

การผลิตอาหารเช้ารสชาติที่มีข้าวโพดเป็นองค์ประกอบหลัก โดยใช้เครื่องเอ็กสทราuderสกรูคู่

Production of Corn-Based Breakfast Cereal

By Twin Screw Extruder

ประชา บุญยสิริกุล และ จุฬาลักษณ์ จารุณูช¹

Pracha Boonyasirikool and Chulaluk Charunuch

ABSTRACT

The research on production of corn-based breakfast cereal by using Hermann Berstorff laboratory Twin Screw Extruder ZE 25 × 33 D was carried out. The objectives were to find out the suitable quantity of soy flour fortified into corn formulate mixture to produce good texture, high nutritional value, low cost and good protein quality product.

Breakfast cereal formula R'₂ 350 rpm, in which 16% defatted soy flour was fortified into 77% corn grit 5% sugar 1% CaCO₃ 1% mixed vitamins and 2% cocoa powder of total weight was obtained by feeding into extruder at 300 g/min feed rate, employing 350 rpm screw speed. The product was coated with chocolate flavoured for sensory evaluation. It gained the highest overall acceptability score 7.33 (9-Point Hedonic Scale) compared to NL.MLO, O.V.T.C and formular R'₅ 350 rpm when tested without fresh milk and it's score 6.95 when they were tested with fresh milk. It beared factory cost of 2.40 baht per 25 gms in OPP/Metallite PET with retail price of 5.00 baht or 200 baht per one kilogram or 170.65 baht per 100 gms of protein in the product. Nutritionally, the formula R'₂ 350 rpm contained per 100 gms, 11.72 g or 3.16 g of protein per 100 kg-cal., 1.86 g. fat, 4.0 g ash, 1747.8 I. U vitamin A, 0.48 mg vitamin B₁ , 0.43 mg vitamin B₂ , 0.37 mg vitamin B₆ , 2.98 mg niacin, 723.8 mg calcium, and 3.03 mg iron, 119.7 g/l apparent density and 3.42 expansion ratio when compared to 9 samples of commercial breakfast cereal which costed 233.30-390.90 baht per one kilogram or 300.50-698.00 baht per 100 gms of protein in product which 4.7-9.2 g or 1.07-2.43 g of protein per 100

¹ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Institute of Food Research and Product Development, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand.

kg-cal. The breakfast cereal formular R'_2 350 rpm was the cheapest in retail price and the highest in nutritional value. Beside its protein content (3.16) is above the standard limit regular human food which should contain at least 2.5-3.0 grams of reference protein per 100 kg-cal. The protein quality of the breakfast cereal also showed higher chemical score of lysine, 73 and methionine + cystine, 117 compared to 31 and 165 of corn grit. And the corn-based breakfast cereal contained a very good source of essential amino acids (> 80 % of FAO pattern) except lysine. Thus it can conclude that the corn-based breakfast cereal from this research is high nutritive value, low cost and good for consumption.

Key words : corn-based breakfast cereal, extruded breakfast cereal, defatted soyflour, corn grit, twin screw extruder

บทคัดย่อ

ได้ทดลองทำอาหารเข้าธัญชาติที่มีข้าวโพดเป็นองค์ประกอบหลักด้วยเครื่องเอ็กสทรูเดอร์สกรูคู่เพื่อหาปริมาณแป้งถั่วเหลืองที่เสริมลงไปแทนที่ข้าวโพดเกร็ดแล้วได้ผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อสัมผัสที่ดีคุณค่าทางโภชนาการสูง คุณภาพโปรตีนดี ราคาถูก ผลการทดลองได้อาหารเข้าสูตร R'_2 350 rpm ที่เสริมด้วยแป้งถั่วเหลือง สกัดไขมัน 16% ในข้าวโพดเกร็ด 77 % น้ำตาล 5 % $CaCO_3$ 1% วิตามินเกลือแร่ 1 % และโกโก้ผง 2% ของส่วนประกอบทั้งหมด ป้อนเข้าสู่เครื่องเอ็กสทรูเดอร์ด้วยอัตราป้อน 300 กรัมต่อนาที ความเร็วรอบสกรู 350 รอบต่อนาที อัดพองและเคลือบน้ำเชื่อมรสช็อกโกแลต อบแห้งแล้วนำไปทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส ได้คะแนนการยอมรับ 7.33 (9-Point Hedonic Scale) เมื่อรับประทานแบบไม่สำนึก ซึ่งสูงกว่า NL.MLO, O.V.T.C และสูตร R'_5 350 rpm ได้คะแนน 6.95 เมื่อรับประทานร่วมกับนม มีต้นทุนการผลิต 2.40 บาท/25 ก. ราคา ขายปลีก 5 บาท/25 ก. บรรจุในถุงเมทัลไลต์เปิดหรือเท่ากับ 200 บาท/1 ก.ก. หรือเท่ากับ 170.65 บาท/100 กรัม โปรตีนที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์และมีโปรตีน 11.72 ก. หรือ 3.16 กรัมโปรตีนต่อพลังงาน 100 กิโลแคลอรี ไขมัน 1.86 ก. เถ้า 4.0 ก.

วิตามินเอ 1747.8 I.U วิตามินบี₁ 0.48 มก. วิตามินบี₂ 0.43 มก. วิตามินบี₆ 0.37 มก. ไนอะซิน 2.98 มก. แคลเซียม 723.8 มก. และเหล็ก 3.03 มก. ต่อ 100 ก. ความหนาแน่นปรากฏ 119.7 ก./ล. อัตราการพองตัว 3.42 เปรียบเทียบกับ ผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวกัน 9 ตัวอย่างที่มีราคาจำหน่ายตั้งแต่ 233.30 - 272.20 บาท และ 276.50 - 390.90 บาทต่อ 1 ก.ก. หรือ 300.50 - 698.00 บาทต่อ 100 ก. โปรตีน สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ทำในประเทศและที่นำเข้าตามลำดับแล้วนั้น ที่มีโปรตีน 4.7-9.2 % หรือ 1.07-2.43 กรัมต่อพลังงาน 100 กิโลแคลอรี อาหารเข้าธัญชาติ สูตร R'_2 350 rpm มีราคาจำหน่ายถูกที่สุด โปรตีนนั้นก็เกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานของอาหารที่ดีที่กำหนดไว้ว่าต้องมีโปรตีน 2.5-3.0 กรัมต่อพลังงาน 100 กิโลแคลอรี ส่วนคุณภาพโปรตีนที่ดีขึ้นมี chemical score ของกรดอะมิโนไลซีนและเมไทโอนีน+ซิสทีนเท่ากับ 73 และ 117 ซึ่งมากกว่าในข้าวโพดเกร็ดที่มีเพียง 31 และ 165 กรดอะมิโนที่จำเป็นของอาหารเข้าธัญชาตินี้ก็มีมากกว่า 80 % ของกรดอะมิโน มาตรฐานที่กำหนดโดย FAO เว้นแต่กรดอะมิโนไลซีนเท่านั้นที่มีค่าต่ำกว่า 80 % เล็กน้อย จึงสรุปได้ว่าเป็นอาหารเข้า ธัญชาติที่ผลิตขึ้นใหม่นี้มีคุณค่าทางโภชนาการสูงและราคาถูกเหมาะสมแก่การบริโภค

คำนำ

อาหารเข้าที่รับประทานกันได้แก่ อาหารประเภทจานด่วน อาทิเช่น ข้าวราดแกง คุณภาพความปลอดภัยของอาหารประเภทนี้แปรเปลี่ยนตามผู้ปรุงจำหน่ายในแต่ละวัน แต่มีอาหารเข้าอีกประเภทหนึ่งเรียกว่าอาหารเข้าสัญชาติ ซึ่งสะอาดและปลอดภัยกว่ารับประทานได้ทันทีเพียงแต่เปิดถุงหรือกล่องก็รับประทานได้แล้ว จากนั้นก็ดื่มนมอีก 1 กล่อง ดื่มน้ำอีกขึ้นหากรับประทานผลไม้สดอีกเล็กน้อยก็เป็นอาหารเข้าที่มีคุณค่าทางโภชนาการครบถ้วนพร้อมกับรสชาติที่อร่อย อาหารเข้าสัญชาติประเภทนี้ส่วนมากนำเข้ามาจากต่างประเทศ ส่วนที่ผลิตและจำหน่ายในประเทศไทยรายแรกคือ โดเน่ (Donae) ผลิตกันชนำเข้าประเภทนี้ราคาค่อนข้างแพง ทำให้ต้องเสียดุลการค้าปีหนึ่งมากกว่า 200 ล้านบาท และเพิ่มมากขึ้นตามจำนวนผู้บริโภคที่เพิ่มมากขึ้นทุกปี

วัตถุดิบที่ใช้เป็นพวกธัญชาติเช่นข้าวโพดข้าวเจ้า ส่วนผลไม้แช่อิ่มบางชนิดใช้ผสมเข้าไปบ้างแต่ยังมีใช้กันน้อย อาหารเข้าสัญชาติมีหลายชนิด ส่วนมากเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าทางอาหารต่ำ โดยเฉพาะปริมาณโปรตีนมีเพียง 4-10% เท่านั้น (อรอนงค์ และลินดา, 2536) อาหารที่รับประทานกันประจำควรมีโปรตีน 2.5 - 3.0 กรัมต่อพลังงาน 100 กิโลแคลอรี หรืออย่างน้อย 10-12 % ของพลังงานทั้งหมดต้องมาจากโปรตีน (Autret, 1969) คุณสมบัติของอาหารเข้าสัญชาติ โดยทั่วไปแล้วต้องกรอบแข็ง (crunchy) โพรงอากาศเล็กน้อยได้เข้า มีความพองตัวดีและความหนาแน่นอยู่ในเกณฑ์ที่สูงกว่าขนมกรอบ (snack foods) และควรมีคุณค่าทางโภชนาการสูงเพียงพอ กับความต้องการของร่างกายเมื่อรับประทานร่วมกับน้ำนม และผลไม้หรือรับประทานแต่เพียงอย่างเดียว ด้วยคุณสมบัติดังกล่าวข้าวโพดเป็นวัตถุดิบที่เหมาะสมที่สุด

ซึ่งผลิตได้ในปีหนึ่งๆ ประมาณ 4 ล้านตัน แต่ที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเพียง 0.1 % เท่านั้น ข้าวโพดเกร็ด (corn grit) มีโปรตีนร้อยละ 8.19, ไขมันร้อยละ 2.45 (ประชาและ คณะ, 2539) โปรตีนข้าวโพดมีกรดอะมิโนเมไทโอนีน + ซีสทีน ค่อนข้างสูง แต่ก็มีกรดอะมิโนไลซีนต่ำ แต่โปรตีนในแป้งข้าวเหลืองสกัดไขมัน 47.2 %; ไขมัน 1.0 % และในแป้งข้าวเหลืองไขมันเต็ม 43.6 %, ไขมัน 18 % (Boonyasirikool et al., 1986) นั้น มีกรดอะมิโนเมไทโอนีน + ซีสทีนต่ำ แต่ก็มีกรดอะมิโนไลซีนสูง ถ้านำข้าวโพดและข้าวเหลืองผสมกันทำเป็นผลิตภัณฑ์อาหารจะทำให้คุณภาพโปรตีนดีขึ้นเหมือนผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากข้าวผสมข้าวเหลือง (Tantisirin and Mowleekulpairaj, 1982; Cheman et al., 1992) เพราะว่าข้าวโพดและข้าวเป็นธัญชาติที่มีรูปแบบและปริมาณของกรดอะมิโนใกล้เคียงกัน

การวิจัยพัฒนาอาหารที่ทำจากข้าวโพดและใช้ข้าวเหลืองเป็นแหล่งเสริมโปรตีน โดยกระบวนการเอ็กชทรูชันยังมีไม่มาก เช่น กุลเตน แป้งข้าวเหลืองสกัดไขมัน แป้งข้าวเหลืองไขมันเต็ม ข้าวโพดข้าวเจ้า ข้าวสาลี (Boonyasirikool et al., 1986) ข้าวเหลือง-ข้าวโพด (Guzman et al., 1989) ส่วนมากเป็นขนมกรอบ ที่ทำเป็นอาหารเข้ายังมีการวิจัยและพัฒนา น้อยมาก Noguchi et al. (1981) กล่าวว่า การเพิ่มโปรตีนข้าวเหลืองปราศจากไขมันลงในแป้งข้าวเจ้าให้มีโปรตีนร้อยละ 10 และความชื้นร้อยละ 20 เอ็กชทรูที่ 200°C พบว่าขนมกรอบที่ได้มีผิวเรียบและกรอบดี ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการเพิ่มโปรตีน โดยใช้ผลิตภัณฑ์ข้าวเหลืองนั้นไม่เพียงแต่เพิ่มคุณค่าทางโภชนาการแต่ยังส่งเสริมให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากกระบวนการเอ็กชทรูชันดียิ่งขึ้น

กระบวนการเอ็กชทรูชัน (extrusion cooking process) หรืออีกนัยหนึ่งก็คือเครื่องเอ็กชทรูเดอรันเองเป็น เครื่องจักรที่ทำอาหารสุกแบบต่อเนื่องเพราะ

ว่าได้รวมขั้นตอนต่างๆ ได้แก่ การผสม การนวด การทำให้สุกและการขึ้นรูป มาอยู่ในเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ทั้งหมดเป็นกระบวนการผลิตที่มีอัตราการผลิตสูง ระยะเวลาสั้น ลดการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ เพราะว่าเป็นระบบ high temperature and short time (HTST) นอกจากนี้คุณภาพของผลิตภัณฑ์สามารถปรับปรุงเปลี่ยนแปลงได้หลากหลายตามความต้องการ โดยขจัดข้อบกพร่องหรือข้อจำกัดที่เกิดจากการใช้เครื่องมือสมัยเก่าที่ทำเป็นชุดๆ ลงได้ (Miller, 1988; Harper, 1981)

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาปริมาณของแป้งถั่วเหลืองที่เพิ่มลงไปแทนที่ข้าวโพดเกร็ดเพื่อใช้ผลิตอาหารเข้าัญชาติพร้อมบริโภคน้ำหนักคุณค่าทางโภชนาการ คุณภาพของโปรตีนดี ราคาถูก เนื้อสัมผัสดี ที่สภาวะการผลิตที่เหมาะสม ด้วยเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์สกรูคู่ชนิดหมุนตามกัน โดยการวิเคราะห์หาสมบัติต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ที่ได้และการยอมรับของ ผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ด้วยการประเมินผลทางประสาทสัมผัสและเปรียบเทียบคุณภาพราคาและการยอมรับกับ ผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวกันที่มีจำหน่ายอยู่ในปัจจุบันซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อผู้บริโภคทางด้านโภชนาการ นอกจากนี้ ยังช่วยเพิ่มมูลค่าของข้าวโพด, ถั่วเหลืองให้สูงขึ้นด้วยและผลของการวิจัยนี้จะเผยแพร่เข้าสู่ โรงงานอุตสาหกรรมต่อไปในอนาคต

อุปกรณ์และวิธีการ

วัตถุดิบ

ข้าวโพดเกร็ด (corn grit, คอร์นกริต) ขนาด 30-50 เมช ซื้อมาจากบริษัทไทยเมช โปรดักส์ จำกัด; แป้งถั่วเหลือง ไขมันเต็ม (FFS) ขนาด 80-100 เมชจากโครงการหลวง, แป้งถั่วเหลืองสกัดไขมัน (DFS) ขนาด 100-140 เมช จาก Archer Daniels Midland Company

Decatur, Illinois U.S.A. โดยสถาบันคั่นคว่ำและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร

ปริมาณแป้งถั่วเหลืองทดแทน

หาปริมาณแป้งถั่วเหลืองไขมันเต็มหรือแป้งถั่วเหลืองสกัดไขมันที่เพิ่มลงไปแทนที่ข้าวโพดเกร็ดแล้วผลิตได้อาหารเข้าัญชาติที่มีคุณค่าทางโภชนาการ และคุณภาพโปรตีนตลอดจนเนื้อสัมผัสที่ดี

ข้าวโพดเกร็ดมีโปรตีน 8.19 และไขมัน 2.45% เป็นโปรตีนจากพืชที่ไม่สมบูรณ์เพราะว่ามีกรดอะมิโนไลซีนและทรีโตนินในปริมาณต่ำ ดังนั้นจำเป็นต้องหาส่วนประกอบที่เป็นแหล่งโปรตีนมาเสริมเพื่อเพิ่มปริมาณและ คุณภาพของโปรตีน ซึ่งผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองมีความเหมาะสม เพราะว่ามีปริมาณโปรตีนและกรดอะมิโนไลซีนค่อนข้างสูง จึงได้นำแป้งถั่วเหลือง ไขมันเต็มและ แป้งถั่วเหลืองสกัดไขมันเสริมลงไปแทนข้าวโพดเกร็ดในปริมาณ 12, 16 และ 20% และเติมโกโก้ผงอีก 2% ของน้ำหนักทั้งหมดเพื่อช่วยสีสรรให้น่ารับประทานมากยิ่งขึ้นได้สูตรส่วนผสมของ วัตถุดิบเพื่อทำอาหารเข้าัญชาติ 13 สูตร (Table 1)

การเตรียมตัวอย่างสำหรับกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน

ซึ่งวัตถุดิบตามสูตรส่วนผสมของแต่ละสูตรจำนวน 13 สูตร นำมาผสมให้รวมเข้ากันดีในแต่ละสูตรในเครื่องผสม (Telegrams bearmixer) เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำออกจากเครื่องผสมบรรจุลงในถุงพลาสติกซึ่งพร้อมที่จะป้อนเข้าสู่เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์สกรูคู่ชนิดที่สกรูทั้งสองหมุนไปในทิศทางเดียวกัน (Hermann Berstorff Laboratory Co-rotating Twin Screw Extruder ZE 25 × 33D)

กระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน

นำส่วนผสมของวัตถุดิบที่เตรียมได้ทั้งหมด 13

สูตร มาแยกป้อนเข้าเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์สกรูซึ่งประกอบด้วย บารเรล 7 ท่อน มาเรียงต่อกันและปิดยึดด้วยแผ่นได (die) ที่มีรูขนาด 2.3×7.0 มม. 4 รู และความหนาของแผ่นไดเท่ากับ 25 มิลลิเมตร ความยาวของบารเรลต่อเส้นผ่าศูนย์กลาง (L/D) เท่ากับ 875 : 25 ผนังบารเรลมีส่วนที่ให้ความร้อนที่สามารถควบคุมได้ซึ่งแยกเป็นอิสระต่อกัน 7 ส่วน ในผนังบารเรลบางส่วน เป็นแบบแจ็กเก็ตสองชั้นที่มีท่อน้ำสำหรับปั้มน้ำเย็นเข้าไปหมุนเวียนด้วยอัตราการไหลที่ควบคุมได้เพื่อป้องกันการเกิดความร้อนที่สูงเกินไป อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์อ่านจากเทอร์โมคัปเปิลที่เสียบอยู่ที่แผ่นได อุณหภูมิของแต่ละบารเรลอ่านได้จากเทอร์โมคัปเปิลที่เสียบอยู่ที่ผนังบารเรลแต่ละอัน ในการทดลองครั้งนี้อุณหภูมิตั้งที่บารเรล 1-7 และที่บารเรล 9 ได้แก่ 35, 40, 45, 105, 145, 155, 130 และ 120°C ตามลำดับ

ส่วนผสมของวัตถุดิบถูกป้อนเข้าสู่เครื่องด้วยถังป้อนที่มีสกรูเป็นตัวป้อนแบบปริมาตร (K-Tron soder AG 5702, Type 20: Switzerland) มีปั้มน้ำที่มีมาตรวัด (metering pump) เพื่อปั้มน้ำเข้าไปผสมกับส่วนผสมของวัตถุดิบ ป้อนเข้าสู่เครื่องด้วยอัตรา 300 กรัม/นาที่ ที่ความเร็วรอบสกรู 350 รอบ/นาที่ น้ำป้อนเข้าไป 10.5 กรัม/นาที่ ความชื้นส่วนผสมของวัตถุดิบ 11.5% อุณหภูมิที่ได (melt temperature) อ่านได้ $160-162^{\circ}\text{C}$ ผลิตภัณฑ์ที่ได้นำไปอบในตู้อบ ไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 80°C 10-15 นาที จากนั้นนำไปเคลือบน้ำเชื่อมรสช็อกโกแลต (ราคาน้ำเชื่อม 26.08 บาท /1 ก.ก.) ในอัตราส่วนอาหารเข้ารสชาติ : น้ำเชื่อมรสช็อกโกแลต = 3 : 1 ในหม้อเคลือบแปดเหลี่ยมที่มีลมร้อนเป่า ประมาณ 10 นาที นำเข้าตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 80°C 15 นาที เพื่อไล่ความชื้นออกไป นำออกจากตู้อบปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วบรรจุในถุงพลาสติกกันความชื้นชนิดพีพี ปิดผนึกอย่างดีเพื่อใช้ในการ ทดสอบต่อไปแล้วติดตามผลดังนี้:-

1. วิเคราะห์องค์ประกอบเคมีของอาหารเข้ารสชาติที่มีข้าวโพดเป็นองค์ประกอบหลัก ตามวิธีของ A.O.A.C. (1990)

2. หาปริมาณของโปรตีน (กรัม) ต่อพลังงาน 100 กิโลแคลอรี

3. นำอาหารเข้ารสชาติที่เคลือบแล้ว ทั้ง 13 สูตร ไปประเมินผลความแตกต่างทางประสาทสัมผัส โดยใช้ผู้ชิม 20 คน ที่เป็นนักวิจัยของสถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ใช้ระบบการให้คะแนนแบบ 9-Point Hedonic Scale ให้ 1 เป็นคะแนนที่ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 เป็นคะแนนที่ชอบมากที่สุด จากนั้นวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้แผนการทดลองแบบ randomised complete block design และหาความแตกต่างระหว่างผลิตภัณฑ์โดยใช้ analysis of variance และ duncans multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 การทดสอบทำ 5 ครั้ง โดยแบ่งแยกตัวอย่างมาชิมเป็น 4 กลุ่ม คือกลุ่ม 1 มีสูตร (Code) R_1, R_2, R_3 ,กลุ่ม 2 มี R'_1, R'_2, R'_3 ,กลุ่ม 3 มี R_4, R_5, R_6 และกลุ่ม 4 มี R'_4, R'_5, R'_6 แล้วเอาตัวอย่างที่ได้รับคะแนนการยอมรับดีที่สุดของแต่ละกลุ่มมาชิมเปรียบเทียบกันและกันกับ R_0 (Control) อีกครั้งหนึ่งเป็นกลุ่มที่ 5 แล้วคัดเลือกเอาตัวอย่างที่ได้รับคะแนนความชอบและการยอมรับดีที่สุด 2 ตัวอย่าง (ที่มีแป้งถั่วเหลืองสกัดไขมันและไขมันเต็มอย่างละ 1 ตัวอย่าง) เอาไปหาสภาวะการผลิตที่ความเร็วรอบของ สกรูที่เหมาะสมต่อไป

ทดสอบสภาวะที่เหมาะสมในการผลิต

ในที่นี้ศึกษาเฉพาะความเร็วรอบสกรู ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ระดับ ดังนี้ 250 300 และ 350 รอบ/นาที่ (rpm) ซึ่งวัตถุดิบตามสูตรส่วนผสมของอาหารเข้ารสชาติที่ได้รับคะแนนความชอบมากที่สุดในกลุ่ม 5 ของข้อ 3 จำนวน 2 สูตร ผสมให้เข้ากันดีในเครื่องผสมแล้วป้อนเข้าสู่เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์สกรูที่สภาวะการผลิต

เช่นเดียวกับที่กล่าวข้างต้น ยกเว้นความเร็วรอบสกรูที่มี 3 ระดับ ได้อาหารเข้ารัชชาติ 6 ตัวอย่าง แล้วเติมน้ำเชื่อมรสซ็อกโกแลตแล้ว นำไปวิเคราะห์ผลตัวแปรตอบสนอง ได้แก่ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่มีความสัมพันธ์ต่อตัวแปรอิสระ (ความเร็วรอบสกรู) ที่เลือกทดสอบ ดังนี้

- ความหนาแน่นปรากฏ, อัตราการพองตัว
- วิเคราะห์ลักษณะรวมของผลิตภัณฑ์ด้วย

การประเมินผลความแตกต่างทางประสาทสัมผัสโดยใช้ผู้ชิมและใช้วิธีการหาความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

การวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ของผลิตภัณฑ์

นำอาหารเข้ารัชชาติที่ได้คะแนนความชอบและยอมรับดีที่สุดของข้อ 5 มาวิเคราะห์องค์ประกอบเคมีของอาหาร ใช้วิธีของ A.O.A.C. (1990) แล้วส่งตัวอย่างเดียวกันนี้ไปวิเคราะห์ปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของร่างกายและวิตามินเกลือแร่ต่างๆ เช่น วิตามินเอ เหล็ก โดยห้องปฏิบัติการกองวิทยาศาสตร์ชีวภาพ กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม

การวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

นำอาหารเข้ารัชชาติที่ได้คะแนนความชอบและการยอมรับดีที่สุด สองตัวอย่าง (เป็นตัวอย่างที่มีแป้งถั่วเหลืองสกัดไขมันเป็นองค์ประกอบ 1 ตัวอย่าง และอีกตัวอย่างที่มีแป้งถั่วเหลืองไขมันเต็ม) มาทดสอบโดยเปรียบเทียบกับอาหารเข้าที่ทำมาจากรัชชาติที่ใช้กระบวนการผลิตและเคลือบด้วยน้ำเชื่อมรสซ็อกโกแลตเหมือนกัน ได้แก่ NL.MLO และ O.V.T.C โดยใช้ผู้ชิม และใช้วิธีการหาความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

วิเคราะห์ต้นทุนการผลิตและเปรียบเทียบราคาจำหน่ายคุณค่าทางโภชนาการกับผลิตภัณฑ์ประเภทเดียวกันที่มีจำหน่ายในตลาด

ผลและวิจารณ์

ปริมาณของแป้งถั่วเหลืองสกัดไขมันหรือแป้งถั่วเหลืองไขมันเต็มที่เสริมลงไปแทนข้าวโพดเกร็ดแล้วทำให้ได้อาหารเข้ารัชชาติที่มีคุณค่าทางโภชนาการและคุณภาพโปรตีนตลอดจนเนื้อสัมผัสที่ดี

จาก Table 1 ได้อาหารเข้ารัชชาติ 2 สูตร คือ สูตร R'_2 และ R'_5 ที่ได้รับคะแนนความชอบเนื้อสัมผัสและการยอมรับสูงสุด คือ 7.40, 7.38 และ 7.33, 7.33 ตามลำดับ R'_2 มีโปรตีน 11.72%, ไขมัน 2.34% และ คาร์โบไฮเดรต 76.42%, โปรตีน 3.16 กรัมต่อพลังงาน 100 กิโลแคลอรี และมีข้าวโพดเกร็ด แป้งถั่วเหลืองสกัดไขมัน น้ำตาลทราย วิตามิน แคลเซียม คาร์โบเนตเป็นส่วนผสมในปริมาณ 77, 16, 5, 1, 1% ตามลำดับ และโกโก้ผงอีก 2% ของทั้งหมด ส่วนสูตร R'_5 นั้นมีส่วนผสมทุกอย่างเหมือนกันและเท่ากันกับสูตร R'_2 ยกเว้นแป้งถั่วเหลืองในสูตร R'_5 เท่านั้นที่เป็นแป้งถั่วเหลืองไขมันเต็มและในสูตร R'_5 มีโปรตีน 11.18% ไขมัน 3.71% คาร์โบไฮเดรต 76.07 % ตามลำดับ และโปรตีน 2.92 กรัมต่อพลังงาน 100 กิโลแคลอรี

ในการเลือกตัวอย่าง นอกจากพิจารณาความชอบในเรื่อง กลิ่น-รส สีสรร เนื้อสัมผัส การยอมรับตัวผลิตภัณฑ์แล้วยังได้พิจารณาถึงปริมาณและชนิดของแป้งถั่วเหลืองด้วยว่า ควรต้องมีปริมาณเท่ากันเพื่อที่จะเปรียบเทียบกันได้จึงได้เลือกสูตร R_2 ในกลุ่ม 1 แทน R_3 และ R'_5 แทน R'_6 ในกลุ่ม 4 ถึงแม้ว่า R_3 และ R'_6 มีคะแนนความชอบเนื้อสัมผัสและการยอมรับรวมสูงกว่า R_2 และ R'_5 เล็กน้อย แต่ก็ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ $p \leq 0.05$

Table 1 Chemical composition, protein-calorie ratio and organoleptic evaluation of flavoured corn-based breakfast cereals.

		% Chemical composition			Protein-calorie ratio			Organoleptic evaluation				Ingredients in 13 formulae (%)						
		Moisture	Protein	Fat	Carbohydrate	Energy (Kilocalorie)	Protein (gm) Per 100kg-cal	Flavour	Taste	Texture	Acceptance	Corn grit	DFS	FFS	Sugar	Mixed vitamins	CaCO ₃	Cocoa powdered
Group 1	R1	4.87	10.68	1.87	77.69	370.30	2.88	7.13 ^a	7.20	6.73 ^b	6.85 ^b	81	12	-	5	1	1	-
	R2	4.22	11.82	1.84	76.90	371.40	3.18	7.35 ^a	7.60 ^{ab}	7.05 ^a	7.48 ^a	77	16	-	5	1	1	-
	R3	4.36	13.29	1.60	75.59	369.90	3.59	7.33 ^a	7.65 ^a	7.33 ^a	7.50 ^a	73	20	-	5	1	1	-
	R4	4.28	9.85	2.90	78.21	378.30	2.60	6.85 ^a	6.95 ^a	6.48 ^c	6.53 ^c	81	-	12	5	1	1	-
	R5	4.06	11.26	3.20	76.62	380.30	2.96	6.93 ^a	7.05 ^a	7.18 ^a	7.23 ^a	77	-	16	5	1	1	-
	R6	4.32	12.46	3.66	74.40	380.40	3.28	7.03 ^a	7.00 ^a	6.83 ^b	6.83 ^b	73	-	20	5	1	1	-
Group 2	R'1	4.75	10.65	2.27	77.46	372.90	2.86	7.40 ^a	7.53 ^a	7.25 ^a	7.48 ^a	81	12	-	5	1	1	2
	R'2	4.38	11.72	2.34	76.42	373.63	3.14	7.28 ^a	7.45 ^a	7.45 ^a	7.58 ^a	77	16	-	5	1	1	2
	R'3	4.34	13.20	2.12	75.16	372.50	3.54	7.18 ^a	7.28 ^a	7.15 ^a	7.30 ^a	73	20	-	5	1	1	2
	R'4	4.25	9.84	3.40	77.70	380.80	2.58	7.28 ^a	7.23 ^a	6.90 ^b	6.90 ^b	81	-	12	5	1	1	2
	R'5	4.10	11.18	3.71	76.07	382.40	2.92	7.43 ^a	7.40 ^a	7.18 ^{ab}	7.38 ^a	77	-	16	5	1	1	2
	R'6	4.28	12.43	4.06	74.06	382.50	3.25	7.30 ^a	7.38 ^a	7.38 ^a	7.48 ^a	73	-	20	5	1	1	2
Group 3	R0	4.49	6.48	2.35	82.44	376.80	1.72	6.95 ^b	6.80 ^b	6.50 ^b	6.53 ^c	93	-	-	5	1	1	-
	R2							6.90 ^b	7.13 ^{ab}	7.18 ^a	7.10 ^{ab}							
	R'2	4.38	11.72	2.34	76.42	373.63	3.14	7.28 ^a	7.35 ^a	7.40 ^a	7.38 ^a							
	R5							6.80 ^{ab}	6.93 ^{ab}	6.63 ^b	6.73 ^{bc}							
	R'5	4.10	11.18	3.71	76.07	382.40	2.92	7.00 ^{ab}	7.15 ^{ab}	7.33 ^a	7.33 ^a							

In a column, means with the same letter are not significantly difference at $p \leq 0.05$

ทดสอบสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตในที่นี้ทดลองเฉพาะความเร็วรอบสกรู ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ระดับ ดังนี้:- 250, 300 และ 350 รอบต่อนาที (rpm)

อันเนื่องจากเนื้อสัมผัสเป็นลักษณะเด่นของอาหารเข้าัญชาติ จึงประเมินความชอบทางด้านเนื้อสัมผัสกับ ลักษณะอื่นของผลิตภัณฑ์ เพื่อใช้เป็นเกณฑ์เลือกสภาวะการผลิต จาก Table 2 พบว่า ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่มีผลต่อคะแนนความชอบเนื้อสัมผัสคือความหนาแน่นปรากฏและอัตราการพองตัว ผลิตภัณฑ์ที่ได้คะแนนความชอบเนื้อสัมผัสและการยอมรับต่ำมักเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความพองตัวน้อยและความหนาแน่นปรากฏสูง ซึ่งมีความสัมพันธ์กับความเร็วรอบสกรู กล่าวคือเมื่อความเร็วรอบสกรูต่ำ (250 rpm) ผลิตภัณฑ์ที่มีอัตราการพองตัวน้อยเท่ากับ 2.95 ความหนาแน่นปรากฏมากกว่า 153.5 ก./ล. ของสูตร R'_2 และเท่ากับ 2.59 และ 159.8 ก./ล. ของสูตร R'_5 เมื่อความเร็วรอบสกรูสูงขึ้นเป็น 350 rpm อัตราการพองตัวก็สูงขึ้นเป็น 3.42 และความหนาแน่นปรากฏน้อยลงเป็น 119.7 ก./ล. ของสูตร R'_2 และเท่ากับ 3.23, 135.5 ก./ล. ของสูตร R'_5 ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีพันธ์ (2537) ที่กล่าวว่า ขนมหกรอบมีอัตราการพองตัวสูงเมื่อผลิตมาจาก เครื่องเอ็กซ์ทราเดอร์ที่ใช้ความเร็วรอบสกรูสูง อุณหภูมิที่บารเรลสูง แป้งที่ใช้มีปริมาณความชื้นต่ำและปริมาณแป้งกล้วยมีอยู่น้อยในส่วนผสม เช่นเดียวกับ Frame (1994) กล่าวว่าอาหารเข้าัญชาติและขนมหกรอบที่มีความชื้นของวัตถุดิบผสมขณะป้อนเข้าสู่เครื่องเอ็กซ์ทราเดอร์อยู่ในช่วง 14-20 % ที่ความเร็วรอบสกรูมากกว่า 250 rpm มีผลต่อแรงเฉือนที่กระทำต่อวัตถุดิบส่วนผสมขณะที่ถูกอัดออกมา ซึ่งเมื่อความเร็วรอบสกรูสูงขึ้น แรงเฉือนที่สูงขึ้นทำให้วัตถุดิบส่วนผสมขณะที่ถูกอัดออกมาได้รับการบด อัด เสียดสีมาก มีความร้อนเกิดมากขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์สุกหอมละลายเป็นเนื้อเดียวกัน

ทำให้การ พองตัวดีและมีผลทำให้ความหนาแน่นปรากฏต่ำลง

ดังนั้นในการเลือกสภาวะการผลิตที่เหมาะสมของการวิจัยครั้งนี้จึงพิจารณาที่คะแนนความชอบสูงสุดในเรื่องกลิ่น รสชาติ ลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส และการยอมรับของตัวผลิตภัณฑ์เป็นสำคัญ ส่วนความหนาแน่นปรากฏนั้นควรอยู่ระหว่าง 120.3 - 239.9 ก./ล. ซึ่งเป็นค่าต่ำสุดและสูงสุดของอาหารเข้าัญชาติ 10 ตัวอย่างที่มีจำหน่ายอยู่นำมาวัดหาค่าเพื่อใช้เป็นมาตรฐานอ้างอิงใช้ในการวิจัยครั้งนี้และอัตราการพองตัวอยู่ในช่วง 3.06-3.83 (Mohamed, 1990) จาก Table 2 อาหารเข้าัญชาติสูตร R'_2 350 rpm ได้คะแนนความชอบสูงสุดในทุกลักษณะซึ่งเป็นคะแนนความชอบเนื้อสัมผัส (8.03) และการยอมรับ (7.93) อยู่ในเกณฑ์ชอบมากที่สุดที่ความเร็วรอบสกรู 350 รอบต่อนาที และมีความแตกต่างจากสูตร R'_5 ทุกความเร็วรอบสกรูอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$ มีความหนาแน่นปรากฏเท่ากับ 119.7 ก./ล. ก็อยู่ในช่วงต่ำสุดของอาหารเข้าัญชาติที่มีขายอยู่ปัจจุบันนี้อัตราการพองตัวเท่ากับ 3.42 ซึ่งก็อยู่ในเกณฑ์กำหนดของการพองตัวที่ดีของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากกระบวนการเอ็กซ์ทราชัน สรุปได้ว่า สภาวะการผลิตอาหารเข้าัญชาติที่เหมาะสมคือที่ความเร็วรอบสกรู 350 rpm

การเปรียบเทียบสารอาหารที่มีอยู่ในอาหารเข้าัญชาติที่มีข้าวโพดเป็นองค์ประกอบหลักกับผลิตภัณฑ์ประเภทเดียวกันที่จำหน่ายอยู่ในตลาดซูเปอร์มาร์เก็ตปัจจุบันนี้

Table 3 แสดงค่าสารอาหารที่มีอยู่ในอาหารเข้าัญชาติสูตร R'_2 350 rpm เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวกันที่ผลิตภายในประเทศและนำเข้ามาจากต่างประเทศ (ค่าที่แสดงบนฉลากโภชนาการของภาชนะบรรจุ) พบว่าอาหารเข้า ัญ

Table 2 Organoleptic evaluation and characteristics of flavoured corn-based breakfast cereals extruded at various screw speeds.

Formulae (Code)	Organoleptic evaluation				Product characteristics				Extruder conditions		
	Flavour	Taste	Appearance	Texture	Acceptance	Bulk density (g/lit)	Expansion ratio	Screw rotation speed (rpm)	Temperature at 7 th barrel C°	Melt temperature C°	Feed moisture content %
R' ₂ 250 rpm	7.10 ^{abc}	6.95 ^{cd}	6.85 ^c	6.23 ^c	6.30 ^c	153.5	2.95	250	130	162	15
R' ₂ 300 rpm	7.15 ^{abc}	7.35 ^{ab}	7.23 ^b	7.13 ^b	7.08 ^b	123.8	3.16	300	130	162	15
R' ₂ 350 rpm	7.33 ^a	7.63 ^a	7.80 ^a	8.03 ^a	7.93 ^a	119.7	3.42	350	130	162	15
R' ₅ 250 rpm	6.85 ^c	6.73 ^d	6.35 ^d	5.33 ^d	5.35 ^d	159.8	2.59	250	130	162	15
R' ₅ 300 rpm	6.95 ^{bc}	7.08 ^{bcd}	6.83 ^c	6.10 ^c	6.13 ^c	147.5	2.93	300	130	162	15
R' ₅ 350 rpm	7.23 ^{ab}	7.30 ^{abc}	7.25 ^b	7.10 ^b	7.00 ^b	135.5	3.23	350	130	162	15

In a column, means with the same letter are not significantly difference at $p \leq 0.05$

Table 3 Comparison of the chemical composition in flavoured corn-based breakfast cereals to commercial breakfast cereals available in supermarket.

	Moisture	Protein	Fat	Ash	Fiber	Carbohydrate	Energy	Protein/ 100 Kg-cal	2/Vit. A I.U.	2/Vit.B ₁ mg	2/Vit.B ₂ mg	2/Vit.B ₆ mg	2/Niacin mg	2/Ca mg	2/Fe mg
R ₂ 350 rpm	3.6	11.72	1.86	4.0	1.88	76.94	371.4	3.16	1747.8	0.48	0.43	0.37	2.98	723.8	3.03
O.V.T.C	-	8.0	-	-	-	87.4	371.0	2.15	616.0	-	-	6.4	-	52.0	-
NL.MLO ^{1/}	2.5	9.2	3.1	2.5	4.4	78.3	378.0	2.43	-	1.4	1.6	2.0	18	-	14
Donae Choco	1.5	4.7	10.0	2.0	-	81.8	436.0	1.07	-	0.6	0.5	-	3.0	-	4.5
Donae Strawberry	2.0	5.2	6.0	2.0	-	84.8	414	1.25	-	0.82	0.49	-	5.91	-	5.18
Nestle'Honey ^{1/}															
Star	2.5	5.6	8.4	1.3	1.6	80.6	420.0	1.33	-	1.4	1.6	2.0	18.0	-	14
Nestle' ^{1/}															
Apple puffs	2.5	6.1	3.7	1.6	1.8	84.3	395.0	1.54	-	1.4	1.6	2.0	18.0	-	14
Kelloggs ^{1/}															
Rice Krispies	3.8	5.6	1.3	-	3.3	87.1	367.0	1.52	-	1.86	2.6	-	18.6	-	16.6
Ovaltine															
crispy	-	5.0	-	-	2.1	60.2	401.0	1.25	825.0	-	-	3.0		34.5	1.7

^{1/} Imported breakfast cereals.^{2/} Source : Division of Biological, Dept. of Science Service; Ministry of Science, Technology and Environment.

ชาตีสูตร R₂' 350 rpm มีความชื้น 3.6 กรัม โปรตีน 11.72 กรัม ไขมัน 1.86 กรัม เถ้า 4.00 กรัม เส้นใย 1.88 กรัม พลังงาน 371.40 กิโลแคลอรี โปรตีน 3.16 กรัมต่อพลังงาน 100 กิโลแคลอรี วิตามินเอ 1747.8 I.U. วิตามินบี₁ 0.48 มิลลิกรัม วิตามินบี₂ 0.43 วิตามินบี₆ 0.37 มิลลิกรัม ไนอะซิน 2.98 มิลลิกรัม แคลเซียม 723.8 มิลลิกรัม และเหล็ก 3.03 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ส่วนใหญ่สารอาหารใน อาหารเข้าธัญชาติที่ได้จากการวิจัยพัฒนานี้ สูงกว่าในผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวกันที่มีจำหน่ายอยู่ในปัจจุบัน โดยเฉพาะปริมาณโปรตีนที่มีถึง 11.72 กรัมในขณะที่ตราอื่นมีเพียง 4.7 - 9.2 กรัม เท่านั้น ส่วนแร่ธาตุ แคลเซียมก็มีมากกว่าปริมาณโปรตีน (กรัม)/พลังงาน 100 กิโลแคลอรี ในอาหารเข้าธัญชาติสูตร R₂' 350 rpm ก็มีโปรตีนมากถึง 3.16 กรัม ซึ่งสูงกว่าค่าของเกณฑ์ที่กำหนดไว้ว่าอาหารที่ดีที่รับประทานบ่อยๆควรมีปริมาณโปรตีน 2.5

- 3.0 กรัม (Autret, 1969) ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ตราอื่นที่มีค่าสูงสุด 2.43 (ของ NL.MLO) นั้น ก็ยังเป็นปริมาณที่ต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดและที่มีค่าน้อยมากเพียง 1.07 ของโดเน่ ซ็อกโก นั้น นับว่าเป็นปริมาณโปรตีนที่น้อยไปสำหรับอาหารชนิดนี้

การวิเคราะห์คุณภาพโปรตีนของอาหารเข้าธัญชาติที่มีข้าวโพดเป็นองค์ประกอบหลัก โดยเปรียบเทียบปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์กับวัตถุดิบที่ใช้และกับค่าที่แนะนำ(มาตรฐาน) ของ FAO/WHO ปี 1973

ใน Table 4 พบว่าข้าวโพดเกร็ด และแป้งข้าวโพดเหลืองไขมันเต็ม มีกรดอะมิโนไลซีนและเมไทโอนีน + ซิสทีน น้อยกว่าในอาหารเข้าธัญชาติทุกสูตร เว้นแต่ในข้าวโพดเกร็ดเท่านั้นที่มีกรดอะมิโนจำเป็น เมไทโอนีน + ซิสทีนมากกว่า แสดงให้เห็นว่าการนำ

Table 4 Comparison of the essential amino acid contents in flavoured corn-based breakfast cereals to raw materials and FAO/WHO standard (1973) in milligrams per gram of protein.

Essential amino acids	Corn grit ^{2/}	Full fat soy flour ^{1/}	R ₂ ' ^{2/} 350 rpm 16 % Defatted Soy	R ₅ ' ^{2/} 350 rpm 16 % Full Fat Soy	FAO/WHO ^{1/} 1973
Isoleucine	30	28	34(85)	34	40
Leucine	80	37	96(137)	95	70
Lysine	17 (31) ^{3/}	39(71)	40(73) ^{3/}	39(71) ^{3/}	55
Methionine + Cystine	58(165)	13(37) ^{3/}	41(117) ^{3/}	41(117) ^{3/}	35
Phenylalanine + Tyrosine	88	42	94(157)	88	60
Threonine	32	28	37(93)	36	40
Tryptophane	*6	8	11(110)	9	10
Valine	39	30	41(82)	41	50

Source : ^{1/} Amino acid content of Thai foods. Nutrition Division, Health Dept; Ministry of Public Health. Jan 2533. ISBN 974-7955-60-1 39 p.

^{2/} Div. of Biological, Dept. of Science Service; Ministry of Science, Technology and Environment.

^{3/} Limiting amino acid.

() Chemical score is the percentage of limiting essential amino acid content in foods, compared to the content of the same essential amino acid in the tables of recommended contents.

แป้งถั่วเหลืองมาเสริมเข้าไป นอกจากทำให้ปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นจากเดิม (สูตร R_0) 6.48% เป็น 11.72% (ดูจาก Table 1) แล้วยังทำให้คุณภาพโปรตีนดีขึ้นมากกว่าการใช้ข้าวโพดเกร็ดแต่เพียงอย่างเดียว ซึ่งดูได้จากค่า chemical score ของกรดอะมิโนไลซีนที่เพิ่มจากเดิม 31 ในข้าวโพดเกร็ดเป็น 73 และ 71 ในอาหารเข้าธัญชาติสูตร R'_2 350 rpm และ R'_5 350 rpm ตามลำดับ นอกจากนี้ปริมาณของกรดอะมิโนที่จำเป็นในอาหารเข้าธัญชาตินี้มีอยู่ในเกณฑ์ดี คือ มีกรดอะมิโนแต่ละชนิดมากกว่า 80 % ของกรดอะมิโนมาตรฐานที่กำหนด โดย FAO/WHO ปี 1973 จึงนับได้ว่าเป็นอาหารเข้าธัญชาติที่มีคุณค่าทางโภชนาการดี ซึ่งก็ สอดคล้องกับกลุ่มนักวิจัยหลายคณะที่ได้ทำการวิจัยพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารให้มีปริมาณและคุณภาพของโปรตีนให้ดีขึ้น โดยใช้ข้อมูลในเรื่องปริมาณของกรดอะมิโนจำเป็นเมไทโอนีน+ซิสทีน ที่มีอยู่มากในธัญชาติแต่มีอยู่น้อยในถั่วเหลืองและไลซีนที่มีอยู่มากในถั่วเหลือง แต่มีอยู่น้อยในธัญชาติ นำมาผสมกันในอัตราส่วนที่เหมาะสมแล้วช่วยทำให้ปริมาณและคุณภาพโปรตีนของผลิตภัณฑ์อาหารที่ผลิตขึ้นมาใหม่มีค่าสูงขึ้น (Chemmanur et al., 1992; Boonyasirikool et al., 1986 ; Tantisirin and Mowleekulpairaj, 1982).

ประเมินผลทางประสาทสัมผัสและการยอมรับเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวกัน

ใน Table 5 พบว่าอาหารเข้าธัญชาติสูตร R'_2 350 rpm ได้รับคะแนนความชอบในกลุ่มรส ลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัสและการยอมรับอยู่ในช่วงชอบปานกลางถึงชอบมาก (7.20 - 7.43) สูงกว่า O.V.T.C, NL.MLO และสูตร R'_5 350 rpm ทุกลักษณะคะแนนความชอบในเนื้อสัมผัสไม่แตกต่างจาก NL.MLO แต่แตกต่างกับ O.V.T.C และสูตร R'_5 350 rpm อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$ คะแนน

การยอมรับแตกต่างจาก O.V.T.C, NL.MLO และสูตร R'_5 350 rpm อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$ ตามลำดับ เมื่อชิมแบบไม่สำนึ้ม แต่เมื่อชิมร่วมกับนมพบว่าคะแนนความชอบในทุกลักษณะของสูตร R'_2 350 rpm ลดลงเล็กน้อย แต่ยังได้รับคะแนนความชอบในทุกลักษณะอยู่ในช่วง 6.80 - 7.38 ซึ่งสูงกว่าอีก 3 ตัวอย่างที่ชิมเปรียบเทียบกัน เว้นแต่คะแนนความชอบในรสชาติและเนื้อสัมผัสของ NL.MLO เท่านั้นที่สูงกว่าสูตร R'_2 350 rpm เล็กน้อย แต่ก็ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$ ส่วน O.V.T.C, NL.MLO กลับได้รับคะแนน ความชอบในทุกลักษณะสูงขึ้น เมื่อเป็นเช่นนี้ก็สรุปได้ว่าอาหารเข้าธัญชาติที่รับประทานร่วมกับนมที่ดั้นั้น ควรมีส่วนผสมที่กรอบนุ่มก่อนไปทางแข็งเล็กน้อย เซลล์โครงสร้างค่อนข้างละเอียด เนื้อค่อนข้างแน่น ความหนาแน่นปรากฏควรสูงกว่า 119.7 ก./ล. แต่ไม่ควรสูงเกินกว่า 146.7 ก./ล. (ของ NL.MLO) และอัตราการพองตัวประมาณ 3.4 ก็พอดีแล้ว ในการวิจัยครั้งนี้อาหารเข้าธัญชาติสูตร R'_2 350 rpm ได้รับคะแนนความชอบทุกลักษณะสูงกว่าอาหารเข้าธัญชาติที่ผลิตจำหน่ายแล้วที่นำมาชิมเปรียบเทียบกัน ซึ่งเป็นคะแนนความชอบอยู่ในช่วงชอบปานกลาง-ชอบมาก และชอบปานกลาง เมื่อรับประทานแบบไม่สำนึ้มและร่วมกับนมตามลำดับ มีความหนาแน่นปรากฏ 119.7 ก./ล. (ซึ่งต้องทำให้เนื้อสัมผัสแน่นกว่านี้อีกเล็กน้อยให้ใกล้เคียงกับของ NL.MLO เพราะเมื่อสำนึ้มแล้วจะไม่มันเร็ว) และอัตราการพองตัว 3.42 การยอมรับอาหารเข้าธัญชาติ นอกจากพิจารณาในเนื้อสัมผัสซึ่งก็ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นปรากฏและอัตราการพองตัวแล้ว กลิ่นรสชาติและลักษณะ ปรากฏของตัวผลิตภัณฑ์ก็มีส่วนสำคัญช่วยเสริมให้ตัวผลิตภัณฑ์อาหารได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคมากยิ่งขึ้นนั้น หมายถึงนอกจากมีคุณค่าทางโภชนาการและเนื้อสัมผัสที่ดีแล้ว ต้องมีกลิ่น-รสชาติที่หอมอร่อยและรูปทรงสวยงามด้วย

Table 5 Organoleptic evaluation of the best acceptance of flavoured corn-based breakfast cereals formula R₂ 350 rpm and R₅ 350 rpm compare with O.V.T.C and NL.MLO, which are the breakfast cereals on sale in the market today.

Formula or brand name	Eating without milk					Eating with milk				
	Flavour	Taste	Appearance	Texture	Acceptance	Flavour	Taste	Appearance	Texture	Acceptance
NL.MLO	6.90 ^a	6.58 ^{bc}	5.95 ^b	6.90 ^{ab}	6.65 ^b	6.98 ^a	7.08 ^a	6.23 ^b	7.23 ^a	6.95 ^a
R ₂ 350 rpm	7.25 ^a	7.40 ^a	7.43 ^a	7.20 ^a	7.33 ^a	7.10 ^a	6.80 ^{ab}	7.38 ^a	6.93 ^{ab}	6.95 ^a
O.V.T.C	6.38 ^b	6.20 ^c	6.28 ^b	6.20 ^c	6.18 ^b	6.60 ^a	6.58 ^b	6.53 ^b	6.53 ^b	6.33 ^b
R ₅ 350 rpm	6.90 ^a	7.08 ^a	6.98 ^a	6.60 ^{bc}	6.68 ^b	6.98 ^a	6.53 ^b	7.10 ^a	6.55 ^b	6.63 ^{ab}

In a column, means with the same letter are not significantly difference at $p \leq 0.05$

ผลวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต เปรียบเทียบราคาจำหน่าย คุณค่าทางโภชนาการกับผลิตภัณฑ์อาหารเข้าธัญชาติที่มี จำหน่ายในตลาดปัจจุบันนี้

ใน Table 6, 7 ราคาต้นทุนการผลิตอาหาร
เข้าธัญชาติสูตร R₂ 350 rpm บรรจุถุง OPP/Metallized
PET ขนาด 5" × 7" น้ำหนักสุทธิ 25 ก. เท่ากับ 2.40
บาท และขายปลีก 5 บาท/25 ก. เปรียบเทียบกับ
ผลิตภัณฑ์ ชนิดเดียวกัน พบว่า สูตร R₂ 350 rpm มี
ราคาขายปลีกต่ำสุด ทั้งในแง่ปริมาณ (น้ำหนัก 1 ก.ก.)
และในด้านคุณค่าทางโภชนาการ, (ปริมาณโปรตีนที่
มีอยู่) คือมีราคาเพียง 200 บาท และ 170.65 บาท
ขณะที่โดเน่ ซ็อกโก มีราคาขายปลีก 233.30 บาท และ
496.45 บาท ของ O.V.T.C 272.20 บาท และ 340.25
บาท ของ * NL.MLO 276.50 บาท และ 300.50 บาท
ของ * Kellogg's Rice Krispies 390.90 บาท และ
698.00 บาท ต่อ 1 ก.ก. และ 100 ก. โปรตีนตามลำดับ
ถ้าเปรียบเทียบราคาของอาหารเข้าธัญชาติสูตร R₂ 350
rpm ต่อพลังงาน 100 กิโลแคลอรี และพลังงานที่ได้
รับเมื่อรับประทาน 100 ก. แล้วไม่แตกต่างจาก
อาหารเข้าธัญชาติที่มีจำหน่ายอยู่ในขณะนี้มากนัก

อาหารเข้าธัญชาติที่ให้ออกมาจำหน่ายในขณะนี้
มีคุณค่าทางโภชนาการต่ำมีโปรตีนเพียง 4.7 - 9.2 %
เท่านั้น (Table 3) หากรับประทานบ่อยๆ และเป็น
จำนวนมากแล้วจะทำให้เกิดโรคขาดสารอาหาร โดย
เฉพาะโปรตีนและเกิดโรคอ้วน ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า
อาหารเข้าธัญชาติ สูตร R₂ 350 rpm ที่เสริมแป้ง
เหลืองสกัด ไขมันลงในส่วนผสมแทนข้าวโพดเกร็ด
16 % พร้อมกับใช้น้ำมัน วิตามินเกลือแร่เป็นส่วน
ผสมของน้ำเชื่อมรสช็อกโกแลตสำหรับเคลือบกลั่นรส
นั้น ซึ่งนอกจากจะช่วยทำให้ปริมาณโปรตีนและ
คุณค่าทางโภชนาการสูงขึ้น และรสชาติดีแล้ว ยังไม่
ทำให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มมากขึ้นแต่อย่างใด ทั้งนี้
เพราะกระบวนการเอ็กซ์ทราซันที่นำมาใช้ในการผลิตมี
ข้อดี หลายประการตามที่ได้กล่าวไว้แล้ว ซึ่งก็มีราคา
ต้นทุนการผลิตเพียง 2.40 บาทต่อ 25 ก. หรือ 96 บาท/
1 ก.ก. และขายปลีก 5 บาท/1 ถุง 25 ก. หรือ 200 บาท/
1 ก.ก. ซึ่งถูกกว่าอาหารเข้าธัญชาติที่มีจำหน่ายอยู่
ในขณะนี้มากและยังมีคุณค่าทางโภชนาการที่สูงกว่า
กล่าวคือมีโปรตีนถึง 11.72 % ในขณะที่ผลิตภัณฑ์
อื่นมีเพียง 4.7 - 9.2 % เท่านั้น ดังนั้นอาหารเข้า ธัญ

Table 6 Production cost of the flavoured corn-based breakfast cereal.

Cost of raw material before extruding (Bath/kg)	13.78
Cost of plain breakfast cereal after extruding, yield 83.5 % (Baht/kg)	16.50
Cost of plain breakfast cereal + Operating cost (Bath/kg)	16.50 + 18→34.50
Cost of chocolate flavouring solution (Bath/kg)	26.08
Cost of flavoured breakfast cereal (yield 95 %)	129.58 Baht/4 kgs or 34.1 Baht/kg
Cost of flavoured breakfast cereal after drying (Baht/kg)	36.10
Cost of flavoured breakfast cereal (Baht/25 gms)	0.9025
OPP/Metallite Pet bag + Labour cost for packing (Baht/bag)	1.20 + 0.30
Total cost of production of flavoured corn-breakfast cereal (Baht/pack 25 gms)	2.40

Table 7 Comparative cost of the flavoured corn-based breakfast cereal to the commercial breakfast cereal available in supermarket in Bangkok.

Brand name breakfast cereals	Weight/packet (gm)	Cost/packet (Baht) Energy	Cost/kilogram (Baht)	Cost/100 g. protein (Baht)	Cost/100 Kg-cal (Baht)	Energy Kg-cal/100 g
¹ R ₂ - 350 rpm	25	5	200.00	170.65	5.40	371.4
² O.V.T.C	180	49	272.20	340.25	7.30	371.0
³ NL.MLO	170	47	276.50	300.50	7.31	378.0
² Donae Choco	180	42	233.30	496.45	5.35	436.0
³ Nestle Honey star	150	42	280.00	500.00	6.65	420.0
³ Nestle Apple puffs	170	47	276.50	453.25	7.00	395.0
³ Kelloggs Rice Krispies	110	43	390.90	698.00	10.35	376.0
² Donae Strawberry	180	42	233.30	448.70	5.60	414.0
³ Kelloggs Honey Nuto's	250	73.75	295.00	340.40	7.65	384.0
² Ovaltine crispy	180	46	255.50	511.10	6.35	401.0

- 1 - Flavoured corn-based breakfast cereal
- 2 - Commercial breakfast cereals.
- 3 - Imported breakfast cereals.

ชาตีสูตร R₂ 350 rpm จึงมีความเหมาะสมที่ควรส่งเสริมการผลิตเป็นอุตสาหกรรมเพื่อเผยแพร่ จำหน่ายให้กับผู้บริโภคทั่วไป ทั้งนี้เพราะว่ามีประโยชน์และคุณค่าทางโภชนาการเหมาะแก่การบริโภค ช่วยแก้ปัญหาทางทุพโภชนาการและ ใช้แทนอาหารเข้ารัชชาติทั่วไปที่มีปริมาณโปรตีนและคุณภาพต่ำและยังช่วยเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจให้กับข้าวโพดถั่วเหลืองในเชิงพาณิชย์ในระดับอุตสาหกรรมอีกด้วย

สรุป

อาหารเข้ารัชชาติสูตร R₂ 350 rpm ที่มีข้าวโพดเป็นองค์ประกอบหลักเสริมด้วยแป้งถั่วเหลืองสกัดไขมัน 16% อัดพองออกจากเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์สกรู ที่ความเร็วรอบสกรู 350 รอบต่อนาที เคลือบน้ำเชื่อม รสช็อกโกแลต อบแห้งแล้วมีความหนาแน่นปรากฏ 119.7 ก./ล. อัตราการพองตัว 3.42 เมื่อชิมเปรียบเทียบกับ O.V.T.C. NL.MLO และสูตร R₅ 350 rpm แล้วได้รับการยอมรับสูงกว่า ส่วนทางด้านราคาเมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวกัน 9 ตัวอย่าง ที่มีราคาจำหน่าย 233.30 - 390.90 บาท/1 ก.ก หรือ 300.50 - 698.00 บาทต่อ 100 กรัมโปรตีนแล้วจะเห็นได้ว่าอาหารเข้ารัชชาติสูตร R₂ 350 rpm มีราคาถูกที่สุดทั้งใน ด้านปริมาณและคุณค่าทางโภชนาการ นอกจากนี้แล้วยังมีสารอาหารได้แก่ โปรตีน วิตามินเอ แร่ธาตุต่างๆ สูงมากที่สุด ส่วนโปรตีน (11.72 % หรือ 3.16 กรัมต่อพลังงาน 100 กิโลแคลอรี) นั้นก็เกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานของอาหารที่ดีที่กำหนดไว้ว่าต้องมีโปรตีน 2.5-3.0 กรัมต่อพลังงาน 100 กิโลแคลอรี คุณภาพโปรตีนก็ดีขึ้นมี chemical score ของกรดอะมิโนไลซีนและเมไทโอนีน + ซิสทีนเท่ากับ 73 และ 117 ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าในข้าวโพดเกร็ดที่มีเพียง 31 และ 165 ตามลำดับ นอกจากนี้อาหารเข้ารัชชาติสูตร R₂ 350 rpm มีปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นอยู่ในเกณฑ์ดี

คือมีกรดอะมิโนในแต่ละชนิดมากกว่า 80% ของกรดอะมิโนมาตรฐานที่กำหนดโดย FAO เว้นแต่กรดอะมิโนไลซีนเท่านั้นที่มี 73%

คำขอบคุณ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- กองโภชนาการ. 2533. ตารางแสดงชนิดและปริมาณกรดอะมิโนในอาหารไทย กรมอนามัย มกราคม 2533. 39 น.
- ประชา บุญญศิริกุล, จุฬาลักษณ์ จารุณช และ มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์. 2539. การผลิตอาหารขบเคี้ยวจากถั่วเขียวโดยใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์สกรู. อาหาร. 26 : 14-33
- ฤทัยพันธ์ ศิริพละ. 2537. การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตขนมกรอบจากรัชชาติด้วยเอ็กซ์ทรูเดอร์. วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- อรอนงค์ นัยวิกุล และ ลินดา พงศ์ผาสุก 2536. อาหารเข้าจากรัชชาติ. อุตสาหกรรมเกษตร. 4 : 5-15.
- A.O.A.C. 1990. Official Methods of Analysis 15th ed. The Association of Official Analytical Chemists. Arlington, Virginia. 1298p.
- Autret, M. 1969. World protein supplies and needs, pp 3-19. In Proteins as Human Food. R.A Lawrie (ed.) The AVI Publishing Co, Inc., Westport, Connecticut.

- Boonyasirikool, P., S. Reungmaneeapaitoon, S. Thippayang, and S. Prabhavat. 1986. Research on the Production of High Protein Snack Foods. ASEAN-Thailand Food Technology Research and Development 1982 - 1985. Institute of Food Research and Product Development, Kasetsart University. Bangkok. 69 p.
- Cheman, Y.B., N.B. Mohamad, Abdul Karim, and T.K., Tan. 1992. Evaluation of flour high-protein rice-soy snack formulations J. Fd. Sci. Technol. 27 : 715-719.
- Frame, N.D. 1994. Operational Characteristics of the Co-rotating Twin-screw Extruder, pp. 1-51. *In* N.D. Frame (ed.) The Technology of Extrusion Cooking. Blackie Academic and Professional, an imprint of Chapman and Hall, Wester Cleddens Road, Bishopbriggs, Glasgow G64 2 NZ, U.K.
- Guy, R.C.E. 1994. Raw materials for extrusion cooking process, pp. 52-72. *In* N.D. Frame (ed.) The Technology of Extrusion Cooking. Blackie Academic and Professional, an imprint of Chapman and Hall, Wester Cleddens Road, Bishopbriggs, Glasgow G64 2 NZ, U.K.
- Guzman, G.J., PA. Murphy, and L.A. Johnson. 1989. Properties of soybean-corn mixtures processed by low-cost extrusion. J. Food Sci. 54 : 1590-1593.
- Harper, J.M. 1981. Extrusion of Foods. Volume I. Food Extrusion. CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida. 212 p.
- Miller, R.C. 1988. Continuous cooking of breakfast cereal. Cereal Foods World. 33 : 281-291
- Mohamed, S. 1990. Factors affecting extrusion characteristic of expanded starch-based product, J. Fd. Proc. and Preserv. 14 : 437-452
- Noguchi, A., W. Kugimiya, Z. Hague, and K. Saio. 1981. Physical and chemical characteristics of extruded rice flour and rice flour fortified with soybean protein isolate. J. Food Sci. 47 : 240-245.
- Tantisirin, K. and B. Mowleekulpairroj. 1982. Formulation of supplementary food for infants and young children. J. Nutr. Assoc. Thailand 16 :27-36