บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 วิเคราะห์ความแก่อ่อนและองค์ประกอบทางเคมีของถั่วเหลืองฝักสด

5.1.1 การวิเคราะห์ปัจจัยเกี่ยวกับความแก่อ่อน

การตรวจสอบคุณภาพด้านความแก่อ่อนของวัตถุดิบประเภทผักผลไม้ นับว่ามีความสำคัญมากก่อนที่จะนำไปแปรรูป เพราะจะทำให้สามารถวัดระดับชั้นคุณภาพของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์สุดท้ายได้ และเป็นเครื่องชี้ว่าวัตถุดิบนั้นเหมาะที่จะนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์หรือบริโภคสด การตรวจสอบคุณภาพและความแก่อ่อนของวัตถุดิบจำพวกผักชนิดต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น ข้าวโพด หน่อไม้ฝรั่ง ถั่วแขก ถั่วลันเตา ถั่วเหลืองฝักสด อาจทำได้หลายวิธีทั้งทางกายภาพและเคมี เช่น การวัดขนาดเมล็ด ความถ่วงจำเพาะ ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำตาล ปริมาณเปลือกหุ้มเมล็ด ปริมาณแป้ง ปริมาณสารที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์

ปริมาณสารที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์ในผักจะเป็นองค์ประกอบพวกแป้ง เยื่อใย เพคติน โปรตีน (Luh and Woodroof , 1975)โดยความชื้น ปริมาณน้ำตาล และปริมาณโปรตีน จะลดลงเมื่ออายุการเก็บเกี่ยวมากขึ้น ส่วนสารที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์ เปลือกหุ้มเมล็ด และแป้ง มีปริมาณเพิ่มขึ้น เมื่ออายุการเก็บเกี่ยวมากขึ้น

สำหรับวัตถุดิบที่ใช้ในงานวิจัย คือ ถั่วเหลืองฝักสดที่มีระยะเก็บเกี่ยว 75 วัน หลังจากการงอก โดยเก็บเกี่ยวในตอนเช้า และส่งถึงอาคารปฏิบัติการแปรรูปอาหารในช่วงบ่าย และนำมาวิเคราะห์ปัจจัยที่บ่งบอกถึงความแก่อ่อน พบว่ามีความชื้น 69.39 $\pm$ 0.39% ปริมาณสารที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์ 12.04 $\pm$ 0.09 % ขนาดเมล็ดโดยมีความยาว 1.50 $\pm$ 0.90 ซ.ม. ความกว้าง 0.97 $\pm$ 0.06 ซ.ม. และความหนา 0.74 $\pm$ 0.02 ซ.ม. จำนวนเมล็ด/100 กรัม 204.00 $\pm$ 6.00 ความแน่นเนื้อของเมล็ด 885.13 $\pm$ 30.70 กรัม – แรง (g – force) ซึ่งคุณภาพของถั่วโดยรวมตามองค์ประกอบที่กล่าวมาข้างต้นอยู่ในเกณฑ์ที่พอดีคือจะได้ถั่วที่มีเมล็ดเต่งฝักมีสีเขียวสด เนื้อสัมผัสไม่แข็ง และมีรสชาติหวาน หากเก็บเกี่ยวถั่วเหลืองฝักสดในระยะช้ากว่านี้ ก็จะได้ถั่วที่มีคุณภาพในด้านต่าง ๆ ลดลง เช่น ลักษณะปรากฏ รสชาติ กลิ่น เนื้อสัมผัส และคุณค่าทางอาหาร โดยฝักจะเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลือง ความหวานจะลดลง และเมล็ดจะแข็งและเหนียวขึ้น นอกจากนี้ มีการวิเคราะห์องค์ประกอบอื่น ๆ ของวัตถุดิบ ได้แก่ ปริมาณคลอโรฟิลล์ 4.67 $\pm$ 0.07 mg/l และวัดค่าสีทางกายภาพซึ่งจะแสดงผลในรูปของค่า L, a , b โดยค่าสี L เป็น

ค่าของความสว่าง เริ่มจากสีขาว (ค่า L เป็น 100) ไปสีดำ (ค่า L เป็น 0) ค่า a เป็นค่าของสีหลัก ถ้าเป็นสีแดง (ค่า a เป็น +) และสีเขียว (ค่า a เป็น -) ในขณะที่ค่า b เป็นค่าสีเหลือง (ค่า b เป็น +) และสีน้ำเงิน (ค่า b เป็น -) (Baker และคณะ , 1988) และนอกจากนี้ยังนิยมรายงานผลในรูป ค่าอัตราส่วนความเข้มสีเขียว (-a/b) ถั่วเหลืองฝักสดจะให้ความสว่าง (L) 64.60 $\pm$ 2.70 ค่าสีเขียว (-a) –14.65 $\pm$ 0.48 ค่าสีเหลือง (b) เท่ากับ 29.55 $\pm$ 0.52 และอัตราส่วนความเข้มสีเขียว (-a/b) 0.50 $\pm$ 0.01 ซึ่งจะได้ถั่วที่มีสีเขียวเข้มซึ่งสามารถใช้ค่านี้ทำการเปรียบเทียบสีของถั่วเหลืองฝักสดที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อผ่านกระบวนการแปรรูปขั้นต่างๆ ได้

5.1.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

เนื่องจากในระหว่างการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองฝักสดจะมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีตลอดเวลา ดังนั้นระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวจึงมีความสำคัญต่อองค์ประกอบทางเคมีของถั่วเหลืองฝักสดซึ่ง จะส่งผลถึงคุณภาพของถั่วเหลือง เช่น สีของฝัก รสชาติ กลิ่น เนื้อสัมผัส และคุณค่าทางอาหาร ดังนั้นถ้าเก็บเกี่ยวในระยะที่ไม่เหมาะสมโดยเก็บเกี่ยวในระยะที่แก่มากฝักจะเริ่มมีสีเหลืองเนื้อจะแข็งมาก เนื่องจากจะมีเสี้ยนมาก ความหวานลดลง เนื่องจากปริมาณน้ำตาลซูโครส และกรดอะมิโนที่มีผลต่อ รสชาติของถั่วจะลดลงเมื่อถั่วเริ่มแก่ (Masuda , cited in shanmugasundarm ,1991 : 92 – 102)

องค์ประกอบทางเคมีของถั่วที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย ความชื้น 69.39 $\pm$ 0.39% โปรตีน 13.22 $\pm$ 1.28% ไขมัน 7.21 $\pm$ 0.12% เส้นใย 1.54 $\pm$ 0.04% เถ้า 1.89 $\pm$ 0.03% คาร์โบไฮเดรต 6.75 $\pm$ 0.81% องค์ประกอบทางเคมีของถั่วเหลืองฝักสดนอกจากจะขึ้นอยู่กับอายุการเก็บเกี่ยวแต่ยังขึ้นอยู่กับพันธุ์ พื้นที่สภาพแวดล้อมในการปลูก และการดูแลรักษาในระหว่างการปลูก จึงทำให้องค์ประกอบทางเคมีต่างๆ เหล่านี้มีปริมาณไม่เท่ากันแต่โดยทั่วไปจะไม่แตกต่างกันมากนัก

5.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการลวก

การลวกเป็นขั้นตอนสำคัญ ในการเตรียมวัตถุดิบ ก่อนที่จะแปรรูป ไม่ว่าจะเป็นการแช่เยือกแข็งหรือบรรจุกระป๋อง ทั้งนี้เพื่อกำจัดก๊าซออกซิเจน และน้ำบางส่วนที่มีในเนื้อเยื่อเพื่อเป็นการช่วยลดปฏิกริยาออกซิเดชั่นที่จะเกิดขึ้น ขจัดสารให้กลิ่นที่ไม่ดี เช่น กลิ่นเหม็นเขียว ช่วยทำลายเอนไซม์ต่าง ๆ ซึ่งก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเช่น สี เนื้อสัมผัส กลิ่นรส ตลอดจนคุณค่าทาง

โภชนาการ เอนไซม์ที่สำคัญได้แก่ เอนไซม์ไลพอกซีจีเนส (Lipoxygenase) เอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (Peroxidase) เอนไซม์คลอโรฟิลล์เลส (Chlorophyllase) (Luh and Woodroof,1975)

การลวกสามารถทำได้หลายวิธีคือการใช้ไอน้ำ การใช้น้ำร้อน และการใช้ไมโครเวฟ ในระบบอุตสาหกรรมทั่วไป นิยมลวกผักโดยใช้ไอน้ำ ทั้งนี้เพราะไอน้ำสามารถให้พลังงานความร้อนต่อหน่วยน้ำหนัก ได้สูงกว่าน้ำเดือด กล่าวคือ ไอน้ำมีพลังงานความร้อนแฝงในการกลายเป็นไอสูงถึง 540 แคลอรีต่อกรัม (Latent heat of vapourization) ในขณะที่น้ำเดือด 1 กรัม ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จะมีพลังงานความร้อนเพียง 100 แคลอรี (สินธนา สุคันธา , 2535) ดังนั้นไอน้ำจึงมีประสิทธิภาพในการทำลายเอนไซม์ได้ดีกว่าน้ำเดือด อีกทั้งการสูญเสียสารอาหาร ที่ละลายไปกับน้ำที่ใช้ในการลวกจะต่ำกว่าเช่นกัน

ดังนั้นการวิจัยในครั้งนี้ จึงเลือกใช้ไอน้ำในการลวกถั่วเหลืองฝักสด เนื่องจากการทดลองของ Nordstrom และ Sistrunk (1979) ซึ่งได้ศึกษาเปรียบเทียบการลวกถั่วด้วยไอน้ำและน้ำร้อน พบว่า การลวกด้วยไอน้ำ จะได้ถั่วที่มีความแน่นเนื้อมากกว่า เพราะไอน้ำมีความสามารถในการถ่ายเทความร้อน เข้าสู่เนื้อเยื่อของถั่วได้รวดเร็ว จึงใช้เวลาสั้นในการลวกและยับยั้งเอนไซม์ทำให้เกิดการทำลายของเนื้อเยื่อน้อย จึงทำให้ แป้ง และ เพคติน ละลายออกมาน้อย โมเลกุลยังจับกันแน่น ทำให้ถั่วที่ลวกด้วยไอน้ำมีความแน่นเนื้อมากกว่า และมีคุณค่าทางอาหารเหลืออยู่มากกว่า

การทดลองนี้ ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการลวกโดยเลือกใช้เอนไซม์เปอร์ออกซิเดสเป็นตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพในการลวก เนื่องจากเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส เป็นเอนไซม์ที่ทนความร้อนมากที่สุด สามารถใช้เป็นดัชนีที่แสดงถึงความเพียงพอต่อการลวก (Williams et al., 1986) นอกจากนี้ยัง สามารถตรวจสอบได้ง่ายโดย ตรวจสารสีน้ำตาลเตตระกูไอคอล (Tetraguaiacol) จากการทำปฏิกริยาระหว่างกูไอคอล (Guaiacol) กับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide) หากไม่เปลี่ยนสีภายใน 3.5 นาที แสดงว่าแอคติวิตีของเอนไซม์ถูกทำลาย จากการทดลองลวกถั่วโดยใช้ไอน้ำ แปรอุณหภูมิในการลวกเป็น 1 , 2, 3, 4, และ 5 นาที ได้ผลตามตารางที่ 4.3 ซึ่งพบว่าการลวกด้วยไอน้ำที่เวลา 2, 3, 4, และ 5 นาที สามารถยับยั้งแอคติวิตีของเอนไซม์เปอออกซิเดสได้ นั่นคือ ไม่เกิดการเปลี่ยนสีภายในระยะเวลาที่กำหนด ดังนั้นจึงเลือกภาวะการลวกโดยใช้ไอน้ำที่เวลา 2 นาที เนื่องจากเป็นเวลาที่ต่ำที่สุด ที่สามารถยับยั้งเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสได้

5.3 การผลิตถั่วฝักสดในน้ำเกลือบรรจุกระป๋อง

5.3.1 ศึกษาความคงตัวของสีเขียวในถั่วเหลืองฝักสดในน้ำเกลือบรรจุกระป๋อง

โดยแช่เมล็ดถั่วในสารละลายที่เป็นด่าง ได้แก่ โซเดียมคาร์บอเนต แคลเซียมไฮดรอกไซด์ แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ และ แคลเซียมคลอไรด์ที่ระดับ 0.5 % w/w เป็นเวลา 60 นาทีเปรียบเทียบกับถั่วตัวอย่างควบคุม ที่เก็บอุณหภูมิ 4 ^{0}C เป็นเวลา 60 นาที จากผลการทดลอง (ตารางที่ 4.4) พบว่าการแช่ถั่วด้วยแคลเซียมคลอไรด์ จะได้ถั่วบรรจุกระป๋องที่มีพีเอชน้อยที่สุด คือ 6.19แต่สามารถรักษาปริมาณคลอโรฟิลล์รวมไว้ได้มากที่สุด คือ 2.78 mg/l แต่เมื่อมาพิจารณาโดยรวมแล้วพบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ก็ไม่ได้แตกต่างกันมากนัก โดยฉพาะอย่างยิ่งเมื่อแช่ด้วย แคลเซียมคลอไรด์ แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ และถั่วตัวอย่างควบคุม ที่เก็บอุณหภูมิ 4 ^{0}C โดยจะมีปริมาณคลอโรฟิลล์ 2.78, 2.73 และ 2.73 mg/l ตามลำดับ และปริมาณพีเอชที่วัดได้ก็ค่อนข้างเป็นกลาง แสดงว่าการแช่ถั่วในสารละลายด่างจากการทดลองในข้อนี้ ไม่สามารถรักษาปริมาณคลอโรฟิลล์ของถั่วหลังจากการบรรจุกระป๋องไว้ได้ เพราะให้ผลไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม เนื่องจากการแช่ถั่วเป็นการแช่ในขั้นตอนก่อนการลวก ทำให้สารละลายด่างซึมผ่านเข้าไปในเนื้อเยื่อเมล็ดถั่วได้น้อย ซึ่งจะสังเกตได้จากค่าพีเอชในถั่วบรรจุกระป๋องจะมีพีเอชเพิ่มขึ้นน้อยมาก ทำให้การใช้สารละลายด่างจากการทดลองนี้ไม่สามารถรักษาปริมาณคลอโรฟิลล์ไว้ได้ และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณคลอโรฟิลล์ในถั่วสดก่อนที่จะบรรจุกระป๋อง(ตารางที่4.1) โดยมีค่าเท่ากับ 4.67 mg/l และเมื่อนำมาบรรจุกระป๋องปริมาณคลอโรฟิลล์จะลดลงถึง 50 % ทั้งนี้เนื่องมาจาก การเกิดปฏิกริยาฟีโอไฟติไนเซชัน (Pheophytinization) ซึ่งในระหว่างการแปรรูป ส่วนมากจะเกิดปฏิกริยาในรูปแบบนี้ เนื่องจากความร้อนสามารถเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของพลาสติด(Plastid) ทำให้กรดอินทรีย์ ซึ่งเป็นกรดซิตริกที่อยู่ในเนื้อเยื่อของเมล็ดถั่ว ซึ่งละลายอยู่ใน Cell sap ของแวคคิวโอ สามารถผ่านเข้าไปในคลอโรพลาส เข้าสัมผัสคลอโรฟิลล์ที่อยู่ภายใน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลล์ไปเป็นฟีโอไฟทิน (Pheophytin) จะมีการเปลี่ยนแปลงจากสีเขียวใสหรือสว่าง(Bright green) ไปเป็นสีเขียวมะกอก (Olive green) และต่อมาเป็นสีเขียวปนน้ำตาลของฟีโอไฟทิน ซึ่งเป็นการแทนที่โดยมีการแยกแมกนีเซียมที่เกาะอยู่กับฟอร์ไฟรีนออกและแทนที่ด้วยไฮโดรเจนเข้าไปในโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ ปฏิกริยานี้เกิดได้เร็วในสารละลายกรด และเกิดได้น้อยหรือไม่เกิดเลยในสารละลายมีค่าพีเอชเท่ากับ 8 หรือมากกว่า(Clydesdale and Francis,1975)

ส่วนผลของสารแช่ต่อค่าน้ำหนักเนื้อ ความแน่นเนื้อ และความใสของน้ำเกลือ (ตารางที่ 4.6) พบว่า ถั่วที่แช่ด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ จะมีความแน่นเนื้อและความใสของน้ำ

เกลือมากที่สุด แต่มีน้ำหนักเนื้อน้อยที่สุด เนื่องจากเกลือแคลเซียมจะช่วยให้โครงสร้างเซลล์คงรูปอยู่ได้ทำให้สารเพคตินที่เชื่อมเซลล์ต่าง ๆ เข้าด้วยกัน อยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำ ของแคลเซียมเพคเตตและเพคติเนต (ประสิทธิ์ อติวีระกุล, 2527) ส่วนถั่วที่ได้จากการแช่ด้วยโซเดียมคาร์บอเนต จะมีลักษณะนิ่มเละอย่างเห็นได้ชัด และมีความแน่นเนื้อ น้ำหนักเนื้อ และความใสเป็นไปในทางตรงข้ามกับถั่วที่แช่ด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Van Buran และคณะ (1990) ซึ่งศึกษาผลของเกลือต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของถั่วแขก (Snap bean) พบว่า น้ำเกลือพวกโมโนวาเลนต์ (Monovalent) เช่น โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) จะมีผลในการลดความแน่นเนื้อ ขณะที่เกลือพวกไดวาเลนต์ (Divalent) เช่น แคลเซียมไฮดรอกไซด์ $Ca(OH)_2$ แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) จะช่วยเสริมความแน่นเนื้อให้มากขึ้นซึ่งจะสอดคล้องกับการทดสอบผลทางด้านประสาทสัมผัส (ตารางที่ 4.10) พบว่าถั่วที่แช่ด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ มีคะแนนความแน่นเนื้อสูงสุด คือ 6.77 และที่แช่ด้วยโซเดียมคาร์บอเนต มีคะแนนความแน่นเนื้อต่ำสุดคือ 2.64 แต่คะแนนการยอมรับรวมของถั่วที่แช่ด้วยแคลเซียมคลอไรด์จะมีคะแนนสูงสุดคือ 8.25 ซึ่งมากกว่าการแช่ด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ เนื่องจากถั่วที่แช่ด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่แข็งและเหนียวมากเกินไป จึงทำให้มีคะแนนการยอมรับรวมที่ต่ำ

จากผลการทดสอบข้างต้น พอที่จะสรุปได้ว่า การรักษาความคงตัวของสีเขียวของถั่วเหลืองฝักสดในน้ำเกลือบรรจุกระป๋อง โดยการแช่สารชนิดต่าง ๆ ได้แก่ โซเดียมคาร์บอเนต แคลเซียมไฮดรอกไซด์ แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ และแคลเซียมคลอไรด์ โดยนำมาเปรียบเทียบกับถั่วตัวอย่างควบคุมที่เก็บที่อุณหภูมิ 4 ^{0}C เมื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ถึงแม้จะให้ผลที่แตกต่างกัน แต่ก็ไม่แตกต่างกันมากนัก เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสารแช่แต่ละชนิด และระหว่างสารแช่ชนิดต่าง ๆ กับตัวอย่างควบคุม แสดงว่าตัวอย่างควบคุมที่เก็บที่อุณหภูมิต่ำคือ 4 ^{0}C ก็สามารถช่วยรักษาปริมาณคลอโรฟิลล์ไว้ได้ ส่วนการแช่ถั่วในสารต่าง ๆ นั้น เป็นการแช่ถั่วก่อนจะนำมาลวก ดังนั้นการซึมผ่านของสารละลายต่าง ๆ เข้าไปในเนื้อได้น้อย และการแช่ก็ใช้ระยะเวลาน้อยแค่ 1 ชั่วโมงเท่านั้น ดังนั้นจึงทำให้การใช้สารเคมีในการแช่เพื่อรักษาความคงตัวของสีเขียวได้ผลไม่ดีเท่าที่ควร

การพยายามหาวิธีการที่จะรักษาปริมาณคลอโรฟิลล์ในผลิตภัณฑ์ผักไว้ให้ได้ เช่น การใช้สารละลายด่าง หรือการใช้กระบวนการ HTST (อุณหภูมิสูง ช่วงเวลาสั้น) ในการหุงต้มผัก จะให้ผลเป็นที่น่าพอใจ เฉพาะช่วงที่ผลิตอาหารเสร็จใหม่ ๆ แต่เมื่อเก็บรักษาไว้ปริมาณคลอโรฟิลล์จะลดลง (Fennema ,1996)

แต่จากการวิจัยพบว่า การใช้สารละลายด่างนอกจากจะช่วยรักษาปริมาณคลอโรฟิลล์ไว้แล้ว ยังช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสของถั่วด้วย โดยเฉพาะแคลเซียมคลอไรด์ เนื่องจากแคลเซียมคลอไรด์ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสดีที่สุด และแคลเซียมคลอไรด์ยังสามารถละลายน้ำได้ดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับสารชนิดอื่น จึงเลือกแคลเซียมคลอไรด์สำหรับการศึกษาขั้นต่อไป

5.3.2 การศึกษาเปรียบเทียบผลของการแช่และการเติมแคลเซียมคลอไรด์ต่อคุณภาพของถั่วเหลืองฝักสดในน้ำเกลือบรรจุกระป๋อง

กระบวนการแปรรูปอาหารโดยให้ความร้อนกับผักและผลไม้ จะทำให้ผักและผลไม้นั้นเกิดความอ่อนนุ่ม เนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเซลล์ จึงต้องมีการรักษาเนื้อเยื่อของเซลล์ให้มีความสมบูรณ์ไว้เพื่อให้เกิดพันธะที่มั่นคง ระหว่างองค์ประกอบของผนังเซลล์ โดยการใช้เกลือแคลเซียม (Ca – salt) ในการลวกหรือการแช่ผักและผลไม้ สำหรับเกลือแคลเซียมที่นิยมใช้ในการรักษาความคงตัว ของเนื้อเยื่อผักและผลไม้มีหลายชนิด เช่น แคลเซียมไฮดรอกไซด์ แคลเซียมคลอไรด์ แคลเซียมซิเตรต แคลเซียมซัลเฟต เป็นต้น และสำหรับงานวิจัยนี้จะใช้แคลเซียมคลอไรด์ในการศึกษา

โดยนำเมล็ดถั่วเหลืองฝักสด ที่ผ่านการแกะเปลือกแล้ว มาแช่ในแคลเซียมคลอไรด์ 0.5 % w/w เป็นเวลา 60 นาที ก่อนที่จะนำมาลวกและบรรจุกระป๋อง โดยนำมาเปรียบเทียบกับถั่วเหลืองฝักสดที่เติมแคลเซียมคลอไรด์ 0.5 % w/w ในน้ำเกลือแล้วนำมาบรรจุกระป๋อง ประเมินผลโดยวัดค่าสี , พีเอช (pH) น้ำหนักเนื้อ ความแน่นเนื้อ ความใสของน้ำเกลือ และประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ(ตารางที่ 4.13 และ 4.15) พบว่า การแช่และการเติมแคลเซียมคลอไรด์ 0.5% w/w ในถั่วเหลืองฝักสดในน้ำเกลือบรรจุกระป๋อง ไม่มีผลต่อค่าความสว่าง (L) ค่าสีเขียว (-a) ค่าสีเหลือง (b) และอัตราส่วนความเข้มสีเขียว (-a / b) ($p>0.05$) แต่มีผลต่อค่าพีเอช น้ำหนักเนื้อ ความแน่นเนื้อ และความใสของน้ำเกลือ อย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) โดยถั่วเหลืองฝักสดที่แช่ด้วยแคลเซียมคลอไรด์ 0.5 % w/w ก่อนที่จะนำมาลวกและบรรจุกระป๋อง จะมีค่าพีเอช น้ำหนักเนื้อ และความใสของน้ำเกลือมากกว่า แต่มีความแน่นเนื้อน้อยกว่าถั่วเหลืองฝักสดที่เติมแคลเซียมคลอไรด์ 0.5% w/w ในน้ำเกลือระหว่างการบรรจุกระป๋อง

การแช่ถั่วด้วยแคลเซียมคลอไรด์ เป็นการแช่ถั่วก่อนที่จะนำมาลวก ซึ่งโครงสร้างผนังเซลล์ของเมล็ดถั่วยังสมบูรณ์ เนื่องจากยังไม่โดนทำลายจากความร้อน ทำให้การซึมผ่านของสาร

ละลายแคลเซียมคลอไรด์ เข้าไปในเซลล์ได้น้อยกว่าถั่วที่มีการเติมแคลเซียมคลอไรด์ลงไปภายในกระป๋องโดยตรง เนื่องจากในระหว่างการฆ่าเชื้อที่มีอุณหภูมิค่อนข้างสูงแคลเซียมคลอไรด์สามารถซึมผ่านเข้าไปในเนื้อเยื่อได้ง่ายกว่า จึงทำให้ถั่วเหลืองฝักสดบรรจุกระป๋อง ที่ได้จากการแช่ด้วยแคลเซียมคลอไรด์มีค่าพีเอช 6.15 ซึ่งจะมีค่าสูงกว่าถั่วที่เติมแคลเซียมคลอไรด์ที่มีค่าพีเอช 5.82 จึงทำให้เมล็ดถั่วมีความแน่นเนื้อน้อยกว่า ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Brandt และคณะ(1984) ที่ศึกษาถึงผลการทำให้สุกของผักในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่มีค่าพีเอชต่างๆ ต่อปริมาณเส้นใย พบว่าที่ค่าพีเอชเท่ากับ 4 ผักจะมีความแน่นเนื้อสูงสุด และให้ลักษณะเนื้อสัมผัสอ่อนนิ่มมากที่สุดเมื่อค่าพีเอช เท่ากับ 10 ทั้งนี้เนื่องจาก เพคตินจะไม่คงตัวในสภาพสารละลายที่มีค่าพีเอชสูง โดยความแน่นเนื้อจะลดลงเมื่อค่าพีเอชมากขึ้น ช่วงค่าพีเอชที่ลดลงจาก 8 – 4.5 จะทำให้ความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น Van Buran et al., 1990)

เมื่อเติมแคลเซียมคลอไรด์ ทำให้เมล็ดถั่วมีความแน่นเนื้อมากขึ้น เนื่องจาก Ca^{2+} จะไปจับกับ Carboxyl group ของ Polygalacturonic unit ทำให้โมเลกุลเกิด Crosslinkage และเกิดแคลเซียมเพ็กติเนท (Calcium pectinate) และแคลเซียมเพ็กเตต (Calcium pectate) ที่ไม่ละลายน้ำและทนความร้อนสูง ทำให้โครงสร้างของเซลล์มีความแข็งแรง จึงทำให้ถั่วมีความแน่นเนื้อมากขึ้น (He et al., 1989) ทำให้เมล็ดถั่วมีการแตกน้อยและมีการดูดซึมน้ำได้น้อย จึงมีผลทำให้เมล็ดถั่วมีปริมาณน้ำหนักเนื้อลดลงเช่นเดียวกัน

ส่วนการทดสอบทางประสาทสัมผัสแสดงดังตารางที่ 4.16 พบว่า การแช่และการเติมแคลเซียมคลอไรด์ ไม่มีผลต่อคะแนนสีของเมล็ดถั่ว การแตกของเมล็ดถั่ว ($p>0.05$) แต่มีผลต่อความแน่นเนื้อ ความใสของน้ำเกลือ และการยอมรับรวม ($p\leq0.05$) โดยพบว่าถั่วที่เติมแคลเซียมคลอไรด์ 0.5% w/w ในระหว่างการบรรจุกระป๋อง จะมีความแน่นเนื้อมากกว่า จึงทำให้มีคะแนนการยอมรับมากกว่า ถั่วที่ได้จากการแช่แคลเซียมคลอไรด์ 0.5% w/w ก่อนนำมาลวกและบรรจุกระป๋อง

จากผลการทดลอง พอที่จะสรุปได้ว่า การใช้แคลเซียมคลอไรด์เพื่อปรับปรุงเนื้อสัมผัสของถั่ว โดยการเติมลงไปโดยตรงในน้ำเกลือ ก่อนที่จะบรรจุกระป๋องและฆ่าเชื้อ ซึ่งจะทำให้เมล็ดถั่วมีความแน่นเนื้อ และมีคะแนนการยอมรับรวมมากว่า ถั่วเหลืองฝักสดบรรจุกระป๋องที่ได้จากการแช่ด้วยแคลเซียมคลอไรด์ นอกจากนั้นการเติมแคลเซียมคลอไรด์สามารถลดระยะเวลาในกระบวนการผลิตและยังเป็นการลดต้นทุนอีกด้วย ดังนั้น จึงเลือกการเติมแคลเซียมคลอไรด์เป็นการศึกษาในขั้นต่อไป

5.3.3 ศึกษาระดับความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ต่อความแน่นเนื้อของถั่วเหลืองฝักสดในน้ำเกลือบรรจุกระป๋อง

ศึกษาความแน่นเนื้อโดยการเติมแคลเซียมคลอไรด์ที่ระดับ 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5% w/w ในน้ำเกลือและบรรจุกระป๋องโดยวิเคราะห์ความแน่นเนื้อ น้ำหนักเนื้อ ความใสของน้ำเกลือ ค่าสี และคุณภาพทางประสาทสัมผัส

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติในตารางที่ 4.19 และ 4.21 พบว่า การเติมแคลเซียมคลอไรด์ที่ระดับ 0 ,0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5% w/w ในน้ำเกลือก่อนที่จะนำมาบรรจุกระป๋องไม่มีผลต่อค่าความสว่าง (L) ค่าสีเขียว (-a) ค่าสีเหลือง (b) และอัตราส่วนความเข้มสีเขียว (-a/b) ($p>0.05$) แต่มีผลต่อน้ำหนักเนื้อ ความแน่นเนื้อ และความใสของน้ำเกลืออย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) เมื่อระดับความเข้มข้น ของแคลเซียมคลอไรด์ที่เติม เพิ่มขึ้นจาก 0 ,0.1, 0.2, 0.3, 0.4 ถึง 0.5% w/w ทำให้ความใสของน้ำเกลือและความแน่นเนื้อของเมล็ดถั่วเพิ่มขึ้นตามลำดับ แต่น้ำหนักเนื้อจะลดลง โดยที่ความเข้มข้น 0.5 % ทำให้น้ำเกลือมีความใสและมีความแน่นเนื้อของเมล็ดถั่วมากที่สุด แต่ในขณะเดียวกันมีน้ำหนักเนื้อน้อยที่สุดเนื่องจากเมล็ดถั่วที่มีความแน่นเนื้อมากจะมีการดูดน้ำได้น้อยเพราะว่า Ca^{2+} จับกับ carboxylic groups ในโมเลกุลของ pectin เกิดเป็นสารประกอบ Calcium pectate ซึ่งทนความร้อนได้สูงทำให้โครงสร้างของเซลล์มีความแข็งแรงขึ้น จึงทำให้ถั่วมีความแน่นเนื้อมากขึ้น (He et al., 1989) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Wang , Chang และ Grafton (1988) ซึ่งศึกษาคุณภาพของถั่ว Pinto และถั่ว Wavy บรรจุกระป๋อง โดยการเติม Disodium ethylenediamine tetraacetate (EDTA) 1.344 mM และแคลเซียมคลอไรด์ 0, 1.0, 2.5, 5.0, และ 10.0 (mM) พบว่าเมื่อความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์เพิ่มขึ้นทำให้ความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นแต่น้ำหนักเนื้อลดลง นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับการทดลองของ Van Buran และคณะ (1986) ซึ่งศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการแตกและคุณสมบัติด้านอื่นๆ ของถั่ว Kidney บรรจุกระป๋องโดยการเติมแคลเซียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น 3 ระดับ 0, 150, 350, ppm ในน้ำเกลือทำให้ได้ถั่ว Kidney บรรจุกระป๋องที่มีความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นและทำให้เปอร์เซ็นต์การแตกและน้ำหนักเนื้อลดลง

ส่วนการทดสอบทางประสาทสัมผัสในตารางที่ 4.22 พบว่าความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อคะแนนสีของเมล็ดถั่ว ($p>0.05$) แต่มีผลต่อคะแนนความแน่นเนื้อ การแตกของเมล็ดถั่ว ความใสของน้ำเกลือ และการยอมรับรวมอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) โดยถั่วที่มีการเติมแคลเซียมคลอไรด์ ทุกระดับความเข้มข้น จะมีคะแนนการแตกของเมล็ดถั่วน้อยกว่า แต่มี

คะแนนความแน่น การยอมรับรวม และมีความใสของน้ำเกลือมากกว่าถั่ว ที่ไม่ได้เติมแคลเซียมคลอไรด์

การเติมแคลเซียมคลอไรด์ที่ระดับ 0.5% ทำให้ถั่วมีคะแนนความแน่นเนื้อมากที่สุด คือ 7.05 ส่วนคะแนนการยอมรับรวม ที่ความเข้มข้น 0.3, 10.4 และ 0.5% คะแนนการยอมรับรวมไม่แตกต่างกันในทางสถิติ

จากผลการทดลองพอสรุปได้ว่าเมื่อเติมแคลเซียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้นมากขึ้นทำให้ถั่วมีความแน่นเนื้อมากขึ้น แต่คะแนนการยอมรับรวมพบว่าที่ระดับ 0.3 , 0.4 , และ 0.5% ไม่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงสรุปว่าที่ระดับ 0.3% น่าจะเหมาะสมที่สุด เนื่องจากมีคะแนนการยอมรับรวมสูงเหมือนกันแต่ใช้ปริมาณน้อยกว่า จึงเลือกเติมแคลเซียมคลอไรด์ที่ระดับ 0.3% ในน้ำเกลือ ในขั้นตอนการผลิตถั่วเหลืองฝักสดในน้ำเกลือบรรจุกระป๋อง

5.3.4 ศึกษาเวลาที่ใช้ในการฆ่าเชื้อสำหรับผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองฝักสดในน้ำเกลือบรรจุกระป๋อง

ผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองฝักสดในน้ำเกลือบรรจุกระป๋องมีค่าพีเอชประมาณ 5.98 ซึ่งจัดอยู่ในอาหารกระป๋องประเภทที่มีความเป็นกรดต่ำ (Low acid canned food) จึงต้องใช้ความร้อนสูงถึง 115 ^{0}C หรือ 121.1 ^{0}C ภายใต้ความดัน 10–15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ในระยะที่เหมาะสมเพื่อทำลายสปอร์ของ *Clostridium botulinum*

สำหรับถั่วเหลืองฝักสดในน้ำเกลือ มีการส่งผ่านความร้อน แบบพาความร้อน (convection) เป็นการถ่ายเทความร้อน โดยการเคลื่อนที่ของโมเลกุลก๊าซหรือของเหลวเมื่อได้รับความร้อน ทำให้โมเลกุลของสารบริเวณที่ได้รับอุณหภูมิสูง เคลื่อนที่ไปผสมกับโมเลกุลของสารที่เย็นอย่างรวดเร็ว จึงทำให้การเพิ่มของอุณหภูมิภายในกระป๋องเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และความร้อนที่ผิวและจุดศูนย์กลางของกระป๋องเท่ากันเร็วมาก การถ่ายเทความร้อนแบบพาความร้อนนี้ จะเกิดในส่วนที่เป็นน้ำของอาหาร เช่น ในน้ำเชื่อม หรือน้ำเกลือ (Bigelow, 1920) ดังนั้นจุดร้อนช้าที่สุด (Cold point) จะอยู่บน Central axis ระหว่างกึ่งกลางกระป๋องกับก้นกระป๋อง หรือประมาณ 19 mm จากก้นกระป๋อง การศึกษาเวลาในการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C Fo = 6 นาที คำนวณหาเวลาฆ่าเชื้อด้วยวิธี Formula จะได้เวลาในฆ่าเชื้อที่ 13 นาที (ตารางที่ 4.24) แต่สำหรับการทำงานวิจัยครั้งนี้ จะใช้เวลาในการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C เวลา 15 นาที เพื่อให้มั่นใจว่าถั่วกระป๋องมีความปลอดภัยไม่มีเชื้อ จุลินทรีย์ที่เป็นอันตราย

5.3.5 ผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองฝักสดในน้ำเกลือบรรจุกระป๋อง

ผลิตถั่วเหลืองฝักสดในน้ำเกลือบรรจุกระป๋องโดยใช้เมล็ดถั่ว 233 g น้ำเกลือ 192 g ที่ประกอบด้วย เกลือ 1.25% น้ำตาล 1.56% แคลเซียมคลอไรด์ 0.3% ใช้อุณหภูมิในการฆ่าเชื้อที่ 121 ^{o}C เวลา 15 นาที เก็บรักษาสภาวะอุณหภูมิห้อง (25 – 30 ^{o}C) เป็นเวลา 4 เดือน สุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์มาวิเคราะห์คุณภาพตามอายุการเก็บที่ 0, 1, 2, 3, 4 เดือน เมื่อนำมาวัดค่าสีแสดงผลดังตารางที่ 4.25 พบว่า ความสว่าง (L) มีค่าเพิ่มขึ้น สีเหลือง (b) เพิ่มขึ้น ส่วนค่าสีเขียว (-a) และอัตราส่วนความเข้มของสีเขียว (-a/b) จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และเมื่อนำมาศึกษาน้ำหนักเนื้อและความแน่นเนื้อแสดงดังตารางที่ 4.27 พบว่า น้ำหนักเนื้อมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาเก็บที่เพิ่มขึ้น แต่ระยะเวลาในการเก็บไม่มีผลต่อค่าความแน่นเนื้อ เนื่องมาจากผลิตภัณฑ์มีพีเอชต่ำ (5.98) จึงทำให้สีเขียวของเมล็ดถั่ว เนื่องจากคลอโรฟิลล์จะไม่คงตัวในสภาวะที่มีพีเอชต่ำ ส่วนเพคตินจะคงตัวได้ในสภาวะนี้ จึงทำให้ไม่มีผลต่อความแน่นเนื้อ และผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสแสดงดังตารางที่ 4.31 พบว่า คะแนนสีของเมล็ดถั่ว ความแน่นเนื้อ ความใสของน้ำเกลือและการยอมรับรวมมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น ส่วนการวิเคราะห์ผลของเชื้อจุลินทรีย์ (ดังตารางที่ 4.33) ได้แก่ Total plate count , Flat sour, Thermophilic anaerobes, Putrefactive anaerobe ตลอดการเก็บรักษา พบว่าไม่พบเชื้อดังกล่าว แสดงว่าผลิตภัณฑ์ไม่มีเชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค

5.4 การผลิตถั่วเหลืองฝักสดในซอสมะเขือเทศบรรจุกระป๋อง

5.4.1 เลือกสูตรต้นแบบซอสมะเขือเทศสำหรับใช้ในการผลิตถั่วเหลืองฝักสดในซอสมะเขือเทศบรรจุกระป๋อง

ใช้สูตรต้นแบบ 5 สูตรนำมาทำซอสมะเขือเทศเพื่อใช้ในการผลิตถั่วเหลืองฝักสดในซอสมะเขือเทศบรรจุกระป๋อง และนำซอสมะเขือเทศทั้ง 5 สูตรมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีกายภาพและทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส พบว่าค่าสี (L, a, b) ของสูตรต้นแบบทั้ง 5 สูตรไม่มีความแตกต่างกัน ($p>0.05$) ส่วนค่าพีเอช ของแข็งที่ละลายน้ำได้ และความหนืดของสูตรต้นแบบทั้ง 5 สูตรมีความแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) โดยสูตรที่ 3 (ตารางที่ 4.36) จะให้ค่าพีเอชต่ำที่สุด ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ และความหนืดมีค่าสูงสุด เนื่องจากสูตรที่ 3 เป็นสูตรที่มีส่วนผสมของมะเขือเทศเข้มข้น น้ำตาลทราย และน้ำส้มสายชูมากที่สุด ซึ่งจะสอดคล้องกับผลการ

ทดลองคุณภาพทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 4.38) ทางด้านความเปรี้ยว และความหวาน ซึ่งสูตรดังกล่าวจะมีระดับคะแนนสูงสุด และจากคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสนำมาทำกราฟใยแมงมุม โดยให้ผลิตภัณฑ์ในอุดมคติมีค่าเท่ากับ 1 แสดงรูปที่ 4.1 โดยสูตรนี้จะมีคะแนนโดยรวมในทุก ๆ ด้าน เช่น กลิ่นรสเครื่องเทศ ความเปรี้ยว ความเค็ม ความหนืด และการยอมรับรวมเข้าใกล้สูตรอุดมคติที่ผู้บริโภคต้องการมากที่สุด แต่สำหรับความหวานเท่านั้นที่มีคะแนนมากกว่าสูตรอุดมคติ จึงเลือกสูตรนี้มาทำการปรับปรุงทางด้านความหวาน ความเปรี้ยว และความเค็มในขั้นต่อไป

5.4.2 การปรับปรุงรสชาติสูตรต้นแบบของซอสมะเขือเทศสำหรับใช้ในการผลิตถั่วเหลืองฝักสดในซอสมะเขือเทศบรรจุกระป๋อง

โดยแปรปริมาณน้ำตาลทราย 2–10% น้ำส้มสายชู 5-10% เกลือ 2-3% ใช้ Mixture design ในการพัฒนา ได้สูตรเริ่มต้นทั้งหมด 5 สูตร และนำทั้ง 5 สูตรนี้มาทำเป็นซอสมะเขือเทศเพื่อใช้ในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองฝักสดในซอสมะเขือเทศบรรจุกระป๋อง จากตารางที่ 4.42 พบว่า อัตราส่วนของน้ำตาลทราย น้ำส้มสายชู และเกลือ ไม่มีผลต่อพีเอช และความหนืดของซอสมะเขือเทศ ($p>0.05$) แต่มีผลต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ($p\leq0.05$) โดยเฉพาะในสูตรที่ประกอบด้วย น้ำตาลทราย : น้ำส้มสายชู : เกลือ เท่ากับ 10 : 8.30 : 3 จะมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มากที่สุด คือ 12.16 ^{0}Brix เนื่องจาก สูตรนี้มีปริมาณน้ำตาลทราย และเกลือมากกว่าสูตรอื่น ๆ ส่วนค่าสี พีเอช ความหนืด ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับคะแนนการทดสอบด้านประสาทสัมผัส (ตารางที่ 4.44) ซึ่งสูตรดังกล่าวนี้มีคะแนนความหวาน 5.60 ซึ่งจะมากกว่าสูตรอื่น ๆ ส่วนคะแนนความหนืดในแต่ละสูตรไม่แตกต่างกัน แต่จากคะแนนการยอมรับ พบว่าสูตรที่ 2 มีคะแนนสูตรสูงที่สุด เนื่องจากสูตรดังกล่าว มีคะแนนความหวานและความเค็มน้อยกว่าสูตรอื่น ๆ คือ 4.65 และ 4.09 ตามลำดับ จึงเลือกสูตรที่ 2 ซึ่งประกอบด้วย น้ำตาลทราย : น้ำส้มสายชู : เกลือ เท่ากับ 9.30 :10 :2 มาทำการศึกษาในขั้นต่อไป

5.4.3 ผลของการศึกษาปริมาณสารให้ความคงตัวที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองฝักสดในซอสมะเขือเทศบรรจุกระป๋อง

โดยสูตรที่ดีที่สุดที่คัดเลือกได้ประกอบด้วย มะเขือเทศเข้มข้น 13% น้ำตาลทราย 9.30% น้ำส้มสายชู 10% เกลือ 2% สารให้ความคงตัว 0.7% น้ำ 65% และเครื่องเทศ 0.2% ของส่วนผสมทั้งหมด นำมาแปรปริมาณสารให้ความคงตัว โดยใช้แป้งข้าวโพดดัดแปรที่ระดับ 0, 0.7, 1.0, 1.4 และ1.7% (w/w) เพื่อเป็นสารเพิ่มความหนืด และความคงตัว จึงใช้แป้งข้าวโพดดัดแปร เนื่องจากมีความคงทนต่อสภาพความเป็นกรด ที่สภาวะอุณหภูมิสูง และมีความต้านทานต่อแรงเฉือน นำมาทำเป็นซอสมะเขือเทศ เพื่อใช้ในการผลิตถั่วเหลืองฝักสดในซอสมะเขือเทศบรรจุกระป๋อง พบว่าปริมาณสารให้ความคงตัวจะมีผลต่อค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และความหนืด โดยปริมาณสารให้ความคงตัวที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ทั้งสองค่ากล่าวมามีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งเป็นไปในทางเดียวกับการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส โดยคะแนนความหนืดจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณสารให้ความคงตัวเพิ่มขึ้น แต่พบว่าคะแนนการยอมรับรวมของสูตรที่เติมสารให้ความคงตัว 1.0% จะมีค่าสูงสุด จึงเลือกสูตรนี้มาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองฝักสดในซอสมะเขือเทศบรรจุกระป๋อง

5.4.4 ผลของการศึกษาหาเวลาที่ใช้ในการฆ่าเชื้อสำหรับผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองฝักสดในซอสมะเขือเทศบรรจุกระป๋อง

ผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองฝักสดในซอสมะเขือเทศบรรจุกระป๋อง มีค่าพีเอช ประมาณ 4.85 ซึ่งจัดอยู่ในอาหารกระป๋องประเภทที่มีความเป็นกรดต่ำ (Low acid canned food) จึงต้องใช้ความร้อนสูงถึง 115 ^{0}C หรือ 121.1 ^{0}C ภายใต้ความดัน 10 – 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ในระยะเวลาที่เหมาะสม เพื่อทำลายสปอร์ของ *Clostridium botulinum*

สำหรับถั่วเหลืองฝักสดในซอสมะเขือเทศ มีการส่งผ่านความร้อน แบบนำความร้อน (Conduction) เป็นการส่งผ่านความร้อนเข้าไปในอาหารกระป๋อง โดยความร้อนจะผ่านจากโมเลกุลหนึ่งไปยังอีกโมเลกุลหนึ่ง ผลิตภัณฑ์อาหารชนิดนี้ จะได้รับความร้อนช้า และส่วนมากจะเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความหนืดสูง) ดังนั้นจุดร้อนช้าที่สุด (Cold point) จะอยู่กึ่งกลางกระป๋อง การศึกษาเวลาในการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C Fo = 6 นาที คำนวณหาเวลาฆ่าเชื้อด้วยวิธี Formula จะได้เวลาในฆ่าเชื้อที่ 60 นาที จึงใช้สภาวะนี้ในการศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ ในขั้นต่อไป

5.4.5 ผลของการศึกษาระยะเวลาเก็บรักษาต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองฝักสดในซอสมะเขือเทศบรรจุกระป๋อง

ผลิตถั่วเหลืองฝักสดในซอสมะเขือเทศ โดยใช้เมล็ดถั่ว 230 g ซอสมะเขือเทศ 210 g ซอสมะเขือเทศประกอบด้วย มะเขือเทศเข้มข้น 13% น้ำ 65% น้ำตาลทราย 9.30% น้ำส้มสายชู 10% เกลือ 2% แป้งข้าวโพดดัดแปร 1.0% เครื่องเทศ 0.2% (ของส่วนผสมทั้งหมด) ฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C เวลา 60 นาที เก็บผลิตภัณฑ์ภายใต้อุณหภูมิ (25 – 30 ^{0}C) เพื่อรอตรวจวิเคราะห์เป็นเวลา 5 เดือน และสุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์มาวิเคราะห์คุณภาพ ตามอายุการเก็บที่ 0, 1, 2, 3, 4, และ 5 เดือน โดยพบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น จะทำให้ค่าความสว่าง (L) ค่าสีแดง (a) ลดลง ส่วนค่าสีเหลือง (b) เพิ่มขึ้น แสดงว่าผลิตภัณฑ์มีสีคล้ำขึ้นอันเนื่องมากจากปฏิกิริยาน้ำตาลรีดิวซ์กับกรดอะมิโนให้สารสีน้ำตาล การเกิดสารสีน้ำตาลขึ้นกับปัจจัยค่าพีเอช อุณหภูมิ ความชื้นของผลิตภัณฑ์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และแร่ธาตุบางตัว (Michael, 1990) ซอสมะเขือเทศมีค่าพีเอชต่ำมีความเป็นกรดสูงมีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบอยู่มาก ทำให้เกิดการย่อยสลายน้ำตาลกลายเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ซึ่งเป็นสารสำคัญในการเกิดปฏิกิริยา ส่วนความหนืดมีค่าลดลงเมื่อระยะการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นและพบว่าการทดสอบทางประสาทสัมผัสมีคะแนนการยอมรับรวมไม่แตกต่างกันเมื่อระยะการเก็บเพิ่มขึ้น และผลการทดสอบทางด้านจุลินทรีย์ พบว่าตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาไม่พบเชื้อจุลินทรีย์