซ์ และ Barba, et al. (2013) พบว่า น้ำบลูเบอร์รี่ที่ผ่านการแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งที่ระดับความดัน 200-400 เมกกะปาสคาล อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5-15 นาที มีฤทธิ์ในต้านอนุมูลอิสระไม่แตกต่างกับน้ำบลูเบอร์รี่สด

จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ เพื่อศึกษาผลของความดันสูงยิ่ง (500 เมกกะปาสคาล อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 20 นาที) และระดับของเพคติน (1 ถึง 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ต่อคุณภาพทางเคมีกายภาพ และจุลชีววิทยาของแยมลิ้นจี่ โดยเปรียบเทียบกับแยมลิ้นจี่ชุดควบคุมที่ผ่านการแปรรูปด้วยความร้อน นอกจากนั้นยังทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสของแยมที่ผลิตได้เพื่อคัดเลือกระดับความเข้มข้นของเพคตินที่เหมาะสมที่สุด

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การผลิตแยมลิ้นจี่โดยใช้ความร้อน

นำเนื้อลิ้นจี่พันธุ์กิมเจ็งที่ผ่านการปั่นให้ละเอียดแล้วมาเคี่ยวด้วยไฟอ่อนที่อุณหภูมิประมาณ 70 องศาเซลเซียส เติมน้ำตาลทรายขาว (อัตราส่วนเนื้อลิ้นจี่ต่อน้ำตาลเท่ากับ 1 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก) เพคติน 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และเติมกรดซิตริกลงไปเพื่อปรับให้มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เท่ากับ 3.4 เคี่ยวจนมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดเท่ากับ 62 องศาบริกซ์ แล้วทำการบรรจุลงในขวดแก้วที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว ก่อนนำไปวิเคราะห์คุณภาพต่อไป

2. การผลิตแยมลิ้นจี่โดยใช้ความดันสูงยิ่ง

ผสมเนื้อลิ้นจี่ที่ปั่นละเอียดแล้วกับน้ำตาลทรายขาวที่อัตราส่วน 1 ต่อ 1 จากนั้นเติมเพคตินลงไป โดยผันแปรปริมาณเพคติน 5 ระดับ คือ 1, 2, 3, 4 และ 5 เปอร์เซ็นต์ และปรับค่า pH ของส่วนผสมที่ได้โดยเติมกรดซิตริกจนได้เท่ากับ 3.4 คนให้เข้ากัน บรรจุลงถุงทนความร้อนแบบหนา นำเข้าเครื่องความดันสูงยิ่งที่ระดับความดัน 500 เมกกะปาสคาล อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที (‘Food Lab’ model 900 high pressure rig, Stansted Fluid Power, UK) ก่อนนำไปวิเคราะห์คุณภาพต่อไป

3. การวิเคราะห์คุณภาพด้านกายภาพ

นำตัวอย่างที่ผลิตได้มาทำการวิเคราะห์หาค่าสี ได้แก่ ค่าสี L^* (ค่าความสว่าง) ค่าสี a^* (ค่าความเป็นสีแดง) และค่าสี b^* (ค่าความเป็นสีเหลือง) ด้วยเครื่อง Miniscan XP plus Colorimeter (Hunter Lab, USA) วิเคราะห์หาค่าความแน่นเนื้อด้วยเครื่อง Texture Analyzer (CT3 10K, Brookfield, USA) และวิเคราะห์

พฤติกรรมการไหล (rheological behaviors) ด้วยเครื่อง AR 2000 Rheometer (TA Instruments, Inc., USA)

4. การวิเคราะห์คุณภาพด้านเคมี

นำตัวอย่างมาวิเคราะห์หาปริมาณสารไฮดร็อกซีเมทธิลเฟอร์ฟูราล (hydroxymethylfurfural, HMF) และกรดแอสคอร์บิค (ascorbic acid, AA) ด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC; CL-10 ADVP, Shimadzu, Japan) ตามวิธีของ Chaikham, et al. (2013) และ Chaikham & Apichartsrangkoon (2012) ตามลำดับ วิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมด (total phenolic compounds, TPC) และกิจกรรมในการต้านอนุมูลอิสระ (วิธี DPPH และ FRAP) รวมทั้งกิจกรรมของเอนไซม์พอลีฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase, PPO) และเพอร์ออกซิเดส (peroxidase, POD) ด้วยเครื่อง Spectrophotometer (UV WINLAB spectrophotometer, Perkin Elmer, USA) ตามวิธีของ Chaikham, et al. (2017)

5. การวิเคราะห์คุณภาพด้านจุลชีววิทยา

วิเคราะห์หาจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด รา และฟีคอลโคลิฟอร์ม โดยอาหารเลี้ยงเชื้อ Plate Count Agar (PCA), Potato Dextrose Agar (PDA) และ McConkey Agar ด้วยวิธี Pour plate counts ตามวิธีใน Bacteriological Analytical Manual (US Food and Drug Administration, 2001)

6. การทดสอบทางประสาทสัมผัส

นำตัวอย่างที่มีผลการวิเคราะห์ดีที่สุดมาทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point hedonic scale ให้คะแนนความชอบแต่ละคุณลักษณะ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบโดยรวม ซึ่งคะแนนเท่ากับ 1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด 5 หมายถึง เฉยๆ และ 9 หมายถึง ชอบมากที่สุด ผู้ทดสอบชิม คือ กลุ่มผู้บริโภคทั่วไปจำนวน 50 คน

7. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ผลการทดลองคุณภาพทางเคมีกายภาพ และจุลชีววิทยาที่ได้ในงานวิจัยนี้เกิดจากการวิเคราะห์จำนวน 3 ซ้ำ ทำการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) ส่วนการทดสอบทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) นำข้อมูลทั้งหมดที่ได้มาวิเคราะห์หาความแปรปรวนของข้อมูลด้วยวิธี Analysis of Variance (ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างด้วยวิธี Ducan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS (SPSS Inc., USA)

ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาผลของปริมาณเพคตินต่อคุณภาพด้านเคมีกายภาพ จุลชีววิทยา และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของแยมลิ้นจี่ โดยผันแปรปริมาณเพคติน 5 ระดับ และแปรรูปด้วยความดัน 500 เมกกะปาสคาล ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที เปรียบเทียบกับแยมลิ้นจี่ที่ผ่านการแปรรูปโดยใช้ความร้อน และมีการเติมเพคตินลงไป 1 เปอร์เซ็นต์ (ตัวอย่างชุดควบคุม) จากตารางที่ 1 พบว่า การเพิ่มขึ้นของปริมาณเพคตินทำให้ค่าสี L^* (ค่าความสว่าง) ของตัวอย่างที่ผ่านการแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในขณะที่ค่าสี a^* (ค่าความเป็นสีแดง) และ b^* (ค่าความเป็นสีเหลือง) นั้นมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น แยมลิ้นจี่ชุดควบคุมมีค่าสี L^* ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับแยมลิ้นจี่ที่ผ่านการแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งที่มีการเติมเพคติน 5 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนั้นยัง

พบว่า ตัวอย่างที่ผ่านการแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งทุกชุดการทดลองมีค่า a^* และ b^* ต่ำกว่าตัวอย่างชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 1 คุณภาพทางกายภาพของแยมลิ้นจี่ที่ผ่านการแปรรูปด้วยความร้อน และความดันสูงยิ่ง

ปริมาณเพคติน	ค่าสี			ค่าความแน่นเนื้อ (นิวตัน)
	L^*	a^*	b^*	
ชุดควบคุม	43.81±1.17^{e}	3.25±0.20^{e}	10.63±0.31^{a}	1.43±0.12^{c}
ร้อยละ 1	57.27±1.20^{a}	1.23±0.13^{d}	7.63±0.18^{d}	0.26±0.06^{e}
ร้อยละ 2	54.34±0.73^{b}	1.68±0.26^{c}	7.91±0.14^{d}	0.65±0.04^{d}
ร้อยละ 3	50.09±1.13^{c}	2.04±0.11^{b}	8.33±0.21^{c}	1.38±0.15^{c}
ร้อยละ 4	46.95±0.82^{d}	2.37±0.14^{a}	8.50±0.22^{bc}	1.91±0.09^{b}
ร้อยละ 5	42.50±0.56^{e}	2.58±0.17^{a}	8.86±0.15^{b}	2.40±0.11^{a}

หมายเหตุ : 1) ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยของการทดลอง 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 2) ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้ง แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 2 ค่า G', G'' และ tan δ วัดที่ความถี่ 1 เฮิร์ต ของแยมลิ้นจี่ที่ผลิตด้วยความร้อน และความดันสูงยิ่ง

ปริมาณเพคติน	G' (Pa)	G'' (Pa)	tan δ
ชุดควบคุม	1487.71±4.52^{c}	256.13±2.05^{c}	0.17±0.02^{b}
ร้อยละ 1	nd	nd	nd
ร้อยละ 2	504.85±3.94^{e}	98.63±1.12^{e}	0.20±0.01^{a}
ร้อยละ 3	1398.14±2.61^{d}	238.91±2.86^{d}	0.17±0.01^{b}
ร้อยละ 4	2065.45±2.09^{b}	314.55±3.15^{b}	0.15±0.02^{bc}
ร้อยละ 5	2851.50±1.73^{a}	381.46±2.03^{a}	0.13±0.01^{c}

หมายเหตุ : 1) ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยของการทดลอง 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 2) ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้ง แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ 3) nd หมายความว่า ไม่ได้ทำการวิเคราะห์ (not determined)

การทดสอบคุณสมบัติหยุ่นหนืด (viscoelasticity) แบบสั่นโดยใช้ความเค้นคงที่ 0.10 ปาสคาล ที่ช่วงความถี่ 0.01-10 เฮิร์ต ของแยมลิ้นจี่ที่เติมเพคตินปริมาณ 1 ถึง 5 เปอร์เซ็นต์ ที่ผลิตด้วยความร้อน และความดันสูงยิ่ง ให้ผลดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งพบว่า ค่า Storage modulus (G') และค่า Loss modulus (G'') ในทุกชุดการทดลองมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยแยมลิ้นจี่ที่เติมเพคติน 5 เปอร์เซ็นต์ มีค่า G' และ G'' มากที่สุด ส่วนแยมลิ้นจี่ที่ผ่านการแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งและมีการเติมเพคติน 1 เปอร์เซ็นต์ ไม่สามารถวัดหาค่า G' และ G'' ได้ เนื่องจากตัวอย่างมีลักษณะที่เป็นของเหลว ค่า G' และ G'' ของแยมลิ้นจี่ที่ผ่านการแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งที่เติมเพคติน 3 เปอร์เซ็นต์ มีค่าที่ใกล้เคียงกับแยมลิ้นจี่ชุดควบคุม เมื่อพิจารณาค่า G' ของแยมลิ้นจี่ที่ผ่านการแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งจะเห็นได้ชัดว่าเมื่อปริมาณเพคตินเพิ่มขึ้น

แยมจะมีลักษณะเป็นของแข็งยืดหยุ่นเพิ่มมากขึ้น นอกจากนั้นเมื่อคำนวณค่า tan δ ของตัวอย่างทั้งหมด พบว่าตัวอย่างชุดควบคุม และตัวอย่างที่ผ่านการแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งที่มีการเติมเพคติน 3 และ 4 เปอร์เซ็นต์ มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) โดยตัวอย่างที่ผ่านการแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งที่มีการเติมเพคติน 5 เปอร์เซ็นต์ มีค่า tan δ สูงที่สุด

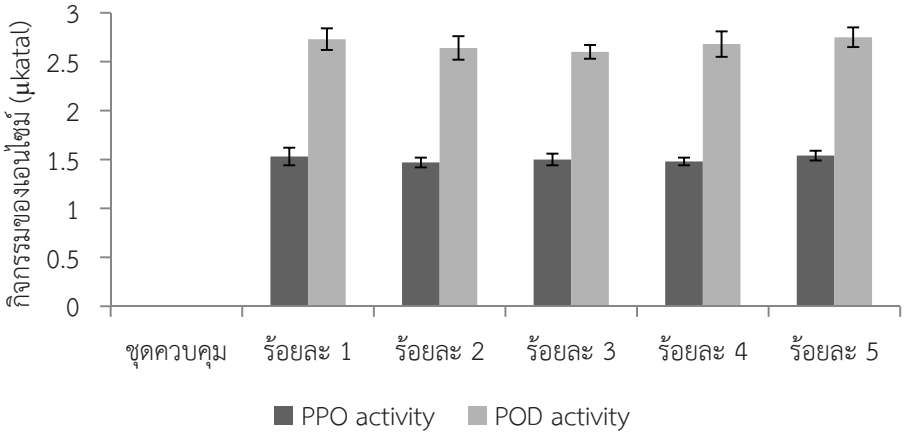
จากตารางที่ 3 พบว่า แยมลิ้นจี่ที่ผ่านการแปรรูปด้วยความร้อนมีปริมาณสาร HMF สูงที่สุด และมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับตัวอย่างที่ผ่านการแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่ง ($P \leq 0.05$) นอกจากนั้นจากการวิเคราะห์หาปริมาณ AA, TPC, ค่าการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH และค่า FRAP value ในตัวอย่างแยมลิ้นจี่ พบว่า ตัวอย่างชุดควบคุม (แปรรูปด้วยความร้อน) มีปริมาณสารสำคัญ และประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระต่ำกว่าตัวอย่างที่ผ่านการแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) นอกจากนั้นยังพบว่าปริมาณเพคตินที่เพิ่มขึ้นในส่วนผสมมีผลทำให้ปริมาณสารสำคัญทั้งสองชนิด และค่า FRAP value มีแนวโน้มที่ลดลงตามไปด้วย แต่ไม่มีผลต่อค่าการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH

ตารางที่ 3 ปริมาณสารไฮดร็อกซีเมทธิลเฟอฟูรอล กรดแอสคอร์บิค สารประกอบฟีนอลิคทั้งหมด และประสิทธิภาพในต้านอนุมูลอิสระในแยมลิ้นจี่ที่ผ่านการแปรรูปด้วยความร้อน และความดันสูงยิ่ง

ปริมาณเพคติน	HMF (ppm)	AA (mg/100 g)	TPC (mg GAE/100 g)	DPPH (เปอร์เซ็นต์)	FRAP (mM FeSO4/100 g)
ชุดควบคุม	21.98±3.82^{a}	11.96±2.14^{d}	43.80±2.42^{d}	19.65±1.48^{b}	10.90±3.40^{c}
ร้อยละ 1	8.41±1.67^{b}	28.62±1.06^{a}	95.14±1.97^{a}	56.41±4.31^{a}	22.95±2.63^{a}
ร้อยละ 2	9.02±2.11^{b}	27.75±2.44^{ab}	92.31±1.63^{a}	55.03±2.90^{a}	21.67±1.85^{ab}
ร้อยละ 3	9.97±1.95^{b}	26.81±1.52^{ab}	90.05±0.96^{b}	58.23±1.57^{a}	21.80±2.00^{ab}
ร้อยละ 4	8.50±2.06^{b}	25.05±1.76^{c}	88.64±2.09^{b}	56.99±3.60^{a}	19.65±1.73^{ab}
ร้อยละ 5	8.81±2.50^{b}	23.90±2.08^{c}	84.00±1.71^{c}	57.15±2.75^{a}	18.64±1.52^{b}

หมายเหตุ : 1) ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยของการทดลอง 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 2) ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้ง แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

จากภาพที่ 1 พบว่า แยมลิ้นจี่ที่ผ่านการแปรรูปด้วยความร้อนไม่พบกิจกรรมของเอนไซม์ PPO และ PPO ในขณะที่แยมลิ้นจี่ที่ผ่านการแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งมีกิจกรรมของเอนไซม์ PPO อยู่ในช่วง 1.47±0.05 ถึง 1.54±0.04 μkatals และกิจกรรมของเอนไซม์ POD อยู่ในช่วง 2.60±0.07 ถึง 2.75±0.10 μkatals โดยตัวอย่างที่ผ่านการแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งทุกชุดการทดลองมีกิจกรรมของเอนไซม์ทั้งสองชนิดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)



ภาพที่ 1 กิจกรรมของเอนไซม์ PPO และ POD ในแยมลิ้นจี่ที่ผ่านการแปรรูปด้วยความร้อน และความดันสูงยิ่ง

จากการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของแยมลิ้นจี่ทุกชุดการทดลอง พบว่า ตรวจพบจุลินทรีย์ทั้งหมด รา และฟีคอลโคลิฟอร์ม น้อยกว่า 10 CFU/g (ตารางที่ 4) แสดงว่าการแปรรูปแยมทั้งการใช้ความร้อนและความดันสูงยิ่งสามารถลดจำนวนของจุลินทรีย์ชี้วัดเหล่านี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 4 คุณภาพทางด้านจุลชีววิทยาของแยมลิ้นจี่ที่ผ่านการแปรรูปด้วยความร้อน และความดันสูงยิ่ง

ปริมาณเพคติน	จำนวนจุลินทรีย์ (CFU/g)		
	จุลินทรีย์ทั้งหมด	รา	ฟีคอลโคลิฟอร์ม
ลิ้นจี่สด	$6.18\pm1.35^{a}\times10^{4}$	$7.50\pm1.86^{a}\times10^{3}$	$1.65\pm0.72^{a}\times10^{3}$
ชุดควบคุม	$<10^{b}$	$<10^{b}$	$<10^{b}$
ร้อยละ 1	$<10^{b}$	$<10^{b}$	$<10^{b}$
ร้อยละ 2	$<10^{b}$	$<10^{b}$	$<10^{b}$
ร้อยละ 3	$<10^{b}$	$<10^{b}$	$<10^{b}$
ร้อยละ 4	$<10^{b}$	$<10^{b}$	$<10^{b}$
ร้อยละ 5	$<10^{b}$	$<10^{b}$	$<10^{b}$

หมายเหตุ : 1) ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยของการทดลอง 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 2) ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้ง แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

จากการวิเคราะห์เนื้อสัมผัส และการศึกษาพฤติกรรมการไหลของตัวอย่างแยมลิ้นจี่ที่ผ่านการแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่ง พบว่า การเติมเพคตินปริมาณ 3 และ 4 เปอร์เซ็นต์ ให้เนื้อสัมผัสของแยมที่ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณเพคตินที่ระดับอื่นๆ ดังนั้นจึงคัดเลือกชุดการทดลองดังกล่าวมาทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยทำการเปรียบเทียบกับตัวอย่างชุดควบคุม จากตารางที่ 5 พบว่า ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสของของแยมทุกชุดการทดลองไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ส่วนลักษณะ

อื่นๆ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ และการยอมรับโดยรวม แยมลิ้นจี่ชุดควบคุมมีคะแนนความชอบต่ำกว่าแยมลิ้นจี่ที่ผ่านการแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งที่เติมเพคติน 3 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) แต่อย่างไรก็ตามพบว่า ตัวอย่างนี้มีคะแนนความชอบในคุณลักษณะดังกล่าวไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับตัวอย่างที่ผ่านการแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งที่เติมเพคติน 4 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 5 คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของแยมลิ้นจี่ที่ผ่านการแปรรูปด้วยความร้อน และความดันสูงยิ่ง

ปริมาณเพคติน	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่น	เนื้อสัมผัส^{ns}	รสชาติ	การยอมรับโดยรวม
ชุดควบคุม	5.92±0.43^{b}	6.21±0.35^{b}	6.24±0.45^{b}	6.50±0.39	6.01±0.36^{b}	6.13±0.38^{b}
ร้อยละ 3	6.43±0.42^{a}	6.79±0.43^{a}	6.71±0.41^{a}	6.42±0.46	7.12±0.44^{a}	6.97±0.35^{a}
ร้อยละ 4	6.24±0.41^{ab}	6.60±0.40^{ab}	6.54±0.37^{ab}	6.15±0.40	6.82±0.35^{ab}	6.41±0.41^{ab}

หมายเหตุ : 1) ค่าที่แสดงเป็นคะแนนเฉลี่ยจากการทดสอบชิมของผู้บริโภคทั่วไปจำนวน 50 คน ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 2) ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้ง แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ 3) ns คือ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

อภิปรายผล

จากผลการทดลองในงานวิจัยนี้ พบว่า แยมลิ้นจี่ที่ผ่านการแปรรูปด้วยความร้อนมีสีที่เข้มกว่าแยมลิ้นจี่ที่ผ่านการแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่ง ซึ่ง Chaikham & Apichartsrangkoon (2012) ได้อธิบายว่า การลดลงของค่าสี L^* และการเพิ่มขึ้นของค่าสี a^* และ b^* ในผลิตภัณฑ์ผัก และผลไม้ที่แปรรูปด้วยความร้อนเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) สำหรับในงานวิจัยนี้การลดลงของค่าสี L^* และการเพิ่มขึ้นของค่าสี a^* และ b^* เกิดจากปริมาณเพคตินที่เพิ่มขึ้น นอกจากนั้นอาจเกิดจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ PPO และ POD (Schwartz, et al., 2008) ซึ่งยังพบกิจกรรมในตัวอย่าง ดังแสดงในภาพที่ 1 นอกจากนั้นเมื่อทำการทดสอบคุณสมบัติหยุ่นหนืดแบบสั่นของตัวอย่าง โดยใช้ความเค้นคงที่ 0.10 ปาสคาล ที่ช่วงความถี่ 0.01-10 เฮิร์ต จะเห็นได้ชัดว่าค่า tan δ ของแยมลิ้นจี่มีค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่า ตัวอย่างที่ได้มีลักษณะคล้ายของแข็งมากกว่าของเหลว โดยตัวอย่างที่มีค่า tan δ น้อยที่สุดจะมีลักษณะเป็นของแข็งมากที่สุด (Ross-Murphy, 1988) ในงานวิจัยนี้แยมลิ้นจี่ที่ผ่านการแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งที่เติมเพคติน 5 เปอร์เซ็นต์ มีค่า tan δ น้อยที่สุด แสดงว่า ตัวอย่างดังกล่าวมีลักษณะข้นหนืดมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับค่าความแน่นเนื้อของตัวอย่าง ดังแสดงในตารางที่ 1

สารประกอบ HMF เป็นสารที่เกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด ซึ่งปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นขณะแปรรูปอาหารด้วยการพาสเจอไรซ์ รวมทั้งในระหว่างการเก็บรักษา โดยน้ำตาลรีดิวซ์จะทำปฏิกิริยากับหมู่อะมิโนในโมเลกุลของแอมโมเนีย กรดอะมิโน และโปรตีนได้เป็นไกลโคซิลเอมีน (*N*-substituted glycosylamine) และจะเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องจนได้สารสีน้ำตาล (Schwartz, et al., 2008) จากรายงานของ Chaikham, et al. (2013) พบว่า การเพิ่มขึ้นของปริมาณ HMF จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับระยะเวลาในการให้ความร้อนที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้ความเข้มของสีในผลิตภัณฑ์อาหารเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย ในงานวิจัยนี้พบว่า ปริมาณ HMF ที่พบในตัวอย่างทุกชุดการทดลองยังคงมีค่าเป็นไปตามมาตรฐานคุณภาพอาหารทั่วไป โดยสามารถตรวจพบปริมาณ HMF ได้ไม่เกิน 25 ppm (Zhang, et al., 2012)

ผลการวิเคราะห์หาปริมาณ AA, TPC และประสิทธิภาพในต้านต้านอนุมูลอิสระของตัวอย่างแยมลิ้นจี่ในงานวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของคณะผู้วิจัยก่อนหน้านี้ในน้ำลำไยสดสกัดที่ผ่านการแปรรูปด้วยการ

พาสเจอไรซ์ และความดันสูงยิ่ง (Chaikham & Apichartsrangkoon, 2012) จากรายงานวิจัยของรัตนา และคนอื่นๆ (2552) พบว่า การแปรรูปเนื้อลำไยในน้ำเชื่อมที่ระดับความดัน 400-500 เมกกะปาสคาล อุณหภูมิ 30-40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาที ยังคบพบปริมาณ AA คงเหลือสูงถึง 74-79 เปอร์เซ็นต์ ส่วนเนื้อลำไยในน้ำเชื่อมพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที มีปริมาณ AA คงเหลืออยู่เท่ากับ 46 เปอร์เซ็นต์ Patras, et al., (2009) ยังพบว่า ในพิวเร่สตรอเบอร์รี่ (strawberry pureé) ที่ผ่านการแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งที่ระดับความดัน 400-600 เมกกะปาสคาล มีปริมาณ TPC มากกว่าตัวอย่างที่ผ่านการแปรรูปด้วยความร้อน และ Igual, et al. (2010) พบว่า น้ำองุ่นเมื่อนำไปผ่านการแปรรูปด้วยการพาสเจอไรซ์จะทำให้มีค่าการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ลดลงถึง 40 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำองุ่นคั้นสด นอกจากนั้น Keenan, et al. (2012) ยังพบว่า ค่าการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ของสมูตตี้ผลไม้รวม (fruit smoothies) ที่ผ่านการแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งที่ระดับความดัน 450 เมกกะปาสคาล อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที มีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ผ่านการแปรรูป และมีค่าสูงกว่าตัวอย่างที่ผ่านการแปรรูปด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลามากกว่า 10 นาที

PPO และ POD เป็นเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (enzymatic browning reaction) ในผักและผลไม้ รวมทั้งผลิตภัณฑ์ จากงานวิจัยของ Chaikham & Baipong (2016) พบว่า เอนไซม์ PPO ในน้ำเม่าสกัดจะถูกยับยั้งโดยสมบูรณ์โดยการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที ในขณะที่การแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งที่ระดับความดัน 100, 300 และ 500 เมกกะปาสคาล อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5-15 นาที ยังมีกิจกรรมของเอนไซม์ PPO คงเหลือ 110-126, 112-131 และ 81-90 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และ Apichartsrangkoon, et al. (2013) รายงานว่า ในน้ำพริกหนุ่มที่ผ่านการแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งที่ระดับความดัน 400-500 เมกกะปาสคาล อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20-40 นาที ยังคงมีกิจกรรมของเอนไซม์ PPO และ POD สูงถึง 90-110 และ 80-90 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับน้ำพริกหนุ่มที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ตรวจไม่พบกิจกรรมของเอนไซม์ทั้งสองชนิด

ความดันสูงยิ่งมีผลต่อเยื่อหุ้มเซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์ทำให้สูญเสียคุณสมบัติการแทรกผ่านของสารต่างๆ และมีผลยับยั้งเอนไซม์ในกระบวนการเมตาบอลิซึม นอกจากนี้ยังมีผลทำให้โปรตีนเสียสภาพธรรมชาติ อย่างไรก็ตามความดันไม่สามารถทำลายเซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์ได้อย่างสมบูรณ์ แต่เป็นการทำให้เซลล์เกิดบาดแผลหรือความเสียหายเท่านั้น (Oey, et al., 2008) ผลการทดลองในงานวิจัยนี้สอดคล้องกับรายงานของรัตนา และคนอื่นๆ (2552) ที่พบว่า การแปรรูปเนื้อลำไยในน้ำเชื่อมด้วยการพาสเจอไรซ์ และการใช้ความดันสูงยิ่ง สามารถลดจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด รา และ ฟีคอลโคลิฟอร์ม ให้มีค่าต่ำกว่า 10 CFU/g นอกจากนั้น Landl, et al. (2010) พบว่า เมื่อนำพิวเร่แอปเปิ้ลมาผ่านการแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งที่ระดับความดัน 400-600 เมกกะ-ปาสคาล อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ทำให้ตรวจพบจำนวนจุลินทรีย์ที่ใช้อากาศทั้งหมด ยีสต์และรา ต่ำกว่า 50 CFU/g

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของแยมลิ้นจี่ที่ผ่านการคัดเลือกในงานวิจัยนี้สอดคล้องกับงานรายงานของคณะผู้วิจัยก่อนหน้านี้ ซึ่งพบว่า การแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งสามารถยังคงรักษาคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของน้ำเม่าสกัดได้ดีกว่าการแปรรูปด้วยความร้อน (Chaikham & Baipong, 2016) และ Oey, et al. (2008) รายงานว่า ข้อดีของการแปรรูปอาหารด้วยความดันสูงยิ่งนอกจากจะคงรักษาคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์แล้ว ยังทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสี กลิ่น และเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับของสดอีกด้วย

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาผลของการใช้ความดันสูงยิ่งต่อคุณภาพของแยมลิ้นจี่ที่มีการผันแปรปริมาณเพคติน 5 ระดับ เปรียบเทียบกับแยมลิ้นจี่ที่ใช้กระบวนการผลิตแบบดั้งเดิม (ชุดควบคุม) พบว่า ตัวอย่างที่ผ่านการแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งทุกชุดการทดลองจะมีสีเข้มน้อยกว่าตัวอย่างชุดควบคุม โดยสอดคล้องกับปริมาณ HMF ที่พบในตัวอย่าง นอกจากนั้นยังพบว่า ความเข้มของสีในตัวอย่างมีความสัมพันธ์กับปริมาณเพคตินที่เติมลงไปด้วย ตัวอย่างที่ผ่านการแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งที่มีการเติมเพคติน 3 เปอร์เซ็นต์ ให้คุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสที่ใกล้เคียงกับตัวอย่างชุดควบคุม และได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคสูงที่สุด จากการวิเคราะห์หาปริมาณ AA, TPC, ค่าการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH และค่า FRAP values พบว่า ตัวอย่างที่ผ่านการแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งจะมีระดับของปริมาณ/ประสิทธิภาพสูงกว่าตัวอย่างชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กิจกรรมของเอนไซม์ PPO และ POD ในตัวอย่างที่ผ่านการแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งยังคงเหลืออยู่ แต่ตรวจไม่พบในตัวอย่างชุดควบคุม อย่างไรก็ตามเมื่อวิเคราะห์หาเชื้อจุลินทรีย์ชี้วัดต่างๆ พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้สามารถนำไปบริโภคได้อย่างปลอดภัย และจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่า ผู้บริโภคให้การยอมรับโดยรวมในแยมลิ้นจี่ที่ผ่านการแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งที่มีการเติมเพคติน 3 เปอร์เซ็นต์ มากที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณคณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่เอื้อเฟื้อเครื่องแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งเพื่อใช้ในการแปรรูปแยมลิ้นจี่

เอกสารอ้างอิง

รัตนา ไชยมูล อรุณี อภิชาติสรางกูร และสถิระ หิรัญ. (2552). การแปรรูปลำไยในน้ำเชื่อมด้ยกระบวนการความดันสูงยิ่งและการพาสเจอไรซ์. **วารสารเกษตร**, **25**(3), 313-320.

Apichartsrangkoon, A., Chattong, U., & Chunthanom, P. (2012). Comparison of bioactive components in fresh, pressurized, pasteurized and sterilized pennywort (*Centella asiatica* L.) juices. **High Pressure Research: An International Journal**, **32**(2), 309-315.

Apichartsrangkoon, A., Srisajjalertwaja, S., Chaikham, P., & Hirun, S. (2013). Physical and chemical properties of Nam Prig Noom, a Thai green-chili paste, following ultra-high pressure and thermal processes. **High Pressure Research: An International Journal**, **31**(1), 83-95.

Barba, F.J., Esteve, M.J., & Frigola, A. (2013). Physicochemical and nutritional characteristics of blueberry juice after high pressure processing. **Food Research International**, **50**(2), 545-549.

Chaikham, P. & Apichartsrangkoon, A. (2012). Comparison of dynamic viscoelastic and physicochemical properties of pressurised and pasteurised longan juices with xanthan addition. **Food Chemistry**, **134**(4), 2194-2200.

Chaikham, P. & Baipong, S. (2016). Comparative effects of high hydrostatic pressure and thermal processing on physicochemical properties and bioactive components of Mao Luang (*Antidesma bunius* Linn.) juice. **Chiang Mai Journal of Science**, **43**(4), 851-862.

Chaikham, P., Kreungngern, D., & Apichartsrangkoon, A. (2013). Combined microwave and hot air convective dehydration on physical and biochemical qualities of dried longan flesh. **International Food Research Journal**, **20**(5), 2145-2151.

Chaikham, P., Rattanasena, P., Phunchaisri, C., & Sudsanor, P. (2017). Quality changes of litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) in syrup due to thermal and high pressure processes. **LWT-Food Science and Technology**, **75**, 751-760.

Dajanta, K., Apichartsrangkoon, A., & Somsang, S. (2012). Comparison of physical and chemical properties of high pressure- and heat-treated lychee (*Litchi chinensis* Sonn.) in syrup. **High Pressure Research: An International Journal**, **32**(1), 114-118.

Haq, I.U. & Rab, A. (2012). Characterization of physicochemical attributes of litchi fruit and its relation with fruit skin cracking. **The Journal of Animal & Plant Sciences**, **22**(1), 142-147.

Igual, M., García-Martínez, E., Camacho, M.M., & Martínez-Navarrete, N. (2010). Effect of thermal treatment and storage on the stability of organic acids and the functional value of grapefruit juice. **Food Chemistry**, **118**, 291–299.

Keenan, D.F., Rößle, C., Gormley, R., Butler, F., & Brunton, N.P. (2012). Effect of high hydrostatic pressure and thermal processing on the nutritional quality and enzyme activity of fruit smoothies. **LWT–Food Science and Technology**, **45**, 50–57.

Landl, A., Abadias, M., Sárraga, C., Viñas, I., & Picouet P.A. (2010). Effect of high pressure processing on the quality of acidified Granny Smith apple purée product. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, **11**, 557–564.

Menzel, C.M., Xuming, H., & Chengming, L. (2005). **Litchi and longan: Botany, production and uses**, in Menzel, C.M. & Waite, G.K. (Eds.). Wellingford : CAB International.

Oey, I., Lille, M., Van Loey, A., & Hendrickx, M. (2008). Effect of high-pressure processing on colour, texture and flavour of fruit- and vegetable-based food products: A review. **Trends in Food Science & Technology**, **19**(6), 320-328.

Patras, A., Brunton, N.P., Da Pieve, S., & Butler, F. (2009). Impact of high pressure processing on total antioxidant activity, phenolic, ascorbic acid, anthocyanin content and colour of strawberry and blackberry purees. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, **10**, 308–313.

Ross-Murphy, S.B. (1988). **Food structure-its creation and evaluation**, in Blanshard, J.M.V. & Mitchell, J.R. (Eds.). London: Butterworth Publishing.

Schwartz, S.J., von Elbe, J.H., & Giusti, M.M. (2008). **Fennema's Food Chemistry**, in Damodaran, S., Parkin, K.L., & Fennema, O.R. (Eds.). (4 th ed). Boca Raton, FL: CRC Press.

Sun, D., Liang, G., Xie, J., Lei, X., & Mo, Y. (2010). Improved preservation effects of litchi fruit by combining chitosan coating with ascorbic acid treatment during postharvest storage. **African Journal of Biotechnology**, **9**(22), 3272-3279.

U.S. Food and Drug Administration. (2001). **Bacteriological analytical manual (BAM)**. New Hampshire Avenue, Washington, DC: Department of Health and Human Services.

Wu, Y., Pan, Q., Qu, W., & Duan, C. (2009). Comparison of volatile profiles of nine litchi (*litchi chinensis* Sonn.) cultivars from southern China. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, **57**, 9676-9681.

Zhang, Y-Y., Song, Y., Hu, Z-S., Liao, Z-J., Ni, Y-Y., & Li, Q-H. (2012). Effects of sugars in batter formula and baking conditions on 5-hydroxymethylfurfural and furfural formation in sponge cake models. **Food Research International**, **49**, 439-445.