รายงานผลงานเรื่องเต็มการทดลองที่สิ้นสุด

---

1. แผนงานวิจัย : แผนบูรณาการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์เพื่อสุขภาพ

2. โครงการวิจัย : วิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์จากสารธรรมชาติ

กิจกรรม : การพัฒนาผลิตภัณฑ์ธรรมชาติสำหรับอาหารและเวชสำอาง

3. ชื่อการทดลอง (ภาษาไทย) : การผลิตมะนาวผง น้ำมันหอมระเหย และเพคตินจากมะนาวในรูปไมโคร-นาโนแคปซูล

ชื่อการทดลอง (ภาษาอังกฤษ) : Production of micro-nanoencapsulation of Lime Juice Powder, Lime Essential Oil and Pectin

4. คณะผู้ดำเนินงาน

หัวหน้าการทดลอง : นางสาววิไลศรี ลิมปพยอม

ผู้ร่วมงาน : นางสาววิมลวรรณ วัฒนวิจิตร

นางสาวอกนิษฐ์ พิศาลวัชรินทร์

กลุ่มวิจัยและพัฒนาการแปรรูปผลิตผลเกษตร

กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร

5. บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มมูลค่าให้มะนาว โดยการแปรรูปมะนาวและใช้ประโยชน์จากกากและเปลือกมะนาวเพื่อไม่ให้มีสิ่งเหลือทิ้ง โดยนำมะนาวพันธุ์แป้นพิจิตรและมะนาวพันธุ์แป้น จำนวน 100 กิโลกรัม มะนาวแป้นพิจิตรจะได้น้ำมะนาว 28.95 กิโลกรัม และเปลือก 67.93 กิโลกรัม ในมะนาวแป้นจะให้น้ำมะนาว 32.10 กิโลกรัม และเปลือก 51.30 กิโลกรัม สำหรับน้ำมะนาวได้ผลิตเป็นน้ำมะนาวพร้อมดื่มบรรจุในถุงรีทอร์ตเพาช์ สามารถเก็บรักษาได้นาน 6 เดือน การผลิตน้ำมะนาวผงโดยใช้เทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย สภาวะที่เหมาะสมในการผลิต คือ การใช้น้ำมะนาวสดต่อมอลโตเด็กซ์ตรินอัตราส่วน 50:50 อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 150 องศาเซลเซียส ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพเป็นที่ต้องการมากที่สุด มีวิตามินซี 40.54 มิลลิกรัม /100 กรัม ส่วนเปลือกมะนาวได้นำมาสกัดน้ำมันหอมระเหย โดยพบว่ามีน้ำมันหอมระเหยในช่วง 1.40-4.9% และ 3.63-8.47% ในมะนาวพันธุ์แป้นพิจิตรและมะนาวพันธุ์แป้นตามลำดับ มีองค์ประกอบทางเคมีดังนี้ alpha-pinene ในช่วง 8.54-9.88% beta-pinene ในช่วง 10.21-11.68% D-Limonene ในช่วง 48.28-52.63% Gamma-terpinene ในช่วง 14.72-15.42% และอื่นๆ 10.59-18.25% การสกัดเพคตินจากเปลือกของมะนาวพันธุ์แป้นพิจิตร พบว่ามีปริมาณเพคติน 22.40% โดยปริมาณ Methoxy Content ของเพคตินที่สกัดได้ มีค่า 11.80% ค่า Degree of Esterification มีค่า 56.21 และค่า Equivalent weight 358.48 ส่วนการสกัดเพคตินจากมะนาวพันธุ์แป้น พบว่ามีปริมาณเพคติน 13.82% โดยปริมาณ Methoxy Content ของเพคตินที่สกัดได้ มีค่า 12.94% ค่า Degree of Esterification มีค่า 76.52 และค่า Equivalent weight มีค่า 782.19 ผลจากงานวิจัยนี้ได้ผลิตภัณฑ์จากมะนาว

น้ำมันหอมระเหยและเพคติน ดังนี้ มะนาวพร้อมดื่ม น้ำมะนาวผง นาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหย และเครื่องสำอางที่มีส่วนผสมของวิตามินซี (น้ำมะนาวผง) ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์และเพิ่มมูลค่าให้มะนาวได้

Abstract

The objective of this study is to focused on zero waste lime powder production as sources of essential oil and pectin. Lime (Paen Pichit) 100 kilograms compose of lime juice 28.95 kilograms and residue peel 67.93 kilograms. Lime (Paen) compose of lime juice 32.10 kilogram and residue peel 51.30 kilogram. Lime juice are prepared as ready to drink and store in room temperature for 6 months. Lime powder produced from spray dryer. Lime juice and maltodextrins DE10 ratio, 50:50 was sprayed at 150 degree Celsius inlet air temperature and at 90 degree Celsius outlet temperature, that gave the most desirable quality product. This product has vitamin C contents of 40.54 mg/100 g w/w. Extraction of essential oil from lime peel have been made by using hydro-distillation. The essential oil ranged from 1.40-4.9 and 3.63-8.47% from Paen Pichit and Paen respectively. The chemical composition of essential oil contained alpha-pinene 8.54-9.88, beta-pinene 10.21-11.68, D-Limonene 48.28-52.63, Gamma-terpinene 14.72-15.42 and others 10.59-18.25. Pectin extraction from lime waste, boiled water after essential oil extraction. Pectin extraction from Paen Pichit were found as 22.40% contain Methoxy content 11.80%. Degree of Esterification 56.21 and Equivalent weight 358.48. Pectin extraction from Paen were found range from 13.82% contain Methoxy Content 12.94%. Degree of Esterification 76.52 and Equivalent weight 782.19. The result of this research produced potential products as food and cosmetics such as lime powder, lime juice, nano-emulsion of lime essential oil. The potential from this study had satisfactory results to improve lime processing system for valued-added lime production.

6. คำนำ

มะนาว (Lime) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Citrus aurantifolia (Christm & Panz) Swing.* เป็นไม้ยืนต้นขนาดเล็ก จัดเป็นไม้ผลในตระกูลส้ม (Citrus) มีรสเปรี้ยวจัดหรือเป็นแหล่งของวิตามินซี ให้รสชาติและกลิ่นหอม มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระโดยเฉพาะวิตามินซีในมะนาว ช่วยป้องกันโรคภัยไข้เจ็บต่างๆ โดยการควบคุมอนุมูลอิสระให้อยู่ในภาวะสมดุลที่ร่างกายรับได้ การรับประทานอาหารซึ่งเป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น วิตามินและเกลือแร่จะช่วยปรับสมดุลของสารต้านอนุมูลอิสระภายในร่างกายให้เข้าสู่สภาวะปกติเพื่อป้องกันโรคต่างๆ

วรรณี (2545) ได้วิจัยการทำมะนาวผงและการประเมินอายุการเก็บรักษามะนาวผง โดยใช้ความร้อนลดความขมจากเปลือกมะนาวด้วยการลวกมะนาวที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 1 นาที ก่อนคั้นน้ำ พบว่าช่วยลดความขมจากสารให้ความขมที่เปลือกมะนาวลงได้ นอกจากนี้ได้ศึกษาสารตัวพาที่เหมาะสมต่อการทำแห้งแบบพ่นฝอย 3 ชนิด คือ มอลโตเด็กตริน กัมอารบิค และน้ำเชื่อมกลูโคส พบว่าการทำแห้งมะนาวผงโดยใช้สารตัวพาคือ

น้ำเชื่อมกลูโคสในสัดส่วนของน้ำมะนาวต่อน้ำเชื่อมกลูโคสและมอลโตเด็กตริน DE26 อัตราส่วน 100:30 ให้ผลิตภัณฑ์มะนาวผงที่ดี แต่ต้องเติมกลิ่นมะนาวโดยใช้น้ำมันหอมระเหยจากเปลือกมะนาวซึ่งได้จากการกลั่นเปลือกมะนาวด้วยน้ำ โดยนำมาผสมหลังการทำแห้งมะนาวผง สัดส่วนที่เหมาะสมในการเติม คือ 0.3%

Rao และ McClements (2014) ได้วิจัยเกี่ยวกับการสกัดน้ำมันมะนาว (Lemon Oil) จากเปลือกของมะนาว ซึ่งมีการนำมาใช้เป็นสารให้กลิ่นอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมการทำเครื่องดื่ม อาหารและเครื่องสำอาง รวมทั้งของใช้ภายในบ้านต่างๆ เช่น ก้อนหอมดับกลิ่น โดยได้ศึกษาการเตรียมอิมัลชันในรูปแบบ Oil in water พบว่าองค์ประกอบส่วนใหญ่ของน้ำมันมะนาวก็คือ monoterpenes 35% sesquiterpenes 14% และ Oxygenated 33% โดยเตรียมอิมัลชัน oil in water ด้วยเครื่อง High pressure Homogenizer ประกอบด้วย น้ำมันมะนาว (lemon oil) 10% โดยน้ำหนัก Tween80 1% โดยน้ำหนัก และสารละลายบัฟเฟอร์ (10 mMole phosphate pH7) 89% โดยน้ำหนัก ทำให้ได้น้ำมันมะนาว 10% ในอิมัลชัน

Shekhar และ Harshal (2012) ได้ศึกษาการสกัดน้ำมันหอมระเหยและเพคตินจากเปลือกส้มทั้งสดและแห้ง พบว่าการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโดยวิธีการกลั่นและการสกัดเพคตินโดยวิธี Acid extraction เป็นวิธีที่ดีที่สุดทำให้ได้เพคตินในปริมาณสูง

เพคติน (Pectin) มีองค์ประกอบเป็นพอลิแซคคาไรด์ซึ่งเป็นโครงสร้างของผนังเซลล์ของพืชชั้นสูงเกือบทุกชนิด ทำหน้าที่เป็นสารที่สำคัญในบริเวณชั้นผนังเซลล์เชื่อมยึดระหว่างเซลล์หรือมิดเดิลลาเมลลา (Middle lamella) ยึดเหนี่ยวเซลล์เข้าด้วยกัน โดยจับกับเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และไกลโคโปรตีนของผนังเซลล์พืช เพคตินช่วยเสริมผนังเซลล์ให้หนา แข็งแรง และยืดหยุ่นได้เล็กน้อย โดยเฉพาะบริเวณที่มีเนื้อเยื่ออ่อนนุ่ม เช่น ต้นอ่อน ใบ และผลไม้ ทำหน้าที่เป็นสารที่ทำให้เกิดเจล นำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อเพิ่มความเหนียว เป็นเนื้อเดียวกัน เช่น ใช้ผสมในไอศกรีม เยลลี่ วุ้น ลูกอม เป็นต้น รวมทั้งยังมีการใช้ในเครื่องสำอางอีกด้วย (Wang *et al*., 2014) โดยทั่วไปสามารถพบเพคตินในผลไม้บางชนิด เช่น แอปเปิ้ล กล้วย มะเฟือง ฝรั่ง ลิ้นจี่ มะม่วง เป็นต้น ซึ่งผลไม้ตระกูลแอปเปิ้ลและส้มจะมีเพคตินในเปลือกปริมาณสูง (Thakur *et al*., 1997) ซึ่งในประเทศไทยมีพืชตระกูลส้มอยู่หลายชนิด เช่น ส้มโอ มะนาว และมะกรูด ซึ่งเป็นแหล่งของเพคตินธรรมชาติ

สมฤทัยและคณะ (2549) ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อพฤติกรรมการสกัดเพคตินจากเปลือกด้านในของมะนาวซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้ง ได้แก่ กรดที่ใช้ในการปรับ pH ของสารละลายที่จะสกัดให้มี pH 2 หรือ 3 โดยใช้เวลาในการสกัด 30 หรือ 60 นาที ได้แก่ กรดเกลือ กรดซัลฟูริค หรือกรดฟอสฟอริก พบว่าสภาวะที่เหมาะสมต่อการสกัดเพคตินจากเปลือกมะนาว คือ ใช้กรดเกลือที่มีความเข้มข้น 10% โดยน้ำหนักปรับให้สารละลายที่จะสกัดมี pH 2 และใช้เวลาในการสกัด 60 นาที จะได้สารสกัดเพคตินจากเปลือกด้านในของมะนาวคิดเป็นน้ำหนักแห้ง 2.34±0.05% สารสกัดเพคตินที่ได้มีสมบัติทางกายภาพและเคมีไม่แตกต่างกัน คือเพคตินที่ได้มีลักษณะภายนอกเป็นผงละเอียด ร่วน ดูดความชื้นได้ง่าย จะแตกต่างกันเพียงสีของผงละเอียด ซึ่งมีสีตั้งแต่สีเนื้อถึงสีน้ำตาล ทำให้เพคตินทุกกรรมวิธีการสกัดละลายน้ำได้ ได้สารละลายใสสีเหลืองถึงน้ำตาลเข้ม มี pH อยู่ระหว่าง 3-4 และเมื่อเติมกรดหรือด่างจะเกิด gel หรือตะกอนวุ้นสีขาว สารสกัดเพคตินจากเปลือกในของมะนาวทุกการสกัดจะเกิดเป็นตะกอนวุ้น โดยมีค่า methoxy content ต่ำ คือ 24.42±4.08% และค่า Loss on drying 5.62±1.06% ของน้ำหนักสาร

นาโนอิมัลชัน (Nano-emulsion) นาโนอิมัลชัน เป็นระบบที่ประกอบด้วยน้ำมัน น้ำ และสารลดแรงตึงผิวในปริมาณสูง มีลักษณะเป็นของเหลวใสที่มีความคงตัวทางเทอร์โมไดนามิกส์สูง ขนาดของหยดอนุภาคในตำรับมักมีขนาดเล็กกว่า 100 นาโนเมตร สามารถคงรูปอยู่ได้จากผิวฟิล์มของสารลดแรงตึงผิว สารลดแรงตึงผิวที่นิยมใช้คือกลุ่มสารลดแรงตึงผิวที่ไม่มีประจุ (nonionic surfactants) และกลุ่มสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุบวกและลบ (zwitterionic surfactants) ตัวยาหรือสารสำคัญที่มีคุณสมบัติชอบน้ำหรือไม่ชอบน้ำสามารถนำส่งด้วยระบบนี้ได้ สารลดแรงตึงผิวในตำรับสามารถทำปฏิกิริยากับไขมันที่อยู่ระหว่างเซลล์ของผิวหนังทำให้สามารถเพิ่มการซึมผ่านของตัวยาหรือสารสำคัญ เทคนิคการทำนาโนอิมัลชันมีด้วยกันหลายวิธี เช่น aqueous titration, high pressure homogenizer, solvent evaporation เป็นต้น (Bravo-Osuna *et al*., 2006 และ Chang *et.al*. 2010)

สารสำคัญที่นิยมเก็บกักไว้ภายในอนุภาคนาโนมักเป็นสารที่ละลายน้ำได้น้อยหรือไม่ละลาย เช่น วิตามินชนิดละลายในไขมันและสารพฤกษเคมีต่างๆ การเก็บกักสารดังกล่าวไว้ในอนุภาคนาโน จะช่วยเพิ่มความคงตัวและการดูดซึมของสารนั้นเข้าสู่ร่างกาย ส่งผลให้ปริมาณสารออกฤทธิ์ (bioavailability) ของสารนั้นในร่างกายเพิ่มขึ้นด้วย ทั้งนี้หลังการเข้าสู่ร่างกายโดยการรับประทานแล้ว อนุภาคนาโนจะแพร่ผ่านเซลล์เยื่อบุผิวลำไส้โดยวิธีที่เรียกว่า transcellular หรือ transcytosis และอาจอาศัยตัวรับ (receptor) บนผิวเซลล์ในการผ่านเข้าสู่เซลล์ร่างกาย กระบวนการเพิ่มความสามารถในการผ่านเข้าสู่เซลล์ของอนุภาคนาโนทำได้โดยการปรับเปลี่ยนคุณสมบัติของพื้นผิวอนุภาค ได้แก่ การใช้พอลิเมอร์บางชนิด เช่น ไคโตซาน ซึ่งเป็นพอลิแซคคาไรด์ที่มีประจุเป็นบวกอย่างอ่อนทำให้เกิดแรงกระทำทางประจุ (ionic interaction) กับเซลล์เยื่อบุผิวซึ่งมีประจุเป็นลบส่งผลให้อนุภาคนาโนผ่านเข้าสู่เซลล์ได้ง่ายขึ้น

มะนาวนับผลไม้ที่มีคุณค่าทางโภชนาการและทางการแพทย์ รวมทั้งผลิตภัณฑ์เพื่อความงาม โดยวิตามินซีในมะนาวมีคุณสมบัติช่วยกำจัดเซลล์ที่ตายแล้ว ทำให้ผิวหน้าขาว อ่อนเยาว์ และลบรอยเหี่ยวย่นได้ดี

การแปรรูปมะนาวอย่างครบวงจรเพื่อเพิ่มมูลค่า

1. การแปรรูปน้ำมะนาวให้อยู่ในรูปของน้ำมะนาวผง ผลิตโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Dryer) โดยผลิตภัณฑ์น้ำมะนาวผงที่ได้สามารถรักษาคุณภาพสารให้กลิ่นรส และคุณค่าทางโภชนาการได้อย่างดี สามารถผลิตเป็นสินค้าส่งออกได้ โดยสามารถเก็บรักษาได้นานกว่า 1 ปี
2. การแปรรูปมะนาวเป็นเครื่องดื่มแบบพร้อมดื่มหรือเป็นเครื่องดื่มแบบเข้มข้น โดยการแปรรูปน้ำมะนาวสด การแปรรูปเป็นแยมมะนาว เยลลี่มะนาว กัมมี่มะนาว
3. เปลือกมะนาว สามารถนำมาสกัดน้ำมันหอมระเหยเพื่อใช้เป็นสารให้กลิ่นหอมในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง
4. เปลือกมะนาวที่เหลือสามารถนำมาสกัดเพคตินเพื่อใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องสำอาง
5. ในด้านเครื่องสำอางได้เพิ่มมูลค่ามะนาวโดยนำมะนาวผงและน้ำมันหอมระเหยมาใช้ในเครื่องสำอางเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์และเพิ่มกลิ่นหอมสดชื่นให้กับผลิตภัณฑ์ เช่น โลชั่นบำรุงผิว เจลล้างหน้า มาร์คพอกหน้า เป็นต้น

7. วิธีดำเนินการ

- อุปกรณ์

1) มะนาวพันธุ์แป้น และมะนาวพันธุ์แป้นพิจิตร
2) เอทานอล (Ethanol, Laboratory reagent grade, Fisher Scientific)
3) อะซิโตน (Acetone, Laboratory reagent grade, Fisher Scientific)
4) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide pellet, RPE-ACS)
5) กรดซิตริก (เกรดอาหาร,บริษัท รวมเคมี 1986 จำกัด)
6) กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid, AR Grade, Merck , Germany)
7) เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย Spray Dryer: รุ่น SD-06 basic, ยี่ห้อ Labplant UK
8) เครื่อง Gas Chromatograph-Mass Spectrometer (GC-MS): Clarus SQ 8 T, ยี่ห้อ PerkinElmer
9) เครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC): โมเดล Flexar, ยี่ห้อ PerkinElmer
10) เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง Mettler Toledo ME204
11) เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง Mettler RM480 DeltaRange
12) เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง พีเอช Meter UB-10, Denver Instrument
13) เครื่องวัดสี Konica Minolta Chroma meter: Model: CR-400
14) ตู้อบลมร้อน KOTTERMANN 2736
15) อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิพร้อมเครื่องเขย่า Julabo รุ่น SW 21
16) ชุดกรอง Buchner funnel
17) เครื่องบดขนาดช่องตะแกรง 0.25 มิลลิเมตร (Armfield, Retsch Muhle)
18) ตู้อบรมร้อน (KOTTERMANN 2736)
19) เครื่องคั้นน้ำ (Hydraulic Machine to Press Coconut milk, Model :12 turbo)

- วิธีการ

1. เตรียมตัวอย่างมะนาว
    1.1 เตรียมตัวอย่างเลือกมะนาวพันธุ์ที่มีการปลูกมากในประเทศไทยและมะนาวพันธุ์รับรองของกรมวิชาการเกษตร จำนวน 2 พันธุ์ คือ มะนาวพันธุ์แป้น และมะนาวพันธุ์แป้นพิจิตร
    1.2 ทำความสะอาดมะนาว บันทึกน้ำหนัก ลวกด้วยน้ำร้อนเพื่อลดความขม ปอกเปลือก แยกเปลือกและผล บีบสกัดน้ำมะนาวด้วยเครื่อง Hydraulic press
    1.3 ตรวจสอบคุณภาพของน้ำมะนาว ได้แก่ ความเป็นกรดด่าง ปริมาณกรดซิตริก และปริมาณวิตามินซี

2. สกัดน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกมะนาว
    2.1 นำส่วนเปลือกที่คั้นน้ำมะนาวแล้วมาสกัดน้ำมันหอมระเหยโดยวิธี Hydrodistillation หรือการกลั่นด้วยไอน้ำ โดยชั่งเปลือกมะนาวหนัก 500 กรัม สกัดด้วยน้ำกลั่นบริสุทธิ์ 3000 มิลลิลิตร นาน 1 ชม.
    2.2 หลังจากเก็บน้ำมันหอมระเหยแล้ว ปิดเครื่องวางทิ้งไว้ให้เย็น 1 คืน แล้วนำส่วนของน้ำต้มที่ได้ตกตะกอนเพคตินในขั้นตอนต่อไป
    2.3 ตรวจสอบองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกมะนาว โดยใช้เครื่อง GC-MS (Gas Chromatograph-Mass Spectrometer)
3. สกัดเพคตินจากเปลือกและกากมะนาว มี 3 วิธี ดังนี้
    3.1 การสกัดเพคตินโดยใช้ citric acid และเอทานอล: เริ่มจากนำเปลือกมะนาวส่วนที่เป็นสีขาวไปอบให้แห้งแล้วบดให้ละเอียด จากนั้นนำไปใส่บีกเกอร์ 40 กรัม เติมกรดซิตริกเข้มข้น 50% อัตราส่วนของเปลือกบดแห้งต่อกรดซิตริก เท่ากับ 1:12 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (w/v) นำไปสกัดในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที กรองผ่านผ้าขาวบาง 1 ครั้ง จากนั้นนำเปลือกที่กรองได้ไปสกัดด้วยสภาวะเดิมซ้ำอีกครั้ง นำสารละลายที่ได้ทั้ง 2 ครั้งมารวมกัน จากนั้นตกตะกอนเพคตินโดยเติมเอทานอลเข้มข้น 95% ในอัตราส่วนสารละลายต่อเอทานอล 1:1 โดยปริมาตร (v/v) ทำการคนผสมให้เข้ากัน จากนั้นตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 ชั่วโมง กรองแยกเอาตะกอนเพคตินผ่านผ้าขาวบาง 2 ชั้น ด้วย Buchner funnel แล้วล้างตะกอนเพคตินที่ได้ด้วยเอทานอล 95% จำนวน 3 ครั้ง ตามด้วยอะซิโตนความเข้มข้น 50% จำนวน 3 ครั้ง นำเพคตินที่ได้ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส แล้วบดให้เป็นผง
    3.2 การสกัดเพคตินโดยใช้น้ำและเอทานอล: นำเปลือกมะนาวส่วนที่เป็นสีขาวบดแห้งปริมาณ 40 กรัม มาเติมน้ำกลั่นในอัตราส่วนของเปลือกบดแห้งต่อน้ำกลั่นเท่ากับ 1:12 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (w/v) นำไปสกัดในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที กรองผ่านผ้าขาวบาง 1 ครั้ง นำเปลือกที่กรองได้ไปสกัดด้วยสภาวะเดิมซ้ำอีกครั้ง จากนั้นกรองผ่านผ้าขาวบาง 1 ครั้ง นำสารละลายที่ได้ทั้ง 2 ครั้งมารวมกัน ทำการตกตะกอนเพคติน โดยเติมเอทานอลเข้มข้น 95% ในอัตราส่วนสารละลายต่อเอทานอล 1:1 โดยปริมาตร (v/v) ทำการคนผสมให้เข้ากัน วางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 คืน ประมาณ 15 ชั่วโมง กรองแยกเอาตะกอนเพคตินด้วย Buchner funnel แล้วล้างตะกอนเพคตินที่ได้ด้วยเอทานอล 95% จำนวน 2 ครั้ง ตามด้วยซิโตนความเข้มข้น 50% จำนวน 2 ครั้ง นำเพคตินที่ได้ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส แล้วบดให้เป็นผง
    3.3 การสกัดเพคตินในปริมาณสูง: นำกากที่คั้นน้ำมะนาวและสกัดน้ำมันหอมระเหยแล้ว และน้ำต้มจากการสกัดน้ำมันหอมระเหย มาสกัดเพคติน โดยทำการ reflux ด้วยน้ำที่มีสภาพเป็นกรด แล้วสกัดโดยใช้เอทานอล 95%

4. วิเคราะห์คุณภาพของเพคติน

การตรวจสอบค่าเมทอกซี (Methoxy) โดยนำเพคตินผงที่ได้จากการสกัด 0.5 กรัม เติมเอทานอลปริมาณ 2 มิลลิลิตร ละลายด้วยน้ำกลั่นที่ต้มแล้วเพื่อป้องกันไม่ให้มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 100 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วหยดฟีนอล์ฟทาลีนลงไป 5 หยด นำไปไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 N แล้วบันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นปริมาตรที่ 1 เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 N ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เขย่าแรงๆ วางทิ้งไว้ 15 นาที เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.5 โมลาร์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เขย่าจนสีชมพูหายไป หยดฟีนอฟทาลีนลงไป 5 หยด แล้วนำไปไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 โมลาร์ แล้วบันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นปริมาตรที่ 2 นำมาคำนวณหาค่า Degree of esterification (DE)

5. การเตรียมน้ำมะนาวผงโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย
   5.1 ศึกษาอัตราส่วนของน้ำมะนาวและมอลโตเด็กซ์ตริน DE10 ที่มีผลต่อขนาดอนุภาค รสชาติ และกลิ่นของผลิตภัณฑ์ 3 อัตราส่วน คือ 70:30 50:50 และ 60:40
   5.2 เตรียมน้ำมะนาวผง ด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย โดยศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อผลิตภัณฑ์ที่ได้ โดยศึกษาอุณหภูมิขาเข้าที่ 130 และ 150 ^{o}C และอุณหภูมิขาออก 90 ^{o}C

6. ทดสอบคุณสมบัติของน้ำมะนาวผง
   6.1 ปริมาณความชื้น
   6.2 วัดค่าสี (L, a*, b*)
   6.3 วิเคราะห์ปริมาณวิตามินซี ด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography. (HPLC) และโดยวิธีการไตเตรท: ชั่งตัวอย่างน้ำมะนาวและผลิตภัณฑ์จากมะนาว อย่างละเอียด 1-5 กรัม แล้วไตเตรทกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 50% โดยใช้ phenolphthalein เป็นอินดิเคเตอร์ จากนั้นคำนวณปริมาณวิตามินซีตามสูตร

การคำนวณปริมาณวิตามินซี

% Acidity per 100 grams. or 100 ml.

$$\% \text{ citric acid} = \frac{(V-B) \times N.\ NaOH \times 100}{\text{Wt of sample}}$$

7. การประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์
   7.1 การประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์อาหาร: โดยนำมะนาวผง น้ำมันหอมระเหย และเพคตินมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น เครื่องดื่มมะนาวผสมน้ำผึ้งเข้มข้น แยม เยลลี่มะนาวจากเพคติน เครื่องดื่มมะนาวผง

7.2 การประยุกต์ใช้กับเวชสำอาง: นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ผสมในเครื่องสำอางปริมาณ 5-15% เช่น นาโนอิมัลชัน ครีมบำรุงผิว เซรั่มบำรุงผิว และมาร์คพอกหน้า เป็นต้น

8. ตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องสำอาง เช่น อายุการเก็บรักษา ขนาดอนุภาคและความคงตัวของผลิตภัณฑ์ และการทดสอบการซึมผ่านโดยใช้เมมเบรนสำเร็จรูป เป็นต้น

- เวลาและสถานที่ เริ่มต้นงานวิจัย 1 ตุลาคม 2559
งานวิจัยสิ้นสุด 30 กันยายน 2562
กลุ่มวิจัยและพัฒนาการแปรรูปผลิตผลเกษตร
กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร

8. ผลการทดลองและวิจารณ์

1) เตรียมตัวอย่างมะนาว

ผลการศึกษามะนาวจำนวน 2 พันธุ์ คือ มะนาวพันธุ์แป้นพิจิตรซึ่งมีผลใหญ่เปลือกหนา และมะนาวพันธุ์แป้นซึ่งมีผลขนาดกลางและเปลือกบาง พบว่า

- มะนาวแป้นพิจิตรจำนวน 100 ลูก มีน้ำหนักโดยเฉลี่ย 12.50 กิโลกรัม ให้ปริมาณน้ำมะนาวโดยเฉลี่ย 4.62 กิโลกรัม และมีเปลือกโดยเฉลี่ย 6.15 กิโลกรัม ดัง Table 1
- มะนาวพันธุ์แป้นเปลือกบางจำนวน 100 ลูก มีน้ำหนักโดยเฉลี่ย 6.19 กิโลกรัม ให้ปริมาณน้ำมะนาวโดยเฉลี่ย 2.20 กิโลกรัม และมีเปลือกโดยเฉลี่ย 3.40 กิโลกรัม ดัง Table 2

ผลการทดลองนำมะนาวพันธุ์แป้นที่ปลูกในภาคกลาง ภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือมาศึกษาทดลอง โดยระยะแรกได้เก็บตัวอย่างมะนาวพันธุ์แป้นเปลือกบางที่ปลูกในจังหวัดสมุทรสาคร นครปฐม และมะนาวพันธุ์แป้นเปลือกหนา พบว่ามะนาวพันธุ์แป้นเปลือกบาง 1 กิโลกรัม มี 23 ลูก เฉลี่ยมะนาว 1 ลูก หนัก 44 กรัม มีน้ำมะนาวเฉลี่ย 20 กรัม ส่วนของเปลือกและกาก หนัก 24 กรัม ส่วนมะนาวพันธุ์แป้นเปลือกหนามี 16 ลูกต่อ 1 กิโลกรัม เฉลี่ยมะนาว 1 ลูก หนัก 63 กรัม ประกอบด้วยน้ำมะนาวเฉลี่ย 35.20 กรัม เปลือก 17.46 กรัม และกาก 44.92 กรัม ดัง Table 3

ผลการตรวจสอบปริมาณวิตามินซีในน้ำมะนาวที่ได้จากพันธุ์แป้นพิจิตรและพันธุ์แป้นเปลือกบางโดยวิธีการไตเตรทและโดยใช้เครื่อง High Performance Liquid Chromatography รวมทั้งค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ที่มีในน้ำมะนาวสด พบว่าน้ำมะนาวแป้นพิจิตรมีปริมาณวิตามินซีเฉลี่ย 69.89 มิลลิกรัม/100 กรัม มีปริมาณกรดซิตริกเฉลี่ย 7.53% ค่าความเป็นกรดด่างเฉลี่ย 2.51 ส่วนน้ำมะนาวแป้นมีปริมาณวิตามินซีเฉลี่ย 62.32 มิลลิกรัม/100 กรัม มีปริมาณกรดซิตริกเฉลี่ย 7.40% ค่าความเป็นกรดด่างเฉลี่ย 2.27 ดัง Table 4

2) สกัดน้ำมันหอมระเหยและเพคตินจากเปลือกมะนาว

การสกัดน้ำมันหอมระเหยและเพคติน พบว่ามะนาวพันธุ์แป้นพิจิตร มีปริมาณน้ำมันหอมระเหยเฉลี่ย 1.06 %v/w และมีปริมาณเพคตินเฉลี่ย 1.59 %w/w มะนาวพันธุ์แป้น มีปริมาณน้ำมันหอมระเหยเฉลี่ย 0.38 %v/w และมีปริมาณเพคตินเฉลี่ย 2.73 %w/w ดัง Table 5 โดยมะนาวพันธุ์แป้นพิจิตร 100 กิโลกรัม มี

ปริมาณน้ำมะนาวสดเฉลี่ย 28.35% กากเปลือกเฉลี่ย 51.30% ให้ปริมาณน้ำมันหอมระเหย 1.4-4.9% และมีปริมาณเพคตินเฉลี่ย 5.56% ส่วนมะนาวพันธุ์แป้นมีปริมาณน้ำมะนาวสดเฉลี่ย 32.11% กากเปลือกเฉลี่ย 67.93% ให้ปริมาณน้ำมันหอมระเหย 3.63-8.47% และปริมาณเพคตินเฉลี่ย 2.48% ดัง Table 6 สอดคล้องกับรายงานของ Terpstra *et al.* (2002) ที่ได้ศึกษาการสกัดเพคตินจากเปลือกส้มและผลของความเป็นกรดในการสกัดเพคตินโดยพบว่า การสกัดเพคตินจากเปลือกส้มในสภาวะที่มีค่า pH 1 จะให้ %yield เพคติน 45.5% ในสภาวะที่มีค่า pH 1.5 จะให้ %yield เพคติน 22% และพบว่าสารตั้งต้นในการสกัดเพคตินที่ให้ %yield สูง คือ น้ำที่ได้จากการกลั่นด้วยไอน้ำของเปลือกส้ม ซึ่งให้ปริมาณเพคติน 46.46% ในขณะที่การสกัดเพคตินจากเปลือกส้มที่ทำให้แห้งแล้วให้เพคติน 39.08%

สำหรับองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกมะนาว จากการตรวจสอบโดยใช้เครื่อง Gas Chromatography-Mass Spectrophotometry พบว่า มีองค์ประกอบที่สำคัญคือ D-Limonene 52.63% Gamma-terpinene 15.42% beta-pinene 11.68% alpha-pinene 9.88% และสารอื่นๆ 10.59% ดัง Table 9 และ Figure 1

3) วิเคราะห์คุณภาพเพคติน

ผลการสกัดเพคตินจากเปลือกมะนาวพันธุ์แป้นพิจิตร พบว่ามีปริมาณเพคตินเฉลี่ย 22.39% มีปริมาณ Methoxy Content เฉลี่ย 11.80% มีค่า Equivalent weight เฉลี่ย 328.48% และมีค่า Degree of Esterification เฉลี่ย 56.21 ดัง Table 7 ส่วนเปลือกมะนาวพันธุ์แป้นสกัดเพคตินได้เฉลี่ย 13.82% มีค่า Equivalent weight เฉลี่ย 782.19% มีปริมาณ Methoxy Content เฉลี่ย 12.94% และมีค่า Degree of Esterification เฉลี่ย 76.52 ดัง Table 8

4) การเตรียมน้ำมะนาวผงโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

ผลการเตรียมน้ำมะนาวผง พบว่าสภาวะที่ดีที่สุด คือ อัตราส่วนน้ำมะนาว:มอลโตเด็กตริน DE10 เท่ากับ 50:50 ฉีดพ่นที่อุณหภูมิขาเข้า 150 °C ได้มะนาวผง 45.91% มีความหอมและรสเปรี้ยวเหมือนมะนาวสด มีปริมาณกรดทั้งหมด 20.58 มิลลิกรัม/100 กรัมมะนาวผง มีความชื้น 3.12% (Table 10)

คุณค่าทางโภชนาการของมะนาวผง 100 กรัม แสดงดัง Table 11 คือ ให้พลังงาน 407.61 กิโลแคลอรี มีคาร์โบไฮเดรต 88.95 กรัม ใยอาหาร 0.44 กรัม แคลเซียม 61.38 มิลลิกรัม โซเดียม 24.78 มิลลิกรัม และวิตามิน 40.54 มิลลิกรัม ซึ่งสามารถนำไปผลิตเพื่อจำหน่ายได้ โดยนำไปบรรจุในซองอลูมิเนียมฟอยล์พร้อมใช้เพื่อเป็นเครื่องดื่มและเครื่องปรุงรส โดยมะนาวผงมีลักษณะดัง Figure 2

5) การประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์

5.1) ผลการแปรรูปน้ำมะนาวสดเป็นน้ำมะนาวพร้อมดื่ม ได้ปรับสูตรดังแสดงในภาคผนวก จากนั้นผลิตเป็นมะนาวพร้อมดื่มบรรจุในถุงรีทอร์ตเพาซ์ พบว่าสามารถเก็บรักษาได้นานขึ้น โดยปริมาณกรดซิตริกระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 6 เดือน มีค่าลดลงเพียงเล็กน้อยจาก 0.89% ในวันผลิตเป็น 0.70% ในเดือนที่ 6 ดัง Table 12

5.2) ผลการพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางเพื่อนำไมโครแคปซูลวิตามินซี เพคตินและน้ำมันหอมระเหยของมะนาวมาใช้ประโยชน์ มีดังนี้

- มาร์คพอกหน้า (Face Mask) มีส่วนประกอบดังนี้ น้ำ กลีเซอรีน เพคติน propylene-glycol และไมโครแคปซูลวิตามินซี 5-15%
- ครีมโฟมล้างหน้า (Face Foam Cream) มีส่วนประกอบดังนี้ น้ำมันรำข้าว/น้ำมันมะพร้าว สเตียริคแอซิด โปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เมทิลพาราเบน 1,3 butylene-glycol, GMS, Abc 45%, Amilite, น้ำกลั่นบริสุทธิ์ และไมโครแคปซูลวิตามินซี 5-15%
- เจลล้างหน้า (Cleansing Face Gel) มีส่วนประกอบดังนี้ ไฮดรอกซีเอทิลเซลลูโลส Lauryl glucoside (nonionic surfactant), Cocamidopropyl betain, Propylene-glycol, Ammodium lauryl sulfate, Glydant (สารกันเสีย), triethanolamine และไมโครแคปซูลวิตามินซี 5-15%
- เซรั่มวิตามินซีบำรุงผิว มีส่วนประกอบดังนี้ น้ำกลั่นบริสุทธิ์ กลีเซอรีน cetearyl alcohol, phynoxyethanol และไมโครแคปซูลวิตามินซี 5-15% (Figure 3)
- เจลวิตามินซี มีส่วนประกอบดังนี้ น้ำกลั่นบริสุทธิ์ แซนแทนกัม โซเดียมไฮดรอกไซด์ propylene-glycol, methylparaben (สารกันเสีย) ไดโซเดียม-EDTA และไมโครแคปซูลวิตามินซี 5-15%
- ผลการเตรียมผลิตภัณฑ์นาโนอิมัลชัน โดยใช้น้ำมันหอมระเหย 1000 มิลลิกรัม ผสมกับ Tween60 ปริมาณ 6 8 และ 10 กรัม และทำให้มีน้ำหนัก 15 กรัมด้วยสารละลายเอทานอล 95% ผสมกันโดยใช้ Hand Homogenizer นาน 15 นาที เมื่อระเหยเอทานอลออกโดยใช้เครื่องระเหยสารสุญญากาศก็จะได้ผลิตภัณฑ์ให้ความหอมกลิ่นมะนาว พบว่าอิมัลชันมีความคงตัวไม่แยกชั้น ดัง Figure 4 และเมื่อวัดขนาดอนุภาคด้วยเครื่อง Dynamic Light Scattering (DLS) ที่ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ พบว่าอิมัลชันมีขนาดอนุภาคในช่วง 46.9-47.7, 41.7-44.6, และ 54.2-55.8 ค่า zeta potential ในช่วง 8.29-8.47, 10.30-10.57, และ 17.24-18.54 ตามลำดับ (Table 13)

วิตามินซีในน้ำมะนาวมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ น้ำมันหอมระเหยให้ความหอม ทำให้ผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง มีคุณสมบัติทำให้ผิวพรรณชุ่มชื้น กระจ่างใส และสดชื่น

9. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

มะนาว สามารถนำมาผลิตน้ำมะนาว มะนาวผง สกัดน้ำมันหอมระเหยจากเปลือก สกัดเพคตินจากกาก ซึ่งสามารถเพื่อใช้ประโยชน์ได้ทุกส่วน และสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องสำอางได้

โดยมะนาวพันธุ์แป้นพิจิตรจำนวน 100 ลูก มีน้ำหนักเฉลี่ย 12.50 กิโลกรัม ให้ปริมาณน้ำมะนาวเฉลี่ย 4.62 กิโลกรัม และมีเปลือกเฉลี่ย 6.15 กิโลกรัม สูงกว่ามะนาวพันธุ์แป้นเปลือกบาง โดยในน้ำมะนาว 100 กรัม มีวิตามินซี 69.89 มิลลิกรัม มีกรดซิตริก 7.53% มีค่าความเป็นกรดด่าง 2.51 เปลือกมะนาวสามารถสกัดเพคตินได้

1.59 %w/w และสกัดน้ำมันหอมระเหยได้ 1.06 %v/w โดยองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยมีองค์ประกอบที่สำคัญคือ D-Limonene ซึ่งมีปริมาณสูงถึง 52.63% เพคตินที่สกัดได้เหมาะสำหรับการนำมาใช้ในอาหารและในเครื่องสำอาง โดยใช้เป็นสารเพิ่มความหนืด เป็นสารก่อเจล และสารคงตัวในผลิตภัณฑ์อาหารได้

มะนางผง สามารถผลิตได้ด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้อัตราส่วนน้ำมะนาว:มอลโตเด็กตริน DE10 เท่ากับ 50:50 ฉีดพ่นที่อุณหภูมิขาเข้า 150 °C จะได้มะนาวผง 45.91% ให้พลังงาน 407.61 กิโลแคลอรี/100 กรัม โดยยังคงมีความเปรี้ยวและมีกลิ่นมะนาว สามารถใช้ปรุงอาหารและผลิตเป็นเครื่องดื่มมะนาวได้

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการประยุกต์ใช้สารสกัดจากมะนาว ได้แก่ น้ำมะนาวพร้อมดื่มในถุงรีทอร์ตเพาซ์ สามารถเก็บรักษาได้นาน 6 เดือน และสามารถนำน้ำมันหอมระเหยและเพคตินมาใช้ในการพัฒนาสูตรเครื่องสำอางต่างๆ ได้ เช่น มาร์คพอกหน้า ครีมโฟมล้างหน้า เจลล้างหน้า เซรั่มผสมไมโครแคปซูลวิตามินซี (น้ำมะนาวผง) และนาโนอิมัลชัน ซึ่งมีความคงตัวและไม่แยกชั้น

10. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ :

1) เผยแพร่ผลงานการแปรรูปมะนาว การทำมะนาวพร้อมดื่ม น้ำมะนาวเข้มข้น สูตรน้ำผึ้งและสูตรน้ำตาลทราย ให้ทดลองชิม และทดสอบการใช้ผลิตภัณฑ์ครีมทามือในงานวันเกษตรแห่งชาติ ในหัวข้อศาสตร์พระราชากับการกับการพัฒนาการเกษตรไทย ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ระหว่างวันที่ 26 ม.ค. -3 ก.พ. 2561 นอกจากนั้นได้ให้การฝึกอบรมเกษตรกรแปลงใหญ่ ร่วมกับ ศพก. สุรินทร์ ในวันที่ 27-28 มีนาคม 2561

2) ถ่ายทอดเทคโนโลยีได้ให้การฝึกอบรมกลุ่มผู้ผลิตมะนาว อำเภอ บ้านแผ้ว จังหวัดสมุทรสงครามและได้จัดทำเอกสารเผยแพร่ ในหัวข้อ การแปรรูปมะนาวอย่างครบวงจรเพื่อเพิ่มมูลค่า ในวันที่ 22 กุมภาพันธ์ 2562

3) ถ่ายทอดเทคโนโลยีได้ให้การฝึกอบรมแก่ผู้สนใจในหลักสูตรนวัตกรรมการสกัดสารสำคัญและการใช้ประโยชน์ในเครื่องสำอาง โดยได้นำสูตรโลชั่นและเจลบำรุงผิวมาเผยแพร่ ในวันที่ 29 เมษายน 2562 โดยมีผู้เข้ารับการอบรม จำนวน 30 คน ดัง Figure 5

11. เอกสารอ้างอิง

วรรณี มาวิมล (2545) วิทยานิพนต์ เรื่องการพัฒนากรรมวิธีการผลิตมะนาวผงและการประเนอายุการเก็บรักษา ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สมฤทัย จิตภักดีบดินทร์และคณะ (2549) การพัฒนาการสกัดเพคตินจากเปลือกมะนาวให้มีความบริสุทธิ์และปริมาณมากในเชิงพาณิชย์

Bravo-Osuna, I., Schmitz, T., Bernkop-Schnurch. A. Vauthier, C& Ponchel. G. 2006. Elaboration and Characterization of thiolated chitosan-coated acrylic nanoparticles. International journal of pharmaceutics. 316, 170-175.

Chang. P.R. Jian. R. Yu. J. and Ma, X. 2010. Fabrication and characterization of chitosan nanoparticle/ plasticized-starch composites. Food Chemistry. 120. 736-740.

Rao, J. and McClements, D.J. 2014. Impact of Lemon Oil composition on formation and stability of model food and beverage emulsion Food Chemistry 134. 749-757.

Rha, H.J., Bae I.Y., Lee, S., Yoo, S.H, Chang P.S. and Lee H.G. 2011. Enhancement of anti-cancer activity of pectin from apple pomace by hydroxamation. Food Hydrocolloids 25(3). 545-548.

Shekhar P. and Harshal M. 2012. Separation of Oil and pectin from orange peel and study of effect of pH of extracting medium on the yield of pectin. Journal of Engineering Research and Studies. Vol. 111, 6-15.

Terpstra, A.H., J.A. Lapre, H.T. Vries, A.C. Beynen. 2002. The hypocholesterolemic effect of Lemon peel, Lime peel, and the waste stream material of lemon peel in hybrid FIB hamster. Eur.J.Nutr. 41 (1). Pp19-26

Wang X., Chen Q., Lu X. 2014. Pectin extracted from apple pomace and citrus peel by subcritical water Journal of Food Hydrocolloids. 38, 129-137.

12. ภาคผนวก

Table 1 Average Total weight of Lime, Lime Juice and residue of Lime peel.

Sample Number	Total weight of 100 lime (Paen Pichit) (kg)	Weight of Lime Juice (kg) (%)	Weight of Residue lime peel(kg) (%)
1	11.32±1.35	3.82±1.15 (33.74%)	5.78±1.08 (55.12%)
2	13.00±1.27	4.96±1.32 (38.15%)	6.37±1.38 (53.61%)
3	11.26±1.56	3.85±1.65 (34.19%)	5.98±1.35 (53.10%)
4	10.78±1.87	3.67±1.84 (34.04%)	6.00±1.73 (55.65%)
5	12.17±1.17	4.55±1.93 (37.38%)	5.50±1.82 (53.41%)
6	12.89±1.58	4.86±1.26 (37.70%)	5.86±1.35 (54.70%)
7	12.65±1.48	4.96±1.35 (39.20%)	5.92±1.15 (56.48%)
8	13.19±1.91	5.15±1.55 (38.13%)	6.45±1.35 (54.85%)
9	14.15±1.78	5.35±1.92 (37.80%)	6.95±1.65 (56.18%)
10	13.56±1.12	4.98±1.54 (36.72%)	6.57±1.25 (55.82%)
AVG	12.50	4.62 kg	6.15 kg

Table 2 Average Total weight of Lime, Lime Juice and residue of Lime peel.

Sample Number	Total weight of 100 lime (Paen) (kg)	Weight of Lime Juice (kg) (%)	Weight of Residue lime peel(kg) (%)
1	6.19±1.85	2.35±1.67 (37.96%)	3.05±1.08 (49.47%)
2	5.00±1.34	1.56±0.94 (31.20%)	2.33±1.48 (46.17%)
3	6.28±1.87	2.27±1.36 (36.14%)	3.27±1.53 (52.08%)
4	5.49±0.97	2.00±1.63 (36.42%)	3.17±1.12 (57.74%)
5	5.54±1.58	2.15±1.26 (38.80%)	3.15±1.45 (56.85%)
6	6.38±1.37	2.49±1.35 (39.02%)	3.25±1.15 (52.56%)
7	6.72±1.72	2.15±1.55 (34.23%)	3.77±1.55 (56.66%)
8	6.69±1.78	2.24±0.92 (33.43%)	3.98±1.25 (59.35%)
9	7.30±1.82	2.68±1.54 (36.71%)	4.49±1.25 (61.50%)
10	6.28±1.82	2.15±1.54 (33.43%)	3.49±1.25 (58.64%)
AVG	6.19	2.20 kg	3.40 kg

Table 3 Average Total weight of Lime, Lime Juice and Lime Peel.

Paen Pichit (gram)	Juice (%)	Lime Peel (%)	Residue Lime Peel (%)
600	35.62	12.88	51.50
806	31.01	20.47	40.20
1132	33.83	22.34	40.11
1301	40.43	11.46	48.11
3360	35.11	20.17	44.72
Mean 1440	35.20	17.46	44.92

Table 4 Average of Vitamin C content, Citric acid content and Lime Juice acidity. in Lime Juice.

Sample Number	Paen Pichit			Paen		
	Vitamin C (HPLC) (mg/100g.)	Citric Acid (Titration) (%)	Acidity (pH)	Vitamin C (HPLC) (mg/100g)	Citric Acid (Titration) (%)	Acidity (pH)
1	65.12	7.65	2.5	55.76	7.18	2.2
2	68.34	7.44	2.4	64.97	7.12	2.3
3	71.13	7.58	2.5	58.56	7.35	2.3
4	69.26	7.61	2.3	62.38	7.31	2.2
5	73.17	7.60	2.2	64.58	7.48	2.4
6	75.08	7.52	2.4	56.98	7.47	2.2
7	69.25	7.54	2.5	58.76	7.45	2.3
8	62.19	7.56	2.9	67.93	7.51	2.2
9	71.17	7.49	2.8	71.52	7.63	2.3
10	74.23	7.33	2.6	61.73	7.54	2.3
AVG	69.89	7.53	2.51	62.32	7.40	2.27

Table 5 Average of essential oil and pectin content in 2 varieties of lime.

Sample Number	Paen Pichit		Paen	
	Essential oil (%v/w)	Pectin content (%w/w)	Essential oil (%v/w)	Pectin content (%w/w)
1	1.1	0.67	0.26	3.10
2	1.5	0.58	0.32	1.70
3	0.9	1.96	0.32	2.10
4	1.4	1.77	0.32	4.15
5	0.4	2.77	0.40	3.25
6	0.5	3.28	0.38	1.93
7	1.1	0.93	0.31	1.84
8	0.4	1.26	0.34	3.21
9	1.5	0.98	0.41	2.87
10	1.8	1.65	0.42	3.19
AVG	1.06	1.59	0.35	2.73

Table 6 Average of essential oil and pectin in 100 kilograms of lime.

Lime	Lime Juice (%)	Lime Peel (%)	Essential oil (%)	Pectin (%)
Paen	28.95	51.30	1.4-4.9	5.56
Paen Pichit	32.11	67.93	3.63-8.47	7.48

Table 7 Characteristic of Pectin extract from Lime. (Paen Pichit)

Lime	Paen1	Paen 2	Paen 3	AVG
% Pectin	17.74	20.57	28.88	22.40
%Equivalent Weight	318.85	350.92	315.68	328.48
% Methoxyl	8.40	13.11	13.90	11.80
Degree of Esterification	53.17	56.47	58.99	56.21
% AUA	106.84	103.75	107.53	106.04

Table 8 Characteristic of Pectin extract from Lime. (Paen)

Lime	Paen1	Paen 2	Paen 3	AVG
% Pectin	12.8	13.78	14.87	13.82
%Equivalent Weight	744.7	818.0	783.88	782.19
% Methoxyl	12.72	13.11	12.98	12.94
Degree of esterification	75.34	77.58	76.65	76.52
% AUA	95.84	95.99	96.17	96.00

Table 9 Chemical composition of Lime essential oil.

Chemical composition	Paen Pichit	Paen
Alpha-pinene	9.88	8.54
Beta-pinene	11.68	10.21
D-limonene	52.63	48.28
Gamma-terpinene	15.42	14.72
Others	10.59	18.25

Table 10 Physico-chemical properties of lime powder (Paen Pichit) with different maltodextrin DE10 content produced by Spray dryer.

Properties		Maltodextrin (% of lime powder, w/w)		
		30	40	50
Yields (%)		30.51	37.89	45.91
Moisture (%)		3.26	3.71	3.12
Mg total acid /100 g lime powder		10.8	15.96	20.58
Color	L*	88.94	90.64	91.51
	a*	1.72	1.73	1.72
	b*	13.51	12.97	12.86

Table 11 Nutrition Fact of Lime Juice powder.

Energy	407.61	Kcal/100 g
Carbohydrate	88.95	g/100 g
Dietary fiber	0.4	g/100 g
Calcium	61.38	mg/100 g
Sodium	28.78	mg/100 g
Vitamin C	40.54	mg/100 g

Table 12 Average of citric acid content in Ready to drink lime juice for 6-month storage.

Sample Number	(%) Citric acid content in Ready to drink for 6 months storage.						
	0 M	1 M	2 M	3 M	4 M	5 M	6 M
1	1.02	0.83	0.80	0.82	0.84	0.85	0.61
2	0.84	0.82	0.82	0.81	0.85	0.79	0.65
3	0.85	0.86	0.86	0.76	0.78	0.80	0.70
4	0.79	0.81	0.82	0.79	0.84	0.82	0.66
5	0.79	0.83	0.82	0.83	0.78	0.76	0.68
6	1.11	0.82	0.83	0.84	0.79	0.82	0.79
7	0.86	0.83	0.84	0.82	0.74	0.84	0.81
8	0.85	0.83	0.82	0.81	0.81	0.83	0.78
9	0.87	0.85	0.82	0.81	0.79	0.75	0.67
10	0.91	0.84	0.78	0.83	0.81	0.79	0.69
AVG	0.89	0.83	0.82	0.81	0.80	0.81	0.70

Table 13 Particle size and zeta potential of nano-emulsion of lime essential oil.

Nano-emulsion of lime essential oil.	Particle size (nm.)	Zeta potential
Lime EO (1000 mg) + Tween 60 (6g) + Ethanol (15g)	46.9-47.7	8.29-8.47
Lime EO (1000 mg) + Tween 60 (8g) + Ethanol (15g)	41.7-44.6	10.30-10.57
Lime EO (1000 mg) + Tween 60 (10g) + Ethanol (15g)	54.2-55.8	17.24-18.54

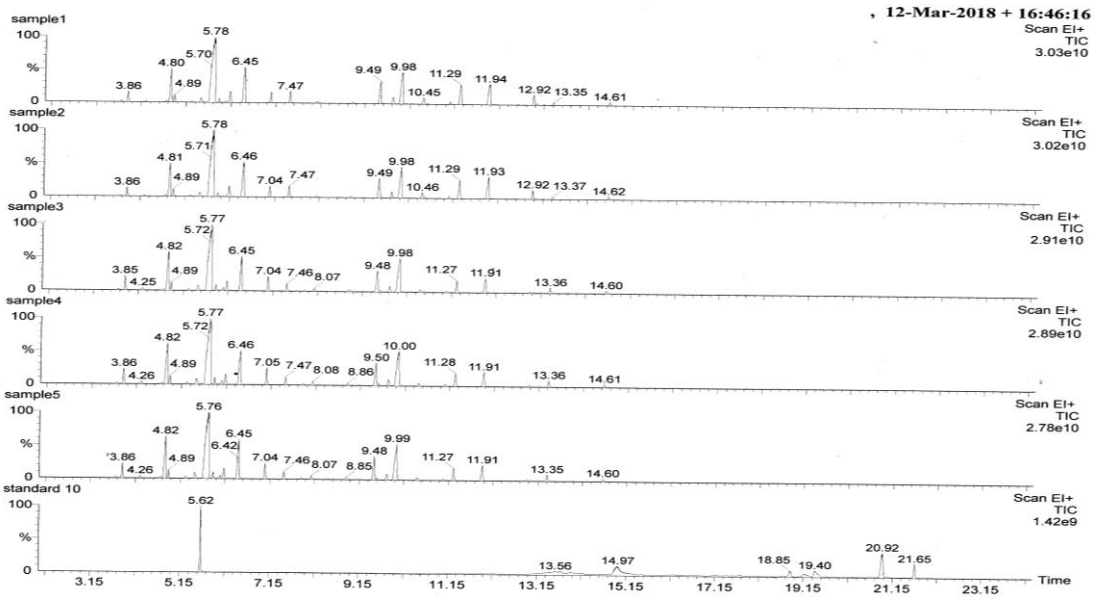

Figure 1 Chromatogram of lime essential oil composition compared with D-Limonene standard by GC-MS

Figure 2 Lime powder

Figure 3 Cosmetic products from lime powder

Figure 4 Nano-emulsions from lime essential oil

Figure 5 Training course on innovative lime extraction and utilization in cosmetics

สูตรเครื่องดื่มน้ำมะนาวพร้อมดื่ม

ส่วนผสม

น้ำมะนาว	500	กรัม
น้ำตาล	1000	กรัม
น้ำ	5300	กรัม
เพคติน	2	กรัม
เกลือ	17	กรัม

วิธีการ

1. เตรียมส่วนผสมตามสูตร ผสมส่วนผสมแห้งให้เข้ากัน
2. ต้มน้ำพออุ่น ละลายส่วนผสมแห้งจนหมด เทน้ำมะนาวลงในส่วนผสม
3. ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส นาน 3 นาที
4. บรรจุขวดพลาสติกขณะร้อน ปิดฝาให้สนิท ทำให้เย็นในน้ำสะอาด
   หมายเหตุ น้ำมะนาวพร้อมดื่มสูตรนี้ สามารถบรรจุขวดขนาด 125 มล.ได้ประมาณ 55 ขวด มีน้ำมะนาวสดประมาณ 10%

น้ำมะนาวผง สูตร 1

ส่วนผสม

น้ำมะนาวสด	700	กรัม
มอลโตเด็กซตริน (DE10)	300	กรัม
น้ำ	1000	กรัม

น้ำมะนาวผง สูตร 2

ส่วนผสม

น้ำมะนาวสด	1000	กรัม
มอลโตเด็กซตริน (DE10)	500	กรัม
น้ำ	500	กรัม

วิธีการ

ชั่งส่วนผสมตามสูตร นำน้ำใส่หม้อให้ความร้อนจนเดือด ปิดไฟ วางทิ้งไว้ให้อุ่น ค่อยๆ เทมอลโตเด็กซตริน คนตลอดเวลาจนละลายหมด นำมาปั่นรวมกับน้ำมะนาว ในเครื่องปั่นผสมอาหาร กรองผ่านผ้าขาวบางจนหมด นำมาตีปั่นอีกครั้งเพื่อให้ส่วนผสมเข้ากันดี นำส่วนผสมเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้อุณหภูมิขาเข้า 150 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิขาออก 90 องศาเซลเซียส

ข้อมูลผลิตภัณฑ์ สูตรที่ 1 สามารถผลิตน้ำมะนาวผงได้ 300 กรัม
สูตรที่ 2 สามารถผลิตน้ำมะนาวผงได้ 500 กรัม