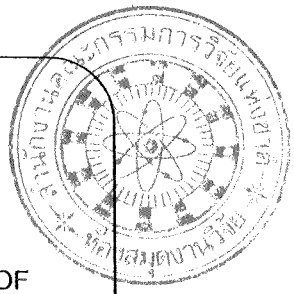


ชุดโครงการวิจัยย่อยที่ 5
ผลของการใช้เอนไซม์ต่อเสถียรภาพของอิมัลชัน จากไฮโดรไลเสตของมะม่วงน้ำดอกไม้ *Mangifera indica* L.

EFFECT OF ENZYMES ON EMULSION STABILIZING PROPERTIES OF NHAM DOK MAI MANGO *Mangifera indica* L. FRUIT HYDROLYSATE

โดย นางสาวเกวลี ครุณาสวัสดิ์ และ รศ.ดร. ปราณี อ่านเปรื่อง

ตอนที่ 4
หาลักษณะเฉพาะทางเคมีกายภาพของไฮโดรไลเสตมะม่วงที่มีสารประกอบเพกทินในระดับการย่อยสลายต่างๆ

1. บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาภาวะการผลิตไฮโดรไลเสตมะม่วงด้วยเอนไซม์ และหาลักษณะเฉพาะทางเคมีกายภาพของไฮโดรไลเสตมะม่วงที่มีสารประกอบเพกทินในระดับการย่อยสลายต่างๆ เปรียบเทียบกับไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ไม่เติมเอนไซม์ ผลการทดลองพบว่า ไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ใช้เป็นตัวแทนในการศึกษาลักษณะเฉพาะ คือไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ถูกย่อยด้วยเอนไซม์ Pectinex® Ultra SP-L 2.0% (v/w) เวลาการย่อยนาน 0, 0.5, 1.5 และ 4 ชั่วโมง ซึ่งที่ภาวะดังกล่าวมีระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน หรือปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์โดยประมาณ คือ 45.78, 59.84, 79.83 และ 94.80 mg glucose/ g fresh weight (fw) ตามลำดับ ส่วนลักษณะเฉพาะทางเคมีกายภาพของไฮโดรไลเสตมะม่วงพบว่า ไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน 79.83 และ 94.80 mg glucose/ g fw มีใยอาหารที่ละลายน้ำและฤทธิ์ต้านออกซิเดชันสูงกว่าภาวะอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่มีใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำน้อยกว่า และขนาดอนุภาคเล็กกว่าภาวะอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน 59.84 mg glucose/ g fw ขึ้นไป มีปริมาณเบต้าแคโรทีนสูงกว่าภาวะอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) สำหรับการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสพบว่า ไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน 79.83 mg glucose/ g fw ขึ้นไป จะมีสีเหลืองอมทอง มีกลิ่นรสมะม่วงชัดเจน และมีเนื้อสัมผัสเรียบเนียนมากกว่าภาวะอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

2. บทนำ

มะม่วงน้ำดอกไม้เป็นผลไม้ที่อยู่ร่วมกับวัฒนธรรมการบริโภคของไทยมาแต่โบราณ ลักษณะทางกายภาพที่สำคัญ คือมีสีเหลืองทอง มีกลิ่นรสเป็นเอกลักษณ์ และมีรสหวาน ประกอบด้วยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญ คือสารกลุ่มแคโรทีนอยด์ และสารต้านอนุมูลอิสระต่างๆ ส่วนใยอาหารที่พบในมะม่วงแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือใยอาหารที่ละลายน้ำ ได้แก่ สารประกอบเพกทิน และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ อีกทั้งมะม่วงน้ำดอกไม้ยังประกอบด้วยวิตามิน เช่น วิตามินเอ และวิตามินซี (Gil, Aguayo และ Kader, 2006; González-Aguilar และคณะ, 2008) นอกจากนี้ลักษณะการบริโภคมะม่วงน้ำดอกไม้ยังแตกต่างจากมะม่วงสายพันธุ์อื่นๆ คือนิยมบริโภคร่วมกับข้าวเหนียวและน้ำกะทิ หรือนำไปแปรรูปร่วมกับน้ำนมเป็นไส้ขนมที่มีลักษณะเป็นครีมข้นซึ่งเมื่อรับประทานร่วมกันจะมีกลิ่นรสมะม่วงและมีเนื้อสัมผัสเนียนเป็นเนื้อเดียวกันคล้ายกับการบริโภคสังขยาและน้ำสลัดซึ่งเป็นอาหารระบบอิมัลชัน แต่ผลิตภัณฑ์อาหารระบบอิมัลชันจากมะม่วงไม่ได้รับความนิยมเท่าที่ควรเนื่องมาจากอิมัลชันที่ได้ไม่มีเสถียรภาพ คือเมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลานาน ของเหลวภายในอิมัลชันจะพยายามรวมตัวกันส่งผลให้อิมัลชันเกิดการแยกชั้น

ปัญหาดังกล่าวเกิดจากสารประกอบเพกทินในเนื้อเยื่อผักและผลไม้ส่วนใหญ่มีสายโมเลกุลยาวและมีขั้วน้อย ทำให้สารประกอบเพกทินไม่สามารถทำหน้าที่เป็นสาร อิมัลซิไฟเออร์ในระบบอิมัลชัน ซึ่งปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ไขได้โดยการใช้เอนไซม์เพกทิเนสย่อยสลายโมเลกุลของสารประกอบเพกทิน ทำให้สารประกอบเพกทินมีขนาดโมเลกุลสั้นลงและมีขั้วเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกิดสัดส่วนที่สมดุลระหว่างหมู่ที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) และหมู่ที่ชอบน้ำ (hydrophilic) ทำให้อิมัลชันมีเสถียรภาพเพิ่มขึ้น นอกจากนี้เอนไซม์เพกทิเนสยังทำให้สารประกอบเพกทินยึดจับกับผนังเซลล์โดยรอบอย่างหลวม ส่งผลให้ผักและผลไม้มีเนื้อสัมผัสที่อ่อนลงเกิดการปลดปล่อยสารต่างๆ เช่น รงควัตถุ สารให้กลิ่นรส และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพภายในเนื้อเยื่อพืชออกมาได้มากกว่าการใช้วิธีบีบอัดทางกายภาพ ทำให้ผลิตภัณฑ์อิมัลชันจากมะม่วงที่ได้ยังคงองค์ประกอบเดิมของมะม่วงไว้ และเพิ่มองค์ประกอบใหม่ที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ เช่น อิมัลชันที่ได้จะมีเสถียรภาพเพิ่มขึ้น มีสีเหลืองจากเบต้าแคโรทีน ประกอบด้วย ใยอาหาร และสารให้กลิ่นรสธรรมชาติที่เป็นเอกลักษณ์ของมะม่วง

จากที่กล่าวมาข้างต้นส่งผลให้ผู้วิจัยสนใจศึกษาผลของการใช้เอนไซม์ต่อเสถียรภาพของอิมัลชันจากไฮโดรไลเสตของเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้ โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาภาวะการผลิตไฮโดรไลเสตมะม่วงด้วยเอนไซม์เพกทิเนสทางการค้า (Pectinex® Ultra SP-L) และหาลักษณะเฉพาะทางเคมีกายภาพของไฮโดรไลเสตมะม่วงที่มีสารประกอบเพกทินในระดับการย่อยสลายต่างๆ เปรียบเทียบกับไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ไม่เติมเอนไซม์

3. วิธีการทดลอง

3.1 ศึกษาภาวะการผลิตไฮโดรไลเสตมะม่วงด้วยเอนไซม์

นำเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้ตีปั่นที่เตรียมโดยเติมกรดแอสคอร์บิก 0.5% (w/w) ร่วมกับการลวกด้วยไอน้ำเป็นระยะเวลา 3 นาที เติมลงในถังปฏิกรณ์แบบกวนอุณหภูมิ 35°C เติมเอนไซม์เพกทิเนส 0.5-2.5% (v/w) และแปรเวลาการย่อย 0-6 ชั่วโมง กวนผสมตลอดเวลา และควบคุมความเร็วการกวนผสมที่ 100 รอบต่อนาที หยุดปฏิกิริยาของเอนไซม์ด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100±5°C นาน 5 นาที และทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็ว นำไฮโดรไลเสตที่ได้มาวัดระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน (Degree of hydrolysis; DH) ในเทอมของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (Nelson, 1944) เพื่อเลือกภาวะที่ไฮโดรไลเสตมะม่วงมีระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินครอบคลุมจากช่วงต่ำไปสูง เป็นตัวแทนในการศึกษาลักษณะเฉพาะทางเคมีกายภาพของไฮโดรไลเสตมะม่วง

3.2 ศึกษาลักษณะเฉพาะทางเคมีกายภาพของไฮโดรไลเสตมะม่วงที่มีสารประกอบเพกทินในระดับการย่อยสลายต่าง ๆ

นำไฮโดรไลเสตที่คัดเลือกได้จากข้อ 3.1 และไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ไม่เติมเอนไซม์มาศึกษาลักษณะเฉพาะทางเคมีกายภาพ ดังนี้

3.2.1 วัดค่าสีในระบบ CIE LAB ด้วยเครื่อง Chroma meter (L*=0 (Dark); L*=100 (Light), a*(-a*=Green; +a*=Red), b*(-b*=Blue; +b*= Yellow)) ใช้แหล่งกำเนิดแสง D_{65}

3.2.2 วัดค่า pH ด้วยเครื่อง pH meter

3.2.3 วิเคราะห์ปริมาณใยอาหาร

วิเคราะห์ปริมาณใยอาหารทั้งหมด (Total dietary fiber; TDF) ปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำ (Soluble dietary fiber; SDF) และปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (Insoluble dietary fiber; IDF) ตามวิธีของ A.O.A.C. (2006)

3.2.4 วิเคราะห์ปริมาณเบต้าแคโรทีนดัดแปลงวิธีของ Ranganna (1978)

3.2.5 วิเคราะห์ฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน (Antioxidant activities)

เตรียมสารสกัดจากเนื้อมะม่วง โดยดัดแปลงวิธีของ Masuda และคณะ (1999) และวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH ทำตามวิธีของ Maisuthisakul, Suttajit และ Pongsawatmanit (2007) และวิธี FRAP ดัดแปลงวิธีของ Benzie และ Strain (1996)

3.2.6 วัดขนาดอนุภาคด้วยเครื่อง Laser light-scattering analyzer

3.2.7 วัดความหนืดปรากฏด้วยเครื่อง Viscometer หัวเข็มเบอร์ 2 ความเร็ว 70 รอบต่อนาที

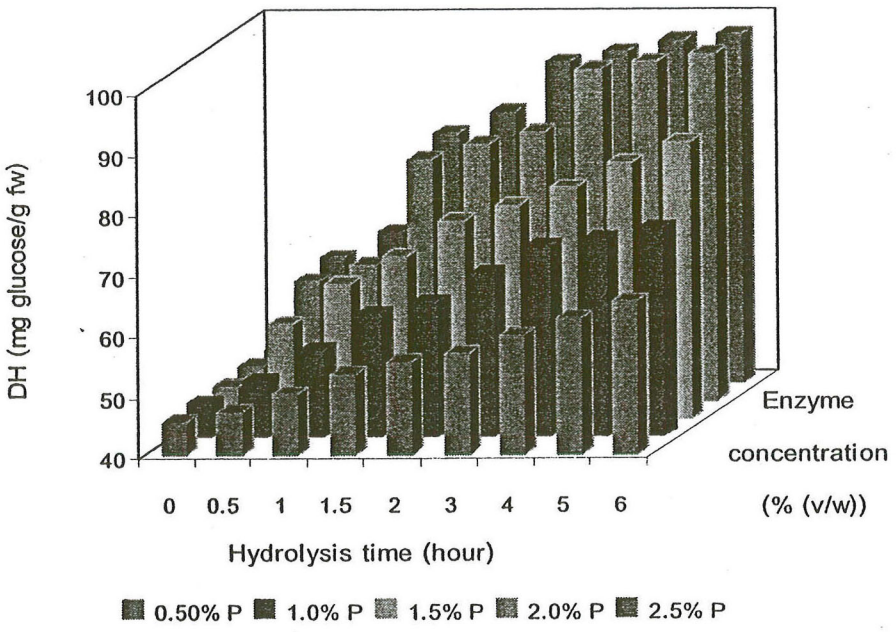
นำไฮโดรไลเสตที่ได้มาประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไฮโดรไลเสตมะม่วงด้วยวิธี QDA โดยใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน ประเมินลักษณะด้านสี กลิ่น รส และความเรียบเนียน

4. ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ภาวะการผลิตไฮโดรไลเสตมะม่วงด้วยเอนไซม์

การทำงานของเอนไซม์พิจารณาจากระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน (DH) ในไฮโดรไลเสตมะม่วงซึ่งประเมินจากปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์และเวลาการย่อยส่งผลให้ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินหรือปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในไฮโดรไลเสตมะม่วงเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 45-95 mg glucose/ g fresh weight (fw) (รูปที่ 5.1) ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินที่เพิ่มขึ้นเกิดจากเอนไซม์เพกทิเนส เซลลูเลส และเฮมิเซลลูเลสซึ่งเป็นองค์ประกอบของเอนไซม์ Pectinex® Ultra SP-L จะย่อยสลายพันธะไกลโคซิลของสารประกอบเพกทิน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส ตามลำดับ ที่บริเวณผนังเซลล์ของเนื้อเยื่อพืช (ปราณี อ่านเปรื่อง, 2547; Fanta และคณะ, 1992)

เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่า การใช้เอนไซม์เข้มข้น 2.0% (v/w) เวลาการย่อยนาน 0-6 ชั่วโมง เป็นภาวะที่ไฮโดรไลเสตมะม่วงมีระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน หรือปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ครอบคลุมจากช่วงต่ำไปสูงซึ่งระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินที่ได้มีค่าไม่แตกต่างกับภาวะที่ใช้เอนไซม์เข้มข้น 2.5% (v/w) อย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ดังนั้นจึงเลือกระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินในไฮโดรไลเสตมะม่วงด้วยเอนไซม์เข้มข้น 2.0% (v/w) โดยแบ่งเป็น 4 ระดับ คือ 45.78, 59.84, 79.83 และ 94.80 mg glucose/ g fw ซึ่งใช้เวลากาย่อย 0, 0.5, 1.5 และ 4.0 ชั่วโมง ตามลำดับ เป็นตัวแทนเพื่อศึกษาผลของระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินในเนื้อมะม่วงด้วยเอนไซม์ที่มีต่อลักษณะเฉพาะทางเคมีกายภาพของไฮโดรไลเสตมะม่วง และเปรียบเทียบลักษณะเฉพาะที่ได้กับไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ไม่เติมเอนไซม์ โดยกำหนดรหัสตัวอย่างเพื่อสะดวกในการอ้างถึงตลอดงานวิจัย ดังนี้ ไฮโดรไลเสตมะม่วงเริ่มต้นที่ไม่เติมเอนไซม์ และมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ 45.59 mg glucose/ g fw ให้รหัสตัวอย่างเป็น DP 46 ไฮโดรไลเสตมะม่วงที่เติมเอนไซม์ ณ จุดเริ่มต้นของการย่อยสลายสารประกอบเพกทินซึ่งมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับรหัสตัวอย่าง DP 46 ให้รหัสตัวอย่างเป็น DP 46E ส่วนไฮโดรไลเสตมะม่วงที่มีระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินด้วยเอนไซม์จนมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ 59.84, 79.83 และ 94.80 mg glucose/ g fw ให้รหัสตัวอย่างเป็น DP 60, DP 80 และ DP 95 ตามลำดับ



รูปที่ 5.1 ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน (DH) ในไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ Pectinex® Ultra SP-L (P) ที่ความเข้มข้นและเวลาการย่อยต่างๆ

4.2 ลักษณะเฉพาะทางเคมีกายภาพของไฮโดรไลเสตมะม่วงที่มีสารประกอบเพกทินในระดับการย่อยสลายต่าง ๆ

เมื่อนำไฮโดรไลเสตมะม่วงที่เติมเอนไซม์จนมีระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินในช่วง 45-95 mg glucose/ g fw (DP 46E-DP 95) จากข้อ 4.1 และไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ไม่เติมเอนไซม์ (DP 46) มาศึกษาลักษณะเฉพาะทางเคมีกายภาพ และประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสพบว่าไฮโดรไลเสตมะม่วงจะมีลักษณะเฉพาะทางเคมีกายภาพแตกต่างกันตามระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน ดังตารางที่ 5.1 ดังนี้

4.2.1 **ค่าสี**

เมื่อเพิ่มระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินส่งผลให้ไฮโดรไลเสตมะม่วงมีค่าความสว่าง (L*) และค่าสีเหลือง (+b*) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่ค่าสีเขียว (-a*) ค่อนข้างคงที่ ($p > 0.05$) การลดลงของค่าความสว่าง (L*) และค่าสีเหลือง (+b*) อาจเกิดจากสีของไฮโดรไลเสตมะม่วงเปลี่ยนตามสีของเอนไซม์เพกทิเนสซึ่งมีสีน้ำตาลเข้ม

4.2.2 **ค่า pH**

ค่า pH ของไฮโดรไลเสตมะม่วงที่เติมเอนไซม์ (DP 46E, DP 60, DP 80 และ DP 95) มีค่าไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) เพราะไฮโดรไลเสตทั้ง 4 ระดับ ถูกย่อยด้วยเอนไซม์เพกทิเนสที่

ความเข้มข้น 2.0% (v/w) แต่ค่า pH ของไฮโดรไลเสตมะม่วงที่เติมเอนไซม์มีค่าน้อยกว่าค่า pH ของไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ไม่เติมเอนไซม์ (DP 46) เนื่องจากเอนไซม์ Pectinex® Ultra SP-L มีสภาวะเป็นกรด

4.2.3 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด

การเพิ่มระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินตั้งแต่ DP 46 ถึง DP 95 ส่งผลให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

4.2.4 ปริมาณใยอาหาร

การเปลี่ยนแปลงปริมาณใยอาหารในไฮโดรไลเสตมะม่วงที่มีสารประกอบเพกทินในระดับการย่อยสลายต่างๆ แสดงดังตารางที่ 5.1 จากตารางพบว่า ไฮโดรไลเสตมะม่วงจะมีปริมาณใยอาหารทั้งหมด (TDF) คงที่ ในขณะที่ปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำ (SDF) จะเพิ่มขึ้น และปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (IDF) จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเพิ่มระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน เนื่องจากเอนไซม์เพกทินเอสเทอร์เรส (PE) และพอลิกาแลกทูโรเนส (PG) ซึ่งเป็นองค์ประกอบของเอนไซม์ Pectinex® Ultra SP-L จะย่อยสารประกอบเพกทินในไฮโดรไลเสต โดยเอนไซม์เพกทินเอสเทอร์เรส (PE) จะดึงหมู่เมทิลออกจากสารประกอบเพกทิน ส่วนเอนไซม์พอลิกาแลกทูโรเนส (PG) จะไฮโดรไลซ์พันธะไกลโคซิลระหว่างกรดกาแลกทูโรนิกของสารประกอบเพกทินทำให้ไฮโดรไลเสตมีขั้วเพิ่มมากขึ้น และสารประกอบเพกทินที่ไม่ละลายน้ำจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของสารประกอบเพกทินที่ละลายน้ำได้ ซึ่งสารประกอบเพกทินที่ละลายน้ำได้นี้เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อเสถียรภาพของอิมัลชัน (Akhtar และคณะ, 2002)

ผลการทดลองพบว่า ไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน 79.83 mg glucose/ g fw (DP 80) ขึ้นไป มีปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำได้สูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และมีปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำน้อยสุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

4.2.5 ปริมาณเบต้าแคโรทีน

เบต้าแคโรทีนเป็นรงควัตถุสำคัญในมะม่วง จัดอยู่ในกลุ่มแคโรทีนอยด์ ให้สีเหลืองส้ม และมีสมบัติเป็นสารแอนติออกซิแดนท์ (Godoy และ Rodriguez-Amaya, 1989) ผลการทดลองพบว่า ไฮโดรไลเสตมะม่วงจะมีปริมาณเบต้าแคโรทีนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินเพิ่มขึ้น โดยไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน 59.84 mg glucose/ g fw (DP 60) ขึ้นไป จะมีปริมาณเบต้าแคโรทีนสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Çinar (2005) ที่รายงานว่า เอนไซม์เพกทิเนส เซลลูเลส และเฮมิเซลลูเลสจะย่อยผนังเซลล์พืช ทำให้แคโรทีนอยด์ซึ่งเป็นรงควัตถุที่อยู่ในคลอโรพลาสต์ หรือโครโมพลาสต์ และของเหลวภายในเซลล์ถูกปลดปล่อยออกมา แคโรทีนอยด์ที่ได้จะอยู่ในรูปธรรมชาติ

กล่าวคือสามารถจับกับโปรตีน กรดไขมัน และคาร์โบไฮเดรตในส่วนของใยอาหาร ซึ่งแคโรทีนอยด์ที่อยู่ในรูปนี้จะช่วยป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

4.2.6 **ฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน**

สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันที่พบในมะม่วง ได้แก่ สารกลุ่มแคโรทีนอยด์ สารกลุ่มวิตามิน และสารประกอบฟีนอลิก ผลการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินจะทำให้ไฮโดรไลเสตมะม่วงมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน 79.83 mg glucose/ g fw (DP 80) ขึ้นไป มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดย ค่าฤทธิ์ต้านออกซิเดชันที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH และ FRAP ให้ผลไปในทางเดียวกัน เนื่องจากเอนไซม์เพกทิเนสจะย่อยองค์ประกอบต่างๆ บริเวณผนังเซลล์พืชที่ยึดจับสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีคุณสมบัติเป็นสารแอนติออกซิแดนท์ ทำให้สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพถูกปล่อยออกมา (Puupponen-Pimia และคณะ, 2008)

4.2.7 **ขนาดอนุภาค**

จากตารางที่ 5.1 พบว่า การเพิ่มระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินในไฮโดรไลเสตมะม่วงส่งผลให้ขนาดอนุภาคของไฮโดรไลเสตลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน 79.83 mg glucose/ g fw (DP 80) ขึ้นไป มีขนาดอนุภาคเล็กที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากเอนไซม์จะย่อยสารประกอบต่างๆ บริเวณผนังเซลล์พืช ได้แก่ สารประกอบเพกทิน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส ทำให้ได้พอลิเมอร์ของสารประกอบดังกล่าวสั้นลง ส่งผลให้อนุภาคมีขนาดเล็กลง (Zhang, Himmel และ Mielenz, 2006) นอกจากนี้ยังพบว่าไฮโดรไลเสตมะม่วงที่เติมเอนไซม์ ณ จุดเริ่มต้น (DP 46E) มีขนาดอนุภาคเล็กกว่าไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ไม่เติมเอนไซม์ (DP 46) อาจเนื่องมาจากเอนไซม์ซึ่งเป็นโปรตีนจะช่วยลดการรวมตัวของไขมันในไฮโดรไลเสตมะม่วง (Youssef และ Barbut, 2009) ขนาดอนุภาคของไฮโดรไลเสตที่ได้เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อเสถียรภาพของอิมัลชัน

4.2.8 **ความหนืด**

ผลการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินจะทำให้ความหนืดของไฮโดรไลเสตมะม่วงลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากเอนไซม์จะย่อยสารประกอบ เพกทินส่งผลให้ความสามารถในการอุ้มน้ำของสารประกอบเพกทินลดลง น้ำอิสระจึงถูกปลดปล่อยออกมา ทำให้ค่าความหนืดของไฮโดรไลเสตลดลง (Sreenath, Krishna และ Santhanam, 1995) นอกจากนี้ยังพบว่า ความหนืดของไฮโดรไลเสตจะเปลี่ยนแปลงตามขนาดอนุภาคของไฮโดรไลเสต ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ana และ Cunha (2009) ที่รายงานว่า ความหนืดของ jaboticaba pulp จะลดลงตามขนาดอนุภาค ความหนืดที่ได้เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อเสถียรภาพของอิมัลชันจากไฮโดรเลเสต

ตารางที่ 5.1 ลักษณะเฉพาะทางเคมีกายภาพของไฮโดรไลเสตมะม่วงที่มีสารประกอบเพกทินในระดับการย่อยสลายต่างๆ

Physicochemical properties	Sample codes				
	DP 46	DP 46E	DP 60	DP 80	DP 95
Degree of hydrolysis	45.59±0.37	45.78±0.78	59.84±0.37	79.83±1.16	94.80±0.44
Color L*	48.35^{a}±0.73	47.69^{ab}±0.41	46.73^{bc}±0.20	45.75^{c}±0.78	45.78^{c}±0.63
-a*	1.77^{ns}±0.32	1.79^{ns}±0.13	1.94^{ns}±0.04	2.03^{ns}±0.27	2.06^{ns}±0.27
+b*	32.51^{a}±0.48	30.32^{b}±0.18	30.43^{b}±0.48	29.88^{b}±0.10	29.01^{c}±0.02
pH	4.49^{a}±0.01	3.83^{b}±0.02	3.81^{b}±0.05	3.80^{b}±0.05	3.78^{b}±0.05
Total soluble solid (°Brix)	18.53^{c}±0.31	18.60^{bc}±0.00	18.73^{abc}±0.50	19.13^{ab}±0.12	19.20^{a}±0.00
Total dietary fiber (TDF) (g/ 100 g dw)	10.37^{ns}±0.17	10.43^{ns}±0.07	10.32^{ns}±0.04	10.34^{ns}±0.07	10.36^{ns}±0.07
Soluble dietary fiber (SDF)	2.40^{c}±0.08	2.46^{c}±0.04	3.80^{b}±0.04	4.38^{a}±0.03	4.44^{a}±0.04
Insoluble dietary fiber (IDF)	7.96^{a}±0.10	7.97^{a}±0.04	6.49^{b}±0.03	5.96^{c}±0.04	5.94^{c}±0.03
ß-Carotene (µg/ g dw)	40.72^{b}±0.52	40.90^{b}±0.47	48.59^{a}±0.68	48.92^{a}±0.37	48.97^{a}±0.24
Antioxidant activities					
DPPH assay (EC50, µg dw/ µg DPPH)	15.93^{a}±0.12	15.94^{a}±0.42	11.45^{b}±0.26	10.27^{c}±0.19	9.83^{c}±0.24
FRAP assay (µM TE/ g dw)	16.99^{c}±0.89	16.86^{c}±0.49	25.22^{b}±0.82	27.40^{a}±0.94	28.22^{a}±1.24
Particle size (µm)	32.69^{a}±1.86	13.41^{b}±2.93	11.52^{bc}±2.52	9.09^{cd}±1.53	6.68^{d}±0.74
Viscosity (mPa.s)	317.97^{a}±5.34	289.90^{b}±5.43	155.10^{c}±2.89	112.60^{d}±10.08	96.11^{e}±4.68

หมายเหตุ: ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าตัวเลขในแนวนอนที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความหมายแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$), ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

dw คือ dry weight basis, TE คือ trolox equivalent

4.2.9 คุณภาพทางประสาทสัมผัส

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี QDA ในด้านสี กลิ่น รส และความเรียบเนียนของไฮโดรไลเสตมะม่วงที่มีสารประกอบเพกทินในระดับการย่อยสลายต่างๆ โดยใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน 10 คน ให้ผลดังตารางที่ 5.2 จากตารางพบว่า ไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน 79.83 mg glucose/ g fw (DP 80) ขึ้นไป จะมีสีเหลือง และกลิ่นมะม่วงชัดเจนกว่าภาวะอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ผลที่ได้สอดคล้องกับ Sreenath, Krishna และ Santhanam (1995) ที่รายงานว่า เอนไซม์เพกทิเนสจะช่วยปรับปรุงคุณภาพของน้ำมะม่วง ทำให้น้ำมะม่วงมีลักษณะปรากฏด้านสี กลิ่น รสดีขึ้น ส่วนในด้านกลิ่นรสแปลกปลอมผู้ทดสอบจะรู้สึกถึงกลิ่นรสแปลกปลอมได้บ้างในไฮโดรไลเสตทุกระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน และไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน 79.83 mg glucose/ g fw (DP 80) ขึ้นไป มีเนื้อสัมผัสเรียบเนียนกว่าไฮโดรไลเสตที่ภาวะอื่นย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับผลของขนาดอนุภาค และค่าความหนืดที่พบว่า เมื่อเพิ่มระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินจะทำให้ ไฮโดรไลเสตมีขนาดอนุภาคเล็กลง และมีความหนืดลดลง นอกจากนี้ผู้ทดสอบจะรู้สึกถึงกลิ่นรสมะม่วงที่ตกต้างได้ปานกลางในไฮโดรไลเสตมะม่วงทุกระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน

ตารางที่ 5.2 คะแนนลักษณะทางประสาทสัมผัสของไฮโดรไลเสตมะม่วงที่มีสารประกอบเพกทินในระดับการย่อยสลายต่างๆ

Sensory attributes	Sample codes				
	DP 46	DP 46E	DP 60	DP 80	DP 95
Color	$6.31^{b}\pm1.15$	$6.37^{b}\pm1.03$	$6.95^{b}\pm0.86$	$8.53^{a}\pm0.86$	$8.56^{a}\pm0.73$
Flavor					
Mango flavor	$6.46^{c}\pm0.42$	$6.43^{c}\pm1.01$	$7.14^{b}\pm0.41$	$7.90^{a}\pm0.72$	$8.41^{a}\pm0.56$
Off- flavor	$7.81^{a}\pm0.26$	$6.38^{b}\pm0.46$	$6.52^{b}\pm0.31$	$6.41^{b}\pm0.23$	$6.63^{b}\pm0.28$
Smoothness	$2.85^{c}\pm0.62$	$2.98^{c}\pm0.34$	$4.49^{b}\pm0.48$	$7.21^{a}\pm0.68$	$7.74^{a}\pm0.74$
Aftertaste	$6.42^{a}\pm1.17$	$6.24^{ab}\pm1.16$	$5.94^{abc}\pm0.50$	$5.55^{bc}\pm0.53$	$5.30^{c}\pm0.55$

หมายเหตุ: ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าตัวเลขในแนวนอนที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

กำหนดให้ลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆ ของไฮโดรไลตมะม่วงมีคะแนนสูงสุด 10 คะแนน

5. สรุปผลการทดลอง

ภาวะการผลิตไฮโดรไลเสตมะม่วงด้วยเอนไซม์ที่ใช้เป็นตัวแทนในการศึกษาลักษณะเฉพาะของไฮโดรไลเสตมะม่วงคือ ไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ถูกย่อยด้วยเอนไซม์ Pectinex® Ultra SP-L 2.0% (v/w) เวลาการย่อยนาน 0, 0.5, 1.5 และ 4 ชั่วโมง ซึ่งที่ภาวะดังกล่าวมีระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน หรือปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์โดยประมาณ คือ 45.78, 59.84, 79.83 และ 94.80 mg glucose/g fresh weight (fw) ตามลำดับ เมื่อพิจารณาลักษณะเฉพาะของไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ภาวะดังกล่าวเปรียบเทียบกับไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ไม่เติมเอนไซม์พบว่า การเพิ่มระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินด้วยเอนไซม์จะช่วยเพิ่มปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำ ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันและปริมาณเบต้าแคโรทีน แต่จะลดปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ขนาดอนุภาคและความหนืดของไฮโดรไลเสต นอกจากนี้ยังทำให้ไฮโดรไลเสตมะม่วงมีสีเหลืองและกลิ่นรสมะม่วงชัดเจนขึ้น และมีเนื้อสัมผัสที่เรียบเนียนมากขึ้น

6. เอกสารอ้างอิง

ปราณี อ่านเปรื่อง. 2547. เอนไซม์ทางอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Akhtar, M., Dickinson, E., Mazoyer, J., and Langendorff, V. 2002. Emulsion stabilizing properties of depolymerized pectin. Food Hydrocolloids 16: 249-256.

Ana, C. K. S., and Cunha, R. L. 2009. Effect of particle size on rheological properties of jaboticaba pulp. Journal of Food Engineering 91: 566-570.

AOAC. 2006. Official Methods of Analysis of the AOAC International. Association of Official Analytical Chemists. Washington, D. C.

Benzie, I. F. F., and Strain, J. J. 1996. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "Antioxidant Power" the FRAP assay. Analytical Biochemistry 239: 70-76.

Çinar, I. 2005. Effect of cellulose and pectinase concentrations on the colour yield of enzyme extracted plant carotenoids. Process Biochemistry 40: 945-949.

Fanta, N., Quaas, A., Zulueta, P., and Pérez, L. M. 1992. Release of reducing sugars from *Citrus* seedlings, leaves and fruits: Effect of treatment with pectinase and cellulase from *Alternaria* and *Trichoderma*. Phytochemistry 31(10): 3359-3364.

Gil, M. I., Aguayo, E., and Kader, A. A. 2006. Quality changes and nutrient retention in fresh-cut versus whole fruits during storage. Journal of Agriculture and Food Chemistry 54: 4284-4296.

Godoy, H. T., and Rodriguez-Amaya, D. B. 1989. Carotenoid composition of commercial mangoes from brazil. Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie 22: 100-103.

González-Aguilar, G. A., Celis, J., Sotelo-Mundo, R. R., de la Rosa, L. A., Rodrigo-Garcia, J., and Alvarez-Parrilla, E. 2008. Physiological and biochemical changes of different fresh-cut mango cultivar stored at 5°C. International Journal of Food Science and Technology 43: 91-101.

Maisuthisakul, P., Suttajit, M., and Pongsawatmanit, R. 2007. Assessment of phenolic content and free radical-scavenging capacity of some Thai indigenous plants. Food Chemistry 100: 1409-1418.

Masuda, T., Yonemori, S., Oyama, Y., Takeda, Y., Tanaka, T., Andoh, T., Shinobara, A., and Nakata, M. 1999. Evaluation of the antioxidant activity of environmental plants: activity of the leaf extracts from seashore plants. Journal of Agricaultural and Food Chemistry 47: 1749-1754.

Nelson, N. 1944. A photometric adaptation of the Somogyi method for determination of glucose. Journal of Biological Chemistry 153: 375-380.

Puuppopen-Pimia, R., Nohynek, L., Ammann, S., Oksman-Caldentey, K. M., and Buchert, J. 2008. Enzyme-assisted processing increases antimicrobial and antioxidant activity of biberry. Journal of Agricultural and Food Chemistry 56: 681-688.

Ranganna, S. 1978. Manual of Analysis of Fruit and Vegetable Products. 2nd ed. New Delhi: McGraw Hill Publishing.

Sreenath, H. K., Krishna, K. R. S., and Santhanam, K. 1995. Enzymatic liquefaction of some varieties of mango pulp. Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie 28: 196-200Youssef, M. K., and Barbut, S. 2009. Effects of protein level and fat/oil on emulsion stability, texture, microstructure and color of meat batters. Meat Science 82(2): 228-233.

Youssef, M. K., and Barbut, S. 2009. Effects of protein level and fat/oil on emulsion stability, texture, microstructure and color of meat batters. Meat Science 82(2): 228-233.

Zhang, Y. H. P., Himmel, M. E., and Mielenz, J. R. 2006. Research review paper: Outlook for cellulose improvement: Screening and selection strategies. Biotechnology Advances 24: 452-481.