บทนำ

ผลผลิตลำไยส่วนใหญ่ที่ใช้ในประเทศจะอยู่ในรูปลำไยสด ส่วนการแปรรูปลำไยเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่ใช้ในประเทศมีไม่มากนัก โดยในช่วง 5 ปีที่ผ่านมา (2547-2551) ปริมาณความต้องการบริโภคลำไยภายในประเทศมีแนวโน้มลดลง ในขณะที่ปริมาณการส่งออกลำไยสดและผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มสูงขึ้นประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกลำไยรายใหญ่ของโลก โดยตลาดหลักของไทยได้แก่ สาธารณรัฐประชาชนจีน อินโดนีเซีย และฮ่องกง การส่งออกส่วนใหญ่จะส่งออกในรูปสำไยสดและลำไยอบแห้ง อย่างไรก็ตามการส่งเสริมการตลาดเพื่อขยายการส่งออกในตลาดใหม่ ได้แก่ อินเดีย ตะวันออกกลางและเกาหลีใต้ ก็มีความจำเป็นเช่นกัน โดยฐานตลาดใหม่นี้มีความต้องการบริโภคผลไม้แช่แข็งเพิ่มขึ้นอย่างมาก ปัญหาที่มักเกิดกับผลไม้แช่เยือกแข็งคือการที่น้ำในเซลล์ผลไม้เกิดเป็นผลึกน้ำแข็ง และเมื่อนำผลไม้นั้นมาทำการละลายจะพบว่าเนื้อสัมผัสเปลี่ยนแปลงไป เพื่อเป็นการแก้ปัญ หาดังกล่าวจึงได้มีการศึกษาการใช้สารเคลือบผิวที่รับประทานได้เคลือบผลสตอเบอรี่ และราสเบอรี่ ก่อนนำไปแช่เยือกแข็ง ซึ่งสามารถช่วยรักษาคุณภาพของสตอเบอรี่ และราสเบอรี่หลังการละลายได้ ดังนั้นการใช้สารเคลือบผิวจึงน่าจะเป็นวิธีการที่ช่วยรักษาคุณภาพของลำไยหลังการละล ายได้ งานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาคุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัส ของเนื้อลำไยทั้งก่อนและหลังการแช่แข็ง และการใช้สารเคลือบผิวที่รับประทานได้เคลือบผลลำไยก่อนการนำไปแช่แข็ง และศึกษาวิธีที่เหมาะสมที่ใช้ในการละลายลำไยแช่แข็ง

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาคุณภาพของการแช่แข็งลำไยที่ปอกเปลือกและไม่ปอกเปลือก)

2. เพื่อศึกษาผลของสารเคลือบผิวที่รับประทานได้ต่อคุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี และ ประสาทสัมผัส ของเนื้อลำไยแช่เยือก

3. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการละลายลำไยแช่แข็ง

การตรวจเอกสาร

1. ลำไย

ลำไยมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Dimocarpus longan* Lour. หรือ *Euphoria longana* Lam. หรือ *Nephelium longana* Camb. และชื่อสามัญคือ Longan (กรมวิชาการเกษตร, 2540) เป็นพืชที่อยู่ในตระกูล Sapindaceae ซึ่งเป็นพืชตระกูลเดียวกับเงาะและลิ้นจี่ (พาวินและคณะ, 2546)

ลำไยเป็นผลไม้ที่ให้พลังงานแก่ผู้บริโภคสูง เนื่องจากมีน้ำตาลอยู่มาก ส่วนเนื้อของลำไยมีน้ำตาลอยู่ 3 ชนิด คือ กลูโคส ฟรุคโตส และซูโครส (พาวินและคณะ, 2546) คุณค่าทางโภชนาการของลำไยแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณค่าทางโภชนาการของผลลำไย

ข้อมูลทางโภชนศาสตร์	เนื้อลำไยสด
ความชื้น (%)	81.10
ไขมัน (%)	0.11
เส้นใย (%)	0.28
โปรตีน (%)	0.97
เถ้า (%)	0.56
คาร์โบไฮเดรต (%)	16.98
พลังงาน (kcal/100g)	305.70
แคลเซียม (mg/100g)	5.70
เหล็ก (mg/100g)	0.35
ฟอสฟอรัส (mg/100g)	35.30
วิตามินซี (mg/100g)	69.20

ที่มา: Tongdee (1997)

ลำไยพันธุ์ดอมีขนาดผลค่อนข้างใหญ่ ทรงผลกลมแป้น เบี้ยวเล็กน้อยและบริเวณฐานผลกว้าง ขนาดผลเฉลี่ยสูง 2.5 เซนติเมตร กว้าง 2.6 เซนติเมตร และหนา 2.3 เซนติเมตร จำนวนผลประมาณ 85-94 ผล/กิโลกรัม ผิวผลสีน้ำตาลเป็นกระหรือตาห่างๆ กร ะมีสีน้ำตาลเข้ม เนื้อผลหนาสีขาวขุ่น ค่อนข้างเหนียว ความหวานประมาณ 16-22°Brix เมล็ดโตปานกลางออกแบนเล็กน้อย ลำไยพันธุ์ดอเป็นลำไยพันธุ์เบา ออกออกติดผลก่อนพันธุ์อื่น ทางภาคเหนือออกดอกกลางเดือน

มกราคม เก็บเกี่ยวผลเดือนกรกฎาคมถึงเดือนสิงหาคม เป็นพันธุ์ที่ออกดอกติ ดผลง่าย แต่อาจไม่คงที่ การเจริญเติบโตของต้นดีพอใช้ ทนแล้ง และทนน้ำได้ปานกลาง ตลาดต่างประเทศนิยมบริโภค (วิจิตร, 2545)

การคัดเกรดลำไยทำโดยนำช่อผลลำไยมาคัดขนาดให้ช่อผลมีขนาดใกล้เคียงกันแล้วบรรจุตะกร้า สำหรับการกำหนดเกรดลำไยจะถูกกำหนดโดยพ่อค้าตามจุดรับซื้อต่ างๆ แต่ละที่มีการกำหนดเกรดลำไยแตกต่างกัน ส่วนการจำหน่ายลำไยผลสดเพื่อนำไปทำลำไยอบแห้งจะนำไปผ่านเครื่องคัดขนาด (พาวินและคณะ, 2546) ซึ่งจะมีการกำหนดเกรดที่แน่นอน ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การกำหนดเกรดผลสดเพื่อนำไปทำลำไยอบแห้ง

เกรด	เส้นผ่าศูนย์กลางของผล (cm)
AA	มากกว่า 2.5
A	2.2-2.5
B	2.0-2.2
C	น้อยกว่า 2.0

ที่มา: พิทยาและพาวิน (2545)

ลำไยเป็นไม้ผลเศรษฐกิจสำคัญที่รัฐบาลจัดให้อยู่ในกลุ่มสินค้าเพื่อการส่งออก มูลค่าการส่งออกสูงปีละหลายพันล้านบาท ทั้งในรูปลำไยสด อบแห้ง แช่แข็ง และลำไยกระป๋อง (กรมวิชาการเกษตร, 2551) ผลผลิตลำไยส่วนใหญ่ที่ใช้ในประเทศจะอยู่ในรูปลำไยสด ส่วนการแปรรูปลำไยเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่ใช้ในประเทศมีไม่มากนัก โดยในช่วง 5 ปีที่ผ่านมา (2547-2551) ปริมาณความต้องการบริโภคลำไยภายในประเทศมีแนวโน้มลดลง ในขณะที่ปริมาณการส่งออกลำไยสดและผลิตภัณฑ์มี แนวโน้มสูงขึ้น การส่งออกส่วนใหญ่จะส่งออกในรูปสำไยสดและลำไยอบแห้ง อย่างไรก็ตามได้มีการส่งเสริมการตลาดเพื่อขยายการส่งออกในตลาดใหม่ ได้แก่ อินเดีย ตะวันออกกลางและเกาหลีใต้ โดยฐานตลาดใหม่นี้มีความต้องการบริโภคผลไม้แช่แข็งเพิ่มขึ้นอย่างมาก (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2552)

2. สารเคลือบผิวที่รับประทานได้

ผลไม้เป็นอาหารที่ให้คุณค่าโภชนาการสูง เป็นแหล่งที่สำคัญของวิตามินและสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) ทำให้เป็นที่นิยมบริโภคกันอย่างกว้างขวาง อย่างไรก็ตามภายหลังการเก็บเกี่ยว ผลไม้มักมีอายุการเก็บรักษาสั้นเนื่ องจากมีกระบวนการสุกเกิดขึ้น โดยมีการ

เปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา เคมี และกายภาพ เช่น มีการสลายตัวของคลอโรฟิลด์ ทำให้สีเขียวลดลงและมีสีเหลืองหรือแดงมาแทนที่ ความแน่นเนื้อลดลง รสชาติเปลี่ยนจากเปรี้ยวเป็นหวาน เป็นต้น การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อ ผลไม้อยู่ในสภาพที่มีการสูญเสียน้ำสูง เช่น เมื่ออุณหภูมิของอากาศสูง และความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ เมื่อถึงระยะสุดท้ายของการสุกผลไม้ก็จะอยู่ในสภาพที่ไม่สามารถบริโภคได้ในที่สุด (มาระตี และคณะ, 2550) จึงได้มีการศึกษาวิธีการยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้ให้อยู่ได้นาน

การยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้สามารถทำได้โดยการควบคุมกระบวนการเปลี่ยนแปลงที่นำไปสู่การเสื่อมสภาพ ได้แก่ การควบคุมอัตราการหายใจและการคายน้ำให้เกิดช้าที่สุด วิธีการที่ใช้ในปัจจุบัน เช่น การใช้อุณหภูมิต่ำ การปรับสภาพบรรยากาศ การควบคุมสภาพบรรยากาศ และการใช้สารเคลือบผิ ว เป็นต้น (จริงแท้, 2538) สารเคลือบผิวมีคุณสมบัติเป็นสารที่ป้องกันการแลกเปลี่ยนก๊าซ และลดการคายน้ำ สารเคลือบผิวมี 2 ชนิด คือ ชนิดที่รับประทานไม่ได้ ได้แก่ petroleum wax, mineral wax และ chemical synthetic wax ต่างๆ ส่วนสารเคลือบผิวชนิดที่รับประทานได้ คือส ารที่ผลิตมาจากวัสดุธรรมชาติ แบ่งเป็น 3 กลุ่มหลักๆ คือ สารเคลือบผิวที่รับประทานได้จากคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน เช่น เมทิลเซลลูโลส ไคโตซาน และ bee wax เป็นต้น (มณฑาทิพย์, 2535;จริงแท้, 2538; Rojas-Graü et al., 2009)

2.1 ไคโตซาน

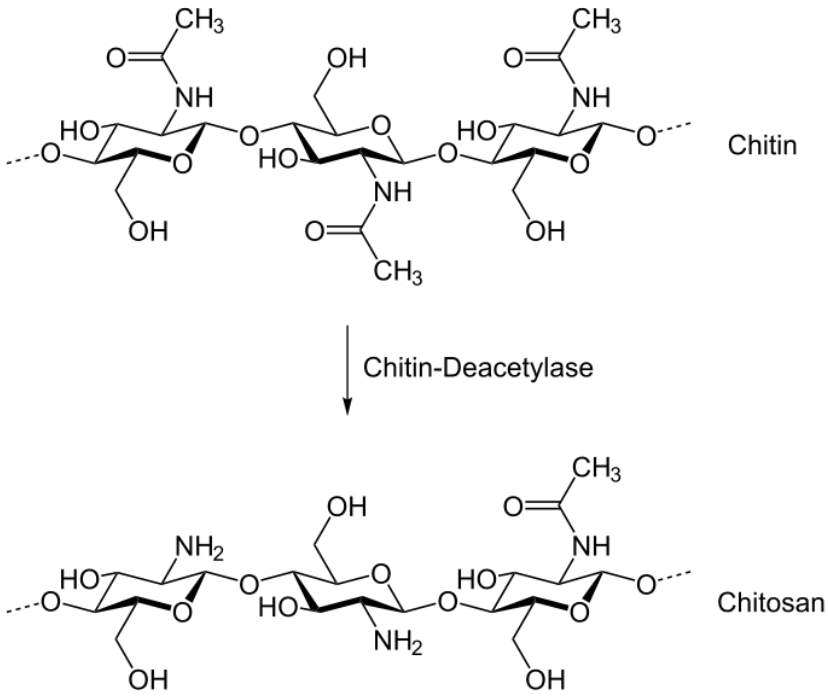
ไคติน-ไคโตซาน เป็นวัสดุ ชีวภาพเกิดในธรรมชาติ จัดอยู่ในกลุ่มคาร์โบไฮเดรตผสม ที่ประกอบด้วยอนุพันธ์ของน้ำตาลกลูโคสที่มีธาตุไนโตรเจนติดอยู่ด้วยทำให้มีคุณสมบัติที่โดดเด่นและหลากหลายมีประสิทธิภาพสูงในกิจกรรมชีวภาพ และยังย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ ดังนั้นจึงเป็นสารที่มีความปลอดภัยในการใช้กับมนุษย์ สัตว์ และสิ่งแวดล้อม

โครงสร้างทางเคมีของสารไคติน คล้ายคลึงกับเซลลูโลส คือเป็นเส้นใยที่ยาว ไคตินที่เกิดในธรรมชาติมีโครงสร้างของผลึกที่แข็งแรงมีการจัดตัวของรูปแบบของผลึกเป็น 3 ลักษณะได้แก่ แอลฟาไคติน บีต้าไคติน และแกมม่าไคติน

ไคตินเป็นโพลีเมอร์ ที่มีสายยาวมีองค์ประกอบของหน่วยย่อยเป็นอนุพันธ์ของน้ำตาลกลูโคสมีชื่อว่า N-acetyl glucosamine ไคตินเป็นสารที่ละลายยากหรือไม่ค่อยละลาย ส่วนไคโตซานเป็นโพลีเมอร์ของหน่วยย่อยที่ชื่อว่า glucosamine มากกว่า 60% ขึ้นไป ในธรรมชาติมีไคตินและไคโตซานประกอบอยู่ในโพลิเม อร์ที่เป็นสายยาวในสัดส่วนต่างๆ กัน การลดลงของหมู่อะซีติลหรือเรียกว่า Deacetylation (ภาพที่ 1) การลดลงของหน่วยย่อย N-acetyl glucosamine เป็นการเพิ่มขึ้นของ glucosamine ในปริมาณที่เท่ากัน คือการเปลี่ยนไคตินเป็นไคโตซานนั่นเอง

โดยธรรมชาติแล้ว ไคโตซานจะไม่ละล ายน้ำเช่นเดียวกับเปลือกกุ้ง กระดองปู หรือเปลือกไม้ทั่วไป แต่ไคโตซานจะละลายได้ดีเมื่อใช้กรดอินทรีย์เป็นตัวทำละลาย สารละลายของไคโตซาน

จะมีความขันเหนียวแต่ใสคล้ายวุ้น หรือพลาสติกใส ยืดหยุ่นได้เล็กน้อยจึงมีคุณสมบัติที่พร้อมจะทำให้เป็นรูปแบบต่างๆได้ง่าย โดยเฉพาะ ถ้าต้องการทำเป็นแผ่นหรือเยื่อบางๆ เป็นเจล หรือรูปร่างเป็นเม็ด เกล็ด เส้นใย สารเคลือบและคอลลอยด์ เป็นต้น (กมลศิริ, 2546)

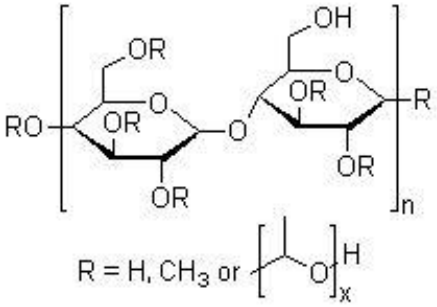


ภาพที่ 1 โครงสร้างของไคตินและไคโตซาน
ที่มา: ศูนย์วัสดุชีวภาพ ไคติน-ไคโตซาน (2554)

2.2 อนุพันธ์ของเซลลูโลส

เซลลูโลส (Cellulose) เป็นคาร์โบไฮเดรทประเภท polysaccharide ประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคส (glucose) หลายโมเลกุลเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ β(1, 4) (glycosidic bond เป็นสายยาวมากกว่า 2000 โมเลกุล เมื่อเซลลูโลสถูกเติมด้วย หมู่เคมีอื่นๆ เข้าไป จะเรียกว่า อนุพันธ์ (derivative) ซึ่งมีมากมาย หลายชนิด เช่น methylcellulose, ethylcellulose, hydroxyl ethylcellulose, hydroxyl propylcellulose, hydroxylethyl methylcellulose, hydroxylpropyl methylcellulose, carboxymethylcellulose, cellulose triacetate, cellulose triacetate, cellulose propionate เป็นต้น ซึ่งแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติแตกต่างกันไป

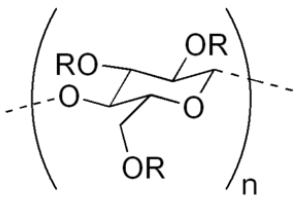
เมธิลเซลลูโลส (methylcellulose: MC) คือสารประกอบชนิดหนึ่งซึ่งได้จากการดึงเซลลูโลสออกจากไม้หรือสำลีด้วยด่าง เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) แล้วทำปฏิกิริยาต่อด้วย methyl chloride สุดท้ายจะได้สารประกอบที่มีลักษณะเป็นผลึก ที่เป็นผงหยาบสีขาว ละลายได้ในน้ำเย็น แต่ไม่ละลายในน้ำร้อน เมื่อละลายน้ำแล้วได้สารละลายที่มีความข้นหนืด เม ธิลเซลลูโลสถูกนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น ใช้เติมใน natural gums ใช้เป็นสารป้องกันการตกตะกอนในสารแขวนลอย หรือเติมลงในกาว หรือสารยึดติด เ พื่อเพิ่มความแกร่ง ความยืดหยุ่น และแรงยึดเกาะให้กาว เป็นต้น (มาระตี และคณะ, 2550)



ภาพที่ 2 โครงสร้างของเมทิลเซลลูโลส

ที่มา: Niles Biological, Inc. (2006)

คาร์บอกซีเม ธิลเซลลูโลส (Carboxylmethylcellulose: CMC) หรือ โซเดียมคาร์บอกซีเมธิลเซลลูโลส (Sodium carboxymethylcellulose) เป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลส ประเภทหนึ่ง ที่เกิดจากการแปรหรือปรับปรุงคุณสมบัติของเซลลูโลส ให้เกิดการแทนที่โครงสร้างเดิมด้วยหมู่เมธิลและหมู่คาร์บอกซีเมธิลมีลักษณะเป็นของแข็งสีขาว ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ไม่เป็นอันตราย ไม่มีผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม ละลายน้ำได้ดี มีคุณสมบัติเป็นสารเพิ่มความหนืดที่ช่วยในการยึดเกาะและเป็นสารคงสภาพ (ชุติมา, 2545)



R = H or CH_2CO_2H

ภาพที่ 3 โครงสร้างของคาร์บอกซีเมธิลเซลลูโลส

ที่มา: Wikipedia (2012)

2.3 การยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้โดยการใช้สารเคลือบผิวที่รับประทานได้

Jiang และ Li (2001) พบว่าลำไยที่ใช้สารเคลือบผิวไคโตซานมีอัตราการหายใจและการสูญเสียน้ำหนักลดลง การเพิ่มของ เอนไซม์polyphenol oxidase (PPO) และการเปลี่ยนแปลงสีในระหว่างการเก็บรักษาเกิดขึ้นช้าลง นอกจากนี้ยังพบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของไคโตซานทำให้ลำไยมีคุณภาพดีขึ้นและอายุกา รเก็บรักษานานขึ้นอีกด้วย การเติม oleic acid ลงในสารเคลือบผิวไคโตซาน มีส่วนช่วยเพิ่มคุณสมบัติด้าน antimicrobial และปรับปรุงคุณสมบัติการต้านการซึมผ่านไอน้ำของสารเคลือบผิวได้ดีขึ้น ผลสตรอเบอรี่ (cv. Camarosa) ที่เคลือบด้วยไคโตซานผสม oleic acid มีการเน่าเสียลด ลง เมื่อเทียบกับการใช้สารเคลือบไคโตซานเพียงอย่างเดียว (Vargas et al., 2006) นอกจากนี้การใช้คาราจีแนนและไคโตซานร่วมกับ calcium chloride เคลือบผลสตรอเบอรี่ทำให้สตรอเบอรี่มีการสูญเสียน้ำหนักและเกิดการเสื่อมเสียจากเชื้อจุลินทรีย์น้อยกว่าสตรอเบอรี่ที่ไม่ได้เคลือบผิว (Ribeiro, 2007)

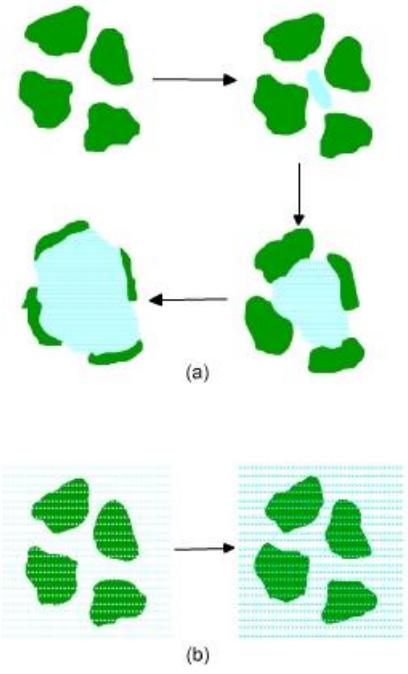
การใช้สารเคลือบผสมระหว่าง galactomannan (0.5%) collagen (1.5%) และ glycerol (1.5%) collagen และ glycerol เคลือบมะม่วงและแอปเปิ้ล พบว่าสามารถลดการใช้ O_2 และลดการผลิต CO_2 ในผลไม้ทั้ง 2 ชนิด ทำให้มีอายุการเก็บรักษานานกว่ามะม่วงและแอป เปิ้ลที่ไม่ได้เคลือบผิว (Lima et al., 2009)

นอกจากผลไม้สดแล้ว ยังมีการใช้สารเคลือบผิวกับผลไม้ตัดแต่งพร้อมบริโภค เช่น การใช้โปรตีนจากหางนมเคลือบผิวแอปเปิ้ลสดผ่าซีกสามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาลจากเอนไซม์ได้ดีกว่าการเคลือบด้วย hydroxypropyl methylcellulose (Perez-Gago et al., 2005) การใช้ไคโตซานเคลือบมะม่วงตัดแต่งสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้ (Chien et al., 2007) การใช้ alginate เคลือบสาลี่ตัดแต่งช่วยลดการเกิดสีน้ำตาลในเนื้อของสาลี่ (Oms-Oliu et al., 2008a) และการใช้เพคติน alginate และ gellan gum เคลือบเมลอนตัดแ ต่งช่วยลดการสูญเสียน้ำและรักษาความแน่นเนื้อของผลไม้ (Oms-Oliu et al., 2008b)

3. การแช่เยือกแข็ง

การแช่เยือกแข็งเป็นกระบวนการกำจัดความร้อนออกจากอาหาร โดยเปลี่ยนน้ำที่มีอยู่ในอาหารให้เป็นน้ำแข็ง (กมลทิพย์, 2542) หลักพื้นฐานของการแช่เยือกแข็ง คือ การลดอุ ณหภูมิของผลิตภัณฑ์ให้ต่ำลงจนถึงระดับที่สภาวะของน้ำภายในผลิตภัณฑ์เปลี่ยนจากของเหลวเป็นของแข็ง ซึ่งสิ่งมีชีวิตไม่สามารถดำเนินปฏิกิริยาทางชีวเคมีต่อไปได้ จุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์จะชะงักการเจริญเติบโต และหยุดกระบวนการทางเมทาบอลิซึม ทำให้เนื้อเยื่อของผลิตภัณฑ์ยังคงรูปอยู่ได้ อัตราเร็วของการแช่เยือกแข็งมีอิทธิพลต่อเนื้อเยื่อพืช แสดงดังภาพที่ 3 หากการแช่เยือก

แข็งกระทำอย่างช้า ๆ จะทำให้ผลึกน้ำแข็งมีขนาดโตขึ้นในช่องว่างระหว่างเซลล์ (intercellular space) ซึ่งจะทำให้เซลล์พืชที่อยู่รอบ ๆ มีโครงสร้างเปลี่ยนไปและทำลายผนังเซลล์ที่อยู่ข้างเคียง นอกจากนี้ผลึกน้ำแข็งยังมีความดันไอน้ำต่ำกว่าบริเวณภายในเซลล์ ทำให้มีน้ำเคลื่อนย้ายจากภายในเซลล์ออกมายังผลึกน้ำแข็ง ทำให้ผลึกน้ำแข็งจะมีขนาดใหญ่ขึ้นในช่องว่างระหว่างเซลล์และเซลล์พืชจะเหี่ยวลง (ภาพที่ 3a) และเซลล์จะถูกทำลายอย่างถาวร เมื่อความเข้มข้นของตัวถูกละลายภายในเซลล์เพิ่มขึ้น เมื่อนำอาหารแช่เยือกแข็งมาหลอมละลาย เซลล์จะไม่สามารถคืนรูปและเต่งเหมือนเดิม อาหารจะมีเนื้อนิ่ม มีของเหลวจากภายในเซลล์ไหลออกมาเนื่องจากผนังเซลล์ถูกทำลาย อย่างไรก็ตาม หากกระบวนการแช่เยือกแข็งเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นภายในเซลล์และช่องว่างจะมีขนาดเล็ก จะมีผลเสียหายต่อผนังเซลล์น้อยมาก และไม่เกิดความแตกต่างระหว่างความดันไอน้ำด้วย เซลล์ไม่เหี่ยวลง หรือมีการสูญเสียน้ำออกจากเซลล์เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ลักษณะเนื้อของอาหารแช่เยือกแข็งจะยังคงเหมือนเดิมมาก (ภาพที่ 3b) ทำให้อาหารแช่เยือกแข็งที่ได้มีคุณภาพดีและเมื่อนำไปหลอมละลายก็จะมีลักษณะปรากฏที่ดีด้วย (ปัณณธร, 2554)



ภาพที่ 4 ผลของการแช่เยือกแข็งต่อเนื้อเยื่อพืช (a) การแช่แข็งแบบช้า (b) การแช่แข็งแบบเร็ว
ที่มา: ปัณณธร (2554)

Cryogenic freezing คือการแช่แข็งโดยการใช้สารไครโอเจน (cryogen) เช่น ไนโตรเจนเหลว (liquid nitrogen) คาร์บอนไดออกไซด์เหลว (liquid carbondioxide) ซึ่งเป็นของเหลวที่มีจุดเดือดต่ำมาก เมื่อสารไครโอเจน สัมผัสกับอาหารจะเดือด และ ดึงความร้อนแฝง (latent heat) ออกจากอาหารเพื่อการเปลี่ยนสถานะ ทำให้อุณหภูมิอาหารลดลงอย่างรวดเร็ว เป็นการแช่เยือกแข็งอย่างรวดเร็วมาก การแช่แข็งเยือกแข็งอาหารด้วยวิธีนี้ทำได้โดยการจุ่มลงอาหารลงสารไครโอเจน หรือ พ่นสารไครโอเจนลงบนผิวหน้าของอาหารโดยตรง (กมลทิพย์, 2542)

ในการแช่แข็งผลไม้นั้น ขั้นตอนการแช่แข็งมีการขยายปริมาตรของน้ำที่เปลี่ยนสถานะไปเป็นน้ำแข็งและมีผลต่อรูปร่างของเซลล์ คือ ขณะที่ผลึกน้ำแข็งซึ่งมีความแข็งและแหลมคมกำลังเพิ่มขนาด จะเกิดแรงดันทำลายโครงสร้างในส่วนของเยื่อหุ้มเซลล์และผนังเซลล์ ทำให้เซลล์เกิดการฉีกขาด ผลไม้หลังผ่านการละลายน้ำแข็งจึงเกิดการสูญเสียของเหลวออกมานอกเซลล์และหดตัว (วรัญญา, 2545) ทำให้เนื้อสัมผัสเปลี่ยนแปลงไป

การแช่แข็งและการเก็บรักษาสตรอเบอรรี่ (cv. Kordestan) เป็นระยะเวลา 3 เดือน พบว่าสตรอเบอรรี่แช่แข็งเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 และ -24°C มีคุณภาพด้านสี กลิ่นรส และเนื้อสัมผัสที่ดีกว่าสตรอเบอรรี่แช่แข็งเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -12°C (Sahari et al., 2004)

ได้มีการศึกษาการใช้สารเคลือบผิวที่รับประทานได้บางชนิด เช่น การเคลือบผลสตรอเบอรี่ และราสเบอรี่ด้วยไคโตซาน และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -23°C พบว่าสตรอเบอรี่ที่เคลือบด้วยไคโตซานมีคุณภาพเนื้อสัมผัสหลังการละลายดีกว่าสตอเบอรี่ที่ไม่ได้เคลือบด้วยไคโตซาน (Han et al., 2004) และการละลายสตรอเบอรี่แช่แข็งในสภาวะที่อากาศหมุนเวียนและการเพิ่มอัตราเร็วของลมที่ใช้ ทำให้มีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่า สตรอเบอรี่แช่แข็งที่ละลายที่อุณหภูมิสูง (Müftügil และ Yigit, 1986) Delgado และ Rubiolo (2005) ศึกษาโครงสร้างภายในของเซลล์สตรอเบอรี่แช่แข็งโดยใช้เครื่อง Scanning electron microscopy (SEM) พบว่า โครงสร้างภายในของเซลล์สตรอเบอรี่แช่แข็งมีซูโครสลดลง แต่ไม่ส่งผลกระทบต่อความแข็งแรงของเนื้อเยื่อเซลล์

วิธีการทดลอง

1. การเตรียมผลิตผล

เก็บเกี่ยวลำไยพันธุ์ดอจากสวนในจังหวัดเชียงใหม่ โดยคัดเลือกผลลำไยที่มีอายุ 21 สัปดาห์หลังจากติดผล หรือมีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solid, TSS) ระหว่า ง 18-20% บรรจุผลลำไยลงในกล่องกระดาษและขนส่งทางรถตู้ปรับอากาศอุณหภูมิประมาณ 25°C นำมาคัดเลือกผลที่มีขนาดสม่ำเสมอเพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

2. ขั้นตอนการทดลอง

<u>การทดลองที่ 1</u> ศึกษาคุณภาพของการแช่แข็งลำไยที่ปอกเปลือกและไม่ปอกเปลือก

ศึกษาผลของการแช่แข็งลำไยที่ ปอกเปลือกและไม่ปอกเปลือก เปรียบเทียบกับลำไยแช่เย็น วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomize Design มี 3 สิ่งทดลอง (treatments) ได้แก่

สิ่งทดลองที่ 1 ลำไยแช่เย็น

นำผลลำไยมาตัดขั้วผลออก ล้างทำความสะอาด จุ่มในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์ที่ระดับความเข้ มข้น 200 ppm เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นผึ่งให้แห้งที่อุณภูมิประมาณ 25°C บรรจุลงในถาดพลาสติกหุ้มด้วยฟิล์ม แล้วนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C

สิ่งทดลองที่ 2 ลำไยแช่แข็งพร้อมเปลือก

นำผลลำไยมาตัดขั้วผลออก ล้างทำความสะอาด จุ่มในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้น 200 ppm เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นผึ่งให้แห้งที่อุณภูมิประมาณ 25°C บรรจุลงในถาดพลาสติก แล้วนำไปแช่เยือกแข็งและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18°C

สิ่งทดลองที่ 3 ลำไยปอกเปลือกแช่แข็ง

นำผลลำไยมาตัดขั้วผลออก ล้างทำความสะอาด จุ่มในสารละลายโซเดียมไฮโป คลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้น 200 ppm เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นผึ่งให้แห้งที่อุณภูมิประมาณ 25°C แล้วจึงนำมาปอกเปลือก บรรจุลงในถาดพลาสติก นำไปแช่เยือกแข็ง ด้วยไนโตรเจนเหลว และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18°C

แต่ละการทดลองมี 4 ซ้ำ โดยเก็บลำไยไว้เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ทำการวิเคราะห์ การสูญเสียน้ำหนัก การเปลี่ยนแปลงสี ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ความแน่นเนื้อและคุณภาพทางประสาทสัมผัสทุกๆ สัปดาห์ และทำการวิเคราะห์ลักษณะเซลล์หลังการละลาย ในสัปดาห์เริ่มต้น (0) และสัปดาห์สุดท้าย (4) ของการเก็บรักษา

การวิเคราะห์คุณภาพดำเนินการดังนี้

1. การสูญเสียน้ำหนัก

ชั่งน้ำหนักลำไยในบรรจุภัณฑ์เริ่มต้นก่อนการเก็บรักษา หลังจากนั้นทำการชั่งน้ำหนักของลำไยทุกสัปดาห์ และนำมาคำนวณเป็นเปอร์เซนต์การสูญเสียน้ำหนักดังนี้

$$\text{การสูญเสียน้ำหนัก (\%)} = \frac{\text{(น้ำหนักก่อนการเก็บรักษา – น้ำหนักหลังการเก็บรักษา)}}{\text{น้ำหนักก่อนการเก็บรักษา}} \times 100$$

2. การเปลี่ยนแปลงสี

วัดการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อลำไย โดยใช้เครื่องวัดสี Minolta รุ่น DP-301 และรายงานผลเป็นค่า Hunter's scale ซึ่งประกอบด้วยค่าต่างๆ ดังนี้

- ค่า L* เป็นค่าที่รายงานถึงความสว่างของสี ค่า L* สูงหมายถึง มีค่าความสว่างมาก แต่ถ้าค่า L* ต่ำ หมายถึง มีสีสว่างน้อยหรือเข้มมาก
- ค่า a* เป็นค่าที่รายงานถึงการเปลี่ยนแปลงสีในช่วงสีเขียว-แดง ในกรณีที่ค่า a* มีค่าเป็นลบสีที่ปรากฏอยู่ในช่วงสีเขียว และ a* มีค่าเป็นบวกสีที่ปรากฏอยู่ในช่วงสีแดง
- ค่า b* เป็นค่าที่รายงานถึงการเปลี่ยนแปลงสีในช่วงสีน้ำเงิน- สีเหลือง ในกรณีที่ค่า b* เป็นลบสีที่ปรากฏอยู่ในช่วงสีน้ำเงิน และ b* มีค่าเป็นบวกสีที่ปรากฏอยู่ในสีเหลือง

3. ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (Trtratable acidity, TA)

วัดปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ตามวิธี A.O.A.C. (1990)

นำน้ำคั้นที่ได้จากเนื้อลำไยมา 3 ml ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 50 ml หยดสารละลาย phenolphthalein เข้มข้น 1% จำนวน 2 หยด เพื่อเป็น indicator จากนั้นนำสารละลายตัวอย่างมาทำการไตเตรทกับสารละลาย NaOH ความเข้มข้น 0.1N จนกระทั่งสารละลายตัวอย่างเปลี่ยนเป็นสีชมพูอ่อน นำปริมาตรของสารละลาย NaOH ที่ใช้มาคำนวณหาปริมาณกรด โดยรายงานผลเป็นร้อยละของกรดซิตริกดังนี้

ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (%) = ความเข้มข้นของ NaOH (N) x ปริมาตรของ NaOH ที่ใช้ไตเตรท (ml) x 100
ปริมาตรสารละลายตัวอย่าง

4. ปริมาณของแข็งที่ละลายได้

วัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ โดยใช้เครื่อง Hand refactometer รายงานผลเป็นค่า °Brix

5. ความแน่นเนื้อ

วัดความแน่นเนื้อของลำไยโดยใช้เครื่องวัดความแน่นเนื้อ Texture analyzer TA-XT2 ใช้หัววัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 mm กดลึกลงไปในเนื้อ ลำไย 3 mm ด้วยความเร็ว 2 mm/วินาที ค่าความแน่นเนื้อที่ได้แสดงผลในหน่วยนิวตัน (Newton; N)

6. ลักษณะเซลล์หลังการละลาย

ดูเซลล์ของเนื้อลำไยเริ่มต้นก่อนการเก็บรักษา เนื้อลำไยผ่านการแช่แข็งและการละลายแล้ว ด้วยเครื่อง Scanning electron microscope (SEM)

หั่นเนื้อลำไยเป็นชิ้น บางๆ โดยหั่นตามขวางล้าง ในน้ำกลั่น แล้วจุ่มด้วย citric acid ความเข้มข้น 0.5 และ 1.0 % เป็นระยะเวลา 1 นาที จากนั้นนำไปแช่ใน glutaraldehyde ความเข้มข้น 2.5% ใน phosphate buffer pH 7.2 ความเข้มข้น 0.1 M นาน 2 ชั่วโมง เนื้อเยื่อ pericarp ถูกแช่ใน phosphate buffer pH 7.2 นาน 20 นาที อีกครั้งหนึ่ง และล้างด้วยน้ำกลั่น นาน 20 นาที เนื้อเยื่อ pericarp ถูกทำให้แห้งด้วยแอลกอฮอล์ และฉาบด้วย platinum/palladium หลังจากทำให้แห้ง เนื้อลำไย ที่แห้งนำมาเคลือบด้วยทองเหลืองอีกครั้ง และนำไปส่องด้วยกล้อง SEM (JEOL, model JSM-5410LV, Tokyo, Japan).

7. คุณภาพทางประสาทสัมผัส

ทดสอบความชอบด้วยวิธี 9 point hedonic scales ใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนทั้งหมด 30 คน โดยทำการประเมินคุณลักษณะด้านสี ลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส กลิ่นรส และความชอบรวม

<u>การทดลองที่ 2</u> ศึกษาผลของสารเคลือบผิวที่รับประทานได้ต่อคุณภาพทางด้านก ายภาพ เคมี และประสาทสัมผัส ของเนื้อลำไยแช่แข็ง

ในการศึกษาผลของสารเคลือบผิวที่รับประทานได้ต่อคุณภาพของเนื้อลำไยแช่ แข็ง วาง แผนการทดลองแบบ 2 x 3 Factorial in Completely Randomize Design โดยมี 2 ปัจจัย ดังนี้

ปัจจัยที่ 1 ชนิดของสารเคลือบผิวที่รับประทานได้ ได้แก่ ไคโตซานและเมธิลเซลลูโลส

ปัจจัยที่ 2 ความเข้มข้นของสารเคลือบผิว ได้แก่ 0.1, 0.5 และ 1%

ดังนั้นการทดลองมี 6 สิ่งทดลอง ได้แก่

สิ่งทดลองที่ 1 ลำไยเคลือบไคโตซานที่ความเข้มข้น 0.1%

สิ่งทดลองที่ 2 ลำไยเคลือบไคโตซานที่ความเข้มข้น 0.5%

สิ่งทดลองที่ 3 ลำไยเคลือบไคโตซานที่ความเข้มข้น 1%

สิ่งทดลองที่ 4 ลำไยเคลือบเมธิลเซลลูโลสที่ความเข้มข้น 0.1%

สิ่งทดลองที่ 5 ลำไยเคลือบเมธิลเซลลูโลสที่ความเข้มข้น 0.5%

สิ่งทดลองที่ 6 ลำไยเคลือบเมธิลเซลลูโลสที่ความเข้มข้น 1%

นำผลลำไยมาตัดขั้วผลออก ล้า งทำความสะอาด จุ่มในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์ที่ ระดับความเข้มข้น 200 ppm เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นผึ่งให้แห้งที่อุณภูมิประมาณ 25°C นำมา ปอกเปลือกแล้วจึงจุ่มในสารเคลือบผิวไคโตซานและเมธิลเซลลูโลสที่ความเข้มข้น 0.1, 0.5 และ 1% บรรจุลงในถาดพลาสติก นำไปแช่แข็งด้วยไนโตรเจนเหลวและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18°C

แต่ละการทดลองมี 4 ซ้ำ โดยเก็บลำไยไว้เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ทำการวิเคราะห์ การสูญเสีย น้ำหนัก การเปลี่ยนแปลงสี ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ความแน่นเนื้อ และคุณภาพทางประสาทสัมผัสทุกๆ สัปดาห์ และทำการวิ เคราะห์ลักษณะเซลล์หลังการละลาย ใน สัปดาห์เริ่มต้น (0) และสัปดาห์สุดท้าย (4) ของการเก็บรักษา

วิธีการวิเคราะห์คุณภาพดำเนินการเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1

<u>การทดลองที่ 3</u> ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการละลายลำไยแช่แข็ง

ศึกษาสภาวะต่างๆ ที่ใช้ในการละลายเนื้อลำไยแช่แข็ ง วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomize Design มี 4 สิ่งทดลอง ได้แก่

สิ่งทดลองที่ 1 การละลายลำไยแช่แข็งที่อุณหภูมิ 10°C

สิ่งทดลองที่ 2 การละลายลำไยแช่แข็งที่อุณหภูมิ 20°C

สิ่งทดลองที่ 3 การละลายลำไยแช่แข็งที่อุณหภูมิ 30°C

สิ่งทดลองที่ 4 การละลายลำไยแช่แข็งที่อุณหภูมิ 50°C

นำผลลำไยมาตัดขั้วผลออก ล้างทำความสะอาด จุ่มในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้น 200 ppm เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นผึ่งให้แห้งที่อุณภูมิประมาณ 25°C นำมาปอกเปลือกแล้วจึงจุ่มในสารเคลือบผิวที่ระดับความเข้มข้นที่เหมาะสม (ที่ได้จากผลการทดลองที่ 2) บรรจุลงในถาดพลาสติก นำไปแช่เยือกแข็งด้วยไนโตรเจนเหลว และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18°C เมื่อครบกำหนดในแต่ละสัปดาห์ นำลำไยแช่แข็งมาทำการละลายที่อุณหภูมิ 10, 20, 30 และ 50°C

แต่ละการทดลองมี 4 ซ้ำ โดยเก็บลำไยไว้เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ทำการวิเคราะห์ การสูญเสียน้ำหนัก การเปลี่ยนแปลงสี ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ความแน่นเนื้อ และคุณภาพทางประสาทสัมผัสทุกๆ สัปดาห์ และทำการวิเคราะห์ลักษณะเซลล์หลังการละลาย ในสัปดาห์เริ่มต้น (0) และสัปดาห์สุดท้าย (4) ของการเก็บรักษา

วิธีการวิเคราะห์คุณภาพดำเนินการเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์หาความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) และความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan' s new multiple range test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ $p \leq 0.05$ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์