การสกัดและการประยุกต์ใช้เพคตินจากเปลือกทุเรียน

Extraction and Application of Pectin from Durian Rind

หยาดรุ้ง สุวรรณรัตน์[1], จิรพร สวัสดิการ[1], รุ่งทิวา สุวรรณรัตน์[2]

Yardrung Suwannarat, Jiraporn Sawasdikarn, Rungtiwa Suwannarat

[1]คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จ.จันทบุรี 22000

[2]สถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพมหานคร 10150

[1]Faculty of Agricultural Technology, Rambhai Barni Rajabhat University, Chantaburi 22000 Thailand

[2]Pilot Plant Development and Training Institute, King Monkut's University of Technology Thonburi, Bangkok 10150 Thailand

*Corresponding author E-mail: yardrung@yahoo.com

(Received: January 28 2019; Revised : March 10 2019; Accepted : March 18 2019)

บทคัดย่อ

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินจากเปลือกทุเรียนและประยุกต์ใช้ในการทำแยมและเยลลี่ ทำได้โดยนำเปลือกทุเรียนส่วนสีขาวมาบด ทำแห้งและสกัดโดยใช้กรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ น้ำกลั่นและความดันไอสูง จากผลการทดลองพบว่า วิธีการสกัดที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินจากเปลือกทุเรียน คือ การสกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริก เนื่องจากค่าระดับการเกิดเอสเทอริฟิเคชั่น ปริมาณเมทอกซิล และปริมาณกรดกาแลคทูโรนิค มีค่าใกล้เคียงกับเพคตินทางการค้า การทดลองต่อไปทำโดยสกัดเพคตินจากเปลือกทุเรียนด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ ซึ่งผลการทดลอง พบว่า อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินจากเปลือกทุเรียน คือ อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง เพคตินที่สกัดได้จัดเป็นเพคตินชนิดเมทอกซิลสูง มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับเพคตินเกรดโรงงานเมื่อเปรียบเทียบกับเพคตินทางการค้าตามข้อกำหนดของคณะกรรมการด้านวัตถุเจือปนอาหาร เมื่อนำเพคตินที่สกัดไปประยุกต์ใช้ในแยมสับปะรดและเยลลี่ส้ม และทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยใช้ผู้ทดสอบชิมที่ได้รับการฝึกฝน พบว่าผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับแยมสับปะรดและเยลลี่ส้มที่มีการเติมเพคตินที่สกัดได้จากเปลือกทุเรียนในระดับชอบเล็กน้อย

คำสำคัญ : เพคติน, เปลือกทุเรียน, ของเหลือทิ้ง

Abstract

The optimal conditions for pectin extraction from durian rind and applied the extracted pectin for jam and jelly productions were investigated. The white part of durian rind were milled, dried and extracted by using 0.05 M hydrochloric acid, distilled water and high vapor pressure. The results showed that the optimal extraction method to extract pectin from durian rind was hydrochloric acid extraction because of the degree of esterification (%DE), methoxyl content and galacturonic acid content of extracted pectin were similar to the commercial pectin. The further experiment was carried out by extraction the durian rind with hydrochloric acid at different temperature and time. The results found that the optimal temperature and time to extract the durian rind pectin were 90 °C for 5 hours. The obtained pectin can be categorized as a high methoxyl pectins (HMP). The extracted pectin characteristics were similar to the industrial grade pectin when compared with the commercial pectin according to the regulation of the Joint/WHO Expert Committee on Food Additive (JECFA). The extracted pectin was applied to the pineapple jam and orange jelly products and evaluated the sensory test using the training panelists. The panelists accepted pineapple jam and orange jelly that added extracted pectin from durian rind at slightly liked level.

Keywords : Pectin, Durian rind, Waste

บทนำ

เพคติน เป็นสารประกอบโพลิเมอร์ที่พบในพืช เช่นเดียวกับแป้งและเซลลูโลส ประกอบด้วยกรดกาแลคทูโรนิค (galacturonic acid) ต่อกันด้วยพันธะแอลฟา 1,4 ไกลโคซิดิก (α - 1,4 glycosidic) ตามข้อกำหนดของสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (Food and Drug Administration: FDA) ระบุว่า เพคตินต้องประกอบด้วยปริมาณกรด กาแลคทูโรนิค อย่างน้อยร้อยละ 65 เพคตินเป็นสารผสมอาหารเพื่อให้เกิดเนื้อสัมผัสตามต้องการ เป็นตัวทำให้เกิดเจล (gelling agent) ทำให้เกิดความข้นหนืด (thickener) และทำให้เกิดการคงตัว (stabilizer) ในผลิตภัณฑ์อาหารหลายประเภท เช่น เครื่องดื่ม เครื่องปรุง แยมเยลลี่ นมและโยเกิร์ต เพคตินสามารถนำมาใช้เป็นฟิล์มที่กินได้ (edible film) และฟิล์มที่ย่อยสลายได้ (biodegradable film) ตัวเชื่อมประสาน (adhesives) ป้องกันการกัดกร่อน (corrosion inhibitor) รวมทั้งพลาสติไซเซอร์ (plasticizers) ในอุตสาหกรรมยาและเครื่องสำอาง (Grassino, A.N. et al., 2016; Guo, et al., 2014; Espitia, et al., 2014; Thakur, et al., 1997; Voragen et al., 1995) แต่การประยุกต์ใช้เพคตินต้องคำนึงถึงระดับการเกิดเอสเทอริฟิเคชั่น (degree of esterification, % DE) เพราะเป็นตัวบ่งบอกคุณสมบัติการเกิดเจล เพคตินสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ตามปริมาณหมู่เมทอกซิล ได้แก่ เพคตินชนิดที่มีหมู่เมทอกซิลสูง (High Methoxyl Pectin, HMP) และเพคตินชนิดที่มีหมู่เมทอกซิลต่ำ (Low Methoxyl Pectin, LMP) เพคตินแต่ละประเภทจะมีคุณสมบัติการเกิดเจลที่แตกต่างกัน เพคตินชนิดที่มีหมู่เมทอกซิลต่ำ เป็นเพคตินที่มีระดับของเมทธิลเอสเทอริฟิเคชั่นน้อยกว่าร้อยละ 50 เกิดเจลได้โดยไม่ต้องมีของแข็งที่ละลายได้ (soluble solid) แต่ต้องมีแคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) ประมาณร้อยละ 3 มีของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solid) ร้อยละ 10-80 ที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง 2.9-5.5 เจลที่ได้จะมีลักษณะเนื้อสัมผัสอ่อนนุ่มและยืดหยุ่นมากกว่าเจลที่ได้จากเพคตินที่มีเมทอกซิลสูง เพคตินชนิดที่มีหมู่เมทอกซิลสูง เป็นเพคตินที่มีระดับของเมทธิลเอสเทอริฟิเคชั่น มากกว่าร้อยละ 50 จะเกิดเจลได้เมื่อมีของแข็งที่ละลายได้มากกว่าร้อยละ 55 ใช้กับอาหารที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่ำกว่า 3.5 การนำเพคตินมาใช้ประโยชน์ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์การนำไปใช้ ค่าความเป็นกรด-ด่างของอาหารและชนิดของผลิตภัณฑ์อาหาร ในปัจจุบันเพคตินสกัดได้จากเนื้อของหัวผักกาดฝรั่ง (sugar beet pulp) ที่บีบน้ำตาลออกแล้ว เปลือกส้มชั้นใน (citrus albedo) และกากของแอปเปิ้ล (apple pomace) หลังจากแยกน้ำแอปเปิ้ลออกแล้ว (Pasandide, et al., 2017) อย่างไรก็ตามปริมาณความต้องการใช้เพคตินทั่วโลกยังเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง รวมทั้งประเทศไทยเองมีการนำเข้าจากต่างประเทศเป็นปริมาณมากในแต่ละปี และมีราคาค่อนข้างแพง จึงมีงานวิจัยหลายงานที่มีการสกัดเพคตินจากเศษเหลือทางการเกษตรและเศษเหลือจากโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อใช้ทดแทนเพคตินทางการค้าที่มีอยู่ในปัจจุบัน เช่น เปลือกกล้วย (John Swamy & Muthukumarappan, 2016) เปลือกเสาวรส (Kulkarni & Vijayanand, 2010) เปลือกแก้วมังกร (Tang, et al., 2011; Muhammad, et al., 2014) กากแครอท (Jafari, et al, 2016) และเปลือกผลไม้ตระกูลส้ม (Colodel, et al., 2018; Tiwari, et al., 2017) เป็นต้น จากงานวิจัยต่าง ๆ พบว่า เพคตินสกัดได้จากเปลือกผลไม้ ดังนั้นเปลือกทุเรียนซึ่งประกอบด้วยสารโพลีแซคคาไรด์ (polysaccharide) จึงน่าจะสามารถสกัดเพคตินได้เช่นกัน คณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการนำเปลือกทุเรียนที่เหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก เมื่อถึงฤดูกาลออกผลผลิตช่วงเดือนพฤษภาคม ถึง เดือนมิถุนายน โดยเฉพาะเปลือกทุเรียนพันธุ์หมอนทองซึ่งมีปริมาณมากที่สุด เนื่องจากมีการปลูกกันอย่างแพร่หลายในจังหวัดจันทบุรี และจังหวัดใกล้เคียงในภาคตะวันออก มาสกัดเพคตินและประยุกต์ใช้ในอาหาร เพื่อเป็นแนวทางในการส่งเสริมการนำของเหลือทิ้งมาใช้ประโยชน์ และหากมีการปรับปรุงคุณสมบัติเพคตินให้ตรงตามมาตรฐานมากขึ้นจะช่วยลดขยะ และลดปัญหาสิ่งแวดล้อมตามมา

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาวิธีการสกัดและสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินจากเปลือกทุเรียน
2. เพื่อศึกษาการนำเพคตินจากเปลือกทุเรียนที่สกัดได้ไปใช้ประโยชน์ทางอาหาร

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมเปลือกทุเรียน

เตรียมเปลือกทุเรียนโดยดัดแปลงจากวิธีของ Maran (2015) โดยนำเปลือกทุเรียนด้านในพันธุ์หมอนทอง บดหยาบและอบแห้งในตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หรือจนกว่าจะได้ปริมาณความชื้นร้อยละ 9-10 นำเปลือกทุเรียนที่อบแห้งแล้วเก็บในถุงปิดสนิทและเก็บไว้ในที่แห้ง ถ้ายังไม่มีการทดลองขั้นต่อไป

2. ศึกษาวิธีการสกัดและสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินจากเปลือกทุเรียน

ทำการสกัดเพคตินจากเปลือกทุเรียน โดยศึกษาวิธีการสกัด อุณหภูมิ และเวลา ดังนี้

2.1 ศึกษาวิธีการที่เหมาะสมในการสกัดเพคติน

2.1.1 สกัดด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกและน้ำกลั่น

วิธีการสกัดเพคตินด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกและน้ำกลั่น ดัดแปลงจาก ขนิษฐา เลิกชัยภูมิ (2545) โดยนำเปลือกทุเรียนบดแห้งปริมาณ 100 กรัม ใส่บีกเกอร์ เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.05 โมลาร์ หรือน้ำกลั่น ในอัตราส่วนเปลือกทุเรียนบดแห้งต่อกรดไฮโดรคลอริกหรือน้ำกลั่น เท่ากับ 1:12 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (w/v) นำไปสกัดในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตั้งสารสกัดให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำมากรองผ่านผ้าขาวบาง 2 ชั้น นำส่วนใสมาตกตะกอนเพคตินโดยเติมเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 80 ในอัตราส่วนส่วนใสต่อเอทานอล 1:2 โดยปริมาตร (v/v) คนผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 ชั่วโมง กรองแยกตะกอนเพคตินด้วยผ้าขาวบาง ล้างตะกอนเพคตินด้วยอะซิโตนความเข้มข้นร้อยละ 80 จำนวน 3 ครั้ง ครั้งละ 50 มิลลิลิตร นำเพคตินที่สกัดได้ใส่ถาดวางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 60 นาที เพื่อให้อะซิโตนระเหย อบตะกอนเพคตินที่ได้ให้แห้งที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง บดด้วยเครื่องบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 150 ไมโครเมตร เก็บไว้ในถุงฟอยล์แบบทึบ หาปริมาณผลผลิตเพคตินที่ผลิตได้เป็นร้อยละ (% yield) โดยคำนวณจากจำนวนกรัมของเพคตินที่สกัดได้หลังอบแห้งต่อจำนวนกรัมของเปลือกทุเรียนบดแห้งก่อนการสกัดเพคติน

2.1.2 การสกัดด้วยความดันไอสูง

วิธีการสกัดเพคตินด้วยความดันไอสูง ดัดแปลงจาก สุนันท์ วิทิตสิริ (2557) โดยนำเปลือกทุเรียนบดแห้งปริมาณ 100 กรัม ใส่บีกเกอร์ เติมน้ำกลั่น ในอัตราส่วนเปลือกบดแห้งต่อน้ำกลั่น เท่ากับ 1:12 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นำไปสกัดในหม้อนึ่งไอน้ำอุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ตั้งสารสกัดให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง และดำเนินการขั้นตอนต่อไปจนได้ผงเพคตินดังข้อ 2.1.1 คำนวณหาปริมาณผลผลิตที่ได้

2.2 ศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการสกัดเพคติน

สกัดเพคตินโดยใช้วิธีที่ดีที่สุดในข้อ 2.1 โดยแปรอุณหภูมิที่ระดับ 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1, 3, 5 และ 7 ชั่วโมง เพื่อคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินจากเปลือกทุเรียน โดยใช้ปริมาณผลผลิตและคุณสมบัติของเพคตินที่สกัดได้เป็นตัวพิจารณาคัดเลือก

3. วิธีวิเคราะห์

วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของเพคตินที่สกัดได้ ดังนี้

3.1 ปริมาณความชื้นและเถ้า ตามวิธีของ AOAC (2000)

3.2 ปริมาณกรดกาแลคทูโรนิค

ชั่งน้ำหนักเพคติน 0.1 กรัม ผสมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.05 โมลาร์ ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ ทิ้งไว้ 30 นาที ปิเปตสารละลายเพคตินปริมาตร 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 100 มิลลิลิตร ปิเปตสารละลายเจือจางใส่ลงในหลอดทดลอง 3 หลอด ๆ ละ 2 มิลลิลิตร เติมสารละลายคาร์บาซอลเข้มข้นร้อยละ 0.1 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในแต่ละหลอด เขย่าให้เข้ากัน เติมสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น ปริมาตร 12 มิลลิลิตร ลงในแต่ละหลอดเขย่าให้เข้ากันแล้วตั้งไว้ 25 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 525 นาโนเมตร หาปริมาณกรดกาแลคทูโรนิคจากกราฟมาตรฐาน

3.3 ระดับการเกิดเอสเทอริฟิเคชั่นและปริมาณเมทอกซิล

ชั่งน้ำหนักเพคติน ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ ขนาด 500 มิลลิลิตร ขวดละ 0.5 กรัม เติมเอทานอล 2 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน หยดฟีนอล์ฟทาลีน 5 หยด นำไปไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นปริมาตรที่ 1 (Vol 1) เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตรเขย่าแรง ๆ ตั้งทิ้งไว้ 15 นาที เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เขย่าจนสีชมพูหายไป หยดฟีนอล์ฟทาลีน 5 หยด นำไปไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 โมลาร์ บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นปริมาตรที่ 2 (Vol 2) คำนวณหาระดับการเกิดเอสเทอร์ และคำนวณหาปริมาณเมทอกซิลโดยดูจากตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับการเกิดเอสเทอริฟิเคชันกับปริมาณเมทอกซิล คำนวณหาระดับการเกิดเอสเทอร์ ดังนี้

$$\text{ระดับการเกิดเอสเทอริฟิเคชั่น} = \frac{\text{NaOH Vol 1} \times 100}{\text{NaOH Vol} + \text{NaOH Vol 2}}$$

4. เปรียบเทียบคุณสมบัติของเพคตินที่สกัดได้กับเพคตินทางการค้า

เปรียบเทียบคุณสมบัติของเพคตินที่สกัดได้จากเปลือกทุเรียนกับเพคตินทางการค้าตามข้อกำหนดของ The Joint/WHO Expert Committee on Food Additive (JECFA)

5. การคำนวณต้นทุนการผลิต

คำนวณต้นทุนการสกัดเพคตินจากเปลือกทุเรียน โดยคำนวณจากต้นทุนวัตถุดิบ ค่าใช้จ่ายในการสกัด และค่าจ้างผู้ช่วยนักวิจัย (ค่าแรง) ต่อปริมาณเพคตินที่สกัดได้

6. ศึกษาการนำเพคตินที่สกัดได้จากเปลือกทุเรียนไปใช้ประโยชน์ นำเพคตินที่สกัดได้มาใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์แยมสับปะรดและเยลลี่ส้ม โดยเปรียบเทียบลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้กับผลิตภัณฑ์ที่ใช้เพคตินทางการค้า

6.1 การทำผลิตภัณฑ์แยมสับปะรด

วัตถุดิบในการทำแยมสับปะรด ประกอบด้วย เนื้อสับปะรด 400 กรัม น้ำสับปะรด 200 กรัม น้ำตาล 700 กรัม กรดมะนาว 4 กรัม เกลือ 1 กรัม และเพคตินทางการค้าหรือเพคตินที่สกัดได้จากเปลือกทุเรียน 6 กรัม โดยสูตรควบคุมไม่มีการเติมเพคติน นำเนื้อและนำสับปะรดใส่ในกระทะทองเหลือง ใช้ไฟอ่อน แบ่งน้ำตาล 50 กรัม ผสมเพคติน แล้วค่อย ๆ เทใส่กระทะ คนจนส่วนผสมละลาย ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95-100 องศาเซลเซียส กวนอย่างสม่ำเสมอ เติมกรดมะนาวและเกลือ วัดปริมาณสารที่ละลายได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 65-68 ของน้ำหนัก (องศาบริกซ์) หรือวัดอุณหภูมิให้ได้ 103-105 องศาเซลเซียส หรือยกพายไม้ขึ้นดูการไหลและความหนืด บรรจุแยมสับปะรดลงในขวดแก้ว ปิดฝาให้สนิท

6.2 การทำผลิตภัณฑ์เยลลี่สับปะรด

วัตถุดิบในการเยลลี่ส้ม ประกอบด้วย น้ำส้ม 400 กรัม น้ำตาล 45 กรัม เพคตินทางการค้าหรือเพคตินที่สกัดได้จากเปลือกทุเรียน 12 กรัม และเจลาตินผง 60 กรัม นำเจลาตินผงโรยลงในน้ำส้มปริมาณ 200 กรัม พักไว้เพื่อให้เกิดการพองตัว ส่วนน้ำส้มที่เหลือ 200 กรัม นำไปให้ความร้อนและเติมน้ำตาลที่ผสมเพคติน กวนสม่ำเสมอจนน้ำตาลละลายหมด ผสมน้ำส้มส่วนที่ใส่เจลาตินลงในหม้อ กวนจนเข้ากันดี ตักใส่ถาดและนำไปแช่ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อเยลลี่เซตตัวดีแล้ว นำออกมาหั่นให้ได้ขนาดตามต้องการ

สังเกตลักษณะของผลิตภัณฑ์แยมและเยลลี่ที่ผลิตได้ทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 20 คน ด้วยวิธี 9 - point Hedonic Scaling โดยคะแนน 1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด และ คะแนน 9 หมายถึง ชอบมากที่สุด

7. การประเมินผลทางสถิติ (Statistical analysis)

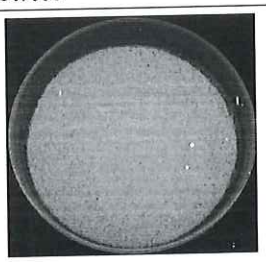
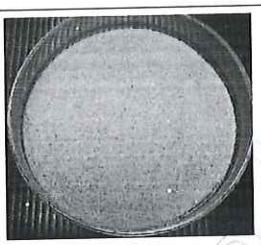
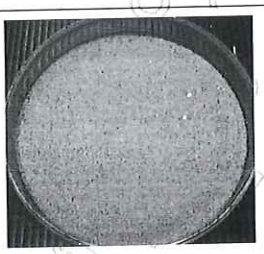
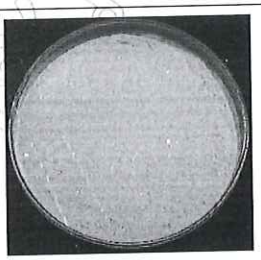
แต่ละการทดลองทำซ้ำ 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบ Complete Randomized Design (CRD) สำหรับการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคติน และวางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) สำหรับการทดสอบทางประสาทสัมผัส วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมทางสถิติ วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้ Duncan's multiple range test (DMRT)

ผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาวิธีการสกัดที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินจากเปลือกทุเรียน

จากการทดลองสกัดเพคตินจากเปลือกทุเรียน โดยใช้วิธีการสกัดด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก น้ำกลั่น และความดันไอสูง พบว่า ลักษณะของเพคตินที่สกัดได้ด้วยความดันไอสูงมีลักษณะเหลว ไม่จับตัวเป็นก้อนเหมือนเพคตินที่สกัดโดยใช้กรดไฮโดรคลอริกและน้ำกลั่น หลังผ่านการทำแห้ง บดและร่อนผ่านตะแกรง นำมาพิจารณาคุณสมบัติเบื้องต้นของเพคตินที่สกัดได้เปรียบเทียบกับเพคตินทางการค้า ได้ผลดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบลักษณะทั่วไปและการละลายของเพคตินที่สกัดได้ด้วยวิธีต่าง ๆ กับเพคตินทางการค้า

วิธีการสกัด	ลักษณะทั่วไป		การละลาย
สารละลายกรดไฮโดรคลอริก	ของแข็งสีเหลืองน้ำตาล		ละลายน้ำได้ปานกลาง ใช้เวลาประมาณ 5 นาที ในการละลาย สารละลายมีลักษณะหนืดเล็กน้อย
น้ำกลั่น	ของแข็งสีออกเหลือง แต่สีเหลืองเข้มกว่าเพคตินที่สกัดด้วยสารละลายกรดเล็กน้อย		ละลายน้ำได้เล็กน้อย ใช้เวลานานในการละลาย สารละลายมีลักษณะหนืดเล็กน้อย
ความดันไอสูง	ของแข็งสีออกเหลือง แต่สีเหลืองเข้มกว่าเพคตินที่สกัดด้วยสารละลายกรดเล็กน้อย		ละลายน้ำได้ปานกลาง ใช้เวลาประมาณ 5 นาที ในการละลาย สารละลายมีลักษณะหนืดเล็กน้อย
เพคตินทางการค้า	ของแข็งสีน้ำตาลอ่อน เป็นผงละเอียด		ละลายน้ำได้ดี สารละลายสีขาวใส มีความหนืดสูง

2. ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของเพคตินที่สกัดได้

นำเพคตินที่สกัดได้จากทั้ง 3 วิธีมาวัดปริมาณผลผลิตเป็นร้อยละ พบว่า เมื่อสกัดเพคตินด้วยความดันไอสูงให้ปริมาณผลผลิตมากที่สุด รองลงมาคือ การสกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริก และการสกัดด้วยน้ำกลั่น ตามลำดับ ดังตารางที่ 2 เมื่อนำเพคตินที่สกัดได้ไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี (ตารางที่ 2) ผลการวิเคราะห์พบว่าปริมาณความชื้นและปริมาณเถ้าของเพคตินที่สกัดได้จากทั้ง 3 วิธี มีค่าร้อยละ 17.55±0.37 - 18.23±0.86 และ 3.62±0.19 - 5.10±0.22 ตามลำดับ ซึ่งปริมาณความชื้นและปริมาณเถ้า ดังกล่าว มีค่าสูงกว่าเพคตินทางการค้า อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อพิจารณาปริมาณกรดกาแลคทูโรนิค พบว่าเพคตินที่สกัดด้วยน้ำกลั่นและกรดไฮโดรคลอริกมีปริมาณกรดกาแลคทูโรนิคใกล้เคียงกับเพคตินทางการค้ามากที่สุด แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับเพคตินทางการค้า โดยมีปริมาณร้อยละ 64.78±1.07 และ 63.98±0.62 ตามลำดับ ระดับการเกิดเอสเทอริฟิเคชั่นและปริมาณเมทอกซิลของเพคตินที่สกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริกมีค่าใกล้เคียงกับเพคตินทางการค้า โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 52.40±2.91 และ 8.54 ตามลำดับ จากผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า เพคตินที่สกัดได้จากทั้ง 3 วิธี มีปริมาณเมทอกซิล มากกว่า 8.16 จึงสามารถจัดเพคตินจากเปลือกทุเรียนที่สกัดได้เป็นชนิดเมทอกซิลสูง (High Methoxyl Pectins, HMP) เพคตินชนิดนี้ต้องอาศัยน้ำตาลและกรดในปริมาณที่เหมาะสมเพื่อทำให้เกิดเจล (Yapo 2009)

จากการวิเคราะห์ปริมาณผลผลิตและคุณสมบัติทางเคมีของเพคตินที่สกัดได้จากทั้ง 3 วิธี จึงพิจารณาเลือกวิธีการสกัดเพคตินด้วยกรดไฮโดรคลอริกเนื่องจากการสกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริกและการใช้ความดันไอสูงได้ปริมาณ เพคตินใกล้เคียงกัน โดยมี

ความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ในขณะที่เพคตินที่สกัดด้วยกรด ไฮโดรคลอริกปริมาณเถ้าน้อยกว่าการสกัดด้วยการใช้ความดันไอสูง ซึ่งปริมาณเถ้าที่มีค่ามากกว่าแสดงว่ามีปริมาณแร่ธาตุเจือปนอยู่เป็นปริมาณมากกว่า ปริมาณกรดกาแลคทูโรนิคของเพคตินที่สกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริกมีปริมาณมากกว่าเพคตินที่สกัดด้วยความดันไอสูง แสดงว่าเพคตินที่สกัดได้มีความบริสุทธิ์กว่าและมีค่าใกล้เคียงกับเพคตินทางการค้ามากกว่า และเมื่อพิจารณาระดับการเกิดเอสเทอริฟิเคชั่นและปริมาณเมทอกซิล พบว่าเพคตินที่สกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริกมีค่าใกล้เคียงกับเพคตินทางการค้าโดยมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

3. ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินจากเปลือกทุเรียน

เมื่อได้วิธีการในการสกัดเพคตินแล้วจึงนำมาศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการสกัดเพคติน โดยใช้ปริมาณผลผลิตและคุณสมบัติของเพคตินที่สกัดได้เป็นตัวพิจารณาคัดเลือก จากผลการทดลองพบว่า การสกัดเพคตินที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ได้ปริมาณผลผลิตเพคตินมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 7.56±0.24 เมื่อนำเพคตินที่ได้มาวิเคราะห์ระดับการเกิดเอสเทอริฟิเคชั่นและปริมาณเมทอกซิล พบว่า การสกัดเพคตินที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส มีค่าใกล้เคียงกับเพคตินทางการค้ามากกว่าอุณหภูมิอื่น ๆ และมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

หลังจากได้อุณหภูมิในการสกัดแล้วจึงทดลองสกัดเพคตินเป็นเวลาต่าง ๆ พบปริมาณผลผลิตมากที่สุด เมื่อสกัดเพคตินเป็นเวลา 7 ชั่วโมง แต่มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญกับการสกัดเป็นเวลา 5 ชั่วโมง และเมื่อพิจารณาจากผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดกาแลคทูโรนิค ระดับการเกิดเอสเทอริฟิเคชั่นและปริมาณเมทอกซิล พบว่า การสกัดที่ 5 ชั่วโมง และ 7 ชั่วโมง มีค่าใกล้เคียงกับเพคตินทางการค้ามากกว่าเมื่อสกัดที่เวลาอื่น ๆ แม้ว่าค่าที่ได้จะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) แต่ค่าที่ได้เมื่อสกัดเป็นเวลา 5 และ 7 ชั่วโมง มีค่าการวิเคราะห์ใกล้เคียงกันและแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ด้วยเหตุผลดังกล่าว ประกอบกับเมื่อคำนึงถึงต้นทุนการผลิตจึงเลือกการสกัดเพคตินที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง เป็นสภาวะที่ดีที่สุด

ตารางที่ 2 ผลการสกัดเพคตินจากเปลือกทุเรียนหมอนทองด้วยวิธีการต่างๆ

วิธีการสกัด	ปริมาณผลผลิต (ร้อยละ)	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	ปริมาณเถ้า (ร้อยละ)	กรดกาแลคทูโรนิค (ร้อยละ)	ระดับการเกิดเอสเทอริฟิเคชั่น (ร้อยละ)	ปริมาณเมทอกซิล (ร้อยละ)
กรดไฮโดรคลอริก	8.98±0.98	18.23±0.86^{a}	3.62±0.19^{b}	63.98±0.62^{b}	52.40±2.91^{c}	8.54^{c}
น้ำกลั่น	5.74±0.36	17.55±0.37^{a}	5.10±0.22^{a}	64.78±1.07^{b}	83.16±4.91^{a}	13.58^{a}
ความดันไอสูง	9.63±0.80	17.74±0.59^{a}	4.85±0.14^{a}	57.65±1.42^{c}	78.50±3.29^{b}	12.81^{b}
ทางการค้า	-	14.77±0.08^{b}	1.45±0.04^{c}	75.96±1.57^{a}	55.08±1.69^{c}	8.98^{c}

หมายเหตุ อักษร abc ที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 3 ผลการสกัดเพคตินจากเปลือกทุเรียนหมอนทองที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลาต่าง ๆ

เวลาที่ใช้สกัด (ชั่วโมง)	ปริมาณผลผลิต (ร้อยละ)	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	ปริมาณเถ้า (ร้อยละ)	กรดกาแลคทูโรนิค (ร้อยละ)	ระดับการเกิดเอสเทอริฟิเคชั่น (ร้อยละ)^{ns}	ปริมาณเมทอกซิล (ร้อยละ)
1	8.69±0.32c	16.83±0.33a	4.18±0.26b	69.33±0.64b	61.77±1.39a	10.04 a
3	15.59±0.67b	13.61±0.32d	4.39±0.13b	66.86±0.21b	59.89±3.52a	9.74 a
5	16.88±0.90a	14.30±0.11bc	3.37±1.14b	70.55±0.72 b	62.94±5.41a	10.23 a
7	17.49±0.51a	13.86±0.92cd	4.31±1.12b	72.97±0.39 ab	61.58±2.80a	10.01 a
ทางการค้า	-	14.77±0.08b	1.45±0.04a	79.52±0.00 a	55.06±0.19 b	8.97 b

หมายเหตุ อักษร abc ที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

4. ผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติของเพคตินที่สกัดได้กับเพคตินทางการค้า

นำเพคตินเปลือกทุเรียนที่สกัดได้ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง มาเปรียบเทียบคุณสมบัติกับเพคตินทางการค้าตามข้อกำหนดของ The Joint/WHO Expert Committee on Food Additive (JECFA) ได้ผลดังตารางที่ 4 จากตาราง พบว่าเพคตินจากเปลือกทุเรียนที่สกัดได้มีปริมาณกรด กาแลคทูโรนิคและปริมาณเมทอกซิลอยู่ในช่วงเพคตินมาตรฐาน (Standard pectin) และเมื่อพิจารณาปริมาณกรดกาแลคทูโรนิค ระดับการเกิดเอสเทอริฟิเคชั่นและปริมาณเถ้า พบว่าเพคตินที่สกัดได้มีค่าใกล้เคียงกับเพคตินระดับโรงงานอุตสาหกรรม (Industrial grade) มากที่สุด

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของเพคตินเปลือกทุเรียนที่สกัดได้กับเพคตินทางการค้า

คุณสมบัติ	เกรดเพคติน			
	เปลือกทุเรียน (Experiment)	โรงงานอุตสาหกรรม (Industrial grade)	ห้องปฏิบัติการหรือทางการแพทย์ (Lab & Pharmaceutical grade)	เพคตินมาตรฐาน (Standard pectin)
% yield	16.88	-	-	-
% moisture	14.30	4.26	4.81	-
% ash	3.37	3.59	2.23	2.0
% galacturonic acid	70.55	69.89	78.54	>65
% methoxyl	10.23	5.08	6.29	>2.5
%DE	62.94	55-65	-	-

5. ผลการคำนวณต้นทุนการผลิต

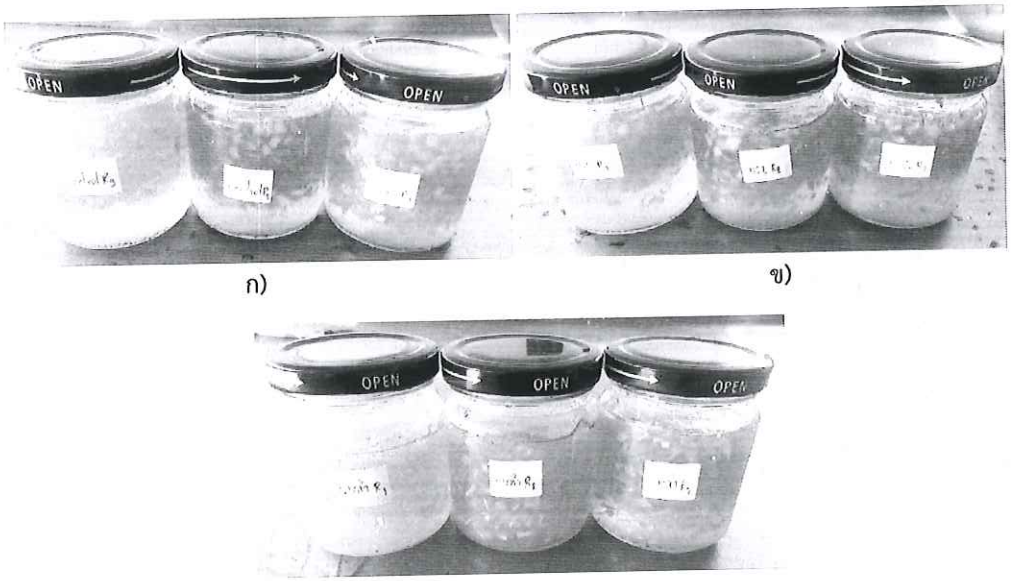
เพคตินที่สกัดจากเปลือกทุเรียนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ได้ปริมาณผลผลิต ร้อยละ 16.88 ดังนั้น ถ้าใช้เปลือกทุเรียนแห้ง 1 กิโลกรัม ซึ่งได้จากเปลือกทุเรียนสดประมาณ 7 กิโลกรัม จะได้เพคตินประมาณ 168.8 กรัม เมื่อนำมาคำนวณต้นทุนการสกัดเพคติน โดยคำนวณจากต้นทุนวัตถุดิบ ค่าใช้จ่ายในการสกัด และค่าจ้างผู้ช่วยนักวิจัย (ค่าแรง) จะได้ต้นทุนการผลิตเพคตินต่อ 1 กิโลกรัม ประมาณ 1,794 บาท ในขณะที่ราคาของเพคตินทางการค้ามีราคาประมาณ 1,800 บาท ต่อ 1 กิโลกรัม ดังนั้นหากมีการผลิตจริงต้องมีการปรับปรุงคุณภาพของเพคตินให้ดีขึ้นและลดต้นทุนการผลิตลง

6. ผลการนำเพคตินที่สกัดได้จากเปลือกทุเรียนไปใช้ในผลิตภัณฑ์แยมสับปะรดและเยลลี่ส้ม

นำเพคตินที่สกัดได้มาใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์แยมสับปะรดในปริมาณที่เท่ากับเพคตินทางการค้า พบว่า แยมที่ได้จากการเติมเพคตินที่สกัดจากเปลือกทุเรียนมีลักษณะค่อนข้างเหลว แต่หนืดกว่าแยมที่ไม่ได้ใส่เพคติน ส่วนแยมที่เติมเพคตินทางการค้า มีลักษณะข้นเหนียวคล้ายแยมทางการค้า ดังภาพที่ 1 เมื่อนำผลิตภัณฑ์แยมที่ผลิตได้ไปทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยใช้ผู้ทดสอบชิมที่ได้รับการฝึกฝนจำนวน 20 คน ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 5 จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ พบว่า ผู้บริโภคให้การยอมรับแยมสับปะรดที่เติมเพคตินทางการค้ามากที่สุด เท่ากับ 7.85±0.80 ซึ่งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับแยมที่มีการเติมเพคตินจากเปลือกทุเรียนและไม่เติมเพคติน สำหรับคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่นและรสชาติ พบว่า ผู้ทดสอบชิมให้ค่าการยอมรับแยมที่มีการเติมเพคติน เติมเพคตินจากเปลือกทุเรียนและเติมเพคตินทางการค้า ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าคะแนนไม่แตกต่างกัน ส่วนคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะเนื้อสัมผัส พบว่า ผู้บริโภคให้การยอมรับแยมสับปะรดที่ใส่เพคตินทางการค้ามากที่สุด ซึ่งมีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) กับลักษณะเนื้อสัมผัสของแยมที่มีการเติมเพคตินที่สกัดได้จากเปลือกทุเรียน แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับลักษณะเนื้อสัมผัสของแยมที่ไม่มีการเติมเพคติน การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวม พบว่าผู้บริโภคให้การยอมรับแยมสับปะรดที่ใส่เพคตินทางการค้ามากที่สุด รองลงมาคือแยมที่มีการเติมเพคตินที่สกัดได้จากเปลือกทุเรียน และแยมที่ไม่เติมเพคติน ซึ่งผู้ทดสอบชิมมีความชอบโดยรวมที่ระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง

ผลิตภัณฑ์อีกชนิดหนึ่งที่นิยมเติมเพคติน คือ เยลลี่ ซึ่งในการทดลองได้ทดลองทำเยลลี่ส้มโดยมีการเติมเพคตินที่ได้จากการสกัดเปลือกทุเรียน เปรียบเทียบกับการเติมเพคตินทางการค้า

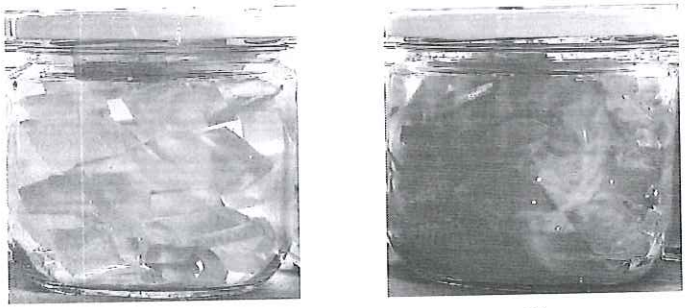
และเจลาตินทางการค้า ได้ผลการทดลอง ดังภาพที่ 2 ซึ่งเยลลี่ที่ได้จากการใส่เพคตินร่วมกับเจลาตินจะมีลักษณะยืดหยุ่นคล้ายเยลลี่ทางการค้า แต่เยลลี่ที่เติมเพคตินเพียงอย่างเดียวมีลักษณะอ่อนนุ่มมาก เมื่อนำผลิตภัณฑ์เยลลี่ส้มที่ผลิตได้ไปทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยใช้ผู้ทดสอบชิมที่ได้รับการฝึกฝนจำนวน 20 คน ได้ผลการทดลอง ดังตารางที่ 6 จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ พบว่า ผู้บริโภคให้การยอมรับเยลลี่ส้มที่เติม เพคตินที่สกัดได้จากเปลือกทุเรียนร่วมกับเจลาตินทางการค้ามากที่สุด เท่ากับ 7.00±1.28 ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับเยลลี่ที่มีการเติมเพคตินที่สกัดจากเพคตินเพียงอย่างเดียว และเยลลี่ที่เติมเพคตินทางการค้า คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี พบว่า ผู้บริโภคให้การยอมรับเยลลี่ส้มที่ใส่เพคตินที่สกัดจากเปลือกทุเรียนกับเจลาตินมากที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 7.13±1.39 ซึ่งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับเยลลี่ที่เติมเพคตินเพียงอย่างเดียวและเพคตินทางการค้า คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นและรสชาติ พบว่า ผู้ทดสอบให้คะแนนเยลลี่ที่มีการเติมเพคตินที่สกัดได้จากเปลือกทุเรียนร่วมกับเจลาติน เติมเพคตินเพียงอย่างเดียว และเติมเพคตินทางการค้า ในระดับเฉย ๆ ถึงชอบเล็กน้อย สำหรับคุณภาพด้านลักษณะเนื้อสัมผัส พบว่า ผู้บริโภคให้การยอมรับเยลลี่ส้มที่เติมเพคตินที่สกัดได้จากเปลือกทุเรียนร่วมกับเจลาตินมากที่สุด ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับเยลลี่ที่เติมเพคตินที่สกัดจากเปลือกทุเรียนเพียงอย่างเดียวและเพคตินทางการค้า จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวม พบว่า ผู้บริโภคให้การยอมรับเยลลี่ส้มที่เติมเพคตินที่สกัดได้จากเปลือกทุเรียนร่วมกับเจลาตินมากที่สุด โดยผู้ทดสอบมีความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย



ก) ข)

ค)

ภาพที่ 1 แยมสับปะรด ก) ไม่เติมเพคติน ข) เติมเพคตินที่สกัดได้จากเปลือกทุเรียน ค) เติมเพคตินทางการค้า



ก) ข)

ภาพที่ 2 เยลลี่ส้มที่ใช้เพคตินที่สกัดได้ ก) เยลลี่เติมเพคตินที่สกัดได้จากเปลือกทุเรียนร่วมกับเจลาติน ข) เยลลี่เติมเพคตินที่สกัดได้จากเปลือกทุเรียนเพียงอย่างเดียว

ตารางที่ 5 ค่าการทดสอบทางประสาทสัมผัสของแยมสับปะรด

สิ่งทดลอง	ค่าการทดสอบทางประสาทสัมผัส (คะแนน)					
	ลักษณะปรากฏ	สี^{ns}	กลิ่น^{ns}	รสชาติ^{ns}	ลักษณะเนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม^{ns}
ไม่เติมเพคติน	6.54±1.45^{b}	7.08±0.95	6.69±1.11	6.23±1.74	6.00±1.68^{b}	6.23±1.54
เพคตินสกัดจากเปลือกทุเรียน	6.92±1.04^{b}	7.00±0.82	6.92±0.86	6.54±1.56	6.85±0.90^{ab}	6.92±0.86
เพคตินทางการค้า	7.85±0.80^{a}	7.69±0.86	6.85±1.07	7.38±1.56	7.23±1.42^{a}	7.31±1.38

หมายเหตุ อักษร ns แสดงถึงค่าต่าง ๆ ในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกัน
อักษร abc ที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 6 ค่าการทดสอบทางประสาทสัมผัสเยลลี่ส้ม

สิ่งทดลอง	ค่าการทดสอบทางประสาทสัมผัส (คะแนน)					
	ลักษณะปรากฏ	สี^{ns}	กลิ่น^{ns}	รสชาติ^{ns}	ลักษณะเนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม^{ns}
เพคตินสกัด	5.39±1.70^{b}	6.22±1.48^{b}	6.61±1.50	6.61±1.37	4.57±1.90^{b}	6.13±1.18^{ab}
เพคตินสกัดผสมเจลาติน	7.00±1.28^{a}	7.13±1.39^{a}	5.74±1.74	6.17±1.61	6.70±1.72^{a}	6.91±1.31^{a}
เพคตินทางการค้า	6.39±1.53^{a}	5.83±1.72^{b}	5.70±1.80	6.00±2.20	4.87±1.89^{b}	5.74±1.86^{b}

หมายเหตุ อักษร ns แสดงถึงค่าต่าง ๆ ในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกัน
อักษร abc ที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

สรุปและอภิปรายผล

จากการศึกษาวิธีการสกัดและสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินจากเปลือกทุเรียนพันธุ์หมอนทองและคัดเลือกวิธีการสกัดและสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดโดยพิจารณาจากปริมาณผลผลิตเพคตินและคุณสมบัติต่าง ๆ ที่สำคัญของเพคตินประกอบด้วย ปริมาณกรดกาแลคทูโรนิค ระดับการเกิดเอสเทอริฟิเคชั่น ปริมาณเมทอกซิล ปริมาณความชื้นและเถ้า

ผลการทดลองพบว่า การสกัดเพคตินเปลือกทุเรียนด้วยกรดไฮโดรคลอริกและด้วยความดันไอสูงให้ปริมาณสูงกว่าการสกัดด้วยน้ำกลั่น ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของสุนันท์ วิทิตสิริ (2557) ที่รายงานการสกัดเพคตินจากซังขนุนหนังจำปากรอบด้วยน้ำร้อนและความดันไอสูง และพบว่า เมื่อสกัดด้วยความดันไอสูง จะได้ปริมาณเพคตินมากกว่าที่สกัดด้วยความร้อน การที่สกัดด้วยความดันไอสูงสามารถสกัดได้มากกว่าอาจเนื่องมาจากอุณหภูมิสูงจะทำให้ประสิทธิภาพการแพร่กระจายของสารสกัดเข้าไปสกัดเพคตินออกมาได้มากขึ้น ปริมาณเพคตินที่สกัดได้มีค่าใกล้เคียงกับเพคตินที่สกัดได้จากเปลือกมะนาว และมีปริมาณมากกว่าเปลือกกล้วยที่สกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริก (ชินานาฏ และคณะ, 2556) ปริมาณความชื้นของเพคตินที่สกัดได้มีปริมาณความชื้นมากกว่าความชื้นของเพคตินทางการค้า ซึ่งโดยทั่วไปปริมาณความชื้นของเพคตินที่สกัดได้จากเปลือกผลไม้จะมีค่าประมาณร้อยละ 10 เช่น เพคตินจากเปลือกกล้วยมีความชื้นประมาณร้อยละ 12.40 (ธานุวัฒน์ และคณะ, 2556) ส่วนปริมาณเถ้าพบว่า เพคตินที่สกัดได้มีค่ามากกว่าเพคตินทางการค้าเช่นกัน แสดงว่า เพคตินที่สกัดได้มีปริมาณแร่ธาตุเจือปนอยู่เป็นปริมาณกว่าเพคตินทางการค้า ปริมาณกรดกาแลคทูโรนิคของเพคตินที่สกัดได้จากกรดไฮโดรคลอริกและน้ำกลั่นมีค่าใกล้เคียงกัน ประมาณร้อยละ 64-65 ซึ่งค่าที่ได้ใกล้เคียงกับเพคตินที่สกัดได้จากเปลือกฝรั่งพันธุ์กลมสาลี่ (องอาจ เด็ดดวง, 2553) ซึ่งปริมาณกรดกาแลคทูโรนิคนี้แสดงถึงความบริสุทธิ์ของเพคติน จากการพิจารณาปริมาณผลผลิตและคุณสมบัติต่าง ๆ ของเพคตินจึงเลือกการสกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริกในการศึกษาขั้นต่อไป

เมื่อได้วิธีการสกัดที่เหมาะสมจึงมีการศึกษาอุณหภูมิและเวลาในการสกัด ซึ่งผลการทดลองพบว่า ปริมาณเพคตินมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของรัชฎา ตั้งวงษ์ไชย และคณะ (2544) ซึ่งได้ทดลอง

สกัดเพคตินจากส้มมะงั่วและพบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 60 เป็น 90 องศาเซลเซียส เพคตินมีปริมาณเพิ่มขึ้น และสอดคล้องกับงานวิจัยของ ธนาวรรณ สุขเกษม (2559) ที่ศึกษาสภาวะการสกัดเพคตินจากกะหล่ำปลีภูทับเบิก โดยสกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริก ที่อุณหภูมิต่าง ๆ และพบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นและใช้เวลาในการสกัดที่นานขึ้นจะช่วยในการสกัดเพคตินให้มีปริมาณที่สูงขึ้นด้วย ปริมาณกรดกาแลคทูโรนิกที่ได้จากเพคตินทุเรียนหมอนทองมีค่ามากกว่าที่สกัดได้จากเปลือก เนื้อ และเนื้อในของฝรั่งพันธุ์กลมสาลี่และแป้นสีทอง (องอาจ เด็ดดวง, 2553) แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจาก 80 เป็น 90 องศาเซลเซียส พบว่า ปริมาณกรดกาแลคทูโรนิกมีค่าลดลงเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเป็นเพราะอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้เกิดปฏิกิริยาดีเอสเทอริฟิเคชั่นได้มากขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาการสกัดเพคตินจากส้มมะงั่ว พบว่า เมื่อทำการสกัดเพคตินที่อุณหภูมิที่สูงขึ้นเป็นผลให้ปริมาณกรดกาแลคทูโรนิกสูงขึ้นจนถึงอุณหภูมิสูงสุดที่ 76 องศาเซลเซียส จากนั้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการสกัดสูงขึ้นเพคตินที่สกัดได้มีปริมาณกรดกาแลคทูโรนิกลดลง ซึ่งในการสกัดด้วยอุณหภูมิที่สูงขึ้นอาจทำให้มีองค์ประกอบอื่น ๆ เช่น เฮมิเซลลูโลส หรือน้ำตาลตัวอื่นที่มีอยู่ในส่วนเปลือกด้านในถูกสกัดออกมามากขึ้นทำให้เพคตินมีความบริสุทธิ์น้อยลง (รัชฎา ตั้งวงศ์ไชย และคณะ, 2544) จากการทดลองปริมาณกรดกาแลคทูโนนิกที่ได้อยู่ในช่วงร้อยละ 71.60 - 75.32 ซึ่งเป็นช่วงที่สามารถยอมรับได้ตามกำหนดของ The Joint/WHO Expert Committee on Food Additive (JECFA) โดยกำหนดให้เพคตินมีปริมาณกรดกาแลคทูโรนิกต่ำสุดเป็นร้อยละ 65 เมื่อพิจารณาปริมาณผลผลิตและคุณสมบัติประกอบแล้วจึงเลือกอุณหภูมิในการสกัดที่ 90 องศาเซลเซียส

หลังจากได้อุณหภูมิที่ใช้สกัดแล้วจึงศึกษาเวลาในการสกัดเพคติน พบว่า ปริมาณผลผลิตที่ได้เมื่อสกัดที่ 7 ชั่วโมง มีปริมาณมากกว่าเมื่อสกัดเป็นเวลา 5 ชั่วโมง แต่ปริมาณใกล้เคียงกัน จึงเห็นได้ว่าที่เวลานานขึ้นจะสามารถสกัดเพคตินได้เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Wai et al. (2010) ปริมาณกรดกาแลคทูโรนิคที่สกัดเป็นเวลา 5 และ 7 ชั่วโมง พบว่ามีค่าใกล้เคียงกันเช่นกัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของชวนิฏฐ์ สิทธิดิลกรัตน์ และคณะ (2548) ที่ศึกษาการสกัดเพคตินจากเปลือกและกากผลส้มเหลือทิ้ง ที่เวลาสกัดต่าง ๆ และพบว่าที่เวลาสูงขึ้นปริมาณกรดกาแลคทูโรนิกมีปริมาณไม่แตกต่างกัน ด้วยเหตุผลดังกล่าวและการพิจารณาโดยใช้คุณสมบัติอื่น ๆ ประกอบ จึงเลือกใช้ระยะเวลาในการสกัดเป็น 5 ชั่วโมง

ต้นทุนการผลิตเพคตินจากเปลือกทุเรียน ประมาณ 1,794 บาท ต่อ 1 กิโลกรัม ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับต้นทุนการผลิตเพคตินจากกะหล่ำปลีโดยใช้กรดไฮโดรคลอริกที่มีต้นทุน 2,011.27 บาท ต่อ 1 กิโลกรัม (ธนาวรรณ สุขเกษม, 2559) ราคาต้นทุนการผลิตเพคตินจากเปลือกทุเรียนนับว่าเป็นราคาที่สูงพอสมควร โดยราคาของเพคตินทางการค้ามีราคา 1,800 บาท ต่อ 1 กิโลกรัม ซึ่งถ้าผลิตทางการค้าจะต้องตั้งราคาที่สูงกว่านี้ ดังนั้นหากมีการผลิตเพคตินจากเปลือกทุเรียนทางการค้าจริงต้องมีการปรับปรุงคุณภาพของเพคตินให้ดีขึ้นและลดต้นทุนการผลิตลง

เมื่อนำเพคตินที่สกัดได้มาใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์แยมสับปะรดและเยลลี่ส้ม พบว่า ผู้ทดสอบให้การยอมรับแยมสับปะรดที่มีการเติมเพคตินที่สกัดได้จากเปลือกทุเรียน ในระดับชอบเล็กน้อย และเมื่อมีการเติมเพคตินในเยลลี่ พบว่า ผู้บริโภคให้การยอมรับเยลลี่ส้มที่เติมเพคตินที่สกัดได้จากเปลือกทุเรียนร่วมกับเจลาตินโดยผู้ทดสอบมีความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย ลักษณะของแยมสับปะรดที่เติมเพคตินจากเปลือกทุเรียนจะมีลักษณะเหลว เนื้อแยมอ่อนกว่าการเติมเพคตินทางการค้า ส่วนเยลลี่ส้มที่มีการเติมเพคตินจากเปลือกทุเรียนมีลักษณะยืดหยุ่นน้อยและอ่อนนุ่มกว่าที่ใช้เพคตินทางการค้า ทั้งนี้เนื่องมาจากปริมาณกรดกาแลคทูโรนิคของเพคตินที่สกัดได้มีปริมาณน้อยกว่าเพคตินทางการค้า (สุนันท์ วิทิตสิริ, 2557) อย่างไรก็ตามเพคตินทุเรียนที่สกัดได้มีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานและมีค่าใกล้เคียงกับเพคตินระดับโรงงานอุตสาหกรรม หากมีการปรับปรุงคุณภาพและพัฒนาการสกัดให้ค่าใช้จ่ายลดลง จะทำให้สามารถนำของเหลือทิ้งมาใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น ลดขยะและลดปัญหาสิ่งแวดล้อมในอนาคต

ข้อเสนอแนะ

1. ปรับปรุงวิธีล้างตะกอนเพคตินให้เพคตินมีคุณภาพสีที่ดีขึ้น
2. ประยุกต์ใช้เพคตินที่สกัดได้ไปใช้ในผลิตภัณฑ์อื่น ๆ เช่น ผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์
3. ลดค่าใช้จ่ายในการสกัดเพคตินโดยการนำสารละลายที่ใช้ในขั้นตอนต่าง ๆ กลับมาใช้ใหม่

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้ได้รับงบประมาณสนับสนุนจากงบประมาณแผ่นดินของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

เอกสารอ้างอิง

ขนิษฐา เลิกชัยภูมิ. (2545). **การสกัดเพคตินจากส้มมะงั่วและการใช้ประโยชน์ในระบบอาหาร.** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ชวนิฏฐ์ สิทธิดิลกรัตน์ และคณะ. (2548). การผลิตเพคตินจากเปลือกและกากส้มเหลือทิ้ง. ในรายงานการประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 43. 469-480.

ชินานาฏ วิทยาประภากร และสมัชญ์ ทวีเกษมสมบัติ. (2556). การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินจากวัสดุทางการเกษตร. **วารสารวิชาการและวิจัย.** 24-31.

ธนาวรรณ สุขเกษม. (2556). ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินจากกะหล่ำปลี (Brassica oleracea L.var. capitata) ภูทับเบิก ตำบลวังบาล อำเภอหล่มเก่า จังหวัดเพชรบูรณ์. **วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย.** 10(2): 262-268.

ธานุวัฒน์ ลาภตันศุภผล และคณะ. (2556). การสกัดเพคตินจากเปลือกผักและผลไม้. **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร.** 44(2) (พิเศษ): 433-436.

รัชฎา ตั้งวงษ์ไชย และคณะ. (2544). **การสกัดเพคตินจากส้มมะงั่วและแนวทางการใช้ประโยชน์ในระบบอาหารเชิงพาณิชย์.** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

สุนันท์ วิทิตสิริ. (2557). การเปรียบเทียบปริมาณเพกทินจากชั้งขนุนหนังจำปากรอบโดยการสกัดด้วยน้ำร้อนและความดันไอสูง. **วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา.** 9(2): 95-112.

องอาจ เด็ดดวง. (2553). **การเปรียบเทียบเพคตินสกัดจากฝรั่งสามชนิดกับเพคตินมาตรฐาน.** สารนิพนธ์ กศ.ม. (เคมี). มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

AOAC. (2000). Official Method of Analysis. 17th edition Association of Official Analytical Chemistry.

Colodel, C. et al. (2018). Extraction of Pectin from Ponkan (Citrus reticulate Blanco cv. Ponkan) Peel: Optimization and Structural Characterization. **International Journal of Biological Macromolecules.** 117: 385-391.

Espitia, P.J.P. et al. (2014). Edible Films from Pectin: Physical-Mechanical and Antimicrobial Properties-A Review. **Food Hydrocolloids.** 35: 287-296.

Grassino, A.N. et al. (2016). Utilization of Tomato Peel Waste from Cannin Factory as a Potential Source for Pectin Production and Application as Tin Corrosion Inhibition. **Food Hydrocolloids.** 52: 265-274.

Guo, X. et al. (2014). Emulsion Stabilizing Properties of Pectins Extracted by High Hydrostatic Pressure, High-Speed Shearing Homogenization and Traditional Thermal Methods: A Comparative Study. **Food Hydrocolloids.** 35: 217-225.

Jafari, F. et al. (2016). Pectin from Carrot Pomace: Optimization of Extraction and Physicochemical Properties. **Cabohydrate Polymers.** 157: 1315-1322.

John Swamy, G. & Muthukumarappan, K. (2016). Optimization of Continuous and Intermittent Microwave Extraction of Pectin from Banana Peel. **Food Chemistry.** 220: 108-114.

Kulkarni, S.G. & Vijayanand, P. (2010). Effect of Extraction Conditions on the Quality Characteristics of Pectin from Passion Fruit Peel *(Passiflora edulis f. flavicarpa L.).* **LWT – Food Science and Technology.** 43(7): 1026-1031.

Maran, J.P. (2015). Statistical Optimization of Aqueous Extraction of Pectin from Waste Durian Rinds. **International Journal of Biological Macromolecules.** 73: 92-98.

Muhammad, K. et al. (2014). High Methoxyl Pectin from Dragon Fruit (Hylocereus polyrhizus) Peel. **Food Hydrocolloids.** 42: 289-297.

Pasandide, B. et al. (2017). Optimization of Aqueous Pectin Extraction from *Citrus medica peel.* **Carbohydrate Polymers.** 178: 27-33.

Tang, P.Y. et al. (2011). Optimization of Pectin Extraction from Peel of Dragon Fruit (Hylocereus polyrhizus). **Asian Journal of Biological Sciences.** 4(2): 189-195.

Thakur, B.R. et al. (1997). Chemistry and Uses of Pectin-A Review **Critical Reviews in Food Science and Nutrition.** 37: 47-73.

Tiwari, et al. (2017). Extraction and Characterization of Pectin from Orange Peels. **International Journal of Biotechnology and Biochemistry.** 13(1): 39-47.

Voragen, A.G.J. et al. (1995). **Pectins, *In* Food Polysaccharides and Their Application.** A.M. Stephen (ed.). Marcel Deker, Inc., New york.

Wai, W.W. et al. (2010). Effect of Extraction Condition on Yield and Degree of Esterification of Durian Rind Pectin: An Experiment Design. **Food and Bioproducts Processing.** 88: 209-214.

Yapo B.M. (2009). Pectin Quantity Composition and Physicochemical Behavior as Influenced by the Purification Process. **Food Research International.** 42: 1197-1202.

ผลการประเมินคุณภาพวารสารที่อยู่ในฐานข้อมูล TCI

โปรดระบุหมายเลข ISSN หรือชื่อของวารสารที่ต้องการทราบผลประเมิน : ค้นหา

ลำดับ	ชื่อวารสาร	ISSN	เจ้าของ	จัดอยู่ในวารสารกลุ่มที่	สาขา
1	วารสารวิจัยรำไพพรรณี	1906-327X	สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี	2	วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

Back to top

Copyright 2005. Thai-Journal Citation Index (TCI) Centre. All rights reserved.
Contact: tci.thai@gmail.com

วารสารวิจัยรำไพพรรณี

Rajabhat Rambhai Barni Research Journal

ISSN 1906-327X ปีที่ 13 ฉบับที่ 2 พฤษภาคม-สิงหาคม 2562

ระบบสูบน้ำบาดาลพลังงานแสงอาทิตย์แบบพึ่งพาตนเองในพื้นที่โรงเรียนอนุบาลเกาะกูด จังหวัดตราด 5
ศรายุทธ์ จิตรพัฒนากุล , กฤษณะ จันทสิทธิ์, คมสัน มุ่ยสี, นิกร ผงทอง

ผลของชนิดวัสดุปลูกที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของเมล่อน (Cucumis melo L.) 17
นภาพร จิตต์ศรัทธา, วัชรวิทย์ รัศมี

การสกัดและการประยุกต์ใช้เพคตินจากเปลือกทุเรียน 25
หยาดรุ้ง สุวรรณรัตน์, จิรพร สวัสดิการ, รุ่งทิวา สุวรรณรัตน์

การจัดการเรียนรู้ทักษะชีวิตในการป้องกันการตั้งครรภ์ไม่พร้อมสำหรับนักศึกษาระดับอุดมศึกษา 38
ธันวดี ดอนวิเศษ, พัชรินทร์ รุจิรานุกูล

สมรรถภาพทางกายที่สัมพันธ์กับสุขภาพของนักศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา 50
ชารี จันสุพรม, ณรงค์ จอมโคกกรวด, พรทิพย์ ฉัตรชูเกียรติกุล

ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพชีวิตการทำงานของแรงงานกัมพูชากับความผูกพันต่อโรงงานคัดบรรจุ อำเภอโป่งน้ำร้อน จังหวัดจันทบุรี 56
อภิวรรณ ศิรินันทนา

การเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการคลังสินค้า 65
ปรัชภรณ์ เศรษฐเสถียร, กฤติยา เกิดผล

ปัจจัยการตลาดและพฤติกรรมของนักท่องเที่ยวที่มาตลาดน้ำทุ่งบัวแดง จังหวัดนครปฐม 73
จิรวุฒิ หลอมประโคน, ศลาฆนันท์ หงส์สวัสดิ์, รัชภร รุ่งตั้งธนาบุญ

การจัดกิจกรรมการสอนทำโครงงานคณิตศาสตร์ สำหรับนักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาคณิตศาสตร์
วิทยาลัยการฝึกหัดครู มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร 83
พรวิวัฒน์ วิหคทอง, สมวงษ์ แปลงประสพโชค, กฤษณะ โสขุมา

รูปแบบการประชาสัมพันธ์การท่องเที่ยวของวังสวนบ้านแก้ว 92
อภิวรรณ ศิรินันทนา, เสาวนีย์ วรรณประภา, กรรณิกา พงษ์ชัย

แรงจูงใจในการทำงานกับความผูกพันของพนักงานบริษัทอนิลา เยม อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด 102
ขวัญลภา กุลสรัลพร, ทศพร มะหะหมัด

มาตรการทางกฎหมายเพื่อการจัดการซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ของประเทศไทย 111
ปภาดา ประมาณพล, สุวิทย์ นิ่มน้อย, เรืองไร สุวรรณดำรงชัย

การอำรงรักษาทรัพยากรมนุษย์ของ บริษัท โกลเด้น ฟู้ดส์ สยาม จำกัด 119
ธัญยธรณ์ ธานีนิธิพัฒน์, ชิณโสณ์ วิสิฐนิธิกิจา

การวิเคราะห์การทำหน้าที่ต่างกันของข้อสอบวัดความสามารถด้านการคำนวณระหว่างนักเรียนชายกับนักเรียนหญิง
ของการทดสอบระดับชาติ 131
สุภาภรณ์ อ้นที, นลินี ณ นคร, สังวรณ์ งัดกระโทก

การพัฒนารูปแบบการบริหารแบบมีส่วนร่วมของโรงเรียนประถมศึกษาขนาดเล็ก สังกัดสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน 140
ดวงเดือน วินิจฉัย, ธนวิน ทองแพง, สถาพร พฤฑฒิกุล

แรงจูงใจในการเลือกศึกษาต่อในระดับปริญญาตรี คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี 149
จุลดา จุลเสวก, วรันธร อรรคปทุม

การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ โดยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์
ที่เน้นทักษะการคิดวิเคราะห์ เรื่อง จำนวนเชิงซ้อน ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 161
ชลกร เสริฐสม, แสงสุรีย์ ดวงคำน้อย

การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง ทฤษฎีบทปีทาโกรัส ที่เน้นการให้เหตุผลแบบอุปนัยและนิรนัย
สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ห้องเรียนวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ โรงเรียนปราโมชวิทยารามอินทรา 171
มณีรัตน์ หงษ์โสภา, สมวงษ์ แปลงประสพโชค, พรสิน สุภวาลย์

การจัดกิจกรรมการเรียนการสอนโดยใช้เทคนิควัฏจักรการเรียนรู้ 5 ขั้น ในการพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์
เรื่อง ลำดับและอนุกรม ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 181
เพ็ญจันทร์ คำลือมี, แสงสุรีย์ ดวงคำน้อย

การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง ความสัมพันธ์ระหว่างรูปเรขาคณิตสองมิติและสามมิติ โดยใช้การเรียนรู้แบบปฏิบัติ
สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 191
เดียร์ทิพย์ สรวงโท, สมวงษ์ แปลงประสพโชค, พรสิน สุภวาลย์