

ผลของการเพาะงอกต่อการดูดซึมธาตุเหล็ก และความสามารถในการย่อยโปรตีนของถั่วเหลือง

Effect of Germination on *In Vitro* Iron Bioaccessibility and Protein Digestibility of Soybean

ศิริพร ตันจ่อ*, วนิดา เทวารุทธิ์ ชิติสรรค์กุล และเนตรนภิส วัฒนสุชาติ

สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

Siriporn Tanjor*, Wanida Tewaruth Chitisankul and Nednapis Watanasuchat

Institute of Food Research and Product Development, Kasetsart University,

Ladyao, Chatuchak, Bangkok 10900

บทคัดย่อ

การเพาะงอกเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นระหว่างการเจริญเติบโตของเมล็ดพืช กระบวนการนี้ส่งผลต่อสารอาหารในเมล็ดเปลี่ยนไป เพื่อใช้สร้างเซลล์ใหม่ในขณะที่เมล็ดกำลังเจริญเติบโต ถั่วเหลืองเป็นแหล่งของสารอาหารที่ดีแต่การดูดซึมไปใช้มีข้อจำกัดเนื่องจากมีสารยับยั้งการทำงานของทริปซินและสารไฟเตท วัตถุประสงค์ของการศึกษาครั้งนี้เพื่อศึกษาผลของการเพาะงอกถั่วเหลืองที่เวลาต่างกัน (0, 8, 16 และ 24 ชั่วโมง) ต่อการเปลี่ยนแปลงของสารอาหารและชีวประสิทธิผลของสารอาหารที่สามารถดูดซึมได้โดยการจำลองสภาวะการย่อยในหลอดทดลอง รวมทั้งศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสารอาหารในผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลืองเพาะงอก ผลการศึกษาพบว่า การเพาะงอกไม่มีผลต่อปริมาณคาร์โบไฮเดรตและโปรตีน ในขณะที่ปริมาณเถ้าหรือแร่ธาตุรวม ไขมัน และสารไฟเตทลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ค่าความสามารถในการย่อยโปรตีนหรือปริมาณโปรตีนที่ย่อยได้ของถั่วเหลืองเพาะงอกเปรียบเทียบกับปริมาณโปรตีนทั้งหมดไม่เปลี่ยนแปลง คิดเป็นร้อยละ 62-68 ส่วนปริมาณธาตุเหล็กที่ย่อยได้ในถั่วเหลืองเพาะงอก 24 ชั่วโมง มีมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับถั่วเหลืองที่ไม่เพาะงอก ส่งผลให้ความสามารถในการดูดซึมเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 7 เป็น 17 และเมื่อนำถั่วเหลืองเพาะงอกมาทำอาหารสามารถลดปริมาณสารไฟเตทได้อีกร้อยละ 28 แต่ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนที่ย่อยได้ดีขึ้น (ร้อยละ 46-48 ในถั่วเหลืองอบแห้งและร้อยละ 64-69 ในผลิตภัณฑ์นมถั่วเหลือง)

คำสำคัญ : ถั่วเหลือง; การเพาะงอก; การย่อยโปรตีน; ความสามารถดูดซึมในหลอดทดลอง; สารไฟเตท

Abstract

Germination is a process that occurs during the growth period of seeds. The process changes a nutritional composition for synthesis of new cell, while the seed growth. Soybeans are

*ผู้รับผิดชอบบทความ : ifrspta@ku.ac.th

a good source of nutrients. However, the utilities of soybeans are limited because of the anti-nutritional factors such as trypsin inhibitor and phytate. The objective of this study was to evaluate the effect of germination on the nutritional composition and *in vitro* bioaccessibility of soybeans at different times (for 0, 8, 16 and 24 hours). The effects of processing on the germinated soybean were also determined. The results showed that the germination of soybeans had no significant effect upon total carbohydrates and protein. The mineral contents by means of ash contents, total fat, and phytate content were significantly decreased. The proportion of protein digestion shows no difference by 62-68 percent of the total protein. The amount of dialyzable iron after germination for 24 hours was increased, resulting in the bioaccessibility of iron increasing from 7 to 17 percent. The germination of the soybean before cooking can further reduce the amount of phytate by 28 percent, while the ability to digest protein was not changed (46-48 percent in soy milk and 64-69 percent in drying soybeans).

Keywords: soybeans; germination; protein digestibility; *in vitro* bioaccessibility; phytate

1. บทนำ

ถั่วเหลืองเป็นถั่วเมล็ดแห้งชนิดหนึ่งที่นิยมนำมาแปรรูปเป็นอาหาร จากข้อมูลการบริโภคอาหารของคนไทยพบว่าคนไทยบริโภคผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลือง ได้แก่ เต้าหู้หลอด เต้าหู้เหลือง และน้ำเต้าหู้เป็นประจำ โดยปริมาณการบริโภคของคนไทยที่บริโภค เต้าหู้หลอด/ไขไก่ หรือเต้าหู้เหลือง/ขาว อยู่ที่ 70-135 กรัมต่อคนต่อวัน และบริโภคน้ำนมถั่วเหลืองปริมาณ 300 มิลลิลิตรต่อคนต่อวัน [1] เนื่องจากถั่วเหลืองมีสารอาหารประเภทโปรตีนเป็นองค์ประกอบสูงถึงร้อยละ 35-40 ซึ่งเป็นโปรตีนจากพืชที่มีกรดอะมิโนจำเป็นครบถ้วน จึงนิยมนำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำคัญในการประกอบอาหารที่ทดแทนเนื้อสัตว์ได้ โดยเฉพาะอาหารสำหรับกลุ่มผู้สูงอายุและผู้รักสุขภาพ ถั่วเหลืองยังมีไขมันเป็นองค์ประกอบถึงร้อยละ 20 ซึ่งเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่จำเป็นต่อร่างกายทั้งกรดไขมันไลโนเลนิก และลิโนเลอิกที่เหมาะสม และไม่มีโคเลสเตอรอล มีวิตามินและแร่ธาตุที่สำคัญสูง ได้แก่ วิตามินบี แคลเซียม และธาตุเหล็ก [2] อย่างไรก็ตาม สาร

ประกอบบางชนิดในเมล็ดถั่วส่งผลให้การดูดซึมสารอาหารไม่สามารถนำไปใช้ได้เต็มที่ [3,4]

การเตรียมวัตถุดิบและการปรุงประกอบอาหารนั้น มีผลต่อปริมาณสารอาหารที่มีอยู่ในเมล็ดพืชทั้งเพิ่มหรือลดปริมาณ ตลอดจนเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซึมนำไปใช้ได้ เช่น สารอาหารบางชนิดอาจถูกชะล้างไปกับน้ำในระหว่างการล้างหรือถูกทำลายไปในระหว่างการปรุงประกอบอาหาร รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจากกระบวนการทางชีวภาพ ได้แก่ กระบวนการหมักหรือการเพาะงอกที่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีในเมล็ดพืชได้เช่นกัน โดยกระบวนการดังกล่าวจะกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ในเมล็ดพืช เช่น อะไมเลส กลูโคซิเดส โปรติเอส และไฟเตส [5,6] การเพาะงอกเป็นกระบวนการหนึ่งที่นิยมนำมาใช้ในอาหารประเภทถั่วเมล็ดแห้งและธัญพืชเพื่อเพิ่มความหลากหลายและปรับปรุงคุณภาพของอาหาร เช่น สี กลิ่น รสชาติ นอกจากนี้ยังสามารถปรับปรุงคุณภาพของสารอาหารที่มีอยู่เพื่อช่วยให้ร่างกายสามารถดูดซึมได้มากขึ้น (ชีวประสิทธิผลหรือ bioaccessibility)

เนื่องจากระหว่างกระบวนการงอกของเมล็ดพืชจะมีการสังเคราะห์สารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโต และเกิดการย่อยสลายสารอาหารที่เก็บสะสมไว้ มีการศึกษาจำนวนมากของธัญพืชและถั่วเมล็ดแห้งหลายชนิดที่ผ่านกระบวนการเพาะงอกนั้น ส่งผลให้คุณค่าทางโภชนาการเพิ่มขึ้น [7,8] และมีรายงานว่า การเพาะงอกถั่วเหลืองส่งผลดีต่อสารอาหารที่มีอยู่ในเมล็ด ได้แก่ ปริมาณและคุณภาพของโปรตีน คาร์โบไฮเดรต ปริมาณไขมันและกรดไขมันชนิดต่าง ๆ วิตามิน และแร่ธาตุ ได้แก่ วิตามินบี 1 วิตามินบี 2 โนอะซิน เป็นต้น และลดการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ทริปซินและสารไฟเตทซึ่งเป็นสารต้านการดูดซึมสารอาหาร โดยเฉพาะแร่ธาตุ และลดชนิดของน้ำตาลที่ทำให้เกิดอาการไม่สบายท้อง ได้แก่ ราฟฟิโนสและสตาร์ชิโอส เป็นต้น [9,10] ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการงอกของเมล็ดถั่วเหลืองต่อปริมาณสารอาหารที่มีอยู่ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน กากใย และธาตุเหล็ก รวมทั้งศึกษาค่าชีวประสิทธิผลของสารอาหารที่สามารถดูดซึมได้โดยการจำลองสภาวะการย่อยในหลอดทดลอง ได้แก่ การประเมินความสามารถในการย่อยโปรตีน และความสามารถในการย่อยและดูดซึมธาตุเหล็กได้ในถั่วเหลืองเพาะงอกที่ใช้เวลาต่าง ๆ กัน รวมทั้งศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสารอาหารในผลิตภัณฑ์น้ำมันถั่วเหลืองและถั่วเหลืองอบแห้งที่ทำจากถั่วเหลืองเพาะงอก

2. วิธีวิจัย

2.1 การเตรียมตัวอย่าง

นำเมล็ดถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 (ที่ปลูกในช่วงเดือนเมษายน พ.ศ. 2556) มาแช่น้ำนาน 8 ชั่วโมง ล้างทำความสะอาดก่อนนำมาเพาะบนตะแกรงคลุมด้วยผ้าขาวบางชุบน้ำให้ชุ่ม ในภาชนะปิด วางไว้ที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 3 องศาเซลเซียส) ตามเวลาที่

กำหนด ได้แก่ 8, 16 และ 24 ชั่วโมง (ตัวอย่างควบคุม = 0 ชั่วโมง) รวม 4 ตัวอย่าง นำแต่ละตัวอย่างมาปั่นจนเป็นเนื้อเดียวกัน เก็บไว้ที่อุณหภูมิ -20°C จนกว่าจะนำไปวิเคราะห์ ทำการทดลองเพาะงอกซ้ำอีก 2 ครั้ง รวมตัวอย่างเป็น 3 ซ้ำของการทดลอง ($n=3$)

2.2 การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ

2.2.1 การวิเคราะห์หาปริมาณสารอาหารหลัก (proximate analysis) [11]

(1) ความชื้น (AOAC method 925.23 และ 990.19, 2000) โดยอบตัวอย่างในตู้อบลมร้อน (hot air oven) อุณหภูมิ 100 ± 5 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ แล้วทำการชั่งน้ำหนัก คำนวณปริมาณความชื้นจากน้ำหนักของตัวอย่างที่หายไป

(2) เถ้า วิเคราะห์โดยวิธี direct method (AOAC method 923.03, 2000) โดยนำตัวอย่างไปทำแห้ง และเผาบนเครื่องให้ความร้อน (hot plate) จนหมดควัน นำไปเผาต่อในเตาเผาความร้อนสูง (muffle furnace) อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส จนกระทั่งตัวอย่างเป็นสีขาว แล้วจึงทำการชั่งน้ำหนัก คำนวณปริมาณเถ้าที่เหลือ

(3) โปรตีน วิเคราะห์โดยวิธีเจลดาร์ล (kjeldahl method) (AOAC method 991.20, 2000) โดยนำตัวอย่างมาย่อยด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้นที่อุณหภูมิสูง 420 องศาเซลเซียส เพื่อให้ไนโตรเจนในตัวอย่างเปลี่ยนมาอยู่ในรูปแก๊สแอมโมเนียโดยใช้สารละลายต่างเข้มข้นเป็นตัวทำปฏิกิริยา แล้วจับด้วยสารละลายกรดบอริก นำไปไตเตรทกับกรดโดยมีอินดิเคเตอร์เป็นตัวแสดงปริมาณไนโตรเจนที่มีอยู่ในตัวอย่าง แล้วจึงนำไปคำนวณหาปริมาณโปรตีน โดยการนำค่าไนโตรเจนคูณด้วย conversion factor ในที่นี้ใช้ค่า 5.7

(4) ไขมัน วิเคราะห์โดยวิธี acid hydrolysis (AOAC method 922.06, 2000) โดยนำ

ตัวอย่างมาสกัดไขมันออกด้วยตัวทำละลายอีเทอร์และปิโตรเลียมอีเทอร์ แล้วจึงนำมาระเหยออก ส่วนที่เหลืออยู่คือปริมาณไขมัน

(5) กากใย (AOAC method 962.09, 2000) โดยนำตัวอย่างมาย่อยสลายไขมัน คาร์โบไฮเดรตและโปรตีนออกด้วย 1.25 เปอร์เซ็นต์ของกรดซัลฟิวริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์ กรองตัวอย่างด้วยกระดาษกรอง นำไปอบแห้ง น้ำหนักที่เหลืออยู่คือปริมาณกากใยหรือเส้นใยหยาบ

(6) คาร์โบไฮเดรต ใช้วิธีการคำนวณปริมาณคาร์โบไฮเดรตจากสูตร คาร์โบไฮเดรต (กรัม) = $100 - [\text{โปรตีน (กรัม)} + \text{ไขมัน (กรัม)} + \text{ความชื้น (กรัม)} + \text{เถ้า (กรัม)}]$

2.2.2 การวิเคราะห์ปริมาณธาตุเหล็ก (total iron) โดยวิธี atomic absorption spectrometry (AAS) (AOAC method 985.35, 2000) ทำโดยการนำเอามาละลายด้วยกรดไนตริกและปรับปริมาตรที่เหมาะสม นำสารละลายตัวอย่างที่ได้วัดค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้เครื่อง AAS เปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐานของธาตุเหล็กที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ แล้วคำนวณเป็นปริมาณแร่ธาตุ

2.2.3 การวัดปริมาณสารไฟเตท ดัดแปลงตามวิธีของ Haug และ Lantzsch [12,13] โดยนำตัวอย่างมาย่อยด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 45 นาที นำเฉพาะส่วนใสมาทำปฏิกิริยากับสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ (FeCl_3) ก่อนนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับสารมาตรฐานที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ

2.2.4 การวัดปฏิกิริยาการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ทริปซิน (trypsin inhibitor activity) ตามวิธีมาตรฐาน AACC Method 22-40.01 [14] โดยปฏิกิริยาจะถูกวัดได้โดยการนำตัวอย่างมาบ่มกับสารที่

มีความจำเพาะ (benzoyl-DL arginine-p-nitroanilide, BAPA) และเอนไซม์ทริปซิน ปฏิกิริยาระหว่างทริปซินกับสารจำเพาะจะถูกวัดได้จากการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร ปฏิกิริยาการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ทริปซินที่มีอยู่ในตัวอย่าง จะส่งผลให้ค่าการดูดกลืนแสงลดลง

2.3 การประเมินความสามารถในการย่อยและการดูดซึมได้ของสารอาหาร

2.3.1 การประเมินความสามารถในการย่อยของโปรตีน (*in vitro* protein digestion, IVPD) ตามวิธีของ Fageer และคณะ [15] โดยนำตัวอย่างมาย่อยด้วยเอนไซม์เปปซิน (pepsin) ปรับสภาวะการย่อยด้วยกรดไฮโดรคลอริก (pH=2) ควบคุมอุณหภูมิตัวอย่างในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 37 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง หยุดปฏิกิริยากับ 10 % TCA (trichloroacetic acid) นำส่วนใสที่ได้มากรองและวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนโดยวิธีเจลดาร์ล แล้วคำนวณด้วยสูตร $\% \text{ IVPD} = (\text{ปริมาณโปรตีนย่อยได้} \div \text{ปริมาณโปรตีนทั้งหมด}) \times 100$

2.3.2 การทดสอบความสามารถในการดูดซึมธาตุเหล็กได้ (*in vitro* bioaccessibility หรือ % dialysed) โดยการจำลองระบบการย่อยอาหารในหลอดทดลอง (*in vitro* simulated gastrointestinal digestion method) ซึ่งดัดแปลงจากวิธีของ Miller และคณะ [16] เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณธาตุเหล็กในสารละลายที่ได้ (dialysed Fe) เปรียบเทียบกับปริมาณธาตุเหล็กที่มีอยู่ในตัวอย่างแสดงค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ โดยนำตัวอย่างมาย่อยด้วยเอนไซม์เปปซิน ปรับสภาวะเพื่อการย่อยด้วยกรดไฮโดรคลอริก (pH=2) ควบคุมอุณหภูมิตัวอย่างในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (shaking water bath) ที่ อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง นำตัวอย่างที่ผ่านการย่อยขั้นตอนแรกบรรจุลงในถุง dialysis และย่อยต่อด้วยเอนไซม์แพน-

ครีเอติน (pancreatin) ผสมกับน้ำดี (bile extract porcine) ปรับสภาวะการย่อยด้วยสารละลาย โซเดียมโบคาร์บอเนต (pH=7) ควบคุมอุณหภูมิ ตัวอย่างในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (shaking water bath) ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ต่อเนื่องอีก 2 ชั่วโมง เก็บสารละลายที่ซึมผ่านถุงได้เพื่อนำไป วิเคราะห์หาธาตุหลักในสารละลายด้วยเครื่อง AAS แล้วคำนวณด้วยสูตร % Dialysed = (ปริมาณเหล็กที่ ซึมผ่านถุงได้ ÷ ปริมาณเหล็กทั้งหมดในตัวอย่าง) × 100

2.4 การแปรรูปถั่วเหลืองเพาะงอกเป็นผลิตภัณฑ์

นำถั่วเหลืองที่ใช้เวลาในการเพาะงอก 24 ชั่วโมง มาเป็นตัวแทนในการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ 2 ชนิด ได้แก่ น้ามนถั่วเหลืองเพาะงอก และถั่วเหลืองเพาะงอกอบแห้ง โดยมีวิธีการเตรียมดังนี้

2.4.1 น้ามนถั่วเหลือง ได้จากการนำถั่วเหลืองที่แช่น้ำจนนิ่ม (สูตรปกติ) และถั่วเหลืองเพาะงอก (สูตรเพาะงอก) มาปั่นกับน้ำสะอาด (สัดส่วนน้ำต่อถั่วเหลือง เท่ากับ 1:6) กรองกากออก แล้วจึงนำ น้ามนถั่วเหลืองที่ได้มาต้มจนเดือด หรือไฟลง จับเวลา 5 นาที

2.4.2 ถั่วเหลืองอบแห้ง ได้จากการนำถั่วเหลืองที่แช่น้ำจนนิ่ม (สูตรปกติ) และถั่วเหลืองเพาะงอก (สูตรเพาะงอก) มาอบในตู้อบลมร้อน โดยใช้ความร้อน 60 องศาเซลเซียส นาน 5 ชั่วโมง หลังจากเตรียมตัวอย่างผลิตภัณฑ์ได้ นำตัวอย่างแต่ละสูตรมาปั่นจนเป็นเนื้อเดียวกัน เก็บในภาชนะที่แห้งและสะอาด เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบและคุณภาพของสารอาหาร

2.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ

ผลวิเคราะห์ปริมาณสารอาหารในตัวอย่างถั่วเหลืองที่ใช้เวลาในการเพาะงอกที่แตกต่างกันและ

ผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลือง แสดงข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean±SD) ประเมินความแตกต่างของแต่ละชนิดของสารอาหารและสารต้านการดูดซึมสารอาหารในแต่ละเวลาที่ใช้ในการเพาะงอกด้วยสถิติ one-way ANOVA และ Duncan's multiple range test โดยใช้โปรแกรม IBM SPSS Statistics for Windows version 21 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์

องค์ประกอบทางอาหารของถั่วเหลืองดิบ (พันธุ์เชียงใหม่ 60) ต่อน้ำหนัก 100 กรัม ประกอบด้วย โปรตีน 35 กรัม คาร์โบไฮเดรต 28 กรัม และไขมัน 18 กรัม โดยพบธาตุเหล็กสูงถึง 7.5 มิลลิกรัม (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางอาหารของถั่วเหลืองดิบ

สารอาหาร (ต่อ 100 กรัม)	ปริมาณ
ความชื้น (กรัม)	10.9
เถ้า (กรัม)	7.6
ไขมัน (กรัม)	18.0
กากใย (กรัม)	12.3
คาร์โบไฮเดรต ¹ (กรัม)	28.0
โปรตีน (กรัม)	34.7
ธาตุเหล็ก (มิลลิกรัม)	7.5
การยับยั้งทริปซินหรือ trypsin inhibitor activity (TIU/mg sample)	27.9
สารไฟเตท (กรัม)	1.4

ค่าที่แสดงทั้งหมดได้มาจากค่าเฉลี่ยของการวิเคราะห์ 2 ซ้ำ (n=1) ต่อน้ำหนักสด (fresh weigh, FW) 100 กรัม; ¹ค่าที่แสดงมาจากการคำนวณตามสูตร คาร์โบไฮเดรต (กรัม) = 100 - [โปรตีน (กรัม) + ไขมัน (กรัม) + ความชื้น (กรัม) + เถ้า (กรัม)]

คุณค่าทางอาหารของถั่วเหลืองเพาะงอกที่เวลาต่างกันเปรียบเทียบกับผลวิเคราะห์ต่อน้ำหนักแห้ง 100 กรัม (dry matter; DM) แสดงในตารางที่ 2 พบการเพาะงอกถั่วเหลืองที่เวลาต่างกัน (0, 8, 16 และ 24 ชั่วโมง) มีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ใช้ในการเพาะงอก ร้อยละ 60.9-64.3 โดยตัวอย่างที่เพาะงอกนาน 24 ชั่วโมงมีความชื้นเพิ่มขึ้นร้อยละ 5 ของปริมาณความชื้นเริ่มต้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่ปริมาณของคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือมีคาร์โบไฮเดรตอยู่ในช่วง 33.9-35.8 กรัม และมีโปรตีน 41.0-41.8 กรัม ส่วนตัวอย่างที่ใช้เวลาในการเพาะงอก 24 ชั่วโมง พบปริมาณไขมันลดลงร้อยละ 17 และมีกากใยเพิ่มขึ้นกว่าร้อยละ 50 โดยปริมาณไขมันอยู่ในช่วง 17.4-21.0 กรัม และปริมาณกากใย 9.1-14.1 กรัม ส่วนปริมาณเถ้าหรือปริมาณธาตุอาหารรวม พบ 4.9-5.5 กรัม ซึ่งพบน้อยที่สุดในตัวอย่างที่เพาะงอกนาน 16 ชั่วโมง (ลดลงร้อยละ 10)

กระบวนการเพาะงอกจะเกิดจากเมล็ดพืชได้รับ

ปัจจัยที่จำเป็นต่อการงอกอย่างเหมาะสม ได้แก่ น้ำ ออกซิเจน และอุณหภูมิ ซึ่งต้องการแตกต่างกันไป สำหรับถั่วเหลืองไม่ต้องการน้ำมาก และไม่ต้องการแสง อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 20-35 องศาเซลเซียส เมื่อเมล็ดถั่วเหลืองได้รับน้ำเข้าไปจะทำให้เปลือกเมล็ดอ่อนนุ่ม ส่งผลให้เกิดกระบวนการสังเคราะห์ต่าง ๆ ภายในเซลล์ และเกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีในระหว่างการงอก เช่น การสังเคราะห์สารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโต เกิดการย่อยสลายสารอาหารที่สะสมในเมล็ดพืช ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน โดยเอนไซม์ที่สร้างขึ้นมา เช่น อะไมเลส (amylase) ย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตให้อยู่ในรูปน้ำตาลที่ละลายได้ โปรติเอส (protease) ย่อยสลายโปรตีนเป็นกรดอะมิโน เพื่อใช้สร้างโปรตีนใหม่ ไลเปส (lipase) ย่อยสลายไขมันได้กรดไขมันและกลีเซอรอล เพื่อใช้สร้างต้นอ่อน [6,17] ในการศึกษาครั้งนี้ พบเพียงไขมันเท่านั้นที่ลดลงเมื่อระยะเวลาในการเพาะงอกมากขึ้น (ที่ 24 ชั่วโมง) โดยปริมาณคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 2 สารอาหารหลักของถั่วเหลืองเพาะงอกที่เวลาต่างกัน

สารอาหาร (ต่อ 100 กรัม)	ระยะเวลาเพาะงอก			
	0 ชั่วโมง	8 ชั่วโมง	16 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง
ความชื้น (กรัม)	60.89±0.65 ^a	62.02±1.73 ^a	62.18±1.21 ^a	64.29±0.93 ^b
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	33.87±1.74 ^a	34.22±1.29 ^a	34.33±1.10 ^a	35.83±0.55 ^a
โปรตีน (กรัม)	41.01±0.92 ^a	40.92±1.15 ^a	41.46±0.55 ^a	41.75±1.03 ^a
ไขมัน (กรัม)	20.96±0.45 ^b	19.88±0.82 ^b	20.05±0.28 ^b	17.36±1.26 ^a
กากใย (กรัม)	9.09±0.49 ^a	9.77±0.86 ^a	11.07±2.06 ^a	14.05±1.16 ^b
เถ้า (กรัม)	5.52±0.25 ^b	5.36±0.32 ^b	4.87±0.06 ^a	5.23±0.45 ^{ab}

ค่าที่แสดงทั้งหมดได้มาจากค่าเฉลี่ยของการวิเคราะห์ จำนวน 3 ซ้ำของการทดลอง (n=3) ต่อตัวอย่างแห้ง (dry matter, DM) 100 กรัม; ตัวอักษรที่แตกต่างกันของแต่ละเวลาของสารอาหารชนิดเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

การศึกษาจำนวนมากพบการเพาะงอกส่งผลให้ปริมาณเถ้าและไขมันลดลง รวมทั้งปริมาณกากใยเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน จากการศึกษาของอิงฟ้า และคณะ [18] แสดงการเพาะงอกถั่วเหลืองด้วยวิธีการแช่น้ำนาน 6 ชั่วโมง ทำให้ปริมาณไขมันลดลงร้อยละ 12.5 (จากร้อยละ 3.2 เป็น 2.8) และกากใยเพิ่มขึ้นร้อยละ 6 (จากร้อยละ 76.78 เป็น 81.43) นอกจากนี้ยังพบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณโปรตีนและคาร์โบไฮเดรต คือ โปรตีนลดลงร้อยละ 4 และคาร์โบไฮเดรตเพิ่มขึ้นร้อยละ 40 ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับถั่วเขียวและถั่วแดงเพาะงอก ในขณะที่ถั่วเหลืองเพาะงอก (ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส) นาน 40 และ 60 ชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างแช่น้ำ 6 ชั่วโมง พบเถ้าลดลงร้อยละ 20-35 กากใยเพิ่มขึ้น ร้อยละ 22-28 และไขมันลดลงร้อยละ 8-15 เช่นกัน โปรตีนและคาร์โบไฮเดรตเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ประมาณร้อยละ 3 [19] ถั่วเหลืองเพาะงอก (ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส) นาน 48 ชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ผ่านการเพาะงอก พบไขมันลดลงกว่าร้อยละ 70 และใยอาหารเพิ่มขึ้นร้อยละ 25 เช่นกัน ส่วนคาร์โบไฮเดรต เถ้า และโปรตีน

ลดลงร้อยละ 40-55 ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับอาหารชนิดเดียวกัน คือ ถั่วเขียว ถั่วแดง และถั่วลิสง [20] บางรายงานพบถั่วเหลืองเพาะงอกนาน 2 วัน มีโปรตีนเพิ่มขึ้นร้อยละ 6 แป้งลดลงร้อยละ 26 และปริมาณเหล็กลดลงเกือบร้อยละ 50 เมื่อเพาะงอกนานกว่า 3 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างแช่น้ำ 12 ชั่วโมง [10]

ค่าการยับยั้งการทำงานของทริปซิน (trypsin activity) เกี่ยวข้องกับการต้านการย่อยของโปรตีนในถั่วเหลือง (ตารางที่ 3) พบว่าการเพาะงอกนาน 24 ชั่วโมง ไม่มีผลต่อค่าการยับยั้งการทำงานของทริปซินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (43.0-46.1 TIU/mg sample) อย่างไรก็ตาม ในการศึกษาจำนวนมากพบการเพาะงอกสามารถลดค่าการยับยั้งการทำงานของทริปซินได้สูงถึงร้อยละ 32 ในถั่วเหลืองเพาะงอกนาน 6 วัน [9] เช่นเดียวกับในตัวอย่างถั่วเขียวเพาะงอก 3 วัน พบค่าการยับยั้งการทำงานของทริปซินลดลงจากตัวอย่างแช่น้ำปกติ 12 ชั่วโมง ร้อยละ 7.5 [21] แต่บางรายงานก็ไม่พบการเปลี่ยนแปลงเช่นกัน [22]

ตารางที่ 3 ค่าการยับยั้งการทำงานของทริปซินและความสามารถในการย่อยโปรตีนของถั่วเหลืองเพาะงอกที่เวลาต่างกัน

สารอาหาร (ต่อ 100 กรัม)	ระยะเวลาเพาะงอก			
	0 ชั่วโมง	8 ชั่วโมง	16 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง
Trypsin inhibitor activity (TIU/mg sample)	46.10±3.00 ^a	42.98±4.45 ^a	44.30±2.74 ^a	43.39±5.96 ^a
ปริมาณโปรตีนทั้งหมด (กรัม)	41.01±0.92 ^a	40.92±1.15 ^a	41.46±0.55 ^a	41.75±1.03 ^a
ปริมาณโปรตีนที่ย่อยได้ (กรัม)	27.82±2.61 ^a	27.92±2.60 ^a	25.67±1.60 ^a	28.31±1.09 ^a
% protein digestibility (หรือ IVPD)	68±8 ^a	68±6 ^a	62±4 ^a	67±1 ^a

ค่าที่แสดงทั้งหมดได้มาจากค่าเฉลี่ยของการวิเคราะห์ จำนวน 3 ซ้ำของการทดลอง (n=3) ต่อตัวอย่างแห้ง (dry matter; DM) 100 กรัม; ตัวอักษรที่แตกต่างกันของแต่ละเวลาของสารอาหารชนิดเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %; TIU = trypsin inhibitor units; IVPD = *in vitro* protein digestion

ตารางที่ 3 แสดงการเพาะงอกถั่วเหลืองไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทั้งปริมาณและคุณภาพของโปรตีน โดยพบปริมาณโปรตีนที่ถูกย่อยได้อยู่ในช่วง 25.7-28.3 กรัม คิดเป็นค่าความสามารถในการย่อยโปรตีน ร้อยละ 62-68 เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณโปรตีนทั้งหมดในแต่ละเวลา ซึ่งสอดคล้องกับค่าการยับยั้งการทำงานของ ทริปซิน (trypsin activity) ที่ไม่เปลี่ยนแปลง ($43.0-46.1$ TIU/mg sample) อย่างไรก็ตาม มีรายงานพบการเพาะงอกถั่ว 24 ชั่วโมง ในอาหารชนิดเดียวกัน ได้แก่ ถั่วเมล็ดแห้งชนิดต่าง ๆ (green gram, cowpea, lentil และ chickpea) ช่วยให้ความสามารถในการย่อยโปรตีนเพิ่มขึ้น (จากร้อยละ 61 เป็น 73, 64 เป็น 73, 66 เป็น 75, 64 เป็น 73 ตามลำดับ) [23] เช่นเดียวกับการเพาะงอกถั่วเขียว (12-20 ชั่วโมง) และถั่ว cowpea (16-24 ชั่วโมง) สามารถเพิ่มความสามารถในการย่อยโปรตีนได้ร้อยละ 11-20 และร้อยละ 0-10 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่แช่น้ำ 8-10 ชั่วโมง [24] แต่บางรายงานก็พบการเปลี่ยนแปลงในอาหารชนิดเดียวกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น คือ ความสามารถในการย่อยโปรตีนของ

ถั่วเขียวเพาะงอก 3 วัน เปลี่ยนแปลงดีขึ้นจากร้อยละ 87.4 เป็น 89.1 [21]

ปริมาณไฟเตตซึ่งเกี่ยวข้องกับการด้านการดูดซึมแร่ธาตุในอาหาร จากผลการวิเคราะห์พบการเพาะงอกถั่วเหลืองนาน 16 และ 24 ชั่วโมง ทำให้ปริมาณสารไฟเตตลดลงประมาณร้อยละ 30 (จาก 1.78 เป็น 1.17 กรัมต่อน้ำหนักแห้ง 100 กรัม) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4) ซึ่งสอดคล้องกับหลายการศึกษาที่แสดงให้เห็นว่าการเพาะงอกถั่วเหลืองช่วยลดปริมาณสารไฟเตต ได้ร้อยละ 8-50 [9,18,19,25] เช่นเดียวกับถั่วชนิดอื่น ได้แก่ green gram, cowpea, lentil, chickpea และถั่วเขียว โดยพบว่า การเพาะงอก (24-72 ชั่วโมง) ช่วยลดปริมาณไฟเตตลงร้อยละ 5-20 [21,23, 26] สูงสุดร้อยละ 50 ในถั่วเขียวเพาะงอกที่ใช้เวลาเพาะมากขึ้น [7] ซึ่งหากพิจารณาพร้อมกับค่าการทำงานของเอนไซม์ไฟเตสในถั่วเหลืองเพาะงอกที่สารไฟเตต ลดลงร้อยละ 25 ให้ผลสอดคล้องกับค่าการทำงานของเอนไซม์ไฟเตสที่เพิ่มขึ้นมากกว่า 2 เท่า เมื่อเพาะงอกนาน 48 และ 72 ชั่วโมง [27]

ตารางที่ 4 ปริมาณไฟเตตและความสามารถในการย่อยและดูดซึมธาตุเหล็กของถั่วเหลืองเพาะงอกที่เวลาต่างกัน

สารอาหาร (ต่อ 100 กรัม)	ระยะเวลาเพาะงอก			
	0 ชั่วโมง	8 ชั่วโมง	16 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง
ไฟเตต (กรัม)	1.78 ± 0.16^b	1.58 ± 0.12^b	1.17 ± 0.09^a	1.19 ± 0.01^a
ปริมาณเหล็กทั้งหมด (มิลลิกรัม)	8.14 ± 0.74^a	8.03 ± 0.66^a	8.50 ± 0.32^a	8.76 ± 0.86^a
ปริมาณเหล็กที่ย่อยได้ (มิลลิกรัม)	0.57 ± 0.3^a	0.54 ± 0.14^a	0.65 ± 0.02^a	1.51 ± 0.11^b
% dialysed iron (หรือ bioaccessibility of iron)	7 ± 4^a	7 ± 3^a	8 ± 0^a	17 ± 1^b

ค่าที่แสดงทั้งหมดได้มาจากค่าเฉลี่ยของการวิเคราะห์ จำนวน 3 ซ้ำของการทดลอง ($n=3$) ต่อตัวอย่างแห้ง (dry matter; DM) 100 กรัม; ตัวอักษรที่แตกต่างกันของแต่ละเวลาของสารอาหารชนิดเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ผลการวิเคราะห์พบปริมาณธาตุเหล็กในถั่วเหลืองมีสูงถึง 8.03-8.76 มิลลิกรัมต่ออาหารแห้ง 100 กรัม ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณธาตุเหล็กในถั่วอีกหลายชนิดที่พบอยู่ในช่วง 3.8-16.5 กรัมต่ออาหารดิบ 100 กรัม [2] อย่างไรก็ตาม ความสามารถในการดูดซึมแร่ธาตุไปใช้ได้ไม่มากเมื่อเทียบกับธาตุเหล็กที่มาจากอาหารเนื้อสัตว์ที่สามารถดูดซึมธาตุเหล็กได้ร้อยละ 10-35 ในขณะที่ความสามารถในการดูดซึมธาตุเหล็กจากอาหารพืช ได้แก่ ข้าวและธัญพืช พืชผัก และถั่วเหลืองได้ไม่เกินร้อยละ 10 [3,28] และในถั่วบางชนิดพบเพียงร้อยละ 0.8-1.9 [4,29]

ผลการศึกษาค่าความสามารถในการดูดซึมธาตุเหล็กในหลอดทดลอง (หรือค่าชีวประสิทธิผลของสารอาหารที่สามารถดูดซึมได้) (ตารางที่ 4) พบปริมาณเหล็กที่ย่อยได้อยู่ในช่วง 0.54-1.51 มิลลิกรัม คิดเป็นร้อยละ 7-17 ของปริมาณเหล็กทั้งหมด โดยระยะเวลาของการเพาะงอกที่ต่างกันจะไม่มีผลต่อปริมาณเหล็กที่มีอยู่ในตัวอย่าง แต่พบค่าความสามารถในการย่อยและดูดซึมธาตุเหล็กได้ดีขึ้น เมื่อใช้เวลาในการเพาะงอกถั่วเหลืองนาน 24 ชั่วโมง ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับหลายการศึกษาในถั่วเมล็ดแห้งชนิดต่าง ๆ (green gram, cowpea, lentil และ chickpea) ที่แสดงการเพาะงอกนาน 24 ชั่วโมง ช่วยเพิ่มค่าความสามารถในการดูดซึมธาตุเหล็กได้ดีขึ้น (จากร้อยละ 10.9 เป็น 18.3, 11.2 เป็น 19.7, 10.2 เป็น 18.5, 11.3 เป็น 18.6 ตามลำดับ) ถึงแม้ว่าปริมาณธาตุเหล็กจะลดลงร้อยละ 10-20 เช่นเดียวกับแร่ธาตุชนิดอื่น เช่น แคลเซียม [23] รวมทั้งการเพาะงอกถั่ว green gram และ chickpea นาน 24 และ 48 ชั่วโมง ส่งผลให้ความสามารถในการดูดซึมธาตุเหล็กในหลอดทดลองเพิ่มขึ้นสูงสุด ร้อยละ 39 [26]

ภาพรวมของคุณค่าทางโภชนาการ ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณโปรตีนและธาตุเหล็กจากการ

เพาะงอกถั่วเหลืองนาน 24 ชั่วโมง แต่ส่งผลต่อปริมาณกรดลกรดร้อยละ 10 ไขมันลดร้อยละ 17 ปริมาณสารไฟเตท ลดลงร้อยละ 30 ส่วนปริมาณกากใยเพิ่มขึ้น ซึ่งหากพิจารณาถึงความสามารถในการนำสารอาหารในถั่วเหลืองไปใช้ประโยชน์ได้นั้น พบความสามารถในการย่อยโปรตีนของถั่วเหลืองเพาะงอกไม่แตกต่างไปจากเดิม แต่การเปลี่ยนแปลงของความสามารถในการดูดซึมธาตุเหล็กดีขึ้นในตัวอย่างถั่วเหลืองที่ใช้เวลาในการเพาะงอกนาน 24 ชั่วโมง อย่างไรก็ตาม ยังมีอีกหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณและคุณภาพของสารอาหาร เช่น การแปรรูปอาหารโดยใช้ความร้อน ซึ่งมีรายงานว่าสามารถลดปริมาณไฟเตทในถั่วเมล็ดแห้งและธัญพืชได้เช่นกัน ประมาณร้อยละ 5-15 [7] และสามารถทำลายสารยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ทริปซินได้ร้อยละ 100 [21]

การแปรรูปถั่วเหลืองเพาะงอกเป็นผลิตภัณฑ์โดยนำถั่วเหลืองที่ใช้เวลาในการเพาะงอก 24 ชั่วโมง มาทดลองแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ 2 ชนิด ซึ่งมีการใช้ความร้อนและเวลาที่แตกต่างกัน ได้แก่ (1) ผลิตภัณฑ์น้ำมันถั่วเหลือง ใช้ความร้อน 100 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที และ (2) ถั่วเหลืองอบแห้ง ใช้ความร้อน 60 องศาเซลเซียส นาน 5 ชั่วโมง ปริมาณสารอาหารและสารต้านการดูดซึมสารอาหารในผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลืองเพาะงอก (สูตรเพาะงอก) เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านการเพาะงอก (สูตรปกติ) แสดงในตารางที่ 5 และ 6

ตารางที่ 5 แสดงปริมาณสารอาหารและสารต้านการดูดซึมสารอาหารต่อน้ำหนักแห้ง 100 กรัม เมื่อเปรียบ เทียบในแต่ละชนิดของผลิตภัณฑ์พบปริมาณเถ้า โปรตีน และธาตุเหล็กในผลิตภัณฑ์สูตรถั่วเหลืองเพาะงอกไม่แตกต่างจากผลิตภัณฑ์สูตรถั่วเหลืองที่ไม่เพาะงอกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ปริมาณสารไฟเตทลดร้อยละ 28 ในผลิตภัณฑ์น้ำมัน

ถั่วเหลืองสูตรเพาะงอก และลดร่องรอยละ 8 ในผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองเพาะงอกอบแห้ง ส่วนค่าการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ทริปซิน (trypsin inhibitor activity) ไม่ลดลง ซึ่งสารไฟเตทและค่าการยับยั้งการ

ทำงานของเอนไซม์ทริปซินนั้นมีอิทธิพลต่อความสามารถในการดูดซึมได้ของแร่ธาตุ และความสามารถในการย่อยโปรตีนที่มีอยู่ในถั่วเหลืองตามลำดับ

ตารางที่ 5 องค์ประกอบทางอาหารของผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองเพาะงอก

สารอาหาร (ต่ออาหาร 100 กรัม)	น้ำมันถั่วเหลือง		ถั่วเหลืองอบแห้ง	
	สูตรปกติ	สูตรเพาะงอก	สูตรปกติ	สูตรเพาะงอก
ความชื้น (กรัม)	93.04±0.02 ^c	93.74±0.01 ^d	5.04±0.03 ^b	4.39±0.22 ^a
เถ้า (กรัม)	6.57±0.14 ^b	6.69±0.10 ^b	5.15±0.02 ^a	5.29±0.10 ^a
โปรตีน (กรัม)	46.49±0.22 ^b	46.50±0.11 ^b	41.11±0.43 ^a	41.30±0.23 ^a
เหล็ก (มิลลิกรัม)	11.43±0.05 ^b	12.10±0.01 ^b	8.57±0.19 ^a	8.83±0.40 ^a
สารไฟเตท (กรัม)	0.68±0.04 ^b	0.49±0.01 ^a	1.79±0.03 ^d	1.66±0.01 ^c
Trypsin inhibitor (TIU)/ mg sample	10.78±1.02 ^a	13.58±1.13 ^a	36.70±2.61 ^b	43.61±1.18 ^c

ค่าที่แสดงทั้งหมดได้มาจากค่าเฉลี่ยของการวิเคราะห์ จำนวน 3 ซ้ำของการทดลอง (n=3) ต่อตัวอย่างแห้ง (dry matter; DM) 100 กรัม; ตัวอักษรที่แตกต่างกันของผลิตภัณฑ์และสารอาหารชนิดเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ 6 ค่าความสามารถในการย่อยโปรตีนในผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองเพาะงอก

สารอาหาร (ต่ออาหาร 100 กรัม)	น้ำมันถั่วเหลือง		ถั่วเหลืองอบแห้ง	
	สูตรปกติ	สูตรเพาะงอก	สูตรปกติ	สูตรเพาะงอก
โปรตีนทั้งหมด (กรัม)	46.49±0.22 ^b	46.50±0.11 ^b	41.11±0.43 ^a	41.30±0.23 ^a
โปรตีนที่ย่อยได้ (กรัม)	29.90±0.03 ^b	32.27±2.02 ^b	18.81±0.70 ^a	19.73±0.71 ^a
% protein digestibility	69±4 ^b	64±1 ^b	46±1 ^a	48±2 ^a

ค่าที่แสดงทั้งหมดได้มาจากค่าเฉลี่ยของการวิเคราะห์ จำนวน 3 ซ้ำของการทดลอง (n=3) ต่อตัวอย่างแห้ง (dry matter; DM) 100 กรัม; ตัวอักษรที่แตกต่างกันของผลิตภัณฑ์และสารอาหารชนิดเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ 6 เมื่อพิจารณาปริมาณโปรตีนที่ย่อยได้ของผลิตภัณฑ์สูตรเพาะงอกเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์สูตรปกติ ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อคำนวณเป็นค่าความ

สามารถในการย่อยโปรตีน (% protein digestibility หรือ IVPD) ของแต่ละผลิตภัณฑ์จึงไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน ซึ่งให้ผลที่สอดคล้องกับค่าการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ทริปซิน (ตาราง

ที่ 5) ที่ไม่แตกต่างไปจากสูตรปกติ

การศึกษาแสดงให้เห็นว่าการเพาะงอกถั่วเหลืองก่อนนำมาแปรรูปโดยผ่านความร้อน (อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที และ 60 องศาเซลเซียส นาน 5 ชั่วโมง) ไม่มีผลต่อปริมาณเถ้า โปรตีน และธาตุเหล็กในผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงไป เมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่ใช้ถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านการเพาะงอก (สูตรปกติ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ รวมทั้งไม่ได้ทำให้ความสามารถในการย่อยโปรตีนในถั่วเหลืองดีขึ้น ยกเว้นปริมาณสารไฟเตทเท่านั้นที่ลดลง ซึ่งอาจส่งผลให้ความสามารถในการดูดซึมแร่ธาตุในถั่วเหลืองดีขึ้น อย่างไรก็ตาม บางรายงานระบุว่าการใช้ความร้อนในระดับครัวเรือนไม่สามารถลดปริมาณไฟเตทได้จนสามารถปลดปล่อยแร่ธาตุหรือเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซึมได้มากขึ้น [7] ดังนั้นวิธีการและเวลาที่เหมาะสมในการเตรียมวัตถุดิบและการผลิตอาหารจึงเป็นสิ่งที่ควรให้ความสำคัญ ได้แก่ การล้างทำความสะอาด การแปรรูปวัตถุดิบ หรือการทำให้อาหารสุก ซึ่งจะส่งผลให้สารอาหารที่มีอยู่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมได้ เช่น การต้มในหม้อนึ่งภายใต้ความดัน (autoclave) นาน 1-35 นาที การต้มในไมโครเวฟ นาน 7-15 นาที รวมทั้งการต้มแบบทั่วไประหว่าง 10-90 นาที ซึ่งอาจใช้เวลานาน ค่าการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ทริปซิน (trypsin inhibitors) จึงจะสามารถลดลงได้ร้อยละ 100 และความสามารถในการย่อยโปรตีน อาจเพิ่มขึ้นร้อยละ 2-10 [21,24,30] หรือไม่เปลี่ยนแปลง หากใช้วิธีการต้มในไมโครเวฟ (7-15 นาที) [24]

4. สรุป

การเพาะงอกส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีในเมล็ดถั่ว เช่น การย่อยสลายสารอาหารที่สะสมไว้เพื่อ สังเคราะห์สารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโต ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน สำหรับ

วิธีการเพาะงอกถั่วเหลืองในการศึกษารั้งนี้ นาน 24 ชั่วโมง ไม่ทำให้องค์ประกอบทางอาหารบางชนิดเปลี่ยนแปลง ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และธาตุเหล็ก แต่ปริมาณเถ้าและไขมันลดลง รวมทั้งสารต้านการดูดซึมสารอาหาร ได้แก่ สารไฟเตทลดลงร้อยละ 30 ซึ่งส่งผลให้ค่าชีวประสิทธิผลของธาตุเหล็กสามารถดูดซึมได้ดีขึ้น แต่ค่ายับยั้งการทำงานของเอนไซม์ทริปซินไม่เปลี่ยนแปลง จึงทำให้ความสามารถในการย่อยของโปรตีนในถั่วเหลืองไม่แตกต่างจากเดิม และเมื่อนำถั่วเหลืองมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์น้ำมันถั่วเหลืองและถั่วเหลืองอบแห้ง พบว่าการแปรรูปอาหารโดยใช้ความร้อนสามารถลดสารต้านการดูดซึมสารอาหารได้เช่นกัน โดยเฉพาะสารไฟเตทในผลิตภัณฑ์น้ำมันถั่วเหลืองที่ใช้ความร้อนสูง 100 องศาเซลเซียส อีกทั้งหากนำถั่วเหลืองที่ผ่านการเพาะงอกมาแปรรูป จะสามารถลดปริมาณสารไฟเตทได้มากขึ้นอีกร้อยละ 28 เมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่มาจากถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านการเพาะงอก แต่ค่าการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ทริปซินและความสามารถในการย่อยโปรตีนยังคงไม่เปลี่ยนแปลง ดังนั้นการเพาะงอกและการแปรรูปถั่วเหลืองเป็นอาหารโดยใช้วิธีการที่ต่างกัน ย่อมส่งผลให้ปริมาณและคุณภาพของสารอาหารแตกต่างกันไป การเพาะงอกถั่วเหลืองนาน 24 ชั่วโมง เป็นเทคนิคหนึ่งสำหรับการเตรียมวัตถุดิบก่อนนำมาผลิตเป็นอาหาร สามารถลดสารต้านการดูดซึมแร่ธาตุได้ ซึ่งเหมาะสำหรับผู้บริโภคที่มีข้อจำกัดในการบริโภคอาหาร ช่วยให้ร่างกายได้รับประโยชน์จากสารอาหารในถั่วเหลืองและผลิตภัณฑ์มากยิ่งขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย

6. รายการอ้างอิง

- [1] สำนักมาตรฐานสินค้าและระบบคุณภาพ, 2549, ข้อมูลการบริโภคอาหารของประเทศไทย, สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ, 260 น.
- [2] กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, ผลไม้เปลือกแข็ง พืชเมล็ด ถั่วเมล็ดแห้ง และผลิตภัณฑ์ (pulses, nuts, seeds and products), แหล่งที่มา : <http://nutrition.anamai.moph.go.th/FoodTable/.html>, 24 มกราคม 2555.
- [3] นัยนา บุญทวีวัฒน์, 2546, ชีวเคมีทางโภชนาการ (Nutritional biochemistry), กรุงเทพฯ, 410 น.
- [4] Sandberg, A.S., 2002, Bioavailability of minerals in legumes, Br. J. Nutr. 88(3): S281-S285.
- [5] ศิริพร ต้นจ้อ, 2555, การเตรียมและการประกอบอาหารเพื่อการปรับปรุงคุณภาพของสารอาหารในถั่วเมล็ดแห้ง, ว.โภชนาการ 47(2): 29-44.
- [6] จวงจันท์ ดวงพัตรา, 2529, เทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์, ภาควิชาพืชไร่ฯ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 209 น.
- [7] Gibson, R.S., Perlas, L. and Hotz, C., 2006, Improving the bioavailability of nutrients in plant foods at the household level, Proc. Nutr. Soc. 65: 160-168.
- [8] Egunletya, M. and Aworh, O.C., 2003, Effect of soaking, dehulling, cooking and fermentation with *Rhizopus oligosporus* on the oligosaccharides, trypsin inhibitor, phytic acid and tannins of soybean (*Glycine max* Merr.), cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) and groundbean (*Macrotyloma geocarpa* Harms), J. Food Eng. 56: 249-254.
- [9] Bau, H.M., Villaume, C., Nicolas, J.P. and Mejean, L., 1997, Effect of germination on chemical composition, biochemical constituents and anti-nutritional factors of soya bean (*Glycine max*) seeds, J. Sci. Food Agric. 73: 1-9.
- [10] Kaushik, G., Satya, S. and Naik, S.N., 2010, Effect of domestic processing techniques on the nutritional quality of the soybean, Mediterr. J. Nutr. Metab. 3: 39-46.
- [11] AOAC, 2000, Official Methods of Analysis of AOAC International, 17th Ed., Maryland, USA.
- [12] Haug, W. and Lantzsch, H.J., 1983, Sensitive method for the rapid determination of phytate in cereals and cereal products, J. Sci. Food Agr. 34: 1423-1426.
- [13] Reichwald, K. and Hatzack, F., 2008, Application of a modified Haug and Lantzsch method for the rapid and accurate photometrical phytate determination in soybean, wheat, and maize meals, J. Agr. Food Chem. 56: 2888-2891.
- [14] AACC International Approved Methods, AACCI Method 22-40.01, Measurement of Trypsin Inhibitor Activity of Soy Products

- by Spectrophotometric Method, Available source: <http://methods.aaccnet.org/summaries/22-40-01.aspx>, November 2, 2015.
- [15] Fageer, A.S.M., Babiker, E.E. and Tinay, A.H.E., 2004, Effect of malt pretreatment and/or cooking on phytate and essential amino acids contents and *in vitro* protein digestibility of corn flour, Food Chem. 88: 261-265.
- [16] Miller, D., Schricker, B., Rasmussen, R. and van Campen, D., 1981, An *in vitro* method for estimation of iron availability from meals, Am. J. Clin. Nutr. 34: 2248-2256.
- [17] Abdel-Gawad, A.S., Ramadan, B.R. and Oraby, R.E.A., 2013, Legume phytases: Characteristics and changes in activity during germination, Int. J. Agric. Policy Res. 1(4): 93-102.
- [18] อิงฟ้า คำแหง, อรพิน เกิดชูชื่น และณัฏฐา เลหากุลจิตต์, 2552, การเปลี่ยนแปลงสารอาหารของข้าวและธัญพืชในระหว่างการงอก, ว.วิทย์.กษ. 40(3)(พิเศษ): 341-344.
- [19] Ramadan, E.A., 2012, Effect of processing and cooking methods on the chemical composition, sugars and phytic acid of soybeans, Food Public Health 2(1): 11-15.
- [20] Megat Rusydi, M.R., Noraliza, C.W., Azrina, A. and Zulkhairi, A., 2011, Nutritional changes in germinated legumes and rice varieties, Inter. Food Res. J. 18: 705-713.
- [21] Mubarak, A.E., 2005, Nutritional composition and anti-nutritional factors of mung bean seeds (*Phaseolus aureus*) as affected by some home traditional processes, Food Chem. 89(4): 489-495.
- [22] Urbano, G., López-Jurado, M., Frejnagel, S., Gómez-Villalva, E., Porres, J.M., Frías, J., Vidal-Valverde, C., Aranda, P., 2005, Nutritional assessment of raw and germinated pea (*Pisum sativum* L.) protein and carbohydrate by *in vitro* and *in vivo* techniques, Nutrition 21(2): 230-239.
- [23] Ghavidel, R.A., and Prakash, J., 2007, The impact of germination and dehulling on nutrients, antinutrients, *in vitro* iron and calcium bioavailability and *in vitro* starch and protein digestibility of some legume seeds, LWT 40: 1292-1299.
- [24] Uppal, V. and Bains, K., 2012, Effect of germination periods and hydrothermal treatments on *in vitro* protein and starch digestibility of germinated legumes, J. Food Sci. Technol. 49(2): 184-191.
- [25] Kyriakidis, N.B., Galiotou-Panayotou, M., Stavropoulou A. and Athanasopoulos, P., 1998, Increase in phytase activity and decrease in phytate during germination of four common legumes, Biotechnol. Lett. 20: 475-478.
- [26] Hemalatha, S., Platel, K. and Srinivasan, K., 2007, Influence of germination and fermentation on bioaccessibility of zinc and iron from food grains, Eur. J. Clin.

- Nutr. 61: 342-348.
- [27] Egli, I., Davidsson, L., Juillerat, M.A., Barclay, D., Hurrell, R., 2002, The influence of soaking and germination on the phytase activity and phytic acid content of grains and seeds potentially useful for complementary feeding, J. Food Sci. 67: 3484-3488.
- [28] Monsen, E.R., 1988, Iron nutrition and absorption: dietary factors which impact iron bioavailability, J. Am. Diet Assoc. 88: 786-90.
- [29] Lynch, S.R., Beard, J.L., Dassenko, S.A. and Cook, J.D., 1984, Iron absorption from legumes in humans, Am. J. Clin. Nutr. 40: 42-47.
- [30] Trugo, L.C., Donangelo, C.M., Trugo, N.M.F. and Bach Knudsen, K.E., 2000, Effect of heat treatment on nutritional quality of germinated legume seeds, J. Agric. Food Chem. 4: 2082-2086.