การใช้ประโยชน์จากกากถั่วเหลือง

Utilization of okara meal from soymilk production

ดร.อัญชลี อุษณาสุวรรณกุล (Dr. Aunchalee Aussanasuwannakul)
กัญญ์วรา ทองกระจ่าง (Kanwara Tongkrajang)

ฝ่ายเคมีและกายภาพอาหาร (Department of Food Chemistry and Physics)
สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร (Institute of Food Research and Product Development)
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (Kasetsart University)

จุดเด่น

- องค์ประกอบของกากถั่วเหลือง : สารอาหารและสารเชิงสุขภาพ
- ข้อจำกัดของการนำกากถั่วเหลืองไปใช้ประโยชน์
- กระบวนการแปรรูปกากถั่วเหลือง

Highlights

- Composition of okara : nutrient and health functional compounds
- Restrictions on the utilization of okara meal
- Processing of okara

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันความตระหนักถึงการดูแลสุขภาพ และการบริโภคผลิตภัณฑ์อาหารจากถั่วเหลืองมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ประกอบกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารสู่ความยั่งยืนผลักดันให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่มีถั่วเหลืองเป็นองค์ประกอบหลักเพิ่มมากขึ้นในสหรัฐอเมริกา อเมริกาใต้ และจีน ซึ่งเป็นแหล่งการผลิตที่ขนาดใหญ่ที่สุด และการผลิตที่มากขึ้นย่อมก่อให้เกิดปริมาณผลพลอยได้จากการผลิตที่เรียกว่า กากถั่วเหลือง (okara) มากขึ้น กากถั่วเหลืองเป็นผลพลอยได้ที่อุดมไปด้วยเส้นใย (ร้อยละ 50) โปรตีน (ร้อยละ 25) ไขมัน (ร้อยละ 10) วิตามิน และแร่ธาตุต่าง ๆ และมีประโยชน์ทางสุขภาพช่วยลดการเกิดโรคเบาหวาน โรคอ้วน และไขมันในเลือดสูงได้ กากถั่วเหลืองมีศักยภาพในการนำมาเป็นวัตถุดิบอาหารเพื่อให้เกิดประโยชน์ทางเศรษฐกิจ และลดมลพิษทางสิ่งแวดล้อม กระบวนการบำบัดโดยการใช้เอนไซม์ การหมัก การทำแห้ง การกำจัดไขมัน ช่วยปรับปรุงคุณสมบัติ และคุณค่าทางโภชนาการของกากถั่วเหลือง กำจัดคุณสมบัติที่ไม่พึงประสงค์เช่น กลิ่น ความชื้น และสารต้านโภชนาการ นอกจากนี้การหมักสามารถทำให้ปริมาณเส้นใยที่ละลายได้เพิ่มมากขึ้น

คำสำคัญ : กากถั่วเหลือง คุณค่าทางโภชนาการ การแปรรูป การนำไปใช้ประโยชน์

Keywords : okara, nutritional value, processing, utilization

บทนำ

การผลิตอาหารที่เพิ่มขึ้นทำให้มีการใช้ทรัพยากรและวัตถุดิบจำนวนมาก นำไปสู่การสร้างของเสียที่มากขึ้นโดยที่ยังไม่ได้ใช้ประโยชน์จากทรัพยากรอย่างเต็มที่ แต่หากมีการลดขยะและใช้ทรัพยากรอย่างเหมาะสมจะสามารถช่วยตอบสนองความต้องการอาหารของประชากรในปี ค.ศ. 2050 ที่สูงขึ้นถึงร้อยละ 60 ได้ อีกทั้งปัญหาขยะอาหารยังเป็นสาเหตุสำคัญที่ส่งผลต่อปัญหาสิ่งแวดล้อม จากการใช้พลังงานและทรัพยากร และการสร้างก๊าซเรือนกระจก (Colletti *et al*., 2020)

ความตระหนักที่เพิ่มขึ้นเกี่ยวกับการบริโภคอาหารจากถั่วเหลืองเพื่อสุขภาพ ความรู้เกี่ยวกับการแพ้ผลิตภัณฑ์นม และการก้าวไปสู่การผลิตอาหารที่ยั่งยืนมากขึ้นส่งผลให้มีผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลืองเพิ่มขึ้น ซึ่งนมถั่วเหลืองเป็นอีกหนึ่งในผลิตภัณฑ์ซึ่งมีการผลิตและการบริโภคเพิ่มขึ้นในหลายประเทศ และตามมาด้วยการสะสมของผลพลอยได้อย่างกากถั่วเหลืองที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากสถิติเกี่ยวกับการผลิตนมถั่วเหลืองในปี ค.ศ. 1983 พบว่ามีการผลิตนมถั่วเหลืองประมาณ 1 ล้านตัน แต่พบว่าเพิ่มขึ้นอย่างมากในทศวรรษที่ผ่านมา และในปี ค.ศ. 2006 การผลิตเครื่องดื่มจากถั่วเหลืองได้มีการเพิ่มขึ้นมากกว่า 1 ล้านตัน ในยุโรปตะวันตก อเมริกาเหนือ และญี่ปุ่น

ถั่วเหลือง เป็นหนึ่งในวัตถุดิบอาหารที่สำคัญในปัจจุบัน แม้ว่าอาหารจากถั่วเหลืองจะมีมาแต่โบราณ แต่ในช่วง 15 ปี ที่ผ่านมาพบว่ามีประโยชน์ในการป้องกัน และรักษาโรคเรื้อรังต่าง ๆ เป็นที่ทราบกันดีว่าถั่วเหลืองนั้นเป็นแหล่งโปรตีนที่อุดมสมบูรณ์เนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการสูง และมีคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีที่ดีมาก นอกจากนี้ถั่วเหลืองและผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลืองยังอุดมไปด้วยองค์ประกอบและสารอาหารซึ่งมีประโยชน์ต่อสุขภาพ

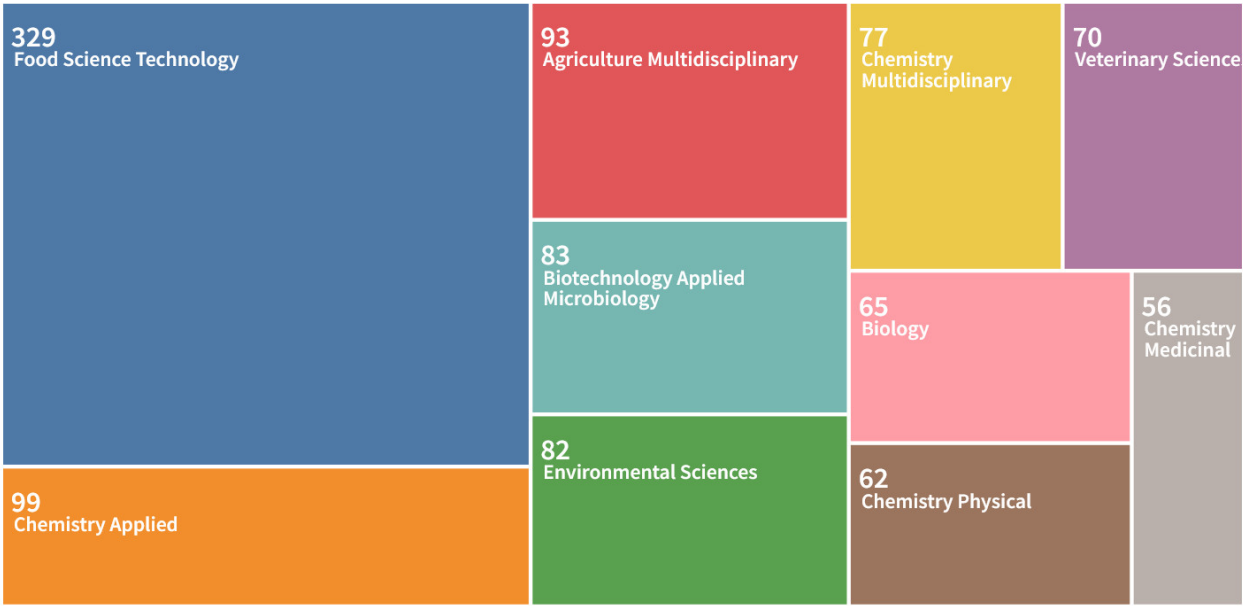
ผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลืองเป็นแหล่งของ isoflavones, phytosterols, phytic acid และ saponins ที่สามารถออกฤทธิ์ที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ ลดปริมาณคอเลสเตอรอลไปจนถึงฤทธิ์ต้านมะเร็ง ฤทธิ์ในการควบคุมโรคเบาหวาน และการลดโรคกระดูกพรุนในวัยหมดประจำเดือน อาหารที่ใช้ถั่วเหลืองเป็นองค์ประกอบหลักโดยทั่วไปแบ่งออกเป็นสองประเภท คือ อาหารที่ไม่ผ่านการหมักและอาหารหมัก อาหารจากถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านการหมัก ได้แก่ ถั่วเหลืองสด ถั่วเหลืองแห้ง ต้นอ่อนถั่วเหลือง นมถั่วเหลือง และผลิตภัณฑ์จากนมถั่วเหลือง เช่น เต้าหู้กากถั่วเหลือง และฟองเต้าหู้ ผลิตภัณฑ์หมัก ได้แก่ เทมเป มิโซะ ซอสถั่วเหลือง นัตโตะ เต้าหู้ยี้ และผลิตภัณฑ์นมถั่วเหลืองหมัก

นมถั่วเหลืองแบบดั้งเดิมผลิตขึ้นโดยใช้อัตราส่วนถั่วเหลืองต่อน้ำ 1:5 แม้ว่าเครื่องดื่มจากถั่วเหลืองที่ปรุงแต่งรสหวานจะทำในอัตราส่วนระหว่างถั่วเหลืองต่อน้ำที่ 1:20 อย่างไรก็ตามสามารถประมาณการได้ว่าในการผลิตนมถั่วเหลือง 1 ล้านตัน จะผลิตกากถั่วเหลืองประมาณ 170,000 ตัน และเมื่อรวมกับกากถั่วเหลืองจากการผลิตเต้าหู้ และผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลืองชนิดอื่น ๆ สรุปได้ว่าในแต่ละปีมีการผลิตกากถั่วเหลืองจากการผลิตปีละหลายล้านตัน

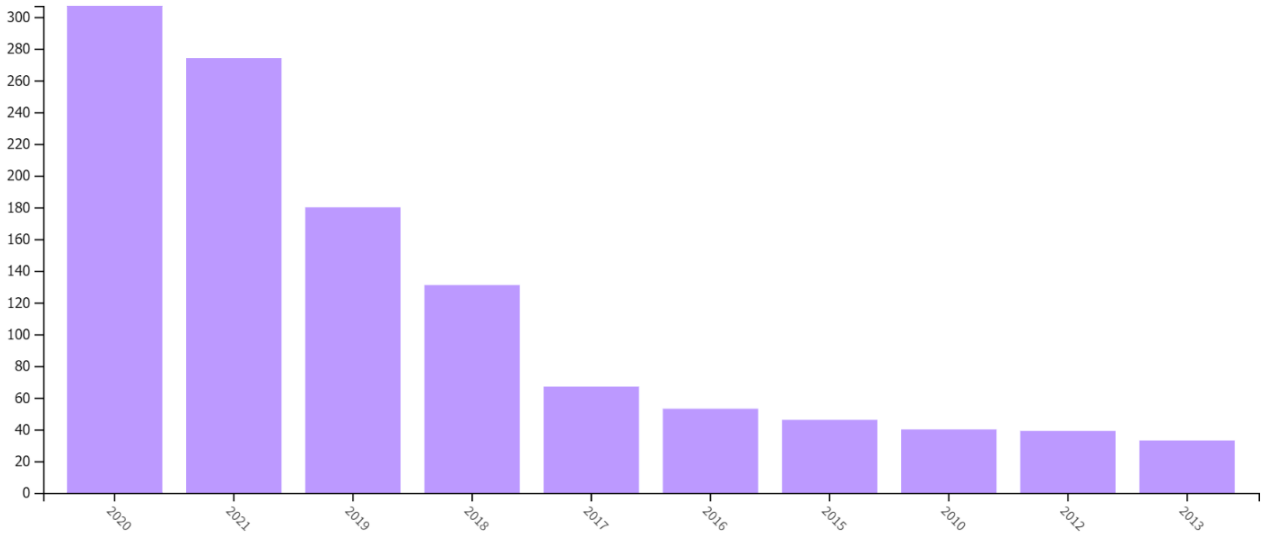
ในส่วนของกระบวนการผลิตน้ำนมถั่วเหลือง ถั่วเหลืองจะถูกคัดแยก ทำความสะอาด ตากให้แห้งที่ความชื้นประมาณร้อยละ 10 และแยกเอาเปลือกออก เปลือกถั่วเหลืองจะนำไปเป็นสารเพิ่มเส้นใยสำหรับขนมปัง ซีเรียล ขนมขบเคี้ยว และอาหารสัตว์ หลังจากการแยกเปลือก ถั่วเหลืองจะถูกรีดเป็นเกล็ดที่มีไขมันสูง ซึ่งสามารถนำมาใช้ในอาหารสัตว์หรือแปรรูปเป็นแป้งโฮลมีลเพื่อใช้เป็นอาหารได้

กากถั่วเหลืองที่ผ่านการกำจัดน้ำมันแล้วจะถูกใช้เป็นอาหารสัตว์ และผลิตภัณฑ์สำหรับมนุษย์ที่ใช้เพื่อช่วยรักษาความชื้น และยืดอายุการเก็บรักษา ตลอดจนทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์ และสารทดแทนเนื้อสัตว์ในผลิตภัณฑ์อาหาร เป็นแหล่งโปรตีน ในขณะเดียวกันก็ปรับปรุงสี และอายุการเก็บรักษาของขนมอบ แป้งถั่วเหลืองเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตขึ้นโดยการบดกากถั่วเหลืองที่ผ่านการกำจัดน้ำมันแล้ว ผลิตภัณฑ์อีกรูปแบบคือ สารสกัดโปรตีนจากถั่วเหลือง ซึ่งผ่านกระบวนการทางเคมีที่สกัดโปรตีนจากกากถั่วเหลืองที่ผ่านการกำจัดน้ำมันออกแล้ว ได้ผลผลิตเป็นโปรตีนปริมาณร้อยละ 90 ที่ปราศจากเส้นใย และคาร์โบไฮเดรต ใช้ในผลิตภัณฑ์ประเภทนม รวมถึงชีส ของหวานแช่แข็งที่ไม่ใช่นม สารฟอกสีกาแฟ และผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ นอกจากนี้ยังมีโปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้น ซึ่งผ่านกระบวนการกำจัดน้ำตาลออกจากกากถั่วเหลืองที่ผ่านการกำจัดน้ำมันแล้ว มีโปรตีนปริมาณสูง โดยยังคงเส้นใยไว้ มักใช้ในเครื่องดื่มโปรตีน ซุปหรือซอส และใช้ในผลิตภัณฑ์ทดแทนเนื้อสัตว์เป็นหลัก เนื่องจากมีปริมาณไขมันและคุณสมบัติในการดูดซับน้ำ

การค้นคว้าและวิจัยในปัจจุบัน ได้ให้ความสนใจกับกากถั่วเหลืองมากขึ้น เมื่ออ้างอิงจากข้อมูลสถิติที่ได้จากฐานข้อมูล web of science จากการค้นหา “okara” สำหรับการค้นหาบทความ ในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2564 พบว่ามีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ okara หรือกากถั่วเหลืองจำนวนรวม 1,343 ฉบับ โดยเป็นงานวิจัยด้าน food science technology มากที่สุดถึง 315 ฉบับ รองมาด้วยงานวิจัยด้าน chemistry applied, agriculture multidisciplinary และ biotechnology applied microbiology ตามลำดับ และนอกจากนี้เมื่อค้นหาแนวโน้มการให้ความสนใจในกากถั่วเหลืองยังพบว่า งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกากถั่วเหลืองได้เพิ่มมากขึ้นอย่างมากในช่วง 5 ปีที่ผ่านมา ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2017 ดังรูปที่ 1 (ก) และ (ข)



(ก)



(ข)

รูปที่ 1 (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกากถั่วเหลือง และสาขางานวิจัย
(ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกากถั่วเหลืองในปี ค.ศ. 2017-2021

ที่มา : web of science (2021)

องค์ประกอบของกากถั่วเหลือง

กากถั่วเหลือง หรือที่เรียกว่า โอคาระ (okara) เป็นผลพลอยได้จากการผลิตน้ำนมถั่วเหลืองหรือเต้าหู้ ในแต่ละกิโลกรัมของถั่วเหลืองที่ใช้ในการผลิต จะเกิดกากถั่วเหลือง 1.1-1.2 กิโลกรัม ปัจจุบันกากถั่วเหลืองได้รับการจัดการเหมือนกับของเสีย และใช้เป็นอาหารสัตว์ ปุ๋ย หรือฝังกลบ โดยเฉพาะในประเทศญี่ปุ่น ส่วนใหญ่จะถูกเผาทำลาย ทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 1 กากถั่วเหลืองประกอบด้วยน้ำประมาณร้อยละ 80 โปรตีนร้อยละ 3.5 ถึง 4.0 และส่วนประกอบที่ไม่ละลายน้ำจำนวนมาก ปริมาณความชื้นที่สูงของกากถั่วเหลือง แสดงให้เห็นว่ากากถั่วเหลืองยังมีส่วนประกอบที่ละลายน้ำได้ องค์ประกอบที่แน่นอนขึ้นอยู่กับความหลากหลายของถั่วเหลืองที่ใช้ ปัจจัยจากสภาพแวดล้อม ตลอดจนสภาวะการแปรรูปที่ใช้ในระหว่างการผลิตนมถั่วเหลือง ดังนั้นคุณสมบัติของการละลายในน้ำจึงแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่ใช้ เมื่อปราศจากความชื้นกากถั่วเหลืองจะมีไขมันเกือบร้อยละ 10 เส้นใยหยาบร้อยละ 55 และโปรตีนร้อยละ 30

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของกากถั่วเหลือง 100 g

องค์ประกอบ	**(ร้อยละ)**
พลังงาน (kcal/KJ)	76/320
น้ำ	81.6
โปรตีน	3.52
ไขมัน	1.73
เถ้า	0.88
คาร์โบไฮเดรต	12.2

ที่มา : ดัดแปลงจาก Colletti *et al.* (2020)

เส้นใยอาหาร

แม้ว่ากากถั่วเหลืองจะมีความชื้นสูง (เกือบร้อยละ 70-80) แต่น้ำส่วนใหญ่ทำพันธะกับเส้นใยอาหาร ส่งผลให้เนื้อสัมผัสคล้ายกับอาหารเหลว เส้นใยอาหาร

หรือไฟเบอร์ส่วนใหญ่เป็นไฟเบอร์ที่ไม่ละลายน้ำ (ในรูปของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส) คิดเป็นร้อยละ 40-60 ซึ่งสามารถหมักย่อยได้ด้วยจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่ แม้ว่าจะไม่สามารถย่อยในลำไส้เล็กได้ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณคาร์โบไฮเดรตอิสระ (เช่น อะราบิโนส กลูโคส กาแลคโตส ฟรุกโตส ซูโครส รัฟฟิโนส และสตาคีโอส) พบว่ามีปริมาณต่ำ (ร้อยละ 4-5) และการขาดคาร์โบไฮเดรตที่เป็นปัจจัยหลักที่จำกัดการเติบโตอย่างมีประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสตาคีโอสและรัฟฟิโนสร้อยละ 1.4 ซึ่งอาจทำให้ท้องอืดและบวมในบางคน

อิทธิพลของโมโนเมอร์ในผนังเซลล์ส่งผลต่อการกักเก็บน้ำและความสามารถในการอุ้มน้ำ บวมน้ำของกากถั่วเหลือง ทำให้กากถั่วเหลืองมีความสามารถในการเป็นสารเติมแต่งเนื้อสัมผัส (texturizing additives) งานวิจัยของ Mateos-Aparicio และคณะ (2010) ได้นำกากถั่วเหลืองไปผ่านกระบวนการ high hydrostatic pressure (HHP) เพื่อทำให้ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้นมากกว่า 8 เท่า ซึ่งมีประโยชน์ในการรับรองว่ากากถั่วเหลืองมีฤทธิ์ต้านการอักเสบ และต้านสารก่อมะเร็งในทางเดินอาหาร

การผสมผสานของกากถั่วเหลืองและแป้งสาลีชนิดนิ่มทำให้มีโปรตีน ใยอาหาร และไอโซฟลาโวนเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับการใช้แป้งสาลีชนิดอ่อนเพียงอย่างเดียว และความสำคัญของใยอาหารคือ มีส่วนเชื่อมโยงกับการควบคุมการทำงานของลำไส้ การมีเส้นใยอาหารในกากถั่วเหลืองส่งผลต่อการลดลงของไขมันในกระแสเลือด (hypolipidemic) และการลดลงของคอเลสเตอรอล (hypocholesterolemic) ที่อาจเกิดขึ้น ดังนั้นเส้นใยในกากถั่วเหลืองจึงมีประสิทธิภาพ และเป็นประโยชน์สำหรับการปรับปรุงของภาวะเมตา-บอลิซึม

โปรตีน

กากถั่วเหลืองแห้งประกอบด้วยโปรตีนร้อยละ 15.2 ถึง 33.4 โปรตีนหลักคือ โกลบูลิน 7S และโกลบูลิน 11S โปรตีนจากกากถั่วเหลืองมีกรดอะมิโนที่จำเป็นทั้งหมด และประสิทธิภาพโปรตีนที่สูงกว่านมถั่วเหลืองและเต้าหู้ แต่มีความสามารถในการละลายน้ำต่ำ นอกจากนี้ยังพบว่าเศษโปรตีนของกากถั่วเหลืองสามารถทนต่อการย่อยอาหารโดยเอนไซม์ในทางเดินอาหารได้อย่างสมบูรณ์

การเปลี่ยนสภาพทางชีวภาพของโปรตีนกากถั่วเหลืองที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงเป็นโปรตีนที่มีขนาดเล็กลงอาจเพิ่มความสามารถในการละลายของโปรตีนและสร้างเปปไทด์หรือกรดอะมิโนที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพ Chan และ Ma (1999) ได้ศึกษาและแสดงให้เห็นว่าความสามารถในการละลายของโปรตีนเพิ่มขึ้นจากการย่อยลดขนาดด้วยกรด (ปริมาณโปรตีนที่สกัดได้ร้อยละ 53 ที่ pH 9 อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลานาน 30 นาที) และทำให้คุณสมบัติการทำงานอื่น ๆ ดีขึ้น เช่น การทำอิมัลชันและคุณสมบัติการเกิดฟอง นอกจากนี้ยังพบว่าการนำโปรตีนกลับมาสูงสุด (ร้อยละ 93.4) ทำได้โดยการทำให้กากถั่วเหลืองมีความละเอียดของผงที่น้อยกว่า 75 µm

สารยับยั้งทริปซิน (trypsin inhibitor) สามารถย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์เพื่อปรับปรุงคุณภาพทางโภชนาการ อย่างไรก็ตามจุลินทรีย์สามารถย่อยสลายโปรตีนและกรดอะมิโน ทำให้ปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นที่มีอยู่ลดลงไปได้ด้วย ดังนั้นจึงควรพิจารณาถึงผลกระทบต่าง ๆ ของการหมักต่อน้ำหนักโมเลกุลของเปปไทด์ กรดอะมิโน และกิจกรรมการยับยั้งของทริปซิน เนื่องจากสิ่งเหล่านี้สามารถส่งผลต่อลักษณะการทำงานโดยรวม (เช่น ความสามารถในการละลาย และคุณสมบัติการเกิดฟอง) และฤทธิ์ทาง

ชีวภาพของกากถั่วเหลืองหมัก อย่างไรก็ตามสารยับยั้งทริปซินสามารถอยู่ในช่วงตั้งแต่ร้อยละ 5.2 ถึง 14.4 ของปริมาณโปรตีน แม้ว่าจะยับยั้งการทำงานได้ด้วยการอบด้วยความร้อนที่เหมาะสม

ไขมัน

กากถั่วเหลืองมีไขมันร้อยละ 8.3 ถึง 10.9 (น้ำหนักแห้ง) กรดไขมันส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวหรือไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน และประกอบด้วยกรดไลโนเลอิก (ร้อยละ 54.1 ของกรดไขมันทั้งหมด) กรดโอเลอิก (ร้อยละ 20.4) กรดปาลมิติก (ร้อยละ 12.3) กรดลิโนเลนิก (ร้อยละ 8.8) และกรดสเตียริก (ร้อยละ 4.7)

การหมักด้วยจุลินทรีย์สามารถเผาผลาญกรดไขมัน และอนุพันธ์ของกรดไขมันเพื่อผลิตสารประกอบอะโรมาติกที่เป็นที่ต้องการมากขึ้น Quitain และคณะ (2006) ได้ศึกษาการนำส่วนประกอบน้ำมันกากถั่วเหลืองที่ผ่านการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวด (supercritical carbon dioxide) และปรับปรุงคุณภาพด้วยเอทานอล ผลการวิจัยระบุว่า ได้กู้คืนส่วนประกอบน้ำมันร้อยละ 63.5 ที่อุณหภูมิ 40 ℃ และความดัน 20 MPa เมื่อมีสารละลายเอทานอลร้อยละ 10 โมล ส่วนประกอบน้ำมันนี้ส่วนใหญ่ประกอบด้วยสารไฟโตสเตอรอล (phytosterols) และจากการทดลองพบว่า เอทานอลมีประโยชน์ในการเพิ่มผลผลิตและปริมาณของสารประกอบฟีนอลิก และไอโซฟลาโวนจากถั่วเหลืองสองชนิด ได้แก่ เจนิสสไตน์ (genistein) และเดดไซน์ (daidzein) ในสารสกัด ซึ่งสารประกอบเหล่านี้เป็นที่รู้จักของสารต้านอนุมูลอิสระที่สามารถเพิ่มทั้งความเสถียรและมูลค่าของน้ำมัน ทำให้กระบวนการนี้น่าสนใจสำหรับอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง ยา และอาหาร

ไอโซฟลาโวน (Isoflavones)

Wang และ Murphy (1996) ได้ศึกษาและแสดงให้เห็นว่า มีสารไอโซฟลาโวนในรูปอะไกลโคน (aglycons) ในกากถั่วเหลืองมากกว่าในนมถั่วเหลือง โดยทั่วไปปริมาณไอโซฟลาโวนอะไกลโคนในกากถั่วเหลืองจะแตกต่างกันไประหว่างร้อยละ 12 ถึง 40 ของปริมาณไอโซฟลาโวนในเมล็ดถั่วเหลือง

ถั่วเหลืองประกอบด้วยไอโซฟลาโวนที่แตกต่างกันมากถึง 12 ชนิด แบ่งออกเป็นสามกลุ่มหลัก (daidzein, genistein และ glycitein) ซึ่งทั้งหมดสามารถมี 4 รูปแบบที่แตกต่างกัน : aglycones (ร้อยละ 15.4) β-glucosides, malonyl-glucosides (ร้อยละ 28.9) และ acetyl-glucosides ในขณะที่กากถั่วเหลืองอาจมีไอโซฟลาโวนเหมือนกัน 12 ชนิด แม้ว่าสภาวะการแปรรูประหว่างการผลิตนมถั่วเหลือง และสารตกค้างอาจเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสารไอโซฟลาโวน ความเข้มข้นรวมของไอโซฟลาโวน และไอโซฟลาโวนรูปแบบต่าง ๆ ในถั่วเหลือง และผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลืองขึ้นอยู่กับความหลากหลายของสายพันธุ์ถั่วเหลือง การเพาะปลูก สภาวะการแปรรูป และการเก็บรักษา นอกจากนี้การหมักด้วยจุลินทรีย์ยังสามารถสร้าง β-glucosidase ได้ด้วย ดังนั้นการเปลี่ยน isoflavonic glucosides ให้เป็น aglycones จึงเป็นโอกาสในการเพิ่มมูลค่า

ผู้ผลิตนมถั่วเหลืองต่างมีวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน ทั้งขนาดการผลิตเล็กและขนาดใหญ่ ทำให้ส่งผลถึงปริมาณสารไอโซฟลาโวนในผลิตภัณฑ์ ความแตกต่างที่สำคัญที่สุดคือ อุณหภูมิที่ใช้ในระหว่างการแช่ถั่วเหลือง การบดถั่วเหลือง อุณหภูมิในการปรุงอาหาร และการฆ่าเชื้อก่อนหรือหลังการแยกนมถั่วเหลืองออก ปัจจัยอีกประการหนึ่งที่ส่งผลต่อการ

ทำงานของไอโซฟลาโวน คือปฏิกิริยาของไอโซ-ฟลาโวนกับส่วนประกอบเมทริกซ์อื่น ๆ เช่น อันตรกิริยาแบบไม่ใช่โควาเลนต์ระหว่างพอลิฟีนอล (polyphenol) และธาตุอาหารหลัก ซึ่งส่วนใหญ่เป็นโปรตีน

จากการศึกษาผลกระทบต่อสุขภาพของพอลิ-ฟีนอลทำให้ทราบว่า พอลิฟีนอลมีส่วนช่วยในการลดความเสี่ยงของโรคหัวใจและหลอดเลือด และโรคมะเร็ง (Del Rio *et al*., 2013) เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และมีคุณสมบัติต้านการอักเสบ (Deng *et al*., 2017) และส่งผลที่เป็นประโยชน์ต่อโรคเบาหวานประเภท 1 และ 2 จากประโยชน์ของพอลิฟีนอล ทำให้มีการศึกษาหาวิธีการนำพอลิฟีนอลจากกากถั่ว-เหลืองมาใช้ด้วยวิธีการต่าง ๆ ทั้งการสกัดด้วยของเหลว และการสกัดอื่น ๆ ซึ่งน้ำเป็นสารละลายที่นิยมนำมาใช้มากที่สุดในการทดลองสกัด isoflavones จากถั่วเหลืองและกากถั่วเหลือง (Privatti and Rodrigues, 2021)

สารต้านโภชนาการและองค์ประกอบทางโภชนาการ

สารต้านโภชนาการที่พบในกากถั่วเหลือง เช่น ไฟเตต (phytates) ซาโปนิน (saponins) และสารยับยั้งทริปซิน (trypsin inhibitors) ซึ่งการหมักด้วยจุลินทรีย์สามารถทำลายสารเหล่านี้ได้ หรือใช้เอนไซม์ glycine หรือ β-conglycine ในขั้นตอนการหมักเพื่อเพิ่มสารอาหารและการย่อยได้ของสารอาหาร

ซาโปนินจากถั่วเหลืองเป็นกลุ่มของโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว (amphiphilic) ที่ไม่ระเหยง่าย (non-volatile amphiphilic) ซึ่งมีอยู่ในเมล็ดพืชตระกูลถั่วหลากหลายชนิด เช่น ถั่วเหลือง ถั่วเลนทิล และลูปิน ซึ่งถั่วเหลืองเป็นแหล่งของสารซาโปนิน ส่วนใหญ่มีอยู่ในใบเลี้ยงและกากถั่วเหลือง ซึ่งซาโปนินได้รับการรายงานว่ามีคุณสมบัติในการกระตุ้นภูมิคุ้มกัน ต้านไวรัส ปกป้องตับ และมีคุณสมบัติทางด้านเคมีบำบัด (Gurfinkel and Rao, 2003) นอกจากนี้ยังมีส่วนประกอบอื่น ๆ ได้แก่ แร่ธาตุ ลิกแนน คูเมแทนส์ ไฟโตสเตอรอล และไฟเตต

นอกจากนี้กากถั่วเหลืองยังมีแร่ธาตุหลายชนิด เช่น โพแทสเซียม แคลเซียม และธาตุเหล็ก ซึ่งโพแทสเซียมช่วยลดความดันโลหิตที่สูงผิดปกติ ทองแดงส่งเสริมการป้องกันสารต้านอนุมูลอิสระ และการทำงานของภูมิคุ้มกัน และแมกนีเซียมช่วยลดปัญหาความดันโลหิตสูง และช่วยป้องกันภาวะแทรกซ้อนของโรคเบาหวาน

กระบวนการผลิตนมถั่วเหลืองและกากถั่วเหลือง

นมถั่วเหลืองสามารถผลิตจากถั่วเหลืองทั้งเมล็ดหรือจากแป้งถั่วเหลืองก็ได้ โดยกระบวนการหลักในการผลิตมี 5 ขั้นตอน

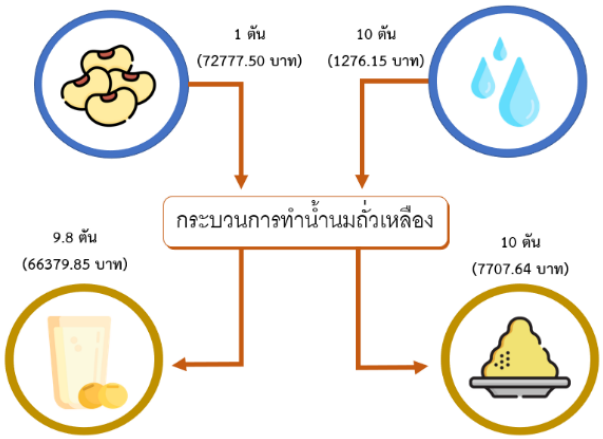
1) ล้างถั่วเหลืองเพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อน และกระเทาะเมล็ดออก

2) แช่เมล็ดถั่วเหลืองในน้ำเป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นแยกน้ำออกจากถั่วเหลือง และสะเด็ดน้ำ

3) บดด้วยเครื่องปั่นหรือเครื่องโม่ด้วยอัตราส่วนถั่วเหลืองต่อน้ำ 1:10

4) แยกกากถั่วเหลืองจากนมถั่วเหลืองด้วยเครื่องแยกกาก

5) ให้ความร้อนเพื่อฆ่าเชื้อ

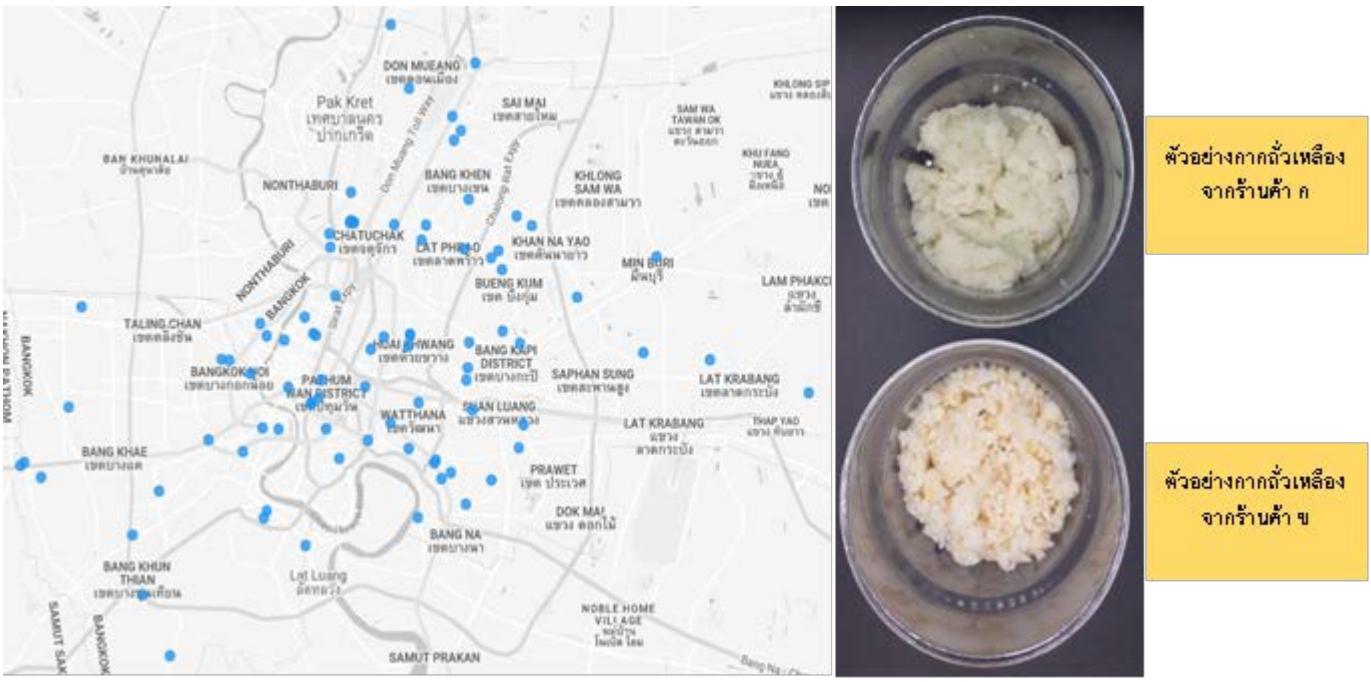


รูปที่ 2 กระบวนการผลิตนมถั่วเหลือง และกากถั่วเหลือง
ที่มา : ดัดแปลงจาก Colletti *et al.* (2020)

กากถั่วเหลืองที่มีความชื้นสูงจะเสื่อมสภาพเร็ว และนำมาใช้งานได้ยากจึงจำเป็นต้องมีการทำแห้งกากถั่วเหลือง การทำแห้งนอกจากจะช่วยเรื่องอายุการเก็บรักษาแล้วยังเพิ่มความสามารถในการกักเก็บน้ำและน้ำมัน เพิ่มคุณค่าอาหาร คงสภาพเส้นใยและโปรตีนในอาหาร ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่มีการเพิ่มกากถั่วเหลือง ได้แก่ ขนมขบเคี้ยวจากถั่วเหลือง (Katayama and Wilson, 2008) ขนมปังชีส (Aplevic and Demiate, 2007) และขนมปังฝรั่งเศส ในส่วนของกากถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านการทำแห้งมีการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์น้อย เนื่องจากมีสารต้านโภชนาการอยู่

ปริมาณกากถั่วเหลืองจากการผลิตนมถั่วเหลือง

การสำรวจปริมาณขยะกากถั่วเหลืองจากการผลิตนมถั่วเหลืองบริเวณชุมชนเขตใกล้เคียงมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน 9 เขตพื้นที่ ได้แก่ จตุจักร หลักสี่ บางเขน ลาดพร้าว สายไหม คลองสามวา คันนายาว บึงกุ่ม ดอนเมือง และบางซื่อ จากฐานข้อมูล google map พบว่ามีร้านค้านมถั่วเหลืองหรือน้ำเต้าหู้จำนวน 68 ร้าน ที่มีการผลิตนมถั่วเหลืองเอง ซึ่งจากการสอบถามข้อมูลร้านค้าเป็นจำนวน 23 ร้าน โดยคละกำลังการผลิต สามารถคำนวณปริมาณขยะกากถั่วเหลืองที่เกิดขึ้นได้ประมาณ 22,953.6 กิโลกรัมต่อเดือน หรือประมาณ 275 ตันต่อปี จากปริมาณทั้งหมดของขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2561 ที่มีขยะมูลฝอยเกิดขึ้น 27.93 ล้านตัน โดยเป็นขยะมูลฝอยจากกรุงเทพมหานครมากกว่า 1 หมื่นตันต่อวัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2560) ซึ่งขยะกากถั่วเหลืองเหล่านี้ไม่ได้ถูกนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์เท่าที่ควร มีเพียงการนำไปเป็นอาหารสัตว์ หรือกำจัดทิ้งเท่านั้น นอกจากนี้ยังได้ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างกากถั่วเหลืองจากร้านค้ารอบมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์จำนวน 2 ร้านที่มีกำลังการผลิตแตกต่างกัน พบว่าตัวอย่างกากถั่วเหลืองของทั้งสองร้านค้ามีความแตกต่างกันดังรูปที่ 3 ที่แสดงให้เห็นว่ากากถั่วเหลืองจากร้านค้า ก จะมีสีเขียวอ่อน และมีความละเอียดมากกว่า มีเศษใบเตยปน ในขณะที่กากถั่วเหลืองของร้านค้า ข จะมีสีเหลืองอ่อน และมีลักษณะหยาบกว่าร้านค้า ก มาก



รูปที่ 3 การสุ่มตัวอย่างกากถั่วเหลืองจากร้านค้ารายย่อย และตัวอย่างกากถั่วเหลืองร้านค้า ก และ ข

ที่มา : โครงการการลดขยะกากถั่วเหลืองจากชุมชนและอุตสาหกรรมโดยนำไปแปรรูปเป็นแป้งโอคาราเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบอาหารมูลค่าสูง สนับสนุนโดยสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ประจำปีงบประมาณ 2564

ข้อจำกัดสำหรับการนำกากถั่วเหลืองมาใช้งาน

ความชื้น

กากถั่วเหลืองมีความชื้นสูงระหว่างร้อยละ 70 ถึง 80 และโปรตีนร้อยละ 25 (น้ำหนักแห้ง) ซึ่งเป็นอุปสรรคในการเก็บรักษา ส่งผลให้กากถั่วเหลืองย่อยสลาย และเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็ว กากถั่วเหลืองจึงควรถูกทำให้แห้งโดยเร็วที่สุด ภายใต้สภาวะการทำให้แห้งที่เหมาะสม เพื่อความสะดวกในการเคลื่อนย้าย การขนส่งและเก็บรักษา การทำแห้งโดยธรรมชาติไม่เหมาะสมสำหรับการทำแห้งกากถั่วเหลือง เนื่องจากใช้เวลานาน และมีปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้อย่างสภาพอากาศ อาจทำให้กากถั่วเหลืองเน่าเสียได้ การยืดอายุการเก็บรักษาของกากถั่วเหลืองส่วนใหญ่แล้วจะทำโดยวิธีการทำแห้งแบบเยือกแข็ง (freezing) ที่อุณหภูมิ 0 ℃ ถึง –18 ℃ หรือต่ำกว่าอุณหภูมิที่จุลินทรีย์สามารถเติบโตได้ การทำแห้งแบบอบลมร้อน และแช่แข็งแบบสุญญากาศ นอกจากนี้การทำแห้งแบบนำความร้อนทางอ้อมภายใต้การกวนก็เป็นตัวเลือกที่ดีสำหรับการทำให้กากถั่วเหลืองแห้ง

เทคนิคการทำแห้งเป็นปัจจัยที่ส่งผลอย่างมากต่อรสสัมผัส และคุณสมบัติของกากถั่วเหลืองในเรื่องของความสามารถในการกักเก็บน้ำ (water-retention capacity) ความสามารถในการบวมน้ำ (swelling capacity) และความสามารถในการจับกับน้ำมัน กากถั่วเหลืองที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ได้รับการพิสูจน์ว่า เป็นเทคนิคที่ดีที่สุด ตามมาด้วยการทำแห้งแบบสุญญากาศ และการทำแห้งด้วยลมร้อน แต่เมื่อพิจารณาด้วยความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange capacity) การทำแห้งแบบอบลมร้อนจะดีที่สุด รองลงมาคือการทำแห้งแบบสุญญากาศ และการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง อย่างไรก็ตามวิธีการทำแห้งทั้งหมดเป็นวิธีการที่ส่งผลอย่างมากต่อรสชาติ สี และกลิ่นของกากถั่วเหลือง

สารต้านโภชนาการ

กากถั่วเหลืองสดมีปริมาณสารต้านโภชนาการที่สูง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง trypsin inhibitors ที่เป็นอุปสรรคต่อการย่อยอาหาร การศึกษาของ Hinks และ Hupka (1995) รายงานว่าการใช้กากถั่วเหลืองสดเป็นอาหารโดยตรงมีผลต่อการเจริญเติบโต พฤติกรรม และกิจกรรมทางสรีรวิทยาของโค

วิธีการยับยั้งการทำงานของ trypsin inhibitors ได้แก่ กระบวนการทางกายภาพ เคมี การย่อยสลายทางชีวภาพ และการหมัก ตลอดจนวิธีการที่ซับซ้อนซึ่งใช้ประโยชน์จากสารประกอบธรรมชาติ

กระบวนการแปรรูปกากถั่วเหลือง

1. การหมักด้วยจุลินทรีย์

กากถั่วเหลืองเป็นวัตถุดิบที่อุดมไปด้วยคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และสารอาหารอื่น ๆ แต่ก็มีข้อจำกัดเรื่องความชื้น และสารต้านโภชนาการ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ จึงจำเป็นต้องผ่านกระบวนการเพื่อปรับสภาพให้กากถั่วเหลืองอยู่ในรูปที่พร้อมใช้งาน และมีคุณสมบัติที่ดีขึ้น การหมักด้วยจุลินทรีย์สามารถช่วยลดปริมาณเส้นใยดิบ และเพิ่มปริมาณเส้นใยที่สามารถละลายน้ำได้ โปรตีน และกรดอะมิโน รวมถึงสารไอโซฟลาโวนได้ และสามารถทำให้ phytic ที่เกิดจากการสะสมของฟอสฟอรัสจากพืชที่มนุษย์ไม่สามารถย่อยได้ ย่อยสลายได้ เพื่อเพิ่มคุณค่าทางสารอาหาร และคุณสมบัติของกากถั่วเหลือง

1.1 การหมักด้วยรา

กากถั่วเหลืองมีความเหมาะสมสำหรับการนำมาหมักด้วยเชื้อรา เนื่องจากกากถั่วเหลืองมีพื้นผิวที่มีทำให้เชื้อราสามารถโต และยึดเกาะได้ เส้นใยของเชื้อราสามารถนำมาสกัดเอนไซม์ cellulolytic, endoglucanase, esoglucanase และ β-glucosidase ได้

Fujita และคณะ (2004) ได้ศึกษาการผลิตสารประกอบออกฤทธิ์ทางชีวภาพ โดยศึกษาการหมักกากถั่วเหลืองด้วยรา *Aspergillus* sp. HK-388 สายพันธุ์ที่แยกได้จากตัวอย่างดิน และสกัดสารประกอบทางชีวภาพ 8 - hydroxydaidzein และ 8 - Hydroxydaidzein ด้วยเมทานอล สารเหล่านี้มีความสามารถในการยับยั้งเอนไซม์ aldose, reductase และ tyrosinase ซึ่งจากการศึกษาพบว่าสารเหล่านี้ไม่ปรากฏในกากถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านการหมัก จึงสันนิษฐานว่าเป็นผลจากการเปลี่ยนรูปทางชีวภาพของ daidzin และ daidzein

ในการศึกษาของ Japakaset และคณะ (2009) ได้ทำการศึกษาการหมักกากถั่วเหลืองด้วย *Monascus purpureus* IFRPD 4046 ซึ่งผลิต monacolin K สารลดไขมันในเลือดที่ได้รับการรับรองจากยุโรป ผลผลิตของ monacolin K อยู่ที่ 192 mg/kg ของกากถั่วเหลือง ซึ่งน้อยกว่าการหมักโดยใช้ข้าวเป็นปริมาณ 2.5 เท่า ดังนั้นอาจจำเป็นต้องเสริมคาร์โบไฮเดรตเพื่อปรับปรุงกำลังการผลิต monacolin K จากกากถั่วเหลือง ในการศึกษาของ Li และคณะ (2013) Shi และคณะ (2014) และ Zhu และคณะ (2015) เชื้อราจะถูกเลี้ยงบนกากถั่วเหลือง จากนั้นนำมาสกัดพอลีแซ็คคาไรด์ ผลที่ได้จะนำมาเปรียบเทียบกับสารสกัดกากถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านการหมัก พบว่าสารสกัดจากกากถั่วเหลืองที่ผ่านการหมักมีการเพิ่มขึ้นของความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และเพิ่มความสามารถในการเสริมสร้างภูมิคุ้มกัน ชี้ให้เห็นว่าการเจริญเติบโตของเชื้อราอาจย่อยสลายเส้นใยของกากถั่วเหลือง เพื่อผลิตโอลิโกแซ็กคาไรด์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ และในขณะเดียวกันก็ย่อยโปรตีนเป็นเปปไทด์ที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ นอกจากนี้ยังพบว่าการสกัดด้วยเทคนิค ultrasonic-assisted ได้ผลได้มากกว่าการสกัดด้วยน้ำร้อน (Li *et al*., 2016)

1.2 การหมักด้วยแบคทีเรีย

การศึกษาส่วนใหญ่ของการหมักกากถั่วเหลืองด้วยแบคทีเรียเพื่อผลิตสารประกอบทางชีวภาพ มักใช้ *Bacillus* sp. เนื่องจากแบคทีเรียชนิดนี้มีความสามารถในการผลิต proteases แบบภายนอกเซลล์ (extracellular) และเป็นเชื้อที่พบบ่อยในผลิตภัณฑ์ถั่วเหลือง จากการศึกษาของ Oh และคณะ (2007) พบว่าการหมักกากถั่วเหลืองด้วย *Bacillus subtilis* เพิ่มฤทธิ์ในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และ protease ที่เชื้อผลิตมีความสามารถในการย่อยพันธะของโปรตีน

การใช้กากถั่วเหลืองเป็นพรีไบโอติกได้รับการศึกษาในหลอดทดลอง โดยใช้ *Bifidobacterium bifidum* และ *Lactobacillus acidophilus* (Espinosa-Martos and Ruperez, 2009 และ Bedani *et al*., 2013) กากถั่วเหลืองมีพื้นผิวสำหรับการยึดเกาะของเซลล์แบคทีเรีย จึงทำให้สะดวกในการดูดซึมสารตั้งต้น และการเจริญเติบโตของเซลล์

1.3 การหมักด้วยยีสต์

ยีสต์มีกิจกรรมทางชีวภาพที่หลายหลาก ทำให้เป็นตัวเลือกที่ดีในการนำมาใช้เปลี่ยนรูปแบบของกากถั่วเหลือง การศึกษาการหมักกากถั่วเหลืองด้วยยีสต์มักได้รับความสนใจที่ผลิตภัณฑ์สุดท้าย ที่ต้องการให้มีสารอาหารและกลิ่นที่ดีขึ้น Rashad และคณะ (2011) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ของการผลิตอาหารจากถั่วเหลืองที่หมักด้วยยีสต์เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภนาการ โดยใช้ยีสต์หลายสายพันธุ์ *Candida albicans, Candida guillierm - ondii, Kluyveromyces marxianus* NRRL Y-7571 และ NRRL Y-8281, *Pichia pinus* และ *Saccharomyces cerevisiae* พบว่าการหมักทำให้ปริมาณของโปรตีนและเถ้าเพิ่มมากขึ้น และลด

ปริมาณของเส้นใย คาร์โบไฮเดรต และไขมันดิบ นอกจากนี้ยังพบว่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระมีการเพิ่มขึ้น 1.5-2 เท่า และอัลดีไฮด์ที่อิ่มตัวและไม่อิ่มตัว ถูกเปลี่ยนเป็นเมทิลคีโตน และ/หรือเอสเทอร์ ทำให้กลิ่นของกากถั่วเหลืองที่ไม่พึงประสงค์ลดลงอย่างมาก

2. การทำแห้ง

ปริมาณความชื้นในกากถั่วเหลืองเป็นปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดการเน่าเสีย ทำให้การทำแห้งเป็นกระบวนการที่สำคัญอย่างมากที่จำเป็นต้องทำเพื่อให้กากถั่วเหลืองมีอายุการเก็บรักษาที่นานขึ้น และง่ายต่อการนำไปใช้งาน

เทคนิคการทำแห้งกากถั่วเหลืองได้รับการศึกษาอย่างแพร่หลาย งานศึกษาของ Cui และ Luo (1997) ใช้ flash dryer กับเครื่องบดในการทำแห้งกากถั่วเหลืองซึ่งได้ผลออกมาค่อนข้างดี และ Taruna และ Jindal (2002) ได้ศึกษาการใช้ continuous fluidised bed ในการทำแห้งกากถั่วเหลือง แม้ว่าเทคนิคการทำให้แห้งนี้จะให้ผลลัพธ์ที่ยอมรับได้ ทั้งในแง่ของจลนศาสตร์ในการทำให้แห้ง และการใช้พลังงาน แต่พบว่าอัตราการทำแห้งลดลงเนื่องจากการรวมตัวกันของอนุภาค จากการศึกษาโดย Wachiraphansakul และคณะ (2005) กากถั่วเหลืองที่ถูกทำให้แห้งใน fluidised bed มีคุณสมบัติที่ยอมรับได้ในแง่ของสี ปริมาณโปรตีน อย่างไรก็ตามข้อจำกัดของการทำแห้งด้วยการใช้ลมก็คือสามารถทำแห้งได้ในปริมาณน้อย นอกจากนี้การเติมซิลิกาเจลซึ่งใช้เป็นอนุภาคดูดซับนั้นพบว่าช่วยให้กระบวนการทำให้แห้งง่ายขึ้น ทั้งในแง่ของจลนศาสตร์ในการทำให้แห้ง และคุณภาพของกากถั่วเหลือง และการบำบัดกากถั่วเหลืองก่อนกระบวนการด้วยสนามไฟฟ้าแรงสูงสามารถปรับปรุงความเร็วการอบแห้งได้อย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับการทำให้แห้งในเตาเผา โดยลดเวลาในการทำแห้งลงร้อยละ 15-40 (Cui and Luo, 1997)

นอกจากนี้การทำแห้งแบบสุญญากาศด้วยไมโครเวฟเป็นตัวเลือกที่มีศักยภาพ และมีประสิทธิภาพเทียบเท่าการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งได้ เนื่องจากการทำให้แห้งเร็ว วิธีการทำแห้งแบบนี้มีเวลาในการทำให้แห้งที่ต่ำกว่าการทำแห้งด้วยลมร้อน และการทำให้แห้งแบบเยือกแข็งร้อยละ 90 ในขณะที่คุณภาพของผลิตภัณฑ์แห้งจะใกล้เคียงกับที่ได้จากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Li *et al*., 2006)

Guimarãesa และคณะ (2020) ได้ศึกษาการทำแห้งกากถั่วเหลืองด้วยวิธีที่แตกต่างกัน เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพของแป้งที่ได้ พบว่าการทำแห้งแบบอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ให้กากถั่วเหลืองที่มีคุณภาพดีกว่าทั้งสี กลิ่น ปริมาณเส้นใย และสารไอโซฟลาโวนอะไกลโคน เมื่อเทียบกับการทำแห้งแบบ microwave และการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

3. การกำจัดไขมัน

กากถั่วเหลืองแม้จะผ่านการทำแห้งแล้ว แต่ก็ยังคงมีไขมันสูง ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อในการเก็บรักษา เนื่องจากไขมันในถั่วเหลือง เป็นสาเหตุของกลิ่นหืน หรือกลิ่นไม่พึงประสงค์ และไม่เป็นที่ยอมรับ จึงจำเป็นต้องมีวิธีการกำจัดไขมันก่อนนำไปเป็นผลิตภัณฑ์ โดยใช้ตัวทำละลาย ethyl ether หรือ hexane สกัดน้ำมันออกจากกากถั่วเหลือง โดยอาจทำการสกัดซ้ำได้มากกว่าหนึ่งครั้ง (Mateos-Aparicio *et al*., 2010, Yoshida and Prudencio, 2020)

บทสรุป

กากถั่วเหลืองเป็นผลพลอยได้จากการผลิตนมถั่วเหลืองที่มีศักยภาพในการนำมาใช้ประโยชน์ได้ เนื่องจากมีคุณสมบัติในการเป็นสารปรุงแต่งเนื้อสัมผัส มีปริมาณโปรตีน และเส้นใยสูง แต่กากถั่วเหลืองมีข้อจำกัดเรื่องปริมาณความชื้น ปริมาณไขมัน และมีสารต้านโภชนาการ จึงจำเป็นต้องมีกระบวนการในการปรับสภาพกากถั่วเหลืองให้เหมาะสม และปรับปรุงคุณภาพของกากถั่วเหลืองให้มากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. 2560. รายงานสถานการณ์ขยะมูลฝอยชุมชนของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2559. https://www.pcd.go.th/publication/3811/ [11 ตุลาคม 2564].

Aplevic KS and Demiate IM. 2007. Physicochemical analyses of commercial samples of cheese bread premix and production of cheese breads with addition of okara. Cienc Agrotecnol. 31 : 1416-1422.

Bedani R, Rossi EA and Saad SM. 2013. Impact of inulin and okara on *Lactobacillus acidophilus* La-5 and *Bifidobacterium animalis* Bb-12 viability in a fermented soy product and probiotic survival under *in vitro* simulated gastro-intestinal conditions**.** Food Microbiol. 34 : 382-389.

Chan WM and Ma CY. 1999. Acid modification of proteins from soymilk residue (okara). Food Res. Int. 32 :119-127.

Colletti A, Attrovio A, Boffa L, Mantegna S and Cravotto G. 2020. Valorisation of by-products from soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) Processing**.** Molecules. 25 : 2129.

Cui D and Luo L. 1997. Drying and production of soybean residue**.** Modern Agric. 1 : 37-37.

Del Rio D, Rodriguez-Mateos A, Spencer JP, Tognolini M, Borges G and Crozier A. 2013. Dietary (poly) phenolics in human health : Structures, bioavailability, and evidence of protective effects against chronic diseases. Antioxid Redox Signaling. 18 : 1818-1892.

Deng J, Xu Z, Xiang C, Liu J, Zhou L, Li T, Yang Z and Ding C. 2017. Comparative evaluation of maceration and ultrasonic-assisted extraction of phenolic compounds from fresh olives. Ultrason Sonochem. 37 : 328-334.

Espinosa-Martos I and Rupérez P. 2009. Indigestible fraction of okara from soybean : Composition, physicochemical properties and *in vitro* fermentability by pure cultures of *Lactobacillus acidophilus* and *Bifidobacterium bifidum*. Eur Food Res Technol. 228 : 685-693.

Fujita T, Funako T and Hayashi H. 2004. 8-Hydroxydaidzein, an aldose reductase inhibitor from okara fermented with *Aspergillus* sp. HK-388. Biosci Biotechnol Biochem. 68 : 1588-1590.

Guimarães RM, Ida EI, Falcão HG, Rezende TAM, Silva JS, Alves CCF, Silva MAP and Egea MB. 2020. Evaluating technological quality of okara flours obtained by different drying processes**.** LWT - Food Science and Technology. 123 : 109062.

Gurfinkel DM and Rao AV. 2003. Soybeansaponins : The relationship between chemical structure and colon anticarcinogenic activity. Nutr Cancer. 47 : 24-33.

Hinks CF and Hupka D. 1995. The effects of feeding leaf sap from oats and wheat, with and without soybean trypsin inhibitor, on feeding behaviour and digestive physiology of adult males of Melanoplus sanguinipes. J Insect Physiol. 41 : 1007-1015.

Japakaset J, Wongkhalaung C and Leelawatcharamas V. 2009. Utilisation of soybean residue to produce monacolin K-cholesterol lowering agent. Songklanakarin J. Sci. Technol. 31 : 35-39.

Katayama M and Wilson LA. 2008. Utilization of okara, a byproduct from soymilk production, through the development of soy-based snack food. J Food Sci. 73 : 152-157.

Li FD, Li LT, Sun JF and Tatsumi E. 2006. Effect of electrohydrodynamic (EHD) technique on drying process and appearance of okara cake**.** J Food Eng. 77 : 275-280.

Li S, Chen Y, Li K, Lei Z and Zhang Z. 2016. Characterization of physicochemical properties of fermented soybean curd residue by Morchella esculenta. Int Biodeterior Biodegradation. 109 : 113-118.

Li S, Sang Y, Zhu D, Yang Y, Lei Z and Zhang Z. 2013. Optimization of fermentation conditions for crude polysaccharides by Morchella esculenta using soybean curd residue**.** Ind. Crops Prod. 50 : 666-672.

Mateos-Aparicio I, Mateos-Peinado C and Rupérez P. 2010. High hydrostatic pressure improves the functionality of dietary fibre in okara by-product from soybean. Innov Food Sci Emerg Technol. 11 : 445-450.

Oh SM, Jang EK, Seo JH, Ryu MJ and Lee SP. 2007. Characterization of γ-polyglutamic acid produced from the solid-state fermentation of soybean milk cake using *Bacillus* sp. Food Sci Biotechnol. 16 : 509-514.

Quitain AT, Oro K, Katoh S and Moriyoshi T. 2006. Recovery of oil components of okara by ethanol-modified supercritical carbon dioxide extraction. Bioresour Technol. 97 : 1509-1514.

Privatti Rt and Rodrigues CEC. 2021. An Overview of the Composition, Applications, and Recovery Techniques of the Components of Okara Aimed at the Biovalorization of This Soybean Processing Residue. Taylor & Francis Group. 13.

Rashad MM, Mahmoud AE, Abou HM and Nooman MU. 2011. Improvement of nutritional quality and antioxidant activities of yeast fermented soybean curd residue. Afr J Biotechnol. 10 : 5504-5513.

Shi M, Yang Y, Hu X ang Zhang Z. 2014. Effect of ultrasonic extraction conditions on antioxidative and immunomodulatory activities of a *Ganoderma lucidum* polysaccharide originated from fermented soybean curd residue. Food Chem. 155 : 50-56.

Taruna I and Jindal VK. 2002. Drying of soy pulp (okara) in a bed of inert particles. Drying Technol. 20 : 1035-1051.

Wachiraphansakul S and Devahastin S. 2005. Drying kinetics and quality of soy residue (okara) dried in a jet spouted bed dryer. Drying Technol. 23 : 1229-1242.

Wang HJ and Murphy PA. 1996. Mass balance study of isoflavones during soybean processing. J Agric Food Chem**.** 44 : 2377-2383.

Web of science. 2021. https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/4f909657-3888-4162-a735-e53b918b372d-0bce4e37/relevance/1. [5 ตุลาคม 2564].

Yoshida BY and Prudencio SH. 2020. Physical, chemical, and technofunctional properties of okara modified by a carbohydrase mixture. LWT Food Sci Technol. 134 : 110141.

Zhu D, Sun H, Li S, Hu X, Yuan X, Han C and Zhang Z. 2015. Influence of drying methods on antioxidant activities and immunomodulatory of aqueous extract from soybean curd residue fermentated by Grifola frondosa. Int J Biol. 7 : 82.