# บทที่ 5

# วิจารณ์ผลการทดลอง

## 5.1 การศึกษาคุณสมบัติทั่วไปของวัตถุดิบ

การผลิตอาหารขบเคี้ยวในท้องตลาด ส่วนใหญ่จะใช้แป้งจากธัญพืชเท่านั้น ผู้บริโภคจะได้รับคาร์โบไฮเดรทมาก และได้รับโปรตีนน้อย ทำให้คุณค่าทางโภชนาการที่ได้ต่ำ ในการทดลองนี้จึงใช้แหล่งโปรตีนจากถั่วเขียว FFSF และ DFSF ซึ่งมีปริมาณโปรตีนจากการวิเคราะห์ 22.69%, 41.75% และ 46.71% ตามลำดับ เติมผสมในส่วนผสมหลักคือ ข้าวเจ้า และข้าวเหนียว ซึ่งมีปริมาณโปรตีนจากการวิเคราะห์เพียง 7.14% และ 7.44% ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.1

นอกจากนี้ ยังพบว่าข้าวเจ้าและข้าวเหนียวนั้นมีไลซีน (lysine) เป็นกรดอะมิโนจำกัด (limiting amino acid) และมีเมทไธโอนีน (methionine) เป็นกรดอะมิโนที่มีปริมาณมาก ในขณะที่ถั่วเหลืองและถั่วเขียวมีเมทไธโอนีนเป็นกรดอะมิโนจำกัด ดังนั้นการเติมผสมในลักษณะดังกล่าว จะเป็นการทำให้เกิดสมดุลย์ของกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกาย ผู้บริโภคได้รับกรดอะมิโนครบถ้วน

จากผลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของวัตถุดิบ จะพบว่า ข้าวเจ้า ข้าวเหนียว และถั่วเขียวซีก ซึ่งได้จากการบดด้วยเครื่องบดแบบ Pin Mill นั้น มีอนุภาคอยู่ในขนาด 500 ไมครอน หรือ 0.5 มิลลิเมตร เป็นส่วนใหญ่ ดังแสดงในตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.1 ซึ่งการผลิตด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชันนั้น ไม่มีความจำเป็นที่จะต้องใช้วัตถุดิบในลักษณะที่ละเอียดถึงขั้นเป็นแป้ง (flour) ก็สามารถที่จะทำการผลิตได้ และพบว่าสามารถที่จะผลิตได้ดีกว่าด้วยเพราะในสภาพที่เป็นแป้ง วัตถุดิบจะสามารถจับติดกันเป็นก้อนได้ง่าย ทำให้การเดินเครื่องลำบากและอาจทำให้เกิดการไหม้ได้ด้วย แต่อย่างไรก็ตามมีงานวิจัยที่พบว่าขนาดที่ใหญ่เกินไปก็ไม่เหมาะสมในการผลิต เพราะจะทำให้วัตถุดิบสุกไม่ทั่วถึง เกิดเป็นเม็ดแข็งขึ้นบางจุดในผลิตภัณฑ์ ผิวของผลิตภัณฑ์ไม่เรียบสม่ำเสมอ และขนาดของช่องอากาศ (air cell) ของผลิตภัณฑ์มีขนาดใหญ่ และมีขนาดไม่สม่ำเสมออีกด้วย (9)

จากการศึกษาเบื้องต้นการผลิตอาหารขบเคี้ยวโปรตีนสูงโดยเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ BARBENDER 20 DN พบว่าวัตถุดิบที่มีลักษณะเป็นแป้งก็สามารถใช้ผลิตได้โดยไม่เกิดปัญหาแต่อย่างใด แต่หากขนาดใหญ่เกินไป จะเกิดปรากฏการณ์ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นจริง และขนาดอนุภาคที่ใช้ในการทดลองก็เป็นขนาดที่เหมาะสมที่จะสามารถใช้ผลิตได้ โดยทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะดี

ดังนั้นจึงไม่มีความจำเป็นที่จะต้องบดวัตถุดิบให้ละเอียดมาก เพราะทำให้สิ้นเปลืองพลังงาน และค่าใช้จ่ายโดยไม่จำเป็น

5.2 การศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการผลิต

พบว่าตัวแปรที่เลือกมาทั้ง 3 ชนิด คือ ชนิดของวัตถุดิบ ขนาดอัตราส่วนการอัดของสกรู และความชื้นของวัตถุดิบ มีผลต่อลักษณะทั่วไปของเอ็กซ์ทรูเดทที่ได้ สำหรับตัวแปรที่ 1 คือ ชนิดของวัตถุดิบ ซึ่งใช้ข้าวเจ้า และข้าวเหนียวนั้น วัตถุดิบทั้ง 2 ชนิด มีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดของปริมาณอะไมโลส และ อะไมโลเพคติน กล่าวคือ ข้าวเจ้ามีปริมาณอะไมโลส 12-17 % ในขณะที่ข้าวเหนียวมีปริมาณอะไมโลสอยู่น้อยมาก ส่วนใหญ่เกือบทั้งหมดจะเป็นอะไมโลเพคติน ผลจากการศึกษาพบว่า เอกซ์ทรูเดทที่ได้จากข้าวเจ้าจะมีความกรอบแข็งในขณะที่เอกซ์ทรูเดทที่ได้จากข้าวเหนียวจะกรอบร่วน ดังจะเห็นได้ชัดเจนจากค่าแรงตัดขาดในตารางที่ 4.11 เอกซ์ทรูเดทของข้าวเจ้าจะใช้แรงตัดขาดสูงกว่าข้าวเหนียว ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับ Murray และคณะ (8) ที่ได้อธิบายไว้ว่าอัตราส่วนของอะไมโลสต่ออะไมโลเพคตินในแป้งจะมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากกระบวนการเอกซ์ทรูชัน โดยอะไมโลเพคตินจะเป็นส่วนที่ช่วยให้เกิดการพองตัวที่ดี ให้ผลิตภัณฑ์ที่กรอบร่วนและเบา ในทางตรงกันข้ามกับอะไมโลสที่จะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีความแข็งมากกว่าและมีการพองตัวที่จำกัด และยังกล่าวต่อไปว่าสำหรับอาหารขบเคี้ยวที่ต้องการให้เกิดการพองตัว ควรใช้แป้งที่มีปริมาณอะไมโลสได้สูงสุดเพียง 20% และพบว่า หากมีอะไมโลสสูงกว่า 50% จะได้ผลิตภัณฑ์ที่ไม่เกิดการพองตัว และมีความหนาแน่นสูง อาจอธิบายปรากฏการณ์นี้ได้ว่า ในโมเลกุลในเม็ดแป้งซึ่งประกอบด้วยอะไมโลส และอะไมโลเพคติน จะจัดเรียงตัวกันเป็นกลุ่ม แบ่งได้ 2 กลุ่ม โดยกลุ่มของอะไมโลสจะมีการจัดเรียงตัวอย่างมีระเบียบเหมือนผลึก มีการพองตัวจำกัด เรียกส่วนนี้ว่า crystalline region และอีกกลุ่มหนึ่งมีการจัดตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบ ดูดน้ำได้ดี เรียกส่วนนี้ว่า amorphous region เป็นส่วนที่อยู่รอบ ๆ ผลึก ซึ่งประกอบด้วยอะไมโลเพคตินเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นในแป้งที่มีอะไมโลเพคตินสูง จะมีส่วนที่เป็น crystalline region น้อย ทำให้สามารถดูดน้ำได้รวดเร็ว พองตัวได้ดี เมื่อเทียบกับแป้งที่มีอะไมโลสสูง

สำหรับตัวแปรตัวที่ 2 คือ อัตราส่วนการอัดของสกรูนั้น โดยปกติทั่วไปการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีการพองตัวสูง จะใช้สกรูที่มีอัตราส่วนการอัดของสกรูสูง เช่น สกรูที่มีอัตราส่วนการอัด 4:1 ดังนั้นในการทดลองนี้จึงเลือกใช้สกรูที่มีขนาดอัตราส่วนการอัดของสกรู 4:1 และ 5:1 เพื่อดูความ

แตกต่าง ทั้งนี้เพราะการใช้อัตราส่วนการอัดของสกรูสูง จะต้องใช้กำลังงานในการเดินเครื่องสูงตามไปด้วย เนื่องจากจะเกิดความแตกต่างของความดันมาก จะมีผลให้ต้องใช้ค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องสูงตามไปด้วยเช่นกัน ดังนั้น หากไม่จำเป็นก็ไม่ควรที่จะต้องใช้ค่าอัตราส่วนการอัดของสกรูมากเกินไป เพื่อประหยัดและลดต้นทุนการผลิต จากการทดลองพบว่า สกรูที่มีค่าอัตราส่วนการอัด 4:1 และ 5:1 ไม่ได้มีผลต่อค่าอัตราส่วนการพองตัว ดังแสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติในตารางที่ 4.8 แต่จะมีผลต่อความชื้น ความหนาแน่น WAI และแรงตัดขาดของเอกซ์ทรูเดท ดังแสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติในตารางที่ 4.6 ตารางที่ 4.8 ตารางที่ 4.12 ตารางที่ 4.14 ตามลำดับ

สำหรับตัวแปรตัวที่ 3 ที่เลือกคือ ระดับความชื้นของวัตถุดิบนั้นเป็นตัวแปรที่มีความสำคัญมาก ความชื้นของวัตถุดิบจะเป็นตัวกำหนดลักษณะผลิตภัณฑ์ ความชื้นที่สูงมาก คือ ประมาณมากกว่า 28% ใช้ผลิตผลิตภัณฑ์พาสต้า (pasta products) ผลิตภัณฑ์จากเนื้อ (meat products) หรือผลิต soft moist products หากต้องการผลิต textured soy protein อาหารสัตว์ (pet food) จะใช้วัตถุดิบที่มีความชื้นปานกลาง คือความชื้นระหว่าง 20-28% และวัตถุดิบที่มีความชื้นต่ำ คือต่ำกว่า 20% ใช้เมื่อผลิตอาหารขบเคี้ยวที่ต้องการการพองตัว (puffed snack) ผลิตอาหารเช้าจากธัญพืช (breakfast cereal) เป็นต้น

ในการทดลองนี้ใช้ความชื้น 12%, 14% และ 16% เป็นตัวแปรเพื่อผลิตอาหารขบเคี้ยวที่มีการพองตัว โดยความชื้นเหล่านี้จัดอยู่ในประเภทความชื้นต่ำ จากการศึกษาอิทธิพลของความชื้นของวัตถุดิบที่มีต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์ พบว่า ความชื้นเป็นตัวแปรที่มีผลต่อค่าอัตราส่วนการพองตัว (ตารางที่ 4.8) โดยความชื้นที่เพิ่มมากขึ้นจะทำให้ค่าอัตราส่วนการพองตัวลดลง เนื่องจากปริมาณน้ำที่มากเกินไป ทำให้ไอน้ำที่มีอยู่ในวัตถุดิบไม่สามารถที่จะระเหยออกมาได้หมดในเวลาอันรวดเร็วที่ผลิตภัณฑ์ผ่านพ้นจากช่องเปิด จึงทำให้มีน้ำเหลืออยู่ในโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ปริมาณมาก การพองตัวไม่สามารถเกิดได้ดี ซึ่งส่งผลให้ความชื้นและความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์มีค่าสูงขึ้นด้วยเช่นกัน (ตารางที่ 4.3 และตารางที่ 4.5) นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ก็มีความกรอบลดน้อยลงจากค่าแรงตัดขาดที่เพิ่มมากขึ้น (ตารางที่ 4.11) สำหรับค่า WAI พบว่ามีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณความชื้นของวัตถุดิบเพิ่มมากขึ้น อาจกล่าวโดยสรุปได้ว่า ความชื้นที่ต่ำที่สุดคือ 12% เป็นความชื้นที่ให้ลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ดีที่สุด กล่าวคือ ให้การพองตัวที่สูงสุด และผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความชื้นต่ำ เบา และกรอบ ซึ่งพบลักษณะที่กล่าวมาแล้วทั้งหมดในทั้งข้าวเจ้า และข้าวเหนียว

5.3 ลักษณะที่ตรวจสอบ

ความชื้นของผลิตภัณฑ์ เป็นลักษณะ (criteria) ที่สำคัญอย่างหนึ่ง เพราะหากผลิตภัณฑ์ที่ได้ภายหลังการเอกซ์ทรูชันมีปริมาณความชื้นต่ำ การนำไปทำแห้งขั้นต่อไปจะใช้พลังงานเพียงเล็กน้อย ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่าย จากการทดลองพบว่าตัวแปรทั้ง 3 คือ ชนิดของวัตถุดิบ ขนาดอัตราส่วนการอัดของสกรู และความชื้นของวัตถุดิบ มีผลต่อความชื้นของผลิตภัณฑ์ (ตารางที่ 4.4) โดยตัวแปรที่แสดงแนวโน้มเห็นได้ชัดเจน คือ ความชื้นของวัตถุดิบ กล่าวคือ ความชื้นของวัตถุดิบที่สูงขึ้นจะทำให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ได้สูงขึ้นด้วย เนื่องจากน้ำที่มากเกินพอไม่สามารถจะระเหยออกไปได้หมด จึงเหลือค้างในผลิตภัณฑ์ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ เป็นลักษณะที่สำคัญเช่นเดียวกัน โดยผู้ผลิตย่อมต้องการให้ผลิตภัณฑ์มีความหนาแน่นต่ำ เพื่อจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาตรมากในน้ำหนักที่เท่ากัน ทำให้เมื่อบรรจุผลิตภัณฑ์แล้ว ผู้บริโภคจะรู้สึกได้รับผลตอบแทนที่มากกว่าปกติ จากการทดลองพบว่า ตัวแปรทั้ง 3 ชนิดมีผลต่อความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ โดยแนวโน้มที่เกิดขึ้นเป็นไปในทำนองเดียวกับความชื้นของผลิตภัณฑ์

ค่าอัตราส่วนการพองตัว เป็นลักษณะที่สำคัญยิ่งอย่างหนึ่งในลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ต้องการให้เกิดการพองตัว เพราะหากผลิตภัณฑ์นั้นไม่พองตัว ย่อมจะไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค Roy H. Trisnamurti (9) ได้เปรียบเทียบค่าอัตราส่วนการพองตัวกับระดับการยอมรับไว้ โดยให้ผลิตภัณฑ์ที่มีอัตราส่วนการพองตัว 1.00-1.25 และ 1.25-1.50 มีระดับการยอมรับเป็นเลวและปานกลางตามลำดับ และเมื่ออัตราส่วนการพองตัวเพิ่มขึ้นเป็น 1.50-2.00 และ 2.00-3.00 มีระดับการยอมรับเป็นดี และดีมาก ตามลำดับ และผลิตภัณฑ์จะมีระดับการยอมรับเป็นดีเยี่ยมเมื่อมีค่าอัตราส่วนการพองตัวมากกว่า 3.00 สำหรับในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองนี้ มีค่าอัตราส่วนการพองตัวอยู่ในระดับการยอมรับดีมากถึงดีเยี่ยม (2.19-3.30) จากการทดลองพบว่า ชนิดของวัตถุดิบและความชื้นของวัตถุดิบมีอิทธิพลต่อค่าอัตราส่วนการพองตัว กล่าวคือ ข้าวเจ้าจะมีแนวโน้มที่จะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีการพองตัวมากกว่าข้าวเหนียว และความชื้นของวัตถุดิบที่สูงขึ้น ก็จะทำให้การพองตัวลดน้อยลง แต่เป็นที่น่าสังเกตว่า ขนาดอัตราส่วนการอัดของสกรูที่เลือกใช้ในการทดลองนี้ไม่ได้มีผลให้เกิดความแตกต่างของค่าอัตราส่วนการพองตัว (ตารางที่ 4.10) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะอัตราส่วนการอัดของสกรู 4:1 ที่เลือกมานั้นสูงพอที่จะทำให้เกิดการพองตัวที่ดีได้แล้ว ไม่จำเป็นต้องใช้สกรูที่มีอัตราส่วนการอัดสูงกว่านั้นอีก เพราะการใช้สกรูที่มีอัตราส่วนการอัดสูง ๆ เครื่องจักรจำเป็นต้องใช้กำลังงานเพิ่มขึ้น ทำให้สิ้นเปลืองพลังงาน และค่าใช้

จ่ายโดยใช่เหตุ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

ค่า WAI เป็นค่าที่บอกถึงความสามารถในการดูดน้ำของผลิตภัณฑ์ โดยสามารถแบ่งอาหารออกได้เป็น 2 ประเภท ตามความสามารถในการดูดน้ำคืน ประเภทที่ 1 เป็นอาหารที่มีการดูดน้ำคืนได้มาก จัดเป็นชนิด "thick boiling" เหมาะสำหรับเป็นอาหารของผู้ที่ต้องการควบคุมน้ำหนัก เพราะสามารถดูดซับน้ำได้จำนวนมาก ทำให้ขยายตัวได้มากโดยที่มีสารอาหารเพียงเล็กน้อย ประเภทที่ 2 เป็นอาหารที่มีการดูดน้ำคืนน้อย จัดเป็นชนิด "thin boiling" จะทำให้ผู้บริโภครับประทานอาหารได้มาก ได้พลังงานและสารอาหารมากขึ้น เป็นคุณสมบัติที่ต้องการในอาหารจำพวกอาหารเด็กอ่อน หรือเครื่องดื่มบำรุงร่างกาย

จากการทดลอง พบว่า ตัวแปรทั้ง 3 มีผลต่อค่า WAI (ตารางที่ 4.10) โดยค่า WAI มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณความชื้นของวัตถุดิบเพิ่มมากขึ้น และผลิตภัณฑ์ที่ได้จากข้าวเจ้าจะมีความสามารถในการดูดน้ำได้ดีกว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากข้าวเหนียว

ค่าแรงตัดขาด เป็นค่าที่ชี้ถึงความแข็ง ความกรอบของผลิตภัณฑ์ จากที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นว่า ข้าวเจ้าจะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะกรอบแข็ง ในขณะที่ข้าวเหนียวจะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะกรอบร่วนกว่า เนื่องจากปริมาณอะไมโลสและอะไมโลเพคตินที่ต่างกันไป ทำให้ตัวแปรนี้มีผลต่อค่าแรงตัดขาดอย่างเห็นได้ชัดเจน นอกจากนี้ปริมาณความชื้นของวัตถุดิบก็มีผลต่อค่าแรงตัดขาดด้วยเช่นกัน โดยปริมาณความชื้นของวัตถุดิบที่สูงขึ้น จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าแรงตัดขาดที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นจริงทั้งในข้าวเจ้าและข้าวเหนียว

นอกเหนือจากลักษณะต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้วนั้น ยังพบว่าสีของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้จากข้าวเจ้าและข้าวเหนียวก็มีความแตกต่างกัน กล่าวคือ สีของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากข้าวเหนียวจะมีสีขาวมากกว่าที่ได้จากข้าวเจ้า (ข้าวเจ้ามีสีขาวนวลปนเหลืองมากกว่า) แต่ลักษณะนี้ไม่ถือว่าสำคัญมากนัก เพราะในการผลิตจนถึงขั้นเป็นผลิตภัณฑ์นั้น จะต้องมีการเคลือบรสชาติ ซึ่งจะทำให้กลบเกลื่อนสีที่แท้จริงของผลิตภัณฑ์ลงได้ นอกจากนั้นจากการทดสอบการชิม พบว่า ถึงแม้ว่าข้าวเหนียวจะให้ผลิตภัณฑ์ที่กรอบร่วนกว่า แต่มีลักษณะเฉพาะที่ค่อนข้างจะดูดน้ำแล้วพอกตามซอกฟัน ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของข้าวเหนียว ในขณะที่ข้าวเจ้ามีลักษณะเช่นนี้เกิดขึ้นน้อยมาก

จากการทดลองในขั้นตอนแรกนี้ เมื่อนำข้อมูลต่าง ๆ มาวิเคราะห์ จึงสามารถเลือกขนาดอัตราส่วนการอัดของสกรู และค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสม เพื่อนำไปผลิตอาหารขบเคี้ยวโปรตีนสูงต่อไป โดยเลือกสกรูที่มีอัตราส่วนการอัด 4:1 ด้วยเหตุผลที่ได้กล่าวมาแล้วทั้งหมดและเลือกความชื้น 12%

5.4 การผลิตอาหารขบเคี้ยวโปรตีนสูง

แหล่งโปรตีนที่ 1 ถั่วเขียว ในการผลิตอาหารขบเคี้ยวโปรตีนสูง โดยใช้ถั่วเขียวเป็นแหล่งเสริมโปรตีนนั้น พบว่า ให้ลักษณะของพองตัวดี ทั้งในข้าวเจ้า และข้าวเหนียว และถึงแม้จะมีการเติมผสมลงไปถึง 45% ก็ยังพองตัวได้ดี ทั้งนี้เนื่องจาก ถั่วเขียวมีส่วนประกอบของคาร์โบไฮเดรทสูง มีไขมันปริมาณน้อย นอกจากนั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้ยังมีกลิ่นหอมของถั่วเขียวเพิ่มขึ้นจากรสชาติที่จืด (bland taste) ของข้าวเจ้าและข้าวเหนียวเอง การทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส ผู้บริโภคไม่สามารถบอกถึงความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ที่มีระดับการเติมถั่วเขียวต่างกัน ดังนั้นในการเลือกเพื่อนำไปผลิตอาหารขบเคี้ยวโปรตีนสูง จึงเลือกสูตรที่มีการผสมของข้าวเจ้าหรือข้าวเหนียว 60% กับถั่วเขียว 40% มีโปรตีนในช่วง 13-14% เป็นตัวแทน การที่ไม่เลือกสูตรที่มีการเติมถั่วเขียวถึง 45% เพราะการเพิ่มถั่วเขียวขึ้นไปอีกเพียงเล็กน้อย ไม่ได้ทำให้ปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นมากนัก และการผลิตในเชิงการค้าจะต้องใช้ต้นทุนที่เพิ่มสูงขึ้น ทำให้กำไรที่ได้ลดน้อยลง

แหล่งโปรตีนที่ 2 DFSF สำหรับการใช้ DFSF เป็นแหล่งเสริมโปรตีน พบว่าเมื่อมีการเติมโปรตีนเพิ่มขึ้น การพองตัวจะลดลงอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าเนื่องจากโปรตีนจะไปเกาะอยู่กับส่วนของเม็ดแป้ง ทำให้เม็ดแป้งดูดน้ำได้น้อยลง อีกทั้งตัวโปรตีนเองมีความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity) ด้วย (10) ทำให้น้ำที่จะนำไปใช้ในการระเหยเพื่อให้เกิดการพองตัวลดน้อยลง และเมื่อเติมปริมาณสูงถึง 25% คะแนนการยอมรับทางด้านรสชาติของผู้บริโภคจะลดลง ทั้งนี้เพราะผู้บริโภคเริ่มสามารถรับรู้กลิ่นถั่วเหลืองได้ในขณะที่ผู้บริโภคยังไม่สามารถบอกถึงความแตกต่างทางด้านลักษณะปรากฏ สี ความกรอบ ได้ ดังนั้นจึงเลือกสูตรที่มีการผสมข้าวเจ้าหรือข้าวเหนียว 80% กับ DFSF 20% มีโปรตีนในช่วง 15-15.5% เป็นตัวแทน

แหล่งโปรตีนที่ 3 FFSF สำหรับการใช้ FFSF เป็นแหล่งเสริมโปรตีนนั้น เนื่องจาก FFSF มีปริมาณไขมันสูง ทำให้เมื่อผสมกับข้าวเจ้าหรือข้าวเหนียว การพองตัวจะลดต่ำลงอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากไขมันจะไปห่อหุ้มส่วนของเม็ดแป้งเอาไว้ ทำให้การดูดซึมน้ำของแป้งเป็นไปได้ไม่สะดวก (10) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการเติมผสมกับข้าวเจ้าให้การพองตัวที่ต่ำมาก แม้จะมีการเติมลงไปเพียง 5% (คิดเป็นปริมาณไขมันในส่วนผสม 1.46%) โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะแข็ง ความหนาแน่นสูง (รูปที่ 5.1) แต่การเติม FFSF กับข้าวเหนียวที่ระดับ 5% และ 10% (คิดเป็นปริมาณไขมันในส่วนผสม 1.32% และ 2.32% ตามลำดับ) ถึงแม้จะให้การพองตัว

ที่ไม่ดีนัก แต่ยังยอมรับได้ ในขณะที่ระดับ 15% ไม่สามารถให้การพองตัวเลย จึงลองเติมผสมที่ระดับ 12.5% ดู พบว่าจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความกรอบ แต่การพองตัวต่ำ เมื่อนำทั้ง 3 สูตรไปทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสพบว่าที่ระดับ 12.5% มีคะแนนเฉลี่ยการยอมรับทั้งด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ ความกรอบ และการยอมรับรวม อยู่ในระดับที่ต่ำ ดังนั้นจึงเลือกสูตรที่มีการผสมระหว่างข้าวเหนียว 90% กับ FFSF 10% มีโปรตีน 11.16% เป็นตัวแทน

ในการผลิตเมื่อใช้แหล่งโปรตีนจาก FFSF นั้น ได้ปรับอุณหภูมิในการเดินเครื่องสูงขึ้น โดยโซนที่ 1 ปรับจาก 120° ซ เป็น 125° ซ โซนที่ 2 และ 3 ปรับจาก 180° ซ เป็น 190° ซ เพราะพบว่าที่อุณหภูมิสูงจะให้ลักษณะการพองตัวที่ดีกว่า ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเป็นการเพิ่มให้ไอน้ำภายในเม็ดแป้งมีแรงดันเพิ่มขึ้น เพื่อเอาชนะไขมันที่เคลือบรอบเม็ดแป้งและพบว่าหากเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นกว่านี้ ผลิตภัณฑ์จะมีสีคล้ำ ไหม้ มีรสชมเล็กน้อย

การเติมโมโนกลีเซอไรด์ในสูตรที่มีการผสม FFSF ก็เพื่อให้ทำหน้าที่เป็นสารลดแรงตึงผิว (emulsifier) ที่เกิดขึ้นระหว่างน้ำกับไขมันที่มีอยู่ใน FFSF นอกจากนี้ยังทำหน้าที่หล่อลื่นให้กับก้อนแป้ง (dough) ขณะที่อยู่ในเครื่องทำให้การเดินเครื่องเป็นไปได้ง่ายและสะดวกขึ้น ทั้งยังเป็นการถนอมเครื่องให้เกิดสึกหรือได้ช้าลงด้วย (10)

ดังนั้นสูตรที่เลือกมาเป็นตัวแทนอาหารขบเคี้ยวโปรตีนสูง คือ สูตร RM 40, GM 40, RD 20, GD 20 และ GF 10 (รูปที่ 5.1) เมื่อนำไปตรวจสอบลักษณะทั่วไปและปริมาณโปรตีน พบว่าสูตร GD 20 เป็นสูตรที่ให้ปริมาณโปรตีนสูงที่สุด และสูตร GF 10 เป็นสูตรที่ให้ปริมาณโปรตีนต่ำที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 4.24

เมื่อนำอาหารขบเคี้ยวโปรตีนสูงที่ผลิตได้ ไปวิเคราะห์กรดอะมิโนโดยเครื่อง amino acid analyzer (ตารางที่ 4.25) พบว่าไลซีน (lysine) ในอาหารขบเคี้ยวทุกสูตรเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณไลซีนที่มีอยู่ในข้าวเจ้า และข้าวเหนียว (ตารางที่ 2.3) โดยเพิ่มจาก 202-211 มิลลิกรัม/ 100 กรัม มาเป็น 513-829 มิลลิกรัม/ 100 กรัม และพบว่าปริมาณของซิสตีน (cystine) ในสูตรที่มีการเติม DFSF และ FFSF เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจน ในขณะที่สูตรที่มีการเติมถั่วเขียวก็เพิ่มขึ้นเช่นกันแต่ไม่มากเท่า ส่วนเมทไธโอนีน (methionine) ก็เพิ่มขึ้นเช่นกันในทุกสูตรของอาหารขบเคี้ยวโปรตีนสูงที่ผลิตได้

การทดสอบการด้านรสชาติของผลิตภัณฑ์ที่เคลือบด้วยรสชาติต่าง ๆ ได้แก่ รสไก่ รสหมู รสเนื้อย่าง รสกะหรี่ไก่ รสบาร์บีคิว และรสไก่ย่าง พบว่ารสไก่ย่างเป็นรสชาติที่ผู้บริโภคชอบมากที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 4.26 จึงนำไปใช้ในการเคลือบผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวที่เลือกมาเป็นตัวแทน เพื่อศึกษาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ต่อไป

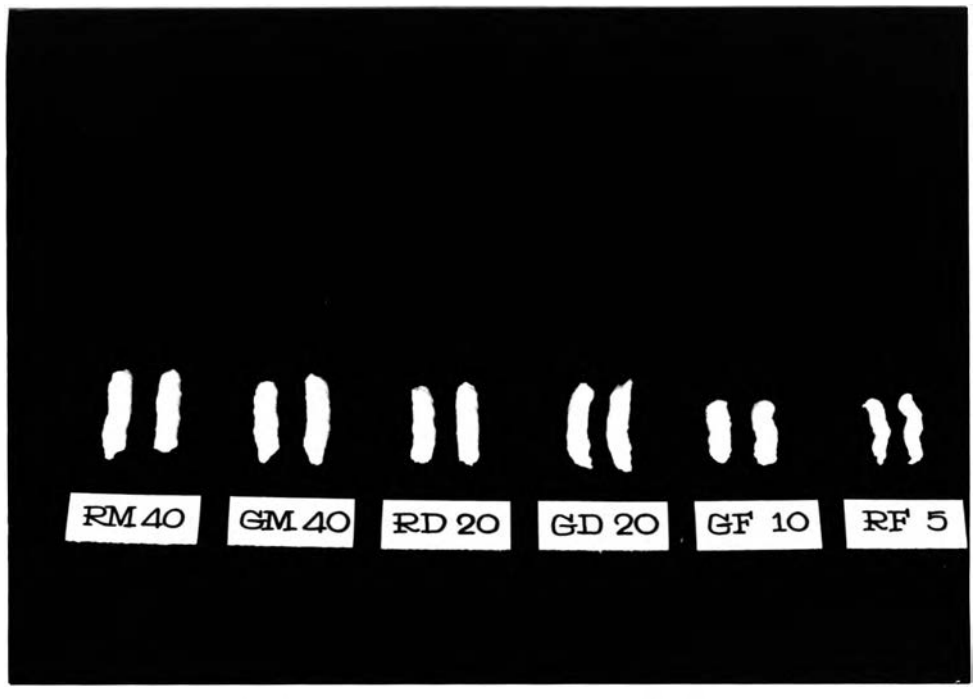
5.5 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวโปรตีนสูง และอาหารขบเคี้ยวที่มีขายอยู่ในท้องตลาด

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวโปรตีนสูงที่ผ่านการเคลือบรสชาติแล้วทั้ง 5 สูตร (รูปที่ 5.2) เปรียบเทียบกับอาหารขบเคี้ยวที่มีขายอยู่ในท้องตลาด (รายละเอียดในภาคผนวก ฉ) (รูปที่ 5.3) พบว่าอาหารขบเคี้ยวที่ผลิตได้มีปริมาณโปรตีนสูงกว่าอาหารขบเคี้ยวที่มีขายอยู่ในท้องตลาดประมาณ 2-2.5 เท่า ดังแสดงในตารางที่ 4.27

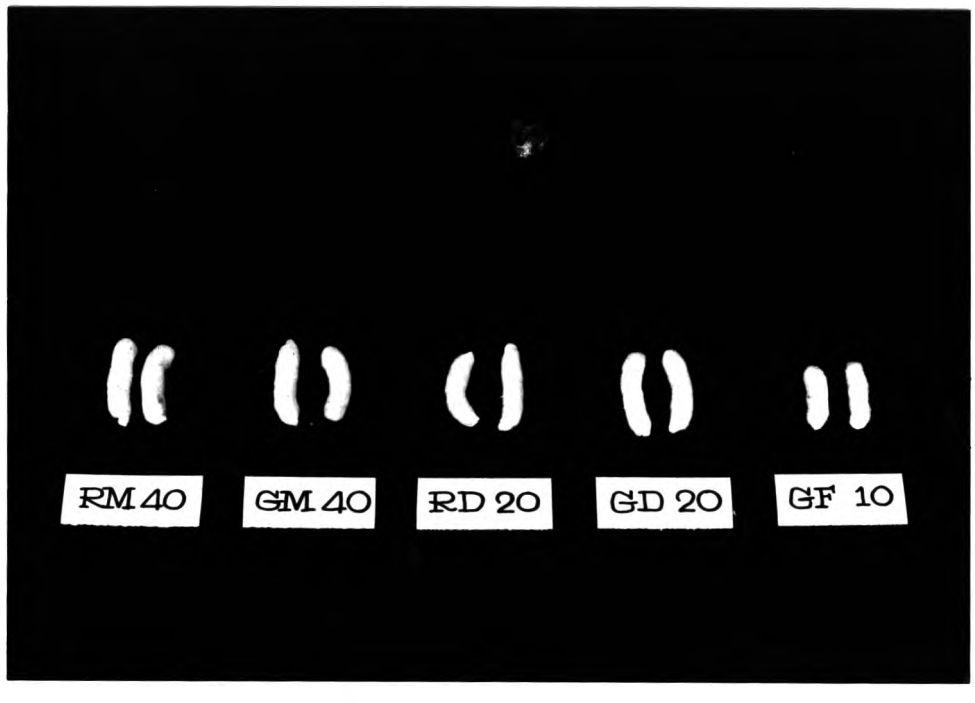
5.6 การศึกษาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวโปรตีนสูง

โดยทั่วไปอาหารขบเคี้ยวประเภทเคี้ยวกรอบ จะไม่ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคเนื่องจากการดูดกลืนความชื้นของผลิตภัณฑ์ หรือการเกิดกลิ่นหืนจากปฏิกริยา oxidation เนื่องจากออกซิเจนในบรรยากาศ ภาชนะบรรจุที่ใช้บรรจุผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวในท้องตลาด มักใช้ถุงพลาสติกต่างชนิดกันไป หรือถุงอลูมิเนียมฟอยล์ ในการทดลองนี้จึงทดลองบรรจุผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวโปรตีนสูงที่ผลิตได้ในภาชนะบรรจุ 2 ชนิด คือ ถุงพลาสติกชนิด OPP/PE และถุงอลูมิเนียมฟอยล์ (Al) โดยบรรจุในสภาวะบรรยากาศปกติ (รูปที่ 5.4)

จากการทดลองพบว่า ชนิดของภาชนะบรรจุ (ตัวแปร B) และระยะเวลาการเก็บ (ตัวแปร C ) ไม่มีผลต่อคะแนนการยอมรับในด้านลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ทุก ๆ สูตร ตลอดระยะเวลาการเก็บ ( ตัวอย่างเช่น คะแนนการยอมรับของผลิตภัณฑ์ RM 40 อยู่ระหว่าง 7.40-8.00 ซึ่งมีคะแนนการยอมรับอยู่ในช่วงชอบปานกลาง ถึงชอบมาก ตลอดระยะเวลา 8 สัปดาห์ ที่เก็บผลิตภัณฑ์ ) แต่พบว่าชนิดของอาหารโปรตีนสูงสูตรต่าง ๆ (ตัวแปร A ) มีผลต่อทั้งทางด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ ความกรอบ และการยอมรับรวมของผลิตภัณฑ์ จากตารางที่ 4.29 พบว่า มีคะแนนความชอบทางด้านลักษณะปรากฏต่ำที่สุดในผลิตภัณฑ์ GF 10 คือ 5.50 ซึ่งเป็นคะแนนการยอมรับอยู่ในช่วงเฉยๆ ถึงชอบเล็กน้อย และมีคะแนนความชอบทางด้านลักษณะปรากฏสูงที่สุดในผลิตภัณฑ์ RM 40 คือ 8.00 ซึ่งเป็นคะแนนการยอมรับอยู่ในชั้นชอบมาก ทั้งนี้เนื่องมาจากการพองตัวที่ต่างกันของผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์ RM40 มีการพองตัวสูงจึงทำให้ดูน่ารับประทานต่อผู้บริโภค และอาหารขบเคี้ยวโปรตีนสูงต่างสูตรกัน จะได้เอ็กซ์ทรูเดทที่มีสีต่างกัน โดยสูตรที่มีการเติมถั่วเขียว จะได้เอกซ์ทรูเดทที่มีสีเหลืองปนน้ำตาล และการเติมถั่วเขียวในข้าวเหนียวจะได้เอกซ์ทรูเดทที่มีสีอ่อนกว่าเติมถั่วเขียวในข้าวเจ้า สูตรที่มีการเติม DFSFจะได้เอ็กซ์ทรูเดท




รูปที่ 5.1 ลักษณะผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวโปรตีนสูงที่ยังไม่เคลือบรสชาติ (plain extrudate)




รูปที่ 5.2 ลักษณะผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวโปรตีนสูงที่เคลือบรสชาติแล้ว

รูปที่ 5.3 ผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวที่มีขายในท้องตลาด

รูปที่ 5.4 ผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวโปรตีนสูงบรรจุในถุงพลาสติก
ชนิด OPP/PE และถุงอลูมิเนียมฟอยล์

สีเหลืองอ่อน และการเติม DFSF ในข้าวเหนียวจะได้เอ็กซ์ทรูเดทสีเหลืองอ่อนกว่าเติม DFSF ในข้าวเจ้า การเติม FFSF ในข้าวเหนียวจะได้เอกซ์ทรูเดทสีเหลืองอ่อน เมื่อนำผลิตภัณฑ์สูตรต่าง ๆ เหล่านี้มาเคลือบรสชาติ ก็จะทำให้ได้สีที่ต่างกันออกไปเช่นกัน รสชาติที่ต่างกันของผลิตภัณฑ์เนื่องจากสูตรการผสม พบว่า ถั่วเขียวจะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีกลิ่นหอมอ่อน ๆ ของถั่ว ไม่มีกลิ่นอะไรเลยในผลิตภัณฑ์ที่เติม DFSF 20% และการเติม FFSF 10% และเมื่อเปรียบเทียบความกรอบ พบว่าผลิตภัณฑ์ RM 40 ได้คะแนนการยอมรับทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัส (ความกรอบ) สูงที่สุด คือ 7.70 และสูตร GD 20 ได้รับคะแนนการยอมรับทางด้านความกรอบน้อยที่สุด คือ 5.80

สำหรับปริมาณความชื้น พบว่าตัวแปรทั้ง 3 ชนิด มีผลต่อปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ จากตารางที่ 4.28 แสดงให้เห็นว่าอาหารขบเคี้ยวโปรตีนสูงสูตรต่างกัน จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความชื้นต่างกัน แต่มีแนวโน้มอย่างเดียวกัน คือ เมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้น ปริมาณความชื้นจะเพิ่มสูงขึ้น แต่จะเห็นได้ชัดเจนในผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/PE และเปลี่ยนแปลงน้อยมากในผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุง Al เนื่องจากถุง Al สามารถป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ดีกว่า

สำหรับทางด้านสี พบว่า ตัวแปร B และตัวแปร C ก็มีผลต่อสีของผลิตภัณฑ์เช่นเดียวกับตัวแปร A โดยอาจเป็นไปได้ว่า ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/PE มีโอกาสรับแสงสว่างได้มากกว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุง Al ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีไปบ้าง คะแนนการยอมรับจึงแตกต่างกันทางด้านรสชาติ และความกรอบของผลิตภัณฑ์ พบว่า ตัวแปร B และตัวแปร C ก็มีผลต่อลักษณะทั้ง 2 เช่นเดียวกับตัวแปร A โดยพบว่า คะแนนการยอมรับทางด้านรสชาติและความกรอบของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุง Al มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย แต่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดในผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/PE โดยคะแนนการยอมรับรวมทางด้านรสชาติลดลงจนถึง 4.30 ซึ่งเป็นคะแนนการยอมรับในช่วงไม่ชอบเล็กน้อยถึงเฉย ๆ และคะแนนการยอมรับทางด้านความกรอบลดลงจนถึง 3.31 ซึ่งเป็นคะแนนการยอมรับในช่วงไม่ชอบปานกลางถึงไม่ชอบเล็กน้อย สาเหตุเนื่องจากการดูดความชื้นที่ซึมผ่านถุงเข้าไป ทำให้ผลิตภัณฑ์กรอบน้อยลง และเกิดกลิ่นหืน เนื่องจากการทำปฏิกริยาของไขมันกับก๊าซออกซิเจนภายในถุง

อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาคะแนนเฉลี่ยทางด้านการยอมรับรวมของผลิตภัณฑ์ พบว่าผลิตภัณฑ์ทั้ง 5 ชนิด ที่บรรจุในถุง Al เป็นเวลา 8 สัปดาห์ ยังสามารถได้รับคะแนนการยอมรับรวม 5.70 - 7.20 ซึ่งเป็นคะแนนการยอมรับในช่วงเฉย ๆ ถึงชอบมาก นั่นคือผลิตภัณฑ์ยังยอมรับได้อยู่ แต่ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/PE ในสัปดาห์ที่ 6 มีคะแนนการยอมรับรวมของสูตร GF 10 เพียง 4.10 ซึ่งเป็นคะแนนการยอมรับในช่วงไม่ชอบเล็กน้อยถึงเฉย ๆ

ซึ่งหมายถึงการไม่ยอมรับของผู้บริโภค และผลิตภัณฑ์สูตร RM 40, GM 40, RD 20, และ GD 20 ในถุงพลาสติกชนิด OPP/PE จะไม่ได้รับการยอมรับของผู้บริโภคในสัปดาห์ที่ 8