บทที่ 6

วิจารณ์ผลการทดลอง

6.1 ผลิตภัณฑ์แครอตแช่เยือกแข็ง

6.1.1 ผลการศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการลวกแครอตเพื่อยับยั้งเอนไซม์ peroxidase

ขั้นตอนนี้ศึกษาวิธีการลวก 3 วิธี คือ น้ำเดือด ไอน้ำและไมโครเวฟ ในการลวกแครอตก่อนนำไปแช่เยือกแข็ง จุดประสงค์เพื่อยับยั้งเอนไซม์อันเป็นสาเหตุทำให้เกิดกลิ่นรสไม่ดี ที่เกิดขึ้นในช่วงการเก็บรักษาผักแช่แข็ง โดยเลือกใช้เอนไซม์ peroxidase เป็นตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพการลวก เนื่องจากเอนไซม์ชนิดนี้เป็นเอนไซม์ที่ทนความร้อนได้สูงสุดในพืชทั่วไป (Mallet, 1993) และการตรวจสอบทำได้ง่าย จึงเป็นที่นิยมใช้กันในกระบวนการแปรรูปผักแช่เยือกแข็ง การทดสอบได้ใช้สาร quaicol เป็น substrate ซึ่งมีข้อดี คือเอนไซม์จะมีความทนทานต่อความร้อนมากกว่าที่ใช้ substrate อื่น และให้สีที่ต่างกันอย่างชัดเจน (Burnette, 1977 และ Lee, 1987)

จากตารางที่ 5.1 และ 5.2 แสดงผลการทดสอบเอนไซม์ peroxidase ที่เหลืออยู่หลังจากการลวก และ °Brix ในน้ำที่ใช้ลวกพบว่า การลวกทั้ง 3 วิธี เมื่อใช้เวลาในการลวกนานขึ้น เอนไซม์ที่มีอยู่ในผักจะถูกทำลายได้มากขึ้น สีน้ำตาลในชิ้นผักจะน้อยลงตามเวลาที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นนี้ เกิดจาก quaicol ทำปฏิกิริยากับ H_2O_2 ได้เป็น tetraquaiacol (Whitaker, 1972) พบว่า เวลาในการลวกที่เหมาะสมของวิธีลวกด้วย น้ำ ไอน้ำ ไมโครเวฟ คือใช้ 2, 3 และ 3.5 นาที ตามลำดับ โดยเวลาดังกล่าวนี้สามารถลดปริมาณ peroxidase ให้เหลืออยู่ในปริมาณน้อยมาก (trace) ซึ่งระดับนี้ถือว่าการลวกมีประสิทธิภาพที่เพียงพอในการยับยั้งเอนไซม์ peroxidase (National canners assosication research laboratories, 1976)

ในการทดลองนี้การลวกด้วยน้ำเดือดและไอน้ำ ซึ่งเป็นการให้ความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายใน ใช้เวลาน้อยกว่าวิธีการลวกด้วยไมโครเวฟ ซึ่งควรใช้เวลาน้อยที่สุดเพราะเป็นวิธีที่ทำให้ความร้อนเกิดขึ้นภายในตัววัตถุ แต่การทดลองนี้ต้องใช้เวลามากที่สุด เนื่องจากในการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ ปริมาณความชื้นเป็นสิ่งสำคัญที่ทำให้เกิดความร้อนขึ้นในผลิตภัณฑ์ (Fellows, 1990) บริเวณผิวของแครอตมีความชื้นอยู่น้อยไม่มากเท่ากับความชื้นที่มีอยู่ภายในผลิตภัณฑ์ ดังนั้นเมื่อลวกด้วยไมโครเวฟ ความร้อนที่เกิดขึ้นจะเกิดอย่างช้าๆ สาเหตุจากความชื้นที่มีอยู่น้อยในส่วนผิว ความร้อนเกิดไม่สม่ำเสมอ จึงต้องใช้เวลานานที่ทำให้ความร้อน

บริเวณจุดกึ่งกลางเพียงพอสำหรับการยับยั้งเอนไซม์ peroxidase

เมื่อพิจารณาปริมาณ °Brix ในน้ำลวก พบว่า การลวกด้วยน้ำเดือดมีผลต่อ Brix ในน้ำลวกอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อลวกนานขึ้น ปริมาณ °Brix ในน้ำลวกจะมากขึ้น เนื่องจากวิธีการลวกด้วยน้ำเดือด อาหารมีการสัมผัสกับน้ำโดยตรง สารอาหารและของแข็งที่ละลายน้ำได้จะถูกชะ (leach) ออกมาสู่น้ำที่ใช้ลวก ทำให้วัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้น ทั้งแครอตลูกเต๋ามีพื้นผิวมาก สารอาหารและของแข็งที่ละลายน้ำได้ จึงถูกชะออกมาได้อย่างง่ายขึ้น (Fellows, 1990)

6.1.2 ผลของวิธีลวกและปริมาณการใช้ $CaCl_2$ ต่อความแน่นเนื้อของแครอตก่อนแช่เยือกแข็ง

แปรวิธีลวก เป็น 3 วิธี คือ ใช้น้ำ ไอน้ำ และไมโครเวฟและระดับความเข้มข้นสารละลาย $CaCl_2$ 3 ระดับ คือ 0 0.5 1.0 % เวลาในการลวกแต่ละวิธีได้จากตารางที่ 5.1 และ 5.2 จากตารางที่ 5.3 แสดง yield หลังจากลวกแครอตและทำให้เย็น รวมทั้งวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าดังกล่าว พบว่า วิธีลวกมีผลต่อ yield ของแครอตหลังการลวกและทำให้เย็นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กล่าวคือวิธีลวกด้วยน้ำ ไอน้ำ และไมโครเวฟ ทำให้ % yield หลังลวกลดลง การลวกด้วยไมโครเวฟทำให้แครอตมีการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุด เนื่องจากวิธีนี้ใช้ระยะเวลาลวกนานที่สุดและการให้ความร้อนเป็นแบบ dry action ทำให้ความชื้นจากตัวอาหารระเหยออกไปได้มากที่สุด ซึ่งแตกต่างจากวิธีลวกด้วยน้ำและไอน้ำ ที่การให้ความร้อนเป็นแบบ moist heat การสูญเสียน้ำหนักด้วยวิธีลวกด้วยน้ำและไอน้ำจึงเกิดน้อยกว่า %yield ที่ลดลงเหล่านี้จะเพิ่มกลับอีกครั้งหลังจากการผ่านการทำให้เย็น โดยน้ำหนักที่เพิ่มกลับมานี้อาจเกิดจากผักมีน้ำที่ใช้ทำให้เย็นติดมากับตัวผักและความสามารถในการจับน้ำของคอลลอยด์ในผักมีเพิ่มขึ้น (Muftugil, 1986)

จากตารางที่ 5.4-5.5 แสดงค่าความแน่นเนื้อของแครอตและการวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่า วิธีการลวกและระดับความเข้มข้นแคลเซียมคลอไรด์มีผลต่อความแน่นเนื้อของแครอตอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กล่าวคือแครอตที่ผ่านการลวก ความแน่นเนื้อจะลดลงเนื่องจากระหว่างที่ลวกความร้อนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อโครงสร้างเซล ผนังเซลเกิดการแยกตัว เซลเกิดฉีกขาดหรือหดตัว ทำให้สารละลายหรือน้ำภายในแวคคิวโอล(vacuoles) ออกมาสู่ช่องระหว่างเซลหรือออกมานอกผลิตภัณฑ์ ผลทำให้ผลิตภัณฑ์นิ่มมากขึ้น และการที่เซลแยกตัวทำให้สารจำพวกเพกตินที่อยู่ใน middle lamella ที่ทำหน้าที่ยึดเซลไว้ด้วยกัน เกิดการเปลี่ยนแปลงโดย protopectin ที่เป็นสารเพกตินที่ไม่ละลายน้ำ จะสลายตัวให้เพกตินที่ละลายน้ำและเกลือเพกเตต

เพิ่มขึ้น ทำให้ผักนุ่มขึ้น (Rahman และคณะ, 1971) การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ เป็นเหตุผลสำคัญที่ทำให้ความแน่นเนื้อของผักลดลงหลังจากลวก (Meyer, 1978; Wu และคณะ, 1987)

จากตารางที่ 5.6 เมื่อพิจารณาผลของวิธีลวก พบว่า วิธีลวกด้วยไอน้ำแครอตจะมีความแน่นเนื้อสูงสุด และการลวกด้วยไมโครเวฟแครอตจะมีความแน่นเนื้อน้อยสุด เนื่องจากการลวกด้วยไอน้ำ แครอตไม่ต้องสัมผัสกับน้ำโดยตรง การให้ความร้อนใช้ไอน้ำเดือดเป็นตัวกลาง การสูญเสียของแข็งที่ละลายน้ำได้จากผลิตภัณฑ์ลงสู่น้ำลวกจึงเกิดได้น้อยมาก ความแน่นเนื้อของแครอตจึงคงไว้ได้มากที่สุด ขณะที่ลวกด้วยน้ำเดือดความร้อนที่ให้เป็นแบบ moist heat ซึ่งมีความชื้นสูงสุด การสูญเสียของแข็งที่ละลายน้ำได้จึงเกิดได้มาก (Muftugil, 1986) ความแน่นเนื้อของแครอตจึงน้อยกว่าลวกด้วยไอน้ำ ส่วนวิธีลวกด้วยไมโครเวฟ ความร้อนที่ให้เป็นแบบ dry heat น้ำในแครอตระหว่างการลวกด้วยไมโครเวฟสูญเสียไปมาก ความเต่งของเซลได้ลดลงไปมาก ส่งผลให้ความแน่นเนื้อมีน้อยสุด

จากตารางที่ 5.7 พบว่า ปริมาณ $CaCl_2$ มีผลต่อค่าความแน่นเนื้อของแครอตอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$) โดยแครอตที่แช่ใน $CaCl_2$ มีค่าความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น เนื่องจากแคลเซียมอิออนจากเกลือแคลเซียมที่เติมเข้าไป จะทำปฏิกิริยากับกรดเพกติกหรือกรดเพกตินิก (pectinic acid) ได้แคลเซียมเพกเตทหรือแคลเซียมเพกติเนทที่ไม่ละลายน้ำ ทำให้ผักมีโครงสร้างที่แข็งแรงและกรอบมากขึ้น (Meyer,1978)

จากตารางที่ 5.8-5.10 แสดงค่าความสว่าง(L) ค่าสีแดง(a*) และสีเหลือง(b*) ของแครอต ที่ลวกด้วยวิธีการต่างๆ และแช่ในสารละลาย $CaCl_2$ ระดับต่างกัน รวมทั้งการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าดังกล่าว พบว่า วิธีลวกมีผลต่อค่าความสว่าง ค่าสีแดงและเหลืองอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยแครอตที่ผ่านการลวก ความสว่าง ความเป็นสีแดงและเหลืองจะลดน้อยลง เนื่องจากแคโรทีนอยด์ที่เป็นรงควัตถุที่ทำให้เกิดสีในแครอต โมเลกุลประกอบด้วยหมู่ไอโซพรีน (isoprene unit) ต่อกันเป็นสายยาว มีหลายพันธะคู่ (conjugated double bond) และมีสมบัติไม่อิ่มตัวอย่างสูง (highly unsaturated) ฉะนั้นโครงสร้างจึงไม่คงตัว สามารถเปลี่ยนแปลงได้ง่ายและไวต่อการถูกออกซิไดซ์ โดยเฉพาะเมื่อสัมผัสกับอากาศ แสง ความร้อน หรือ โลหะ จำนวนพันธะคู่ที่มีอยู่ในโมเลกุลมีผลต่อความเข้มสี เมื่อพันธะคู่มากขึ้นสีจะออกไปทางสีแดง หากมีพันธะคู่น้อยกว่า 7 แห่ง สีเหลืองจะปรากฏขึ้น ในขั้นตอนการลวก ความร้อนที่ให้จะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชั่นให้เร็วขึ้น ทำให้แคโรทีนอยด์เปลี่ยนแปลงโครงสร้างโมเลกุล แคโรทีนอยด์ที่อยู่ในรูป all-tran เกิด isomerize เปลี่ยนไปเป็น cis และเมื่อความร้อนสูงขึ้นหรือเวลานานขึ้น โครงสร้างโมเลกุลอาจเกิดแตกหักได้โมเลกุลสั้นลงได้ คุณสมบัติจึงเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม สีของแครอตจึงเปลี่ยนแปลงไป (De Man, 1990) Onyewu,Daun และ Ho (1982) พบว่าเมื่อให้

ความร้อนสูงแก่ β-carotene ที่ 210 °C นาน 4 ชั่วโมง จะได้ผลิตภัณฑ์ carotenoid ที่มีโครงสร้างสั้นกว่าเดิม ซึ่งเกิดจากการสูญเสีย toluene และ dimethylcyclodecapentaene จากสายโพลิเมอร์ของแคโรทีน เมื่อเปรียบเทียบในระหว่างวิธีการลวกด้วยกัน ผลแสดงดังตารางที่ 5.11 พบว่า วิธีลวกด้วยน้ำและไอน้ำให้ค่าความสว่าง ค่าสีแดงและเหลือง ที่ไม่แตกต่างกัน ส่วนวิธีการลวกด้วยไมโครเวฟให้ค่าสีความสว่าง ค่าสีแดงและเหลือง แตกต่างจากวิธีอื่น โดยมีค่าสีแดงและเหลืองต่ำกว่าแครอตที่ลวกด้วยน้ำหรือไอน้ำ แครอตที่ลวกด้วยไมโครเวฟจะมีสีแดงและเหลืองน้อยหรือจางกว่าแครอตที่ลวกด้วยน้ำเดือดและไอน้ำ ซึ่งอาจมีผลทำให้ความสว่างลดลงตามด้วย เพราะวิธีการลวกด้วยไมโครเวฟใช้ระยะเวลาลวกนานมากที่สุด ความร้อนทำให้บริเวณผิวเกิดความสุกมากเกินกว่าส่วนในแครอต สีผิวจึงเกิดการเปลี่ยนแปลง

จากตารางที่ 5.11-5.12 แสดงค่าการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสและการวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่าวิธีลวก ระดับความเข้มข้น $CaCl_2$ และอิทธิพลร่วมระหว่างวิธีลวกและระดับความเข้มข้น $CaCl_2$ มีผลต่อคะแนนด้านลักษณะปรากฏ ลักษณะเนื้อสัมผัส และการยอมรับรวม ในขณะที่วิธีการลวกมีผลต่อคะแนนด้านกลิ่นรส อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กล่าวคือวิธีลวกด้วยน้ำ ไอน้ำและไมโครเวฟ ทำให้แครอตมีคะแนนด้านลักษณะปรากฏ ลักษณะเนื้อสัมผัส ที่แตกต่างกันออกไป และเมื่อใช้ความเข้มข้น $CaCl_2$ เพิ่มขึ้น มีผลให้คะแนนด้านลักษณะปรากฏ ลักษณะเนื้อสัมผัสเพิ่มขึ้น เนื่องจากในแต่ละวิธีการลวกมีผลต่อการสูญเสียของแข็งที่ละลายน้ำได้และความชื้นในอาหารที่แตกต่างกัน แครอตที่ลวกด้วยไอน้ำ สารอาหารถูกชะออกน้อยกว่าเมื่อลวกด้วยน้ำเดือด อาหารไม่ต้องสัมผัสกับน้ำโดยตรง ความแน่นเนื้อของแครอตที่ลวกด้วยไอน้ำจึงมีมากที่สุด ส่งผลให้ลักษณะปรากฏของชิ้นแครอตเต่งตึงไม่เสียรูปทรง สำหรับแครอตที่ลวกด้วยไมโครเวฟ ได้คะแนนเฉลี่ยด้านลักษณะปรากฏต่ำสุด เนื่องจากขณะลวกด้วยไมโครเวฟ แครอตเกิดสูญเสียน้ำไปมาก ผิวเกิดเหี่ยวย่น ไม่เต่งตึง และเมื่อเพิ่มความเข้มข้น $CaCl_2$ ที่แช่ในทุกวิธีลวก พบว่าคะแนนด้านลักษณะปรากฏและเนื้อสัมผัสเพิ่มขึ้น จากผลของ $CaCl_2$ ที่ทำให้ผักมีโครงสร้างที่แข็งแรง ความแน่นเนื้อจึงเพิ่มขึ้นด้วย

เมื่อพิจารณาคะแนนเฉลี่ยด้านสี ในตารางที่ 5.13 พบว่าวิธีลวกด้วยไมโครเวฟให้คะแนนด้านสีต่ำสุด เนื่องจากสีของแครอตที่จางลง เกิดจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแคโรทีนอยด์บริเวณผิวของแครอต เป็นผลจากความร้อนของคลื่นไมโครเวฟที่ให้เป็นระยะเวลานาน ซึ่งสอดคล้องกับค่าสีความสว่าง ค่าสีแดง ค่าสีเหลือง ที่วัดได้มีค่าต่ำกว่าแครอตที่ลวกวิธีอื่น

พิจารณาคะแนนเฉลี่ยด้านกลิ่นรส ในตารางที่ 5.14 พบว่าเมื่อความเข้มข้นของ $CaCl_2$ เพิ่มถึงระดับ 1 % คะแนนด้านกลิ่นรสจะลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับแครอตที่ไม่ได้แช่

เพราะ $CaCl_2$ มีกลิ่นรสเฉพาะตัว ที่สามารถไปกลบกลิ่นรสที่มีตามธรรมชาติของแครอตให้น้อยลงได้

จากผลของวิธีลวกและความเข้มข้นของ $CaCl_2$ ระดับต่างๆ ที่มีต่อแครอต เมื่อพิจารณาคะแนนการยอมรับรวม พบว่า แครอตที่ลวกด้วยวิธีลวกไอน้ำ และแช่สารละลาย $CaCl_2$ ความเข้มข้น 0.5% จึงมีคะแนนการยอมรับรวมมากที่สุด

ดังนั้นการเตรียมแครอตเพื่อจะนำไปแช่เยือกแข็ง จึงเลือกใช้วิธีลวกด้วยไอน้ำ 3 นาทีและแช่ในสารละลาย $CaCl_2$ 0.5% เนื่องจากมีคะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้านต่างๆสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับภาวะอื่นๆ ที่ใช้ในการทดลอง เพื่อศึกษาต่อไป นอกจากนี้ในการศึกษาเบื้องต้น ได้พบว่า หากใช้ความเข้มข้นสารละลาย $CaCl_2$ สูงกว่า 1% แช่นาน 30 นาที จะได้แครอตมีลักษณะไม่ดี คือเหนียว ไม่มีความกรอบ และรสชาติของแครอตตามธรรมชาติได้ถูกกลบหมด

6.1.3 <u>ผลการหาเวลาแช่เยือกแข็งโดยวิธีแช่เยือกแข็งแบบพ่นลม (Air Blast) และไครโอจีนิก (Cryogenic) และผลของอุณหภูมิแช่เยือกแข็งแบบไครโอจีนิกต่อคุณภาพแครอต</u>

ก. <u>วิธีแช่เยือกแข็งแบบลมเย็น</u>

การศึกษาเวลาที่ใช้แช่เยือกแข็งแครอตรูปลูกเต๋า ที่ผ่านการลวกด้วยไอน้ำนาน 4 นาที และแช่ในสารละลาย $CaCl_2$ 0.5% นาน 30 นาที บรรจุลงในถุง ปิดถุงแบบ non-vacuum และแบบ vacuum ก่อนนำเข้าแช่เยือกแข็ง จากตารางที่ 5.18 พบว่า เวลาที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งแครอตแบบ vacuum ใช้เวลา 43 นาที น้อยกว่าแครอตที่บรรจุแบบ non-vacuum ที่ใช้เวลา 50 นาที ถึงแม้ว่าถุงพลาสติกที่ใช้บรรจุแบบ vacuum มีความหนากว่าก็ตาม เนื่องจากแครอตที่บรรจุแบบ vacuum วิธีการบรรจุได้มีขั้นตอนไล่อากาศภายในถุงออก จนมีสภาพเป็นสุญญากาศ อากาศที่เป็นฉนวนของการถ่ายเทความร้อนได้ถูกกำจัดออก(Fellow, 1990) การถ่ายเทความร้อนจึงเกิดได้ดีกว่าวิธีการบรรจุแบบ non-vacuum ที่ภายในยังมีอากาศซึ่งเป็นฉนวนอยู่มาก ดังนั้นเวลาที่ใช้แช่เยือกแข็งแครอตที่บรรจุแบบ vacuum จึงน้อยกว่า

ข. <u>วิธีแช่เยือกแข็งแบบไครโอจีนิก</u>

สำหรับวิธีแช่เยือกแข็งแครอตด้วยไครโอจีนิก ใช้ไอไนโตรเจนเหลวให้สัมผัสแครอตโดยตรง แปรอุณหภูมิที่ใช้แช่เยือกแข็งเป็น -70, -90 ,และ -110°C เวลาที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งคือ 130, 85 และ 50 วินาที โดยเมื่อใช้อุณหภูมิในการแช่เยือกแข็งยิ่งต่ำลง เวลาที่ใช้แช่เยือกแข็งจะน้อยลง เนื่องจากเมื่อลดอุณหภูมิในการแช่เยือกแข็งลง ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างอาหารและ freezing medium มีเพิ่มขึ้น การถ่ายเทความร้อนจึงเกิดได้เร็วขึ้น (Fellow, 1990) และเมื่อศึกษาหาปริมาณการใช้ไนโตรเจนเหลวและปริมาณความร้อนที่

ถูกกำจัดออกในการแช่เยือกแข็งแครอต วิธี calorimetry พบว่าปริมาณไนโตรเจนเหลวที่ใช้คือ 1.87 lb LIN/lbผลิตภัณฑ์ ปริมาณความร้อนที่กำจัดออก 160.44 Btu/lb ซึ่งสามารถนำค่าไปคำนวณเพื่อประมาณการใช้ไนโตรเจนเหลวในอุณหภูมิแช่เยือกแข็งต่างๆ ได้ โดยพบว่า อุณหภูมิแช่เยือกแข็งที่ -70 °C เป็นอุณหภูมิที่ใช้ไนโตรเจนเหลวประหยัดที่สุดเมื่อเปรียบเทียบทั้ง 3 อุณหภูมิ เนื่องจากขณะแช่เยือกแข็งอุณหภูมิที่ -90, -110 °C ต้องการใช้ปริมาณไนโตรเจนเหลวมากกว่า เพื่อรักษาระดับอุณหภูมิของ chamber ที่ตั้งไว้ให้คงที่ ดังนั้นไนโตรเจนเหลวจึงถูก feed ออกจากถังมาใช้จำนวนครั้งมากกว่า

เมื่อเปรียบเทียบค่า %freezing loss ของแครอตที่ใช้อุณหภูมิแช่เยือกแข็งทั้ง 3 ระดับ ผลแสดงในตารางที่ 5.18 พบว่าอุณหภูมิแช่เยือกแข็งไม่มีผลต่อ %freezing loss อย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) แต่ค่า freezing loss สูงถึง 2.8-3.0% ซึ่งปกติควรมีค่า %freezing loss ที่ต่ำกว่า 1 % (ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก, 2532) ที่เป็นเช่นนี้เพราะแครอตลูกเต๋ามีชิ้นเล็ก ทำให้มีพื้นผิวรอยตัดแต่ง (cut surface) มาก โอกาสที่น้ำบริเวณผิวแครอตจะสูญเสียจึงเป็นไปได้สูง เพราะ ขณะแช่เยือกแข็ง ใน chamber มีพัดลมเป่าอยู่ตลอดเวลา ความชื้นจึงมีโอกาสถูกพัดพาออกมาได้ง่าย ส่วนค่า %thawing loss พบว่าอุณหภูมิแช่เยือกแข็งมีผลต่อค่า %thawing loss อย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) โดยพบว่าอุณหภูมิแช่เยือกแข็งที่ -90 และ -110°C แครอตมีค่า % thawing loss น้อยกว่าที่ -70 °C อาจเป็นเพราะเวลาในการแช่เยือกแข็งมีผลต่อการเติบโตและตำแหน่งของผลึกน้ำแข็งที่แตกต่างกัน เมื่ออุณหภูมิแช่เยือกแข็งต่ำลง เวลาในการแช่เยือกแข็งสั้น อัตราการแช่เยือกแข็งจะยิ่งเร็วขึ้น ผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นในสภาวะนี้มีขนาดเล็ก เกิดทั้งในและระหว่างเซล หากอัตราการแช่เยือกแข็งช้าลง โอกาสที่ผลึกจะเกิดระหว่างเซลมีมากขึ้น ผลึกเหล่านี้มีรูปร่างไม่แน่นอน ผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นนี้จะมีความดันไอต่ำกว่าภายในเซล น้ำจึงได้เคลื่อนย้ายออกนอกเซลมายังระหว่างเซล ทำให้ผลึกน้ำแข็งโตขึ้น ทิ่มแทงเซลให้เสียหายได้ เมื่อทำการละลายน้ำแข็ง เซลจะไม่สามารถกลับมาอยู่ในสภาพเดิมและสูญเสียความเต่งไป น้ำภายในเซลจึงได้ออกมาอยู่ในรูป thawing loss (Powrie,1984) ในแครอตที่แช่เยือกแข็งที่ -70°C จึงมีค่า thawing loss มากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับค่าความแน่นเนื้อในตารางที่ 5.18 พบว่า ความแน่นเนื้อของแครอตที่ผ่านการแช่เยือกแข็งจะมีค่าความแน่นเนื้อลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับแครอตก่อนการแช่เยือกแข็ง ซึ่งผ่านการลวกและแช่ $CaCl_2$ และพบว่าแครอตแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -70 °C มีค่าความแน่นเนื้อน้อยที่สุดเพราะโครงสร้างเซลถูกทำลายไปมาก จากการทิ่มแทงของผลึกน้ำแข็ง หลังละลายน้ำแข็งเซลจึงสูญเสียความเต่งไปมาก

เมื่อทำการประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส ผลแสดงดังตารางที่ 5.19 พบว่าอุณหภูมิแช่เยือกแข็งไม่มีผลต่อคะแนนเฉลี่ยด้านลักษณะปรากฏ แต่มีผลต่อคะแนนด้าน

ลักษณะเนื้อสัมผัส และการยอมรับรวม อย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$) โดยที่อุณหภูมิแช่เยือกแข็งที่ -90และ -110°C ให้คะแนนด้านลักษณะเนื้อสัมผัสและการยอมรับรวมมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับ thawing loss ที่มีค่าต่ำและค่าความแน่นเนื้อมีค่าสูง แครอตหลังละลายน้ำแข็ง จึงยังคงความกรอบ ความแน่นเนื้อไว้ได้มากที่สุด เนื่องจากโครงสร้างเซลถูกทำลาย ในระหว่างแช่เยือกแข็งน้อย

จากการศึกษาอุณหภูมิที่ใช้แช่เยือกแข็งแครอตด้วยไอไนโตรเจนเหลว พบว่าที่ -110°C มีแครอตบางชิ้นเกิดรอยร้าวหรือแตกหัก (cracking) เนื่องจากผลของอัตราการแช่เยือกแข็งที่รวดเร็วมาก ทำให้เกิดความเครียดขึ้นภายในทำให้ชิ้นอาหารเกิดแตกหัก ความเสียหายนี้สามารถอธิบายได้จาก การขยายตัวของปริมาตรจากน้ำในผลิตภัณฑ์กลายเป็นน้ำแข็ง ทำให้เกิดความเครียดและจำนวนที่ว่าง (void) ใน microstructure เป็นปัจจัยเริ่มต้น ซึ่งมีผลต่อระดับความเสียหายในเซล Porosity ของอาหารจะหมายถึงที่ว่างในอาหาร หากอาหารมี Porosity มาก พื้นที่ว่างในอาหารก็จะมาก ความเครียดภายในที่เกิดขึ้น มีโอกาสที่จะกระจายไปได้มาก แทนที่จะเกิดการสะสม การแตกหักจึงเกิดได้น้อย โดยที่ porosity เป็นสัดส่วนโดยปฏิภาคต่อความหนาแน่น(density) หากอาหารมีความหนาแน่นมาก โอกาสที่ความเครียดเกิดสะสมเป็นไปได้มาก อาหารจึงแตกหักได้ง่าย (Kim และ Hang, 1994) เนื่องจากแครอตมีลักษณะทางกายภาพ มี Porosity น้อย เมื่อนำมาแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -110°C ที่มีอัตราการแช่เยือกแข็งรวดเร็วมาก ทำให้เกิดความเครียดภายในขึ้นได้และเกิดการสะสม จึงทำให้แครอตเกิดการหักได้ในระหว่างแช่เยือกแข็ง ดังนั้นอุณหภูมิแช่เยือกแข็งที่เหมาะสม ซึ่งเลือกใช้ในขั้นตอนต่อไปคือ -90 °C เพราะให้คุณภาพทางประสาทสัมผัสดีกว่าแครอตแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -70 °C และการแช่เยือกแข็งประหยัดไนโตรเจนเหลวกว่าอุณหภูมิแช่เยือกแข็งที่ -110°C และไม่พบการแตกหักของแครอตขณะแช่เยือกแข็ง

6.1.4 <u>ผลของวิธีแช่เยือกแข็ง วิธีบรรจุ และระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงผลิตภัณฑ์แครอตแช่เยือกแข็ง</u>

นำแครอตลูกเต๋า มาแช่เยือกแข็ง 2 วิธี คือ Air Blast Freezing และ Cryogenic Freezing ด้วยไอไนโตรเจนเหลว ใช้วิธีบรรจุ 2 วิธีคือ non vacuum และ vacuum ศึกษาผลของระยะเวลาในการเก็บแช่เยือกแข็ง โดยวิเคราะห์ % thawing loss, ความแน่นเนื้อ, ปริมาณ β-carotene, ศึกษาโครงสร้างแครอตด้วย SEM,การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส และปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา ในผลิตภัณฑ์ สุ่มตัวอย่างเมื่อเริ่มต้นเก็บ และ ทุกๆ 6 สัปดาห์ เป็นเวลา 24 สัปดาห์

ผลการทดลอง พบว่า วิธีการแช่เยือกแข็ง อายุการเก็บรักษา และอิทธิพลร่วมระหว่าง วิธีการแช่เยือกแข็งและอายุการเก็บรักษา มีผลต่อ % thawing loss อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยแครอตที่แช่เยือกแข็งแบบวิธี Air Blast มี % thawing loss สูงกว่าแครอตที่แช่เยือกแข็งด้วยไอไนโตรเจนเหลว เนื่องจากวิธีการแช่เยือกแข็งแบบ Air Blast เป็นวิธีที่มีอัตราการแช่เยือกแข็งช้ากว่าแบบไครโอจีนิก จึงก่อให้เกิดผลึกน้ำแข็งที่มีขนาดโต รูปร่างไม่แน่นอน และ เกิดภายนอกเซล ทำให้ไปทิ่มแทงเซลให้เสียหายได้ ดังนั้น เมื่อละลายน้ำแข็ง จึงมีแนวโน้มในการเกิดการสูญเสียน้ำในเนื้อเยื่อจากผลิตภัณฑ์สูงกว่าวิธีแช่เยือกแข็งด้วยไอไนโตรเจนเหลว (Fellows, 1990) และเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น % thawing loss ในแต่ละวิธีแช่เยือกแข็งก็มีค่าสูงขึ้นด้วย เนื่องจากผลึกน้ำแข็งในผลิตภัณฑ์ ไม่มีความคงตัว แม้ว่าจะเก็บที่อุณหภูมิคงที่ ที่ -18 °C ก็ตาม ผลึกน้ำแข็งจะมีการตกผลึกใหม่โดยจำนวนผลึกลดลง แต่ขนาดของผลึกจะเพิ่มขึ้น การตกผลึกใหม่นี้ ทำให้เนื้อเยื่อบางส่วนค่อยๆ ถูกทำลาย (Mallett,1993) และพบว่า ในแครอตที่บรรจุแบบ vacuum ในวิธีแช่เยือกแข็งแบบ Air blast จะมีค่า % thawing loss สูงกว่าแครอตที่บรรจุแบบ non-vacuum เป็นผลจากวิธีบรรจุแบบ vacuum ได้มีการดูดอากาศออกจากถุง มีผลทำให้น้ำในแครอตซึมออกมาอยู่ในระหว่างชิ้นแครอต หลังการละลายน้ำแข็ง % thawing loss จึงสูงสุด

เมื่อพิจารณาค่าความแน่นเนื้อ พบว่า วิธีแช่เยือกแข็ง อายุการเก็บรักษา อิทธิพลร่วมระหว่างวิธีแช่เยือกแข็งและวิธีบรรจุ มีผลต่อความแน่นเนื้ออย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยวิธีการแช่เยือกแข็งแบบ Air blast ทำให้แครอตมีค่าความแน่นเนื้อต่ำกว่าแครอตที่แช่เยือกแข็งแบบไครโอจีนิก เนื่องจากผลการเกิดและการเจริญของผลึกน้ำแข็งที่แตกต่างกันในขณะแช่เยือกแข็ง ผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่และเกิดภายนอกเซลที่เกิดขึ้นในวิธี Air Blast จะไปทำลายเซลได้มากกว่าแช่เยือกแข็งด้วยไอไนโตรเจนเหลว และเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น ความแน่นเนื้อจะลดลง เป็นผลจากการตกผลึกใหม่ขณะการเก็บรักษา ซึ่งสอดคล้องกับผลค่า % thawing loss

สำหรับ ปริมาณ β-carotene ในแครอตที่ลวกด้วยไอน้ำมีปริมาณไม่แตกต่างกับแครอตสด และอิทธิพลของการแช่เยือกแข็ง วิธีบรรจุและอายุการเก็บรักษานาน 24 สัปดาห์ ไม่มีผลต่อปริมาณ β-carotene เนื่องจาก β-carotene มีความทนทานต่อภาวะการแปรรูป (Mallet, 1993) และในแครอตมีปริมาณ tocopherol สูง ส่งผลให้ β-carotene มีความทนทานต่อภาวะทางเคมี (Kalra, Kulkarni และ Berry, 1987)

จากผลการศึกษาโครงสร้างเซลแครอตด้วย SEM กำลังขยาย 150 เท่า ในแครอตก่อนแช่เยือกแข็ง(ผ่านการลวกและแช่ $CaCl_2$แล้ว) ,แครอตที่แช่เยือกแข็งด้วย Air Blast และวิธีไครโอจีนิกโดยใช้ไอไนโตรเจนเหลว และเมื่อเก็บรักษานาน 24 สัปดาห์ จะเห็นว่าแครอตที่แช่

เยือกแข็งด้วย Air Blast โครงสร้างเซลเกิดความเสียหาย เซลเกิดเหี่ยวย่นเสียรูปร่างอย่างชัดเจน แตกต่างกับแครอตที่แช่ด้วยไอไนโตรเจนเหลว ซึ่งโครงสร้างเซลยังอยู่ในสภาพดี เหี่ยวย่นเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับแครอตก่อนแช่เยือกแข็ง โครงสร้างเซลที่เกิดการเสียหายนี้เป็นผลมาจากการเจริญของผลึกน้ำแข็งในระหว่างแช่เยือกแข็ง การแช่เยือกแข็งด้วย Air Blast ผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นมีขนาดใหญ่ มักเกิดภายนอกเซล ทำให้ทิ่มแทงเซลให้เสียหายได้มากกว่าการแช่เยือกแข็งด้วยไอไนโตรเจนเหลว ซึ่งสอดคล้องกับผลที่กล่าวมาแล้ว ผลึกที่เกิดขึ้นในวิธีนี้ มีขนาดเล็ก กระจายทั้งภายนอกและในเซล เซลจึงเกิดความเสียหายน้อยกว่า และเมื่อศึกษาที่อายุการเก็บรักษา 24 สัปดาห์พบว่าแครอตที่แช่เยือกแข็งด้วย Air Blast ในเวลาการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน ความเสียหายที่เกิดกับเซลเห็นผลไม่แตกต่างกันมาก เพราะโครงสร้างเซลได้เกิดความเสียหายไปมากแล้วระหว่างการแช่เยือกแข็ง แต่อายุการเก็บรักษาได้มีผลต่อเซลแครอตอย่างชัดเจนในแครอตที่แช่เยือกแข็งด้วยไอไนโตรเจนเหลว โดยในแครอตที่เก็บรักษาได้ 24 สัปดาห์ เซลเกิดความเสียหายมากขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับเมื่อเริ่มต้นเก็บรักษา ซึ่งเป็นผลมาจากการตกผลึกใหม่ตลอดเวลาการเก็บรักษานาน 24 สัปดาห์ ผลึกที่เกิดขึ้นใหม่ ได้ไปทิ่มแทงเซลให้เสียหาย

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ลักษณะปรากฏ พบว่า วิธีแช่เยือกแข็งไม่มีผลต่อลักษณะปรากฏของแครอต ($p>0.05$) แต่วิธีบรรจุ อายุการเก็บรักษาและอิทธิพลร่วมระหว่างวิธีบรรจุและอายุการเก็บรักษา มีผลอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) โดยเมื่อเริ่มเก็บรักษา วิธีบรรจุมีผลต่อด้านลักษณะปรากฏไม่แตกต่างกันแต่จะมีผลเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้นคือสัปดาห์ที่ 18 หรือ 24 แครอตที่บรรจุแบบ vacuum จะมีลักษณะปรากฏดีกว่าบรรจุแบบ non-vacuum อาจเนื่องจากในระหว่างการเก็บรักษาไอน้ำในตัวผลิตภัณฑ์ซึ่งมีแน้วโน้มที่จะเคลื่อนย้ายจากย่านที่มีความดันไอสูงมายังย่านที่มีความดันไอต่ำ คือน้ำจะเคลื่อนย้ายจากภายในผลิตภัณฑ์มายังบริเวณรอบๆตัวผลิตภัณฑ์กับภาชนะบรรจุ (Mallet, 1993) จากวิธีบรรจุแบบ vacuum มีผลทำให้ไม่มีช่องว่างอยู่ระหว่างผลิตภัณฑ์กับภาชนะบรรจุ และความหนาของถุง vacuum ที่มีมากกว่าถุง PE อาจช่วยให้ไอน้ำมีการซึมผ่านเข้าและออกได้น้อย จึงช่วยลดการสูญเสียความชื้นในแครอตได้ และการที่อายุการเก็บรักษานานขึ้น แครอตมีลักษณะปรากฏด้อยลง อาจเนื่องจากมีการสูญเสียน้ำหนักหลังการละลายเพิ่มขึ้นเป็นผลจากการตกผลึกใหม่ เซลเกิดความเสียหาย ทำให้รูปทรงไม่เต่งตึงเหมือนกับแครอตที่เริ่มต้นเก็บ

สี พบว่าอายุการเก็บรักษามีผลต่อสีของแครอตอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) โดยเมื่ออายุการเก็บนาน 18 สัปดาห์ขึ้นไป คะแนนเฉลี่ยด้านสีของแครอตที่บรรจุแบบ non-vacuum จะลดลงเนื่องจากการเก็บรักษาสภาพแช่เยือกแข็งที่นาน จะทำให้ผิวแครอตสูญเสียน้ำ มี

ความแห้งเกิดขึ้นบริเวณผิว หลังการละลายจะพบลักษณะสีขาวจางที่ผิวแครอต ซึ่งผู้บริโภคไม่พึงพอใจ

กลิ่นรส พบว่าอายุการเก็บรักษา มีผลต่อคะแนนกลิ่นรสของแครอต อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อเก็บรักษานานขึ้นคะแนนกลิ่นรสลดลง ซึ่งอาจเกิดจากปฏิกิริยา oxidation ของไขมันมีผลให้กลิ่นรสเปลี่ยนไป (Wu และคณะ, 1987)

ลักษณะเนื้อสัมผัส พบว่าวิธีแช่เยือกแข็งและอายุการเก็บรักษามีผลต่อคะแนนเนื้อสัมผัสอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยแครอตที่แช่เยือกแข็งแบบไครโอจีนิก มีคะแนนเนื้อสัมผัสดีกว่า Air Blast ซึ่งสอดคล้องกับผลค่าความแน่นเนื้อ เนื่องจากแครอตที่แช่แข็งด้วยวิธีไครโอจีนิกผลึกน้ำแข็งมีขนาดเล็กกว่าและกระจายทั่วไปทั้งภายนอกและในเซล มีผลต่อการทำลายเนื้อเยื่อผลิตภัณฑ์ให้เกิดฉีกขาด เสียหายได้น้อยกว่าวิธีแช่เยือกแข็งแบบ Air Blast ดังนั้นลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดี ยังคงอยู่ไว้ได้มากกว่า และเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้นเนื้อสัมผัสของแครอตมีคะแนนลดลงเป็นผลจากการตกผลึกใหม่ขณะเก็บรักษา ซึ่งทำลายเซลให้เสียหาย

การยอมรับรวม พบว่า วิธีการแช่เยือกแข็ง อายุการเก็บรักษา และอิทธิพลร่วมระหว่างวิธีการแช่เยือกแข็งและอายุการเก็บรักษา มีต่อคะแนนการยอมรับรวม อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) คือเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น คะแนนการยอมรับรวมมีค่าลดลง เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีลักษณะต่างๆ ด้อยลง

ด้านจุลินทรีย์ พบว่าแครอตที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และราจะลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับแครอตสด และวิธีการแช่เยือกแข็ง 2 วิธี จะให้ผลต่อค่าจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา ที่ตรวจสอบได้ มีความแตกต่าง โดยจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา ในแครอตแช่เยือกแข็งที่ผ่านการแช่เยือกแข็งด้วยวิธี Air Blast มีจำนวนน้อยกว่าในวิธีไครโอจีนิก เนื่องจากวิธีแช่เยือกแข็งแบบ Air Blast เป็นวิธีที่มีอัตราเร็วการแช่เยือกแข็งช้า ผลึกน้ำแข็งจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ มีขนาดโต จึงไปทำลายเซลจุลินทรีย์ได้ดีกว่า ส่วนวิธีการแช่เยือกแข็งแบบไครโอนิก เป็นวิธีที่แช่เยือกแข็งที่มีอัตราเร็วของการแช่เยือกแข็งเร็วมาก ผลึกน้ำแข็งจะเกิดได้อย่างรวดเร็ว มีขนาดเล็ก ลักษณะกลมมน จึงไปทำลายจุลินทรีย์ได้ไม่ดีเท่าวิธีแช่เยือกแข็งแบบ Air Blast (Fennema, 1975) และอายุการเก็บรักษา มีผลต่อจำนวนจุลินทรีย์ โดยจำนวนจุลินทรีย์จะลดลงเรื่อยๆ เมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น เนื่องจากการแช่เยือกแข็งทำให้น้ำภายในเซลเปลี่ยนเป็นผลึกน้ำแข็ง สารต่างๆ มีความเข้มข้นสูงขึ้น ค่า a_w ลดต่ำลงจนจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญอยู่ได้ จุลินทรีย์จึงค่อยๆ ตายไป และยังคงมีจุลินทรีย์บางส่วนเหลืออยู่แต่ถูกระงับการเจริญเติบโต ด้วยค่า a_w และอุณหภูมิที่เย็นจัดที่ -18 °C (Aurel, Dagbjartsson และ Salomonsdotti ,1976) โดยจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดที่พบในผลิตภัณฑ์มีจำนวนน้อยกว่าที่กำหนดไว้

ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสับปะรดแช่เยือกแข็ง ซึ่งกำหนดไว้ไม่ให้มีเกิน 3×10^{6} โคโลนีต่อกรัมอาหาร (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2525)

6.2 ผลิตภัณฑ์บรอคโคลีแช่เยือกแข็ง

6.2.1 ผลการหาวิธีลวกที่เหมาะสมในการลวกบรอคโคลีเพื่อยับยั้งเอนไซม์

ศึกษาวิธีลวก 2 วิธีคือ น้ำเดือดและไอน้ำ ในวิธีลวกด้วยน้ำเดือด แยกส่วนดอกและก้านลวกโดยใช้เวลาลวกไม่เท่ากัน เนื่องจากได้มีการทดลองเบื้องต้นมาแล้ว พบว่าส่วนดอกและก้านมีปริมาณเอนไซม์ไม่เท่ากัน ในส่วนดอกจะมีปริมาณน้อยกว่าก้าน จึงต้องหาเวลาในการลวกที่เหมาะสมของแต่ละส่วน เพราะหากลวกดอกและก้านพร้อมกันใช้เวลาเท่ากัน ดอกจะนิ่มเละเกินไป จากตารางที่ 5.36 พบว่า วิธีการลวกด้วยน้ำ ส่วนดอกและก้านใช้เวลา 2 และ 3 นาทีตามลำดับ ส่วนวิธีลวกด้วยไอน้ำใช้เวลา 4 นาที จึงสามารถยับยั้งเอนไซม์ peroxidase ให้เหลืออยู่ในปริมาณน้อยมาก (**trace**) จากตารางที่ 5.36 แสดงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในน้ำที่ลวกและทำให้เกิดไอ พบว่าเวลาลวกที่เพิ่มขึ้น ไม่มีผลต่อค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ในบรอคโคลี ทั้ง 2 วิธี เนื่องจากบรอคโคลีมีโครงสร้างแข็งแรง มีเปลือกหุ้มส่วนเนื้อข้างใน แม้ว่าขณะลวกชิ้นบรอคโคลีได้มีการตัดแต่ง ผ่าครึ่ง ทำให้เนื้อข้างในต้องสัมผัสกับน้ำลวกหรือไอน้ำแล้ว ของแข็งที่ละลายน้ำอาจถูกชะออกมาในปริมาณน้อยมาก การวัดของแข็งที่ละลายน้ำได้ในน้ำลวกจึงมีค่าเป็นศูนย์

เมื่อวัด % yield ของบรอคโคลีที่ลวกด้วยน้ำเดือดและไอน้ำ โดยใช้เวลาลวกที่ได้จากขั้นต้น จากตารางที่ 5.37 พบว่า วิธีลวกมีผลต่อ % yield หลังการลวกและทำให้เย็นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) คือ % yield ของบรอคโคลีหลังการลวกน้ำเดือดมีค่าเพิ่มขึ้น เป็นผลจากผักมีการดูดซับน้ำที่ลวก แม้ว่ามีการสูญเสียของแข็งและสารอาหารที่ละลายน้ำได้ไปบ้างก็ตาม (Carroad, Swartz และ Bomben, 1980) ส่วนวิธีลวกด้วยไอน้ำ % yield ลดลงเล็กน้อย เพราะการลวกไม่ได้มีการสัมผัสกับน้ำโดยตรง การดูดซับน้ำของผักจึงไม่เกิดขึ้น มีเพียงการสูญเสียของแข็งที่ละลายน้ำได้และสารอาหารไปกับไอน้ำ หลังจากวิธีทำให้เย็น %yield ในผักเพิ่มขึ้นทั้งวิธีลวกด้วยน้ำเดือดและไอน้ำ อาจเนื่องจากผักมีการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะส่วนดอกที่สามารถอุ้มน้ำไว้ได้ดี

6.2.2 ผลการใช้แอมโมเนียไบคาร์โบเนต (NH_4HCO_3) ร่วมกับวิธีการลวก เพื่อปรับปรุงสีของบรอคโคลี

ศึกษาวิธีการลวกต่างกัน 2 วิธีคือ วิธีการลวกด้วยน้ำเดือดและไอน้ำร่วมกับ NH_4HCO_3 แปรความเข้มข้นเป็น 4 ระดับคือ 0, 0.05, 0.10 และ 0.15% ลวกโดยใช้เวลาที่ได้จากข้อ 5.2.1 หลังการลวกวัด pH ในบรอคโคลี จากตารางที่ 5.38 พบว่าวิธีการลวกและความเข้มข้น

NH_4HCO_3 รวมทั้งอิทธิพลร่วมของวิธีและระดับความเข้มข้น NH_4HCO_3 มีผลต่อ pH ของบรอคโคลีที่ได้ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) คือ pH ของบรอคโคลีมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อใช้ความเข้มข้น NH_4HCO_3 สูงขึ้น โดยที่ pH บรอคโคลีที่ลวกด้วยน้ำเดือด มีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่า pH ของบรอคโคลีที่ลวกด้วยไอน้ำทุกความเข้มข้น NH_4HCO_3 ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากวิธีลวกด้วยน้ำเดือด บรอคโคลีมีการสัมผัสโดยตรงกับน้ำลวก ซึ่งมีสภาพเป็นด่าง ขณะลวกบรอคโคลีมีการดูดซับน้ำที่มีสภาพเป็นด่างไว้ และในขณะที่ลวก กรดที่ระเหยได้ที่มีในบรอคโคลี เกิดการสูญเสียโดยละลายเจือจางไปกับน้ำที่ใช้ลวก (Meyer, 1978) ในขณะที่วิธีการลวกด้วยไอน้ำ NH_4HCO_3 เมื่อได้รับความร้อน จะสลายตัวให้ NH_3^+ มา neutralize กับกรดที่ระเหยได้เกิดเกลือ NH_4^+ (Eheart และ Odland, 1973) pH ของบรอคโคลีที่ลวกด้วยไอน้ำจึงสูงขึ้น แต่ก็ต่ำกว่า pH ของบรอคโคลีที่ลวกด้วยน้ำเดือด เพราะไม่ได้สัมผัสกับน้ำที่มีสภาพเป็นด่างโดยตรง

ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม หาปริมาณคลอโรฟิลล์รวมเฉพาะส่วนดอกบรอคโคลี เนื่องจากมีสีเขียวเข้ม ทำให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของสีได้ชัดเจน เมื่อผ่านกระบวนการแปรรูป และเป็นจุดที่ผู้บริโภคจะพิจารณาเวลาเลือกซื้อ จากตารางที่ 5.39-5.41 พบว่า ปริมาณ NH_4HCO_3 มีผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์รวมอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$) คือ เมื่อใช้ NH_4HCO_3 ร่วมในการลวก ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในดอกบรอคโคลีทั้งหมดมีค่าสูงสุด ในการลวกที่มีการเติม NH_4HCO_3 0.15 % เนื่องจากในสภาวะอื่นๆ คลอโรฟิลล์สามารถถูกทำลายไปได้มากกว่า เพราะคลอโรฟิลล์เป็นโมเลกุลที่มีความเสถียรน้อยมาก เมื่อเซลถูกทำลายจากผลของความร้อน คลอโรพลาสต์จะเกิดความเสียหาย โดยความสามารถในการซึมผ่าน(permeability)ของเมมเบรนรอบๆคลอโรพลาสต์เกิดเปลี่ยนแปลง ทำให้คลอโรฟิลล์ถูกปลดปล่อยออกมา กรดที่มีอยู่ในผักจะเปลี่ยนคลอโรฟิลล์ให้เป็นฟีโอไฟทิน โดยแมกนีเซียมในโมเลกุลคลอโรฟิลล์ถูกแทนที่ด้วยไฮโดรเจน ซึ่งเรียกปฏิกิริยานี้ว่าฟีโอไฟทิไนเซชั่น ปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วในภาวะเป็นกรด เมื่อเทียบกับภาวะที่มี pH ประมาณ 8 หรือมากกว่า ซึ่งภาวะนี้คลอโรฟิลล์มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก (Meyer, 1978) ดังนั้นปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในบรอคโคลีที่ลวกโดยไม่เติม NH_4HCO_3 ในน้ำลวก จึงน้อยสุดจากผลที่คลอโรฟิลล์ถูกทำลายในสภาวะที่เป็นกรด พิจาณาได้จาก pH ของบรอคโคลีที่มีค่าประมาณ 6.50 เป็น pH อยู่ในช่วงกรดมากสุด ดังตารางที่ 5.38

ค่าสี จากตารางที่ 5.42-5.43 พบว่า วิธีลวก และระดับความเข้มข้น NH_4HCO_3 ไม่มีผลต่อค่าความสว่าง (L) ของบรอคโคลี แต่มีผลต่อค่าความมีสีเขียว (-a*) อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้อิทธิพลร่วมระหว่างวิธีลวกและระดับความเข้มข้นของ NH_4HCO_3 มีผลต่อความมีสีเหลือง (b*) ในบรอคโคลี อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยบรอคโคลีที่ลวกในน้ำเดือด

ให้ค่าความมีสีเขียว(-a*) มากกว่าบรอคโคลีที่ลวกด้วยไอน้ำ เนื่องจาก วิธีลวกด้วยไอน้ำ มีการปิดฝาภาชนะขณะลวก กรดที่ระเหยได้จากผักที่อยู่ในไอน้ำ มีการกลั่นตัวตกกลับมารวมกับกรดที่ไม่ระเหยที่มีอยู่เดิมในเนื้อเยื่อผัก ผลทำให้คลอโรฟิลล์เปลี่ยนไปเป็นฟีโอไฟทิน ให้สีเขียวมะกอกออกเหลือง ขณะที่บรอคโคลีที่ลวกในน้ำเดือด ต้องเปิดฝา กรดที่ระเหยได้บางส่วนระเหยออกไป และน้ำลวกมีส่วนช่วยเจือจางให้ความเป็นกรดน้อยลง การเปลี่ยนแปลงคลอโรฟิลล์ไปเป็นฟีโอไฟทินอาจเกิดน้อยกว่าในบรอคโคลีที่ลวกด้วยไอน้ำ สีเขียวจึงปรากฏได้ชัดเจนมากกว่า (Odland และ Eheart, 1975) เมื่อความเข้มข้น NH_4HCO_3 ในน้ำลวกเพิ่มขึ้น ค่าความมีสีเขียว (-a*) ของบรอคโคลีจะเพิ่มขึ้นด้วย โดยบรอคโคลีที่ลวกและเติม NH_4HCO_3 0.15 % มีค่าความมีสีเขียว (-a*) มากสุด เนื่องจาก เมื่อใช้ NH_4HCO_3 ความเข้มข้นสูงขึ้น สภาพการลวกมีฤทธิ์เป็นด่างเพิ่มขึ้น ทำให้ pH ของบรอคโคลีที่วัดได้มากกว่า 7 ดังตารางที่ 5.38 การเกิดฟีโอไฟทินไนเซชั่น เปลี่ยนสีเขียวของคลอโรฟิลล์ไปเป็นสีเขียวมะกอกออกเหลือง จึงน้อยลง เมื่อพิจารณาค่าความมีสีเหลือง (b*) พบว่า บรอคโคลีที่ลวกในไอน้ำที่ไม่เติม NH_4HCO_3 ให้ค่าความมีสีเหลือง (b*) สูงสุด อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากบรอคโคลีมี pH ต่ำมากที่สุดคือมี pH 6.50 สภาพเป็นกรดมีมาก คลอโรฟิลล์จึงเปลี่ยนไปเป็นฟีโอไฟทินได้อย่างรวดเร็ว สีเหลืองของบรอคโคลีจึงปรากฏออกมามากที่สุด

การประเมินทางประสาทสัมผัส แยกเป็นด้านต่างๆ ดังนี้

ลักษณะปรากฏ วิธีการลวก ปริมาณ NH_4HCO_3 และอิทธิพลร่วมระหว่างวิธีการลวกและปริมาณ NH_4HCO_3 มีผลต่อคะแนนด้านลักษณะปรากฏ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยที่วิธีการลวกด้วยน้ำให้คะแนนด้านลักษณะปรากฏมากกว่าบรอคโคลีที่ลวกด้วยไอน้ำ อาจเนื่องจาก บรอคโคลีที่ลวกในน้ำและหลังทำให้เย็น เซลมีการดูดน้ำกลับติดไปกับผักได้มาก ดังผลจาก %yield ในตารางที่ 5.37 บรอคโคลีหลังลวกและทำให้เย็น มี %yield เพิ่มขึ้นเป็น 102.78 และ 106.80 % ตามลำดับ บรอคโคลีจึงดูเต่งตึง ชุ่มน้ำ ไม่เหี่ยวเสียรูป ขณะที่บรอคโคลีหลังลวกด้วยไอน้ำ ลักษณะปรากฏไม่เต่งตึง ชุ่มน้ำ เท่าบรอคโคลีที่ลวกในน้ำเดือด เพราะว่าขณะลวกด้วยไอน้ำ เซลมีการสูญเสียน้ำไปบางส่วน สอดคล้องกับผล %yield ที่พบว่าบรอคโคลีหลังการลวก มี %yield เท่ากับ 97.56% จึงทำให้บรอคโคลีค่อนข้างเหี่ยว ไม่ชุ่มน้ำ เล็กน้อย และหลังจากการทำให้เย็น ถึงแม้ว่า มีการดูดน้ำกลับไปบ้าง ดังค่า %yield ที่เพิ่มขึ้นเป็น 103.86 % แต่บรอคโคลีก็ยังไม่เต่งตึง ชุ่มน้ำเท่าการลวกด้วยน้ำเดือด

สี วิธีการลวก ความเข้มข้น NH_4HCO_3 และอิทธิพลร่วมระหว่างวิธีลวกและความเข้มข้น NH_4HCO_3 มีผลต่อคะแนนด้านสีของดอกและก้านบรอคโคลี อย่างมีนัยสำคัญ

($p \leq 0.05$) คือ วิธีการลวกด้วยน้ำเดือดร่วมกับ NH_4HCO_3 0.05% ช่วยปรับปรุงสีของผักให้ดีขึ้น และเมื่อใช้ NH_4HCO_3 ความเข้มข้นสูงขึ้น พบว่าคะแนนด้านสีของดอกและก้านบรอคโคลีไม่แตกต่างจากที่ใช้ NH_4HCO_3 0.05% เนื่องจากผู้ทดสอบไม่สามารถแยกความแตกต่างของสีเขียวที่เพิ่มขึ้นมาเพียงเล็กน้อย ในขณะที่ วิธีการลวกด้วยไอน้ำร่วมกับ NH_4HCO_3 ให้คะแนนสีของส่วนดอกและก้าน ต่ำกว่า วิธีการลวกด้วยน้ำเดือดทั้งที่เติมและไม่เติม NH_4HCO_3 เนื่องจากวิธีลวกด้วยไอน้ำ ให้สีบรอคโคลี ออกเป็นสีเขียวมะกอกออกเหลือง แม้ว่าใช้ NH_4HCO_3 ร่วมในการลวก ก็ไม่สามารถยับยั้งการเปลี่ยนแปลงนี้ได้ เพราะ pH ของบรอคโคลีที่ลวกด้วยไอน้ำ มีการเปลี่ยนแปลงน้อย ทำให้ยังคงอยู่ในสภาพกรด ปฏิกิริยาฟีโอไฟทินไนเซชั่น จึงเกิดได้ง่าย

กลิ่นรส วิธีลวก ความเข้มข้น NH_4HCO_3 และอิทธิพลร่วมระหว่างวิธีการลวกและปริมาณ NH_4HCO_3 ไม่มีผลต่อคะแนนด้านกลิ่นรสอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) อาจเนื่องจากวิธีลวกและปริมาณ NH_4HCO_3 ที่ใช้มีความเข้มข้นไม่สูงมาก และ NH_4HCO_3 มีการแตกตัวได้ก๊าซ NH_3 ระเหยไประหว่างลวก จึงไม่มีผลต่อด้านกลิ่นรสในบรอคโคลี

ลักษณะเนื้อสัมผัส ปริมาณ NH_4HCO_3 มีผลต่อคะแนนด้านลักษณะเนื้อสัมผัส คือ เมื่อใช้ NH_4HCO_3 ปริมาณสูงขึ้น คะแนนลักษณะเนื้อสัมผัสลดลง อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากการใช้ด่างร่วมในวิธีลวก ทำให้น้ำลวกมี pH สูงขึ้น เมื่อให้ความร้อน ด่างจะไฮโดรไลซ์เซลลูโลสได้รวดเร็ว ทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของผักนิ่มเละลงได้ (Meyer, 1978) เห็นได้จากบรอคโคลีที่ลวกใน NH_4HCO_3 ความเข้มข้น 0.10 และ 0.15 % มีคะแนนเฉลี่ยลักษณะเนื้อสัมผัสน้อยลง อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ส่วนการใช้ NH_4HCO_3 ปริมาณน้อยกว่า คือความเข้มข้น 0.05% ให้คะแนนด้อยกว่าเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับบรอคโคลีที่ลวกโดยไม่ได้เติม NH_4HCO_3 เนื่องจากมีความนิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่ก็ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

การยอมรับรวม วิธีลวก ความเข้มข้นของ NH_4HCO_3 อิทธิพลร่วมระหว่างวิธีลวกและความเข้มข้น NH_4HCO_3 มีผลต่อคะแนนการยอมรับรวม อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) จากตารางที่ 5.45 พบว่า วิธีการลวกด้วยน้ำเดือดให้คะแนนการยอมรับรวมมากกว่าวิธีลวกด้วยไอน้ำ เนื่องจาก บรอคโคลีที่ลวกด้วยน้ำเดือดมีสีเขียวสดสวยกว่าที่ลวกด้วยไอน้ำ และเมื่อ NH_4HCO_3 ปริมาณเพิ่มขึ้น คะแนนการยอมรับรวมลดลง เมื่อเพิ่มความเข้มข้น NH_4HCO_3 เนื่องจากลักษณะเนื้อสัมผัสที่นิ่มมากขึ้น เป็นลักษณะที่ผู้ทดสอบไม่ชอบ เมื่อพิจารณา อิทธิพลร่วมระหว่างวิธีลวกและความเข้มข้น NH_4HCO_3 พบว่า วิธีลวกด้วยน้ำเดือด ร่วมกับ NH_4HCO_3 0.05 % ให้ลักษณะต่างๆ ดีที่สุด เนื่องจาก วิธีลวกด้วยน้ำเดือด และ NH_4HCO_3 0.05% ให้สีบรอคโคลีที่สวย เพราะคลอโรฟิลล์มีความคงตัวดีในสภาพที่เป็นกลาง หรือด่างเล็กน้อย (Meyer,1978) ขณะที่เนื้อสัมผัสของบรอคโคลีนุ่มขึ้นเล็กน้อย จากการที่ด่างไฮโดรไลซ์เซลลูโลส ผักยังคงความกรอบไว้

ได้ ซึ่งไม่แตกต่างจากที่ไม่เติม NH_4HCO_3 หากใช้ปริมาณ NH_4HCO_3 สูงกว่านี้ แม้ว่าสีดีขึ้นอีกเพียงเล็กน้อย แต่เนื้อสัมผัสถูกทำลายไปมาก เกิดนิ่มขึ้นอย่างชัดเจน คะแนนการยอมรับรวมจึงลดลง

6.2.3 ผลการหาเวลาแช่เยือกแข็งโดยวิธีการแช่เยือกแข็งแบบพ่นลม (Air Blast) และไครโอจินิก (cryogenic) และผลของอุณหภูมิแช่เยือกแข็งในวิธีแช่เยือกแข็งแบบไครโอจินิกต่อคุณภาพบรอคโคลีแช่เยือกแข็ง

ก. วิธีแช่เยือกแข็งแบบพ่นลม

การศึกษาเวลาที่ใช้แช่เยือกแข็งบรอคโคลีที่ผ่านการลวกด้วยน้ำเดือดที่มีการเติม NH_4HCO_3 0.05% หลังจากนั้นบรรจุลงในถุง PE นำเข้าแช่เยือกแข็ง พบว่า ในภาวะการทดลองนี้ เวลาที่เหมาะสมในการแช่เยือกแข็งด้วย air blast freezer คือ 97 นาที

ข. วิธีแช่เยือกแข็งแบบไครโอจินิก

แปรอุณหภูมิไอไนโตรเจนเหลว เป็น -70, -90 และ -110 °C ใช้เวลา 0.41 4.00 และ 3.08 นาที ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ -110 องศาเซลเซียส ใช้เวลาแช่เยือกแข็งน้อยที่สุด เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างอาหารมีมากที่สุด และเมื่อหาปริมาณการใช้ไนโตรเจนเหลวและปริมาณความร้อนที่ถูกกำจัดออกในการแช่เยือกแข็งบรอคโคลี ศึกษาโดยจุ่มตัวอย่างลงไปในไนโตรเจนเหลวโดยตรง พบว่า ปริมาณไนโตรเจนเหลวที่ใช้คือ 1.81 lbLIN/lb ผลิตภัณฑ์ ปริมาณความร้อนที่กำจัดออก 154.75 Btu/lb ผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถนำค่าไปคำนวณเพื่อประมาณการใช้ไนโตรเจนเหลวในอุณหภูมิแช่เยือกแข็งต่างๆได้ จะพบว่าอุณหภูมิแช่เยือกแข็งที่ -70 °C เป็นอุณหภูมิที่ใช้ไนโตรเจนเหลวประหยัดที่สุด คือ 1.31 lb LIN/lb ผลิตภัณฑ์ เมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอื่น เนื่องจากที่อุณหภูมิแช่เยือกแข็ง -90 และ -110 °C ต้องใช้ไนโตรเจนเหลวจำนวนมากกว่าในการรักษาอุณหภูมิ chamber ให้คงที่ ความถี่ในการ feed ไนโตรเจนออกมาใช้จึงบ่อยกว่า ทำให้สิ้นเปลืองไนโตรเจนเหลวมากกว่า

เมื่อเปรียบเทียบค่า freezing loss พบว่า อุณหภูมิแช่เยือกแข็งมีผลต่อค่า freezing loss อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) อาจเนื่องจากน้ำที่เกาะอยู่ตามผิวของก้านและดอก มีจำนวนมาก โดยเฉพาะส่วนดอกที่อุ้มน้ำไว้ได้มาก ความชุ่มน้ำจึงมีมาก ขณะแช่เยือกแข็ง ภายใน chamber มีพัดลมเป่าอยู่ตลอดเวลา อากาศเกิดการหมุนเวียน ความชื้นเหล่านี้จึงมีโอกาสที่จะสูญเสียไปได้ง่าย และเมื่อเวลาแช่เยือกแข็งนานขึ้นมีผลให้ %freezing loss สูงขึ้น ส่วนค่า %thawing loss พบว่า อุณหภูมิแช่เยือกแข็งไม่มีผลต่อค่า %thawing loss อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) อาจเนื่องจาก โครงสร้างส่วนก้านบรอคโคลีมีความแข็งแรง มีผิวหนาเป็นเปลือก การ

สูญเสียน้ำออกจากเนื้อเยื่อจึงไม่แตกต่างกัน

เมื่อพิจารณาคะแนนทางประสาทสัมผัส จากตารางที่ 5.52 พบว่า อุณหภูมิแช่เยือกแข็งไม่มีผลต่อลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส และการยอมรับรวมอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) อาจเนื่องจาก ผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นมีผลในการทำลายเซลที่ไม่แตกต่างกันในส่วนดอกและโครงสร้างส่วนก้านบรอคโคลีมีความแข็งแรง การสูญเสียน้ำจากเนื้อเยื่อหลังละลายน้ำแข็งไม่มีความแตกต่างกัน คะแนนทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆ ของอุณหภูมิที่แตกต่างกัน จึงมีคะแนนไม่ต่างกัน

6.2.4 <u>ผลของวิธีแช่เยือกแข็งและระยะเวลาการเก็บรักษา ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพบรอคโคลี</u>

นำบรอคโคลี มาแช่เยือกแข็ง 2 วิธี คือ Air Blast Freezing และ Cryogenic Freezing ศึกษาผลของระยะเวลาของการเก็บแช่เยือกแข็ง โดยวิเคราะห์ %thawing loss ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในส่วนดอก การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส และปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา ในผลิตภัณฑ์ สุ่มตัวอย่างเมื่อเริ่มต้นเก็บ และสุ่มทุกๆ 6 สัปดาห์จนครบ 24 สัปดาห์

จากผลในตารางที่ 5.53 และการวิเคราะห์ความแปรปรวนตารางที่ 5.54 พบว่า วิธีแช่เยือกแข็งไม่มีผลต่อค่า %thawing loss ($p > 0.05$) แต่เมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น %thawing loss เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากบรอคโคลีมีโครงสร้างส่วนก้านที่แข็งแรง ผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นในแต่ละวิธีการแช่เยือกแข็ง อาจมีผลต่อการทำลายเซลไม่แตกต่างกันมากนัก การสูญเสียน้ำออกจากเนื้อเยื่อ หลังการละลายจึงไม่แตกต่างกัน แต่เมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น การสูญเสียน้ำจากเนื้อเยื่อมีเพิ่มขึ้น อาจเนื่องจากการจัดเรียงตัวใหม่ของผลึกน้ำแข็ง ทำให้เซลถูกทำลายได้เพิ่มขึ้น (Mallett, 1993)

การวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในดอกบรอคโคลี ในตารางที่ 5.56 พบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในดอกบรอคโคลีที่ผ่านการแช่เยือกแข็งต่างกัน และอายุการเก็บรักษาต่างกัน ไม่แตกต่างกับปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในดอกบรอคโคลี ก่อนการแช่เยือกแข็ง อาจเป็นผลจากอิทธิพลของ NH_4HCO_3 ที่สามารถช่วยรักษาคลอโรฟิลล์ตลอดอายุการเก็บรักษา 24 สัปดาห์

จากการประเมินทางด้านประสาทสัมผัส ของบรอคโคลีแช่เยือกแข็ง ผลแสดงในตารางที่ 5.56-5.59

ลักษณะปรากฏ วิธีการแช่เยือกแข็งและอายุการเก็บรักษา มีผลต่อคะแนนด้านลักษณะปรากฏ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) พบว่าบรอคโคลีที่แช่เยือกแข็ง ด้วยวิธี Air Blast มีคะแนนเฉลี่ยด้านลักษณะปรากฏต่ำกว่าบรอคโคลีที่แช่เยือกแข็งด้วยไอไนโตรเจนเหลว เนื่อง

จากบรอคโคลีที่แช่เยือกแข็งด้วย Air Blast หลังการละลายน้ำแข็งแล้ว พบว่าผิวตรงส่วนก้านมีลักษณะเหี่ยวย่น และมีผิวบางส่วนหลุดลอก เป็นผลมาจากการแช่เยือกแข็งที่ใช้เวลานานถึง 97 นาที ทำให้ wax ที่เคลือบอยู่ส่วนก้านเกิดหลุดร่อนออกมาระหว่างการแช่เยือกแข็ง หลังการละลายน้ำแข็ง จึงพบแผ่น wax หลุดลอกออกมา (Fellow ,1990) ซึ่งต่างกับผิวก้านบรอคโคลีที่ผ่านการแช่เยือกแข็งด้วยไอไนโตรเจนเหลว ที่มีลักษณะสวย ไม่เหี่ยวย่น และเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น คะแนนเฉลี่ยด้านลักษณะปรากฏลดลง อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เป็นผลมาจากเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น น้ำในผลิตภัณฑ์สูญเสียมากขึ้น เพราะไอน้ำในตัวผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มที่จะเคลื่อนย้ายจากย่านที่มีความดันไอสูงมายังย่านที่มีความดันไอต่ำ เมื่อผิวผลิตภัณฑ์และระหว่างบริเวณรอบๆผลิตภัณฑ์กับภาชนะบรรจุ เป็นพื้นที่ว่างที่เย็นกว่าส่วนปริมาตรของแข็ง น้ำจึงเคลื่อนย้ายออกมาได้ง่ายเห็นได้จากเกิดเกล็ดน้ำแข็งสะสมอยู่รอบๆผลิตภัณฑ์ และช่วงเก็บรักษา ผลึกน้ำแข็งมีการจัดเรียงตัวใหม่ โดยผลึกน้ำแข็งมีจำนวนลดลง ขณะที่ขนาดผลึกน้ำแข็งเพิ่มขึ้น ทำให้เซลเสียหายได้ (Mallett, 1993) ในสัปดาห์การเก็บรักษาที่ 24 น้ำในผลิตภัณฑ์ สูญเสียไปมาก ผู้ทดสอบพบลักษณะปรากฏที่ด้อยลงคือบรอคโคลีมีลักษณะเหี่ยว ไม่เต่งตึง ทั้งส่วนก้านและดอก คะแนนเฉลี่ยจึงลดลง

อายุการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น มีผลต่อกลิ่นรสอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) บรอคโคลีแช่เยือกแข็งที่มีอายุการเก็บรักษา 6 สัปดาห์ กลิ่นรสจะยังไม่แตกต่างกับที่เริ่มเก็บ แต่หลังจากนั้น ค่าคะแนนของรสชาติเริ่มลดลงแต่ยังอยู่ในเกณฑ์รับได้ กลิ่นรสที่ลดลงนี้อาจเกิดเนื่องจากขณะเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ ผลึกน้ำแข็งมีการจัดเรียงตัวใหม่ และเกิดตลอดเวลา ทำให้เนื้อเยื่อเสียหาย หลังการละลายน้ำแข็ง สารที่ให้รสชาติเกิดสูญเสียออกมากับน้ำที่ออกจากเนื้อเยื่อ ทำให้คะแนนด้านกลิ่นรสลดลง เมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น และในสัปดาห์ที่ 24 พบว่าบรอคโคลีมีกลิ่นรสที่แปลกปลอมขึ้น ซึ่งในผักแช่เยือกแข็ง การเกิดกลิ่นรสผิดปรกติมักพบว่ามาจากการเสื่อมและปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของไขมันทั้งทาง enzymetic และ nonenzymetic (Wu และคณะ, 1987) สารตั้งต้นในปฏิกิริยาออกซิเดชั่น เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวในไตรกลีเซอไรด์และฟอสโฟไลปิด ได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารประกอบระเหยได้ เช่น carbonyl, alcohol และกรด ซึ่งทำให้เกิดกลิ่นรสแปลกปลอม (Powrie, 1984) ได้เคยมีรายงาน พบว่ากิจกรรม peroxidase ที่ถูกยับยั้งไปแล้ว สามาถเกิด regeneration ได้อีก เป็นผลจากการให้ความร้อนช่วงการลวก ส่วนของ protein moiety และ prosthetic group ของเอนไซม์ peroxidase ยังถูกทำลายไม่สมบูรณ์ (Vamos, 1981) ซึ่งการเกิด regeneration ของเอนไซม์ peroxidase ได้พบว่ามีกลิ่นรสแปลกปลอมเกิดมาด้วย (Burnette, 1977)

สี อายุการเก็บรักษามีผลต่อสีของก้าน โดยพบว่า การเก็บรักษาที่ 18 สัปดาห์ขึ้นไป คะแนนสีของก้านจะแตกต่างไปจากที่เริ่มต้นเก็บ โดยสีของก้านเกิดคล้ำลงหลังการ

ละลายน้ำแข็ง อาจเกิดจากการสูญเสียความชื้นในตัวผลิตภัณฑ์ ทำให้เกิดการแห้ง ทำให้สีเปลี่ยนไป

เนื้อสัมผัส วิธีแช่เยือกแข็งและอายุการเก็บรักษา มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของส่วนดอก ส่วนลักษณะเนื้อสัมผัสของส่วนก้าน พบว่ามีเพียงอายุการเก็บรักษาที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากส่วนดอกของบรอคโคลีมีความบอบบางกว่าส่วนก้าน บรอคโคลีที่ผ่านการแช่เยือกแข็งด้วยไอไนโตรเจนเหลว จะมีคะแนนทางด้านเนื้อสัมผัสของส่วนดอกสูงกว่าที่ผ่านการแช่เยือกแข็งด้วย Air Blast ทั้งนี้เพราะการแช่เยือกแข็งด้วยไอไนโตรเจนเหลว ผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นมีขนาดเล็กและกระจายไปทั่วทั้งภายในและภายนอกเซล ซึ่งแตกต่างจากวิธีแช่เยือกแข็งแบบ Air Blast ที่ใช้เวลาแช่เยือกแข็งนานกว่า น้ำใน intercellular จะเคลื่อนย้ายผ่านผนังเซลมาเกิดผลึกน้ำแข็งภายนอกเซล และมีขนาดใหญ่ ทิ่มแทงเซลให้เสียหายได้ (Powrie, 1984) เมื่อเก็บได้ 12 สัปดาห์ คะแนนเนื้อสัมผัสของดอกและก้านลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่าบรอคโคลีที่เก็บรักษานาน 12 สัปดาห์ แต่ยังอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ ซึ่งลักษณะเนื้อสัมผัสที่สูญเสียไปนี้เกิดจาก ผลึกน้ำแข็งมีการจัดเรียงตัวใหม่ตลอดเวลาการเก็บรักษา ทำให้เซลเสียหาย และเกิดจากน้ำมีการเคลื่อนย้ายออกมาสู่ผิวผลิตภัณฑ์ ทำให้เซลสูญเสียความเต่งมากขึ้น เนื้อสัมผัสที่ดีจึงเกิดสูญเสีย

การยอมรับรวม วิธีการแช่เยือกแข็งและอายุการเก็บรักษามีผลต่อคะแนนด้านการยอมรับ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยบรอคโคลีที่แช่เยือกแข็งด้วยไอไนโตรเจนเหลวให้ค่าคะแนนการยอมรับสูงกว่าวิธี Air Blast และเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น ในสัปดาหที่ 12 และ 18 ค่าคะแนนการยอมรับลดลงแต่ยังอยู่ในคะแนนค่อนข้างดี ยอมรับได้ ส่วนในสัปดาห์ที่ 24 ค่าคะแนนการยอมรับรวม น้อยลงอีก อาจเนื่องจากพบกลิ่นรสที่แปลกปลอม

ทางด้านจุลินทรีย์ วิธีการแช่เยือกแข็ง มีผลต่อจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และราในบรอคโคลีแช่เยือกแข็ง โดยบรอคโคลีที่แช่เยือกแข็งด้วย Air Blast Freezer มีจำนวนจุลินทรีย์น้อยกว่า บรอคโคลีที่แช่เยือกแข็งด้วยไอไนโตรเจนเหลวและเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น จำนวนจุลินทรีย์ในแต่ละวิธีการแช่เยือกแข็งมีจำนวนน้อยลง เหตุผลที่อธิบายได้คล้ายกับแครอตแช่เยือกแข็ง ซึ่งจำนวนจุลินทรีย์ที่ตรวจพบในผลิตภัณฑ์ มีจำนวนน้อยกว่าที่กำหนดไว้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสับปะรดแช่เยือกแข็ง (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2525) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑผักผลไม้แช่เยือกแข็งเพียงชนิดเดียวที่มีมาตรฐานกำหนดในปัจจุบัน (ปี 2539)