บทที่ 5
อภิปรายและสรุปผล

อภิปรายผลการวิจัย

1. การศึกษาคุณภาพทางกายภาพ เคมีและจุลินทรีย์ของวัตถุดิบมะพร้าว

ผลการศึกษาคุณภาพทางกายภาพ เคมีและจุลินทรีย์ของวัตถุดิบมะพร้าวแสดงดังตารางที่ 4-1 พบว่า เนื้อมะพร้าวพันธุ์ต้นสูงจัดเป็นวัตถุดิบที่มีปริมาณความชื้นและไขมันสูง มีโปรตีนปานกลาง จากการวิเคราะห์คุณภาพของวัตถุดิบมะพร้าวที่ใช้ในการทดลอง พบว่า เนื้อมะพร้าวมีปริมาณความชื้น (ร้อยละ 53.46±2.45 ของน้ำหนักเปียก) ไขมันและโปรตีน (ร้อยละ 6.51±0.05 และ 64.44±2.73 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ) ใกล้เคียงกับการวิเคราะห์ตัวอย่างเนื้อมะพร้าวแก่ของกองโภชนาการ ปี 2532 ซึ่งมีค่าความชื้นร้อยละ 51.70 ของน้ำหนักเปียกและมีปริมาณไขมันและโปรตีนร้อยละ 7.09 และ 62.49 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ทั้งนี้ วัตถุดิบมะพร้าวที่ใช้ในการทดลองมีอายุ 10 เดือน ซึ่งต่างจากมะพร้าวที่แก่เต็มที่ เมื่ออายุประมาณ 11-13 เดือน (Salunkhe & Kadam, 1995 ; Santoso et al., 1996) โดยคุณค่าทางโภชนาการต่าง ๆ ของเนื้อมะพร้าวจะมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อมะพร้าวมีอายุมากขึ้น กล่าวคือ เนื้อมะพร้าวมีปริมาณไขมัน คาร์โบไฮเดรตและโปรตีนเพิ่มขึ้น แต่มีความชื้นและใยอาหารลดลง (กองโภชนาการ, 2532 ; Gatchalian et al.,1994) และพบว่า เนื้อมะพร้าวมีลักษณะเนื้อที่แน่นแข็งและมีสีขาวขุ่น แต่เนื่องจาก เนื้อมะพร้าวสดมีปริมาณความชื้นและมีค่าวอเตอร์แอคติวิตี้สูง มีการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์จำนวนมาก ทำให้เนื้อมะพร้าวสดเกิดการเสื่อมเสียได้ง่าย ซึ่งสังเกตได้จาก เนื้อมะพร้าวจะนิ่มและและมีสีคล้ำลง

2. ผลของวิธีการเตรียมชิ้นมะพร้าวขั้นต้นก่อนการดึงน้ำออกแบบออสโมซิส

2.1 ผลของการใช้สารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ร่วมกับกรดต่อคุณภาพของชิ้นมะพร้าวระหว่างรอการผลิต

ผลการวิเคราะห์ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างในชิ้นมะพร้าวแสดงดังภาพที่ 4-1 พบว่า ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างในชิ้นมะพร้าวที่แช่ในสารละลายทุกชนิดตลอดระยะเวลาการแช่ 9 วัน มีค่าอยู่ในช่วง 1.29 - 2.87 ppm ซึ่งไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานที่สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2532) มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมผลไม้แห้ง (มอก.919-2532) กำหนดไว้ คือ 1,000 ppm เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่า การแช่ชิ้นมะพร้าวที่ระยะเวลา

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

1-9 วัน ในสารละลายที่มีการใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ความเข้มข้น 1,000 ppm ได้แก่ สารละลาย So1000 So1000+Ph และ So1000+As มีปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างในชิ้นมะพร้าวไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ในขณะที่ การแช่ชิ้นมะพร้าวในสารละลายที่มีการใช้โซเดียม-เมตาไบซัลไฟต์ความเข้มข้น 3,000 ppm ได้แก่ สารละลาย So3000 So3000+Ph และ So3000+As มีปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างในชิ้นมะพร้าวที่มีแนวโน้มสูงขึ้น เมื่อแช่ในสารละลายนานขึ้นเป็นเวลา 3 5 7 และ 9 วัน ($p\leq0.05$) ทั้งนี้เนื่องจาก สารละลาย So3000 So3000+Ph และ So3000+As มีการใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ความเข้มข้น 3,000 ppm ซึ่งสูงกว่าสารละลาย So1000 So1000+Ph และ So1000+As ที่มีการใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ความเข้มข้นเพียง 1,000 ppm ทำให้ชิ้นมะพร้าวมีโอกาสได้ดูดซับปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ไว้ได้มากกว่าและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และพบข้อสังเกตว่าเมื่อเวลาในการแช่นานขึ้น การแช่ในสารละลายที่มีการใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์เพียงอย่างเดียว จะทำให้ชิ้นมะพร้าวดูดซับปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ไว้ได้น้อยกว่าการแช่ในสารละลายที่ผสมกรดร่วมด้วย เนื่องจาก กรดจะช่วยให้เนื้อเยื่อของชิ้นมะพร้าวอ่อนนิ่มลง อีกทั้ง สภาวะกรดจะทำให้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์แตกตัวในรูปของกรดซัลฟูรัสที่ไม่แตกตัวและไฮโดรเจนซัลไฟต์ ซึ่งแทรกซึมผ่านเนื้อเยื่อของชิ้นมะพร้าวได้ดี อีกทั้งกรดซัลฟูรัสที่ไม่แตกตัวนี้สามารถสะสมอยู่ภายในเซลล์มะพร้าวได้ (ประสาร สวัสดิ์ชีตัง, 2538; Alzamora, Tapia, & Malo, 2000) จากผลการทดลอง พบว่า เมื่อแช่ชิ้นมะพร้าวครบ 7 และ 9 วัน การแช่ชิ้นมะพร้าวในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์เพียงอย่างเดียว (สารละลาย So1000 และ So3000) มีปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างในชิ้นมะพร้าว (ช่วง 1.32-1.78 ppm) ต่ำกว่าการแช่ในสารละลายใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ร่วมกับกรดฟอสฟอริก (สารละลาย So1000+Ph และ So3000+Ph) หรือกรดแอสคอร์บิค (สารละลาย So1000+As และ So3000+As)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระในชิ้นมะพร้าวแสดงดังภาพที่ 4-2 พบว่า เมื่อระยะเวลาในการแช่ชิ้นมะพร้าวนานขึ้น ปริมาณกรดไขมันอิสระในชิ้นมะพร้าวที่แช่ในสารละลายทุกชนิดมีปริมาณเพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.03-2.33 mgKOH/ g ซึ่งมีค่าต่ำกว่าชิ้นมะพร้าวที่แช่ในน้ำกลั่นและเก็บในตู้เย็น โดยการแช่ในสารละลายที่มีการใช้โซเดียม-เมตาไบซัลไฟต์ความเข้มข้น 3,000 ppm ได้แก่ สารละลาย So3000 So3000+Ph และ So3000+As มีปริมาณกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นอยู่ในช่วง 1.45-1.52 mgKOH/ g ซึ่งต่ำกว่าการแช่ในสารละลายที่มีการใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ความเข้มข้น 1,000 ppm ได้แก่ สารละลาย So1000 So1000+Ph และ So1000+As ซึ่งมีปริมาณกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นอยู่ในช่วง 1.81-2.33 mgKOH/ g ($p\leq0.05$) อาหารที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระมากส่งผลให้อาหารมีโอกาสที่กลิ่นรสและรสชาติจะเปลี่ยนแปลงไปได้มาก (สุคนธ์ชื่น ศรีงาม และ ศิริวรรณ เนติวรานนท์, 2532; นิธิยา รัตนาปนนท์, 2548) ดังนั้น

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ผลิตภัณฑ์อาหารที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบจึงไม่ต้องการให้มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงมากเกินไป สำหรับผลิตภัณฑ์อาหารที่แปรรูปจากมะพร้าวมีการกำหนดเกณฑ์มาตรฐานสำหรับน้ำมันมะพร้าว โดยมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2532) มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำมันมะพร้าว (มอก. 203-2520) กำหนดคุณลักษณะที่ต้องการของน้ำมันมะพร้าวในด้านค่าของกรด (Acid Value) ให้มีค่าไม่เกิน 3 mgKOH/ g ซึ่งค่าของกรดมีค่าเท่ากับ 1.99 เท่าของปริมาณกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้น (AOAC, 1990) ซึ่งหากเทียบค่าเกณฑ์กำหนดมาตรฐานดังกล่าวพิจารณาผลการทดลอง พบว่า ที่เวลาการแช่ชิ้นมะพร้าวครบ 9 วัน มีเพียงชิ้นมะพร้าวที่แช่ในสารละลาย So3000 และ So3000+Ph เท่านั้นที่ยังคงมีปริมาณกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานกำหนด คือ มีค่ากรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นในช่วง 1.45-1.49 mgKOH/ g

ผลการวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ในชิ้นมะพร้าวแสดงดังภาพที่ 4-3 พบว่า เมื่อระยะเวลาในการแช่ชิ้นมะพร้าวนานขึ้นค่าเปอร์ออกไซด์ในชิ้นมะพร้าวที่แช่ในสารละลายทุกชนิดมีปริมาณเพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) โดยการแช่นาน 1 3 และ 5 วัน มีค่าเปอร์ออกไซด์อยู่ในช่วง 0.42-13.9 mEq/ kg และมีแนวโน้มเพิ่มสูงมากขึ้นเมื่อการแช่ครบ 7 และ 9 วัน โดยค่าอยู่ในช่วง 18.68-186.90 mEq/ kg ซึ่งค่าเปอร์ออกไซด์แสดงถึง ปริมาณออกไซด์ที่มีในอาหาร ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาออโตออกซิเดชั่น (ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก, 2532; นิธิยา รัตนาปนนท์, 2548; Smith, 1993) การที่ค่าเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้นแสดงถึงชิ้นมะพร้าวเกิดกลิ่นเหม็นหืนมาก ผลิตภัณฑ์อาหารที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบจึงไม่ต้องการให้ค่าเปอร์ออกไซด์สูง สำหรับผลิตภัณฑ์อาหารที่แปรรูปจากมะพร้าวมีการกำหนดเกณฑ์มาตรฐานสำหรับน้ำมันมะพร้าว จากข้อกำหนดของประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 57 (พ.ศ.2524) เรื่อง น้ำมันมะพร้าว กำหนดคุณลักษณะที่ต้องการของน้ำมันมะพร้าวในด้านค่าเปอร์ออกไซด์ให้มีค่าไม่เกิน 10 mEq/ kg อย่างไรก็ตาม หากใช้เกณฑ์กำหนดดังกล่าวพิจารณาผลการทดลอง พบว่า ที่ระยะเวลาการแช่ชิ้นมะพร้าวครบ 9 วัน การแช่ในสารละลาย So3000+As เท่านั้นที่ยังคงมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานกำหนด คือ มีค่าเปอร์ออกไซด์ 8.40±0.17 mEq/ kg

ผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีความขาวของชิ้นมะพร้าวแสดงดังภาพที่ 4-4 พบว่า เมื่อระยะเวลาในการแช่ชิ้นมะพร้าวนานขึ้น ค่าดัชนีความขาวของชิ้นมะพร้าวทุกสิ่งทดลองมีแนวโน้มลดลง อย่างไรก็ตาม ค่าดัชนีความขาวของชิ้นมะพร้าวที่แช่ในสารละลายทุกชนิดมีค่ามากกว่าการแช่ในน้ำกลั่น แสดงให้เห็นว่าสารเคมีที่ใช้สามารถช่วยให้ชิ้นมะพร้าวมีสีคล้ำน้อยลงได้ เนื่องจากโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ทำหน้าที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์จึงช่วยป้องกันการเกิดสีน้ำตาลจากเอนไซม์ได้และสามารถยับยั้งการทำงานของหมู่คาร์บอนิลอิสระหรือสารประกอบคาร์บอนิลจึงป้องกันการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้ (ประสาร สวัสดิ์ชิตัง, 2538; ไพโรจน์ วิริยะจารีย์, 2539; นิธิยา

รัตนาปนนท์, 2548) ซึ่งตลอดระยะเวลาการแช่ 9 วัน ชิ้นมะพร้าวที่แช่ในสารละลาย So1000 มีค่าดัชนีความขาวสูงที่สุด (82.22-84.93)

ผลการวิเคราะห์ค่าแรงตัดขาดของชิ้นมะพร้าวแสดงดังภาพที่ 4-5 พบว่า ค่าแรงตัดขาดของชิ้นมะพร้าวจากการแช่ในสารละลายทุกชนิดตลอดระยะเวลาการแช่ 9 วัน มีแนวโน้มลดลง แสดงถึงชิ้นมะพร้าวมีความแข็งลดลง โดยมีค่าแรงตัดขาดอยู่ในช่วง 43.47-154.34 N แต่ยังคงมีค่ามากกว่าชิ้นมะพร้าวที่แช่ในน้ำกลั่นและเก็บในตู้เย็น ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 22.79-38.20 N และพบว่า ค่าแรงตัดขาดของชิ้นมะพร้าวที่แช่ในสารละลาย So1000 ที่ใช้โซเดียมเมตา-ไบซัลไฟต์ความเข้มข้น 1,000 ppm มีค่าสูงกว่า (ช่วง 110.94-154.34 N) ค่าแรงตัดขาดของชิ้นมะพร้าวที่แช่ในสารละลายชนิดอื่น (43.47-103.54 N) เนื่องจาก กรดมีผลให้เนื้อเยื่อของชิ้นมะพร้าวอ่อนนิ่มลง ทำให้ค่าแรงที่ใช้ในการตัดชิ้นมะพร้าวให้ขาดมีค่าลดลง ดังนั้น ชิ้นมะพร้าวที่แช่ในสารละลายที่มีกรดเป็นส่วนประกอบ (สารละลาย So1000+Ph So1000+As So3000+Ph และ So3000+As) จึงมีค่าแรงตัดขาดต่ำ สำหรับสารละลาย So3000 ที่ใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ความเข้มข้น 3,000 ppm เพียงอย่างเดียวแต่มีค่าแรงตัดขาดต่ำ เนื่องจาก โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์เมื่อแตกตัวในน้ำจะอยู่ในรูปของกรดซัลฟูรัส (ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก, 2532; ประสาร สวัสดิ์ชีตัง, 2538) ทำให้สารละลายมีสภาวะเป็นกรด ส่งผลให้เนื้อเยื่อของชิ้นมะพร้าวอ่อนนิ่มลงเช่นกัน ดังนั้น ชิ้นมะพร้าวที่แช่ในสารละลาย So3000 จึงมีค่าแรงตัดขาดต่ำกว่าชิ้นมะพร้าวที่แช่ในสารละลาย So1000 แต่เมื่อระยะเวลาการแช่นานขึ้น ค่าแรงตัดขาดของชิ้นมะพร้าวที่แช่ในสารละลาย So3000 มีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลง เนื่องจาก การเกิดปฏิกิริยาของโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์กับออกซิเจนในอากาศทำให้ปริมาณโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่คงเหลือในสารละลายลดลง ส่งผลให้ความเป็นกรดในสารละลายมีค่าลดต่ำลง

ผลการวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในชิ้นมะพร้าวแสดงดังตารางที่ 4-2 พบว่า จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในชิ้นมะพร้าวที่แช่ในสารละลายทุกชนิดตลอดระยะเวลาการแช่ 9 วัน มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 1.0×10^{2}-5.7×10^{6} CFU/ g แต่ยังคงมีค่าต่ำกว่าชิ้นมะพร้าวที่แช่น้ำกลั่นและเก็บในตู้เย็น ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 2.5×10^{5}–4.6×10^{8} CFU/ g เมื่อเปรียบเทียบจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในชิ้นมะพร้าวที่แช่ในสารละลายที่ใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์เพียงอย่างเดียว ได้แก่ สารละลาย So1000 และ So3000 พบว่า จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในชิ้นมะพร้าวที่แช่ในสารละลาย So1000 มีจำนวนสูงที่สุด (ช่วง 4.8×10^{5}–6.0×10^{6} CFU/ g) และมากกว่าสารละลาย So3000 (ช่วง 1.0×10^{5} – 1.3×10^{6} CFU/ g) สำหรับการแช่ในสารละลายที่ใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ผสมร่วมกับกรดฟอสฟอริก ได้แก่ สารละลาย So1000+Ph และ So3000+Ph พบว่า ที่ระยะเวลาการแช่ชิ้นมะพร้าวครบ 1-5 วัน จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในชิ้นมะพร้าวที่แช่ใน

สารละลาย So1000+Ph มีจำนวนมากกว่า (ช่วง 8.7×10^{4} – 2.9×10^{5} CFU/ g) สารละลาย So3000+Ph (ช่วง 1.0×10^{3} – 7.0×10^{4} CFU/ g) แต่ในช่วงระยะเวลาการแช่ชิ้นมะพร้าวครบ 7 และ 9 วัน จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในชิ้นมะพร้าวที่แช่ในสารละลาย So1000+Ph และ So3000+Ph มีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกัน (ช่วง 1.0×10^{4}–2.2×10^{5} CFU/ g) สำหรับการแช่ในสารละลายที่ใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ผสมร่วมกับกรดแอสคอร์บิค ได้แก่ สารละลาย So1000+As และ So3000+As พบว่า ชิ้นมะพร้าวที่แช่ในสารละลาย So1000+As และ So3000+As มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดต่ำกว่าทุกสิ่งทดลองตลอดระยะเวลาการแช่ชิ้นมะพร้าว (1.0×10^{2}–2.0×10^{4} CFU/ g) และสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ระยะเวลาการแช่ชิ้นมะพร้าว 1-5 วันได้ ดังนั้น การใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ผสมร่วมกับกรดแอสคอร์บิคสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ดีกว่าการใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์เพียงอย่างเดียวหรือใช้ร่วมกับกรดฟอสฟอริกและการใช้โซเดียม- เมตาไบซัลไฟต์ 3,000 ppm สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ดีกว่าการใช้ที่ความเข้มข้น 1,000 ppm

ผลการวิเคราะห์จำนวนยีสต์และราในชิ้นมะพร้าวแสดงดังตารางที่ 4-3 พบว่า จำนวนยีสต์และราในชิ้นมะพร้าวที่แช่ในสารละลายทุกชนิด ตลอดระยะเวลาการแช่ 9 วัน มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 3.0×10^{2}–1.03×10^{7} CFU/ g แต่ยังคงมีค่าต่ำกว่าชิ้นมะพร้าวที่แช่ในน้ำกลั่นและเก็บในตู้เย็น ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 3.2×10^{5}–8.0×10^{6} CFU/ g เมื่อเปรียบเทียบจำนวนยีสต์และราในชิ้นมะพร้าวที่แช่ในสารละลายที่ใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์เพียงอย่างเดียว ได้แก่ สารละลาย So1000 และ So3000 พบว่า จำนวนยีสต์และราในชิ้นมะพร้าวที่แช่ในสารละลาย So1000 มีจำนวนสูงที่สุด (ช่วง 1.5×10^{4}–1.0×10^{7} CFU/ g) และมากกว่าสารละลาย So3000 (ช่วง 5.0×10^{3}–1.7×10^{6} CFU/ g) สำหรับการแช่ชิ้นมะพร้าวในสารลายที่ใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ผสมร่วมกับกรดฟอสฟอริก ได้แก่ สารละลาย So1000+Ph และ So3000+Ph พบว่า จำนวนยีสต์และราในชิ้นมะพร้าวที่แช่ในสารละลาย So1000+Ph มีจำนวนมากกว่า (ช่วง 3.5×10^{3}–7.7×10^{6} CFU/ g) สารละลาย So3000+Ph (ช่วง 3.0×10^{2}–1.4×10^{6} CFU/ g) สำหรับการแช่ชิ้นมะพร้าวในสารลายที่ใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ผสมร่วมกับแอสคอร์บิค ได้แก่ สารละลาย So1000+As และ So3000+As มีจำนวนยีสต์และราต่ำกว่าทุกสิ่งทดลองตลอดระยะเวลาการแช่ชิ้นมะพร้าว (ช่วง 1.0×10^{3}–1.5×10^{4} CFU/ g) และสามารถยับยั้งการเจริญของยีสต์และราที่ระยะเวลาการแช่ครบ 1-5 วันได้ ดังนั้น การใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ผสมร่วมกับกรดแอสคอร์บิคสามารถยับยั้งการเจริญของยีสต์และราได้ดีกว่าการใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์เพียงอย่างเดียวหรือใช้ร่วมกับกรดฟอสฟอริก และการใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ 3,000 ppm มีแนวโน้มในการยับยั้งการเจริญยีสต์และราได้ดีกว่าการใช้ที่ 1,000 ppm

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

2.2 ผลของวิธีการเตรียมขั้นต้นก่อนการดึงน้ำออกแบบออสโมซิสต่อค่าการถ่ายเทมวลสารและคุณภาพของชิ้นมะพร้าว

นำชิ้นมะพร้าวมาเตรียมขั้นต้นด้วยวิธีต่าง ๆ ได้แก่ การต้ม การใช้สภาวะสุญญากาศและการใช้สนามไฟฟ้าแรงสูงแบบเป็นจังหวะเปรียบเทียบกับการไม่เตรียมขั้นต้น คือ ใช้มะพร้าวสด (สิ่งทดลองควบคุม) ก่อนการดึงน้ำออกแบบออสโมซิสแล้ววิเคราะห์ค่าการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิสและวิเคราะห์คุณภาพของชิ้นมะพร้าวหลังการออสโมซิสในด้านต่าง ๆ ได้แก่ ผลค่าความแน่นเนื้อ ค่าแรงตัดขาดและค่าดัชนีความขาว ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4-6 ถึง 4-29

สำหรับการเตรียมขั้นต้นด้วยการต้ม ผลการวิเคราะห์ค่าการถ่ายเทมวลสารระหว่างการดึงน้ำออกแบบออสโมซิส แสดงดังภาพที่ 4-6 ถึง 4-8 ผลการวิเคราะห์ค่าคุณภาพของชิ้นมะพร้าวหลังการออสโมซิสแสดงดังภาพที่ 4-9 ถึง 4-11 พบว่า ปริมาณน้ำที่สูญเสีย ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นและน้ำหนักที่ลดลงของทุกสิ่งทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 1-4 ชั่วโมง (ร้อยละ 6.31-31.86 2.80-16.72 และ 3.51-18.37 ตามลำดับ) และเริ่มมีแนวโน้มคงที่ในช่วง 5-8 ชั่วโมง (ร้อยละ 15.93-36.67 6.04-13.47 และ 9.89-23.72 ตามลำดับ) เมื่อพิจารณาค่าปริมาณน้ำที่สูญเสีย พบว่า สิ่งทดลองที่ผ่านการต้ม 1 ชั่วโมงมีค่าปริมาณน้ำที่สูญเสียสูงที่สุด (ร้อยละ 36.67) ที่เวลาการออสโมซิส 8 ชั่วโมงรองลงมาคือ การต้มที่เวลา 15 นาที (ร้อยละ 33.74) ซึ่งมีค่าสูงกว่าสิ่งทดลองที่ผ่านการต้ม 5 นาที (ร้อยละ 29.43) และ 3 ชั่วโมง (ร้อยละ 22.49) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เมื่อพิจารณาค่าปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น พบว่า ค่าปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นของทุกสิ่งทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 1-4 ชั่วโมง (ร้อยละ 2.80-16.72) โดยพบว่า สิ่งทดลองที่ผ่านการต้ม 1 ชั่วโมงมีค่าร้อยละของปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นสูงที่สุดตลอดระยะเวลาการออสโมซิส 8 ชั่วโมง ($p\leq0.05$) และมีค่าสูงที่สุด (ร้อยละ 16.72) ที่ระยะเวลาการออสโมซิส 4 ชั่วโมง เมื่อพิจารณาค่าน้ำหนักที่ลดลง พบว่า ค่าน้ำหนักที่ลดลงของทุกสิ่งทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ตลอดระยะเวลาการออสโมซิส 8 ชั่วโมง โดยพบว่า ค่าน้ำหนักที่ลดลงของสิ่งทดลองที่ผ่านการต้ม 15 นาที และ 1 ชั่วโมงมีแนวโน้มใกล้เคียงกันตลอดระยะเวลาการออสโมซิส 8 ชั่วโมง และมีค่าสูงที่สุด (ร้อยละ 23.72 และ 23.20 ตามลำดับ) ที่ระยะเวลาการออสโมซิส 8 ชั่วโมง ซึ่งมีค่าสูงกว่าสิ่งทดลองที่ผ่านการต้ม 5 นาที (ร้อยละ 18.54) และ 3 ชั่วโมง (ร้อยละ 16.33) ($p\leq0.05$) การที่ค่าปริมาณน้ำที่สูญเสีย ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นและน้ำหนักที่ลดลงมีค่าสูงในช่วงแรกของการออสโมซิส เนื่องจาก ช่วงแรกของการออสโมซิสจะเกิดความแตกต่างของแรงดันออสโมติกระหว่างภายในเซลล์มะพร้าวและสารละลายออสโมติกภายนอกมาก ทำให้เกิดแรงขับให้มีการถ่ายเทมวลสารมากและจะลดลงเมื่อเวลาแช่นานขึ้น

เนื่องจากแรงดันออสโมติกมีความแตกต่างกันน้อยลง จากการสะสมน้ำที่แพร่กระจายออกมารอบ ๆ ชิ้นมะพร้าวมากขึ้น ทำให้สารละลายออสโมติกมีความเข้มข้นลดลง (Lerici et al., 1985; Ponting et al.,1996; Dermesonlouoglou, Giannakourou, & Taoukis, 2007)

การลวกหรือการต้มทำให้โครงสร้างของผลไม้อ่อนตัวลง เนื้อเยื่อบางส่วนเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพไป ทำให้อัตราการถ่ายเทมวลสารจากชิ้นผลไม้เกิดได้เร็วขึ้น (จินตนา ศรีผุย, 2546; Moreno et al., 2000; Nieto et al., 2001) Salvatori and Alzamora (2000) กล่าวว่า การลวกทำให้เยื่อเลือกผ่านของชิ้นผลไม้แตกออกทั้งส่วนที่เป็นเยื่อหุ้มเซลล์และส่วนที่เป็นเยื่อหุ้มแวคิวโอล เป็นเหตุให้แรงต้านการเข้าออกเซลล์ของตัวถูกละลายลดลง สำหรับระยะเวลาการต้มชิ้นมะพร้าวที่เหมาะสมสำหรับเพิ่มการถ่ายเทมวลสาร คือ การต้มแบบ Short Time เวลา 15 นาทีและแบบ Long Time เวลา 1 ชั่วโมง เนื่องจากมีค่าการถ่ายเทมวลสารสูง ทั้งค่าปริมาณน้ำที่สูญเสีย ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นและน้ำหนักที่ลดลง ซึ่งเนื้อมะพร้าวที่ใช้ในการทดลองนี้มีเนื้อเยื่อที่แข็งแรง พิจารณาจากค่าแรงตัดขาดของวัตถุดิบมะพร้าว (15116.235±3419.67 กรัม) ดังนั้น การต้มแบบ Short Time เวลา 5 นาที ซึ่งเป็นช่วงระยะเวลาที่สั้นจึงยังไม่มีผลต่อโครงสร้างเนื้อเยื่อของชิ้นมะพร้าวทำให้อัตราการถ่ายเทมวลสารต่ำ แต่การต้มแบบ Long Time เวลา 3 ชั่วโมง ส่งผลให้พอลิแซคคาไรด์ที่เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์ เช่น เพคติน เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ในสภาวะที่มีน้ำอยู่มากและถูกเร่งปฏิกิริยาด้วยความร้อน พอลิแซคคาไรด์จึงเกิดการเชื่อมพันธะระหว่างโมเลกุลของพอลิแซคคาไรด์เอง รวมทั้งเชื่อมพันธะไฮโดรเจนกับน้ำ ทำให้เกิดลักษณะที่เป็นเจลและมีน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวจากการแตกตัวของพอลิแซคคาไรด์ ทำให้การเข้าออกของน้ำและของแข็งระหว่างการดึงน้ำออกแบบออสโมซิสเกิดขึ้นได้ยาก ทำให้ค่าการถ่ายเทมวลสารของสิ่งทดลองที่ผ่านการต้มแบบ Long Time ที่เวลา 3 ชั่วโมงมีค่าต่ำ (Salvatori & Alzamora, 2000)

ผลการวิเคราะห์ค่าความแน่นเนื้อ ค่าแรงตัดขาดและค่าดัชนีความขาวของชิ้นมะพร้าวที่ผ่านการต้มหลังการออสโมซิสแสดงดังภาพที่ 4-9 ถึง 4-11 พบว่า ทุกสิ่งทดลองมีค่าความแน่นเนื้อ (1621.44-2004.92 กรัม) ค่าแรงตัดขาด (3836.27-5222.98 กรัม) และค่าดัชนีความขาว (67.12-73.10) ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) โดยพบว่า ค่าดัชนีความขาวของชิ้นมะพร้าวที่ผ่านการต้มแบบ Short Time ที่เวลา 5 และ 15 นาที มีค่าดัชนีความขาว (70.91 และ 73.10 ตามลำดับ) ที่มีแนวโน้มสูงกว่าชิ้นมะพร้าวที่ผ่านการต้มแบบ Long Time ที่เวลา 1 และ 3 ชั่วโมง (67.12 และ 67.28 ตามลำดับ) ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสมีผลยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลแบบใช้เอนไซม์ แต่การต้มแบบ Long Time ส่งผลเร่งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ ทำให้มีค่าดัชนีความขาวต่ำ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สภาวะที่ดีที่สุดสำหรับการเตรียมชิ้นมะพร้าวขั้นต้นด้วยการต้ม คือ การต้มแบบ Short Time ที่เวลา 15 นาที เนื่องจากมีค่าการถ่ายเทมวลสารสูงใกล้เคียงกับการต้มแบบ Long Time เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แต่ใช้เวลาในการต้มที่น้อยกว่าและค่าดัชนีความขาวของชิ้นมะพร้าวหลังการออสโมซิสมีค่าสูงกว่าทุกสิ่งทดลอง

ผลการวิเคราะห์ค่าการถ่ายเทมวลสารของชิ้นมะพร้าวที่ผ่านการใช้สภาวะสุญญากาศแสดงดังภาพที่ 4-12 ถึง 4-14 พบว่า ปริมาณน้ำที่สูญเสีย ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นและน้ำหนักที่ลดลงของทุกสิ่งทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 1-4 ชั่วโมง (ร้อยละ 3.24-25.29 0.48-9.86 และ 2.58-17.42 ตามลำดับ) และเริ่มมีแนวโน้มคงที่ในช่วง 5-8 ชั่วโมง (ร้อยละ 13.18-37.36 1.73-12.17 และ 11.11-25.19 ตามลำดับ) เมื่อพิจารณาค่าปริมาณน้ำที่สูญเสีย พบว่า การใช้สภาวะสุญญากาศแบบ 50W 50WP 65W และ 65WP มีแนวโน้มสูงกว่าการใช้สภาวะสุญญากาศแบบ 50D 50DP 65D และ 65DP ตลอดระยะเวลาการออสโมซิส และพบว่า การใช้สภาวะสุญญากาศแบบ 50W 50WP และ 65WP มีค่าปริมาณน้ำที่สูญเสียสูงกว่าทุกสิ่งทดลอง ($p\leq0.05$) โดยมีค่าสูงที่สุดที่ระยะเวลาการออสโมซิส 8 ชั่วโมง คือ มีค่าร้อยละ 32.20 37.36 และ 31.84 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่าของปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น พบว่า การใช้สภาวะสุญญากาศแบบ 50W และ 50WP มีค่าปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นสูงกว่าทุกสิ่งทดลอง ($p\leq0.05$) โดยมีค่าสูงที่สุดที่ระยะเวลาการออสโมซิส 8 ชั่วโมง คือ มีค่าร้อยละ 11.41 และ 12.17 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่าร้อยละของน้ำหนักที่ลดลง พบว่า การใช้สภาวะสุญญากาศแบบ 50W 50WP 65W และ 65WP ทำให้ค่าน้ำหนักที่ลดลงมีแนวโน้มสูงกว่าการใช้สภาวะสุญญากาศแบบ 50D 50DP 65D และ 65DP ตลอดระยะเวลาการออสโมซิสและพบว่าการใช้สภาวะสุญญากาศแบบ 50W 50WP และ 65WP มีค่าน้ำหนักที่ลดลงสูงกว่าทุกสิ่งทดลอง ($p\leq0.05$) โดยมีค่าสูงที่สุดที่ระยะเวลาการออสโมซิส 8 ชั่วโมง คือมีค่าร้อยละ 20.79 25.19 และ 23.97 ตามลำดับ

การใช้สภาวะสุญญากาศแบบ 50D 50DP 65D และ 65DP ทำให้ค่าการถ่ายเทมวลสารต่ำ เนื่องจาก การใช้สภาวะสุญญากาศเป็นการใช้แรงดันในการไล่ก๊าซที่อยู่ในเนื้อเยื่อมะพร้าวออก แต่เมื่อหยุดให้สภาวะสุญญากาศ ก๊าซที่อยู่ภายนอกก็จะกลับเข้าสู่ชิ้นมะพร้าวแทนก๊าซที่ออกไป ทำให้อัตราการถ่ายเทมวลสารเกิดขึ้นไม่ดี แต่เมื่อพิจารณาการใช้สภาวะสุญญากาศแบบ 50W 50WP 65W และ 65WP เมื่อได้รับแรงดัน ก๊าซในเนื้อเยื่อมะพร้าวจะแพร่ออกสู่สารละลายออสโมติก รวมทั้งเกิดการถ่ายเทมวลน้ำในชิ้นมะพร้าวออกมาด้วย ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของกระบวนการ และเมื่อปล่อยกลับสู่สภาวะปกติทำให้ตัวถูกละลายของสารละลายออสโมติกแพร่เข้าสู่ชิ้นมะพร้าวแทนที่ก๊าซที่แพร่ออกไป ทำให้ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นมีปริมาณสูง แต่การให้สภาวะสุญญากาศแบบเป็นจังหวะจะช่วยเร่งการถ่ายเทมวล

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารได้ดีกว่าการให้สภาวะสุญญากาศแบบต่อเนื่อง เนื่องจาก ในช่วงที่ให้สภาวะสุญญากาศ ก๊าซที่มีในเนื้อเยื่อมะพร้าวและน้ำจะแพร่ออกจากชิ้นมะพร้าวได้ในช่วงแรกของกระบวนการเท่านั้น (Azoubel, Elizabeth, & Murr, 2004; Deng & Zhao, 2008; Moreno, Bugueno, Velasco, Petzold, & Munizaga, 2004; Zhao & Xie, 2004)

ผลการวิเคราะห์ค่าความแน่นเนื้อ ค่าแรงตัดขาดและค่าดัชนีความขาวของชิ้นมะพร้าวที่ผ่านการใช้สภาวะสุญญากาศหลังการออสโมซิสแสดงดังภาพที่ 4-15 ถึง 4-17 พบว่าทุกสิ่งทดลองมีค่าความแน่นเนื้อ (4065.70-4778.42 กรัม) และค่าแรงตัดขาด (1636.51-1767.60 กรัม) ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) สำหรับค่าดัชนีความขาวของชิ้นมะพร้าวที่ใช้สภาวะสุญญากาศแบบ 65W และ 65WP มีค่าดัชนีความขาวสูงที่สุด (64.39 และ 64.60 ตามลำดับ) ($p\leq0.05$) รองลงมาคือ 50DP 50W 50WP และ 65D ซึ่งมีค่า 61.79 61.67 61.83 และ 60.90 ตามลำดับ

สภาวะที่ดีที่สุดสำหรับการเตรียมชิ้นมะพร้าวขั้นต้นด้วยวิธีการใช้สภาวะสุญญากาศ คือ การใช้สภาวะสุญญากาศแบบ 50WP ทำได้โดยการแช่ชิ้นมะพร้าวในสารละลายออสโมติกแล้วให้ความดันสุญญากาศที่ 50 มิลลิบาร์นาน 10 นาที กลับสู่สภาวะบรรยากาศนาน 10 นาทีและให้สภาวะสุญญากาศอีกครั้งนาน 10 นาที ทำให้ชิ้นมะพร้าวมีค่าปริมาณน้ำที่สูญเสียปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นและน้ำหนักที่ลดลงสูงกว่าทุกสิ่งทดลองและยังคงมีค่าดัชนีความขาวในระดับสูง

ผลการวิเคราะห์ค่าการถ่ายเทมวลสารของชิ้นมะพร้าวที่ผ่านการใช้สนามไฟฟ้าแรงสูงแบบเป็นจังหวะแสดงดังภาพที่ 4-18 ถึง 4-20 พบว่า ค่าปริมาณน้ำที่สูญเสียและน้ำหนักที่ลดลงมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการออสโมซิสนานขึ้นเช่นเดียวกับการเตรียมขั้นต้นด้วยการต้มและการใช้สภาวะสุญญากาศ โดยที่ค่าปริมาณน้ำที่สูญเสียและน้ำหนักที่ลดลงของทุกสิ่งทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 1-4 ชั่วโมง (ร้อยละ 4.00-13.31 และ 5.07-14.43 ตามลำดับ) และเริ่มมีแนวโน้มคงที่ในช่วง 5-8 ชั่วโมง (ร้อยละ 10.22-15.61 และ 10.25-15.09 ตามลำดับ) เมื่อพิจารณาค่าปริมาณน้ำที่สูญเสีย พบว่า การใช้ PEF 15 นาที มีค่าปริมาณน้ำที่สูญเสียสูงที่สุดตลอดระยะเวลาการออสโมซิส ($p\leq0.05$) โดยมีค่าสูงที่สุด (ร้อยละ 15.54) ที่ระยะเวลาการออสโมซิส 8 ชั่วโมง เมื่อพิจารณาค่าปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น พบว่า ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นมีค่าลดต่ำลงในช่วง 1-6 ชั่วโมงซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ -4.11 ถึง -0.07 คือ ชิ้นมะพร้าวมีการสูญเสียของแข็งภายในชิ้นสู่สารละลายออสโมติกแล้วเริ่มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วง 7-8 ชั่วโมงซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 0.03 ถึง 0.52 เมื่อพิจารณาค่าน้ำหนักที่ลดลง พบว่า การใช้ PEF 15 นาทีมีค่าน้ำหนักที่ลดลงสูงที่สุดตลอดระยะเวลาการออสโมซิส ($p\leq0.05$) โดยมีค่าสูงที่สุด (ร้อยละ15.00) ที่ระยะเวลาการออสโมซิส 8 ชั่วโมง

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ทั้งนี้เนื่องจาก การใช้สนามไฟฟ้าแรงสูงแบบเป็นจังหวะจะเกิดการเหนี่ยวนำประจุไฟฟ้า ทำให้เยื่อหุ้มเซลล์แตกเป็นรู ส่งผลให้เกิดการถ่ายเทมวลน้ำระหว่างการดึงน้ำออกแบบออสโมซิสเพิ่มขึ้น แต่ความเข้มสนามไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลอง เป็นความเข้มสนามไฟฟ้าที่สูงมาก จากการสังเกตผ่านใต้กล้องจุลทรรศน์ พบว่า เยื่อหุ้มเซลล์และผนังเซลล์ของชิ้นมะพร้าวเกิดการแตกออกแบบไม่ผันกลับ ทำให้ของแข็งที่มีอยู่ในชิ้นมะพร้าวแพร่ออกสู่สารละลายออสโมติกเช่นเดียวกับการแพร่ออกของน้ำ แต่ของแข็งในสารละลายออสโมติกจะแพร่เข้าสู่เซลล์ได้เล็กน้อยในช่วงเวลาการออสโมซิสนานขึ้น เนื่องจาก สนามไฟฟ้าทำให้เยื่อหุ้มเซลล์ของมะพร้าวไม่สามารถทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่านได้เพียงบริเวณชิ้นมะพร้าวที่สัมผัสกับอิเล็กโทรดเท่านั้น ส่วนเนื้อเยื่อภายในชิ้นมะพร้าวยังคงไม่ถูกทำลายไป (Angersbach, Heinz, & Knorr, 2000; Barbosa-canovas et al., 1998; Barbosa-canovas & Zhang, 2001; U.S. Food and Drug Administration, 2000; Von et al., 2006)

ผลการวิเคราะห์ค่าความแน่นเนื้อ ค่าแรงตัดขาดและค่าดัชนีความขาวของชิ้นมะพร้าวที่ผ่านการใช้สนามไฟฟ้าแรงสูงแบบเป็นจังหวะหลังการออสโมซิสแสดงดังภาพที่ 4-21 ถึง 4-23 พบว่า ทุกสิ่งทดลองมีค่าความแน่นเนื้อ (1930.58-2107.37 กรัม) ค่าแรงตัดขาด (4373.57-4584.60 กรัม) และค่าดัชนีความขาว (57.11-62.66) ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$)

สภาวะที่ดีที่สุดสำหรับการเตรียมชิ้นมะพร้าวขั้นต้นด้วยการใช้ PEF คือ การใช้ PEF แบบ Long Time ที่เวลา 15 นาที เนื่องจากมีค่าปริมาณน้ำที่สูญเสียและน้ำหนักที่ลดลงสูงที่สุด

จากการพิจารณาค่าการถ่ายเทมวลสารของชิ้นมะพร้าวที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นระหว่างการออสโมซิส พบว่า สภาวะการเตรียมขั้นต้นที่ดีที่สุดของแต่ละวิธี คือ การต้มแบบ Short Time เวลา 15 นาที การใช้สภาวะสุญญากาศแบบ 50WP และการใช้สนามไฟฟ้าแรงสูงแบบเป็นจังหวะแบบ Long Time เวลา 15 นาทีและเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับชิ้นมะพร้าวที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้น ค่าการถ่ายเทมวลสารแสดงดังภาพที่ 4-24 ถึง 4-26 พบว่า ค่าปริมาณน้ำที่สูญเสีย ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น และน้ำหนักที่ลดลงของสิ่งทดลองที่ผ่านการต้ม 15 นาที และ 50WP (ร้อยละ 33.74-35.88 10.20-11.31 และ 23.72-24.57 ตามลำดับ) ซึ่งมีค่าสูงกว่าสิ่งทดลองที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้นและ PEF 15 นาที (ร้อยละ3.36-17.09 -4.11 ถึง 1.14 และ 2.50-15.95 ตามลำดับ) ตลอดระยะเวลาการออสโมซิส ($p\leq0.05$) โดยค่าปริมาณน้ำที่สูญเสีย ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นและน้ำหนักที่ลดลงของ 50WP (ร้อยละ13.27-37.36 3.77-12.17 และ 9.50-25.19 ตามลำดับ) มีแนวโน้มสูงกว่าทุกสิ่งทดลองตลอดระยะเวลาการออสโมซิส

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ผลการวิเคราะห์ค่าคุณภาพของชิ้นมะพร้าวที่ไม่ผ่านและผ่านการเตรียมขั้นต้นหลังการออสโมซิสแสดงดังภาพที่ 4-27 ถึง 4-29 พบว่า สิ่งทดลองที่ผ่านการต้ม 15 นาทีและ 50WP มีค่าความแน่นเนื้อ (1705.60 และ 1731.03 กรัม ตามลำดับ) ต่ำกว่าสิ่งทดลองที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้นและการใช้ PEF 15 นาที (2072.22 และ 2107.37 กรัม ตามลำดับ) แต่มีค่าแรงตัดขาดสูงกว่า (4798.08 และ 4778.42 กรัม เทียบกับ 3810.15 และ 4373.57 กรัม ตามลำดับ) ($p \leq 0.05$) สำหรับค่าดัชนีความขาว พบว่า สิ่งทดลองที่ผ่านการต้ม 15 นาที มีค่าดัชนีความขาวสูงที่สุด (73.11) รองลงมาคือ 50WP (61.84) ($p \leq 0.05$)

สภาวะที่ดีที่สุดสำหรับการเตรียมชิ้นมะพร้าวขั้นต้นก่อนการดึงน้ำออกวิธีออสโมซิส คือ การใช้สภาวะสุญญากาศแบบ 50WP ทำได้โดยการแช่ชิ้นมะพร้าวในสารละลายออสโมติกแล้วให้ความดันสุญญากาศที่ 50 มิลลิบาร์นาน 10 นาทีและคลับสู่สภาวะบรรยากาศนาน 10 นาทีและให้สภาวะสุญญากาศอีกครั้งนาน 10 นาที ทำให้ชิ้นมะพร้าวมีค่าปริมาณน้ำที่สูญเสีย ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นและน้ำหนักที่ลดลงสูงกว่าการต้ม การใช้ PEF และชิ้นมะพร้าวที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้น และยังคงมีค่าดัชนีความขาวในระดับสูง

2.3 ผลของวิธีการเตรียมขั้นต้นต่อโครงสร้างเซลล์ของชิ้นมะพร้าว

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างเซลล์ของชิ้นมะพร้าวด้วยกล้องจุลทรรศน์และกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราด แสดงดังภาพที่ 4-30 และ ภาพที่ 4-31 โดยโครงสร้างเซลล์ของชิ้นมะพร้าวจากกล้องจุลทรรศน์จะแสดงองค์ประกอบต่าง ๆ ภายในเซลล์ สำหรับโครงสร้างเซลล์ของชิ้นมะพร้าวจากกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราดแสดงโครงสร้างและรูปร่างเซลล์ เนื่องจากวิธีการเตรียมตัวอย่างในขั้นตอนการทำแห้งก่อนการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนทำให้โครงสร้างภายในเสียสภาพ จากภาพจึงเห็นเพียงโครงสร้างเซลล์และรูปร่างเซลล์ภายนอก ซึ่งเป็นโครงสร้างผนังเซลล์ พบว่า ลักษณะเซลล์ของเนื้อมะพร้าวสดมีรูปร่างแท่ง เรียงชิดกันอย่างเป็นระเบียบ และพบแวลคิวโอล (V) ขนาดใหญ่ภายในเซลล์ เซลล์มีลักษณะเต่งเนื่องจากแรงดันน้ำภายในเซลล์และน้ำในแวลคิวโอล เมื่อผ่านการออสโมซิส พบช่องว่างระหว่างเซลล์ (I) ขนาดใหญ่หลายตำแหน่ง เซลล์ยังคงมีรูปร่างแท่งแต่ยืดตัวออกยาวขึ้น สังเกตเห็นผนังเซลล์ที่เกิดการพับและย่นที่ชัดเจน เนื่องจาก การสูญเสียน้ำและเซลล์เกิดการหดตัว พบแวลคิวโอลมีขนาดเล็กลงและพบการสะสมน้ำตาล (S) ที่ช่องว่างระหว่างเซลล์ เมื่อนำชิ้นมะพร้าวมาต้มแบบ Short Time เวลา 15 นาที พบว่า เซลล์มีขนาดใหญ่ขึ้น เนื่องจาก การบวมพองจากแรงดันน้ำที่เพิ่มขึ้นภายในเซลล์แต่เซลล์ยังคงมีรูปร่างแท่ง แวลคิวโอลในเซลล์มีขนาดใหญ่กว่าเซลล์มะพร้าวสด เมื่อผ่านการออสโมซิส เซลล์เรียงตัวกันแน่นขึ้น รูปร่างของเซลล์เล็กลงและเกิดรอยเว้า (C) พบช่องว่างระหว่างเซลล์ขนาดใหญ่และมีการสะสมของน้ำตาล เนื่องจากสังเกตเห็นเป็นส่วนทึบ

แสง สำหรับชิ้นมะพร้าวที่ผ่านการใช้สภาวะสุญญากาศแบบ 50WP พบว่า เซลล์มีขนาดเล็กลง และเรียวยาว มีการเรียงตัวแน่นมากขึ้น ยังคงมีรูปร่างแท่ง พบแวลคิวโอลในบางเซลล์แต่มีขนาดเล็กมาก มีการสะสมของน้ำตาลจำนวนมาก เนื่องจาก ใช้สภาวะสุญญากาศแบบเปียก (แช่ชิ้นมะพร้าวในสารละลายออสโมติกขณะให้สุญญากาศ) เมื่อผ่านการออสโมซิส เซลล์มีขนาดใหญ่ขึ้นเล็กน้อย รูปร่างเซลล์ไม่สม่ำเสมอ บางเซลล์เกิดรอยเว้า มีการสะสมน้ำตาลกระจายทั่วทั้งภายในเซลล์และช่องว่างระหว่างเซลล์ สำหรับชิ้นมะพร้าวที่ผ่านการใช้ PEF เวลา 15 นาที พบว่า เซลล์มีรูปร่างเปลี่ยนแปลงไป แต่บางเซลล์ยังคงมีรูปร่างแท่งและพบเยื่อหุ้มเซลล์แตกเป็นรู (R) เมื่อผ่านการออสโมซิส เซลล์เรียงตัวกันแน่นขึ้น แวลคิวโอลมีขนาดไม่สม่ำเสมอ เห็นรูปร่างเซลล์ไม่ชัดเจนและพบช่องว่างระหว่างเซลล์ที่เกิดการแตกเป็นรูขนาดใหญ่

ผลการวิเคราะห์หาค่าดัชนีการแตกของเยื่อหุ้มเซลล์แสดงดังภาพที่ 4-32 พบว่า ค่าดัชนีการแตกของเยื่อหุ้มเซลล์ของชิ้นมะพร้าวที่ผ่านการต้ม 15 นาที ผ่านการใช้สภาวะสุญญากาศแบบ 50WP และการใช้ PEF 15 นาที มีค่าดัชนีการแตกของเยื่อหุ้มเซลล์ 0.392 0.736 และ 0.970 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า วิธีการเตรียมขั้นต้นส่งผลต่อการแตกของเยื่อหุ้มเซลล์ จากผลการทดลอง พบว่า การต้ม 15 นาทีมีผลให้เยื่อหุ้มเซลล์แตกออกน้อยที่สุด รองลงมาคือการใช้สภาวะสุญญากาศแบบ 50WP และการใช้ PEF 15 นาที ส่งผลให้เยื่อหุ้มเซลล์ของชิ้นมะพร้าวแตกออกมากที่สุด ทั้งนี้เนื่องจาก เยื่อหุ้มเซลล์มะพร้าวประกอบด้วยสารโพลิแซคคาร์ไรด์ (พิมลพรรณ ปูชกะวิมล, 2543; Santoso et al., 1996) เมื่อผ่านการต้ม สารโพลีแซคคาร์ไรด์จึงสร้างพันธะไฮโดรเจนกับน้ำเกิดลักษณะเจลป้องกันการแตกของเยื่อหุ้มเซลล์ (Salvatori & Alzamora, 2000) ดังนั้น ค่าดัชนีการแตกของเยื่อหุ้มเซลล์ที่ผ่านการต้ม 15 นาทีจึงมีค่าต่ำที่สุด สำหรับการใช้สภาวะสุญญากาศ แรงดันสุญญากาศจะบีบอัดเซลล์ ทำให้เยื่อหุ้มเซลล์แตกออก อีกทั้งก๊าซที่อยู่ภายในชิ้นมะพร้าวจะแผ่ขยายและเคลื่อนที่ออกจากชิ้นมะพร้าวอาจส่งผลให้เยื่อหุ้มเซลล์มะพร้าวแตกออกเนื่องจากแรงดันอากาศ (Rastogi et al., 2002 ; Welti-Chanes et al., 2002) สำหรับการใช้ PEF เป็นการกระตุ้นเยื่อหุ้มเซลล์ด้วยสนามไฟฟ้า สนามไฟฟ้าจะเหนี่ยวนำให้เกิดการแยกตัวของโมเลกุลของชั้นไขมันที่เยื่อหุ้มเซลล์ ทำให้เยื่อหุ้มเซลล์เกิดการแตกเป็นรู (Angersbach et al., 2000 ; Barbosa-canovas et al., 1998 ; Barbosa-canovas & Zhang, 2001) สำหรับเนื้อเยื่อพืช การกระตุ้นจากสนามไฟฟ้าที่ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าในช่วง 1.5-3.0 kV/ cm และจำนวนพัลซ์ 15-30 พัลซ์ เป็นระดับที่เหมาะสมที่ช่วยเพิ่มลักษณะการเป็นเยื่อเลือกผ่านของเยื่อหุ้มเซลล์ได้ดีที่สุด (Ade-Omowaye, Angersbach, Taiwo et al., 2001) แต่จากการทดลองใช้สนามไฟฟ้าที่ความเข้มสนามไฟฟ้าสูงถึง 7 kV/ cm เนื่องจากการทดลองเบื้องต้น พบว่า การใช้ความเข้มสนามไฟฟ้าที่ระดับต่ำไม่ส่งผลต่อการถ่ายเทมวลสารของชิ้นมะพร้าวในขั้นตอนการดึงน้ำออกแบบ

ออสโมซิส การใช้ความเข้มสนามไฟฟ้าที่ระดับสูงส่งผลให้ค่าดัชนีการแตกของเยื่อหุ้มเซลล์สูง สอดคล้องกับงานวิจัยที่ใช้ PEF ในการเตรียมขั้นต้นวัตถุดิบก่อนการดึงน้ำออกแบบออสโมซิสของ Rastogi et al. (1999) ศึกษาการใช้เทคนิค PEF ในการเตรียมแครอท Ade-Omowaye et al. (2002) ศึกษาการใช้เทคนิค PEF ในการเตรียมพริกหยวก และ Tedjo et al. (2002) ศึกษาการใช้เทคนิค PEF ในการเตรียมมะม่วง พบว่า การเพิ่มค่าความเข้มสนามไฟฟ้าทำให้ค่าดัชนีการแตกของเยื่อหุ้มเซลล์ของตัวอย่างมีค่าเพิ่มขึ้น จากการทดลอง พบว่า ค่าดัชนีการแตกของเยื่อหุ้มเซลล์มะพร้าวที่ผ่านการใช้ PEF 15 นาทีมีค่าสูงถึง 0.970 ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า เยื่อหุ้มเซลล์เกิดการแตกออกจนเกือบสมบูรณ์ (ค่าดัชนีการแตกของเยื่อหุ้มเซลล์มีค่าในช่วง 0-1 โดยค่ามาก หมายถึง เยื่อหุ้มเซลล์เกิดการแตกออกมาก) (Angersbach et al., 1999; Rastogi et al., 2000)

3. ผลการศึกษาชนิดและความเข้มข้นของสารดูดความชื้นในสารละลายออสโมติกที่เหมาะสมในการดึงน้ำออกจากชิ้นมะพร้าวแบบออสโมซิส

3.1 ผลการทดลองเบื้องต้นเพื่อศึกษาผลของชนิดและความเข้มข้นของสารดูดความชื้นในสารละลายออสโมติกต่อค่าการถ่ายเทมวลสารของชิ้นมะพร้าว

ผลการศึกษาค่าการถ่ายเทมวลสารของชิ้นมะพร้าวที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยใช้สภาวะที่เลือกได้จากข้อ 2.2 (การใช้สภาวะสุญญากาศแบบ 50WP) แล้วนำมาแช่ในสารละลายออสโมติกซึ่งเป็นสารละลายผสมของสารดูดความชื้น 3 ชนิด ได้แก่ น้ำตาลซูโครส (30-50 กรัม/ 100 กรัม) กลูโคส (0-10 กรัม/ 100 กรัม) และซอร์บิทอล (0-10 กรัม/ 100 กรัม) จัดสิ่งทดลองแบบ 2^3 Factorial ทั้ง 8 สิ่งทดลอง แสดงดังภาพที่ 4-33 ถึง 4-35 พบว่า สิ่งทดลองที่ 8 (+1, +1,+1) คือการใช้สารละลายผสมของน้ำตาลซูโครส 50 กรัม กลูโคส 10 กรัมและซอร์บิทอล 10 กรัม ซึ่งเป็นระดับการใช้สารดูดความชื้นทั้ง 3 ชนิดในระดับสูงสุดมีค่าปริมาณน้ำที่สูญเสียปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นและน้ำหนักที่ลดลงสูงที่สุด คือ ร้อยละ 38.34 10.86 และ 27.48 ตามลำดับ ที่เวลาการออสโมซิส 8 ชั่วโมง เนื่องจาก สารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นสูงทำให้เกิดแรงดันออสโมติกระหว่างเซลล์ชิ้นมะพร้าวกับสารละลายสูง ส่งผลให้การถ่ายเทมวลสารเกิดขึ้นสูง (อ่อนรวี รัตนาพันธุ์, 2533; Ponting et al., 1996)

จากการทดลองเบื้องต้นเพื่อศึกษาชนิดและความเข้มข้นของสารดูดความชื้นในสารละลายออสโมติก พบว่า สารละลายผสมของน้ำตาลซูโครส กลูโคสและซอร์บิทอลมีผลต่อค่าการถ่ายเทมวลสาร โดยมีอิทธิพลร่วมของสารดูดความชื้นทั้ง 3 ต่อค่าการถ่ายเทมวลสาร แสดงดังตารางที่ 4-9 ดังนั้น เพื่อหาระดับการใช้สารดูดความชื้นที่เหมาะสมในการดึงน้ำออกแบบออสโมซิส จึงทำการทดลองต่อดังการทดลองที่ 3.2 โดยวางแผนการทดลองแบบ CCD เพื่อแปรระดับการใช้

สารดูดความชื้นทั้ง 3 ชนิดให้มีระดับการใช้ที่ละเอียดมากขึ้น กล่าวคือ การวางแผนการทดลองแบบ 2^3 Factorial เป็นการศึกษาระดับการใช้สารดูดความชื้นทั้ง 3 ชนิด ชนิดละ 2 ระดับ ซึ่งเป็นระดับสูงสุดและต่ำสุด แต่เมื่อจัดสิ่งทดลองแบบ CCD สามารถศึกษาระดับการใช้สารดูดความชื้นแต่ละชนิดเพิ่มเป็นชนิดละ 5 ระดับ โดยใช้ช่วงสูงสุดและต่ำสุดของสารดูดความชื้นทั้ง 3 ชนิดเช่นเดิม

3.2 ผลการศึกษาหาชนิดและความเข้มข้นของสารดูดความชื้นในสารละลายออสโมติกต่อค่าการถ่ายเทมวลสารของชิ้นมะพร้าว

ผลการวิเคราะห์ค่าการถ่ายเทมวลสารของชิ้นมะพร้าวระหว่างการดึงน้ำออกแบบออสโมซิสแสดงดังภาพที่ 4-36 ถึง 4-38 และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลน้ำและของแข็งของมะพร้าวระหว่างการดึงน้ำออกแบบออสโมซิสแสดงดังตารางที่ 4-10 พบว่า ปริมาณน้ำที่สูญเสีย ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นและน้ำหนักที่ลดลงมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 4 ชั่วโมงแรกและลดลงเมื่อระยะเวลาการออสโมซิสนานขึ้น และที่เวลาการออสโมซิส 10-14 ชั่วโมงค่าการถ่ายเทมวลสารมีแนวโน้มคงที่ ($p>0.05$) และพบว่า สิ่งทดลองที่ 10 (+1.68, 0, 0) และสิ่งทดลองที่ 8 (+1,+1,+1) มีค่าปริมาณน้ำที่สูญเสียและน้ำหนักที่ลดลงที่มีแนวโน้มสูงกว่าทุกสิ่งทดลองตลอดระยะเวลาการออสโมซิส โดยมีค่าปริมาณน้ำที่สูญเสียอยู่ในช่วงร้อยละ 12.54-36.69 และ 13.34-35.69 ตามลำดับ และน้ำหนักที่ลดลงในช่วงร้อยละ 7.99-26.24 และ 8.04-24.22 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจาก สิ่งทดลองที่ 8 และ 10 เป็นสิ่งทดลองที่มีความเข้มข้นสูง ทำให้ความแตกต่างของแรกดันออสโมซิสระหว่างภายในเซลล์ชิ้นมะพร้าวและสารละลายมีค่าสูง ทำให้เกิดแรงขับให้มีการถ่ายเทมวลน้ำมาก ซึ่งพบว่า ค่าปริมาณน้ำที่สูญเสียมีค่าสูงกว่าค่าปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นมาก ดังนั้น ชิ้นมะพร้าวจึงมีน้ำหนักน้อยลง ค่าน้ำหนักที่ลดลงจึงเป็นผลมาจากการสูญเสียน้ำของตัวอย่างเป็นสำคัญ สำหรับค่าปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น พบว่า สิ่งทดลองที่ 12 (0,+1.68,0) มีค่าปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นมีแนวโน้มสูงกว่าทุกสิ่งทดลองตลอดระยะเวลาการออสโมซิสโดยมีค่าร้อยละ 11.88 ที่เวลาการออสโมซิส 8 ชั่วโมง เมื่อพิจารณาสิ่งทดลองที่ 9 และ 10 ซึ่งเป็นสิ่งทดลองที่ใช้ปริมาณน้ำตาลซูโครสต่างกัน พบว่า สิ่งทดลองที่ 10 (ซูโครส 50 กรัม/ 100 กรัม) ทำให้ค่าปริมาณน้ำที่สูญเสีย ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นและน้ำหนักที่ลดลงมีค่าสูงกว่าสิ่งทดลองที่ 9 (ซูโครส 30 กรัม/ 100 กรัม) ถึงร้อยละ 84.47 41.27 และ 109.92 ตามลำดับ เนื่องจาก โมเลกุลของซูโครสมีขนาดใหญ่ (น้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 342) ทำให้ซูโครสแพร่เข้าสู่ชิ้นตัวอย่างได้ยากกว่าการแพร่ออกของโมเลกุลน้ำที่มีขนาดเล็ก สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ispir and Togrul (2009) พบว่า การใช้สารละลายซูโครสในการดึงน้ำออกแบบออสโมซิสของเอพริคอท (Apricot) มีค่าปริมาณน้ำที่สูญเสียสูงและมีปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นต่ำ สำหรับสิ่งทดลองที่ 11 และ 12 ซึ่ง

เป็นสิ่งทดลองที่ใช้ปริมาณกลูโคสต่างกัน พบว่า สิ่งทดลองที่ 12 (10 กรัม/ 100 กรัม) ทำให้ค่าปริมาณน้ำที่สูญเสีย ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นและน้ำหนักที่ลดลงมีค่าสูงกว่าสิ่งทดลองที่ 11 ที่ไม่มีการใช้กลูโคส (0 กรัม/ 100 กรัม) ร้อยละ 27.89 24.29 และ 30.06 ตามลำดับ สำหรับสิ่งทดลองที่ 13 และ 14 ซึ่งเป็นสิ่งทดลองที่ใช้ปริมาณซอร์บิทอลต่างกัน พบว่า สิ่งทดลองที่ 14 (10 กรัม/ 100 กรัม) ทำให้ค่าปริมาณน้ำที่สูญเสีย ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นและน้ำหนักที่ลดลงมีค่าสูงกว่าสิ่งทดลองที่ 13 ที่ไม่มีการใช้ซอร์บิทอล (0 กรัม/ 100 กรัม) เพียงเล็กน้อย คือ ร้อยละ 3.16 4.81 และ 2.34 ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างจากการศึกษาของ Zenoozian and Devahastin (2009) ในตัวอย่างฟักทอง และ Riva, Campolongo, Leva, Maestrelli, and Torreggiani (2005) ในตัวอย่างเอพริคอท ซึ่งพบว่า การใช้ซอร์บิทอลและกลูโคสทำให้ตัวอย่างมีค่าปริมาณน้ำที่สูญเสียและปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นสูง เมื่อพิจารณาสิ่งทดลองที่ 11 (5 กรัมซอร์บิทอล/ 100 กรัม) และ 13 (5 กรัมกลูโคส/ 100 กรัม) เพื่อเปรียบเทียบผลของการใช้กลูโคสกับซอร์บิทอล พบว่า การใช้ซอร์บิทอล ทำให้ชิ้นมะพร้าวมีค่าปริมาณน้ำที่สูญเสียและปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นสูงกว่าการใช้กลูโคสแต่ทำให้ชิ้นมะพร้าวมีค่าน้ำหนักที่ลดลงต่ำกว่าการใช้กลูโคส โดยมีค่าปริมาณน้ำที่สูญเสีย ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นและน้ำหนักที่ลดลงแตกต่างกันร้อยละ 2.75 10.68 และ 2.02 ตามลำดับ ทั้งนี้ซอร์บิทอล เกิดจากการเปลี่ยนแปลงหมู่แอลดีไฮด์ของน้ำตาลกลูโคสโดยการเพิ่มหมู่ไฮดรอซิลที่ตำแหน่งคาร์บอน-1 ของโมเลกุลน้ำตาลกลูโคส ทำให้ซอร์บิทอลมีน้ำหนักโมเลกุลใหญ่กว่ากลูโคสเล็กน้อย คือ ซอร์บิทอลและกลูโคสมีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 182 และ 180 ตามลำดับ และพบว่า ซอร์บิทอลและกลูโคสมีค่าวอเตอร์แอคติวิตี้เท่ากับ 0.87 และ 0.83 ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นร้อยละ 60 (Bui, Nguyen, & Joachim, 2003; Norrish, 1966) ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า กลูโคสและซอร์บิทอลมีคุณสมบัติใกล้เคียงกันมาก

เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำและของแข็งแสดงดังตารางที่ 4-5 พบว่า สิ่งทดลองที่ 14 (0,0,+1.68) มีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำสูงที่สุด คือ $6.10 \times 10^{10} m^2/s$ รองลงมา คือ สิ่งทดลองที่ 10 (+1.68,0,0) มีค่า $6.01 \times 10^{10} m^2/s$ ขณะสิ่งทดลองที่ 13 (0,0,-1.68) มีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของของแข็งสูงที่สุดคือ $7.79 \times 10^{10} m^2/s$ รองลงมา คือ สิ่งทดลองที่ 10 มีค่า $8.04 \times 10^{10} m^2/s$ และพบว่าสิ่งทดลองที่ 14 มีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของของแข็งต่ำที่สุดคือ $0.11 \times 10^{10} m^2/s$ เนื่องจากกลูโคสและซอร์บิทอลมีขนาดโมเลกุลเล็ก ทำให้เกิดแรงดันออสโมซิสสูง สัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำจึงสูง แต่เนื่องจากสิ่งทดลองที่ 14 มีความเข้มข้นสูง ทำให้สารละลายมีความหนืดมาก และความเข้มข้นของซูโครสที่สูง เมื่อซูโครสแพร่เข้าสู่ชิ้นผลไม้จะสะสมที่ผิวด้านนอก ต่างจากกลูโคสและซอร์บิทอล จึงขัดขวางการแพร่ของของแข็งเข้าสู่ชิ้นมะพร้าวเมื่อเวลาการออสโมซิสนานขึ้น (Atares et al., 2009)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

3.3 ผลการสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าการถ่ายเทมวลสารกับความเข้มข้นของสารดูดความชื้นในสารละลายออสโมติก

ผลการสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าการถ่ายเทมวลสารกับความเข้มข้นของสารดูดความชื้นในสารละลายออสโมติกแสดงดังตารางที่ 4-6 พบว่า สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าการถ่ายเทมวลสาร ได้แก่ ปริมาณน้ำที่สูญเสีย ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นและน้ำหนักที่ลดลงกับชนิดและความเข้มข้นของสารดูดความชื้นในสารละลายออสโมติกที่ระยะเวลาการออสโมซิส 4 และ 8 ชั่วโมง พบว่า สมการความสัมพันธ์ที่ได้ทั้งหมดมีค่าความน่าเชื่อถือของสมการตามเกณฑ์ที่ใช้ในพิจารณาข้างต้น คือมีค่า R^2 ในช่วง 0.857–0.964 มีค่า Model Significance 0.00 และมีค่า RMS ในช่วงร้อยละ 0.82-12.72 เมื่อพิจารณารูปแบบของสมการความสัมพันธ์ พบว่าความเข้มข้นของกลูโคสและซอร์บิทอลมีอิทธิพลต่อค่าปริมาณน้ำที่สูญเสียและน้ำหนักที่ลดลงทั้งผลในเชิงเส้นตรง (Linear Effect) ผลในเชิงเส้นโค้ง (Quadratic Effect) และผลของปฏิกิริยาสัมพันธ์ (Interaction Effect) ยกเว้นผลในเชิงเส้นโค้งต่อค่าปริมาณน้ำที่สูญเสียที่เวลาออสโมซิส 8 ชั่วโมง ขณะที่ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นไม่ได้รับอิทธิพลจากปฏิกิริยาสัมพันธ์ โดยพบว่า ความเข้มข้นของกลูโคสและซอร์บิทอลให้ผลในเชิงเส้นตรงต่อค่าปริมาณน้ำที่สูญเสีย ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นและน้ำหนักที่ลดลงโดยมีอิทธิพลในทางบวก (ค่าสัมประสิทธิ์มีค่าเป็นบวก) และความเข้มข้นของกลูโคสมีอิทธิพลต่อค่าการถ่ายเทมวลสารสูงกว่าความเข้มข้นของซอร์บิทอล (ค่าสัมประสิทธิ์ของกลูโคสมีค่าสูงกว่าซอร์บิทอล) เมื่อพิจารณาผลในเชิงเส้นโค้ง พบว่า ความเข้มข้นของกลูโคสมีอิทธิพลทางบวกต่อค่าปริมาณน้ำที่สูญเสียและน้ำหนักที่ลดลงที่เวลาออสโมซิส 4 ชั่วโมง ปริมาณน้ำที่สูญเสียทั้ง 4 และ 8 ชั่วโมง แต่มีอิทธิพลทางลบค่าน้ำหนักที่ลดลงที่เวลาออสโมซิส 8 ชั่วโมง สำหรับความเข้มข้นของซอร์บิทอลมีอิทธิพลทางลบต่อค่าการถ่ายเทมวลสารทั้ง 3 ค่า ยกเว้นค่าปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นที่เวลาออสโมซิส 4 ชั่วโมง สำหรับผลของปฏิกิริยาสัมพันธ์มีอิทธิพลทางลบต่อค่าปริมาณน้ำที่สูญเสียและน้ำหนักที่ลดลงแต่ไม่มีอิทธิพลต่อปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น

สร้างกราฟพื้นผิวตอบสนองจากสมการรีเกรสชันที่มีความน่าเชื่อถือเพื่อหาชนิดและความเข้มข้นของสารดูดความชื้นในสารละลายออสโมติกที่เหมาะสมที่สุดในการดึงน้ำออกจากชิ้นมะพร้าวแบบออสโมซิส กราฟพื้นผิวตอบสนองที่เวลาออสโมซิส 4 ชั่วโมงแสดงดังภาพที่ 4-39 ถึง 4-41 และกราฟพื้นผิวตอบสนองที่เวลาออสโมซิส 8 ชั่วโมงแสดงดังภาพที่ 4-42 ถึง 4-44

พิจารณากราฟพื้นผิวตอบสนองจากภาพที่ 4-33 ถึง 4-38 พบว่า การใช้กลูโคสและซอร์บิทอลในระดับสูงมีผลให้ค่าปริมาณน้ำที่สูญเสีย ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นและน้ำหนักที่ลดลงมีค่าสูง ซึ่งมีแนวโน้มเป็นไปในทางเดียวกัน เมื่อพิจารณาค่าปริมาณน้ำที่สูญเสีย จากภาพที่ 4-39 จะเห็นได้ว่าค่าปริมาณน้ำที่สูญเสียมีค่าสูงที่สุดที่ร้อยละ 28.728 เกิดจากการใช้กลูโคสระดับ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

1.11 ถึง 1.68 (8.3-10 กรัม/ 100 กรัม) ร่วมกับทุกระดับความเข้มข้นของซอร์บิทอลช่วงที่ศึกษา ส่วนภาพที่ 4-42 พบว่า ค่าปริมาณน้ำที่สูญเสียมีค่าสูงที่สุดที่ร้อยละ 38.145 ซึ่งเกิดจากการใช้กลูโคสระดับ 0.43 ถึง 1.68 (6.3-10 กรัม/ 100 กรัม) ร่วมกับการใช้ซอร์บิทอลในระดับ -1.68 ถึง +1.35 (0-9.0 กรัม/ 100 กรัม) เมื่อพิจารณาค่าปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น จากภาพที่ 4-40 จะเห็นได้ว่าค่าปริมาณน้ำที่สูญเสียมีค่าสูงที่สุดที่ร้อยละ 9.343 เกิดจากการใช้กลูโคสระดับ 1.07 ถึง 1.68 (8.2-10 กรัม/ 100 กรัม) ร่วมกับการใช้ซอร์บิทอลในระดับ -0.86 ถึง +1.68 (2.44-10 กรัม/ 100 กรัม) ส่วนภาพที่ 4-43 พบว่า ค่าปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นมีค่าสูงที่สุดที่ร้อยละ 12.378 ซึ่งเกิดจากการใช้กลูโคสระดับ 1.26 ถึง 1.68 (8.75-10 กรัม/ 100 กรัม) ร่วมกับการใช้ซอร์บิทอลในระดับ -1.17 ถึง +1.68 (1.5-10 กรัม/ 100 กรัม) เมื่อพิจารณาค่าน้ำหนักที่ลดลง จากภาพที่ 4-41 จะเห็นได้ว่าค่าน้ำหนักที่ลดลงมีค่าสูงที่สุดที่ร้อยละ 18.657 เกิดจากการใช้กลูโคสระดับ 1.16 ถึง 1.68 (8.45-10 กรัม/ 100 กรัม) ร่วมกับทุกระดับความเข้มข้นของซอร์บิทอลช่วงที่ศึกษา ส่วนภาพที่ 4-44 พบว่า ค่าน้ำหนักที่ลดลงมีค่าสูงที่สุดที่ร้อยละ 25.188 ซึ่งเกิดจากการใช้กลูโคสระดับ 0.43 ถึง 1.68 (6.3-10 กรัม/ 100 กรัม) ร่วมกับการใช้ซอร์บิทอลในระดับ -1.68 ถึง 1.40 (0-9.2 กรัม/ 100 กรัม)

เพื่อหาชนิดและความเข้มข้นของสารดูดความชื้นในสารละลายออสโมติกที่เหมาะสมที่สุดในการดึงน้ำออกจากชิ้นมะพร้าวแบบออสโมซิสจึงทำการซ้อนทับกราฟพื้นผิวตอบสนองโดยเลือกพื้นที่ที่มีค่าการถ่ายเทมวลสารสูงที่สุด (มีค่าปริมาณน้ำน้ำที่สูญเสีย ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นและน้ำหนักที่ลดลงสูง) แสดงภาพพื้นที่การซ้อนทับกราฟพื้นผิวตอบสนองที่เวลาออสโมซิสนาน 4 และ 8 ชั่วโมงดังภาพที่ 4-45 และ 4-46 ตามลำดับ เลือกจุดจากการซ้อนทับกราฟที่เวลาการออสโมซิสนาน 4 ชั่วโมงและ 8 ชั่วโมงได้ 4 และ 8 สิ่งทดลองแสดงดังตารางที่ 4-7 และ 4-8 ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์ค่าการถ่ายเทมวลสารที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการทำนายโดยสมการความสัมพันธ์ของทั้ง 12 สิ่งทดลองแสดงดังตารางที่ 4-4 พบว่า ค่าการถ่ายเทมวลสารที่ได้จากการทดลองและการทำนายมีค่า RMS ต่ำกว่าร้อยละ 20 แสดงถึง มีค่าความคลาดเคลื่อนของการทำนายจากการใช้สมการต่ำ (Julian, 2004) โดยค่า RMS ของค่าปริมาณน้ำที่สูญเสีย ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นและน้ำหนักที่ลดลงของการออสโมซิส 4 ชั่วโมงมีค่าในช่วงร้อยละ 3.12-7.45 8.91-10.89 และ 2.46-5.20 ตามลำดับและสำหรับการออสโมซิส 8 ชั่วโมงมีค่าในช่วงร้อยละ 6.81-11.03 8.62-12.74 และ 3.10-15.21 ตามลำดับ ดังนั้น สมการที่ได้จึงมีความเหมาะสมที่ใช้ในการทำนายค่าการถ่ายเทมวลสาร เลือกสิ่งทดลองที่มีค่าปริมาณน้ำที่สูญเสียและน้ำหนักที่ลดลงสูงจากการออสโมซิส 4 ชั่วโมงมา 1 สิ่งทดลอง ได้แก่ สิ่งทดลองที่ 1

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

(+1.68, +1.68,-0.87) มีค่าปริมาณน้ำที่สูญเสีย ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นและน้ำหนักที่ลดลงร้อยละ 28.36 8.82 และ 19.54 ตามลำดับ และเลือกสิ่งทดลองจากการออสโมซิส 8 ชั่วโมงมา 3 สิ่งทดลอง คือ สิ่งทดลองที่ 3 (+1.68,+1.68,-1.176) สิ่งทดลองที่ 4 (+1.68,+1.269,+0.252) และสิ่งทดลองที่ 7 (+1.68, +0.917,+0.125) โดยมีค่าปริมาณน้ำที่สูญเสีย ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นและน้ำหนักที่ลดลงในช่วงร้อยละ 35.01-35.39 10.19-11.14 และ 24.82-24.23 ตามลำดับ นำสิ่งทดลองที่เลือกได้ทั้ง 4 สิ่งทดลองมาศึกษาการอบแห้งในขั้นตอนต่อไป

4. การศึกษาผลของอุณหภูมิในการอบแห้งชิ้นมะพร้าวหลังการดึงน้ำออกแบบออสโมซิส

ผลของอุณหภูมิในการอบแห้งชิ้นมะพร้าวหลังการดึงน้ำออกแบบออสโมซิสต่อคะแนนการทดสอบผู้บริโภคด้านความชอบด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale จากผู้ทดสอบจำนวน 30 คน โดยทดสอบความชอบด้านสี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัสและความชอบรวม แสดงดังตารางที่ 4-11 พบว่า คะแนนความชอบด้านสี กลิ่นรสและรสชาติของทุกสิ่งทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) นั้นคือ ชนิดและความเข้มข้นของสารดูดความชื้นในสารละลายออสโมติกและอุณหภูมิในการอบแห้งไม่ส่งผลต่อความชอบของผู้บริโภค โดยได้รับคะแนนในช่วงชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง เมื่อพิจารณาความชอบด้านเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวม พบว่า สิ่งทดลองที่ 8 ที่ใช้สารละลายผสมของน้ำตาลซูโครส 50 กรัม กลูโคส 10 กรัมและซอร์บิทอล 2.61 กรัม ออสโมซิสนาน 4 ชั่วโมงและอบแห้งที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส ได้รับคะแนนความด้านเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมสูงที่สุด ($p\leq0.05$) จากการทดลอง พบว่าคะแนนความชอบโดยรวมมีแนวโน้มเช่นเดียวกับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัส เนื่องจากวัตถุดิบมะพร้าวที่ใช้ในการทดลองมีค่าความแข็งสูง พิจารณาจากค่าแรงตัดขาด อีกทั้งการเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งระหว่างการออสโมซิสส่งผลให้ชิ้นมะพร้าวมีความแข็งเพิ่มขึ้น แต่เนื่องจากสิ่งทดลองที่ 8 มีค่าปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นในขั้นตอนการออสโมซิสต่ำจึงส่งผลให้ชิ้นมะพร้าวมีความแข็งที่เพิ่มขึ้นน้อยกว่าสิ่งทดลองอื่น เนื่องจาก สิ่งทดลองที่ 4 และ 8 มีการใช้สารละลายออสโมติกเช่นเดียวกัน แต่ใช้อุณหภูมิในการอบแห้งต่างกัน กล่าวคือ สิ่งทดลองที่ 4 และ 8 อบแห้งที่อุณหภูมิ 65 และ 75 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ดังนั้น สิ่งทดลองที่ 8 ที่อบแห้งที่อุณหภูมิสูงกว่า จึงใช้เวลาในการอบแห้งน้อยกว่าสิ่งทดลองที่ 4 ที่อบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้ชิ้นมะพร้าวเกิดความแข็งเพิ่มขึ้นที่ผิวหน้า ด้วยเหตุผลดังกล่าว ทำให้สิ่งทดลองที่ 8 มีเนื้อสัมผัสที่แข็งน้อยกว่าสิ่งทดลองอื่น จึงได้คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสสูงที่สุด ($p\leq0.05$)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

5. ผลการศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มะพร้าวกึ่งแห้ง

ผลการศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์มะพร้าวกึ่งแห้งแสดงดังตารางที่ 4-12 ถึง 4-19 เมื่อใช้เกณฑ์การเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์จากปริมาณกรดไขมันอิสระตามมาตรฐานของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2532) มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำมันมะพร้าว (มอก. 203-2520) กำหนดคุณลักษณะที่ต้องการของน้ำมันมะพร้าวในด้านค่าของกรด (Acid Value) ให้มีค่าไม่เกิน 3 mgKOH/ g ค่าเปอร์ออกไซด์ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 57 (พ.ศ. 2524) เรื่อง น้ำมันมะพร้าว กำหนดคุณลักษณะที่ต้องการของน้ำมันมะพร้าวในด้านค่าเปอร์ออกไซด์ให้มีค่าไม่เกิน 10 mEq/ kg คะแนนความเข้มกลิ่นหืนและความเข้มสีน้ำตาลตามคะแนนจากการประเมินทางประสาทสัมผัส กำหนดให้มีค่าคะแนนไม่เกิน 7.4±0.32 และ 8.93±0.29 ตามลำดับ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราตามมาตรฐานของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2532) มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมผลไม้แห้ง (มอก. 919-2352) กำหนดคุณลักษณะที่ต้องการของผลิตภัณฑ์ผลไม้แห้งในด้านปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และปริมาณยีสต์และราให้มีค่าไม่เกิน 1×10^4 และ 1×10^2 CFU/ g ตามลำดับ พบว่า ค่าคุณภาพที่เป็นดัชนีบ่งบอกการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์มะพร้าวกึ่งแห้ง คือ ปริมาณกรดไขมันอิสระ ค่าเปอร์ออกไซด์ และคะแนนความเข้มกลิ่นหืน คือ ตัวอย่างมะพร้าวกึ่งแห้งมีอายุการเก็บที่อุณหภูมิ 45 และ 55 องศาเซลเซียสนาน 21 และ 14 วัน ตามลำดับ และเมื่อทำนายอายุการเก็บรักษาแสดงดังตารางที่ 4-20 พบว่า สามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มะพร้าวกึ่งแห้งได้นาน 43 วันที่อุณหภูมิ 27±2 องศาเซลเซียส

สรุปผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาการใช้สารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ผสมร่วมกับกรดต่อคุณภาพของชิ้นมะพร้าวระหว่างรอการผลิต พบว่า ชิ้นมะพร้าวที่แช่ในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ความเข้มข้น 3,000 ppm ร่วมกับกรดแอสคอร์บิคความเข้มข้น 14.5% ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 5 วัน เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจาก สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ทั้งหมด อีกทั้งยังคงมีคุณภาพตามเกณฑ์มาตรฐาน

2. ผลการศึกษาวิธีการเตรียมชิ้นมะพร้าวขั้นต้นก่อนการดึงน้ำออกแบบออสโมซิสต่อค่าการถ่ายเทมวลสารและคุณภาพของชิ้นมะพร้าว พบว่า การเตรียมขั้นต้น โดยใช้สภาวะสุญญากาศแบบ 50WP เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจาก มีค่าการถ่ายเทมวลสารสูงที่สุด

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

3. ผลการศึกษาชนิดและความเข้มข้นของสารดูดความชื้นในสารออสโมติกที่เหมาะสมสำหรับการดึงน้ำออกจากชิ้นมะพร้าวแบบออสโมซิส พบว่า สารละลายออสโมติกที่เหมาะสมสำหรับการดึงน้ำออกจากชิ้นมะพร้าวแบบออสโมซิส คือ การใช้สารละลายผสมของน้ำตาลซูโครส 50 กรัม ซอร์บิทอล 10 กรัมและกลูโคส 2.61 กรัม

4. ผลการศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มะพร้าวกึ่งแห้ง พบว่า ค่าคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องที่ระยะเวลาการเก็บ 7 และ 14 วันมีค่าใกล้เคียงกัน แล้วมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บ 21-28 วัน ขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียสเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว จากการทำนายอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 27±2 องศาเซลเซียส พบว่า ผลิตภัณฑ์สามารถเก็บรักษาได้นาน 43 วัน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University