บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

1. การศึกษาผลของเอนไซม์เพคติเนสต่อการสกัดน้ำพลัม น้ำมะเขือเทศ น้ำบีท และน้ำแครอท โดยใช้เอนไซม์เพคติเนสทางการค้า (Pectinex Ultra SP-L) เมื่อเติมเอนไซม์เพคติเนสในระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.0, 0.2, 0.4 และ 0.6 (v/w) ลงในน้ำพลัม น้ำมะเขือเทศ น้ำบีท และน้ำแครอท แล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที ทำการยับยั้งปฏิกิริยาของเอนไซม์ในน้ำเดือด พบว่า การใช้เอนไซม์เพคติเนสสามารถเพิ่มปริมาณผลผลิตในน้ำพลัม น้ำมะเขือเทศ น้ำบีท และน้ำแครอทได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในด้านความหนืด พบว่า เอนไซม์เพคติเนสสามารถลดความหนืดของน้ำพลัม น้ำมะเขือเทศ และ น้ำบีทได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) แต่ไม่มีผลต่อความหนืดของน้ำแครอท

2. การศึกษาความเข้มข้นของเอนไซม์เพคติเนส และเวลาที่ใช้ในการบ่มที่เหมาะสมต่อการสกัดน้ำพลัม น้ำมะเขือเทศ น้ำบีท และน้ำแครอท โดยวางแผนการทดลองแบบ 2^2 Factorial experiment with 3 center points ปัจจัยที่ทำการศึกษาได้แก่ ความเข้มข้นของเอนไซม์เพคติเนสและเวลาที่ใช้ในการบ่ม จากการทดลองสามารถหาสมการความสัมพันธ์ (Multiple Regression) ระหว่างปริมาณผลผลิต / ความหนืดของน้ำผักและน้ำผลไม้แต่ละชนิดต่อความเข้มข้นของเอนไซม์เพคติเนสและเวลาที่ใช้ในการบ่มได้ ดังต่อไปนี้

น้ำพลัม	ปริมาณผลผลิต	$= 95.2633 - 0.28583\ A^2$
น้ำมะเขือเทศ	ปริมาณผลผลิต	$= 89.0329 + 0.47250\ A + 0.23250\ B$
น้ำบีท	ปริมาณผลผลิต	$= 84.8714 + 4.17250\ A - 1.71750\ B - 2.16750\ AB$
	ความหนืด	$= 0.97657 - 0.01100\ B - 0.00800\ AB$
น้ำแครอท	ความหนืด	$= 0.95400 - 0.01150\ A^2$

เมื่อ A คือ ความเข้มข้นของเอนไซม์เพคติเนส และ B คือ เวลาที่ใช้ในการบ่ม

จากสมการความสัมพันธ์ที่ได้ สามารถสรุปความเข้มข้นของเอนไซม์เพคติเนสและเวลาในการบ่มที่เหมาะสมสำหรับการสกัดน้ำผักและน้ำผลไม้แต่ละชนิดได้ ดังนี้

น้ำพลัม	เพคติเนสร้อยละ 0.2, 120 นาที
น้ำมะเขือเทศ	เพคติเนสร้อยละ 0.5, 180 นาที
น้ำบีท	เพคติเนสร้อยละ 0.5, 150 นาที
น้ำแครอท	เพคติเนสร้อยละ 0.1, 120 นาที

3. การศึกษาอัตราส่วนน้ำผักและน้ำผลไม้ที่เหมาะสมที่จะใช้ในสูตรการผลิต ซึ่งประกอบด้วย น้ำพลัม น้ำมะเขือเทศ น้ำบีท และน้ำแครอท โดยวางแผนการทดลองแบบ Mixture Design ที่มีการผันแปรปริมาณน้ำผักและน้ำผลไม้ทั้ง 4 ชนิด และกำหนดให้ส่วนผสมอื่น ได้แก่ น้ำตาลซูโครส เกลือ และกรดแอสคอร์บิคคงที่ พบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมของน้ำพลัม น้ำมะเขือเทศ น้ำบีท และน้ำแครอทขึ้นอยู่กับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ความเป็นกรด-ด่าง ค่าสี L ค่าสี b สีที่ปรากฏ กลิ่น ความใส รสหวาน และรสเปรี้ยว เมื่อนำอัตราส่วนที่เหมาะสมของทุกลักษณะที่กล่าวมา มาทำการเฉลี่ย ได้อัตราส่วนน้ำผักและผลไม้ที่เหมาะสมคือ

น้ำพลัม	ร้อยละ 35.15 ± 2.02
น้ำมะเขือเทศ	ร้อยละ 17.55 ± 1.63
น้ำบีท	ร้อยละ 12.40 ± 0.66
น้ำแครอท	ร้อยละ 34.95 ± 1.31

4. การศึกษาหาปริมาณส่วนผสมที่เหมาะสมที่จะใช้ในสูตรการผลิต โดยวางแผนการทดลองแบบ 2^3 Factorial experiment with 3 center points ที่ประกอบด้วย 3 ปัจจัย คือ น้ำตาลซูโครส เกลือ และกรดแอสคอร์บิค พบว่า ได้สมการที่มีนัยสำคัญ (Significant equation) 8 สมการ สมการถอดรหัสที่มีนัยสำคัญที่ได้จากการผันแปรปริมาณส่วนผสม มีดังนี้

ค่าสี $L = -40.72 + 11.96\ A - 0.336\ A^2 + 450.76\ B + 35.23\ C - 30.05\ AB$

ค่าสี $b = 183.24 + 10.33\ A - 2648.71\ B - 422.91\ C + 176.58\ AB + 25.81\ AC + 6621.77\ BC - 441.51\ ABC$

ความเป็นกรด-ด่าง = 2.899 + 0.036 A + 4.028 B + 2.140 C - 0.112 AC - 15.28 BC

ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด = 64.42 + 9.32 A - 0.291 A^2 + 32.92 B + 11.06 C

ปริมาณเกลือ = 0.0146 + 1.90 B

ปริมาณซูโครส = 2.5464 + 0.5731 A

รสหวาน = 1.2569 + 0.0243 A – 1.583 C+ 21.1111 BC

รสเปรี้ยว = 1.6981 – 0.1201 A + 0.0031 A^2 – 20.4111 BC + 8.1644 B + 1.1453 C

เมื่อ A คือ น้ำตาลซูโครส อยู่ในช่วงร้อยละ 12.03 - 17.97

B คือ เกลือ อยู่ในช่วงร้อยละ 0.06 - 0.09

C คือ กรดแอสคอร์บิค อยู่ในช่วงร้อยละ 0.34 - 0.46

จากการแทนค่าลงในสมการทางด้านประสาทสัมผัส สามารถสรุปปริมาณส่วนผสมที่เหมาะสมที่จะใช้ในสูตรการผลิตได้ คือ ปริมาณน้ำตาลซูโครส ร้อยละ 16.49 ± 2.10 เกลือ ร้อยละ 0.068 ± 0.011 และกรดแอสคอร์บิค ร้อยละ 0.37 ± 0.04 ทั้งนี้คิดเทียบกับปริมาณน้ำผักผสมผลไม้ทั้งหมด

5. การศึกษาผลของการกรองด้วยเมมเบรนต่อคุณภาพของน้ำผักผสมผลไม้ พบว่าการกรองน้ำผักผสมผลไม้โดยใช้เมมเบรน แบบ Microfiltration หรือ MF ด้วยเครื่องกรอง Sartocon II Plus เมมเบรนคือ Sartobran P ซึ่งเป็นเมมเบรนชนิดที่สามารถฆ่าเชื้อได้ ผลการทดลองพบว่า กระบวนการกรองด้วยเมมเบรนจะมีผลต่อคุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี และทางจุลชีววิทยาของน้ำผักผสมผลไม้ ผลทางกายภาพ คือ ผลิตภัณฑ์น้ำผักผสมผลไม้หลังจากผ่านการกรองด้วยเมมเบรนจะมีความหนืดและความใสเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) และมีค่าสี L, a, b เพิ่มขึ้นเล็กน้อย ผลทางเคมี พบว่า ผลิตภัณฑ์หลังผ่านการกรองด้วยเมมเบรนมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณกรดทั้งหมด ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ก่อนและหลังอินเวอร์ชัน รวมถึงปริมาณน้ำตาลซูโครสเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ส่วนปริมาณเกลือมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ผลิตภัณฑ์หลังผ่านกระบวนการ MF มีค่าความเป็นกรด-ด่างและปริมาณวิตามินซีลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ผลทางจุลชีววิทยา พบว่ากระบวนการ MF สามารถลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ลงได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

6. การศึกษาผลของกระบวนการผลิตน้ำผักผสมผลไม้ต่อคุณภาพของน้ำผักผสมผลไม้ โดยศึกษากระบวนการผลิตที่แตกต่างกันสองวิธี คือ กระบวนการกรองด้วยเมมเบรน (MF) และกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน ต่อคุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี จุลชีววิทยา และทางประสาทสัมผัส พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากกระบวนการกรองด้วยเมมเบรนจะมีค่าสี L และค่าสี a สูงกว่า แต่มีค่าสี b ความหนืด และความขุ่นต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) สำหรับคุณภาพทางด้านเคมี พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการกรองด้วยเมมเบรนมีค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณน้ำตาลซูโครส และปริมาณวิตามินซีสูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน แต่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณกรดทั้งหมด ปริมาณเกลือ รวมถึงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ก่อนและหลังอินเวอร์ชันต่ำกว่าน้ำผักผสมผลไม้ที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน สำหรับคุณภาพทางด้านจุลชีววิทยา พบว่า กระบวนการผลิตที่ต่างกันไม่มีผลต่อปริมาณเชื้อจุลินทรีย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) จากการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสด้วย Ideal ratio profile technique พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตโดยกระบวนการกรองด้วยเมมเบรนได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคมากกว่า ทั้งในลักษณะด้านสีที่ปรากฏ ความใส และการยอมรับรวม สำหรับลักษณะด้านกลิ่นและรสชาติ ผู้บริโภคไม่สามารถแยกความแตกต่างได้ ดังนั้นสรุปได้ว่า ผู้บริโภคให้การยอมรับผลิตภัณฑ์น้ำผักผสมผลไม้ที่ผลิตโดยกระบวนการกรองด้วยเมมเบรนมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ผลิตโดยกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน

ข้อเสนอแนะ

1. ในการเลือกวัตถุดิบ (พลัม) ควรเลือกวัตถุดิบที่มีระดับความสุกที่ใกล้เคียงกัน เพราะวัตถุดิบที่มีความสุกต่างกันจะมีผลต่อคุณภาพของน้ำพลัม เนื่องจากในระหว่างการสุก องค์ประกอบทางเคมีในผลไม้จะมีการเปลี่ยนแปลงไป เช่น มีปริมาณน้ำตาลซูโครสเพิ่มขึ้น และมีปริมาณกรดลดลง ดังนั้น ในการเลือกพลัม จึงควรเลือกให้มีความสุกใกล้เคียงกัน หากมีการเตรียมเนื้อพลัมตีป่น (pulp) หลายครั้ง ควรนำเนื้อพลัมตีป่นที่ได้มาผสมรวมกัน (blending) เพื่อให้มีคุณภาพใกล้เคียงกัน เมื่อนำไปทำการผลิตเป็นน้ำผักผสมผลไม้ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะได้มีคุณภาพที่ใกล้เคียงกัน

2. ในการผลิตน้ำผักผสมผลไม้แบบใส หลังจากเติมเอนไซม์เพคติเนสและนำน้ำผักและน้ำผลไม้ไปบ่มตามเวลาที่เหมาะสมแล้ว ต้องทำการกรองน้ำผักและน้ำผลไม้ ซึ่งขั้นตอนนี้มีความสำคัญมาก เพราะสามารถกำจัดอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ออกไปได้ หากมีการกรองที่ดี น้ำผักและน้ำผลไม้ที่ได้จะมีความใส และมีกลิ่นรสที่ใกล้เคียงกับธรรมชาติ ในการทดลอง ใช้การกรองแบบสุญญากาศด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ (suction pump) เครื่องกรองที่ใช้มีขนาดเล็ก (lab scale) จึงใช้เวลาในการกรองนาน โดยเฉพาะน้ำผักหรือน้ำผลไม้ที่มีความหนืดสูง เช่น น้ำพลัม และน้ำมะเขือเทศ ซึ่งอาจส่งผลต่อคุณภาพของน้ำผักและน้ำผลไม้ เช่น วิตามินซีในน้ำผักหรือน้ำผลไม้ถูกออกซิไดซ์ และยังเพิ่มโอกาสการปนเปื้อนจากเชื้อจุลินทรีย์ นอกจากนั้นการกรองน้ำแครอท น้ำมะเขือเทศ น้ำบีทด้วยกระดาษกรองเบอร์ 2 พบว่า ไม่สามารถแยกอนุภาคขนาดเล็กออกได้ ในการผลิตระดับอุตสาหกรรมจึงควรปรับปรุงกระบวนการกรองให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยอาจใช้ plate and frame filter press แทน ซึ่งเป็นการกรองน้ำผัก น้ำผลไม้ให้ได้ปริมาณมากขึ้น ใช้เวลาในการกรองสั้นลง และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตแบบต่อเนื่อง (continuous) โดยสามารถเลือกกระดาษกรองได้อีกด้วย

3. การทำ prefiltration น้ำผักผสมผลไม้โดยการกรองด้วยไส้กรองขนาด 20 μ ควรทำด้วยความรวดเร็ว และควร run process การกรองด้วย Sartobran P ต่อเนื่อง เพื่อป้องกันการปนเปื้อนจากเชื้อจุลินทรีย์

4. ในการกรองน้ำผักผสมผลไม้ด้วย Sartobran P โดยใช้เครื่องกรอง Sartocon II Plus ควรใช้การกรองระบบ cross-flow filtration เพราะสามารถ run process ต่อเนื่องจากการทำ prefiltration ทำให้เกิดการทำงานแบบต่อเนื่อง ซึ่งสามารถลดโอกาสการปนเปื้อนจากเชื้อจุลินทรีย์ การกรองด้วยระบบ cross-flow มีข้อดีกว่าระบบ dead-end คือ สามารถลดการเกิด concentration polarization และการเกิด fouling ได้ เนื่องจากการกรองแบบ cross-flow อนุภาคที่ไม่สามารถผ่านเมมเบรน จะถูก recirculate กลับไปยัง feed tank จึงทำให้การสะสมของอนุภาคบริเวณหน้าเมมเบรนมีไม่มากและให้ค่าของ flux โดยเฉลี่ยสูงกว่าการกรองแบบ dead-end

5. ควรมีการปรับปรุงวิธีการล้างทำความสะอาดเมมเบรนหลังการใช้งาน จากการทดลองพบว่าน้ำ RO ไม่เหมาะสมต่อการล้างเมมเบรนชนิดนี้ (Sartobran P) พิจารณาจาก flux ของน้ำที่ได้หลังการล้างเมมเบรนซึ่งมีค่าต่ำมากเมื่อเทียบกับ flux น้ำตอนเริ่มต้นหรือก่อนใช้งาน ดังนั้นควรปรับปรุงวิธีการทำความสะอาดเมมเบรน เช่น ใช้วิธี back wash (สำหรับ Sartocon II Plus ไม่สามารถใช้วิธีนี้ได้) หรืออาจเลือกใช้สารทำความสะอาด (cleaning agent) ที่เหมาะสมในการล้างเมมเบรน อย่างไรก็ตาม อาจส่งผลให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น

6. การผลิตน้ำผักผสมผลไม้แบบใสโดยใช้กระบวนการ MF ในระดับอุตสาหกรรมควรเลือกเครื่องกรองที่เป็นแบบ cross-flow configuration เพราะเหมาะกับการผลิตในเชิงอุตสาหกรรมมากกว่า โดยสามารถทำการผลิตแบบต่อเนื่องได้และมีกำลังการผลิตที่ดีกว่าเครื่องกรองแบบ dead-end ซึ่งเหมาะกับการทดลองในห้องปฏิบัติการ อย่างไรก็ตาม แม้จะใช้การกรองแบบ cross-flow การทำ prefiltration ก่อนเข้าสู่กระบวนการแยกด้วยเมมเบรนยังคงเป็นขั้นตอนที่สำคัญมาก หากไส้กรองที่ตำแหน่ง prefilter เกิดการอุดตันย่อมส่งผลให้การกรองไม่สามารถดำเนินไปได้