คุณค่าทางโภชนาการและคุณสมบัติทางเคมีบางประการของพืชอาหารที่หมักด้วย *Lactobacillus casei* subsp. *rhamnosus* TISTR 108

Nutritional values and chemical properties of food plants fermented with *Lactobacillus casei* subsp. *rhamnosus* TISTR 108

อรชพร ชลคีรี [1], มลฤดี เชาวรัตน์ [2],สุมลวรรณ ชุ่มเชื้อ [2]
Arachaporn Chonkeeree[1], Monrodee Chaowarat[2], Sumonwan Chumchere[2]

บทคัดย่อ

ศึกษาคุณค่าทางโภชนาการและคุณสมบัติทางเคมีบางประการของพืชอาหาร 4 ชนิด ได้แก่ ถั่วเหลือง ถั่วดำ ลูกเดือย และ เห็ดนางฟ้า โดยการหมักด้วย *Lactobacillus casei* subsp. *rhamnosus* TISTR 108 ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง หลังจากทำแห้งผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ (Vacuum dryer) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18-24 ชั่วโมง วิเคราะห์คุณภาพทางด้านคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ พบว่าพืชอาหารที่ผ่านกระบวนการหมัก มีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าพืชอาหารสดที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการหมักอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) โดยผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลืองหมักมีองค์ประกอบของโปรตีนและไขมันสูงสุด เท่ากับ 43.59 และ17.37 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักสด) ตามลำดับ ลูกเดือยสดอบแห้งมีโปรตีนต่ำสุด เท่ากับ 13.62 เปอร์เซ็นต์ และเห็ดนางฟ้าอบแห้งมีปริมาณไขมันต่ำที่สุด เท่ากับ 2.44 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังพบว่าในลูกเดือยสดอบแห้งมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงสุดเท่ากับ 71.97 เปอร์เซ็นต์ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของผลิตภัณฑ์พืชอาหารที่ผ่านกระบวนการหมัก มีปริมาณลดลง อยู่ในช่วง 4.22 ถึง 4.31 ขณะที่ในพืชอาหารที่ไม่ผ่านกระบวนการหมัก มีค่าอยู่ในช่วง 5.99 ถึง 6.68 ปริมาณความชื้นในพืชอาหารหมักและพืชอาหารที่ไม่ผ่านการหมัก มีค่าอยู่ในช่วง 50.40 ถึง 82.28 และ 47.81ถึง 80.12 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักสด) ตามลำดับ และปริมาณเถ้าในพืชอาหารหมักและพืชอาหารที่ไม่ผ่านกระบวนการหมัก มีค่าอยู่ในช่วง 0.05 ถึง 6.13 และ 0.97 ถึง 9.05 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

คำสำคัญ: ถั่วเหลือง, ถั่วดำ, ลูกเดือย, เห็ดนางฟ้า, พืชอาหารหมัก, คุณค่าทางโภชนาการ

Abstract

Four types of food plants (soybean, black bean, adlay, and Sajor-caju mushroom) were studied for nutritional values and some chemical properties. Food plants were fermentation with *Lactobacillus casei* subsp. *rhamnosus* TISTR 108 at 37 ^{O}C for 72 h and then were dried by using vacuum dryer at 40 ^{O}C for 18-24 h. The nutrition values and some chemical properties of food plans and functional food plants

---

[1] นิสิตปริญญาโท, [2] อาจารย์, ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

[1] Master degree student, [2]Lecture, Department of Biotechnology, Faculty of Technology, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham 44150, Thailand.

** Corresponding author:* Sumonwan Chumchere*, Department of Biotechnology, Faculty of Technology, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham 44150, Thailand. E-mail: mon_msu@yahoo.com*

were determined. It was found that the nutritional values of fermented food plants were significant higher than that non-fermented food plants (p <0.05). The highest protein and fat were found in fermented soybean at 43.59 and 17.37% (wet weight), respectively. The least protein was found in dried adlay at 13.62% and the least fat was found in dried Sajor-caju mushroom at 2.44%. Furthermore, dried adlay showed the highest carbohydrate content at 71.97%. pH values were decreased in fermented food plants in the range of 4.22- 4.31 while in non-fermented food plants were 5.99-6.68. The moisture content of fermented food plants and non-fermented food sample were 50.40- 82.28% and 47.81-80.12% (wet weight), respectively. The ash content of fermented food plants and non-fermented food plants were 0.05 - 6.13 % and 0.97 - 9.05 %, respectively.

Key word: soybean, black bean, adlay, Sajor-caju mushroom, fermented food plants, nutritional value

บทนำ

ปัจจุบันนี้มนุษย์มีความใส่ใจในเรื่องสุขภาพมากขึ้น จึงเกิดการศึกษาและพัฒนาอาหารให้มีประสิทธิภาพเพื่อเสริมสร้างสุขภาพ และได้รับความสนใจอย่างแพร่หลายโดยเฉพาะงานวิจัยที่เกี่ยวกับการนำเชื้อจุลินทรีย์บริสุทธิ์มาใช้ในการเพิ่มคุณประโยชน์ให้กับอาหาร ซึ่งในพืชอาหารประกอบด้วยสารสำคัญมากมายทั้งที่เป็นสารปฐมภูมิ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน และสารทุติยภูมิ เช่น สารพวกพฤกษเคมี (phytochemical compositions) ได้แก่ วิตามิน (vitamin) สารฟีนอลิก (phenolics) รวมทั้งสารต้านอนุมูลอิสระต่างๆ (antioxidants) สารต้านอนุมูลอิสระ ในพืชอาหารนานาชนิด ได้แก่ สารประกอบฟีนอลิค ซึ่งมีคุณสมบัติยับยั้งการเกิดอนุมูลอิสระ ลดความเสี่ยงในการเกิดโรคหลายชนิด เช่น โรคหลอดเลือดหัวใจ มะเร็ง และเบาหวาน เป็นต้น [1] แต่ปริมาณสารสำคัญในพืชอาหารมีปริมาณไม่สูง มีรายงานการวิจัยพบว่าเมื่อนำพืชอาหารมาผ่านกระบวนการหมักด้วยจุลินทรีย์ สารอาหารและสารสำคัญบางชนิดในธัญพืชมีปริมาณเพิ่มขึ้น จากการศึกษาถั่วเน่าที่เกิดจากการหมักด้วย *Bacillus* sp. มีคุณค่าทางโภชนาการมากกว่าถั่วเหลืองที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการหมัก [2] และผลจากการหมักงาดำและถั่วเหลืองด้วยเชื้อ *Lactobacillus plantarum* ทำให้พืชทั้ง 2 ชนิด มีปริมาณโปรตีนเพิ่มสูงขึ้น โดยงาดำหมักที่เวลา 36 ชั่วโมง และถั่วเหลืองหมักที่เวลา 24 ชั่วโมง มีปริมารณโปรตีนสูงถึงร้อยละ 19.51 และ 43.49 ตามลำดับ ส่วนไขมันทั้งงาดำและถั่วเหลืองหมัก ที่เวลา 12 ชั่วโมง มีปริมาณเพิ่มขึ้น และมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตลดลงเมื่อผ่านกระบวนการหมัก [3] รวมไปถึงการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสารอาหาร และสารพฤษเคมีในถั่วเหลืองที่ผ่านกระบวนการหมัก โดยใช้เชื้อ *Lactobacillus* sp. นาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส พบว่าถั่วเหลืองที่ผ่านกระบวนการหมักให้ปริมาณคุณค่าทางโภชนาการและสารสำคัญเพิ่มมากขึ้นกว่าถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านการหมัก [4]

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของพืชอาหารหมักเพื่อนำไปสู่การพัฒนาเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ

วิธีการศึกษา

การเตรียมวัตถุดิบ

นำถั่วเหลือง ถั่วดำ และลูกเดือยมาล้างทำความสะอาด และแช่ในน้ำสะอาด อัตราส่วน 3:1 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เทน้ำออก สำหรับเห็ดนางฟ้านำมาล้างทำความสะอาด และทิ้งให้สะเด็ดน้ำ จากนั้นฉีกเป็น

เส้นมีความกว้างประมาณ 0.5 เซนติเมตร ยาวประมาณ 1.5 เซนติเมตร และทำการนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที แล้วอบให้แห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ก่อนนำไปใช้ในกระบวนการหมัก[3,5]

การเตรียมกล้าเชื้อ

เลี้ยงเชื้อแบคทีเรีย *Lactobacillus rhamnosus* TISTR 108 ที่ได้จากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ดัดแปลงตามวิธีการของ de Castro และคณะ[6] ในอาหาร MRS broth บ่มใน CO_2 incubator ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ภายใต้คาร์บอนไดออกไซด์ 5% เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการเพิ่มปริมาณกล้าเชื้อโดยถ่าย ลงในอาหาร MRS broth ใหม่อีก 2 ครั้ง นำไปบ่มที่สภาวะเดิม เป็นเวลา 18-20 ชั่วโมง จนได้ปริมาณเซลล์ของเชื้ออยู่ที่ 10^6 ถึง 10^8 cfu ต่อ มิลลิลิตร

กระบวนการหมักพืชอาหาร

ทำการหมักพืชอาหารที่เตรียมข้างต้นโดยการเติมเชื้อ *Lactobacillus rhamnosus* TISTR 108 ที่อยู่ในรูปตะกอนเซลล์จุลินทรีย์ (cell suspension) ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ (w/w) นำไปบ่มที่ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง[3,5] ในระหว่างกระบวนการหมักทำการตรวจสอบค่าความเป็นกรด-ด่าง

กระบวนการหลังการหมัก

เมื่อกระบวนการหมักเสร็จสิ้น นำพืชอาหารหมักไปทำแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง โดยใช้เครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์

การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์พืชอาหาร

วิเคราะห์หาคุณค่าทางโภชนาการในพืชอาหารหมักได้ทำตามวิธี AOAC (2000) โดยศึกษาปริมาณความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรตในผลิตภัณฑ์ทั้งพืชอาหารสด พืชอาหารหมัก พืชอาหารสดอบแห้ง และพืชอาหารหมักอบแห้ง

การวิเคราะห์ทางสถิติ

การวิจัยนี้เป็นการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรแบบสหสัมพันธ์ (correlation) โดยใช้โปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 16 และใช้ One-way ANOVA เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($P < 0.05$)

ผลการศึกษา

จากการศึกษาคุณภาพทางด้านคุณค่าทางโภชนาการของพืชอาหาร 4 ชนิด ได้แก่ ถั่วเหลืองถั่วดำ ลูกเดือย และ เห็ดนางฟ้า ที่หมักด้วยเชื้อ *L. rhamnosus* TISTR 108 พบว่า เมื่อเปรียบเทียบโดยน้ำหนักพืชอาหารที่ผ่านกระบวนการหมักมีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าพืชอาหารที่ไม่ได้ผ่านการหมัก กล่าวคือ ในพืชอาหารสด และพืชอาหารอบแห้งมีองค์ประกอบทางเคมีของโปรตีนอยู่ในช่วง 16.32 ถึง 43.59 เปอร์เซ็นต์ และ 13.62 ถึง 40.48 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Fig 1.) ขณะที่ปริมาณไขมันของพืชอาหารสดอยู่ในช่วง 4.46 ถึง 17.37 เปอร์เซ็นต์ และพืชอาหารอบแห้ง 2.44 ถึง 7.20 เปอร์เซ็นต์ (Fig 2.) สำหรับปริมาณคาร์โบไฮเดรตของพืชอาหารสดและพืชอาหารอบแห้งมีค่าอยู่ในช่วง 20.71 ถึง 42.18 และ 43.52 ถึง 71.97 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Fig 3.)

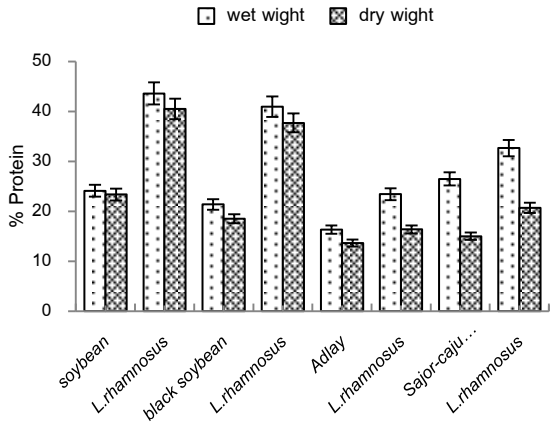

Fig.1 Protein content (%) of food plant and fermented products prepared with *L.rhamnosus*.

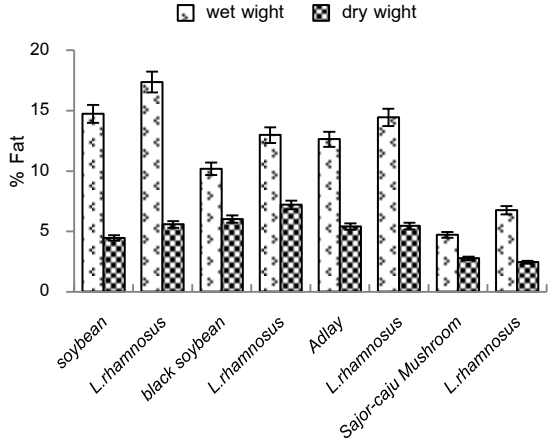

Fig.2 Fat content (%) of food plant and fermented products prepared with *L.rhamnosus*.

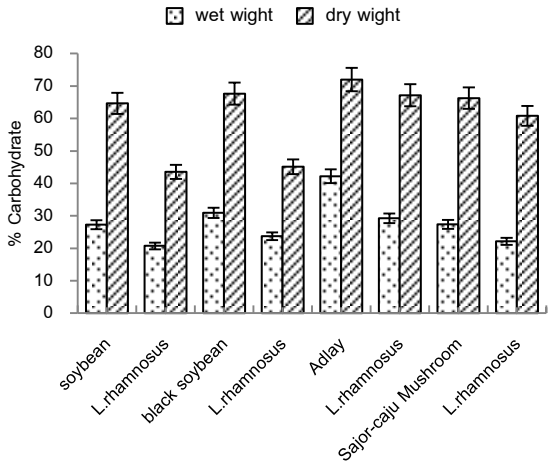

Fig.3 Carbohydrate content (%) of food plant and fermented products prepared with *L.rhamnosus*.

นอกจากนี้ปริมาณเถ้าในพืชอาหารสดมีค่าอยู่ในช่วง 0.97 ถึง 10.47 เปอร์เซ็นต์ และในพืชอาหารอบแห้งมีค่าอยู่ในช่วง 0.97 ถึง 10.47 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณความชื้นในพืชอาหารสดมีค่าอยู่ในช่วง 47.81 ถึง 82.28 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ปริมาณความชื้นของพืชอาหารมีปริมาณลดลงมีค่าอยู่ในช่วง 7.49 ถึง 10.36 เปอร์เซ็นต์ ดังตาราง รวมไปถึงค่าความเป็นกรด-ด่าง ของผลิตภัณฑ์ พบว่า ในพืชอาหารที่ผ่านกระบวนการหมักมีปริมาณ กรด-ด่าง ลดลง อยู่ในช่วง 4.22 ถึง 4.31 ดังตาราง 1

Table.1 Moisture content, ash and pH of non-fermented food plants and fermented food plants prepared with *Lactobacillus casei* subsp. *rhamnosus* TISTR 108 at 37 °C for 72.

Food plant products		Moisture (%)	Ash (%)	pH
non-fermented food plants *fresh plants	soybean	53.04±0.27 f	0.97±0.00 k	6.51±0.02 b
	black bean	61.49±0.18 d	1.02±0.02 jk	6.68±0.01 a
	adlay	47.81±0.18 h	1.05±0.06 j	6.38±0.00 c
	Sajor-caju mushroom	80.12±0.01 b	9.05±0.05 b	6.23±0.02 e
non-fermented food plants **dried plants	soybean	7.49±0.09 l	0.04±0.00 l	6.02±0.00 f
	black bean	7.75±0.03 l	0.08±0.00 l	6.12±0.00 b
	adlay	7.68±0.25 l	1.31±0.00 i	6.00±0.00 fg
	Sajor-caju mushroom	8.95±0.01 k	6.99±0.00 c	5.99±0.00 g
*fermented food plants prepared with *L. rhamnosus*	soybean	55.21±0.00 e	4.53±0.00 f	4.28±0.00 k
	black bean	65.69±0.21 c	4.11±0.00 g	4.31±0.00 j
	adlay	50.40±0.53 g	5.01±0.00 e	4.30±0.00 jk
	Sajor-caju mushroom	82.28±0.12 a	10.47±0.02 a	4.22±0.00 l
**dried fermented food plants prepared with *L. rhamnosus*	soybean	10.36±0.16 i	0.05±0.00 l	4.54±0.02 h
	black bean	9.88±0.01 j	0.08±0.00 l	4.56±0.01 h
	adlay	9.63±0.35 j	1.38±0.01 h	4.50±0.00 i
	Sajor-caju mushroom	9.94±0.00 ij	6.13±0.00 d	4.48±0.00 i

Values are presented as means ± SD (n=3), and the means in the same column with different lowercase letters (a,b) were significantly different by Duncan's multiple range test ($p < 0.05$)

* wet wight ** dry wight

วิจารณ์และสรุปผล

ในการศึกษาคุณสมบัติบางประการในพืชอาหารที่เกิดขึ้นจากกระบวนการหมักด้วยเชื้อแลคติกแอซิดแบคทีเรียที่ใช้ประโยชน์จากปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ที่มีอยู่ในพืช ได้ผลผลิตเป็นกรดแลคติก (Lactic acid) และกรดอะซิติค (Acetic acid) ทำให้พืชอาหารหมักมีค่ากรด-ด่าง ลดลง ส่งผลช่วยในการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะทางกายภาพและชีวเคมีของผลิตภัณฑ์พืชอาหารหมัก และส่งผลยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ประเภทที่
ทำให้เกิดการเน่าเสีย ซึ่งหลังจากการหมักพืชสดจะมีอากาศบางส่วนที่ยังคงเหลืออยู่ในปริมาณที่จำกัด เซลล์ของพืชที่ยังมีชีวิตอยู่ เอนไซม์ต่างๆ ก็ยังทำงานตามปกติเปลี่ยนน้ำตาลไปเป็นแอลกอฮอล์และย่อยสลายวัตถุดิบ[8] แบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจน (Aerobic bacteria) ภายในนั้นจะใช้ในกระบวนการหายใจ ขณะเดียวกันพวกยีสต์และเชื้อราก็จะมีการเพิ่มจำนวนขึ้น แต่เมื่ออากาศหรือออกซิเจนถูกใช้หมดไปก็จะไม่สามารถเพิ่มจำนวนได้และตายลง เอธิลแอลกอฮอล์ (Ethyl alcohol) หรือเอธานอล (Ethanol) จะถูกเปลี่ยนต่อไปเป็นกรดอะซิติค และกระบวนการหมักที่ไม่มีออกซิเจนก็จะเกิดขึ้นโดยการทำงานของแบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic bacteria) ซึ่งมีความสำคัญมากต่อการทำพืชหมัก ผลผลิตที่ได้คือกรดแลคติก ซึ่งเป็นกรดที่มีความสำคัญ และทำให้พืชหมักมีค่ากรด-ด่าง ประมาณ 4.2 หรือน้อยกว่า ซึ่งการทำงานของแบคทีเรียพวกนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำตาล ถ้ามีมาก และอยู่ในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน จะทำให้เกิด กรดแลคติกเร็วขึ้น และช่วยชะงักการเจริญของ พวกจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดความเสียหาย และทำให้พืชหมักยังคงสภาพที่นำไปใช้ประโยชน์ได้

พืชหมักที่มีคุณภาพดีควรมีค่า กรด-ด่าง ประมาณ 4.2 หรืออาจต่ำกว่านี้ ประกอบด้วยกรดแลคติค 3-13 เปอร์เซ็นต์ กรดบิวทีริค (Butyric acid) น้อยกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ และแอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3-N) น้อยกว่า 11 เปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนรวม[9] พืชหมักที่ดีควรมีสีเขียวแกมเหลืองหรือน้ำตาลอ่อน และมีกลิ่นหอมของกรด ไม่เน่าเหม็น และกลิ่นไม่ฉุน ปกติแลคติdแอซิดแบคทีเรีย พบอยู่ทั่วไปตามชิ้นส่วนของพืช จะเพิ่มจำนวนในระหว่างการเก็บเกี่ยวและการหมักพืช ในระหว่างการหมักจะมีการแข่งขันกับจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ โดยจะมีมากน้อยแค่ไหนขึ้นอยู่กับลักษณะของพืช และองค์ประกอบทางเคมีที่มีอยู่ในพืชรวมทั้งคุณสมบัติเฉพาะของ แลคติกแอซิดแบคทีเรีย เช่น ความทนต่อกรดและแรงดันออสโมติก (Osmotic pressure) เป็นต้น

จากการศึกษาคุณค่าทางโภชนาการและคุณสมบัติทางเคมีบางประการของพืชอาหารหมัก พบว่าพืชอาหารที่ผ่านกระบวนการหมักให้คุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าพืชอาหารที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการหมัก ทั้งชนิดอบแห้งและไม่อบแห้ง ซึ่งเห็นได้จาก Table 1 เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงคุณค่าสารอาหารของพืชอาหารหมักทั้ง 4 ชนิด พบว่าเมื่อผ่านกระบวนการหมัก ถั่วเหลืองหมักมีปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นสูงกว่าถั่วดำหมัก ลูกเดือยหมัก และเห็ดนางฟ้าหมัก โดยมีปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นผลมาจากจุลินทรีย์สร้างเอนไซม์ไปย่อยโปรตีน ให้มีขนาดโมเลกุลเล็กลง สลายพันธะได้เป็นสายเพปไทด์ และเปลี่ยนสภาพเป็นกรดอะมิโนซึ่งเป็นหน่วยย่อยของโปรตีน[10] เมื่อมีการสังเคราะห์โปรตีน ปริมาณโปรตีนจึงเพิ่มสูงขึ้น ในขณะเดียวกันถั่วเหลืองที่ผ่านกระบวนการหมัก มีปริมาณไขมันเพิ่มขึ้นสูงกว่าพืชอาหารหมักชนิดอื่น ๆ เมื่อเทียบกับปริมาณไขมันก่อนกระบวนการหมัก ซึ่งปริมาณไขมันที่เพิ่มขึ้นเกิดจากการ ออกซิไดส์ไขมันจากกระบวนการเมทาบอลิซึม ของเชื้อจุลินทรีย์ได้เป็นกรดไขมันสายสั้นๆ ซึ่งเชื้อจุลินทรีย์จะช่วยสลายองค์ประกอบที่ย่อยได้ยากให้อยู่ในรูปที่ย่อยได้ง่าย ส่งผลให้เอนไซม์ที่จุลินทรีย์สร้างขึ้นสามารถย่อยได้ ทำให้ไขมันมีปริมาณเพิ่มขึ้น[11] ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาที่รายงานว่า การหมักข้าวสาลีด้วยเชื้อ *Lactobacillus plantarum* และเชื้อ *L. rossiae* สามารถเพิ่มปริมาณโปรตีนได้[12] และการหมักข้าวโพดด้วยเชื้อ *L. plantarum* สามารถเพิ่มปริมาณไขมัน โปรตีน และลดปริมาณคาร์โบไฮเดรตลง[13] นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อมีการเติม *L. buchneri* ในพืชอาหาร มีผลให้ค่ากรด-ด่าง ลดลงเมื่อเทียบกับพืชอาหารที่ไม่มีการเติม ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณของกรดอินทรีย์ชนิดต่างๆในพืชหมัก กล่าวคือ เมื่อมีปริมาณของกรดแลคติกสูง ปริมาณของกรดอะซิติค กรดโพรพิโอนิค (Propionic acid) และเอธานอล จะมีค่าต่ำมีผลทำให้พืชหมักมีค่ากรด-ด่างต่ำ ในทางตรงข้ามเมื่อปริมาณของกรดแลคติกต่ำ ส่วนของกรดอะซิติค กรดโพรพิโอนิค

และเอธานอลจะสูง ทำให้มีค่า กรด-ด่างสูง และยังพบว่าในการเติม แลคติกแอซิดแบคทีเรีย ร่วมกันสองชนิดขึ้นไปในพืชอาหารหมัก ค่ากรด-ด่างจะลดลงอย่างเห็นได้ชัดและมีค่าต่ำกว่าที่มีการเติมเพียงชนิดเดียว [14] ในทำนองเดียวกันกับการศึกษาการเติม *L. buchneri* ในข้าวโพดหมักระยะที่เมล็ดเริ่มเป็นน้ำนมที่ปริมาณ $2.5x10^5$ cfu/g ของพืชสด จะมีค่าโปรตีนหยาบ (Crude protein; CP) สูงสุด (98.3 g/kg DM) และมีค่าคาร์โบไฮเดรตสูงที่สุด ซึ่งมีความแตกต่างในทางสถิติเมื่อเทียบกับพืชอาหารที่ไม่มีการเติมเชื้อจุลินทรีย์ นอกจากนี้ยังพบว่าการเติม *L. buchneri* ที่ปริมาณ $1x10^6$ cfu/g ของพืชสด มีค่าคาร์โบไฮเดรตน้อยกว่าที่ไม่มีการเติมเชื้อจุลินทรีย์[15]

จากผลการศึกษาสรุปได้ว่า ในการหมักพืชอาหารทั้ง 4 ชนิดด้วยเชื้อ *L. casei* subsp. *rhamnosus* TISTR 108 พบว่าคุณค่าทางโภชนาการในพืชอาหารหมักมีแนวโน้มสูงกว่าพืชอาหารที่ไม่ผ่านกระบวนการหมัก ซึ่งได้จากการสร้างเอนไซม์ที่มีประโยชน์ที่มีส่วนช่วยในการย่อยสลายองค์ประกอบในพืชอาหารหมัก และยังทำให้ค่ากรด-ด่างลดลง ซึ่งส่งผลให้ผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดมีคุณลักษณะที่เฉพาะ เช่น สี กลิ่น และรสชาติ จึงทำให้พืชอาหารหมักที่ได้มีคุณภาพทางด้านโภชนาการดีกว่าพืชอาหารที่ไม่ได้ผ่านการหมัก และในอนาคตอาจทำการศึกษาเพิ่มเติมถึงสารสำคัญบางชนิดที่ส่งผลดีต่อสุขภาพที่มีอยู่ในพืชอาหารหมัก แต่อย่างไรก็ตาม ในการปฏิบัติงานควรจะพิจารณาถึง ชนิดและอายุของพืชอาหาร อีกทั้งควรพิจารณาถึงความเหมาะสมและความคุ้มค่าของการใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่จะนำไปใช้ในการผลิตพืชอาหารหมัก

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับเงินสนับสนุนเงินวิจัย งบประมาณรายได้ ประจำปี 2556 มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

เอกสารอ้างอิง

1. Chou CC and Wu CH. Enhancement of aglycone, vitamin K_2 and superoxide dismutase activity of soybean through fermentation with *Bacillus subtilis BCRC* 14715 at different temperatures. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2009;57:1065–1070.
2. เอกชัย ชูเกียรติโรจน์ ศศิธร อินเขียน เกตูการ ดาจันทา และอรุณี อภิชาติสรางกูร. ถั่วเน่า-ผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองหมักพื้นเมืองของประเทศไทย. วิทยาศาสตร์ มศว. 2554; 27(1):201-208.
3. Vongsudin W, Laohakunjit N, Kerdchoechuen O. Chemical composition changes of fermented cereals with *Lactobacillus plantarum*. Agricultural Sci. J. 2010;41(3/1)(Suppl.):705-708.
4. Khampang E, Kerdchoechuen O. Laohakunjit N. Changes of nutrition and bioactive compounds of fermented soybean. Agricultural Sci. J. 2010;41(3/1)(Suppl.): 589-592.
5. Wei QK, Chen TR, Chen JT. Use of *Bacillus subtilis* to enrich Isoflavone Aglycones in fermented Natto. Journal of the Science of Food and Agriculture. 2008;88:1007-1011.
6. de Castro A, Montañio A, Sánchez AH, Rejano L. Lactic acid fermentation and storage of blanched garlic. International Journal of Food Microbiology 1998;39:205-211.
7. AOAC, 2000, Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C. Abiodun, I.S., Anthony, A.O. and Omolara, T.I., 1999, Biochemical Composition of Infant Weaning Food Fabricated from Fermented Blends of Cereal and Soybean, Food Chemistry, 65: 35-39.
8. จันทกานต์ อรณนันท์.กระบวนการหมักพืชอาหารสัตว์และการปรุงแต่ง.ข่าวพืชอาหารสัตว์. 2002;7(1):11-19.
9. สายัณห์ ทัดศรี. พืชอาหารสัตว์เขตร้อน: การผลิตและการจัดการ. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์ลินคอร์น;2540. 376 หน้า.

10. Feng J, Liu X, Xu ZR, Liu YY Lu YP. Effects of *Aspergillus oryzae* 3.042 fermented soybean meal on growth performance and plasma biochemical parameters in broilers. Animal Feed Science and Technology 2007;134:235–242.
11. Rajesh N, Imelda J, Paul Raj R. Value addition of vegetable wastes by solid-state fermentation using *Aspergillus niger* for use in aquafeed industry. Waste Management. 2010;30(11):2223-7.
12. Rizzello CG, Nionelli L, Coda R, Angelis MD Gobbetti M. Effect of Sourdough fermentation on stabilisation, and chemical and nutritional characteristics of wheat germ. Food Chemistry 2010;119:1079–1089.
13. Nguyen TTT, Guyot JP, Icard-Verniere C Rochette IGe. Effect of high pressure homogenisation on the capacity of *Lactobacillus plantarum* A6 to ferment rice/soybean slurries to prepare high energy density complementary food. Food Chemistry 2007;102:1288-1295.
14. Frank D, S. J. W. H. Oude Elferink, P. G. Van Wikselaar. Fermentation characteristics and aerobic stability of grass silage inoculated with *Lactobacillus Buchneri*, with or without homofermentative lactic acid bacteria. Grass and Forage Sci 2001;56:330-343.
15. Ranjit NK, C. C. Taylor L. Kung Jr. Effect of *Lactobacillus buchneri* 40788 on the fermentation, aerobic stability and nutritive value of maize silage. Grass and Forage Sci.2002;57:73-81