

การผลิตผักใบ พืชตระกูลมะเขือ และพริกแช่แข็ง

Production of Vegetables, Egg Plant and Chili Pepper Frozen

ประยูร เอ็นมาก^{1/} ศุภมาศ กลิ่นขจร^{1/} จิตติมา วรรณแก้ว^{1/}

บทคัดย่อ

การศึกษาเปรียบเทียบกระบวนการผลิตผักแช่แข็งระหว่างการลวกและไม่ลวกวัตถุดิบก่อนทำการแช่แข็ง โดยนำไปแช่แข็งอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิ -28°C ด้วยเครื่อง Shock freeze เป็นเวลา 30 นาที แล้วเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ผักแช่แข็งในตู้แช่แข็งที่มีอุณหภูมิ -18°C พบว่าผักใบทั้ง 6 ชนิด ที่ผ่านการลวกด้วยน้ำเกลือเข้มข้น 0.5 % จะมีปริมาณน้ำมันหอมระเหยลดลง 27.78-77.12% เมื่อเปรียบเทียบกับผักที่ไม่ผ่านการลวก ทั้งนี้ปริมาณน้ำมันหอมระเหยขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบที่นำมาใช้ด้วย ในขณะที่ลักษณะสีปรากฏของผลิตภัณฑ์ (ค่า L^*) ไม่มีความแตกต่างกัน ยกเว้นพริกชี้หนูและมะเขือเปราะจะมีสีซีดจางกว่าชุดที่ไม่ผ่านการลวก เมื่อนำมาทดสอบการคืนสภาพของผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีต่างๆ คือ แช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง, แช่น้ำอุณหภูมิ 40°C และใช้ไมโครเวฟ พบว่าผลิตภัณฑ์มีลักษณะที่อ่อนนุ่ม คล้ายผักลวก อย่างไรก็ตามวิธีการคืนสภาพโดยการแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 5 นาที สามารถคืนสภาพได้ผักใบทั้ง 6 ชนิดได้อย่างสมบูรณ์ ในขณะที่พริกชี้หนูและมะเขือเปราะ มีลักษณะของเซลล์ที่แข็งแรงกว่า จึงต้องใช้ระยะเวลาในการคืนสภาพที่นานกว่าโดยจะต้องใช้เวลาในการคืนสภาพเป็นเวลา 10 นาที เมื่อแช่น้ำอุณหภูมิ 40°C ใช้น้ำเกลือหรืออบไมโครเวฟเป็นเวลา 2 นาที จึงจะสามารถละลายน้ำแข็งในเซลล์ได้ทั้งหมด

^{1/}กลุ่มวิจัยและพัฒนาการแปรรูปผลิตผลเกษตร สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร

Abstract

To study efficiency recovery of frozen vegetable product between blanching and non-blanching raw-materials prior to freezing in which freezing step raw-materials were quickly kept at -28°C , 30 min in Shock freeze machine then stored continually at -18°C , found that 6 types of frozen vegetables that blanched with 0.5% NaCl solution decrease amount of essential oils 27.78-77.12% compared with non-benching vegetable. Moreover amount of essential oils depend on the type of vegetables. However, appeared color of frozen vegetable in both processes (L^* value) were not different, accepting Egg Plant and Chili Pepper that appeared more pale than non-benching. Upon testing recovery with various methods such as soaking in water at room temperate and 40°C , and using microwave found that all vegetables recover as softness seemly benching, whereas soaking in water 5 minutes was the best condition that could recover completely of 6 types on another hand Egg Plant and Chili Pepper which their cells so more rigid have to take more time in 10 minutes with soaking in water 40°C or using microwave 2 minutes to completely melt ice inside their cell.

คำนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่ส่งออกผลิตภัณฑ์อาหารที่สำคัญประเทศหนึ่งของโลก โดยเฉพาะกลุ่มอาหารสด และผลิตภัณฑ์อาหารแช่แข็งและแช่เยือกแข็ง นับว่าเป็นกลุ่มสินค้าที่มีศักยภาพในตลาดต่างประเทศ ดังจะเห็นได้จากข้อมูลของกรมการค้าต่างประเทศที่รายงานไว้ว่า การส่งออกอาหารทะเลแช่แข็งและแช่เยือกแข็งมีมูลค่านับแสนล้านบาท ในปี พ.ศ. 2547 ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร โดยความร่วมมือของกรมศุลกากร ได้แสดงผลค่าการส่งออกผักแช่แข็งของไทยไปยังประเทศ ต่างๆ ว่า ประเทศไทยส่งออกผักแช่แข็งเป็นมูลค่ารวมทั้งสิ้น 2,291.7 ล้านบาท โดยมีการส่งออกไปยังประเทศญี่ปุ่นสูงเป็นอันดับ 1 คิดเป็นมูลค่า 1,748.7 ล้านบาท หรือคิดเป็น 76.31% ของการส่งออกผักแช่แข็งทั้งหมดของไทย ส่งออกไปยังประเทศสหรัฐอเมริกา และสหราชอาณาจักรสูงเป็นอันดับที่ 2 และ 3 ตามลำดับ คิดเป็นมูลค่า 59.6 และ 18.3 ล้านบาท ตามลำดับ โดยในปี พ.ศ. 2546 มีอัตราการส่งออกเพิ่มขึ้น 7.66 % (มูลค่าการส่งออกเป็น 1,887.2 ล้านบาท) และปี พ.ศ. 2547 มีอัตราการส่งออกเพิ่มขึ้นถึง 21.43 % (มูลค่าการส่งออกเป็น 1,887.2 ล้านบาท) และในปี 2553 มูลค่าการส่งออกเท่ากับ 496 ล้านบาท (ร้อยละ 3.76) ลดลงจากปี 2552 ที่มีมูลค่ากว่า 610 ล้านบาท (ร้อยละ 4.44) สหภาพยุโรปเป็นตลาดอาหารที่ใหญ่มากตลาดหนึ่งของไทย อีกทั้งผู้บริโภคในสหภาพยุโรปยังมีกำลังซื้อที่สูง จึงเป็นตลาดที่ไทยต้องพยายามรักษาส่วนแบ่งตลาดไว้ เพราะหากผู้ผลิตและผู้ส่งออกไทยสามารถส่งสินค้าเข้าไปประเทศสมาชิกของสหภาพยุโรปประเทศใดประเทศหนึ่งแล้วนั้นหมายถึงการเข้าถึงกำลังซื้อของผู้บริโภคทั่วทั้งภูมิภาคยุโรปได้เนื่องจากสินค้าไทยจะถูกส่งต่อไปยังประเทศสมาชิกอื่น ๆ ได้โดยไม่ต้องผ่านด่านตรวจและไม่มีกีดกันภาษีนำเข้าอีก ดังนั้นผู้ประกอบการจำเป็นต้องตระหนักถึงความสำคัญในการรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้ได้มาตรฐานและถูกต้องตามกฎระเบียบของประเทศผู้นำเข้า ตลอดจนต้องมีความรู้ความเข้าใจในปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อคุณภาพและความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์

การแช่แข็ง

การแช่แข็งเป็นกระบวนการลดอุณหภูมิของอาหารให้ต่ำกว่าจุดเยือกแข็งโดยส่วนของน้ำจะเปลี่ยนสภาพไปเป็นผลึกน้ำแข็ง ซึ่งเป็นกรรมวิธีที่มีผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านสี กลิ่น รส และคุณค่าทางโภชนาการน้อยมาก อาหารส่วนใหญ่มีน้ำเป็นองค์ประกอบในสัดส่วนที่สูง แต่จะมากน้อยแตกต่างกันไปและแต่ชนิดของอาหาร ดังแสดงในตารางที่ 1 อาจใช้กรรมวิธีเบื้องต้นคือการลวกประกอบด้วย ถ้าใช้วิธีแช่แข็งและการเก็บรักษาที่ ถูกต้องเหมาะสม อาหารจะเกิดการเปลี่ยนแปลงด้านโภชนาการและประสาทสัมผัสน้อยมาก อาหารแช่แข็งที่มีการผลิตในระดับอุตสาหกรรมแบ่งเป็นกลุ่มใหญ่ ๆ ได้แก่ ผักและผลไม้ (อาจจะเป็นทั้งลูกหรือบดละเอียดหรือน้ำผลไม้เข้มข้น), เนื้อและอาหารทะเล, อาหารอบแห้ง และอาหารสำเร็จรูปพร้อมบริโภค (พิซซ่าขนม อาหารที่ทำสุกก่อนแช่แข็ง)

ตารางที่ 1 ปริมาณน้ำและจุดเยือกแข็งของอาหารบางชนิด

อาหาร	ปริมาณน้ำ (%)	จุดเยือกแข็ง (%)
ผัก	72-92	-0.8 ถึง -2.8
ผลไม้	87-95	-0.9 ถึง -2.7
เนื้อ	55-70	-1.7 ถึง -2.2
ปลา	65-81	-0.6 ถึง -2.0
นม	87	-0.5
ไข่	74	-0.5



ที่มา: Fellow (1993)

รูปที่ 1 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์อาหารสำเร็จรูปแช่แข็ง

การแช่เยือกแข็งอาหารประเภทผัก

การแช่เยือกแข็งเป็นวิธีที่สำคัญที่สุดวิธีหนึ่งที่จะรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรเอาไว้ได้เป็นเวลานาน ดังนั้นเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีความปลอดภัยในการบริโภคและมีคุณค่าทางโภชนาการ จึงจำเป็นที่จะต้องใช้วัตถุดิบที่มีคุณภาพสูง มีการปฏิบัติในการผลิตที่ถูกต้อง และการใช้อุณหภูมิในการเก็บที่ถูกต้องตามที่ได้กำหนดไว้ ซึ่งกรรมวิธีการผลิตผักแช่แข็งโดยทั่วไปสามารถแบ่งได้ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ทำความสะอาด และ คัดเกรด
2. เตรียมวัตถุดิบ ได้แก่ การปอกเปลือก, ตัดแต่งให้มีขนาดเล็กกลง
3. นำไปลวก แล้ว ทำให้เย็น
4. นำไปแช่แข็ง
5. บรรจุหีบห่อ แล้วนำไปเก็บในห้องเย็น

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของผักแช่แข็ง

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ชนิดและคุณภาพของวัตถุดิบ วิธีจัดการก่อนการแช่แข็ง การเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากวิธีแช่แข็ง การเก็บรักษาระหว่างการแช่แข็งและวิธีละลายน้ำแข็ง ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. วัตถุดิบ เช่น ชนิดของวัตถุดิบ, ความแก่อ่อน และการเก็บเกี่ยว เป็นต้น วัตถุดิบเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้าย ปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่มีผลต่อคุณภาพของวัตถุดิบ ได้แก่ การเลือกพันธุ์ที่ถูกต้อง ความแก่อ่อนในขณะที่เก็บเกี่ยว สำหรับปัจจัยอื่นๆ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องได้แก่ ชนิดของดิน ศัตรูพืช การควบคุมโรค และวัชพืช วิธีการเก็บเกี่ยว สภาพของการดำเนินการและการขนส่ง เป็นต้น

2. การเตรียมวัตถุดิบ เช่น การทำความสะอาด การลวก เป็นต้น

2.1 การทำความสะอาด

การทำความสะอาด เป็นการกำจัดสิ่งสกปรกที่มาจากแหล่งที่ปลูก ดินทราย และเศษต่างๆ ที่ผิวของวัตถุดิบ และเป็นขั้นตอนแรกในการควบคุมการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ การทำความสะอาดทำได้โดยล้างด้วยน้ำที่มีคลอรีน (Residual chlorine ประมาณ 2-10 ppm)

2.2 การลวก

การลวก เป็นปัจจัยสำคัญในการผลิตผักแช่เยือกแข็งคุณภาพสูง การลวกทำได้โดยให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์เพื่อทำลายระบบเอนไซม์ที่มีอยู่ สำหรับวัตถุประสงค์ของการลวกได้แก่ การลดจำนวนจุลินทรีย์ การทำความสะอาด และการตรึงสีของผัก รวมทั้งทำลายเอนไซม์ซึ่งทำให้เกิดการเสื่อมคุณภาพด้านรสชาติ และเนื้อสัมผัสในระหว่างการเก็บระยะยาว ผักส่วนใหญ่ต้องการการลวก อย่างไรก็ตามก็มีข้อยกเว้นสำหรับผักบางชนิดซึ่งสามารถรักษาคุณภาพที่ดีไว้ได้โดยไม่ต้องลวก โดยเก็บที่อุณหภูมิไม่เกิน -18 องศาเซลเซียส เช่น แดงกวาง หัวหอม พืชสมุนไพร เป็นต้น

การลวกด้วยน้ำร้อนโดยทั่วไปจะกระทำในระหว่างอุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส และ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ถึง 10 นาที ขึ้นกับขนาดของชิ้นผักแต่ละชิ้น เช่น ถัวยี่สิบ และบรอกโคลี จะลวกในน้ำที่มีอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-3 นาที ในขณะที่ กะหล่ำปลีชนิดออกหัวตามลำต้น (Brussels sprout) จะลวกในน้ำที่มีอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4-5 นาที การลวกด้วยน้ำร้อนอาจเติมสารเจือปนลงไปเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะที่แน่นอน เช่น โซเดียมแอซิดไพโรฟอสเฟต (sodium acid pyrophosphate) ใช้เพื่อป้องกันการเปลี่ยนสีของผัก ส่วนการเติมเกลือแคลเซียม (calcium salts) ช่วยทำให้เนื้อของผักแข็งขึ้น

การลวกด้วยไอน้ำได้รับการพัฒนาให้เป็นแบบระบบการลวกทีละหน่วยอย่างรวดเร็ว (Individual quick blanch: IQB) ซึ่งผลิตภัณฑ์ชั้นบางๆ (thin layer of product) จะสัมผัสกับไอน้ำ 25 วินาที แล้วตามด้วย 50 วินาที ใน deep bed เพื่อให้ได้อุณหภูมิที่สม่ำเสมอตลอดทั้งมวลผัก

เอนไซม์ที่มีความสำคัญสำหรับการลวก และใช้เป็นดัชนีบอกประสิทธิภาพของการลวก คือ เปรอร์ออกซิเดส (peroxidase) คาตาเลส (catalase) และไลพอกซิจีเนส (lipoxygenase) ในกระบวนการแปรรูปผัก การทำลายเอนไซม์เหล่านี้เป็นวิธีที่นิยมใช้เพราะง่ายต่อการวัดกิจกรรมของเอนไซม์ และเอนไซม์ชนิดนี้ทนความร้อนที่สุด ถ้าหลังจากการลวกแล้วตรวจไม่พบเอนไซม์เหล่านี้ก็แสดงว่า เอนไซม์ชนิดอื่นๆ ก็ถูกทำลายเช่นกัน

อุปกรณ์ในการแช่เยือกแข็งผัก

1. อุปกรณ์แช่เยือกแข็งแบบฟลูอิดเบด

เป็นวิธีที่ธรรมดาที่สุดที่ใช้แช่เยือกแข็งผัก อุปกรณ์ชนิดนี้มี 2 แบบ คือ แบบที่ความสูงของชั้นอาหารคงที่ (Fixed bed freezer) และแบบที่มีสายพานซึ่งเคลื่อนที่ได้ ทำจากพลาสติกที่มีรูพรุน (perforated plastic) ทำงานโดยบังคับให้อากาศที่อุณหภูมิ -30 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่า พัดผ่านจากด้านล่างของอุปกรณ์เพื่อทำให้เกิดการลอยตัวของผลิตภัณฑ์บนชั้นของอากาศเย็น การทำเช่นนี้ผักแต่ละหน่วยจะแช่ตัวแยกกัน ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เคลื่อนที่ได้ง่าย (Free-flowing product) วิธีนี้เหมาะกับผักที่มีขนาดเล็ก เช่น ถั่วเมล็ดกลม เมล็ดข้าวโพด หรือผักที่หั่นเป็นชิ้นเล็ก หรือแบบลูกบาศก์

2. อุปกรณ์แช่เยือกแข็งแบบสายพานเคลื่อนที่ (moving belt freezer)

เป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์ที่แช่เยือกแข็งอย่างรวดเร็ว การเคลื่อนตัวของอากาศเย็นผ่านสายพานของอุปกรณ์จะไม่รุนแรงและไม่ทำให้เกิดการลอยตัวของผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์จะถูกลำเลียงผ่านหรือเคลื่อนผ่านอุปกรณ์แช่เยือกแข็ง เพื่อออกไปสู่ส่วนเก็บบรรจุ (palletainer) ในบางครั้งจะใช้อุปกรณ์แช่เยือกแข็งแบบอุโมงค์เมื่อการเคลื่อนตัวของผลิตภัณฑ์อยู่บนถาดหรือรถลาก การแช่เยือกแข็งโดยอุปกรณ์เหล่านี้จะใช้อากาศเย็นที่มีอุณหภูมิประมาณ -32 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่า วิธีนี้จะทำให้ผักแช่ตัวอย่างรวดเร็ว นิยมใช้กับถั่ว หรือข้าวโพด

3. อุปกรณ์แช่เยือกแข็งแบบแผ่น (Plate freezer)

ผลิตภัณฑ์อาจบรรจุในถุงโพลีทีน (Polythene bags) แล้วบรรจุลงในกล่องกระดาษที่เคลือบด้วยโพลีทีน และจากนั้นนำไปแช่เยือกแข็งในอุปกรณ์แช่เยือกแข็งแบบแผ่น ซึ่งจะวางกล่องกระดาษที่บรรจุด้วยผลิตภัณฑ์ในระหว่างแผ่นแช่เยือกแข็ง (freezing plate) แล้วให้กล่องสัมผัสกับแผ่นแช่เยือกแข็งทั้ง 2 ด้าน วิธีนี้จะทำให้ผักแช่ตัวภายในเวลา 30 นาที ถึง 90 นาที ขึ้นกับชนิดและขนาดของผัก

4. อุปกรณ์แช่เยือกแข็งแบบไครโอจินิก (Cryogenic freezer)

อุปกรณ์แบบนี้จะใช้ไนโตรเจนเหลวหรือคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อแช่เยือกแข็งผัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อผลิตภัณฑ์มีความละเอียดอ่อนและขนาดเล็ก เช่น เห็ด และผักที่หั่นให้บาง เพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลัน (Thermal shock)

5. อุปกรณ์แช่เยือกแข็งที่อากาศเย็นมีการหมุนวน (Air blast freezer)

ใช้กันทั่วไปในการแช่เยือกแข็งผัก ลมหรืออากาศเย็นเคลื่อนที่ในอุปกรณ์ด้วยความเร็วสูงมากและมีอุณหภูมิต่ำประมาณ -29 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่า เวลาที่ใช้แช่เยือกแข็งผักประมาณ 3-12 ชั่วโมง ขึ้นกับชนิดของผัก การบรรจุ อุณหภูมิ และความเร็วของอากาศเย็น เป็นต้น

การเก็บรักษาผักแช่แข็ง เช่น การบรรจุ อุณหภูมิภายในห้องเย็น ความแปรปรวนของอุณหภูมิ

1. **การบรรจุ (Packaging)** การบรรจุที่ใช้สำหรับผักแช่เยือกแข็งต้องป้องกันผลิตภัณฑ์จากการสูญเสีย น้ำและต้องมีผลในการกั้นไอน้ำด้วย นอกจากนี้ต้องทนอุณหภูมิต่ำในระหว่างการเก็บในสภาพแช่เยือกแข็ง การบรรจุต้องป้องกันผลิตภัณฑ์จากการปนเปื้อนจากภาวะที่เผชิญอยู่และจากการจัดการกับผลิตภัณฑ์ด้วย โพลีเอทิลีน (polyethylene) เป็นวัสดุที่ใช้อย่างกว้างขวางเพราะมีความทนทานสูงที่อุณหภูมิต่ำๆ (ถึง -50 องศาเซลเซียส) และมีคุณสมบัติในการขวางกั้นออกซิเจนที่ดีที่สุด เช่น ถั่วแช่เยือกแข็ง (frozen peas) ที่บรรจุในถุงโพลีเอทิลีน จะสูญเสียความชื้นน้อยกว่า 0.01 % ภายหลังจากเก็บเป็นเวลา 3 เดือน โพลีเอทิลีนได้นำมาใช้กับผักแช่เยือกแข็งที่มีการเคลื่อนที่อย่างอิสระ (free-flowing frozen vegetable) นอกจากนี้แล้วโพลีเอทิลีนสามารถพิมพ์ภาพหรือลวดลายลงไปได้ ซึ่งอาจช่วยลดปริมาณของแสงที่จะไปถึงผลิตภัณฑ์

2. **อุณหภูมิในการเก็บรักษาผักแช่แข็ง** อุณหภูมิที่ใช้เก็บรักษาผักในสภาพแช่เยือกแข็งในประเทศสหรัฐอเมริกา คือ -18 องศาเซลเซียส และควรจะรักษาอุณหภูมินี้ตลอดช่วงการเก็บ ส่วนในประเทศทางยุโรป ผลิตภัณฑ์จะเก็บที่อุณหภูมิต่ำกว่าผักแช่เยือกแข็ง

การเปลี่ยนแปลงของอาหารแช่แข็ง

การแช่แข็งถือว่าการถนอมอาหารที่ดีที่สุดวิธีหนึ่งที่สามารถเก็บอาหารไว้ได้นานโดยที่คุณภาพไม่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมมากนัก แต่ถึงแม้จะเก็บที่อุณหภูมิที่เหมาะสม ก็ยังเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพซึ่งทำให้อายุการเก็บของผักแช่เยือกแข็งมีช่วงเวลาจำกัดช่วงหนึ่ง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของอาหารดังกล่าวอาจเกิดขึ้นได้ดังนี้

1. ความชื้นลดลง เนื่องจากการระเหยน้ำจากผิวหน้าของอาหาร โดยเฉพาะในอาหารที่ไม่ได้บรรจุในบรรจุภัณฑ์ ทำให้เกิดลักษณะไม่น่ารับประทาน เนื้อมีสีคล้ำแห้ง และรสชาติเปลี่ยนแปลง ลักษณะเช่นนี้เรียกว่า "freezer burn" ซึ่งอาจป้องกันได้โดยการบรรจุอาหารให้มีมิดชิด

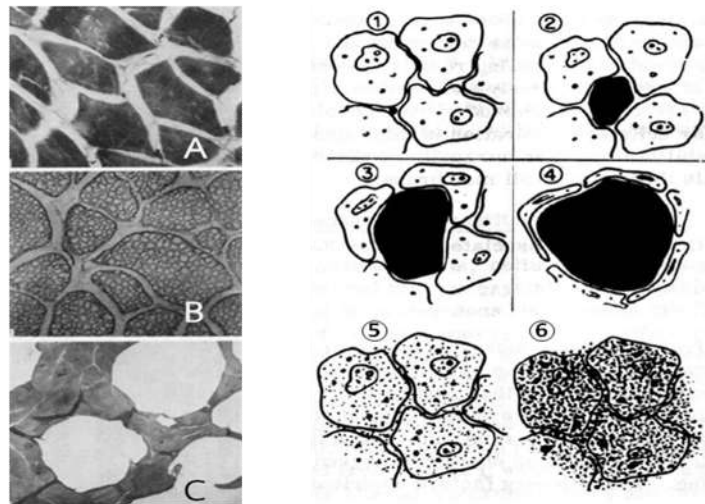
2. การเจริญของจุลินทรีย์ จุลินทรีย์ส่วนใหญ่ไม่เจริญที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำ และถูกทำลายได้มากที่อุณหภูมิในช่วง -4 ถึง -10 องศาเซลเซียส ยกเว้นสปอร์ของแบคทีเรียบางชนิดที่ไม่ถูกทำลายที่อุณหภูมิแช่แข็ง และอาจเจริญได้ในช่วงการทำละลายอาหารแช่แข็ง

3. การเปลี่ยนแปลงทางเคมี ซึ่งเกิดขึ้นในขณะที่เก็บผักในสภาพแช่เยือกแข็งจะทำให้สีและกลิ่นของผักเสียไป การเปลี่ยนของสีเกิดภายใน 2-3 เดือน หลังจากแช่เยือกแข็ง ผักที่มีสีเขียวของคลอโรฟิลล์จะเปลี่ยนไปเป็นสีน้ำตาลของฟีโอไฟติน (pheophytin) ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงของกลิ่น (กลิ่นหืน) เกิดขึ้นจากออกซิเดชันของไขมัน ซึ่งยังคงเกิดได้อย่างช้าๆ ที่อุณหภูมิต่ำ อาหารที่มีไขมันประเภทไม่อิ่มตัวอยู่มากจะเกิดการหืนได้ดีกว่าอาหารที่มีไขมันประเภทอิ่มตัว สามารถป้องกันการเกิดออกซิเดชันของไขมันโดยการบรรจุอาหารในบรรจุภัณฑ์ที่ป้องกันการซึมผ่านของออกซิเจนได้

4. ผลึกน้ำแข็งมีขนาดใหญ่ขึ้น และมีการเคลื่อนที่ของผลึกน้ำแข็ง การแปรของอุณหภูมิในระหว่างการเก็บมีผลให้เกิดการละลายและการเยือกแข็งซ้ำของน้ำในอาหาร ในระหว่างที่ผลึกน้ำแข็งละลาย ความดันไอของน้ำจะทำให้ น้ำเคลื่อนที่ออกมาออกขึ้นอาหาร และเกิดเป็นผลึกน้ำแข็งขึ้น การควบคุมอุณหภูมิแช่แข็งที่ดีจะช่วยลดปัญหานี้ได้

ผลึกน้ำแข็งจะเกิดขึ้นในเนื้อเยื่อหรือภายในองค์ประกอบของเซลล์ส่วนใดนั้น ขึ้นอยู่กับอัตราเร็วในการเยือกแข็ง อุณหภูมิของตัวอย่าง และลักษณะของเซลล์ โดยทั่วไปการแช่แข็งอย่างช้าๆ (ที่อัตราเร็วต่ำกว่า $1^{\circ}\text{C}/\text{นาท}$) จะทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งภายนอกเซลล์ จากตัวอย่างผลของอัตราเร็วในการเยือกแข็งต่อการเกิดผลึกน้ำแข็งในกล้ามเนื้อปลาคอด พบว่า รูปที่ 2(C) เป็นลักษณะของผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นในกล้ามเนื้อของปลาคอดจากการแช่แข็งอย่างช้าๆ และรูปที่ 2(b) แสดงการเกิดผลึกน้ำแข็งที่สม่ำเสมอ (ส่วนใหญ่เกิดขึ้นในเซลล์) ในการแช่แข็งกล้ามเนื้อของปลาคอดอย่างรวดเร็ว

อัตราการแช่แข็งต่อเซลล์เนื้อเยื่อพืชในระหว่างการแช่แข็งอย่างช้าๆ ผลึกน้ำแข็งจะเติบโตขึ้นช่องว่างระหว่างเซลล์สูญเสียรูปร่างและทำให้เซลล์ใกล้เคียงแตก ในการละลายน้ำแข็งในอาหารนี้ เซลล์จะไม่กลับมามีรูปร่างและความแข็งแรงเหมือนเดิม อาหารจะนิ่มและสารต่าง ๆ ในเซลล์จะไหลออกจากเซลล์เสียหายหรือที่เรียกว่า น้ำไหลซึม (Drip) ดังแสดงในรูปที่ 3(1-4) ส่วนการแช่แข็งอย่างรวดเร็ว ผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นทั้งในเซลล์และในช่องว่างระหว่างเซลล์จะมีขนาดเล็ก จึงเกิดความเสียหายทางกายภาพเพียงเล็กน้อยและไม่เกิดความแตกต่างของความดัน เซลล์จึงสูญเสียให้น้อยมาก เนื้อสัมผัสของอาหารจึงยังคงดีอยู่ดังแสดงในรูปที่ 3(5-6) ดังนั้นการแช่แข็งในอัตราที่ยิ่งเร็วเท่าไรก็ยิ่งดีขึ้นไปนั้น



รูปที่ 2

รูปที่ 3

รูปที่ 2: ผลของอัตราเร็วในการแช่แข็งต่อการเกิดผลึกน้ำแข็งในกล้ามเนื้อปลาคอด

[(a) ไม่ได้แช่แข็ง (b) แช่แข็งอย่างรวดเร็ว (c) แช่แข็งอย่างช้าๆ] ที่มา: Love (1966)

รูปที่ 3: ผลกระทบของการแช่แข็งต่อเนื้อเยื่อพืช

[(1-4) การแช่แข็งแบบช้า (5-6) การแช่แข็งแบบเร็ว] ที่มา: Meryman (1963)

5. คุณค่าทางโภชนาการ กระบวนการแช่แข็งไม่ทำให้สารอาหารสลายตัว อาหารที่แช่แข็งสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการในขั้นเตรียมอาหารก่อนแช่แข็งเป็นส่วนใหญ่ การบรรจุหีบห่อช่วยป้องกันการสูญเสียสารอาหารหลายชนิดโดยเฉพาะวิตามิน โดยคุณค่าทางโภชนาการของอาหารแช่แข็งที่เปลี่ยนไปเมื่อเก็บรักษาไว้ระยะเวลาต่างๆ ดังจะเห็นได้จากตารางที่ 2

ตารางที่ 2: การสูญเสียวิตามินระหว่างการเก็บรักษาอาหารเยือกแข็ง

ผลิตภัณฑ์	% การสูญเสียในการเก็บรักษาที่ - 18°C เป็นเวลา 12 เดือน						
	วิตามิน C	วิตามิน B1	วิตามิน B2	ไนอาซิน	วิตามิน B6	กรดแพนโทเทนิค	คาโรทีน
เมล็ดถั่วลันเตา	52	0-32	0	0	0-21	53	0-23
ถั่ว (pea)	11	0-16	0-8	0-8	7	29	0-4
สเต็กเนื้อ ^a	-	8	9	0	24	22	-
เนื้อหมู (Pork chops) ^a	-	+18	0-37	+5	0-8	18	-
ผลไม้ ^b	18	29	17	16	-	-	37
Range	0-50	0-66	0-67	0-33	-	-	0-78

a: เก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน

b: ค่าเฉลี่ยได้จากการทดลองของแอปเปิล แอปปริคอต บลูเบอร์รี่ น้ำส้มเข้มข้นนำมาเจือจาง พีช ราสเบอร์รี่ และสตรอเบอร์รี่โดยไม่ได้ ระยะเวลาในการเก็บรักษา

ที่มา : Burger (1982) และ Fennema (1975) อ้างโดย วิลโล รังสาดทอง (2546)

จากข้อมูลทางด้านสถิติเมื่อปี 2553 ของ Europanel ซึ่งเป็นบริษัทเอกชนที่ให้บริการเก็บข้อมูลพฤติกรรมของผู้บริโภค โดยครอบคลุมข้อมูลกว่า 50 ประเทศทั่วโลก รายงานว่าแนวโน้มตลาดสินค้าเกษตรและอาหารของสหภาพยุโรป โดยเฉพาะตลาดสินค้าผักสดแช่แข็งมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เช่นในประเทศเบลเยียม มีปริมาณเพิ่มขึ้นร้อยละ 6 (42,661 ตัน) โดยมีผักโขมครองส่วนแบ่งตลาดสูงถึง 20% เช่นเดียวกับเนเธอร์แลนด์ที่มีมูลค่าเพิ่มขึ้น 4.2% (35,293 ตัน) โดยมีผักขมแปรรูปแช่แข็งครองส่วนแบ่งตลาดสูงสุด 26.4% และผักขมสดแช่แข็ง 19.1% ในขณะที่เยอรมนี มีมูลค่าเพิ่มขึ้น 2.7% (158,376 ตัน) โดยมีสินค้าหลักเป็นผักแช่แข็งพร้อมรับประทาน เช่น ผักฝักรวม ผักสตรวม เป็นต้น จากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นได้ว่าปัจจุบัน

สินค้าแช่แข็งได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะผักสดและผักแปรรูปแช่แข็ง เพราะเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านสี กลิ่น รส และคุณค่าทางโภชนาการน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับผักสด อีกทั้งยังช่วยลดปริมาณของเสียจากผักสดที่จำหน่ายไม่ทันเวลาหรือจำหน่ายไม่หมดในแต่ละวัน ซึ่งจากกระแสความนิยมสินค้าผักสดแช่แข็งที่เพิ่มมากขึ้นนี้ น่าจะเป็นโอกาสดีของประเทศไทย ที่จะสามารถขยายช่องทางการตลาดผักสด มาเป็นสินค้าผักสดแช่แข็งมากขึ้น โดยปัจจุบันมีการส่งออกไปยังสหภาพยุโรปบ้างแล้ว เช่น ตะไคร้ ใบมะกรูด ขิง ข่า เผือก กระเจี๊ยบเขียว มะระขี้นก และข้าวโพดฝักอ่อน เป็นต้น แต่ยังมีปริมาณที่ไม่มากนัก

อย่างไรก็ตามการนำเข้าผักสดจากประเทศไทยไปยังสหภาพยุโรปในปัจจุบัน กำลังประสบปัญหาอย่างหนัก อันเนื่องมาจากปัญหาการตรวจพบแมลงศัตรูพืชเข้าทำลายผลิตผลทางการเกษตรกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยว โดยเฉพาะผักสดชนิดต่างๆ 5 กลุ่ม (16 รายการ) ซึ่งได้แก่ ผักในกลุ่ม กะเพรา, โหระพา, ผักชีฝรั่ง, มะระ, มะเขือ และพริก ซึ่งทำให้กรมวิชาการเกษตรต้องประกาศหยุดการออกใบรับรองศัตรูพืชยังประเทศในสหภาพยุโรป เมื่อเดือนมกราคม 2554 รวมทั้งปัญหาการตรวจพบการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์ และยาฆ่าแมลงตกค้าง ซึ่งปัจจุบันประเทศไทยถูกบังคับใช้มาตรการตรวจเข้มที่ระดับ 50% (ตามกฎระเบียบ 669/2009)

ดังนั้นการค้นคว้าและวิจัยการแปรรูปผักสดเป็นผลิตภัณฑ์แช่แข็ง จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการแก้ไขปัญหาการปนเปื้อนแมลงศัตรูพืชในผักสดส่งออกในระยะยาวได้ อีกทั้งช่วยให้ผักไทยยังคงมีรูปลักษณ์ กลิ่นและรสชาติที่ใกล้เคียงกับผักสดเมื่อนำมาปรุงอาหารไทย ซึ่งเป็นแนวทางในการเสริมสร้างความสามารถในการแข่งขันในตลาดผักแช่แข็งของสหภาพยุโรปได้ ตลอดจนสามารถเลือกใช้การขนส่งทางเรือเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งได้

วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตผลิตภัณฑ์แปรรูปจากผักใบ พืชตระกูลมะเขือและพริกแช่แข็ง

วิธีการดำเนินงาน

อุปกรณ์

- เครื่องแช่แข็ง (Shock freeze)
- ตู้แช่ -18 องศาเซลเซียส
- เตาไมโครเวฟ
- เตาแก๊ส
- เครื่องปิดผนึกสุญญากาศ
- ชุดสกัดน้ำมันหอมระเหย (Soxhlet Extraction)
- ตะแกรงเหล็ก
- เครื่องหล่อเย็น
- เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง
- เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง

เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
เทอร์โมมิเตอร์
ถุงพลาสติกใสชนิด LDPE

สารเคมี

โปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟท์
แคลเซียมคลอไรด์
คลอรีน
กรดแอสคอร์บิก
เกลือแกง

วัตถุดิบทางการเกษตร

กะเพรา โหระพา สารระเหย แมงลัก ผักชีฝรั่ง ยี่หระ พริกชี้ฟ้า มะเขือเปราะ

ขั้นตอนและวิธีการในการวิจัย

1. วางแผนการทดลองแบบ RCB
2. วิธีการทดลอง
 - การเตรียมวัตถุดิบ
 - การแช่แข็ง
 - การทดสอบการคืนสภาพของผลิตภัณฑ์
3. การบันทึกข้อมูล
 - ค่าสี
 - ปริมาณน้ำมันหอมระเหย
 - คุณภาพทางประสาทสัมผัส คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ สี, กลิ่น และลักษณะปรากฏ

4. ระยะเวลาและสถานที่ดำเนินการ

ระยะเวลาในการดำเนินการระหว่างเดือนมกราคม 2554 – กันยายน 2554 โดยทำการศึกษาวิจัย ณ กลุ่มงานวิจัยและพัฒนาการแปรรูปผลิตภัณฑ์เกษตร สำนักวิจัยวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตภัณฑ์การเกษตร กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

วิธีการ

1. การเตรียมวัตถุดิบ

- 1.1 ล้างน้ำให้สะอาดเพื่อชะล้างดินและสิ่งสกปรกออก ตัดแต่งเอาส่วนที่ไม่ต้องการออก



ล้างทำความสะอาดวัตถุดิบ



ตัดแต่งวัตถุดิบให้เหมาะสมต่อการบรรจุ

- 1.2 ล้างด้วยน้ำคลอรีน 50 ppm. เป็นเวลา 30 นาที แล้วจุ่มล้างด้วยน้ำที่มีคลอรีนเข้มข้น 20 ppm.
- 1.3 แบ่งวัตถุดิบออกเป็น 2 ชุด เพื่อศึกษาเปรียบเทียบการแช่แข็งแบบสดและแบบลวก ซึ่งวัตถุดิบสำหรับชุดทดลองการแช่แข็งแบบสดนั้นจะนำมาแช่ในสารละลายโปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟท์ ที่มีความเข้มข้น 80 ppm. เป็นเวลา 30 นาที ยกเว้นมะเขือเปราะ ตัดขั้ว แล้วแบ่งเป็นส่วน/หั่นเป็นท่อน แช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้น 0.3% ร่วมกับสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.5% เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำขึ้นมาตั้งทิ้งไว้ให้สะเด็ดน้ำ ก่อนนำไปแช่แข็ง

2. การลวกวัตถุดิบ

การลวกวัตถุดิบ จะมีกรรมวิธีที่ต่างกันไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและลักษณะของวัตถุดิบ ซึ่งการศึกษาในครั้งนี้ ใช้วิธีการลวกวัตถุดิบดังต่อไปนี้

- 2.1 มะเขือเปราะ นำไปลวกในน้ำเกลือเข้มข้น 0.5 % ที่มีอุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 98 ° C เป็นเวลา 2 นาที
- 2.2 กะเพรา โหระพา สารระแหง แมงลัก ผักชีฝรั่ง และยี่หระ นำไปลวกในน้ำเกลือเข้มข้น 0.5 % ที่มีอุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 98 ° C เป็นเวลา 30 วินาที
- 2.3 พริก นำไปนึ่งด้วยไอน้ำที่มีอุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 98 ° C เป็นเวลา 10 นาที
- 2.4 จากนั้นนำไปจุ่มแช่เย็นในสารละลายโปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟท์ ที่มีความเข้มข้น 80 ppm. เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำขึ้นมาตั้งทิ้งไว้ให้สะเด็ดน้ำ

3. การแช่แข็ง

- 3.1 บรรจุวัตถุดิบจากข้อ 1.3 และ 2.4 ลงในถุงพลาสติกใสชนิด LDPE แล้วปิดผนึกด้วยเครื่องปิดผนึกสุญญากาศ



ตั้งทิ้งไว้ให้สะเด็ดน้ำ



บรรจุวัตถุดิบในถุงพลาสติก LDPE

- 3.2 นำผลิตภัณฑ์ไปแช่แข็งอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิ -28°C ด้วยเครื่อง Shock freeze เป็นเวลา 30 นาที



ปิดผนึกบรรจุภัณฑ์ด้วยเครื่องปิดผนึกสุญญากาศ แช่แข็งที่อุณหภูมิ -28°C เป็นเวลา 30 นาที

- 3.3 เก็บรักษาผลิตภัณฑ์ผักแช่แข็งที่ได้ไว้ในตู้แช่ที่มีอุณหภูมิ -18°C เพื่อทำการศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในระยะเวลาต่างๆ

4. การทดสอบการคืนสภาพของผักแช่แข็ง

วางแผนการทดลองการทดสอบการคืนสภาพแบบ RCB จำนวน 5 ซ้ำ 6 กรรมวิธี ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 แช่น้ำอุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 5 นาที

กรรมวิธีที่ 2 แช่น้ำอุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 10 นาที

กรรมวิธีที่ 3 แช่น้ำอุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 5 นาที

กรรมวิธีที่ 4 แช่น้ำอุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 10 นาที

กรรมวิธีที่ 5 ไมโครเวฟ 1 นาที

กรรมวิธีที่ 6 ไมโครเวฟ 2 นาที

5. การประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัส

การทดสอบทางประสาทสัมผัสจากกลุ่มตัวแทนผู้ทดสอบชิม 30 ราย โดยสุ่มตัวอย่างผักแช่แข็ง ประเมินทุกเดือนเป็นเวลา 3 เดือน ซึ่งการประเมินจะประเมินในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น และความชอบ โดยรวม ข้อมูลของแบบทดสอบเป็นดังนี้

ชื่อ-สกุล.....เพศ.....อายุ.....วันที่...../...../.....

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสของผักสดแช่แข็ง เดือนที่

คำแนะนำ

กรุณาทดสอบทุกตัวอย่างและให้เขียนคะแนนตามความชอบคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่จัดให้ทดสอบ ให้ตรงกับ ตัวอย่างที่เสนอมา ซึ่งกำหนดให้คะแนนความชอบดังนี้

9 ชอบมากที่สุด 7 ชอบปานกลาง 5 เฉยๆ 3 ไม่ชอบปานกลาง 1 ไม่ชอบมากที่สุด
8 ชอบมาก 6 ชอบ 4 ไม่ชอบ 2 ไม่ชอบมาก

ตัวอย่าง	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่น	การยอมรับโดยรวม	ข้อเสนอแนะ
1					
2					
3					

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. การศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์จากการเตรียมวัตถุดิบก่อนการทำผักแช่แข็ง

1.1 ปริมาณน้ำมันหอมระเหย

ผักที่ผ่านการลวกก่อนนำมาทำการแช่แข็งมีปริมาณน้ำมันหอมระเหยลดลงจากผลิตภัณฑ์ที่ใช้ผักสด ในการแช่แข็งอยู่ในช่วง 27.78-77.12% ดังแสดงในตารางที่ 3 โดยปริมาณน้ำมันหอมระเหยจะขึ้นอยู่กับชนิดของ ผักที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตผักแช่แข็ง ส่วนพริกและมะเขือเปราะ ไม่สามารถวัดปริมาณได้ เนื่องจากมี ปริมาณน้อยมาก

ตารางที่ 3 ปริมาณน้ำมันหอมระเหยในผักชนิดต่างๆ

ตัวอย่างผัก แช่แข็ง	ปริมาณน้ำมันหอมระเหย (%)		
	ผักสด	ผักลวก	ปริมาณน้ำมัน หอมระเหยลดลง (%)
กระเพรา	0.18	0.05	27.78
โหระพา	0.30	0.12	40.00
สาระแหน่	0.05	0.02	41.11
แมงลัก	0.13	0.04	30.77
ผักชีฝรั่ง	0.05	0.04	77.12
ยี่หระ	0.16	0.12	75.00

ในขณะเดียวกันตารางที่ 4 แสดงให้เห็นว่าปริมาณน้ำมันหอมระเหยในแต่ละเดือนของการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ผักแช่แข็งที่ผลิตได้นั้นมีปริมาณที่ใกล้เคียงกัน จึงสามารถสรุปได้ว่าการแช่แข็งสามารถช่วยรักษาปริมาณน้ำมันหอมระเหยในผักสดได้เป็นอย่างดี

ตารางที่ 4 ปริมาณน้ำมันหอมระเหยเมื่อเก็บรักษาในระยะต่างๆ

ชนิดผัก แช่แข็ง	ปริมาณน้ำมันหอมระเหย (%) /ระยะเวลาในการเก็บรักษา								
	เดือนที่ 0			เดือนที่ 1			เดือนที่ 2 *		
	N	W	M	N	W	M	N	W	M
กระเพรา	0.14	0.06	0.10	0.08	0.10	0.10	0.08	0.10	0.10
โหระพา	0.28	0.26	0.32	0.28	0.30	0.30	0.28	0.30	0.30
สาระแหน่	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
แมงลัก	0.08	0.08	0.10	0.08	0.06	0.10	0.08	0.10	0.10
ผักชีฝรั่ง	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02
ยี่หระ	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.08	0.07	0.09

หมายเหตุ: N คั้นสภาพโดยแช่น้ำธรรมดา 5 นาที, W คั้นสภาพโดยแช่น้ำอุ่น 40 °C 5 นาที

M คั้นสภาพโดยใช้ไมโครเวฟ 1 นาที

1.2 คำสี

คำสีในผลิตภัณฑ์แช่แข็งของผักใบทั้ง 6 ชนิด (ค่า L*) ที่ผ่านการลวกด้วยน้ำเกลือเข้มข้น 0.5 % ก่อนทำการแช่แข็ง และผักที่ไม่ผ่านการลวก ไม่มีความแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 5 ในขณะที่ พริกชี้หนู และ มะเขือเปราะ ที่ผ่านการลวกด้วยน้ำร้อนจะมีสีซีดจางมากกว่าผักที่ไม่ผ่านการลวก

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบค่าสีของผลิตภัณฑ์ผักแช่แข็งที่ผ่านการลวกและไม่ลวกด้วยน้ำร้อนก่อนนำไปแช่แข็ง

ชนิดผักแช่แข็ง		ค่าพารามิเตอร์		
		L*	a*	b*
กระเพรา	บรรจุสดแช่แข็ง	28.31	-4.73	-1.63
	ลวกก่อนแช่แข็ง	28.39	-10.12	3.4
โหระพา	บรรจุสดแช่แข็ง	29.89	-7.06	3.47
	ลวกก่อนแช่แข็ง	30.98	-12.32	8.84
สาระแหน่	บรรจุสดแช่แข็ง	25.07	-5.45	-1.22
	ลวกก่อนแช่แข็ง	26.76	-6.91	0.24
แมงลัก	บรรจุสดแช่แข็ง	28.82	-7.99	4.04
	ลวกก่อนแช่แข็ง	29.77	-7.41	-1.14
ผักชีฝรั่ง	บรรจุสดแช่แข็ง	25.2	-0.32	-5.18
	ลวกก่อนแช่แข็ง	26.91	-5.77	-2.67
ยี่หระ	บรรจุสดแช่แข็ง	29.51	-7.84	4.73
	ลวกก่อนแช่แข็ง	26.82	-10.45	4.61
พริกขี้หนู	บรรจุสดแช่แข็ง	34.76	35.26	8.73
	ลวกก่อนแช่แข็ง	41.19	38.85	22.46
มะเขือเปราะ	บรรจุสดแช่แข็ง	57.55	-2.64	13.26
	ลวกก่อนแช่แข็ง	56.18	-4.95	14.83

นอกจากนี้ยังพบว่า การลวกวัตถุดิบก่อนการแช่แข็ง จะทำให้วัตถุดิบมีสภาพอ่อนนิ่ม ไม่แข็งแรง ยากต่อบรรจุใส่ถุง LDPE และทำให้วัตถุดิบเสียหายระหว่างการบรรจุได้ง่าย ดังนั้นจากข้อมูลดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงเลือกทำการผลิตผักแช่แข็งโดยใช้วิธีการบรรจุผักสดก่อนนำไปทำการแช่แข็ง

2. การศึกษาประสิทธิภาพในการคืนสภาพผลิตภัณฑ์ผักแช่แข็งด้วยวิธีต่างๆ

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการคืนสภาพของผักแช่แข็งด้วยวิธีการแช่น้ำธรรมดา น้ำอุ่น และเตาไมโครเวฟ พบว่า ลักษณะของผลิตภัณฑ์ผักแช่แข็งที่ได้จากการคืนสภาพทุกวิธี มีลักษณะที่อ่อนนุ่มคล้ายผักลวก ซึ่งเกิดจากการสูญเสียโครงสร้างของเซลล์เพราะถูกผลึกน้ำแข็งทำลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อทำการคืนสภาพในน้ำอุ่น 40 °C และไมโครเวฟ พบว่าผลิตภัณฑ์จะมีลักษณะเปื่อยยุ่ยคล้ายผักต้ม ดังแสดงในรูปที่ 4 และรูปที่ 5



ผลิตภัณฑ์ผักแช่แข็ง

คืนสภาพด้วยน้ำอุ่น 10 นาที

คืนสภาพด้วยไมโครเวฟ 2 นาที

รูปที่ 4 ลักษณะของผลิตภัณฑ์แช่แข็งที่ทำการคืนสภาพด้วยวิธีต่างๆ



ผลิตภัณฑ์ผักแช่แข็ง

คืนสภาพด้วยน้ำอุ่น 5 นาที

คืนสภาพด้วยไมโครเวฟ 1 นาที

รูปที่ 5 ลักษณะของผลิตภัณฑ์ผักใบแช่แข็งที่ทำการคืนสภาพด้วยวิธีต่างๆ

อย่างไรก็ตาม ผลิตภัณฑ์ผักแช่แข็งที่เป็นผักใบทั้ง 6 ชนิด สามารถคืนสภาพได้อย่างสมบูรณ์ในทุกวิธี เนื่องจากโครงสร้างของใบผักมีขนาดเล็กและบาง ในขณะที่มะเขือเปราะและพริกชี้หนู สามารถคืนสภาพได้อย่างสมบูรณ์ เมื่อใช้วิธีแช่น้ำอุณหภูมิ 40 °C เป็นเวลา 10 นาที และไม่โครเวฟ เป็นเวลา 2 นาที ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ประสิทธิภาพในการคืนสภาพผลิตภัณฑ์ผักแช่แข็งด้วยวิธีการแช่น้ำธรรมดา น้ำอุ่น และเตาไมโครเวฟ

วิธีการคืนสภาพผลิตภัณฑ์แช่แข็ง	ชนิดของผลิตภัณฑ์ผักแช่แข็ง							
	กระเพรา	โหระพา	สาระแหน่	แมงลัก	ผักชีฝรั่ง	ยี่หระ	พริกชี้หนู	มะเขือเปราะ
แช่น้ำอุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 5 นาที	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+	+
แช่น้ำอุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 10 นาที	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+	+
แช่น้ำอุณหภูมิ 40 °C เป็นเวลา 5 นาที	+++	+++	+++	+++	+++	+++	++	++
แช่น้ำอุณหภูมิ 40 °C เป็นเวลา 10 นาที	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
ไมโครเวฟ 1 นาที	+++	+++	+++	+++	+++	+++	++	++
ไมโครเวฟ 2 นาที	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++

หมายเหตุ: + ละลายเล็กน้อย, ++ ละลายปานกลาง, +++ ละลายสมบูรณ์

ดังนั้นจากการทดลองนี้จึงสรุปได้ว่าวิธีที่เหมาะสมสำหรับการคืนสภาพผักใบแช่แข็งคือการแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 นาที ส่วนมะเขือเปราะและพริกชี้หนูเลือกใช้วิธีการคืนสภาพโดยแช่น้ำอุณหภูมิ 40 °C เป็นเวลา 10 นาที หรือใช้ไมโครเวฟ เป็นเวลา 2 นาที

3. การประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัส

การทดสอบทางประสาทสัมผัสจากกลุ่มตัวแทนผู้ทดสอบชิม 30 ราย โดยใช้ผักใบแช่แข็งที่ทำการคืนสภาพด้วยการแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 นาที ส่วนมะเขือเปราะและพริกชี้หนูใช้ตัวอย่างที่ทำการคืนสภาพโดยใช้ไมโครเวฟเป็นเวลา 2 นาที โดยการประเมินจะประเมินในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น และความชอบโดยรวม และวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมดโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS 13.0 for Windows (SPSS 2004) โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบมีปัจจัยเดียว (Univariate) ซึ่งการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมดพิจารณาที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p=0.05$) เมื่อพบความแตกต่างระหว่างตัวอย่างที่นำมาศึกษา จะวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างตัวอย่างที่ละคู่อีกครั้งโดยใช้วิธี Duncan's Multiple Range Test เพื่อตรวจสอบว่าตัวอย่างใดบ้างที่มีความแตกต่างกัน ซึ่งมีผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 7

เมื่อพิจารณาผักแช่แข็งในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น และความชอบโดยรวม ผลการทดสอบส่วนใหญ่มีแนวโน้มว่า เมื่อเรียงลำดับจากคะแนนความชอบมากไปน้อย คือ เดือนที่ 0 เดือนที่ 1 และเดือนที่ 2 ตามลำดับ โดยจะเห็นได้ว่าผักแช่แข็งในเดือนที่ 0 จะไม่แตกต่างจากเดือนที่ 1 แต่ส่วนใหญ่จะแตกต่างจากเดือนที่ 2 อย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ยกเว้นผลการประเมินความชอบของยี่หว่าและมะเขือเปราะแช่แข็ง มีค่าคะแนนความชอบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ดังนั้นเมื่อต้องการผลิตผักแช่แข็งให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคนั้น จำเป็นจะต้องเลือกผลิตผักที่มีความเหมาะสมกับแปรรูปด้วยวิธีการแช่แข็งและควรคำนึงถึงระยะเวลาในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ เพื่อหลีกเลี่ยงการสูญเสียคุณภาพทั้งทางด้านกายภาพและด้านเคมี

ตารางที่ 7 ประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผักแช่แข็งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$

ระยะเวลาเก็บรักษา	ผลการประเมินทางประสาทสัมผัส/ชนิดของผักแช่แข็ง							
	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่น	การยอมรับโดยรวม	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่น	การยอมรับโดยรวม
	กระเพรา				โหระพา			
เดือนที่ 0	6.30 ^b	6.37 ^b	5.83 ^a	6.17 ^b	5.80 ^b	6.20 ^b	5.20 ^b	5.30 ^a
เดือนที่ 1	6.10 ^{ab}	6.63 ^b	5.33 ^a	5.27 ^a	5.40 ^{ab}	5.67 ^{ab}	5.20 ^b	5.23 ^a
เดือนที่ 2	5.43 ^a	5.53 ^a	5.07 ^a	5.00 ^a	4.77 ^a	5.23 ^a	4.27 ^a	4.70 ^a
	สาระแหน่				แมงลัก			
เดือนที่ 0	6.07 ^b	6.17 ^b	5.43 ^a	5.57 ^a	5.23 ^b	5.80 ^b	5.80 ^a	5.50 ^b
เดือนที่ 1	5.37 ^{ab}	5.70 ^{ab}	5.17 ^a	5.37 ^a	5.07 ^b	5.73 ^b	5.53 ^a	5.37 ^{ab}
เดือนที่ 2	5.10 ^a	5.20 ^a	5.07 ^a	5.07 ^a	4.30 ^a	4.77 ^a	5.27 ^a	4.70 ^a
	ผักชีฝรั่ง				ยี่หว่า			
เดือนที่ 0	5.57 ^b	5.77 ^b	4.83 ^a	5.27 ^a	5.70 ^a	5.80 ^a	4.50 ^a	5.07 ^a
เดือนที่ 1	4.77 ^{ab}	5.70 ^b	4.53 ^a	4.97 ^a	5.00 ^a	5.30 ^a	4.57 ^a	4.53 ^a
เดือนที่ 2	4.63 ^a	4.67 ^a	4.77 ^a	4.57 ^a	5.27 ^a	5.00 ^a	4.10 ^a	4.53 ^a
	พริกชี้ฟ้า				มะเขือเปราะ			
เดือนที่ 0	6.33 ^b	6.73 ^a	6.07 ^b	6.20 ^a	4.20 ^a	4.60 ^a	4.40 ^a	5.03 ^b
เดือนที่ 1	6.17 ^b	6.10 ^a	5.67 ^{ab}	6.27 ^a	4.53 ^a	4.83 ^a	4.63 ^a	4.73 ^b
เดือนที่ 2	5.27 ^a	6.67 ^a	5.03 ^a	5.83 ^a	4.80 ^a	4.37 ^a	4.40 ^a	4.00 ^a

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกัน (a, b) ในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

สรุปผลการทดลองและคำแนะนำ

เทคนิคการผลิตผักใบแช่แข็ง สามารถสรุปได้ดังนี้

1. เตรียมวัตถุดิบแบบสดก่อนนำไปทำการแช่แข็งแบบรวดเร็ว (Shock freeze) ที่อุณหภูมิ $-28\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 30 นาที ในขณะที่พริกชี้ฟ้า และมะเขือเปราะ จะเตรียมวัตถุดิบโดยการตัดเป็นชิ้นแล้วแช่ใน

สารละลายกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้น 0.3% ร่วมกับสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.5% เป็นเวลา 30 นาที ก่อนการแช่แข็ง

2. เก็บรักษาผลิตภัณฑ์ผักแช่แข็งที่อุณหภูมิ -18°C
3. การคืนสภาพผลิตภัณฑ์ผักใบแช่แข็งโดยใช้วิธีการแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 5 นาที พริกชี้หนู และ มะเขือเปราะ คืนสภาพผลิตภัณฑ์โดยแช่น้ำอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที หรืออบ ไมโครเวฟเป็นเวลา 2 นาที
4. การลวกวัตถุดิบก่อนการบรรจุ จะทำให้ยากต่อบรรจุใส่ถุง LDPE และทำให้วัตถุดิบเสียหายระหว่างการบรรจุ นอกจากนี้การลวกก่อนนำมาทำการแช่แข็งยังทำให้ปริมาณน้ำมันหอมระเหยลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่ใช้ผักสดในการแช่แข็งสูงถึง 27.78-77.12%

การนำไปใช้ประโยชน์

ผลการวิจัยในครั้งนี้ได้เทคโนโลยีการผลิตผักใบ พืชตระกูลมะเขือและพริกแช่แข็ง และการคืนสภาพที่เหมาะสมสามารถนำไปเผยแพร่โดยจัดทำเป็นเอกสารเผยแพร่และสาธิตการนำมาประกอบอาหารในงานนิทรรศการงานวิจัยใช้ได้จริงประจำปี 2554 ให้แก่ผู้เข้าชมงาน ซึ่งองค์ความรู้ที่ได้สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดเพื่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์แช่แข็งสำหรับผู้ประกอบการที่สนใจได้

เอกสารอ้างอิง

- ทีมงานไทยยุโรปดอทเน็ต. (2555). EU กำหนดชนิดของยาฆ่าแมลงภายใต้การคุ้มครองเข้ม 50% สินค้าผักนำเข้าจากไทย คั้นเมื่อ 1 เมษายน 2555 จาก <http://news.thaieurope.net/content/view/3578/214>.
- ฝ่ายเทคโนโลยีอาหาร สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. ผักแช่แข็ง. คั้นเมื่อ 1 เมษายน 2555, จาก http://www.tistr-foodprocess.net/vegetable_freeze.html.
- วิไล รังสาดทอง. (2546). เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: บริษัท เท็กซ์ แอนด์เจอร์นัลพับลิเคชั่น จำกัด.
- สิรินาฏ พรศิริประทาน. (2554). การส่งออกผักและผลไม้สดไทยไปสหภาพยุโรป. สถาบันระหว่างประเทศเพื่อการค้าและการพัฒนา. คั้นเมื่อ 1 เมษายน 2555, จาก <http://www.itd.or.th/articles?download=74%3Aar40>.
- ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์ โดยความร่วมมือจากกรมศุลกากร. คั้นเมื่อ 1 กรกฎาคม 2554 จาก <http://www.ops3.moc.go.th/>
- Buger, I.H. (1982) Effect of processing on nutritive value of food: meat and meat products. In: M. Rechcigl (ed.) Handbook of the Nutritive Value of Processed Food, Vol. 1. CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 323-336.

- Fellows, P. (1993) Food Processing Technology: Principles and Practice. Ellis Horwood Limited, New York, London, Toronto, Sydney, Tokyo, Singapore. 505 p.
- Fennema, O.R. (1975a) Freezing preservation, In: O.R. Fennema (ed.) Principle of food science, Part 2, Physical principles of food preservation. Marcel Dekker, New York, pp. 173-215.
- Fennema, O.R. (1975b) Effects of freeze-preservation on nutrients. In: R.S. Harris and E. Karmas (eds) Nutritional Evaluation of food Processing. AVI, Westport, Connecticut, pp. 244-288.
- Love, R. M. (1966) In Cryobiology H.T. Meryman (ed). Academic Press, New York. pp. 317-405.
- Meryman, H. T. (1963) Fed. Proc. 22: 81.