บทความวิจัย

การผลิตน้ำมะม่วงเข้มข้นใสจากพันธุ์น้ำดอกไม้

Production of Clarified Concentrated Mango Juice from Namdokmai Cultivar

ช่อลัดดา เที่ยงพุก[1] สายสนม ประดิษฐดวง[2]

Chowladda Teangpook Saisanom Praditdoung

ABSTRACT

This study was, therefore, conducted to produce clarified concentrated mango juice for value added from Namdokmai cultivar (*Mangifera indica* L). The procedure employed microfiltration (MF) and reverse osmosis (RO) methods. Prior to producing the clarified concentrated mango juice, polysaccharide in mango pulp must be degradated by the application of two methods : by using enzyme liquefaction and gamma irradiation. The results indicated that the use of enzymes produced much better result than irradiation. The application of the mixture of Pectinex™Ultra SP-L 0.095% and Celluclast 1.5L 0.02% by weight into mango pulp (pH 4.5) and incubating at 50°C for 105 minutes resulted in 77.46% mango juice yield, reduced viscosity to 70.26% and 71.04% transparency. From the results, the mixture of the two kinds of enzymes were, therefore, adopted for the production of mango juice in pilot plant. The analyses of chemical composition and physical properties of products before and after MF and RO method were found that MF-permeate was clear pale yellow mango juice and medium odor but MF-retentate was contrary; RO-retentate was clarified concentrated juice mostly similar to MF-permeate except with more concentration. Besides volatile compounds were found both in form of kind and quantity in MF-retentate higher than MF-permeate and RO-retentate. The importance volatile compound was β-caryophyllene that was found in high quantity in fresh mango

Key Words : Namdokmai cultivar mango, Concentrated juice, Microfiltration, Reverse osmosis.

---

1. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
Institute of Food Research and Product Development, Kasetsart Universtiy.

2. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
Department of Food Science and Technology, Facultry of Agro-industry, Kasetsart University.

บทคัดย่อ

ศึกษาการแปรรูปมะม่วงน้ำดอกไม้ เป็นน้ำมะม่วงเข้มข้นใส โดยการใช้เทคนิคการแยกน้ำจากเนื้อมะม่วงด้วยวิธีไมโครฟิลเตรชั่น (MF) ตามด้วยการทำให้เข้มข้นโดยวิธีรีเวอร์สออสโมซิส (RO) ก่อนผลิตน้ำมะม่วงเข้มข้นใสจะต้องย่อยสารโพลีแซคคาไรด์โมเลกุลใหญ่ในเนื้อมะม่วง การทดลองนี้ใช้ 2 วิธี คือ การใช้เอ็นไซม์ กับการฉายรังสีแกมมา พบว่าการใช้เอ็นไซม์ให้ผลดีกว่ามาก จึงเลือกใช้เอ็นไซม์ Pectinex™ Ultra SP-L ร้อยละ 0.095 และ Celluclast 1.5 L ร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนัก ใส่พร้อมกันลงไปในเนื้อมะม่วงบดได้น้ำมะม่วงร้อยละ 77.46 ลดความหนืดลงร้อยละ 70.26 และมีความใสร้อยละ 71.04 จากผลดังกล่าว จึงนำส่วนผสมของเอ็นไซม์ทั้ง 2 ชนิด มาใช้ผลิตน้ำมะม่วงเข้มข้นใสในโรงงานนำร่อง พบว่า MF-permeate เป็นของเหลว ใส สีเหลืองอ่อน กลิ่นมะม่วงปานกลาง ส่วน MF-retentate มีลักษณะตรงข้าม สำหรับ RO-retentate ให้น้ำมะม่วงเข้มข้นใส มีลักษณะส่วนใหญ่คล้าย MF-permeate แต่มีความเข้มข้นกว่า นอกจากนั้นยังพบสารระเหยในส่วน MF-retentate สูงกว่า MF-permeate และ RO-retentate ทั้งชนิด และปริมาณ และสารที่สำคัญคือเบต้าแคริโอฟีลีน ซึ่งพบมากในเนื้อมะม่วงสด และ MF-retentate

บทนำ

กระบวนการผลิตน้ำผลไม้เข้มข้นมีหลายวิธี วิธีดั้งเดิมคือการระเหยซึ่งอาจมีสุญญากาศร่วมด้วย แต่วิธีนี้ต้องใช้อุณหภูมิสูงทำให้เกิดการสูญเสียกลิ่น และเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของสารที่ให้กลิ่น เพราะลิปิดถูกออกซิไดซ์ และกรดอมิโนจะเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดกับน้ำตาลรีดิวซ์ และยังสิ้นเปลืองพลังงานมาก เพราะต้องใช้พลังงานถึง 200 Btu/lb. เพื่อแยกน้ำออกในระบบมัลติเอฟเฟ็ค โดยเฉพาะน้ำมะม่วง เป็นน้ำผลไม้ที่มีความหนืดสูง การทำให้เข้มข้นโดยวิธีนี้จะไหม้ได้ง่าย การทำเข้มข้นโดยการแช่แข็งเป็นวิธีหนึ่งที่ได้ผลดีแต่มีค่าใช้จ่ายสูงมาก และทำให้เข้มข้นได้สูงสุดเพียงร้อยละ 50 การทำให้เข้มข้นและใสโดยวิธีการแยกด้วยเยื่อกรอง (membrane) น่าสนใจเพราะสามารถทำให้เข้มข้น และบริสุทธิ์ได้พร้อมๆกันโดยไม่ต้องใช้ความร้อน ใช้พลังงานไม่มาก นอกจากนี้ยังสามารถทำได้ที่อุณหภูมิห้อง เช่น วิธีไมโครฟิลเตรชั่น (microfiltration) วิธีรีเวอร์สออสโมซิส (reverse osmosis) และวิธีอุลตราฟิลเตรชั่น (ultrafiltration, UF) เป็นต้น

เนื้อมะม่วงสุกประกอบด้วย น้ำ น้ำตาล สตาร์ช เซลลูโลส และที่สำคัญคือสารเปกติก (pectic) จึงทำให้มีความหนืดสูง กรองยาก ดังนั้นในการสกัดน้ำมะม่วงให้ได้ผลผลิตสูง ควรลดความหนืดลงโดยการย่อยสลายสารคาร์โบไฮเดรตให้มีขนาดเล็กลง ซึ่งการย่อยสลายดังกล่าวทำได้หลายวิธี เช่น การใช้เอ็นไซม์ อาจเป็นชนิดเดียว หรือการใช้เอ็นไซม์ 2 ชนิด เช่น เปกติเนส ร่วมกับเซลลูเลส จะช่วยเพิ่มปริมาณผลผลิตของน้ำผลไม้ให้สูงขึ้น หรือการฉายรังสีที่

มีพลังงานสูง เช่นรังสีแกมมา จะทำให้เนื้อสัมผัสนิ่มขึ้นเพราะสารเปกติกที่ไม่ละลายน้ำเปลี่ยนเป็นสารที่ละลายน้ำได้ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลการสกัดน้ำมะม่วง ระหว่างการใช้เอ็นไซม์ Pectinex™Ultra SP-L และ Celluclast 1.5 L กับการฉายรังสีแกมมา ศึกษาสมบัติทางกายภาพ และองค์ประกอบเคมีของมะม่วง ก่อนและหลังจากผ่านวิธี MF และ RO ศึกษาวิธีการผลิตน้ำมะม่วงชนิดใสและเข้มข้น ด้วยวิธี MF และวิธี RO

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

1. อุปกรณ์

1.1 ผลมะม่วงน้ำดอกไม้แก่แต่ยังไม่สุก

1.2 ถ่านแก๊สในการบ่มผลไม้

1.3 เครื่อง gamma cell 220 และ gamma beam 650 สำหรับการฉายรังสี

1.4 เอ็นไซม์ Pectinex™ Ultra SP-L และ Celluclast 1.5 L

1.5 เครื่องแยกกาก (pulper)

1.6 อุปกรณ์ของเครื่อง MF และอุปกรณ์ของเครื่อง RO

2. วิธีการ

2.1 ศึกษาสมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบเคมีบางประการของมะม่วงดิบและมะม่วงสุก

นำมะม่วงดิบแก่มาตรวจสีผิวและสีเนื้อ วัดความถ่วงจำเพาะ ปริมาณกรด ของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมด และปริมาณความชื้น ส่วนผลสุกแล้ว วิเคราะห์ลักษณะ เช่นเดียวกับมะม่วงดิบ ยกเว้นค่าความถ่วงจำเพาะ

2.2 ศึกษาสมบัติทางกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมีบางประการของมะม่วงจากการฉายรังสีแกมมาทั้งผลและเนื้อมะม่วง

การฉายรังสีมะม่วงทั้งผลและเนื้อมะม่วง นำผลมะม่วงสุกมาฉายรังสีด้วยเครื่อง gamma beam 650 ที่ระดับ 0 2 4 6 8 และ 10 kGy หลังจากนั้นนำเนื้อมะม่วงมาบดละเอียด วัดปริมาณน้ำที่กรองได้ ความหนืดของเนื้อมะม่วง ความใสของน้ำมะม่วง ตรวจสอบกลิ่น สีของน้ำมะม่วง ส่วนเนื้อมะม่วงสุกก็นำมาฉายรังสีด้วยเครื่อง gamma cell 220 ระดับ 0 2 4 และ 6 kGy วิเคราะห์ลักษณะต่างๆ เช่นเดียวกับผลมะม่วง

เปรียบเทียบสารระเหยของเนื้อมะม่วงจากการฉายรังสีกับเนื้อมะม่วงผ่านความร้อน โดยนำเนื้อมะม่วงมาฉายรังสีระดับ 6 และ 8 kGy ส่วนมะม่วงที่ผ่านความร้อนนำมาต้มให้ได้อุณหภูมิ 90°ซ. แล้วนำเนื้อมะม่วงที่ฉายรังสีแล้ว กับเนื้อมะม่วงที่ผ่านความร้อน มาสกัดสารระเหยด้วยเครื่อง J&W simultaneous steam distillation extraction apparatus วิธี SDE แล้วแยกสารระเหยด้วยเครื่อง Gas Chromatography, GC เปรียบเทียบชนิดและปริมาณสารระเหยด้วยภาพโครมาโตแกรม และพื้นที่พีค

2.3 ศึกษาสมบัติทางกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมีบางประการของเนื้อมะม่วงจากการย่อยด้วยเอ็นไซม์

ศึกษาสภาวะเหมาะสมของการย่อยเนื้อมะม่วงสุกจากเอ็นไซม์ Pectinex™Ultra SP-L และ Celluclast 1.5 L โดยหาความเข้มข้นเบื้องต้นที่เหมาะสม โดยแปรระดับความเข้มข้น (Pectinex™ Ultra SP-L ร้อยละ 0.01 0.05 0.10 0.15 0.20 0.30 และ 0.40 ส่วน Celluclast 1.5 L ร้อยละ 0.005 0.01 0.05 0.1 0.2 0.3 และ 0.4 โดยน้ำหนักของเนื้อมะม่วง) ความเข้มข้นและอุณหภูมิที่เหมาะสม (เลือกระดับความเข้มข้น 3 ระดับจากความเข้มข้นเบื้องต้น และอุณหภูมิ 3 ระดับ โดยจัดการทดลองแบบแฟคตอเรียล และวิเคราะห์พื้นที่ผิวตอบสนอง) เวลาที่เหมาะสม (Pectinex™Ultra SP-L แปรระดับเวลา 75 90 105 120 150 180 และ 240 นาที ส่วน Celluclast 1.5 L ใช้ 30 45 60 75 90 120 และ 150 นาที) และหาขั้นตอนการใส่เอ็นไซม์ (3 แบบ แบบที่ 1 ใส่เอ็นไซม์ทั้งสองชนิดรวมกัน (ใช้อุณหภูมิเฉลี่ย แต่เวลาเลือกจากค่าที่มาก) แบบที่ 2 ใส่ PectinexTMUltra SP-L ก่อน และแบบที่ 3 ใส่ Celluclast 1.5 L ก่อน ทำการย่อยตามอุณหภูมิและเวลาที่เลือกได้ของแต่ละเอ็นไซม์) วิเคราะห์ลักษณะต่างๆ เช่นเดียวกับข้อ 2.2

2.4 น้ำมะม่วงเข้มข้นใส

นำผลมะม่วงสุกมาบ่มจนสุก แล้วนำเข้าเครื่องแยกกาก โดยไม่ต้องปอกเปลือกเพราะเครื่องนี้สามารถรีดเฉพาะเนื้อออกมา ให้ความร้อนเนื้อมะม่วงจนได้อุณหภูมิ 90°ซ. (อรรถพลและเหมือนหมาย, 2539) ทำให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้อง เก็บเนื้อมะม่วงใส่ถุงพลาสติก PE แล้วนำไปแช่แข็ง (อุณหภูมิ -10 ถึง-18°ซ.) มะม่วงชุดนี้จะนำไปเตรียมน้ำมะม่วง 2 ครั้ง คือ นำเนื้อมะม่วงมาย่อยด้วยเอนไซม์หรือฉายรังสี ตามข้อสรุป 2.2 และ 2.3 แล้วนำมาเข้าเครื่อง MF เพื่อแยกน้ำมะม่วงใส นำส่วนที่ผ่านเยื่อกรอง MF มาทำให้เข้มข้น โดยการแยกน้ำออกด้วยวิธี RO เก็บตัวอย่างเนื้อมะม่วงสด (ผ่านเครื่องแยกกาก) เนื้อมะม่วงหลังจากผ่านความร้อน 90°ซ. เนื้อมะม่วงหลังจากการย่อยด้วยเอ็นไซม์ทั้ง 2 ครั้ง MF-permeate ทั้ง 2 ครั้ง MF-retentate ทั้ง 2 ครั้ง และRO-retentate ไว้วิเคราะห์ปริมาณกรด (ซิตริก) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมด ค่า pH น้ำตาลทั้งหมด น้ำตาลรีดิวซ์ กรดยูโรนิก ค่า AIS เบต้าแคโรทีน ค่าสี และสารระเหย

ผลและการวิจารณ์

1. สมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบเคมีบางประการของมะม่วงดิบและมะม่วงสุก

มะม่วงสุกหลังจากบ่ม 4 - 5 วัน ผลมะม่วงดิบแต่ละชุด ค่าความถ่วงจำเพาะมากกว่า 1 (1.08 - 1.19) แสดงว่าเป็นผลแก่ (อรรณพ, 2532) และแต่ละชุดมีค่าต่างกันเล็กน้อย สำหรับปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (TSS) ปริมาณกรด (TA) และโดยเฉพาะอัตราส่วนของปริมาณของแข็งที่

ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรด (TSS/TA ratio) ใช้เป็นดัชนีความแก่ที่ดี เพราะเห็นได้ชัดเจน ค่าเหล่านี้ในแต่ละชุดมีความแตกต่างค่อนข้างมาก อาทิ TSS/TA ratio (1.17/1 - 1.47/1) แต่โดยทั่วไปมีค่าต่ำ แสดงว่ามะม่วงเหล่านี้มีส่วนที่ไม่ละลายน้ำอยู่มาก เช่น แป้ง และมีกรดเป็นสารละลายน้ำได้อยู่สูง สำหรับสีผิวมีสีเขียวอ่อนและสีเนื้อเป็นสีขาว ทุกชุดคล้ายกัน สำหรับผลมะม่วงสุกแต่ละชุดมีลักษณะสีผิวเหลืองอ่อนประมาณร้อยละ 75 - 80 ของพื้นที่ผิวทั้งหมด สีเนื้อเป็นสีเหลือง ถึงเหลืองส้มคล้ายกัน ส่วน TSS TA และโดยเฉพาะ TSS/TA ratio เป็นดัชนีที่ดี ชี้ให้เห็นถึงคุณภาพการยอมรับ (ธีราพร, 2536) ซึ่งมีค่าแตกต่างจากมะม่วงดิบอย่างชัดเจน และแต่ละชุดมีความแตกต่างค่อนข้างมาก อาทิ TSS/TA ratio มีค่าตั้งแต่ 20.77/1 - 35.83/1 ซึ่งมีค่ามากกว่ามะม่วงดิบมาก (1.17/1 - 1.47/1) แสดงว่าปริมาณแป้งลดลงเพราะถูกไฮโดรไลซ์เป็นน้ำตาล (Vasquez - Salinas and Lakshimina-rayana, 1985) กรดก็ลดลงเพราะกรดอินทรีย์บางส่วนเปลี่ยนเป็นน้ำตาลซึ่งละลายน้ำได้ ทำให้ความเปรี้ยวลดลง มะม่วงสุกจึงมีรสหวาน

2. สมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีบางประการของมะม่วงจากการฉายรังสีแกมมาทั้งผลและเนื้อมะม่วง

การฉายรังสีมะม่วงทั้งผลและเนื้อมะม่วงในแต่ละระดับให้ปริมาณน้ำมะม่วงที่กรองได้และค่าความหนืดแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ แต่ปริมาณน้ำมะม่วงมีแนวโน้มสูงขึ้นตามระดับรังสีที่เพิ่มขึ้น ส่วนสีและกลิ่นของน้ำมะม่วงที่กรองได้เป็นสีเหลืองปนน้ำตาลเป็นบางส่วน และเป็นกลิ่นมะม่วงที่ไม่สด แสดงให้เห็นว่าการฉายรังสีไม่สามารถยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้ทั้งหมด สำหรับความใสไม่อาจวัดได้เพราะน้ำที่กรองได้มีปริมาณน้อยและขุ่นมาก ส่วนผลการเปรียบเทียบสารระเหยของเนื้อมะม่วงที่ผ่านความร้อน และการฉายรังสีแสดงเป็นโครมาโตแกรมจาก GC ซึ่งมีชนิดของพีคใกล้เคียงกัน แต่ปริมาณค่อนข้างต่างกันเห็นได้ชัดระหว่างการฉายรังสี และที่ผ่านความร้อน

3. สมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีบางประการของเนื้อมะม่วงจากการใช้เอ็นไซม์

ความเข้มข้นเบื้องต้นของเอ็นไซม์Pectinex™ Ultra SP-L ที่เลือก คือร้อยละ 0.05 (ได้ปริมาณน้ำมะม่วง ความใส ความหนืดที่ลดลงร้อยละ 66.18 65.30 และ 42.32 ตามลำดับ) ส่วนความอุณหภูมิและความเข้มข้น ที่เหมาะสมของเอ็นไซม์นี้ คือ 45°ซ. และร้อยละ 0.095 ตามลำดับ (น้ำมะม่วงร้อยละ 71.20 ความหนืดที่ลดลงร้อยละ 68 และความใสร้อยละ 40.55) เวลาที่เหมาะสม คือ 105 นาที (น้ำมะม่วงร้อยละ 73.55 ความหนืดที่ลดลงร้อยละ 69.60 และความใสร้อยละ 69.40) ส่วนความเข้มข้นเบื้องต้นของ Celluclast 1.5 L ที่เลือกคือร้อยละ 0.20 (ปริมาณน้ำมะม่วงร้อยละ 7.02 และความหนืดลดลงร้อยละ 17.53 สำหรับความใสของน้ำมะม่วงจากการกรองไม่สามารถวัดได้

เพราะมีปริมาณน้อยมากและค่อนข้างขุ่น) ส่วนความเข้มข้นและอุณหภูมิที่เหมาะสมของเอ็นไซม์นี้ คือ ร้อยละ 0.20 และ 55°ซ. ตามลำดับ (น้ำมะม่วงร้อยละ 5.36 การลดความหนืดร้อยละ 53.66) เวลาที่เหมาะสม คือ 90 นาที (ปริมาณน้ำมะม่วงร้อยละ 6.76 ความหนืดที่ลดลงร้อยละ 66.18) ด้านขั้นตอนของการใส่เอ็นไซม์ทั้ง 2 ชนิด พบว่าการใส่เอ็นไซม์แต่ละแบบให้ผลทางกายภาพแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ดังนั้นจึงเลือกวิธีการใส่รวมกัน ในการนำไปวิจัยต่อไป

จะเห็นได้ว่าการใช้เอ็นไซม์ Celluclast 1.5 L อย่างเดียวสามารถลดความหนืดได้ไม่มาก ส่วนการใช้ทดลองไม่สามารถลดความหนืดได้ ขณะที่การใช้เอ็นไซม์ได้ผลดีมากกว่า ดังนั้นจึงเลือกวิธีการใช้เอ็นไซม์เพื่อทำน้ำมะม่วงใสต่อไป โดยไม่ต้องเปรียบเทียบผลทางสถิติ

4. น้ำมะม่วงใสเข้มข้น

จากการนำมะม่วงมาเข้าเครื่องแยกกาก ได้ผลิตผลร้อยละ 69.6 การให้ความร้อนถึงอุณหภูมิ 90°ซ. ได้ผลดีคือมะม่วงไม่มีสีน้ำตาลหลังจากการละลายน้ำแข็งแสดงว่าเอ็นไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดซ สูญเสียกิจกรรมไปมาก ต่อมาจึงนำมาย่อยด้วยเอ็นไซม์ Pectinex™ Ultra SP-L และเอ็นไซม์ Celluclast 1.5L ปรากฏว่าความหนืดลดลงร้อยละ 88.11 และ 89.04 ในครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ตามลำดับ ซึ่งค่าความหนืดที่ลดลงนั้นสูงกว่าผลจากการทดลองหาสภาวะเหมาะสมของเอ็นไซม์ อาจเป็นเพราะอุณหภูมิช่วงย่อยด้วยเอ็นไซม์สูงมากกว่า 50°ซ. คืออุณหภูมิการย่อย 47 - 52°ซ. และ 48 - 55°ซ. ในครั้งที่ 1 และ 2 ตามลำดับ เพราะการควบคุมอุณหภูมิต้องใช้เวลาในการปรับ เนื่องจากน้ำร้อนที่หล่อเลี้ยงถังผนัง 2 ชั้น ไม่ค่อยคงที่ ทำให้เอ็นไซม์ Pectinex™ Ultra SP-L ทำงานต่อไปได้ดีเพราะสภาวะที่เลือกใช้ไม่ใช่อุณหภูมิเหมาะสมสูงสุด สิ่งนี้ส่งผลให้อุณหภูมิเนื้อมะม่วงที่ผ่านวิธีการ MF สูงไปด้วย แม้จะตั้งอุณหภูมิไว้เพียง 45°ซ. และมีน้ำเย็นไหลผ่านท่อแลกเปลี่ยนความร้อนขณะที่เนื้อมะม่วงไหลผ่านท่อเยื่อกรอง การที่อุณหภูมิในการย่อยสูงและไม่ได้หยุดปฏิกิริยาการย่อยของเอ็นไซม์ทำให้เอ็นไซม์ทำงานได้ดีต่อไป เป็นผลให้อัตราการไหล (ค่าฟลักซ์) เพิ่มขึ้นในช่วงแรก และอาจเป็นผลจากการที่เอ็นไซม์มีความเข้มข้นขึ้นเพราะผ่านเยื่อกรองได้น้อย (Hart et al, 1989) อย่างไรก็ตามหลังจากนั้นค่าฟลักซ์ก็ลดลงอย่างต่อเนื่อง อาจจะเป็นเพราะว่าเกิดความเข้มข้นที่ต่างกันระหว่างผิวเยื่อกรองกับสารละลาย หรือเกิดการอุดตันบริเวณรูเยื่อกรอง แม้ว่าจะปรับความดันเพิ่มขึ้นแต่ก็ไม่มากนัก จากการนำเนื้อมะม่วงที่ย่อยด้วยเอ็นไซม์แล้วเข้าเครื่องแยกของวิธี MF ปริมาณ 26 และ 25 กิโลกรัม ในครั้งที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ให้ MF-permeate ร้อยละ 66.44 และ 63.82 ตามลำดับ ซึ่งน้ำใสสีเหลือง สำหรับส่วน MF-retentate มีความหนืดสูง สีเหลืองเข้ม ดัง Figure 1. การนำ MF-permeate เข้าเครื่อง RO ทั้ง 2 ครั้งมีสภาวะใกล้เคียงกัน วิธีการนี้จะยอมให้โมเลกุลน้ำเท่านั้นผ่านเยื่อกรองออกมา ได้

RO-retentate ร้อยละ 53.09 และ 52.98 ของน้ำหนัก MF-permeate ในครั้งที่ 1 และ 2 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าการทำให้เข้มข้นด้วยวิธี RO นี้ใช้ความดันสูงกว่าวิธีการ MF มากเพราะต้องเอาชนะแรงดันออสโมติก ส่วนอุณหภูมิของการปฏิบัติต่ำเพราะวัตถุดิบเริ่มต้นมีอุณหภูมิต่ำ และมีน้ำเย็นหล่อด้วยเช่นเดียวกับวิธีการ MF ส่วน RO-retentate ที่ได้มีลักษณะเข้มข้นขึ้น ดังจะเห็นได้จากค่า TSS ค่อยๆ สูงขึ้นขณะที่ค่าฟลักซ์ลดลงตามเวลาปฏิบัติการที่เพิ่มขึ้นแม้ในช่วงแรกก็ตาม เพราะอุณหภูมิน้ำมะม่วงต่ำ และการเพิ่มความดันในช่วงหลังก็ไม่ช่วยให้ฟลักซ์สูงขึ้น เหตุผลก็เป็นเช่นเดียวกับวิธี MF สำหรับ RO-permeate ไม่มีสี มีกลิ่นมะม่วงน้อยมาก มีค่า TSS เป็น 0 จึงไม่นำมาวิเคราะห์ผล สำหรับ MF-retentate ซึ่งมีเอ็นไซม์ตกค้างอยู่มาก สามารถนำเอ็นไซม์ส่วนนี้มาใช้ประโยชน์ได้ โดยการเติมเนื้อมะม่วงลงไปในปริมาณเท่ากับส่วน permeate ที่ถูกกำจัดออกไปก็จะได้น้ำมะม่วงใสที่ประหยัดเอ็นไซม์ (Hart et al, 1989)

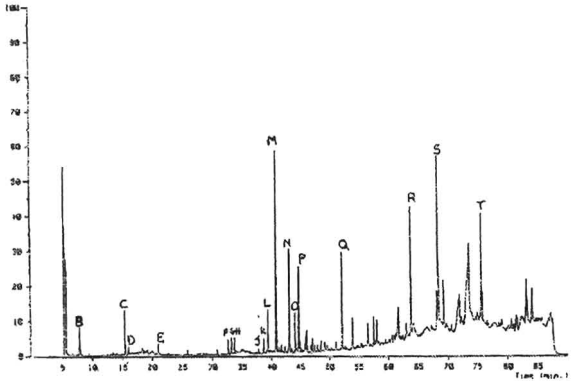

Figure 1. Chromatogram of fresh mango.

4.1 ผลทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์มะม่วง

ความชื้นของเนื้อมะม่วงสดทั้งสองครั้งมีค่าประมาณร้อยละ 75 - 78 และมีค่าลดลงเมื่อผ่านความร้อน 90°ซ. และหลังจากการย่อยด้วยเอ็นไซม์ ส่วน MF-permeate มีค่ามากกว่า MF-retentate อย่างเด่นชัดและเป็นส่วนที่มีค่าสูงกว่าทุกผลิตภัณฑ์ แสดงว่าน้ำผ่านเยื่อกรองได้มาก ส่วน RO-retentate มีปริมาณน้ำลดลงอย่างชัดเจน เพราะน้ำถูกแยกออกมามาก

ค่า TSS (ประมาณ 23 - 24°บริกซ์) และปริมาณกรด (ประมาณร้อยละ 0.92 - 0.98) ของเนื้อมะม่วงหลังจากผ่านความร้อน 90°ซ. มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากเนื้อมะม่วงสดเพราะน้ำระเหยออกไป และเพิ่มขึ้นมากหลังจากย่อยเอ็นไซม์ เพราะสารเปกติก และเส้นใยต่างๆ โดยเฉพาะเซลลูโลสสลายตัว ได้ส่วนที่ละลายน้ำปริมาณมากขึ้น กรดผ่านเยื่อกรองได้น้อย ขณะที่ TSS ผ่านเยื่อกรองมากกว่า สำหรับค่า pH มีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่ากรด โดยเฉพาะเนื้อมะม่วงหลังจากย่อยเอ็นไซม์ MF-permeate และ MF-retentate สำหรับค่าต่างๆ ของ RO-retentate มากกว่า MF-permeate เพราะน้ำถูกแยกออกมา โดยเฉพาะค่า TSS สูงกว่าถึง 1.41 เท่า

ค่า AIS มีค่ามากกว่ากรดยูโรนิกมาก เมื่อได้รับความร้อนก็มีปริมาณลดลง หรือย่อยด้วยเอ็นไซม์แล้วก็มีปริมาณลดลงค่อนข้างมากจากเนื้อมะม่วงสด เพราะสารเปกติก และเส้นใยต่างๆ โดยเฉพาะเซลลูโลสเกิดการสลายตัว ส่วน

MF-permeate มีค่าเหล่านี้ต่ำมาก เพราะผ่านเยื่อกรองได้น้อย ทำให้ส่วน MF-retentate มีค่าเหล่านี้สูง ส่วน MF-permeate จึงเป็นน้ำมะม่วงใส แม้จะทิ้งไว้นานก็ไม่เกิดตะกอน

น้ำตาลทั้งหมดและน้ำตาลรีดิวซ์ ให้ค่าสอดคล้องกัน และมีค่ามากในทุกขั้นตอนด้วย ดังนั้นองค์ประกอบหลักที่ได้จากทุกขั้นตอนก็คือน้ำตาลนั่นเอง ค่าทั้งสองเพิ่มขึ้นเล็กน้อยหลังจากย่อยด้วยเอ็นไซม์ และเพิ่มมากในส่วน MF-permeate แสดงว่าโมเลกุลน้ำตาลผ่านเยื่อกรองได้มาก ค่าเหล่านี้สอดคล้องกับค่า TSS คือมีค่ามากตามกัน ซึ่งอาจจะกล่าวได้ว่าองค์ประกอบหลักของ TSS คือน้ำตาลนั่นเอง

สารเบต้าแคโรทีน ของ MF-permeate และ RO-retentate มีค่าน้อยมากจนไม่สามารถวิเคราะห์ได้ แสดงว่าเบต้าแคโรทีนผ่านเยื่อกรองได้น้อย อาจเป็นเพราะสารนี้ไม่ละลายในน้ำแต่กระจายตัวได้เท่านั้น และเป็นสารโมเลกุลใหญ่จึงไม่สามารถผ่านเยื่อกรองได้ ส่งผลให้ MF-retentate มีค่าสูงมาก (โดยเฉลี่ย 150 ไมโครกรัม/กรัม) เกือบเท่าเนื้อมะม่วงสด (153.59 ไมโครกรัม/กรัม)

ค่าสีและความใส ในแต่ละขั้นตอนมีผลต่อความใสอย่างชัดเจนแต่ค่าสีจะใกล้เคียงกันและวัดได้เฉพาะส่วนที่มีเนื้อ แต่น้ำใส (MF-permeate และ RO-retentate) ไม่อาจใช้เครื่อง Chroma meter วัดได้ อย่างไรก็ตามสามารถวัดความใสได้และการตรวจพินิจด้วยสายตาจะเห็นเป็นสีเหลืองสดใส สำหรับความใสของ MF-permeate ใสมากคือแสงสามารถผ่านได้เกือบร้อยละ 100 ส่วน RO-retentate ใสน้อยลงมา เพราะเข้มข้นกว่าและสีเหลืองเข้มกว่าด้วย

สำหรับสารระเหย แยกโดยวิธี SDE แยกเป็นสารเดี่ยวโดย GC บ่งชี้สารโดย GC และ

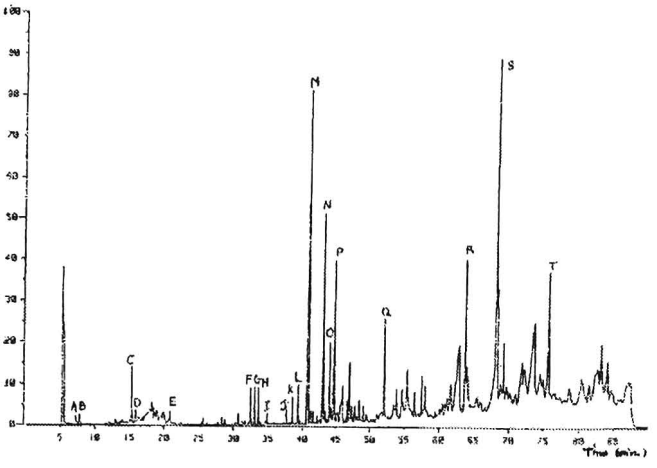

Figure 2. Chromatogram of 90°C. passed mango.

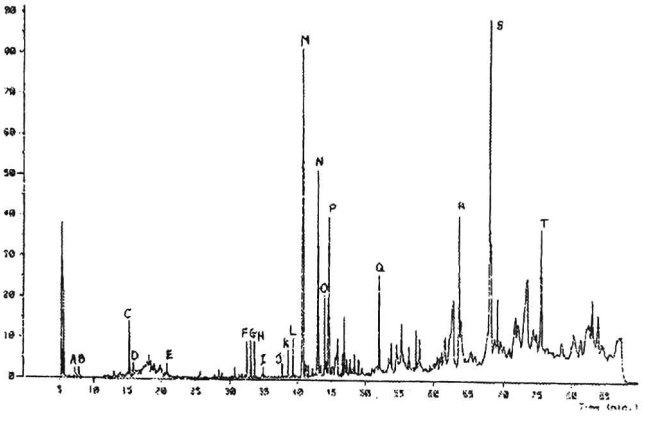

Figure 3. Chromatogram of enzyme liquefaction mango.

GC-MS โดยแสดงผลเป็นโครมาโตแกรมจาก GC-MS ดัง Figure 2. ถึง 6. ซึ่งสามารถแยก และทำนายชื่อพีคได้โดยการเทียบแมสสเปกตรัมของตัวอย่างกับสารในศูนย์ข้อมูล งานวิจัยนี้เลือกพีคที่น่าสนใจเพียง 20 พีคมาบ่งชี้ พีคในเนื้อมะม่วงสด เนื้อมะม่วงผ่านความร้อน 90°ซ. เนื้อมะม่วงหลังจากย่อยด้วยเอ็นไซม์และ MF-retentate มีชนิดและปริมาณใกล้เคียงกันที่พบปริมาณมากคือ M N และ P โดยเฉพาะพีค M พบมากที่สุดใน MF-retentate พีคใน MF-permeate และ RO-retentate มีชนิดใกล้เคียงกัน พีคบางชนิดที่พบในเนื้อมะม่วงสด เนื้อมะม่วงผ่านความร้อน 90°ซ. และเนื้อมะม่วงหลังจากย่อยเอ็นไซม์จะไม่พบในสองส่วนนี้หรือพบในปริมาณน้อย เช่นพีค M N และ P ทำให้เห็นความแตกต่างของโครมาโตแกรมอย่างเด่นชัด และอาจจะเป็นผลให้กลิ่นใน MF-permeate น้อยกว่า RO-retentate ซึ่งสอดคล้องกับสารระเหยของมะม่วงพันธุ์สมิท, Smith (Olle et al, 1997) คือ ส่วน MF-retentate มีสารระเหยอยู่มากกว่า MF-permeate และให้กลิ่นสด อย่างไรก็ตาม ยังคงมีหลายพีคที่ผ่านเยื่อกรองได้ค่อนข้างดี เช่น A B L O Q และ R ในด้านปริมาณโดยทั่วไป

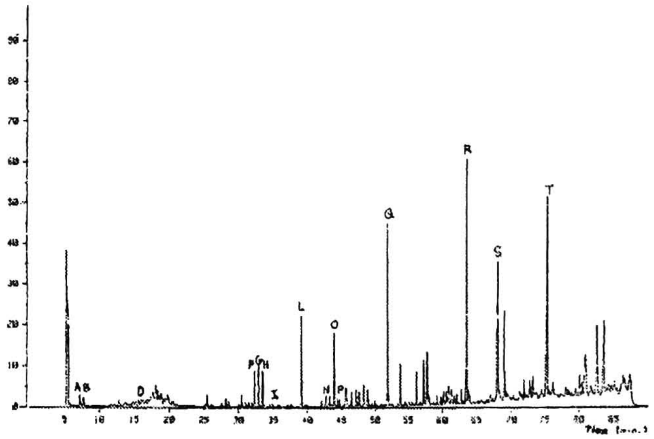

Figure 4. Chromatogram of MF-permeate.

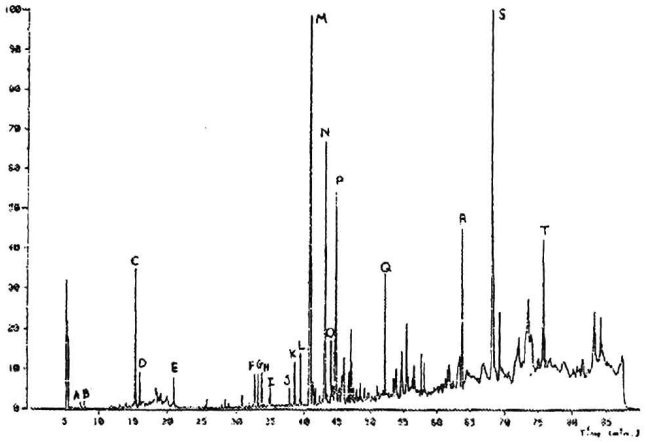

Figure 5. Chromatogram of MF-retentate.

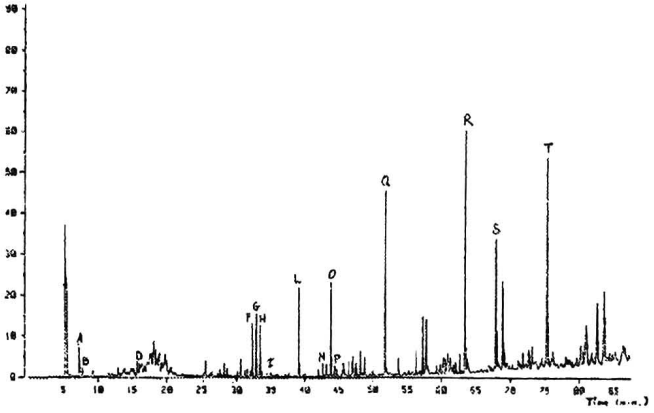

Figure 6. Chromatogram of Ro-retentate.

พีคของ RO-retentate จะมีปริมาณมากกว่าพีคของ MF-permeate เพราะเข้มข้นกว่า

พีค M เป็นพีคที่น่าสนใจมาก เมื่อดูค่าเอสไอซึ่งแสดงความใกล้เคียง (Series index, SI) มีความเป็นไปได้มาก ว่าจะเป็นเบต้าแคริโอฟีลีน และเมื่อพิสูจน์กับสารมาตรฐานแล้วปรากฏว่ามีเวลารีเทนชั่นตรงกัน ดังนั้นสารประกอบของพีคนี้ คือ เบต้าแคริโอฟีลีน ส่วนพีคอื่นๆ ที่มีค่า SI สูง ก็น่าสนใจ (ไม่ได้เทียบกับสารมาตรฐาน) เช่น พีค N เพราะมีปริมาณค่อนข้างมาก และพบในงานวิจัยอื่นด้วย ซึ่งอาจจะเป็นอัลฟาฮูมูลีนได้ พีค B มีจุดเดือด และน้ำหนักโมเลกุลต่ำ อาจจะเป็น cis-3-Hexenol ได้ และพีค Q อาจระบุเป็น n-Hexadecane ได้ เป็นต้น แต่บางพีคมีค่า SI ต่ำไม่สามารถเทียบได้

บทสรุป

การฉายรังสีแกมมามะม่วงทั้งผล และเนื้อมะม่วงที่ระดับทดลอง ให้ค่าความหนืดของเนื้อมะม่วง ปริมาณน้ำที่กรองได้ หรือแม้กระทั่ง สี กลิ่นและความใสด้อยกว่าการใช้เอ็นไซม์อย่างชัดเจน

การผลิตน้ำมะม่วงเข้มข้นใสโดยวิธีการแยกด้วยเยื่อกรอง MF และ RO ด้วยเครื่องมือขนาดกึ่งโรงงาน ต้องย่อยสลายเนื้อมะม่วงด้วยเอ็นไซม์ Pectinex™ Utra SP-L และ Celluclast 1.5 L หลังจากนั้นนำมาแยกน้ำมะม่วงออกด้วยวิธี MF นำส่วนน้ำมะม่วงที่ผ่านเยื่อกรอง MF มาทำให้เข้มข้นโดยวิธี RO ผลิตภัณฑ์ในแต่ละขั้นตอนให้สมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกันโดยเฉพาะในส่วน MF-permeate กับ MF-retentate คือ MF-permeate มีลักษณะเป็นของเหลว ใส สีเหลืองอ่อน กลิ่นมะม่วงไม่แรง คือมีชนิด และปริมาณสารระเหยน้อย องค์ประกอบหลักคือน้ำตาล ส่วน MF-retentate มีลักษณะหนืดข้น มีสีเหลืองเข้ม อุดมไปด้วยเบต้าแคโรทีน สารที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์ กรดซิตริก และส่วนใหญ่มีชนิดและปริมาณสารระเหยมากกว่า MF-permeate ลักษณะส่วนใหญ่ของ MF-retentate ใกล้เคียงกับมะม่วงก่อนเข้าวิธี MF ส่วน RO-retentate โดยรวมมีสมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีเช่นเดียวกับ MF-permeate แต่ปริมาณมากกว่า สำหรับองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อมะม่วงสด เนื้อมะม่วงหลังผ่านความร้อน 90°ซ. และเนื้อมะม่วงหลังจากย่อยเอ็นไซม์มีค่าแตกต่างกันบ้างโดยเฉพาะกรดซิตริก น้ำตาลรีดิวซ์ที่มีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ ในขณะที่ ปริมาณ AIS และกรดยูโรนิกมีค่าลดลง สารระเหยใกล้เคียงกันทั้งชนิดและปริมาณ และเช่นเดียวกับลักษณะทางกายภาพ

เอกสารอ้างอิง

ธีราพร ไชยวรรณะ. 2536. การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ - เคมี ระหว่างการสุกของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ หนังกลางวัน และแรด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. *มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.* กรุงเทพมหานคร.

อรรถพล นุ่มหอม และเหมือนหมาย อภิทนาพงษ์. 2539.การใช้ฉายรังสีร่วมกับการใช้ความร้อนในน้ำมะม่วงเข้มข้น. *ใน* การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนิวเคลียร์ครั้งที่ 6 สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ *กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.* กรุงเทพมหานคร. 761 หน้า.

อรรณพ วราอัศวปติ. 2532. เทคโนโลยีและสรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวของผลไม้ และผักสด ภาควิชาชีววิทยา *คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.* 376 หน้า.

Hart, M.R., Ng, K.C. and Hoxsoll, C.C. 1989. Microfiltration of enzyme treated apricot puree, pp. 355 - 367 *In* J. Jen. (ed.). Quality Factors of Fruits and Vegetables : Chemistry and Technology, ACS Symposium Series No. 405. *American Chemistry Society*, Washington DC.

Olle, D.A., Baron, A., Lozano, Y.E., Sznaper, C., Baumes, R., Bayonove, C. and Brillouet, J.M. 1997. Microfiltration and reverse osmosis affect recovery of mango puree flavor compounds. *J. Food Sci.* 62 (6) : 116 - 1119.

Vasquez-Salinas, C.V and Lakshiminarayana, S. 1985. Composition changes in mango fruit during ripening at different storage temperatures. *J. of Food Sci.* 50 : 1646 - 1648.