วิจารณ์ผลการทดลอง

1. คุณภาพของการแช่แข็งลำไยที่ปอกเปลือกและไม่ปอกเปลือก

ลำไยแช่เย็นมีการสูญเสียน้ำหนักตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเพียง 0.16 - 0.38% ซึ่งสูญเสียน้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบลำไยแช่แข็งทั้งที่ปอกเปลือกและไม่ปอกเปลือก ($p \leq 0.05$) การที่ลำไยแช่เย็นมีการสูญเสียน้ำหนักเพียงเล็กน้อยเนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเย็นประมาณ 80-85% ซึ่งมีความใกล้เคียงกับน้ำในเซลล์ของผักและผลไม้ทั่วไป (จริงแท้, 2538) เป็นผลให้ลำไยสูญเสียน้ำเล็กน้อย การแช่เย็นเป็นวิธีการเก็บรักษาผลิตผลทางการเกษตรให้มีการสูญเสียคุณค่าทางอาหารน้อยลง ลำไยเก็บที่อุณหภูมิต่ำ 1–5°C มีอายุการเก็บรักษาได้ 30 วัน โดยประมาณ (Jiang et al., 2002) แต่จากการทดลองเก็บรักษาลำไยที่อุณหภูมิ 4°C ได้เพียง 3 สัปดาห์ หรือ 21 วันเท่านั้น ซึ่งอาจเกิดจากความชื้นภายในห้องเย็นสูงเกินไป ทำให้ผลลำไยเกิดการเน่าเสียจากเชื้อจุลินทรีย์

การแช่แข็งเป็นวิธีการที่ทำให้ผักและผลไม้สามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน ทั้งยังช่วยรักษาสี กลิ่นรส และคุณค่าทางอาหารของผลิตผลอีกด้วย (Sahari et al., 2004) คุณภาพของผลไม้แช่แข็งขึ้นอยู่กับชนิดของผลไม้ อายุขณะเก็บเกี่ยว การจัดการก่อน กระบวนการแช่แข็ง ชนิดของการบรรจุ อัตราเร็วและกรรมวิธีการแช่แข็ง และอุณหภูมิระหว่างการเก็บรักษา (Ancos et al., 2006) ผลไม้แช่แข็งมีหลากหลายรูปแบบที่แตกต่างกัน เช่น การแช่แข็งทั้งผล การหั่นเป็นชิ้น การหั่นเป็นครึ่งซีก หรือทรงลูกบาศก์ (Chauhan et al., 2009) ซึ่งมีผลต่อคุณภาพของการละลายผลไม้แช่แข็งด้วย การสูญเสียน้ำเป็นปัจจัยสำคัญต่อคุณภาพของผลไม้แช่แข็ง เนื่องจากการสูญเสียน้ำปริมาณมากส่งผลให้เกิดการสูญเสียของแข็งที่ละลายได้และเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสระหว่างการละลาย (Chauhan et al., 2009) จากการทดลองพบว่าลำไยปอกเปลือกแล้วนำไปแช่แข็งเมื่อนำมาทำการละลายพบว่ามีค่าการสูญเสียน้ำหนัก 19.84 - 27.15% ซึ่งเป็นการสูญเสียน้ำที่สูงกว่าผลไม้บางชนิดที่มีการสูญเสียน้ำอยู่ระหว่าง 10 - 17% เช่น สับปะรด (Chauhan et al., 2009) เป็นต้น สำหรับลำไยแช่แข็งที่ไม่ปอกเปลือกเมื่อนำมาทำการละ ลายแล้วมีค่าการสูญเสียน้ำหนักในสัปดาห์ที่ 1, 2, 3 และ 4 เท่ากับ 0.31, 4.49, 7.74 และ 9.06% ตามลำดับ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าลำไยแช่แข็งปอกเปลือกอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ดังนั้นการมีเปลือกห่อหุ้มช่วยป้องกันการสูญเสียน้ำของผลไม้ได้ดีกว่า

การเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อลำไยโดยการวัดค่าสีด้วยระบบ CIE L* a* และ b* พบว่า ลำไยแช่แข็งทั้งที่ปอกเปลือกและไม่ปอกเปลือกมีแนวโน้มค่า L* (ค่าความสว่าง) สูงกว่าลำไยแช่เย็น

สำหรับค่า a* (ค่าความเป็นสีเขียว-แดง) และ b* (ค่าความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน) ของเนื้อลำไยเนื้อลำไยแช่เย็น ลำไยแช่แข็งที่ไม่ปอกเปลือก และลำไยแช่แข็งปอกเปลือกไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) และระยะเวลาเก็บรักษาที่นานขึ้นไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า a* และ b* ของเนื้อลำไยทั้ง 3 สิ่งทดลอง ผลไม้พร้อมบริโภคแช่แข็งมีแนวโน้มในการเกิดสีน้ำตาลในระหว่างการเก็บรักษา (Bartolome et al., 1996) ดังนั้นจึงต้องทำการวัดค่าสีของผลไม้แช่แข็ง การวัดค่าสีด้วยระบบ CIE นั้น ค่าความสว่าง เป็นค่าที่บ่งชี้การเกิดสีน้ำตาลของผลไม้ได้ (Chauhan et al., 2009)

วิธีการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน (ลำไยแช่เย็น ลำไยแช่แข็งไม่ปอกเปลือก และลำไยแช่แข็งปอกเปลือ ก) และระยะเวลาในการเก็บรักษาไม่มีผลต่อ ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้และ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของเนื้อลำไย เนื่องจากลำไยเป็นผลไม้ประเภท non-climacteric ดังนั้นหลังจากการเก็บเกี่ยวแล้ว จึงมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดที่ไตเตรทได้และปริมาณของแข็งที่ละลายได้เพียงเล็กน้อย (Jiang et al., 2002) และผลิตภัณฑ์อาหารแช่แข็งมีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีน้อยมาก (สมโภชน์, 2555)

การแช่แข็งมีผลต่อโครงสร้างของเซลล์ เนื้อลำไย อย่างชัดเจน จากการศึกษาลักษณะโครงสร้างเนื้อเยื่อด้วยเครื่อง SEM พบว่าเนื้อเยื่อของลำไยแช่เย็นที่ 4°C โครงสร้างของเซลล์อยู่ในสภาพดี เกิดการแยกตัวของเซลล์เพียงเล็กน้อยเท่านั้น สำหรับเนื้อ เยื่อของลำไยแช่แข็งทั้งไม่ปอกเปลือกและปอกเปลือกนั้น เกิดการแยกตัวของเซลล์ตั้งแต่ที่ระยะเวลาเริ่มต้นของการเก็บรักษา และเมื่อระยะเวลาเก็บรักษานานขึ้นจนถึง 4 สัปดาห์ การเปลี่ยนแปลงลักษ ณะโครงสร้างของเซลล์เกิดมากขึ้น โครงสร้างของเซลล์ถูกทำลาย และการแยกตัวของเซลล์มากขึ้น อย่างไรก็ตามเนื้อเยื่อของลำไยแช่แข็งปอกเปลือกแสดงให้เห็นว่านอกจากเกิดการแยกชั้นแล้ว เซลล์ยังมีลักษณะเหี่ยวย่น และ ความเสียหายของโครงสร้างของเซลล์นั้นเกิดมากกว่าลำไยแช่แข็งไ ม่ปอกเปลือก เซลล์ของพืชประกอบด้วยผนังเซลล์และ เยื่อหุ้มเซลล์เมมเบรน ซึ่งผนังเซลล์มีความแข็งแรง ไม่มีความยืดหยุ่น จึงต้านทานต่อการขยายตัวของผลึกน้ำแข็งได้น้อย (Sun and Li, 2003) เนื่องจากในการเกิดผลึกของน้ำแข็ง น้ำแข็งจะมีปริมาตรมากกว่าน้ำ น้ำที่แข็งตัวจะทำให้เซลล์เกิดความเสียหายได้ (Cano, 1996) กลไกความเสียหายจากการแช่แข็งในเนื้อเยื่อของพืช มี 4 กระบวนการ ได้แก่ ความเสียหายจากความเย็น (chill damage) ความเสียหายจากความเข้มข้นของตัวถูกละลาย (solute-concentration damage) ความเสียหายจากการระเหยของน้ำ (dehydration damage) และความเสียหายทางกลจากผลึกน้ำแข็ง (mechanical damage from ice crystals) (Reid, 1994)

ลำไยแช่เย็นมีคะแนนความชอบด้านสี ลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส กลิ่นรส และความชอบรวมมากกว่าลำไยแช่แข็ง ($p \leq 0.05$) และคะแนนความชอบอยู่ในเกณฑ์ยอมรับ (มากกว่า 5.00 คะแนน) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา แม้ว่าสามารถเก็บรักษาได้เพียง 3 สัปดาห์เท่านั้น เมื่อ

เปรียบเทียบระหว่างลำไยแช่แข็งไม่ปอกเปลือกและปอกเปลือก พบว่าคะแนนความชอบด้านสี ลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส กลิ่นรส และความชอบรวมของลำไยแช่แข็งไม่ปอกเปลือกมากกว่าลำไยแช่แข็งปอกเปลือ กอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ลำไยแช่แข็งทั้งที่มีเปลือกและไม่มีเปลือกสามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน แต่เมื่อนำมาทำการละลายและประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสแล้ว ผลปรากฏว่าคะแนนความชอบทุกด้านลำไยแช่แข็งไม่ปอกเปลือกอยู่ในเกณฑ์ยอมรับที่สัปดาห์ที่ 2 ของการเก็บรักษา ในขณะที่ลำไยแช่แข็งปอกเปลือกมีคะแนนความชอบทุกด้านอยู่ในเกณฑ์ยอมรับในสัปดาห์เริ่มต้นของการเก็บรักษาเท่านั้น เนื่อง จากการแช่เยือกแข็งมักทำให้ผลิตภัณฑ์จากผักและผลไม้มีการเปลี่ยนแปลงทาง ลักษณะเนื้อสัมผัส ลักษณะปรากฏ และรสชาติเปลี่ยนไป (สมโภชน์, 2555)

2. ผลของสารเ คลือบผิวที่รับประทานได้ต่อคุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี และ ประสาทสัมผัส ของเนื้อลำไยแช่แข็ง

จากการศึกษา ผลของสารเคลือบผิวที่รับประทานได้ 2 ชนิด คือ ไคโตซานและ เมธิลเซลลูโลส ที่ความเข้มข้น 3 ระดับ คือ 0.1, 0.5 และ 1.0% ต่อคุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัส ของเนื้อลำไยแช่ แข็งเก็บรักษาเป็นเวลานาน 4 สัปดาห์ และทำการวิเคราะห์คุณภาพทุกสัปดาห์ พบว่าการสูญเสียน้ำหนักของลำไยทั้ง 6 สิ่งทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อระยะเวลาเก็บรักษานานขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการใช้สารเคลือบผิวช่วยลดการสูญเสียน้ำในผลิตผลได้ ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับ การใช้ไคโตซานเคลือบผลลำไยสด (Jiang and Li, 2001) และการเคลือบสตรอเบอรี่ แช่แข็งด้วยไคโตซาน (Han et al., 2004) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่าการสูญเสียน้ำหนักของเนื้อลำไยแช่แข็งที่ สารเคลือบผิวที่รับประทานได้ ทั้ง 2 ชนิด ไม่มีความแตกต่างกั น ดังนั้นจึงสามารถนำเมธิลเซลลูโลสมาใช้ในการยืดอายุการเก็บรักษาลำไยได้เช่นเดียวกันกับไคโตซาน ระดับความเข้มข้นของสารเคลือบผิวมีอิทธิผลต่อการสูญเสียน้ำหนักของเนื้อลำไย โดยที่ความเข้มข้น 0.5 และ 1.0% มีค่าการสูญเสียน้ำหนัก มากกว่าที่ความเข้มข้น 0.1% อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

การเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อลำไยพบว่าค่า L* ของลำไยแช่แข็ง ที่เคลือบด้วยไคโตซานหรือเมธิลเซลลูโลส มีค่าระหว่าง 40.40-45.63 ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงค่า L* เพียงเล็กน้อยตลอดระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการเก็บรักษา และค่า L* นี้ยังสูงกว่าลำไย แช่แข็งทั้งที่ไม่ปอกเปลือกและปอกเปลือกอีกด้วย ค่า a* และ b* ของเนื้อลำไยแช่แข็ง ที่เคลือบด้วยไคโตซาน หรือเมธิลเซลลูโลสความเข้มข้น 0.1, 0.5 หรือ 1.0% ไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) และระยะเวลาเก็บรักษาที่นานขึ้นไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า a* และ b* ของเนื้อลำไยแช่แข็ง ($p > 0.05$) ชนิดและระดับ

ความเข้มข้นของสารเคลือบผิวที่รับประทานได้ไม่มีอิทธิผลต่อค่า a* และ b* ของเนื้อลำไย การใช้สารเคลือบผิวช่วยรักษาสีของผลไม้ ดังที่เคยมีการวิจัยกันมาก่อนหน้านี้แล้ว เช่น การใช้สารเคลือบผิวช่วยชะลอการเกิดสีน้ำตาลของเปลือกลิ้นจี่ (Zhang et al, 1997) หรือการใช้ไคโตซานเคลือบผลราสเบอรี่ซึ่งลดการเปลี่ยนแปลงสีของผลไม้ระหว่างการเก็บรักษา (Han et al, 2004)

ลำไยแช่แข็งเคลือบไคโตซานมีการเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้เพียงเล็กน้อยตลอดระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการเก็บรักษา ในขณะที่ลำไยแช่แข็งเคลือบด้วย เมธิลเซลลูโลสที่ความเข้มข้นทั้ง 3 ระดับมีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ลดลง อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ($p > 0.05$) ลำไยแช่แข็งที่เคลือบ เมธิลเซลลูโลส มีแนวโน้มค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้สูงกว่าลำไยเคลือบไคโตซาน และที่ระดับความเข้มข้นสูงขึ้นมี แนวโน้มค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้สูงขึ้นเล็กน้อย จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างชนิดและความเข้มข้นของสารเคลือบผิวที่รับประทานได้มีผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของเนื้อลำไยแช่แข็ง เนื่องจากลำไยเป็นผลไม้ประเภท non-climacteric หลังจากการเก็บเกี่ยวแล้วมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้เพียงเล็กน้อย (Jiang et al., 2002) การเพิ่มขึ้นหรือลดลงของปริมาณของแข็งที่ละลายได้จึงมาจากสารเคลือบผิวที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ เมธิลเซลลูโลสเป็นสารประกอบทางเคมีที่ได้มาจากเซลลูโลส มีลักษณะเป็นผงสีขาว สามารถละลายได้ในน้ำเย็น ให้สารละลายที่มีลักษณะข้นหนืดเป็นเจล มักใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดหรือ emulsifier ในผลิตภัณฑ์อาหาร เมธิลเซลลูโลสไม่เป็นพิษและไม่เป็นสารก่อให้เกิดภูมิแพ้ ร่างกายไม่สามารถย่อยสลายเมธิลเซลลูโลสได้เช่นเดียวกับเซลลูโลส (Feller and Wilt, 1990) ไคโตซานเป็นโพลิแซคคาไรด์ที่มีประจุบวก น้ำหนักโมเลกุลสูง และไม่มีรสชาติ ได้มาจากการ deacetylation ไคติน สารเคลือบจากไคโตซานเหมาะสำหรับการเคลือบผลไม้สดเนื่องจากการขึ้นรูปและคุณสมบัติทางชีวเคมีที่ดี (Ghaouth et al., 1991)

ลำไยปอกเปลือกแล้วเคลือบด้วยไคโตซาน หรือเมธิลเซลลูโลส จากนั้นทำไปแช่แข็งด้วยไนโตรเจนเหลว ทำการ ศึกษาลักษณะโครงสร้างเนื้อเยื่อด้วยเครื่อง SEM พบว่า โครงสร้างของเซลล์เนื้อเยื่อของลำไยแช่แข็งที่เคลือบด้วยไคโตซาน 1.0% เกิดการแยกตัวของเซลล์เห็นได้อย่างชัดเจนตั้งแต่ที่ระยะเวลาเริ่มต้นของการเก็บรักษา และเกิดความเสียหายต่อเซลล์มากกว่าลำไยแช่แข็งที่เคลือบด้วยไคโตซาน 0.1 และ 0.5% และเมื่อระยะเวลาเก็บรักษานานขึ้นจนถึง 4 สัปดาห์ เกิดการแยกตัวของเซลล์มากขึ้น สำหรับโครงสร้างของเซลล์ของลำไยแช่แข็งเคลือบด้วยเมธิลเซลลูโลสความเข้มข้น 0.5 และ 1.0% นั้นมีความเสียหายของเซลล์เนื้อเยื่อน้อยมาก ที่ระยะเวลาเริ่มต้นของการเก็บรักษา และเมื่อระยะเวลาเก็บรักษานานถึง 4 สัปดาห์ เซลล์เนื้อเยื่อของลำไยแช่แข็งเคลือบด้วยเมธิลเซลลูโลสที่ความเข้มข้นทั้ง 3 ระดับ เกิดการแยกตัวของเซลล์มากขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบลักษณะโครงสร้างของเซลล์เนื้อเยื่อลำไยแช่แข็งที่ไม่ได้เคลือบและเคลือบด้วยสารเคลือบผิวที่รับประทานได้แล้วพบว่าการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวช่วยรักษาโครงสร้างของเซลล์ได้ดีกว่า เกิดการแยกตัวของเซลล์ และลักษณะการเหี่ยวย่นของเซลล์น้อยกว่าการไม่ใช้สารเคลือบผิว และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างการ ที่เคลือบด้วยไคโตซานและเมธิลเซลลูโลสแล้ว เห็นได้ชัดเจนว่าโครงสร้างของเซลล์ และการแยกตัวของเซลล์ ของลำไยที่เคลือบด้วยเมธิลเซลลูโลสเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าการเคลือบด้วยไคโตซาน อาจเนื่องมาจากโดยทั่วไปแล้วเมธิลเซลลูโลสถูกใช้เป็น สารให้ความข้นหนืด สารที่ทำให้เกิ ดเจล สารให้ความคงตัว หรือ emulsifier ในผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งมีคุณสมบัติทำให้เกิดความคงตัวในการเก็บรักษา ลด syneresis จากการแช่แข็ง/ละลาย ผลิตภัณฑ์อาหารแช่แข็ง (Phillips and Williams, 2000) ดังนั้นการเคลือบลำไยแช่แข็งด้วยเมธิลเซลลูโลสจึงช่วยป้องกันความเสียของโครงสร้างเนื้อเยื่อได้

จากการศึกษาวิจัยโดย El Ghaouth et al. (1991), El Ghaouth et al. (1992), Du et al. (1997) และ Zhang and Quantick (1997) แสดงให้เห็นว่าสารเคลือบไคโตซานมีประสิทธิภาพในการยืดอายุการเก็บรักษาสตรอเบอรี่ มะเขือเทศ พีช แพร์ กีวี่ และลิ้ นจี่ อย่างไรก็ตามการใช้เมธิลเซลลูโลสในการเคลือบผลิตผลสดและผลิตภัณฑ์แปรรูปยังมีอยู่น้อยมาก ซึ่งจากการวิจัยในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าเมธิลเซลลูโลสมีประสิทธิภาพในการรักษาคุณภาพของลำไยแช่แข็งได้เช่นกัน

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดและความเข้มข้นของสารเคลือบผิวที่ รับประทานได้ต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของลำไยแช่แข็งในสัปดาห์เริ่มต้นของการเก็บรักษา พบว่าคะแนนความชอบด้านสี ลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส กลิ่นรส และความชอบรวมของเคลือบไคโตซาน 1.0% และเคลือบเมธิลเซลลูโลส 0.1 และ 0.5% มากกว่าลำไยเคลือบไคโตซาน 0.1 และ 0.5% และลำไยเคลือบเมธิลเซลลูโลส 1.0% อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และคะแนนความชอบในทุกด้านของลำไยแช่แข็งเคลือบเมธิลเซลลูโลส 0.5% มีแนวโน้มสูงกว่าอีก 5 สิ่งทดลอง ที่ระยะเวลาการเก็บรักษาตั้งแต่ 1 สัปดาห์เป็นต้นไป คะแนนความชอบของในทุกด้านของลำไยทั้ง 6 สิ่งทดลองมีค่าน้อยกว่า 5.00 คะแนน ซึ่งไม่อยู่ในเกณฑ์การยอมรับ ผลการประเมินนี้ไม่แตกต่างจากลำไยแช่แข็งปอกเปลือกที่มีคะแนนความชอบทุกด้านอยู่ในเกณฑ์ยอมรับในสัปดาห์เริ่มต้นของการเก็บรักษาเท่านั้น แม้ว่าการใช้สารเคลือบผิวมีผลดีต่อคุณภาพของลำไยแช่แข็งในหลายด้าน แต่อย่างไรก็ตามผลไม้ที่ ผ่านการแช่แข็งและละลายนั้นมีลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส และรสชาติ ที่แตกต่างจากผลไม้สดหรือผลไม้แช่เย็น จึงไม่เป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบ

3. สภาวะที่เหมาะสมในการละลายลำไยแช่แข็ง

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมใน การละลายลำไยปอกเปลือก แช่แข็ง เก็บรักษาเป็นเวลานาน 4 สัปดาห์ และทำการวิเคราะห์คุณภาพทุกสัปดาห์ โดยศึกษาผลของการละลายที่อุณหภูมิต่างๆ ได้แก่ 10, 20, 30 และ 50°C ต่อคุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัสของเนื้อลำไยแช่แข็ง พบว่าในสัปดาห์ที่ 1 ของการเก็บรักษานั้น ลำไยแช่แข็งละลายที่อุณหภูมิ 30 และ 50°C มีค่าการสูญเสียน้ำหนักมากกว่า ลำไยแช่แข็งละลายที่อุณหภูมิ 10 และ 20°C อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) การสูญเสียน้ำหนักของลำไยแช่แข็งที่ละลายที่อุณหภูมิ 10, 20 และ 30°C มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อระยะเวลาเก็บรักษานานขึ้น ในขณะที่ลำไยแช่แข็งละลายที่อุณหภูมิ 50°C มีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 4 สัปดาห์ ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับ Müftügil and Yigit (1986) ซึ่งทำการละลายสตรอเบอรี่แช่แข็งในสภาวะที่อากาศหมุนเวียนและการเพิ่มอัตราเร็วของลมที่ใช้ ทำให้มีการสูญเสียน้ำหนักน้อย กว่าสตรอเบอรี่แช่แข็งที่ละลายที่อุณหภูมิสูง

จากการศึกษา ลักษณะโครงสร้างเนื้อเยื่อของ ลำไยแช่แข็งละลายที่อุณหภูมิ 10, 20, 30 และ 50°C ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0 และ 4 สัปดาห์ ด้วยเครื่อง SEM พบว่าในสัปดาห์เริ่มต้นของการเก็บรักษานั้นลำไยแช่แข็งละลายที่อุณหภูมิ 10 และ 20°C ไม่เกิดการแยกตัวของเซลล์ แต่เซลล์มีลักษณะเหี่ยวย่นอย่างเห็นได้ชัดเจน เมื่อระยะเวลาเก็บรักษานานขึ้นจนถึง 4 สัปดาห์ การเปลี่ยนแปลงลักษณะโครงสร้างของเซลล์เกิดมากขึ้น โครงสร้างของเซลล์ถูกทำลาย และการแยกตัวของเซลล์มากขึ้น อย่างไรก็ตามลำไยแช่แข็งล ะลายที่อุณหภูมิ 10 และ 20°C มีการเปลี่ยนแปลงของเซลล์น้อยกว่า ลำไยแช่แข็งละลายที่อุณหภูมิ 30 และ 50°C ในระหว่างการแช่แข็งบางส่วนของของเหลวแข็งหลุดออกมาและจับตัวเป็นผลึกน้ำแข็ง ซึ่งเป็นการทำลายความสมบูรณ์ของเซลล์ เยื่อหุ้มเซลล์สูญเสียสภาพออสโมติก และความสามารถในการเป็นเยื่อเลือกผ่าน (Tregunno and Goff, 1996) ผลไม้หลังผ่านการละลายน้ำแข็งจึงเกิดการสูญเสียของเหลวออกมานอกเซลล์และหดตัว (วรัญญา, 2545) ทำให้เกิดการแยกตัวของเซลล์เนื้อเยื่อ

อาหารแช่แข็งส่วนใหญ่เมื่อจะนำมาบริโภคทำการละลายเสียก่อน ซึ่งหากทำการละลายไม่ดีอาจมีผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ การละลายเป็นการให้ปริมาณความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์ โดยทั่วไปการละลายจะใช้ตัวกลางที่มีอุณหภูมิประมาณ 20°C (สมโภชน์, 2555) การทดลองนี้เป็นการละลายที่เกิดที่ผิวของผลิตภัณฑ์ (surface heating methods) และเป็นการละลายโดยใช้อากาศนิ่ง (still air thawing) โดยการวางลำไยแช่แข็งไว้ในบรรยากาศที่มีอุณหภูมิ 10, 20, 30 และ 50°C ซึ่งการละลายลำไยแช่แข็งที่ อุณหภูมิ 30 และ 50°C นั้นมีผลต่อการสูญเสียน้ำ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และโครงสร้างเซลล์ของเนื้อลำไย

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการละลายลำไยแช่ แข็งที่อุณหภูมิ 10, 20, 30 และ 50°C พบว่า คะแนนความชอบด้านสี ลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส กลิ่นรส และความชอบรวมของลำไยแช่แข็งละลายที่อุณหภูมิ 10°C มีแนวโน้มมีค่าสูงกว่าอีก 3 สิ่งทดลอง โดยในสัปดาห์ที่ 0, 1 และ 2 ของการเก็บรักษา ลำไยแช่แข็งละลายที่อุณหภูมิ 10°C นั้น มีคะแนนความชอบทุกด้านอยู่ในเกณฑ์ยอมรับ ในขณะที่ลำไยแช่ละลายที่อุณหภูมิ 20, 30 และ 50°C มีคะแนนความชอบทุกด้านอยู่ในเกณฑ์ยอมรับในสัปดาห์เริ่มต้นและสัปดาห์ที่ 1 ของการเก็บรักษาเท่านั้น การทดสอบทางประสาทสัมผัสเป็นการวัดค่าโดยใช้การตัดสินของผู้ทดสอบ (subjective measurement) ดังนั้นการใช้เครื่องมือวัด (objective measurement) ในการทดสอบคุณภาพของผักและผลไม้แช่แข็ง เช่น สี เนื้อสัมผัส และคุณค่าทางอาหาร เพื่อใช้พิจารณาร่วมกับผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส (Giannakourou and Taoukis, 2003; Reid et al., 2003; Martins and Silva, 2004)

สรุปผลการทดลอง

1. คุณภาพของการแช่แข็งลำไยที่ปอกเปลือกและไม่ปอกเปลือก

1.1 ลำไยแช่เย็น ลำไยแช่แข็งไม่ปอกเปลือก และลำไยแช่แข็ง ปอกเปลือก มีการสูญเสียน้ำหนักแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยลำไยแช่เย็นมีการสูญเสียน้ำ หนักตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาน้อยที่สุด และลำไยแช่แข็งปอกเปลือกมีค่าการสูญเสียน้ำหนักสูงที่สุด เ มื่อระยะเวลาเก็บรักษานานขึ้น การสูญเสียน้ำหนักของลำไยทั้ง 3 สิ่งทดลองเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

1.2 ลำไยทั้ง 3 สิ่งทดลองมีค่า L* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ลำไยแช่แข็งทั้งที่ปอกเปลือกและไม่ปอกเปลือกมีแนวโน้มค่า L* สูงกว่าลำไยแช่เย็น ค่า a* และ b* ของเนื้อลำไยทั้ง 3 สิ่งทดลองไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) และระยะเวลาเก็บรักษาที่นานขึ้นไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า a* และ b*

1.3 ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของเนื้อลำไยทั้ง 3 สิ่งทดลองไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ของลำไยแช่เย็น ลำไยแช่แข็งไม่ปอกเปลือก และลำไยแช่แข็งปอกเปลือก มีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น

1.4 ความแน่นเนื้อของลำไยทั้ง 3 สิ่งทดลองในสัปดาห์เริ่มต้น (สัปดาห์ที่ 0) และสัปดาห์ที่ 1 ของการเก็บรักษามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่ในสัปดาห์ที่ 2, 3 และ 4 ของการเก็บรักษานั้น ความแน่นเนื้อของลำไยทั้ง 3 สิ่งทดลองไม่มีความแตกต่างกัน

1.5 ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0 และ 4 สัปดาห์ พบว่าเนื้อเยื่อของลำไยแช่เย็นที่ 4°C โครงสร้างของเซลล์อยู่ในสภาพดี เกิดการแยกตัวของเซลล์เพียงเล็กน้อยเท่านั้น สำหรับเนื้อเยื่อของลำไยแช่แข็งไม่ปอกเปลือก และปอกเปลือกนั้น เกิดการแยกตัวของเซลล์เห็นได้อย่างชัดเจนตั้งแต่ที่ระยะเวลาเริ่มต้นของการเก็บรักษ า และเมื่อระยะเวลาเก็บรักษานานขึ้นจนถึง 4 สัปดาห์ การเปลี่ยนแปลงลักษณะโครงสร้างของเซลล์เกิดมากขึ้น โครงสร้างของเซลล์ถูกทำลาย และการแยกตัวของเซลล์มากขึ้น

1.6 การประเมิน คุณภาพทางประสาทสัมผัสพบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น คะแนนความชอบด้านสี ลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส กลิ่นรส และความชอบรวมของเนื้อลำไยทั้ง 3 สิ่งทดลองลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และลำไยแช่เย็นมีคะแนนความชอบ ในทุกด้านมากกว่าลำไยแช่แข็ง ($p \leq 0.05$)

2. ผลของสารเคลือบผิวที่รับประทานได้ต่อคุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัส ของเนื้อลำไยแช่แข็ง

2.1 การสูญเสียน้ำหนักของลำไย แช่แข็งเคลือบด้วยไคโตซานหรือเมธิลเซลลูโลส ความเข้มข้น 0.1, 0.5 หรือ 1.0% มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อระยะเวลาเก็บรักษานานขึ้น ชนิดของสารเคลือบผิวที่รับประทานได้ไม่มีอิทธิผลต่อการสูญเสียน้ำหนักของเนื้อลำไย แต่ระดับความเข้มข้นของสารเคลือบผิวมีอิทธิผลต่อการสูญเสียน้ำหนักของเนื้อลำไย โดยที่ความเข้มข้น 0.5 และ 1.0% มีค่าการสูญเสียน้ำหนักมากกว่าที่ความเข้มข้น 0.1% อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

2.2 ค่า L* ของลำไยแช่แข็งทั้ง 6 สิ่งทดลองมีค่าระหว่าง 40.40-45.63 ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงค่า L* เพียงเล็กน้อยตลอดระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการเก็บรักษา (ภาพที่ 14) ที่ระยะเวลาเริ่มต้น สัปดาห์ที่ 1 และ 2 ของการเก็บรักษานั้น ค่า L* ของลำไยทั้ง 6 สิ่งทดลองไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) ค่า a* และ b* ของเนื้อลำไยแช่แข็งทั้ง 6 สิ่งทดลองไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) และระยะเวลาเก็บรักษาที่นานขึ้นไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า a* และ b* ของเนื้อลำไยแช่แข็ง

2.3 ระยะเวลาเก็บรักษาที่นานขึ้นไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ เนื้อลำไยทั้ง 6 สิ่งทดลองมีค่าปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ อยู่ระหว่าง 0.06 – 0.13% ซึ่งไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$)

2.4 ลำไยแช่แข็งที่เคลือบ เมธิลเซลลูโลส มีแนวโน้มค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้สูงกว่าลำไยเคลือบไคโตซาน และที่ระดับความเข้มข้นสูงขึ้นมีแนวโน้มค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้สูงขึ้นเล็กน้อย ลำไยแช่แข็งเคลือบไคโตซานมีการเ ปลี่ยนแปลงค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้เพียงเล็กน้อยตลอดระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการเก็บรักษา ในขณะที่ลำไยแช่แข็งเคลือบด้วยเมธิลเซลลูโลสที่ความเข้มข้นทั้ง 3 ระดับมีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ลดลง อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ($p \leq 0.05$)

2.5 ค่าความแน่นเนื้อ ของเนื้อลำไยทั้ง 6 สิ่งทดลองไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) ชนิดและระดับความเข้มข้นของสารเคลือบผิวที่รับประทาน ไม่มีผลต่อค่า ความแน่นเนื้อ ของเนื้อลำไยแช่แข็ง และเมื่อระยะเวลาเก็บรักษา นานขึ้นค่าความแน่นเนื้อของลำไยทั้ง 6 สิ่งทดลองลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

2.6 เซลล์เนื้อเยื่อของลำไยแช่แข็งที่เคลือบด้วยไคโตซาน 1.0% เกิดการแยกตัวของเซลล์เห็นได้อย่างชัดเจนตั้งแต่ที่ระยะเวลาเริ่มต้นของการเก็บรักษา และเกิดความเสียหายต่อเซลล์มากกว่าลำไยแช่แข็งที่เคลือบด้วยไคโตซาน 0.1 และ 0.5% และเมื่อระยะเวลาเก็บรั กษานานขึ้นจนถึง 4 สัปดาห์ การเปลี่ยนแปลงลักษณะโครงสร้างของเซลล์เกิดมากขึ้น โครงสร้างของเซลล์ถูกทำลาย และการแยกตัวของเซลล์มากขึ้น เซลล์ของลำไยแช่แข็งเคลือบด้วยเมธิลเซลลูโลสความ

เข้มข้น 0.1% ถูกทำลายตั้งแต่ที่ระยะเวลาเริ่มต้นของการเก็บรักษา ในขณะที่ลำไยแช่แข็งเคลือบด้วยเมธิลเซลลูโลส 0.5 และ 1.0% นั้นเกิดการแยกตัวของเซลล์เพียงเล็กน้อยเท่านั้น และเมื่อระยะเวลาเก็บรักษานานถึง 4 สัปดาห์ เซลล์เนื้อเยื่อของลำไยแช่แข็งเคลือบด้วยเมธิลเซลลูโลสที่ความเข้มข้น 0.1 และ 0.5% เกิดการแยกตัวของเซลล์มากขึ้น โครงสร้างของเซลล์และ การแยกตัวของเซลล์ของลำไยที่เคลือบด้วยเมธิลเซลลูโลสเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าการเคลือบด้วยไคโตซาน

2.7 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดและความเข้มข้นของสารเคลือบผิวที่รับประทานได้ต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของลำไยแช่แข็งในสัปดาห์เริ่มต้นของการเก็บรักษา พบว่าคะแนนความชอบด้านสี ลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส กลิ่นรส และความชอบรวมของเคลือบไคโตซาน 1.0% และเคลือบเมธิลเซลลูโลส 0.1 และ 0.5% มากกว่าลำไยเคลือบไคโตซาน 0.1 และ 0.5% และลำไยเคลือบเมธิลเซลลูโลส 1.0% อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ที่ระยะเวลาการเก็บรักษาตั้งแต่ 1 สัปดาห์เป็นต้นไปพบว่าคะแนนความชอบของในทุกด้านของลำไยทั้ง 6 สิ่งทดลองมีค่าน้อยกว่า 5.00 คะแนน ซึ่งไม่อยู่ในเกณฑ์การยอมรับ

3. สภาวะที่เหมาะสมในการละลายลำไยแช่แข็ง

3.1 การสูญเสียน้ำหนักของลำไยแช่แข็งที่ละลายที่อุณหภูมิ 10, 20 และ 30°C มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อระยะเวลาเก็บรักษานานขึ้น ในขณะที่ลำไยแช่แข็งละลายที่อุณหภูมิ 50°C มีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในสัปดาห์ที่ 1 ของการเก็บรักษานั้น ลำไยแช่แข็งละลายที่อุณหภูมิ 30 และ 50°C มีค่าการสูญเสียน้ำหนักมากกว่า ลำไยแช่แข็งละลายที่อุณหภูมิ 10 และ 20°C อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) อย่างไรก็ตามที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 4 สัปดาห์ ลำไยแช่แข็งละลายที่อุณหภูมิ 50°C มีการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

3.2 ค่าสี (L* a* และ b*) และปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ของการละลายลำไยแช่แข็งทั้ง 4 สิ่งทดลองไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) และระยะเวลาเก็บรักษาที่นานขึ้นไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีและปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ของเนื้อลำไยทั้ง 4 สิ่งทดลอง

3.3 การละลายลำไยแช่แข็งที่อุณหภูมิ 50°C นั้นปริมาณของแข็งที่ละลายได้สูงกว่าลำไยแช่แข็งละลายที่อุณหภูมิ 10, 20และ 30°C และว่าการละลายลำไยแช่แข็งทั้ง 4 สิ่งทดลองมีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ($p \leq 0.05$)

3.4 ความแน่นเนื้อของลำไยแช่แข็งละลายที่อุณหภูมิ 10, 20, 30 และ 50°C ไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) ที่ระยะเวลาเก็บรักษานานขึ้นค่าความแน่นเนื้อของลำไยทั้ง 4 สิ่งทดลองมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย

3.5 ในสัปดาห์เริ่มต้นของการเก็บรักษา นั้นลำไยแช่แข็งละลายที่อุณหภูมิ 10 และ 20°C ไม่เกิดการแยกตัวของเซลล์ แต่เซลล์มีลักษณะเหี่ยวย่น สำหรับลำไยแช่แข็งละลายที่อุณหภูมิ 30 และ 50°C เกิดการแยกตัวของเซลล์เห็นได้อย่างชัดเจน เมื่อระยะเวลาเก็บรักษานานขึ้นจนถึง 4 สัปดาห์ การเปลี่ยนแปลงลักษณะโครงสร้างของเซลล์เกิดมากขึ้น โครงสร้างของเซลล์ถูกทำลายและการแยกตัวของเซลล์มากขึ้น อย่างไรก็ตามลำไยแช่แข็งละลายที่อุณหภูมิ 10 และ 20°C มีการเปลี่ยนแปลงของเซลล์น้อยกว่า ลำไยแช่แข็งละลายที่อุณหภูมิ 30 และ 50°C

3.6 จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสพบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นคะแนนความชอบด้านสี ลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส กลิ่นรส และความชอบรวมของเนื้อลำไยทั้ง 4 สิ่งทดลองลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการละลายลำไยแช่แข็งทั้ง 4 สิ่งทดลอง พบว่าคะแนนความชอบด้านสี ลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส กลิ่นรส และความชอบรวมของลำไยแช่แข็งละลายที่อุณหภูมิ 10°C มีแนวโน้มมีค่าสูงกว่าอีก 3 สิ่งทดลอง