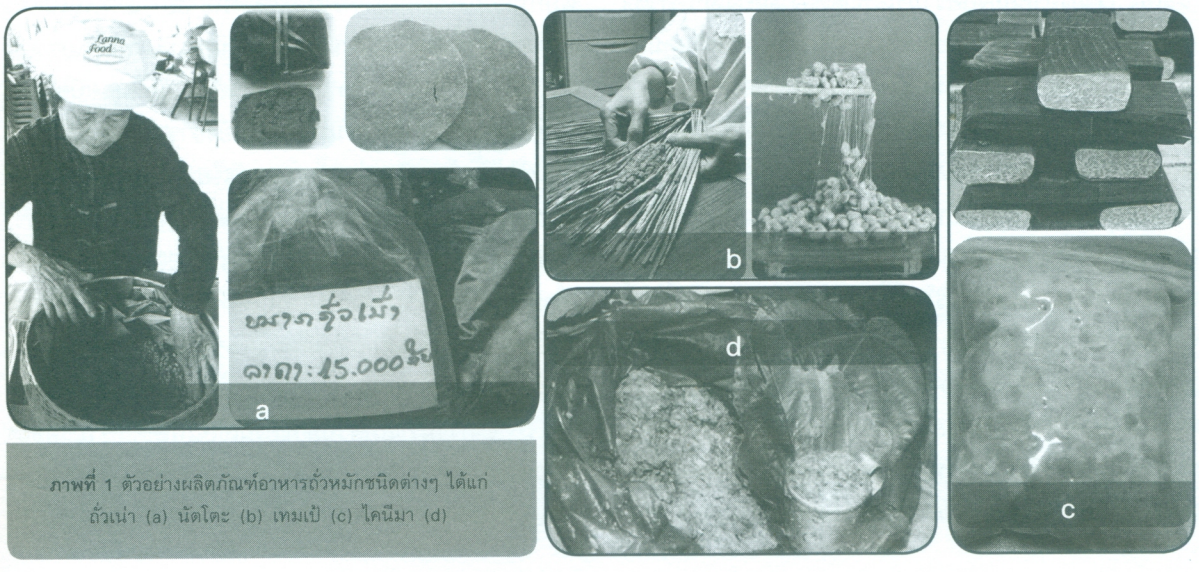
วิทยาศาสตร์น่ารู้ของ "ถั่วหมัก"

366930

ดร. ไพโรจน์ วงศ์พุทธิสิน
อาจารย์
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ถั่วหมัก (Fermented soybean) เป็นคำที่ใช้เรียกกันทั่วไปของอาหารหมักที่ทำมาจากถั่วเหลือง ซึ่งจัดว่าเป็นอาหารพื้นบ้านที่นิยมบริโภคกันในหลายประเทศของทวีปเอเชียและแอฟริกา ประเทศไทย มีการทำถั่วหมักไว้บริโภคเช่นกัน แต่แพร่หลายเพียงในเขตภาคเหนือเท่านั้น โดยคนไทยภาคเหนือเรียกอาหารชนิดนี้ว่า "ถั่วเน่า" ทั้งนี้เนื่องมาจากกลิ่นที่ค่อนข้างรุนแรงคล้ายกับถั่วที่เน่าเสียแล้ว ในขณะที่ชาวไทลื้อที่อาศัยในภาคเหนือของประเทศไทยได้เรียกถั่วหมักนี้ว่า "ถั่วโอ่" โดยคำว่า "โอ่" ก็แปลว่า "เน่า" เช่นกัน คาดว่าวัฒนธรรมการทำและบริโภคถั่วเน่าของประเทศไทย น่าจะมาจากชาวไทยใหญ่ ซึ่งอาศัยอยู่ในรัฐฉานของประเทศพม่า โดยถั่วเน่านี้สามารถนำมาบริโภคได้หลากหลายวิธี แต่โดยหลักแล้วจะนิยมบริโภคกันในสองรูปแบบ คือ ถั่วเน่าห่อ (ถั่วเน่าเมอะ) หรือถั่วเน่าสดนั่นเอง ซึ่งจะมีการปรุงรสชาติแล้วนำมาบดและนึ่งก่อนบริโภคและถั่วเน่าแผ่น (ถั่วเน่าแค่ป) ซึ่งเป็นการแปรรูปถั่วเน่าสดให้สามารถเก็บรักษาได้นานขึ้น ด้วยการปรุงรสชาติตามชอบและนำมาบดให้ละเอียดก่อนที่จะนำมาอัดให้เป็นแผ่นบางด้วยใบผาแป้ง และตากให้แห้งเก็บไว้บริโภคซึ่งอาจนำมาย่างหรือทอด โดยรับประทานกับข้าวเหนียว หรือใช้เป็นเครื่องปรุงในการประกอบอาหารต่าง ๆ ตามตำรับของชาวเหนือ แต่ปัจจุบันเราจะพบการบริโภคถั่วเน่าน้อยลง อาจเนื่องมาจากวิถีการดำเนินชีวิตและการบริโภคที่เปลี่ยนไป คนในปัจจุบันที่ได้รับอิทธิพลจากการบริโภคอาหารตะวันตกกันมากขึ้น อย่างไรก็ตาม เราก็ยังสามารถหาซื้อถั่วเน่าได้ตามท้องตลาดทั่วไป

ดังที่ได้กล่าวข้างต้นว่า ถั่วหมักได้รับความนิยมบริโภคในหลายประเทศ ไม่ว่าจะเป็นเพื่อนบ้านในภูมิภาคอาเซียน อย่างเช่น พม่า ลาว อินโดนีเซีย มาเลเซีย ฟิลิปปินส์ ไปจนถึงภูมิภาคอื่น ๆ เช่น ญี่ปุ่น เกาหลี จีน อินเดีย เนปาล แอฟริกา ตะวันตก และไนจีเรีย เป็นต้น ชื่อเรียกก็จะเป็นภาษาเฉพาะของแต่ละภูมิภาค บางครั้งวัตถุดิบและกรรมวิธีในการผลิตก็จะแตกต่างไปบ้าง ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ถั่วหมักจากประเทศต่าง ๆ ได้แสดงในตารางที่ 1 และภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์อาหารถั่วหมักชนิดต่างๆ ได้แก่ ถั่วเน่า (a) นัตโตะ (b) เทมเป้ (c) ไคนีมา (d)

ตารางที่ 1 แสดงรายชื่อผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองหมักในแต่ละภูมิภาคของโลกและชนิดของจุลินทรีย์หลักที่มีบทบาทในการหมักถั่วเหลือง

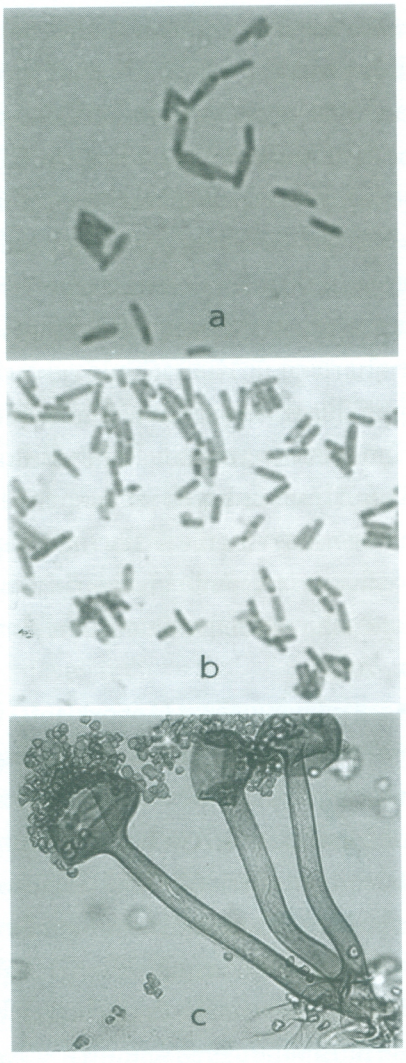
ชื่อผลิตภัณฑ์	วัตถุดิบ	ประเทศ	จุลินทรีย์หลักที่พบ
ดัดดาว่า (Daddawa)	เมล็ดถั่วเหลือง	ไนจีเรีย	*Bacillus subtilis*
ไคนีมา (Kinema)	เมล็ดถั่วเหลือง	เนปาล อินเดีย	*Bacillus subtilis*
นัตโตะ (Natto)	เมล็ดถั่วเหลือง	ญี่ปุ่น	*Bacillus subtilis* *Bacillus natto*
Oncom	เมล็ดถั่วลิสง	ชวาตะวันออก (อินโดนีเซีย)	*Rhizopus, Neurospora*
Sufu	เต้าหู้ถั่วเหลือง	จีน	*Mucor, Actinomucor*
เทมเป้ (Tempe)	เมล็ดถั่วเหลือง	อินโดนีเซีย	*Rhizopus oligosoporus*
ถั่วเน่า	เมล็ดถั่วเหลือง	ไทย ลาว พม่า	*Bacillus subtilis*
มิโสะ (Miso)	เมล็ดถั่วเหลืองและข้าว	ญี่ปุ่น	*Aspergillus oryzae*, yeast
Makjang	ถั่วเหลืองบด	เกาหลี	-
Pehtze	เต้าหู้ถั่วเหลือง	จีน ไต้หวัน	-

ที่มา: ดัดแปลงจาก Hesseltine, 1989.

หากจะสืบค้นไปถึงประวัติการคิดค้นอาหารประเภทถั่วหมักของแต่ละประเทศ อาจจะทำได้ยาก แต่ผู้เขียนสันนิษฐานว่า น่าจะเกิดจากความบังเอิญที่ถั่วเหลืองต้มสุกนั้นได้เกิดการเปลี่ยนแปลงด้วยตัวเอง ภายหลังการเก็บไว้เป็นเวลานาน เมื่อได้ทดลองชิมก็พบว่า รสชาติถูกใจ จึงมีการลองผิดลองถูกและผลิตด้วยวิธีการอย่างง่ายนี้เรื่อยมา บางท้องถิ่นก็มีการปรับปรุงและพัฒนาสูตรให้มีคุณภาพและรสชาติเป็นที่ชื่นชอบมากขึ้น จนกลายเป็นผลิตภัณฑ์ถั่วหมักที่หลากหลาย แต่ด้วยองค์ความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่มีมากขึ้นก็ทำให้เราได้เข้าใจศาสตร์ที่ว่าด้วยการทำถั่วหมักมากขึ้นว่าแท้ที่จริงแล้วตัวการสำคัญที่ช่วยเราแปรรูปถั่วเหลืองให้กลายเป็นถั่วหมัก คือ สิ่งมีชีวิตตัวเล็กที่เราเรียกว่า "จุลินทรีย์" นั่นเอง เรายังอาศัยองค์ความรู้เฉพาะทาง อย่างเช่น สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ (Biotechnology) ช่วยในการควบคุมให้กระบวนการหมักถั่วเหลืองเป็นไปตามที่เราต้องการ ทำให้ได้ถั่วหมักคุณภาพสูง ไม่เพียงเท่านั้นจากการร่วมกันศึกษาวิจัยของนักวิทยาศาสตร์หลากหลายแขนงทั่วโลก ก็ทำให้เราทราบด้วยว่า ถั่วหมักไม่เพียงเป็นแหล่งอาหารโปรตีนที่แสนอร่อยเท่านั้น แต่ยังเป็นแหล่งของสารอาหารสำคัญอื่น ๆ ที่ก่อประโยชน์แก่ร่างกายผู้บริโภคอย่างมหาศาล บทความนี้ผู้เขียนจะอธิบายถึงบทบาทของจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ที่มีต่อกระบวนการหมักถั่วเหลืองและคุณค่าทางโภชนาการที่เราจะได้รับเมื่อบริโภคถั่วเหลืองหมัก คาดว่าท่านผู้อ่านน่าจะได้เปลี่ยนมุมมองหันมาบริโภคถั่วหมักกันมากขึ้นบทบาทของจุลินทรีย์ในการผลิตถั่วหมัก

หลายคนเมื่อได้ยินคำว่า "จุลินทรีย์" "แบคทีเรีย" หรือ "เชื้อรา" ก็มักจะเกิดทัศนคติที่ไม่ดีต่อสิ่งมีชีวิตเล็ก ๆ เหล่านี้ เพราะถูกตราหน้าว่าเป็น "เชื้อโรค" แต่จริง ๆ แล้วจุลินทรีย์ก็เหมือนมนุษย์เราที่มีทั้งกลุ่มที่ดีและไม่ดี มนุษย์เรียนรู้ที่จะใช้ประโยชน์จากเชื้อจุลินทรีย์กลุ่มที่ดีมาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำจุลินทรีย์มาใช้ในการผลิตอาหาร เมื่อย้อนกลับมาดูในถั่วหมัก ก็จะพบว่า มีเชื้อจุลินทรีย์หลากหลายชนิดที่ทำงานร่วมกันและอาศัยอยู่ แต่ก็มีไม่กี่ชนิดที่เป็นเชื้อตัวหลัก ยกตัวอย่าง เช่น ในถั่วเน่าของไทยเราถั่วหมักดัดดาว่าของแอฟริกาและถั่วหมักไคนีมา ของอินเดียจะมีแบคทีเรียที่มีชื่อว่า *Bacillus subtilis* (ภาพที่ 2a) เป็นเชื้อหลักในการหมัก ส่วนถั่วหมักนัตโตะจะมีเชื้อหลัก คือ แบคทีเรีย *Bacillus natto* (ภาพที่ 2b) แต่เทมเป้ของอินโดนีเซียนั้นจะมีเชื้อราที่ชื่อว่า *Rhizopus oligosporus* (ภาพที่ 2c) เป็นเชื้อหลัก จุลินทรีย์หลักในถั่วหมักชนิดอื่น ๆ ก็ได้แสดงในตารางที่ 1 นอกจากนี้ ยังอาจพบจุลินทรีย์กลุ่มอื่น ๆ ได้อีกด้วย ตัวอย่างเช่น แบคทีเรียกรดแลคติก (Lactic acid bacteria) และยีสต์ (Yeasts) เป็นต้น หลายคนอาจสงสัยว่าเชื้อเหล่านี้มาจากไหนและใครใส่มันไป? แท้ที่จริงแล้วเชื้อเหล่านี้เป็นเชื้อในท้องถิ่นที่พบได้ทั่วไป อาจมาจากภาชนะที่ใช้หมัก ใบไม้ที่ใช้ห่อถั่วหมัก อากาศ น้ำ หรือแม้แต่จากตัวผู้หมักถั่วเอง

จากงานวิจัยที่ผ่านมาของผู้เขียนที่ได้ศึกษาชนิดของจุลินทรีย์ซึ่งอยู่ในผลิตภัณฑ์ถั่วเน่าจากจังหวัดเชียงใหม่ พบว่ามีแบคทีเรียมากกว่า 20 ชนิดที่อาศัยอยู่ในนั้น ซึ่งส่วนใหญ่



ภาพที่ 2 แสดงลักษณะเซลล์ของเชื้อที่พบในผลิตภัณฑ์ถั่วหมักบางชนิด ได้แก่ *Bacillus subtilis* (a) *Bacillus natto* (b) และ *Rhizopus oligosporus* (c)

เป็นแบคทีเรียกลุ่ม *Bacillus* sp. จุลินทรีย์เหล่านี้ต้องการที่จะเจริญเติบโตบนเมล็ดถั่วเหลืองซึ่งมีสารอาหารที่อุดมสมบูรณ์ไม่ว่าจะเป็นโปรตีน แป้ง และไขมัน ดังนั้น เชื้อจึงมีการผลิตเอนไซม์หลากหลายชนิดออกมา เพื่อทำการย่อยสารอาหารก่อนที่จะดูดซึมเข้าไป เพื่อใช้ในการเจริญของพวกมัน ผลจากการย่อยสลายดังกล่าว ทำให้เกิดเป็นกรดอะมิโนอิสระ กรดไขมันอิสระ สารประกอบไนโตรเจนต่าง ๆ ที่เอื้อให้เกิดการสังเคราะห์กลิ่นและรสชาติที่เป็นเอกลักษณ์ของถั่วหมักแต่ละชนิดขึ้นมา เนื้อสัมผัสของถั่วหมักก็ขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อ เช่นกัน โดยกรณีของถั่วเน่า นัตโตะ และไคนีมา ซึ่งหมักด้วยแบคทีเรีย *Bacillus* นั้น จะมีลักษณะลื่นจากเมือกที่เคลือบโดยอยู่รอบเมล็ดถั่วเหลือง โดยเฉพาะอย่างยิ่งถั่วหมักนัตโตะที่หมักโดยแบคทีเรีย *Bacillus* สายพันธุ์ *Natto* นั้น เมือกจะมีลักษณะเหนียวยืดกว่าถั่วหมักชนิดอื่น ๆ คล้ายใยแมงมุม เนื่องจากแบคทีเรียกลุ่มนี้สามารถผลิตสาร Poly-gamma-glutamic acid (gamma-PGA) ขึ้นมา ซึ่งเป็นโพลิเมอร์ของกรดอะมิโนชนิดกรดกลูตามิก ชาวญี่ปุ่นชื่นชอบถั่วหมักที่มีลักษณะเช่นนี้มาก สารโพลิเมอร์ ชนิดนี้มีประโยชน์ในเชิงสุขภาพและสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก แต่ถั่วหมักที่ผลิตจากเชื้อรา เช่น เทมเป้ที่ใช้เชื้อรา *Rhizopus oligosporus* จะไม่มีลักษณะเป็นเมือกลื่น แต่เส้นใย (mycelium) สีขาวของเชื้อรานี้จะเจริญเติบโตและชอนไชเข้าไปในเมล็ดถั่วเหลือง ทำให้ยึดแต่ละเมล็ดเข้าไว้ด้วยกันจนแน่น เกิดเป็นก้อนถั่วเหลืองขึ้น คล้ายก้อนเพาะเห็ด เวลาจะรับประทานสามารถตัดเป็นแผ่นหรือเป็นชิ้น ๆ ได้

ชนิดของจุลินทรีย์ก็มีบทบาทเป็นอย่างมากต่อกลิ่นและรสของถั่วหมัก โดยถั่วหมักที่มีแบคทีเรีย *Bacillus* sp. อาศัยอยู่เป็นหลักจะมีกลิ่นฉุนของก๊าซแอมโมเนียเกิดขึ้น ซึ่งมาจากกระบวนการย่อยสลายของกรดอะมิโนในถั่วเหลือง นักวิจัยบางกลุ่มที่ได้ศึกษากลิ่นของถั่วเน่าที่หมักด้วยเชื้อบริสุทธิ์ (Pure culture) ของ *Bacillus subtilis* ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ที่เรียกว่า GC-MS พบว่า มีสารระเหย (Volatiles) กว่า 85 ชนิด เป็นองค์ประกอบแต่ชนิดหลักได้แก่ 2, 5-dimethylpyrazine, 2-methylbutanoic acid, 2, 3, 5-trimethylpyrazine, 2-methylpropanoic acid และกรดอะซิติก แต่ในถั่วเน่าที่หมักตามธรรมชาติ (เชื้อผสม) จะพบสารระเหยชนิดหลัก ได้แก่ 2, 5-dimethylpyrazine, benzaldehyde, 5-methyl-3-hexanone, 2-butanone และ 3-methyl-2-pentanone (Dajanta และคณะ, 2011) ในขณะที่เทมเป้ที่ใช้เชื้อรา *Rhizopus oligosporus* นั้นจะไม่มีกลิ่นฉุน แต่กลับมีกลิ่นที่หอมชวนรับประทานแทนสารให้กลิ่น (Aroma) ในเทมเป้ พบว่า ส่วนใหญ่เป็นสาร ชนิด 2-acetyl-1-pyrroline, 2-ethyl-3, 5-dimethylpyrazine, dimethyl trisulfide, methional, 2-methylppropanal และ (E, E)-2, 4-decadienal (Jelén และคณะ, 2013)

คุณค่าทางโภชนาการของถั่วหมัก

หลายครั้งที่ผู้เขียนได้บรรยายให้แก่นักศึกษาทั้งในและนอกสถาบันเกี่ยวกับเรื่องเทคโนโลยีชีวภาพของการผลิตถั่วหมัก ก็มักจะเริ่มต้นด้วยคำถามที่ว่า “ถั่วเหลืองมีประโยชน์ต่อร่างกายผู้บริโภคหรือไม่?” และตามด้วยอีกหนึ่งคำถาม คือ “แล้วถั่วเหลืองที่ผ่านการหมักล่ะ...จะยังมีประโยชน์ต่อร่างกายผู้บริโภคหรือไม่?” คำตอบที่ได้รับจากนักศึกษา มักเป็นเพียงคำตอบของคำถามแรกนั้นคือ ตอบว่า “มี” และนักศึกษายังสามารถตอบได้อีกว่า “เพราะในถั่วเหลืองเป็นแหล่งของโปรตีนจึงมีประโยชน์ต่อร่างกาย” ผู้เขียนจึงช่วยให้ข้อมูลเพิ่มเติมว่า “ในถั่วเหลืองยังมีสารอาหารอื่น ๆ เช่นแป้ง ไขมัน

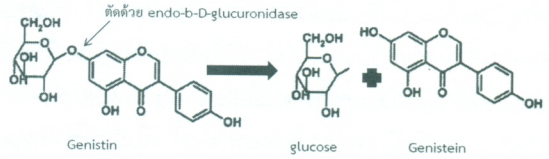
สารต้านอนุมูลอิสระกลุ่มไอโซฟลาโวน (Isoflavones) เป็นต้น แต่ก็ยังพบสารที่เป็นโทษแก่ผู้บริโภคบ้างเรียกว่า สารต้านโภชนะ (Antinutritional factors; ANF)" แต่คำตอบจากคำถามที่สองนั้น ผู้เขียนไม่เคยได้รับในทันที จึงต้องบรรยายเพิ่มเติมให้นักศึกษารู้ถึงบทบาทหน้าที่ของจุลินทรีย์ที่เจริญอยู่ในถั่วเหลืองหมักเสียก่อน จึงจะได้รับคำตอบของคำถามที่สองจากนักศึกษา ในหัวข้อนี้ผู้เขียนจึงแจกแจงให้เห็นถึงคุณค่าทางโภชนาการของถั่วเหลืองหมักซึ่งยืนยันจากงานทดลองทางวิทยาศาสตร์ของนักวิจัยหลาย ๆ กลุ่ม

- **ถั่วเหลืองหมักสามารถย่อยได้ง่ายในทางเดินอาหารมากกว่าถั่วเหลือง :** เนื่องจากจุลินทรีย์ที่ใช้หมักถั่วเหลืองสามารถผลิตเอนไซม์หลายชนิดขึ้นมา เพื่อย่อยเส้นใยต่าง ๆ ในถั่วเหลือง ยกตัวอย่างเช่น เอนไซม์โปรติเอส (Protease) ย่อยโปรตีน เอนไซม์อะมัยเลส (Amylase) ย่อยแป้ง เอนไซม์เซลลูเลส (Cellulase) ย่อยเซลลูโลส (Cellulose) เอนไซม์เบต้า-แมนนาเนส (Beta-mannanase) ย่อยเบต้า-แมนแนน (beta-mannan) และเอนไซม์ไซลาเนส (Xylanase) ย่อยไซแลน (Xylan) เป็นต้น ผลจากการทำงานของเอนไซม์เหล่านี้ ทำให้เส้นใยต่าง ๆ ถูกตัดให้สั้นลงจนกระทั่งอาจกลายเป็นเพียงหน่อยย่อย ร่างกายก็จะสามารถย่อยและดูดซึมสารอาหารเหล่านี้ได้ง่ายขึ้นนั่นเองเรียกได้ว่าถั่วหมักจะมีค่าการย่อยได้ (Digestibility) และค่าการดูดซึมได้ (Absorbability) ที่สูงกว่าถั่วเหลือง ดังเช่นรายงานวิจัยของ Kiers และคณะ (2000) ที่พบว่า ค่าการย่อยได้ของถั่วเหลืองที่หมักด้วยแบคทีเรีย *Bacillus* sp. เพิ่มขึ้นจาก29% เป็น 33-43% และค่าการดูดซึมได้ก็เพิ่มจาก 6.4% เป็น 32-39.9%

- **ปริมาณกรดอะมิโนอิสระ (Free amino acid) ของถั่วหมักสูงกว่าถั่วเหลือง :** ผลจากการทำงานของเอนไซม์โปรติเอสทำให้โปรตีนถูกย่อยให้เป็นหน่วยที่เล็กที่สุด นั่นคือ กรดอะมิโนซึ่งร่างกายสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้โดยตรง จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ HPLC ชนิด Reversed-phase ทำให้พบว่าถั่วเน่ามีกรดอะมิโนอิสระเพิ่มขึ้นถึง 15 เท่า เมื่อเทียบกับก่อนหมัก (Dajanta และคณะ, 2011) ส่วนกรดอะมิโนอิสระในถั่วหมักไคนีมานั้นพบว่ามีมากกว่าถั่วเหลืองถึง 60 เท่า (Sarkar และคณะ, 1997)นั่นแสดงให้เห็นว่าร่างกายย่อมได้รับประโยชน์จากถั่วหมักในแง่โปรตีนสูงกว่าถั่วเหลืองอย่างแน่นอน

- **วิตามินที่หลากหลายในถั่วหมัก :** จุลินทรีย์ที่ใช้หมักถั่วเหลืองมีศักยภาพสามารถสังเคราะห์วิตามินได้หลายชนิด ดังนั้นจึงพบว่า มีวิตามินหลายชนิดที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นภายหลังจากการหมัก ดังเช่น รายงานวิจัยของ Sarkar และคณะ (1998) ที่ศึกษาในถั่วหมักไคนีมาและพบว่า วิตามินบี 2 (Riboflavin) และวิตามินบี 3 (Niacin) เพิ่มขึ้นจาก 3.4 เป็น 11.6 mg/kg น้ำหนักแห้ง และจาก 0 ไปเป็น 44.8 mg/kg น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ส่วนวิตามินบี 12 ก็ตรวจพบในเทมเป้ในปริมาณ 2-40 µg/kg ทั้งที่วิตามินชนิดนี้แทบไม่พบในถั่วเหลือง (Noutและ Kiers, 2005) วิตามินเค ก็เป็นอีกหนึ่งชนิดที่ถูกศึกษาในถั่วหมัก นักวิจัยพบว่า แบคทีเรีย *Bacillus subtilis* ในนัตโตะสามารถผลิตวิตามินเคได้ โดยผลิตได้สูงถึง 800-900 µg/100 g (Sato และคณะ, 2001) วิตามินเคนี้มีบทบาทช่วยในเรื่องการแข็งตัวของเลือดและการการสะสมของแร่ธาตุในกระดูก นักวิจัยชาวญี่ปุ่นได้รายงานว่า จำนวนผู้หญิงญี่ปุ่นที่มีปัญหากระดูกสะโพกหักมักพบได้บ่อยในแถบภาคตะวันออกของประเทศ เช่น โตเกียวซึ่งเป็นภูมิภาคที่ไม่ค่อยนิยมบริโภคนัตโตะ แต่ฝั่งตะวันตกของประเทศซึ่งนิยมกินนัตโตะมากกว่า เช่น เมืองฮิโรชิมา กลับพบอุบัติการณ์ของอาการนี้น้อยกว่า ซึ่งสัมพันธ์กับระดับวิตามินเคในเลือดที่มีระดับสูงกว่าในกลุ่มตัวอย่างที่นิยมบริโภคนัตโตะ (Kaneki และคณะ, 2001)

- **สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidants) ที่เพิ่มขึ้น :** โดยปรกติถั่วเหลืองมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระอยู่แล้ว เพราะมีสารต้านอนุมูลอิสระหลายชนิดเป็นองค์ประกอบ ไม่ว่าจะเป็นไอโซฟลาโวน (Isoflavones) สารประกอบฟีนอลิก (Phenolic compounds) และวิตามินอี เป็นต้น แต่ภายหลังจากหมักก็จะพบว่า ความสามารถต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น ทั้งนี้สามารถอธิบายได้หลายกลไก ได้แก่ (1) จุลินทรีย์ในถั่วหมักช่วยผลิตสารประกอบฟีนอลิกเพิ่มขึ้น (2) ไอโซฟลาโวนในถั่วเหลืองที่ปรกติอยู่ในรูปของไกลโคไซด์ (Glycosides) กล่าวคือโมเลกุลเชื่อมต่ออยู่กับน้ำตาล พันธะดังกล่าวจะถูกตัดด้วยเอนไซม์กลูโคซิเดส (Glucosidase) หรือ กลูคิวโรนิเดส (Glucuronidase) ทำให้โมเลกุลไอโซฟลาโวนมีขนาดเล็กลง ซึ่งเป็นรูปแบบโมเลกุลที่มีความสามารถต้านอนุมูลอิสระได้ดีกว่าที่อยู่ในรูปแบบไกลโคไซด์ (โครงสร้างของไอโซฟลาโวนแสดงดังภาพที่ 3) (3) กรดอะมิโนอิสระมักมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้ดี โดยเฉพาะอย่างยิ่ง กรดอะมิโนชนิดเมทไทโอนีน (Methionine) ไทโรซีน (Tyrosine) ฮิสติดีน (Histidine) ไลซีน (Lysine) และทริบโตฟาน (Tryptophan) ดังนั้น กรดอะมิโนอิสระที่เพิ่มขึ้นจากการย่อยสลายโปรตีน

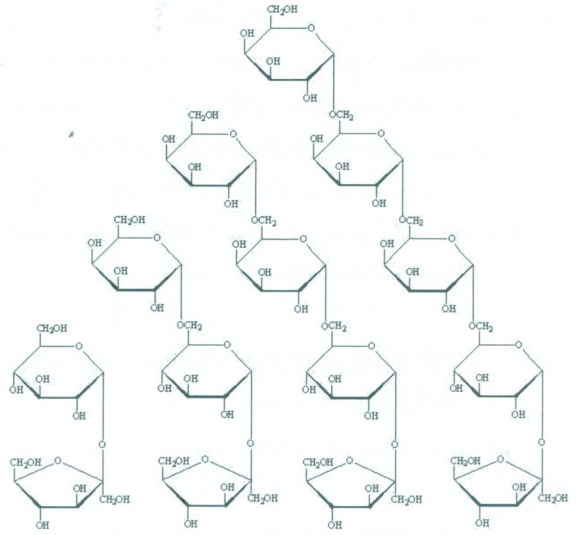


ภาพที่ 3 แสดงตัวอย่างสารไอโซฟลาโวนชนิด Genistin ในถั่วเหลือง เมื่อถูกสลายพันธะด้วยเอนไซม์ glucuronidase จากเชื้อในถั่วหมัก และได้ผลผลิตเป็น Genistein

ด้วยเอนไซม์โปรตีเอสที่เชื้อผลิตขึ้น จึงเพิ่มความสามารถต้านอนุมูลอิสระให้กับถั่วเหลืองได้ จากงานวิจัยของผู้เขียนเองก็ได้ศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของกากถั่วเหลืองเปรียบเทียบกากถั่วเหลืองหมักด้วยเชื้อ *Bacillus subtilis* ก็ได้พบว่า ความสามารถในการขจัดอนุมูลอิสระชนิด ABTS+. (Scavenging activity) เพิ่มขึ้นจาก 25.17% ไปเป็น 98.97% ส่วนความสามารถในการรีดิวซ์ (Reducing power) เพิ่มขึ้นจาก 0.299 เป็น 1.031 (Wongputtisin และคณะ, 2007)

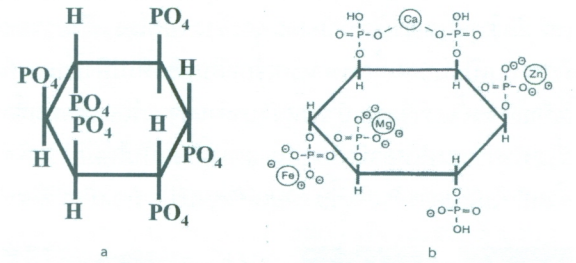
- จุลินทรีย์ในถั่วเหลืองหมักช่วยกำจัดสารต้านโภชนะในถั่วเหลือง: สารต้านโภชนะหมายถึงสารที่อยู่ในอาหารแต่ร่างกายกลับไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ทั้งยังทำหน้าที่ขัดขวางไม่ให้ร่างกายใช้ประโยชน์จากสารอาหารอื่น ๆ ที่รับประทานเข้าไปซึ่งในถั่วเหลืองมีสารประเภทนี้อยู่หลายชนิด แต่สารกลุ่มนี้จะถูกกำจัดออกไปโดยอาศัยจุลินทรีย์ที่อยู่ในถั่วหมัก ยกตัวอย่างเช่น

1. น้ำตาลโอลิโกแซคคาไรด์กลุ่มราฟฟิโนส (Raffinose family oligosaccharides; RFOs) : น้ำตาลกลุ่มนี้ประกอบไปด้วยสมาชิกที่สำคัญ ได้แก่ น้ำตาลราฟฟิโนส (Raffinose) สตาชิโอส (Stachyose) และเวอร์บาสโคส (Verbascose) ที่มีโครงสร้างดังแสดงในภาพที่ 4 ซึ่งทางเดินอาหารของทั้งคนและสัตว์ไม่สามารถย่อยน้ำตาลกลุ่มนี้ได้ เป็นสาเหตุทำให้ผู้บริโภครู้สึกท้องอืด แต่จุลินทรีย์ในถั่วหมักสามารถผลิตเอนไซม์แอลฟา-กาแลกโตซิเดส (Alpha-galactosidase) ที่สามารถย่อยน้ำตาลเหล่านี้ขึ้นมาได้ ดังนั้น การบริโภคถั่วหมักจึงไม่ทำให้เกิดอาการท้องอืด



ภาพที่ 4 แสดงโครงสร้างทางเคมีของน้ำตาลซูโครสและโอลิโกแซคคาไรด์กลุ่มราฟฟิโนส ได้แก่ ซูโครส (a) ราฟฟิโนส (b) สตาชิโอส (C) และเวอร์บาสโคส (d)

2. กรดไฟติก (Phytic acid; myo-inositol 1,2,3,4,5,6-hexakisdihydrogen phosphate) : สารชนิดนี้มีโครงสร้างดังแสดงในภาพที่ 5a เป็นแหล่งสะสมฟอสเฟสที่สำคัญในเมล็ดพืชและเกสร แต่ร่างกายคนและสัตว์ไม่ผลิตเอนไซม์ไฟเตส (Phytase) เพื่อย่อยเอาฟอสเฟสจากกรดไฟติกนี้มาใช้ประโยชน์ได้ ไม่เพียงเท่านั้น กรดไฟติกยังสามารถเข้าจับกับโปรตีนและแร่ธาตุที่สำคัญต่าง ๆ เช่น เหล็ก สังกะสี แมกนีเซียมแมงกานีส ทองแดง และแคลเซียม (ภาพ 5) ในทางเดินอาหาร ทำให้ร่างกายไม่สามารถดูดซึมแร่ธาตุเหล่านี้ไปใช้ประโยชน์ แต่ในถั่วหมักนั้นพบว่า แบคทีเรียกลุ่ม *Bacillus* sp. และรา *Rhizopus* sp. สามารถผลิตเอนไซม์ไฟเตสได้ ดังนั้นจึงพบว่ากรดไฟติกในถั่วเหลืองได้ลดลงไปและมีปริมาณฟอสเฟตอิสระเพิ่มมากขึ้น ผู้บริโภคจึงได้รับประโยชน์ที่มากขึ้น ดังผลการศึกษาของผู้เขียนที่พบว่าการหมักกากถั่วเหลืองด้วยเชื้อถั่วเน่า นัตโตะและเทมเป้ ทำให้ปริมาณฟอสเฟสเพิ่มขึ้นถึง 3.13, 2.82 และ 2.50 เท่า ตามลำดับ (Wongputtisin, 2008)



ภาพที่ 5 โครงสร้างของกรดไฟติก (a) และการจับแร่ธาตุต่างๆ โดยกรดไฟติก (b)

3. เบต้า-แมนแนน (Beta-mannan) : สารประกอบนี้เป็นโพลิแซคคาไรด์ที่เกิดจากการเรียงต่อกันเป็นสายยาวของน้ำตาลแมนโนส (Mannose) ในกรณีของเบต้า-แมนแนนที่พบในเมล็ดถั่วเหลืองนั้นจะมีน้ำตาลกาแลกโตส (Galactose) เป็นองค์ประกอบร่วมอยู่ด้วย จึงเรียกว่ากาแลกโตแมนแนน (Galactomannan) ซึ่งในเมล็ดถั่วเหลืองมีสารนี้อยู่ประมาณ 1.3-1.6% โดยน้ำหนัก และข้อเสียของสารนี้ คือ มันสามารถดูดซับน้ำและบวมน้ำอยู่ในทางเดินอาหาร ในขณะที่ร่างกายของคนและสัตว์ไม่มีเอนไซม์ใดที่สามารถย่อยสารนี้ได้ การที่มันบวมน้ำอยู่ในทางเดินอาหารจะทำให้เกิดความหนืดขึ้น การย่อยและดูดซึมสารอาหารก็ลดลง ดังนั้น ในเชิงโภชนะศาสตร์ของสัตว์จึงได้ระบุว่าเบต้า-แมนแนนเป็นสารต้านโภชนะที่รุนแรงและมีผลทำให้สมรรถนะการเจริญเติบโตของสัตว์ลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งมีผลมากในสัตว์กระเพาะเดี่ยว (Monogastric animals) แบคทีเรีย *Bacillus* sp. เชื้อรา *Rhizopus* sp. และ *Aspergillus* sp.

สามารถผลิตเอนไซม์เบต้า-แมนนาเนส (Beta-mannanase) ขึ้นมา เพื่อย่อยเบต้า-แมนแนนในระหว่างการหมักถั่วเหลืองได้ ดังนั้น จึงมั่นใจว่า ถั่วเหลืองหมักปราศจากเบต้า-แมนแนน

นี่เป็นเพียงส่วนหนึ่งที่ผู้เขียนได้แสดงให้เห็นถึงบทบาทหน้าที่ของจุลินทรีย์ในการปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการของถั่วเหลือง ไม่ว่าจะเป็นการเพิ่มสารอาหารที่มีประโยชน์และลดสารที่ก่อโทษให้แก่ร่างกาย

การสร้างการยอมรับผลิตภัณฑ์ถั่วหมักให้แก่ผู้บริโภค

จากข้อมูลคุณค่าทางโภชนาการของถั่วหมักที่ได้แสดงให้เห็นข้างต้นนั้น อาจจะพอทำให้ท่านผู้อ่านได้เห็นถึงประโยชน์ของถั่วเหลืองหมักได้ว่ามีมากเพียงใด แต่อาจจะมีบางท่านที่กำลังตั้งคำถามถึงด้านอื่น ๆ ของถั่วหมัก นั่นคือ เรื่องของความปลอดภัยในการบริโภค เพราะการผลิตถั่วหมักที่เราคุ้นตา คือ การหมักด้วยวิธีพื้นบ้าน โดยอาศัยเชื้อจากธรรมชาติ จากนั้นหมักไว้ในภาชนะต่าง ๆ เช่น ตะกร้า ใบตอง (ถั่วเน่าเทมเป้) ใบหูกวาง (ถั่วเน่า) และฟางข้าว (นัตโตะ) ซึ่งอาจจะมีการปนเปื้อนของเชื้อโรค หรือเชื้อจุลินทรีย์ที่ไม่พึงประสงค์ก็เป็นได้ ดังนั้นเราจึงควรนำถั่วหมักมาผ่านความร้อน เพื่อฆ่าเชื้อที่ไม่พึงประสงค์เหล่านี้เสียก่อน แต่ในปัจจุบันได้มีการผลิตถั่วหมักในเชิงการค้าเกิดขึ้น เห็นได้ชัดเจน คือ ถั่วหมักนัตโตะ และเทมเป้ (ภาพที่ 6) ที่มีวางขายอย่างแพร่หลายในซุปเปอร์มาเก็ตชั้นนำ ผู้ผลิตมีแนวทางอย่างไรที่สร้างความเชื่อมั่นในตัวผลิตภัณฑ์ให้เกิดแก่ผู้บริโภคนอกเหนือจากการออกแบบบรรจุภัณฑ์ให้สวยงาม

ภาพที่ 6 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์นัตโตะ (a) และเทมเป้ (b) ที่ผลิตด้วยเทคโนโลยีสมัยใหม่

เทคโนโลยีชีวภาพได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในกระบวนการผลิตถั่วหมักเชิงอุตสาหกรรม เริ่มตั้งแต่การคัดเลือกจุลินทรีย์ที่เหมาะสมสำหรับทำถั่วหมัก เชื้อนั้นต้องเป็นสายพันธุ์ที่หมักถั่วเหลืองแล้วทำให้ได้ถั่วหมักคุณภาพดีทั้งแง่สารอาหาร กลิ่นรส และเนื้อสัมผัสที่ตรงตามความต้องการของผู้บริโภค และที่สำคัญ คือ ต้องได้รับการรับรองว่า ปลอดภัย (Generally Recognized as Safe; GRAS) แล้วจึงนำมาเพาะเลี้ยงเพิ่มจำนวนเพื่อใช้เป็นหัวเชื้อสำหรับหมักถั่วเหลืองต่อไป ดังนั้นจึงมั่นใจได้ว่า ในผลิตภัณฑ์ปราศจากเชื้อที่ไม่พึงประสงค์ เรียกกระบวนการนี้ว่า “เทคโนโลยีหัวเชื้อบริสุทธิ์” ในระหว่างกระบวนการหมัก ผู้ผลิตจำเป็นต้องควบคุมสภาวะการหมักให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของหัวเชื้อ ไม่ว่าจะเป็นอุณหภูมิ ความชื้น ออกซิเจน และค่าความเป็นกรด-ด่าง เป็นต้น สถานที่ผลิตและภาชนะบรรจุก็มีความสำคัญ ที่จะต้องใส่ใจในเรื่องการสุขาภิบาลอย่างเคร่งครัด ด้วยหลักปฏิบัติเหล่านี้ก็จะช่วยสร้างความเชื่อมั่นให้แก่ผู้บริโภคได้

เมื่อหันมามองถึงผลิตภัณฑ์ถั่วเน่าของไทยเรา ก็จะเห็นได้ว่ายังขาดกระบวนการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้ได้มาตรฐานและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ทั้งที่มีคุณประโยชน์มากมายและรสชาติดี ทุกวันนี้จึงยังคงเห็นถั่วเน่าของเราห่อใบตองและวางขายอย่างจำกัดในท้องตลาดในราคาแสนถูก ในขณะที่ถั่วนัตโตะจากประเทศญี่ปุ่นที่ผลิตโดยใช้หัวเชื้อบริสุทธิ์และผ่านการคัดเลือกจากงานวิจัย ผลิตด้วยกระบวนการที่ทันสมัยและบรรจุภัณฑ์สวยงาม วางขายในซุปเปอร์มาร์เก็ตชั้นนำด้วยราคาที่ค่อนข้างสูง

บทสรุป

ถั่วหมักเป็นภูมิปัญญาการผลิตอาหารของคนหลายเชื้อชาติรวมถึงไทยเราที่ควรมีการสืบทอดต่อไป ไม่ควรมองว่า เป็นสิ่งที่ล้าหลัง หรือน่ารังเกียจ เพราะงานวิจัยเชิงวิทยาศาสตร์ก็ได้แสดงให้เห็นแล้วว่า คุณค่าของถั่วหมักมีมากน้อยเพียงใด ผู้เขียนเชื่อว่างานวิจัยเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์จากถั่วหมักคงยังไม่หยุดนิ่ง เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูงและพึงพอใจแก่ผู้บริโภคตามยุคสมัยที่เปลี่ยนแปลงไป สุดท้ายนี้ก็หวังเป็นอย่างยิ่งว่าบทความนี้จะทำให้ท่านได้เปลี่ยนมุมมองที่มีต่ออาหารพื้นบ้านชนิดนี้ให้เป็นในเชิงวิทยาศาสตร์มากขึ้น

MAEJO VISION

เอกสารอ้างอิง

Dajanta, K., A.Apichartsrangkoon and E.Chukeatirote. (2011). Volatile profiles of thuanao, a Thai fermented soy product. **Food Chemistry** 125: 464-470.

Dajanta, K., A. Apichartsrangkoon,E. Chukeatirote. andR.A. Frazier. (2011). Free-amino acid profiles of thuanao, a Thai fermented soybean. **Food Chemistry** 125: 342-347.

Hesseltine, C. W. (1998). Fermented Products.In Matthews, R. H., (Ed.). **Legumes: Chemistry, Technology, and Human Nutrition** pp.161-185. New York: Marcel Dekker, Inc.

Jelen, H., Majcher, M., A.Ginja and M.Kuligowski. (2013). Determination of compound responsible for tempeh aroma. **Food Chemistry** 141: 459-465.

Kaneki, M., S. J.Hedges, T.Hosoi,,S.Fujiwara, A. Lyons.S. J.Crean, N.Ishida, M.Nakagawa, Takechi, M., Sano, Y., Mizuno, Y., Hoshino, S., Miyao, M., Inoue, S., Horiki, K., M.Shiraki, Y.Ouchi, HOrimo. (2000). Japanese fermented soybean food as the major determinant of the large geographic difference in circulating levels of vitamin K2: possible implications for hipfracture risk. **ApplNutri Invest** 16: 315-321.

Kiers, J. L., R. M. J. Nout and F. M. Rombouts. (2000). In vitro digestibility of processed and fermented soya bean, cowpea and maize. **J Sci Food Agric** 80: 1325-1331.

Nout, M. J. R.and J. L.Kiers. (2005) . Tempe fermentation, innovation and functionality: update into the third millennium. **J ApplMicrobiol** 98: 789-805.

Sarkar, P. K., L., J. Jones, G. S.Craven, S. M. Somerset and C. Palmer. (1997). Amino acid profiles of kinema, a soybean fermented food. **Food Chem** 59: 69-75.

Sarkar, P. K., E.Morrison, U. .Tinggi, S. M.Somerset and G. S. Craven. (1998). B-group vitamin and mineral contents of soybeans during kinema production. **J Sci Food Agric**78: 498-502.

Sarkar, P.K., B.Hasenack and M. J. R. Nout (2002). Diversity and functionality of Bacillus and related genera isolated from spontaneously fermented soybeans (Indian Kinema) and locust beans (African Soumbala). **Int J Food Microbiol** 77: 175-186.

Sato, T., Y.Yamada, Y.Ohtani, N. Mitsui, H.Murasawa and S. Araki. (2001). Production of menaquinone (vitamin K2)-7 by Bacillus subtilis. J BiosciBioeng 91: 16-20.

Wongputtisin, P., C.Khanongnuch, W.Khongbantad, P. Niamsup andS. Lumyong. (2012). Screening and selection of Bacillus spp. for fermented corticate soybean meal production. **Journal of Applied Microbiology** 113: 798-806.

MAEJO VISION

ภาพประกอบ

ภาพที่ 1 ที่มา: http://www.rei.org/JPN/Tokyo/Smalls/IMG_0328-natto-open.JPG
http://www.playingwithfireandwater.com/foodplay/2009/02/
http://en.wikipedia.org/wiki/TempehSarkarและคณะ (2002)

ภาพที่ 2 ที่มา: http://www.mycology.adelaide.edu.au/

ภาพที่ 5 ที่มา: http://www.ansc.purdue.edu/courses/ansc443/class_notes/nutrition.html

ภาพที่ 6 ที่มา: http://epicureandebauchery.blogspot.com/2005/11/controversial-natto.html
http://www.thesnarkychickpea.com/2011/08/sweet-and-spicy-baked-tempeh.html