บทที่ 6

วิจารณ์ผลการทดลอง

6.1 ผลการศึกษาระดับสุญญากาศและเวลาที่เหมาะสมในการแช่เห็ดในสารละลายโซเดียม-เมตาไบซัลไฟต์เพื่อยับยั้งเอนไซม์ polyphenoloxidase

ขั้นตอนนี้ศึกษาหาระดับสุญญากาศและเวลาของการแช่เห็ดในสารละลายโซเดียม-เมตาไบซัลไฟต์ 1.5% ที่เหมาะสมในเห็ดก่อนแช่เยือกแข็ง จุดประสงค์เพื่อยับยั้งเอนไซม์อันเป็นสาเหตุทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นในช่วงการเก็บรักษาเห็ดแช่เยือกแข็งและคงสีขาวของเห็ดตามธรรมชาติ โดยเลือกใช้เอนไซม์ polyphenoloxidase (PPO) เป็นดัชนีบอกถึงประสิทธิภาพการยับยั้งปฏิกิริยาสีน้ำตาล เนื่องจากเอนไซม์ดังกล่าวเป็นเอนไซม์สำคัญที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลและพบมากในเห็ด โดยพบว่าในเนื้อเยื่อเห็ดมีอัตราส่วน PPO : peroxidase (PO) เท่ากับ 10 : 3 และ PPO ยังมี activity เป็น 3 เท่าของ PO อีกทั้งการตรวจสอบสามารถทำได้ง่าย (Embs และ Markakis, 1966) ซึ่งสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นในเห็ดเกิดจากสาร monophenol ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนและเอนไซม์ polyphenoloxidase ได้เป็น o-dihydroxyl phenol แล้วมีการเติมออกซิเจนและเอนไซม์ polyphenoloxidase อีกครั้งกลายเป็น o-quinone ซึ่งจะรวมตัวกับ amino acids, protein, phenolic compounds เกิดเป็นสารประกอบสีน้ำตาล (McCord and Kilara, 1983) ในการทดลองนี้เลือกแช่เห็ดในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์เพราะเป็นสารที่มีราคาถูกและมีประสิทธิภาพสูงในการยับยั้งปฏิกิริยาสีน้ำตาล เนื่องจากซัลไฟต์จะสามารถรวมตัวกับ o-quinone ซึ่งเป็นสารตัวกลางในการเกิดปฏิกิริยา ทำให้สารดังกล่าวไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาต่อเป็นสารสีน้ำตาล และจากการทดลองเลือกแช่เห็ดในสารละลายโซเดียม-เมตาไบซัลไฟต์ 1.5% เพราะความเข้มข้นดังกล่าวสามารถยับยั้งปฏิกิริยาสีน้ำตาลในเห็ดได้ และมีปริมาณ SO_2 ตกค้างในเนื้อเยื่อเห็ดในการแช่ที่ระดับสุญญากาศ 10 นิ้วปรอท เป็นเวลา 30 นาที เพียง 332 ppm ซึ่งปริมาณดังกล่าวต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดว่า ผลิตภัณฑ์ผักผลไม้แปรรูปอนุญาตให้มีปริมาณ SO_2 ตกค้างไม่เกิน 1,000 ppm (Sapers, 1993)

จากตารางที่ 5.1.1 และ 5.1.2 พบว่าระดับสุญญากาศและเวลาในการแช่เห็ดในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ 1.5% มีผลต่อการยับยั้ง PPO และค่าความสว่าง (L) ของเห็ด

อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยการแช่เห็ดในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่ระดับสุญญากาศสูงและเวลานานขึ้น สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ในเนื้อเยื่อเห็ดได้มากขึ้น เนื่องจากที่ระดับสุญญากาศสูงจะทำให้เกิดการดึงอากาศในเนื้อเยื่อเห็ดออกมาก เนื้อเยื่อเห็ดจึงเกิดช่องว่างทำให้สารละลายที่อยู่รอบนอกสามารถเข้าไปแทนที่ในเนื้อเยื่อเห็ดได้มาก ดังนั้นซัลไฟต์จึงไปรวมตัวกับ quinone ได้มากขึ้น การเกิดสารประกอบสีน้ำตาลในเนื้อเยื่อเห็ดจึงลดลง (Fang, Ou and Lee, 1976)

พิจารณาค่าความสว่าง (L) พบว่าที่ระดับสุญญากาศสูง (30 นิ้วปรอท) มีค่า L น้อยกว่าที่ระดับสุญญากาศที่ต่ำกว่า เพราะที่ระดับสุญญากาศสูงสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์สามารถเข้าไปในเนื้อเยื่อเห็ดได้มาก มีผลทำให้เห็ดฉ่ำน้ำมาก สีที่ได้จึงคล้ำ (ค่า L ต่ำ) และถ้าพิจารณาการแช่เห็ดในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่ระดับสุญญากาศต่ำ พบว่าการแช่เห็ดในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์เป็นเวลานานจะทำให้ค่า L สูงขึ้น โดยเฉพาะการแช่เห็ดในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่ระดับสุญญากาศ 10 นิ้วปรอท เป็นเวลา 30 นาที มีค่า L สูงสุด เพราะสารละลายสามารถแพร่เข้าไปในเนื้อเยื่อเห็ดได้ในระดับที่เหมาะสมต่อการยับยั้งปฏิกิริยาสีน้ำตาลของเห็ด และไม่ก่อให้เห็ดเกิดการฉ่ำน้ำ

6.2 ผลการศึกษาความเข้มข้นกัมแต่ละชนิดที่เหมาะสมต่อเนื้อสัมผัสและความสามารถในการอุ้มน้ำของเห็ด

ปัญหาสำคัญในการผลิตเห็ดแช่เยือกแข็งอีกปัญหาหนึ่งคือการสูญเสียน้ำหนักของน้ำและของแข็งที่ละลายได้ในน้ำในขั้นตอนการแปรรูปเห็ดแช่เยือกแข็ง นอกจากนี้เห็ดแช่เยือกแข็งที่มีการสูญเสียน้ำหนักดังกล่าวมักจะมีเนื้อสัมผัสเหนียวขึ้น ซึ่งมีผลต่อต้นทุนการผลิตและการยอมรับของผู้บริโภค (Gormley and Walshe, 1982) ดังนั้นในขั้นตอนนี้จึงได้ศึกษาการแช่เห็ดในสารละลายกัมเพื่อช่วยลดปัญหาดังกล่าว เนื่องจากกัมเป็นสารที่สามารถละลายหรือกระจายตัวได้ดีในน้ำ แล้วให้สารละลายที่หนืดหรือเกิด gel ได้ กัมจึงมีคุณสมบัติในการกักเก็บน้ำไว้ภายในซึ่งน่าจะช่วยลดการสูญเสียน้ำระหว่างการแปรรูปเห็ดได้ ในขั้นตอนนี้ได้ทดลองแช่เห็ดในสารละลายกัม 4 ชนิด คือ guar gum CMC xanthan gum และ LBG เพราะสารละลายดังกล่าวเป็นสารละลายกัมที่นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารทั่วไป เป็นสารไม่มีสี กลิ่นรส และยังมี

คุณสมบัติการเป็น water binding ที่ดี โดยทดลองแช่เห็ดในสารละลายกัมตามวิธีในข้อ 4.2 เพื่อหาความเข้มข้นของกัมที่ให้ค่า %weight gain สูงสุด แต่มีค่า %blanching loss, %freezing loss, %thawing loss, %total loss และ shear value ของเห็ดต่ำที่สุด

การแช่เห็ดในสารละลาย guar gum, xanthan gum, LBG โดยแปรความเข้มข้นเป็น 5 ระดับ คือ 0, 0.25, 0.5, 0.75 และ 1% เพราะจากการทดลองเบื้องต้นพบว่า การแช่เห็ดในสารละลายดังกล่าวความเข้มข้นมากกว่า 1% จะมีความหนืดสูงเกินไปซึ่งยากต่อการแพร่เข้าไปในเนื้อเยื่อเห็ด ส่วนการแช่เห็ดในสารละลาย CMC โดยแปรความเข้มข้นเป็น 0, 0.4, 0.8, 1.2 และ 1.6% เพราะ CMC ที่นำมาใช้ในการทดลองให้ความหนืดต่ำกว่าสารละลายกัมอื่นๆที่ความเข้มข้นเดียวกัน ดังนั้นจึงแปรระดับความเข้มข้นของสารละลาย CMC สูงกว่าสารละลายกัมชนิดอื่นๆ ผลแสดงในตารางที่ 5.2.1- 5.2.8 จากการวิเคราะห์พบว่าความเข้มข้นของสารละลายกัมดังกล่าวมีผลต่อค่า %weight gain, %blanching loss, %thawing loss, %total loss และ shear value ของเห็ดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่ไม่มีผลต่อค่า %freezing loss ของเห็ด ($p > 0.05$)

เมื่อพิจารณาค่า %weight gain พบว่าถ้าความเข้มข้นของสารละลายกัมแต่ละชนิดสูงขึ้น %weight gain จะมีค่าลดลง อาจเป็นเพราะกัมเป็นสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่และมีสายโพลิเมอร์ยาว เมื่อละลายน้ำจะได้สารละลายที่มีความหนืดสูง (Whistler,1993) ทำให้แพร่เข้าไปในเนื้อเยื่อเห็ดได้ยากขึ้น จึงมีผลให้น้ำหนักเห็ดหลังแช่สารละลายกัมความเข้มข้นสูง มีค่าน้อยกว่าการแช่ในสารละลายกัมความเข้มข้นต่ำ

สำหรับค่า %blanching loss พบว่าการแช่เห็ดในสารละลายกัมที่ระดับความเข้มข้นสูงขึ้น จะให้ค่า %blanching loss ลดลง จากการทดลองพบว่าการแช่เห็ดในสารละลาย guar gum, CMC, xanthan gum และ LBG ความเข้มข้น 1%, 1.2%, 0.75% และ 1% ตามลำดับ มีค่า %blanching loss ต่ำสุด เพราะเมื่อพิจารณาโครงสร้างของกัมแต่ละชนิดดังนี้

- guar gum และ LBG มีโครงสร้างเป็นเส้นตรงของสาย β-D-mannose ที่มี β-D-galactose เป็น side chain โดยมีอัตราส่วนของ β-D-mannose : β-D-galactose ของ guar gum และ LBG เท่ากับ 2 : 1 และ 4 : 1 ตามลำดับ ดังนั้น guar gum และ LBG จึงสามารถเกิด hydrogen bonding กับน้ำได้ดี เนื่องจากมี hydroxyl groups บริเวณ side chain (Glicksman, 1969)

- CMC เป็นสาร cellulose derivative ที่เกิดจากการนำ cellulose มาเติมหมู่ carboxymethyl group ทำให้สารละลาย CMC มีสมบัติเป็น anion จึงสามารถเกิดพันธะไอออนิก กับน้ำได้ดี (Sanderson, 1981)

- xanthan gum มีโครงสร้างหลักเป็นสายของ β-D-glucopyranose และมี trisaccharide เป็น side chain จึงสามารถเกิด hydrogen bonding กับน้ำได้ดี เนื่องจากมี hydroxyl groups และ anion บริเวณ side chain (Glicksman, 1969)

จากโครงสร้างของสารละลายกัมทั้ง 4 ชนิดพบว่า สารละลายกัมทุกตัวมีคุณสมบัติเป็น water-binding ที่ดี นอกจากนี้สารละลายกัมดังกล่าวยังมีสมบัติการเป็น heat-shock resistance ที่ดี ดังนั้นสารละลายกัมที่ใช้ในการทดลองทุกตัวจึงสามารถช่วยลดการสูญเสียน้ำและของแข็งที่ละลายน้ำในขั้นตอนการลวกได้ดีตามความเข้มข้นของสารละลายกัมที่สูงขึ้น ซึ่งให้ผลคล้ายกับการทดลองของ Gormley and Walshe (1986) ที่ได้ทดลองแช่เห็ดแชมปิญองในสารละลาย xanthan gum 1% ในการผลิตเห็ดกระป๋อง พบว่าสามารถลดค่า %total loss (ในขั้นตอน blanching และ retorting) ได้ถึง 20%

จากผลของค่า %freezing loss พบว่าการแช่เห็ดในสารละลาย guar gum, CMC, xanthan gum และ LBG ความเข้มข้นต่างกันไม่มีผลต่อค่าการสูญเสียน้ำหนักในระหว่างการแช่เยือกแข็งเห็ดด้วยวิธีไครโอจีนิค อาจเป็นเพราะวิธีการแช่เยือกแข็งที่ใช้เป็นการแช่เยือกแข็งอย่างรวดเร็ว ดังนั้นระยะเวลาที่ไอไนโตรเจนเย็นพัดผ่านจึงน้อยและทำให้โอกาสการสูญเสียน้ำที่บริเวณพื้นที่ผิวของเห็ดต่ำ ดังนั้นค่า %freezing loss จึงไม่แตกต่างกัน

ในส่วนของค่า %thawing loss พบว่าการสูญเสียน้ำหนักเห็ดของการละลายมีค่าต่ำที่สุดเมื่อแช่เห็ดในสารละลายกัมแต่ละชนิดดังนี้ guar gum 1%, CMC 1.2%, xanthan gum 1% และ LBG 1% เพราะคุณสมบัติการเป็น water-binding ที่ดีของสารละลายกัมดังกล่าว จึงทำให้สารละลายกัมสามารถจับกับ free water ในเห็ดได้ดี ช่วยป้องกันการเติบโตของผลึกน้ำแข็งในช่วงแรกของการละลาย และทำให้ผลึกมีการจัดเรียงตัวที่เป็นระเบียบ นอกจากนี้สารละลายกัมที่ใช้ยังทนต่อ freeze-thawing conditions ที่ดี (Whistler, 1993) ดังนั้นเมื่อละลายผลิตภัณฑ์ ผลึกน้ำแข็งที่มีขนาดเล็กจึงทำให้เนื้อเยื่อเห็ดเสียหายลดลง (Fennema, 1975) เห็ดจึงมีการสูญเสียน้ำและของแข็งที่ละลายได้ในน้ำระหว่างการละลายลดลงตามความเข้มข้นของกัมแต่ละชนิดที่สูงขึ้น ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับ Burt (1955) ที่ทดลองผลิต apple slice freezing โดยนำชิ้น apple หั่นที่ผ่านการลวกแล้วมาแช่ในสารละลาย CMC ความเข้มข้น 1% ก่อนนำไปแช่เยือกแข็งด้วยวิธีแช่เยือกแข็งแบบ I.Q.F พบว่าให้ค่า %thawing loss ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับทรีตเม้นต์ที่ไม่ผ่านการแช่สารละลาย CMC

เมื่อทำการหาค่า %total loss พบว่าการแช่เห็ดในสารละลาย guar gum 1%, CMC 1.2%, xanthan gum 0.75% และ LBG 0.5% มีค่าการสูญเสียน้ำหนักโดยรวมต่ำที่สุด ซึ่งสามารถ

ลดค่า %total loss เมื่อเปรียบเทียบกับการแช่เห็ดในน้ำได้ประมาณ 7, 6, 12 และ 6% ตามลำดับ เพราะการแช่เห็ดในสารละลายกัมความเข้มข้นดังกล่าวมีการสูญเสียน้ำและของแข็งที่ละลายได้ในน้ำระหว่างการลวกและการละลายต่ำ แต่สำหรับการแช่เห็ดในสารละลาย LBG 0.5% แม้จะมีการสูญเสียน้ำหนักในการลวกและการละลายค่อนข้างสูง แต่การสูญเสียน้ำหนักโดยรวมต่ำ เพราะมีค่า %weight gain ค่อนข้างสูง

ส่วนผลการวัดเนื้อสัมผัสของเห็ด (shear value) พบว่าเห็ดที่แช่สารละลายกัมความเข้มข้นสูง มีค่า shear value ต่ำ เพราะคุณสมบัติการเป็น strong water-holding ของสารละลายกัมที่ใช้ เห็ดจึงสามารถกักเก็บน้ำไว้ภายในเนื้อเยื่อได้ดี และช่วยลดการสูญเสียน้ำในกระบวนการผลิต เส้นใยเห็ดจึงไม่อัดตัวกันแน่น เมื่อทำการวัดค่า shear value โดยการตัดขวางเส้นใยเห็ดจึงใช้แรงตัดน้อยกว่า แสดงว่าเห็ดมีความเหนียวต่ำ ให้ผลคล้ายกับ Gormley (1984) ที่ทดลองแช่เห็ดแชมปิญองในสารละลาย xanthan gum 1% ในการผลิตเห็ดแช่เยือกแข็ง และทำให้เห็ดนุ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการแช่เห็ดในน้ำ

จากผลของค่า %weight gain, %blanching loss, % thawing loss, % total loss และ shear value จึงเลือกศึกษาการแช่เห็ดในสารละลาย guar gum 1% , CMC 1.2%, xanthan gum 0.75% และ LBG 0.5% ในการศึกษาขั้นต่อไปเพราะการแช่เห็ดในสารละลายความเข้มข้นดังกล่าวมีการสูญเสียน้ำหนักในกระบวนการแปรรูปน้อยและให้เห็ดที่มีความเหนียวต่ำ

6.3 ผลการศึกษาชนิดของกัมที่เหมาะสมต่อเนื้อสัมผัสและความสามารถในการอุ้มน้ำของเห็ด

ศึกษาหาชนิดของกัมที่เหมาะสมในการลดปัญหาการสูญเสียน้ำหนักและของแข็งที่ละลายได้ในน้ำระหว่างการแปรรูปเห็ดแช่เยือกแข็ง และเนื้อสัมผัสที่เหนียวขึ้น โดยทดลองแช่เห็ดตามวิธีในข้อ 4.2 เพื่อหาชนิดของกัมที่ให้ค่า %weight gain สูงที่สุด แต่ให้ค่า %blanching loss, %freezing loss, %thawing loss, %total loss และ shear value ของเห็ดต่ำที่สุด โดยศึกษากัม 4 ชนิด ตามความเข้มข้นที่ได้จากข้อ 5.2 ได้แก่ guar gum 1%, CMC 1.2%, xanthan gum 0.75% และ LBG 0.5% จากตารางที่ 5.3.1และ 5.3.2 พบว่าชนิดของกัมมีผลต่อค่า %weight gain, %blanching loss, % thawing loss, %total loss และ shear value ของเห็ดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่ไม่มีผลต่อค่า %freezing loss ของเห็ด ($p > 0.05$)

เมื่อพิจารณาค่า %weight gain พบว่าการแช่เห็ดในสารละลาย LBG มีค่า %weight gain สูงที่สุด อาจเป็นเพราะว่าสารละลาย LBG ที่ใช้มีความเข้มข้นต่ำ และจากโครงสร้างของ unsubstituted region หรือบริเวณ main chain ที่ไม่มี side chain สามารถรวมตัวกับสารบางอย่างในเนื้อเยื่อเห็ด และเกิดเป็นโครงร่างแหสามมิติอุ้มน้ำไว้ภายในโครงสร้างได้ (Whistler, 1993) จึงทำให้สารละลาย LBG สามารถแพร่เข้าไปและถูกกักเก็บไว้ภายในเนื้อเยื่อเห็ดได้มากกว่ากัมชนิดอื่นๆ ทำให้เห็ดมีน้ำหนักหลังแช่สารละลายกัมสูง

สำหรับค่า %blanching loss พบว่าการแช่เห็ดในสารละลาย LBG ให้ค่า %blanching loss สูงที่สุด อาจเป็นเพราะว่าโครงสร้างร่างแหระหว่าง LBG กับเนื้อเยื่อเห็ดถูกทำลาย เนื่องจากความร้อน ดังนั้นจึงเกิดการสูญเสียน้ำและของแข็งที่ละลายได้ในน้ำมาก ซึ่งต่างกับการแช่เห็ดในสารละลาย xanthan gum ซึ่งมีสมบัติในการทนอุณหภูมิสูงได้ดี จึงไม่สูญเสียเนื่องจากความร้อนการลวก (Glicksman, 1969) ดังนั้นเมื่อลวกเห็ดที่แช่สารละลาย xanthan gum เห็ดจึงสูญเสียน้ำและของแข็งที่ละลายน้ำได้ในขั้นตอนการลวกต่ำ

จากผลของค่า %freezing loss พบว่าการแช่เห็ดในสารละลาย guar gum, CMC, xanthan gum และ LBG มีการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการแช่เยือกแข็งไม่แตกต่างกัน เนื่องจากการแช่เยือกแข็งแบบไครโอจีนิคซึ่งเป็นการแช่เยือกแข็งอย่างรวดเร็ว จึงทำให้โอกาสการสูญเสียน้ำบริเวณพื้นที่ผิวของเนื้อเยื่อเห็ดระหว่างแช่เยือกแข็งต่ำ

ในส่วนของค่า %thawing loss พบว่าการแช่เห็ดในสารละลาย xanthan gum มีค่า %thawing loss ต่ำที่สุด เพราะ xanthan gum มีคุณสมบัติเป็น water binding เนื่องจากโครงสร้างของ xanthan gum มี trisaccharide ที่มีสมบัติเป็น anion เป็น side chain จึงสามารถจับกับ free water ในเนื้อเยื่อเห็ดได้ดีมากเมื่อเปรียบเทียบกับกัมชนิดอื่นๆ ทำให้โอกาสการเติบโตของผลึกน้ำแข็งขณะเก็บในสภาวะแช่เยือกแข็งมีน้อย อีกทั้ง xanthan gum ยังมีสมบัติการทน freeze-thawing conditions ที่ดีมาก (Glicksman, 1969) ดังนั้นเมื่อละลายผลึกน้ำแข็งจึงทำให้เนื้อเยื่อเห็ดเกิดความเสียหายน้อย เห็ดจึงมีการสูญเสียน้ำและของแข็งที่ละลายได้ในน้ำระหว่างการละลายต่ำ (Fennema, 1975)

ส่วนผลของ %total loss พบว่าการแช่เห็ดในสารละลาย xanthan gum ให้ค่า %total loss ต่ำที่สุด เพราะมีน้ำหนักหลังแช่กัมค่อนข้างสูง และมีการสูญเสียน้ำและของแข็งที่ละลายได้ในขั้นตอนการลวก และการละลายต่ำ การสูญเสียน้ำหนักโดยรวมจึงมีค่าน้อยที่สุด

สำหรับการวัดเนื้อสัมผัสของเห็ด (shear value) พบว่าเห็ดที่ผ่านการแช่ในสารละลาย xanthan gum มีค่า shear value ต่ำที่สุด เนื่องจากมีค่า %total loss น้อยที่สุด แสดงว่าเห็ดที่แช่

ในสารละลาย xanthan gum มีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดี เส้นใยเห็ดจึงไม่อัดตัวกันแน่น เมื่อทำการวัดค่า shear value โดยการตัดขวางเส้นใยเห็ดจึงใช้แรงตัดน้อยกว่า แสดงว่าเห็ดมีความเหนียวต่ำ

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 5.3.3 และ 5.3.4) พบว่าชนิดของกัมมีผลต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบด้านเนื้อสัมผัสของเห็ดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่ไม่มีผลต่อคะแนนด้านลักษณะปรากฏภายนอกและภายใน สี กลิ่นรส และความชอบรวม ($p > 0.05$) ในส่วนของเนื้อสัมผัส จะพบว่าการแช่เห็ดในสารละลาย xanthan gum และ LBG มีคะแนนการยอมรับสูง เนื่องจากมีการสูญเสียน้ำในกระบวนการแปรรูปโดยรวมต่ำ ดังนั้นเส้นใยในเนื้อเยื่อเห็ดจึงไม่อัดตัวกันแน่นจึงได้เห็ดที่มีเนื้อสัมผัสนุ่ม แต่เมื่อพิจารณาร่วมกับค่า shear value และการสูญเสียน้ำหนักแล้วจึงเลือกแช่เห็ดในสารละลาย xanthan gum 0.75%

6.4 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการแช่เยือกแข็งเห็ดด้วย air blast และ ไครโอจีนิค

6.4.1 ผลการศึกษาหาเวลาในการแช่เยือกแข็งแบบ air blast

การแช่เยือกแข็งเห็ดแบบ air blast ก่อนบรรจุถุง โดยอาศัยอากาศเย็นเคลื่อนที่ด้วยพัดลมเป็นตัวกลางนำความร้อนออกจากผลิตภัณฑ์ ในงานวิจัยนี้ใช้อุณหภูมิลมเย็นในตู้ประมาณ -32°C ศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิใจกลางดอกเห็ด และเวลาที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งแสดงดังรูปที่ 5 จากกราฟดังกล่าวพบว่าเวลาที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งเห็ดจนอุณหภูมิใจกลางผลิตภัณฑ์เท่ากับ -18°C คือ 52 นาที 40 วินาที ซึ่งต้องใช้พลังงานไฟฟ้าในการแช่เยือกแข็งทั้งสิ้น 1.45 kW

6.4.2 ผลการศึกษาหาระยะเวลาในการแช่เยือกแข็งด้วยวิธีไครโอจีนิคที่อุณหภูมิแช่เยือกแข็งต่างกัน

การหาเวลาในการแช่เยือกแข็งเห็ดก่อนบรรจุด้วยวิธีไครโอจีนิคโดยใช้ liquid nitrogen เป็นตัวกลาง จัดว่าเป็นการแช่เยือกแข็งที่มีอัตราเร็วสูง เนื่องจากไนโตรเจนเหลวมีอุณหภูมิต่ำมาก กล่าวคือ มีจุดเดือดประมาณ -196°C (Fellows, 1990) จากการทดลองแปรอุณหภูมิของการแช่เยือกแข็งเป็น -50, -60, -70 และ -80°C จากรูปที่ 6 พบว่าเวลาที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งเห็ดจนมีอุณหภูมิใจกลางผลิตภัณฑ์เท่ากับ -18°C คือ 19 นาที 20 วินาที, 12 นาที 50 วินาที, 11 นาที

40 วินาที และ 9 นาที 55 วินาที ตามลำดับ ซึ่งเห็นได้ชัดว่าการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิต่ำลงจะทำให้ใช้เวลาในการแช่เยือกแข็งลดลง เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิภายในเห็ดกับตัวกลางให้ความเย็นเพิ่มขึ้น การถ่ายเทความร้อนออกจากเห็ดจึงเกิดได้เร็ว แต่เมื่อเปรียบเทียบกับการแช่เยือกแข็งอาหารชนิดอื่นๆด้วยวิธีไครโอจีนิค พบว่าการแช่เยือกแข็งเห็ดใช้เวลาในการแช่เยือกแข็งค่อนข้างนาน (Fellows, 1990) เพราะลักษณะดอกเห็ดหลังจากผ่านการลวกจะยังคงมีช่องว่างระหว่างดอกเห็ดกับเปลือกหุ้มดอก ซึ่งทำให้เกิดการนำความร้อนออกจากเห็ดได้ช้าเนื่องจากอากาศเป็นฉนวนการนำความร้อน ดังจะพบว่าเมื่อผ่าดอกเห็ดแช่เยือกแข็งจะเห็นน้ำแข็งอยู่ตามช่องว่างภายในดอกเห็ด

6.4.3 ผลการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการแช่เยือกแข็งแบบไครโอจีนิค

ผลจากการแปรอุณหภูมิที่ใช้แช่เยือกแข็ง 4 ระดับ คือ -50, -60, -70 และ -80°C (ตารางที่ 5.4.1 และ 5.4.2) พบว่าอุณหภูมิที่ใช้แช่เยือกแข็งไม่มีผลต่อค่า %freezing loss อย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) แต่ค่า %freezing loss ของเห็ดมีค่าสูง ซึ่งปกติการแช่เยือกแข็งอาหารแบบไครโอจีนิคโดยทั่วไปควรจะมีค่า %freezing loss น้อยกว่าหรือเท่ากับ 1% (Fennema, Powrie and Marth, 1973) เนื่องจากดอกเห็ดมีลักษณะเป็นโพรงอากาศภายใน ทำให้ต้องใช้เวลาในการแช่เยือกแข็งนาน ดังนั้นโอกาสที่น้ำที่ผิวเห็ดจะสูญเสียเนื่องจากไอไนโตรเจนเย็นจัดที่พ่นลงมาสัมผัสกับเห็ดเป็นไปได้สูง จึงทำให้ค่า %freezing loss สูงกว่าการแช่เยือกแข็งอาหารชนิดอื่นด้วยวิธีไครโอจีนิค

ส่วนค่า %thawing loss พบว่าอุณหภูมิในการแช่เยือกแข็งมีผลต่อความแตกต่างของค่า %thawing loss อย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) โดยตัวอย่างที่ใช้อุณหภูมิแช่เยือกแข็ง -80°C มีค่า %thawing loss สูงที่สุด เนื่องจากอุณหภูมิการแช่เยือกแข็งต่ำมากดังกล่าว ทำให้อุณหภูมิระหว่างดอกเห็ดกับ freezing medium แตกต่างกันมาก ดังนั้นเซลล์บริเวณผิวเห็ดจึงเกิดการแตกเพราะน้ำในอาหารมีการเปลี่ยนสถานะเป็นน้ำแข็งอย่างรวดเร็วและเกิดการขยายปริมาตรของน้ำ (Fennema, Karel and Lund, 1975) จึงเกิดการสูญเสียน้ำระหว่างการละลายมากกว่าการแช่เห็ดที่อุณหภูมิสูงขึ้น สำหรับการแช่เยือกเห็ดแข็งที่อุณหภูมิ -70°C พบว่ามีค่า %thawing loss ต่ำกว่าการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -50 และ -60°C อาจเป็นเพราะว่าใช้เวลาในการแช่เยือกแข็งสั้นกว่าหรือมีอัตราการแช่เยือกแข็งสูง จึงทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กทั้งภายในและภายนอกเซลล์ในอัตราใกล้เคียงกัน แต่การแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิสูงขึ้นโอกาสที่จะเกิดผลึกน้ำแข็งภายนอก

เซลล์และผลึกน้ำแข็งมีรูปร่างไม่แน่นอนมีมากขึ้น เพราะการแช่เยือกแข็งที่มีอัตราการแช่เยือกแข็งช้าจึงทำให้เกิดการแข็งตัวของน้ำบริเวณนอกเซลล์ก่อนภายในเซลล์ และผลึกน้ำแข็งที่ได้จะมีความดันไอต่ำกว่าภายในเซลล์ ทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายน้ำจากภายในเซลล์สู่ภายนอกเซลล์ ผลึกน้ำแข็งภายนอกเซลล์จึงมีขนาดใหญ่ขึ้นและทิ่มแทงเซลล์ทำให้เกิดความเสียหาย เมื่อละลายน้ำแข็งเซลล์จะไม่สามารถกลับคืนสู่สภาพเดิมได้ (Fennema,Powrie and Marth, 1973)

ในส่วนของการวัดเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์หลังการละลายแสดงด้วยค่า shear value พบว่าการแช่เยือกเห็ดแข็งที่อุณหภูมิ -80°C ให้ค่า shear value ต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการแช่เยือกแข็งด้วยอุณหภูมิอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากการแช่เยือกแข็งเห็ดที่อุณหภูมิดังกล่าวเป็นการแช่เยือกแข็งที่มีอุณหภูมิต่ำมากจึงทำให้เกิดการขยายปริมาตรของน้ำอย่างรวดเร็ว เนื้อเยื่อเห็ดจึงเกิดการฉีกขาดซึ่งต่างจากการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -70°C ซึ่งมีค่า shear value ต่ำลงมา ทั้งนี้เพราะเป็นการแช่เยือกแข็งเห็ดที่อุณหภูมิต่ำแต่เป็นระดับที่ไม่ต่ำมากเกินไปจนทำให้เนื้อเยื่อเห็ดเกิดการฉีกขาด จึงทำให้มีอัตราเร็วในการแช่เยือกแข็งสูง (สูงกว่าอุณหภูมิ -50 และ -60°C ตามลำดับ) และเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กทั้งภายในและภายนอกเซลล์ การสูญเสียน้ำในขั้นตอนการละลายจึงต่ำที่สุด แสดงว่ายังคงมีน้ำเหลือในเนื้อเยื่อหลังการละลายเห็ดอยู่มาก ดังนั้นเส้นใยเห็ดจึงไม่อัดตัวกันแน่น เห็ดจึงมีเนื้อสัมผัสที่นุ่มหรือค่า shear value ต่ำ

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 5.4.3 และ 5.4.4) พบว่าอุณหภูมิที่ใช้แช่เยือกแข็งมีผลต่อคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏภายนอกและภายใน สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบรวมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยตัวอย่างที่ได้จากการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -80°C มีคะแนนด้านลักษณะปรากฏภายนอกและภายใน สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบรวมน้อยที่สุด เนื่องจากเป็นการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิที่ต่ำมากจึงทำให้เซลล์เห็ดเกิดการแตก ดังนั้นน้ำในเซลล์เห็ดจึงเคลื่อนย้ายออกมาภายนอกเซลล์ตามรอยแตกของเซลล์มาก ทำให้คะแนนด้านลักษณะปรากฏภายนอกต่ำเพราะผิวเห็ดเกิดการแตกร้าวไม่เป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบ และอุณหภูมิแช่เยือกแข็งที่ต่ำมากส่งทำผลให้เส้นใยเห็ดเกิดการฉีกขาด เห็ดหลังละลายมีเนื้อสัมผัสนิ่มเละไม่เป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบ คะแนนด้านเนื้อสัมผัสจึงน้อย และจากการฉีกขาดของเนื้อเยื่อดังกล่าวส่งผลทำให้เอนไซม์ในเนื้อเยื่อเห็ดถูกปลดปล่อยออกมารวมตัวกับสับสเตรทที่อยู่ในเนื้อเยื่อคนละชั้นของเห็ด (Emb and Markakis, 1966) ประกอบกับในขั้นตอนการละลายอุณหภูมิสูงขึ้นเอนไซม์จึงทำงานได้ดี ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในเนื้อเยื่อเห็ดสูง เห็ดจึงมีสีคล้ำไม่เป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบคะแนนด้านสีจึงต่ำ จากเหตุผลดังกล่าวที่ทำให้เห็ดมีคะแนนด้านลักษณะปรากฏภายนอกและภายใน สี กลิ่นรส และเนื้อสัมผัสน้อย

เป็นผลทำให้เห็ดที่ผ่านการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -80°C มีคะแนนความชอบรวมต่ำที่สุด ส่วนเห็ดที่ผ่านการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -70°C มีคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏภายนอกและภายใน สี กลิ่นรส และเนื้อสัมผัสสูง ทั้งนี้เพราะการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิดังกล่าวเป็นการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิต่ำแต่ไม่ต่ำเกินไปจนทำให้เซลล์แตก ทำให้มีอัตราการแช่เยือกแข็งเร็ว จึงเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กทั้งภายในและภายนอกเซลล์ (Fellows, 1990) ผลึกน้ำแข็งจึงทิ่มแทงเซลล์ให้เกิดการบาดเจ็บน้อย เห็ดจึงสูญเสียน้ำและสารที่ละลายได้ในน้ำรวมถึงกลิ่นรสต่ำ ทำให้เนื้อเยื่อเห็ดยังคงมีน้ำอยู่ภายในและสามารถคงกลิ่นรสของเห็ดไว้ได้มากกว่าการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ –50 และ -60°C ซึ่งมีอัตราการแช่เยือกแข็งที่ช้ากว่า เห็ดจึงมีเนื้อสัมผัสนุ่มทำให้การยอมรับด้านเนื้อสัมผัสและกลิ่นรสสูง ประกอบกับการที่น้ำเคลื่อนที่ออกมานอกเซลล์น้อยทำให้เห็ดจึงสามารถคงความเต่งตึงไว้ได้ ส่งผลทำให้คะแนนด้านลักษณะปรากฏภายนอกสูง นอกจากนี้ยังพบว่าการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -70°C มีการยอมรับด้านสีและลักษณะปรากฏภายในสูงที่สุด เพราะการที่ผลึกน้ำแข็งมีขนาดเล็กจึงทิ่มแทงเซลล์ให้เกิดการบาดเจ็บน้อยกว่าการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิสูงกว่าซึ่งให้ผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ ทำให้โอกาสที่เอนไซม์จะถูกปล่อยออกมารวมตัวกับสับสเตรทมีน้อย การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลต่ำ คะแนนด้านสีจึงสูง และผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กมีความสามารถในการทิ่มแทงเซลล์ให้เกิดการบาดเจ็บน้อย ลักษณะปรากฏภายในจึงไม่ช้ำมาก ดังนั้นจึงมีคะแนนด้านลักษณะปรากฏภายในสูง จากคะแนนการยอมรับด้านลักษณะปรากฏภายนอกและภายใน สี กลิ่นรส และเนื้อสัมผัสที่สูง จึงทำให้เห็ดที่ผ่านการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -70°C ได้รับคะแนนความชอบรวมสูงที่สุด

นอกจากนี้ได้ทำการทดลองหาปริมาณการใช้ liquid nitrogen ในการแช่เยือกแข็งผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ -50, -60, -70 และ -80°C เพื่อเปรียบเทียบปริมาณการใช้ liquid nitrogen พบว่าที่อุณหภูมิ -50°C เป็นอุณหภูมิที่ใช้ liquid nitrogen น้อยที่สุด เพราะการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิต่ำมีความแตกต่างของอุณหภูมิห้องและอุณหภูมิที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งมากกว่าการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิสูงกว่า แต่เมื่อพิจารณาประกอบกับการยอมรับทางประสาทสัมผัส %thawing loss และ shear value จึงเลือกอุณหภูมิ -70°C เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการแช่เยือกแข็งเห็ดแบบไครโอจีนิค สำหรับการทดลองต่อไป เนื่องจากมีคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสสูงและมีค่า %thawing loss และ shear value ต่ำ

สำหรับการแช่เยือกแข็งเห็ด 1 กรัม จากอุณหภูมิ 26°C เป็น -18°C พบว่าต้องใช้ liquid nitrogen 2.11 กรัม และสามารถดึงความร้อนออกจากเห็ดได้ 0.4 btu ดังแสดงผลการทดลองในภาคผนวก ก.5.2

6.5 ผลของวิธีการละลายเห็ดแช่เยือกแข็ง

การละลายผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีการต่างๆ มีผลต่อค่า %thawing loss และ shear value ของเห็ดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยการละลายเห็ดด้วยไมโครเวฟ ซึ่งเป็นการส่งผ่านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเข้าไปในผลิตภัณฑ์ทำให้โมเลกุลของน้ำและสารอื่นที่มีขั้วพยายามจัดเรียงตัวตามสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ในสนามแม่เหล็กไฟฟ้านี้โมเลกุลจะทำตัวเหมือนมี 2 ขั้ว และเมื่อหมุนรอบแกนโมเลกุลจะเรียงตัวตามขั้วบวกและขั้วลบ การเสียดสีภายในระหว่างโมเลกุลทำให้เกิดความร้อนขึ้น โดยปกติน้ำแข็งที่ละลายเป็นน้ำมักอยู่รอบนอกชิ้นอาหารซึ่งจะมีการนำความร้อนช้ากว่าน้ำแข็งด้านใน เนื่องจากน้ำมีค่า loss factor (พลังงานที่ถูกดูดกลืนระหว่างการเปลี่ยนพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นความร้อน) สูงกว่าน้ำแข็งมาก จึงทำให้เกิดการละลายของน้ำแข็งด้านในอย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงเกิดการเคลื่อนย้ายน้ำของผลึกน้ำแข็งที่ละลายแล้วภายในเซลล์ออกมาภายนอกเซลล์ (Fennema, 1975) มีผลทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการละลายด้วยวิธีนี้สูญเสียน้ำมาก หลังการละลายเห็ดจึงมีเนื้อสัมผัสเหนียวกว่าการละลายในตู้เย็น ซึ่งมีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่ผิวและภายในใจกลางดอกเห็ดน้อยกว่า ดังนั้นการละลายจะเป็นไปแบบช้าๆ ทำให้น้ำแข็งบริเวณผิวนอกและภายในผลิตภัณฑ์เกิดการละลายอย่างช้าๆในอัตราส่วนที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นค่า %thawing loss และ shear value ของเห็ดที่ละลายด้วยวิธีดังกล่าวจึงมีค่าต่ำที่สุด ผลการทดลองนี้จะคล้ายกับการทดลองของ Sanchez-Pineda delas Infantas, Arias-Sanchez and Gomez-Ruiz (1996) ที่ได้ศึกษาวิธีการละลายน้ำแข็งของหน่อไม้ฝรั่งที่ผ่านการแช่เยือกแข็งด้วยวิธี air blast อุณหภูมิ -30°C และเก็บในถุงพลาสติกที่อุณหภูมิ -20°C เป็นเวลา 6 เดือน โดยแปรวิธีการละลายน้ำแข็งเป็น 2 วิธี คือ ปล่อยให้ละลายช้าๆ ที่อุณหภูมิห้อง และแช่ในน้ำร้อนอุณหภูมิ 60°C จากการทดสอบผลทางเนื้อสัมผัสด้วยแรง shear value พบว่าการละลายตัวอย่างในถุงที่ปิดผนึกในน้ำร้อน จะให้เนื้อสัมผัสเหนียวกว่าตัวอย่างที่ปล่อยให้ละลายช้าๆที่อุณหภูมิห้อง

ผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส (ตารางที่ 5.5.3 และ 5.5.4) พบว่าวิธีการละลายมีผลต่อคะแนนด้านเนื้อสัมผัส และความชอบรวมของเห็ดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่ไม่มีผลต่อคะแนนด้านลักษณะปรากฏภายนอกและภายใน สี และ กลิ่นรสของเห็ด ($p > 0.05$) โดยตัวอย่างที่ละลายในตู้เย็นมีคะแนนความชอบรวมมากที่สุด อาจเป็นเพราะว่ามีคะแนนการยอมรับด้านเนื้อสัมผัสสูง เนื่องจากการละลายที่อุณหภูมิต่ำ มีการสูญเสียน้ำและสารที่ละลายน้ำได้น้อย ทำให้

เห็ดมีเนื้อสัมผัสนุ่มเนื่องจากมีน้ำภายในเนื้อเยื่อ ซึ่งเป็นลักษณะที่ผู้ทดสอบชอบมากกว่าการละลายที่อุณหภูมิสูง

6.6 ผลของวิธีแช่เยือกแข็ง วิธีบรรจุ และระยะเวลาในการเก็บรักษาที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเห็ดแช่เยือกแข็ง

นำเห็ดมาแช่เยือกแข็ง 2 วิธี คือ air blast และ ไครโอจีนิค โดยแปรวิธีการบรรจุเป็น 2 วิธี คือ บรรจุในสภาวะสุญญากาศและปกติ แล้วเก็บผลิตภัณฑ์ในตู้แช่เยือกแข็งอุณหภูมิ -18°C ประเมินผลโดยวิเคราะห์ค่า %thawing loss, shear value, ค่าความสว่าง (L) , ศึกษาโครงสร้างเซลล์ด้วย SEM , ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส และหาปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และราในผลิตภัณฑ์ ตรวจตัวอย่างเริ่มต้นเก็บและทุกๆ 1 เดือนเป็นเวลา 6 เดือน

ผลการวิเคราะห์ค่า %thawing loss (ตารางที่ 5.6.3-5.6.4) พบว่าวิธีการแช่เยือกแข็งและระยะเวลาการเก็บรักษามีอิทธิพลต่อค่า %thawing loss ของตัวอย่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยเห็ดที่แช่เยือกแข็งด้วย air blast มีค่า %thawing loss สูงกว่า เห็ดที่แช่เยือกแข็งแบบไครโอจีนิค เนื่องจากวิธีการแช่เยือกแข็งแบบ air blast เป็นวิธีที่มีอัตราการแช่เยือกแข็งที่ช้ากว่า จึงทำให้เกิดนิวเคลียสจำนวนน้อยและมีขนาดใหญ่ภายนอกเซลล์ เพราะขณะแช่เยือกแข็งความเข้มข้นของตัวถูกละลายในส่วนที่ยังคงเป็นของเหลวจะเพิ่มขึ้น และความดันไอจะค่อยๆลดลง การแช่เยือกแข็งที่ใช้อุณหภูมิในการแช่เยือกแข็งสูงหรือมีอัตราเร็วในการแช่เยือกแข็งต่ำ จะเกิดการดึงความร้อนออกจากผลิตภัณฑ์ได้ช้า ทำให้นิวเคลียสภายนอกเซลล์ไม่สามารถเติบโตผ่านผนังเซลล์เข้าไปภายในได้ ของเหลวภายในเซลล์จะไม่เกิดผลึกน้ำแข็ง แต่จะอยู่ในสภาพเย็นยิ่งยวด (super cooled) ทำให้ของเหลวนี้มีความดันไอสูงกว่าของเหลวภายนอกเซลล์ เมื่อระยะเวลาแช่เยือกแข็งนานขึ้นเซลล์จึงหดตัวเนื่องจากการแพร่ของน้ำจากภายในเซลล์ไปนอกเซลล์ และน้ำที่เคลื่อนที่ออกมาจะไปรวมตัวกับผลึกน้ำแข็งภายนอกเซลล์ทำให้ผลึกน้ำแข็งดังกล่าวโตขึ้น (Fennema and Powrie, 1964) ดังนั้นระหว่างการละลายเห็ดจึงมีการสูญเสียน้ำในเนื้อเยื่อสูงกว่าการแช่เยือกแข็งแบบไครโอจีนิค ซึ่งเป็นวิธีการแช่เยือกแข็งที่มีอัตราเร็วสูงและเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กทั้งภายในและภายนอกเซลล์ (Fellows, 1990) เมื่อระยะเวลาการเก็บมากขึ้นค่า %thawing loss จะมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากผลึกน้ำแข็งในผลิตภัณฑ์ไม่มีความคงตัว ในระหว่างการเก็บผลึกน้ำแข็งจะเกิดการตกผลึกใหม่ เนื่องจากความแตกต่างของพลังงานผิวหน้าระหว่างผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ หรือกล่าวได้ว่าผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กมีรัศมีส่วนโค้งน้อยกว่า

ดังนั้นผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กจึงมีสมบัติการละลายสูงกว่าผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ หรืออาจเกิดจากการรวมตัวของผลึกน้ำแข็งที่อยู่ใกล้กัน จึงทำให้ได้ผลึกขนาดใหญ่ขึ้นแต่มีจำนวนลดลงแม้จะเก็บผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิคงที่เมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้น เซลล์จึงเกิดความเสียหายของมากขึ้นตามระยะเวลาเก็บ (Mallett, 1993)

สำหรับผลการวิเคราะห์ค่า shear value ตามตารางที่ 5.6.5 พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างวิธีแช่เยือกแข็งและระยะเวลาการเก็บมีผลต่อค่า shear value อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยวิธีการแช่เยือกแข็งแบบไครโอจีนิค มีค่า shear value ต่ำกว่าการแช่เยือกแข็งแบบ air blast ในทุกๆ ช่วงของระยะเวลาเก็บ เนื่องจากวิธีไครโอจีนิค เป็นการแช่เยือกแข็งอย่างรวดเร็วซึ่งเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กทั้งภายในและภายนอกเซลล์ ทำให้มีการสูญเสียน้ำระหว่างการละลายน้อย (สอดคล้องกับค่า %thawing loss) ดังนั้นเส้นใยจึงไม่อัดตัวกันแน่น เมื่อทำการตัดขวางเส้นใยจึงใช้แรงตัดน้อยกว่า air blast ซึ่งมีค่า %thawing loss สูง และพบว่าเมื่อระยะเวลาเก็บนานขึ้นค่า shear value ของการแช่เยือกแข็งของเห็ดทั้ง 2 วิธี มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากผลของการเกิดการตกผลึกใหม่ระหว่างการเก็บรักษา ทำให้ผลึกน้ำแข็งมีขนาดใหญ่จึงมีผลทำให้เซลล์ได้รับความเสียหายและเกิดการสูญเสียน้ำมาก ดังนั้นเซลล์จึงเกิดการหดตัวค่า shear value สูงขึ้น

ในส่วนของการวิเคราะห์ค่าความสว่าง (L) พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างวิธีการแช่เยือกแข็งและระยะเวลาการเก็บ และผลของวิธีบรรจุกับระยะเวลาการเก็บมีผลต่อ L อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ตามตารางที่ 5.6.5 และ 5.6.6 โดยวิธีการแช่เยือกแข็งแบบไครโอจีนิค ให้ค่าความสว่างสูงกว่าการแช่เยือกแข็งด้วย air blast ในทุกๆช่วงของระยะเวลาการเก็บ เนื่องจากการแช่เยือกแข็งด้วยวิธีไครโอจีนิค ทำให้เนื้อเยื่อเกิดความเสียหายน้อยกว่า ดังนั้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ในระหว่างการละลายจึงต่ำกว่า เห็ดจึงมีค่าความสว่างสูงกว่าการแช่เยือกแข็งด้วย air blast และเมื่อพบว่าระยะเวลาการเก็บนานขึ้นค่าความสว่างของการแช่เยือกแข็งทั้ง 2 วิธี มีค่าลดลง เพราะการตกผลึกใหม่ทำให้ผลึกน้ำแข็งมีขนาดใหญ่ขึ้น เซลล์เห็ดจึงได้รับความเสียหายมากขึ้นตามระยะเวลาการเก็บ (Fennema, 1975) ส่วนผลของอิทธิพลร่วมระหว่างวิธีบรรจุและระยะเวลาเก็บ พบว่าเห็ดที่บรรจุในสภาวะสุญญากาศมีค่าความสว่างสูงกว่าการบรรจุแบบปกติหลังการเก็บตั้งแต่ 1 เดือนขึ้นไป เพราะการบรรจุแบบสุญญากาศมีการกำจัดออกซิเจนออกไป ทำให้ช่วยชะลอการทำงานของเอนไซม์ในการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้มากขึ้น และเมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้นทั้งเห็ดที่บรรจุแบบปกติและสุญญากาศมีค่าความสว่างลดลงเนื่องจากผลการเกิด freezer burn และการตกผลึกใหม่ จึงทำให้ผลึกน้ำแข็งมีขนาดใหญ่ขึ้น

เนื้อเยื่อเห็ดจึงฉีกขาดมากขึ้น เอนไซม์ในเนื้อเยื่อเห็ดจึงสามารถทำงานได้มากขึ้นตามระยะเวลาเก็บ

จากผลการศึกษาโครงสร้างภายในเห็ดด้วย SEM กำลังขยาย 500 เท่า ในเห็ดสด เห็ดแช่เยือกแข็งด้วย air blast และไครโอจีนิค และเห็ดแช่เยือกแข็งด้วยวิธี air blast และ ไครโอจีนิค ที่บรรจุแบบสุญญากาศและมีระยะเวลาเก็บ 6 เดือน พบว่าโครงสร้างภายในของเห็ดสดลักษณะมีเส้นใยที่เต่งตึงและจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ แต่เมื่อแช่เยือกแข็งเห็ดแบบ air blast และไครโอจีนิค จะพบว่าเส้นใยเห็ดมีลักษณะเหี่ยวย่นและเสียรูปร่างอย่างชัดเจน แต่จากการทดลองจะพบว่าการแช่เยือกแข็งเห็ดแบบไครโอจีนิค จะยังคงมีลักษณะของเส้นใยที่เหี่ยวย่นและแตกน้อยกว่าผลิตภัณฑ์ที่แช่เยือกแข็งด้วย air blast โครงสร้างภายในที่เกิดความเสียหายนี้เป็นผลมาจากผลึกน้ำแข็ง การแช่เยือกแข็งด้วย air blast ผลึกน้ำแข็งจะมีขนาดใหญ่และมักเกิดภายนอกเซลล์ ทำให้เซลล์เกิดความเสียหายมากกว่าการแช่เยือกแข็งด้วยไครโอจีนิค ซึ่งมีผลึกน้ำแข็งขนาดเล็ก กระจายทั้งภายนอกและภายในเซลล์ และเมื่อศึกษาผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งทั้ง 2 วิธี เมื่อระยะเวลาการเก็บ 6 เดือน พบว่าผลิตภัณฑ์ที่แช่เยือกแข็งแบบ air blast และไครโอจีนิค เส้นใยเห็ดจะมีลักษณะเหี่ยวย่นมากขึ้น เป็นผลจากการตกผลึกใหม่ในระหว่างการเก็บรักษา ผลึกที่เกิดขึ้นใหม่จะมีขนาดใหญ่ขึ้นจึงทำให้เซลล์เกิดความเสียหายมากขึ้น น้ำและของแข็งที่ละลายได้ในเซลล์จึงเกิดการเคลื่อนย้ายสู่ภายนอกเซลล์

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ผลการวิเคราะห์คะแนนเฉลี่ยของการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏภายนอกและภายใน สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบรวม (ตารางที่ 5.6.7-5.6.13) พบว่าวิธีการแช่เยือกแข็งมีอิทธิพลต่อคะแนนด้านลักษณะปรากฏภายนอกและภายใน เนื้อสัมผัส และความชอบรวม ($p \leq 0.05$) และวิธีการบรรจุมีอิทธิพลต่อคะแนนเฉลี่ยความชอบรวม ($p \leq 0.05$) ระยะเวลาเก็บมีอิทธิพลต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏภายนอกและภายใน กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบรวม ($p \leq 0.05$) มีอิทธิพลร่วมระหว่างวิธีการแช่เยือกแข็งกับระยะเวลาเก็บ และอิทธิพลร่วมระหว่างวิธีการบรรจุกับระยะเวลาเก็บต่อคะแนนด้านสี ($p \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาคะแนนลักษณะปรากฏภายนอก จะพบว่าเห็ดที่แช่เยือกแข็งแบบไครโอจีนิคจะมีคะแนนสูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่แช่เยือกแข็งโดยใช้ air blast เนื่องจากผู้ทดสอบมีความเห็นว่าผลิตภัณฑ์ที่แช่เยือกแข็งแบบไครโอจีนิค มีลักษณะผิวที่เต่งตึงและไม่เหี่ยวย่น ซึ่งผลดังกล่าวสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ค่า %thawing loss โดยพบว่าตัวอย่างที่แช่เยือกแข็งโดยใช้ air blast มีค่า %thawing loss สูงกว่าการแช่เยือกแข็งด้วยวิธีไครโอจีนิค และเมื่อพิจารณาผลของ

ระยะเวลาเก็บจะพบว่าผลิตภัณฑ์ที่มีระยะเวลาเก็บนานขึ้นจะมีคะแนนลดลง ซึ่งสอดคล้องกับค่า %thawing loss ที่สูงขึ้น เห็ดจึงมีการสูญเสียน้ำมากขึ้น และความแต่งตึงลดลง

ผลการพิจารณาลักษณะปรากฏภายในพบว่า การแช่เยือกแข็งผลิตภัณฑ์แบบไครโอจีนิค มีการยอมรับด้านลักษณะปรากฏภายในสูงกว่าการแช่เยือกแข็งด้วย air blast โดยผู้ทดสอบให้เหตุผลว่าการแช่แข็งด้วยวิธีไครโอจีนิคมีรอยช้ำน้อยกว่า เพราะการแช่เยือกแข็งแบบ air blast เป็นการแช่เยือกแข็งที่มีอัตราเร็วต่ำ ทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ภายนอกเซลล์ ซึ่งเป็นสาเหตุให้เนื้อเยื่อเห็ดได้รับความเสียหายมากกว่า

ผลการประเมินผลคะแนนเฉลี่ยการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสีพบว่า เห็ดที่แช่เยือกแข็งแบบไครโอจีนิค มีคะแนนด้านสีสูงกว่าแช่เยือกแข็งด้วย air blast เพราะการแช่เยือกแข็งแบบไครโอจีนิค ผลึกน้ำแข็งจะมีขนาดเล็ก เซลล์จึงได้รับความเสียหายน้อยกว่า ดังนั้นในขั้นตอนการละลายเอนไซม์ที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลจึงสามารถทำงานได้น้อยกว่าการแช่เยือกแข็งแบบ air blast ที่มีผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับค่า L ที่สูงของการแช่เยือกแข็งแบบไครโอจีนิค และพบว่าเห็ดที่แช่เยือกแข็งด้วยวิธี air blast และ ไครโอจีนิค เมื่อมีอายุการเก็บนานขึ้นจะมีคะแนนด้านสีลดลงเป็นผลจากการตกผลึกใหม่ในระหว่างการเก็บรักษาทำให้ผลึกน้ำแข็งโตขึ้นและมีจำนวนลดลง ส่วนผลของวิธีบรรจุพบว่าการบรรจุเห็ดในสภาวะสุญญากาศจะมีคะแนนการยอมรับสูงกว่าเห็ดที่การบรรจุในสภาวะปกติ เพราะการบรรจุในสภาวะสุญญากาศเป็นการบรรจุในสภาพที่ปราศจากออกซิเจนซึ่งเป็นส่วนที่จำเป็นในการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล ดังนั้นเห็ดที่บรรจุในสภาวะสุญญากาศจึงมีสีขาวกว่าพวกที่บรรจุในสภาวะปกติ และพบว่าในการบรรจุผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 วิธี เมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้นจะมีคะแนนการยอมรับลดลง (เห็ดมีสีคล้ำขึ้น) อาจเกิดจากการตกผลึกใหม่ผลึกจึงมีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้เอนไซม์ในการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลสามารถทำงานได้ดีขึ้น

จากผลการพิจารณาคะแนนการทดสอบด้านกลิ่นรส พบว่าเห็ดที่เก็บเป็นระยะเวลานานขึ้นจะมีการยอมรับด้านกลิ่นรสลดลง อาจเกิดจากการที่เห็ดมีการสูญเสียน้ำหลังการละลายเพิ่มขึ้น กลิ่นรสบางส่วนที่สามารถละลายได้ดีในน้ำจึงเกิดการสูญเสียไประหว่างการละลาย

พิจารณาผลการวิเคราะห์คะแนนการยอมรับด้านเนื้อสัมผัส พบว่าเห็ดที่แช่เยือกแข็งแบบไครโอจีนิค มีคะแนนด้านเนื้อสัมผัสมากกว่า air blast ทำให้เนื้อเยื่อเห็ดได้รับความเสียหายน้อยกว่า ดังนั้นจึงสามารถคงความนุ่มและความกรุบกรอบของเห็ดตามธรรมชาติได้มากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับค่า shear vale และเมื่อระยะเวลาการเก็บมากขึ้นเนื้อสัมผัสของเห็ดจะมีคะแนนลดลงเป็นผลจากการตกผลึกใหม่ระหว่างการเก็บรักษา

สำหรับผลคะแนนด้านความชอบรวม พบว่าเห็ดที่แช่เยือกแข็งแบบไครโอจีนิค จะมีคะแนนสูงกว่า air blast เพราะมีคะแนนด้านลักษณะปรากฏภายนอกและภายใน เนื้อสัมผัสดีกว่า ส่วนผลของวิธีการบรรจุพบว่าการบรรจุเห็ดแบบสุญญากาศมีคะแนนด้านความชอบรวมสูงกว่าการบรรจุแบบปกติเพราะมีคะแนนด้านสีสูงกว่า และพบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้นความชอบรวมของผลิตภัณฑ์จะมีค่าลดลงเพราะมีคะแนนด้านลักษณะปรากฏภายนอกและภายใน กลิ่นรส สี และเนื้อสัมผัสลดลง

การวิเคราะห์ผลของปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (TPC) และปริมาณยีสต์และราในผลิตภัณฑ์ พบว่าผลิตภัณฑ์เห็ดแช่เยือกแข็งจะมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราน้อยกว่าเห็ดสด เพราะการแช่เยือกแข็งจะทำให้ความเข้มข้นภายในเซลล์เพิ่มขึ้นทำให้ในอาหารมีปริมาณน้ำอิสระ a_w ลดลง ประกอบกับอุณหภูมิต่ำจึงไม่เหมาะแก่การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์บางชนิด เมื่อพิจารณาวิธีการแช่เยือกแข็งจะพบว่า การแช่เยือกแข็งด้วย air blast ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราน้อยกว่า เนื่องจาก air blast เป็นวิธีที่มีอัตราการแช่เยือกแข็งช้า ทำให้การเกิดผลึกน้ำแข็งเป็นไปอย่างช้าๆและมีขนาดใหญ่ ซึ่งไปทำลายเซลล์จุลินทรีย์ให้เสียหายมากกว่าการแช่เยือกแข็งแบบไครโอจีนิค ซึ่งเป็นการแช่เยือกแข็งที่มีอัตราเร็วสูงทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดเล็ก สม่ำเสมอ และมีลักษณะกลมมน จึงไปทำลายเซลล์จุลินทรีย์ได้น้อย (Fennema, 1975) ส่วนระยะเวลาการเก็บที่นานขึ้นทำให้แนวโน้มของปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราลดลง ทั้งนี้เนื่องจากเชื้อจุลินทรย์ที่ไม่ทนอุณหภูมิต่ำจะถูกทำลายเนื่องจากผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นในระหว่างการแช่เยือกแข็งและระหว่างการเก็บรักษาในสภาวะแช่เยือกแข็ง เกิดการเคลื่อนย้ายของน้ำแข็งเป็นผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้ความเข้มข้นภายในเซลล์จุลินทรีย์ โปรตีนในเซลล์ ผนังเซลล์ และเอนไซม์ของจุลินทรีย์เกิดการเปลี่ยนแปลง (Daudin, 1992)

6.7 ผลการหาสภาวะที่เหมาะสมของการแช่เห็ดในสารละลาย LBG ร่วมกับ xanthan gum ต่อเนื้อสัมผัสและความสามารถในการอุ้มน้ำของเห็ด

6.7.1 ผลการหาอัตราส่วนความเข้มข้นของสารละลาย LBG และ xanthan gum

ในการทดลองการหาชนิดของสารละลายกัมที่เหมาะสมตามข้อ 5.3 พบว่าชนิดและความเข้มข้นของสารละลายกัมที่เลือกได้ยังให้ค่า %total loss ที่สูงถึงประมาณ 17% ประกอบกับสมบัติของสารละลายผสมระหว่าง LBG และ xanthan gum สามารถเกิดโครงสร้าง gel ซึ่งเป็นโครงสร้างร่างแหสามมิติ ที่สามารถกักเก็บน้ำไว้ภายในได้ (Whistler, 1993) นอกจากนี้เมื่อพิจารณาถึงต้นทุนในการผลิตพบว่า xanthan gum และ LBG มีราคา 500 และ 400 บาท/กิโลกรัม ตามลำดับ ดังนั้นจึงได้ทดลองนำ LBG มาใช้ร่วมกับ xanthan gum เพื่อลดต้นทุนในการผลิต โดยทดลองหาอัตราส่วนความเข้มข้นสารละลายทั้ง 2 ชนิดที่เหมาะสม โดยแช่เห็ดในสารละลาย xanthan gum ซึ่งเป็นสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ก่อนเป็นเวลา 15 นาที แล้วจึงแช่ต่อในสารละลาย LBG เป็นเวลา 15 นาที ภายใต้สภาวะสุญญากาศ 30 นิ้วปรอท โดยแปรความเข้มข้นของสารละลาย xanthan gum : LBG เป็น 0.525% : 0.225%, 0.375% : 0.375% และ 0.225% : 0.525% พบว่าการแช่เห็ดในสารละลายความเข้มข้น 0.375% : 0.375% หรือมีอัตราส่วน xanthan gum : LBG เท่ากับ 1 : 1ให้ค่า %blanching loss, thawing loss, %total loss และ ค่า shear value ต่ำที่สุด อาจเป็นเพราะว่าโครงสร้างของ LBG ประกอบด้วย 2 ส่วน คือส่วนที่มี side chain และส่วนที่ไม่มี side chain ซึ่งส่วนที่ไม่มี side chain ของ LBG สามารถรวมตัวกับ xanthan gum ซึ่งมีลักษณะบิดเป็นเกลียวเหมือน helix และเกิดโครงสร้าง gel สามมิติกักเก็บน้ำไว้ภายในได้ (Whistler, 1993) ซึ่งคาดว่าอัตราส่วนของความเข้มข้นของสารละลายดังกล่าวเหมาะสมต่อการเกิดโครงสร้างร่างแหสามมิติ อาจเป็นเพราะมีปริมาณ xanthan gum และ LBG มาทำปฏิกิริยากัน พอดี แต่สำหรับความเข้มข้น xanthan gum : LBG เท่ากับ 0.525% : 0.225% และ 0.225% : 0.525% อาจมีปริมาณ LBG ที่น้อยเกินไปและมากเกินไปตามลำดับในการเกิดโครงสร้าง gel

6.7.2 ผลการหาความเข้มข้นและเวลาที่เหมาะสมของการแช่เห็ดในสารละลาย xanthan gum ร่วมกับ LBG

สำหรับกาผลศึกษาความเข้มข้นรวมและเวลาของการในแช่เห็ดในสารละลาย xanthan gum และ LBG ที่เหมาะสม พบว่าความเข้มข้นรวมของสารละลาย xanthan gum และ LBG มีอิทธิพลต่อค่า %weight gain, %blanching loss, total loss และ shear value ของเห็ดแช่เยือกแข็งอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยเห็ดที่แช่ในสารละลาย xanthan gum 0.25% ก่อน แล้วแช่ต่อในสารละลาย LBG 0.25% มีค่า %weight gain, %blanching loss, total loss และ shear value ต่ำที่สุด เนื่องจากที่ความเข้มข้นดังกล่าวเป็นระดับที่เหมาะสมของการแพร่ของสาระลายกัมเข้าไปในเนื้อเยื่อเห็ดและทำให้เกิดโครงสร้าง gel กักเก็บน้ำไว้ภายในได้ดี โดย gel ที่เกิดขึ้นไม่เสียสภาพเนื่องจากขั้นตอนการลวกและการละลาย ผลิตภัณฑ์จึงมีการสูญเสียน้ำหนักน้อย แต่การแช่เห็ดในสารลายความเข้มข้น 0.75% มีค่าการสูญเสียน้ำหนักที่สูง เนื่องจากความเข้มข้นดังกล่าวอาจสูงเกินไปทำให้แพร่เข้าไปในเนื้อเยื่อเห็ดได้น้อย ดังนั้นในเนื้อเยื่อเห็ดจึงมีปริมาณสารละลายกัมที่จะสามารถเกิดโครงสร้าง 3 มิติ กักเก็บน้ำได้น้อย

ส่วนผลของเวลาที่เหมาะสมของการแช่เห็ดในสารละลาย xanthan gum : LBG คือแช่เห็ดในสารละลาย xanthan gum ก่อนเป็นเวลา 20 นาที แล้วแช่ต่อในสารละลาย LBG เป็นเวลา 10 นาที จะได้เห็ดที่มีค่า shear value ต่ำที่สุด อาจเป็นเพราะสารละลาย xanthan gum เป็นสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่กว่า LBG จึงทำให้การแพร่ของ xanthan gum เข้าไปในเนื้อเยื่อเห็ดช้า

ดังนั้นจึงต้องใช้เวลาในการแช่นานกว่าการแช่เห็ดในสารละลาย LBG ซึ่งมีขนาดโมเลกุลเล็กกว่าจึงเลือกแช่เห็ดในสารละลาย xanthan gum 0.25% ก่อนเป็นเวลา 20 นาที แล้วจึงแช่ต่อในสาละลาย LBG 0.25% ต่อเป็นเวลา 10 นาที แล้วนำเห็ดที่ผ่านการแช่สารละลายกัมในสภาวะดังกล่าวมาเปรียบเทียบกับการแช่เห็ดในสารละลายกัมเพียงชนิดเดียว พบว่าการแช่เห็ดในสารละลาย xanthan gum ร่วมกับ LBG ที่สภาวะดังกล่าวสามารถลดค่าการสูญเสียน้ำหนักโดยรวม (%total loss) และ shear value ได้มากกว่าการแช่เห็ดในสารละลาย xanthan gum 0.75% เพียงอย่างเดียว ได้ถึงประมาณ 4% และ 2 N ตามลำดับ แสดงว่าเห็ดที่แช่ในสารละลาย xanthan gum ร่วมกับ LBG มีความนุ่มมากกว่าการแช่เห็ดในสารละลาย xanthan gum เพียงอย่างเดียว

6.8 ผลความเข้มข้นของสารละลาย glycine ที่เหมาะสม สำหรับการปรับปรุงกลิ่นรสของเห็ดแช่เยือกแข็ง

เนื่องจากผลิตภัณฑ์เห็ดแช่เยือกแข็งที่ได้จากข้อ 5.4 มีกลิ่นรสของเห็ดน้อย เพราะมีกลิ่นรสบางส่วนสูญเสียไปในขั้นตอนการลวกและการละลายน้ำแข็ง ทำให้ผู้ทดสอบมีข้อเสนอให้ปรับปรุงกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ ในการทดลองนี้เลือกใช้ glycine ในการปรับปรุงกลิ่นรสของเห็ดแช่เยือกแข็ง เนื่องจาก glycine เป็นกรดอะมิโนที่นิยมใช้ในการปรับปรุงกลิ่นรสในอาหารโดยทั่วไป ซึ่งจะทำให้อาหารมีรสอร่อยและกลมกล่อมขึ้น เพราะ glycine จะทำให้รสของ L-aspartic acid และ L-glutamic acid ซึ่งให้รส Umami ในเห็ดเด่นขึ้น ประกอบกับ glycine ที่เติมลงไปจะไปเสริมกลิ่นรสของ glycine ที่มีอยู่แล้วในเห็ด (Mau et al., 1997) ในการทดลองนี้ได้แช่เห็ดหลังการลวกใน cooling water ที่มีเติม glycine โดยแปรระดับความเข้มข้นของสารละลายเป็น 0, 0.5 และ 1% เพราะในขั้นตอนการลวกเห็ดจะมีการสูญเสียน้ำและของแข็งที่ละลายน้ำได้รวมถึงกลิ่นรสตามธรรมชาติของเห็ด ทำให้เนื้อเยื่อเห็ดเกิดการหดตัว แต่เมื่อนำเห็ดนั้นไปแช่น้ำเย็นหลังการลวกจะทำให้เกิดการดูดกลืนน้ำกลับเข้าไปในเนื้อเยื่อเห็ดอีกครั้ง โดยสังเกตได้จากผิวเห็ดที่เต่งตึงขึ้น ดังนั้นจึงคาดว่าเมื่อแช่เห็ดหลังการลวกใน cooling water ที่มี glycine ผสมอยู่ จะทำให้สารละลาย glycine บางส่วนสามารถแพร่เข้าไปในเนื้อเยื่อเห็ดได้ จากตารางที่ 5.8.1 และ 5.8.2 พบว่าการเติม glycine 0% ใน cooling water จะให้คะแนนการยอมรับด้านกลิ่นรสสูงสุด หรืออาจกล่าวได้ว่า glycine ไม่สามารถปรับปรุงกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์เห็ดแช่เยือกแข็งได้ เพราะผู้ทดสอบให้ความเห็นว่าตัวอย่างที่เติม glycine ให้กลิ่นรสไม่เหมือนเห็ดตามธรรมชาติ แต่มีกลิ่นรสเหมือนผงชูรส จึงให้คะแนนสำหรับตัวอย่างที่มี glycine ต่ำกว่า

สำหรับแบบทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรส (ภาคผนวก ง.2) มีการใช้คำอธิบายถึงลักษณะของกลิ่นรสเห็ดไม่ชัดเจนพอ ซึ่งอาจพิจารณาได้ว่ามีการใช้คำอธิบายลักษณะกลิ่นรส 2 คำ บนสเกลเดียวกัน แต่ในความหมายของแบบทดสอบที่ใช้ต้องการอธิบายลักษณะกลิ่นรสเห็ด 6 ระดับ คือ

1 หมายถึง มีกลิ่นรสแปลกปลอมมากและไม่มีกลิ่นรสเห็ดตามธรรมชาติเลย

2 หมายถึง มีกลิ่นรสแปลกปลอมปานกลางและมีกลิ่นรสเห็ดตามบ้าง

3 หมายถึง มีกลิ่นรสแปลกปลอมเล็กน้อยและมีกลิ่นรสเห็ดตามธรรมชาติเล็กน้อย

4 หมายถึง มีกลิ่นรสเห็ดตามธรรมชาติเล็กน้อยและมีกลิ่นรสแปลกปลอมบ้าง

5 หมายถึง มีกลิ่นรสเห็ดตามธรรมชาติปานกลางและมีกลิ่นรสแปลกเล็กน้อย

6 หมายถึง มีกลิ่นรสเห็ดตามธรรมชาติมากและไม่มีกลิ่นรสแปลกปลอมเลย

หากมีการทำการประเมินผลทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรสในโอกาสต่อไป จึงน่าจะใช้คำอธิบายถึงลักษณะกลิ่นรสตามที่กล่าวไว้ข้างต้น ซึ่งน่าจะให้ความหมายชัดเจนกว่าการใช้คำอธิบายตามแบบทดสอบในภาคผนวก ง.2