บทที่ 5
อภิปรายและสรุปผล

อภิปรายผลการวิจัย

ตอนที่ 1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของวัตถุดิบกล้วยไข่ที่ใช้ในการวิจัย

เมื่อพิจารณาค่าสีของเปลือกกล้วยไข่ พบว่า มีค่า L* a* และ b* เท่ากับ 63.16 -9.46 และ 43.77 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า มีความสว่างมาก โดยมีสีออกเขียวอมเหลือง เนื่องจากมีค่า a* เป็นค่าลบ (-) และมีค่า b* เป็นค่าบวก (+) เมื่อนำมาคำนวณหาค่า Hue angle และ Chroma พบว่า มีค่าเท่ากับ 102.19 และ 44.78 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า เปลือกกล้วยไข่มีเฉดสีอยู่ในช่วงของสีเหลืองถึงสีเหลืองเขียว (90-135 องศา) และมีสีค่อนข้างเข้ม ซึ่งสอดคล้องกับสีของเปลือกกล้วยที่เห็นด้วยตาเปล่า คือ เปลือกกล้วยไข่มีสีเขียวอมเหลือง เนื่องจากกล้วยที่ใช้ในการวิจัย คือ กล้วยไข่ห่าม มีการสุกแล้วบางส่วนประมาณร้อยละ 30 เปลือกกล้วยเริ่มเปลี่ยนสีจากสีเขียวเป็นสีเหลือง ในระหว่างการสุกของผลไม้ ก๊าซเอทิลีนจะกระตุ้นให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ที่เปลือกผลไม้ลดลงและทำให้สีเหลืองของคาโรทีนอยด์ ได้แก่ α-Carotene, β-Carotene และ Lutein ที่มีอยู่ปรากฏให้เห็นชัดขึ้น (Goldstein & Wick, 1969) จึงเห็นได้ว่า เปลือกกล้วยไข่มีทั้งสีเขียวและเหลืองผสมกัน สำหรับค่าสีของเนื้อกล้วยไข่ พบว่า มีค่า L* a* และ b* เท่ากับ 71.07 8.88 และ 40.00 ตามลำดับ เมื่อนำมาคำนวณหาค่า Hue angle และ Chroma พบว่า มีค่าเท่ากับ 77.49 และ 40.97 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า เนื้อกล้วยไข่มีเฉดสีอยู่ในช่วงของสีส้มแดงถึงสีเหลือง (45-90 องศา) และมีสีค่อนข้างเข้ม ซึ่งมีความสอดคล้องกับลักษณะที่มองเห็นเช่นเดียวกัน คือ กล้วยไข่ มีเนื้อสีขาวอมเหลือง โดยปกติกล้วยดิบจะมีเนื้อสัมผัสที่ค่อนข้างแน่นแข็ง ในระหว่างการสุกจะเกิดการสร้างก๊าซเอทิลีนเพิ่มขึ้น ตลอดจนกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ต่าง ๆ เช่น Polygalacturonase, Pectin methylesterase และ Cellulase เป็นต้น ทำให้เกิดการสลายตัวของเพคตินซึ่งเป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์ มีผลให้ลักษณะเนื้อสัมผัสอ่อนนุ่มลง (สุจริต ส่วนไพโรจน์, นฤมล พรหมูล และมนูญ ศิรินุพงศ์ , 2549) กล้วยไข่ที่ใช้ในการวิจัยจึงมีเนื้อสัมผัสนิ่มเล็กน้อย โดยมีค่าความแน่นเนื้อเท่ากับ 170.63 กรัม กล้วยเป็นผลไม้ที่มีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นหลังการเก็บเกี่ยว (Climacteric Fruit) จึงทำให้เกิดการคายน้ำในระหว่างการสุก (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2547) จากผลการทดลองพบว่า กล้วยไข่มีปริมาณความชื้นและค่า a_w เท่ากับ ร้อยละ 70.05 และ 0.98 ตามลำดับ ซึ่งจัดเป็นวัตถุดิบที่มีความชื้นสูง จึงมีโอกาสเสื่อมเสียได้ง่าย (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2547) กล้วยไข่ที่ใช้ในการวิจัยเป็นกล้วยห่าม จึงมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดและปริมาณน้ำตาลทั้งหมดค่อนข้างต่ำเท่ากับ 23.67 องศาบริกซ์ และ 7.34 กรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบกับกล้วยไข่สุกงอมที่มีดัชนีสีเปลือกกล้วยระดับที่ 6 คือ เปลือกมีสีเหลืองทั้งผล ซึ่งมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 30.28 องศาบริกซ์ และมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเท่ากับ 21.83 กรัมต่อ 100 กรัม (กองโภชนาการ, 2549) ความหวานของกล้วยมีความสอดคล้องกับระดับความสุกของกล้วย กล่าวคือ กล้วยจะมีปริมาณน้ำตาลสูงเมื่อมีระดับความสุกมากขึ้น เนื่องจากในระหว่างการสุก แป้งในเนื้อกล้วยถูกย่อยโดยเอนไซม์ α-amylase, β-amylase, α-1,6-glucosidase และ Phosphorylase เปลี่ยนเป็นน้ำตาลซูโครส ฟรุคโตส และกลูโคส (Coombe, 1976) เมื่อพิจารณาปริมาณแร่ธาตุที่สำคัญในเนื้อกล้วยไข่ พบว่า กล้วยไข่มีปริมาณเหล็กและแคลเซียม เท่ากับ 0.51 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม และ 3.55 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าที่กองโภชนาการ (2544) รายงานว่า กล้วยไข่มีปริมาณเหล็กและแคลเซียมเท่ากับ 1.00 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม และ 4.00 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ ทั้งนี้อาจแตกต่างกันตามลักษณะพันธุ์ ความแก่อ่อน และวิธีการวิเคราะห์ อย่างไรก็ตามสามารถพิจารณาแนวโน้มได้ว่า กล้วยไข่ที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีปริมาณเหล็กและแคลเซียมต่ำกว่ากล้วยพันธุ์อื่น เช่น กล้วยน้ำว้า และกล้วยหอม ซึ่งมีปริมาณเหล็กเท่ากับ 0.80 และ 1.00 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ และมีปริมาณแคลเซียมเท่ากับ 7 และ 26 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ (กองโภชนาการ, 2544)

ตอนที่ 2 ผลของการออสโมซิสโดยใช้สารละลายผสมต่อค่าการถ่ายเทมวลสารและคุณภาพของกล้วยไข่

2.1 ผลของชนิดของน้ำตาลและการใช้โซเดียมคลอไรด์ต่อค่าการถ่ายเทมวลสารของกล้วยไข่

เมื่อเวลาในการออสโมซิสนานขึ้นทำให้กล้วยไข่มีค่าปริมาณน้ำที่สูญเสีย ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นและปริมาณน้ำหนักที่ลดลงเพิ่มขึ้น สำหรับปริมาณน้ำที่สูญเสียและปริมาณน้ำหนักที่ลดลงมีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและรวดเร็วตลอดช่วงแรกของการออสโมซิส แต่สำหรับปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ โดยเฉพาะในช่วงแรกของการออสโมซิส เนื่องจากในช่วงแรกของการออสโมซิสเกิดความแตกต่างของแรงดันออสโมติกภายในชิ้นผลไม้และสารละลายออสโมติกภายนอกมาก จึงเกิดการถ่ายเทมวลสารของน้ำภายในชิ้นผลไม้และตัวถูกละลายของสารละลายออสโมติกในลักษณะสวนทางกันมาก ส่งผลให้ผลไม้มีปริมาณน้ำหนักที่ลดลงมากด้วย แต่เนื่องจากน้ำตาลและเกลือในสารละลายออสโมติกมีมวลโมเลกุลสูงกว่าน้ำ จึงทำให้น้ำแพร่ออกจากชิ้นกล้วยไข่มากกว่าการแพร่เข้าของสารละลายออสโมติก ส่งผลให้กล้วยไข่มีปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นในช่วงแรกเป็นไปอย่างช้า ๆ และเมื่อเวลาออสโมซิสนานขึ้นเกิดการสะสมของน้ำที่แพร่กระจายออกมารอบ ๆ ชิ้นผลไม้มากขึ้น สารละลายออสโมติกจึงมี

ความเข้มข้นลดลง เป็นผลให้ความแตกต่างของแรงดันออสโมติกน้อยลงจนเข้าสู่สมดุล จึงทำให้เกิดการถ่ายเทมวลสารลดลงและเริ่มคงที่ตามเวลาที่มากขึ้น (Campos, Sato, Tonon, Hubinger, & Cunha, 2012) ซึ่งสอดคล้องกับที่ Aminzadeh, Abarzani, and Sargolzaei (2010) รายงานว่า ค่าการถ่ายเทมวลน้ำและตัวถูกละลายมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการออสโมซิสเมลอน และการสูญเสียน้ำอย่างรวดเร็วและการเพิ่มขึ้นของตัวถูกละลายที่บริเวณผิวหน้าของเมลอน ทำให้บริเวณผิวหน้าเมลอนเกิดการหดตัว เป็นผลให้การถ่ายเทมวลสารของน้ำและของแข็งลดลงเมื่อเวลาในการออสโมซิสนานขึ้น

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อออสโมซิสครบ 9 ชั่วโมง กล้วยไข่มีค่า SG อยู่ในช่วงร้อยละ 0.23-3.58 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า WL ซึ่งอยู่ในช่วงร้อยละ 0.56-19.78 แสดงให้เห็นว่า ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นในกล้วยไข่มีปริมาณน้อยกว่าปริมาณน้ำที่สูญเสีย แม้กลไกการถ่ายเทมวลสารของกล้วยไข่และสารละลายออสโมติกเกิดขึ้นพร้อมกันในลักษณะสวนทางกัน เนื่องจากน้ำตาลและเกลือในสารละลายออสโมติกมีมวลโมเลกุลสูงกว่าน้ำจึงสามารถแพร่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เข้าไปภายในชิ้นผลไม้ได้น้อยกว่าปริมาณน้ำที่แพร่ออกจากชิ้นผลไม้ (Lazarides, Katsanidis, & Nickolaidis, 1995) ทำให้ภายในชิ้นกล้วยไข่มีปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้นน้อยกว่า ดังนั้นค่า SG จึงต่ำกว่า WL มาก

เมื่อพิจารณาแนวโน้มค่า WL SG และ WR ตลอดการออสโมซิส 9 ชั่วโมง พบว่า การใช้สารละลายผสมระหว่างน้ำตาลและโซเดียมคลอไรด์ทำให้กล้วยไข่มีค่า WL SG และ WR เพิ่มสูงขึ้นมากกว่าการใช้สารละลายซูโครสและโอลิโกฟรุคโตสเพียงอย่างเดียว การเติมโซเดียมคลอไรด์เป็นการเพิ่มแรงขับให้สารละลายออสโมติก แม้เติมไปในปริมาณเล็กน้อยก็ตาม เนื่องจากโซเดียมคลอไรด์มีขนาดโมเลกุลต่ำ (58.44 กรัมต่อโมล) และมีสมบัติละลายในน้ำได้ดี มีผลทำให้สารละลายออสโมติกสามารถแพร่เข้าไปในเนื้อเยื่อผลไม้ได้มาก ในขณะเดียวกันช่วยกระตุ้นให้น้ำภายในเซลล์ถูกขับออกมาได้มากเช่นกัน (Ali, Moharram, Ramadan, & Ragab, 2010) จึงส่งผลให้กล้วยไข่มีค่าการถ่ายเทมวลสารเพิ่มขึ้น นอกจากนี้โซเดียมคลอไรด์สามารถลดโอกาสการเกิดผลึกของน้ำตาลที่เคลือบบริเวณผิวหน้าของชิ้นผลไม้ได้ จึงช่วยให้น้ำแพร่ออกจากเนื้อเยื่อผลไม้ได้ (Tortoe, 2010) และพบว่าการใช้ซูโครสเป็นสารละลายออสโมติกทำให้มีค่า WL มากกว่าการใช้โอลิโกฟรุคโตส เนื่องจากซูโครสเป็นน้ำตาลประเภทไดแซคคาไรด์มีขนาดโมเลกุล (342.30 กรัมต่อโมล) เล็กกว่าโอลิโกฟรุคโตส (828 กรัมต่อโมล) ซึ่งเป็นน้ำตาลประเภทโพลีแซคคาไรด์ จึงทำให้โมเลกุลของซูโครสสามารถแพร่ผ่านเข้าไปในเนื้อเยื่อผลไม้ได้ง่ายและมากกว่าโมเลกุลของโอลิโกฟรุคโตส ส่งผลให้เกิดแรงขับมากกว่า ทำให้น้ำสูญเสียออกจากเซลล์ได้ดีกว่า หรือกล่าวได้ว่าซูโครสมีแรงดันออสโมติกสูงกว่า (Khan, 2012) สอดคล้องกับผลทดลองของ Matusek et al. (2008 b) ที่ศึกษาผลของการออสโมซิสแอปเปิลในสารละลายโอลิโกฟรุคโตสและซูโครสความเข้มข้นร้อยละ 60 ที่อุณหภูมิ 40

องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาที พบว่า การใช้ซูโครสเป็นสารละลายออสโมติกทำให้แอปเปิลมีค่า WL มากกว่าการใช้โอลิโกฟรุคโตส 0.4 กรัมต่อกรัม และการใช้ซูโครสเป็นสารละลายออสโมติกทำให้ชิ้นแอปเปิลมีค่า SG มากกว่าการใช้โอลิโกฟรุคโตสประมาณ 2 เท่า

เมื่อพิจารณาเวลาการออสโมซิสที่ทำให้ค่าการถ่ายเทมวลสารคงที่หรือเวลาสมดุล เพื่อใช้กำหนดเวลาในการออสโมซิส พบว่า การใช้สารละลายผสมระหว่างซูโครสและโซเดียมคลอไรด์ใช้เวลาการออสโมซิสหรือเวลาสมดุลช้าที่สุด (7 ชั่วโมง) เมื่อเปรียบเทียบกับเวลาสมดุลของสิ่งทดลองอื่น (6 ชั่วโมง) และพบว่า มีผลทำให้ค่า WL SG และ WR มีค่ามากกว่าสิ่งทดลองอื่น ซึ่งอยู่ในช่วงร้อยละ 3.04-11.89 1.00-1.32 และ 2.13-10.76 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากการใช้สารละลายผสมระหว่างซูโครสและโซเดียมคลอไรด์ทำให้เกิดความแตกต่างของแรงดันออสโมติกระหว่างภายในเซลล์กล้วยไข่และสารละลายออสโมติกมาก เกิดเป็นแรงขับ (Driving force) สูง ทำให้มีการถ่ายเทมวลสารระหว่างเซลล์กล้วยไข่และสารละลายออสโมติกมาก เป็นผลให้ใช้เวลาการออสโมซิสที่ทำให้ถึงจุดสมดุลของน้ำภายในเซลล์กล้วยไข่และสารละลายออสโมติกภายนอกช้ากว่าสิ่งทดลองอื่น รวมถึงมีค่า WL SG และ WR มากกว่าสิ่งทดลองอื่น อย่างไรก็ตามการพิจารณาเวลาการออสโมซิสที่เหมาะสมนอกจากจะพิจารณาค่าการถ่ายเทมวลสารแล้ว ควรพิจารณาร่วมกับลักษณะปรากฏของกล้วยไข่หลังการออสโมซิสร่วมด้วย Tortoe (2010) กล่าวว่า โดยปกติการออสโมซิสช่วยลดปริมาณน้ำในผักผลไม้ได้ โดยการใช้เวลาการออสโมซิสมากมีแนวโน้มช่วยลดปริมาณน้ำได้มากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการออสโมซิสผักผลไม้เป็นเวลานาน อาจมีผลให้ลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส แตกต่างไปจากผักผลไม้สดไปมาก จากผลการทดลองพบว่า หากใช้เวลาการออสโมซิสตั้งแต่ 7 ชั่วโมงขึ้นไป สังเกตเห็นว่า กล้วยไข่มีความนิ่มมากและมีลักษณะช้ำ เป็นลักษณะปรากฏที่แตกต่างจากกล้วยไข่สดมากกว่ากล้วยไข่ที่ผ่านการออสโมซิส 6 ชั่วโมง ซึ่งกล้วยไข่มีความนิ่มเล็กน้อยและยังไม่มีลักษณะช้ำ Prinzivalli, Brambilla, Maffi, Scalzo, and Torreggiani (2006) กล่าวว่า ระยะเวลาการแช่ชิ้นผักผลไม้ในสารละลายออสโมติกมีผลต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบเพคตินในผนังเซลล์ของผักผลไม้ โดยทำให้ปริมาณโปรโตเพคตินในผักผลไม้ลดลง เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนรูปเป็นเพคตินที่ละลายน้ำ หรืออาจกล่าวได้ว่า การแช่ชิ้นผลไม้ในสารละลายออสโมติก ทำให้การยึดเกาะกันระหว่างเซลล์ของโปรโตเพคตินลดลง เนื่องจากเอนไซม์เพคตินเมทิลเอสเทอเรส (Pectin Methyl Esterase) ที่มีอยู่ในผลไม้ เกิดการย่อยโปรโตเพคตินไปเป็นเพคตินที่ละลายน้ำได้ เซลล์ผักผลไม้จึงอ่อนตัวลง เป็นผลให้ชิ้นผลไม้มีลักษณะนิ่มและช้ำมากขึ้น จากผลการทดลองนี้เพื่อเป็นการประหยัดเวลาในการออสโมซิสและรักษาลักษณะปรากฏของกล้วยไข่ให้ใกล้เคียงกับกล้วยไข่สดและลดโอกาสการไม่ยอมรับของผู้บริโภคได้ จึงกำหนดเวลาในการออสโมซิสในขั้นตอนต่อไปเท่ากับ 6 ชั่วโมง

2.2 ผลของความเข้มข้นของโอลิโกฟรุคโตสและซูโครสต่อค่าการถ่ายเทมวลสารและคุณภาพของกล้วยไข่

สิ่งทดลองที่ 4 เป็นการใช้โอลิโกฟรุคโตสร่วมกับซูโครสในระดับสูง (+1, +1) ซึ่งใช้ตัวถูกละลายปริมาณมาก ทำให้สารละลายออสโมติกมีความเข้มข้นสูง ส่งผลให้เกิดแรงดันออสโมติกมาก เกิดการแพร่ของน้ำจากชิ้นกล้วยไข่และตัวถูกละลายจากสารละลายออสโมติกในลักษณะสวนทางกันมาก เป็นผลให้กล้วยไข่มีค่าการถ่ายเทมวลสารทุกค่าสูงที่สุด นอกจากนี้การแช่ชิ้นผลไม้ในสารละลายออสโมติกความเข้มข้นสูงเป็นเวลานาน ทำให้โครงสร้างทางกายภาพของเซลล์พืชเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งทำให้เกิดปรากฏการณ์พลาสโมไลซิส (Plasmolysis) โดยเกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของผนังเซลล์ทำให้ความแข็งแรงของผนังเซลล์ลดลงหรือเกิดการเสียรูปของผนังเซลล์ ส่งผลให้เยื่อหุ้มเซลล์ยอมให้เกิดการถ่ายเทมวลสารได้มาก (นวภัทรา หนูนาค และอมรรัตน์ มุขประเสริฐ, 2554) ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 1 และ 5 เป็นการใช้โอลิโกฟรุคโตสร่วมกับซูโครสในปริมาณน้อยทำให้สารละลายออสโมติกมีความเข้มข้นต่ำ ส่งผลให้เกิดแรงดันออสโมติกน้อยกว่า มีรายงานว่า การใช้สารละลายความเข้มข้นต่ำทำให้แรงขับในกระบวนการออสโมซิสต่ำถึงแม้ว่าจะใช้เวลาออสโมซิสนาน การถ่ายเทมวลสารจึงเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ (Agarry & Owabor, 2012) ผลงานวิจัยของนักวิจัยหลายท่านพิสูจน์ให้เห็นว่า ค่าการถ่ายเทมวลสารในการออสโมซิสผักผลไม้มีค่ามาก เมื่อใช้สารละลายน้ำตาลความเข้มข้นร้อยละ 60-70 (Chaven, 2012; Khan, Shukla, & Zaidi, 2011; Jalali, Narain, & Silva, 2008) อย่างไรก็ตามการใช้สารละลายน้ำตาลความเข้มข้นมากกว่าร้อยละ 70 มีแนวโน้มทำให้ค่าการถ่ายเทมวลสารลดลงได้ เนื่องจากสารละลายน้ำตาลที่มีความเข้มข้นสูง มีโอกาสเกิดเป็นชั้นฟิล์มบาง ๆ ของน้ำตาลเคลือบบนผิวหน้าของชิ้นผักผลไม้ เป็นการขัดขวางการถ่ายเทมวลสารทำให้เกิดการแพร่ของน้ำและของแข็งในระหว่างการออสโมซิสช้าลง (Agarry & Owabor, 2012) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Fazli and Ahani (2010) พบว่า การใช้ซูโครสความเข้มข้นร้อยละ 75 ทำให้สารละลายมีความหนืดมาก ทำให้เกิดชั้นฟิล์มหรือผลึกของน้ำตาลบาง ๆ เคลือบบนผิวหน้าของชิ้นอาหารระหว่างการออสโมซิส ทำให้ขัดขวางการเคลื่อนที่ของน้ำและตัวถูกละลายระหว่างการออสโมซิส สำหรับงานวิจัยนี้ใช้ความเข้มข้นของน้ำตาลอยู่ในช่วงร้อยละ 45-66 จึงมีความเป็นไปได้ว่ายังไม่เกิดชั้นฟิล์มของน้ำตาลที่ไปขัดขวางการถ่ายเทมวลสาร

จากสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าการถ่ายเทมวลสาร WL SG และ WR ของกล้วยไข่หลังการออสโมซิสกับความเข้มข้นของโอลิโกฟรุคโตสและซูโครส สามารถพิจารณาความน่าเชื่อถือของสมการจากค่า R^2 ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ค่า Model Significance ซึ่งบอกความสัมพันธ์ระหว่างค่า Y และค่า X โดยการทดลองนี้กำหนดให้ Y คือ ค่าการถ่ายเทมวลสาร

(WL SG และ WR) และ X คือ ความเข้มข้นของโอลิโกฟรุคโตส (OLF) และซูโครส (SU) และค่า RMS ซึ่งบ่งบอกความคลาดเคลื่อนของการทำนายจากการใช้สมการ พบว่า สมการค่าการถ่ายเทมวลสาร WL SG และ WR ทุกสมการมีความน่าเชื่อถือสำหรับการทำนายตามเกณฑ์ โดยมีค่า R^2 มากกว่า 0.75 มีค่า Model Significance น้อยกว่า 0.05 และมีค่า RMS น้อยกว่าร้อยละ 20 (Hu, 1999; Julian, 2004) โดยสมการที่ได้ทั้งหมดมีรูปสมการความสัมพันธ์แบบสมการรีเกรชชันเชิงเส้นตรงแบบพหุ (Multiple Linear Regression) กล่าวคือ ความเข้มข้นของโอลิโกฟรุคโตสและซูโครสมีอิทธิพลเชิงเส้นต่อค่า WL SG และ WR เมื่อนำสมการทั้งหมดมาสร้างกราฟพื้นผิวการตอบสนอง พบว่า การเปลี่ยนแปลงค่า WL SG และ WR มีแนวโน้มในทางเดียวกัน คือ เมื่อเพิ่มปริมาณของโอลิโกฟรุคโตสและซูโครสทำให้ค่า WL SG และ WR เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มความเข้มข้นของตัวถูกละลายทำให้เกิดความแตกต่างของแรงดันออสโมติกระหว่างเซลล์กล้วยไข่และสารละลายออสโมติกมากขึ้น เกิดเป็นแรงขับทำให้มีการถ่ายเทมวลสารมาก ค่า WL SG และ WR จึงเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ในระหว่างกระบวนการออสโมซิสความเข้มข้นของสารละลายจะเจือจางลง ส่งผลให้แรงดันออสโมติกลดลง แต่หากใช้สารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นมากเพียงพอตั้งแต่เริ่มต้น แม้ความเข้มข้นมีการเจือจางลงในระหว่างการออสโมซิสจะยังคงมีความเข้มข้นเพียงพอที่จะรักษาระดับแรงดันออสโมติกไว้ได้ จึงเกิดแรงขับให้เกิดการถ่ายเทมวลสารตลอดกระบวนการ ปริมาณการแพร่ของน้ำออกจากตัวอย่างและการแพร่ของของแข็งเข้าสู่ตัวอย่างจึงมีค่าสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารละลายออสโมติกที่ความเข้มข้นต่ำกว่า (นวภัทรา หนูนาค และอมรรัตน์ มุขประเสริฐ, 2554) และจากภาพพื้นผิวการตอบสนองสามารถพิจารณาได้ว่า หากต้องการให้กล้วยไข่มีค่าการถ่ายเทมวลสารสูงควรมีการใช้โอลิโกฟรุคโตสและซูโครสร่วมกันในระดับสูง ตัวอย่างเช่น จากภาพที่ 4-5 การใช้โอลิโกฟรุคโตสร่วมกับซูโครสในระดับสูงที่สุด (+1.414, +1.414) ซึ่งประกอบด้วยโอลิโกฟรุคโตส 50 กรัมต่อ 100 กรัม และซูโครส 20 กรัมต่อ 100 กรัม ทำให้กล้วยไข่หลังการออสโมซิสมีค่า WL SG และ WR เท่ากับ ร้อยละ 24.77 2.32 และ 22.33 ตามลำดับ ในทางตรงกันข้ามหากใช้โอลิโกฟรุคโตสร่วมกับซูโครสในระดับต่ำที่สุด (-1.414, -1.414) ซึ่งประกอบด้วยโอลิโกฟรุคโตส 30 กรัมต่อ 100 กรัม และซูโครส 10 กรัมต่อ 100 กรัม ทำให้กล้วยไข่หลังการออสโมซิสมีค่า WL SG และ WR เท่ากับร้อยละ 19.51 1.00 และ 18.39 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า การสร้างกราฟพื้นผิวการตอบสนองมีประโยชน์ในการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นกับค่าตอบสนอง โดยสามารถแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าตอบสนองที่สนใจ เมื่อระดับของปัจจัยที่ศึกษาเปลี่ยนแปลงไป เพื่อเลือกจุดที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ค่าตอบสนองที่ดีที่สุด ผลการทดลองยังคงยืนยันให้เห็นว่า ค่า SG ของสิ่งทดลองมีค่าต่ำกว่า WL มาก ซึ่งแสดงถึงปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นในชิ้นกล้วยไข่มีค่าเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เมื่อเทียบกับปริมาณ

น้ำที่สูญเสียจากชิ้นกล้วยไข่ เนื่องจากโอลิโกฟรุคโตส ซูโครส และโซเดียมคลอไรด์มีมวลโมเลกุลสูงกว่าน้ำ จึงแพร่เข้าไปในชิ้นกล้วยไข่ได้น้อยกว่าการแพร่ออกของน้ำโดยค่า SG ต่ำกว่าค่า WL ประมาณร้อยละ 18.90-21.70 สอดคล้องกับงานวิจัยของนักวิจัยหลายท่านที่พบว่า ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นในระหว่างการออสโมซิสผักผลไม้มีค่าน้อยกว่าปริมาณน้ำที่สูญเสียประมาณร้อยละ 20 (Mastrantonio, Pereira, & Hubinger, 2005; Khan et al., 2011; Nimmanpipug & Therdthai, 2013) จึงมีผลทำให้น้ำหนักสุทธิของชิ้นผลไม้หลังการออสโมซิสลดลง ค่า WR จึงมีแนวโน้มและมีค่าใกล้เคียงกับค่า WL

เมื่อพิจารณากล้วยไข่หลังการออสโมซิส พบว่า กล้วยไข่หลังการออสโมซิสทุกสิ่งทดลองมีลักษณะปรากฏที่ไม่แตกต่างจากกล้วยไข่สดมากนัก โดยชิ้นกล้วยไข่ทุกสิ่งทดลองยังคงมีสีคล้ายตามธรรมชาติของสีกล้วย ไม่ดำคล้ำ แต่มีสีเหลืองเข้มขึ้นเล็กน้อย โดยยังคงมีรูปร่างเป็นชิ้นสมบูรณ์ไม่นิ่มเละ อย่างไรก็ตามเมื่อนำมาวัดค่าสีโดยใช้เครื่องวัดสี ซึ่งมีความละเอียดมากกว่าการประเมินด้วยสายตา พบว่า การใช้โอลิโกฟรุคโตสร่วมกับซูโครสในระดับสูง (+1, +1) ซึ่งใช้ตัวถูกละลายปริมาณมาก มีแนวโน้มทำให้กล้วยไข่หลังการออสโมซิสมีสีเหลืองสว่างและไม่ดำคล้ำ ทั้งนี้เนื่องจากการใช้สารละลายน้ำตาลผสมความเข้มข้นสูงทำให้น้ำตาลซึ่งมีสมบัติทำหน้าที่เคลือบชิ้นอาหารไม่ให้สัมผัสกับออกซิเจนในอากาศในระหว่างการออสโมซิส จึงมีสมบัติในการป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้ลดการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นรอบ ๆ ชิ้นผลไม้ได้ (Khan, 2012) ในขณะที่การใช้โอลิโกฟรุคโตสร่วมกับซูโครสในระดับต่ำ (-1, -1) ซึ่งเป็นการใช้สารละลายน้ำตาลผสมความเข้มข้นต่ำ อาจทำให้น้ำตาลมีโอกาสเคลือบชิ้นกล้วยไข่ได้ไม่ทั่วถึง เป็นผลให้กล้วยไข่หลังการออสโมซิสมีสีเหลืองสว่างลดลงและมีสีคล้ำมากกว่า นอกจากนี้มีงานวิจัยของนักวิจัยหลายท่านรายงานว่า การใช้สารละลายน้ำตาลความเข้มข้นสูงร้อยละ 60-70 สามารถรักษาคุณภาพด้านสีของชิ้นผลไม้ที่ผ่านการออสโมซิสไม่ให้ดำคล้ำได้ดีกว่าการใช้สารละลายน้ำตาลความเข้มข้นต่ำร้อยละ 40-50 (Mastrantonio et al., 2005; Khan, 2012; Chavan, 2012) อย่างไรก็ตามกล้วยไข่ทุกสิ่งทดลองผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยแช่ในสารละลายกรดซิตริกซึ่งช่วยยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลของผักผลไม้ระหว่างการออสโมซิสได้ เนื่องจากสภาวะกรดทำให้โพลีฟีนอลออกซิเดสในผักผลไม้อยู่ในสภาวะที่ไม่เหมาะสมที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้ (Campos et al., 2012) จึงทำให้กล้วยไข่หลังการออสโมซิสทุกสิ่งทดลองจึงยังคงมีสีเหลืองและไม่ดำคล้ำมากนัก ซึ่งสอดคล้องกับค่า Hue angle และ Chroma ที่พบว่า กล้วยไข่หลังการออสโมซิสทุกสิ่งทดลองมีเฉดสีเข้าใกล้กลุ่มสีเหลือง (90 องศา) และมีค่าความเข้มมาก และจากผลการทดลองพบว่า มีค่าการเปลี่ยนแปลงของสีไม่มากนัก ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันกับงานวิจัยของ Atares et al. (2011) ที่พบว่า การใช้ซูโครสความเข้มข้น ร้อยละ 45-65

ทำให้กล้วยหอมหลังการออสโมซิสเป็นเวลา 4 ชั่วโมงมีค่า ΔE อยู่ในช่วง 7-15 ซึ่งจัดว่าอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถรักษาคุณภาพด้านสีไว้ได้ใกล้เคียงกับกล้วยหอมสด

เมื่อพิจารณาค่าความแน่นเนื้อของกล้วยไข่หลังการออสโมซิส พบว่า การใช้โอลิโกฟรุคโตสร่วมกับซูโครสในระดับสูง (+1, +1) และการใช้โอลิโกฟรุคโตสระดับกึ่งกลางร่วมกับซูโครสในระดับสูงที่สุด (0, +1.414) ทำให้กล้วยไข่มีค่าความแน่นเนื้อสูงที่สุด เนื่องมาจากตัวถูกละลายในสารละลายออสโมติกมีปริมาณมาก จึงมีโอกาสแพร่เข้าไปในชิ้นกล้วยไข่ได้มาก ส่งผลให้ตัวอย่างมีปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้น นอกจากนี้สิ่งทดลองดังกล่าวยังมีแรงดันออสโมติกสูงที่จะทำให้น้ำในชิ้นกล้วยไข่แพร่ออกมาได้มากกว่าสิ่งทดลองอื่น จึงทำให้กล้วยไข่มีเนื้อสัมผัสแน่นแข็งกว่าสิ่งทดลองอื่น ทั้งนี้สอดคล้องกับเหตุผลของ Tortoe (2010) ที่อธิบายไว้ว่า ลักษณะเนื้อสัมผัสของตัวอย่างหลังการออสโมซิสมักสัมพันธ์กับชนิดและปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นหลังการออสโมซิส ซึ่งจากผลการทดลองสังเกตเห็นว่า การใช้ซูโครสในระดับสูงที่สุด (+1.414) ในสิ่งทดลองที่ 8 ทำให้กล้วยไข่หลังการออสโมซิสมีค่าความแน่นเนื้อมากกว่าการใช้โอลิโกฟรุคโตสในระดับสูงที่สุด (+1.414) ในสิ่งทดลองที่ 6 เนื่องจากการใช้ปริมาณซูโครสมาก ทำให้โมเลกุลของซูโครสมีโอกาสแพร่เข้าไปในชิ้นกล้วยไข่ได้มาก ซึ่งสอดคล้องกับที่ เกวลิน หอมหวน, ไพโรจน์ วิริยจารี, ศักดา พรึงลำภู, โพธิ์ศรี ลีลาภัทธ์ และเรวัตร พงษ์พิสุทธินันท์ (2556) กล่าวว่า โมเลกุลของซูโครสที่แพร่เข้าไปในเซลล์ผลไม้สามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับโพลีแซกคาไรด์ในผนังเซลล์ ทำให้ผนังเซลล์มีความแข็งแรงมากขึ้น ส่งผลให้เนื้อสัมผัสของผลไม้หลังการออสโมซิสยังคงมีความแน่นเนื้อดีและสอดคล้องกับงานวิจัยของ งามจิตร โล่วิทูล (2551) ที่พบว่า การใช้ซูโครสเป็นสารละลายออสโมติกสามารถปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของเงาะให้มีความแน่นเนื้อดีขึ้นก่อนการนำไปแช่แข็ง

เมื่อพิจารณาปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด พบว่า กล้วยไข่หลังการออสโมซิสมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 27.67-44.00 องศาบริกซ์ โดยกล้วยไข่ก่อนการออสโมซิสมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 23.67 องศาบริกซ์ สำหรับสารละลายออสโมติกหลังการออสโมซิสมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 21.50-28.50 องศาบริกซ์ ในขณะที่สารละลายออสโมติกก่อนการออสโมซิสมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 50.00-71.00 องศาบริกซ์ แสดงให้เห็นว่า กล้วยไข่หลังการออสโมซิสมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้นจากของแข็งที่แพร่จากสารละลายออสโมติก จึงทำให้หลังการออสโมซิสสารละลายออสโมติกจึงมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการออสโมซิสจะเกิดกลไกการถ่ายเทมวลสารระหว่างเซลล์ผลไม้และสารละลายออสโมติกในลักษณะสวนทางกัน (Torregiani, 1993) น้ำในเซลล์กล้วยไข่สามารถแพร่ออกไปยังสารละลายออสโมติก ในขณะเดียวกันโมเลกุลของตัวถูกละลาย คือ น้ำตาลและโซเดียมคลอไรด์สามารถแพร่เข้าสู่ชิ้นกล้วยไข่ เป็นผลทำให้ความเข้มข้นของสารละลาย

ออสโมติกเจือจางลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Bchir et al. (2012) พบว่า การออสโมซิสเมล็ดทับทิมในสารละลายผสมระหว่างซูโครสร้อยละ 50 และน้ำอินทผาลัมที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 21 องศาบริกซ์ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทำให้เมล็ดทับทิมมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้นจาก 15.50 องศาบริกซ์ เป็น 49.10 องศาบริกซ์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การออสโมซิสสามารถเพิ่มปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในเมล็ดทับทิมได้ เมื่อพิจารณาปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในชิ้นกล้วยไข่ พบว่า การใช้โอลิโกฟรุคโตสร่วมกับซูโครสในระดับสูง (+1, +1) และการใช้โอลิโกฟรุคโตสในระดับสูงที่สุดร่วมกับซูโครสในระดับกึ่งกลาง (+1.414, 0) ทำให้กล้วยไข่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดสูงมากกว่าการใช้สารละลายออสโมติกความเข้มข้นต่ำ เนื่องจากการใช้สารละลายน้ำตาลผสมความเข้มข้นสูงทำให้เกิดแรงดันออสโมติกระหว่างเซลล์ผลไม้และสารละลายออสโมติกมาก เยื่อเลือกผ่านของเซลล์จึงยอมให้โมเลกุลของตัวถูกละลายผ่านเข้าไปในชิ้นผลไม้ได้มาก (งามจิตร โล่วิทูล, 2551)

ในการทดลองวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดตามวิธีของ Lane and Eynon โดยแสดงถึงผลรวมของน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing Sugar) เช่น กลูโคสและฟรุคโตส และน้ำตาลนอนรีดิวซ์ (Non-Reducing Sugar) เช่น ซูโครส (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549) ซึ่งกล้วยไข่หลังการออสโมซิสคาดว่ามีองค์ประกอบของน้ำตาลกลูโคส ฟรุคโตส และซูโครส ดังนั้นผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่แสดงไว้ จึงเป็นน้ำตาลสุทธิที่มีในองค์ประกอบกล้วยไข่ ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของกล้วยไข่หลังการออสโมซิส พบว่า มีแนวโน้มคล้ายกับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในชิ้นกล้วยไข่หลังการออสโมซิส คือ การใช้สารละลายออสโมติกที่ใช้น้ำตาลความเข้มข้นสูงมีผลทำให้กล้วยไข่มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดสูง เนื่องจากในสารละลายออสโมติกมีปริมาณน้ำตาลมาก จึงมีโอกาสแพร่เข้าไปในกล้วยไข่ได้มากกว่า

เมื่อพิจารณาคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบ พบว่า กล้วยไข่หลังการออสโมซิสทุกสิ่งทดลองได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏและสีค่อนข้างสูง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกล้วยไข่ทุกสิ่งทดลองยังคงมีลักษณะปรากฏและสีไม่แตกต่างจากกล้วยไข่สดมากนัก ในการทดลองกำหนดให้เติมโซเดียมคลอไรด์ร่วมด้วยในสารละลายออสโมติกทุกสิ่งทดลอง จึงทำให้สารละลายออสโมติกมีรสเค็ม ดังนั้นหากใช้ปริมาณน้ำตาลโอลิโกฟรุคโตสหรือซูโครสในความเข้มข้นต่ำทำให้กล้วยไข่หลังการออสโมซิสมีรสเค็มมากและรสหวานน้อย ซึ่งผู้บริโภคอาจไม่คุ้นเคยกับรสชาติในลักษณะนี้ จึงเป็นผลให้ได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสและรสชาติค่อนข้างน้อย แต่ถ้าใช้สารละลายน้ำตาลที่มีความเข้มข้นสูงขึ้น ทำให้กล้วยไข่หลังการออสโมซิสมีรสหวานมากขึ้น ผู้บริโภคมีความคุ้นเคยมากกว่า ส่งผลให้สิ่งทดลองได้รับคะแนนความชอบด้านรสชาติเพิ่มขึ้น สำหรับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัส พบว่า มีความสอดคล้องกับค่าความแน่นเนื้อ (ตารางที่ 4-9)

ที่พบว่า การใช้โอลิโกฟรุคโตสร่วมกับซูโครสในปริมาณมากมีผลทำให้กล้วยไข่หลังการออสโมซิสมีความแน่นเนื้อมาก กล้วยไข่จึงมีเนื้อสัมผัสที่ไม่นิ่มจนเกินไป ส่งผลให้ได้รับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสสูงด้วย และเป็นผลให้การใช้โอลิโกฟรุคโตสร่วมกับซูโครสในระดับสูง (+1, +1) ในสิ่งทดลองที่ 4 ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด

ในการคัดเลือกสิ่งทดลองพบว่า การใช้โอลิโกฟรุคโตสและซูโครสในระดับสูง (+1, +1) ซึ่งประกอบด้วยโอลิโกฟรุคโตส 47 กรัมต่อ 100 กรัม และซูโครส 19 กรัมต่อ 100 กรัม ร่วมกับการเติมโซเดียมคลอไรด์ 5 กรัมต่อ 100 กรัม มีความเหมาะสมที่สุดที่จะนำมาใช้เป็นสารละลายออสโมติกในการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสของกล้วยไข่ในขั้นตอนต่อไป เนื่องจากมีค่าการถ่ายเทมวลสารทุกค่าสูงที่สุด (WL เท่ากับ ร้อยละ 24.05 SG เท่ากับ ร้อยละ 2.35 และ WR เท่ากับ ร้อยละ 21.70) โดยได้รับคะแนนความชอบด้านโดยรวมสูงที่สุด (7.4 คะแนน อยู่ในระดับชอบปานกลาง) และเมื่อพิจารณาร่วมกับค่าคุณภาพด้านอื่น ๆ พบว่า กล้วยไข่หลังการออสโมซิสที่สิ่งทดลองดังกล่าวได้รับคะแนนความชอบทุก ๆ ด้านสูง ตั้งแต่ 6 ขึ้นไป (6.4-8.0 คะแนน อยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบมาก) มีค่าความแน่นเนื้อสูง (155.69 กรัม) โดยยังคงมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดีและใกล้เคียงกับกล้วยไข่สดมากที่สุด ถึงแม้ว่าสิ่งทดลองจะมีค่าการเปลี่ยนแปลงของสีสูงที่สุด (11.75) แต่ค่าการเปลี่ยนแปลงของสีที่เพิ่มขึ้นนั้น เกิดจากกล้วยไข่หลังการออสโมซิสมีสีเหลืองเข้มขึ้น ซึ่งไม่ได้มีผลทำให้คุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้านต่าง ๆ ไม่เป็นที่ยอมรับ และแม้ว่ากล้วยไข่หลังการออสโมซิสในสิ่งทดลองนี้มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดสูงที่สุด (16.14 กรัมต่อ 100 กรัม) แต่ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดนี้ยังคงมีปริมาณต่ำกว่าผลิตภัณฑ์กล้วยกึ่งแห้ง (กล้วยตาก) ที่จำหน่ายในท้องตลาดที่มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเท่ากับ 64.10 กรัมต่อ 100 กรัม (กองโภชนาการ, 2544) และงานวิจัยนี้มีความมุ่งหมายที่จะใช้โอลิโกฟรุคโตสแทนการใช้ซูโครสในปริมาณมากที่สุด ซึ่งสิ่งทดลองที่เลือกนี้มีการใช้โอลิโกฟรุคโตสในระดับสูง จึงส่งผลดีต่อสุขภาพ เนื่องจากโอลิโกฟรุคโตสเป็นแหล่งของใยอาหารที่ดีและมีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติก อีกทั้งโอลิโกฟรุคโตสยังให้ความหวานน้อยกว่าซูโครสประมาณประมาณร้อยละ 50 (อัสวิทย์ ปัทมะเวณุ, 2539) จึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีรสชาติไม่หวานมากจนเกินไป

ตอนที่ 3 ผลของการใช้สภาวะสุญญากาศในการเตรียมขั้นต้นก่อนการออสโมซิสต่อค่าการถ่ายเทมวลสารและคุณภาพของกล้วยไข่

การเตรียมขั้นต้นในสภาวะสุญญากาศก่อนการออสโมซิสทุกระดับมีผลทำให้กล้วยไข่หลังการออสโมซิสมีค่า WL SG และ WR เพิ่มสูงขึ้นมากกว่าการไม่เตรียมขั้นต้นในสภาวะสุญญากาศคิดเป็นร้อยละ 1.22-3.46 0.11-0.21 และ 1.13-3.26 ตามลำดับ เนื่องจากการลดความดัน

อากาศลงให้เป็นสภาวะสุญญากาศ ทำให้โครงสร้างภายในเซลล์ถูกบีบอัดให้ยุบตัวลง อากาศที่อยู่ในช่องว่างระหว่างเซลล์จะถูกดูดออกมาจากการใช้ปั๊มสุญญากาศ ทำให้ผนังเซลล์บางส่วนถูกทำลายไปจึงมีความเป็นรู (Porosity) มากขึ้น เมื่อนำชิ้นผลไม้มาแช่ต่อที่สภาวะบรรยากาศจึงทำให้เกิดการถ่ายเทมวลสารระหว่างเซลล์ผลไม้และสารละลายออสโมติกได้มากและรวดเร็วขึ้น กล่าวคือ น้ำภายในเซลล์จะแพร่ออกจากเซลล์ผลไม้สู่สารละลายออสโมติก และสารละลายออสโมติกแพร่เข้ามาแทนที่อากาศที่ถูกดูดออกไป โดยแรงคาพิลลารี (Capillary Action) และการเปลี่ยนแปลงความดันบรรยากาศ (Pressure Gradients) เป็นผลให้อัตราการถ่ายเทมวลสารเพิ่มขึ้น (Fito et al., 2001; Betoret et al., 2003) ทั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Matusek et al. (2008 a) รายงานว่า การเตรียมขั้นต้นในสภาวะสุญญากาศ 740 มิลลิบาร์ เป็นเวลา 5 นาที ก่อนการออสโมซิสที่สภาวะบรรยากาศสามารถเพิ่มแรงขับเคลื่อนในการแพร่ของน้ำจากเนื้อเยื่อแอปเปิลไปสู่สารละลายออสโมติกได้มาก ส่งผลให้แอปเปิลหลังการออสโมซิสมีปริมาณความชื้นสุดท้ายต่ำกว่าการไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้นในสภาวะสุญญากาศประมาณร้อยละ 10 Correa et al. (2010) พบว่า การเตรียมขั้นต้นในสภาวะสุญญากาศ 100 มิลลิบาร์ เป็นเวลา 10 และ 15 นาที ก่อนการออสโมซิสที่สภาวะบรรยากาศที่อุณหภูมิห้อง ทำให้ฝรั่งมีค่าปริมาณน้ำที่สูญเสียเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 20 เมื่อเปรียบเทียบกับการออสโมซิสในสภาวะบรรยากาศที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

จากการตรวจเอกสารพบว่า การใช้สภาวะสุญญากาศร่วมด้วยในการออสโมซิสของผักผลไม้สามารถเพิ่มค่าการถ่ายเทมวลสาร (WL SG และ WR) ได้ประมาณร้อยละ 2-25 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของผักผลไม้ สภาวะสุญญากาศ และสภาวะการออสโมซิสที่ใช้ เป็นต้น (สุริเชษฐ์ บิลหิม, สรายุทธ ปลุกในราษฎ์ และสิริมา ชินสาร, 2553; Shi et al., 1995; Tapia et al., 1999; Correa et al., 2010) โดยในงานวิจัยนี้ใช้กล้วยไข่ห่าม ซึ่งมีการสุกแล้วเป็นบางส่วนประมาณร้อยละ 30 จึงทำให้มีส่วนของแป้งที่เป็นองค์ประกอบอยู่มาก และมีการรายงานว่า ผักผลไม้ที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบ เช่น มันฝรั่ง มันเทศ รวมถึงกล้วย และผักผลไม้ที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสแน่นแข็ง ซึ่งมีความเป็นรู (Porosity) น้อย และมีค่าสัมประสิทธิ์ความเป็นรู (Effective Porosity) ต่ำ โดยมีปริมาณช่องว่างระหว่างเซลล์จำนวนน้อยและขนาดเล็ก มีค่าการถ่ายเทมวลสารในระหว่างการออสโมซิสต่ำ ในขณะที่ผักผลไม้บางชนิดมีเนื้อสัมผัสคล้ายฟองน้ำ มีความยืดหยุ่นดี หรือมีเนื้อสัมผัสค่อนข้างนิ่ม เช่น มะเขือยาว เปลือกส้ม แอปเปิล เป็นต้น จะมีค่าการถ่ายเทมวลสารในระหว่างการออสโมซิสมากกว่า (Azuara, Garcia, & Beristain, 1996; Fito et al., 2001; Tortoe, Orchard, & Beezer, 2007; Mujica et al., 2003)

จากผลการทดลองหากพิจารณาสิ่งทดลองที่ใช้การเตรียมขั้นต้นในสภาวะสุญญากาศ การใช้ความดันสุญญากาศ 50 มิลลิบาร์ เป็นเวลา 10 นาที ซึ่งเป็นสภาวะที่รุนแรงที่สุด ทำให้กล้วยไข่

หลังการออสโมซิสมีค่าการถ่ายเทมวลสารสูงที่สุด เนื่องจากการใช้ความดันสุญญากาศในระดับที่ต่ำกว่าความดันบรรยากาศมากร่วมกับการใช้เวลาเป็นสุญญากาศนาน มีโอกาสทำให้เซลล์กล้วยไข่ถูกทำลายและมีความเป็นรูมากขึ้นและอาจทำให้สูญเสียคุณสมบัติการเป็นเยื่อเลือกผ่าน ส่งผลให้อัตราการถ่ายเทมวลน้ำและสารละลายออสโมติกเกิดขึ้นได้มาก (Fito et al., 2001) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Mujica et al. (2003) รายงานว่า เมื่อลดความดันอากาศลงให้อยู่ในสภาวะสุญญากาศมากขึ้น อากาศที่ช่องว่างระหว่างเซลล์ที่อยู่ระหว่างเซลล์ผลไม้ถูกดันออกมา ผนังเซลล์จึงค่อย ๆ ขยายพองออก จนเกิดเป็นรูพรุนในบริเวณกว้าง ทำให้การเคลื่อนย้ายมวลสารต่อพื้นที่เพิ่มมากขึ้น ในขณะที่การใช้ความดันสุญญากาศ 100 มิลลิบาร์ เป็นเวลา 5 นาที ทำให้กล้วยไข่มีค่าการถ่ายเทมวลสารค่อนข้างต่ำ เนื่องจากเป็นสภาวะที่รุนแรงน้อยที่สุด จึงมีโอกาสทำให้ผนังเซลล์ถูกทำลายน้อย ซึ่งอาจทำให้เกิดรูพรุนหรือช่องว่างที่เยื่อหุ้มเซลล์น้อย จึงช่วยกระตุ้นให้เกิดการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิสเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย

จากผลการทดลองที่พบว่า การใช้ความดันสุญญากาศในระดับสูงเป็นเวลาสั้น (50 มิลลิบาร์ เป็นเวลา 5 นาที) และการใช้ความดันสุญญากาศในระดับต่ำเป็นเวลานาน (100 มิลลิบาร์ เป็นเวลา 10 นาที) ทำให้กล้วยไข่หลังการออสโมซิสมีค่าการถ่ายเทมวลสารทุกค่าไม่แตกต่างกัน โดยมีค่ารองลงมาจากการใช้ความดันสุญญากาศ 50 มิลลิบาร์ เป็นเวลา 10 นาที อาจเป็นไปได้ว่า การใช้สภาวะสุญญากาศดังกล่าว ทำให้ความแข็งแรงของโครงสร้างของผนังเซลล์ลดลงในระดับใกล้เคียงกัน โดยอยู่ในระดับที่ทำให้เกิดรูพรุนเพียงพอต่อการแพร่ออกของน้ำจากชิ้นผลไม้ไปสู่สารละลายออสโมติกและการแพร่ของสารละลายออสโมติกไปยังเซลล์ผลไม้ผ่านรูพรุนนั้น ทั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของนักวิจัยหลายท่านที่พิสูจน์ให้เห็นว่า การใช้ความดันสุญญากาศในระดับสูงเป็นเวลาสั้น หรือการใช้ความดันสุญญากาศในระดับต่ำเป็นเวลานานก่อนการออสโมซิสสามารถเพิ่มค่าการถ่ายเทมวลสารได้ในระดับใกล้เคียงกัน (Tapia et al., 1999; Mujica et al., 2003; Correa et al., 2010) อย่างไรก็ตามมักพบว่า มีการเตรียมขั้นต้นในระดับความดันสุญญากาศสูง (50 มิลลิบาร์) แทนการใช้เวลาสุญญากาศนาน (>10 นาที) เพื่อเป็นการประหยัดเวลา และสามารถลดโอกาสการทำลายเซลล์ที่มากเกินไป โดยเฉพาะผลไม้ที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสอ่อนนุ่ม ไม่ให้นิ่มเละหรือเสียรูปร่างไปมาก (Mujica et al., 2003; Chiralt et al., 1999)

เมื่อพิจารณาค่าสีของกล้วยไข่หลังการออสโมซิส พบว่า การเตรียมขั้นต้นในสภาวะสุญญากาศทำให้กล้วยไข่หลังการออสโมซิสมีลักษณะซ้ำและมีสีค่อนข้างเหลืองมากกว่าการไม่เตรียมขั้นต้นในสภาวะสุญญากาศ ทั้งนี้อาจเนื่องจากสารละลายออสโมติกซึ่งมีของแข็งจากตัวถูกละลายเป็นองค์ประกอบสามารถแพร่เข้ามาแทนที่อากาศที่ดูดออกจากช่องว่างระหว่างเซลล์ของผลไม้ ทำให้ค่าดัชนีการหักเหของแสงในตัวอย่างลดลง เมื่อทำการวัดค่าสีโดยใช้หลักการวัดค่า

ความสะท้อนของแสงมีผลทำให้ค่าการสะท้อนลดลง (Zhao & Xie, 2004; Moreno, Simpson, Sayas, Segura, Aldana, & Almonacid 2011) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า กล้วยไข่หลังการออสโมซิสที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นในสภาวะสุญญากาศมีความสว่างลดลงหรือมีสีคล้ำขึ้นนั่นเอง ทั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Moreno, Bugue, Velasco, Petzold, and Tabilo-Munizaga (2004) ที่พบว่า การใช้สภาวะสุญญากาศในการเตรียมขั้นต้นทำให้มะละกอหลังการออสโมซิสมีค่าความสว่างลดลง ส่งผลให้มีค่าการเปลี่ยนแปลงของสีมาก เมื่อเปรียบเทียบกับมะละกอหลังการออสโมซิสที่ไม่ใช้สภาวะสุญญากาศในการเตรียมขั้นต้น และจากผลการทดลอง พบว่า การเตรียมขั้นต้นในสภาวะสุญญากาศที่รุนแรง คือ การใช้ระดับความดันสุญญากาศสูงเป็นเวลานาน ทำให้กล้วยไข่หลังการออสโมซิสมีสีคล้ำลง อาจเนื่องมาจากที่สภาวะดังกล่าวมีโอกาสทำให้เซลล์ถูกบีบอัดมาก โครงสร้างผนังเซลล์เรียงชิดติดกันมากขึ้นจึงมีสีทึบขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Rongkom, Phianmongkhol and Wirjantoro (2013) รายงานว่า การเตรียมขั้นต้นในสภาวะสุญญากาศ 50 มิลลิบาร์ เป็นเวลา 10 นาที มีผลทำให้ค่าความสว่างของแคนตาลูปและแอปเปิลหลังการออสโมซิสน้อยกว่าการใช้ความดันสุญญากาศ 100 500 และ 1013.25 มิลลิบาร์ ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มระดับความดันสุญญากาศหรือเพิ่มความรุนแรงของสภาวะสุญญากาศมีผลทำให้ค่าความสว่างของตัวอย่างผลไม้ลดลง และจากผลการทดลองพบว่า การใช้สภาวะสุญญากาศในระดับความรุนแรงใกล้เคียงกัน คือ การใช้ความดันสุญญากาศในระดับสูงเป็นเวลาสั้น (50 มิลลิบาร์ 5 นาที) และการใช้ความดันสุญญากาศในระดับต่ำเป็นเวลานาน (100 มิลลิบาร์ 10 นาที) ทำให้กล้วยไข่หลังการออสโมซิสมีสีไม่แตกต่างกัน อาจเนื่องมาจากระดับความรุนแรงของการใช้สภาวะสุญญากาศใกล้เคียงกัน จึงมีโอกาสทำให้เซลล์ถูกบีบอัดในระดับใกล้เคียงกัน นอกจากนี้มีรายงานว่า การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบใช้เอนไซม์จะเกิดได้ดี เมื่อมีออกซิเจนไปกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสในผักผลไม้ (Zhao & Xie, 2004) ดังนั้นการใช้สภาวะสุญญากาศที่รุนแรงใกล้เคียงกันมีโอกาสทำให้ออกซิเจนถูกกำจัดออกจากเซลล์ผลไม้ในปริมาณใกล้เคียงกันด้วย

เมื่อพิจารณาค่าความแน่นเนื้อ การเปลี่ยนแปลงปริมาตร และการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของกล้วยไข่หลังการใช้สภาวะสุญญากาศและหลังการออสโมซิส สามารถอภิปรายผลการวิจัยได้ดังนี้

การเตรียมขั้นต้นในสภาวะสุญญากาศเป็นการลดความดันอากาศลงให้เป็นสภาวะสุญญากาศ เกิดเป็นแรงกลกระทำต่อชิ้นผลไม้มีผลทำให้โครงสร้างภายในเซลล์ผลไม้ถูกบีบอัดให้ยุบตัวลง ส่งผลให้อากาศและของเหลวตามธรรมชาติที่อยู่ภายในช่องว่างระหว่างเซลล์ของเนื้อเยื่อผลไม้ถูกดูดออก (Fito, Andres, Pastor, & Chiralt, 1994) การใช้สภาวะสุญญากาศมีผลทำให้องค์ประกอบทางเคมีภายในเซลล์ผลไม้เกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งทำให้เกิดการสลายตัวของผนังเซลล์และชั้นมิดเดิล ลาเมลลา (Middle Lamella) ที่ทำให้โปรโตเพคตินในผลไม้เปลี่ยนรูปเป็นเพคติน

ที่ละลายน้ำได้ รวมถึงพันธะเคมีภายในเซลล์ของเนื้อเยื่ออาจถูกทำลาย ส่งผลให้ความแข็งแรงของโครงสร้างผนังเซลล์ลดลง โดยชิ้นผลไม้มีความเป็นรูมากขึ้น (Chiralt et al., 1999; Barrera et al., 2004; Moreno et al., 2004) จากเหตุผลดังกล่าวจึงทำให้กล้วยไข่หลังการใช้สภาวะสุญญากาศมีค่าความแน่นเนื้อลดลง รวมทั้งเกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรและการเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปจากกล้วยไข่สด จากผลการทดลอง พบว่า การเตรียมขั้นต้นในสภาวะสุญญากาศ 50 มิลลิบาร์ เป็นเวลา 10 นาที ทำให้กล้วยไข่เกิดการเปลี่ยนแปลงด้านดังกล่าวมากที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากเป็นสภาวะสุญญากาศที่รุนแรงที่สุด เป็นการใช้ความดันสุญญากาศในระดับที่ต่ำกว่าความดันบรรยากาศมากร่วมกับการใช้เวลาเป็นสุญญากาศนาน ทำให้โครงสร้างภายในเซลล์ถูกบีบอัดมาก เซลล์จึงถูกทำลายไปมาก ความแข็งแรงของผนังเซลล์จึงลดลง ทำให้ผนังเซลล์เกิดรู (Porosity) ขนาดใหญ่ ส่งผลให้อากาศและของเหลวที่อยู่ภายในช่องว่างระหว่างเซลล์เกิดการรวมตัว และเคลื่อนที่ออกจากเนื้อเยื่อของผลไม้ผ่านรูพรุนของผนังเซลล์ได้ดี (Derossi, Pilli, Penna, & Severini, 2011; Zhao & Xie, 2004) กล้วยไข่หลังการใช้สภาวะสุญญากาศที่สภาวะดังกล่าว จึงมีลักษณะเนื้อสัมผัสนิ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรและรูปร่างได้มากการเตรียมขั้นต้นในสภาวะสุญญากาศ 100 มิลลิบาร์ เป็นเวลา 5 นาที ซึ่งเป็นการใช้ความดันและเวลาการสุญญากาศในระดับรุนแรงน้อยที่สุด จึงเป็นการลดโอกาสการถูกทำลายโครงสร้างภายในเซลล์ ทั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Rongkom et al. (2013) ศึกษาการเตรียมขั้นต้นในสภาวะสุญญากาศ 50 100 และ 500 มิลลิบาร์ เป็นเวลา 10 นาที พบว่า การใช้ความดันสุญญากาศ 50 มิลลิบาร์ ทำให้แคนตาลูปและแอปเปิลมีความแน่นเนื้อและมีค่าการเปลี่ยนแปลงปริมาตรลดลงมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ความดันสุญญากาศ 100 และ 500 มิลลิบาร์ ตามลำดับ

เมื่อนำกล้วยไข่มาออสโมซิสต่อที่สภาวะบรรยากาศทำให้โครงสร้างของเซลล์กล้วยไข่อ่อนตัวลง สูญเสียคุณสมบัติเป็นเยื่อเลือกผ่าน ทำให้เกิดการถ่ายเทมวลสารระหว่างเซลล์และสารละลายออสโมติกได้มากและรวดเร็วขึ้น เป็นผลให้กล้วยไข่หลังการออสโมซิสมีค่าความแน่นเนื้อลดลง เนื่องจากการเตรียมขั้นต้นในสภาวะสุญญากาศเป็นเวลาสั้น ๆ มีผลทำให้เนื้อสัมผัสของชิ้นผลไม้นิ่มลงเล็กน้อย และเนื้อสัมผัสของผลไม้ลดลงมากขึ้น เมื่อนำมาออสโมซิสที่สภาวะบรรยากาศต่อ เนื้อเยื่อผลไม้ถูกทำลายและเกิดการแพร่เข้าออกของมวลสารเป็นเวลานานและเกิดอย่างสมบูรณ์ (Moreno et al., 2004) ทั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Maneepan and Yuenyongputtakal (2011) ศึกษาการเตรียมขั้นต้นในสภาวะสุญญากาศที่ 50 และ 65 มิลลิบาร์ เป็นเวลา 10 นาที แล้วออสโมซิสต่อในสภาวะบรรยากาศในสารละลายซูโครสร้อยละ 60 เป็นเวลา 8 ชั่วโมง พบว่า มะพร้าวหลังการออสโมซิสที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นในสภาวะสุญญากาศมีค่าความ

แน่นเนื้อประมาณ 17 นิวตัน ซึ่งต่ำกว่ามะพร้าวหลังการออสโมซิสที่ไม่ผ่านเตรียมขั้นต้นในสภาวะสุญญากาศที่มีค่าความแน่นเนื้อเท่ากับ 20 นิวตัน

สำหรับค่าการเปลี่ยนแปลงปริมาตรและค่าการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของกล้วยไข่หลังการออสโมซิส แสดงให้เห็นว่า กล้วยไข่ที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นในสภาวะสุญญากาศมีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรและรูปร่างมากกว่ากล้วยไข่ที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้นในสภาวะสุญญากาศ ทั้งนี้สอดคล้องกับ Giraldo, Talens, Fito and Chiralt (2003) และ Escriche et al. (2000) รายงานว่า ค่าปริมาณน้ำที่สูญเสียเกี่ยวข้องสัมพันธ์กับปริมาตรของชิ้นผลไม้หลังการออสโมซิส กล่าวคือ เมื่อค่าปริมาณน้ำที่สูญเสียเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ชิ้นผลไม้มีปริมาตรลดลง ส่งผลให้ชิ้นผลไม้เกิดการหดตัว และเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ จากผลการทดลองพบว่า ค่าคุณภาพดังกล่าวมีแนวโน้มคล้ายกับกรณีของกล้วยไข่หลังการใช้สภาวะสุญญากาศ คือ การใช้ความดันสุญญากาศ 50 มิลลิบาร์ เป็นเวลา 10 นาที ทำให้กล้วยไข่หลังการออสโมซิสมีค่าความแน่นเนื้อน้อยที่สุด และมีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรและรูปร่างมากที่สุด ทั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของนักวิจัยหลายท่านที่กล่าวว่า การใช้ความดันสุญญากาศในระดับที่ต่ำกว่าความดันบรรยากาศมากเป็นเวลานานในการเตรียมขั้นต้นก่อนการออสโมซิสทำให้ชิ้นผลไม้มีความเป็นรู (Porosity) มากขึ้น ส่งผลให้ในระหว่างการออสโมซิสน้ำสามารถแพร่ออกจากเซลล์ได้ดี มีปริมาณน้ำที่สูญเสียเพิ่มขึ้น ชิ้นผลไม้หลังการออสโมซิสจึงมีค่าความแน่นเนื้อลดลงและมีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรและรูปร่างมาก (Zhao & Xie, 2004; Nieto, Salvatori, Castro & Alzamora, 2004; Mayor, Moreira & Sereno, 2011) ในขณะที่การเตรียมขั้นต้นในสภาวะสุญญากาศ 100 มิลลิบาร์ เป็นเวลา 5 นาที เป็นสภาวะสุญญากาศที่รุนแรงน้อยที่สุด จึงทำให้กล้วยไข่หลังการออสโมซิสมีค่าความแน่นเนื้อ การเปลี่ยนรูปร่างและการเปลี่ยนแปลงปริมาตรใกล้เคียงกับกล้วยไข่หลังการออสโมซิสที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้นในสภาวะสุญญากาศมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Rongkom et al. (2013) รายงานว่า การเตรียมขั้นต้นในสภาวะสุญญากาศที่รุนแรงน้อย ทำให้แอปเปิลหลังการออสโมซิสมีค่าการเปลี่ยนแปลงปริมาตรลดลงใกล้เคียงกับการไม่เตรียมขั้นต้นในสภาวะสุญญากาศ และจากผลการทดลองพบว่า การใช้สภาวะสุญญากาศในระดับความรุนแรงใกล้เคียงกัน คือ การใช้ความดันสุญญากาศในระดับสูงเป็นเวลาสั้น (50 มิลลิบาร์ 5 นาที) และการใช้ความดันสุญญากาศในระดับต่ำเป็นเวลานาน (100 มิลลิบาร์ 10 นาที) ทำให้กล้วยไข่หลังการออสโมซิสมีค่าความแน่นเนื้อ การเปลี่ยนแปลงปริมาตรและการเปลี่ยนรูปร่างไม่แตกต่างกัน

เมื่อพิจารณาลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของภาพตัดขวางของชิ้นกล้วยไข่ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด พบว่า การนำชิ้นกล้วยไข่มาออสโมซิสในสภาวะบรรยากาศเพียงอย่างเดียวโดยไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้นในสภาวะสุญญากาศ ทำให้เซลล์กล้วยไข่มีรูปร่างและขนาดผิดปกติไป

จากเซลล์กล้วยไข่สด ทั้งนี้เนื่องจากในระหว่างการออสโมซิสเกิดปรากฏการณ์พลาสโมไลซิส (Plasmolysis) ซึ่งเป็นปรากกฏการณ์ที่น้ำแพร่ออกจากเซลล์มากกว่าสารละลายภายนอกที่เข้ามา ทำให้แวคคิวโอล (Vacuole) และไซโทพลาซึม (Cytoplasm) เกิดการหดตัวส่งผลให้เยื่อหุ้มเซลล์และผนังเซลล์ถูกทำลายไปด้วย (Fito et al., 2001) มีผลทำให้เซลล์กล้วยไข่หลังการออสโมซิสมีลักษณะหดตัว และบางส่วนเกิดการล้มพับซ้อนทับกัน ทั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Mayor, Pissarra and Sereno (2008) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของฟักทองที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายซูโครสร้อยละ 45 ที่สภาวะบรรยากาศเป็นเวลา 9 ชั่วโมง พบว่าเยื่อหุ้มเซลล์ของเซลล์เนื้อเยื่อฟักทองที่ผ่านการออสโมซิสเกิดการหดตัว ทำให้ความกลมของเซลล์ลดลง เซลล์มีลักษณะยืดและขยายตัวออกมาก เป็นผลให้เซลล์เนื้อเยื่อฟักทองเกิดเปลี่ยนแปลงไปจากเซลล์เนื้อเยื่อฟักทองสดที่มีลักษณะเป็นเซลล์กลมแต่งขนาดใหญ่ และจากผลการทดลองพบว่าการเตรียมขั้นต้นในสภาวะสุญญากาศ 50 มิลลิบาร์ เป็นเวลา 5 นาที แล้วออสโมซิสต่อที่สภาวะบรรยากาศทำให้ผนังเซลล์ถูกทำลายมากที่สุด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการใช้สภาวะสุญญากาศในการเตรียมขั้นต้นทำให้โครงสร้างภายในเซลล์ถูกบีบอัดอย่างทั่วถึง ผนังเซลล์มีความเป็นรูมากขึ้นและมีโอกาสทำให้เยื่อหุ้มเซลล์สูญเสียความเป็นเยื่อเลือกผ่าน เมื่อนำตัวอย่างมาออสโมซิสต่อที่สภาวะบรรยากาศทำให้น้ำภายในเซลล์และสารละลายภายนอกเกิดการเคลื่อนที่ผ่านเข้าออกได้ดี ผนังเซลล์เกิดการขยายตัวและพองออกจน ทำให้เกิดรูหรือโพรงช่องว่างได้ (Fito et al., 2001; Mujica et al., 2003) มีผลทำให้เซลล์กล้วยไข่หลังการออสโมซิสมีลักษณะหดตัว ผนังเซลล์ซ้อนทับกันมาก ดังนั้นกล้วยไข่หลังการออสโมซิสที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นในสภาวะสุญญากาศจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางจุลภาคมากกว่ากล้วยไข่หลังการออสโมซิสที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้นในสภาวะสุญญากาศ ซึ่งมีแนวโน้มคล้ายกับงานวิจัยของ Moreno et al. (2011) พบว่า การเตรียมขั้นต้นในสภาวะสุญญากาศ 50 มิลลิบาร์ เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำมาออสโมซิสต่อในสารละลายซูโครสร้อยละ 65 เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ทำให้ลูกแพร์หลังการออสโมซิสเกิดการสูญเสียผนังเซลล์ โดยเกิดการหดตัวและซ้อนทับกันมากกว่าการไม่เตรียมขั้นต้นในสภาวะสุญญากาศ

เมื่อพิจารณาคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบ พบว่า กล้วยไข่หลังการออสโมซิสที่ผ่านและไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้นในสภาวะสุญญากาศได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสและรสชาติไม่แตกต่างกัน การเตรียมขั้นต้นในสภาวะสุญญากาศเป็นการใช้แรงกลในระยะเวลาสั้น ๆ ก่อนการออสโมซิส จึงมีผลกระทบสำคัญต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี และเนื้อสัมผัสมากกว่า แต่มีผลไม่มากต่อกลิ่นรสและรสชาติ นอกจากนี้ทุกสิ่งทดลองมีการใช้สารละลายออสโมติกชนิดเดียวกัน จึงยังคงให้กลิ่นรสและรสชาติคล้ายคลึงกัน การเตรียมขั้นต้นในสภาวะสุญญากาศ 50 มิลลิบาร์ เป็นเวลา 10 นาที ซึ่งเป็นสภาวะสุญญากาศที่รุนแรงสุด ทำให้กล้วยไข่

หลังการออสโมซิสมีสีเหลืองคล้ำมากและมีเนื้อสัมผัสที่ค่อนข้างนิ่ม ซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงปริมาตรและการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของกล้วยไข่หลังการออสโมซิส (ตารางที่ 4-16 และ 4-17) ที่พบว่า การเตรียมขั้นต้นในสภาวะสุญญากาศมีผลทำให้กล้วยไข่หลังการออสโมซิสเกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรและการเปลี่ยนแปลงรูปร่างมากที่สุด จึงส่งผลให้ได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมต่ำที่สุด

ในการคัดเลือกสิ่งทดลองพบว่า การเตรียมขั้นต้นในสภาวะสุญญากาศ 50 มิลลิบาร์ เป็นเวลา 10 นาที ก่อนการออสโมซิสต่อในสภาวะบรรยากาศที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 ชั่วโมง ทำให้กล้วยไข่หลังการออสโมซิสมีค่าการถ่ายเทมวลสารสูงที่สุด (WL SG และ WR เท่ากับ ร้อยละ 27.48 2.58 และ 24.90 ตามลำดับ) แต่ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมต่ำที่สุด (5.9 คะแนน อยู่ในระดับชอบเล็กน้อย) และมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ในการคัดเลือกสิ่งทดลองที่กำหนดไว้ จึงพิจารณาการเตรียมขั้นต้นในสภาวะสุญญากาศที่ 50 มิลลิบาร์ เป็นเวลา 5 นาที ซึ่งเป็นสภาวะสุญญากาศที่มีค่าการถ่ายเทมวลสารรองลงมา ซึ่งมีค่า WL SG และ WR เท่ากับ ร้อยละ 27.17 2.52 และ 24.65 ตามลำดับ ซึ่งทำให้กล้วยไข่ หลังการออสโมซิสมีค่า WL SG และ WR ต่ำกว่าประมาณร้อยละ 0.31 0.06 และ 0.25 ตามลำดับ โดยได้รับคะแนนความชอบโดยรวมมากที่สุด (6.3 คะแนน อยู่ในระดับชอบเล็กน้อย) และมีคะแนนเป็นไปตามเกณฑ์ในการคัดเลือกสิ่งทดลองที่กำหนดไว้ เมื่อพิจารณาร่วมกับค่าคุณภาพด้านอื่น ๆ พบว่า กล้วยไข่หลังการออสโมซิสที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นในสภาวะสุญญากาศ 50 มิลลิบาร์ เป็นเวลา 5 นาที ได้รับคะแนนความชอบทุก ๆ ด้านสูง (6.2-7.4 คะแนน อยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง) โดยมีค่าความแน่นเนื้อ (66.77 กรัม) สูงมากกว่า รวมถึงมีการเปลี่ยนแปลงของสี (19.79) การเปลี่ยนแปลงปริมาตร (0.70) และการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (0.88) น้อยกว่าการเตรียมขั้นต้นในสภาวะสุญญากาศ 50 มิลลิบาร์ เป็นเวลา 10 นาที ดังนั้นจึงเลือกสิ่งทดลองที่เตรียมขั้นต้นในสภาวะสุญญากาศ 50 มิลลิบาร์ เป็นเวลา 5 นาที นำไปศึกษาในขั้นตอนต่อไป

ตอนที่ 4 ผลของการเสริมแร่ธาตุในสารละลายออสโมติกต่อค่าการถ่ายเทมวลสารและคุณภาพของกล้วยไข่

เมื่อพิจารณาค่าการถ่ายเทมวลสารของกล้วยไข่หลังการออสโมซิส พบว่า การเติมไอรอนกลูโคเนตและแคลเซียมแลคเตทในสารละลายออสโมติกมีผลทำให้ค่าการถ่ายเทมวลสารทุกค่าของกล้วยไข่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการไม่เติมไอรอนกลูโคเนตและแคลเซียมแลคเตทในสารละลายออสโมติก ทั้งนี้เนื่องจากการการเติมไอรอนกลูโคเนตและแคลเซียมแลคเตทเป็นการเพิ่ม

ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในสารละลายออสโมติก จึงมีผลให้เกิดแรงขับ ทำให้เกิดการถ่ายเทมวลสารได้มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Mastrantonio et al. (2005) ศึกษาผลของค่าการถ่ายเทมวลสารของฝรั่งที่มีการเติมแคลเซียมแลคเตทร้อยละ 1.2 ในสารละลายมอลโตสความเข้มข้นร้อยละ 60 พบว่า การเติมแคลเซียมแลคเตททำให้ฝรั่งมีค่าการถ่ายเทมวลสารเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับการไม่เติมแคลเซียมแลคเตทในสารละลายออสโมติก เนื่องจากการเติมแคลเซียมแลคเตทเป็นการเพิ่มความเข้มข้นของตัวถูกละลาย จึงทำให้แรงดันออสโมติกเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกิดการถ่ายเทมวลสารได้มากกว่าการไม่เติมแคลเซียมแลคเตทในสารละลายออสโมติก นอกจากนี้อาจเป็นไปได้ว่า ในขณะที่แช่ผักผลไม้ในสารละลายออสโมติกทำให้โปรโตเพคตินเปลี่ยนรูปไปเป็นเพคตินที่ละลายน้ำได้ (Prinzivalli et al., 2006) ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าทำให้ภายในเซลล์มีลักษณะคล้ายเจล เป็นผลให้เซลล์มีความยืดหยุ่นน้อย รวมถึงการเกิดเจลดังกล่าวอาจไปขัดขวางการถ่ายเทมวลสารของน้ำและสารละลายออสโมติก การเติมแคลเซียมแลคเตทในสารละลายออสโมติกทำให้เกิดปฏิกิริยาการเชื่อมข้ามจากแคลเซียมไอออนที่แตกตัว ทำปฏิกิริยากับเพคติน เกิดเป็นแคลเซียมแพคเตทซึ่งมีสมบัติไม่ละลายน้ำ (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549) การเปลี่ยนรูปดังกล่าวเป็นการลดปริมาณเพคตินที่ละลายน้ำได้ จึงอาจลดการขัดขวางการแพร่ของน้ำออกจากเซลล์และการแพร่ของของแข็งเข้ามาในเซลล์ผลไม้ได้ รวมถึงทำให้เกิดโครงสร้างภายในเซลล์ที่แข็งแรงมากขึ้น และมีความเป็นไปได้ว่า แคลเซียมแพคเตทดังกล่าวมีลักษณะโครงเป็นผลึกที่แข็งแรง ซึ่งอาจไปทิ่มแทงผนังเซลล์ให้บางส่วนเกิดความเสียหาย จนมีลักษณะเป็นรู จึงทำให้มีค่าการถ่ายเทมวลสารเพิ่มขึ้นได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของหลายท่าน ที่พบว่า การเติมแร่ธาตุในสารละลายออสโมติกสามารถเพิ่มค่าการถ่ายเทมวลสารได้ และทำให้มีค่าประสิทธิ์การแพร่ของน้ำเพิ่มขึ้น (Lewicki. Le. & Pomaranska-Lazuka, 2002; Pani, Leva, Riva, Maestrelli, & Torreggiani, 2008; Barrera et al., 2009; Silva, Fernandes, & Mauro, 2014) จากผลการทดลองพบว่า การเติมไอรอนกลูโคเนต 2 กรัมต่อ 100 กรัม ร่วมกับแคลเซียมแลคเตท 2 กรัมต่อ 100 กรัม ในสารละลายออสโมติก ทำให้กล้วยไข่หลังการออสโมซิสมีการถ่ายเทมวลสารทุกค่าสูงที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากสิ่งทดลองมีการเติมแร่ธาตุซึ่งเป็นตัวถูกละลายในสารละลายออสโมติกในระดับสูงที่สุด สารละลายออสโมติกจึงมีความเข้มข้นสูงกว่าสิ่งทดลองอื่น ทำให้มีแรงดันออสโมติก มากกว่าสิ่งทดลองอื่น ส่งผลให้อัตราการถ่ายเทมวลสารของน้ำและตัวถูกละลายมีค่ามากที่สุด นอกจากนี้ไอออนของเหล็ก (Fe^{2+}) และไอออนของแคลเซียม (Ca^{2+}) มีโมเลกุลขนาดเล็กกว่าโมเลกุลของน้ำตาลและเกลือ เป็นผลให้สามารถแพร่เข้าไปในชิ้นกล้วยไข่ได้ดีกว่า จึงทำให้มีการถ่ายเทมวลสารมากขึ้น ดังนั้นการเติมแร่ธาตุในระดับสูงที่สุด จึงเป็นการเพิ่มโอกาสในการแพร่ของไอออนของเหล็กและแคลเซียมเข้าไปได้มาก (Barrera et al., 2004) ส่งผลให้กล้วยไข่มีค่า WL SG และ WR เพิ่มขึ้น

จากผลการทดลองพบว่า การเติมแร่ธาตุในสารละลายออสโมติกทุกสิ่งทดลองทำให้กล้วยไข่หลังการออสโมซิสมีแนวโน้มค่าสีอยู่ในช่วงค่อนข้างใกล้เคียงกัน ในการทดลองขั้นตอนนี้มีการเติมเอทิลีนไดเอมีนเตตระอะซิติกแอซิก (Ethylenediaminetetraacetic Acid; EDTA) โดย EDTA ทำหน้าที่เป็นสารคีเลต (Chelating Agent) โดยการล้อมรอบประจุบวกของธาตุที่เป็นโลหะไว้ ทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่มีโลหะถูกจับอยู่ในโมเลกุลโดยไม่เปิดโอกาสให้ประจุลบ เช่น ออกซิเจน เข้าทำปฏิกิริยาได้ (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์, 2556) และเนื่องจากในสารละลายออสโมติกมีการเติมไอรอนกลูโคเนตซึ่งอยู่ในรูปของเฟอรัสไอออน (Fe^{2+}) มีโอกาสแตกตัวในสารละลายออสโมติก โดยเกิดการออกซิไดซ์ไปเป็นเฟอริกไอออน (Fe^{3+}) ได้เมื่ออยู่ในสภาวะที่มีอากาศ โดยมีความชื้น แสง และความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เกิดเป็นสารเฟอริคแทนเนท (Ferric Tannate) ซึ่งมีสีดำถึงสีเขียว (ณัฏฐกานต์ อัศวเกษมจิตร และปิยาภรณ์ หนูเสริม, 2551) ดังนั้นการเติม EDTA ลงไปในสารละลายออสโมติกสามารถจับกับ Fe^{2+} จึงช่วยป้องกันการเกิดออกซิเดชันของธาตุเหล็กได้ นอกจากนี้การใช้สภาวะสุญญากาศในการเตรียมขั้นต้นสามารถลดปริมาณออกซิเจนในระบบได้อีกทางหนึ่ง ทำให้ลดโอกาสการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเหล็กได้ดียิ่งขึ้น กล้วยไข่หลังการออสโมซิสที่ได้จึงมีสีที่คงตัวใกล้เคียงกันและเกิดการเปลี่ยนของค่าสีไม่มากนัก อย่างไรก็ตามการเติมไอรอนกลูโคเนตทำให้สารละลายออสโมติกมีสีออกน้ำตาลแดง จึงทำให้กล้วยไข่หลังการออสโมซิสมีค่าความเป็นสีแดงเพิ่มขึ้น ในขณะที่การเติมแคลเซียมแลคเตทเพียงอย่างเดียวทำให้สารละลายออสโมติกมีสีออกขาวขุ่น จึงทำให้กล้วยไข่หลังการออสโมซิสมีสีเหลืองสว่างมากที่สุด นอกจากนี้มีรายงานว่า การเติมแคลเซียมแลคเตทในสารละลายออสโมติกสามารถยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลของชิ้นผลไม้ในระหว่างการออสโมซิสได้ ทั้งนี้เนื่องจากแคลเซียมแลคเตททำให้ผนังเซลล์มีความแข็งมากขึ้น จึงป้องกันการทำลายช่องว่างของเซลล์และการกระตุ้นเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสและเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสในชิ้นผลไม้ที่อยู่ภายในแวคคิวโอล จึงลดโอกาสการเกิดสีน้ำตาลที่ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ (Martin-Diana et al., 2007) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Mastrantonoio et al. (2005) ศึกษาการเติมแคลเซียมแลคเตทร้อยละ 1.2 ในสารละลายมอลโตสความเข้มข้นร้อยละ 60 ในการออสโมซิสฝรั่งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 ชั่วโมง พบว่า การเติมแคลเซียมแลคเตทในสารละลายออสโมติกทำให้ลดสีคล้ำของฝรั่งหลังการออสโมซิสได้มากกว่าการไม่เติมแคลเซียมแลคเตทในสารละลายออสโมติก

เมื่อพิจารณาค่าความแน่นเนื้อของกล้วยไข่หลังการออสโมซิส พบว่า การเติมแคลเซียมแลคเตทในสารละลายออสโมติกมีผลทำให้กล้วยไข่หลังการออสโมซิสมีค่าความแน่นเนื้อมาก ทั้งนี้เนื่องจากแคลเซียมแลคเตทจะแตกตัวให้แคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) และทำปฏิกิริยากับเพคตินในชิ้นผลไม้ ทำให้เกิดปฏิกิริยาเชื่อมข้ามระหว่างหมู่คาร์บอกซิล โดย Ca^{2+} ทำหน้าที่ดึงหมู่คาร์บอกซิล

(-COOH) บนสายของเพคตินสายหนึ่งให้จับกับหมู่คาร์บอกซิลของสายเพคตินอีกสายหนึ่ง เกิดเป็นสารประกอบแคลเซียมเพคแตทซึ่งไม่ละลายน้ำ ทำให้ผนังเซลล์แข็งแรงและแน่นเนื้อมากขึ้น (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549; Martin-Diana et al., 2007) ดังนั้นการใช้สารละลายแคลเซียมแลคเตทในระดับสูงจึงเป็นการเพิ่มโอกาสที่แคลเซียมไอออนสามารถแพร่เข้าไปผ่านรูพรุนเข้าไปในเซลล์ของกล้วยไข่ได้มากขึ้น ทำให้ชิ้นผลไม้มีความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นนั่นเอง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Torres et al. (2006) ศึกษาผลของการออสโมซิสชิ้นมะม่วงในสภาวะสุญญากาศความดัน 50 มิลลิบาร์ 10 นาที แล้วออสโมซิสต่อในสภาวะบรรยากาศในสารละลายซูโครสความเข้มข้นร้อยละ 65 ที่มีการเติมแคลเซียมแลคเตทร้อยละ 1 และ 2 พบว่า การเติมแคลเซียมแคลเซียมร้อยละ 2 ในสารละลายออสโมซิสทำให้ชิ้นมะม่วงหลังการออสโมซิสมีค่าแรงกดสูงที่สุด โดยมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ใกล้เคียงกับชิ้นมะม่วงสดมากที่สุด แต่การเติมไอรอนกลูโคเนตไม่มีผลต่อค่าความแน่นเนื้อของกล้วยไข่ ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่า ไอออนที่แตกตัวของไอรอนกลูโคเนตที่แพร่เข้าไปในเซลล์กล้วยไข่ไม่มีสมบัติหน้าที่ต่อความแข็งแรงของโครงสร้างเซลล์เหมือนกรณีแคลเซียมไอออนที่แตกตัวจากแคลเซียมแลคเตท ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Xie and Zhao (2003) ที่แสดงให้เห็นว่า ค่าแรงกดของแอปเปิลหลังการออสโมซิสเป็นผลมาจากแคลเซียมไอออนที่แตกตัวจากแคลเซียมกลูโคเนตที่เติมลงในสารละลาย High Fructose Corn Syrup เมื่อแช่ชิ้นแอปเปิลในสภาวะสุญญากาศความดัน 50 มิลลิบาร์ เป็นเวลา 5 นาที โดยค่าแรงกดไม่มีผลจากไอออนของซิงค์แลคเตทที่เติมในสารละลายออสโมติก

การเติมไอรอนกลูโคเนตและแคลเซียมแลคเตทในสารละลายออสโมติกทำให้กล้วยไข่หลังการออสโมซิสมีปริมาณเหล็กและแคลเซียมเพิ่มขึ้น การใช้สภาวะสุญญากาศในการเตรียมขั้นต้นก่อนการออสโมซิสสามารถกระตุ้นการแพร่ของตัวถูกละลายได้ หากเพิ่มความเข้มข้นของไอรอนกลูโคเนตและแคลเซียมแลคเตทซึ่งเป็นการเพิ่มความเข้มข้นของตัวถูกละลาย ส่งผลให้เกิดแรงขับมากขึ้น ช่วยเพิ่มโอกาสให้เฟอรัสไอออนและแคลเซียมไอออนแพร่เข้าไปในกล้วยไข่มาก ทั้งนี้มีแนวโน้มสอดคล้องกับงานวิจัยของ Torres et al. (2006) พบว่า การเติมแคลเซียมแลคเตทร้อยละ1 และ 2 ในสารละลายซูโครสความเข้มข้นร้อยละ 65 ร่วมกับการใช้เทคนิคการแช่ในสภาวะสุญญากาศ ทำให้ชิ้นมะม่วงมีปริมาณแคลเซียมเพิ่มขึ้นประมาณ 5 เท่า และ 7 เท่า ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณแคลเซียมในชิ้นมะม่วงสด Morage et al. (2009) รายงานว่า การออสโมซิสองุ่นในสภาวะสุญญากาศร่วมกับการเติมแคลเซียมแลคเตทร้อยละ 2 สามารถเพิ่มปริมาณแคลเซียมในองุ่นสดได้จาก 17.00 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม เป็น 88.90 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม จากผลการทดลองพบข้อสังเกตว่า การเติมไอรอนกลูโคเนตและแคลเซียมแลคเตทในปริมาณที่เท่ากัน ทำให้กล้วยไข่หลังการออสโมซิสมีปริมาณแคลเซียมมากกว่าเหล็ก ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่า เหล็กสามารถแพร่เข้าไป

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ยึดติดกับเซลล์ของกล้วยไข่ได้น้อยกว่าแคลเซียมที่สามารถเกิดสารประกอบกับเพคตินของเซลล์กล้วยไข่ได้ เกิดเป็นร่างแหตาข่ายที่มีความแข็งแรงยึดติดกับผนังเซลล์ เหตุผลนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Gras et al. (2003) ที่ศึกษาสมบัติโครงสร้างของมะเขือยาว แครอท และเห็ดนางรมที่ผ่านการเสริมเหล็กและแคลเซียมโดยใช้เทคนิคการแช่ในสภาวะสุญญากาศ พบว่า สามารถตรวจพบปริมาณแคลเซียมในตำแหน่งต่าง ๆ ภายในโครงสร้างของเซลล์ตัวอย่างได้มากกว่าเหล็ก หากเปรียบเทียบปริมาณเหล็กและแคลเซียมของกล้วยไข่หลังการออสโมซิสกับกล้วยไข่สด พบว่ากล้วยไข่หลังการออสโมซิสมีเหล็กและแคลเซียมเพิ่มขึ้น ยกตัวอย่างเช่น การเติมไอรอนกลูโคเนต 2 กรัมต่อ 100 กรัม ร่วมกับแคลเซียมแลคเตท 2 กรัมต่อ 100 กรัม ทำให้กล้วยไข่หลังการออสโมซิสมีปริมาณเหล็กและแคลเซียมเท่ากับ 22.94 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม และ 31.34 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ ในขณะที่กล้วยไข่สดมีปริมาณเหล็กและแคลเซียมเท่ากับ 0.51 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม และ 3.55 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 4-1) โดยกล้วยไข่มีปริมาณเหล็กเพิ่มขึ้นมากกว่าและแคลเซียม คิดเป็นการมีปริมาณเหล็กและแคลเซียมเพิ่มขึ้นจากกล้วยไข่สดประมาณ 45 เท่า และ 9 เท่า ตามลำดับ

ค่าการนำไฟฟ้า บ่งบอกถึงความเข้มข้นของแร่ธาตุทั้งหมดที่ละลายอยู่ในสารละลาย รวมถึงสารต่าง ๆ ที่มีสมบัติในการแตกตัวเป็นประจุบวกและประจุลบ (สุนทรี ยิ่งชัชวาลย์, 2553) เมื่อเติมไอรอนกลูโคเนตและแคลเซียมแลคเตทในสารละลายออสโมติกมีผลทำให้ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายออสโมติกก่อนการออสโมซิสเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเติมแร่ธาตุในสารละลายออสโมติกเป็นการเพิ่มความเข้มข้นของไอออน หลังการออสโมซิสทุกสิ่งทดลองมีค่าการนำไฟฟ้าลดลง ซึ่งเป็นข้อมูลสนับสนุนที่แสดงให้เห็นว่า ในระหว่างการออสโมซิสสามารถเกิดกลไกการแพร่ของไอรอนไอออนและแคลเซียมไอออนเข้าไปในเนื้อเยื่อกล้วยไข่ได้ จากผลการทดลองพบว่า การเติมไอรอนกลูโคเนต 2 กรัมต่อ 100 กรัม ร่วมกับแคลเซียมแลคเตท 2 กรัมต่อ 100 กรัม ในระดับสูงที่สุด ทำให้สารละลายออสโมติกมีค่าการนำไฟฟ้าทั้งก่อนและหลังสูงที่สุด เป็นผลให้สารละลายออสโมติกมีค่าการนำไฟฟ้าลดลงมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 26.36 (จาก 287.00 ไมโครซีเมนต์ เหลือ 285.33 ไมโครซีเมนต์) ซึ่งมีแนวโน้มสอดคล้องกับปริมาณเหล็กและแคลเซียม (ตารางที่ 4-19) ที่วิเคราะห์ได้ว่า กล้วยไข่หลังการออสโมซิสมีปริมาณเหล็กและแคลเซียมสูงที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ วิชมณี ยืนยงพุทธกาล, ดุจเดือน ทิมทอง, วรัญญา บางศรี และสุวรรณา วรสิงห์ (2556) ศึกษาการเติมเหล็กในรูปของเฟอรัสซัลเฟตในสาหร่ายผักกาดทะเล พบว่า ค่าการนำไฟฟ้าที่ลดลงสามารถบ่งบอกปริมาณเหล็กที่มีอยู่ในสาหร่ายทะเลหลังการออสโมซิส อย่างไรก็ตามค่าการนำไฟฟ้าที่วิเคราะห์ได้นี้ บอกให้ทราบถึงปริมาณของไอออนโดยรวมที่อยู่ในสารละลายเท่านั้น ซึ่งไม่สามารถบ่งบอกชนิดของไอออนที่เป็นองค์ประกอบได้ (Fasogbon, Gbadamosi & Taiwo, 2013)

เมื่อพิจารณาคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบ พบว่า การเติมไอรอนกลูโคเนต และแคลเซียมแลคเตทมีผลทำให้กล้วยไข่หลังการออสโมซิสได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏและสีเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกล้วยไข่ทุกสิ่งทดลองมีสีเหลืองสว่างมากขึ้นและมีลักษณะปรากฏที่ดี คือ มีลักษณะเนื้อฉ่ำน้ำไม่มากหรือน้อยจนเกินไป (ดังภาพที่ 4-8) การเติมไอรอนกลูโคเนตและแคลเซียมแลคเตทไม่มีผลทำให้กล้วยไข่หลังการออสโมซิสมีกลิ่นรสหรือรสชาติที่ผิดปกติไปจากกล้วยไข่สด จึงส่งผลให้คะแนนความชอบด้านกลิ่นรสและรสชาติของสิ่งทดลองไม่แตกต่างกับการไม่เติมแร่ธาตุในสารละลายออสโมติก การเติมแคลเซียมแลคเตทในระดับสูงที่สุด คือ 2 กรัมต่อ 100 กรัม ทำให้กล้วยไข่หลังการออสโมซิสได้รับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสสูงที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับค่าความแน่นเนื้อ (ตารางที่ 4-18) ที่พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณแคลเซียมแลคเตทมีผลทำให้กล้วยไข่มีความแน่นเนื้อมากขึ้น ดังนั้นการเติมไอรอนกลูโคเนต 2 กรัมต่อ 100 กรัม และแคลเซียมแลคเตท 2 กรัมต่อ 100 กรัม มีผลทำให้กล้วยไข่หลังการออสโมซิสได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด

ในการคัดเลือกสิ่งทดลองพบว่า การเติมไอรอนกลูโคเนต 2 กรัมต่อ 100 กรัม ร่วมกับแคลเซียมแลคเตท 2 กรัมต่อ 100 กรัม ในสารละลายออสโมติกมีความเหมาะสมที่สุดที่จะนำไปศึกษาในขั้นตอนต่อไป เนื่องจากทำให้กล้วยไข่หลังการออสโมซิสมีปริมาณเหล็ก 22.94 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม และแคลเซียม 31.34 กรัมต่อ 100 กรัม สูงที่สุด โดยได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด (7.5 คะแนน อยู่ในระดับชอบมาก) และเมื่อพิจารณาร่วมกับค่าคุณภาพด้านอื่น ๆ พบว่าที่สิ่งทดลองดังกล่าว มีค่าการถ่ายเทมวลสารสูงที่สุด (WL เท่ากับ ร้อยละ 28.32 SG เท่ากับ ร้อยละ 3.30 และ WR เท่ากับ ร้อยละ 25.02) โดยได้รับคะแนนความชอบด้านต่าง ๆ สูง (6.5-8.2 คะแนน อยู่ในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก) มีค่าความแน่นเนื้อสูง (97.39 กรัม) และมีค่าการเปลี่ยนแปลงของสีต่ำ (18.69)

ตอนที่ 5 ผลของการหาเวลาในการทำแห้งแบบสุญญากาศและการเปรียบเทียบคุณภาพกล้วยไข่กึ่งแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิส

ข้อดีของการทำแห้งแบบสุญญากาศ คือ เมื่อลดความดันภายในห้องอบให้เป็นสภาวะสุญญากาศจะเกิดการถ่ายเทความชื้นออกจากชิ้นตัวอย่างสู่ห้องอบแห้งอย่างรวดเร็ว เนื่องจากน้ำในอาหารสามารถกลายเป็นไอได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส เกิดความแตกต่างระหว่างความดันไอภายในกับภายนอกชิ้นอาหาร ผลักดันให้น้ำในอาหารระเหยออกมาสู่ผิวหน้าอาหารได้มากและเร็วขึ้น (Bekele & Ramaswamy, 2010) จากผลการทดลองพบว่า กระบวนการออสโมซิสสามารถลดปริมาณความชื้นเริ่มต้นของกล้วยไข่ได้ประมาณร้อยละ 10 จากกล้วยไข่สดมีปริมาณ

ความชื้นร้อยละ 70.95 เหลือร้อยละ 60.79 ทั้งนี้มีแนวโน้มสอดคล้องกับงานวิจัยของ ณัฏยา คนซื่อ (2545) ที่รายงานว่า การออสโมซิสสามารถลดปริมาณน้ำเริ่มต้นในชิ้นมะม่วงก่อนการทำแห้งได้ ร้อยละ 12.69 จากชิ้นมะม่วงสดมีปริมาณความชื้นร้อยละ 79.74 เหลือร้อยละ 67.05 การใช้สภาวะสุญญากาศในการเตรียมขั้นต้นก่อนการออสโมซิสทำให้เนื้อเยื่อของผลไม้มีความเป็นรูพรุนมากขึ้น เนื้อเยื่อคลายตัวมากขึ้น จึงเกิดการถ่ายความชื้นได้มากขึ้นในระหว่างการทำแห้ง จึงทำให้อัตราการทำแห้งเพิ่มสูงขึ้นได้ (Occhiono et al., 2011; Bekele & Ramaswamy, 2010) จากเหตุผลดังกล่าว จึงทำให้กล้วยไข่ที่ผ่านการออสโมซิสมีปริมาณความชื้นคงเหลือที่เวลาอบแห้งใด ๆ ต่ำกว่ากล้วยไข่ที่ไม่ผ่านการออสโมซิสตลอดการทำแห้งและทำให้ใช้ระยะเวลาในการทำแห้งเพื่อให้ได้ความชื้นตามที่กำหนดน้อยกว่ากล้วยไข่ที่ไม่ผ่านการออสโมซิส

เมื่อพิจารณาสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและเวลาในการทำแห้งโดยใช้รูปสมการเส้นตรงและสมการไม่ใช่เส้นตรง พบว่า สมการที่ทำนายได้ทั้งสองรูปแบบมีความน่าเชื่อถือ โดยมีค่า R^2 สูง และเมื่อนำเวลาจากการทำนายไปปฏิบัติจริง พบว่า ได้ผลิตภัณฑ์กล้วยไข่กึ่งแห้งที่มีความชื้นสุดท้ายใกล้เคียงกับที่กำหนดไว้ และผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การออสโมซิสกล้วยไข่ก่อนการทำแห้งสามารถช่วยลดเวลาการทำแห้งได้ประมาณ 170 นาที (จาก 722 นาที เหลือ 552 นาที)

เมื่อพิจารณาคุณภาพของกล้วยไข่กึ่งแห้ง พบว่า กล้วยไข่กึ่งแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสมีปริมาณความชื้นและค่า a_w อยู่ในช่วงของผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้ง โดยมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ15-40 และมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.65-0.90 (ปรียา วิบูลย์เศรษฐ์, 2528; Smith & Norvell, 1975) การออสโมซิสกล้วยไข่ในสารละลายออสโมติกซึ่งมีน้ำตาล ไอรอนกลูโคเนต และแคลเซียมแลคเตทเป็นส่วนประกอบ สามารถเพิ่มปริมาณน้ำตาลทั้งหมด เหล็กและแคลเซียมในกล้วยไข่กึ่งแห้งได้ประมาณ 3 เท่า 44 เท่า และ 10 เท่า ตามลำดับ เนื่องจากในระหว่างการออสโมซิสเกิดการถ่ายเทมวลสารระหว่างสารละลายออสโมติกกับชิ้นอาหาร แต่อย่างไรก็ตามปริมาณสารอาหารที่แนะนำให้บริโภคต่อวัน สำหรับคนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปี ขึ้นไป (Thai Recommended Daily Intakes; RDI) ที่ FDA (1999) รายงานว่า ควรบริโภคอาหารที่มีเหล็กและแคลเซียมเป็นองค์ประกอบ 15 และ 800 มิลลิกรัมต่อวัน ตามลำดับ และจากผลการทดลองที่พบว่า ผลิตภัณฑ์กล้วยไข่กึ่งแห้งที่ผ่านการเสริมแร่ธาตุมีปริมาณเหล็ก 22.04 มิลิกรัมต่อ 100 กรัม และแคลเซียม 30.28 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม หนึ่งหน่วยบริโภค (Serving size) สำหรับอาหารประเภทผลไม้แช่อิ่มหรืออบแห้งเท่ากับ 30 กรัม (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2550) ดังนั้นหากเทียบกับหนึ่งหน่วยบริโภคกล้วยไข่กึ่งแห้ง 30 กรัม จะได้เหล็กและแคลเซียมจากการรับประทานกล้วยไข่กึ่งแห้ง 6.6 และ 9 มิลลิกรัมต่อวัน ถึงแม้ว่าผลิตภัณฑ์กล้วยไข่กึ่งแห้งที่ผ่านการเสริมแร่ธาตุจะมีปริมาณสารอาหารไม่เพียงพอกับที่ Thai RDI แนะนำ แต่การเสริมแร่ธาตุในผลิตภัณฑ์กล้วยไข่กึ่งแห้งให้มีปริมาณเหล็กและแคลเซียม

เพิ่มขึ้น เป็นแนวทางเลือกหนึ่งที่ทำให้ผู้บริโภคมีโอกาสได้รับแร่ธาตุในปริมาณที่เพียงพอนอกเหนือจากการรับประทานอาหารประจำวัน และจากผลการทดลองพบว่า ปริมาณเหล็กและแคลเซียมในชิ้นกล้วยไข่หลังการออสโมซิส (ตารางที่ 4-21) และหลังการทำแห้ง (ตารางที่ 4-25) มีปริมาณใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เนื่องจากเหล็กและแคลเซียมสามารถทนต่อความร้อนโดยไม่สลายตัวต่อกระบวนการแปรรูปด้วยความร้อน (Hurrell, 2002) จากผลการทดลองยังพบว่า การออสโมซิสกล้วยไข่ก่อนการทำแห้งทำให้กล้วยไข่กึ่งแห้งมีค่าการเปลี่ยนแปลงของสีน้อยกว่ากล้วยไข่กึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส เนื่องจากการออสโมซิสเป็นการแช่ชิ้นผลไม้ลงในสารละลายน้ำตาลความเข้มข้นสูง โดยน้ำตาลสามารถยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นจากเอนไซม์ได้โดยป้องกันชิ้นอาหารสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ ทำให้ลดการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นรอบ ๆ ชิ้นผลไม้ได้ (Pointing, 1973) รวมถึงการเตรียมขั้นต้นในสภาวะสุญญากาศก่อนการออสโมซิสช่วยลดปริมาณออกซิเจนในช่องว่างระหว่างเซลล์ของผักผลไม้ จึงช่วยลดโอกาสการเกิดสีน้ำตาลแบบใช้เอนไซม์ของผักผลไม้ได้ (Zhao & Xie, 2004) นอกจากนี้การออสโมซิสช่วยลดเวลาในการทำแห้ง ทำให้ชิ้นอาหารลดโอกาสการสัมผัสกับความร้อนเป็นเวลานาน ดังนั้นการออสโมซิสจึงช่วยลดการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์จากความร้อนได้

แม้ว่าการออสโมซิสจะทำให้กล้วยไข่กึ่งแห้งมีค่าความแน่นเนื้อน้อยกว่ากล้วยไข่กึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส เนื่องจากในขั้นตอนการออสโมซิสเป็นการแช่ชิ้นกล้วยไข่ในสารละลายออสโมติกนาน 6 ชั่วโมง ทำให้เกิดปรากฏการณ์พลาสโมไลซิสมีผลทำให้ความแข็งแรงของโครงสร้างเซลล์ลดลง และการเตรียมขั้นต้นในสภาวะสุญญากาศร่วมด้วย เป็นผลให้โครงสร้างของเซลล์กล้วยไข่เกิดการเปลี่ยนแปลงไป แต่การเติมแคลเซียมแลคเตทในสารละลายออสโมติกร่วมด้วยสามารถเกิดกลไกการสร้างแคลเซียมแพคเตท ทำให้ผนังเซลล์มีแข็งแรงและมีความแน่นเนื้อมากขึ้น เป็นผลให้กล้วยไข่กึ่งแห้งมีเนื้อสัมผัสที่ยังคงอ่อนนุ่ม ไม่แห้งแข็งจนเกินไป ซึ่งมีแนวโน้มสอดคล้องกับงานวิจัยของ เกวลิน หอมหวน และคณะ (2556) พบว่า การเติมแคลเซียมแลคเตทในสารละลายออสโมติกสามารถปรับปรุงเนื้อสัมผัสของลำไยอบแห้งได้ ซึ่งทำให้ลำไยอบแห้งมีความแน่นเนื้อมากขึ้น จากผลการทดลองด้านค่าการหดตัว พบว่า กล้วยไข่กึ่งแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสเกิดการหดตัว เนื่องจากในระหว่างการทำแห้ง น้ำในชิ้นอาหารจะเคลื่อนที่จากด้านในไปยังผิวหน้าอาหาร เมื่อน้ำระเหยไปจะเกิดช่องว่างขึ้นทำให้เซลล์ของอาหารซึ่งเชื่อมโยงกันถูกดึงเข้าไปแทนที่ช่องว่างนั้นทำให้อาหารเกิดการสูญเสียลักษณะโครงสร้าง (ชมพู่ ยิ้มโต, 2550) ทำให้กล้วยไข่กึ่งแห้งเกิดการหดตัวหรือยุบตัวที่บริเวณรอบ ๆ จุดกึ่งกลางชิ้นกล้วยซึ่งเป็นส่วนที่เนื้อกล้วยมีความอ่อนนิ่มมากกว่าส่วนขอบของชิ้นกล้วย ส่งผลให้กล้วยไข่กึ่งแห้งเกิดการหดตัวของความหนามากกว่าการหดตัวของเส้นผ่านศูนย์กลาง และจากผลการทดลองพบว่า กล้วยไข่กึ่งแห้งที่

ผ่านการออสโมซิสมีการหดตัวของความหนาน้อยกว่ากล้วยไข่กึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส อาจเนื่องจากโมเลกุลน้ำตาลสามารถแทรกเข้าไปอยู่ที่ช่องว่างของเซลล์ทำให้กล้วยไข่มีปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้น จึงมีส่วนช่วยให้โครงสร้างของเซลล์แข็งแรงขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การออสโมซิสสามารถลดการหดตัวของความหนาของชิ้นกล้วยไข่ได้ อย่างไรก็ตามกล้วยไข่กึ่งแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสมีค่าการหดตัวของเส้นผ่านศูนย์กลางไม่แตกต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Thuwapanichayanan et al. (2011) ที่พบว่า ในการทำแห้งชิ้นกล้วยไข่มักพบการเปลี่ยนแปลงความหนามากกว่าการเปลี่ยนแปลงของเส้นผ่านศูนย์กลาง โดยพบว่า การทำแห้งมีผลทำให้ชิ้นกล้วยไข่เกิดการเปลี่ยนแปลงความหนาร้อยละ 60-70 ในขณะที่ชิ้นกล้วยไข่เกิดการเปลี่ยนแปลงของเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงร้อยละ 10 เมื่อเปรียบเทียบกับกล้วยไข่สด

เมื่อพิจารณาคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบ พบว่า กล้วยไข่กึ่งแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสไม่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามกล้วยไข่กึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมมากกว่ากล้วยไข่กึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส ที่เป็นเช่นนั้นอาจเนื่องมาจากกล้วยไข่กึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสมีลักษณะปรากฏที่ดี โดยมีสีเหลืองอมน้ำตาล รสชาติหวานและมีเนื้อสัมผัสไม่แห้งหรือแน่นแข็งมาก ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านการออสโมซิสมีลักษณะเหี่ยวย่น โดยมีสีค่อนข้างดำคล้ำ รสชาติหวานน้อยกว่าและเนื้อสัมผัสแข็งแห้งกว่าจึงทำให้ผู้ทดสอบชอบผลิตภัณฑ์น้อยกว่า

เมื่อพิจารณาคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาด้วยวิธี QDA พบว่า กล้วยไข่กึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสมีสีน้ำตาล ความฝาด ความเหนียว และความแข็ง น้อยกว่ากล้วยไข่กึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส โดยกล้วยไข่กึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิสมีสีน้ำตาลคล้ำมากกว่าผลิตภัณฑ์กล้วยไข่ที่ผ่านการออสโมซิสประมาณ 2 เท่า โดยลักษณะของผลไม้อบแห้งที่ดี ควรมีสีตามธรรมชาติของวัตถุดิบ โดยไม่ควรมีสีน้ำตาลหรือคราบไหม้จากกระบวนการทำแห้ง นอกจากนี้ควรมีลักษณะเนื้อสัมผัสอ่อนนุ่ม ฉ่ำน้ำเล็กน้อย ไม่แข็งกระด้างหรือแห้งจนเกินไป (ไพโรจน์ วิริยจารี, สุจินดา ศรีวัฒนะ, พวงทอง ใจสันต์ และจิตรา กลิ่นหอม, 2544) และจากการตรวจเอกสารงานวิจัยแสดงให้เห็นว่า การดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสสามารถลดการเสื่อมเสียคุณภาพในด้านต่าง ๆ โดยเฉพาะด้านสีและเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ได้มากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านการออสโมซิส (Mauro et al., 2004; Thuwapanichayanan et al., 2011) การออสโมซิสทำให้กล้วยไข่กึ่งแห้งมีรสหวานและรสเค็มเล็กน้อย ซึ่งเกิดจากการใช้สารละลายออสโมติกซึ่งมีน้ำตาลและเกลือโซเดียมคลอไรด์เป็นส่วนประกอบ ซึ่งสอดคล้องกับผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสความชอบด้านรสชาติ (ภาพที่ 4-12) ที่พบว่า กล้วยไข่กึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสได้รับคะแนนความชอบด้าน

รสชาติมากกว่ากล้วยไข่กึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส นอกจากนี้จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่า ผู้ทดสอบสามารถรับรู้ความฝาดของผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 ตัวอย่างได้ ทั้งนี้อาจเนื่องจากในงานวิจัยนี้กำหนดใช้กล้วยไข่ห่าม ยังไม่สุกมาก จึงมีความฝาดจากแทนนินซึ่งเป็นสารประกอบฟีนอลิกที่ทำให้เกิดความฝาดในผลไม้ดิบ ในขณะเดียวกันแป้งซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของกล้วยยังไม่ถูกเปลี่ยนเป็นน้ำตาลโดยสมบูรณ์ จึงทำให้กล้วยห่ามมีความฝาดอยู่ (เบญจมาศ ศิลาย้อย, 2545) อย่างไรก็ตามการออสโมซิสช่วยลดความฝาดของกล้วยไข่กึ่งแห้งได้ ทั้งนี้เนื่องจากสารละลายออสโมติกมีส่วนผสมของน้ำตาลและเกลือ จึงทำให้กล้วยไข่กึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสมีรสหวานและรสเค็มร่วมด้วย ส่งผลให้ผู้ทดสอบรับรู้ถึงความฝาดน้อยกว่ากล้วยไข่กึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส และมีรายงานว่า การแช่ชิ้นผลไม้ในสารประกอบแคลเซียมสามารถลดความฝาดของผลไม้ได้ เนื่องจากแทนนินในผลไม้ซึ่งอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้จะทำปฏิกิริยากับแคลเซียมเกิดเป็นสารประกอบแคลเซียมแทนเนท (Calcium Tannate) ซึ่งมีสมบัติไม่ละลายน้ำ จึงเป็นผลให้ความฝาดของผลไม้ลดลง (Martin-Diana et al., 2007) โดยในงานวิจัยนี้มีการเติมแคลเซียมแลคเตทในสารละลายออสโมติกร่วมด้วย จึงมีแนวโน้มทำให้ความฝาดของกล้วยไข่ที่ผ่านการออสโมซิสลดลงได้

ตอนที่ 6 ผลการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์กล้วยไข่กึ่งแห้งที่ผลิตได้ระหว่างการเก็บรักษา

การเปลี่ยนแปลงสีของอาหารเป็นตัวบ่งชี้อย่างหนึ่งว่าผลิตภัณฑ์อาหารมีคุณภาพเสื่อมลง ซึ่งมีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภคโดยตรง จากผลการทดลองพบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น มีผลทำให้กล้วยไข่กึ่งแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสมีค่าความสว่าง (L*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ลดลง แต่มีค่าความเป็นสีแดง (a*) เพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่า กล้วยไข่กึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสมีสีน้ำตาลแดงเข้มขึ้น ในขณะที่กล้วยไข่กึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิสมีสีค่อนข้างดำคล้ำมากขึ้นเช่นกัน การที่กล้วยไข่กึ่งแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสมีสีคล้ำขึ้นระหว่างการเก็บรักษา เนื่องจากในระหว่างการเก็บรักษากล้วยไข่กึ่งแห้งเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างหมู่อะมิโนกับหมู่คาร์บอนิล ทำให้เกิดโพลีเมอร์ของสารสีน้ำตาลที่ไม่ละลายน้ำของเมลานอยดิน (Melanoidin) มีผลทำให้เกิดสีน้ำตาลที่ไม่พึงประสงค์ โดยมีสภาวะแวดล้อมในการเก็บรักษาเป็นตัวเร่งที่ทำให้อาหารกึ่งแห้งเกิดสีน้ำตาลเร็วขึ้น ได้แก่ ปริมาณความชื้น ค่า a_w และการสัมผัสกับออกซิเจนในภาชนะบรรจุ เป็นต้น (รัชนี ตัณฑะพานิชกุล, 2532; นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549) ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ อธิชญา ทองทับ (2554) ศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์กล้วยอบเป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นทำให้ผลิตภัณฑ์กล้วยอบมีค่า L* และค่า b* ลดลง แต่ค่า a* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ผลิตภัณฑ์กล้วยอบมีสีคล้ำมากขึ้น และจากผลการทดลองพบว่า ค่า Hue angle ลดลงจากที่ค่าอยู่ในกลุ่มเฉดสี

ส้มแดง-เหลือง (45-90 องศา) เป็นกลุ่มเฉดสีม่วงแดง-ม่วงส้ม (0-45 องศา) และมีค่า ΔE เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่นานขึ้น แต่ไม่มีผลทำให้ค่าความเข้มของสี (Chroma) เปลี่ยนแปลง อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองพบแนวโน้มว่า ตลอดการเก็บรักษา 4 สัปดาห์ กล้วยไข่กึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสมีค่า L* a* b* Hue angle Chroma และ ΔE มากกว่ากล้วยไข่กึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกล้วยไข่กึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสมีปริมาณเหล็กมากกว่า จึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีออกน้ำตาลแดงสว่างจากไอรอนกลูโคเนตตั้งแต่เริ่มต้นก่อนการเก็บรักษา โดยไอรอนกลูโคเนตสามารถแตกตัวเป็นเฟอรัสไอออนซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับออกซิเจนที่อยู่ภายใต้บรรจุภัณฑ์ จึงเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549) ผลิตภัณฑ์จึงมีสีออกน้ำตาลแดงจนสว่างในระยะการเก็บรักษาช่วงแรกและเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเข้มมากขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่นานขึ้น รวมถึงกล้วยไข่กึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสมีปริมาณน้ำตาลมากกว่า ซึ่งส่วนใหญ่มีน้ำตาลประเภทรีดิวส์ซิง คือ กลูโคส และฟรุคโตส ซึ่งมีโอกาสเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้สูง จึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีโอกาสเกิดสีน้ำตาลได้มาก (รัชนี ตัณฑะพานิชกุล, 2532) ซึ่งสอดคล้องกับค่าการเปลี่ยนแปลงของสีของกล้วยไข่กึ่งแห้งเมื่อเปรียบกับกล้วยไข่กึ่งแห้งที่เวลาการเก็บรักษา 0 สัปดาห์ แม้พบว่า กล้วยไข่กึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสมีแนวโน้มค่าการเปลี่ยนแปลงของสีมากกว่ากล้วยไข่กึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส แต่ค่าการเปลี่ยนแปลงของสีที่มากกว่านั้นยังทำให้ผลิตภัณฑ์ยังคงมีค่าความสว่างและและมีค่าความเป็นสีเหลืองมากกว่า จึงยังคงให้ลักษณะปรากฏด้านสีที่ดีกว่ากล้วยไข่กึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส ซึ่งไม่ได้ผ่านการเตรียมขั้นต้นใด ๆ จึงทำให้ตัวอย่างมีสีดำคล้ำ

การเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหารส่วนใหญ่ เกิดจากความไม่คงตัวของผลิตภัณฑ์อาหารและสภาวะแวดล้อมในการเก็บรักษา (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549) จากผลการทดลองพบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นทำให้กล้วยไข่กึ่งแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสมีค่าความแน่นเนื้อลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากอากาศและความชื้นที่มีอยู่ในภาชนะบรรจุสามารถสัมผัสกับตัวอย่างได้ ทำให้ค่า a_w ในผลิตภัณฑ์อาหารเปลี่ยนแปลงไป ส่งผลให้จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ และปลดปล่อยสารบางอย่างหรือผลิตเอนไซม์ที่มีผลทำให้เนื้อสัมผัสของอาหารเปลี่ยนแปลงไป (สุมณฑา วัฒนสินธุ์, 2549) จึงทำให้กล้วยไข่กึ่งแห้งทั้งสองตัวอย่างมีค่าความแน่นเนื้อลดลงเล็กน้อย แต่อย่างไรก็ตามกล้วยไข่กึ่งแห้งทั้งสองตัวอย่างยังคงมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดีและมีความแน่นเนื้อดี เนื่องจากผลิตภัณฑ์บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยด์ที่ปิดสนิทซึ่งมีส่วนป้องกันอากาศและความชื้นจากภายนอกได้ดี จึงสามารถลดโอกาสเกิดปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงที่ไม่พึงประสงค์ที่มีอากาศและความชื้นเป็นตัวเร่ง จึงไม่ทำให้เกิดการสูญเสียเนื้อสัมผัสมากนัก (ปุ่น คงเจริญเกียรติ และสมพร คงเจริญเกียรติ, 2541) และจากที่พบข้อสังเกตว่า กล้วยไข่กึ่งแห้งที่

ผ่านการออสโมซิสมีลักษณะชุ่มชื้น ในขณะที่กล้วยไข่กึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิสมีลักษณะแห้งหรือเหี่ยวย่น (ดังภาพที่ 4-14) เนื่องจากกล้วยไข่กึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสมีน้ำตาลเป็นส่วนประกอบ โดยน้ำตาลมีสมบัติเป็นสารให้ความชุ่มชื้นจึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะฉ่ำน้ำมากกว่ากล้วยไข่กึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสจึงมีความนุ่มกว่าหรือมีค่าความแน่นเนื้อน้อยกว่ากล้วยไข่กึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิสตลอดการเก็บรักษา 4 สัปดาห์

ปริมาณความชื้นและค่า a_w เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหาร สำหรับค่า a_w เป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณน้ำต่ำที่สุดในอาหารที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตและใช้ในการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ ซึ่งเป็นดัชนีบ่งชี้ถึงอายุการเก็บหรือการเน่าเสียของผลิตภัณฑ์ได้ (สุมณฑา วัฒนสินธุ์, 2549) จากผลการทดลองพบว่าตลอดการเก็บรักษา 4 สัปดาห์ กล้วยไข่กึ่งแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสมีค่า a_w (0.67-0.73) ไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดในผลิตภัณฑ์กล้วยอบที่กำหนดไว้ว่า ต้องมีค่า a_w ไม่เกิน 0.75 (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, 2546) โดยปกติปริมาณความชื้นและค่า a_w มักมีความสัมพันธ์กันคือเมื่อค่าปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นค่า a_w มักเพิ่มขึ้นด้วย แต่เป็นการเพิ่มแบบไม่เป็นเส้นตรง (ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว, 2545) การที่ปริมาณความชื้นและค่า a_w เพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา อาจเนื่องมาจากกล้วยไข่กึ่งแห้งทั้งสองตัวอย่างไม่ได้บรรจุในสภาวะสุญญากาศที่มีการดูดอากาศในภาชนะบรรจุออกก่อน จึงมีอากาศและความชื้นอยู่ในช่องว่างของบรรจุภัณฑ์ก่อนการปิดผนึก ซึ่งอาจทำให้ตัวอย่างดูดซับความชื้นที่มีอยู่ในช่องว่างของบรรจุภัณฑ์ได้ จึงทำให้ตัวอย่างมีปริมาณความชื้นและค่า a_w เปลี่ยนแปลงไป และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในเวลาต่อมา และพบแนวโน้มว่า กล้วยไข่กึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสมีปริมาณความชื้นและค่า a_w น้อยกว่ากล้วยไข่กึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส ทั้งนี้เนื่องจากกล้วยไข่กึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสมีน้ำตาลเป็นส่วนประกอบมากกว่า โดยน้ำตาลเป็นสารประกอบที่มีหมู่ไฮดรอกซิลมาก จึงสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของน้ำในอาหารได้ จึงมีปริมาณน้ำอิสระในตัวอย่างอาหารน้อย ค่า a_w จึงต่ำ (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549) รวมถึงกล้วยไข่กึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสมีเกลือจากโซเดียมคลอไรด์เป็นส่วนประกอบซึ่งสามารถลดปริมาณน้ำอิสระในตัวอย่างอาหารได้เช่นกัน จึงสามารถลดค่า a_w ในอาหารได้ (ชมพู่ ยิ้มโต, 2550) เป็นผลให้กล้วยไข่กึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสสามารถรักษาปริมาณความชื้นและค่า a_w ให้คงที่หรือเกิดการเปลี่ยนแปลงได้น้อยกว่า อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ปริมาณความชื้นและค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ไม่เปลี่ยนแปลงไปมากนัก อาจเป็นผลจากการบรรจุผลิตภัณฑ์ในถุง LDPE เคลือบอลูมิเนียมฟอยด์ ซึ่งมีคุณสมบัติช่วยป้องกันการซึมผ่านของอากาศและความชื้นจากภายนอกได้ดี (ปุ่น คงเจริญเกียรติ และสมพร คงเจริญเกียรติ, 2541)

จึงทำให้ตัวอย่างกล้วยไข่กึ่งแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสมีปริมาณความชื้นและค่า a_w อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ตลอดการเก็บรักษา 4 สัปดาห์

จุลินทรีย์สามารถทำให้อาหารเสื่อมเสียได้ การตรวจสอบคุณภาพทางจุลินทรีย์สามารถใช้เป็นตัวชี้วัดคุณภาพอาหารเพื่อยืนยันความปลอดภัยต่อการบริโภคอาหารได้ พบว่า ตลอดการเก็บรักษา 4 สัปดาห์ กล้วยไข่กึ่งแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสยังคงมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณ *E.coli* ปริมาณ *S. aureus* และปริมาณยีสต์ราอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด ซึ่งกำหนดไว้ว่าจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดต้องต้องไม่เกิน 1×10^3 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม ปริมาณ *E. coli* และ *S. aureus* ต้องไม่เกิน 10 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม และปริมาณยีสต์และราต้องไม่เกิน 100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, 2546) การที่กล้วยไข่กึ่งแห้งทั้งสองตัวอย่างยังคงมีปริมาณจุลินทรีย์ต่าง ๆ ตามที่กำหนด อาจเนื่องมาจากกล้วยไข่กึ่งแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสมีการแปรรูปที่ควบคุมให้ค่า a_w ของตัวอย่างสองชนิดในผลการทดลองมีค่า a_w ต่ำ (0.65-0.90) ซึ่งจัดเป็นอาหารประเภทกึ่งแห้ง จึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีโอกาสเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์น้อย เป็นผลให้สามารถเก็บรักษากล้วยไข่กึ่งแห้งนี้ที่อุณหภูมิห้องได้นานอย่างน้อย 4 สัปดาห์ ซึ่งยังคงสามารถบริโภคได้อย่างปลอดภัย สอดคล้องกับผลการทดลองของ อภิชญา ทองทับ (2554) ที่ศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์กล้วยอบที่มีค่า a_w 0.65 บรรจุในกล่องพลาสติกใสพีวีซีและเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง พบว่า สามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อบกล้วยอบได้ 7 สัปดาห์ โดยยังคงมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์ราไม่เกินมาตรฐานที่กำหนดไว้มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนกล้วยอบ (มผช.112/2546)

จากการตรวจเอกสาร พบว่า ผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสอาจมีผลเอื้อต่อการเจริญของจุลินทรีย์บางประเภท เนื่องจากผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสมีเกลือเป็นส่วนประกอบ ทำให้จุลินทรีย์บางประเภทที่สามารถเจริญได้ในสภาวะที่มีค่า a_w ต่ำ เช่น แบคทีเรียพวกที่ชอบเค็ม (Halophilic Bacteria) สามารถเจริญได้ในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีค่า a_w เท่ากับ 0.75 (สุมณฑา วัฒนสินธุ์, 2549) นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสมีน้ำตาลเป็นส่วนประกอบ จึงทำให้จุลินทรีย์จำพวกยีสต์บางประเภท โดยเฉพาะยีสต์ในกลุ่ม Osmophilic Yeast สามารถเจริญได้ดีในสภาวะที่มีน้ำตาลความเข้มข้นสูง และทนต่อแรงดันออสโมติกสูงได้ดี แม้ผลิตภัณฑ์จะมีค่า a_w ต่ำเพียง 0.61 รวมถึงกลุ่มเชื้อราที่ชอบเจริญในที่แห้ง (Xerophilic Molds) ซึ่งสามารถเจริญได้ในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีค่า a_w 0.65 (สุรีย์ นานาสมบัติ, 2534; นฤมล พงษ์พิริยะเดชะ, 2539) จึงทำให้กล้วยไข่กึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสมีจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรามากกว่าเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับกล้วยไข่กึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส ซึ่งสอดคล้องกับ อภิชญา ทองทับ (2554) และ Shukla and Singh (2007) ที่รายงานว่า โดยทั่วไปการใช้น้ำตาลและเกลือเป็นส่วนประกอบ ทำให้ผักผลไม้กึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสมีแนวโน้มของปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และรามากกว่าผักผลไม้กึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส เนื่องจากเป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ประเภท

ดังกล่าวมากกว่า และ Saxena, Mishra , Chander and Sharma (2009) ศึกษาอายุการเก็บรักษาของสับปะรดกึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายซูโครสความเข้มข้นร้อยละ 70 เป็นเวลา 16 ชั่วโมง และทำแห้งโดยเครื่องทำแห้งแบบอินฟราเรด ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จนได้ a_w เท่ากับ 0.82 พบว่า เมื่อเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นมีแนวโน้มให้ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์และราเพิ่มขึ้น เมื่อเก็บรักษา 40 วัน โดยสับปะรดกึ่งแห้งมีจุลินทรีย์ทั้งหมดและจุลินทรีย์ประเภทยีสต์และรา อยู่ในช่วง 10^2-10^3 โคโลนีต่อกรัม ซึ่งยังคงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของผลิตภัณฑ์ที่มีความปลอดภัยต่อการบริโภค

เมื่อพิจารณาคุณภาพทางประสาทสัมผัสความชอบ พบว่า ตลอดการเก็บรักษา 4 สัปดาห์ กล้วยไข่กึ่งแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมลดลงเล็กน้อย ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์คุณภาพด้านสีและความแน่นเนื้อ (ภาพที่ 4-16 และ 4-21) ที่พบว่า กล้วยไข่กึ่งแห้งมีสีคล้ำขึ้นและมีความแน่นเนื้อลดลง จึงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมลดลงเล็กน้อย แต่อย่างไรก็ตาม ตลอดการเก็บรักษา 4 สัปดาห์ กล้วยไข่กึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสยังคงมีลักษณะปรากฏที่ดี มีสีคล้ำน้อยกว่า และมีความแน่นเนื้อมากกว่ากล้วยไข่กึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส จึงส่งผลให้ได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมมากกว่า 6 คะแนนขึ้นไป (6.1-7.3 คะแนน) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ผู้ทดสอบยังคงให้การยอมรับผลิตภัณฑ์อยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง

สรุปผลการทดลอง

1. ในการวิจัยใช้กล้วยไข่ห่ามพันธุ์กำแพงเพชร สีของเปลือกกล้วยไข่มีสีเขียวอมเหลือง โดยมีค่าสี L* a* b* Hue angle และ Chroma เท่ากับ 63.16 -9.46 43.77 102.19 และ 44.78 ตามลำดับ กล้วยไข่มีเนื้อสีขาวอมเหลือง โดยมีค่าสี L* a* b* Hue angle และ Chroma เท่ากับ 71.07 8.88 40.00 77.49 และ 40.97 ตามลำดับ มีค่าความแน่นเนื้อ 170.63 กรัม ปริมาณความชื้นร้อยละ 70.05 ค่า a_w 0.98 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 23.67 องศาบริกซ์ ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด 7.34 กรัมต่อ 100 กรัม ปริมาณเหล็ก 0.51 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม และปริมาณแคลเซียม 3.55 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม

2. ผลของการออสโมซิสโดยใช้สารละลายผสมต่อค่าการถ่ายเทมวลสารและคุณภาพของกล้วยไข่

2.1 ผลของชนิดของน้ำตาลและการใช้โซเดียมคลอไรด์ต่อค่าการถ่ายเทมวลสารของกล้วยไข่ พบว่า การใช้สารละลายซูโครสทำให้มีค่าการถ่ายเทมวลสาร (WL SG และ WR) มากกว่าการใช้สารละลายโอลิโกฟรุคโตส ($p<0.05$) และการเติมโซเดียมคลอไรด์ในสารละลายน้ำตาล

สามารถเพิ่มค่าการถ่ายเทมวลทุกค่าให้เพิ่มขึ้นได้ ($p<0.05$) โดยการใช้สารละลายผสมระหว่างซูโครสและโซเดียมคลอไรด์ทำให้กล้วยไข่มีค่าการถ่ายเทมวลสาร WL SG และ WR สูงที่สุด ($p<0.05$)

2.2 ผลของความเข้มข้นของโอลิโกฟรุคโตสและซูโครสต่อค่าการถ่ายเทมวลสารและคุณภาพของกล้วยไข่ พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโอลิโกฟรุคโตสและซูโครสทำให้มีค่าการถ่ายเทมวลสาร (WL SG และ WR) เพิ่มขึ้น และมีผลทำให้กล้วยไข่หลังการออสโมซิสมีสีเหลืองสว่างไม่ดำคล้ำ รวมถึงมีความแน่นเนื้อ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมเพิ่มขึ้น โดยการใช้โอลิโกฟรุคโตส 47 กรัมต่อ 100 กรัม และซูโครส 19 กรัมต่อ 100 กรัม ร่วมกับการเติมโซเดียมคลอไรด์ 5 กรัมต่อ 100 กรัม เป็นสารละลายออสโมติกที่เหมาะสมที่สุด ที่ทำให้มีค่าการถ่ายเทมวลสารสูงที่สุด ($p<0.05$) (WL ร้อยละ 24.05 SG ร้อยละ 2.34 และ WR ร้อยละ 21.70) และได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด (7.4 คะแนน) ($p<0.05$)

3. ผลของการใช้สภาวะสุญญากาศในการเตรียมขั้นต้นก่อนการออสโมซิสต่อค่าการถ่ายเทมวลสารและคุณภาพของกล้วยไข่ พบว่า การใช้สภาวะสุญญากาศทุกสภาวะในการเตรียมขั้นต้นก่อนการออสโมซิสมีผลทำให้ค่าการถ่ายเทมวลสาร (WL SG และ WR) ของกล้วยไข่เพิ่มขึ้นมากกว่ากล้วยไข่ที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้นในสภาวะสุญญากาศ ($p<0.05$) คิดเป็นเพิ่มค่า WL SG และ WR ประมาณร้อยละ 1.22-3.46 0.11-0.21 1.13-3.16 ตามลำดับ และการใช้สภาวะสุญญากาศในการเตรียมขั้นต้นก่อนการออสโมซิสทำให้กล้วยไข่หลังการออสโมซิสเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางจุลภาคมากกว่าการไม่เตรียมขั้นต้น และหากพิจารณาสิ่งทดลองที่ใช้การเตรียมขั้นต้นในสภาวะสุญญากาศ พบว่า การใช้สภาวะสุญญากาศที่ระดับสูงเป็นเวลานานทำให้กล้วยไข่หลังการออสโมซิสมีค่าการถ่ายเทมวลสารทุกค่าเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามมีแนวโน้มทำให้กล้วยไข่หลังการออสโมซิสมีลักษณะช้ำและมีสีเหลืองค่อนข้างคล้ำมาก มีความแน่นเนื้อต่ำ เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรและรูปร่างมาก และทำให้กล้วยไข่หลังการออสโมซิสได้รับคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมต่ำกว่าการใช้สภาวะสุญญากาศที่ระดับต่ำเป็นเวลาสั้น โดยการเตรียมขั้นต้นในสภาวะสุญญากาศ 50 มิลลิบาร์ เป็นเวลา 5 นาที มีความเหมาะสมที่สุด ที่ทำให้มีค่าการถ่ายเทมวลสารสูง (WL ร้อยละ 27.17 SG ร้อยละ 2.52 และ WR ร้อยละ 24.65) และได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูง (6.3 คะแนน)

4. ผลของการเสริมแร่ธาตุในสารละลายออสโมติกต่อค่าการถ่ายเทมวลสารและคุณภาพของกล้วยไข่ พบว่า การเติมไอรอนกลูโคเนตและแคลเซียมแลคเตทในสารละลายออสโมติกมีผลทำให้ค่าการถ่ายเทมวลสาร (WL SG และ WR) ของกล้วยไข่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ($p<0.05$)

เมื่อเปรียบเทียบกับการไม่เติมไอรอนกลูโคเนตและแคลเซียมแลคเตทในสารละลายออสโมติก คิดเป็นเพิ่มค่า WL SG และ WR ประมาณร้อยละ 0.14-1.14 0.13-0.76 และ 0.00-0.37 ตามลำดับ การเพิ่มความเข้มข้นของไอรอนกลูโคเนตและแคลเซียมแลคเตทมีผลทำให้กล้วยไข่หลังการออสโมซิสมีปริมาณเหล็กและปริมาณแคลเซียมเพิ่มขึ้น การเพิ่มความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทในสารละลายออสโมติกมีผลทำให้กล้วยไข่หลังการออสโมซิสมีค่าความแน่นเนื้อมาก การเติมไอรอนกลูโคเนตและแคลเซียมแลคเตทมีแนวโน้มทำให้กล้วยไข่หลังการออสโมซิสได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏและสีเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยการเติมไอรอนกลูโคเนต 2 กรัมต่อ 100 กรัม ร่วมกับแคลเซียมแลคเตท 2 กรัมต่อ 100 กรัม ในสารละลายออสโมติกมีความเหมาะสมที่สุด ทำให้กล้วยไข่หลังการออสโมซิสมีปริมาณเหล็ก (22.94 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม) และปริมาณแคลเซียม (31.34 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม) สูงที่สุด ($p<0.05$) คิดเป็นการมีปริมาณเหล็กและแคลเซียมเพิ่มขึ้นจากกล้วยไข่สดประมาณ 45 และ 9 เท่า ตามลำดับ โดยได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด (7.5 คะแนน) ($p<0.05$)

5. กล้วยไข่ที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสใช้เวลาทำแห้งแบบสุญญากาศเท่ากับ 552 และ 722 นาที ตามลำดับ เพื่อลดความชื้นเป็นผลิตภัณฑ์กล้วยไข่กึ่งแห้ง จากการเปรียบเทียบคุณภาพกล้วยไข่กึ่งแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิส พบว่า กล้วยไข่กึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (22.18 กรัมต่อ 100 กรัม) ปริมาณเหล็ก (22.04 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม) ปริมาณแคลเซียม (30.28 กรัมต่อ 100 กรัม) มากกว่า และกล้วยไข่กึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสโดยมีค่าการเปลี่ยนแปลงของสี (41.19) ค่าความแน่นเนื้อ (354.17 กรัม) ค่าการหดตัวของความหนา (0.84) น้อยกว่ากล้วยไข่กึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส ($p<0.05$) สำหรับคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบ พบว่า กล้วยไข่กึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ (7.1) สี (7.2) รสชาติ (7.2) เนื้อสัมผัส (6.6) และความชอบโดยรวม (7.1) มากกว่ากล้วยไข่กึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส ($p<0.05$) และสำหรับคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาโดยวิธี QDA พบว่า กล้วยไข่กึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสมีสีน้ำตาล ความฝาด ความเหนียว และความแข็งน้อยกว่า โดยกล้วยไข่กึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสแต่มีรสหวานและรสเค็มมากกว่ากล้วยไข่กึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส ($p<0.05$)

6. กล้วยไข่กึ่งแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสบรรจุในถุงโพลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเคลือบอลูมิเนียมฟอยด์ สามารถเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิได้อย่างน้อย 4 สัปดาห์ โดยยังคงมีค่า a_w และปริมาณจุลินทรีย์เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนกล้วยอบ (มผช.112/2546) โดยกล้วยไข่กึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสยังคงมีลักษณะปรากฏที่ดี มีสีคล้ำน้อยกว่า และมีความแน่นเนื้อมากกว่า

กล้วยไข่กึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส ได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมมากกว่า 6 คะแนนขึ้นไป ตลอดเวลาการเก็บรักษา 4 สัปดาห์

ข้อเสนอแนะ

1. อาจมีการศึกษาการเสริมสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกายชนิดอื่น ๆ เช่น โพรไบโอติก สารพฤกษเคมีที่มีสมบัติต้านอนุมูลอิสระและวิตามิน เป็นต้น เพื่อเพิ่มมูลค่าของกล้วยไข่กึ่งแห้ง และเพื่อให้ผู้บริโภคมีทางเลือกในการบริโภคอาหารสุขภาพมากขึ้น

2. ควรมีการตรวจติดตามคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในระยะเวลานานกว่านี้ เพื่อประเมินอายุการเก็บรักษากล้วยไข่กึ่งแห้งที่ได้

3. อาจมีการศึกษาสภาวะการเก็บรักษา เช่น อุณหภูมิการเก็บ ชนิดของบรรจุภัณฑ์ วิธีการบรรจุ เป็นต้น เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาและลดการเสื่อมเสียคุณภาพระหว่างการเก็บรักษา

4. อาจมีการนำผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาได้มาทดสอบผู้บริโภคเพื่อประเมินการตัดสินใจซื้อ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการจำหน่ายผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ต่อไป

5. อาจมีการนำผลิตภัณฑ์ทางการค้ามาวิเคราะห์ค่าคุณภาพและเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาได้

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University