บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 องค์ประกอบของวัตถุดิบ

เนื่องจากถั่วเหลืองพันธุ์ส.จ.5 จากสถานีทดลองปลูกพืชไร่จังหวัดพะเยาที่ใช้ทดลองได้จากฤดูเพาะปลูกที่ต่างกัน จึงต้องศึกษาองค์ประกอบ ซึ่งอาจแปรตามอุณหภูมิและความชื้นของดิน (2) ผลการทดลองตามตารางที่ 4.1-4.2 แสดงว่าความแตกต่างขององค์ประกอบถั่วเหลืองจากฤดูเพาะปลูกทั้ง 2 ฤดูไม่มีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) จึงกล่าวได้ว่าวัตถุดิบที่ใช้สำหรับการทดลองนี้มีโปรตีนร้อยละ 47.17-47.23 ไขมันร้อยละ 26.18-26.47 เถ้าร้อยละ 5.01-5.05 เส้นใยร้อยละ 4.31-4.36 และคาร์โบไฮเดรทร้อยละ 16.94-17.28 โดยน้ำหนักแห้ง และถือได้ว่าวัตถุดิบที่ใช้ตลอดการทดลองมีความเป็นอันหนึ่งอันเดียวกัน โดยทั่วไปองค์ประกอบที่สำคัญในกระบวนการผลิตโปรตีนแปลงเนื้อสัมผัสคือ ปริมาณโปรตีนเพราะวัตถุดิบที่มีโปรตีนในปริมาณมาก ทำให้ตะกอนโปรตีนที่สกัดได้และใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตมากตามด้วย ความสม่ำเสมอของวัตถุดิบก็มีความสำคัญต่อกระบวนการผลิตเพราะมีผลต่อสภาวะที่ใช้ในการสกัดตลอดจนประสิทธิภาพของกระบวนการสกัดโปรตีนจากวัตถุดิบ (2)

5.2 สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดโปรตีนจากวัตถุดิบ

ขั้นตอนนี้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดโปรตีนจากวัตถุดิบ ซึ่งได้แก่ pH ของสารสกัด เวลาสกัดและอัตราส่วนถั่วต่อสารสกัด ขั้นแรกได้แปร pH ของสารสกัดจาก 7-12 (โดยเพิ่มครั้งละ 1 หน่วย pH) ใช้เวลาสกัด 8 นาที และอัตราส่วนถั่วต่อสารสกัด 1:8 ขั้นที่สองศึกษาเวลาสกัดที่เหมาะสมโดยใช้ pH ของสารสกัดจากข้อมูลที่สรุปได้จากขั้นแรก แปรเวลาสกัดเป็น 8, 10, 15 และ 20 นาที ใช้อัตราส่วนถั่วต่อสารสกัด 1:8 ขั้นสุดท้ายแปรอัตราส่วนถั่วต่อสารสกัดเป็น 1:8, 1:10, 1:12 และ 1:14 โดยใช้สารสกัดที่มี pH ตามผลสรุปจากขั้นแรกและเวลาสกัดตามผลสรุปจากขั้นที่สอง ผลการทดลองมีดังแสดงในตารางที่ 4.3-4.8 โปรตีนในเมล็ดถั่วเหลืองส่วนใหญ่เป็น globulin ซึ่งไม่ละลายน้ำที่ pH 4.2-4.6 (isoelectric pH) แต่ที่ช่วง pH ดังกล่าว เมื่อเติมเกลือบางชนิดที่ความเข้มข้นเหมาะสม เช่นเกลือของ sodium หรือ calcium chloride ลงไป globulin จะละลายมากขึ้น พบว่าถ้า pH ของสารละลายอยู่ในช่วงที่สูงหรือต่ำกว่า isoelectric pH จะทำให้ globulin ละลายได้เพิ่มขึ้น จากงานวิจัยที่ผ่านมา (35) เมื่อละลายแป้งถั่วเหลืองสกัดไขมันในน้ำที่ pH 6.5 องค์ประกอบพวกไนโตรเจนจะละลายได้ถึงร้อยละ 85 และเมื่อเติมด่างลงไปการละลายเพิ่มขึ้นร้อยละ 5-10 ดังนั้นเมื่อศึกษาผลของ pH ต่อปริมาณโปรตีนที่สกัดได้จึงเลือกช่วง pH

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7-12 ซึ่งผลการทดลองจากตารางที่ 4.3 พบว่า ช่วง pH 7-10 โปรตีนที่สกัดได้มีค่าร้อยละ 68-71 ซึ่งแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่ที่ระดับ pH 11-12 โปรตีนที่สกัดได้สูงขึ้นถึงร้อยละ 78 และแตกต่างกับปริมาณที่สกัดได้ที่ pH 7-10 อย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นจึงเลือก pH ของสารสกัดเป็น 11 เพื่อศึกษาผลของเวลาสกัดและอัตราส่วนของถั่วต่อสารสกัดต่อไป ผลวิจัยครั้งนี้สอดคล้องกับงานของ De (36) ซึ่งสรุปว่าการกระจายตัวของโปรตีนถั่วเหลืองเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ เมื่อ pH ของสารสกัดเพิ่มขึ้น และจะมากที่สุดที่ pH 11 Smith และ Circle (19) สรุปว่าไนโตรเจนในโปรตีนถั่วเหลืองกระจายตัวในสารละลายได้มากที่สุดที่ pH 11-12.2 แต่ที่ pH 12 อาจทำให้ globulin เสื่อมสภาพมากเกินไปและอาจทำให้ตะกอนโปรตีนที่ได้มีสีคล้ำ (37)

สำหรับผลของเวลาสกัดต่อปริมาณโปรตีนที่สกัดได้ เมื่อใช้สารสกัด pH 11 อัตราส่วนถั่วต่อสารสกัด 1:8 แสดงในตารางที่ 4.5 พบว่าเมื่อเวลาสกัดเพิ่มจาก 8 นาที เป็น 20 นาที ปริมาณโปรตีนที่สกัดได้เพิ่มจากร้อยละ 78.22 เป็น 78.92 ซึ่งความแตกต่างนี้ไม่มีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) Thomson (37) สรุปว่าเวลาไม่ได้เป็นปัจจัยสำคัญต่อความสามารถในการสกัด (extractability) โปรตีนจากพืชตระกูลถั่วและโปรตีนส่วนใหญ่สกัดได้ภายในเวลา 10-20 นาที ดังนั้นจึงเลือก 8 นาที เป็นเวลาสกัดที่เหมาะสมเนื่องจากสั้นและประหยัดพลังงานมากที่สุด

ผลของปริมาณสารสกัดต่อปริมาณโปรตีนแสดงในตารางที่ 4.7 พบว่า เมื่ออัตราส่วนเพิ่มจาก 1:8 เป็น 1:14 โปรตีนที่สกัดได้เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 79.30 เป็น 81.60 ซึ่งความแตกต่างนี้ไม่มีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) De (36) และ Wolf (35) แนะนำว่าการสกัดโปรตีนได้ผลดีเมื่อใช้อัตราส่วนระหว่างถั่วต่อสารสกัดในช่วง 1:10 ถึง 1:20 ผลจากการทดลองนี้จึงต่างจากที่รายงานโดยผู้วิจัยทั้ง 2 เหตุที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องจาก pH ของสารสกัดที่ใช้ต่างกัน โดยงานวิจัยที่ผ่านมาใช้ pH ในช่วง 7-9 (35) ซึ่งต่ำกว่างานวิจัยครั้งนี้ ดังนั้นจึงต้องใช้สารสกัดในปริมาณที่มากกว่า เพื่อสกัดโปรตีนออกมาให้ได้มากที่สุด นอกจากนั้นอาจเป็นไปได้ว่าอุปกรณ์ที่ใช้สกัดต่างกัน โดยงานวิจัยที่ผ่านมามักใช้อุปกรณ์ในระบบปิด ซึ่งทำเป็น batch แต่งานวิจัยนี้ใช้ colloid mill ซึ่งมีระบบหมุนเวียน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัด จึงอาจเป็นเหตุให้สามารถใช้สารสกัดน้อยลง และการใช้สารสกัดน้อย ทำให้เวลาในการกรองแยกกากถั่วเหลือง ปริมาณกรดที่ใช้ตกตะกอนโปรตีน และเวลาในการ centrifuge ลดลง ดังนั้นจึงเลือกอัตราส่วนถั่วต่อสารสกัด 1:8 สำหรับการทดลองขั้นต่อไป

ผลจากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดโปรตีนจากวัตถุดิบสรุปได้ว่า pH สารสกัด 11 อัตราส่วนถั่วต่อสารสกัด 1:8 และเวลาสกัด 8 นาที เป็นสภาวะดีที่สุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.3 สภาวะที่เหมาะสมในการแปลงเนื้อสัมผัสโปรตีนถั่วเหลืองโดยวิธีแช่แข็ง

จากสภาวะสกัดที่เหมาะสม ซึ่งสรุปได้จากข้อ 4.2 สกัดโปรตีนจากถั่วเหลือง นำโปรตีน slurry ที่ได้มาศึกษาสภาวะและวิธีแช่แข็งที่เหมาะสม เพื่อแปลงเนื้อสัมผัส โดยแปรปริมาณของแข็งทั้งหมดเป็นร้อยละ 10, 15 และ 20 แช่แข็งด้วยวิธี plate และวิธีใช้คาร์บอนไดออกไซด์แข็ง แล้วกำจัดผลึกน้ำแข็ง โดยแทนที่ด้วย 95% ethyl alcohol หรือใช้วิธี freeze drying

การศึกษาเรื่องการแปลงเนื้อสัมผัสโปรตีนจากพืชด้วยกระบวนการต่าง ๆ เพื่อทำให้เกิดโครงสร้างเส้นใย คล้ายโปรตีนเนื้อสัตว์ มักอาศัยเทคนิคการตรวจสอบโครงสร้างขนาดเล็ก (microstructure) ที่เกิดขึ้นด้วยวิธีส่องขยายภายใต้อุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น scanning electron microscope, transmission electron microscope (38) และวัดความแข็งแรงของโครงสร้างเส้นใยที่เกิดขึ้นด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น Lee-Kramer Shear Press (39) ดังนั้นเกณฑ์ในการเลือกสภาวะที่เหมาะสม สำหรับแปลงเนื้อสัมผัส โดยวิธีแช่แข็งจึงอาศัยหลักการดังกล่าว และการทดสอบทางประสาทสัมผัสเฉพาะสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นเกณฑ์ตัดสิน

5.3.1 ผลของวิธีแช่แข็งต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์

เมื่อนำโปรตีน slurry ที่แปรปริมาณของแข็งทั้งหมดเป็นร้อยละ 10, 15 และ 20 มาแช่แข็งด้วยวิธีแบบ plate หรือแบบใช้คาร์บอนไดออกไซด์แข็งและวัดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเมื่อเวลาในการแช่แข็งเพิ่มขึ้นตาม รูปที่ 4.1-4.6 และตารางที่ 4.9 พบว่าเมื่อปริมาณของแข็งเพิ่มมากขึ้นเวลาในการแช่แข็งผลิตภัณฑ์จะลดต่ำลงและการใช้คาร์บอนไดออกไซด์แข็งดีกว่าการแช่แข็งแบบ plate ในด้านเวลาแช่แข็ง กล่าวคือ โปรตีน slurry ที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 10,15 และ 20 ใช้เวลาในการแช่แข็งแบบ plate เป็น 67, 66 และ 60 นาที ตามลำดับ แต่เมื่อใช้คาร์บอนไดออกไซด์แข็งเวลาแช่แข็งจะลดลงเป็น 59, 56 และ 57 นาที อย่างไรก็ตามเป็นที่น่าสังเกตว่าปริมาณของแข็งทั้งหมดในโปรตีน slurry ที่ผ่านการแช่แข็งแต่ละวิธีไม่มีผลทำให้เวลาแช่แข็งต่างกันมากนัก ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเมื่ออุณหภูมิของผลิตภัณฑ์แช่แข็งลดลงถึงจุดเยือกแข็ง น้ำในโปรตีน slurry จะกลายเป็นผลึกน้ำแข็งพร้อม ๆ กัน (15) จึงทำให้เวลาที่ผลิตภัณฑ์จะมีอุณหภูมิสุดท้ายตามต้องการไม่ต่างกันมากนัก ส่วนผลของวิธีแช่แข็งนั้นอาจสรุปว่า การแช่แข็งแบบ plate ต้องใช้เวลานานกว่าแบบใช้คาร์บอนไดออกไซด์แข็ง ทั้งนี้เพราะอุณหภูมิของแผ่นทำความเย็นส่วนที่สัมผัสภาชนะบรรจุผลิตภัณฑ์ (-40°C) สูงกว่าอุณหภูมิของคาร์บอนไดออกไซด์แข็ง (ประมาณ -80°C) (17)

เมื่อพิจารณาผลของวิธีแช่แข็งต่อโครงสร้างเส้นใยของโปรตีนแปลงเนื้อ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สัมผัสภายใต้ scanning electron microscope (รูปที่ 4.8-4.19) พบว่าวิธีแช่แข็งแบบ plate และแบบคาร์บอนไดออกไซด์แข็ง ทำให้เกิดโครงสร้างเส้นใยที่คล้ายกันในทุกสภาวะทดลอง โดยเส้นใยดังกล่าวเรียงขนานและเชื่อมกันบางส่วน ในขณะที่ตะกอนถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านการแช่แข็งไม่มีโครงสร้างดังกล่าวเกิดขึ้น (รูป 4.7) การเกิดโครงสร้างเส้นใยในผลิตภัณฑ์แช่แข็งอธิบายได้ว่าเมื่อสกัดโปรตีนด้วยด่างทำให้ globular protein ในถั่วเหลืองเสื่อมสภาพ (denature) ดังนั้นสาย polypeptide จึงยืดตัวอยู่ในลักษณะ random coil และขณะเดียวกันก็เกิดปฏิกิริยา sulfhydryl-disulfide interchange ระหว่าง สาย polypeptide เป็นเหตุให้เกิดพันธะ disulfide บางส่วนขึ้นระหว่างสาย polypeptide เหล่านั้น และเมื่อตกตะกอนโปรตีนด้วยกรด สาย polypeptide จะเคลื่อนเข้าหากัน จึงมีโอกาสเกิดพันธะทางเคมี เช่นพันธะ hydrogen, ionic ระหว่างและภายในสาย polypeptide มากขึ้น (18) ดังนั้น เมื่อนำโปรตีน slurry ที่เกิดปฏิกิริยาระหว่างโปรตีนบางส่วนมาแช่แข็งด้วยวิธีแช่แข็งแบบ plate หรือแบบใช้คาร์บอนไดออกไซด์แข็ง โดยควบคุมการลดของอุณหภูมิให้อยู่ในลักษณะ unidirectional คือพื้นผิวของภาชนะบรรจุเพียงด้านเดียวเท่านั้นที่สัมผัสตัวทำความเย็นจึงเกิดการถ่ายเทความร้อนทิศทางเดียวทำให้ผลึกน้ำแข็งเกิดเป็นเส้นตรงและจัดเรียงตัวในแนวตั้งฉากกับพื้นผิวสัมผัสความเย็น ขณะที่ผลึกน้ำแข็งเติบโตขึ้นมันจะผลักดันให้สารโปรตีนถั่วเหลืองที่อยู่ระหว่างผลึกและกิ่งก้านของผลึกเคลื่อนเข้าหากัน ดังนั้นโมเลกุลของโปรตีนและสาย polypeptide จึงมีโอกาสเกิดพันธะต่าง ๆ เช่น disulfide, hydrogen, ionic และ hydrophobic เพิ่มขึ้นอีก (5, 15) แรงกดทางกายภาพ (physical compression) จากการเติบโตของผลึกยังทำให้สารโปรตีนเหล่านั้นเกิดรูปแบบทางกายภาพ (physical casting) อีกด้วย อย่างไรก็ตามสารโปรตีนที่อยู่ระหว่างผลึกและกิ่งก้านของผลึกไม่ได้แยกจากกันอย่างอิสระ แต่มีบางส่วนเชื่อมกัน ดังนั้นเมื่อกำจัดผลึกน้ำแข็งออกสารโปรตีนเหล่านั้นจึงอยู่ในลักษณะของเส้นใยที่มีส่วนเชื่อมโยงกัน ดังปรากฏในรูปที่ 4.8-4.19 สำหรับผลของวิธีแช่แข็งต่อค่า shear strength ของโปรตีนแปลงเนื้อสัมผัสมีแสดงในตารางที่ 4.10-4.11 พบว่าวิธีแช่แข็งมีผลอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ต่อค่า shear strength เช่นเมื่อโปรตีน slurry มีปริมาณของแข็งร้อยละ 10 แช่แข็งแบบ plate และแบบใช้คาร์บอนไดออกไซด์แข็ง แล้วกำจัดผลึกน้ำแข็งโดยแทนที่ด้วย 95% ethyl alcohol ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่า shear strength เป็น 18.1 และ 17.5 N. ตามลำดับ ทั้งนี้เพราะวิธีแช่แข็งทั้ง 2 แบบมีอัตราเร็วในการแช่แข็งใกล้เคียงกันคือ 3.9-4.2 เซนติเมตร/ชั่วโมงสำหรับแบบ plate และ4.2-4.5 เซนติเมตร/ชั่วโมง สำหรับแบบใช้คาร์บอนไดออกไซด์แข็ง ซึ่งก็อยู่ในช่วงที่ Lugay และ Kim (17) แนะนำไว้ว่าอัตราเร็วในการแช่แข็งเพื่อแปลงเนื้อสัมผัสโปรตีนควรอยู่ในช่วง 0.9-15 เซนติเมตร/ชั่วโมง ดังนั้นจำนวนและขนาดเส้นใยของผลิตภัณฑ์จากการแช่แข็งทั้ง 2 วิธีจึงใกล้เคียงกัน ทำให้ค่า shear strength ไม่ต่างกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ตารางที่ 4.10) ส่วนผลของวิธีแช่แข็งต่อคะแนนเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ตามตารางที่ 4.13-4.14 นั้นพบว่าวิธีแช่แข็งมีผลต่อคะแนนคุณภาพดังกล่าวอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อแช่แข็งแบบ plate คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสเป็น 5.22 (ตารางที่ 4.15) ซึ่งผู้ทดสอบรู้สึกเฉย ๆ แต่เมื่อใช้คาร์บอนไดออกไซด์แข็ง คะแนนลดลงเหลือ 4.54 แสดงว่าผู้ทดสอบไม่ชอบผลิตภัณฑ์เล็กน้อย อย่างไรก็ตาม ผลของวิธีแช่แข็งต่อคะแนนความชอบเนื้อสัมผัสจะเด่นชัดเมื่อปริมาณของแข็งมีค่าสูง เช่นที่ร้อยละ 20 (ตารางที่ 4.13) ทั้งนี้เพราะผู้ทดสอบเห็นว่าผลิตภัณฑ์จากการแช่แข็งแบบ plate มีเนื้อสัมผัสเหนียวและแน่นกว่าแบบใช้คาร์บอนไดออกไซด์แข็ง

5.3.2 <u>ผลของปริมาณของแข็งทั้งหมดในโปรตีน slurry ต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์</u>

ผลของปริมาณของแข็งทั้งหมดต่อคุณภาพโปรตีนแปลงเนื้อสัมผัสมีแสดงในรูปที่ 4.8-4.19 และตารางที่ 4.10-4.12, 4.13-4.15 เมื่อพิจารณาผลของปริมาณของแข็งทั้งหมดต่อโครงสร้างเส้นใยในผลิตภัณฑ์ภายใต้ scanning electron microscope พบว่าเมื่อปริมาณของแข็งทั้งหมดเป็นร้อยละ 10 (รูปที่ 4.8-4.9 และ4.14-4.15) ผลิตภัณฑ์มีเส้นใยที่เรียงขนานกันและมีความเป็นอันหนึ่งอันเดียวกัน แต่เมื่อปริมาณของแข็งทั้งหมดเพิ่มเป็นร้อยละ 15 (รูปที่ 4.10-4.11 และ 4.16-4.17) ความเป็นเส้นใยจะลดลง กล่าวคือ แม้เส้นใยที่ได้ยังคงเรียงขนานกันแต่ความเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันของเส้นใยลดลงดังจะเห็นได้จากลักษณะซึ่งขาดไม่ต่อเนื่องกัน ความเป็นเส้นใยจะน้อยที่สุด เมื่อปริมาณของแข็งทั้งหมดเพิ่มเป็นร้อยละ 20 (รูปที่ 4.12-4.13 และ 4.18-4.19) ทั้งนี้เพราะเมื่อปริมาณของแข็งในโปรตีน slurry เพิ่มขึ้น ส่วนของแข็งที่ละลายได้ (dissolved solid) จะเพิ่มมากขึ้นจนไปขัดขวางการเติบโตของผลึกน้ำแข็งในแนวเส้นตรง (17) เป็นเหตุให้ความเป็นเส้นใยและความแข็งแรงของเส้นใยลดลง อย่างไรก็ตามการพิจารณาเฉพาะโครงสร้างเส้นใยภายใต้ scanning electron microscope ไม่สามารถยืนยันผลของปริมาณของแข็งทั้งหมด ต่อความแข็งแรงของเส้นใยได้ ดังนั้นจึงได้วัดค่า shear strength ของผลิตภัณฑ์ควบคู่ไปด้วย

ตารางที่ 4.10-4.11 แสดงค่า shear strength (N.) ของโปรตีนแปลงเนื้อสัมผัสที่สภาวะต่าง ๆ และการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าดังกล่าว พบว่าปริมาณของแข็งทั้งหมดมีผลต่อค่า shear strength ของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กล่าวคือ เมื่อปริมาณของแข็งทั้งหมดเป็นร้อยละ 10 โครงสร้างเส้นใยมีค่า shear strength 18.3 N.(ตารางที่ 4.12) และลดลงเป็น 15.2 และ 12.5 N. เมื่อปริมาณของแข็งเพิ่มเป็นร้อยละ 15 และ 20 ตามลำดับ ผตารางที่ 4.12) แสดงว่าความแข็งแรงของโครงสร้างเส้นใยลดลงเมื่อปริมาณของแข็งทั้งหมดเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องและยืนยันผลของโครงสร้างภายใต้ scanning electron microscope ที่ว่าความเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันของเส้นใยและความแข็งแรงของเส้นใย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ลดลงเมื่อปริมาณของแข็งทั้งหมดเพิ่มขึ้น งานวิจัยนี้สอดคล้องกับผลงานของ Kim และ Lugay (30,31) ซึ่งแนะนำว่าความเข้มข้นของของแข็งที่เหมาะสมเพื่อแปลงเนื้อสัมผัสโปรตีนถั่วเหลืองโดยวิธีแช่แข็งที่ -76°C ควรอยู่ในช่วงร้อยละ10-30 เพราะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีเส้นใยและความรู้สึกขณะเคี้ยวคล้ายเนื้อสัตว์ Middendrof และคณะ (21) รายงานว่าปริมาณของแข็งทั้งหมดในโปรตีน slurry ที่ pH 4-6 แช่แข็งที่ -20°C ควรอยู่ในช่วงร้อยละ 15-30 และการเติม sodium chloride ร้อยละ 1 โดยน้ำหนักของโปรตีน slurry ช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสคล้ายเนื้อสัตว์ต้มสุก

ตารางที่ 4.13-4.14 แสดงคะแนนการทดสอบด้านเนื้อสัมผัสของโปรตีนแปลงเนื้อสัมผัสที่สภาวะต่าง ๆ และการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าดังกล่าว พบว่าปริมาณของแข็งทั้งหมดทำให้คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสของผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อปริมาณของแข็งทั้งหมดเป็นร้อยละ 10 คะแนนความชอบเนื้อสัมผัสเป็น 6.70 (ตารางที่ 4.15) ซึ่งแสดงว่าผู้ทดสอบชอบเนื้อสัมผัสของโปรตีนเล็กน้อยถึงปานกลาง เมื่อปริมาณของแข็งทั้งหมดเพิ่มเป็นร้อยละ 15 คะแนนความชอบเป็น 5.15 (ตารางที่ 4.15) หรือผู้ทดสอบรู้สึกเฉย ๆ แต่เมื่อปริมาณของแข็งทั้งหมดเพิ่มถึงร้อยละ 20 คะแนนลดลงเป็น 2.77 (ตารางที่ 4.15) แสดงว่าผู้ทดสอบไม่ชอบมาก เหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะการเพิ่มปริมาณของแข็งทั้งหมดเป็นร้อยละ 15 และ 20 เป็นผลให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสนิ่มคล้ายเต้าหู้ ผลดังกล่าวนี้สอดคล้องกับค่า shear strength ที่ต่ำลงเมื่อปริมาณของแข็งทั้งหมดเพิ่มขึ้น และโครงสร้างความเป็นเส้นใยสังเกตด้วยตาเปล่าได้ยาก เมื่อใช้มือฉีกให้เป็นเส้นพบว่า เส้นที่ได้ขาดง่ายแต่ที่ปริมาณของแข็งร้อยละ 10 เส้นที่ฉีกได้จะเหนียว และต่อเนื่องคล้ายเนื้อสัตว์ฉีกฝอยและสังเกตเห็นโครงสร้างเส้นใยได้เด่นชัด

5.3.3 <u>ผลของวิธีกำจัดผลึกน้ำแข็งต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์</u>

ผลของวิธีกำจัดผลึกน้ำแข็งต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์มีแสดงในรูปที่ 4.8-4.19 และตารางที่ 4.10-4.12, 4.13-4.15 เมื่อพิจารณาโครงสร้างผลิตภัณฑ์ภายใต้ scanning electron microscope พบว่าการแทนที่ผลึกน้ำแข็งด้วย 95% ethyl alcohol สามารถคงสภาพโครงสร้างไว้ได้เช่นเดียวกับวิธี freeze drying ซึ่งเป็นวิธีกำจัดผลึกน้ำแข็งโดยการระเหิด ดังนั้นหลังการกำจัดผลึกน้ำแข็ง โครงสร้างเส้นใยที่เกิดขึ้นจึงยังคงสภาพไว้ได้ดังในรูปที่ 4.14-4.19 การที่ ethyl alcohol สามารถรักษาโครงสร้างเส้นใยโปรตีนไว้ได้เพราะเป็นตัวทำละลายอินทรีย์ที่สามารถลดจุดเยือกแข็งของน้ำให้ต่ำลง ดังนั้นเมื่อแช่ผลิตภัณฑ์เยือกแข็งใน ethyl alcohol ที่อุณหภูมิ 4 $\pm$1 °C ผลึกน้ำแข็งจึงละลายเป็นน้ำและแพร่ (diffuse) ออกมาจากโครงสร้างเส้นใยขณะที่ ethyl alcohol ก็แพร่เข้าไปในโครงสร้างทำให้ mole fraction ของน้ำในโครงสร้างดังกล่าวต่ำลง โอกาสที่โครงสร้างจะเสียสภาพเมื่อเสียน้ำจึงต่ำลง นอกจากนั้น ethyl alcohol ยังลดค่า hydrophillic

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

potential ของโปรตีนโดยเปลี่ยน conformation จาก hydrate random coil เป็น β-conformation และ α- helix ซึ่งเป็นรูปแบบที่ไม่ละลายน้ำดังสมการ (30, 31)

α-helix + water $\rightleftharpoons$ hydrate random coil $\rightleftharpoons \beta$-conformation + water

ดังนั้น ethyl alcohol นอกจากจะช่วยกำจัดผลึกน้ำแข็งออกจากโครงสร้างเส้นใยแล้ว ยังช่วยตรึง (immobilize) และเสถียรโครงสร้างเส้นใยด้วย (30, 31)

วิธีกำจัดผลึกน้ำแข็งมีผลอย่างไม่มีนัยสำคัญต่อค่า shear strength ของผลิตภัณฑ์ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.10 และ 4.11) โดยทั่วไปแล้วผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกรรมวิธี freeze drying ควรมีค่า shear strength สูงกว่าพวกที่ใช้ ethyl alcohol ในการกำจัดผลึกน้ำแข็ง เพราะใน freeze drying การกำจัดผลึกน้ำแข็งเกิดโดยการระเหิด (40) โครงสร้างจึงไม่สัมผัสกับส่วนที่เป็นน้ำ แต่การแทนที่ด้วย ethyl alcohol โครงสร้างมีโอกาสสัมผัสกับน้ำซึ่งเกิดจากการละลายของน้ำแข็งจึงน่าจะเป็นเหตุให้โครงสร้างมีความแข็งแรงลดลงเมื่อเทียบกับวิธี freeze drying แต่การที่ค่า shear strength ของผลิตภัณฑ์จากการแทนที่ด้วย alcohol ดีเท่าเทียมกับพวกที่ผ่านกระบวนการ freeze drying นั้นคงอธิบายได้ด้วยเหตุผลเดียวกันกับการที่ alcohol สามารถรักษาโครงสร้างเส้นใยของโปรตีนไว้ได้

ผลของวิธีกำจัดผลึกน้ำแข็งต่อคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัส แสดงในตารางที่ 4.13-4.14 พบว่า วิธีกำจัดผลึกมีผลอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ต่อคะแนนดังกล่าว ทั้งนี้เพราะการกำจัดผลึกน้ำแข็งทั้ง 2 วิธีสามารถรักษาโครงสร้างไว้ได้ ผลดังกล่าวนี้สอดคล้องกับค่า shear strength และโครงสร้างผลิตภัณฑ์จากทั้ง 2 กระบวนการภายใต้ scanning electron microscope จากผลที่ได้นี้ จึงเลือกวิธีการแทนที่ด้วย alcohol เป็นวิธีกำจัดผลึกน้ำแข็ง เพราะประหยัดค่าใช้จ่ายและเวลากว่าวิธี freeze drying

ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมในการแปลงเนื้อสัมผัสโปรตีนถั่วเหลือง คือใช้โปรตีน slurry ที่มีของแข็งทั้งหมดร้อยละ 10 แช่แข็งแบบ plate และกำจัดผลึกน้ำแข็งโดยแทนที่ด้วย ethyl alcohol ซึ่งให้ผลิตภัณฑ์ที่มีค่า shear strength 18 N. และมีคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสในระดับชอบเล็กน้อยถึงปานกลาง ผู้ทดสอบร้อยละ 72 ลงความเห็นว่าเนื้อสัมผัสของโปรตีนแปลงเนื้อสัมผัสคล้ายเนื้อวัวหรือหมู และร้อยละ 38 เห็นว่าคล้ายเนื้อไก่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.4 <u>สภาวะที่เหมาะสมในการทำให้โครงสร้างเส้นใยโปรตีนอยู่ตัวด้วยความร้อน</u>

โครงสร้างเส้นใยที่เกิดจากการแช่แข็งจะคงตัวและมีเสถียรภาพมากขึ้นเมื่อผ่านความร้อนแบบเปียกภายใต้ความดันไอ Lugay และ Kim (17) แนะนำว่าการใช้ไอน้ำภายใต้ความดันไอ เช่นใน autoclave ที่อุณหภูมิ 100-120°C เป็นเวลา 5-10 นาที ช่วยให้โครงสร้างเส้นใยมีเสถียรภาพและคงตัวมากขึ้น ผลิตภัณฑ์ที่โครงสร้างอยู่ตัวด้วยความร้อนจึงรักษา

สภาพโครงสร้างไว้ได้หลังการดูดน้ำคืน ดังนั้นในขั้นนี้จึงศึกษาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อทำให้โครงสร้างเส้นใยโปรตีนที่ผลิตได้อยู่ตัวด้วยความร้อน โดยใช้ autoclave ที่แปรอุณหภูมิเป็น 105, 110, 115°C และเวลาในการให้ความร้อนเป็น 5, 7.5 และ 10 นาที สำหรับเกณฑ์ตัดสินคุณภาพผลิตภัณฑ์ใช้ลักษณะโครงสร้างภายใต้ scanning electron microscope, วัดค่า shear strength และการทดสอบด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ผลการทดลองมีดังแสดงในรูปที่ 4.20-4.28 และตารางที่ 4.16-4.21

ผลการทดลองพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิจาก 105°C เป็น 110°C และ 115°C ทำให้ความหนาแน่นของเส้นใยเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.20-4.28) ซึ่งอาจเป็นเพราะโครงสร้างเคลื่อนเข้าหากัน และเชื่อมกันได้มากขึ้น และผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการให้ความร้อนทุกอุณหภูมิมีความหนาแน่นของเส้นใยมากกว่าพวกที่ไม่ได้ให้ความร้อน (รูปที่ 4.8) การเพิ่มเวลาให้ความร้อนที่ทุกอุณหภูมิจาก 5 นาทีเป็น 7.5 และ 10 นาที ทำให้ความหนาแน่นของเส้นใยเพิ่มขึ้นตามลำดับ แม้ว่าที่อุณหภูมิ 110°C และ 115°C นั้น เมื่อเพิ่มเวลาจาก 7.5 เป็น 10 นาที ความหนาแน่นของเส้นใยจะต่างกันไม่มากนัก มีผู้อธิบายว่าการเพิ่มอุณหภูมิทำให้ความดันเพิ่มขึ้น ดังนั้นเส้นใยจึงเคลื่อนเข้าหากันและมีโอกาสเกิดพันธะต่าง ๆ เช่น hydrogen, ionic และ hydrophobic มากขึ้น ขณะเดียวกัน อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทำให้เส้นใยโปรตีน coagulate มากขึ้น ดังนั้นโครงสร้างเส้นใยจึงกระชับแน่นและแข็งแรงมากขึ้น ส่วนการเพิ่มเวลาก็เป็นการเพิ่มโอกาสให้เกิดพันธะระหว่างเส้นใยและการ coagulate ของเส้นใยมากขึ้นเช่นกัน (30, 31) ดังนั้นที่เวลา 7.5 นาที และ 10 นาที โครงสร้างเส้นใยจึงกระชับแน่นมากกว่าที่ 5 นาที อย่างไรก็ตามการพิจารณาเฉพาะโครงสร้างเส้นใยภายใต้ scanning electron microscope ไม่สามารถวัดผลของอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนต่อความแข็งแรงของเส้นใยได้ชัดเจนจึงได้วัดค่า shear strength ของโครงสร้างควบคู่ไปด้วย

ตารางที่ 4.16-4.17 แสดงผลของอุณหภูมิและเวลาให้ความร้อนต่อค่า shear strength ของโปรตีนแปลงเนื้อสัมผัส และการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าดังกล่าว พบว่าปัจจัยหลักคือ อุณหภูมิและเวลาให้ความร้อนมีผลต่อค่า shear strength อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่อิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองมีผลอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อพิจารณาเฉพาะปัจจัยหลักพบว่า ที่อุณหภูมิ 105°C โครงสร้างเส้นใยมีค่า shear strength 27.7 N. แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 110 และ 115°C ค่า shear strength ของโครงสร้างเพิ่มเป็น 33.2 และ 37.3 N. ตามลำดับ (ตารางที่ 4.18) ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับเวลาในการให้ความร้อนพบว่าที่ 5 นาที โครงสร้างมีค่า shear strength 30N. และเพิ่มเป็น 32.7 และ 35.6 N. เมื่อเวลาเพิ่มเป็น 7.5 และ 10 นาที ซึ่งที่สองเวลาหลังนี้ shear strength ต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ (ตารางที่ 4.18) และเมื่อพิจารณาผลของทั้ง 2 ปัจจัยร่วมกันจะเห็นว่าความร้อนที่อุณหภูมิ 115°C เวลา 7.5 นาทีให้เส้นใยที่ทนแรง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หนีบตัด (shear force) ได้ถึง 38N. และไม่แตกต่างกับที่เวลา 10 นาทีของอุณหภูมิเดียวกัน (ตารางที่ 4.16) ผลของค่า shear strength นี้สนับสนุนและสอดคล้องกับโครงสร้างภายใต้ scanning electron microscope ที่ว่า การเพิ่มอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนใน autoclave จนถึงระดับหนึ่งคือที่ 115°C เป็นเวลา 7.5 นาที ทำให้เส้นใยเคลื่อนเข้าชิดกัน และเกิดส่วนเชื่อมระหว่างเส้นใยมากขึ้นเป็นเหตุให้ความแข็งแรงของโครงสร้างเส้นใยมากขึ้น

ตารางที่ 4.19-4.20 แสดงผลของอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนต่อคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสของโปรตีนแปลงเนื้อสัมผัสที่ผ่านความร้อนในสภาวะต่าง ๆ และการวิเคราห์ะความแปรปรวนของค่าดังกล่าว พบว่าปัจจัยหลักคืออุณหภูมิและเวลามีผลต่อคะแนนความชอบเนื้อสัมผัสอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่อิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้ง 2 มีผลอย่างไม่มีนัยสำคัญ ที่อุณหภูมิ 105°C คะแนนความชอบเนื้อสัมผัสเป็น 5.39 ซึ่งผู้ทดสอบรู้สึกเฉย ๆ แต่เมื่ออุณหภูมิเป็น 110°C และ 115°C คะแนนเพิ่มเป็น 6.27 และ 6.99 ซึ่งผู้ทดสอบชอบเล็กน้อยและชอบปานกลางตามลำดับ (ตารางที่ 4.21) เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่าคะแนนความชอบเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านอุณหภูมิทั้ง 3 ระดับนี้แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้เพราะการเพิ่มอุณหภูมิจาก 105°C เป็น 110°C และ 115°C ทำให้เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์มีลักษณะเคี้ยวได้คล้ายเนื้อสัตว์มากขึ้น ขณะเดียวกันเมื่อใช้มือฉีกผลิตภัณฑ์ให้เป็นเส้น พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่าจะฉีกเป็นเส้นได้ง่ายกว่า เส้นที่ได้มีความเหนียวและความต่อเนื่องมากกว่าพวกที่ผ่านอุณหภูมิต่ำ

สำหรับผลของเวลาในการให้ความร้อนพบว่าที่ 5 นาที คะแนนเป็น 5.84 ซึ่งผู้ทดสอบรู้สึกเฉย ๆ ถึงเกือบชอบเล็กน้อย แต่ที่ 7.5 และ 10 นาที คะแนนเป็น 6.27 และ 6.54 (ตารางที่ 4.21) ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) คะแนนดังกล่าวอยู่ในเกณฑ์ซึ่งแสดงว่าผู้ทดสอบชอบเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เล็กน้อยม แสดงว่าการเพิ่มเวลาจาก 5 นาทีเป็น 7.5 หรือ 10 นาที ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความเหนียวเพิ่มขึ้นและฉีกเป็นเส้นได้ เส้นที่ได้เหนียวและต่อเนื่องกันมากขึ้นและที่ 7.5 กับ 10 นาที ลักษณะความเป็นเส้นของผลิตภัณฑ์จะไม่แตกต่างกัน แต่จะแตกต่างกับที่ 5 นาที จึงเลือกเวลา 7.5 นาทีเป็นเวลาที่เหมาะสมในการให้ความร้อนเนื่องจากสิ้นและประหยัดพลังงานกว่าที่ 10 นาที ดังนั้นสรุปได้ว่าการให้ความร้อนแก่โครงสร้างเส้นใยที่ 115°C เป็นเวลา 7.5 นาที เป็นสภาวะดีที่สุดในการเสถียรโครงสร้างด้วยความร้อน ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีรูปร่างและลักษณะปรากฏตามรูปที่ 4.29 มีคะแนนความชอบเนื้อสัมผัสในระดับชอบปานกลางและผู้ทดสอบร้อยละ90 เห็นว่าผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสคล้ายเนื้อวัวหรือหมู อีกร้อยละ10 ที่เหลือเห็นว่าคล้ายเนื้อไก่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.5 <u>องค์ประกอบและโครงสร้างของโปรตีนแปลงเนื้อสัมผัสโดยวิธีแช่แข็งเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์จากกระบวนการ extrusion และเนื้อสัตว์</u>

เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบของโปรตีนแปลงเนื้อสัมผัสโดยวิธีแช่แข็งเปรียบเทียบกับพวกที่ผลิตจากกระบวนการ extrusion (โปรตีนเกษตร) พบว่าผลิตภัณฑ์ที่แปลงเนื้อสัมผัสจากการแช่แข็งมีโปรตีนร้อยละ 62.31 ไขมันร้อยละ 2.81 เถ้าร้อยละ 1.59 และเส้นใยร้อยละ 1.19 ขณะที่โปรตีนเกษตรมีองค์ประกอบดังกล่าวเป็น 52.56, 0.85, 7.63 และ 2.56 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.22) การที่องค์ประกอบต่างกันอาจเนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้ก่อนการแปลงเนื้อสัมผัสต่างกันคือการแช่แข็งใช้โปรตีนที่สกัดจากถั่วเหลืองด้วยสภาวะด่างแล้วตกตะกอนด้วยกรดซึ่งมีองค์ประกอบคือโปรตีนร้อยละ 59-62, ไขมันร้อยละ 2.7-2.9, เถ้าร้อยละ 1.4-1.6, และเส้นใยร้อยละ1.1- 1.2 โดยน้ำหนักแห้ง แต่กระบวนการ extrusion ใช้แป้งถั่วเหลืองสกัดไขมันซึ่งมีไขมันร้อยละ 0.71-1.1 เส้นใยน้อยกว่าร้อยละ 3 และโปรตีนมากกว่าร้อยละ 50 (41) ปกติความต้องการโปรตีนของร่างกายจะขึ้นกับเพศ วัย และสภาพทางกายภาพของแต่ละบุคคล FAO กำหนดว่าเด็กเล็กอายุ 10-12 ปี และเด็กโตอายุตั้งแต่ 13 ปีขึ้นไป ต้องการโปรตีน0.9 และ 0.8 กรัม ต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม ตามลำดับ (2) ดังนั้นถ้าต้องการให้ร่างกายได้รับโปรตีนในปริมาณที่เพียงพอ กลุ่มคนดังกล่าวต้องรับประทานโปรตีนแปลงเนื้อสัมผัสโดยวิธีแช่แข็งอย่างน้อย 1.44 และ 1.28 กรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมต่อวันหรือรับประทานโปรตีนเกษตรถึงวันละ1.71 และ1.52 กรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม อย่างไรก็ตามการบริโภคโปรตีนแปลงเนื้อสัมผัสจากกระบวนการทั้งสองในปริมาณดังกล่าวอาจทำให้ร่างกายขาดกรดอะมิโนบางตัวซึ่งมีจำกัดเช่น cystine และ methionine ซึ่งเป็นกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายและร่างกายต้องการถึงวันละ 200 และ 300 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมต่อวัน (2) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องบริโภคอาหารโปรตีนชนิดอื่นเช่น เนื้อ นม ไข่ ร่วมกับโปรตีนจากพืชเพื่อเสริมกรดอะมิโนที่มีจำกัดในโปรตีนถั่วเหลือง

เมื่อเปรียบเทียบโครงสร้างเส้นใยที่เกิดจากการแปลงเนื้อสัมผัสโปรตีนถั่วเหลืองโดยวิธีแช่แข็งกับกระบวนการ extrusion พบว่าวิธีทั้งสองให้เส้นใยโปรตีนที่มีลักษณะคล้ายกันกล่าวคือมีการเรียงขนานและเชื่อมกันบางส่วนแม้ว่าสภาวะของการเกิดโครงสร้างเส้นใยจาก 2 กระบวนการนี้แตกต่างกันมาก ดังได้กล่าวแล้วว่าโครงสร้างเส้นใยจากการแช่แข็ง ดังรูปที่ 4.30 เกิดจากการนำ slurry ของโปรตีนถั่วเหลือง ซึ่งมีพันธะต่าง ๆ เช่น disulfide, hydrogen เชื่อมระหว่างสาย polypeptide อยู่แล้วมาแช่แข็งแบบ unidirectional คือให้ความเย็นแก่พื้นผิวของภาชนะบรรจุโปรตีน slurry เพียงด้านเดียว แรงจากการเติบโตของผลึกน้ำแข็งทำให้โปรตีนที่อยู่ระหว่างผลึกและกึ่งก้านของผลึกเคลื่อนเข้าหากันและเข้มข้นมากขึ้นจึงทำให้โปรตีนเหล่านี้เกิดพันธะต่าง ๆ เช่น hydrophobic, ionic ต่อไปอีกขณะเดียวกันโปรตีนเข้มข้นเกิดรูปแบบทางกายภาพและเมื่อละลายน้ำแข็งออกส่วนของโปรตีนยังคง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สภาพไว้ได้และเรียงตัวขนานกันในลักษณะเส้นใย (รูปที่ 4.30) ส่วนโครงสร้างเส้นใยจากกระบวนการ extrusion (รูปที่ 4.30) เกิดเมื่อผ่านแป้งถั่วเหลืองสกัดไขมันพร้อมทั้งส่วนผสมอื่นซึ่งปรับระดับความชื้นให้เหมาะสมเข้าเครื่อง cooker extruder อุณหภูมิและความดันระดับที่ใช้ทำให้โปรตีนถั่วเหลืองแปรสภาพแล้วยืดตัวออกและทำให้ cellulose sac ซึ่งห่อหุ้ม protein body แตกออก protein body เหล่านี้มีการเคลื่อนที่เข้าหากันและเกี่ยวพันกันเป็นสายโปรตีนหลายสายที่เรียงซ้อนกันโดยแรงจากสภาวะที่ใช้ในกระบวนการ extrusion (14) Burgess และ Stanley (42) อธิบายว่าเส้นใยโปรตีนจากกระบวนการนี้เชื่อมกันด้วยพันธะ hydrophobic, hydrogen และ disulfide Jeunink และ Cheftel (43) กล่าวว่าการแปลงเนื้อสัมผัสโปรตีนถั่วเหลืองโดยกระบวนการ extrusion ทำให้เกิดเส้นใยโปรตีนซึ่งเชื่อมกันด้วยพันธะ disulfide และ hydrogen ซึ่งเกิดขึ้นหลังจากโปรตีนแปรสภาพ สำหรับเนื้อสัตว์ต่างๆ มัดกล้ามเนื้อ(muscle bundle)ประกอบด้วยหน่วยย่อยคือ เส้นใยกล้ามเนื้อ (muscle fiber)ซึ่งมีรูปร่างเป็นเส้นกลมยาวคล้ายเส้นด้าย(รูปที่ 4.31-4.33)มีเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 10-100 ไมครอน มีความยาวที่แปรปรวนสูงแต่ส่วนใหญ่ประมาณ 2.5 เซนติเมตรและยาวไม่เท่ากับความยาวของกล้ามเนื้อทั้งหมด เส้นใยกล้ามเนื้อเหล่านี้มี sarcolemmaซึ่งเป็นเยื่อบางๆ 4 ชั้น หนาชั้นละ 100-500 อังสตรอมห่อหุ้มอยู่และรวมเข้าเป็นมัดกล้ามเนื้อโดยมี perimysium หุ้มรอบนอก (44) จากรูปโครงสร้างผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดสรุปได้ว่าการแปลงเนื้อสัมผัสโดยวิธีแช่แข็งและกระบวนการ extrusion ทำให้เกิดโครงสร้างเส้นใยที่เรียงขนานและเชื่อมยึดกันบางส่วนคล้ายเส้นใยในเนื้อสัตว์แม้รูปทรงเส้นใยต่างกันก็ตาม ดังนั้นโปรตีนแปลงเนื้อสัมผัสโดยวิธีแช่แข็งจึงควรใช้งานได้ทั้งในลักษณะชิ้นเล็กเช่นเดียวกับกระบวนการextrusion หรือชิ้นใหญ่อย่างเนื้อสัตว์

5.6 การพัฒนาผลิตภัณฑ์จากโปรตีนแปลงเนื้อสัมผัส

5.6.1 เนื้อเทียมปรุงแต่ง

ในขั้นนี้ได้ทดลองผลิตเนื้อเทียมปรุงแต่งจากโปรตีนแปลงเนื้อสัมผัสโดยวิธีแช่แข็งที่เสถียรโครงสร้างแล้วด้วยความร้อน โดยในการผลิตใช้สารแต่งกลิ่นรส 3 ชนิดคือ รสไก่ รสหมู รสเนื้อ ในปริมาณร้อยละ 5.0,7.5 สารแต่งกลิ่นรสที่ใช้เป็นพวก hydrolysate plant protein (HPP) ซึ่งละลายน้ำได้ดีที่อุณหภูมิห้องและคงทนต่ออุณหภูมิสูง สารดังกล่าวนี้มีโปรตีนประมาณร้อยละ 37-43 และไขมันร้อยละ 1.5 ใช้ปริมาณมากได้โดยไม่ทำให้เกิดอันตรายแก่ผู้บริโภค (45) ไขมันที่ใช้เป็นพวก hydrogenated fat ชนิดเนยขาวซึ่งเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้องและไม่มีกลิ่นหืน(46) เหมาะที่จะใช้เติมโดยตรงเพื่อให้ยึดเกาะกับโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ ได้ทดลองแปรปริมาณที่ใช้เป็นร้อยละ 0 และ 10 หรือไม่เติมและเติม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.23-4.25 แสดงคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเนื้อเทียมปรุงแต่ง และการวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนดังกล่าว พบว่าปัจจัยหลัก (main effect) ซึ่งได้แก่ ชนิดสารแต่งกลิ่นรส ปริมาณสารแต่งกลิ่นรส ปริมาณไขมันที่เติมมีผลต่อคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่อิทธิพลร่วมของ 2 หรือ 3 ปัจจัยมีผลอย่างไม่มีนัยสำคัญต่อคะแนนดังกล่าว ชนิดสารแต่งกลิ่นรสมีผลต่อสีและการยอมรับรวมของผลิตภัณฑ์ โดยรสหมูให้คะแนนความชอบด้านสีสูงสุดคือ 6.50 (ตารางที่ 4.26) ซึ่งหมายถึงชอบเล็กน้อย แต่คะแนนลดลงเป็น 6.08 และ 5.54 เมื่อใช้รสไก่และรสเนื้อตามลำดับ ทั้งนี้เพราะรสไก่เมื่อละลายน้ำให้สีเหลืองอ่อนคล้ายสีของโปรตีนแปลงเนื้อสัมผัส ดังนั้นเมื่อนำมาใช้จึงทำให้สีของผลิตภัณฑ์ไม่แตกต่างจากสีของโปรตีนแปลงเนื้อสัมผัส สำหรับรสเนื้อทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีน้ำตาลดำไม่เป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบ ขณะที่รสหมูให้สีน้ำตาลเข้มซึ่งเป็นสีที่ผู้ทดสอบส่วนใหญ่ยอมรับ ปริมาณสารปรุงแต่งมีผลต่อรสชาติของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) พบว่าเมื่อใช้ร้อยละ7.5 ผลิตภัณฑ์มีคะแนนความชอบรสชาติ 4.32 เมื่อใช้ร้อยละ 5 คะแนนลดลงเหลือ 4.10 เท่านั้น (ตารางที่ 4.26) อย่างไรก็ตามคะแนนของผลิตภัณฑ์ที่ใช้สารปรุงแต่งทั้ง 2 ระดับยังอยู่ในช่วงที่ผู้ทดสอบไม่ชอบเล็กน้อย ผู้ทดสอบส่วนใหญ่รายงานว่าผลิตภัณฑ์มีรสขมเล็กน้อยและมีกลิ่นของ alcohol แสดงว่ามี ethyl alcohol ตกค้างในโปรตีนแปลงเนื้อสัมผัสในระดับที่ผู้ทดสอบสามารถรู้สึกได้ ผลดังกล่าวนี้แสดงว่าการให้ความร้อนในตู้อบแห้งแบบถาด (tray dryer) ที่ 60° C เป็นเวลา 8 ชั่วโมงไม่เพียงพอที่จะกำจัด ethyl alcohol ซึ่งมีจุดเดือด 78.5°C ที่ 1 บรรยากาศ (47) ได้หมด สำหรับปริมาณไขมัน (เนยขาว) มีผลต่อกลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และการยอมรับรวมของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญ กล่าวคือเมื่อเติมร้อยละ 10 โดยน้ำหนักคะแนนความชอบด้านกลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัสเป็น 4.80, 4.32 และ 6.40 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.26) แต่เมื่อไม่เติมไขมันคะแนนคุณภาพที่กล่าวมาลดลงเป็น 4.21, 4.08 และ 5.70 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.26) เป็นที่น่าสังเกตว่าปริมาณไขมันไม่มีผลทำให้คะแนนความชอบด้านรสชาติและกลิ่นของผลิตภัณฑ์เป็นที่ยอมรับไม่ว่าจะเติมหรือไม่เติม แสดงว่าไขมันไม่มีผลในการกลบเกลื่อนกลิ่นรสของ alcohol ที่เหลือตกค้างในผลิตภัณฑ์ แต่การเติมไขมันทำให้คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ดีขึ้น ($p \leq 0.05$) แสดงว่าไขมันทำให้ผู้ทดสอบรู้สึกว่าผลิตภัณฑ์นุ่มไม่กระด้าง สำหรับการยอมรับรวมของผลิตภัณฑ์นั้น แม้ว่าชนิดของสารแต่งกลิ่นรสและไขมันที่เติมจะมีผลต่อคะแนนการยอมรับรวมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่คะแนนสูงสุดที่ได้ยังอยู่ในช่วงไม่ยอมรับ (ตารางที่ 4.24) แสดงว่ากลิ่นและรสชาติมีอิทธิพลกับการยอมรับรวมของผลิตภัณฑ์ด้วย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องปรับปรุงคุณภาพด้านกลิ่นรสของโปรตีนแปลงเนื้อสัมผัสใหม่ก่อนนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 4.27-4.28 แสดงปริมาณโปรตีนและไขมันที่ตรวจพบในเนื้อเทียมปรุงแต่ง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

และการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าดังกล่าว พบว่าการเติมไขมันร้อยละ 10 โดยน้ำหนักทำให้ไขมันในผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นซึ่งเป็นเหตุให้ปริมาณโปรตีน (โดยน้ำหนักแห้งของผลิตภัณฑ์) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) อย่างไรก็ตามการเติมไขมันทำให้คุณภาพด้านเนื้อสัมผัสและการยอมรับรวมของผลิตภัณฑ์ดีขึ้นแม้จะไม่ถึงระดับที่ต้องการก็ตาม

5.6.2 การปรับปรุงคุณภาพด้านกลิ่นและรสชาติของโปรตีนแปลงเนื้อสัมผัสโดยวิธีแช่แข็ง

เนื่องจากการให้ความร้อนในตู้อบแบบถาด ที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ไม่เพียงพอที่จะกำจัด ethyl alcohol ออกจากผลิตภัณฑ์จนถึงระดับที่ต้องการ จึงเปลี่ยนวิธีกำจัด alcohol ที่เหลือตกค้างในผลิตภัณฑ์ใหม่โดยการให้ความร้อนในตู้อบระบบสุญญากาศ และศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพด้านกลิ่นรส คือ อุณหภูมิและเวลา โดยแปรอุณหภูมิเป็น 60°C, 65°C เวลาเป็น 5-8 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.29-4.30 แสดงคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของโปรตีนแปลงเนื้อสัมผัสที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วและการวิเคราะห์ความแปรปรวนคะแนนดังกล่าว พบว่าเวลาในการให้ความร้อนมีผลต่อกลิ่นของโปรตีนแปลงเนื้อสัมผัสอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยที่อุณหภูมิ 60°C และ 65°C เวลา 5 ชั่วโมงให้ผลิตภัณฑ์ซึ่งมีคะแนนความชอบด้านกลิ่นเป็น 5.10, 5.30 และ6 ชั่วโมงเป็น 5.90, 5.95 ตามลำดับ เมื่อเพิ่มเวลาเป็น 7 ชั่วโมง คะแนนความชอบด้านกลิ่นสูงขึ้นเป็น 6.20, 6.35 ที่อุณหภูมิ 60°C และ 65°C ซึ่งแตกต่างกับที่ 5 และ 6 ชั่วโมงอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนต่อคะแนนความชอบด้านรสชาติของโปรตีนแปลงเนื้อสัมผัสพบว่าที่อุณหภูมิ 60° C เป็นเวลา 7 ชั่วโมง และอุณหภูมิ 65°C เป็นเวลา 6ชั่วโมง ผู้ทดสอบตรวจไม่พบรสขมของ alcohol อย่างไรก็ตามผลของอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนต่อสีและเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไม่มีนัยสำคัญ การให้ความร้อนในตู้อบแห้งแบบสุญญากาศซึ่งมีความดัน 27 นิ้วปรอท เป็นผลให้จุดเดือดของ ethyl alcohol ลดลงจาก 78.5°C (47) เป็นประมาณ 30-40°C (48) ดังนั้นเมื่อใช้อุณหภูมิเพียง 60°C เป็นเวลา 7 ชั่วโมง จึงสามารถกำจัด alcohol ที่ตกค้างอยู่ในผลิตภัณฑ์ออกจนถึงระดับที่ผู้ทดสอบไม่สามารถตรวจพบกลิ่นและรสชาติได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.6.3 ผลิตเนื้อเทียมปรุงแต่งจากโปรตีนแปลงเนื้อสัมผัสที่ปรับปรุงคุณภาพด้านกลิ่นและรสชาติ

เมื่อผลิตเนื้อเทียมปรุงแต่งจากโปรตีนแปลงเนื้อสัมผัสด้วยวิธีแช่แข็งทั้งที่ปรับปรุงและยังไม่ปรับปรุงคุณภาพด้านกลิ่น และรสชาติเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากโปรตีนแปลงเนื้อสัมผัสจากกระบวนการ extrusion (โปรตีนเกษตร) โดยใช้สารแต่งกลิ่นรส

(รสหมู) ร้อยละ 7.5 และไขมันร้อยละ 10 พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากโปรตีนแปลงเนื้อสัมผัสโดยวิธีแช่แข็งทั้ง 2 ตัวอย่าง มีลักษณะเป็นแผ่นกลมตามรูปร่างของภาชนะที่ใช้โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 12-13 เซนติเมตร หนาประมาณ 1.5 เซนติเมตร มีสีน้ำตาลเข้ม (รูปที่ 4.34) สามารถตัดให้เป็นชิ้นเล็กขนาดยาว 2-3 เซนติเมตร กว้างและหนา 0.8-1.0 เซนติเมตร (รูปที่ 4.37) สังเกตเห็นลักษณะเส้นใยได้ชัดเจน (รูปที่ 4.35) และมีไขมันยึดเกาะในโครงสร้างเส้นใย สำหรับผลิตภัณฑ์จากโปรตีนเกษตรมีลักษณะเป็นชิ้นเล็ก ๆ รูปร่างไม่สม่ำเสมอขนาดโดยเฉลี่ย 3x1x1 เซนติเมตร มีสีน้ำตาลเข้มและมีไขมันเคลือบผิวด้านนอก (รูปที่ 4.36)

เมื่อทดสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 4.31-4.32) พบว่าคะแนนความชอบด้านสี กลิ่น รสชาติ ลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัสและการยอมรับรวมของโปรตีนแปลงเนื้อสัมผัสที่ปรับปรุงคุณภาพไม่ต่างจากโปรตีนเกษตร ($p \leq 0.05$) และคะแนนความชอบหรือการยอมรับของผลิตภัณฑ์จาก 2 กระบวนการผลิตอยู่ในเกณฑ์สูงกว่า 6.00 แต่ไม่เกิน 7.00 ซึ่งแสดงว่าผู้ทดสอบชอบเล็กน้อยถึงปานกลาง ขณะที่ผลิตภัณฑ์จากโปรตีนแปลงเนื้อสัมผัสที่ยังไม่ปรับปรุงคุณภาพมีคะแนนด้านกลิ่น รสชาติ และการยอมรับรวมต่างจากโปรตีนเกษตร และตัวอย่างที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยคะแนนคุณภาพดังกล่าวเป็น 4.65, 4.15 และ 4.40 ตามลำดับ ซึ่งหมายถึงผู้ทดสอบไม่ชอบเล็กน้อยเหมือนในการผลิตครั้งแรก ดังนั้นโปรตีนแปลงเนื้อสัมผัสด้วยวิธีแช่แข็งที่ปรับปรุงคุณภาพโดยให้ความร้อนในตู้อบแห้งแบบสุญญากาศที่ 60 °C เป็นเวลา 7 ชั่วโมง ภายใต้ความดัน 27 นิ้วปรอท สามารถใช้เป็นวัตถุดิบในผลิตภัณฑ์อาหารได้ดีในระดับเดียวกับโปรตีนแปลงเนื้อสัมผัสจากกระบวนการ extrusion ซึ่งใช้กันอยู่แล้วในปัจจุบัน

5.6.4 <u>แฮมจากเนื้อเทียม</u>

เนื่องจากโปรตีนแปลงเนื้อสัมผัสโดยวิธีแช่แข็งที่ผลิตได้มีลักษณะเป็นชิ้นขนาดใหญ่และค่อนข้างบางจึงควรทดลองผลิตเป็นผลิตภัณฑ์แบบเนื้อทั้งชิ้น เช่น แฮม เบคอน หรือ corn beef ในการทดลองได้ผลิตแฮมซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการเคียวร์และรมควัน โดยกำหนดปริมาณน้ำตาล สารแต่งกลิ่นรส (รสหมู) และ sodium tripolyphosphate ให้คงที่ แต่แปรปริมาณเกลือในการเคียวร์เป็น 2 ระดับคือ ร้อยละ2 และ3 รวมทั้งแปรเวลารมควันเป็น 30, 60 และ90 นาที ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเป็นแผ่นกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12-13 เซนติเมตร หนาประมาณ 1.5 เซนติเมตร มีสีน้ำตาลเหลืองคล้ำ ผิวด้านบนค่อนข้างเรียบแต่ด้านล่างมีรอยแยกบางส่วน ซึ่งเกิดจากการหดตัวของชิ้นโปรตีนขณะกำจัด ethyl alcohol เมื่อผ่าครึ่งจะสังเกตเห็นลักษณะเส้นใยค่อนข้างชัดเจนที่บริเวณพื้นที่หน้าตัด (รูปที่ 4.39) ผลิตภัณฑ์สามารถนำมาหั่นด้วยเครื่อง slicer เป็นแผ่นบางขนาดความหนาประมาณ 1.5-2.0 มิลลิเมตรได้ พบว่าสีด้านในของผลิตภัณฑ์เป็นสีน้ำตาลนวลจางกว่า

สีผิวด้านนอก และเนื้อของผลิตภัณฑ์ไม่ต่อเนื่องกันเป็นแผ่นเดียวตลอดเหมือนแฮมจากเนื้อสัตว์แต่มีช่องว่างขนาดเล็กอยู่ระหว่างส่วนเชื่อมของเส้นใยตลอดทั้งแผ่น (รูปที่ 4.40)

ตารางที่ 4.33-4.34 แสดงผลของปริมาณเกลือในการเคียวร์และเวลารมควันต่อคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสผลิตภัณฑ์และการวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนดังกล่าว พบว่าปัจจัยหลักคือปริมาณเกลือมีผลต่อคะแนนความชอบด้านรสชาติและการยอมรับรวมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ขณะที่เวลารมควันมีผลต่อคะแนนความชอบด้าน สี กลิ่น ลักษณะปรากฏและการยอมรับรวมอย่างมีนัยสำคัญ และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้ง 2 มีผลต่อคะแนนการยอมรับรวมอย่างมีนัยสำคัญด้วย

การใช้เกลือร้อยละ 2 มีคะแนนความชอบด้านรสชาติอยู่ในช่วง 6.9-7.0 (ตารางที่4.33) ซึ่งผู้ทดสอบชอบปานกลางแต่เมื่อเพิ่มเกลือเป็นร้อยละ3 คะแนนลดลงเป็น 5.5-5.6 (ตารางที่4.33) ซึ่งผู้ทดสอบชอบเล็กน้อย ทั้งนี้เพราะการใช้เกลือร้อยละ 3 เสริมกับรสเค็มของสารแต่งกลิ่นรสทำให้ผลิตภัณฑ์เค็มเกินไป ขณะที่ร้อยละ2 ให้ผลิตภัณฑ์ซึ่งมีรสเค็มพอดี โดยทั่วไปเกลือช่วยยับยั้งหรือลดการเจริญของจุลินทรีย์โดยทำให้น้ำในเซลของจุลินทรีย์ ซึมผ่านผนังเซลออกสู่น้ำเกลือ นอกจากนั้นยังช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีรสชาติดีขึ้น และลด cooking lost (49) แต่การใช้เกลือร้อยละ 2 ในผลิตภัณฑ์อาจไม่มีผลยับยั้งจุลินทรีย์ที่ทนเกลือ เช่น Bacillus sp. หรือพวก micrococci (50) ดังนั้นก่อนบริโภคจำเป็นต้องทำให้สุกเสียก่อน โดยทั่วไปการเคียวร์เนื้อสัตว์มักใช้เกลือในปริมาณต่ำ เช่น ร้อยละ 2 สำหรับเบคอน และร้อยละ 3 สำหรับแฮม (51) sodium tripolyphosphate ที่ใช้ในการเคียวร์ช่วยทำให้โครงสร้างของเนื้อเยื่อขยายตัว โปรตีนสามารถดูดซึมสารละลายได้มาก อีกทั้งช่วยให้ความนุ่มและรสชาติของผลิตภัณฑ์ดีขึ้น(49) สำหรับสารแต่งกลิ่นรสช่วยเพิ่มกลิ่นรสชาติและปริมาณโปรตีนในผลิตภัณฑ์ (51)

เวลารมควันมีผลต่อสี กลิ่น และลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) พบว่าเมื่อรมควัน 60 นาที คะแนนด้านสี กลิ่น และลักษณะปรากฏอยู่ในช่วง 7.25-7.35, 7.05-7.10 และ 6.90-7.00 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.33) ซึ่งหมายถึงผู้ทดสอบชอบปานกลาง แต่เมื่อรมควันเพียง 30 นาที คะแนนคุณภาพดังกล่าวลดลงเป็น 6.75-6.80,5.95-6.0 และ 5.95-6.0 ซึ่งเป็นคะแนนชอบเล็กน้อย คะแนนความชอบด้าน สี กลิ่น และลักษณะปรากฏต่ำสุดเมื่อรมควัน 90 นาที คืออยู่ในช่วง 5.10-5.30, 5.40-5.50 และ 5.40-5.65 ตามลำดับ ทั้งนี้เพราะการรมควัน30 นาที ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นควันน้อยเกินไปและสียังคล้ายสีของโปรตีนแปลงเนื้อสัมผัส แต่ที่ 90 นาที กลิ่นควันมากเกินไปและผลิตภัณฑ์มีสีค่อนข้างดำ แต่การรมควันที่ 60 นาที ทำให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นควันพอดี และมีสีเป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบอย่างไรก็ตามกลิ่นควันยังไม่อาจกลบกลิ่นถั่วเหลืองในผลิตภัณฑ์ได้ทั้งหมด และผู้ทดสอบแนะว่าควรเติมเครื่องเทศบางชนิดซึ่งอาจมีผลช่วยกลบกลิ่นของถั่วเหลืองได้ ควันจากไม้เนื้ออ่อนเช่น ชานอ้อย มีสาร phenol และ carbonyl ซึ่งทำให้เกิดกลิ่นรสเฉพาะตัวของผลิตภัณฑ์และช่วยให้เกิดปฏิกิริยา Maillard จากสาร carbonyl และโปรตีน (49)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ที่มีในถั่วเหลือง สำหรับผลของอิทธิพลร่วมระหว่างปริมาณเกลือและเวลารมควันต่อการยอมรับรวมของผลิตภัณฑ์ พบว่าการเคียวร์โดยใช้เกลือร้อยละ 2 แล้วรมควัน 60 นาที ทำให้ผลิตภัณฑ์มีคะแนนการยอมรับรวมเป็น 7.00 (ตารางที่ 4.33) ซึ่งอยู่ในระดับชอบปานกลาง อย่างไรก็ตามผู้ทดสอบเสนอแนะให้ปรับปรุงเนื้อสัมผัสของแฮมที่ผลิตได้ทั้งนี้เพราะผลิตภัณฑ์ยังกระด้างไม่นุ่มเท่าที่ควร การที่เนื้อสัมผัสมีคุณภาพดังกล่าวอาจเนื่องจากปริมาณความชื้นสุดท้ายหลังรมควันต่ำเกินไป วิธีแก้ไขทำได้โดยการเปลี่ยนสภาวะและ/หรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการรมควันใหม่ หรือมิฉะนั้นอาจเติมไขมันหรือน้ำมันลงในชิ้นผลิตภัณฑ์ก่อนนำเข้ารมควัน การรมควันโปรตีนแปลงเนื้อสัมผัสที่เคียวร์แล้วที่ 60°C โดยใช้ควันอ่อน ๆ เป็นเวลา 60 นาที ยังไม่สามารถทำให้อุณหภูมิภายในผลิตภัณฑ์สูงถึง 68-76°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เพียงพอสำหรับทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดอันตราย (49) ดังนั้นก่อนนำไปบริโภคควรทำให้สุกเสียก่อน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย