

วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 การศึกษาสมบัติทั่วไปของ โปรตีนถั่วเขียว

ในงานวิจัยได้รับตัวอย่างโปรตีนถั่วเขียวจากแหล่งผลิต 3 แหล่ง โดยโปรตีนถั่วเขียวจากแหล่งผลิตที่ 1 และ 2 เป็นตัวอย่างจากโรงงานผลิตวันเส้นจากแบงถั่วเขียวภายในประเทศ และโปรตีนถั่วเขียวจากแหล่งผลิตที่ 3 เป็นตัวอย่างที่เตรียมในห้องปฏิบัติการ ดังนั้นขั้นตอนแรกของงานวิจัยจึงเริ่มจากการตรวจสอบสมบัติที่สำคัญของโปรตีนถั่วเขียว เพื่อเลือกชนิดของโปรตีนถั่วเขียวที่เหมาะสมที่จะใช้เป็นวัตถุดิบในการศึกษาขั้นต่อไป ซึ่งจากผลการตรวจสอบสมบัติในด้านต่างๆ ของโปรตีนถั่วเขียว สามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1 ลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ ลักษณะสี และกลิ่น จากการตรวจสอบพบว่าโปรตีนถั่วเขียวจากแหล่งผลิตที่ 1 และ 2 มีสีเข้ม และกลิ่นรุนแรงกว่าโปรตีนถั่วเขียวจากแหล่งผลิตที่ 3 มาก (ตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.2) โดยสีของโปรตีนถั่วเขียวจากแหล่งผลิตที่ 1 และ 2 มีสีเขียวปนน้ำตาล (5Y/4/4) และสีเขียวปนเทา (5Y/8/1) ตามลำดับ สำหรับโปรตีนถั่วเขียวจากแหล่งผลิตที่ 3 มีสีเหลืองอ่อน (2.5Y/9/4) ซึ่งใกล้เคียงกับสีของกากถั่วเหลืองจากโรงงานสกัดน้ำมันพืช (2.5Y/9/2) มาก โปรตีนถั่วเขียวจากแหล่งผลิตที่ 1 และ 2 เป็นตัวอย่างที่มาจากโรงงานวันเส้น จัดเป็นผลพลอยได้จากกรรมวิธีการผลิตแบงถั่วเขียว ซึ่งการไม่ถั่วเขียวจะไม่ถั่วเขียวพร้อมเปลือก (รูปที่ 2.1) จึงทำให้มีรงควัตถุจากเปลือกปะปนอยู่ในโปรตีนถั่วเขียวที่ผลิตได้ และจากการหมักน้ำโปรตีนเพื่อให้โปรตีนตกตะกอนอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์ในธรรมชาติ (1, 19) จึงมีผลทำให้โปรตีนถั่วเขียวที่ได้มีกลิ่นเหม็น ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าโปรตีนถั่วเขียวจากโรงงานวันเส้น ถึงแม้ว่ามีราคาถูกแต่มีลักษณะปรากฏที่ไม่ดี จึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาผสมในอาหารโดยตรงได้ การปรับปรุงกรรมวิธีการผลิต เช่นการแยกเปลือกออกก่อนไม่และตกตะกอนโปรตีนที่จุดไอโซอิเล็กตริกด้วยการปรับ pH เป็น 4-5 จะได้โปรตีนถั่วเขียวที่มีลักษณะปรากฏดีขึ้น ดังเช่นโปรตีนถั่วเขียวจากแหล่งที่ 3 แต่จะมีผลทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้นเช่นกัน

5.1.2 คุณลักษณะการใช้ประโยชน์ ได้แก่ การละลายของโปรตีน และความสามารถ

ในการจับกับน้ำ โดยการละลายของโปรตีนแสดงเป็นค่าดัชนีในการละลายของไนโตรเจน จากผลการวิเคราะห์พบว่า ตัวอย่างโปรตีนถั่วเขียวที่ได้รับมาทั้งสามตัวอย่างมีการละลายและความสามารถในการจับกับน้ำแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ตารางที่ 4.3 และ 4.5) โปรตีนถั่วเขียวจากแหล่งผลิตที่ 1 มีค่าดัชนีในการละลายของไนโตรเจนสูงที่สุด คือ ร้อยละ 3.16 ± 0.03 โดยน้ำหนัก (ตารางที่ 4.2) แต่จะเห็นได้ว่าเป็นค่าที่ค่อนข้างต่ำ ซึ่งแสดงว่า ตัวอย่างโปรตีนถั่วเขียวที่ได้รับมาทั้งสามตัวอย่าง สามารถละลายน้ำได้เพียงเล็กน้อย คาดว่าเนื่องจากการให้ความร้อนเพื่อให้โปรตีนถั่วเขียวสุก และการทำแห้ง ใช้วิธีและสภาวะที่รุนแรง เช่น การต้มโปรตีนถั่วเขียวด้วยไอน้ำร้อนในถังเหล็ก หรือสัมผัสกับไอน้ำเดือดโดยตรง เพื่อให้โปรตีนสุก (1) ซึ่งมีผลทำให้โปรตีนถูกแปรสภาพทางธรรมชาติ (denature) อย่างมาก ความสามารถในการละลายของโปรตีนจึงลดลงอย่างมากเช่นกัน สำหรับความสามารถในการจับกับน้ำ พบว่าโปรตีนถั่วเขียวจากแหล่งผลิตที่ 2 และ 3 สามารถจับกับน้ำได้ดีกว่าโปรตีนถั่วเขียวจากแหล่งผลิตที่ 1 คือ สามารถจับกับน้ำได้ 2.1-2.3 เท่าของน้ำหนักเริ่มต้น (ตารางที่ 4.2) ความสามารถจับกับน้ำของวัตถุดิบน่าจะมีความสัมพันธ์กับอัตราเร็วของการย่อยสลายด้วยกรด คือ ถ้าสามารถจับกับน้ำได้ดีแสดงว่าโมเลกุลของน้ำสามารถแทรกซึมเข้าไปในเนื้อของวัตถุดิบได้ดี จึงมีผลทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ดีขึ้น ดังนั้นถ้าพิจารณาจากความสามารถจับกับน้ำ โปรตีนถั่วเขียวจากแหล่งผลิตที่ 2 และ 3 น่าจะสามารถถูกย่อยสลายด้วยกรดได้ดีกว่าโปรตีนถั่วเขียวจากแหล่งผลิตที่ 1

5.1.3 องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณโปรตีน, ไขมัน, เกล็ด และคาร์โบไฮเดรต ในตัวอย่างโปรตีนถั่วเขียว ทั้งสามตัวอย่าง ซึ่งพบว่า โปรตีนถั่วเขียวจากแหล่งผลิตที่ 1, 2 และ 3 มีปริมาณโปรตีนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 คือ มีร้อยละ 78.09 ± 1.29 , 82.74 ± 0.81 และ 91.69 ± 0.65 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณมากกว่าปริมาณโปรตีนในกากถั่วเหลืองถึง 1.49-1.75 เท่า (ตารางที่ 4.4 และ 4.5) และเมื่อนำโปรตีนถั่วเขียวจากแหล่งผลิตที่ 2 มาวิเคราะห์สัดส่วนของกรดอะมิโน โดย Amino acid analyzer พบว่ามีสัดส่วนของกรดอะมิโนคล้ายคลึงกับโปรตีนถั่วเหลืองมาก คือ มีเมธไอโอนีนและซิสเทอีน ในปริมาณต่ำมาก และมีกรดกลูตามิกในปริมาณสูงที่สุดเมื่อเทียบจากกรดอะมิโนชนิดอื่น ๆ โดยปริมาณกรดกลูตามิกในโปรตีนถั่วเหลืองสูงกว่าในถั่วเขียวเล็กน้อย (ตารางที่ 4.6) เป็นที่ทราบกันดีว่า

กรดกลูตามิกเป็นกรดอะมิโนที่มีความสำคัญต่อรสชาติของผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรส เช่น น้ำซอสปรุงรส น้ำปลา และน้ำซีอิ้ว เพราะเป็นตัวที่ให้รสชาติที่อร่อยเฉพาะตัว (umami taste) ดังนั้นถ้าพิจารณาเฉพาะปริมาณกรดกลูตามิกที่มี สามารถสรุปได้ว่า โปรตีนถั่วเขียวมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับเครื่องปรุงรส เช่นกัน สำหรับปริมาณไขมันในโปรตีนถั่วเขียวมีปริมาณค่อนข้างต่ำคือร้อยละ ๑.๓๙-๒.๑๑ โดยน้ำหนักแห้ง (ตารางที่ ๔.๔) และปริมาณไขมันในกากถั่วเหลืองมีร้อยละ ๑.๙๖±๑.๑๖ โดยน้ำหนักแห้ง โปรตีนถั่วเขียวจากแหล่งผลิตที่ ๓ มีปริมาณไขมันสูงกว่าในกากถั่วเหลืองประมาณร้อยละ ๑ โดยทั่วไปวัตถุดิบสำหรับผลิตน้ำซอสปรุงรสไม่ควรจะมีปริมาณไขมันสูง เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดสบู่จากปฏิกิริยาซาบอเนฟิเคชันในระหว่างการปรับ pH ก่อให้เกิดความยุ่งยากในการกรอง และสิ้นเปลืองโซเดียมคาร์บอเนตโดยไม่จำเป็น (๒๓,๒๘) ดังนั้นเมื่อพิจารณาปริมาณไขมัน โปรตีนถั่วเขียวจากแหล่งผลิตที่ ๓ จึงไม่เหมาะสมที่จะใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับน้ำซอสปรุงรส องค์ประกอบตัวสุดท้ายที่มีความสำคัญเช่นกัน คือ คาร์โบไฮเดรต พบว่าปริมาณคาร์โบไฮเดรตมีความสัมพันธ์แบบผกผันกับปริมาณโปรตีน คือ ถ้ามีปริมาณโปรตีนสูง ปริมาณคาร์โบไฮเดรตจะมีค่าต่ำลง โปรตีนถั่วเขียวทั้งสามตัวอย่างมีปริมาณคาร์โบไฮเดรต อยู่ในช่วงร้อยละ ๔.๑๓-๑๘.๒๓ โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งต่ำกว่าที่พบในกากถั่วเหลืองค่อนข้างมาก (ร้อยละ ๓๙.๘๒±๑.๘๒) จึงคาดได้ว่า น้ำซอสปรุงรสที่ผลิตจากโปรตีนถั่วเขียวย่อยด้วยกรดน่าจะมึกลิ่น และรสชาติแตกต่างจากที่ผลิตจากกากถั่วเหลือง เนื่องจากโดยส่วนใหญ่สารประกอบที่ให้กลิ่น และรสชาติที่ดีในน้ำซอสปรุงรสเป็นสารประกอบที่ได้จากปฏิกิริยามีคาร์โบไฮเดรตร่วมอยู่ด้วย เช่น ปฏิกิริยาการเกิดสารประกอบสีน้ำตาล (๓) เป็นต้น

๕.๑.๔ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ซึ่งตรวจสอบโดยวิธี pour plate จากผลการวิเคราะห์ (ตารางที่ ๔.๗) พบว่า ตัวอย่างโปรตีนทุกตัวอย่างตรวจพบจุลินทรีย์ โดยตัวอย่างโปรตีนถั่วเขียวจากแหล่งผลิตที่ ๒ มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดค่อนข้างสูง คือ ประมาณ ๔,๕๐๐ โคโลนิต่อกรัมตัวอย่าง แสดงให้เห็นว่า การผลิตโปรตีนถั่วเขียวในโรงงานวันเส้นขนาดกลาง ยังมีลักษณะที่ไม่ดี มีการปนเปื้อนของจุลินทรีย์สูง คาดว่าการปนเปื้อนคงจะอยู่ในช่วงการตากแดด เพื่อให้โปรตีนแห้ง (รูปที่ ๒.๑) แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากกระบวนการผลิตน้ำซอสปรุงรสมีการให้ความร้อนในสภาวะที่รุนแรงเป็นเวลานาน จุลินทรีย์ที่มีในวัตถุดิบจะถูกทำลายในระหว่างการผลิต ดังนั้นปริมาณจุลินทรีย์ที่มีจึงไม่มีผลเสียต่อคุณภาพด้านเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ แต่อาจจะมีผลกระทบต่อคุณภาพด้านประสาทสัมผัสเนื่องจากกลิ่นเหม็นที่เกิดขึ้นจากการทำงานของจุลินทรีย์ที่มีในวัตถุดิบ

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า โปรตีนถั่วเขียวตัวอย่างที่ได้รับมามีความแตกต่างกันในทุก ๆ ด้านที่ตรวจสอบ แสดงให้เห็นว่าคุณภาพของโปรตีนถั่วเขียวที่ได้รับมาขึ้นกับกรรมวิธีการผลิตของแต่ละโรงงาน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องพิจารณาเลือกชนิดของโปรตีนถั่วเขียวที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากคุณลักษณะที่ต้องการของวัตถุดิบสำหรับน้ำซอสปรุงรส การให้คะแนนจะเรียงให้คะแนนมากสำหรับคุณลักษณะที่ดี และคะแนนน้อยสำหรับคุณลักษณะที่รองลงมาตามลำดับ คะแนน 3 คะแนนเป็นคะแนนที่สูงที่สุด และคะแนน 1 คะแนนเป็นคะแนนที่ต่ำที่สุด

คุณลักษณะที่พิจารณามี 4 ประการ คือ ราคา ปริมาณโปรตีน ปริมาณไขมัน และความสะดวกในการจัดหา โดยมีหลักในการพิจารณาเพื่อให้คะแนน ดังนี้ ราคาไม่ควรแพงกว่ากากถั่วเหลือง ปริมาณโปรตีนในวัตถุดิบควรมีในปริมาณสูง แต่มีปริมาณไขมันไม่เกินร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก และมีปริมาณมากพอในการที่จะใช้เป็นวัตถุดิบในระดับอุตสาหกรรม เมื่อพิจารณาคะแนนรวม (ตารางที่ 4.8) จะเห็นได้ว่าโปรตีนถั่วเขียวจากแหล่งที่ 1 และแหล่งที่ 2 ต่างมีความเหมาะสมเป็นวัตถุดิบสำหรับน้ำซอสปรุงรสพอ ๆ กัน ในงานวิจัยนี้จึงเลือกโปรตีนถั่วเขียวจากแหล่งที่ 2 คือ จากบริษัทวันเส้นตะวันออก จำกัด เป็นวัตถุดิบที่ใช้ในงานวิจัยขั้นต่อไป เนื่องจากมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าและมีปริมาณไขมันต่ำกว่า

5.2 การศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์น้ำซอสปรุงรสในท้องตลาด

จากการสุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์น้ำซอสปรุงรสในท้องตลาดที่มีส่วนแบ่งตลาด (ปี พ.ศ. 2530) 4 อันดับแรก มาตรวจสอบคุณภาพด้านเคมี และด้านประสาทสัมผัส เพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาคุณภาพของผลิตภัณฑ์น้ำซอสปรุงรสจากโปรตีนถั่วเขียวย่อยด้วยกรด พบว่า ผลิตภัณฑ์น้ำซอสปรุงรสในท้องตลาดมีคุณภาพด้านเคมีไม่แตกต่างกันมากนัก คือ มีค่าความถ่วงจำเพาะ และค่า pH ที่อุณหภูมิห้อง อยู่ในช่วง 1.24-1.26 และ 5.0-5.2 ตามลำดับ เป็นที่น่าสังเกตว่าค่า pH อยู่ในช่วงที่เป็นกรด คาดว่าเนื่องจากต้องการให้มี pH ที่ไม่เหมาะสมกับการเจริญของจุลินทรีย์ ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงกำหนดค่า pH ของโปรตีนถั่วเขียวย่อยด้วยกรดให้มีความอยู่ในช่วงนี้เช่นกัน เมื่อพิจารณาถึงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และปริมาณอะมิโนแอซิดไนโตรเจน จะเห็นได้ว่ามีความสัมพันธ์กัน คือ ถ้าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมีค่ามากกว่า 30 กรัมต่อลิตร ปริมาณอะมิโนแอซิดไนโตรเจนก็จะมีค่าเกิน 20 กรัมต่อลิตร ในทางการค้าจะใช้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเป็นตัวกำหนดราคา

จำหน่ายของผลิตภัณฑ์ คือ ถ้าผลิตภัณฑ์มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงขึ้น ก็จะมีราคาจำหน่ายสูงขึ้น ปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ เป็นตัวที่มีความสำคัญต่อรสชาติของน้ำซอสปรุงรส ถ้ามีปริมาณสูงเกินไปจะขมรสอร่อยของโมโนโซเดียมกลูตาเมต ในมอก.8-2513 ได้กำหนดปริมาณของเกลืออยู่ในช่วง 200-230 กรัมต่อลิตร (4) ซึ่งผลที่ได้จากตรวจสอบ พบว่า ปริมาณเกลือที่มีในน้ำซอสปรุงรส มีค่าประมาณ 200 กรัมต่อลิตร แสดงให้เห็นว่าในด้านของรสเค็ม มีแนวโน้มที่ผู้บริโภคชอบให้ผลิตภัณฑ์มีระดับของความเค็มไม่มากนัก

สำหรับคุณภาพด้านประสาทสัมผัสซึ่งตรวจสอบโดยวิธีให้คะแนน ลักษณะที่ตรวจสอบ คือ ความใส สี กลิ่น และรสชาติ โดยในแต่ละลักษณะที่ตรวจสอบจะสอบถามระดับการยอมรับของผู้ทดสอบด้วย เพื่อหาระดับคะแนนที่ผู้ทดสอบยอมรับ จากผลของการตรวจสอบ (ตารางที่ 4.10) แสดงให้เห็นลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ผู้ทดสอบให้การยอมรับ มีลักษณะ ดังนี้ มีความใส ไม่มีตะกอน (คะแนน 7.63-7.83 คะแนน), มีสีน้ำตาลอมแดง (คะแนน 4.92-6.83 คะแนน), มีกลิ่นหอมของน้ำซอสปรุงรสเล็กน้อย (คะแนน 21.17-25.42 คะแนน), ไม่มีรสแปลกปลอมต่างจากรสชาติของน้ำซอสปรุงรส (คะแนน 8.50-8.67 คะแนน), มีรสเค็ม (หมายถึงรสของเกลือแกง) ในระดับที่พอเหมาะ (คะแนน 5.25-6.25 คะแนน), มีรสหวาน (หมายถึงรสของน้ำตาล) ในระดับที่พอเหมาะ (คะแนน 6.67-6.75 คะแนน) และรสอูมามิ (หมายถึงรสของผงชูรส) ในระดับที่พอเหมาะ (คะแนน 12.58-13.58 คะแนน) และเมื่อพิจารณาจากคะแนนรสชาติรวม จะได้ว่า ถ้ามีคะแนนรสชาติรวมในช่วง 33.25-35.25 คะแนน หมายถึงตัวอย่างที่นำมาทดสอบนั้นมีรสชาติที่ดีเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

5.3 การศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อคุณภาพด้านเคมีและกายภาพของโปรตีนถั่วเขียวย่อยด้วยกรด

ขั้นตอนการวิจัยในขั้นนี้เป็นการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการย่อยโปรตีนถั่วเขียวด้วยกรดซึ่งเป็นขั้นตอนหนึ่งในกระบวนการผลิตน้ำซอสปรุงรส ตัวแปรที่ศึกษามี 3 ตัวแปร ดังนี้คือ อัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรดเกลือ, ความเข้มข้นของกรดเกลือ และเวลา เนื่องจากว่าตัวแปรทั้ง 3 ตัวนี้ได้มีผู้ศึกษาอิทธิพลร่วมของตัวแปรไว้มาแล้ว (34,48,49) ในงานวิจัยนี้จึงวางแผนการทดลองศึกษาตัวแปรแต่ละตัวแบบ Completely Randomized Design มุ่งหาระดับของตัวแปรทั้งสามที่เหมาะสมในการผลิตโปรตีนถั่วเขียวย่อยด้วยกรด เพื่อนำไปพัฒนาเป็นน้ำซอสปรุงรสที่มีคุณภาพได้

ตามที่กำหนดไว้ใน มอก.8-2513 (4) ดังนั้นช่วงของตัวแปรที่ศึกษาจึงแปรค่าอยู่ในช่วงค่อนข้างแคบ ซึ่งอาจมีผลทำให้ข้อมูลที่ได้จากการทดลองไม่สามารถแสดงอิทธิพลของตัวแปรเหล่านั้นอย่างเด่นชัด ข้อมูลที่ได้จากการทดลองจะถูกนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan 's New Multiple Range Test (45) เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรที่ศึกษาในการเตรียมโปรตีนถั่วเขียวย่อยด้วยกรด

5.3.1 การศึกษาผลของอัตราส่วนของโปรตีนถั่วเขียวต่อกรดเกลือ

ในงานวิจัยเลือกศึกษาผลของอัตราส่วนของโปรตีนถั่วเขียวต่อกรดเกลือที่มีผลต่อคุณภาพด้านเคมีของโปรตีนถั่วเขียวย่อยด้วยกรดเป็นตัวแปรแรก เนื่องจากถ้าอัตราส่วนของโปรตีนถั่วเขียวต่อกรดเกลือเหมาะสม โปรตีนถั่วเขียวย่อยด้วยกรดที่เตรียมได้จะมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดและปริมาณอะมิโนไนโตรเจน ตามที่กำหนดใน มอก 8-2513 คือ มีปริมาณไม่ต่ำกว่า 30 กรัมต่อลิตร และ 20 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ในการทดลองกำหนดปริมาณโปรตีนถั่วเขียวคงที่ คือ 100 ± 1 กรัม การแปรปรมาตรของกรดเกลือที่ใช้ จึงมีผลทำให้อัตราส่วนของโปรตีนถั่วเขียวต่อกรดเกลือเปลี่ยนไปด้วย การแปรปรมาตรของกรดเกลือเริ่มแปรจากปริมาตรที่น้อยที่สุดที่ให้ของผลสมระหว่างโปรตีนถั่วเขียวต่อกรดเกลือไม่ขึ้นเกินไปจนถึงปริมาตรสูงสุดที่จะให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดและปริมาณอะมิโนไนโตรเจนตามที่ต้องการ ซึ่งจะได้อัตราส่วนของโปรตีนถั่วเขียวต่อกรดเกลือเป็น 3 ระดับ คือ 1:2 , 1:2.5 และ 1:3 (น้ำหนักต่อปริมาตร) ในการทดลองเลือกความเข้มข้นของกรดเกลือที่ใช้ย่อยโปรตีนถั่วเขียวเป็น 4 นอร์มัล เพื่อให้ได้ปริมาณโซเดียมคลอไรด์อยู่ในช่วง 200-230 กรัมต่อลิตร (27) และใช้เวลาในการย่อยโปรตีน 6 ชั่วโมง ตามผลการทดลองของ B.Lieske และ G.Konrad ซึ่งพบว่าในการย่อยโปรตีนนมเคซีนด้วยกรดเกลือเข้มข้น 5 นอร์มัล ปริมาณของกรดอะมิโนอิสระจะเพิ่มขึ้นในช่วง 6 ชั่วโมงแรกของการย่อยโปรตีน และมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยใน 18 ชั่วโมงต่อมา (37) โปรตีนถั่วเขียวย่อยด้วยกรดที่เตรียมได้จะถูกนำมาตรวจสอบคุณภาพด้านเคมี และร้อยละของโปรตีนที่สกัดได้ เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาสรุปผลของอัตราส่วนโปรตีนถั่วเขียวต่อกรดเกลือที่มีต่อคุณภาพด้านเคมีและเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสม

จากตารางที่ 4.12 และ 4.13 จะเห็นได้ว่าอัตราส่วนของโปรตีนถั่วเขียวต่อกรดเกลือ มีผลต่อ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด, ปริมาณนอร์มัลดีไฮด์ไนโตรเจน, ปริมาณแอมโม

เนี้ยคัลไนโตรเจน และ ปริมาณอะมิโนแอซิดไนโตรเจน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อ
มั่นร้อยละ 95 โดยการเพิ่มอัตราส่วนโปรตีนถั่วเขียวต่อกรดเกลือจากอัตราส่วน 1:2 เป็น 1:2.5
และ 1:3 (น้ำหนักต่อปริมาตร) มีผลทำให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด, ปริมาณเฟอร์มิลิตไอดีไนโตรเจน,
ปริมาณแอมโมเนี้ยคัลไนโตรเจน และปริมาณอะมิโนแอซิดไนโตรเจน ลดลงตามลำดับ แต่เมื่อ
พิจารณาถึงร้อยละของปริมาณโปรตีนที่สกัดได้ (ตารางที่ 4.14) พบว่าการเพิ่มอัตราส่วนมีผลทำ
ให้ปริมาณโปรตีนที่สกัดได้มีค่าเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณกรดเกลือ มีผลทำให้ปฏิกิริยา
เกิดได้ดีขึ้น คือ สามารถละลายพันธะเปปไทด์ในโมเลกุลโปรตีนได้มากขึ้น แต่เนื่องจากการเพิ่ม
ปริมาณของกรดเกลือเป็นการเจือจางองค์ประกอบต่าง ๆ ที่มีในโปรตีนถั่วเขียวด้วยกรด ดังนั้น
เมื่อพิจารณาในด้านของความเข้มข้นจึงมีผลทำให้มีค่าลดลง และเมื่อพิจารณาในด้านร้อยละของผล
ผลิตที่ได้ (ตารางที่ 4.14) พบว่า การเพิ่มอัตราส่วนไม่มีผลทำให้ผลผลิตที่ได้แตกต่างกันอย่างมี
นัยสำคัญทางสถิติ แต่จะเห็นได้ว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องมาจากการสูญเสียผลผลิตไปในรูปของ
ความชื้นของกากหลังจากการย่อยสลายนั้นมีค่าค่อนข้างคงที่ประมาณร้อยละ 48-52 โดยน้ำหนักกาก
ดังนั้นการเพิ่มปริมาณกรดเกลือ จึงมีผลทำให้ปริมาณของโปรตีนถั่วเขียวย่อยด้วยกรดที่ได้เพิ่มขึ้นด้วย

สำหรับคุณภาพเคมีด้านอื่น ๆ เช่น ค่าความถ่วงจำเพาะที่อุณหภูมิห้อง และ
ปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ พบว่ามีค่าต่ำกว่าที่ทางมอก.8-2513 กำหนด คือ มากกว่า 1.24
และ 200-230 กรัมต่อลิตรตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า ระหว่างการเกิดปฏิกิริยามีการสูญเสียกรด-
เกลือไปบางส่วน อาจเนื่องมาจากการระเหย ดังนั้นถ้าต้องการเพิ่มปริมาณของโซเดียมคลอไรด์
ให้ได้ตามที่กำหนดในมอก.8-2513 จำเป็นต้องเพิ่มความเข้มข้นของกรดเกลือที่ใช้ให้มากกว่า 4
นอร์มัล ซึ่งการเพิ่มปริมาณโซเดียมคลอไรด์ก็จะมีผลทำให้ค่าความถ่วงจำเพาะ มีค่าสูงขึ้นด้วย

ที่อัตราส่วนของโปรตีนถั่วเขียวต่อกรดเกลือ เป็น 1:3 (น้ำหนักต่อปริมาตร)
โปรตีนถั่วเขียวย่อยด้วยกรดที่เตรียมได้ จะมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และปริมาณอะมิโนแอซิด-
ไนโตรเจน ต่ำกว่า 30 กรัมต่อลิตร และ 20 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ดังนั้นอัตราส่วนนี้จึงไม่
เหมาะสม แต่ที่อัตราส่วนของโปรตีนถั่วเขียวต่อกรดเกลือเป็น 1:2 และ 1:2.5 (น้ำหนักต่อปริมาตร)
พบว่า โปรตีนถั่วเขียวย่อยด้วยกรดจะมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และปริมาณอะมิโนไนโตรเจน
มากกว่า 30 และ 20 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ แต่ที่อัตราส่วน 1:2.5 (น้ำหนักต่อปริมาตร) จะให้
ร้อยละของโปรตีนที่สกัดได้สูงกว่าที่อัตราส่วน 1:2 (น้ำหนักต่อปริมาตร) ดังนั้นจึงเลือกอัตราส่วน
ของโปรตีนถั่วเขียวต่อกรดเกลือเป็น 1:2.5 (น้ำหนักต่อปริมาตร) เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมใน

การย่อยโปรตีนถั่วเขียวด้วยกรดเกลือ ในการศึกษาชั้นต่อไป

5.3.2 การศึกษาผลของความเข้มข้นของกรดเกลือ

จากผลการทดลองเบื้องต้นแสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของกรดเกลือที่ใช้ต่ำเกินไป ดังนั้น การทดลองในชั้นนี้จึงได้แปรระดับความเข้มข้นของกรดเกลือเป็น 3 ระดับ คือ 4.5, 5 และ 5.5 นอร์มัล ย่อยโปรตีนถั่วเขียวด้วยกรดเกลือที่อัตราส่วนโปรตีนถั่วเขียวต่อกรดเกลือเป็น 1:2.5 (น้ำหนักต่อปริมาตร) เป็นเวลา 6 ชั่วโมง แล้วนำโปรตีนถั่วเขียวย่อยด้วยกรดที่เตรียมได้มาตรวจสอบคุณภาพด้านเคมี ดังนี้ คือ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และปริมาณโซเดียมคลอไรด์ จากผลการทดลอง (ตารางที่ 4.18) แสดงให้เห็นว่า การเพิ่มความเข้มข้นของกรดเกลือไม่มีผลต่อปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ซึ่งโดยทั่วไปแล้วความเข้มข้นของกรดเป็นตัวแปรที่มีความสำคัญตัวหนึ่งในการย่อยโปรตีนด้วยกรด กล่าวคือ ถ้าความเข้มข้นของกรดที่ใช้ในการย่อยโปรตีนสูงขึ้น อัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นด้วย มีผลทำให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมีค่าสูงขึ้นเช่นกัน (34) แต่เนื่องจากความเข้มข้นของกรดเกลือที่เลือกมาศึกษาถูกจำกัดโดยปริมาณของโซเดียมคลอไรด์ที่ต้องการให้มีค่าอยู่ในช่วง 200-230 กรัมต่อลิตร จึงสามารถแปรค่าในช่วงที่ค่อนข้างแคบ ทำให้ไม่สามารถแสดงอิทธิพลของความเข้มข้นของกรดเกลือที่มีต่ออัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาได้อย่างเด่นชัด แต่เมื่อพิจารณาถึงผลที่มีต่อปริมาณโซเดียมคลอไรด์ จะเห็นได้ว่ามีอิทธิพลต่อปริมาณโซเดียมคลอไรด์ที่ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยการเพิ่มความเข้มข้นของกรดเกลือจาก 4.5 เป็น 5 และ 5.5 นอร์มัล มีผลทำให้ปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์เพิ่มจาก 193.05 เป็น 206.43 และ 220.84 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ความเข้มข้นของกรดเกลือที่ 5 และ 5.5 นอร์มัล ต่างก็ให้ปริมาณโซเดียมคลอไรด์อยู่ในช่วง 200-230 กรัมต่อลิตร เช่นกัน แต่จากการวิเคราะห์ปริมาณโซเดียมคลอไรด์ของน้ำซอสปรุงรสที่มีจำหน่ายในท้องตลาดและเป็นที่ยอมรับในการบริโภค (ตารางที่ 4.9) พบว่า มีปริมาณโซเดียมคลอไรด์อยู่ในประมาณ 200 กรัมต่อลิตร หรือต่ำกว่านี้เพียงเล็กน้อย ดังนั้นในการศึกษาชั้นต่อไปจึงเลือกใช้กรดเกลือเข้มข้น 5 นอร์มัล ย่อยโปรตีนถั่วเขียว

5.3.3 การศึกษาผลของเวลา

ศึกษาผลของเวลาในการย่อยโปรตีนถั่วเขียวด้วยกรดที่มีต่อคุณภาพด้านเคมีของโปรตีนถั่วเขียวย่อยด้วยกรด โดยแปรเวลาเป็น 4 ระดับ คือ 1, 3, 6 และ 8 ชั่วโมงในการย่อยโปรตีนถั่วเขียวด้วยกรด กำหนดอัตราส่วนของโปรตีนถั่วเขียวต่อกรดเกลือเป็น 1:2.5 (น้ำหนักต่อปริมาตร) และความเข้มข้นของกรดเกลือเป็น 5 นอร์มัล นำโปรตีนถั่วเขียวย่อยด้วยกรดที่เวลาต่าง ๆ กันมาตรวจสอบคุณภาพด้านเคมี และสัดส่วนของกรดอะมิโนอิสระโดย Amino Acid Analyzer ซึ่งได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.18 และ 4.20 ตามลำดับ

จากตารางที่ 4.18 และ 4.19 สรุปได้ว่าเวลาเป็นตัวแปรตัวหนึ่งที่มีความสำคัญในการที่สลายพันธะเปปไทด์ในโมเลกุลโปรตีนให้ได้กรดอะมิโนอิสระ ดังจะเห็นได้ว่าใช้เวลาเพียง 1 ชั่วโมงก็เพียงพอที่จะให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดตามที่ต้องการ คือ มากกว่า 30 กรัมต่อลิตร แต่จะต้องใช้เวลาในการย่อยโปรตีนเพิ่มขึ้นอีก 2 ชั่วโมงจึงเพียงพอที่จะได้ปริมาณอะมิโนแอซิดไนโตรเจนไม่ต่ำกว่า 20 กรัมต่อลิตร แต่การเพิ่มเวลามากขึ้นหลังจาก 3 ชั่วโมงแรกของการเกิดปฏิกิริยา ไม่สามารถเพิ่มปริมาณของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และปริมาณอะมิโนแอซิดไนโตรเจน ได้ แสดงให้เห็นว่าการย่อยสลายโปรตีนถั่วเขียวด้วยกรดเกลือที่สภาวะที่ศึกษาสามารถสลายพันธะเปปไทด์ในโมเลกุลของโปรตีนได้เพียงบางส่วนเท่านั้น

เมื่อพิจารณาปริมาณของกรดอะมิโนอิสระในโปรตีนถั่วเขียวย่อยด้วยกรดที่เวลาในการย่อยโปรตีนด้วยกรดต่าง ๆ กัน (ตารางที่ 4.20) จะเห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มเวลา ปริมาณของกรดอะมิโนอิสระจะมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น ยกเว้น ซีสทีน เมธไรโอนิน ไทโรซินและทริฟโตเฟน ซึ่งตรงกับผลการทดลองของ B. Roxas และ G. Konrad (36) จากรูปที่ 4.2 และ 4.3 จะเห็นได้ว่า ใน 3 ชั่วโมงแรกของการย่อยโปรตีนถั่วเขียวด้วยกรด ปริมาณกรดอะมิโนอิสระจะเพิ่มอย่างรวดเร็วใน โดยเฉพาะกรดกลูตามิก และกรดแอสพาทิก ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากในช่วงแรกของการเกิดปฏิกิริยาการย่อยโปรตีนด้วยกรด จะเกิดปฏิกิริยาการแตกสลายภายในโมเลกุลกลูตามีน และแอสพาราจีน ตรงตำแหน่งของกลุ่มเอมิด ได้ก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) จากนั้นเกิดการเปลี่ยนโครงสร้างโมเลกุลกลายเป็นกรดกลูตามิก และกรดแอสพาทิก ตามลำดับ นอกจากนี้แล้วเนื่องจากกรดอะมิโนทั้งสองมีโครงสร้างแบบไดคาร์บอกซิลิกเมื่อเกิดพันธะเปปไทด์จึงยังคงมีกลุ่มคาร์บอกซิลอิสระที่มีประจุเป็นประจุลบซึ่งสามารถรวมตัวกับไฮโดรเจนไอออน ทำให้พันธะเปปไทด์ที่ตำแหน่ง

ใกล้เคียงมีความเสถียรลดลง (33)

เมื่อพิจารณาจากปริมาณอะมีโนแอซิดไนโตรเจน และอัตราการเปลี่ยนแปลงของกรดอะมิโนอิสระ สรุปได้ว่าเวลา 3 ชั่วโมง เป็นเวลาที่เหมาะสมในการเตรียมโปรตีนถั่วเขียวย่อยด้วยกรด

จากการศึกษาผลของตัวแปร 3 ตัวแปรข้างต้นที่มีผลต่อคุณภาพด้านเคมีของโปรตีนถั่วเขียวย่อยด้วยกรด สามารถสรุปสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมโปรตีนถั่วเขียวด้วยกรดได้ดังนี้ อัตราส่วนของโปรตีนถั่วเขียวต่อกรดเกลือ เป็น 1:2.5 (น้ำหนักต่อปริมาตร) ความเข้มข้นของกรดเกลือ 5 นอร์มัล เวลานาน 3 ชั่วโมง ที่ความดันไอน้ำ 15 psig ซึ่งเมื่อใช้โปรตีนถั่วเขียวจากแหล่งผลิตที่ 2 เป็นวัตถุดิบเริ่มต้น จะได้ผลผลิตร้อยละ 70.86 ± 1.19 โดยน้ำหนัก ปริมาณโปรตีนที่สกัดได้ร้อยละ 70.48 ± 0.86 โดยน้ำหนัก

5.4 การศึกษาคุณภาพของโปรตีนถั่วเขียวย่อยด้วยกรด

จากการนำโปรตีนถั่วเขียวย่อยด้วยกรดที่เตรียมจากสภาวะในขั้นตอนการย่อยโปรตีนที่เหมาะสม มาตรวจสอบคุณภาพด้านเคมีและด้านประสาทสัมผัส เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาพิจารณาแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพของโปรตีนถั่วเขียวย่อยด้วยกรด พบว่า ในด้านคุณภาพเคมีโปรตีนถั่วเขียวย่อยด้วยกรดที่เตรียมได้มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด, ปริมาณอะมีโนแอซิดไนโตรเจน และปริมาณโซเดียมคลอไรด์ ได้ตามที่กำหนดใน มอก.8-2513 แต่มีค่าความถ่วงจำเพาะ ๗ อุณหภูมิห้อง เป็น 1.21 ซึ่งต่ำกว่าที่กำหนดในมอก.8-2513 ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากโปรตีนถั่วเขียวที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตต่ำกว่าที่พบในกากถั่วเหลือง ประมาณร้อยละ 27 โดยน้ำหนัก จึงมีผลทำให้ปริมาณสารประกอบสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นระหว่างการย่อยโปรตีนด้วยกรด เกิดขึ้นน้อยลง มีผลทำให้ค่าความถ่วงจำเพาะ ๗ อุณหภูมิห้อง ต่ำกว่าที่ควรจะเป็น สำหรับสัดส่วนของกรดอะมิโนในโปรตีนถั่วเขียวย่อยด้วยกรด (ตารางที่ 4.22) พบว่า ใกล้เคียงกับที่พบในผลิตภัณฑ์น้ำซอสปรุงรส คือ มีปริมาณของกรดกลูตามิก และกรดแอสพาทิก สูงกว่ากรดอะมิโนตัวอื่น ๆ กรดอะมิโนที่ตรวจไม่พบในโปรตีนถั่วเขียวย่อยด้วยกรดแต่พบในน้ำซอสปรุงรส คือ ซิสทีน, เมธไธโอนีน และทรินโทเฟน นั้นเนื่องจากถูกทำลายระหว่างการเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์สัดส่วนของกรดอะมิโน

สำหรับคุณภาพด้านประสาทสัมผัส (ตารางที่ 4.23) สรุปได้ว่า ผู้ทดสอบมีความเห็นว่า

สมควรปรับปรุงคุณภาพด้าน สี กลิ่น และรสชาติ โดยสีควรจะเป็นสีที่เข้มกว่านี้ คือ สีน้ำตาลแดง และปรับรสเค็ม รสหวาน และรสอูมามีให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม สำหรับด้านกลิ่น มีความเห็นว่าสมควรขจัดกลิ่นเหม็นซึ่งเนื่องมาจากกลิ่นของวัตถุดิบที่ใช้ และลดกลิ่นเค็มและคาวคล้ายน้ำปลาลง โดยทั่วไปกลิ่นของน้ำปลาได้จากกรดที่ระเหยได้ เช่น กรดฟอร์มิก กรดอะซิติก กรดไนโตรอนิคและกรดไอโซบิวทริก เป็นต้น (5๑) ซึ่งสามารถแยกออกด้วยการกลั่น แต่เป็นวิธีการขจัดกลิ่นที่ไม่เหมาะสมสำหรับโปรตีนถั่วเขียวย่อยด้วยกรด เนื่องจากความร้อนที่ใช้ในการกลั่นมีผลทำให้สารประกอบไนโตรเจนที่มี เช่น กรดอะมิโน สารประกอบเปปไทด์โมเลกุลสั้น ๆ ถูกแปรสภาพทางธรรมชาติ เกิดการจับตัวกันตกตะกอนลงมา ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงเลือกวิธีการระเหยภายใต้สุญญากาศ และการดูดซับด้วยคาร์บอนกัมมันต์ เป็นวิธีที่ใช้ในการขจัดกลิ่นโปรตีนถั่วเขียวย่อยด้วยกรด โดยศึกษาถึงประสิทธิภาพ และผลกระทบที่มีต่อคุณภาพของโปรตีนถั่วเขียวย่อยด้วยกรดภายหลังการขจัดกลิ่น

5.5 การศึกษาวิธีการขจัดกลิ่น

ขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาเพื่อเลือกวิธีและสภาวะที่เหมาะสมที่สุด ในการขจัดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ออกจากโปรตีนถั่วเขียวย่อยด้วยกรด วิธีการขจัดกลิ่นที่เลือกมาศึกษามี 3 วิธี คือ การระเหยภายใต้สุญญากาศด้วยเครื่อง Rotary vacuum evaporator, การดูดซับด้วยคาร์บอนกัมมันต์ และวิธีการระเหยร่วมกับการดูดซับ โดยได้ศึกษาถึงประสิทธิภาพของการขจัดกลิ่น (พิจารณาจากคุณภาพด้านประสาทสัมผัส) และผลกระทบที่มีต่อลักษณะปรากฏ (ลักษณะสี) และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ของการขจัดกลิ่นแต่ละวิธี ซึ่งได้ผลการทดลอง ดังต่อไปนี้

5.5.1 การระเหยภายใต้สุญญากาศด้วยเครื่อง Rotary vacuum evaporator

โดยทั่วไปแล้ว สารประกอบที่ให้กลิ่นย่อมต้องสามารถระเหยได้ ดังนั้นการขจัดกลิ่นด้วยวิธีนี้ จึงน่าจะเป็นวิธีหนึ่งที่เหมาะสม ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการขจัดกลิ่นด้วยวิธีนี้มีหลายปัจจัย เช่น สภาพสุญญากาศ อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ โดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกศึกษาตัวแปร 2 ตัว คือ อุณหภูมิ และเวลา สำหรับสภาพสุญญากาศกำหนดให้คงที่ คือ มีค่า -76๐ มม.ปรอท

ซึ่งเป็นค่าสูงสุดที่เครื่อง vacuum pump สามารถทำได้ เพราะต้องการใช้อุณหภูมิต่ำ และเวลาน้อยที่สุดในการขจัดกลิ่น วางแผนการทดลองแบบ Factorial Design แปรค่าอุณหภูมิ 2 ระดับ คือ 50 และ 60 °ซ ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิปกติของโปรตีนถั่วเขียวย่อยด้วยกรดหลังจากการปรับ pH สำหรับเวลา ศึกษา 3 ระดับ คือ 30 45 และ 60 นาที จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวิธีการขจัดกลิ่นด้วยวิธีการระเหย มีผลต่อลักษณะสีของผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังการขจัดกลิ่นเพียงเล็กน้อย คือทำให้สีเข้มขึ้น (รูปที่ 4.4 และตารางที่ 4.25) การที่สีเข้มขึ้นนั้นเนื่องมาจากการให้ความร้อนในระหว่างการระเหย มีผลเร่งปฏิกิริยาการเกิดสารสีน้ำตาล ดังจะเห็นได้จากค่าสภาพการดูดกลืนแสงที่ 420 นาโนเมตร มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ตารางที่ 4.26) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิ หรือเพิ่มเวลาที่ใช้ แต่นับได้ว่าเป็นผลดีเนื่องจากทำให้มีสีที่คล้ายคลึงกับสีของผลิตภัณฑ์น้ำขอสปรุงรสมากขึ้น สำหรับผลกระทบที่มีต่อปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดพบว่า มีผลทำให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของโปรตีนถั่วเขียวย่อยด้วยกรดลดลง (ตารางที่ 4.27) จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ แสดงให้เห็นว่าเวลา และอุณหภูมิที่ใช้ รวมทั้งอิทธิพลร่วมของตัวแปรทั้งสอง มีผลต่อค่าร้อยละของการสูญเสียไนโตรเจนทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ตารางที่ 4.28) โดยการเพิ่มอุณหภูมิจาก 50 °ซ เป็น 60 °ซ ที่เวลา 45 นาที มีผลทำให้ค่าร้อยละของการสูญเสียไนโตรเจนทั้งหมดสูงขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ที่เป็นเช่นนี้คาดว่าเนื่องจากสารประกอบไนโตรเจน เช่น สารประกอบเปปไทด์ โมเลกุลสั้น ๆ หรือกรดอะมิโน ที่มีในโปรตีนถั่วเขียวย่อยด้วยกรดถูกทำลายสภาพทางธรรมชาติ เนื่องจากความร้อนที่ให้ระหว่างการระเหย ทำให้ไม่สามารถที่จะละลายในน้ำที่เดิม ภายหลังการขจัดกลิ่น (เพื่อปรับความเข้มข้นของโปรตีนถั่วเขียวย่อยด้วยกรด ให้ได้ตามต้องการ) ดังนั้นการใช้อุณหภูมิสูงขึ้น จึงมีผลทำให้สูญเสียสารประกอบไนโตรเจนมากขึ้น ซึ่งการเพิ่มเวลาจะให้ผลเช่นเดียวกับการเพิ่มอุณหภูมิ สาเหตุที่การเพิ่มเวลามีผลทำให้สูญเสียสารประกอบไนโตรเจนมากขึ้น เนื่องจากในระหว่างการระเหย นอกจากเป็นการระเหยสารประกอบที่ให้กลิ่นชนิดต่าง ๆ แล้ว ยังมีผลทำให้น้ำระเหยด้วย การใช้เวลานานเกินไปจะทำให้โปรตีนถั่วเขียวย่อยด้วยกรดมีความเข้มข้นมากขึ้น เกิดเป็นคราบจับผนังด้านในของ vacuum chamber ทำให้ปริมาณของสารประกอบไนโตรเจนลดลง ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากร้อยละของการสูญเสียไนโตรเจน สภาพที่น่าจะเหมาะสมในการขจัดกลิ่นด้วยวิธีนี้ คือ ที่อุณหภูมิ 50 °ซ เป็นเวลา 30 และ 45 นาที และที่อุณหภูมิ 60 °ซ เป็นเวลา 30 นาที ซึ่งการเลือกว่าสภาวะใดเหมาะสมที่สุด จะพิจารณาจากคุณภาพด้าน

ประสาทสัมผัสของ โพรตีนแก้ว เขียวย่อยด้วยกรดที่ผ่านการขจัดกลิ่นที่สภาวะดังกล่าว จากผลการตรวจสอบคุณภาพด้านประสาทสัมผัส (ตารางที่ 4.30) สรุปได้ว่า ช่วงของตัวแปรที่เลือกมาศึกษา ทั้งสองตัว ไม่มีผลต่อคุณภาพด้านประสาทสัมผัสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ โพรตีนแก้วเขียวย่อยด้วยกรดที่ได้หลังการขจัดกลิ่นที่สภาวะต่าง ๆ มีลักษณะใส ปราศจากตะกอน สีน้ำตาลอมแดงถึงสีน้ำตาลเข้ม มีกลิ่นเค็มคาวคล้ายน้ำปลาปานกลางถึงเล็กน้อย ไม่มีรสแปลกปลอม มีรสเค็ม รสหวาน และรสอูมามีในระดับที่เกือบพอเหมาะ ผู้ทดสอบยังมีความเห็นว่าควรปรับปรุงในด้านกลิ่นและรสชาติ เนื่องจากคะแนนด้านกลิ่นของ โพรตีนแก้วเขียวย่อยด้วยกรดที่ขจัดกลิ่นที่อุณหภูมิ 50 °ซ เป็นเวลา 30 นาที มีคะแนนกลิ่นเค็ม และคาวคล้ายน้ำปลาอยู่ในระดับปานกลาง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกสภาวะในการขจัดกลิ่นที่อุณหภูมิ 50 °ซ เป็นเวลา 45 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการขจัดกลิ่นด้วยการระเหยภายใต้สูญญากาศด้วยเครื่อง Rotary vacuum evaporator

จากการนำโพรตีนแก้วเขียวย่อยด้วยกรดที่ผ่านการขจัดกลิ่นที่อุณหภูมิ 50 °ซ เป็นเวลา 45 นาที มาศึกษา Volatile compound pattern ด้วยวิธี Chloroform extract (รูปที่ 4.5) พบว่าการขจัดกลิ่นวิธีนี้มีผลทำให้ Volatile compound pattern เปลี่ยนไป เมื่อเทียบกับก่อนนำมาขจัดกลิ่น โดย Volatile compound ตัวที่ 1 (retention time 1.91) มีความสูงของ peak ลดลง และไม่พบ Volatile compound ตัวที่ 2 (retention time 2.61) แสดงให้เห็นว่า Volatile compound ตัวที่ 1 และ Volatile compound ตัวที่ 2 น่าจะเกี่ยวข้องกับกลิ่นเค็มและคาวคล้ายน้ำปลาที่พบในโพรตีนแก้วเขียวย่อยด้วยกรด

5.5.2 การดูดซับด้วยคาร์บอนกัมมันต์

เป็นวิธีการขจัดกลิ่นที่นิยมใช้กันมานาน และสามารถนำมาใช้ในอุตสาหกรรมขนาดเล็กได้ โครงสร้างของคาร์บอนกัมมันต์มีลักษณะเป็นรูพรุน ซึ่งโดยทั่วไปขนาดของรูพรุนจะมีความเหมาะสมกับขนาดอนุภาคของสารประกอบที่ให้สีและกลิ่นที่พบในธรรมชาติ ทำให้คาร์บอนกัมมันต์สามารถดูดซับโมเลกุลของสารที่ให้สี และกลิ่นได้ดี ตัวแปรที่มีความสำคัญต่อประสิทธิภาพในการขจัดกลิ่นด้วยวิธีนี้ ที่ได้เลือกมาศึกษา คือ ปริมาณคาร์บอนกัมมันต์ และเวลา โดยแปรปริมาณคาร์บอนกัมมันต์ 3 ระดับ ดังนี้ คือร้อยละ 0.01, 0.05 และ 1.00 โดยน้ำหนัก เวลา 2 ระดับ คือ 1 และ 2 ชั่วโมง ช่วงของตัวแปรที่ศึกษาเป็นช่วงที่ใช้กันในอุตสาหกรรมทั่ว ๆ ไป (30,39)

จากผลการตรวจสอบคุณภาพด้านเคมี คือ ลักษณะสีหลังการขจัดกลิ่น พบว่า การขจัดกลิ่นด้วยวิธีนี้มีผลทำให้สีของโปรตีนถั่วเขียวอ่อนด้วยกรรมวิธีอ่อนลง คือมีสีน้ำตาลอมเหลืองมากขึ้น (ตารางที่ 4.31 และรูปที่ 4.6) จะเห็นได้ชัดเจนขึ้นเมื่อพิจารณาร้อยละการลดลงของค่าสภาพการดูดกลืนแสงที่ 420 นาโนเมตร (ตารางที่ 4.32) จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่า ค่าร้อยละการลดลงของค่าสภาพการดูดกลืนแสงที่ 420 นาโนเมตรขึ้นกับ ปริมาณของคาร์บอนกัมมันต์ และเวลาที่ใช้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการเพิ่มปริมาณคาร์บอนกัมมันต์ และการเพิ่มเวลา จะมีผลทำให้ร้อยละการลดลงของค่าสภาพการดูดกลืนแสงที่ 420 นาโนเมตรมีค่าเพิ่มขึ้น ตามลำดับ (ตารางที่ 4.33) การที่ค่าสภาพการดูดกลืนแสงที่ 420 นาโนเมตรลดลง แสดงให้เห็นว่าคาร์บอนกัมมันต์สามารถดูดซับสารประกอบสีน้ำตาลที่มีในโปรตีนถั่วเขียวอ่อนด้วยกรดได้ สำหรับร้อยละของการสูญเสียปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด พบว่ามีการสูญเสียสารประกอบไนโตรเจนเช่นเดียวกันกับการขจัดกลิ่นด้วยวิธีการระเหยภายใต้สุญญากาศ การสูญเสียสารประกอบไนโตรเจนคาดว่าเนื่องมาจากถูกดูดซับด้วยคาร์บอนกัมมันต์ และบางส่วนตกตะกอนเนื่องจากการได้รับความร้อนระหว่างการดูดซับเป็นเวลานาน ดังนั้นเมื่อพิจารณาผลกระทบที่มีต่อค่าสภาพการดูดกลืนแสงที่ 420 นาโนเมตร และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด พบว่า สภาวะที่น่าจะเป็นสภาวะที่เหมาะสม คือ ปริมาณคาร์บอนกัมมันต์ร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 1 หรือ 2 ชั่วโมง แต่เมื่อพิจารณาคุณภาพด้านประสาทสัมผัส (ตารางที่ 3.6 และ 3.7) จะเห็นได้ว่าในคะแนนด้านกลิ่นที่เวลา 1 ชั่วโมงมีค่าน้อยกว่าที่เวลา 2 ชั่วโมงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้นสรุปได้ว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการขจัดกลิ่นด้วยวิธีนี้ คือ ปริมาณคาร์บอนกัมมันต์ร้อยละ 0.01 โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 2 ชั่วโมง สามารถขจัดกลิ่นเค็ม และคาวคล้ายน้ำปลาได้ จากระดับกลางลงมาระดับปานกลาง

เมื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของ Volatile compound pattern ของโปรตีนถั่วเขียวอ่อนด้วยกรดภายหลังการขจัดกลิ่นโดยใช้คาร์บอนกัมมันต์ร้อยละ 0.01 โดยน้ำหนักเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ด้วยวิธี Chloroform extract จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของ Volatile compound pattern เพียงเล็กน้อย ซึ่งสอดคล้องกับผลการตรวจสอบทางประสาทสัมผัส ที่พบว่าวิธีนี้สามารถลดกลิ่นเค็ม และคาวคล้ายน้ำปลาให้อยู่ในระดับปานกลาง

5.5.3 วิธีการดูดซับด้วยคาร์บอนกัมมันต์ร่วมกับการระเหยภายใต้สุญญากาศ

จากผลการทดลองขั้นต้นจะเห็นได้ว่าการขจัดกลิ่นด้วยวิธีการดูดซับ หรือการระเหย สามารถขจัดกลิ่นเค็มและคาวคล้ายน้ำปลาที่มีในโปรตีนถั่วเขียวย่อยด้วยกรดได้บางส่วนเท่านั้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทดลองขจัดกลิ่นโดยวิธีร่วมของวิธีทั้งสองที่สภาวะที่เหมาะสมที่ได้ศึกษาไว้ในข้างต้น แล้วนำมาตรวจสอบคุณภาพด้านประสาทสัมผัส เปรียบเทียบกับที่ผ่านการขจัดกลิ่นด้วยวิธีการดูดซับ หรือการระเหย เพื่อดูประสิทธิภาพในการขจัดกลิ่นของแต่ละวิธี จากผลการตรวจสอบคุณภาพด้านประสาทสัมผัส (ตารางที่ 4.38 และ 4.39) พบว่า วิธีการขจัดกลิ่นด้วยวิธีการดูดซับด้วยคาร์บอนกัมมันต์ร่วมกับวิธีการระเหยภายใต้สุญญากาศ มีคะแนนด้านกลิ่นไม่แตกต่างจากวิธีการระเหยภายใต้สุญญากาศ แต่มีคะแนนสูงกว่าวิธีการดูดซับด้วยคาร์บอนกัมมันต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แสดงให้เห็นว่าวิธีการขจัดกลิ่นแต่ละวิธีมีประสิทธิภาพในการขจัดกลิ่นแตกต่างกัน โดยวิธีการขจัดกลิ่นด้วยวิธีการร่วมมีประสิทธิภาพในการขจัดกลิ่นใกล้เคียงกับวิธีการระเหยภายใต้สุญญากาศ แต่มีประสิทธิภาพสูงกว่าวิธีการดูดซับด้วยคาร์บอนกัมมันต์

สรุปได้ว่า การขจัดกลิ่นด้วยวิธีการระเหยภายใต้สุญญากาศด้วยเครื่อง Rotary vacuum evaporator เป็นวิธีการขจัดกลิ่นที่เหมาะสมที่สุดในวิธีการขจัดกลิ่นที่เลือกมาศึกษา เมื่อพิจารณาจากประสิทธิภาพในการขจัดกลิ่น , การหลีกเลี่ยงการปนเปื้อนจากคาร์บอนกัมมันต์ และ การใช้พลังงานในการขจัดกลิ่น

5.6 การศึกษาการพัฒนา น้ำซอสปรุงรสจาก โปรตีนถั่วเขียวย่อยด้วยกรด

5.6.1 ปริมาณการใช้โปรตีนถั่วเขียวย่อยด้วยกรดในน้ำซอสปรุงรส

ปัจจุบันวัตถุดิบสำคัญในการผลิตน้ำซอสปรุงรส คือ กากถั่วเหลืองจากโรงงานสกัดน้ำมันพืช ซึ่งมีปริมาณโปรตีนไม่สูงนัก คือ ประมาณร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก จึงได้มีการใช้โปรตีนเคซีนเป็นวัตถุดิบร่วม เพื่อเพิ่มปริมาณโปรตีนในวัตถุดิบ ปริมาณการใช้โปรตีนเคซีนอยู่ในช่วงร้อยละ 3-11 ขึ้นกับชนิดของน้ำซอสปรุงรส (ภาคผนวก ฉ) โปรตีนเคซีนเป็นโปรตีนที่มีราคาสูง และต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ดังนั้นถ้าสามารถนำโปรตีนถั่วเขียวซึ่งเป็นวัตถุดิบภายในประเทศ และมี

ราคาถูกกว่า มาใช้ทดแทน จะเป็นการลดต้นทุนการผลิตทางหนึ่ง แต่จากการศึกษาข้างต้น สรุปได้ว่า โปรตีนถั่วเขียวย่อยด้วยกรดที่เตรียมได้มีลักษณะของกลิ่นแตกต่างจากกลิ่นของน้ำซอสปรุงรส คือ มีกลิ่นเค็ม และคาวคล้ายน้ำปลา ซึ่งวิธีการขจัดกลิ่นที่เลือกมาศึกษาในการวิจัยไม่สามารถขจัดกลิ่น ได้หมด ดังนั้นจึงได้นำโปรตีนถั่วเขียวย่อยด้วยกรดที่ได้ผ่านการขจัดกลิ่นแล้ว(ด้วยวิธีการระเหยภายใต้สูญญากาศ) มาผสมกับกากถั่วเหลืองย่อยด้วยกรด เพื่อหาปริมาณสูงสุดที่สามารถนำโปรตีนถั่วเขียวย่อยด้วยกรดมาใช้ในผลิตภัณฑ์น้ำซอสปรุงรส จากการทดลอง พบว่า ปริมาณการผสมโปรตีนถั่วเขียวย่อยด้วยกรดมีผลต่อคะแนนด้านกลิ่น อย่างมีนัยสำคัญทางด้านสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยถ้าเพิ่มปริมาณโปรตีนถั่วเขียวย่อยด้วยกรดในการผสม คะแนน และระดับการยอมรับด้านกลิ่น จะลดลง ตามลำดับ ปริมาณโปรตีนถั่วเขียวย่อยด้วยกรดที่สามารถเติมลงไปผสมโดยไม่ทำให้คะแนน และระดับการยอมรับด้านกลิ่นของกากถั่วเหลืองย่อยด้วยกรดต่ำลง คือ ร้อยละ 10 โดยปริมาตร การผสมในอัตราส่วนนี้จะทำให้ต้นทุนการผลิต (เฉพาะวัตถุดิบ) ลดลงประมาณร้อยละ 4 ซึ่งถ้าผลิตในระดับอุตสาหกรรมจะสามารถลดค่าใช้จ่ายลงได้เป็นจำนวนมาก

5.6.2 การปรับปรุงรสชาติ

ในงานวิจัยได้ทดลองปรับปรุงรสชาติของกากถั่วเหลืองย่อยด้วยกรดผสมด้วยโปรตีนถั่วเขียวย่อยด้วยกรด โดยใช้น้ำตาล และผงชูรส ซึ่งผลการตรวจสอบคุณภาพด้านประสาทสัมผัส พบว่า ผู้ทดสอบให้คะแนนด้านรสชาติของตัวอย่างน้ำซอสปรุงรสที่นำมาตรวจสอบคุณภาพด้านประสาทสัมผัสไม่แตกต่างกัน ดังนั้น จึงเลือกการปรับปรุงรสชาติของกากถั่วเหลืองย่อยด้วยกรดผสมโปรตีนถั่วเขียวย่อยด้วยกรด(ในอัตราส่วน 90:10 โดยปริมาตร) โดยใช้น้ำตาลทรายร้อยละ 3 และผงชูสร้อยละ 0.20 โดยน้ำหนัก ก่อนนำผลิตภัณฑ์น้ำซอสปรุงรสที่ได้มาทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคทั่วไป

5.6.3 การยอมรับของผลิตภัณฑ์น้ำซอสปรุงรส

น้ำน้ำซอสปรุงรสมาทดสอบการยอมรับ โดยใช้ผู้ทดสอบทั่วไปจำนวน 30 คน จากผลการทดสอบ สรุปได้ว่า ผู้ทดสอบให้การยอมรับผลิตภัณฑ์น้ำซอสปรุงรสที่ได้ใช้โปรตีนถั่วเขียวย่อยด้วยกรดผสม ในปริมาณร้อยละ 10 โดยปริมาตร โดยมีระดับการยอมรับอยู่ในช่วงชอบเล็กน้อยถึงชอบมาก อย่างไรก็ตาม เนื่องจากโปรตีนถั่วเขียวที่ได้ผ่านการขจัดกลิ่นด้วยวิธีการระเหย

ภายใต้สภาวะที่อุณหภูมิ 50 °ซ เป็นเวลา 45 นาที ยังคงมีกลิ่นเค็มและคาวคล้ายน้ำปลา (ตารางที่ 4.36) ดังนั้นเพื่อศึกษาแนวทางการนำโปรตีนถั่วเขียวย่อยด้วยกรดมาใช้ในรูปแบบอื่น ๆ ในงานวิจัยนี้จึงได้นำมาทดสอบการยอมรับจากผู้บริโภคทั่วไป จำนวน 30 คน โดยใช้แบบทดสอบค.2 จากผลการทดสอบ (ภาคผนวก ญ) สรุปได้ว่า ผู้ทดสอบส่วนใหญ่มีความเห็นว่าโปรตีนถั่วเขียวย่อยด้วยกรดที่ผ่านการจัดกลิ่นด้วยวิธีการระเหยภายใต้สภาวะที่มีลักษณะปรากฏจัดเป็นเครื่องปรุงรสชนิดน้ำปลา โดยมีระดับการยอมรับอยู่ในช่วงเฉยถึงชอบเล็กน้อย (คะแนน 5-6 คะแนน) และเมื่อพิจารณาคุณภาพด้านเคมีในด้านปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และปริมาณอะมิโนแอซิดไนโตรเจนพบว่าอยู่ในชั้นคุณภาพชั้นหนึ่ง ดังนั้นจะเห็นได้ว่า ถ้าได้มีการปรับปรุงรสชาติให้เป็นที่ยอมรับมากขึ้น โปรตีนถั่วเขียวย่อยด้วยกรด อาจใช้เป็นเครื่องปรุงรสทดแทนน้ำปลาได้อีกนอกจากนำมาใช้ผลิตภัณฑ์น้ำซอสปรุงรส ดังเช่นในงานวิจัยข้างต้น

5.7 การศึกษาอายุการเก็บ

ในงานวิจัยนี้ได้เก็บผลิตภัณฑ์น้ำซอสปรุงรสเป็นเวลา 3 เดือน เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพด้านเคมี ด้านประสาทสัมผัส และด้านจุลินทรีย์ จากการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์น้ำซอสปรุงรสทุก 1 เดือน แสดงให้เห็นว่า คุณภาพด้านเคมี และด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์น้ำซอสปรุงรสไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญภายในเวลา 3 เดือน และสำหรับคุณภาพด้านจุลินทรีย์นั้นตรวจไม่พบจุลินทรีย์ เนื่องจากน้ำซอสปรุงรสได้ผ่านการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 80 °ซ เป็นเวลา 15 นาที ซึ่งเพียงพอที่จะทำลายจุลินทรีย์ที่มีในน้ำซอสปรุงรสได้