รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยเรื่อง

การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารจากวัตถุดิบท้องถิ่นของจังหวัดน่าน

ใน โครงการวิจัยการจัดการทรัพยากรเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืนของจังหวัดน่าน

ปีงบประมาณ 2549

คณะผู้วิจัย

ผศ. ดร. วรภา	คงเป็นสุข
รศ. ดร. พันธิพา	จันทวัฒน์
ผศ. สุทธิศักดิ์	สุขในศิลป์
ผศ. ดร. สุเมธ	ตันตระเธียร
ผศ. ดร. อุบลรัตน์	สิริภัทราวรรณ
อ. ดร. ชาลีดา	บรมพิชัยชาติกุล
อ. อินทาวุธ	สรรพวรสถิตย์

ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับเงินสนับสนุนจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2549 คณะผู้วิจัยขอขอบคุณยิ่ง

ในการเข้าสำรวจพื้นที่ คณะผู้วิจัยขอขอบคุณส่วนบริหารวิชาการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และคณาจารย์จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตน่าน ที่ได้กรุณาช่วยติดต่อและประสานงานกับหน่วยงานต่างๆ เพื่อการเข้าเยี่ยมชมในจังหวัดน่าน และขอบใจนิสิตและเจ้าหน้าที่ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ ที่ได้ช่วยเหลือในการทำวิจัยครั้งนี้

เลขหมู่
เลขทะเบียน 014143
วัน, เดือน, ปี 14 พ.ค. 52

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชื่อโครงการวิจัย

การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารจากวัตถุดิบในท้องถิ่นของจังหวัดน่าน

หน่วยงานหลักที่รับผิดชอบงานวิจัย

หน่วยงาน	ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
โทรศัพท์	0-2218-5515-6, 02218-5247
โทรสาร	0-2254-4314

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ	ผศ. ดร. วรภา	คงเป็นสุข
ผู้ร่วมโครงการ	รศ. ดร. พันธิพา	จันทวัฒน์
	ผศ. สุทธิศักดิ์	สุขในศิลป์
	ผศ. ดร. สุเมธ	ตันตระเธียร
	ผศ. ดร. อุบลรัตน์	สิริภัทราวรรณ
	อ. ดร. ชาลีดา	บรมพิชัยชาติกุล
	อ. อินทาวุธ	สรรพวรสถิตย์

คำสำคัญของโครงการวิจัย

การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร พืชและผลไม้ท้องถิ่นจังหวัดน่าน

ความสำคัญของโครงการ

สืบเนื่องจากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยมีโครงการจัดตั้งสถาบันเทคโนโลยีชั้นสูงของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยขึ้น ณ ตำบลไหล่น่าน อำเภอเวียงสา จังหวัดน่าน และเพื่อรองรับโครงการกระจายโอกาสและความเสมอภาคทางการศึกษาตามนโยบายการศึกษาของรัฐ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยได้จัดทำแผนพัฒนาและโครงการศึกษาต่างๆ สำหรับพัฒนาจังหวัดน่านในด้านสังคม วัฒนธรรม วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เศรษฐกิจ และอุตสาหกรรม

จากข้อมูลเบื้องต้นในโครงการนำร่องพบว่าน่านเป็นจังหวัดที่มีศักยภาพในหลายๆด้าน เนื่องจากมีปัจจัยสนับสนุนทางสภาพภูมิศาสตร์, ภูมิอากาศ และยังคงมีความอุดมสมบูรณ์ทางทรัพยากร

ธรรมชาติอยู่มาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งมีความหลากหลายทางชีวภาพของพันธุ์พืชและสัตว์ แนวทางหนึ่งในการพัฒนาเพื่อยกระดับฐานะทางเศรษฐกิจและสังคมของจังหวัดน่านสามารถทำได้โดยการพัฒนาธุรกิจและอุตสาหกรรมจากทรัพยากรและผลิตผลทางการเกษตรที่มีอยู่ในท้องถิ่น โดยนำมาพัฒนาในเชิงอุตสาหกรรมขนาดเล็กและกลาง (SME) ให้เกิดประโยชน์ สูงสุด และมีการส่งเสริมต่อเชิงพาณิชย์เพื่อเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจของผลิตผลดังกล่าว ดังนั้นจึงเป็นที่น่าสนใจที่จะนำพืชและผลไม้ซึ่งเป็นวัตถุดิบจากธรรมชาติและ/หรือจากการเกษตรที่สำคัญในท้องถิ่นของจังหวัดน่าน มาศึกษาและวิจัยเพื่อพัฒนาการแปรรูปให้เป็นผลิตภัณฑ์อาหาร และผลิตภัณฑ์อื่นๆ เพื่อเพิ่มความหลากหลายทางการตลาดและเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ และ นำผลิตภัณฑ์อาหารพื้นบ้านของจังหวัดน่าน มาศึกษาและวิจัยเพื่อพัฒนาคุณภาพเพื่อยกระดับการผลิต ผลสรุปที่ได้จากโครงการนี้จะเป็นการส่งเสริมภูมิปัญญาท้องถิ่นอีกทั้งเป็นแนวทางในการส่งเสริมให้พืชและผลไม้ท้องถิ่นเหล่านั้นได้มีโอกาสเป็นพืชเศรษฐกิจของจังหวัดได้ต่อไป

วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาการนำพืชและผลไม้ท้องถิ่นของจังหวัดน่านมาพัฒนาและแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารชนิดต่างๆ เพื่อเพิ่มความหลากหลายทางการตลาด และเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ รวมถึงการพัฒนาอุปกรณ์ในการเตรียมวัตถุดิบเพื่อแปรรูป
2. เพื่อศึกษาพัฒนาคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารหมักพื้นบ้านและเพิ่มมูลค่าให้ให้มีศักยภาพในการผลิตเชิง อุตสาหกรรมครัวเรือน
3. เพื่อพัฒนาบรรจุภัณฑ์ ศึกษาอายุการเก็บ และกำหนดวันหมดอายุสำหรับผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาขึ้น
4. เพื่อศึกษาศักยภาพเชิงพาณิชย์สำหรับผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาขึ้น

ขอบเขตของโครงการ

นำพืชท้องถิ่นของจังหวัดน่าน เช่น หม่อน (*Morus alba* Linn) เห็ดพื้นเมือง เป็นต้น และนำอาหารหมักจากพืชท้องถิ่น มาศึกษาการแปรรูปและการผลิต โดยผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาขึ้นเป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบ (prototype) ที่เหมาะสำหรับโครงการ 1 ตำบล 1 ผลิตภัณฑ์และยังมีศักยภาพในการผลิตเชิงอุตสาหกรรมขนาดเล็ก และ/หรือสามารถพัฒนาสู่ระดับกลาง (SME) มีแนวโน้มที่จะประสบความสำเร็จเชิงพาณิชย์ และมีรูปแบบการบรรจุและมีอายุการเก็บที่เหมาะสมสำหรับการตลาดภายในประเทศ

ศึกษาการพัฒนาอุปกรณ์ ทำความสะอาดสาหร่ายไก (*Ciadophora spp.*) เพื่อเพิ่มคุณภาพของวัตถุดิบ

การดำเนินโครงงานวิจัย

โครงการวิจัยการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารจากวัตถุดิบในท้องถิ่นของจังหวัดน่าน ประกอบด้วยโครงการย่อย 6 โครงการ โดยศึกษาการแปรรูปพืชท้องถิ่นของจังหวัดน่าน เป็นผลิตภัณฑ์อาหาร และพัฒนาอุปกรณ์ช่วยการผลิตวัตถุดิบ 4 โครงการ และ2 โครงการเป็นการวิจัยต่อเนื่องจากโครงการวิจัยการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารจากวัตถุดิบในท้องถิ่นของจังหวัดน่าน ปีงบประมาณ 2548

1. <u>หัวข้อโครงการย่อย</u>	การพัฒนาผลิตภัณฑ์ลูกชุบจากถั่วมะแฮะ *Cajanus cajan* Millsp
<u>ผู้วิจัย</u>	รศ. ดร. พันธิพา จันทวัฒน์ และคณะ
2. <u>หัวข้อโครงการย่อย</u>	การพัฒนาผลิตภัณฑ์เห็ดพื้นบ้านอบแห้งของจังหวัดน่าน
<u>ผู้วิจัย</u>	อ.ดร.ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล และ ผศ.ดร. วรภา คงเป็นสุข
3. <u>หัวข้อโครงการย่อย</u>	การพัฒนาอุปกรณ์แยกดินและทรายออกจากสาหร่ายไก
<u>ผู้วิจัย</u>	อ. อินทาวุธ สรรพวรสถิตย์ และ รศ. ดร.พันธิพา จันทวัฒน์
4. <u>หัวข้อโครงการย่อย</u>	การพัฒนาผลิตภัณฑ์ชาข้าวหอมมะลิใบหม่อน *Morus alba* Linn
<u>ผู้วิจัย</u>	ผศ. ดร. อุบลรัตน์ สิริภัทราวรรณ และคณะ
5. <u>หัวข้อโครงการย่อย</u>	การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารหมักจากข้าวโพด
<u>ผู้วิจัย</u>	ผศ. สุทธิศักดิ์ สุขในศิลป์ และ ผศ.ดร. สุเมธ ตันตระเธียร
6. <u>หัวข้อโครงการย่อย</u>	มอยส์เจอร์ซอร์พชันไอโซเธอร์มของผงสาหร่ายไกปรุงรสโรยข้าว
<u>ผู้วิจัย</u>	อ. อินทาวุธ สรรพวรสถิตย์, อ.ดร. ชาลิดา บรมพิชัยชาติกุล และ ผศ.ดร. วรภา คงเป็นสุข

อุปสรรคและปัญหา

เนื่องจากวัตถุดิบส่วนใหญ่ที่ใช้ในโครงการวิจัยเป็นวัตถุดิบในท้องถิ่นของจังหวัดน่านเป็นทรัพยากรธรรมชาติ มีเฉพาะฤดูกาล และไม่ได้มีการเพาะปลูกให้เป็นพืชเศรษฐกิจ อีกทั้งปริมาณของวัตถุดิบไม่สม่ำเสมอ ขึ้นกับสภาวะอากาศในแต่ละปี และด้วยเหตุผลข้างต้นจึงยังไม่เหมาะสมที่จะศึกษาศักยภาพเชิงพาณิชย์สำหรับผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาขึ้น หากแต่ผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาขึ้นเป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบ (prototype) ที่คาดว่ามีศักยภาพในการผลิตเชิงอุตสาหกรรมขนาดเล็ก ที่เหมาะสำหรับโครงการ 1 ตำบล 1 ผลิตภัณฑ์และการพัฒนาของชุมชนได้ต่อไป

สารบัญ

โครงการย่อย	หน้า
1. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ลูกชุบจากถั่วมะแฮะ *Cajanus cajan* Millsp	1 - 32
2. การพัฒนาผลิตภัณฑ์เห็ดพื้นบ้านอบแห้งของจังหวัดน่าน	33 – 57
3. การพัฒนาอุปกรณ์แยกดินและทรายออกจากสาหร่ายไก	58 – 76
4. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ชาข้าวหอมมะลิใบหม่อน *Morus alba* Linn	77 – 96
5. การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารหมักจากข้าวโพด	97 – 151
6. มอยส์เจอร์ซอร์พชันไอโซเธอร์มของผงสาหร่ายไกปรุงรสโรยข้าว	152 – 188

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการย่อย เรื่อง

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ลูกชุบจากถั่วมะแฮะ *Cajanus cajan* Millsp

ในโครงการวิจัย เรื่อง

การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารจากวัตถุดิบท้องถิ่นของจังหวัดน่าน

ปีงบประมาณ 2549

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดย

รศ. ดร. พันธิพา จันทวัฒน์

นายศุภกิจ อติวรมันต์

นายพูนทรัพย์ เฮงอู๋

บทคัดย่อ

ถั่วมะแฮะทั้งเปลือกมีความชื้น 9.94% โปรตีน 16.55% ไขมัน 1.18% คาร์โบไฮเดรต 68.94% เส้นใยอาหาร 26.01%และเถ้า 3.39% ขณะที่ถั่วมะแฮะกะเทาะเปลือกมีความชื้น 8.85% โปรตีน 17.70% ไขมัน 1.58% คาร์โบไฮเดรต 68.56% เส้นใยอาหาร 13.34%และเถ้า 3.31% ในโครงการวิจัยนี้ได้นำถั่วมะแฮะมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ลูกชุบ โดยศึกษาวิธีการกะเทาะเปลือก 2 วิธี คือ แบบเปียก (ต้มในน้ำเดือด 25 นาทีแล้วแยกเปลือกออก) และแบบแห้ง (ตีปั่นให้เปลือกแตกก่อนแล้วใช้ลมเป่าแยกส่วนเปลือกออก) พบว่า วิธีแบบเปียกให้ %yield มากกว่า ($p \leq 0.05$) จากนั้นศึกษาสภาวะในการกวนของถั่วทั้งเปลือกและกะเทาะเปลือก โดยแปรเวลาในการกวนเป็น 10, 20, 30 นาที ควบคุมอุณหภูมิขณะกวนที่ 68°C ผลิตภัณฑ์ที่ได้วัดค่า a_w และวิเคราะห์เนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture Analyzer เทียบกับลูกชุบที่มีขายตามท้องตลาด พบว่าตัวอย่างที่กวนเป็นเวลา 20 นาทีมีค่าความแข็งใกล้เคียงกับลูกชุบอ้างอิงมากที่สุด ($p \leq 0.05$) และเนื้อสัมผัสเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากที่สุด ($p \leq 0.05$) จากนั้นนำตัวอย่างไปชุบเคลือบด้วยสารเคลือบแปรชนิดสารเคลือบเป็น agar และ carrageenan ที่ความเข้มข้น 1.0, 2.0, 2.5% w/w ควบคุมอุณหภูมิขณะเคลือบที่ 65°C ชุบเคลือบครั้งละ 3 วินาที แปรจำนวนครั้งในการเคลือบเป็น 1, 2, 3 ครั้ง ทิ้งให้แห้งเป็นเวลา 5 นาที แล้วลอกฟิล์มออกมาวัดความหนาด้วย micrometer เทียบกับตัวอย่างอ้างอิง พบว่าทั้ง agar และ carrageenan ที่ความเข้มข้น 2.5% w/w เคลือบ 2 ครั้ง ให้ผลิตภัณฑ์ที่ความหนาของชั้นเคลือบใกล้เคียงกับลูกชุบอ้างอิงมากที่สุด ($p \leq 0.05$) นำผลิตภัณฑ์ลูกชุบทั้ง 4 ตัวอย่าง (มีเปลือกและไม่มีเปลือกที่เคลือบด้วย agar และ carrageenan) มาทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค พบว่าผลิตภัณฑ์ทั้ง 4 ตัวอย่างไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) จากนั้นเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ทั้ง 4 ตัวอย่างที่บรรจุภายใต้ความดันบรรยากาศในถุง HDPE ที่อุณหภูมิห้องและ 4°C ผลการเก็บรักษาพบว่าตัวอย่างที่เคลือบด้วย carrageenan มีอัตราการลดลงของค่า a_w ต่ำกว่าตัวอย่างที่เคลือบด้วย agar ผลิตภัณฑ์ทั้ง 4 ตัวอย่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องได้ไม่เกิน 4 วัน และเก็บที่อุณหภูมิ 4°C ได้ไม่เกิน 15 วัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Abstact

Analyses of the chemical compositions of the Angola pea revealed that the intact pea has 9.94% moisture, 16.55% protein, 1.18% fat, 68.94% carbohydrate, 26.01% fiber and 3.39% ash, while the dehulled sample has 8.85% moisture, 17.70% protein, 1.58% fat, 68.56% carbohydrate, 13.34% fiber and 3.31% ash. In this research lookshoop was developed from Angola pea. Two dehulling methods,wet and dry, were studied. In wet method, the pea was boiled in boiling water for 25 minutes and the hull were separated. In dry method,the intact pea was beated in a low speed blender until cracking and the hull removed by air blowing.Result indicated that wet method provided sample with higher yield. Cooking condition of sample with and without hull were studied at 68°C for 10, 20 and 30 minutes.The a_w and texture quality bytexture analyzer of the resulting pea were measure and compare with those of the commercial (reference) samples. The sample that cooked for 20 minutes has hardness value resemble that of the reference sample ($p \leq 0.05$), and also processes the hightest texture score ($p \leq 0.05$). Later, the cooked bean were dip coating in 65°C agar and carrageenan at 1.0, 2.0 and 2.5% w/w concentration. The 3-second-dipping was repeated 1 or 2 or 3 times for each sample to vary the thickness of the coating layer. A drying period of 5 minutes was allowed after each dipping. Then the coating films were peeled off and measured for their thicknesses. Results showed that the products, which were coated twice with 2.5% w/w either of the agar or carrageenan solution has the thickness value resemble that of the reference sample ($p \leq 0.05$). The four lookshoop samples including hulled and dehulled that were coated with agar and carrageenan were tested for comsumer acceptance. Results showed that they were not different ($p \leq 0.05$). The four lookshoop samples were then air packed in HDPE bags and kept either at room temperature or at 4°C. Carrageenan can decrease the reduction of sample a_w comparing with those agar coated. The shelf life of the four samples kept at room temperature was no longer than 3 days while those kept at 4°C were no longer than 15 days.

สารบัญเรื่อง

	หน้า
บทนำ	7
วารสารปริทัศน์	8 - 12
วิธีการดำเนินงานวิจัย	13 - 16
ผลการทดลองและวิจารณ์	17 - 26
สรุปผลการทดลอง	27
บรรณานุกรม	28 - 29
ภาคผนวก ก.	30
ภาคผนวก ข.	31 - 32

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	องค์ประกอบทางเคมีของถั่วมะแฮะทั้งเปลือกและมะแฮะกะเทาะเปลือกเทียบกับถั่วเขียว	17
2	ลักษณะปรากฏหลังต้ม ลักษณะของเนื้อถั่วที่แยกได้ และYield ของถั่วที่ได้จากการแยกเปลือกแบบเปียกและแบบแห้ง	18
3	ค่า a_w ของถั่วที่กวนที่อุณหภูมิ 68°C เป็นเวลา10-30 นาที	19
4	ค่าความแข็งที่วัดได้จากเครื่องTexture Analyzer ของถั่วที่กวนที่อุณหภูมิ 68 °C ด้วยเวลาต่างๆ	20
5	คะแนนทดสอบทางประสาทสัมผัสของถั่วที่กวนที่อุณหภูมิ 68°C เป็นเวลาต่างๆ	20
6	ความหนาของชั้นเคลือบของผลิตภัณฑ์ลูกชุบที่เคลือบ agar และ carrageenan โดยเคลือบ 1-3 ชั้น ที่ความเข้มข้นของสารเคลือบ 1.0-2.5 %	21
7	คะแนนทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ลูกชุบที่ผลิตจากถั่วมะแฮะกะเทาะเปลือกและถั่วมะแฮะทั้งเปลือก	23
8	ค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ลูกชุบทั้ง 4 ตัวอย่าง ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ที่ 0 และ3 วัน	24
9	ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ลูกชุบทั้ง 4 ตัวอย่าง ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ที่ 0 และ3 วัน	24
10	ปริมาณราและยีสต์ของผลิตภัณฑ์ลูกชุบทั้ง 4 ตัวอย่าง ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ที่ 0 และ3 วัน	24
11	ค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ลูกชุบทั้ง 4 ตัวอย่างเก็บที่อุณหภูมิ 4°C ที่เวลา 0-15 วัน	25
12	ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ลูกชุบทั้ง 4 ตัวอย่างเก็บที่อุณหภูมิ 4°C ที่เวลา 0-15 วัน	25
13	ปริมาณราและยีสต์ของผลิตภัณฑ์ลูกชุบทั้ง 4 ตัวอย่างเก็บที่อุณหภูมิ 4°C ที่เวลา 0-15 วัน	26

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
1	ถั่วมะแฮะ	8
2	แม่พิมพ์ลูกชุบ	16
3	ถั่วมะแฮะทั้งเปลือกต้มสุก	17
4	ถั่วมะแฮะกะเทาะเปลือกต้มสุก	17
5	ถั่วกวนจากมะแฮะทั้งเปลือก	20
6	ถั่วกวนจากมะแฮะกะเทาะเปลือก	20
7	ผลิตภัณฑ์ลูกชุบที่ผลิตจากถั่วมะแฮะไม่กะเทาะเปลือก (ส่วนลูก) และถั่วมะแฮะกะเทาะเปลือกแล้ว (ส่วนใบเลี้ยง)	22
8	ผลิตภัณฑ์ลูกชุบที่สำเร็จชุบเคลือบด้วย carrageenan	22

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทนำ

จังหวัดน่านปลูกถั่วมะแฮะ *(Cajanus cajan* Millsp.) ซึ่งเป็นพืชตระกูลถั่ว (Legume) พื้นเมืองเขตร้อนหรือกึ่งร้อน เพื่อปรับปรุงคุณภาพของดินเช่นเดียวกับจังหวัดอื่นๆของประเทศไทย ถั่วมะแฮะมีชื่อสามัญว่า Pigeon pea, Angola pea และ Congo pea ชื่ออื่นๆที่เรียกกันในประเทศไทยคือถั่วแระ (ในภาคกลาง) ถั่วแม่ตาม ถั่วแรด (ที่ชุมพร) และมะแฮะต้น (ในภาคเหนือ) นอกจากการปรับปรุงคุณภาพของดิน ในเอเซีย (โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศอินเดีย) อเมริกาใต้ และแอฟริกา (ซึ่งเป็นถิ่นกำเนิดของต้นถั่วมะแฮะ) มีการใช้เมล็ดถั่วมะแฮะเป็นอาหารของมนุษย์และใช้เลี้ยงสัตว์ สำหรับในประเทศไทยบริโภคทั้งเมล็ดและฝักอ่อน เมล็ดถั่วมะแฮะมีโปรตีนประมาณร้อยละ 20 มีกรดอะมิโนที่จำเป็น (ยกเว้น methionine และ cystine) ในปริมาณสูง ขณะที่มีการแปรรูปและการดัดแปรโปรตีนที่สกัดจากถั่วเหลืองเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆในอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลาย แต่การใช้โปรตีนที่สกัดจากถั่วอื่นรวมทั้งถั่วมะแฮะเชิงอุตสาหกรรมน้อยมากหรือไม่มีเลย นอกจากนั้นในปัจจุบันมีการนำถั่วมะแฮะมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ค่อนข้างน้อย ทั้งๆที่บางสายพันธุ์ไม่มีกลิ่นที่ไม่ชวนบริโภคแต่อย่างใด จากการที่ถั่วมะแฮะมีโปรตีนในปริมาณค่อนข้างสูงคล้ายถั่วเขียว จึงน่าจะนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้เช่นเดียวกับถั่วเขียว ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการผลิตและอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ลูกชุบจากถั่วมะแฮะเพื่อเป็นการเพิ่มความหลากหลายของผลิตภัณฑ์จากวัตถุดิบที่ผลิตในจังหวัดน่าน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

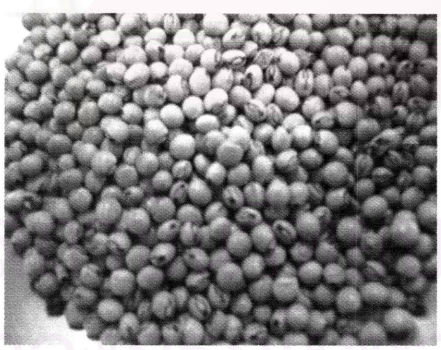
วารสารปริทัศน์

ถั่วมะแฮะ

ถั่วมะแฮะ มีชื่อวิทยาศาสตร์ *Cajanus cajan* Millsp. ซึ่งเป็นพืชตระกูลถั่วพื้นเมืองเขตร้อนหรือกึ่งร้อนมีถิ่นกำเนิดในทวีปแอฟริกา ลักษณะเป็นไม้พุ่มยืนต้น ลำต้นตั้งตรง ใบประกอบแบบขนนก มีใบย่อย 3 ใบเรียงสลับกันใบแหลมแคบปลายแหลมยาว 5 ถึง 10 เซนติเมตรมีขนบางๆทั้ง 2 ด้าน ดอกช่อออกที่ซอกใบ ออกดอกระหว่างเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์ ดอกมีสีเหลืองด้านหลังมีสีน้ำตาล เส้นผ่าศูนย์กลางดอกยาว 2 เซนติเมตรฝักยาว 5 ถึง 7.6 เซนติเมตรกว้าง 1.3 เซนติเมตร ปลายโค้งมีขน เมล็ดมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.6 เซนติเมตร สีน้ำตาลมีรูเล็กๆสีขาว (ปราโมทย์ ศรีภิรมย์, 2540)

เมล็ดถั่วมะแฮะเป็นอาหารของมนุษย์และใช้เลี้ยงสัตว์ บริโภคได้ทั้งเมล็ดและฝักอ่อน เมล็ดถั่วมะแฮะมีโปรตีนประมาณร้อยละ 20 ประกอบด้วยกรดอะมิโนที่จำเป็น (ยกเว้น methionine และ cystine) ในปริมาณสูง สามารถนำมาแปรรูป โดยเอาเมล็ดมาทำเป็นแป้งและต้มรับประทาน ฝักแห้งกะเทาะเอาเมล็ดออกขายได้ ถั่วมะแฮะมีสรรพคุณทางยาคือ ขับปัสสาวะ ละลายก้อนนิ่วที่เกิดจากไต แก้ปัสสาวะแดง เหลือง ขุ่น ขับลม รักษาแผล แก้ท้องเสีย แก้น้ำเหลืองเสีย ขับเสมหะ (ปราโมทย์ ศรีภิรมย์, 2540)

เมล็ดถั่วมะแฮะมีแป้งมากจึงมีคนนำมาใช้ในการทำซุป ต้มสุกในน้ำเกลือ และบดเอาแป้งออกมาใช้ประโยชน์อย่างอื่น เป็นต้น แป้งที่ได้จะมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูงประมาณ 24.2% และมี albumins globulins เป็นองค์ประกอบประมาณ 70% (Singh, Jambunathan and Gurtu, 1981)



รูปที่ 1 ถั่วมะแฮะ

ขนมลูกชุบ

ขนมลูกชุบเป็นขนมไทยโบราณประเภทหนึ่ง ขั้นตอนการทำเริ่มจากนำถั่วเขียวที่กะเทาะเปลือกแล้วเลือกเอากรวด ทราย รวมทั้งเม็ดที่เสียออก ล้างน้ำให้สะอาดแล้วแช่ทิ้งไว้อย่างน้อย 2 ชั่วโมงจึงนำไปนึ่งจนสุก ขั้นตอนต่อมาขูดมะพร้าวที่แก่จัด จะโดยการใช้กระต่ายหรือเครื่องขูดสมัยใหม่ก็ได้ แต่ที่สำคัญคือต้องไม่ให้มีกะลาชั้นในติดมา เพราะจะทำให้น้ำกะทิที่ได้ไม่ขาวจริง ในการคั้นมะพร้าวนั้นควร

ใช้น้ำต้มสุกอุ่น ๆ ใส่ทีละน้อย เพื่อให้ได้น้ำกะทิที่ข้นมันตามปริมาณที่ต้องการ หรือถ้าจะให้ดีควรคั้นด้วยน้ำดอกไม้สด เช่น ดอกมะลิ เพราะจะทำให้ได้น้ำกะทิที่มีกลิ่นหอม จากนั้นจึงนำกะทิที่ได้มาผสมกับถั่วที่นึ่งจนสุกและบดจนได้เนื้อถั่วที่เนียนละเอียด (วันดี ณ สงขลา, 2533)

เมื่อได้ถั่วที่มีเนื้อละเอียดดีแล้วจึงนำมาใส่ลงกระทะทองเหลืองพร้อมทั้งใส่น้ำตาลทราย กวนด้วยไฟอ่อน ๆ จนเนื้อถั่วข้นเหนียว ล่อนไม่ติดกระทะ หลังจากนี้จึงยกถั่วลงปล่อยไว้ให้เย็นแล้วจึงนวดให้เป็นเนื้อเดียวกัน โดยขณะที่นวดเนื้อถั่วจะต้องไม่เหนียวติดมือ แบ่งถั่วกวนเป็นก้อนขนาดเท่ากับลูกชุบที่ต้องการปั้น แล้วนำไปอบควันเทียนก่อนจะนำมาปั้นแต่งจนกลายเป็นผลไม้หรือผักชนิดต่าง ๆ โดยปกติขนมลูกชุบมักเป็นขนมที่มีขนาดชิ้นพอดีคำ จึงมักเลียนแบบผลไม้ที่มีขนาดเล็ก เช่น ลูกหว้า ชมพู่ พลาสติก มะยม่ ตะขบ ละมุดสีดา ฯลฯ หรืออาจจะเลียนแบบผลไม้ที่มีขนาดใหญ่ เช่น มะม่วง มังคุด มะเฟือง มะปราง กล้วยหอม ฯลฯ ก็ได้แต่ต้องย่อส่วนเสียก่อนบางทีก็มีการปั้นเป็นรูปผักต่าง ๆ อย่าง แครอท ข้าวโพด ควรปั้นให้เนื้อถั่วมีผิวเรียบสนิทไม่มีรอยต่อรอยแยกซึ่งจะทำให้ลงสีได้สวยงาม (วันดี ณ สงขลา, 2533)

สำหรับสีที่ใช้ในการทำลูกชุบนั้น อาจเป็นสีที่ได้จากธรรมชาติอย่าง ใบเตย กระเจี๊ยบ ดอกอัญชัญ ฟักทองก็ได้ หรือถ้าต้องการความสะดวกก็อาจใช้สีผสมอาหารที่ปลอดภัยแทน ซึ่งข้อดีของสีเหล่านี้คือจะมีหลากสีให้เลือกมากกว่าทำให้ได้สีของลูกชุบที่เหมือนสีของผลไม้จริง การลงสีลูกชุบก็มีหลักคล้ายกันการลงสีทั่ว ๆ ไปคือพยายามปาดพู่กันไปในทิศทางเดียว ไม่ปาดกลับไปกลับมาเพราะจะทำให้ผิวหน้าของเนื้อถั่วกลายเป็นขุย และถ้าต้องการลงสีมากกว่า 1 สีควรทิ้งให้สีหนึ่งแห้งเสียก่อนจึงจะลงอีกสีหนึ่งตามไม่เช่นนั้นสีจะซึมแผ่จนผสมกันดูมีน่ารับประทาน

ขั้นสุดท้ายของการทำลูกชุบคือการชุบวุ้น(agar) ในขั้นตอนนี้ต้องเสียเวลาในการเคี่ยววุ้นนานถึง 23-30 นาทีจึงจะได้วุ้นที่ขึ้นเงา หลังจากนั้นจึงนำมากรองแล้วให้ความร้อนบนอ่างทำร้อน (water bath) ไว้ตลอดเพื่อไม่ให้วุ้นแข็งตัว นำถั่วที่ลงสีและปล่อยไว้จนแห้งมาชุบในวุ้นโดยชุบทีเดียวให้ทั่วทั้งลูกรอจนแห้งแล้วจึงชุบทับอีกครั้งหรือ 2 ครั้งจนกว่าจะได้ขนมที่เงาคล้ายผลไม้ที่มีคุณภาพดี ตกแต่งขั้ว กิ่ง ก้าน ใบ ตามลักษณะของผลไม้จริงนั้น ๆ โดยใช้ใบแก้วมาตัดแต่ง หรือถ้าจะให้ดีควรใช้วุ้นมาตกแต่งเพราะสามารถรับประทานได้ด้วย เมื่อได้ลูกชุบที่สวยงามแล้วก็นำมาจัดลงภาชนะเดียวกัน (วันดี ณ สงขลา, 2533)

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตลูกชุบ

1 น้ำตาลทรายขาว

โดยปกติแล้วไส้ของขนมลูกชุบมักจะมีรสหวานจัด จึงนำน้ำตาลทรายขาวมากวนผสมกับเนื้อถั่วกวนเพื่อให้ความหวานกับเนื้อถั่วกวน และยังช่วยรักษาความชุ่มชื้น ทำให้เนื้อถั่วกวนที่ได้ไม่แข็งหรือเหนียวเกินไป อีกทั้งช่วยให้ขนมลูกชุบเก็บได้นาน โดยไม่ขึ้นรา เพราะความหวานของน้ำตาลนี้จะชะลอ

การเจริญของจุลินทรีย์จากการลดค่า a_w ในระบบ น้ำตาลที่ใช้ควรมีความละเอียด สีขาว และสะอาด เพราะจะผสมเข้ากับส่วนผสมอื่นๆได้ดี ถ้าน้ำตาลทรายที่ใช้มีขนาดใหญ่และหยาบ จะผสมกับส่วนผสมต่างๆ ไม่ดีเพราะผลึกขนาดใหญ่ของน้ำตาลละลายไม่หมดและยังคงอยู่เป็นเม็ดผลึกของน้ำตาลซึ่งซึ่งทำในผลิตภัณฑ์ที่ได้มีเนื้อสัมผัสไม่เป็นอันหนึ่งอันเดียวกัน (เนื้อทอง วนานุวัธ, 2527)

2 กะทิ (coconut milk)

กะทิ คือ ของเหลวที่ได้จากการคั้นเนื้อมะพร้าวกับน้ำหรือไม่เติมน้ำก็ได้ เป็นของเหลวสีขาวขุ่น (white opaque) ซึ่งจัดเป็น oil-in-water emulsion (Dendy & Timmins, 1973) เมื่อตั้งทิ้งไว้หรือนำไปเข้าเครื่อง centrifuge จะแยกเป็นสองส่วนคือ ชั้นของครีม (cream) เป็น oil phase อยู่ด้านบน ส่วนชั้นล่างเป็น aqueous phase หรือที่เรียกว่า coconut skim milk การคั้นมะพร้าวเพื่อให้ได้หัวกะทิจะนวดมะพร้าวก่อนใส่น้ำร้อนหรือน้ำสุกในปริมาณไม่มากนัก พร้อมทั้งบีบอัดให้น้ำในมะพร้าวออกมา จะได้หัวกะทิที่ข้นขาว

3 สีผสมอาหาร (food color)

สีผสมอาหาร คือสารเจือปนในอาหาร ใช้เพื่อเพิ่มความดึงดูดใจ แต่งแต้มสีสัน และช่วยให้อาหารน่ารับประทานมากยิ่งขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารเป็นที่พอใจของผู้บริโภค แก้ปัญหาการแปรเปลี่ยนสีตามธรรมชาติเนื่องจากการแปรรูปและเก็บรักษา เพื่อรักษาเอกลักษณ์ของอาหาร สีผสมอาหารเป็นอาหารควบคุมเฉพาะ ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 21 (พ.ศ.2522) ซึ่งได้แบ่งสีผสมอาหารตามที่กระทรวงสาธารณสุขอนุญาตให้ใช้ผสมอาหารได้ 3 ประเภท คือ สีจากธรรมชาติโดยการสกัดพืชและสัตว์ที่ใช้บริโภคได้โดยไม่เกิดอันตราย สีอินทรีย์ และสีอินทรีย์ที่ได้จากการสังเคราะห์

สีอนินทรีย์ ได้แก่ ผงถ่านที่ได้จากเผาพืช (Vegetable charcoal) และไตเตเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide) ส่วนสีอินทรีย์ที่ได้จากการสังเคราะห์ ได้แก่ จำพวกสีแดง เช่น ปองโซ 4 อาร์ (Ponceau-4 R) เออริโธรซีน (Erythrosine) จำพวกสีเหลือง เช่น ตาร์ตราซีน (Tartrazine) ซันเซต เยลโลว์ เอฟซีเอฟ (Sunset yellow FCF) จำพวกสีเขียว เช่น ฟาสต์กรีน เอฟซีเอฟ (Fast green FCF) และจำพวกสีน้ำเงิน เช่น อินดิโกคาร์มีน หรืออินดิโกทีน (Indigocarmine or indigotine) บริลเลียนต์บลู เอฟซีเอฟ (Brilliant blue FCF) (ศิวาพร ศิวเวชช, 2535)

โพลีเมอร์ที่ใช้ผลิตขนมลูกชุบ

1 วุ้น (Agar)

เป็น colloidal polygalactoside ประกอบด้วยอะกาโรส (agarose) ซึ่งเป็นส่วนที่เป็นสายโซ่ตรงของ agarobiose (1,4-connected 3,6-anhydro-L-galactose with 1,3-linked D-galactose ใช้เป็นตัวบอกกำลังของวุ้น) และอะกาโรเพกติน (agaropectin) ซึ่งเป็น agarose ที่ถูก sulfonate บางส่วน (อาจมี sulfate ester นี้ถึงร้อยละ 5-10 และทำให้เจลจากวุ้นมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น แต่จะทำให้เจลมี

เนื้อขุ่นถ้าใช้น้ำกระด้างในกระบวนการ) มีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่า 20,000 ราคาค่อนข้างแพง เจลจะละลายได้ดีในน้ำร้อนเกินกว่า 90 องศาเซลเซียส เวลาใช้ต้องแช่น้ำก่อนแล้วจึงเติมน้ำร้อน ใช้น้ำในการละลายค่อนข้างมาก ประมาณ 30-50 เท่า (โดยน้ำหนัก) ในสภาวะที่เป็นกรดเจลที่ได้จะไม่เซตตัว ดังนั้นในกระบวนการผลิตที่มีการเติมกรด จึงต้องลดอุณหภูมิลงจนถึงประมาณ 60 องศาเซลเซียส จึงค่อยเติมกรด วุ้นจะเกิดเจลได้สูงสุดที่ pH 8-9 มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 76-78 ถ้าปริมาณของแข็งเกินกว่าร้อยละ 80 วุ้นจะมีความแข็งน้อยลง ลักษณะเฉพาะของเจลที่ได้จากวุ้น คือ มีเนื้อสัมผัสเป็นแบบแข็งเปราะ และ กัดขาดได้ง่าย มีสมบัติการหลอมและการแข็งตัวเป็นปรากฏการณ์ที่เรียกว่า hysteresis ซึ่งนับว่ามีประโยชน์ในการใช้งาน ไม่ต้องเกรงว่าวุ้นจะแข็งตัวก่อนเมื่อเทลงแม่พิมพ์ ข้อดีของวุ้น คือ เป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ที่ร่างกายคนเราย่อยไม่ได้ จึงใช้สำหรับผลิตภัณฑ์แคลอรีต่ำ และมีจุดหลอมเหลวสูง จึงไม่ละลายที่อุณหภูมิห้อง แต่ถ้าเก็บในภาวะไม่เหมาะสมจะเกิดการ syneresis ได้ ข้อเสียคือ เป็นตัวนำกลิ่นรสที่ไม่ดีนัก และใช้เวลาในการเซตตัวนาน (สุวรรณา สุภิมารส, 2543)

พิสมัย สมสืบ และคณะ (2547) ได้ศึกษาวิธีการเก็บรักษาไรแดงด้วยวิธีการเคลือบวุ้น 0.5% เทียบกับการแช่น้ำเกลือ 0.5% และ 0.2% โดยใช้ปลา 2 ชนิด คือปลาทองและปลากัดเป็นตัวชี้วัด ผลการศึกษาพบว่า การเคลือบวุ้น 0.5 ให้กับไรแดงที่เสริมอาหาร (enrichment) มีผลให้มีค่าน้ำหนักสูญหายน้อยที่สุด ($p \leq 0.5$) ผลจากการศึกษาชี้ให้เห็นว่า การใช้วุ้นเคลือบไรแดงช่วยลดการสูญเสียน้ำหนักของปลา และนำมาเป็นอาหารเลี้ยงปลาทั้ง 2 ชนิดได้ดี

2 คาราจีแนน (Carrageenan)

เป็นโพลีแซกคาไรด์ที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเล มีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า ไอริสมอส (Iris moss) แหล่งกำเนิดมาจากทวีปยุโรปตอนเหนือ โดยใช้สารละลายด่างสกัดออกมาจากสาหร่ายทะเลสีแดงพวก Rhodophyceae

ในอุตสาหกรรม วัตถุดิบที่ใช้ในการสกัดคาราจีแนนจะเป็นสาหร่ายสีแดง คาราจีแนนที่ผลิตได้จะมี 3 ชนิด ขึ้นกับวัตถุดิบที่ใช้ สาหร่าย *Euchema cottoni* จะให้ผลผลิตเป็นคาราจีแนนแคปปา (kappa(κ)-carrageenan) ในขณะที่สาหร่าย *Euchema spinosum* จะให้ผลผลิตเป็นคาราจีแนนไอโอตา (iota(ι)-carrageenan) และสาหร่าย *Gigartina acicularis* จะให้ผลผลิตเป็นคาราจีแนนแลมบ์ดา (iota(λ)-carrageenan) ซึ่งโครงสร้างหลักทางเคมีประกอบด้วยน้ำตาลดีกาแลกโตส (D-galactose) ต่อสลับด้วย ส่วนที่แตกต่างกันระหว่าง α-(1-3) และ β-(1-4) เป็นโมเลกุลใหญ่ บางจุดจะมีหมู่ฟอสเฟตเกาะอยู่ด้วย ส่วนที่ต่างกันระหว่างคาราจีแนนทั้ง 3 ชนิดคือ จำนวนและตำแหน่งของหมู่ฟอสเฟต คาราจีแนนชนิด แคปปาและไอโอตาเท่านั้นจะเป็นชนิดที่ทำให้เกิดเจลได้ (ชนิดไอโอตาจะมีหมู่ฟอสเฟตมากกว่าชนิดแคปปา 1 หมู่) และมักจะพบปนกันอยู่เสมอ (สุวรรณา สุภิมารส, 2543)

คาราจีแนนแคปปาละลายได้ดีในน้ำอุ่น อุณหภูมิประมาณ 60-70°C สามารถทำปฏิกิริยากับโปรตีนในนมให้เจลที่หลอมได้เมื่อถูกความร้อน เจลนี้จะมีลักษณะเปราะและเกิดการแยกน้ำ

(syneresis) ได้ง่าย ดังนั้นจึงมักใช้ร่วมกับตัวอื่น (เช่น โลคัสบีนกัม) ส่วนชนิดไอโอตาจะละลายในน้ำอุ่น 55°C เกิดปฏิกิริยากับโปรตีนในนมให้เจลที่มีความยืดหยุ่น (elastic gel) โดยไม่มีการแยกน้ำ แต่เจลที่ได้ไม่ทนความร้อน สำหรับชนิดแลมบ์ดานั้นละลายได้ในน้ำเย็น และใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดเท่านั้น หากทำปฏิกิริยากับโปรตีนในนมให้เจลที่เละ ในทางปฏิบัติแล้วจะไม่ใช้คาราจีแนนชนิดใดชนิดหนึ่งโดยลำพัง แต่จะผสมกัน หรือผสมกับกัมอื่นๆในสัดส่วนต่างๆกันตามความต้องการของผู้ใช้ ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความแตกต่างกันไปมาก (สุวรรณา สุภิมารส, 2543)

ฟิล์มเคลือบบริโภคได้

ฟิล์มเคลือบบริโภคได้เป็นวัสดุที่มีลักษณะเป็นชั้นบาง ใช้เคลือบหรือห่อหุ้มผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อปกป้องการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ ฟิล์มดังกล่าวทำหน้าที่คล้ายผิวอีกชั้นหนึ่งของผลิตภัณฑ์ช่วยชะลอการซึมผ่านของไอน้ำ แก๊สและสารให้กลิ่นรสที่ระเหยได้อันเป็นผลให้ช่วยยืดอายุการเก็บของอาหารที่เคลือบ (Gennadios & Weller, 1990) ฟิล์มเคลือบบริโภคได้มีทั้งฟิล์มเดี่ยวและฟิล์มประกอบ โดยฟิล์มเดี่ยวผลิตจากโปรตีน โพลีแซ็คคาไรด์และไขมันส่วนฟิล์มประกอบผลิตจากโปรตีนร่วมกับไขมัน หรือโพลีแซ็คคาไรด์ร่วมกับไขมัน หรือใช้สารทั้งสามชนิดร่วมกัน (Donhowe & Fennema, 1994)

Baldwin (1994) ระบุว่า การเคลือบฟิล์มบริโภคได้บนผิวของผลิตภัณฑ์อาหาร โดยทั่วไปจะเคลือบเป็นชั้นบาง และไม่สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า วิธีการเคลือบฟิล์มทำได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์ และวัตถุประสงค์ที่จะนำไปใช้ Grant และ Burns (1994) รายงานวิธีใช้ฟิล์มบริโภคได้กับผลิตภัณฑ์อาหาร ได้แก่การชุบเคลือบ การทำให้เกิดฟอง การพ่นฝอย และการขึ้นรูปแผ่นฟิล์ม

การชุบเคลือบเป็นการเคลือบฟิล์มบนผิวของผลิตภัณฑ์อาหารโดยชุบหรือจุ่มในสารละลายเคลือบ ส่วนใหญ่ใช้วิธีนี้กับผลิตภัณฑ์ที่มีพื้นผิวไม่สม่ำเสมอ หลังจากการชุบ หรือจุ่มต้องกำจัดสารเคลือบส่วนเกินออก จากนั้นทำให้แห้ง หรือทำให้เกิดการแข็งตัวในกรณีที่สารเคลือบนั้นเป็นไขมัน ผลิตภัณฑ์อาหารที่นิยมเคลือบด้วยวิธีนี้ได้แก่ ผักผลไม้ และผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ นักวิทยาศาสตร์ทางอาหารหลายท่าน (Newhall & Grierson, 1956; VanDoren, 1994) รายงานว่า การชุบเคลือบผักผลไม้ในถัง เหมาะสำหรับผลิตผลที่มีปริมาณน้อย ขั้นตอนการชุบเริ่มจาก ล้างผลิตผลที่ต้องการชุบ และทำให้ผิวบริเวณที่ต้องการชุบแห้ง จากนั้นจุ่มลงในถังที่บรรจุสารเคลือบซึ่งอาจเป็นเรซิน หรืออิมัลชัน การชุบต้องทำให้เปียกอย่างทั่วถึงโดยไม่ต้องคำนึงถึงเวลาในการชุบเพื่อให้เกิดการห่อหุ้มที่ดี วิธีนี้จะได้ชั้นฟิล์มเคลือบที่หนา หลังชุบลำเลียงผลิตผลด้วยสายพานไปผ่านเครื่องเป่าแห้งด้วยลมร้อน หรือทำให้แห้งที่อุณหภูมิปกติ การชุบในถังขนาดใหญ่ติดต่อกันหลายๆครั้งจะทำให้เกิดการสะสมของจุลินทรีย์ ดิน และเศษสิ่งสกปรกที่อาจติดมากับผลิตผล จึงต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์ที่ช่วยกรองเศษสิ่งสกปรกออกจากสารเคลือบ นอกจากนี้ก่อนการชุบเคลือบต้องทำให้ผิวของผลิตผลแห้งสนิทเพื่อป้องกันการเจือจางของสารเคลือบ

วิธีการดำเนินงานวิจัย

วัตถุดิบ

ถั่วมะแฮะ *(Cajanus cajan* Millsp.) จากจังหวัดน่านเป็นถั่วที่เก็บเกี่ยวระหว่างเดือนพฤศจิกายน และเก็บในภาชนะปิดใส่ใน freezer (–18 °C) ไว้เป็นเวลาไม่เกิน 3 เดือนก่อนนำมาทดลอง

สารเคมี

สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางเคมี

Concentrated sulfuric acid	(AR)
Sulfuric acid 0.1N, 1N	(AR)
Sodium hydroxide 50%v/v	(AR)
Boric acid 4%v/v	(AR)
Catalyst (potassium sulphate 1.8g และ copper sulphate 0.32g)	(AR)
Petroleum ether	(AR)

สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์

Sodium chloride 0.85%w/v	(AR)
Plate count agar (stand method agar)	(AR)
Potato dextrose agar (PDA)	(AR)
Tartaric acid 10%w/v	(AR)

สารเคมีที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ลูกชุบ

น้ำตาลทราย (มิตรผล)	(Food grade)
Agar	(Commercial grade)
Carrageenan (Kappa)	(Commercial grade)

อุปกรณ์

อุปกรณ์ที่ใช้เตรียมวัตถุดิบ

เครื่อง Freezer (Super Cooler Freezer 230 V.) ขนาด 12 Cu.ft. ช่วงอุณหภูมิ -18±1°C

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางกายภาพ

เครื่อง Texture analyzer (TA-XT2) และหัว probe P100

อุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์ทางเคมี

ตู้อบ (WTB binder) ช่วงอุณหภูมิ 0-100°C

เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Sartorius, A200S)

เตาอบ 500°C (Carbolite)

เครื่องวัด a_w (NOVASINA TH-500)

อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Memmert, รุ่น WB-14)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์

ตู้บ่มเชื้อ (Incubator, Binder รุ่น BD) ช่วงอุณหภูมิ 5-99°C

อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ลูกชุบ

เครื่องปั่น Moulinex รุ่น AY46

ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

งานทดลองนี้แบ่งเป็น 6 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1. วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

นำถั่วมะแฮะมาคัดเมล็ดที่เสีย กรวด สิ่งสกปรกออกแล้วแบ่งเมล็ดที่คัดได้เป็นสองส่วน ส่วนแรกกะเทาะเปลือกออก อีกส่วนไม่ต้องกะเทาะเปลือก นำแต่ละส่วนไปตีปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่น หลังจากนั้นนำไปวิเคราะห์ทางเคมี ได้แก่

1.1. ความชื้น (Robinson, 1981)

1.2. โปรตีน (AOAC., 1995)

1.3. ไขมัน (AOAC., 1995)

1.4. เถ้า (AOAC., 1995)

1.5. เส้นใยอาหาร (AOAC., 1995)

1.6. คาร์โบไฮเดรต โดยคำนวณจาก

คาร์โบไฮเดรต = 100-(ความชื้น+โปรตีน+ไขมัน+เถ้า)

2. ศึกษาวิธีการแยกเปลือก

เลือกวิธีแยกเปลือก 2 วิธี คือ

2.1 แยกเปลือกแบบแห้ง

ตีปั่นเมล็ดถั่วมะแฮะด้วยเครื่องปั่น Moulinex 3 รอบ รอบละ 5 วินาที ให้เปลือกถั่วมะแฮะแตกออก (ใส่ถั่วมะแฮะในปริมาณประมาณ 250 กรัม ต่อครั้ง) ใช้ลมเป่าแยกส่วนเปลือกออกนำส่วนที่ยังมีเปลือกติดอยู่ไปต้มในน้ำเดือดในอัตราส่วนถั่วมะแฮะต่อน้ำ 1:25 เป็นเวลา 25 นาที ใช้มือแยกส่วนเนื้อกับเปลือก นำส่วนเนื้อที่ได้ทั้งหมดไปอบแล้วชั่งน้ำหนัก คำนวณค่าyield และสังเกตลักษณะปรากฏ

2.2 แยกเปลือกแบบเปียก

ต้มเมล็ดถั่วมะแฮะในน้ำเดือดในอัตราส่วนถั่วมะแฮะต่อน้ำ 1:25 เป็นเวลา 25 นาที แล้วใช้มือถูแยกส่วนเนื้อกับเปลือก นำส่วนเนื้อที่ได้ทั้งหมดไปอบแล้วชั่งน้ำหนัก คำนวณค่าyield และสังเกตลักษณะปรากฏ

3. ศึกษาเวลาในการให้ความร้อน

ตีปั่นถั่วมะแฮะต้มสุกทั้งแบบมีเปลือกและแบบกะเทาะเปลือกให้ละเอียด ผสมกับส่วนผสมอื่นโดยใช้ถั่วมะแฮะ0.5 กิโลกรัม กะทิสำเร็จรูป UHT 250 มิลลิลิตร น้ำตาลทราย 0.35 กิโลกรัม จากนั้นนำไปกวนให้ความร้อนบนกระทะทองเหลืองคุมอุณหภูมิถั่วกวนที่ 68°C แปรเวลากวนเป็น 10, 20 และ 30นาที วัดค่า a_w และวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของถั่วที่กวนได้เทียบกับลูกชุบที่มีขายตามท้องตลาด (ลูกชุบเก้าพี่น้อง และลูกชุบสุพัตรา) ด้วยเครื่อง Texture Analyzer (ภาคผนวก ก) และวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสเพื่อคัดเลือกภาวะที่เหมาะสม

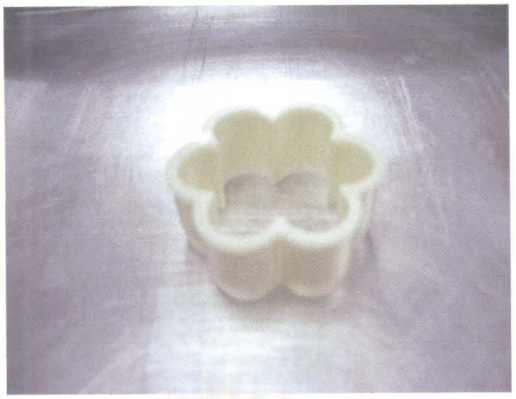
การวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยใช้สเกลแบบ Just about right ใช้ผู้ทดสอบทั่วไปจำนวน 50 คน (แบบสอบถามในภาคผนวก ข.1) การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสผลิตภัณฑ์ลูกชุบจากถั่วมะแฮะทั้งเปลือกและกะเทาะเปลือกที่กวนด้วยเวลาต่างๆ แล้ววิเคราะห์ข้อมูลโดย Randomized Complete Block Design เปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS 7.5 for Windows ทดลอง 2 ซ้ำ คัดเลือกเวลากวนที่เหมาะสมที่สุด จากผลการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส เพื่อศึกษาในขั้นต่อไป

4. ศึกษาความเข้มข้นสารเคลือบและจำนวนครั้งที่ใช้เคลือบ

ขึ้นรูปถั่วกวนจากถั่วมะแฮะทั้งเปลือกและกะเทาะเปลือกเป็นทรงกลมหนัก 10 กรัม จากนั้นเตรียมสารเคลือบโดย ใช้น้ำตาลทราย 20% สารเคลือบ (agar, carrageenan) ที่แปรความเข้มข้นสารเคลือบเป็น 1.0, 2.0, 2.5% w/w เติมน้ำกลั่น ให้ความร้อนจนสารละลายเดือดเป็นเวลา 5 นาที แล้วคุมอุณหภูมิสารละลายเป็น 65°C นำถั่วกวนที่ขึ้นรูปได้ชุบในสารละลายที่ได้โดยชุบเคลือบครั้งละ 3 วินาที แปรจำนวนครั้งในการเคลือบเป็น 1, 2, 3 ครั้ง แล้วทิ้งให้แห้ง 5 นาที ลอกฟิล์มออกมาวัดความหนาด้วย micrometer เทียบกับขนมลูกชุบตัวอย่างอ้างอิง

5. ผลิตผลิตภัณฑ์ลูกชุบถั่วมะแฮะ

ตีปั่นถั่วมะแฮะต้มสุกทั้งแบบมีทั้งเปลือกและกะเทาะเปลือกให้ละเอียด แล้วผสมกับส่วนผสมอื่นโดยใช้ถั่วมะแฮะ 0.5 กิโลกรัม กะทิสำเร็จรูป UHT 250 มิลลิลิตร น้ำตาลทราย 0.35 กิโลกรัม กวนขณะให้ความร้อนบนกระทะทองเหลืองคุมอุณหภูมิถั่วกวนที่ 68°C เป็นเวลา 20 นาที แล้วนำถั่วกวนที่ได้ขึ้นรูปด้วยพิมพ์ (รูปที่ 2) จากนั้นนำไปชุบเคลือบในสารเคลือบ (agar, carrageenan) เข้มข้น 2.0% w/w ซึ่งสีเขียวด้วยน้ำใบเตย ชุบเคลือบครั้งละ 3 วินาที 2 ครั้ง นำผลิตภัณฑ์มาวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส



รูปที่ 2 แม่พิมพ์ลูกชุบ

การวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยการทดสอบแบบ Quantitative Descriptive Analysis (Q.D.A.) ประเภท Structured Scaling Test ใช้ผู้ทดสอบกึ่งฝึกฝน 20 คน (แบบสอบถามในภาคผนวก ข.2) การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสผลิตภัณฑ์ลูกชุบจากถั่วมะแฮะทั้งเปลือกและกะเทาะเปลือก วิเคราะห์ข้อมูลโดย Factorial in Randomized Complete Block Design เปรียบ เทียบคะแนนเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS 7.5 for Windows ทดลอง 2 ซ้ำ

6. ศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์

ผลิตผลิตภัณฑ์ลูกชุบทั้ง 4 ตัวอย่าง (ลูกชุบที่ผลิตจากถั่วมะแฮะทั้งเปลือกและถั่วมะแฮะกะเทาะเปลือกที่เคลือบด้วย agar และ carrageenan) ที่มีคะแนนทางประสาทสัมผัสมากที่สุด(ถั่วมะแฮะทั้งเปลือกและถั่วมะแฮะกะเทาะเปลือกกวนที่ 68°C 20 นาที) บรรจุใส่ถุงพลาสติกชนิด HDPE ที่บรรจุสารดูดซับออกซิเจน ปิดผนึกถุงด้วยเครื่องปิดผนึก (Easy-pack, WEBOMATIC, Germany) แล้วเก็บผลิตภัณฑ์ทั้ง 4 ตัวอย่างที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 4 °C สุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์ทุกๆ 2 วัน โดยวัดค่า a_w ความแข็ง (AOAC., 1995) ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด (ICMSF, 1982) ปริมาณยีสต์และรา (ICMSF, 1982) วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) หาค่าเฉลี่ย a_w ความแข็ง ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด ปริมาณยีสต์และรา และวิเคราะห์เปรียบเทียบโดยวิธี Duncan โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS 7.5 for Windows ทดลอง 2 ซ้ำ

ผลการทดลองและวิจารณ์

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของถั่วมะแฮะทั้งเปลือกและถั่วมะแฮะกะเทาะเปลือก(ตารางที่ 1) พบว่าถั่วมะแฮะทั้งเปลือก มีปริมาณเส้นใยอาหารสูงกว่าถั่วมะแฮะกะเทาะเปลือกและเมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบถั่วมะแฮะและถั่วเขียวจากการวิเคราะห์ของ กองโภชนาการ กรมอนามัย (2530) พบว่ามีปริมาณคาร์โบไฮเดรต เถ้า และไขมันใกล้เคียงกันแต่ปริมาณโปรตีนต่ำกว่า

รูปที่ 3 ถั่วมะแฮะทั้งเปลือกต้มสุก

รูปที่ 4 ถั่วมะแฮะกะเทาะเปลือกต้มสุก

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของถั่วมะแฮะทั้งเปลือกและมะแฮะกะเทาะเปลือกเทียบกับถั่วเขียว

องค์ประกอบ	มะแฮะทั้งเปลือก[1]	มะแฮะกะเทาะเปลือก[1]	ถั่วเขียว[2]
ความชื้น (%w.b.)	9.94±0.49	8.85±0.30	6.10
โปรตีน (%w.b.)	16.55±1.22	17.70±1.04	24.40
ไขมัน (%w.b.)	1.18±0.09	1.58±0.11	1.00
คาร์โบไฮเดรต (%w.b.)	68.94±0.64	68.56±0.52	64.60
เส้นใยอาหาร (%w.b.)	26.01±0.16	13.34±0.09	4.30
เถ้า (%w.b.)	3.39±0.12	3.31±0.23	3.90

[1] ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

[2] ค่าจากตารางแสดงคุณค่าอาหารไทยในส่วนที่กินได้ 100 กรัม กรมอนามัยกองโภชนาการ กรมอนามัย, 2530

การแยกเปลือก

ในงานวิจัยนี้ ศึกษาวิธีการแยกเปลือกถั่วมะแฮะ 2 วิธี คือ การแยกเปลือกแบบแห้ง และการแยกเปลือกแบบเปียก จากตารางที่ 2 พบว่าการแยกเปลือกแบบแห้งให้ค่า yield เป็น 54.78% ส่วนการแยกเปลือกแบบเปียกให้ค่า yield เป็น 71.48% ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แสดงว่าวิธีการแยกเปลือกทั้ง 2 แบบให้ประสิทธิภาพที่แตกต่างกัน ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากวิธีการแยกเปลือกแบบแห้งใช้วิธีการตีปั่นให้เมล็ดถั่วแตกออกทำให้เปลือกล่อนออกจากเนื้อถั่วและเปลือกแตกออกเป็นชิ้นเล็กๆ จากนั้นจึงแยกเปลือกออกจากส่วนเนื้อโดยใช้ลมเป่าส่วนเปลือกออกนำส่วนที่ยังมีเปลือกติดอยู่ไปต้มในน้ำเดือดในอัตราส่วนถั่วมะแฮะต่อน้ำ 1:25 เป็นเวลา 25 นาที แล้วใช้มือถูแยกส่วนเนื้อกับเปลือก พบว่าส่วนเปลือกและเนื้อที่มีขนาดใกล้เคียงกันทำให้แยกออกจากกันได้ยาก จึงมีส่วนเนื้อปนติดไปกับส่วนเปลือกมาก ส่วนการแยกเปลือกแบบเปียกนั้นจะนำเมล็ดถั่วมะแฮะไปต้มในน้ำเดือดอัตราส่วนถั่วมะแฮะต่อน้ำ 1:25 เป็นเวลา 25 นาทีแล้วใช้มือถูแยกส่วนเนื้อกับเปลือกซึ่งวิธีนี้สามารถแยกเปลือกออกจากส่วนเนื้อได้มากกว่าแต่ใช้เวลานานกว่าวิธีแรก ในส่วนของลักษณะทางกายภาพของเนื้อถั่วที่ได้จากการแยกเปลือกทั้ง 2 วิธีพบว่าเนื้อถั่วที่แยกได้จากวิธีการแยกแบบแห้งจะแตกเป็นชิ้นเล็กๆและมีส่วนเปลือกปนติดอยู่มาก ในขณะที่เนื้อถั่วที่ได้จากวิธีการแยกเปลือกแบบเปียกเมล็ดถั่วจะแตกออกเป็น 2 ซีก และมีส่วนเปลือกปนอยู่น้อยกว่า ดังนั้นเมื่อพิจารณาค่า yield และลักษณะปรากฏของเนื้อถั่วที่แยกได้ ผู้วิจัยเลือกวิธีการแยกเปลือกแบบเปียกเพื่อใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

ตารางที่ 2 ลักษณะปรากฏหลังต้ม ลักษณะของเนื้อถั่วที่แยกได้ และYield ของถั่วที่ได้จากการแยกเปลือกแบบเปียกและแบบแห้ง

วิธีแยกเปลือก	ลักษณะปรากฏหลังต้ม	ลักษณะปรากฏเนื้อที่แยกได้	Yield (%)
แยกเปลือกแบบเปียก	เนื้อถั่วพองตัวขึ้นไม่แตกออกจากกัน เปลือกยังคงติดอยู่กับเนื้อ น้ำที่ใช้ต้มมีสีน้ำตาลแดงใส		$71.84^{a} \pm 1.59$
แยกเปลือกแบบแห้ง	เนื้อถั่วแตกออกเป็นซีกและแตกออกเป็นชิ้นเล็กๆ มีส่วนเปลือกหลุดและแตกออกเป็นชิ้นมีสีน้ำตาลแดงขุ่น		$54.78^{b} \pm 2.70$

เนื่องจากวิธีการแยกเปลือกแบบเปียกทำได้ยากและเสียเวลาในการแยกเปลือกมาก ผู้วิจัยจึงได้ลองใช้ถั่วมะแฮะทั้งเปลือกทดลองควบคู่ไปกับถั่วมะแฮะกะเทาะเปลือกในขั้นตอนต่อไป

ศึกษาเวลาในการให้ความร้อน

ศึกษาภาวะในการกวนโดยใช้ลูกชุบอ้างอิงทางการค้าที่เป็นที่รู้จักจาก 2 แหล่ง คือ ลูกชุบเก้าพี่น้อง และลูกชุบสุพัตรา โดยวัดค่า a_w และความแข็งไว้เป็นเกณฑ์เปรียบเทียบเพื่อหาเวลาที่ใช้ในการกวน ซึ่งในการทดลองขั้นต้น ผู้วิจัยได้ลองอุณหภูมิในการกวนต่างๆกัน และควบคุมอุณหภูมิในการกวนให้สม่ำเสมอ โดยการวัดอุณหภูมิของถั่วทุก 2 นาที พบว่าอุณหภูมิ 68$\pm$2°C เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมแก่การนำมาใช้ทดลองต่อ เนื่องจากถ้าใช้อุณหภูมิสูงกว่า 68°C จะทำให้ถั่วกวนไหม้ แต่ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่า 68°C จะใช้เวลานานมากเกินไป

จากตารางที่ 3 พบว่า ค่า a_w ของถั่วทั้ง 2 ตัวอย่าง (ถั่วมะแฮะทั้งเปลือกและถั่วมะแฮะกะเทาะเปลือก) ที่กวนด้วยเวลา 10 20 และ 30 นาทีมีความแตกต่างจากลูกชุบอ้างอิงอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) แต่เมื่อพิจารณาจากค่าความแข็งจากตารางที่ 4 พบว่าถั่วทั้ง 2 ตัวอย่างที่กวนด้วยเวลา 20 นาที มีค่าความแข็งใกล้เคียงกับลูกชุบอ้างอิง ($p>0.05$) และระดับคะแนนความชอบความแข็งจากตารางที่ 5 ถั่วทั้ง 2 ตัวอย่างที่กวนด้วยเวลา 20 นาที ก็มีระดับคะแนนความชอบสูงสุด ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกภาวะการกวนเป็น ใช้อุณหภูมิ 68°C นาน 20 นาที ในการทดลองขั้นต่อไป

ตารางที่ 3 ค่า a_w ของถั่วที่กวนที่อุณหภูมิ 68°C เป็นเวลา10-30 นาที

เวลาที่ใช้กวน (นาที)	a_w	
	ถั่วมะแฮะแบบกะเทาะเปลือก	ถั่วมะแฮะแบบทั้งเปลือก
10	$0.872^{b}\pm0.010$	$0.906^{b}\pm0.008$
20	$0.823^{c}\pm0.020$	$0.862^{c}\pm0.007$
30	$0.803^{c}\pm0.009$	$0.813^{d}\pm0.006$
ลูกชุบอ้างอิง	$0.924^{a}\pm0.013$	$0.924^{a}\pm0.013$

a,b,c,d ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($p\leq0.05$)

ลูกชุบอ้างอิง : ค่าเฉลี่ยวัดจากตัวอย่างทางการค้าของ ลูกชุบเก้าพี่น้อง และลูกชุบสุพัตรา

ตารางที่ 4 ค่าความแข็งที่วัดได้จากเครื่องTexture Analyzer ของถั่วที่กวนที่อุณหภูมิ 68 °C ด้วยเวลาต่างๆ

เวลาที่ใช้กวน (นาที)	ความแข็ง (N)	
	ถั่วมะแฮะแบบกะเทาะเปลือก	ถั่วมะแฮะแบบทั้งเปลือก
10	$2.453^{c}\pm0.205$	$2.542^{c}\pm0.212$
20	$3.071^{b}\pm0.212$	$3.128^{b}\pm0.326$
30	$4.084^{a}\pm0.255$	$4.174^{a}\pm0.262$
ลูกชุบอ้างอิง	$2.939^{b}\pm0.341$	$2.939^{b}\pm0.341$

a,b,c,d ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($p\leq0.05$)

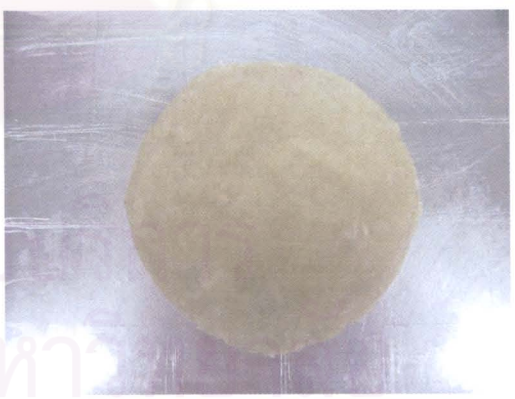
ลูกชุบอ้างอิง : ค่าเฉลี่ยวัดจากตัวอย่างทางการค้าของ ลูกชุบเก้าพี่น้อง และลูกชุบสุพัตรา

ตารางที่ 5 คะแนนทดสอบทางประสาทสัมผัสของถั่วที่กวนที่อุณหภูมิ 68°C เป็นเวลาต่างๆ

เวลาที่ใช้กวน (นาที)	ระดับคะแนนความชอบความแข็งของผลิตภัณฑ์	
	ถั่วมะแฮะแบบกะเทาะเปลือก	ถั่วมะแฮะแบบทั้งเปลือก
10	$4.49^{c}\pm1.02$	$4.75^{c}\pm0.95$
20	$6.78^{a}\pm0.92$	$6.50^{a}\pm1.25$
30	$5.66^{b}\pm1.14$	$5.22^{b}\pm1.28$

a,b,c,d ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($p\leq0.05$)

รูปที่ 5 ถั่วกวนจากมะแฮะทั้งเปลือก



รูปที่ 6 ถั่วกวนจากมะแฮะกะเทาะเปลือก

ศึกษาความเข้มข้นสารเคลือบและจำนวนครั้งที่ใช้เคลือบ

ในขั้นตอนนี้ได้ศึกษาภาวะในการเคลือบผลิตภัณฑ์โดยในขั้นต้นได้ลอกวุ้นที่เคลือบลูกชุบอ้างอิง (ลูกชุบเก้าพี่น้อง และลูกชุบสุพัตรา) ออกมาวัดความหนาด้วย micrometer เพื่อใช้เป็นเกณฑ์เปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ผลิตขึ้นจากตารางที่ 6 พบว่าเมื่อใช้สารเคลือบทั้ง 2 ชนิดเข้มข้น 2.5% เคลือบ 2 ชั้น และสารเคลือบ 2.0% เคลือบ 3 ชั้น จะให้ค่าความหนาสารเคลือบใกล้เคียงลูกชุบอ้างอิงซึ่งเคลือบ 2 ชั้น ($p>0.05$) แต่การเคลือบ 2 ชั้นใช้เวลาในการผลิตสั้นกว่า จึงเลือกใช้ภาวะที่สารเคลือบเข้มข้น 2.5% เคลือบ 2 ชั้น ในการเคลือบผลิตภัณฑ์ลูกชุบต่อไป

ตารางที่ 6 ความหนาของชั้นเคลือบของผลิตภัณฑ์ลูกชุบที่เคลือบ agar และ carrageenan โดยเคลือบ 1-3 ชั้น ที่ความเข้มข้นของสารเคลือบ 1.0-2.5 %

จำนวนชั้นที่เคลือบ*ความเข้มข้นสารเคลือบ(%)	ความหนาสารเคลือบ (mm)	
	agar	carrageenan
1*1.0	$0.33^{g}\pm0.03$	$0.38^{g}\pm0.05$
1*2.0	$0.46^{f}\pm0.09$	$0.49^{f}\pm0.04$
1*2.5	$0.71^{e}\pm0.02$	$0.78^{d}\pm0.03$
2*1.0	$0.67^{e}\pm0.02$	$0.71^{d}\pm0.04$
2*2.0	$0.88^{d}\pm0.05$	$0.94^{c}\pm0.01$
2*2.5	$1.36^{b}\pm0.03$	$1.41^{b}\pm0.04$
3*1.0	$1.04^{c}\pm0.07$	$1.12^{c}\pm0.03$
3*2.0	$1.31^{b}\pm0.02$	$1.37^{b}\pm0.04$
3*2.5	$1.86^{a}\pm0.07$	$2.06^{a}\pm0.02$
ลูกชุบอ้างอิง (2ชั้น)	$1.38^{b}\pm0.03$	$1.38^{b}\pm0.03$

a,b,c,d ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($p\leq0.05$)

ลูกชุบอ้างอิง : ค่าเฉลี่ยวัดจากตัวอย่างทางการค้าของ ลูกชุบเก้าพี่น้อง และลูกชุบสุพัตรา

ผลิตผลิตภัณฑ์ลูกชุบถั่วมะแฮะ

ผลิตภัณฑ์ลูกชุบที่ผลิตทางการค้าส่วนใหญ่ใช้สีผสมอาหารในการตกแต่งสีสันในปริมาณมาก และมักพบปัญหาจากการใช้สีผสมอาหารในปริมาณที่มากกว่าประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 21 (พ.ศ. 2522) ซึ่งระบุว่าอาหารประเภทขนมหวานที่ใช้สี อนุญาตให้ใช้ได้ไม่เกิน 70 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ผู้วิจัยจึงเปลี่ยนมาใช้สารให้สีจากธรรมชาติแทน โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้สีเขียวจากใบเตยในการทดลอง แต่เมื่อใช้สีดังกล่าวทาไปบนตัวถั่วกวนพบว่าสีไม่สามารถติดบนตัวถั่วกวนได้ เนื่องจากผิวถั่วกวนที่ขึ้นรูปไว้ค่อนข้างเรียบมันเพราะมีกะทิเป็นส่วนผสม ผู้วิจัยจึงเปลี่ยนมาใช้สีผสมลงไปในสารละลายที่จะใช้เคลือบ (agar, carrageenan) แล้วจึงนำถั่วกวนมาชุบเคลือบสารเคลือบดังกล่าว

ผลิตภัณฑ์ลูกชุบที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไปใช้วุ้น (agar) ในการชุบเคลือบ ซึ่งวุ้นดังกล่าวมีความสามารถในการกันการซึมผ่านความชื้นได้ไม่ดี ทำให้ผลิตภัณฑ์ลูกชุบที่ผลิตได้ไม่สามารถเก็บไว้ได้นานเนื่องจากสูญเสียความชื้นไป งานวิจัยนี้จึงได้พิจารณาใช้ carrageenan เป็นสารเคลือบแทนวุ้น (agar) โดยได้ใช้สารเคลือบทั้ง 2 ชนิดนี้ในการทดลองเพื่อเปรียบเทียบกัน

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ลูกชุบจากถั่วมะแฮะทั้ง 4 ตัวอย่าง (ถั่วมะแฮะทั้งเปลือกและกะเทาะเปลือกที่เคลือบด้วย carrageenan และ agar) โดยใช้ผู้ทดสอบกึ่งฝึกฝนจำนวน 20 คน โดยใช้การทดสอบแบบ Quantitative Descriptive Analysis (Q.D.A.) แบบ Structured Scaling Test จากตารางที่ 7 พบว่าความชอบของผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสต่อผลิตภัณฑ์ลูกชุบจากถั่วมะแฮะทั้ง 4 ตัวอย่าง ไม่มีความแตกต่างกัน ($p>0.05$) โดยลูกชุบที่เคลือบด้วย agar และ carrageenan มีลักษณะปรากฏไม่แตกต่างกันคือ สารเคลือบเรียบสม่ำเสมอเป็นมันวาว แต่ความรู้สึกเมื่อกัดแตกต่างกันโดย agar จะมีความเปราะเมื่อกัดลงไป ส่วน carrageenan จะมีความเหนียวหยุ่นมากกว่าซึ่งผู้บริโภคสามารถยอมรับได้ ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า สามารถใช้ carrageenan เป็นสารเคลือบแทน agar โดยที่ผู้บริโภคยังสามารถยอมรับในตัวผลิตภัณฑ์ได้ และยังสามารถใช้ถั่วมะแฮะทั้งเปลือกมาผลิตเป็นลูกชุบโดยที่ผู้บริโภคสามารถยอมรับได้ด้วยเช่นกัน

รูปที่ 7 ผลิตภัณฑ์ลูกชุบที่ผลิตจากถั่วไม่กะเทาะเปลือก (ส่วนลูก) และถั่วมะแฮะกะเทาะเปลือกแล้วมะแฮะ (ส่วนใบเลี้ยง)

รูปที่ 8 ผลิตภัณฑ์ลูกชุบที่สำเร็จชุบเคลือบด้วย carrageenan

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 7 คะแนนทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ลูกชุบที่ผลิตจากถั่วมะแฮะกะเทาะเปลือกและถั่วมะแฮะทั้งเปลือก

สารเคลือบ	ชนิดตัวอย่าง	คะแนน			
		ความหนาสารเคลือบ^{ns}	เนื้อสัมผัส^{ns}	กลิ่นรสแปลกปลอม^{ns}	ความชอบโดยรวม^{ns}
carrageenan	ถั่วมะแฮะกะเทาะเปลือก	7.80±1.41	7.53±0.93	8.15±1.22	7.90±0.92
	ถั่วมะแฮะทั้งเปลือก	7.75±1.12	7.15±1.04	8.10±1.40	7.68±1.10
agar	ถั่วมะแฮะกะเทาะเปลือก	7.86±1.32	7.48±1.14	8.04±0.98	8.08±1.45
	ถั่วมะแฮะทั้งเปลือก	7.78±0.83	7.24±1.50	8.20±1.34	7.83±1.22

^{ns} ความแตกต่างไม่มีนัยสำคัญ

<u>การศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์</u>

ศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ลูกชุบทั้ง 4 ตัวอย่าง (ถั่วมะแฮะทั้งเปลือกและกะเทาะเปลือกที่เคลือบด้วย carrageenan และ agar) โดยนำตัวอย่างมาเรียงใส่ถาดพลาสติก แล้วบรรจุทั้งถาดในถุง HDPE ปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศ จากนั้นเก็บตัวอย่างทั้ง 4 ที่อุณหภูมิห้อง และอุณหภูมิ 4°C ระหว่างเก็บสุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์ทุก 3 วัน โดยวัดค่า a_w ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด ปริมารราและยีสต์ การที่เลือกบรรจุภัณฑ์ดังกล่าวเพราะว่าถุง HDPE มีค่าอัตราการซึมผ่านความชื้น (WVTR) 0.3 gm.mil per 100 in^2.day (Gordon, 1993) ซึ่งอัตราการซึมผ่านความชื้นที่กล่าวนี้จะป้องกันการแลกเปลี่ยนความชื้นจากบรรยากาศภายนอกได้ดี แต่ถึงอย่างไรก็ตามบรรจุภัณฑ์จะสามารถรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยป้องกันไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงจากสิ่งแวดล้อมได้แค่ระยะเวลาหนึ่งเท่านั้น

จากตารางที่ 8-10 พบว่าเวลาในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ทั้ง 4 ตัวอย่างที่อุณหภูมิห้องไม่มีผลต่อค่า a_w ($p>0.05$) แต่ทำให้ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นซึ่งไม่เกินค่าที่กำหนดโดยมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของผลไม้กวน (มผช. 35-2546) ที่กำหนดไว้ว่าจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดต้องไม่เกิน $1x10^4$ โคโลนีต่อกรัม ราและยีสต์ต้องน้อยกว่า 100 โคโลยีต่อกรัม จากการทดลองพบว่า ตัวอย่างที่ผลิตขึ้นมีเชื้อราบนผิวหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 3 วัน ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าผลิตภัณฑ์ลูกชุบทั้ง 4 ตัวอย่าง มีอายุการเก็บรักษา 3 วัน เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้อง

ตารางที่ 8 ค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ลูกชุบทั้ง 4 ตัวอย่าง ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ที่ 0 และ3 วัน

เวลาที่เก็บ (วัน)	a_w^{ns}			
	ทั้งเปลือก+ agar	กะเทาะเปลือก+ agar	ทั้งเปลือก+ carrageenan	กะเทาะเปลือก+ carrageenan
0	0.845±0.012	0.862±0.020	0.845±0.035	0.862±0.016
3	0.838±0.014	0.854±0.018	0.840±0.020	0.856±0.025

^{ns} ความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

ตารางที่ 9 ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ลูกชุบทั้ง 4 ตัวอย่าง ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ที่ 0 และ3 วัน

เวลาที่เก็บ (วัน)	ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด (โคโลนีต่อกรัม)			
	ทั้งเปลือก+ agar	กะเทาะเปลือก+ agar	ทั้งเปลือก+ carrageenan	กะเทาะเปลือก+ carrageenan
0	<30	<30	<30	<30
3	$8.2x10^3$	$9.5x10^3$	$4.3x10^3$	$5.5x10^3$

ตารางที่ 10 ปริมาณราและยีสต์ของผลิตภัณฑ์ลูกชุบทั้ง 4 ตัวอย่าง ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ที่ 0 และ 3 วัน

เวลาที่เก็บ (วัน)	ปริมาณราและยีสต์ (โคโลนีต่อกรัม)			
	ทั้งเปลือก+ agar	กะเทาะเปลือก+ agar	ทั้งเปลือก+ carrageenan	กะเทาะเปลือก+ carrageenan
0	<30	<30	<30	<30
3	54	63	34	48

ผลิตภัณฑ์ทั้ง 4 ตัวอย่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C จากตารางที่ 11-13 พบว่าเมื่อเก็บนานขึ้น ค่า a_w ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์เริ่มต้น โดยเมื่อเก็บตัวอย่างไว้เป็นเวลา 15 วัน ลูกชุบที่ทำจากถั่วมะแฮะทั้งเปลือกและถั่วมะแฮะกะเทาะเปลือกที่เคลือบด้วย agar มีค่า a_w ลดลงจากเริ่มต้น คิดเป็น 9.23% และ 9.28% ตามลำดับ แต่ลูกชุบที่เคลือบด้วย carrageenan ที่ทำจากถั่วมะแฮะทั้งเปลือกและถั่วมะแฮะกะเทาะเปลือกมีค่า a_w ลดลงเพียง 5.92% และ 6.03% ตามลำดับ เนื่องจาก agar จะสามารถ form โครงสร้างที่ทำให้เกิดเจลที่มีลักษณะเป็นรูพรุน (Rees, 1969) จึงทำให้ความชื้นซึมผ่าน

ออกไปได้ง่ายกว่า carrageenan ซึ่งส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ลูกชุบที่เคลือบด้วย agar มีอายุการเก็บสั้นกว่า เนื่องจากสูญเสียความชื้นไป

ตารางที่ 11 ค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ลูกชุบทั้ง 4 ตัวอย่างเก็บที่อุณหภูมิ 4°C ที่เวลา 0-15 วัน

เวลาที่เก็บ (วัน)	a_w			
	ทั้งเปลือก+ agar	กะเทาะเปลือก+ agar	ทั้งเปลือก+ carrageenan	กะเทาะเปลือก+ carrageenan
0	$0.845^{a}\pm0.012$	$0.862^{a}\pm0.040$	$0.845^{a}\pm0.011$	$0.862^{a}\pm0.043$
3	$0.811^{b}\pm0.014$	$0.820^{b}\pm0.028$	$0.828^{b}\pm0.028$	$0.824^{b}\pm0.013$
6	$0.785^{c}\pm0.018$	$0.794^{c}\pm0.033$	$0.813^{c}\pm0.031$	$0.831^{c}\pm0.014$
9	$0.772^{c}\pm0.010$	$0.784^{c}\pm0.012$	$0.804^{c}\pm0.014$	$0.821^{c}\pm0.018$
12	$0.768^{cd}\pm0.023$	$0.782^{cd}\pm0.016$	$0.798^{cd}\pm0.022$	$0.815^{cd}\pm0.026$
15	$0.767^{d}\pm0.016$	$0.782^{d}\pm0.024$	$0.795^{d}\pm0.013$	$0.810^{d}\pm0.033$

a,b,c,d ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($p\leq0.05$)

ตารางที่ 12 ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ลูกชุบทั้ง 4 ตัวอย่างเก็บที่อุณหภูมิ 4°C ที่เวลา 0-15 วัน

เวลาที่เก็บ (วัน)	ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด (โคโลนีต่อกรัม)			
	ทั้งเปลือก+ agar	กะเทาะเปลือก+ agar	ทั้งเปลือก+ carrageenan	กะเทาะเปลือก+ carrageenan
0	<30	<30	<30	<30
3	<30	<30	<30	<30
6	<30	<30	<30	<30
9	140	154	153	158
12	385	407	370	412
15	957	1033	858	1095

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 13 ปริมาณราและยีสต์ของผลิตภัณฑ์ลูกชุบทั้ง 4 ตัวอย่างเก็บที่อุณหภูมิ 4°C ที่เวลา 0-15 วัน

เวลาที่เก็บ (วัน)	ปริมาณปริมาณราและยีสต์ (โคโลนีต่อกรัม)			
	ทั้งเปลือก+ agar	กะเทาะเปลือก+ agar	ทั้งเปลือก+ carrageenan	กะเทาะเปลือก+ carrageenan
0	<30	<30	<30	<30
3	<30	<30	<30	<30
6	<30	<30	<30	<30
9	<30	<30	<30	<30
12	48	52	50	54
15	75	82	76	81

เมื่อพิจารณาปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด ราและยีสต์ พบว่า เมื่อเก็บนานขึ้นปริมาณเชื้อจะเพิ่มขึ้นแต่ไม่เกินปริมาณที่กำหนด ในมผช. 35-2546 แต่หลังจากวันที่ 15 พบว่ามีราเจริญอยู่ที่ผิวของผลิตภัณฑ์ทั้ง 4 ตัวอย่าง การที่เมื่อเก็บไว้นานขึ้นแล้วปริมาณเชื้อเพิ่มขึ้นทั้งที่ค่า a_w ลดลงเนื่องมาจากค่า a_w ที่ลดลงมายังคงอยู่ในช่วงที่เชื้อต่างๆสามารถเจริญได้อยู่ (a_w >0.75) อีกทั้งลูกชุบยังมีส่วนผสมเป็นน้ำตาล กะทิ ซึ่งเป็นแหล่งอาหารที่ดีที่ทำให้เชื้อเจริญได้ ดังนั้นปริมาณเชื้อจึงเพิ่มขึ้นแม้ว่าค่า a_w จะลดลง อย่างไรก็ตามอาจกล่าวได้ว่าอายุการเก็บของลูกชุบทั้ง 4 ตัวอย่างที่อุณหภูมิ 4°C เป็น 15 วัน และที่สามารถเก็บได้นานขึ้นเนื่องจากการแช่เย็นในช่วง -1°C ถึง 8°C จะช่วยลดอัตราการเกิดปฏิกิริยาทางชีวเคมีและการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากจุลินทรีย์สามารถยืดอายุการเก็บรักษาอาหารได้

ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตขึ้นและบรรจุที่ภาวะที่ศึกษาในงานทดลองนี้มีอายุการเก็บไม่นาน ทั้งนี้เนื่องจากส่วนประกอบของลูกชุบเอื้อต่อการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้เป็นอย่างดี ถ้าหากต้องการยืดอายุการเก็บให้นานมากกว่านี้ อาจใช้ hurdle technology ซึ่งประกอบด้วยกระบวนการต่างๆ ได้แก่ การจำกัดออกซิเจนโดยใส่ตัวดูดซับออกซิเจนลงในบรรจุภัณฑ์ร่วมกับการเปลี่ยนวัสดุบรรจุภัณฑ์ให้เป็นชนิดที่สามารถกันการซึมผ่านของออกซิเจนได้ดี เช่น พลาสติกชนิด PVDCการลดค่า a_w ของลูกชุบลงโดยใช้สารดูดความชื้น (humectant) เช่น sorbitol และการใช้เทคนิคการดัดแปลงบรรยากาศโดยเก็บภายใต้บรรยากาศก๊าซผสมที่ประกอบด้วย co_2 และ o_2 ร่วมกับการเก็บที่อุณหภูมิประมาณ 4°C ซึ่งการใช้วิธีการดังกล่าวต้องพิจารณาถึงความคุ้มค่าของราคาด้วยว่าเหมาะสมหรือไม่นอกจากนั้นยังต้องพิจารณาถึงรสชาติ เนื้อสัมผัส และการยอมรับจากผู้บริโภค ควบคู่กันไปด้วยเช่นเดียวกัน

สรุปผลการทดลอง

1) ถั่วมะแฮะทั้งเปลือกประกอบด้วย ความชื้น 9.94% โปรตีน 16.55% ไขมัน 1.18% คาร์โบไฮเดรต 68.94% เส้นใยอาหาร 26.01%และเถ้า 3.39% ขณะที่ถั่วมะแฮะกะเทาะเปลือกมีความชื้น 8.85% โปรตีน 17.70% ไขมัน 1.58% คาร์โบไฮเดรต 68.56% เส้นใยอาหาร 13.34%และเถ้า 3.31%
2) วิธีการแยกเปลือกถั่วมะแฮะที่เหมาะสม คือ วิธีการแยกเปลือกแบบเปียกโดยต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 25 นาที ด้วยอัตราส่วน ถั่วมะแฮะต่อน้ำ เป็น 1:25 (w/v)
3) สภาวะในการกวนถั่วทั้ง 2 ตัวอย่าง (ถั่วมะแฮะทั้งเปลือกและกะเทาะเปลือก) ที่เหมาะสม คือ กวนให้ความร้อนบนกระทะทองเหลืองที่อุณหภูมิ 68°C เป็นเวลา 20 นาที
4) สภาวะในการเคลือบลูกชุบที่เหมาะสม คือ ใช้สารเคลือบ (agar, carrageenan) 2.0% w/w ชุบเคลือบ 2 ครั้ง โดยตัวอย่างที่เคลือบด้วย carrageenan มีอัตราการลดลงของค่า a_w ต่ำกว่าตัวอย่างที่เคลือบด้วย agar
5) ผลิตภัณฑ์ลูกชุบจากถั่วมะแฮะทั้ง 4 ตัวอย่าง (มีเปลือกและไม่มีเปลือกที่เคลือบด้วย agar และ carrageenan) เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$)
6) ผลิตภัณฑ์ลูกชุบจากถั่วมะแฮะทั้ง 4 ตัวอย่าง (มีเปลือกและไม่มีเปลือกที่เคลือบด้วย agar และ carrageenan) บรรจุในถุง HDPE เก็บรักษาได้ที่อุณหภูมิห้องได้ไม่เกิน 3 วัน และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C ได้ไม่เกิน 15 วัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บรรณานุกรม

กองโภชนาการ กรมอนามัย. 2530. ตารางแสดงคุณค่าอาหารไทยในส่วนที่กินได้ 100 กรัม.

กระทรวงสาธารณะสุข. 2522. คุณลักษณะของสีผสมอาหารที่ได้มาตรฐาน.

กระทรวงอุตสาหกรรม. สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม. 2546. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน 2546 ผลไม้กวน, มผช 35/2546. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม

เนื้อทอง วนานุวัธ. 2527. วัตถุเจือปนในอาหาร เล่ม 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 215 หน้า

ปราโมทย์ ศรีภิรมย์. 2540. ชุมนุมสมุนไพรไทย. กรุงเทพฯ: หน้า 84.

พิสมัย สมสืบ, นุชนรี ทองศรี และสุชิน ทองมี. 2547. ความต้องการโปรตีนในอาหารของปลาสายยูเผือกวัยรุ่น. ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดขอนแก่น สำนักวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด กรมประมง.

วันดี ณ สงขลา. 2533. อาหารไทยในวรรณคดี เล่ม 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์วันดี. 110 หน้า.

ศิวาพร ศิวเวชช. 2535. วัตถุเจือปนในผลิตภัณฑ์อาหาร. นครปฐม: โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมและฝึก อบรมการเกษตรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 235 หน้า.

สุวรรณา สุภิมารส. 2543. เทคโนโลยีการผลิตลูกกวาดและช็อกโกแลต. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. หน้า 206-207.

A.O.A.C. 1995. Official Methods of Analysis of AOAC International, 16^{ed}. Associatin of Official Analytical Chemists. Arington, Virginia: AOAC international.

Baldwin, E.A. 1994. Edible coatings for fruit and vegetables: Past, present, and future. In J.M. Krocthta, E.A. Baldwin, and M.O. Nisperoros-Carriedo (eds.), Edible Coatings and Films to Improve Food Quality. pp. 25-26. Pensylvania: Technomic.

Conca, K.R., and Yang, T.C.S. 1993. Edible food barrier coatings. In C. Ching, D. Kaplan, and E. Thomas (eds.), Biodegradation Polymers and Packaging, pp. 357-369. Pensylvania: Technomic.

Dendy, D.A.V. and Timmins, W.H. 1973. Development of a process to extract protein and oil from fresh coconut, the work of the Tropical Products Institute II. Oléagineux. 29, 1 p. 37-43.

Donhowe, I.G., and Fennema, O. 1994. Edible films and coatings: Characteristics, formation, definitions, and testing methods, In J.M. Krocthta, E.A. Baldwin, and M.O. Nisperoros-Carriedo (eds.), Edible Coatings and Films to Improve Food Quality. pp. 1-21. Pensylvania: Technomic.

Dziezak, J. 1988. Microencapsulation and related encapsulation ingredient. Food Technology. 42: 136-148.

Gennadios, A. and Weller, C.L. 1990. Edible films and coating from wheat and corn protein. Food Technology. 44(4): 63-69.

Gordon, L.R. 1993. Food Packaging Principles and Practice. New York: Marcel Dekker Inc., p. 30.

Grant, L.A. and Burns, J. 1994. Application of coatings. In J.M. Krocthta, E.A. Baldwin, and M.O. Nisperoros-Carriedo (eds.), Edible Coatings and Films to Improve Food Quality. pp. 189-200. Pensylvania: Technomic.

ICMSF. Microoganism in Foods. 1982. The Significance and Methods of Enumeration. 2nd ed. University of Toronto Press. Toronto. pp. 119-225.

Newhall, W.F. and Grierson, W. 1956. A low-cost, shelf-polishing, fungicidal wax for citrus fruit. Proceedings of the American Society for Horticultural Scince. 66: 146-154.

Rees, D.A., 1969. Structure, conformation, and mechanism in the formation of polysaccharide gels and networks. Advanced Carbohybrate Chemistry Biochemisty. 24: 267-332

Robinson, W.B. 1981. Food Chemicals Codex. 3rd ed. Committee on Codex Specificaitons Food and Nutrition Board. Division of Biological Science Assembly of Life Sciences. National Research council. Washington D.C. pp. 753.

Singh, U., Jambunathan, R., and Gurtu, S. 1981. Seed protein fractions and amino acid composition of Some wild species of pigeonpea/cajaniae. Journal of Food Science and Technology. 18: 83-85.

VanDoren, A. 1994. A report on a construction and operation of a 'Grower-Size' apple washing machine. Proceedings of the American Society for Horticultural Scince. 44: 183-189.

ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์ทางกายภาพ

1. **การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของถั่วกวน**

อุปกรณ์

1. เครื่อง Texture Analyzer
2. หัวกดแบบกลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 100 mm. (P100)

วิธีการทดลอง

1. เตรียมหัวกด P100 เพื่อใช้กับเครื่อง Texture Analyzer
2. วางตัวอย่างบน platform ให้อยู่ในตำแหน่งที่ probe จะกดลงมาที่กึ่งกลางของตัวอย่าง
3. โปรแกรมเครื่อง Texture Analyzer ให้ทำงานดังนี้

Option	:	T.P.A.
Pre-test speed	:	5.0 mm/s
Test speed	:	2.0 mm/s
Post-test speed	:	10.0 mm/s
Distance	:	50% strain
Trigger type	:	Auto

4. เมื่อเริ่มทำงานให้ติดตามค่าแรงที่ใช้ในการกดลูกชุบจนแตก

2.**การวิเคราะห์ water activity ของถั่วกวน**

อุปกรณ์

1. เครื่องวัด water activity

วิธีการทดลอง

1. calibrate เครื่องวัด a_w โดยใช้กระปุกที่ a_w ค่าต่างๆ
2. ใส่ตัวอย่างถั่วกวน ในตลับพลาสติกสำหรับใส่ตัวอย่าง ให้ได้ปริมาณที่เหมาะสม คือ กระจาย ให้ทั่วตลับ เกลี่ยให้ตัวอย่างอยู่ในแนวราบเสมอกัน
3. บิดเกลียวปิดฝาด้านใน แล้วปิดฝาครอบด้านนอกลง
4. กดปุ่ม start ค้างไว้สักครู่ เครื่องจะเริ่มทำการวิเคราะห์
5. เมื่อสิ้นสุดการวิเคราะห์ จะมีสัญญาณเตือน อ่านค่า a_w ที่ได้ (เป็นค่า a_w ที่อุณหภูมิอ้างอิง 25°C)

ภาคผนวก ข

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

ข.1 แบบทดสอบการยอมรับถั่วกวน

รหัสการทดสอบ..... วันที่ทำการทดสอบ.....

ชนิดตัวอย่าง..... ชื่อผู้ทดสอบ.....

โปรดทดสอบการยอมรับเนื้อสัมผัสของถั่วกวนโดยใส่เครื่องหมาย √ แสดงความรู้สึกยอมรับที่ตรงกับใจมากที่สุด

ระดับความพอใจ	รหัสตัวอย่าง		
	รหัส.....	รหัส.....	รหัส.....
1=ไม่ชอบมากที่สุด			
2= ไม่ชอบมาก			
3=ไม่ชอบปานกลาง			
4=ไม่ชอบเล็กน้อย			
5=เฉยๆ			
6=ชอบเล็กน้อย			
7=ชอบปานกลาง			
8=ชอบมาก			
9=ชอบมากที่สุด			

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข.2 แบบทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์ลูกชุบ

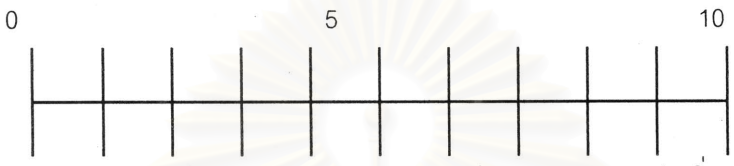
วันที่ .....

ชื่อผู้ทดสอบ.....

ชนิดตัวอย่าง.....

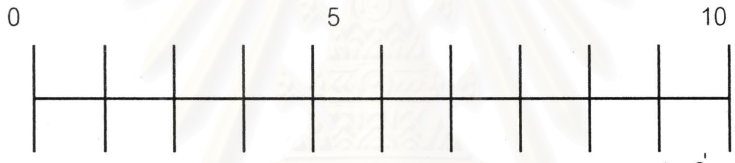
คำชี้แจง กรุณาประเมินคุณภาพของลูกชุบจากถั่วมะแฮะ โดยการให้คะแนนในเส้นที่แสดงคุณภาพของลักษณะต่างๆ ดังต่อไปนี้พร้อมทั้งใส่หมายเลขกำกับตัวอย่างไว้บนเส้น

ความหนาของวุ้นที่เคลือบ



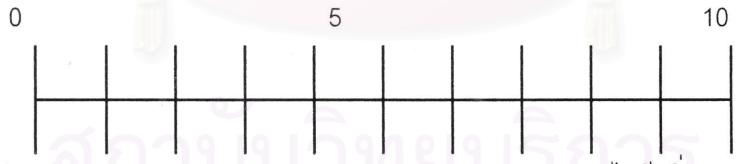
ไม่เหมาะสม เหมาะสมอย่างยิ่ง

เนื้อสัมผัสของถั่วกวน



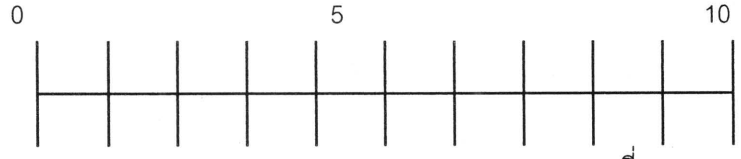
ไม่เหมาะสม เหมาะสมอย่างยิ่ง

กลิ่นรสแปลกปลอม



มีกลิ่นรสแปลกปลอมมาก ไม่มีกลิ่นรสแปลกปลอม

ความชอบโดยรวม



ไม่ชอบ ชอบมากที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการย่อย เรื่อง
การพัฒนาผลิตภัณฑ์เห็ดพื้นบ้านอบแห้งของจังหวัดน่าน

ในโครงการวิจัย เรื่อง

การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารจากวัตถุดิบท้องถิ่นของจังหวัดน่าน

ปีงบประมาณ 2549

โดย

อ.ดร.ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล

ผศ.ดร. วรภา คงเป็นสุข

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

เห็ดพื้นบ้านที่บริโภคในจังหวัดน่าน 6 ชนิดถูกเก็บมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (ความชื้น โปรตีน ไขมัน ใยอาหารและเถ้า) ลักษณะทางกายภาพ และภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน เพื่อหาวิธีในการยืดอายุการเก็บและเพิ่มความหลากหลายให้กับผลิตภัณฑ์เห็ด จากการวิจัยพบว่าเห็ดพื้นบ้านที่นำมาวิเคราะห์มีปริมาณโปรตีนสูงมากและมีปริมาณไขมันที่ต่ำ ภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนคือ 60 °C 5 ชั่วโมงตามด้วย 50 °C 3 ชั่วโมง จะได้ผลิตภัณฑ์เห็ดที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดีและมีค่า a_w ต่ำกว่า 0.6 และ วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเห็ดสดและอบแห้งพบว่ามีค่าไม่แตกต่างกัน

Abstract

Six wild edible mushrooms commonly consumed in Nan province, Thailand were analyzed for their contents of moisture content, protein, fat, crude fiber and ash as well as physical appearances and a suitable condition for hot air drying. This study was aimed to find the suitable condition for drying mushroom and increase the availability of mushroom products. The macronutrient profile in general revealed that the wild mushrooms were rich sources of protein and had low amount of fat content. The suitable condition for drying using hot air tray dryer was 60°C for 5 hours followed by 50°C for 3 hours. The dried product obtained had water activity less than 0.6 and its texture after rehydration was similar to fresh mushroom. The macronutrient profile of fresh and dried mushroom was not different.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญเรื่อง

	หน้า
บทนำ	38 - 39
วิธีการดำเนินงานวิจัย	40 - 41
ผลการทดลอง	42 – 48
วิจารณ์ผลการทดลอง	49 -50
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	51
บรรณานุกรม	52
ภาคผนวก	53 – 57

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	องค์ประกอบทางเคมีของเห็ดพื้นบ้านสดจากจังหวัดน่านทั้ง 6 ชนิด	43
2	ความชื้นเริ่มต้น ความชื้นสุดท้าย และค่า water activity ของเห็ดหล่มแห้ง	47
3	องค์ประกอบทางเคมีของเห็ดหล่มแห้ง	47
4	ค่า % rehydration ของเห็ดหล่มแห้งแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 30 นาที	47
5	แรงที่ใช้ในการตัดเห็ดหล่มสดและเห็ดหล่มอบแห้ง	48

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
1	ตัวอย่างเห็ดพื้นบ้านที่นำมาศึกษา	44
2	กราฟแสดงความสำคัญระหว่างเวลาและความชื้นของเห็ดลมที่อุณหภูมิ 50° และ 60° C	45
3	กรรมวิธีในการอบแห้งและเครื่องอบแห้งแบบถาดโดยใช้ลมร้อน	46
4	ก.เห็ดสด ข.เห็ดอบแห้ง และ ค.เห็ดอบแห้งที่แช่น้ำเป็นเวลา 30 นาที	48

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทนำ

เห็ดเป็นอาหารที่อุดมไปด้วย โปรตีน แร่ธาตุ และวิตามินต่างๆ เห็ดสามารถนำมาประกอบอาหารได้หลายประเภทไม่ว่า ต้ม ผัด แกง ทอด หรือ แปรรูปในลักษณะ เห็ดกระป๋องหรือเห็ดแห้ง ในประเทศไทยมีเห็ดที่นิยมนำมารับประทานอยู่หลากหลายพันธุ์ รวมถึงพันธุ์ที่สามารถเพาะได้และไม่สามารถเพาะได้ต้องเก็บจากในป่าเท่านั้น เช่น เห็ดโคน เห็ดเผาะ เห็ดลม เห็ดขมิ้น เห็ดด่าน เห็ดห้า เป็นต้น

ในด้านโภชนาการถือว่าเห็ดเป็นอาหารที่ดี เห็ดสดมีองค์ประกอบ ความชื้น 90 % โปรตีนประมาณ 3 % ซึ่งเป็นโปรตีนที่สมบูรณ์มีกรดอะมิโนจำเป็นอยู่ครบ คือ มีดรรชนีกรดอะมิโนจำเป็น (essential amino acid index) เท่ากับ 72-98 % ของเนื้อสัตว์ และมีกรดนิวคลีอิกค่อนข้างสูง มีคาร์โบไฮเดรตระหว่าง 3-28 % ใยอาหาร 3-32 % และให้พลังงานน้อยเพียง 0.132 – 0.198 แคลอรี่/กรัม น้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบในเห็ดมีหลายชนิด ความหวานของเห็ดเกิดจากน้ำตาลพิเศษ เช่น α-trehalose ซึ่งถูกเรียกเฉพาะว่าเป็น น้ำตาลเห็ด (mushroom sugar) น้ำตาลนี้จะพบมากในเห็ดอ่อน เมื่อเห็ดโตเต็มที่น้ำตาล trehalose นี้จะถูกเปลี่ยนให้เป็นน้ำตาลกลูโคสที่มีรสหวานลดลง (ศิริวรรณ และ ไมตรี สุทธิจิตต์, 2545)

เห็ดทั่วไปมี ไขมันต่ำมากประมาณ 2-8 % หลายชนิดจะมี ergosterol สูง 0.2-270 มิลลิกรัม เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง เป็นแหล่งที่ดีของวิตามิน B_1, B_2 niacin, biotin, วิตามิน C. และวิตามิน Dบางชนิดจะพบเบต้า-คาโรทีน (β-carotene) (ศิริวรรณ และ ไมตรี สุทธิจิตต์, 2545)

ดังนั้น ในปัจจุบันนี้จึงเป็นที่ยอมรับกันว่า เห็ดเป็นแหล่งอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง และเป็นแหล่งของโปรตีนที่มีคุณภาพ ราคาถูก มีกลิ่นและรสดี มีความหลากหลายให้เลือกได้มาก เห็ดพื้นบ้านเช่น เห็ดโคน เห็ดเผาะ เห็ดไข่ห่าน และเห็ดเพาะเลี้ยงเช่น เห็ดฟาง เห็ดหอม เห็ดหูหนู จึงเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของอาหารเพื่อสุขภาพ เป็นแหล่งของโปรตีน และสารชูรสในอาหารมังสวิรัติและอาหารเจ รวมทั้งเป็นวัตถุดิบในการเตรียมผลิตภัณฑ์เสริมอาหารหลายชนิด

ในภาคเหนือของประเทศไทยมีเห็ดพื้นบ้านจำนวนมากที่ไม่สามารถเพาะได้แต่สามารถเก็บได้ในป่าหรือบริเวณที่ชื้นแฉะ Sanmee และคณะ (2003) ได้ศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของเห็ดพื้นบ้านในภาคเหนือของประเทศไทยหลายชนิดด้วยกันพบว่าเห็ดเหล่านี้มีปริมาณโปรตีนสูงและไขมันต่ำ มีแร่ธาตุและน้ำตาลสำคัญรวมถึงน้ำตาลที่เป็นอนุพันธ์ของแอลกอฮอล์ด้วยเช่น D-sorbitol Mannitol และ glycerol เห็ดป่าหรือเห็ดพื้นบ้านเหล่านี้จะออกในช่วงฤดูฝน ในฤดูกาลบางปีจะมีเห็ดขึ้นชุกมาก หากชาวบ้านเก็บแล้วขายไม่หมดในช่วงเวลา 2-3 วัน เห็ดอาจเน่าเสียและต้องทิ้งไป

วิธีการอบแห้งเป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการถนอมอาหารโดยดึงน้ำออกจากเนื้อเยื่ออาหารเพื่อลด a_w และชะลออัตราการเสื่อมเสียที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเคมี ชีวเคมีและจุลชีววิทยา ในการอบแห้งมักใช้ลมร้อนเพื่อ

ระเหยน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ อุณหภูมิที่สูงที่ใช้ในการอบแห้งนี้บางครั้งอาจส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์แห้งในด้านลักษณะสัมผัส รส สีและกลิ่นได้ อาหารที่ผ่านการอบแห้งจะมีน้ำหนักเบา ขนส่งได้สะดวกและสามารถเก็บไว้ได้นานขึ้น

ยังไม่มีงานวิจัยใดศึกษาเรื่องของการพัฒนาผลิตภัณฑ์เห็ดพื้นบ้านอบแห้งจากภาคเหนือของประเทศไทยอย่างจริงจังและนำเห็ดอบแห้งเหล่านั้นมาใช้ในการประกอบอาหาร จึงเป็นมูลเหตุจูงใจของงานวิจัยนี้ที่จะศึกษาองค์ประกอบของเห็ดพื้นบ้าน แปรรูปโดยเฉพาะการทำแห้ง และเลือกภาวะการอบแห้งที่เหมาะสมโดยดูในด้านคุณภาพเนื้อสัมผัสของเห็ดหลังการดูดน้ำกลับและคุณค่าทางโภชนาการหลังอบแห้งแล้ว เพื่อเก็บเห็ดพื้นบ้านให้ได้นานขึ้น ส่งเสริมการพัฒนาผลิตภัณฑ์เห็ดพื้นบ้าน เพิ่มมูลค่าและเพิ่มรายได้ให้แก่ชาวบ้าน

วัตถุประสงค์

- ศึกษาองค์ประกอบของตัวอย่างเห็ดพื้นบ้านที่พบในจังหวัดน่าน
- พัฒนากระบวนการอบแห้งเห็ดและหาวิธีการอบแห้งที่เหมาะสมในการนำไปถ่ายทอดให้กับชาวบ้าน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิธีการดำเนินการวิจัย

วัตถุดิบ

เห็ดพื้นบ้านหรือเห็ดป่าที่นิยมบริโภคในเขตจังหวัดน่าน 6 ชนิดได้แก่ เห็ดหล่ม (*Russula virescens*) เห็ดเผาะ (*Astraeus hygrometricus*) เห็ดด่าน เห็ดห้า (*Phaeogyroporus portentosus*) เห็ดขล่างเขลือง และเห็ดแดง (*Russula sp.*) ซื้อจากตลาดสดในตัวอำเภอเมือง หรือจากข้างทางหลวงที่ชาวบ้านมาตั้งขาย ขนส่งโดยรถโดยสารประจำทางมายัง ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของเห็ดพื้นบ้านของจังหวัดน่านทั้ง 6 ชนิด

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณ ความชื้น โปรตีน ไขมัน ใยอาหารและเถ้า และ สมบัติทางกายภาพ เช่น ลักษณะดอก สี กลิ่น และเนื้อสัมผัส ของเห็ดสด โดยการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี 3 ซ้ำในแต่ละตัวอย่างที่ศึกษา ขั้นตอนการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีดังแสดงในภาคผนวก ก1

2. ศึกษาเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งเห็ดพื้นบ้านจังหวัดน่าน

1. คัดเลือกเห็ดพื้นบ้านที่ปริมาณโปรตีนสูงและมีปริมาณมากในฤดูกาลมาศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้ง
2. นำตัวอย่างเห็ดมาล้างทำความสะอาด ตัดส่วนที่เสียทิ้ง ผึ่งในตะแกรงให้สะเด็ดน้ำ
3. เก็บตัวอย่างเห็ดวิเคราะห์หาค่าความชื้นเริ่มต้น
4. เมื่อสะเด็ดน้ำแล้วนำเห็ดไปกระจายอย่างสม่ำเสมอบนถาดที่อบและชั่งน้ำหนักเรียบร้อยแล้ว บันทึกน้ำหนักเริ่มต้นของเห็ดในถาด
5. อบแห้งที่อุณหภูมิ 50 °C โดยใช้เครื่อง tray dryer บันทึกน้ำหนักทุก ๆ 5,10,15, 30 นาที 1, 2และ 3 ชั่วโมง จนกระทั่งน้ำหนักคงที่หรือเปลี่ยนแปลงไม่เกิน ± 0.01 กรัม
6. บันทึกน้ำหนักสุดท้าย เก็บตัวอย่างเห็ดที่อบได้สำหรับวิเคราะห์ความชื้นสุดท้าย และค่า water activity (a_w)
7. ทำซ้ำขั้นตอนที่ 1 – 6 แต่เปลี่ยนอุณหภูมิเป็น 60 °C นำข้อมูลที่ได้ไป plot กราฟเพื่อหาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้ง

3. **อบแห้งพื้นบ้านจังหวัดน่านตามเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสม**

จากผลการทดลองในขั้นตอนที่ 2 จะได้เวลาสำหรับอบแห้งที่เหมาะสม โดยดูจากเกณฑ์ที่ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีสันและเนื้อสัมผัสที่ดี และกับมีค่า water activity ต่ำกว่า 0.6 และใช้เวลาในการอบแห้งสั้น จากนั้นนำเห็ดสดมาอบแห้งตามช่วงเวลาที่เลือกไว้ดังนี้ขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. นำตัวอย่างเห็ดมาล้างทำความสะอาด ตัดส่วนที่เสียทิ้ง ผึ่งในตะแกรงให้สะเด็ดน้ำ
2. เก็บตัวอย่างเห็ดสำหรับนำไปวิเคราะห์หาค่าความชื้นเริ่มต้น
3. เมื่อสะเด็ดน้ำแล้วนำเห็ดไปกระจายอย่างสม่ำเสมอบนถาดที่แห้งสนิท
4. อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 °C และ 50 °C โดยใช้เครื่อง tray dryer ตามระยะเวลาที่ได้จากขั้นตอนงานวิจัยในข้อที่ 2
5. เมื่อครบระยะเวลานำออกจากเครื่อง tray dryer เก็บตัวอย่างเห็ดที่อบได้นำไปวิเคราะห์ความชื้นสุดท้าย และค่า water activity (a_w)
6. เห็ดที่เหลือนำใส่ถุงปิดปากให้สนิทนำไปเก็บไว้ในโถดูดความชื้นสำหรับนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี และค่า % rehydration (ดังแสดงในภาคผนวก ก 2) ต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการทดลอง

1. **ลักษณะเบื้องต้นของเห็ดแต่ละชนิดที่นำมาศึกษา**

เห็ดพื้นบ้านของจังหวัดน่านที่เลือกมาศึกษาในเบื้องต้นมีจำนวน 6 ชนิด ซึ่งเห็ดแต่ละชนิดมีรูปร่างลักษณะแตกต่างกันดังนี้

- เห็ดหล่ม ดอกบานและตูมมีสีขาว คล้ายเห็ดฟางตอนบานแล้ว ค่อนข้างจะช้ำง่าย
- เห็ดเผาะ ดอกเป็นเม็ดกลมคล้ายเม็ดถั่ว แต่มีขนาดใหญ่กว่า ผิวรอบดอกมีสีดำ แข็ง เมื่อผ่าด้านในจะมีลักษณะคล้ายมีดอกตูมอยู่ภายใน
- เห็ดด่าน ลักษณะดอกเห็ดคล้ายกับเห็ดหอม แต่ผิวบริเวณดอกจะมีสีดำตลอด และไม่มีรอยแยกบริเวณผิวด้านบนดอก
- เห็ดห้า/เห็ดตับเต่า มีสีดำ ดอกใหญ่และหนา
- เห็ดขล่างเขลือง ลักษณะทั่วไปดอกบานจะคล้ายกับเห็ดฟางแต่จะมีความบางมากกว่า ดอกตูมจะมีสีเหลืองอ่อนๆ
- เห็ดแดง ดอกจะมีลักษณะบานเนื้อของร่มค่อนข้างหนา ผิวบริเวณด้านบนดอกเห็ดมีสีชมพูเข้มไปทางสีแดง ผิวบริเวณใต้ร่มและฐานรองดอกมีสีขาว

เมื่อศึกษารูปร่างและลักษณะปรากฏของเห็ดทั้ง 6 ชนิดแล้วจึงนำเห็ดสดมาศึกษาองค์ประกอบของเคมี โดยวิเคราะห์หาปริมาณของ ความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน และใยอาหาร ตามวิธีของ AOAC (1995) ค่าที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 1

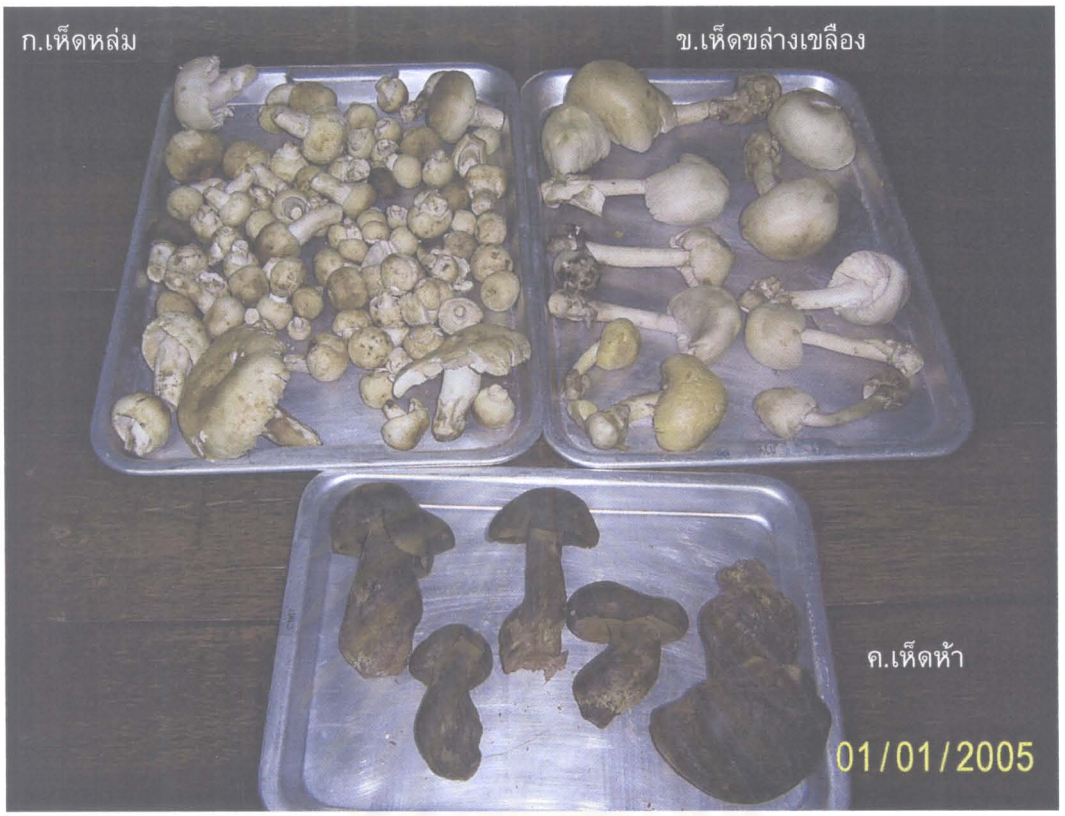
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของเห็ดพื้นบ้านสดจากจังหวัดน่านทั้ง 6 ชนิด

ชนิดตัวอย่าง	ความชื้น (%wb)	องค์ประกอบทางเคมี (% dry weight)			
		เถ้า	โปรตีน	ไขมัน	ใยอาหาร
เห็ดหล่ม	61.03 ± 3.40	1.03 ± 0.89	42.56 ± 2.98	2.06 ± 0.66	17.44 ± 1.18
เห็ดเผาะ	71.53 ± 0.65	8.52 ± 0.62	18.95 ± 0.33	2.10 ± 0.27	22.39 ± 2.09
เห็ดด่าน	88.69 ± 0.17	7.42 ± 0.91	40.36 ± 0.87	3.27 ± 0.32	5.58 ± 0.72
เห็ดห้า/เห็ดตับเต่า	90.58 ± 0.32	21.17 ± 0.82	42.42 ± 0.73	3.45 ± 0.44	4.06 ± 0.30
เห็ดขล่างเขลือง	94.05 ± 0.13	12.85 ± 0.77	37.86 ± 0.69	1.20 ± 0.12	2.25 ± 0.33
เห็ดแดง	79.94 ± 0.27	6.11 ± 0.10	7.81 ± 0.09	0.32 ± 0.11	4.02 ± 0.12

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเห็ดพื้นบ้านพบว่า ความชื้นของเห็ดสดอยู่ประมาณ 61 – 94 % wb เห็ดหล่ม เห็ดห้าหรือเห็ดตับเต่า และเห็ดด่าน มีปริมาณโปรตีนสูงมากกว่า 40% ในขณะที่เห็ดเผาะ เห็ดด่านและเห็ดแดง มีปริมาณโปรตีนค่อนข้างต่ำ แต่เห็ดเผาะนั้นมีใยอาหารสูงกว่าเห็ดชนิดอื่นๆ ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะทางกายภาพของเห็ดเผาะที่มีเนื้อสัมผัสที่แข็งและเหนียว เห็ดทุกชนิดมีประมาณไขมันต่ำมาก จึงเหมาะสมที่จะมีการส่งเสริมให้มีการบริโภคมากขึ้น จากผลการทดลองในขั้นตอนที่ 1 จึงเลือกเห็ดหล่มเป็นตัวอย่างมาใช้ในการทดลองอบแห้งเพื่อหาภาวะในการอบแห้งที่เหมาะสม เนื่องจากมีปริมาณโปรตีนสูงที่สุด พบมากและนิยมนำมาบริโภค

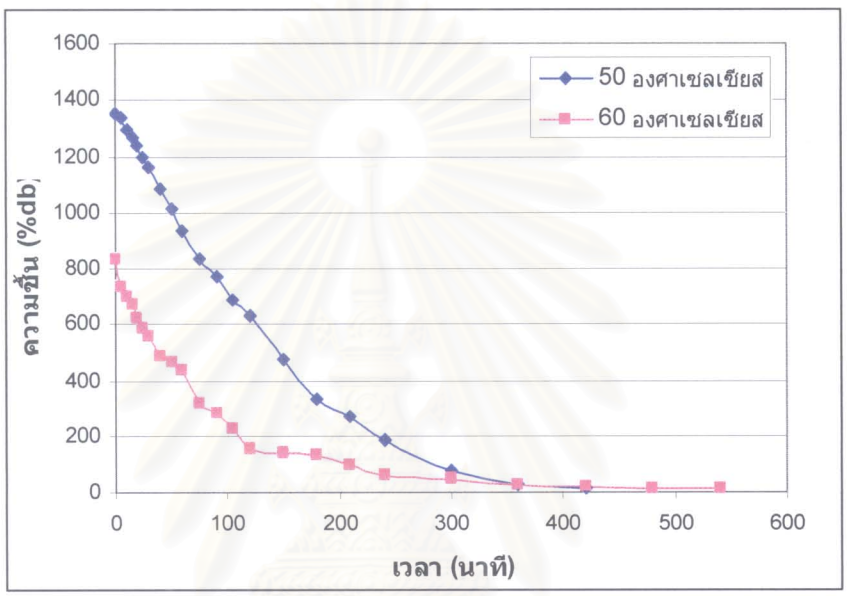
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 1 เห็ดพื้นบ้านที่นำมาศึกษา (ก.เห็ดหล่ม ข.เห็ดขล่างเขลือง ค.เห็ดห้า ง.เห็ดด่าน จ.เห็ดแดง และ ฉ. เห็ดเผาะ)

2. **กราฟแสดงลักษณะการอบแห้งของเห็ดหล่มที่ 50 °และ 60° C**

ในการทดลองนี้นำเห็ดหล่มสดมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 °และ 60° C จนน้ำหนักคงที่ เพื่อที่จะหาเวลาที่เหมาะสมในการอบแห้ง รูปที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้น (% db) และเวลาในการอบแห้งที่ 50 °และ 60° C



รูปที่ 2 กราฟแสดงความสำคัญระหว่างเวลาและความชื้นของเห็ดลมที่อุณหภูมิ 50° และ 60° C

ผลการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการอบแห้งเห็ดหล่มโดยทำการศึกษาที่ 2 อุณหภูมิ คือ 50° และ 60 °C โดยใช้เครื่องอบแห้งแบบ tray dryer จากการทดลองพบว่าเห็ดเริ่มมีน้ำหนักคงที่ที่อุณหภูมิ 50° C และ 60 °C ที่เวลา 360 นาที (6 ชั่วโมง) ขึ้นไป อัตราการอบแห้งของเห็ดหล่มที่ 60°C เร็วกว่า 50°C อย่างเห็นได้ชัด แม้ว่าความชื้นของเห็ดที่อบที่ 60°C จะต่ำกว่าที่ 50° C แต่เมื่อเทียบในหน่วย wet basis ไม่ได้แตกต่างกัน (89%สำหรับ 60°C และ 93%สำหรับ 50°C) ดังนั้นจึงเลือก อุณหภูมิ 60°C อบในช่วงแรกเป็นระยะเวลา 5 ชั่วโมง และลดอุณหภูมิลง เป็น 50 °C อบในขั้นตอนที่ 2 ต่ออีก 3 ชั่วโมงเพื่อไม่ให้เนื้อสัมผัสของเห็ดหล่มเหนียวเกินไป ป้องการเกิด case hardening และลดค่า a_w ให้ต่ำกว่า 0.6

ในการทดลองขั้นต่อไปศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการอบแห้งแบบ 2 ขั้นตอน วัดความชื้นสุดท้าย และค่า a_w ผลการทดลองดังแสดงในขั้นตอนที่ 3

รูปที่ 3 กรรมวิธีในการอบแห้งและเครื่องอบแห้งแบบถาดโดยใช้ลมร้อน

3. **ความชื้นเริ่มต้น ความชื้นสุดท้าย และค่า a_w ของเห็ดหล่มอบแห้ง**

จากการทดลองอบแห้งเห็ดหล่มตัวอย่างที่อุณหภูมิในการอบแห้ง 60 °C ในเครื่อง tray dryer เป็นระยะเวลา 5 ชั่วโมง แล้วอบต่อที่อุณหภูมิ 50 °C นาน 3 ชั่วโมง วัดค่าความชื้นเริ่มต้น ความชื้นสุดท้าย และค่า a_w ของเห็ด ผลการศึกษาดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งจากตารางพบว่า ค่าความชื้นสุดท้าย 20.4 % และค่า a_w น้อยกว่า 0.6

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2 ความชื้นเริ่มต้น ความชื้นสุดท้าย และค่า water activity ของเห็ดหล่มแห้ง

อุณหภูมิ (°C)	เวลาที่ใช้ (ชั่วโมง)	ความชื้นเริ่มต้น (%wb)	ความชื้นสุดท้าย (%wb)	a_w
60 และ 50	5 และ 3	85.34 ± 0.33	20.40 ± 1.00	0.59 ± 0.03

4. **ศึกษาค่าองค์ประกอบทางเคมีและค่าเปอร์เซ็นต์** rehydration **ของเห็ดหล่มแห้ง**

ผลการวิเคราะห์ค่า ความชื้น เถ้า และโปรตีนของเห็ดหล่มแห้งที่อุณหภูมิ 60 °C ในเครื่อง tray dryer เป็นระยะเวลา 5 ชั่วโมง แล้วอบต่อที่อุณหภูมิ 50 °C นาน 3 ชั่งโมง มีองค์ประกอบทางเคมีดังแสดงในตารางที่ 3 เมื่อนำเห็ดหล่มแห้วไปหาค่า % rehydration คือความสามารถในการดูดน้ำกลับ โดยการนำไปแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที มีค่า % rehydration ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีของเห็ดหล่มแห้ง

องค์ประกอบทางเคมี (%)					
ความชื้น	a_w	โปรตีน	ไขมัน	ใยอาหาร	เถ้า
20.40± 1.00	0.59± 0.03	39.1±9 1.76	0.2±0 0.04	7.84 ±1.52	12.9±3 0.31

ตารางที่ 4 ค่า % rehydration ของเห็ดหล่มแห้งแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 30 นาที

ชนิดตัวอย่าง	%rehydration
เห็ดหล่ม	193.92 ± 7.90

จากนั้นนำเห็ดที่วัดค่า % rehydration ไปวัดลักษณะเนื้อสัมผัสโดยวัดจากค่าแรงที่ใช้ในการตัดเห็ด ซึ่งค่าแรงที่ใช้ในการตัดนั้น วัดในเห็ดหล่มสดและเห็ดหล่มแห้งที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5 แรงที่ใช้ในการตัดเห็ดหล่มสดและเห็ดหล่มอบแห้ง

ส่วนประกอบของเห็ด	Force (gf)	
	เห็ดหล่มสด	เห็ดหล่มแห้ง*
ก้าน	2498.55	2965.12
ดอก	3717.47	3452.78

*วัดแรงหลังจากผ่าน rehydration ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที

รูปที่ 4 ก.เห็ดหล่มสด ข.เห็ดหล่มแห้ง และ ค.เห็ดหล่มแห้งที่แช่น้ำเป็นเวลา 30 นาที

วิจารณ์ผลการทดลอง

เห็ดพื้นบ้านของจังหวัดน่านที่มีปริมาณโปรตีนอยู่สูงมาก เช่น เห็ดลม (42.56%) เห็ดห้าหรือเห็ดตับเต่า(42.41%) เห็ดด่าน (40.36%) และเห็ดขล่างเขลือง (37.86%) ส่วนเห็ดที่มีปริมาณใยอาหารสูงคือ เห็ดเผาะ (22.39%) ส่วนใหญ่เห็ดทุกชนิดมีปริมาณไขมันต่ำ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sanmee และคณะ (2003) และ Agrahar-Murugkar และ Subbulakshmi (2005) ที่ศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของเห็ดป่าในภาคเหนือของประเทศไทยและจากเทือกเขา Khasi ในเขต Meghalaya ประเทศอินเดียตามลำดับ พบว่าเห็ดป่ามักจะมีปริมาณโปรตีนสูงและไขมันต่ำเหมาะที่จะนำมาแปรรูปเป็นอาหารเสริมและอาหารขบเคี้ยวได้ ดังนั้นการบริโภคเห็ดพื้นบ้านหรือเห็ดป่าจึงสมควรได้รับการส่งเสริมกันมากขึ้น

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งเห็ดลม (รูปที่ 1) มีลักษณะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้น อัตราการอบแห้งมากขึ้น ความชื้นของเห็ดลมที่อบที่ 60°C จึงลดลงเร็วกว่าเห็ดลมที่อบที่ 50°C แต่การอบที่ 60°C เป็นเวลานานจนความชื้นคงที่ พบว่าเห็ดมีสีคล้ำมากและมีเนื้อสัมผัสที่แข็ง เนื่องจากเกิด case hardening คือน้ำในบริเวณเนื้อที่ผิวหน้าของเห็ดระเหยออกไปอย่างรวดเร็วทำให้ผิวหน้ายุบตัวและแข็งในขณะเดียวกันชะลอการไหลของน้ำจากภายในเห็ดไปสู่ผิวหน้า ดังนั้นถ้าลดอุณหภูมิในการอบแห้งลงจะช่วยป้องกันไม่ให้เกิด case hardening ในขณะที่ช่วงแรกของการอบแห้งควรใช้อุณหภูมิสูงเพื่อให้อัตราการระเหยของน้ำเกิดขึ้นได้เร็วเพื่อลดระยะเวลาในการอบแห้ง จึงเลือกใช้วิธีการอบแห้งแบบสองขั้นตอน 60°C ตามด้วย 50°C เป็นเวลา 5 และ 3 ชั่วโมง วัดความชื้นเริ่มต้น ความชื้นสุดท้าย และค่า water activity ของเห็ดหล่มแห้ง มีค่าความชื้นประมาณ 20.4% และค่า $a_w < 0.6$

เมื่อนำเห็ดหล่มที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60°C 5 ชั่วโมง และ 50°C 3 ชั่วโมง มาตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี % rehydration และแรงที่ใช้ในการตัด (ตารางที่ 3 – 5) พบว่าปริมาณโปรตีนของเห็ดหล่มลดลงเล็กน้อยแต่ไม่แตกต่างกับค่าเริ่มต้นของ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งไม่ส่งผลทำลายปริมาณโปรตีนของเห็ด

% rehydration ของเห็ดหล่มมีค่า 193.92 % หลังจากแช่น้ำแล้วนำตัวอย่างเห็ดหล่มไปวัดค่าแรงที่ใช้ในการตัด (ตารางที่ 5) พบว่า แรงที่ใช้ตัดส่วนก้านของเห็ดหล่มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และแรงที่ใช้ตัดส่วนดอกของเห็ดลมลดลงเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับเห็ดหล่มสด ซึ่งแสดงว่าเมื่อแช่น้ำเป็นเวลา 30 นาที เห็ดหล่มที่ผ่านการอบแห้งสามารถดูดน้ำกลับได้ดีทำให้มีลักษณะเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับของเห็ดหล่มสด

จากงานวิจัยพบว่าระหว่างการอบแห้งกลิ่นของเห็ดได้ระเหยออกมาเป็นปริมาณมากซึ่งทำให้เห็ดหล่มที่อบแห้งแล้วมีกลิ่นรสเฉพาะต่างจากเห็ดหล่มสด

วิธีการอบแห้งด้วยลมร้อนโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบถาดเป็นวิธีที่ทำได้ง่ายและสะดวกในการที่ชาวบ้านจะนำไปปฏิบัติได้ ค่าใช้จ่ายในการลงทุนต่ำ แม้ว่าจากการศึกษาของ Walde และคณะ (2006) พบว่าการอบแห้งเห็ดโดยวิธี Fluidised bed drying ใช้เวลาอบแห้งสั้นกว่าและผลิตภัณฑ์มีความชื้นที่สม่ำเสมอ สีไม่คล้ำ แต่การอบแห้งด้วยวิธีนี้มีต้นทุนการลงทุนสูง แต่เหมาะสมหากนำไปปฏิบัติในระดับอุตสาหกรรมที่ใหญ่ขึ้น รณชัย ทองดีแท้ และ อัมพวัน ตั๊นสกุล (2549) พบว่าวิธีการอบแห้งเห็ดฟางด้วยสุญญากาศและไมโครเวฟจะใช้เวลาอบแห้งสั้นกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนที่ 65 75 และ 85 °C แต่ไม่ได้รายงานในเชิงคุณภาพของเห็ดที่ได้จากการอบที่วิธีที่แตกต่างกัน Giri และ Prasad (2007) รายงานว่าเห็ดกระดุมที่ผ่านการอบแห้งโดยการอบแห้งแบบไมโครเวฟและสุญญากาศมีโครงสร้างที่เป็นรูพรุนมากกว่าเห็ดกระดุมที่ผ่านการอบแห้งด้วยลมร้อน ซึ่งจะช่วยให้ดูดน้ำกลับได้ดีเมื่อนำไปแช่น้ำ วิธีการเหล่านี้สามารถนำมาใช้ปรับปรุงคุณภาพของเห็ดป่าอบแห้งได้ แต่ในเชิงปฏิบัติที่จะให้ชาวบ้านนำไปใช้อาจเป็นไปได้ยาก จึงควรมีการส่งเสริมการบริโภคเห็ดพื้นบ้านให้มากขึ้นโดยเน้นทางด้านคุณค่าทางอาหาร เมื่อความต้องการของตลาดมากขึ้น ก็สามารถที่จะขยายอุตสากรรมการผลิตและมีต้นทุนการลงทุนในการนำวิธีการอบแห้งที่ทันสมัยขึ้นมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพและพัฒนาผลิตภัณฑ์เห็ดอบแห้ง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของเห็ดพื้นบ้านของจังหวัดน่าน 6 ชนิดได้แก่ เห็ดหล่ม เห็ดเผาะ เห็ดห้า (หรือเห็ดตับเต่า) เห็ดขล่างเขลือง เห็ดด่าน และเห็ดแดงพบว่า เห็ดพื้นบ้านมีปริมาณโปรตีนอยู่สูงมาก มากกว่า 30% ขึ้นไปโดยเฉพาะ เห็ดหล่ม เห็ดห้า เห็ดด่าน และเห็ดขล่างเขลือง มีโปรตีนสูงมากกว่า 35% เห็ดเผาะมีปริมาณใยอาหารสูงถึง 22% แม้ว่าจะมีปริมาณโปรตีนต่ำแต่เหมาะสมในการนำมาแปรรูปเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ เห็ดทุกชนิดมีความชื้นค่อนข้างสูงมากกว่า 70% จึงไม่สามารถเก็บไว้ได้นาน วิธีที่เหมาะสมในการยืดอายุการเก็บรักษาเห็ดสดเหล่านี้คือการนำมาอบแห้ง วิธีการอบแห้งที่ง่ายและสะดวกสามารถนำไปปฏิบัติได้สะดวกโดยไม่ต้องลงทุนสูงคือ การอบแห้งแบบใช้ลมร้อนแบบหลายขั้นตอนโดยใช้อุณหภูมิในการอบแห้งไม่สูงมาก จากการวิจัยพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งเห็ดหล่มตัวอย่างคือ 60 °C และ 50 °C โดยใช้เวลา 5 ชั่วโมงและ 3 ชั่วโมงตามลำดับ จะได้เห็ดหล่มที่มีความชื้นสุดท้ายประมาณ 20% และค่า a_w ประมาณ 0.6 มีสีและลักษณะเนื้อสัมผัสที่ใช้ได้ โดยค่าการดูดน้ำกลับประมาณ 193% มีเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับเห็ดหล่มสดก่อนการอบแห้ง

จากงานวิจัยพบว่าระหว่างการอบแห้งกลิ่นของเห็ดได้ระเหยออกมาเป็นปริมาณมากซึ่งทำให้เห็ดที่หล่มอบแห้งแล้วมีกลิ่นรสเฉพาะต่างจากเห็ดหล่มสด จึงควรมีการศึกษาภาวะที่ใช้ในการเก็บรวมถึงบรรจุภัณฑ์และอายุการเก็บที่เหมาะสมเพื่อเป็นแนวทางในการส่งเสริมการแปรรูปเห็ดหล่มอบแห้งต่อไป อย่างไรก็ตามจากการศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของเห็ดหลังการอบแห้งพบว่าไม่แตกต่างกับเห็ดสด

ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการวิจัยนี้

- ลดการสูญเสียเชิงเศรษฐกิจของเห็ดพื้นบ้าน
- มีผลิตภัณฑ์ใหม่เพิ่มขึ้นในตลาดและเป็นการเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์จากเห็ดพื้นบ้าน
- เพิ่มความสำคัญเชิงเศรษฐกิจแก่อาหารเอกลักษณ์ของท้องถิ่น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บรรณานุกรม

รณชัย ทองดีแท้ และ อัมพวัน ตั้นสกุล (2549) จลนพลศาสตร์การอบแห้งของเห็ดฟาง *การประชุมสัมมนาวิชาการอุตสาหกรรมเกษตรครั้งที่ 8 นวัตกรรมทางอาหาร 15-16 มิถุนายน 2549* ศูนย์ประชุมนานาชาติ ไบเทค บางนา กรุงเทพฯ CD-ROM

ศิริวรรณ สุทธิจิตต์ และ ไมตรี สุทธิจิตต์ (2545) เห็ดสมุนไพร จากอดีต ปัจจุบันสู่อนาคต ในหนังสือเห็ดไทย หน้า 1-10 http://www.thaiagro.com/aticle/mushrooms/47051701.htm [9 June 2007]

Agrahar-Murugkar D. and Subbulakshmi, G. (2005) Nutritive value of edible wild mushrooms collected from the Khasi hills of Meghalaya. *Food Chemistry*. 89: 599-603

AOAC (1995) Association of Official Analytical Chemists. *Official methods of analysis* Washington DC

Giri, S.K. and Prasad, S. (2007).Drying kinetics and rehydration characteristics of microwave-vacuum and convective hot-air dried mushrooms. *Journal of Food Engineering*. 78(2): 512-521

Sanmee, R., Dell, B., Lumyong, P.,Izumori, K. and Lumyong, S. (2003) Nutritive value of popular wild edible mushrooms from northern Thailand. *Food Chemistry*. 82: 527-532

Walde, S.G., Velu, V., Jyothirmayi, T. and Math, R.G. (2006) Effect of pretreatments and drying methods on dehydration of mushroom. *Journal of Food Engineering*. 74: 108-115

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ก 1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

ก 1.1 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น(ดัดแปลงจาก AOAC, 1995)

วัสดุอุปกรณ์

- ถ้วยอลูมิเนียม
- Desiccator

วิธีการทดลอง

1. อบภาชนะอลูมิเนียมพร้อมฝาที่อุณหภูมิ 100± 2 °C นาน 30 นาที หรือจนน้ำหนักคงที่แล้วทิ้งให้เย็นใน desiccator ชั่งน้ำหนักอลูมิเนียมเปล่าพร้อมฝา
2. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่แน่นอนประมาณ 2 กรัม ด้วยเครื่องชั่งละเอียดใส่ในภาชนะอลูมิเนียมที่ชั่งน้ำหนักไว้แล้ว
3. อบในตู้อบ ควบคุมอุณหภูมิที่ 100± 2 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมงโดยเปิดฝาอลูมิเนียมไว้
4. นำออกจากตู้อบใส่ใน desiccator ทิ้งไว้ให้เย็น
5. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่เย็นแล้วพร้อมภาชนะอลูมิเนียมและฝา
6. อบต่ออีก 15 – 30 นาทีจนน้ำหนักคงที่
7. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างพร้อมภาชนะอลูมิเนียมและฝา แล้วหักลบภาชนะอลูมิเนียมเปล่าพร้อมฝาจนได้น้ำหนักหลังอบของตัวอย่าง
8. คำนวณปริมาณความชื้นดังนี้

$$\text{ปริมาณความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ(กรัม)} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ(กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ(กรัม)}}$$

ก 1.2 การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน(ดัดแปลงจาก AOAC, 1995)

วัสดุอุปกรณ์

- ชุดสกัดไขมัน (Avanti 2050 Soxtec Automatic)
- Thimble
- ตู้อบลมร้อน(hot air oven)
- เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง
- โถดูดความชื้น

สารเคมี

- Petroleum ether b.p. 40 – 60 °C (A.R.grade)

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักแน่นอนประมาณ 2-3 กรัม แล้วห่อด้วยกระดาษกรอง What man No.1 และใส่ห่อตัวอย่างลงใน thimble
2. เปิดเครื่อง Soxtec
3. กดปุ่ม Heat ให้ hotplate ทำงานจนถึงอุณหภูมิที่ตั้งไว้
4. นำ Thimble ที่มีตัวอย่างบรรจุอยู่ประกอบเข้ากับเครื่อง และใส่ขวดก้นกลมที่มี petroleum ether 200 มิลลิลิตรเข้าไปในเครื่อง (ขวดก้นกลมอบแห้งและชั่งน้ำหนักไว้แล้ว)
5. กดปุ่ม Start เพื่อให้เครื่องเริ่มทำงาน
6. เมื่อครบเวลาแล้วนำไประเหย Petroleum ether โดยเครื่อง rotary evaporator แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
7. ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักขวดก้นกลมที่มีไขมันที่สกัดได้นำมาคำนวณหาปริมาณไขมัน

$$\text{ปริมาณไขมัน (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักของไขมันที่สกัดได้(กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักแห้งของตัวอย่าง (กรัม)}}$$

ก 1.3 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน(ดัดแปลงจาก AOAC, 1995)

อุปกรณ์

- ชุดวิเคราะห์โปรตีน(BUCHI)ประกอบด้วย digestion unit รุ่น K- 424, distillation unit รุ่น B-324,Scrubber รุ่น B-414)
- เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง

สารเคมี

1. กรดซัลฟูริกเข้มข้น(A.R.grade)
2. สารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริก (A.R.grade) ความเข้มข้น 0.1N
3. สารละลายกรดบอริก (A.R.grade) ความเข้มข้น 4%(w/v)
4. selenium reagent mixture (A.R.grade)
5. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (A.R.grade) ความเข้มข้น 35% (w/v)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6. สารละลายอินดิเคเตอร์ เตรียมโดยผสมสารละลาย methylene blue 0.2% ในแอลกอฮอล์ แล้วกรอง 25 มิลลิลิตร กับสารละลาย methyl red 0.2% ในแอลกอฮอล์ 50 มิลลิลิตร

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักแน่นอน ประมาณ 1-2 กรัม ลงในหลอดย่อยโปรตีน
2. เติม Selenium reagent mixture ซึ่งเป็นสารเร่งปฏิกิริยา(catalyst) ประมาณ 5 กรัม และกรดซัลฟูริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร
3. นำตัวอย่างไปย่อยด้วยเครื่อง BUCHI digestion unit โดยให้ความร้อน เบอร์ 8 และปิดฝาด้านบนที่ต่อเข้ากับเครื่องดูดไอกรด (scrubber) ย่อยตัวอย่างจนส่วนผสมในหลอดย่อยกลายเป็นสีเขียวใสและทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
4. นำฟลาสก์ขนาด 500 มิลลิลิตร ที่หยดสารละลายอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด ต่อเข้ากับปลาย condenser ของเครื่องกลั่น (distillation unit)
5. นำหลอดตัวอย่างที่ผ่านการย่อยต่อเข้ากับเครื่องกลั่น เลือกโปรแกรม distillation โดยตั้งโปรแกรมดังนี้

NaOH	40 มิลลิลิตร
Boric acid	50 มิลลิลิตร
H_2O	50 มิลลิลิตร
Time	5 min

6 ในระหว่างการกลั่นจะเกิดแอมโมเนียขึ้น แอมโมเนียที่เกิดขึ้นจะถูกจับไว้ด้วยสารละลายกรดบอริกจะได้สารละลายสีเขียวเมื่อกลั่นครบตามกำหนดเวลา

7 ล้างส่วนปลายของ condenser ด้วยน้ำกลั่นใส่ลงในฟลาสก์ที่รองรับสิ่งที่กลั่นได้

8 นำสารละลายที่กลั่นได้ในฟลาสก์ทั้งหมดมาไตเตรดด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน ความเข้มข้น 0.1 N จนถึงจุดยุติ (end point) เป็นสีม่วงแดง

9 นำ blank แต่ไม่ต้องใส่ตัวอย่างและวิเคราะห์เช่นเดียวกับตัวอย่าง

10 คำนวณหาปริมาณโปรตีนโดยค่า Conversion Factor = 6.25 (Daniel, Jerome and Rouxel, 2001)

ปริมาณโปรตีน (%)=(Va-Vb) x N x 1.4 x CF/ น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

เมื่อ Va คือ ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรตตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

Vb คือ ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรต blank (มิลลิลิตร)

N คือ ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริคที่ใช้ไตเตรต มีหน่วยเป็น Normal

Conversion Factor คือ ค่าที่ใช้ สำหรับเปลี่ยนไนโตรเจนให้เป็นหน่วยโปรตีน

ก 1.4 การวิเคราะห์ปริมาณเส้นใย (ดัดแปลงจาก AOAC, 1995)

อุปกรณ์

1. ครูซิเบิล
2. ตู้อบลมร้อน (hot air oven)
3. เตาเผา(Muffle furnace)
4. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง
5. โถดูดความชื้น

สารเคมี

1. สารละลายกรดซัลฟูริก (A.R. grade) ความเข้มข้น 1.25% (v/v)
2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (A.R. grade) ความเข้มข้น 1.25% (w/v)
3. เอทิลแอลกอฮอล์ 95%

วิธีวิเคราะห์

1. ตัวอย่างที่ผ่านการสกัดไขมันแล้วทั้งหมดใส่ในบีกเกอร์ ขนาด 600 มิลลิลิตร
2. เติมสารละลายกรดซัลฟูริก ความเข้มข้น 1.25% ลงในบีกเกอร์ต้มเดือดนาน 30 นาที สังเกตไม่ให้ปริมาตรของสารละลายลดลง หากลดลงปรับปริมาตรโดยใช้น้ำร้อน
3. กรองตัวอย่างที่ถูกย่อยด้วย buchner funnel ที่รองด้วยกระดาษกรอง Whatmen No.1 โดยใช้ความดันสูญญากาศ 25 มิลลิลิตรปรอท ล้างกากด้วยน้ำร้อนจนหมดฤทธิ์กรด
4. ย่อยกากต่อด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1.25% ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ต้มเดือดนาน 30 นาที โดยควบคุมประมาตรของสารละลายเช่นเดียวกับข้อ 2
5. กรองตัวอย่างที่ถูกย่อยด้วย buchner funnel ที่รองด้วยกกระดาษกรอง Whatmen No.1 โดยใช้ความดันสุญญากาศ 25 มิลลิลิตรปรอท ล้างกากด้วยน้ำร้อนจนหมดฤทธิ์ด่าง
6. กรองผ่านกระดาษกรอง Whatmen No.42 ที่ทราบน้ำหนักแน่นอน
7. ล้างกากด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ 95% ปริมาตร 25 มิลลิลิตร 2 ครั้ง
8. กากที่ได้อบที่อุณหภูมิ 100 -105 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมงหรือจนน้ำหนักคงที่
9. ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักจะได้น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา
10. ใส่ตัวอย่างในครูซิเบิลที่ผ่านการเผาและทราบน้ำหนักที่แน่นอน
11. เผาครูซิเบิลพร้อมตัวอย่างที่อุณหภูมิ 500 °C จนได้เถ้าสีขาว
12. ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้นเป็นเวลา 1 ชั่งโมง และชั่งน้ำหนัก จะได้ น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา
13. คำนวณหาปริมาณเส้นใย

$$\text{ปริมารเส้นใย (\%)} = \frac{\text{(น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา (กรัม) – น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา (กรัม)) x 100}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้งจากการสกัดไขมัน (กรัม)}}$$

ก 1.5 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (ดัดแปลงจาก AOAC, 1995)

อุปกรณ์

- เตาเผา (Muffle furnace)
- ครูซิเบิล (Crucible)
- Hotplate
- เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง
- โถดูดความชื้น

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักแน่นอน 3 -5 กรัม ใส่ในครูซิเบิลที่เผาและทราบน้ำหนักที่แน่นอนแล้ว
2. นำตัวอย่างไปเผาโดยใช้ Hot plate ในตู้ดูดควัน จนกระทั่งตัวอย่างหมดควัน
3. เผาต่อในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 °C นาน 4 ชั่วโมงหรือจนกระทั่งได้เถ้าสีขาว
4. ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้นเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
5. ชั่งน้ำหนักเถ้าที่ได้และคำนวณหาปริมาณเถ้า

$$\text{ปริมาณเถ้า(\%)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา(กรัม) x100}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง(กรัม)}}$$

ก 2 การวิเคราะห์หาค่า% rehydration

วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งน้ำหนักเห็ดที่อบแห้งแล้วประมาณ 2-3 กรัมบันทึกน้ำหนักที่แน่นอนไว้
2. นำตัวอย่างที่ชั่งน้ำหนักแล้วแช่ในน้ำกลั่นปริมาตร 100 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 30 นาที
3. เมื่อครบกำหนดใช้กระชอนตักเห็ดขึ้นมาพักไว้ให้สะเด็ดน้ำ(อาจใช้กระดาษชำระซับน้ำบริเวณผิวที่เกินออกมาได้เล็กน้อยและระมัดระวังไม่ให้เนื้อเยื่อติดออกมา)
4. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่สะเด็ดน้ำแล้ว และนำมาคำนวณตามสูตร

$$\text{ค่า rehydration (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังแช่น้ำ(กรัม) x100}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังแช่น้ำ(กรัม)}}$$

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการย่อย เรื่อง
การพัฒนาอุปกรณ์แยกดินและทรายออกจากสาหร่ายไก

ในโครงการวิจัย เรื่อง

การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารจากวัตถุดิบท้องถิ่นของจังหวัดน่าน

ปีงบประมาณ 2549

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดย

อ. อินทาวุธ สรรพวรสถิตย์

รศ. ดร. พันธิพา จันทวัฒน์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตอุปกรณ์ทำความสะอาดสาหร่ายไกด้วยระบบอัลตราโซนิก เพื่อลดปริมาณสิ่งปนเปื้อนในสาหร่ายไกให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นกว่าวิธีที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน โดยประกอบเครื่องทำความสะอาดด้วยระบบอัตราโซนิกปริมาตรบรรจุ 60x100x70 ลูกบาศก์เซนติเมตร ขั้นแรกศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการทำความสะอาด พบว่าเวลาที่เหมาะสมในการทำความสะอาดรวมเป็น 20 นาที ต่อมาศึกษาหาปริมาณสาหร่ายไกที่เหมาะสมสำหรับทำความสะอาดด้วยเครื่องทำความสะอาดด้วยระบบอัลตราโซนิก พบว่าปริมาณที่สาหร่ายไกสดที่เหมาะสมในการทำความสะอาดแต่ละครั้งคือประมาณ 3 กิโลกรัม และขั้นสุดท้าย ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับทำความสะอาดสาหร่ายไกสดโดยแปรเป็น 3 สภาวะ พบว่าปริมาณผลผลิต และน้ำหนักทรายที่แยกมาได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการทำความสะอาดสาหร่ายด้วยเครื่องทำความสะอาดระบบอัลตราโซนิกคือ เปิดเครื่องอัลตราโซนิกเป็นเวลา 10 นาที กรองทรายออกจากน้ำ วนน้ำกลับแล้วเปิดเครื่องต่ออีก 10 นาที โดยได้ปริมาณผลผลิตร้อยละ 7.81 ซึ่งใกล้เคียงกับวิธีทำความสะอาดแบบดั้งเดิม และยังสามารถกำจัดทรายออกได้มากที่สุดด้วย

Abstract

This research was aimed to produce ultrasonic cleaning machine for reducing the contaminants and improving the efficiency of Kai's cleaning customary method. The cleaning machine was made by stainless steel with the capacity of 60x100x70 cm^3. In the first stage of the research, the cleaning time was varied and it was found that the most appropriate total cleaning time was 20 minutes. Secondly, the suitable amount of Kai for each cleaning by the machine was studied. It was apparent that the suitable amount of Kai for each cleaning is around 3 kg. Finally, the optimum cleaning conditions were studied. Kai was cleaned into 3 conditions and it was found that Kai yield and weight of contaminants were significantly different ($p \leq 0.05$). The optimum condition for ultrasonic cleaning was operated for 10 minutes. The water was filtered and circulated, then the operation was undergone for 10 minutes more. The yield of dried Kai was 7.81%, similar to the customary method. This condition was the most contaminants eliminated method.

สารบัญเรื่อง

	หน้า
บทนำ	63
วารสารปริทัศน์	64 – 67
วิธีการดำเนินงานวิจัย	68 – 69
ผลการทดลองและวิจารณ์	70 – 73
สรุปผลการทดลอง	74
บรรณานุกรม	75
ภาคผนวก	76

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	สภาวะในการทำความสะอาด	69
2	ร้อยละความแตกต่างของน้ำหนักแห้งของสาหร่ายไกหลังการทำความสะอาดที่เวลาต่างๆ	71
3	น้ำหนักแห้งสาหร่ายไก และทรายหลังการทำความสะอาด 20 นาที ที่แปรปริมาณสาหร่ายไกเริ่มต้น	72
4	น้ำหนักแห้งสาหร่ายไก และทรายหลังการทำความสะอาดที่สภาวะต่างๆ	72

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
1	เครื่องทำความสะอาดด้วยระบบอัลตราโซนิก	70

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทนำ

กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์จากสาหร่ายไกหลายชนิด เช่นไกยี (สาหร่ายไกหยอง) น้ำพริกไก ข้าวเกรียบไก ผงสาหร่ายโรยข้าว และขนมต่างๆ จะต้องนำผงสาหร่ายไกมาร่อนเพื่อแยกสิ่งปลอมปนออกให้หมดก่อน แต่ก่อนที่จะได้ผงสาหร่ายไกนั้น ต้องนำสาหร่ายไกสดมาผ่านการเตรียมหลายขั้นตอน สาหร่ายไกสดที่เก็บจากลำน้ำน่านจะมีสิ่งปลอมปนติดมาด้วย เช่นกรวด ดิน ทราย พืชน้ำ หรือแม้กระทั่งสัตว์น้ำขนาดเล็ก ในปัจจุบันการทำความสะอาดเบื้องต้น ทำโดยการซักสาหร่ายไกสดด้วยมือหรือเครื่องซัก ซึ่งสามารถกำจัดกรวด ดิน ทราย และสิ่งตกค้างขนาดใหญ่ออกได้ส่วนหนึ่ง จากนั้นนำไปตากหรืออบแห้ง โดยฉีกสาหร่ายออกเป็นเส้นก่อน เพื่อให้ทำแห้งได้เร็วขึ้นและเป็นขั้นตอนสำหรับตรวจดูสิ่งตกค้างอีกครั้งหนึ่ง เมื่อได้สาหร่ายแห้งแล้วจะนำมาสับเพื่อลดขนาดลง ในขั้นตอนนี้สิ่งตกค้างขนาดเล็กอาจถูกกำจัดออกบ้าง จากนั้นจึงนำไปปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่น จากสาหร่ายละเอียดที่ผ่านการปั่นพบว่ายังคงมีดิน และทรายละเอียดปนอยู่ในปริมาณมาก หากนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์นั้นๆ อาจมีปัญหาด้านคุณภาพที่ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคได้ จากการทดลองเบื้องต้น ได้ทดลองหา density และการกระจายขนาดของผงสาหร่ายแห้งก่อนการแยกสิ่งปลอมปน พบว่า ผงสาหร่ายมี density 0.099 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร สำหรับผงสาหร่ายที่ผ่านการร่อน พบว่ามีการกระจายตัวตามขนาด ≤300, 301-425, 426-500, และ >500 ไมโครเมตร เป็นร้อยละ 53.74, 12.36, 6.82 และ 29.42 โดยน้ำหนักของผงสาหร่ายแห้งตามลำดับ เมื่อนำทรายตัวอย่างที่ถูกกำจัดออกระหว่างกระบวนการซัก ตาก สับ ปั่นลดขนาด และร่อนมาหา density พบว่าทรายดังกล่าวมี density 1.341 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งสูงกว่า density ของผงสาหร่ายก่อนร่อนอย่างเห็นได้ชัด

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตอุปกรณ์ทำความสะอาดสาหร่ายไกด้วยระบบอัลตราโซนิก เพื่อลดปริมาณสิ่งปนเปื้อนในสาหร่ายไกให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นกว่าวิธีที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วารสารปริทัศน์

คลื่นอัลตราโซนิก

คลื่นอัลตราซาวนด์ หรือคลื่นอัลตราโซนิก (ultrasonic wave) หมายถึงพลังงานที่เกิดจากคลื่นเสียงที่มีการสั่นของคลื่นประมาณ 20,000 ครั้งต่อวินาที (20,000 Hz) หรือสูงกว่า (Hoover, 2000) ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว คลื่นเสียงที่มนุษย์ได้ยิน เกิดจากการสั่นสะเทือนของตัวกลางยืดหยุ่น (elastic medium) ที่มีความถี่อยู่ในช่วง 20-20,000 Hz มนุษย์จึงไม่สามารถได้ยินเสียงที่เกิดจากการสั่นของคลื่นอัลตราโซนิกได้

ในการศึกษาการใช้ประโยชน์จากคลื่นอัลตราโซนิกตั้งแต่ อดีตจนถึงปัจจุบัน พบว่ามีการนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมหรือกระบวนการแปรรูปอาหาร โดยสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่ การใช้คลื่นอัลตราโซนิกกำลังต่ำและความถี่สูง (low power and high frequency) ซึ่งใช้ในงานด้านการวิเคราะห์เป็นส่วนใหญ่ และการใช้คลื่นอัลตราโซนิกกำลังสูงและความถี่ต่ำ (high power and low frequency) หรือที่เรียกว่าพาวเวอร์อัลตราซาวนด์(power ultrasound) ซึ่งมักนำมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการแปรรูปอาหาร (Mason, 1998) การใช้พาวเวอร์อัลตราซาวน์ในกระบวนการแปรรูปอาหารอาจมีผลต่อสมบัติทางกลและทางเคมีของอาหาร โดยส่วนมากใช้คลื่นในช่วงความถี่ 20-40 kHz ซึ่งเป็นความถี่ที่สร้างขึ้นจากอุปกรณ์อัลตราโซนิกทั่วไปที่ใช้ทำความสะอาด ทำให้เซลล์แตก และใช้ในการขึ้นรูปพลาสติก เป็นต้น

การประยุกต์ใช้คลื่นอัลตราโซนิกในกระบวนการแปรรูปอาหาร

การนำคลื่นอัลตราโซนิกมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการแปรรูปอาหาร มีความหลากหลายและแตกต่างกันไปตามชนิด ประเภทของอาหาร และวัตถุประสงค์ของการนำไปใช้ โดยสามารถสรุปการนำไปใช้ในกระบวนการแปรรูปอาหารได้ดังต่อไปนี้ (McClements, 1995; Mason, 1998)

1. กระบวนการออกซิเดชัน (oxidation process)

คลื่นอัลตราโซนิกมีผลต่อการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันในกระบวนการผลิตอาหารบางประเภท เช่นเร่งการบ่ม (aging) ในผลิตภัณฑ์หมัก (fermented product) เช่น ไวน์ และสุรากลั่น โดยคลื่นอัลตราโซนิกที่ใช้ ทำให้ระยะเวลาในการบ่มเพื่อให้เกิดกลิ่นรส และรสชาติเฉพาะตัวของผลิตภัณฑ์ลดลงได้

2. ปฏิกิริยาของเอนไซม์ (enzyme reaction)

จากการศึกษาในอดีต พบว่ากิจกรรมต่างๆ ของเอนไซม์ จะถูกยับยั้งได้โดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก เช่น มีการศึกษาการใช้คลื่นอัลตราโซนิกขนาด 20 kHz ที่กำลัง 371 W/cm^2 เพื่อยับยั้งเอนไซม์เพอร์ออกซิเดส (peroxidase) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่พบในผักและผลไม้สด พบว่า เมื่อใช้คลื่นอัลตราโซนิกปริมาณดังกล่าวกับเอนไซม์ในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 ที่อุณหภูมิ 20°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์ลดลงถึง 90%

3. การกระตุ้นเซลล์ของสิ่งมีชีวิต (stimulation of living cell)

มีรายงานการศึกษาการใช้คลื่นอัลตราโซนิกช่วยในการผลิตโยเกิร์ต โดยพบว่าสามารถลดเวลาในการผลิตได้ถึง 40% และยังช่วยปรับปรุงลักษณะด้านเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตให้ดียิ่งขึ้นด้วย นอกจากนี้ ยังพบว่าคลื่นอัลตราโซนิกยังสามารถกระตุ้นการงอกของเมล็ดพืชได้ ทำให้ปริมาณผลผลิตเพิ่มสูงขึ้น โดยคลื่นอัลตราโซนิกจะเหนี่ยวนำให้เมล็ดพืชงอกเร็วขึ้น เช่นเมื่อทดลองให้คลื่นอัลตราโซนิกกับเมล็ดทานตะวัน พบว่าสามารถงอกในดินได้ดีกว่าเมล็ดที่ไม่ได้รับคลื่นถึง 3 เท่า

4. กระบวนการสเตอริไลเซชัน (sterilization)

มีการนำคลื่นอัลตราโซนิกมาใช้ทำความสะอาด โดยช่วยลดการปนเปื้อนที่บริเวณผิว (surface decontamination) เนื่องจากการเกิดคลื่นกระแทกขนาดเล็ก (microjet) จากการที่ฟองอากาศเกิดการแตกตัว และมีทิศทางพุ่งเข้าสู่พื้นผิวด้วยความเร็วสูง เป็นผลให้สิ่งสกปรกและแบคทีเรียที่เกาะติดอยู่ที่บริเวณพื้นผิวหลุดออกไปได้

5. การใช้คลื่นอัลตราโซนิกในการทำให้เกิดอิมัลชัน (ultrasonic emulsification)

คลื่นอัลตราโซนิกทำให้อิมัลชันเสถียรขึ้น เนื่องจากฟองอากาศเกิดการแตกตัวตรงบริเวณที่เป็นรอยต่อระหว่างเฟส (phase boundary) ของของเหลวสองชนิดที่เข้ากันไม่ได้ ซึ่งคลื่นกระแทกที่มีแรงดันสูง ทำให้เกิดการผสมและเข้ากันได้ดียิ่งขึ้น

6. การสกัด (extraction)

การใช้คลื่นอัลตราโซนิก จะช่วยให้ตัวทำละลายแทรกซึมเข้าไปในวัสดุที่นำมาสกัดได้ดียิ่งขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพการถ่ายโอนมวลสาร (mass transfer) เพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้คลื่นอัลตราโซนิกยังทำลายพื้นผิวบริเวณผนังเซลล์และภายในเซลล์ ทำให้สารที่ต้องการสกัดแตกตัวออกมาได้ง่ายขึ้นด้วย

ตัวอย่างเช่น การสกัดน้ำตาลออกจากซูการ์บีท (sugar beets) การสกัดโปรตีนจากสาหร่าย การสกัดโปรตีนจากถั่วเหลืองที่ผ่านการสกัดไขมันออกแล้ว การสกัดสารจากใบชาในการผลิตชาสำเร็จรูป เป็นต้น

7. การใช้คลื่นอัลตราโซนิกกับผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ (meat products)

การใช้คลื่นอัลตราโซนิก จะช่วยสกัดโปรตีนที่ละลายได้ในเกลือที่อยู่ในเนื้อสัตว์ออกมาได้มากขึ้น โดยใช้ร่วมกับสารละลายเกลือ คลื่นอัลตราโซนิกจะไปทำลายโครงสร้างของไมโอไฟบริล (myofibril) ภายในเนื้อสัตว์ และทำให้สารละลายภายในเซลล์ไหลออกมา ส่งผลให้เนื้อสัตว์เกาะติดกันได้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้ คลื่นอัลตราโซนิกยังช่วยให้เนื้อสัตว์มีความนุ่มยิ่งขึ้น เนื่องจากแรงสั่นสะเทือนไปทำลายเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (connective tissue) ให้มีปริมาณลดลง

8. การตกผลึก (crystallization)

คลื่นอัลตราโซนิกช่วยในการก่อตัวของผลึกในขณะเริ่มต้น (initiation of seedling) และช่วยในการขยายขนาดผลึก (crystal growth) โดยมีรายงานว่า คลื่นอัลตราโซนิกช่วยเร่งอัตราการเกิดนิวเคลียสและเร่งอัตราการขยายขนาดผลึกในสารละลายอิ่มตัว หรือในอาหาร หรือในตัวกลางที่เย็นยิ่งยวด (supercooled medium) จากปรากฏการณ์ดังกล่าว จึงมาการประยุกต์ใช้ในการผลิตยาและผลไม้แช่เยือกแข็ง โดยทำให้ลดการเปลี่ยนแปลงของขนาดผลึกน้ำแข็งที่เกิดภายในเซลล์ รวมทั้งทำให้ผลึกน้ำแข็งที่เกิดภายในเซลล์มีขนาดเล็กลง ทำให้เซลล์ถูกทำลายเนื่องจากผลึกน้ำแข็งลดลงด้วย

9. การกำจัดฟองอากาศออกจากของเหลว (degassing of liquids)

ฟองอากาศ (gas bubble) ขนาดเล็กภายในสารละลายจะเปรียบเหมือนนิวเคลียสสำหรับการเกิดฟองอากาศที่จะขยายขนาดขึ้น เมื่อฟองอากาศดังกล่าวได้รับคลื่นอัลตราโซนิก จะแตกออกและส่งผลให้ฟองอากาศรวมตัวกันมีขนาดใหญ่ขึ้น และลอยขึ้นสู่บริเวณพื้นผิวและหลุดออกไป เช่นการใช้คลื่นอัลตราโซนิกในการลดฟองอากาศในผลิตภัณฑ์ช็อกโกเลต

10. การใช้คลื่นอัลตราโซนิกช่วยในการกรอง (acoustically aided filtration)

คลื่นอัลตราโซนิกช่วยให้อัตราการกรองของเหลวเพิ่มขึ้น โดยช่วยให้อนุภาคขนาดเล็กรวมตัวกัน (agglomeration) ทำให้กรองได้เร็วยิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยให้เกิดพลังงานบางส่วนที่เกิดจากการ

สั่นของวัตถุ (vibration energy) ทำให้สารที่แขวนลอยอยู่แยกตัวออกมาได้มากขึ้น เช่นใช้คลื่นอัลตรา-โซนิกช่วยในการกรองน้ำแอปเปิ้ล ช่วยเพิ่มปริมาณผลผลิต

11. การทำแห้ง (acoustic drying)

การใช้คลื่นอัลตราโซนิกร่วมกับกับทำแห้ง จะทำให้สามารถลดอุณหภูมิในการทำแห้งลงได้ และทำให้ปฏิกิริยา oxidation หรือ degradation ของสารลดลง มีการศึกษาการนำคลื่นอัลตราโซนิกมาใช้ร่วมกับการทำแห้งในผลิตภัณฑ์อาหารประเภทต่างๆ พบว่า เมื่อใช้คลื่นอัลตราโซนิก ช่วยให้การถ่ายโอนความร้อนเพิ่มขึ้นประมาณ 30-60%

จากการประยุกต์ใช้ในกระบวนการแปรรูปข้างต้นแล้ว จะเห็นได้ว่ากระบวนการสเตอริไลเซชันเป็นกระบวนการที่สำคัญอย่างยิ่งกระบวนการหนึ่ง เนื่องจากสามารถช่วยทำความสะอาดวัตถุดิบทางการเกษตรได้อย่างหลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นผัก ผลไม้ หรือเนื้อสัตว์ก็ตาม Oulahal และคณะ (2006) ศึกษาการขจัด biofilm ออกจากผิวหน้าของเนื้อสัตว์โดยใช้คลื่นอัลตราซาวน์ร่วมกับเอนไซม์และ chelating agent พบว่า การใช้คลื่นอัตราโซนิกร่วมกับ EDTA และ/หรือเอนไซม์ สามารถขจัด biofilm ที่สร้างจาก *E. coli* และ *S. aureus* ได้ถึง 75±4% และ 100±15% ตามลำดับ นอกจากทำความสะอาดพื้นผิววัตถุดิบทางการเกษตรแล้ว ยังมีการศึกษาการใช้คลื่นอัลตราโซนิกทำความสะอาดวัสดุอื่นๆ อีกมากมาย เช่น สิ่งทอ ซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นใย โดย Canoglu, Gultekin, และ Yukseloglu (2004) ศึกษาผลของการใช้คลื่นอัตราโซนิกในการทำความสะอาดชุดกาวน์สำหรับผ่าตัด พบว่าการใช้คลื่นอัลตราโซนิกช่วยในการทำความสะอาด สามารถกำจัดสิ่งสกปรกที่ติดอยู่กับเส้นใยผ้า ให้ออกไปได้เช่นเดียวกับการทำความสะอาดพื้นผิวอื่นๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิธีการดำเนินงานวิจัย

1 วัตถุดิบ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

สาหร่ายไกสด จากจังหวัดน่าน

เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 2 ตำแหน่ง (Sartorius, BA 4100S)

เตาอบ (Memmert)

เครื่องทำความสะอาดระบบอัตราโซนิก

โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for Windows version 7.5

2 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย

2.1 ประกอบเครื่องทำความสะอาดด้วยระบบอัลตราโซนิก

ถังทำความสะอาด ปริมาตร 60x100x70 ลูกบาศก์เซนติเมตร ประกอบขึ้นจากสเตนเลสสตีล หนา 2 มิลลิเมตร ติดตั้งเครื่องกำเนิดคลื่นอัลตราโซนิกที่มีคุณสมบัติตามที่แสดงในภาคผนวก ก

2.2 ศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการทำความสะอาดสาหร่าย

ชั่งน้ำหนักสาหร่ายไกสดประมาณ 1 กิโลกรัม ใส่ลงในถังบรรจุน้ำสะอาดปริมาณ 350 ลิตร เปิดเครื่องกำเนิดเครื่องอัลตราโซนิกนาน 5 นาที สะเด็ดน้ำสาหร่ายแล้วอบจนแห้งสนิท ชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำสาหร่ายที่ผ่านการอบแห้งแล้วใส่ลงในถังอีกครั้ง เปิดเครื่องกำเนิดคลื่นอัลตราโซนิกอีก 5 นาที สะเด็ดน้ำและทำแห้ง ชั่งน้ำหนัก ทำซ้ำจนได้น้ำหนักแห้งคงที่ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

2.3 ศึกษาปริมาณสาหร่ายไกที่เหมาะสมสำหรับทำความสะอาด

ชั่งน้ำหนักสาหร่ายไกสด ใส่ลงในเครื่องทำความสะอาดที่ประกอบขึ้น โดยแปรปริมาณสาหร่ายสดเป็น 3 และ 5 กิโลกรัม เปิดเครื่องกำเนิดเครื่องอัลตราโซนิกนาน 20 นาที สะเด็ดน้ำสาหร่ายแล้วอบจนแห้งสนิท ชั่งน้ำหนัก ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

2.4 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับทำความสะอาดสาหร่ายไกสด

ชั่งน้ำหนักสาหร่ายไกสดประมาณ 3 กิโลกรัม ใส่ลงในเครื่องทำความสะอาดที่ประกอบขึ้น แปรสภาวะในการทำความสะอาดดังแสดงในตารางที่ 3.1 โดยทุกสภาวะใช้เวลารวม 20

นาที สะเด็ดน้ำสาหร่ายแล้วอบจนแห้งสนิท ชั่งน้ำหนัก วางแผนการทดลองและวิจารณ์ข้อมูลทางสถิติ โดยใช้ Completely Randomized Design (CRD) ทำการทดลอง 5 ซ้ำ

ตารางที่ 1 สภาวะในการทำความสะอาด

สภาวะที่	**รายละเอียด**
1	เปิดเครื่องอัลตราโซนิกตลอด 20 นาที
2	เปิดเครื่องอัลตราโซนิกเป็นเวลา 10 นาที กรองทรายออกจากน้ำ วนน้ำกลับแล้วเปิดเครื่องต่ออีก 10 นาที
3	เปิดเครื่องอัลตราโซนิกเป็นเวลา 5 นาที กรองทรายออกจากน้ำ วนน้ำกลับแล้วเปิดเครื่องต่ออีก 5 นาที ทำซ้ำจนครบ 20 นาที

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

1 ประกอบเครื่องทำความสะอาดด้วยระบบอัลตราโซนิก

เมื่อประกอบเครื่องทำความสะอาดด้วยระบบอัลตราโซนิก ได้เครื่องทำความสะอาดที่มีปริมาตรบรรจุ 60x100x70 ลูกบาศก์เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 1

รูปที่ 1 เครื่องทำความสะอาดด้วยระบบอัลตราโซนิก

2 ศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการทำความสะอาดสาหร่าย

ทำความสะอาดสาหร่ายไกตามวิธีที่ระบุในข้อ 2.2 คำนวณหาร้อยละความแตกต่างของน้ำหนักแห้งหลังการทำความสะอาดในช่วง ทุก 5 นาที (ตั้งแต่ 10 ถึง 25 นาที) ได้ผลแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ร้อยละความแตกต่างของน้ำหนักแห้งของสาหร่ายไกหลังการทำความสะอาดในแต่ละช่วง (ทุก 5 นาที)

ช่วงเวลาที่	เวลารวมในการทำความสะอาด (นาที)	ร้อยละความแตกต่างของน้ำหนักแห้งสาหร่ายไก	
		ค่าเฉลี่ย *	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0	5	-	-
1	10	-12.61	0.38
2	15	-1.50	0.09
3	20	-0.98	0.07
4	25	4.15	0.25

หมายเหตุ * เครื่องหมาย – แสดงค่าร้อยละที่ลดลง และเครื่องหมาย – แสดงค่าร้อยละที่เพิ่มขึ้น

จากตารางที่ 2 เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของน้ำหนักแห้งของสาหร่ายไกในแต่ละช่วงของการทำสะอาด พบว่า น้ำหนักแห้งของสาหร่ายไกจะลดลงมากที่สุดในช่วงที่1 (10 นาทีแรกของการทำความสะอาด) และเริ่มคงที่ ในช่วงที่ 2 และมีน้ำหนักคงที่ในช่วงที่3 แสดงว่าเวลาในการทำความสะอาดรวม 20 นาที เป็นเวลาที่เหมาะสมในการแยกเศษดิน ทราย ออกจากสาหร่ายไก แต่เมื่อใช้เวลาในการทำความสะอาดมากกว่า 20 นาที (ช่วงที่ 4) พบว่าน้ำหนักของสาหร่ายแห้งจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเกิดจากเนื้อเยื่อของสาหร่ายเกิดการฉีกขาด ทำให้สาหร่ายแยกออกจากกัน สาหร่ายที่ฉีกขาดบางส่วน ซึ่งรวมอยู่กับเศษดิน ทราย จึงไม่สามารถกรองออกไปได้

จากผลการทดลองดังกล่าวจึงเลือกเวลาในการทำความสะอาด 20 นาที สำหรับการทดลองในขั้นต่อไป

3 ศึกษาปริมาณสาหร่ายไกที่เหมาะสมสำหรับทำความสะอาด

ทำความสะอาดสาหร่ายไกตามวิธีที่ระบุในข้อ 2.3 นำน้ำหนักหลังทำแห้งมาคำนวณหาร้อยละความแตกต่างของน้ำหนักแห้งหลังการทำความสะอาด ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 3

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3 น้ำหนักแห้งสาหร่ายไก และทรายหลังการทำความสะอาด 20 นาที ที่แปรปริมาณสาหร่ายไกเริ่มต้น

การทดลอง	ค่าเฉลี่ย ± เบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	น้ำหนักสาหร่าย* (g)	น้ำหนักทราย* (g)
ตัวอย่าง 3 ก.ก.	8.21 ± 0.58	0.09 ± 0.01
ตัวอย่าง 5 ก.ก.	7.68 ± 0.19	0.04 ± 0.00

หมายเหตุ * น้ำหนักเป็น g/100 g สาหร่ายสด

จากตารางที่ 3 พบว่า เมื่อใช้สาหร่ายไกเริ่มต้น 3 กิโลกรัม จะมีน้ำหนักแห้งของสาหร่ายไกมากกว่าที่ใช้น้ำหนักเริ่มต้น 5 กิโลกรัม ทั้งนี้อาจเกิดเนื่องจากขณะใส่สาหร่ายในเครื่องทำความสะอาดสาหร่าย 3 กิโลกรัมกระจายตัวได้ดีในถัง ขณะที่สาหร่าย 5 กิโลกรัมกระจายตัวไม่ดี ยังจับตัวกัน มีลักษณะเป็นก้อน และเมื่อพิจารณาน้ำหนักทรายควบคู่กัน จะเห็นได้ว่า เมื่อใช้สาหร่าย 3 กิโลกรัม จะสามารถแยกทรายออกมาได้มากกว่าสาหร่าย 5 กิโลกรัมด้วย จากผลการทดลองดังกล่าวจึงเลือกปริมาณสาหร่ายไก 3 กิโลกรัม เป็นปริมาณที่เหมาะสมในการทำความสะอาดแต่ละครั้งสำหรับการทดลองในขั้นต่อไป

4 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับทำความสะอาดสาหร่ายไกสด

ทำความสะอาดสาหร่ายไกตามวิธีที่ระบุในข้อ 2.4 นำน้ำหนักหลังทำแห้งมาคำนวณหาร้อยละความแตกต่างของน้ำหนักแห้งหลังการทำความสะอาด ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 น้ำหนักแห้งสาหร่ายไก และทรายหลังการทำความสะอาดที่สภาวะต่างๆ

สภาวะที่**	ค่าเฉลี่ย ± เบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	น้ำหนักสาหร่าย* (g)	น้ำหนักทราย* (g)
1	9.15^{a} ± 0.63	0.07^{b} ± 0.00
2	7.81^{b} ± 0.87	0.33^{a} ± 0.06
3	6.34^{c} ± 0.22	0.37^{a} ± 0.06

a, b, c ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งเดียวกันที่มีอักษรต่างกันกำกับไว้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

หมายเหตุ * น้ำหนักเป็น g/100 g สาหร่ายสด

**สภาวะที่ 1-3 ตามที่แสดงในตารางที่ 3.1

จากตารางที่ 4 เมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักแห้งของสาหร่าย และทรายที่สภาวะต่างๆ พบว่าน้ำหนักมีความแตกต่างกันทั้ง 3 สภาวะอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยสภาวะที่ 1 มีน้ำหนักสาหร่ายมากที่สุด รองลงมาเป็นสภาวะที่ 2 และ 3 ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเกิดจากที่สภาวะที่ 1 เปิดเครื่องทำความสะอาดเพียงครั้งเดียว ไม่มีการวนน้ำและกรองเศษทรายออก ทำให้ปริมาณทรายและสิ่งเจือปนยังคงค้างอยู่กับสาหร่าย เมื่ออบแห้งจึงมีน้ำหนักสาหร่ายมากที่สุด ขณะที่อีก 2 สภาวะมีการวนน้ำ และกรองเศษทรายออก ทำให้น้ำที่นำมาใช้ทำความสะอาดมีคุณภาพเหมือนใหม่ จึงสามารถกำจัดสิ่งเจือปนออกมาจากสาหร่ายได้มากกว่า เมื่อพิจารณาน้ำหนักทราย พบว่าที่สภาวะที่ 2 และ 3 มีน้ำหนักทรายมากที่สุด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสามารถกำจัดทรายออกได้มากที่สุด รองลงมาคือสภาวะที่ 1 เหตุผลดังที่อธิบายมาแล้วข้างต้น ทั้งนี้เมื่อพิจารณาน้ำหนักสาหร่ายในสภาวะที่ 3 จะพบว่าได้ผลผลิตเพียงร้อยละ 6.34 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีทำความสะอาดในปัจจุบันซึ่งได้ปริมาณผลผลิตประมาณร้อยละ 8 โดยน้ำหนักสาหร่ายไกสด พบว่าได้ปริมาณผลผลิตต่ำกว่า ทั้งนี้อาจเกิดจากการกรองทรายและวนน้ำ ทำให้สาหร่ายบางส่วนเกิดความเสียหาย และติดไปกับส่วนของสิ่งเจือปนในขณะกรอง ทำให้ได้ปริมาณผลผลิตน้อยลงด้วย ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการทำความสะอาดโดยสภาวะที่ 2 คือได้ปริมาณผลผลิตร้อยละ 7.81 ซึ่งใกล้เคียงกับวิธีทำความสะอาดที่ใช้อยู่ และยังเป็นสภาวะที่สามารถความความสะอาดได้ดีเมื่อเปรียบเทียบปริมาณทรายที่แยกออกมาได้จากทั้ง 3 สภาวะข้างต้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สรุปผลการทดลอง

4.1 เครื่องทำความสะอาดสาหร่ายไกด้วยระบบอัตราโซนิก สามารถทำความสะอาดสาหร่ายไกได้ โดยใช้เวลารวม 20 นาที

4.2 ปริมาณสาหร่ายไกสดที่เหมาะสมสำหรับเครื่องทำความสะอาดสาหร่ายไกด้วยระบบอัตราโซนิกที่ประกอบขึ้น คือประมาณ 3 กิโลกรัม

4.3 สภาวะที่เหมาะสมในการทำความสะอาดคือ เปิดเครื่องอัลตราโซนิกเป็นเวลา 10 นาที กรองทรายออกจากน้ำ วนน้ำกลับแล้วเปิดเครื่องต่ออีก 10 นาที

ข้อเสนอแนะและแนวทางการปรับปรุง

1 ควรหาแนวทางในการเพิ่มปริมาณผลผลิตให้ได้มากขึ้น โดยอาจติดตั้งตะแกรงเพื่อป้องกันสาหร่ายหลุดรอดออกไประหว่างการกรองและวนน้ำกลับ

2 ควรศึกษาเปรียบเทียบปริมาณทรายที่กำจัดออกไปโดยวิธีดั้งเดิมควบคู่กันไปกับวิธีทำความสะอาดโดยเครื่องที่ผลิตขึ้น

3 สามารถนำเครื่องทำความสะอาดดังกล่าวไปศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการทำความสะอาดวัตถุดิบทางการเกษตรอื่นๆได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บรรณานุกรม

Canoglu, S., Gultekin, B. C., and Yukseloglu, S. M. 2004. Effect of ultrasonic energy in washing of medical surgery gowns. Ultrasonics. 113-119.

Hoover, D. G. 2000. Ultrasound. Kinetics of microbial inactivation for alternative food processing technologies. Journal of Food Science Supplement. 93-95.

Mason, T. J. 1998. Power ultrasound in food processing – the way forward. pp. 105-126. *In* "Ultrasound in Food Processing". Povey, M. J. W. and Mason, T. J. (eds.). Blackie Academic & Professional, London.

McClements, D. J. 1995. Advances in the application of ultrasound in food analysis and processing. Trends in Food Science & Technology. (6) 293-299.

Oulahal, N., Martial-Gros, A., Bonneau, M., and Blum, L. J. 2006. Removal of meat biofilms from surfaces by ultrasounds combinded with enzymes and/or a chelating agent. Innovative Food Science and Emerging Technologies. (8): 192-196.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก
คุณสมบัติของเครื่องกำเนิดคลื่นอัลตราโซนิก

SG-2000 Specifications

- High tech silent processing unit, local quality control and trouble free assembly.
- High output : 500W, 46 litres of air laden with ozone and anions.
- Ceramic cells in flexible mat : easy to clean and fits all surfaces.
- Safety guaranteed : compliance with CSA and CE requirements.
- Obtain China patent no. ZL002171481 and Thailand patent no. 620, Taiwan patent is under applying.
- Natural source of ultrasonic power with 100 kHz frequency.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการย่อย เรื่อง

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ชาข้าวหอมมะลิใบหม่อน *Morus alba* Linn

ในโครงการวิจัย เรื่อง

การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารจากวัตถุดิบท้องถิ่นของจังหวัดน่าน

ปีงบประมาณ 2549

โดย

ผศ. ดร. อุบลรัตน์ สิริภัทราวรรณ

นางสาวกนกวรรณ พุฒิสกุลวงศ์

นางสาวกฤษณา รักษ์วงศ์

นางสาวสุภาพร สุทธิธรรม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ชาข้าวหอมมะลิใบหม่อนและศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมของชาใบหม่อนต่อข้าวหอมมะลิอบ คือ 1 : 2 โดยน้ำหนัก เป็นสูตรที่ให้รสชาติที่ดีที่สุด จึงเลือกมาใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษา โดยบรรจุผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ในบรรจุภัณฑ์สองชนิด คือ polypropylene (PP) และฟิล์มแบบผสมระหว่าง aluminum และ polyethylene (Al) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 75 % ติดตามการเปลี่ยนแปลงทางด้านกายภาพ เคมี ชีวภาพและประเมินผลทางประสาทสัมผัสทุก 30 วัน พบว่าในระหว่างการเก็บรักษา ค่า water activity ของผลิตภัณฑ์มีค่าสูงขึ้นและปริมาณ polyphenols ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และพบว่าค่า water activity และปริมาณ polyphenols ของผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงจากตัวอย่างเริ่มต้นที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ Al และ น้อยกว่า ($p \leq 0.05$) ที่เก็บใน และสีของผลิตภัณฑ์ที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ Al แตกต่างจากตัวอย่างเริ่มต้นน้อยที่สุด จากการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสโดยวิธี difference from control test โดยใช้ผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสแบบกึ่งฝึกฝน พบว่าผลิตภัณฑ์ที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ Al มีคะแนนแตกต่างจากตัวอย่างเริ่มต้นน้อยกว่าตัวอย่างที่เก็บใน PP ทั้งด้าน รสชาติ ความขม กลิ่นและสี แม้ภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 90 วัน ในขณะที่การเก็บรักษาใน PP เก็บรักษาได้นาน 60 วัน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Abstract

Jasmine rice with mulberry tea was developed. The optimum ratio between mulberry tea and roasted Jasmine rice was 1: 2 w/w. The developed product was packed in polypropylene (PP) and aluminum coated with polyethylene (Al) bags and stored at 30 °C for 3 months. The changes in water activity, color and polyphenols content of Jasmine rice with mulberry tea were determined at 30 days interval. The sensory quality of the product was also evaluated using difference from control test by semi-trained panelists. The results showed that packaging conditions affected ($p \leq 0.05$) quality of the product. The quality of Jasmine rice with mulberry tea decreased ($p \leq 0.05$) with storage period. The water activity values of Jasmine rice with mulberry tea packaged in Al were lower ($p \leq 0.05$) than those in PP. Polyphenols was found to decrease ($p \leq 0.05$) as the storage period increased. Al could maintain flavor odor and color of the product better than PP. The shelf life of Jasmine rice with mulberry tea in Al was found to be 90 days while product packaged in PP could be stored for 60 days at 30°C.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทนำ	82 - 83
วิธีดำเนินงานวิจัย	84 - 86
ผลการวิจัยและวิจารณ์	87 - 94
สรุปผลการทดลอง	95
บรรณานุกรม	96

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ชาข้าวหอมมะลิใบหม่อน	87
2	คุณสมบัติของบรรจุภัณฑ์	88
3	ค่า water activity ของผลิตภัณฑ์ชาข้าวหอมมะลิใบหม่อนในบรรจุภัณฑ์เมื่อเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 30°C ความชื้นสัมพัทธ์ 75 %	88
4	ค่าความแตกต่างของสี (ΔE) ของผลิตภัณฑ์ชาข้าวหอมมะลิใบหม่อนในบรรจุภัณฑ์ เมื่อเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 30°C ความชื้นสัมพัทธ์ 75 % เป็นเวลา 3 เดือน	89
5	ปริมาณ polyphenols (mg/g, wet basis) ของผลิตภัณฑ์ชาข้าวหอมมะลิใบหม่อนในบรรจุภัณฑ์ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30°C ความชื้นสัมพัทธ์ 75 %	91
6	คะแนนความแตกต่างด้านรสชาติของผลิตภัณฑ์ชาข้าวหอมมะลิใบหม่อนในบรรจุภัณฑ์เมื่อเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 30°C ความชื้นสัมพัทธ์ 75 %	92
7	คะแนนความแตกต่างด้านความขมของผลิตภัณฑ์ชาข้าวหอมมะลิใบหม่อนในบรรจุภัณฑ์เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30°C ความชื้นสัมพัทธ์ 75 %	92
8	คะแนนความแตกต่างด้านกลิ่น ของผลิตภัณฑ์ชาข้าวหอมมะลิใบหม่อนในบรรจุภัณฑ์เมื่อเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 30°C ความชื้นสัมพัทธ์ 75 %	92
9	คะแนนความแตกต่างด้านสีของผลิตภัณฑ์ชาข้าวหอมมะลิใบหม่อนในบรรจุภัณฑ์เมื่อเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 30°C ความชื้นสัมพัทธ์ 75 %	93

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทนำ

หม่อน (*Morus alba* Linn) เป็นพืชในตระกูล Moraceae ในประเทศไทยมีการปลูกมากทางภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ใบหม่อนสามารถนำมาผลิตเป็นชาที่มีรสชาติเฉพาะตัว มีรสฝาดน้อยกว่าชาที่ทำจากใบชาอื่นๆ มีสมบัติในการลดความดันโลหิต นอกจากนี้ยังพบสารไฟโตสเตอรอล (phytosterol) ที่มีประสิทธิภาพในการลดระดับคอเลสเตอรอล และ DNJ(1-deoxynojirimycin) ซึ่งมีผลลดระดับน้ำตาลในเลือด ของสัตว์ทดลอง เช่น หนูและกระต่าย (Tsushida *et al.*,1987) อย่างไรก็ตามยังไม่มีการทดลองทางด้านการแพทย์ต่อมนุษย์อย่างจริงจัง (วิโรจน์ เรืองแก้ว และคณะ, 2543)

ข้าวหอมมะลิ (Jasmine rice) เป็น aromatic rice ในตระกูล Poaceae ชื่อทางวิทยาศาสตร์คือ *Oryza sativa* L. ในประเทศไทยมีการปลูกมากทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศ (Anon, 2005) กลิ่นของข้าวหอมมะลินี้เกิดจากการผสมผสานกันอย่างสมดุลระหว่าง volatile compound แต่ละชนิดที่มีอยู่ในข้าวหอมมะลิ แต่ที่มีบทบาทมากที่สุดต่อกลิ่นของข้าวหอมมะลิคือ 2-acetyl-1-pyrroline (Wongpornchai, Sriseadka and Choonvisase, 2003) ซึ่งถูกค้นพบครั้งแรกในงานวิจัยของ Buttery, Ling และ Juliano (1982) และเป็น volatile compounds ที่สำคัญของ aromatic rice อื่นๆ ด้วย (Sirisoontaralak and Noomhorm, 2005)

ในปัจจุบัน ผู้บริโภคมีความนิยมในการบริโภคชาหรือชาเขียวกันมากขึ้น เนื่องจากกระแสความตื่นตัวในการบริโภคเครื่องดื่มสมุนไพร เครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ ผู้บริโภคส่วนใหญ่ยังคงคิดว่าชาเขียวใบหม่อนนั้นมีรสชาติและกลิ่นด้อยกว่าชาเขียวญี่ปุ่น ดังนั้นหากสามารถผลิตผลิตภัณฑ์ชาเขียวจากใบหม่อนให้มีกลิ่นและรสชาติที่น่ารับประทาน และบรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะกับการวางจำหน่ายทั้งในประเทศและตลาดต่างประเทศ อาจช่วยให้ชาเขียวใบหม่อนซึ่งมีแหล่งวัตถุดิบภายในประเทศเอง ได้รับความนิยมมากขึ้นได้ ซึ่งจะส่งผลดีต่อเกษตรกรผู้ปลูกใบหม่อนให้มีรายได้เพิ่มขึ้น และยังเป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากภูมิปัญญาไทยได้อีกทางหนึ่งด้วย

โครงการนี้จึงศึกษาการใช้ประโยชน์จากใบหม่อนของประเทศไทย โดยผลิตเป็นชาข้าวหอมมะลิใบหม่อนให้มีกลิ่นรสเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคโดยผสมชาใบหม่อนกับข้าวหอมมะลิของไทยที่ผ่านการอบให้มีกลิ่นหอม และศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในบรรจุภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษา บรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้แบ่งเป็น ถุง polypropylene (PP) ซึ่งเป็นถุงที่ใช้บรรจุผลิตภัณฑ์ชาใบหม่อนที่ขายทั่วไปในรูปแบบของผลิตภัณฑ์สินค้า OTOP และ SME และถุงจาก

ฟิล์มแบบผสมระหว่าง aluminum และ polyethylene (Al) ซึ่งเป็นบรรจุภัณฑ์ที่กันการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนได้ดี น่าจะสามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ให้นานขึ้น

วัตถุประสงค์

1. เพื่อผลิตผลิตภัณฑ์ชาข้าวหอมมะลิใบหม่อนที่มีกลิ่นรสเป็นที่ยอมรับในรูปแบบผลิตภัณฑ์บรรจุสำเร็จ
2. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของชาข้าวหอมมะลิใบหม่อนในระหว่างการเก็บรักษา
3. เพื่อศึกษาผลของบรรจุภัณฑ์ต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ชาข้าวหอมมะลิใบหม่อนในระหว่างการเก็บรักษา

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ผลิตภัณฑ์ชนิดใหม่ที่มีรสชาติเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค
2. ส่งเสริมให้มีการใช้วัตถุดิบที่มีในประเทศ มาแปรรูปให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีประโยชน์และมีมูลค่าเพิ่มขึ้น
3. เป็นเอกสารทางวิชาการที่ใช้เป็นแนวทาง ในการศึกษาค้นคว้าสำหรับผู้ประกอบการอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ และขนาดย่อม (SME) ต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิธีดำเนินงานวิจัย

1. การเตรียมผลิตภัณฑ์ชาข้าวหอมมะลิใบหม่อน

วัตถุดิบที่ใช้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ในการทดลองเป็นใบหม่อน (*Morus alba* Linn) ที่ได้จากจังหวัดน่าน อย่างไรก็ตาม ระหว่างดำเนินการชาใบหม่อนจากจังหวัดน่านไม่เพียงพอ จึงมีความจำเป็นต้องซื้อจากศูนย์วิจัยหม่อนไหมเฉลิมพระเกียรติ กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ จังหวัดอุดรธานี วิเคราะห์ปริมาณความชื้นและค่า water activity ของชาใบหม่อน

ข้าวหอมมะลิ 100% ตราเบญจรงค์ ผลิตโดยบริษัทเอเชีย อินเตอร์ ไรซ์ จำกัด จังหวัดสมุทรปราการ อบข้าวหอมมะลิ แล้วนำมาผสมกับชาหม่อนโดยแปรปริมาณของชาใบหม่อนต่อปริมาณข้าวหอมมะลิอบ และเลือกอัตราส่วนที่ให้กลิ่นรสดีที่สุด โดยใช้ผู้ทดสอบที่รู้จักผลิตภัณฑ์ชนิดดังกล่าวเป็นอย่างดี จากนั้นวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ปริมาณโปรตีนด้วยวิธี Kjeldahl ปริมาณไขมันโดยใช้ Soxhlet apparatus ปริมาณเส้นใย เถ้า และปริมาณคาร์โบไฮเดรต ตามวิธีของ A.O.A.C. (1995)

2. การศึกษาคุณสมบัติของบรรจุภัณฑ์

บรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในการทดลองคือ ถุงพลาสติกทั้งแบบเดี่ยวและแบบผสมที่จำหน่ายทางการค้า 2 ชนิด คือ polypropylene (PP) ซึ่งเป็นบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในการบรรจุผลิตภัณฑ์ชาหม่อนในท้องตลาด และ ฟิล์มแบบผสมระหว่าง aluminum และ polyethylene (Al) ทำให้เป็นถุงขนาด 15 x 15 cm^2 วัดความหนาของถุงโดยใช้ digital micrometer (Mitutoyo Absolute, Tester Sangyo Co., Ltd., Tokyo, Japan). วัดค่าการกันซึมผ่านของความชื้นและก๊าซตามวิธีมาตรฐานของ ASTM standard test method (ASTM, 2003)

3. การเก็บรักษาชาข้าวหอมมะลิใบหม่อน

ขั้นตอนนี้เป็นการทดลองเพื่อศึกษาภาวะต่างๆและเลือกบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม ในการเก็บรักษาชาข้าวหอมมะลิใบหม่อน โดยเตรียมชาข้าวหอมมะลิใบหม่อน ที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในข้อ 1 บรรจุตัวอย่างถุงละ 30 กรัม ในถุง 2 ชนิด คือ PP และ Al จากนั้นปิดผนึกจากนั้นปิดผนึกโดยใช้ heat sealer เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 75 % ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทุก 1 เดือนโดยวิธีทางกายภาพ เคมี ชีวภาพและการประเมินทางประสาทสัมผัส

4. **การวัดค่า** water activity

วัดค่า water activity โดยใช้เครื่องวัด water activity (Testo 650, Germany)

5. **การวัดสีของผลิตภัณฑ์**

วัดค่าสี ด้วยเครื่องวัดสี(Model CT-310, Minolta, Japan) นำค่าที่วัดได้คือ L, a*, b* มาคำนวณความแตกต่างของสี (Δ E) จากสูตร

$$\Delta E = [(L_1-L_2)^2+ (a_1^*-a_2^*)^2+(b_1^*-b_2^*)^2]^{½}$$

กำหนดให้ subscript 1 คือ ค่าสีที่วัดตอนเริ่มต้น subscript 2 คือ ค่าสีที่วัดได้ในแต่ละเดือน

6. **วิเคราะห์ปริมาณ** polyphenols

วิเคราะห์ปริมาณ polyphenols โดยใช้ Spectrophotometer (Spectronic, model spectronic 20, USA) โดยวิเคราะห์ ในรูป pyrocatechol ในตัวอย่าง เทียบกับสารละลาย pyrocatechol มาตรฐานที่เตรียมไว้ อ่านค่าปริมาณ polyphenols จากกราฟมาตรฐาน standard curve ทำตามวิธีของ Shahidi and Naczk (1995)

7. **การตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์**

ชั่งตัวอย่าง 25 กรัม โดยวิธี aseptic technique เติมสารละลาย normal saline (0.85% NaCl) ลงไป 225 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันโดยใช้ Stomacher ได้สารละลายตัวอย่างอาหารที่มีความเจือจาง 1:10 จากนั้นทำเจือจางลง ครั้งละ 10 เท่า โดยใช้ normal saline จนได้ ความเจือจางที่เหมาะสม วิเคราะห์ปริมาณ yeast, รา โดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ Potato Dextrose Agar (PDA) ใช้วิธี spread plate บ่มที่อุณหภูมิประมาณ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง รายงานเป็นจำนวนโคโลนีต่อกรัมของตัวอย่าง

8. **การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส**

เตรียมเครื่องดื่มสำหรับผู้ทดสอบโดยใช้ชาข้าวหอมมะลิใบหม่อน 20 กรัม ในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ปริมาตร 200 มิลลิลิตร นาน 5 นาที ให้ผู้ทดสอบแบบกึ่งผึกผน จำนวน 20 คน ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของน้ำชาข้าวหอมมะลิใบหม่อนซึ่งมีอุณหภูมิขณะชิม 60 องศาเซลเซียสโดยทำการทดสอบด้าน รสชาติ ความขม กลิ่นและสีของผลิตภัณฑ์ โดยใช้ Difference-from-control test มีระดับการให้คะแนนเป็น 10 คะแนน ซึ่งกำหนดระดับคะแนนดังนี้

0 คะแนน หมายถึง ไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุมเลย

5 คะแนน หมายถึง แตกต่างปานกลาง

10 คะแนน หมายถึง แตกต่างจากตัวอย่างควบคุมมากที่สุด

ในการทดลองนี้ตัวอย่างควบคุม (control) คือผลิตภัณฑ์ชาข้าวหอมมะลิใบหม่อนที่ผลิตใหม่และไม่ผ่านการเก็บรักษา นำข้อมูลที่ได้มาประเมินผล โดยใช้แผนการทดลองแบบ Factorial Randomized Completed Block Design (Factorial RCBD) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างตัวอย่าง ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง โดยใช้วิธี LSD Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % วิเคราะห์ข้อมูลโดยโปรแกรม SPSS for Window (Version 11.5)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ผลิตภัณฑ์ชาข้าวหอมมะลิใบหม่อน

จากผลการทดลองพบว่าอัตราส่วนของชาเขียวใบหม่อนและข้าวหอมมะลิอบที่ให้กลิ่นรสที่ดีที่สุดคือ ชาเขียวใบหม่อน ต่อข้าวหอมมะลิอบ ในอัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนัก เนื่องจากเป็นสัดส่วนที่ผู้ทดลองเห็นว่ามีรสชาติและกลิ่นหอมของผลิตภัณฑ์ที่ดีที่สุด

2. องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์

องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ชาข้าวหอมมะลิใบหม่อนที่ผลิตได้ แสดงไว้ในตารางที่ 1 ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณโปรตีน ร้อยละ10.42 และมีปริมาณไขมันต่ำ จึงน่าจะเป็นผลิตภัณฑ์ที่ดีต่อสุขภาพ

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ชาข้าวหอมมะลิใบหม่อน

องค์ประกอบ	**ร้อยละของปริมาณที่พบ**[a] (w/w)
ความชื้น	1.32
โปรตีน	10.42
ไขมัน	0.00
คาร์โบไฮเดรต[b]	85.52
เส้นใย	2.49
เถ้า	0.25

หมายเหตุ [a]wet basis, [b] calculated by difference

3. คุณสมบัติของบรรจุภัณฑ์

ความหนา ค่าการซึมผ่านของความชื้น และก๊าซออกซิเจน แสดงไว้ในตารางที่ 2 พบว่าถุง Al มีค่ากันการซึมผ่านของความชื้น และก๊าซออกซิเจน รวมทั้งแสงได้ดีกว่า PP

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของบรรจุภัณฑ์

บรรจุภัณฑ์	ความหนา (mm)	ค่าการซึมผ่านของความชื้น (cc mil $m^{-2}day^{-1}$)	ค่าการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (cc mil $m^{-2}day^{-1}$)
PP	0.80 $\pm$ 0.11	0.31 $\pm$ 0.01	25 $\pm$ 0.48
Al	0.10 $\pm$ 0.01	0	0

4. **ค่า** water activity **ของผลิตภัณฑ์**

ผลการศึกษาค่า water activity ของผลิตภัณฑ์ในบรรจุภัณฑ์ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30°C ความชื้นสัมพัทธ์ 75 % เป็นเวลา 3 เดือน แสดงไว้ในตารางที่ 3 เมื่อเปรียบเทียบค่า water activity ของผลิตภัณฑ์เริ่มต้น (water activity เริ่มต้น = 0.105 $\pm$ 0.001) กับภายหลังเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 1 เดือน พบว่าผลิตภัณฑ์ที่เก็บทุกภาวะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กล่าวคือ PP มีค่า water activity เพิ่มขึ้นมากกว่าตัวอย่างที่เก็บในถุง Al

ตารางที่ 3 ค่า water activity ของผลิตภัณฑ์ชาข้าวหอมมะลิใบหม่อนในบรรจุภัณฑ์เมื่อเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 30°C ความชื้นสัมพัทธ์ 75 %

บรรจุภัณฑ์	เวลา (เดือน)			
	เดือนที่ 0	เดือนที่ 1	เดือนที่ 2	เดือนที่ 3
PP	$0.105^{D} \pm 0.001$	$0.259^{aC} \pm 0.003$	$0.342^{aB} \pm 0.001$	$0.383^{aA} \pm 0.003$
Al	$0.105^{D} \pm 0.001$	$0.117^{bC} \pm 0.002$	$0.119^{bB} \pm 0.001$	$0.132^{bA} \pm 0.002$

a,b,...ในคอลัมน์เดียวกันตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

A,B,...ในแถวเดียวกันตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

การเพิ่มขึ้นของค่า water activity ของผลิตภัณฑ์ เป็นผลมาจากผลิตภัณฑ์ดูดความชื้นจากบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์ และผลิตภัณฑ์ที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ Al มีค่า water activity ต่ำกว่าที่บรรจุใน PP เนื่องจากถุง Al มีค่าการกันการซึมผ่านของออกซิเจนและไอน้ำต่ำกว่า PP

เมื่อเก็บผลิตภัณฑ์เป็นระยะเวลา 3 เดือน พบว่า ค่า water activity ของผลิตภัณฑ์ที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 ภาวะ มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บและแตกต่างจากตัวอย่างเริ่มต้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แต่อย่างไรก็ตามค่า water activity ที่เพิ่มขึ้นทุกภาวะยังคงมีค่าน้อยกว่า 0.6 จึงยังไม่ส่งผลให้จุลินทรีย์เช่นเชื้อรา และยีสต์สามารถเจริญได้

5. การเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์

เมื่อเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของสี (ΔE) ของผลิตภัณฑ์ในบรรจุภัณฑ์ที่ภาวะต่างๆ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 3 เดือน พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของค่าสีมากขึ้นเมื่อระยะเวลากรเก็บรักษานานขึ้น และชนิดของบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสี ($p< 0.95$) ของผลิตภัณฑ์ด้วยเช่นกัน (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 ค่าความแตกต่างของสี (ΔE) ของผลิตภัณฑ์ชาข้าวหอมมะลิใบหม่อนในบรรจุภัณฑ์ เมื่อเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 30°C ความชื้นสัมพัทธ์ 75 % เป็นเวลา 3 เดือน

บรรจุภัณฑ์	เวลา		
	เดือนที่ 1	เดือนที่ 2	เดือนที่ 3
PP	$6.77^{aC} \pm 0.22$	$8.83^{cB} \pm 0.07$	$12.26^{aA} \pm 0.16$
Al	$2.37^{cC} \pm 0.17$	$6.54^{dB} \pm 0.05$	$8.34^{bA} \pm 0.06$

a,b,... ในคอลัมน์เดียวกันตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

A,B,... ในแถวเดียวกันตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากผลการทดลองพบว่า เนื่องจากคุณสมบัติของบรรจุภัณฑ์ Al สามารถกันการซึมผ่านของ gas ไอน้ำ และแสงได้ดีกว่าบรรจุภัณฑ์ PP จึงช่วยป้องกันการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์ อาจเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นได้ดีกว่าและส่งผลให้มีค่าความแตกต่างของสีจากตัวอย่างเริ่มต้นน้อยที่สุด

การเพิ่มขึ้นของค่าความแตกต่างของสี (ΔE) ของผลิตภัณฑ์มาจากบรรจุภัณฑ์และภาวะที่ใช้ในการเก็บรักษา และเมื่อพิจารณาถึงผลของเวลาเก็บรักษาเป็นเวลา 3 เดือน พบว่า ค่าความแตกต่างของสี (ΔE) ของผลิตภัณฑ์ที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ทุกภาวะ มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

การเปลี่ยนแปลงของสีที่เกิดขึ้น คือ สีของน้ำชาเข้มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างเริ่มต้น อาจมีสาเหตุมาจากการเกิดปฏิกิริยา oxidation ของ polyphenols ที่อยู่ในใบชา โดยมีแสงและออกซิเจนเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยา ซึ่งอาจทำให้สีของน้ำชาเข้มขึ้น

6. การเปลี่ยนแปลงของปริมาณ polyphenols ของผลิตภัณฑ์

ปริมาณ polyphenols ของผลิตภัณฑ์ในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิด และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 3 เดือน แสดงไว้ในตารางที่ 5 พบว่า ปริมาณ polyphenols มีแนวโน้มลดลงจากปริมาณ polyphenols ของผลิตภัณฑ์เริ่มต้น

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณ polyphenols ของผลิตภัณฑ์ในบรรจุภัณฑ์ภาวะต่างๆ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30°C ความชื้นสัมพัทธ์ 75 % เป็นเวลา 3 เดือน พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น ปริมาณ polyphenols มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ แต่ชนิดของบรรจุภัณฑ์ไม่มีผลต่อปริมาณ polyphenols อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แต่มีแนวโน้มลดลงจากผลิตภัณฑ์เริ่มต้น

เมื่อพิจารณาถึงผลของเวลาเก็บรักษาเป็นเวลา 3 เดือน พบว่าปริมาณ polyphenols ของผลิตภัณฑ์ที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 ภาวะ มีปริมาณลดลงตามระยะเวลาการเก็บและแตกต่างจากตัวอย่างเริ่มต้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ตารางที่ 5) และพบว่าผลิตภัณฑ์ในบรรจุภัณฑ์ PP มีแนวโน้มการลดลงของปริมาณ polyphenols มากกว่าใน Al แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 5 ปริมาณ polyphenols (mg/g, wet basis) ของผลิตภัณฑ์ชาข้าวหอมมะลิใบหม่อนในบรรจุภัณฑ์ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30°C ความชื้นสัมพัทธ์ 75 %

บรรจุภัณฑ์	เวลา (เดือน)			
	เดือนที่ 0	เดือนที่ 1	เดือนที่ 2	เดือนที่ 3
PP	$66.05^{A} \pm 1.06$	$63.48^{A} \pm 3.05$	$52.86^{B} \pm 3.11$	$47.91^{C} \pm 2.52$
Al	$66.05^{A} \pm 1.06$	$65.18^{B} \pm 1.46$	$54.95^{C} \pm 2.14$	$50.89^{C} \pm 4.03$

A,B,...ในแถวเดียวกันตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

7. คุณภาพทางชีวภาพของผลิตภัณฑ์

วิเคราะห์ปริมาณ yeast, รา ของผลิตภัณฑ์ในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ โดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ Potato Dextrose Agar (PDA) โดยบันทึกผลทุก 30 วัน ไม่พบ yeast, รา ในผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้เนื่องจาก ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่า water activity อยู่ในช่วง 0.105 ± 0.001 ถึง 0.389 ± 0.008 แม้ว่าค่า water activity ของผลิตภัณฑ์จะมีการเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น แต่ค่า water activity ยังอยู่ในช่วงที่จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ เนื่องจากจุลินทรีย์สามารถเจริญได้เมื่ออาหารมีค่า water activity $\geq$ 0.65

8. คุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์

จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เมื่อเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ PP และ Al ที่อุณหภูมิ 30°C ความชื้นสัมพัทธ์ 75 % โดยพิจารณาจากคะแนนความแตกต่างทางด้านรสชาติ ความขม กลิ่น และสี ของผลิตภัณฑ์ โดยเปรียบเทียบความแตกต่างจากผลิตภัณฑ์ที่เตรียมเสร็จใหม่ๆ ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 6-9 ตามลำดับ

ตารางที่ 6 คะแนนความแตกต่างด้านรสชาติของผลิตภัณฑ์ชาข้าวหอมมะลิใบหม่อนในบรรจุภัณฑ์เมื่อเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 30°C ความชื้นสัมพัทธ์ 75 %

บรรจุภัณฑ์	คะแนนความแตกต่างด้านรสชาติ		
	เดือนที่ 1	เดือนที่ 2	เดือนที่ 3
PP	4.78 ±1.57	5.40 ±2.50	7.05 ±2.05
Al	3.45 ±2.11	4.05 ±2.30	4.90 ±1.97

ตารางที่ 7 คะแนนความแตกต่างด้านความขมของผลิตภัณฑ์ชาข้าวหอมมะลิใบหม่อนในบรรจุภัณฑ์เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30°C ความชื้นสัมพัทธ์ 75 %

บรรจุภัณฑ์	คะแนนความแตกต่างด้านความขม		
	เดือนที่ 1	เดือนที่ 2	เดือนที่ 3
PP	4.20 ±3.66	4.20 ±2.09	6.80 ±1.88
Al	2.30 ±1.55	2.10 ±1.37	3.55 ±1.63

ตารางที่ 8 คะแนนความแตกต่างด้านกลิ่น ของผลิตภัณฑ์ชาข้าวหอมมะลิใบหม่อนในบรรจุภัณฑ์เมื่อเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 30°C ความชื้นสัมพัทธ์ 75 %

บรรจุภัณฑ์	คะแนนความแตกต่างด้านกลิ่น		
	เดือนที่ 1	เดือนที่ 2	เดือนที่ 3
PP	4.30 ± 2.10	5.49 ± 1.88	7.31 ± 2.20
Al	1.85 ±1.22	2.15 ±1.92	2.85 ± 2.75

ตารางที่ 9 คะแนนความแตกต่างด้านสีของผลิตภัณฑ์ชาข้าวหอมมะลิใบหม่อนในบรรจุภัณฑ์เมื่อเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 30°C ความชื้นสัมพัทธ์ 75 %

บรรจุภัณฑ์	คะแนนความแตกต่างด้านสี		
	เดือนที่ 1	เดือนที่ 2	เดือนที่ 3
PP	4.20 ±2.09	4.60 ±2.62	7.10[a] ±2.59
Al	1.40 ±1.14	1.95 ±1.50	2.10[b] ±1.51

a,b,...ในคอลัมน์เดียวกันตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30°C ความชื้นสัมพัทธ์ 75 % โดยเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่เตรียมเสร็จใหม่ๆ ใช้ผู้ทดสอบกึ่งฝึกฝนทั้งหมด 20 คน พบว่าผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาใน Al มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของรสชาติ ความขม กลิ่น และสี น้อยกว่าผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาใน PP แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ทั้งนี้เนื่องจากบรรจุภัณฑ์ Al มีการซึมผ่านของ gas ไอน้ำ และแสงน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับบรรจุภัณฑ์ PP

เมื่อพิจารณาถึงผลของเวลาเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์เมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่เตรียมเสร็จใหม่ๆ พบว่าคะแนนความแตกต่างทางด้านรสชาติ ความขม กลิ่น และสี ของผลิตภัณฑ์ที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 ภาวะ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้นแต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

การเปลี่ยนแปลงทางด้านความขมของผลิตภัณฑ์อาจเกิดจากการสลายตัวของ polyphenols อาจเกิดขึ้นได้จากปฏิกิริยา oxidation อาจส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีรสชาติฝาดและขมอีกทั้งมีการเปลี่ยนแปลงของสีที่เข้มขึ้นด้วยเช่นกัน (Bailey, 1992) บรรจุภัณฑ์ PP มีค่าการซึมผ่านของไอน้ำ แสง และ gas มากกว่าบรรจุภัณฑ์ Al จึงทำให้แสงและออกซิเจนซึมผ่านได้มากกว่า อาจส่งผลให้ผลิตภัณฑ์เกิดปฏิกิริยา oxidation ขององค์ประกอบต่างๆ ในผลิตภัณฑ์สูงขึ้น จึงส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงทางด้านสี รสชาติ และความขม ของผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มเดียวกัน คือ ผลิตภัณฑ์ที่มีสีของน้ำชาเข้มขึ้น จะมีรสชาติของน้ำชาที่ฝาดและขมมากขึ้นและให้ผลสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงทางด้านกายภาพ คือ ค่าความแตกต่างของสี (ΔE) สูงขึ้น แต่ให้ผลตรงข้ามกับ

การเปลี่ยนแปลงทางด้านกลิ่น และ การเปลี่ยนแปลงทางด้านเคมี คือ ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นหอมและปริมาณ polyphenols ลดลง เมื่อสี รสชาติ และความขมของผลิตภัณฑ์มากขึ้น

เมื่อพิจารณาเกณฑ์การไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ โดยกำหนดให้ผลิตภัณฑ์ไม่เป็นที่ยอมรับเมื่อคะแนนความแตกต่างจากตัวอย่างเริ่มต้นมีค่ามากกว่า 5 คะแนน ที่เก็บรักษาใน PP มีคะแนนความแตกต่างทางด้านรสชาติ และกลิ่น มากกว่า 5 คะแนน เมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ไว้นาน 60 วัน ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่เก็บใน Al มี คะแนนความแตกต่างของรสชาติมากกว่า มากกว่า 5 คะแนน เมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ไว้นาน 90 วัน ส่วนคะแนนความแตกต่างของความขม กลิ่นและสี ยังคงอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าการเก็บผลิตภัณฑ์ในบรรจุภัณฑ์ Al สามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้นานกว่าการใช้บรรจุภัณฑ์ PP

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่าผลิตภัณฑ์ชาหม่อนข้าวหอมมะลิ ซึ่งบรรจุใน PP และ Al ที่ 30°C ความชื้นสัมพัทธ์ 75 % มีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษา ได้แก่ ค่า water activity สี และคะแนนทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ โดยพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงมากขึ้นเมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้น และการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ในบรรจุภัณฑ์ PP เกิดขึ้นเร็วกว่าเมื่อเก็บในบรรจุภัณฑ์ Al จากการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัส พบว่าบรรจุภัณฑ์ PP สามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้นาน 60 วัน ส่วนผลิตภัณฑ์ที่เก็บใน Al สามารถเก็บรักษาได้นาน 90 วัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บรรณานุกรม

Anon. 2005. ข้าวไทยโกอินเตอร์. จุลสารทองกวาว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 139. เชียงใหม่.

วิโรจน์ แก้วเรือง, สถาพร วงศ์เจริญวนกิจ, ประยูร หาสาง, กิตติชัย จันคคัต, วสันต์ นุ้ยภิรมย์ และ ทิพรรณี เสนะวงศ์. 2540. ผลการค้นคว้าวิจัยประจำปี 2540, หน้า 1-47 ศูนย์วิจัยหม่อนไหมอุดรธานี. สถาบันวิจัยหม่อนไหม กรมวิชาการเกษตร.

AOAC. 1995. Official Methods of Analysis of AOAC International. 16th ed. Association of Official Analytical Chemists. Washington D.C.

ASTM. 2003. Annual Book of ASTM Standards. American Society of Testing and Materials. Philadelphia, PA.

Ahvenainen, R. 2003. Novel Food Packaging Techniques. Woodhead Publishing Ltd.

Bailey, E.M.1992. Change in tea during storage. Journal of the Frankin Institute 208, 703.

Buttery, R.O., Ling, L.C. and Juliano, B.O., 1982. 2-Acetyl-1-pyrroline. An important aroma component of cooked rice. London : Chem. Ind., 958–959.

Shahidi, F. and Naczk, M., 1995. Food phenolic: sources, chemistry, effects and applications, Technomic, Lancaster, PA, pp. 287–293.

Sirisoontaralak, P. and A., Noomhorm. 2005. Changes to physicochemical properties and aroma of irradiated rice. Journal of Stored Products Research. 42, 264-276.

Tsushida, T. Murai, M. Omori and J. Okamoto, Production of new type tea containing a high level of γ-aminobutyric acid. Nippon Nogeikagaku Kaishi. 61, 817–822.

Wongpornchai, S., Sriseadka, T. and Choonvisase, S. 2003. Identification and Quantitation of the Rice Aroma Compound, 2-Acetyl-1-pyrroline, in Bread Flowers (Vallaris glabra Ktze). Journal of Agriculture and Food Chemistry. 51, 457-462.

Yong, X., Ho, C.T., Amin, S., Han, C. and Chung, F. 1992. Inhibition of tobacco-specific Nitrosamine-induced Lung Tumorigeneresis in A/J Mice by Green Tea and its Major Polyphenol as Antioxidants. Cancer Research. 52, 3875-3879.

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการย่อย เรื่อง
การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารหมักจากข้าวโพด

ในโครงการวิจัย เรื่อง

การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารจากวัตถุดิบท้องถิ่นของจังหวัดน่าน

ปีงบประมาณ 2549

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดย

ผศ. สุทธิศักดิ์ สุขในศิลป์

ผศ.ดร. สุเมธ ตันตระเธียร

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเมล็ดข้าวโพดมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารหมักประเภทเทมเป้ ศึกษา ชนิด ขนาดของเมล็ดข้าวโพดและขนาดของเมล็ดถั่วเหลือง ที่ใช้ในการทำเทมเป้ เลือกข้าวโพด 2 ชนิด มาใช้ในการทดลอง คือ ข้าวโพดหวานและข้าวโพดข้าวเหนียว และแปรขนาดเมล็ดเป็น เต็มเมล็ด ½ เมล็ดและ ¼ เมล็ด พบว่าเทมเป้จากข้าวโพดหวานขนาด ¼ เมล็ดมีการเจริญของเชื้อราที่ทำให้เทมเป้มีค่าความแน่นเนื้อสูงที่สุดคือ 319.61 gf จากนั้นแปรเมล็ดถั่วเหลือง 2 ขนาด คือเมล็ดซีกและปั่นละเอียด พบว่าเทมเป้ถั่วเหลืองเมล็ดปั่นละเอียดมีเนื้อเกาะกันแน่นกว่าเทมเป้ที่ทำจากถั่วเหลืองเมล็ดซีก โดยมีค่าความแน่นเนื้อ 282.61 gf ดังนั้นจึงเลือกถั่วเหลืองเมล็ดปั่นละเอียดเป็นวัตถุดิบมาผสมกับข้าวโพดขนาด 1/4เมล็ดในการผลิตเทมเป้ที่มีโปรตีนสูง จากนั้นศึกษาอัตราส่วนผสมของข้าวโพดต่อถั่วเหลืองที่เหมาะสม โดยแปรอัตราส่วนข้าวโพดต่อถั่วเหลืองเป็น 5:0 4:1 3:2 2:3 1:4 และ 0:5 (น้ำหนักเปียก) พบว่าเทมเป้ข้าวโพดผสมถั่วเหลือง ที่มีสัดส่วนของถั่วเหลืองมากขึ้น ตั้งแต่4:1 3:2 2:3 1:4 จะมีปริมาณของโปรตีนสูงอยู่ในช่วง12.70-28.74 %ซึ่งสูงกว่าปริมาณโปรตีนในเทมเป้ข้าวโพดล้วน และมีไขมันมากขึ้นอยู่ในช่วง5.02-17.00 % มีปริมาณเส้นใยอาหารลดลง อยู่ในช่วง 14.80-22.78% โปรตีนในเทมเป้ที่ได้จะมีคุณภาพดีขึ้น และเทมเป้จะได้รับคะแนนความชอบจากผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรสและความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงปานกลาง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Abstracts

The objective of this research is to develop a corn mixed tempeh to produce a high protein product. Two varieties of corn, namely sweet corn and waxy corn were chosen to use in the tempeh fermentation. The size of corn seed was varied to full, half and quarter size. The quarter kernel of sweet corn gave the highest firmness of 319.61 gf. Suitable size of soybean seed was studied by using ground and half seed. The study show that ground soybean tempeh gave the highest firmness of 282.61 gf ,so that the quarter kernel of sweet corn and ground soybean were selected to produce the mixed tempeh by vary corn and soybean at the ratio of 5:0 4:1 3:2 2:3 1:4 and 0:5 (wet basis). The result found that the mixed tempeh of corn and soybean at the ratio of 4:1 3:2 2:3 1:4 had the protein content between 12.70-23.65 %(dry basis) which was higher than protein content of corn tempeh and the panelist accepted their flavor and overall acceptability at the level of a few to medium score.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญเรื่อง

	หน้า
บทนำ	102 – 103
วารสารปริทัศน์	104 – 123
วิธีการดำเนินงานวิจัย	124 – 128
ผลการทดลองและวิจารณ์	129 – 140
สรุปผลการทดลอง	141
บรรณานุกรม	142 – 147
ภาคผนวก ก.	148 – 150
ภาคผนวก ข.	151

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ปริมาณกรดอะมิโน (mg/g protein) ในอาหารที่กินได้ 100 กรัม	109
2	ชนิดและปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นที่เป็นองค์ประกอบในเทมเป้ (mg/ 100 g)	120
3	องค์ประกอบทางเคมี (%) ของสารอาหารในเทมเป้สด ทอด ตากแห้งและแช่แข็งแห้ง 100 กรัม	121
4	ปริมาณวิตามินและเกลือแร่ที่เป็นองค์ประกอบในเทมเป้ 100กรัม	122
5	องค์ประกอบทางเคมีและทางกายภาพของวัตถุดิบ	129
6	ค่าความแน่นเนื้อและปริมาณกลูโคซามีนของเทมเป้ข้าวโพดหวานและข้าวโพดข้าวเหนียวที่ผลิตจากข้าวโพดขนาดเต็มเมล็ด ½ เมล็ด และ ¼ เมล็ด และเทมเป้จากถั่วเหลืองเมล็ดซีกและเมล็ดปั่นละเอียด หมักที่ 30°C 24 ชั่วโมง	131
7	การเปลี่ยนแปลงค่าความแน่นเนื้อและปริมาณกลูโคซามีนในเทมเป้ข้าวโพดหวาน และข้าวโพดข้าวเหนียวที่ผลิตจากข้าวโพดขนาด ¼ เมล็ดและเทมเป้ถั่วเหลืองเมล็ดปั่นละเอียด หมักที่ 30 °C เป็นเวลา 0 16 24 และ 40 ชั่วโมง	132
8	ค่าสี ความชื้นและ pH ในเทมเป้ผสมข้าวโพดที่อัตราส่วนต่าง ๆ หมักที่ 30 °C 24 ชั่วโมง	134
9	ค่าความแน่นเนื้อและปริมาณกลูโคซามีนในเทมเป้ผสมข้าวโพดที่อัตราส่วนต่าง ๆ หมักที่ 30°C 24 ชั่วโมง	135
10	องค์ประกอบทางเคมีในเทมเป้ผสมข้าวโพดที่อัตราส่วนต่าง ๆ หมักที่ 30 °C 24 ชั่วโมง	136
11	ปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายในเทมเป้ผสมข้าวโพดอัตราส่วนต่าง ๆ ที่ได้จากการคำนวณโดยใช้กรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบของโปรตีนในเมล็ดถั่วเหลืองและข้าวโพดเปรียบเทียบกับไข่ไก่ (mg/g protein)	137
12	ค่า amino acid score เทมเป้ผสมข้าวโพดที่อัตราส่วนต่าง ๆ ที่ได้จากการนำค่ากรดอะมิโนในเมล็ดถั่วเหลืองและข้าวโพดมาเป็นหลักในการคำนวณ โดยเปรียบเทียบกับปริมาณความต้องการกรดอะมิโนของเด็ก (mg/g protein)	138
13	ผลการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสด้านความชอบต่อสี ความแน่นเนื้อและความชอบโดยรวมของเทมเป้ผสมข้าวโพดที่อัตราส่วนต่าง ๆ	139

บทนำ

น่านเป็นจังหวัดหนึ่งที่มีวัตถุดิบหลายชนิด ที่สามารถนำมาใช้พัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารต่าง ๆ สำหรับจำหน่ายในท้องถิ่นและจังหวัดอื่นๆ และถ้ามีการผลิตที่ได้มาตรฐานก็อาจพัฒนาเป็นอาหารส่งออกได้เช่นกัน การหมักก็เป็นแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจในการนำมาใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร ไม่ว่าจะเป็นอาหารจากเนื้อสัตว์บก สัตว์น้ำ ผัก ผลไม้ ถั่วและธัญพืชต่าง ๆ โดยเฉพาะ ข้าวโพดและ ถั่วเหลือง ที่มีปลูกกันมากในจังหวัด แต่ผลิตภัณฑ์อาหารหมักที่ขายกันในตลาดจังหวัดน่าน ส่วนใหญ่จะผลิตกันที่จังหวัดอื่นแล้วนำเข้ามาขายภายในจังหวัด เช่น ถั่วเน่า เมี่ยง ปลาส้มฯลฯ ดังนั้นจึงสนใจที่จะศึกษาหาแนวทางในการนำวัตถุดิบดังกล่าว มาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารหมักที่จะเป็นประโยชน์ต่อชุมชนในจังหวัดน่าน เนื่องจากเป็นวิธีการแปรรูปที่ชาวบ้านมีความคุ้นเคย ทำได้ง่ายไม่ซับซ้อน ใช้อุปกรณ์เครื่องมือทั่ว ๆ ไป ไม่ยุ่งยาก ลงทุนต่ำและยังเป็นทางเลือกหนึ่งในการนำข้าวโพดมาใช้ประโยชน์และเพิ่มมูลค่า นอกจากนั้นยังได้ผลิตภัณฑ์อาหารที่มีความหลากหลายมากขึ้น โดยนำข้าวโพดมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารหมัก โดยใช้เชื้อราเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะคล้ายเทมเป้

เทมเป้เป็นอาหารหมักพื้นเมืองของประเทศประเทศอินโดนีเซียที่ได้จากการหมักเมล็ดถั่วเหลืองด้วยเชื้อราในสกุล *Rhizopus* ซึ่งส่วนใหญ่ใช้สายพันธุ์ *Rhizopus oligosporus* ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเป็นแผ่นแน่น เหนียวและยืดหยุ่น มีเส้นใยสีขาวของเชื้อราขึ้นประสานปกคลุมเมล็ดถั่วทั่วทั้งแผ่น และมีกลิ่นรสเฉพาะตัว มีคุณค่าทางโภชนาการสูงและร่างกายสามารถนำสารอาหารต่าง ๆ ไปใช้ได้ง่าย โดยเชื้อราจะสร้างเอนไซม์ย่อยวัตถุดิบอาหารบางส่วนให้อยู่ในรูปที่มีโมเลกุลขนาดเล็กพร้อมจะนำไปใช้ประโยชน์ นอกจากนี้แบคทีเรียที่เจริญร่วมกับเชื้อราในกระบวนการหมักเทมเป้ยังสร้างสารต่างๆ เช่น สารต้านอนุมูลอิสระ (Klus and Barz, 1998) และวิตามินบี 12 (Liem, Steinkraus and Cronk, 1977)ที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย ดังนั้นจึงเป็นอาหารที่น่าจะเป็นประโยชน์ต่อชาวบ้านทั่ว ๆ ไป เพราะสามารถจะนำไปดัดแปลงเป็นอาหารรูปแบบอื่น ๆ ได้อีก เช่น ใช้เป็นส่วนประกอบในอาหารหลักประเภทต้ม ผัด แกง ทอด โดยเทมเป้สามารถดูดซับเครื่องปรุงรสต่าง ๆ ได้ดีหรือบริโภคเป็นอาหารขบเคี้ยว ซึ่งโดยทั่วไปนิยมนำมาหั่นเป็นชิ้นบาง ๆ แล้วทอดกรอบ (Shurtleff and Aoyagi, 1976)

โดยปกติวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเทมเป้จะนิยมใช้ถั่วเหลืองเป็นหลัก อย่างไรก็ตามวัตถุดิบนอกจากนี้ก็สามารถนำมาใช้ผลิตเทมเป้ได้เช่นกัน ส่วนใหญ่จะเป็นเมล็ดพืชชนิดอื่นที่หาได้ง่ายในท้องถิ่นที่มีราคาถูก ได้แก่ เมล็ดพืชตระกูลถั่วชนิดอื่น เช่น ถั่วลิสง ถั่วแดงและถั่วดำ หรือธัญพืชชนิดต่าง ๆ เช่น ข้าวเจ้า ข้าวสาลี ข้าวโอ๊ต ข้าวบาร์เลย์และข้าวโพด

ข้าวโพดและถั่วเหลืองเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญของประเทศไทย โดยข้าวโพดเป็นพืชที่พบได้ทั่วไปในท้องถิ่นต่าง ๆ ปลูกได้ทุกฤดู แต่รูปแบบการนำข้าวโพดฝักสดมาใช้ประโยชน์ในการบริโภคโดยตรง เช่น นึ่ง ต้ม ปิ้ง ย่างหรือเป็นส่วนประกอบในอาหารคาวหวานประเภทต่าง ๆ ยังมีน้อย และ

ข้าวโพดมีโปรตีนต่ำ แต่โปรตีนข้าวโพดจะมีกรดอะมิโนที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ (sulfur containing amino acids)เช่น methionine และ cystine สูง แต่มีปริมาณกรดอะมิโน tryptophan และ lysine ต่ำ ส่วนถั่วเหลืองเป็นพืชที่มีปริมาณโปรตีนสูง ปลูกได้บางฤดู โปรตีนประกอบด้วยกรดอะมิโน tryptophan และ lysine สูง แต่มี กรดอะมิโนที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบต่ำ (Liu, 1999) และเนื่องจากข้าวโพดมีปริมาณโปรตีนไม่สูงนัก ดังนั้นในการทดลองจึงจะปรับปริมาณโปรตีนในเทมเป้ข้าวโพดให้สูงขึ้นโดยการนำถั่วเหลืองมาผสมกับข้าวโพดในการผลิตเทมเป้ เพื่อให้เทมเป้ที่ได้มีคุณค่าต่อการบริโภคมากขึ้น ด้วยเหตุที่ผลิตภัณฑ์นี้สามารถผลิตเองได้ที่บ้าน รวมทั้งประเทศไทยมีสภาพอากาศ ความชื้นและอุณหภูมิเหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อรา จึงใช้ระยะเวลาการผลิตสั้น ไม่สิ้นเปลืองพลังงานที่ใช้ในกระบวนการบ่มเพาะเทมเป้ ดังนั้นจึงอาจเป็นแนวทางในการพัฒนาให้เป็นผลิตภัณฑ์ในระดับครัวเรือนต่อไปได้

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำข้าวโพดมาหมักเป็นเทมเป้ และปรับปรุงเทมเป้ให้มีปริมาณโปรตีนสูงเพียงพอต่อความต้องการของร่างกายด้วยถั่วเหลือง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เทมเป้ (Tempeh)

เทมเป้เป็นอาหารพื้นเมืองที่นิยมบริโภคทั่วไปในประเทศอินโดนีเซียมานานกว่า 2000 ปี โดยพบว่าชาวชวาตอนกลางใช้บริโภคเป็นอาหารในชีวิตประจำวันตั้งแต่ศตวรรษที่ 17 ซึ่งตามวิธีดั้งเดิมผลิตโดยใช้เชื้อราในสกุล *Rhizopus* เป็นหัวเชื้อ (culturing agent) ผสมกับเมล็ดถั่วเหลืองที่ผ่านการแช่น้ำ (soaking) ลอกเปลือก (dehulling) แกะซีกแล้วทำให้สุกบางส่วน (partial cooking) โดยการนึ่งหรือต้มผสมกับหัวเชื้อ (inoculating) จากนั้นนำไปบ่ม (incubation) ประมาณ 20-30 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง (30°C) จนกระทั่งได้เทมเป้ที่มีเส้นใยสีขาวของเชื้อราประสานปกคลุมยึดเมล็ดถั่วเหลืองให้เกาะกันเป็นแผ่นแน่น (semi-firm solid cake) หนาประมาณ 2 เซนติเมตร มีลักษณะเป็นก้อนคล้ายเค้กหรือเต้าหู้ สามารถหั่นเป็นชิ้นบาง ๆ ได้ เทมเป้สดที่ยังไม่ผ่านการปรุงอาหารจะมีกลิ่นรสคล้ายเห็ด (mushroom odor) มีเนื้อสัมผัสนุ่มและยืดหยุ่นคล้ายเนื้อสัตว์ (meat-like texture) ผู้รับประทานอาหารมังสวิรัติจึงนิยมบริโภคแทนเนื้อสัตว์ นอกจากประเทศอินโดนีเซียแล้วเทมเป้ยังเป็นอาหารที่นิยมบริโภคของ หลาย ๆ ประเทศในทวีปเอเชียอีกด้วย เช่น ศรีลังกา สิงคโปร์ มาเลเซีย และฟิลิปปินส์ เทมเป้และอาหารพื้นเมืองอื่น ๆ ได้เข้าสู่ยุโรปและอเมริกาในปี ค.ศ. 1946 โดยชาวดัตช์ซึ่งเคยปกครองประเทศอินโดนีเซีย จนกระทั่งศตวรรษที่ 20 อาหารพื้นเมืองของประเทศในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้จึงเป็นที่รู้จักในประเทศตะวันตก (Shurtleff and Aoyagi, 1976) ปัจจุบันเทมเป้เป็นที่รู้จักและได้รับความนิยมจากผู้รับประทานอาหารมังสวิรัติในหลายประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา เม็กซิโก แคนาดา ฮอลแลนด์ ออสเตรเลียและญี่ปุ่น และกลายเป็นอาหารเพื่อสุขภาพโดยพบทั่วไปตาม supermarket และ natural food หรือ health food stores เป็นต้น โดยร้านค้าจะเก็บรักษาไว้ในตู้เย็นหรือในส่วนแช่แข็ง จากเดิมที่พบเป็นอาหารพื้นเมืองที่ขายตามร้านค้าของชาวเอเชีย สำหรับประเทศไทยผู้บริโภคทั่วไปยังไม่รู้จักและนิยมรับประทานเทมเป้มากเท่ากับอาหารหมักจากถั่วชนิดอื่น ได้แก่ ถั่วเน่า sufu miso และ shoyu เป็นต้น

เทมเป้เป็นแหล่งของโปรตีนที่สำคัญเนื่องจากมีโปรตีน คุณภาพดีและปริมาณสูง คือ มีกรดอะมิโนที่จำเป็นครบ 8 ชนิดตามที่ร่างกายต้องการ รวมถึงให้คุณค่าทางโภชนาการสูงเนื่องจากกระบวนการหมักจะช่วยปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการ และเชื้อราเจริญจะผลิตเอนไซม์ย่อยสลายเมล็ดถั่วบางส่วน ทำให้ร่างกายย่อยโปรตีนได้ง่ายขึ้น รวมถึงมีปริมาณไขมันอิ่มตัวต่ำ ไม่มีคอเลสเตอรอล นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งของวิตามินหลายชนิด เช่น กลุ่มวิตามินบี โดยเฉพาะวิตามินบี B_{12} (Leim, Steinkraus and Cronk, 1977) จึงเหมาะสำหรับผู้บริโภคอาหารมังสวิรัติที่มักขาดวิตามินชนิดนี้ เทมเป้มีประโยชน์ต่อสุขภาพโดยพบว่ามีสาร antibiotic ที่เชื้อราสร้างขึ้นระหว่างการหมักทำให้ร่างกายสามารถต่อต้านการติดเชื้อในลำไส้ได้ดีขึ้น (Wang and Hesseltine, 1969) ดังนั้นนักวิทยาศาสตร์จึงเริ่มให้ความสนใจศึกษาเกี่ยวกับเทมเป้ โดยมีงานตีพิมพ์ทางวิชาการเกี่ยวกับเทมเป้

ตั้งแต่ ค.ศ. 1960 (Steinkraus, 1996) ทั้งในด้านการผลิตกล้าเชื้อและจุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญต่อการหมัก (Wang, Swain and Hesseltine, 1975 และ Wiesel, Rehm and Bisping, 1997) การปรับปรุงกระบวนการผลิต (Wiesel, Rehm and Bisping, 1997) และการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ (Jurus and Sundberg, 1976) การเปลี่ยนแปลงทางเคมีและปริมาณเอ็นไซม์ระหว่างกระบวนการหมัก (Ruiz-Terán and Owens, 1996) รวมถึงคุณค่าทางโภชนาการ (Wagenknecht et al., 1961 และMurata, Ikehata and Miyamoto, 1967) และการพัฒนาเทมเป้จากวัตถุดิบชนิดอื่น (Feng et al., 2005; Mugula and Lyimo, 2000 และ Reyes-Moreno et al., 2000)เช่นDjurtoft and Nielsen(1984) ผลิตเทมเป้จาก cowpea Paredes-Lopes et al.(1987) ผลิตเทมเป้จาก legume species เช่น common beans Ashenafi and Busse(1991) ผลิตเทมเป้จากchickpea Penaloza et al.(1991) และFudiyansyah et al.(1995) ผลิตเทมเป้จากlupins, Hachmeister and Fung(1993) ผลิตเทมเป้จาก sorghum นอกจากนี้ยังมีเทมเป้ที่ผลิตจาก horse bean, pea และ cereal grains เช่น wheat และ triticale (Liu, 1999)

วัตถุดิบที่ใช้ผลิตเทมเป้

โดยทั่วไปเทมเป้ส่วนใหญ่ที่ผลิตกันมาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันคือ เทมเป้ถั่วเหลือง (soybean tempeh) แต่อาจผลิตเทมเป้จากเมล็ดพืชตระกูลถั่วชนิดอื่นและพืชเมล็ดชนิดอื่น เช่น ธัญพืชชนิดต่าง ๆ ที่สามารถหาได้ง่ายในท้องถิ่นและมีราคาไม่แพงได้เช่นกัน ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เทมเป้ที่มีเนื้อสัมผัส กลิ่นและรสชาติต่างกัน (Steinkraus, 1996) นอกจากนี้การใช้วัตถุดิบหลาย ๆ ชนิดร่วมกันยังเป็นการปรับคุณค่าทางโภชนาการของเทมเป้ให้ดีขึ้น เนื่องจากจะทำให้คุณภาพโปรตีนสมบูรณ์มากขึ้นอีกด้วย ซึ่งสามารถแบ่งวัตถุดิบที่ใช้ผลิตเทมเป้เป็นประเภทใหญ่ ๆ (Steinkraus, 1996) ได้ดังนี้

1. Legumes พืชตระกูลถั่วเกือบทุกชนิดสามารถนำมาผลิตเทมเป้ได้ เช่น lupine (Davey et al., 1991) quinoa (Davey et al., 1991) fava beans (Robinson and Kao, 1977) chickpeas หรือ garbanzo beans (Robinson and Kao, 1977และReyes-Moreno et al., 2000) common beans (Paresdes-Lopez, Harry and Gonzalez-Castaneda, 1990และMugula and Lyimo, 2000) cowpeas (Mugula and Lyimo, 2000) mung beans (Mugula and Lyimo, 2000) pigeon peas (Mugula and Lyimo, 2000) และ velvet beans (Egounlety and Aworth, 2003) เป็นต้น แต่ตามปกติแล้วจะใช้ถั่วเหลือง (*Glycine max*)เป็นหลัก โดยทั่วไปคำว่าเทมเป้ หมายถึง เทมเป้ถั่วเหลือง นั่นเอง

2. Cereal grains ได้แก่ wheat (Wang and Hesseltine, 1966) oats (Berghofer et al., 1998) sorghum (Mugula and Lyimo, 2000) corn (Cuevas-Rodriguez et al., 2003) และ barley (Feng, Eriksson and Schnürer, 2005) เป็นต้น

3. Oilseeds ได้แก่ sunflower seeds (Vaidehi, Annapurna and Vishwanath, 1985) sesame seeds(Mugula and Lyimo, 2000) groundnuts (peanuts) (Mugula and Lyimo, 2000) และ melon seeds (Amadi et al., 2003) เป็นต้น

4. Pressed cake เช่น กากถั่วเหลืองที่เหลือจากกระบวนการผลิตเต้าหู้ (soy-pulp) ผลิตภัณฑ์ที่ได้เรียกว่า okara tempeh (Steinkraus, 1996) เป็นต้น

เทมเป้อาจผลิตจากวัตถุดิบเพียงชนิดเดียวหรือหลายชนิดผสมกัน (mixed tempeh) ก็ได้เช่น corn-soybean, barley-soybean, wheat-soybean, soybean-sunflower และ sorghum-common bean David and Verma(1981)ผลิตเทมเป้จากถั่วเหลืองผสมbakla พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนถั่วเหลืองในปริมาณสูงขึ้น จะได้รับการยอมรับน้อยลง และที่อัตราส่วน 1 : 1 จะได้รับการยอมรับสูงที่สุด ส่วนVaidehi, Annapurna and Vishwanath (1985) ผลิตเทมเป้จากถั่วเหลืองผสมถั่วสิสงและถั่วเหลืองผสมเมล็ดดอกทานตะวันในอัตราส่วน 52:48 และ 46:54 ตามลำดับ จากนั้นนำมาทอดเพื่อประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบ 5 ระดับ พบว่าเทมเป้ถั่วเหลืองผสมเมล็ดดอกทานตะวันได้รับการยอมรับสูงที่สุดทั้งทางด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น รสชาติและเนื้อสัมผัส รองลงมาคือเทมเป้ถั่วเหลืองผสมถั่วลิสง ในขณะที่เทมเป้จากถั่วเหลืองเพียงชนิดเดียวได้รับการยอมรับน้อยที่สุด มีการผลิตเทมเป้ถั่วเหลืองผสม lupin seeds โดยแปรอัตราส่วน 50%, 75% และ 100% พบว่าไม่มีความแตกต่างระหว่างรสชาติ เนื้อสัมผัสและการยอมรับโดยรวม ของตัวอย่างทั้งสามชนิด และเทมเป้จาก lupin มีปริมาณ protease inhibitor ลดลงเป็น 1/5 ของเทมเป้จากถั่วเหลือง แต่ค่า protein efficiency ratio(PER) ของเทมเป้จาก lupin จะลดลงจาก 2.19 เป็น 0.91 และมีระดับของสาร antinutrients ลดลงเมื่อเทียบกับเทมเป้จากถั่วเหลือง (Fudiyansyah et al., 1995) รวมทั้งมีการผลิตเทมเป้โดยใช้ข้าวฟ่าง (*Sorghum bicolor*) ผสมกับวัตถุดิบชนิดอื่น เช่น bambara, peanut, sesame, cowpea, pigeonpea, common bean, mungbean และ soybean พบว่าเทมเป้ที่ได้จะมีปริมาณโปรตีนและกรดอะมิโนเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณแทนนินลดลง เทมเป้ที่พัฒนาขึ้นนี้มีโปรตีนที่มีคุณภาพและให้พลังงานสูง(Mugula and Lyimo, 2000) นอกจากนี้ยังมีการปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการของวัตถุดิบทางการเกษตรให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค โดยนำมาผลิตเทมเป้ เช่น เทมเป้จาก hardened common bean ทำให้ถั่วนิ่มขึ้น(Paredez and Harry, 1989) และเทมเป้จาก chickpeasโดยหมักที่อุณหภูมิ 35.8^{o}Cเป็นเวลา 42.7 ชั่วโมง(Reyes-Moreno et al., 2000) ต่อมาในปี 2003 มีการผลิต chickpea tempeh flour ที่มี true protein, protein digestibility และ lipid content เพิ่มขึ้น แต่มีปริมาณ phytic acid, tannins และ pH ลดลงเมื่อเทียบกับ raw chickpea flour นอกจากนี้ยังมีการผลิตแป้งเทมเป้จากข้าวโพด ที่มีปริมาณ lysineและtryptophan สูง พบว่าแป้งจะมี true protein, available lysine เพิ่มขึ้น แต่มีปริมาณ lipid, phytic acid และ pH ลดลงเมื่อเทียบกับแป้งจากข้าวโพดที่ยังไม่ได้ผ่านการหมัก (Cuevas-Rodrigrez et al., 2003)

สำหรับประเทศไทยมีงานวิจัยที่ศึกษาและพัฒนาผลิตภัณฑ์เทมเป้จากวัตถุดิบที่มีในประเทศ เช่น ลาวัณย์ ไกรเดช (2530) ผลิตเทมเป้จากถั่วลิสงทั้งที่มีเยื่อหุ้มหรือลอกเยื่อหุ้มเมล็ดออกและจากกากถั่วลิสง ได้เทมเป้ที่มีเนื้อแน่น เมื่อนำมาทอดจะกรอบและมีกลิ่นหอม รสชาติได้รับการยอมรับในระดับปานกลาง ต่อมาธงชัย สุวรรณลิชณน์(2531)ได้ทดลองพัฒนาเทมเป้จากถั่วลิสงพบว่าวิธีผลิตเทมเป้ที่เหมาะสมคือใช้ tempeh starter และ tempeh powder ผสมกันและถั่วลิสงที่ใช้ควรลอกเยื่อหุ้มออกก่อน เมื่อทดสอบความชอบของเทมเป้ชุบแป้งทอดด้วยวิธี hedonic scale 9 ระดับ พบว่าสีและกลิ่น ได้คะแนนความชอบเล็กน้อย ส่วนเนื้อสัมผัส ลักษณะทั่วไปและความชอบโดยรวมได้คะแนนความชอบระดับเฉยๆ ส่วนรสชาติมีคะแนนความชอบต่ำเนื่องจากมีรสขมและเฝื่อน และสุจินดา สุวรรณกิจ (2534) พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเทมเป้ถั่วลิสงจากเชื้อ *Rhizopus oligosporus* คือนำถั่วลิสงแช่น้ำเดือด 1 ชั่วโมง ทิ้งให้สะเด็ดน้ำ แล้วนึ่ง 45 นาที ปล่อยให้เย็น ผสมหัวเชื้อ 3% (wet basis) อัดแน่นแล้วบรรจุในถุงพลาสติกเจาะรู บ่มที่อุณหภูมิห้อง (32°C) เป็นเวลา 20 ชั่วโมง ได้เทมเป้ที่มีเส้นใยของราสีขาวยึดเกาะทั่วทั้งแผ่น สามารถหั่นเป็นชิ้นบาง ๆ ได้ และพบว่าวัตถุดิบที่เหมาะสมในการพัฒนาเทมเป้ถั่วลิสงต่อไปคือ ถั่วลิสงลอกเยื่อหุ้มเมล็ดบางส่วน เนื่องจากการเตรียมวัตถุดิบมีขั้นตอนและค่าใช้จ่ายต่ำกว่าและได้เทมเป้ที่มีคุณภาพดี นอกจากถั่วลิสงแล้วประเทศไทยยังปลูกพืชตระกูลถั่วอีกหลายชนิด เช่น ถั่วเขียว ถั่วเหลือง ถั่วแดง และถั่วดำ ส่วนธัญพืชที่ปลูก เช่น ข้าวเจ้า ข้าวโพด ข้าวฟ่างและลูกเดือย ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่สามารถนำมาผลิตเทมเป้ได้ ถั่วเหลืองเป็นวัตถุดิบชนิดแรกที่ใช้ผลิตเทมเป้ หลังจากนั้นจึงมีการนำวัตถุดิบชนิดอื่นมาใช้ผลิตเทมเป้ และพบว่าเทมเป้ถั่วเหลืองได้รับความนิยมมากที่สุดและพบได้ทั่วไป

ถั่วเหลือง (*Glycine max*) จัดอยู่ในวงศ์ Leguminosae เป็นพืชเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของประเทศไทย โปรตีนมีปริมาณและคุณภาพสูงกว่าพืชตระกูลถั่วชนิดอื่นเนื่องจากประกอบด้วยกรดอะมิโนที่จำเป็นครบทุกตัว รวมทั้งมีปริมาณไขมันสูง ซึ่งส่วนใหญ่เป็นไตรกลีเซอไรด์ประกอบด้วยกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวที่จำเป็นในปริมาณสูง คือ กรดไลโนเลอิก 53% และกรดโอเลอิก 23% โดยมีปริมาณโปรตีนและไขมัน 40% และ 20% ตามลำดับ นอกจากนี้ยังประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต 35% และเถ้า 5% โดยคาร์โบไฮเดรตประกอบด้วยน้ำตาลที่มีขนาดโมเลกุลต่างกัน คือ sucrose, stachyose และ raffinose ปริมาณ 5.0% 3.8% และ 1.1% ตามลำดับ (Liu, 1999) ถั่วเหลืองมีวิตามินและเกลือแร่หลายชนิด มีแคลเซียมสูงกว่าถั่วชนิดอื่น 3 เท่า แต่พบว่าในถั่วเหลืองตามธรรมชาติจะมีสารต้านคุณค่าทางโภชนาการ เช่น oligosaccharide, protease inhibitor, haemagglutinin, tannin, phytate, polyphenol และ lectin ซึ่งส่งผลให้การนำสารอาหารในถั่วเหลืองไปใช้ประโยชน์ได้ลดน้อยลง แต่ในกระบวนการผลิตเทมเป้ในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ เช่น การแช่น้ำ (soaking) การลอกเปลือก (dehulling) รวมถึงการหมักจะช่วยลดและกำจัดสารต้านคุณค่าทางโภชนาการเหล่านี้ ทำให้เกิดการปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการของถั่วเหลืองที่ใช้เป็นวัตถุดิบ(Steinkraus,1996) ซึ่งมีงานวิจัยมากมายที่ศึกษาเกี่ยวกับเทมเป้ถั่วเหลือง เช่น กระบวนการผลิตเทมเป้ถั่วเหลือง(Hedger,1982) ผลของการแช่

น้ำ(soaking) การลอกเปลือก (dehulling) การให้ความร้อน (cooking) และการหมัก (fermentation) ในกระบวนการผลิตเทมเป้ต่อปริมาณ oligosaccharide, trypsin inhibitor, phytic acid และ tannins ในถั่วเหลือง (Egounlety and Aworth, 2003) ตลอดจนศึกษาปริมาณสารที่มีประโยชน์ต่าง ๆ ในเทมเป้ถั่วเหลือง เช่น isoflavone (Nakajima et al., 2005) ลักษณะที่ไม่ต้องการของถั่วเหลืองคือ beany flavor ซึ่งเป็น off-flavor ที่อาจเกิดจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ lipoxidase ซึ่งความร้อนแบบแห้งหรือเปียกสามารถทำลายactivityของเอนไซม์นี้ได้บางส่วน นอกจากนี้ถั่วเหลืองจะมีรสขม และทำให้ท้องอืดเนื่องจากเกิดการหมักของน้ำตาลบางชนิด เช่น oligosaccharide raffinose และ stachyose ซึ่งร่างกายมนุษย์ย่อยไม่ได้ เนื่องจากไม่มีเอนไซม์ galactosidase ในระบบการย่อยอาหาร

ส่วนข้าวโพด (*Zea mays* L.) จัดอยู่ในวงศ์ Graminae เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญอีกชนิดหนึ่งของประเทศไทย ปลูกมานานกว่า 40 ปี ในช่วงก่อนสงครามโลกครั้งที่สอง (พ.ศ. 2482-2489) เนื่องจากเป็นพืชที่ปลูกง่าย ใช้เวลาสั้นและปลูกได้ตลอดปีในพื้นที่ที่มีน้ำเพียงพอ (กฤษฎา สัมพันธารักษ์, 2531) ภายในเมล็ดมีแป้งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ ใช้เป็นอาหารหลักของมนุษย์ในหลายประเทศ เช่น เม็กซิโก สเปน อิตาลี โปรตุเกส แอฟริกา อินเดียและอินโดนีเซีย โดยสามารถจำแนกข้าวโพดได้ 7 ชนิดตามคุณสมบัติของแป้งที่เป็นองค์ประกอบ ได้แก่ ข้าวโพดป่า(pod corn) ข้าวโพดคั่ว (pop corn) ข้าวโพดหัวแข็ง(flint corn) ข้าวโพดหัวบุบ(dent corn) ข้าวโพดแป้ง(flour corn) ข้าวโพดหวาน (sweet corn) และข้าวโพดข้าวเหนียว (waxy corn) โดยข้าวโพดฝักสดที่นิยมบริโภคในประเทศไทย ได้แก่ ข้าวโพดหวานและข้าวโพดข้าวเหนียว ซึ่งในเมล็ดสด 100 กรัม จะประกอบด้วยโปรตีน 4.9% และ 4.4% ไขมัน 1.9% และ 0.8% และคาร์โบไฮเดรต 27.0% และ 39.3% ตามลำดับ (กระทรวงสาธารณสุข, 2530) สำหรับข้าวโพดหวานนั้นมีลักษณะเฉพาะตัวคือมีรสหวานมากกว่าข้าวโพดชนิดอื่น เนื่องจากมียีนควบคุมความหวานไม่ให้เกิดการเปลี่ยนน้ำตาลไปเป็นแป้ง ส่วนข้าวโพดข้าวเหนียวนั้น มีลักษณะเฉพาะตัวคือแป้งส่วนใหญ่ประกอบด้วย amylopectin ประมาณ 73% ส่วน amylose มีประมาณ 27% (กฤษฎา สัมพันธารักษ์, 2531) น้ำมันข้าวโพดประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่จำเป็นต่อร่างกายในปริมาณสูง คือ กรดไลโนเลอิก 57% และกรดโอเลอิก 27.5% (Liu, 1999) มีงานวิจัยที่ผลิตแป้งจากเทมเป้ข้าวโพด โดยศึกษาสภาวะที่เหมาะสม (อุณหภูมิและเวลา) ในการหมักเทมเป้ข้าวโพดโดยใช้ response surface methodology (RSM) พบว่าหมักที่อุณหภูมิ 35.4°C เวลา 54.6 ชั่วโมง จะทำให้ได้แป้งจากเทมเป้ข้าวโพดที่มีค่า in vitro protein digestibility true proteinและ water absorption index (WAI) สูงที่สุดเป็น 83.6% 9.1 g/100 g และ 2.9 g gel/g dry flour (Cuevas-Rodriguez et al., 2003) ต่อมามีการศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของแป้งจากเทมเป้ข้าวโพดเปรียบเทียบกับแป้งข้าวโพด พบว่าแป้งข้าวโพดที่ผ่านการหมักจะมีปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นคือ histidine, isoleucine และ leucine เพิ่มขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เป็น 0.81 0.52 และ 1.46 g/100 g protein ตามลำดับ ส่วนกรดอะมิโนพวก total sulphur และ total aromatic จะเพิ่มขึ้นเป็น 0.55 และ 3.45 g/100 g protein ตามลำดับ รวมถึงมีค่า

PER (protein efficiency ratio) เพิ่มขึ้นจาก 0.55 เป็น 0.83 ดังนั้นจึงสามารถนำแป้งที่ได้ไปเติมในผลิตภัณฑ์อาหารจากธัญพืชชนิดอื่นเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการได้ เช่น tortilla, bread, cookie และ atoles (Cuevas-Rodriguez et al., 2006) ซึ่งพบว่าโปรตีนในพืชตระกูลถั่ว (legumes) จะมีปริมาณ lysine สูงแต่มีปริมาณ sulfur containing amino acids คือ methionine และ cystine ไม่เพียงพอ ในขณะที่ธัญพืช (cereal grains) มีปริมาณ lysine ต่ำแต่มีปริมาณ sulfur containing amino acids ในระดับที่เพียงพอ ดังนั้นการนำพืชตระกูลถั่วกับธัญพืชมาผสมกันเพื่อปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการ ทำให้มีระดับ lysine และ sulfur containing amino acids สูงขึ้นเพียงพอต่อตวามต้องการของร่างกายได้ (Liu, 1999) กระทรวงสาธารณสุข(2533) ได้วิเคราะห์ปริมาณกรดอะมิโนในถั่วเหลืองและข้าวโพด เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการประเมินคุณภาพโปรตีนในอาหารไทย ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณกรดอะมิโน (mg/g protein) ในอาหารที่กินได้ 100 กรัม

amino acids	ถั่วเหลือง (เมล็ดแห้ง)	ข้าวโพด (เมล็ดแห้ง)
protein (g/100 g)	34.60	10.30
isoleucine	37.08	32.52
leucine	73.67	116.80
lysine	59.08	25.05
methionine	7.75	11.84
cystine	14.60	20.78
total sulphur containing amino acid	21.18	32.62
phenylalanine	38.06	38.16
tyrosine	25.78	20.10
total aromatic amino acids	63.84	58.25
threonine	41.53	36.99
tryptophan	15.17	3.01
valine	50.40	38.83
arginine	59.51	36.12
histidine	24.22	34.66
alanine	36.33	60.68
aspartic acid	104.34	53.40
glutamic acid	166.97	186.89
glycine	36.07	29.42
proline	61.94	80.68
serine	47.60	42.72
limit amino acid	sulfur containing amino acids	Tryptophan

ที่มา: กระทรวงสาธารณสุข (2533)

คุณภาพโปรตีน

ร่างกายมนุษย์ต้องการโปรตีนในปริมาณที่เพียงพอสำหรับการเจริญเติบโต การเสริมสร้างกล้ามเนื้อและซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ ตลอดจนการสร้างน้ำนมและรักษาสุขภาพร่างกายตลอดการดำรงชีวิต โดยโปรตีนส่วนใหญ่ประมาณร้อยละ 16 ร่างกายจะใช้เป็นโครงสร้างของเซลล์และเนื้อเยื่อ โปรตีนบางชนิดใช้เป็นเอนไซม์ ฮอร์โมน แอนติบอดี้ สารขนส่งไขมันในเลือด องค์ประกอบของระบบขนส่งโมเลกุลขนาดเล็กผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ เป็นต้น เมื่อโปรตีนเกิดการย่อยสลายจะให้กรดอะมิโนซึ่งใช้ในการสร้างเนื้อเยื่อโปรตีนหรือสารโมเลกุลขนาดเล็กอื่น ๆ ที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ กรดอะมิโนที่อยู่ในอาหารและเนื้อเยื่อโปรตีนแบ่งเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกเป็นกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายเนื่องจากร่างกายสังเคราะห์เองไม่ได้ต้องได้รับจากอาหารเท่านั้น (indispensable amino acids หรือ essential amino acids) ได้แก่ histidine (His) isoleucine (Ilue) leucine (Leu) lysine (Lys) total sulphur containing amino acids คือ methionine (Met) และ cystine (Cys) total aromatic amino acids คือ phenylalanine (Phe) และ tyrosine (Tyr) threonine (Thr) tryptophan (Tryp) และ valine (Val) อีกกลุ่มเป็นกรดอมิโนที่ไม่จำเป็นต่อร่างกาย (dispensable amino acids หรือ non essential amino acids) ได้แก่ arginine (Arg) alanine (Ala) aspartic acid (Asp) glutamic acid (Glu) glycine (Gly) proline (Pro) และ serine (Ser) (กระทรวงสาธารณสุข, 2533) โปรตีนจากถั่วเหลืองมีปริมาณ sulfur containing amino acids ต่ำคือมีเมทไธโอนีนเป็นกรดอะมิโนจำกัด (limiting amino acid) ตามด้วยซิสทีนและทรีโอนีน แต่มีปริมาณไลซีนเพียงพอ ซึ่งตรงข้ามกับโปรตีนจากธัญพืชที่ส่วนใหญ่จะขาดไลซีน ดังนั้นการนำโปรตีนจากถั่วเหลืองและข้าวโพดมาผสมกันจึงช่วยเสริมปริมาณไลซีนและเมทไธโอนีนให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งที่ช่วยปรับปรุงคุณภาพโปรตีนของอาหารให้มีองค์ประกอบและสัดส่วนของกรดอะมิโนใกล้เคียงกับที่ร่างกายต้องการมากที่สุด ทำให้ร่างกายสามารถย่อยและนำไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Liu, 1999) มีงานวิจัยของ Bressani, Elías and Braham (1966) ที่แสดงสัดส่วนของกรดอะมิโนในถั่วเหลืองและข้าวโพดที่ผสมกันด้วยอัตราส่วนต่าง ๆ ทำให้คุณภาพโปรตีนมีความสมบูรณ์ มากขึ้น

จุลินทรีย์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตเทมเป้

เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตเทมเป้คือ *Rhizopus* ssp. เช่น *Rhizopus oligosporus*, *Rhizopus oryzae* หรือใช้ผสมกัน โดยเมื่อใช้เชื้อราชนิดต่างกันจะมีผลต่อคุณภาพของเทมเป้ที่ผลิตได้ เนื่องจากระหว่างกระบวนการหมักเชื้อราจะผลิตเอนไซม์ชนิดและปริมาณต่างกัน มีงานวิจัยที่ศึกษาการผลิตเอนไซม์อะไมเลสและโปรติเอสของเชื้อรา *Rhizopus* ชนิดต่าง ๆ พบว่า เชื้อ *R. arrhizus* และ *R.. oryzae* มี amylolytic acitivity สูง *R. microsporus* มี amylolytic และ proteolytic acitivity สูง *R.. oligosporus* มี amylolytic activity ค่อนข้างแตกต่างกัน ตั้งแต่ 0.00-0.82 แต่มี proteolytic activity สูงถึง 0.98-1.02 (activity index) ซึ่งพบว่าสามารถย่อยสลายโปรตีน

ในถั่วเหลืองได้มากกว่าร้อยละ 50 เกิดกรดอะมิโนหรือสารประกอบไนโตรเจนอื่น ๆ ที่ละลายน้ำได้ จึงเหมาะสมกับกระบวนการผลิตเทมเป้ ในขณะที่ *R.. stolonifer* ไม่มี amylolytic และ proteolytic activity (Lim, Tan and Rahim, 1987) ดังนั้นการเลือกชนิดเชื้อราที่จะใช้ จึงขึ้นกับวัตถุประสงค์ของกระบวนการผลิต

กระบวนการผลิตเทมเป้

เทมเป้เป็นอาหารที่ผ่านกระบวนการหมักแบบ solid-substrate fermentation (SSF) ที่ผลิตมาหลายร้อยปีแล้ว กระบวนการผลิตเทมเป้มีข้อดีที่แตกต่างจากอาหารหมักชนิดอื่นคือ มีขั้นตอนการผลิตง่าย ใช้เวลาสั้น สามารถใช้อุปกรณ์ที่มีอยู่ในครัวเรือนโดยไม่ต้องใช้เครื่องจักรและเทคโนโลยีระดับสูง จึงมีต้นทุนการผลิตต่ำ สามารถผลิตเองได้ที่บ้านและเหมาะกับกระบวนการผลิตเป็นอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดเล็กระดับครัวเรือน ใช้วัตถุดิบเป็นพืชตระกูลถั่วหรือธัญพืชที่ปลูกในท้องถิ่น หรือส่วนที่เหลือจากกระบวนการแปรรูปต่าง ๆ เช่น ถั่วลิสง มันสำปะหลังและกากถั่วเหลือง ทำให้ได้เทมเป้ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพและมีคุณค่าทางโภชนาการสูง ราคาถูกเหมาะกับประเทศที่มีภูมิอากาศร้อนชื้น ซึ่งเหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อราโดยเฉพาะประเทศในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ได้แก่ ประเทศไทย อินโดนีเซีย มาเลเซีย ที่สามารถผลิตเทมเป้ได้ตลอดปีโดยไม่สิ้นเปลืองพลังงาน กระบวนการผลิตเทมเป้มีขั้นตอนพื้นฐาน 4 ขั้นตอนคือ การแช่ (soaking) การต้ม (cooking) การผสมหัวเชื้อ (inoculating) และการบ่ม (incubating) ซึ่งแตกต่างกันตามชนิดของเทมเป้ พื้นที่และวิธีการของแต่ละบุคคล โดยมีขั้นตอนการหมักทั่วไปคล้ายกัน ดังนี้ (Steinkraus, 1996)

1. การล้าง (cleaning) ทำความสะอาดวัตถุดิบและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในกระบวนการผลิต เพื่อกำจัดเศษผง ฝุ่นละออง และสิ่งแปลกปลอมต่าง ๆ

2. การแช่น้ำ (soaking) และการลอกเปลือก (dehullling) ซึ่งการแช่น้ำเพื่อให้เกิดการดูดซับน้ำ (hydration) และการหมักเพื่อให้เกิดสภาวะกรดตามธรรมชาติ (bacterial acid fermentation) ในกระบวนการผลิตแบบพื้นเมืองจะแช่ถั่วเหลืองในน้ำ 1 คืน ทำให้ค่า pH ลดลงเป็น 5.0 หรือต่ำกว่า หรืออาจแช่ถั่วเหลืองในน้ำ แล้วต้มให้เดือด ทิ้งไว้ 1 คืนเช่นกัน จะทำให้ลอกเปลือกและทำให้เมล็ดแตกเป็น 2 ซีกได้ง่ายขึ้น ในกระบวนการผลิตเทมเป้จะมีการแช่น้ำ 1-2 ครั้ง ในระยะเวลาแตกต่างกัน (2-24 ชั่วโมง) หรืออาจมีการให้ความร้อน (precooking) ก่อนการแช่น้ำก็ได้ แต่โดยทั่วไปจะแช่ที่อุณหภูมิห้อง (30°C) ประมาณ 12-15 ชั่วโมง (overnight) ควรใส่น้ำให้สูงกว่าวัตถุดิบประมาณ 5 เซนติเมตร เป็นเวลา 8-16 ชั่วโมง หรือต้มก่อน 20 นาที แล้วแช่ในน้ำที่ต้ม 2 ชั่วโมง (Steinkraus,1996) อาจเพิ่มประสิทธิภาพในการหมักโดยเติมน้ำที่แช่ครั้งก่อนบางส่วน หรือเติมกรดลงไปผสมน้ำแช่ครั้งก่อนบางส่วนกับน้ำใหม่ 2 ส่วน ต่อถั่ว 1 ส่วน หรือเติม lactic acid (<0.5%) หรือ acetic acid (<0.25%) (Steinkraus, 1996) เพื่อให้เกิด acidification ซึ่งช่วยลดและควบคุมการเจริญเติบโตของ *Klebsiella pneumoniae* และช่วยยับยั้ง *Staphylococcus aureus* เพื่อป้องกันการ

ผลิต enterotoxin นอกจากนี้ในขั้นตอนการแช่น้ำจะช่วยลดปริมาณ inhibitors ที่อยู่ในถั่วเหลือง เช่น แทนนิน น้ำที่ใช้แช่อาจพบแบคทีเรีย ได้แก่ Enterobacteriaceae (ส่วนใหญ่พบเมื่อปล่อยให้เกิดการหมักตามธรรมชาติ), gram-negative rods shaped bacteria, *Lactobacillus* (ส่วนใหญ่พบเมื่อมีการใส่น้ำแช่ครั้งก่อนลงไป) *Flavobacterium* และ *Bacillus* เป็นต้น เชื้อยีสต์และรา ได้แก่ *Saccharomyces*, *Cryptococcus* ดังนั้นการแช่น้ำที่ทำให้เกิดสภาวะกรดนั้นจะมีผลต่อองค์ประกอบทางจุลชีววิทยาในขั้นตอนต่อไปและผลิตภัณฑ์สุดท้าย

3. การให้ความร้อน (partial cooking) มีจุดประสงค์เพื่อทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนซึ่งจะรบกวนการหมักของเชื้อราในกระบวนการผลิตขั้นต่อไป ทำลาย trypsin inhibitor และปลดปล่อยสารอาหารทำให้เชื้อรานำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ดีกว่าวัตถุดิบ (Steinkraus, 1996) โดยทั่วไปในการผลิตระดับพื้นบ้านจะให้ความร้อนโดยการต้ม (cooking) ในน้ำที่แช่หรือใช้การนึ่ง (steaming) แทนจะทำให้เกิดการสูญเสียของแข็งทั้งหมดน้อยลง โดยใช้ระยะเวลาแตกต่างกันตั้งแต่ 20 นาทีถึง 1 ชั่วโมง (Steinkraus, 1996) ซึ่งในการผลิตเทมเป้ระดับโรงงานขั้นตอนการแช่น้ำและการให้ความร้อนจะใช้ steam-jacketed kettle ส่วนระดับครัวเรือนจะใช้หม้อธรรมดา (Steinkraus, 1996) การนึ่งที่ 100°C เวลา 15-30 นาที (Shurtleff and Aoyagi, 1976) จะทำให้ถั่วเหลืองสุกบางส่วน (partial cooking) จึงทำให้โปรตีนเสียสภาพและทำลายโครงสร้างของโปรตีน ซึ่งช่วยให้เชื้อราเจริญแทรกเข้าไปได้ดีขึ้น รวมถึงสารต้านคุณค่าทางโภชนาการที่ไม่ทนต่อความร้อนบางตัวจะถูกทำลาย เช่น trypsin inhibitors, haemaglutinins และ enzyme inhibitors อื่น ๆ ทำให้ร่างกายย่อยได้ง่ายขึ้น (Liu, 1999) โดยพบว่าถั่วเหลืองต้ม (Boiled whole soybean) มีค่า protein digestibility 91% และรสขมในถั่วเหลืองจะหายไปเมื่อต้มที่ 95°C อย่างน้อย 15 นาที ส่วนสารที่ทนความร้อนและสารที่ละลายในน้ำที่ยับยั้งการเจริญของเชื้อราซึ่งออกมากับน้ำที่ต้มจะถูกกำจัดออกไป โดยเมล็ดที่แช่น้ำแล้วให้ความร้อนจะเพียงพอในการกำจัดกลิ่นและรสขมในถั่วเหลืองได้ (Steinkraus, 1996)

4. การกรองแยกเมล็ดวัตถุดิบออกจากน้ำ (draining) ทิ้งให้เย็น (cooling) และทำให้ผิววัตถุดิบแห้ง (surface drying) เมื่อผ่านขั้นตอนการให้ความร้อนแล้วจะกรองแยกเมล็ดวัตถุดิบออกจากน้ำที่ใช้ต้มแล้วทิ้งให้เย็นจนมีอุณหภูมิประมาณ 35-40°C แต่ไม่ควรทิ้งให้เย็นเกินไปก่อนผสมกับกล้าเชื้อเทมเป้เนื่องจากจะอยู่ในช่วงอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อรา (Hedger, 1982) โดยที่ผิววัตถุดิบจะต้องไม่มีชั้นน้ำเกาะเคลือบอยู่ เนื่องจากน้ำส่วนเกินที่เกิดขึ้นจะส่งเสริมให้เชื้อแบคทีเรียเจริญได้ดีโดยเฉพาะ *Bacillus subtilis* และเกิดการปนเปื้อนรวมถึงอาจยับยั้งกระบวนการหมักของเชื้อรา อย่างไรก็ตามสามารถทำให้บริเวณผิวเมล็ดแห้งด้วยการเกลี่ยให้ถั่วแผ่เป็นชั้นบาง ๆ บนตะแกรง ใช้ผ้าบางหรือกระดาษ (paper towel) ซับน้ำส่วนเกินออก เติมแป้งข้าวสาลี แป้งข้าวโพด แป้งข้าวเจ้าหรือแป้งมันสำปะหลังประมาณร้อยละ 2 (w/w) ลงไปเคลือบที่ผิวและดูดซับน้ำที่เกินไว้ (Shurtleff and Aoyagi, 1976) ซึ่งจะช่วยเร่งการเจริญของเชื้อราและทำให้ได้เทมเป้ที่แน่นขึ้น หรือตามวิธีพื้นบ้านจะแผ่เมล็ดถั่วเหลืองบนถาดไม้ไผ่(tampah) วางไว้กลางแจ้งเพื่อระเหยน้ำออกและทำให้

วัตถุดิบเย็นลง ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30-60 นาที (Shurtleff และ Aoyagi, 1976) โดยเมล็ดถั่วมีผิวค่อนข้างแห้งจะมีสีด้าน แต่ถ้ามีความวาวแสดงว่ายังคงเปียกอยู่ ในกรณีที่ผลิตในปริมาณมากอาจใช้ basket centrifuges เพื่อกำจัดน้ำออก แล้วผ่านน้ำประปาที่เย็นลงไปใน centrifuge ที่หมุน วิธีนี้จะทำให้วัตถุดิบเย็นลงรวดเร็วขึ้นแต่ยังคงเหลือความชื้นบางส่วน (Steinkraus, 1996)

5. การผสมกล้าเชื้อ (inoculation of starter culture) ควรผสมหัวเชื้อให้ทั่วถึง ภายในระยะเวลาสั้น เพื่อลดการปนเปื้อนและช่วยให้หมักได้เร็วขึ้น เชื้อราที่ใช้ผลิตเทมเป้โดยทั่วไปอยู่ในสกุล *Rhizopus* ได้แก่ *R. oligosporus R. oryzae R. arrhilus R. stolonifer R. fermosaesis R. achlamydosporus R. chinesis* และ *R.. cohnii* โดยมีการศึกษาพบว่า *R. oryzae* จะทำให้เทมเป้ที่ได้มีรสเปรี้ยว ส่วน *R.. arrhinus* จะผลิตได้เทมเป้คุณภาพต่ำ และ *R. oligosporus* เหมาะสมที่สุดสำหรับการใช้เป็นกล้าเชื้อบริสุทธิ์ในการหมักเทมเป้ เนื่องจากสามารถเจริญได้ดีที่อุณหภูมิตั้งแต่ 30-42°C โดยจะสร้างเส้นใยปกคลุมวัตถุดิบทั่วทั้งแผ่นได้ภายใน 20-24 ชั่วโมง ทำให้เชื้อจุลินทรีย์ปนเปื้อนชนิดอื่น ๆ เจริญแข่งขันได้ยาก และเจริญที่ pH ของวัตถุดิบที่ต่ำประมาณ 4.0 ได้ และได้มีการคัดเลือกเชื้อไว้หลายสายพันธุ์ด้วยกัน เช่น *R. oligosporus* NRRL 1521 NRRL 2710 NRRL 5905 และ CBS 338.62 เป็นต้น (นภา โล่ห์ทอง, 2537) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาผลของชนิดเชื้อที่ใช้ผลิตต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี เช่น ธงชัย สุวรรณลิขณ์(2531) ผลิตเทมเป้จากถั่วลิสงลอกเยื่อพร่องไขมันและลอกเยื่อและพร่องไขมันบางส่วน โดยใช้เชื้อ *Rhizopus oligosporus* และ *Neurospora sitophila* พบว่าได้เทมเป้ที่ได้มีองค์ประกอบทางเคมีต่างกัน ซึ่งกล้าเชื้อเทมเป้ ที่ใช้กันจะมีอยู่หลายลักษณะ ดังนี้

เทมเป้ที่เก็บไว้จนเชื้อราสร้างสปอร์ (sporulated tempe) ซึ่งจะสะดวกในกรณีที่มีการใช้อย่างต่อเนื่อง แต่ไม่ควรใช้ต่อเนื่องกันมากกว่า 5-6 ครั้ง (Steinkraus, 1996) เนื่องจากเทมเป้ที่เก็บไว้จะมีแบคทีเรียปนเปื้อนมากขึ้น เทมเป้เก่านี้จะสามารถเก็บไว้เป็นกล้าเชื้อได้นานขึ้นถ้าใช้เทมเป้ที่มีคุณภาพดีมาตากแดดให้แห้ง หรือทำให้แห้งแบบแช่เยือกแข็ง แล้วบดเป็นผงละเอียดไว้ใช้ต่อไป ในอัตราส่วน 1-3 กรัม ต่อถั่วเหลือง 1000 กรัม (Steinkraus, 1996)

ยูซาร์ (usar) คือ กล้าเชื้อพื้นบ้านที่มีมานานแล้ว ผลิตโดยให้เชื้อจุลินทรีย์เจริญบนใบไม้บางชนิดที่มีขนใต้ใบ ได้แก่พืชสกุล *Hibiscus* เช่น *H. tiliaceus* (ปอทะเลหรือโพธิ์ทะเล) *H. similes* (ไม้พื้นเมืองของประเทศอินโดนีเซีย) *Tectona grandis* (ใบสัก) และ *Bambusa* spp. (ใบไผ่) ทำให้แห้ง แล้วบดเป็นผงละเอียดไว้ใช้เป็นหัวเชื้อ โดยแต่ละท้องถิ่นมีกรรมวิธีการผลิตคล้ายกัน (Wang et al., 1975)

ลูกแป้งเทมเป้ (ragi-tempe inocula) ผลิตจากข้าว (rice cake) ผสมกับเชื้อราเทมเป้และเชื้อจุลินทรีย์หลายชนิด ปั้นเป็นก้อนกลมแบนเส้นผ่านศูนย์กลาง 2-5 เซนติเมตร (Steinkraus, 1996)

กล้าเชื้อบริสุทธิ์ (pure mold starter) มักใช้ในกระบวนการผลิตเทมเป้ระดับอุตสาหกรรม ซึ่งส่วนใหญ่เชื้อราสายพันธุ์ *Rhizopus oligosporus* ที่ผ่านการคัดเลือกแล้ว โดยใช้วัตถุดิบและวิธีการ

ผลิตต่างกัน เช่น ผงสปอร์เชื้อจากการใช้ถั่วเหลืองที่ผ่านการแยกเปลือก แช่น้ำ 2 ชม. แล้วนึ่งฆ่าเชื้อที่ 121°C 30 นาทีเป็นวัตถุดิบผสมกับ spore suspension ของเชื้อรา โดยเพาะเลี้ยงในฟลาสค์แบบเฟอร์นบัค (Fernbach flask) บ่มที่ 37°C 4 วัน จากนั้นนำไปไลโอฟิลไลส์แล้วบดให้ละเอียดด้วย ball mill ในสภาพปลอดเชื้อ เก็บในภาชนะที่แห้ง ใช้กล้าเชื้อประมาณ 1-3 กรัมต่อถั่วเหลือง 1 กิโลกรัม (Steinkraus, 1996) นอกจากนี้ยังมีการใช้ข้าวเจ้านึ่งสุกเป็นวัตถุดิบ โดยเพาะเลี้ยงเชื้อในภาชนะต่าง ๆ กัน เช่น ถาดอลูมิเนียมที่เจาะรูให้อากาศเข้าออกได้ กระด้งไม้ไผ่หรือกล่องเหล็กไร้สนิม เป็นต้น (นภา โล่ห์ทอง, 2537) ในสหรัฐอเมริกามีการผลิตผงเชื้อบรรจุซองเล็ก ๆ และจัดเป็นชุดสำหรับผลิตเทมเป้ซึ่งประกอบด้วยถั่วเหลือง ผงเชื้อ และรายละเอียดวิธีการผลิตจำหน่ายแก่ผู้บริโภคที่ต้องการผลิตเทมเป้เองในครัวเรือน (Shurtleff and Aoyagi, 1976)

สารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อราบริสุทธิ์ (spore suspension) มักใช้ในห้องปฏิบัติการหรือกระบวนการหมักระดับอุตสาหกรรม โดยการเติมน้ำกลั่นหรือ normal saline ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วลงในสปอร์ของเชื้อราโดยตรง (Steinkraus, 1996)

6. ภาชนะที่ใช้หมัก ภาชนะบรรจุที่ดีจะต้องให้อากาศผ่านเข้าออกได้ในปริมาณที่พอเหมาะ ดังนั้นควรเจาะรูเล็ก ๆ ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.6-1.0 มิลลิเมตรเพื่อให้เชื้อราได้รับก๊าซออกซิเจนในการหายใจอย่างเพียงพอและเจริญเติบโตอย่างสมบูรณ์ นอกจากนี้ยังช่วยระบายความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการหมัก แต่ถ้าไม่มีการเจาะรูจะทำให้เชื้อราเจริญได้เพียงเล็กน้อย แต่แบคทีเรียที่ไม่ต้องการอากาศและยีสต์เจริญได้ดี ในทางตรงกันข้ามถ้าเจาะรูขนาดใหญ่เกินไปหรือได้รับอากาศมากเกินไปจะทำให้เชื้อราเกิดการสร้างสปอร์และเจริญได้ดีมากทำให้เกิดความร้อนสูง อุณหภูมิของวัตถุดิบจึงเพิ่มขึ้นมากกว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อรา ทำให้แบคทีเรียทนความร้อน (thermoduric bacteria) สามารถเจริญปนเปื้อนได้ดี เกิดการย่อยสลายโปรตีน (proteolysis) และการย่อยสลายสารอื่น ๆ ทำให้เปียกชุ่ม มีกลิ่นรุนแรง เนื้อสัมผัสร่วนไม่เกาะกัน (Hedger, 1982) ในประเทศอินโดนีเซียชาวพื้นเมืองจะใช้ใบตอง (ที่ตากแดดให้นิ่มแล้ว) หรือใบไม้ชนิดอื่นที่มีขนาดใหญ่ (Shurtleff and Aoyagi, 1976) เป็นภาชนะในการหมัก ในขณะที่กระบวนการผลิตสมัยใหม่ใช้ถุงพลาสติกเจาะรูด้วย hot needle เป็นช่วง ๆ ห่างกันอย่างสม่ำเสมอ 1-2 เซนติเมตร ทั่วทั้งถุงเป็นภาชนะในการหมัก โดยบรรจุวัตถุดิบหนาประมาณ 1-2 เซนติเมตร (Steinkraus, 1996) แล้วปิดปากถุง ส่วนในห้องปฏิบัติการจะใช้จานเพาะเลี้ยงเชื้อเป็นภาชนะในการหมัก แต่จะได้เทมเป้ที่มีคุณภาพต่ำกว่าปกติเล็กน้อย (Hedger, 1982)

7. การบ่ม (incubation) ถ้าเป็นวิธีพื้นเมืองจะบ่มในห้องที่มีอุณหภูมิอบอุ่น 2-3 วัน จนพบว่าเส้นใยเชื้อราเจริญบนถั่วเหลืองอย่างสมบูรณ์ การบ่มไม่ควรวางซ้อนทับกัน เนื่องจากจะจำกัดปริมาณอากาศ ควรพลิกวัตถุดิบหลังจากบ่มได้ 16-20 ชั่วโมง (Hedger, 1982) ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการหมัก ได้แก่ อุณหภูมิการบ่ม เพราะอัตราเร็วของการหมักขึ้นกับอุณหภูมิการบ่ม ถ้าอุณหภูมิการบ่มสูงระยะเวลาการหมักเทมเป้จะสั้น อุณหภูมิการบ่มควรอยู่ประมาณ 28-30°C ถ้าอุณหภูมิบ่มสูงกว่า

40°C และต่ำกว่า 25°C จะทำให้ได้เทมเป้คุณภาพไม่ดี (Hedger, 1982) ดังนั้นจึงควรควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสมตลอดระยะเวลาการบ่มเทมเป้ (Shurtleff and Aoyagi, 1976) ความชื้น เป็นปัจจัยที่สำคัญในการทำให้เกิดการปนเปื้อนได้ เนื่องจากถ้าวัตถุดิบเริ่มต้นมีความชื้นมากเกินไป จุลินทรีย์ชนิดอื่นจะสามารถเจริญได้ดี แข่งกับเชื้อราที่ใช้ผลิตเทมเป้ ทำให้เนื้อสัมผัสเกิดเป็นเมือก (slimy texture) และให้กลิ่นรสที่ไม่ต้องการ(off-flavor) ความชื้นที่เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อราคือ 60-85% (สุจินดา สุวรรณกิจ, 2534) pH ที่เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อราคือประมาณ 6-7 (สุจินดา สุวรรณกิจ, 2534) อากาศที่ได้รับควรอยู่ในระดับพอเหมาะคือ ประกอบด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่เกิน 5-10% v/v ส่วนปริมาณออกซิเจนไม่จำกัดแต่ไม่ควรต่ำกว่า 0.5% เนื่องจากจะทำให้การเจริญของเชื้อราลดลง (Han and Nout, 2000) ปริมาณแสง ควรบ่มในห้องมืด รวมทั้งสายพันธุ์ของกล้าเชื้อ ความหนาแน่น และชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ผลิตเทมเป้

8. การเก็บเกี่ยวเทมเป้ (harvesting) ลักษณะของเทมเป้ที่ดีที่แสดงว่าหมักเสร็จสมบูรณ์คือ ที่สภาวะสุดท้ายของการหมักถั่วเหลืองหรือวัตถุดิบชนิดอื่นที่ใช้ต้องจับตัวกันแน่นปกคลุมด้วยเส้นใยสีขาวของเชื้อราทั่วทั้งแผ่น เมื่อตัดขวางจะพบว่าพื้นที่ว่างระหว่างเมล็ดถั่วจะถูกเติมด้วยเส้นใยสีขาวของเชื้อราจนเต็ม แผ่นเทมเป้ที่ได้จะต้องแน่น เมื่อถือมุมใดมุมหนึ่งควรจะงอเพียงเล็กน้อย ถ้ามีเส้นใยสีเทาหรือสีดำ และกลิ่นแอมโมเนียรุนแรงเกิดขึ้นแสดงว่าบ่มนานเกินไป (Steinkraus, 1996) ส่วนแผ่นเทมเป้ที่นิ่มและมีเส้นใยเชื้อราระหว่างช่องวัตถุดิบเพียงเล็กน้อย เส้นใยเกาะกันหลวม เมื่อหั่นเทมเป้ทำให้ถั่วหรือวัตถุดิบหลุดออกจากกันและแตกง่าย แสดงว่าบ่มยังไม่ได้ที่ อุณหภูมิบ่มในช่วงสุดท้ายสูงเกินไปหรือเกิดการปนเปื้อนจากแบคทีเรีย (Steinkraus, 1996) ซึ่งจะทำให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่ต้องการ ส่วนจุดสีดำรอบ ๆ รูที่รับอากาศ เกิดจากการสร้างสปอร์ของเชื้อราที่ได้รับออกซิเจนมากเกินไปแต่ไม่มีผลต่อคุณภาพเทมเป้ (Steinkraus, 1996) และวงสีเหลืองที่เกิดขึ้น เกิดจากเชื้อราสร้าง β-carotene เนื่องจากได้รับแสงระหว่างการหมัก ในขณะที่บางครั้งอาจพบจุดสีดำหรือสีเทาบ้างเล็กน้อย แต่ไม่ควรเปลี่ยนเป็นสีชมพู เหลืองหรือน้ำเงินซึ่งแสดงว่าหมักนานเกินไป (Hedger, 1982)

การเปลี่ยนแปลงระหว่างกระบวนการหมักเทมเป้

การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เมื่อหมักได้ 12-20 ชั่วโมง เส้นใยของเชื้อราจะปกคลุมบนเมล็ดถั่วเหลืองแต่ยังคงมองเห็นเมล็ดถั่วเหลือง ส่วนจุดหรือวงเปียก ที่ไม่มีเส้นใยขึ้นปกคลุม แสดงว่าเกิดการปนเปื้อนจากแบคทีเรีย ควรทิ้งไป และเมื่อหมักได้ 12-16 ชั่วโมง จะเกิดความร้อนขึ้น ถ้าตู้บ่มมีขนาดเล็กและใช้บ่มเทมเป้ในปริมาณมาก อุณหภูมิในแผ่นเทมเป้อาจจะสูงถึง 50°C และควรตรวจเช็คการเจริญเติบโตของเชื้อรา ถ้าเทมเป้มีความร้อนมากเกินไปที่ช่วงเวลา 16-24 ชั่วโมง ควรเคลื่อนย้ายไปตู้บ่มที่สามารถลดอุณหภูมิลงได้หรือเปิดตู้บ่มทิ้งไว้เพื่อให้เกิดการระบายอากาศ (Hedger, 1982) ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญเพื่อทำให้กระบวนการหมักเสร็จสมบูรณ์ภายใน 16-20 ชั่วโมง (Hedger, 1982)

การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี จะเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของสารอาหารบางชนิดและเกิดการสร้างวิตามินต่าง ๆ phytochemicals และสารต้านอนุมูลอิสระที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ เชื้อราจะสร้างเอ็นไซม์ย่อยสลายองค์ประกอบในถั่วเหลือง แล้วสร้างกลิ่น รสชาติและเนื้อสัมผัสเฉพาะตัว นอกจากนี้การย่อยสลายจากเอ็นไซม์ยังลดหรือกำจัดองค์ประกอบที่ต้านการดูดซึมสารอาหาร (antinutritional components) (Shurtleff and Aoyagi, 1976) ดังนั้นจึงเป็นการปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์อาหารหมัก จะทำให้ค่าการย่อยและปริมาณของแข็งที่สามารถละลายน้ำได้เพิ่มขึ้น ดังงานวิจัยของ Paresdes-Lopez, Harry and Gonzalez-Castaneda (1990) ผลิตเทมเป้จากถั่วแขก (common beans)พบว่าเชื้อราจะสร้างเอ็นไซม์ย่อยสลายองค์ประกอบในถั่วทำให้ได้เทมเป้ที่มีเนื้อสัมผัส กลิ่นและรสชาติที่ต้องการ ปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการ นอกจากนี้ยังช่วยทำให้เก็บรักษาได้นานขึ้น และพบว่าเมื่อหมักเทมเป้จาก fresh common beans และ hard-to-cook common beans ที่ 0 24 และ 48 ชั่วโมง ปริมาณโปรตีนจะเพิ่มขึ้นจากวัตถุดิบที่ยังไม่ผ่านการหมัก แต่ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ไขมันและเส้นใยลดลงเนื่องจากเชื้อราใช้เป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงานในการเจริญเติบโต ส่วนค่า pH จะเพิ่มขึ้นใกล้ความเป็นกลาง หลังจากหมักได้ประมาณ 48 ชั่วโมง เนื่องจากการปลดปล่อยแอมโมเนีย ซึ่งระหว่างกระบวนการหมักเทมเป้เชื้อราจะสร้างเอ็นไซม์ชนิดต่าง ๆ เช่น protease และ lipase ย่อยสลายสารอาหารในวัตถุดิบ เพื่อใช้เป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงานในการเจริญเติบโต ทำให้ปริมาณ total dry matter ลดลงประมาณ 7-10% (Van der Riet et al., 1987, Ruiz-Terán and Owens, 1996 และ Steinkraus, 1996) ไขมันจะถูกย่อยสลายเป็นกรดไขมันอิสระ โดยพบในเทมเป้ที่หมักเสร็จสมบูรณ์แล้วประมาณ 15-30% ของไขมันทั้งหมด (total crude lipid) เมื่อเปรียบเทียบกับวัตถุดิบซึ่งพบในวัตถุดิบเพียงร้อยละ 1 เท่านั้น โดยปริมาณไขมันทั้งหมดในเทมเป้จะลดลงจากวัตถุดิบประมาณ 13% (Ruiz-Teran and Owens, 1996) โปรตีนจะถูกเชื้อรายย่อยเป็นกรดอะมิโนอิสระ (free amino acids) ทำให้มีปริมาณเพิ่มขึ้นจากวัตถุดิบก่อนการหมักคือ 0.2% เป็น 2-5% ในเทมเป้ (Murata et al., 1967 และ Nowak and Szebiotko, 1992) ปริมาณโปรตีนทั้งหมดจะเปลี่ยนแปลงน้อยมาก รวมถึงปริมาณแร่ธาตุจะคงที่ตลอดระยะเวลาการหมัก (Ruiz-Teran and Owens, 1996) ส่วนการเปลี่ยนแปลงวิตามิน Wang and Hesseltine (1966) ผลิตเทมเป้จากข้าวสาลีพบว่ามีปริมาณวิตามินบี 12 niacin และ riboflavin สูงขึ้น

การติดตามการเจริญของเชื้อรา

กระบวนการหมักแบบ solid substrate fermentation มีข้อจำกัดในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของเชื้อราระหว่างกระบวนการหมัก เนื่องจากเป็นระบบที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกันและซับซ้อน โดยเฉพาะการตรวจวัดปริมาณการเจริญของเชื้อราหรือเส้นใยของเชื้อรา (fungal หรือ micelial biomass) บนวัตถุดิบซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญที่เห็นได้ชัดเจนที่ใช้ในการติดตามกระบวนการหมัก เพื่อควบคุมกระบวนการหมักให้เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อราหรือพัฒนาระบบการหมักในปริมาณที่

มากขึ้นเพื่อผลิตในระดับอุตสาหกรรมต่อไปนั้น ทำได้ยากเนื่องจากเส้นใยของเชื้อราเจริญแทรกผ่านเข้าไปในเนื้อวัตถุดิบ (solid matrix) ในทางปฏิบัติไม่สามารถแยกเส้นใยของเชื้อราออกจากวัตถุดิบได้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้นจึงมีการศึกษาเพื่อหาวิธีการตรวจวัดปริมาณการเจริญของเชื้อราทางอ้อมโดยการประมาณการเจริญของเชื้อราทางกายภาพ เช่น ใช้วิธีทาง microscopic สังเกตการเจริญของเชื้อรา *Rhizopus oligosporus* ระหว่างการผลิตเทมเป้ แต่จะประมาณค่าทางปริมาณเป็นน้ำหนักของเชื้อราได้ยาก (Jurus and Sundberg, 1976) วิธีทางเคมีเป็นวิธีที่ง่ายและมีความไวสูง จะประมาณการเจริญของเชื้อราจากองค์ประกอบที่มีในเชื้อราแต่ไม่มีในวัตถุดิบเช่น กลูโคซามีน(glucosamine), เออโกสเตอรอล (ergosterol), ATP หรือตรวจวัดกิจกรรมทางชีวภาพ (biological activities) เช่น กิจกรรมของเอนไซม์ (enzymic activity) อัตราการหายใจ (respiration rate) หรืออัตราการใช้สารอาหาร (nutrient consumption rate) (Desgranges et al., 1991) หรือตรวจวัดการเพิ่มน้ำหนักของเชื้อราจากค่าการเปลี่ยนแปลงของคลื่นความถี่ชนิดต่าง ๆ จากหัววัดเซ็นเซอร์ (Davey et al., 1991) โดยพบว่า การติดตามปริมาณกลูโคซามีน เป็นปัจจัยที่บ่งชี้ถึงการเจริญของเชื้อราที่ดี (Sparringa and Owens, 1999) โดยมีงานวิจัยที่ติดตามการเปลี่ยนแปลงการเจริญของเชื้อราในกระบวนการหมักเทมเป้จากปริมาณกลูโคซามีนที่เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์รา (Ruiz-Teran and Owens, 1996) นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกลูโคซามีนกับปริมาณของเชื้อรา *Rhizopus oligosporus* พบว่าสามารถให้ค่าที่เที่ยงตรง (reproducible) มีค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันอยู่ในช่วงร้อยละ 3-11 ตามชนิดของอาหาร (Sparringa and Owens, 1999) ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณกลูโคซามีนของเส้นใยเชื้อราขึ้นกับชนิดและองค์ประกอบของอาหารที่เชื้อราเจริญ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกลุ่มก้อนเส้นใยของเชื้อรา (mycelial pellets) อายุของเชื้อรา เป็นต้น (Ride and Drysdale, 1971; Desgranges et al., 1991 และ Sparringa and Owens, 1999)

เซลล์ผนังเส้นใยเชื้อราประกอบด้วย ไคติน (chitin) คือ โพลิเมอร์ของ N-acetylglucosamine ที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α, 1-4 links เป็นสายโซ่ตรง ซึ่งเป็นโพลิเมอร์ที่เป็นองค์ประกอบหลักที่สำคัญและพบมากที่สุดในผนังเซลล์ของเชื้อราแต่ไม่พบหรือพบสารที่มีคุณสมบัติคล้ายไคตินน้อยมากในพืชชั้นสูง เช่น มะเขือเทศดังนั้นการวัดปริมาณไคตินในผลิตภัณฑ์จากมะเขือเทศจึงใช้เป็นค่าที่แสดงถึงการปนเปื้อนจากเชื้อราได้ดี (Ride and Drysdale, 1971) นอกจากนี้ยังมีการใช้ไคตินแสดงถึงการปนเปื้อนจากเชื้อราระหว่างการเก็บรักษาเมล็ดข้าวโพดและถั่วเหลือง (Donald and Mirocha, 1977) โดยขั้นตอนการตรวจวัดปริมาณไคตินประกอบด้วย การสลายพันธะของไคติน (depolymerization) และการตัดหมู่อะเซทิล (deacetylation) โดยการย่อยด้วยกรดแก่ (acid hydrolysis) เช่น กรดซัลฟิวริก กรดไฮโดรคลอริก หรือย่อยด้วยด่างแก่ (alkaline hydrolysis) เช่น โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ หรือย่อยด้วยเอนไซม์ (enzyme hydrolysis) เพื่อให้ได้ไคโตซาน (Aidoo, Hendry and Wood, 1981) โดยการใช้กรดหรือด่างแก่ในการสลายพันธะให้สมบูรณ์ จะใช้เวลาสั้นกว่าการใช้เอนไซม์ ส่วนการใช้เอ็นไซม์จะใช้เวลานานเนื่องจากต้องใช้เอนไซม์ที่เฉพาะเจาะจงเพื่อให้เกิดการย่อยและได้สารที่

ต้องการ (Ride and Drysdale, 1971) ซึ่งข้อดีเมื่อใช้ด่างในการตัดหมู่อะเซทิล คือ ลดการรบกวนจากองค์ประกอบในพืช (Aidoo, Hendry and Wood, 1981) ดังนั้นจึงมีการศึกษาเพื่อหาวิธีการย่อยสลายไคตินด้วยด่างเพื่อให้สะดวกและสามารถประยุกต์ใช้วิเคราะห์ได้ทั่วไป โดยพบว่าเมื่อย่อยด้วยด่างที่ความเข้มข้นและอุณหภูมิสูงจะเกิดการย่อยสลายสารโพลิเมอร์ของไคตินบางส่วนแต่ส่วนใหญ่จะเกิดการตัดหมู่อะเซทิล (deacetylation) ทำให้เกิดกลุ่มของสารประกอบไคโตซาน (chitosan) ซึ่งไม่ละลายในด่างและสารละลายแอลกอฮอล์เข้มข้นที่จะใช้ล้างด่างออกจากสารประกอบไคโตซาน (Ride and Drysdale, 1972) และในขั้นตอนสุดท้ายคือ การกำจัดหมู่เอมีน (deamination) เพื่อเปลี่ยนไคโตซานเป็นสารประกอบ aldehyde 2,5-anhydromannose ซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณกลูโคซามีน แต่ยังอาจพบไคโตซานที่เหลืออยู่บางส่วนได้ การตรวจวัดปริมาณกลูโคซามีนสามารถทำได้หลายวิธี เช่น HPLC (Ester et al., 2006), Colorimetric โดยใช้ Erhlick's reagent หรือ 3-methyl-2-benzothiazone hydrazone (MBTH) ในปฏิกิริยาการเปลี่ยนสีเพื่อใช้ประมาณการเจริญของเชื้อราที่มีไคตินเป็นองค์ประกอบ ซึ่งจะมีความไวสูง (Ride and Drysdale, 1972 และ Tsuji, Kinoshita and Hoshino, 1969) โดยมีงานวิจัยศึกษาเพื่อเปรียบเทียบวิธีการตรวจวัดปริมาณกลูโคซามีนระหว่างกระบวนการหมักโคจิที่ได้จากการผสมถั่วเหลืองและข้าวสาลีพบว่า การย่อยสลายไคตินด้วยกรดไฮโดรคลอริกเพื่อให้ได้กลูโคซามีน แล้วตรวจวัดปริมาณด้วย Erhlick's reagent จะทำให้ได้ค่าแบลงค์ที่สูงและสามารถตรวจวัดปริมาณกลูโคซามีนได้ต่ำเพียงร้อยละ 61.0 และ 68.5 ของทั้งหมด แต่การย่อยด้วยกรดไฮโดรคลอริกแล้วตรวจวัดปริมาณกลูโคซามีนด้วย MBTH และ ferric chloride สามารถตรวจวัดได้สูงถึงร้อยละ 81.0 แต่อย่างไรก็ตาม reagent blank และ sample blank ยังคงให้ค่าสูงอยู่ (Aidoo, Hendry and Wood, 1981) นอกจากนี้ยังมีการปรับปรุงกระบวนการย่อยสลายไคตินให้เป็นกลูโคซามีนด้วยกรดไนตรัส (nitrous acid) แล้วตรวจวัดปริมาณกลูโคซามีนด้วย MBTH และเฟอริกคลอไรด์ (ferric chloride) พบว่าสามารถตรวจวัดได้ถึงร้อยละ 93.2 ของเฮกโซซามีน (hexosamine)ทั้งหมด รวมถึงให้ค่า blank ต่ำ ดังนั้นจึงเป็นวิธีหนึ่งที่เหมาะสมในการใช้ตรวจวัดปริมาณกลูโคซามีน (Ride and Drysdale 1972)

การเก็บรักษาเทมเป้

เทมเป้มีอายุการเก็บรักษาจำกัดโดยเทมเป้สดสามารถเก็บในตู้เย็น (6-10°C) ได้เพียง 7-10 วัน (Hedger, 1982) เนื่องจากกิจกรรมของเอ็นไซม์ที่สร้างจากเชื้อรา ซึ่งทำให้เทมเป้สดเกิดสีน้ำตาล เนื้อสัมผัสนิ่มและเละ มีกลิ่นแอมโมเนีย รวมถึงเส้นใยเชื้อราจะเสื่อมและมองเห็นเมล็ดวัตถุดิบ ซึ่งในประเทศอินโดนีเซียเรียกเทมเป้ลักษณะนี้ว่า tempe bosok (ripe tempe) แต่ถึงแม้ว่า tempe bosok จะไม่ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคในการนำมาทอดหรือทำสตู แต่ชาวอินโดนีเซียจะใช้เป็นส่วนผสมในคุกกี้ที่ให้กลิ่นแรง (mendol) ซึ่งเป็นรสที่คุ้นเคยและชื่นชอบ แต่อาจนำมานึ่งที่ 100°C เวลา 10 นาที เพื่อหยุดการทำงานของเอ็นไซม์และช่วยยืดอายุการเก็บรักษาได้ นอกจากนี้ยังมีการนำเทมเป้สดมาแช่

แข็งทันทีจะสามารถเก็บรักษาเทมเป้ได้หลายเดือน และยังมีการยืดอายุการเก็บรักษาเทมเป้โดยต้มในน้ำเกลือ นึ่ง บรรจุกระป๋อง (Nout and Rombouts, 1990) และทำแห้ง โดย air dried tempeh สามารถเก็บรักษาได้นาน 6 เดือน ในถุงพลาสติกโพลีเอทธิลีนโดยไม่เกิดการปนเปื้อนและการเปลี่ยนแปลงกลิ่นและรสชาติ(Vaidehi, Annapurna and Vishwanath, 1985) หรือนำมาทอดกรอบ (Shurtleff and Aoyagi,1976) เป็นต้น

รูปแบบการบริโภคเทมเป้

เทมเป้ที่ผลิตได้สามารถนำมาประกอบอาหารเพื่อบริโภคหรือจำหน่ายในรูปเทมเป้สด แช่เย็นหรือแช่แข็ง หรืออาจอยู่ในรูปของผงเทมเป้ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นส่วนประกอบในการปรุงและประกอบอาหารชนิดอื่น ๆ เนื่องจากเทมเป้สามารถดูดซับกลิ่นรสของเครื่องปรุงและอาหารชนิดอื่นที่นำมาปรุงได้ง่าย จึงสามารถประยุกต์ใช้เทมเป้เป็นส่วนผสมประยุกต์ในอาหารได้หลายชนิด และประเภท เช่น sandwiches satays salads cookies barbecued biscuits จากแป้งเทมเป้ผสมในอัตราส่วนต่าง ๆ หรือ crisps ตลอดจนอาหารขบเคี้ยว และ atoles (custard-type desserts) (Shurtleff and Aoyagi,1976) หรือหั่นเป็นก้อนสี่เหลี่ยมใช้แทนเนื้อสัตว์เติมใน soups, curries, spaghetti sauce และ casseroles ในการประกอบอาหารมังสวิรัติ โดยการให้ความร้อนจะทำให้เทมเป้มีกลิ่นรสคล้ายเนื้อสัตว์จึงนิยมปรุงเป็นอาหารจานหลัก (meal) ร่วมกับข้าวแทนเนื้อสัตว์ ไก่และปลา โดยทั่วไปชาวอินโดนีเซียนิยมบริโภคเทมเป้เป็นอาหารขบเคี้ยว โดยการหั่นเป็นชิ้นบาง ๆ แล้วนำมาทอดจนกระทั่งมีผิวมีสีน้ำตาลทองและกรอบ(Shurtleff and oyagi, 1976) บางครั้งอาจบริโภคเทมเป้ดิบ (Shurtleff and Aoyagi,1976) โดยเฉพาะหลังจากบ่มเสร็จทันทีเนื่องจากเทมเป้ที่ได้จะสดมากและมีวิตามินมากว่าเทมเป้ที่ผ่านความร้อน และเอ็นไซม์จากเชื้อราจะไม่ถูกทำลายจึงช่วยในการย่อยได้ดีขึ้น ซึ่งไม่มีข้อมูลบ่งบอกว่าเทมเป้ดิบส่งผลเสียต่อสุขภาพ แต่ก็ยังไม่มีหลักฐานเพียงพอจากผู้บริโภคเทมเป้ว่ารู้สึกดีหลังจากบริโภคเทมเป้ดิบ ซึ่งโดยทั่วไปจะไม่นิยมบริโภคเทมเป้ดิบ ปัจจุบันได้มีการผลิตเทมเป้เป็นการค้าขึ้นในหลายประเทศ เช่น อเมริกา แคนาดา เนเธอร์แลนด์ ออสเตรเลีย แอฟริกา และญี่ปุ่น ซึ่งส่วนใหญ่นิยมบริโภคในหมู่ผู้รับประทานอาหารมังสวิรัติ โดยดัดแปลงวิธีการบริโภคให้เหมาะสมกับชาวตะวันตกมากขึ้น เช่น นำมาใส่ในแซนวิชหรือเบอร์เกอร์แทนเนยแข็งหรือเนื้อบด หรือปรุงเป็นหน้าสำหรับทาขนมปัง เป็นต้น (Shurtleff and Aoyagi,1976) นอกจากนี้ยังไม่มีการกำหนดปริมาณที่เหมาะสมในการบริโภคเทมเป้ว่าควรมากหรือน้อยเท่าใด จึงควรบริโภคในปริมาณที่เหมาะสมทำให้เกิดสมดุลของสารอาหาร โดย FAO แนะนำให้บริโภคโปรตีนจากถั่วเหลืองประมาณ 2.5 กรัมต่อวัน ซึ่งเท่ากับเทมเป้ 125 กรัม มีงานวิจัยมากมายที่มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากเทมเป้ เช่น ผลิต tempeh toffee, tempeh chips แบบเค็มและหวาน โดยนำเทมเป้สดมาปั่นแล้วขึ้นรูปใหม่ ผลิตแป้งหรือ porridges เช่นสุภางค์ เรืองฉาย (2539) กล่าวว่าสถาบันวิจัยอาหารที่เมือง Bogor ประเทศอินโดนีเซียได้มีการพัฒนาเทมเป้ผสมที่มีราคาถูกแต่คุณภาพสูง ซึ่งประกอบด้วย เทมเป้ เนื้อปลาและ

ข้าว เรียกว่า TFR (tempeh fish rice) โดยผลิตเป็นอาหารสำหรับเด็กทารกวัย 6-12 เดือน แล้วทดสอบกับเด็กที่เป็นโรค PCM (protein calorie malnutrition) พบว่าช่วยในการเพิ่มน้ำหนักและปรับปรุงสภาพร่างกายของเด็กได้ดี รวมถึงมีการผลิตอาหารทารกที่มีราคาถูกที่ได้รับการยอมรับและมีคุณค่าทางโภชนาการจากเทมเป้ที่ได้จาก fingermillet (*Eleusine caracana*) ผสมกับ commonbeans, groundnuts, cowpea, mungbean, chickpea, seasame ในอัตราส่วนร้อยละ 70:30 โดยน้ำหนักแห้ง โดยใช้หัวเชื้อ *R. oligosporus* NRRL 2710 (Mugula and Lyimo 2000) นอกจากนี้ยังมีการผลิตอาหารขบเคี้ยว Hesseltine (1965) กล่าวว่าเทมเป้ที่ทอดด้วยน้ำมันพืชร้อน ๆ จะมีรสชาติดี Youch et al.,(1979) เติมเทมเป้ในแป้งมันฝรั่งหรือธัญพืชแล้ว pre-gelatinized ทำให้เป็นผงแล้วทอดจะได้รับการยอมรับมากขึ้น Nout and Rombouts (1990) ผลิตอาหารขบเคี้ยวจากมันฝรั่งผสมเทมเป้ โดยผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยว (snack food) พัฒนาจากอาหารที่ใช้รับประทานเป็นอาหารว่างระหว่างมื้อหรือที่เรียกว่าอาหารว่าง เป็นอาหารที่เตรียมง่าย มีส่วนประกอบไม่มาก รับประทานสะดวก พกติดตัวได้และพร้อมบริโภคทันที สอดคล้องกับวิถีการดำเนินชีวิตของผู้บริโภคที่เร่งรีบและไม่มีเวลาจัดเตรียมมากนัก

ประโยชน์ของเทมเป้ต่อสุขภาพ

เทมเป้เป็นอาหารเพื่อสุขภาพที่มีคุณค่าทางโภชนาการและมีประโยชน์ต่อสุขภาพหลายด้าน เนื่องจากเป็นแหล่งที่ดีของโปรตีนทั้งทางปริมาณและคุณภาพ วิตามินและเกลือแร่ โดยมีโปรตีนที่สมบูรณ์เนื่องจากมีชนิดและปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นที่เป็นองค์ประกอบครบทุกตัว ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ชนิดและปริมาณกรดอะมิโนจำเป็น ที่เป็นองค์ประกอบในเทมเป้ (mg/ 100 g)

amino acid	เทมเป้
histidine	26.29
isoleucine	54.35
leucine	89.24
lysine	65.88
methionine + cystine	31.88
phenylalanine + threonine	97.29
tyrosine	36.12
tryptophan	13.82
valine	54.18

ที่มา: FAO (1970)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เทมเป้สดมีปริมาณโปรตีนประมาณ 19.5% ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับแหล่งโปรตีนจากสัตว์ ได้แก่ เนื้อไก่ เนื้อวัว ไข่และนม เป็นต้น (สุจินดา สุวรรณกิจ, 2534) ซึ่งค่าองค์ประกอบของสารอาหารในเทมเป้ 100 กรัม แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมี (%) ของสารอาหารในเทมเป้สด ทอด ตากแห้งและแช่แข็งแห้ง 100 กรัม

ชนิดของเทมเป้ถั่วเหลือง	ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	คาร์โบไฮเดรต	เยื่อใย	เถ้า
สด	60.4	19.5	7.5	9.9	1.4	1.3
ทอด	50.0	23.0	18.0	8.0	2.0	1.0
ตากแห้ง	8.9	43.1	18.0	26.2	3.8	3.8
แช่เยือกแข็ง	1.9	46.2	23.4	25.8	2.7	2.7

ที่มา: Winarno and Reddy (1986)

ซึ่งไขมันที่เป็นองค์ประกอบในเทมเป้ถั่วเหลืองสด 100 กรัม ได้แก่ กรดไขมันอิ่มตัว ประมาณ 0.60 กรัม (15% ของกรดไขมันทั้งหมด) ประกอบด้วย กรดปาล์มมิติคและกรดสเตียริค 0.42 และ 0.18 กรัม ตามลำดับ กรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดโมเลกุลเดี่ยว 0.71 กรัม ประกอบด้วยกรดโอเลอิค 0.71 กรัม และกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวโมเลกุลใหญ่ 2.80 (62% ของกรดไขมันทั้งหมด) ประกอบด้วยกรดลิโนเลอิคและลิโนเลนิค 2.51 และ 0.29 ตามลำดับ (Wagenknecht et al., 1961) นอกจากนี้เทมเป้ยังเป็นแหล่งวิตามินและเกลือแร่ของวิตามินบี 12 ที่สำคัญสำหรับผู้รับประทานอาหารมังสวิรัติทั่วโลก เนื่องจากผู้รับประทานอาหารมังสวิรัติส่วนใหญ่ขาดวิตามินบี 12 และเทมเป้ยังประกอบด้วยวิตามินและเกลือแร่ชนิดต่าง ๆ มากมาย ดังแสดงในตารางที่ 4 โดยเทมเป้เป็นแหล่งของวิตามินที่สำคัญ ได้แก่ ไธอะมีน ไรโบฟลาวิน ไพริดอกซิน กรดโฟลิคและวิตามินบี 12 เป็นต้น ส่วนเกลือแร่ ได้แก่ แคลเซียม ฟอสฟอรัสและเหล็ก เป็นต้น โดยเทมเป้สด 100 กรัม จะมีวิตามิน 18-30% ของ RDA (recommended daily allowance)

เทมเป้มีเส้นใยมากจึงช่วยกระตุ้นและช่วยระบบการย่อยในลำไส้เล็กและลำไส้ใหญ่ ส่งผลให้ระบบการขับถ่ายเป็นไปตามปกติ ซึ่งใยอาหารมีทั้งชนิดที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำ ใยอาหารที่ละลายน้ำ เช่น แป้งที่ทนต่อการย่อย เบต้ากลูแคน เพคติน มิวซิเลจ อินนูลิน ส่วนใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน ไคตินและไคโตซาน เป็นต้น ซึ่งใยอาหารพบได้ในผักผลไม้ ธัญพืช ถั่วเมล็ดแห้ง เมล็ดพืช เป็นต้น โดยใยอาหารจะไม่ถูกดูดซึม แต่ช่วยให้อาหารอยู่ในลำไส้ในเวลาสั้นลง ท้องไม่ผูก ลดความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งลำไส้ใหญ่ เนื่องจากช่วยลดความเข้มข้นของสารก่อมะเร็งและเร่งเวลาในการขับถ่าย ซึ่งเป็นโอกาสที่เนื้อเยื่อของลำไส้จะสัมผัสกับสารก่อมะเร็งที่มีอยู่ในอาหาร โดยผู้ใหญ่ควรบริโภคใยอาหารวันละ 25 กรัม (กระทรวงสาธารณสุข, 2546)

ตารางที่ 4 ปริมาณวิตามินและเกลือแร่ที่เป็นองค์ประกอบในเทมเป้ 100 กรัม

วิตามินและเกลือแร่	เทมเป้	ปริมาณที่ควรได้รับใน 1 วัน
วิตามินเอ	42 IU	5000 IU
ไธอะมีน	0.28 มิลลิกรัม	1.50 มิลลิกรัม
ไรโบฟลาวิน	0.65 มิลลิกรัม	1.70 มิลลิกรัม
ไนอะซีน	2.52 มิลลิกรัม	20.0 มิลลิกรัม
กรดแพนโทธีนิค	0.52 มิลลิกรัม	10.0 มิลลิกรัม
ไพริดอกซิน	830.0 มิลลิกรัม	2000.0 มิลลิกรัม
โฟลาซิน	100.0 ไมโครกรัม	400.0 ไมโครกรัม
วิตามินบี 12	3.9 ไมโครกรัม	3.0 ไมโครกรัม
ไบโอติน	53.0 มิลลิกรัม	300.0 มิลลิกรัม
แคลเซียม	142.0 มิลลิกรัม	1000.0 มิลลิกรัม
ฟอสฟอรัส	240.0 มิลลิกรัม	1000.0 มิลลิกรัม
เหล็ก	5.0 มิลลิกรัม	18.0 มิลลิกรัม

ที่มา: Winarno and Reddy (1986)

นอกจากนี้เทมเป้ยังมีสาร isoflavones ได้แก่ 6,7,4-trihydroxyisoflavone (Factor 2) genistein และ daidzein โดยอัตราส่วนระหว่าง Factor 2:genistein:daidzein = 1:0.05:0.01 จะทำให้เกิด hemolysis-preventing activities ส่วน antioxidative effect ของ Factor 2 บน ratinol จะเหมือนกับ DL-α-tocopherol และเป็น 3 เท่าของ genistein นอกจากนี้ Factor 2 ยัง active เท่ากับ DL-α-tocopherol ในการป้องกัน in vitro oxidation ของ sodium linoleate รวมถึงมีการสกัดน้ำมันในเทมเป้ด้วย hexane:alcohol = 1:2 มาเติมใน edible oils เพื่อป้องกันการเกิด oxidation ซึ่งเป็นการแสดงว่าสารประกอบ flavonoid ไม่เพียงเป็นสาร antioxidants ในเทมเป้เท่านั้นยังสามารถเป็น antioxidant factors ที่ละลายในน้ำมันได้ และยังพบว่ามีการเติมใน perishable foods, feed และ cosmetic อีกด้วย โปรตีนและ isoflavones ในเทมเป้จะช่วยเสริมสร้างกระดูก ลดการเสี่ยงต่อการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจและโรคมะเร็งบางประเภท (Murata, Ikehata and Miyamoto, 1967) เทมเป้ย่อยได้ง่ายเนื่องจากในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบและการทำงานของเอ็นไซม์จากเชื้อราในกระบวนการหมักจะทำให้เกิดการย่อยของโปรตีนและไขมันบางส่วน ร่างกายจึงสามารถดูดซึมสารอาหารไปใช้ได้ง่ายขึ้น ดังงานวิจัยของ Kiers, Nout and Rombouts, 2000) ผลิตเทมเป้จาก tropical legumes ได้แก่ soya bean และ cowpea รวมถึงเทมเป้จากข้าวโพดสีขาว (white maize) โดยผ่านการแช่น้ำ (soaking) ให้เกิดการหมักตามธรรมชาติ (lactic acid fermentation) แล้วผ่านกระบวนการหมัก

(fermentation) ด้วยเชื้อ *Rhizopus* spp. จากนั้นนำเทมเป้ที่ได้มาตรวจหา digestibility โดยใช้วิธี *in vitro* digestion method พบว่าการหมักจะทำให้ค่า total digestibility ของข้าวโพดสีขาวเพิ่มขึ้นประมาณ 3 เท่าคือจาก 25.5% เป็น 63.6% ส่วน soya bean และ cowpea เพิ่มขึ้นประมาณ 3% ส่วนโดยมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 7.0% เป็น 27.3% และ 4.3% เป็น 24.17% ตามลำดับ Cuevas-Rodríguez et al., 2003) กล่าวว่าโปรตีนย่อยได้ดีขึ้นเนื่องจากโปรตีนถูกทำให้เสียสภาพในช่วงการให้ความร้อน และถูกย่อยสลายระหว่างการหมักทำให้เอนไซม์เข้าไปทำปฏิกิริยาง่ายขึ้น ซึ่งในกระบวนการหมักเทมเป้เชื้อราจะผลิตสาร antibiotic ตามธรรมชาติ ซึ่งช่วยส่งเสริมให้ร่างกายมีการต้านทานการติดเชื้อของลำไส้ได้เพิ่มขึ้น (Gyorgy, Murata and Ikehata, 1964) นอกจากนี้มีการศึกษาวิจัยพบว่าเทมเป้ถั่วเหลืองที่ผลิตจากเชื้อ *Rhizopus oryzae* เมื่อใช้เป็นอาหารของหนูทดลองจะทำให้เจริญเติบโตได้ดีกว่าและต้านทานต่อ dialuric acid ที่ก่อให้เกิดการสลายตัวของเซลล์เมล็ดเลือดแดงได้มากกว่าถั่วเหลืองที่ต้มที่ไม่ได้หมักด้วยเชื้อรา โดยสามารถสรุปเบื้องต้นได้ว่าสารต้านอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นนั้นอาจได้จากเชื้อราสร้างขึ้นใหม่หรือได้จากการย่อยสลายสารประกอบ inactive compounds ที่มีอยู่ในถั่วเหลืองที่เป็นวัตถุดิบ ระหว่างการหมัก (Gyorgy, Murata and Ikehata, 1964) เทมเป้ถั่วเหลืองมี bioactive compounds ที่ดีต่อสุขภาพ เช่น superoxide dismutase (SOD) enzyme และ dietary fibre นอกจากนี้เทมเป้ถั่วเหลืองยังประกอบด้วย isoflavones aglucone ได้แก่ genistein and daidzin ซึ่งมี estrogenic effect, anti-oxidant และ anticancer functions โดยในถั่วเหลืองจะมี aglucone ในปริมาณต่ำเนื่องจากอยู่ในรูปสารประกอบเชิงซ้อนกับคาร์โบไฮเดรตในรูป glucoside แต่ในระหว่างการหมักเทมเป้เชื้อรา Rhizopus oligosporus จะสลายพันธะ isoflvone glucosides ทำให้ได้ genistein และ daidzin ส่วน Factor II (6,7,4-trihydroxy isoflavone) จะถูกสังเคราะห์จาก genistein และdaidzin โดยเชื้อรา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิธีดำเนินการวิจัย

1. วัสดุ อุปกรณ์และสารเคมี

ข้าวโพดฝักสด ใช้ข้าวโพดหวานพันธุ์ไฮบริด 3 และข้าวโพดข้าวเหนียวพันธุ์ศรแดง ฝักมีขนาดปานกลาง เส้นรอบฝักประมาณ 16 และ 14.5 เซนติเมตร อายุการเก็บเกี่ยว 65-70 และ 55-70 วัน ตามลำดับ ซื้อจากตลาดสี่มุมเมือง รังสิต จังหวัดปทุมธานี เก็บรักษาฝักข้าวโพด(ทั้งฝักมีเปลือกหุ้ม)ในตู้เย็น (8-10°C) ไว้ใช้ได้ไม่เกิน 1 สัปดาห์ (Wright et al., 1954)

เมล็ดถั่วเหลืองซีกแห้งกะเทาะเปลือกแล้ว ตราไร่ทิพย์ ของบริษัท ไร่ธัญญะ จำกัด ซื้อจากซุปเปอร์มาร์เก็ต นำมาเก็บรักษาไว้ไม่เกิน 6 เดือน (Wright et al., 1954)

ตัวอย่างเทมเป้ทางการค้า ตราเฮลท์ตี้เมท บริษัท สามพรานฟู้ด จำกัด ซื้อจากซุปเปอร์มาร์เก็ตห้างดิเอ็มโพเรียม กรุงเทพ ฯ

สารเคมีและอาหารเลี้ยงเชื้อ

- alcohol 95%		
- ammonium sulfamate	Acros organics	A.R. grade
- boric acid	Univa	A.R. grade
- ethyl alcohol absolute	Carlo Erba	A.R. grade
- glucosamine hydrochloride	Sigma	A.R. grade
- hydrochloric acid	Carlo Erba	A.R. grade
- iron (III) chloride, hexahydrate	Univar	A.R. grade
- lactic acid	Merck	A.R. grade
- MBTH (3-methyl-2-benzothiazolinone hydrozone hydrochloride monohydrate)	Fluka	A.R. grade
- petroleum ether	Carlo Erba	A.R. grade
- potato dextrose agar	Merck	A.R. grade
- potassium dichromate	Univar	A.R. grade
- potassium hydrogen sulphate	Univar	A.R. grade
- potassium hydroxide	Univar	A.R. grade
- potassium iodine	Merck	A.R. grade

- selenium reagent mixture	Merck	A.R. grade
- sodium hydroxide	Univar	A.R. grade
- sodium nitrite	M & B Lab	A.R. grade
- sodium thiosulphate	Merck	A.R. grade
- soluble starch	Univar	A.R. grade
- tartaric acid	Univar	A.R. grade

จุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง

เชื้อรา *Rhizopus oligosporus* NRRL 2710 ได้จากศูนย์เก็บเชื้อ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยเลี้ยงบน agar slant ของอาหาร potato dextrose agar (PDA) ที่ 30°C เป็นเวลา 5-7 วัน แล้วเก็บในตู้เย็น (8-10°C) ถ่ายเชื้อทุกเดือน

เครื่องมือและอุปกรณ์

- ภาชนะที่ใช้ในการหมัก ได้แก่ถาดอลูมิเนียมขนาด 17 x 24 x 2.5 ซม. และ- ถุงพลาสติกโพลีเอทธิลีนแบบซิปล็อค ขนาด 12.5 x17.5 ซม. ที่ผ่านการใช้เข็มลนไฟฆ่าเชื้อ เจาะให้มีรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 มิลลิเมตร ห่างกันทุก 1 เซนติเมตร ทั่วทั้งถุง
- เครื่องวัดค่าความเป็นกรดด่าง (pH meter) (ยี่ห้อ EUTECH รุ่น Cyberscan pH 1000,USA)
- เครื่องวัดสี Chromameter (Minolta รุ่น CR-300 series, Japan)
- เครื่องวัด a_w (รุ่น Aqualink series 3 บริษัท Decagon Device, USA)
- เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler-Toledo รุ่น AB204, USA และ บริษัท Satorius รุ่น A200S, Germany)
- เครื่องชั่งนำหนักทศนิยม 2 ตำแหน่ง (รุ่น BP3100s, บริษัท Sartorius, Ireland รุ่น BP 31003 บริษัท Sartorius, Germany และ รุ่น HR-200 บริษัท A&D, Japan)
- เครื่องย่อยโปรตีน (Buchi รุ่น K-424, Switzerland)
- เครื่องกลั่นไนโตรเจน (Buchi รุ่น B-324, Switzerland)
- ชุดสกัดไขมัน (Gerhardt Soxtherm Automatic, S166)
- เครื่องปั่นผสมไฟฟ้า (blender) (Panasonic, China)
- ตู้อบลมร้อน (hot air oven) (ยี่ห้อ Memmert รุ่น model 600, Germany ยี่ห้อ WTC
- ตู้ดูดความชื้น (desiccator)
- เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Instron Texture Analyzer รุ่น 5560P9835, USA)
- หม้อนึ่งฆ่าเชื้อความดันไอสูง (autoclaved) (ยี่ห้อ Tomy รุ่น SS-320, England, ยี่ห้อ Tomy รุ่น SS832 , Japan และ ยี่ห้อ Labo รุ่น MLS-2400, Japan)

- ตู้บ่มเชื้อ (incubator) (ยี่ห้อ Memmert รุ่น B30, Germany)
- เครื่องตีตัวอย่างสำหรับงานวิจัย (Stomacher) (บริษัท AES Laboratorire, France)
- ตะเกียงแอลกอฮอล์หรือตะเกียงบุนเสน
- จานเพาะเชื้อชนิดพลาสติก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 90 x 15 มิลลิเมตร
- เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Jasco UV/VIS Spectrophotometer รุ่น V-530, USA)
- ขวดสเปรย์ให้ความชื้น

2. **การดำเนินงานวิจัย**

การเตรียมข้าวโพด นำฝักข้าวโพดหวานและข้าวโพดข้าวเหนียวมาลอกเปลือกออก ล้างน้ำทำความสะอาด แล้วใช้มีดผ่านเพื่อแปรขนาดเมล็ดแต่ละพันธุ์ให้มีขนาดต่าง ๆ กัน(ภาคผนวก ข.) ตามต้องการ คือข้าวโพดเต็มเมล็ด ½ เมล็ดและ ¼ เมล็ด จากนั้นชั่ง 300 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร นึ่งฆ่าเชื้อที่ 121°C เป็นเวลา 15 นาที ทิ้งให้เย็นจนมีอุณหภูมิ 35-40°C (ดัดแปลงจาก Liu, 1999) ก่อนนำไปใช้งาน

การเตรียมถั่วเหลือง ล้างทำความสะอาดถั่วเหลืองเมล็ดซีกแห้งที่ลอกเปลือกออกแล้วแช่น้ำในอัตราส่วนถั่วเหลือง:น้ำ = 1:3 (w / v) ที่อุณหภูมิห้อง (30°C) เวลา 12 ชั่วโมง กรองแยกเมล็ดแล้วชั่ง 300 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร จากนั้นเติมน้ำกลั่นให้มีระดับสูงกว่าวัตถุดิบประมาณ 2 เซนติเมตร แล้วปรับ pH = 4.0 ด้วยสารละลายกรดแลคติก (lactic acid) เข้มข้น 0.85% ปิดด้วย aluminium foil ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง (30°C) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วต้มให้เดือดในน้ำที่ใช้แช่ 15 นาที กรองแยกเมล็ดจะได้ถั่วเหลืองเมล็ดซีก ส่วนถั่วเหลืองเมล็ดปั่นได้จากนำถั่วเหลืองเมล็ดซีกที่ได้ไปปั่นในเครื่องปั่นผสมไฟฟ้า (blender) แบบแห้ง ที่ความเร็วต่ำ ครั้งละประมาณ 60 กรัม เวลา 1 นาที จากนั้นนำไปฆ่าเชื้อที่ 121°C เวลา 15 นาที ทิ้งให้เย็นจนมีอุณหภูมิ 35-40°C (ดัดแปลงจาก Liu, 1999)

การเตรียมหัวเชื้อเทมเป้ ใช้เข็มเขี่ยเชื้อราที่ลนไฟฆ่าเชื้อแล้ว เขี่ยเชื้อ *Rhizopus oligosporus* NRRL 2710 จากหลอด stock culture เพาะลงในหลอด agar slant ของอาหาร potato dextrose agar (PDA) แล้วบ่มเชื้อที่ 30°C เป็นเวลา 5-7 วัน หรือจนเชื้อราสร้างสปอร์ได้เต็มที่ จากนั้นเตรียมสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา (spore suspension) โดยเติมน้ำกลั่นที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว 3 มิลลิลิตรใส่ลงในหลอด slant ที่มีเชื้อรา แล้วใช้เข็มเขี่ยเชื้อที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว เขี่ยให้สปอร์ของเชื้อราเกิดเป็นสารแขวนลอย และปรับให้มีความเข้มข้น 10^6 สปอร์/มิลลิลิตร เพื่อใช้เป็นหัวเชื้อ (Cuevas-Rodriquez et al., 2003) ในการทดลองขั้นต่อไป

การทำเทมเป้ นำหัวเชื้อเทมเป้กับวัตถุดิบที่เตรียมได้มาผสมกันในอัตราส่วน 3 มิลลิลิตรต่อวัตถุดิบ 300 กรัม (wet basis) คลุกผสมให้เข้ากันอย่างทั่วถึง ภายใต้สภาวะปลอดเชื้อ(ในตู้เขี่ยเชื้อ laminar flow) จากนั้นบรรจุในถุงโพลิเอทธิลีน(polyethylene bags) ที่ปราศจากเชื้อ (ฆ่าเชื้อแล้ว)

ขนาด 5 x 7 นิ้ว ที่ผ่านการใช้เข็มลนไฟฆ่าเชื้อ เจาะให้มีรูขนาดประมาณ 0.5 มิลลิเมตร ห่างกัน 1 เซนติเมตร ทั่วทั้งถุง ปรับวัตถุดิบเป็นแผ่นหนาประมาณ 2 เซนติเมตร หมักในตู้บ่มเชื้อ (incubator) ที่มีความชื้นสัมพัทธ์(RH) 90-99%(เอาน้ำใส่ถาดใส่ไว้ชั้นล่างของตู้บ่มเชื้อ) ที่อุณหภูมิ 30°C เป็นเวลาประมาณ 24-48 ชม. สังเกตจากเทมเป้หมักเสร็จสมบูรณ์แล้ว คือเทมเป้จะมีเส้นใยสีขาวของเชื้อราเจริญเกาะยึดประสานเมล็ดวัตถุดิบเป็นแผ่นแน่นทั่วทั้งแผ่นดีแล้ว

2.1 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและกายภาพของวัตถุดิบ

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและกายภาพของ ข้าวโพดหวาน ข้าวโพดข้าวเหนียวและถั่วเหลือง ดังนี้ ความชื้น โปรตีน ไขมัน และเส้นใยอาหาร (dietary fiber) เพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้น ซึ่งในการทดลองมีขั้นตอนการเตรียมหัวเชื้อเทมเป้ เตรียมข้าวโพด ถั่วเหลือง และการผสมหัวเชื้อ

2.2 เลือกภาชนะที่จะใช้หมักเทมเป้ ที่เหมาะสม

นำหัวเชื้อเทมเป้ จากข้อ 2 มา inoculate ลงในเมล็ดข้าวโพดหวานที่เตรียมไว้ (ข้อ 2) แล้วผสมให้เข้ากัน จากนั้นนำส่วนหนึ่งบรรจุลงในถาดอลูมิเนียมขนาด17 x 24 x 2.5 ซม. ที่ฆ่าเชื้อแล้วให้มีความหนาประมาณ 2 ซม. อีกส่วนหนึ่งบรรจุในถุงพลาสติก polyethylene ที่ปราศจากเชื้อ ปิดปากถุงแล้วปรับให้มีความหนาประมาณ 2 ซม จากนั้นนำภาชนะทั้งสองไปบ่มที่อุณหภูมิ 30 °C. เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง สังเกตลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้ เลือกภาชนะบรรจุที่ทำให้เชื้อราเจริญเติบโตได้ดีและเส้นใยขึ้นปกคลุมทั่วสม่ำเสมอ เกิดการปนเปื้อนของเชื้ออื่น ได้น้อย รวมทั้งสะดวกในการทำงาน ไว้ใช้ในการศึกษาต่อไป

2.3 ศึกษาชนิดและขนาดของเมล็ดข้าวโพด ขนาดเมล็ดถั่วเหลืองและระยะเวลาการหมักที่เหมาะสมต่อการผลิตเทมเป้

ผลิตเทมเป้ถั่วเหลืองและเทมเป้ข้าวโพด โดยนำวัตถุดิบถั่วเหลืองและข้าวโพดมาผสมกับหัวเชื้อเทมเป้ที่เตรียมไว้ แล้วบรรจุในถุงโพลีเอทธีลีนที่เลือกได้จากข้อ 2.2 บ่มในสภาวะตามวิธีในข้อ 2 จนได้เทมเป้ที่หมักเสร็จสมบูรณ์ ประมาณ 24 ชั่วโมง จากนั้นนำตัวอย่างเทมเป้จากข้าวโพดหวานและข้าวโพดข้าวเหนียวขนาดเต็มเมล็ด ½ เมล็ด และ ¼ เมล็ด มาตรวจวัดค่าความแน่นเนื้อด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส Instron texture analyzer (Kronenberg and Hang,1985) วิเคราะห์ปริมาณกลูโคซามีน(ภาคผนวก ก.-1)ที่เป็นองค์ประกอบของไคติน ที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในผนังเซลล์เส้นใยของเชื้อรา (Ruiz-Terán and Owens, 1996) และวัดค่า pH

วางแผนการทดลองแบบ asymetric factorial design ขนาด 2 x 3 ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย

โดยใช้ Duncan's new multiple range test (Cochran and Cox, 1992) เพื่อคัดเลือกชนิดและขนาดเมล็ดข้าวโพด รวมทั้งขนาดเมล็ดถั่วเหลืองที่เหมาะสมต่อการผลิตเทมเป้โดยใช้ค่าความแน่นเนื้อสูงที่สุดเป็นเกณฑ์ในการคัดเลือก

จากนั้นศึกษาระยะเวลาการหมักที่เหมาะสม โดยนำข้าวโพดชนิดและขนาดที่คัดเลือกได้และถั่วเหลืองที่มีขนาดเมล็ดที่คัดเลือก มาผลิตเทมเป้แล้วเก็บตัวอย่างเมื่อหมักเป็นเวลา 0 16 24 และ 40 ชั่วโมง ตรวจวัดค่าความแน่นเนื้อ(ภาคผนวก ก-2.)และปริมาณกลูโคซามีน วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's new multiple range test (Cochran and Cox, 1992) เพื่อคัดเลือกระยะเวลาการหมักเทมเป้ข้าวโพดและถั่วเหลืองที่ให้ค่าความแน่นเนื้อสูงที่สุด

2.4 ศึกษาอัตราส่วนของข้าวโพดต่อถั่วเหลืองที่เหมาะสมต่อการผลิตเทมเป้

นำวัตถุดิบข้าวโพดและถั่วเหลือง ที่คัดเลือกได้จากข้อ 2.3 มาผลิตเทมเป้ โดยผสมข้าวโพดกับถั่วเหลืองในอัตราส่วน 5:0 4:1 3:2 2:3 1:4 และ 0:5 (Bressani, Elías and Braham, 1966) จากนั้นนำไปฆ่าเชื้อที่ 121°C เป็นเวลา 15 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นจนมีอุณหภูมิ 35-40°C แล้วผสมกับหัวเชื้อเทมเป้ที่เตรียมได้จากข้อ 2 บรรจุในถุงโพลีเอทธีลีนแล้วบ่มที่ 30°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อหมักเสร็จสมบูรณ์จะได้เทมเป้ผสมข้าวโพดอัตราส่วนต่าง ๆ นำตัวอย่างเทมเป้ผสมข้าวโพดมาตรวจวัดลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี ความชื้น pH ความแน่นเนื้อ ปริมาณกลูโคซามีน โปรตีน ไขมัน เส้นใยอาหาร และคำนวณปริมาณกรดอะมิโนเปรียบเทียบกับปริมาณที่ร่างกายต้องการ (เด็ก)(Alfred and Norman,1993) วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's new multiple range test (Cochran and Cox, 1992) เพื่อคัดเลือกอัตราส่วนถั่วเหลืองต่อข้าวโพดที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากการมีปริมาณโปรตีนเพียงพอกับความต้องการของร่างกาย(กระทรวงสาธารณสุข, 2546) และกรดอะมิโนจำเป็นที่สมดุลและมีคุณภาพใกล้เคียงกับไข่มากที่สุด (Harper and Yoshimura, 1993) ร่วมกับการพิจารณาปริมาณเส้นใยอาหาร ไขมันและความแน่นเนื้อ

ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบ (hedonic scale) 9 ระดับ วางแผนการทดลองแบบ randomized completely block design (RCBD) วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's new multiple range test (Cochran and Cox, 1992) แล้วคัดเลือกอัตราส่วนข้าวโพดต่อถั่วเหลืองที่เหมาะสมที่ทำให้เทมเป้ข้าวโพดผสมถั่วเหลืองได้รับการยอมรับมากที่สุด

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและกายภาพของวัตถุดิบ

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและกายภาพของวัตถุดิบ ได้แก่ ถั่วเหลืองที่แช่น้ำ นาน 12 ชั่วโมง ข้าวโพดหวาน และข้าวโพดข้าวเหนียว ได้ผลแสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 องค์ประกอบทางเคมีและทางกายภาพของวัตถุดิบ

องค์ประกอบ	ถั่วเหลืองแช่น้ำ 12 ชั่วโมง	ข้าวโพดหวาน	ข้าวโพดข้าวเหนียว
ความชื้น (%wet basis)	$60.21^{a}\pm1.90$	$71.94^{b}\pm1.06$	$69.82^{c}\pm0.89$
โปรตีน (%dry basis)	$33.74^{a}\pm0.32$	$7.87^{b}\pm0.32$	$7.90^{b}\pm0.68$
ไขมัน (%dry basis)	$21.26^{a}\pm0.57$	$2.12^{b}\pm0.43$	$1.23^{b}\pm0.76$
เส้นใยอาหาร (%dry basis)	$3.68^{a}\pm0.07$	$5.51^{b}\pm0.04$	$5.57^{b}\pm0.04$

a, b, c, ... ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแถวเดียวกัน หมายความว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนพบว่าในถั่วเหลืองมี 33.74% ข้าวโพดหวานและข้าวโพดข้าวเหนียวมี 7.87% และ 7.90% โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ส่วนปริมาณไขมันนั้นพบว่าในถั่วเหลืองมี 21.26% ข้าวโพดหวานและข้าวโพดข้าวเหนียวมี 7.87% และ 7.90% โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ซึ่งถั่วเหลืองมีปริมาณโปรตีนและไขมันสูงกว่าข้าวโพดหวานและข้าวโพดข้าวเหนียว แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ดังตารางที่ 5 ซึ่งค่าที่ได้ใกล้เคียงกับรายงานของ อารีย์ วรัญญูวัฒน์ (2544) ที่กล่าวว่าถั่วเหลืองมีโปรตีนและไขมันประมาณ 40% และ 20% โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ แต่แตกต่างจากตารางคุณค่าอาหารไทยในส่วนที่กินได้ 100 กรัม (กระทรวงสาธารณสุข, 2530) รายงานว่าข้าวโพดหวานและข้าวโพดข้าวเหนียวมีปริมาณโปรตีนเท่ากับ10.42% และ 13.37% ปริมาณไขมันเท่ากับ 1.9% และ 4.04% โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องจากสายพันธุ์แหล่งปลูก ฤดูกาล สภาพแวดล้อมที่ปลูกแตกต่างกัน ทำให้ได้ค่าดังกล่าวแตกต่างกัน ส่วนปริมาณเส้นใยในข้าวโพดหวานและข้าวโพดเหนียวที่เท่ากับ 5.51 และ 5.57% โดยน้ำหนักแห้ง มีค่าสูงกว่าถั่วเหลืองที่มีปริมาณ 3.68% โดยน้ำหนักแห้ง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

และจากการศึกษาปริมาณกรดอะมิโนในถั่วเหลืองและข้าวโพด (ตารางที่ 1) พบว่าถั่วเหลืองมีปริมาณกรดอะมิโน lysine และ tryptophan สูง แต่มีปริมาณ sulfur containing amino acids (methionine และ cystine) ต่ำ ในขณะที่ข้าวโพดมีปริมาณ sulfur containing amino acids สูง แต่มีปริมาณ lysine และ tryptophan ต่ำ ดังนั้นการผสมถั่วเหลืองกับข้าวโพดจึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เทมเป้ เพื่อปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการโดยให้มีปริมาณเส้นใยและกรดอะมิที่จำเป็นเพิ่มขึ้น ขณะที่ปริมาณไขมันลดต่ำลง เมื่อเทียบกับเทมเป้ที่ผลิตจากถั่วเหลืองเพียงชนิดเดียว

2. **ผล การเลือกภาชนะที่เหมาะสมในการใช้หมักเทมเป้**

พบว่าเชื้อราสามารถเจริญในภาชนะทั้งสองชนิดได้ไม่แตกต่างกัน แต่การควบคุมการปนเปื้อนของจุลินทรีย์จากสภาพแวดล้อมรอบ ๆ และการควบคุมความชื้นของอากาศในภาชนะบรรจุ เมื่อเพาะเชื้อในถุงพลาสติกจะทำได้ดีกว่าและการจัดการต่าง ๆ ก็สะดวกกว่า(นภา โล่ห์ทอง, 2537) ซึ่งก็สอดคล้องกับ Lotong and Suwanarit (1983) ได้นำถุงพลาสติกมาใช้ในการผลิตหัวเชื้อรา ที่ใช้ในการผลิตซีอิ้วและเต้าเจี้ยว ซึ่งให้ผลดี ประหยัด สะดวกและง่ายพอที่โรงงานอุตสาหกรรมจะนำไปใช้อย่างได้ผล ดังนั้นจึงเลือกใช้ถุงพลาสติก polyethylene เป็นภาชนะในการหมักเทมเป้ในขั้นตอนต่อไป

3. **ผลการศึกษาชนิดและขนาดของเมล็ดข้าวโพด ขนาดเมล็ดถั่วเหลืองและระยะเวลาการหมักเทมเป้ที่เหมาะสมต่อการผลิตเทมเป้**

เทมเป้ข้าวโพดและเทมเป้ถั่วเหลืองที่แปรขนาดของเมล็ดต่าง ๆ กัน หมักที่ 30°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมงจะได้ลักษณะที่มีเส้นใยสีขาวของเชื้อราเจริญปกคลุมวัตถุดิบทั่วทั้งแผ่น เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแน่นเนื้อพบว่าขนาดวัตถุดิบที่เล็กลงส่งผลให้ค่าความแน่นเนื้อและปริมาณกลูโคซามีนในเทมเป้เพิ่มขึ้น โดยในเทมเป้ข้าวโพดหวานขนาด ¼ เมล็ดมีค่าความแน่นเนื้อสูงที่สุดคือ 319.61 gf ดังแสดงในตารางที่ 6 ซึ่งใกล้เคียงกับเทมเป้ที่ผลิตทางการค้า(ตราเฮลท์ตี้เมท) ที่มีค่าเท่ากับ 325 gf. เมื่อขนาดเมล็ดข้าวโพดและถั่วเหลืองลดลง ความแน่นเนื้อของเทมเป้จะมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากเส้นใยของเชื้อราที่เจริญเกาะยึดประสานวัตถุดิบเป็นแผ่น ทำให้มีความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นจะมีพื้นที่ผิวในการยึดเกาะวัตถุดิบที่มีขนาดเล็กและสามารถเจริญแทรกผ่านเข้าไปในช่องว่างระหว่างวัตถุดิบได้มากขึ้นรวมทั้งใช้สารอาหารในวัตถุดิบได้ดีมากกว่าในวัตถุดิบที่มีขนาดใหญ่ ดังนั้นปริมาณกลูโคซามีนในเทมเป้ที่ทำจากวัตถุดิบขนาดเล็กจึงมีค่าสูงมากกว่าวัตถุดิบที่ขนาดใหญ่ขึ้นทั้งในข้าวโพดและถั่วเหลือง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Michell, Doelle and Greenfield (1988) ที่ศึกษาวิธีการปรับปรุงการเจริญเติบโตของ *Rhizopus oligosporus* บนแบบจำลองวัตถุดิบที่เป็นของแข็ง (model solid substrate) พบว่าเมื่อขนาดวัตถุดิบเล็กลงอัตรา

การเจริญของเชื้อราจะสูงขึ้น เนื่องจากอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรเพิ่มขึ้นทำให้เส้นใยราเจริญหนาแน่นขึ้น และเทมเป้ข้าวโพดหวานจะมีค่าความแน่นเนื้อและปริมาณกลูโคซามีนที่แสดงถึงการเจริญของเชื้อราได้สูงกว่าเทมเป้ข้าวโพดข้าวเหนียวที่ผลิตจากเมล็ดขนาดเท่ากัน โดยในเทมเป้ข้าวโพดหวานจะมีปริมาณกลูโคซามีนสูงกว่าเทมเป้ข้าวโพดข้าวเหนียว เนื่องจากข้าวโพดข้าวเหนียวมี amylopectin สูงถึง 73% (กฤษฎา สัมพันธารักษ์, 2531) ซึ่งมากกว่าข้าวโพดหวาน ดังนั้นเมื่อผ่านการให้

ตารางที่ 6 ค่าความแน่นเนื้อและปริมาณกลูโคซามีนของเทมเป้ข้าวโพดหวานและข้าวโพดข้าวเหนียว ที่ผลิตจากข้าวโพดขนาดเต็มเมล็ด ½ เมล็ด และ ¼ เมล็ด และเทมเป้จากถั่วเหลืองเมล็ดซีก และเมล็ดปั่นละเอียด หมักที่ 30°C 24 ชั่วโมง

เทมเป้	ความแน่นเนื้อ (gf)	กลูโคซามีน (g/kg dry biomass)
ข้าวโพดหวานขนาด		
เต็มเมล็ด	$84.40^{d}\pm10.53$	$6.37^{d}\pm0.15$
1/2 เมล็ด	$301.97^{ab}\pm11.00$	$7.58^{ab}\pm0.06$
1/4 เมล็ด	$319.61^{a}\pm40.16$	$7.66^{a}\pm0.07$
ข้าวโพดข้าวเหนียวขนาด		
เต็มเมล็ด	$61.42^{e}\pm25.56$	$6.14^{e}\pm0.10$
1/2 เมล็ด	$214.45^{c}\pm19.78$	$7.21^{c}\pm0.10$
1/4 เมล็ด	$286.79^{b}\pm14.44$	$7.46^{b}\pm0.10$
เทมเป้ถั่วเหลืองขนาด		
เมล็ดซีก	269.82 ± 38.04	6.92 ± 0.02
เมล็ดปั่นละเอียด	282.61 ± 68.11	7.39 ± 0.04

a, b, c, ... ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน หมายความว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ความร้อนซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในขั้นตอนการผลิตเทมเป้ ทำให้ข้าวโพดข้าวเหนียวเกิด gelatinization ได้ดีกว่าข้าวโพดหวานที่มีขนาดเท่ากัน ส่งผลให้ในข้าวโพดข้าวเหนียวเมล็ดข้าวเกิดการรวมตัวกันเป็นก้อน ทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสลดลง เชื้อราจึงเจริญเติบโตได้น้อยกว่าข้าวโพดหวาน เมื่อศึกษาค่าความแน่นเนื้อและปริมาณกลูโคซามีนในเทมเป้จากข้าวโพดหวานขนาด ¼ เมล็ดและเทมเป้จากถั่วเหลืองเมล็ดปั่นละเอียดพบว่าค่าความแน่นเนื้อและปริมาณกลูโคซามีนในเทมเป้ข้าวโพดมีค่าเท่ากับ 319.61 gf และ 7.66 g/kg dry biomass ส่วนในเทมเป้จากถั่วเหลืองมีค่าเท่ากับ 286.79 gf และ 7.46 g/kg dry biomass ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณสูงกว่าขนาดของข้าวโพดและถั่วเหลืองระดับอื่นๆ ดังนั้นจึงเลือกข้าวโพดหวาน ขนาด ¼ เมล็ด และถั่วเหลืองเมล็ดปั่นละเอียด มาศึกษาหาระยะเวลาการหมักที่

เหมาะสม โดยนำถั่วเหลืองและข้าวโพดหวานขนาดดังกล่าวมาผลิตเทมเป้แล้วเก็บตัวอย่างที่ผ่านการหมัก 0 16 24 และ 40 ชั่วโมง มาตรวจวัดค่าความแน่นเนื้อและปริมาณกลูโคซามีน พบว่าในช่วงระยะเวลาการหมัก 0-24 ชั่วโมง จะทำให้เทมเป้ที่ผลิตได้มีค่าความแน่นเนื้อสูงที่สุด ผลดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 การเปลี่ยนแปลงค่าความแน่นเนื้อและปริมาณกลูโคซามีนในเทมเป้ข้าวโพดหวานและข้าวโพดข้าวเหนียว ที่ผลิตจากข้าวโพดขนาด ¼ เมล็ดและเทมเป้ถั่วเหลืองเมล็ดปั่นละเอียด หมักที่ 30°C เป็นเวลา 0 16 24 และ 40 ชั่วโมง

ระยะเวลาการหมักเทมเป้ (ชั่วโมง)	ความแน่นเนื้อ (gf)	กลูโคซามีน (g/kg dry biomass)
เทมเป้ข้าวโพดหวาน		
0	$8.67^{f}\pm3.90$	$2.65^{d}\pm0.02$
16	$43.32^{d}\pm3.99$	$4.52^{c}\pm0.15$
24	$344.03^{a}\pm27.58$	$7.66^{b}\pm0.69$
40	$41.00^{d}\pm4.31$	$8.54^{a}\pm0.36$
เทมเป้ถั่วเหลือง		
0	$20.73^{e}\pm3.07$	$2.63^{d}\pm0.02$
16	$103.94^{c}\pm10.25$	$5.42^{c}\pm0.03$
24	$293.95^{b}\pm70.28$	$7.34^{b}\pm0.08$
40	$90.57^{d}\pm10.26$	$7.56^{a}\pm0.05$

a, b, c, ... ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน หมายความว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

จากตารางที่ 7 พบว่าในช่วง 0-24 ชั่วโมง เมื่อระยะเวลาการหมักเทมเป้ข้าวโพดหวานและเทมเป้ถั่วเหลืองเพิ่มขึ้น ความแน่นเนื้อของเทมเป้ทั้งสองชนิดจะมีค่าเพิ่มขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากมีการเจริญของเชื้อราเพิ่มมากขึ้น ดังจะเห็นได้จากปริมาณกลูโคซามีนที่เป็นสารองค์ประกอบในผนังเส้นใยเชื้อรามีค่าเพิ่มขึ้น โดยในเทมเป้ข้าวโพดหวานมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 2.65 ± 0.02 เป็น 7.66 ± 0.69 g/kg dry biomass และเทมเป้ถั่วเหลืองเพิ่มขึ้นจาก 2.63 ± 0.02 เป็น 7.34 ± 0.08 g/kg dry biomass ซึ่งสอดคล้องกับ Ruiz-Teran and Owens (1996) ที่ติดตามการเจริญของเส้นใยเชื้อราในกระบวนการผลิตเทมเป้ถั่วเหลืองโดยวัดปริมาณกลูโคซามีน พบว่าเมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มขึ้นปริมาณกลูโคซามีนจะมีค่าเพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตของเชื้อรา รวมถึง Sparringa and Owens (1999) ที่รายงานว่าเส้นใยเชื้อรา *Rhizopus oligosporus* NRRL

2710 ที่อยู่ในรูป pellets เจริญบน Sabouraud dextrose broth ที่ 30°C เวลา 72 ชั่วโมง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่จะมีปริมาณกลูโคซามีนมากกว่าขนาดเล็ก โดยที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ≤5, 5-15 และ 16-35 มิลลิเมตร จะมีปริมาณกลูโคซามีนที่เป็นองค์ประกอบอยู่ประมาณ 51±1.8 75±2.3 และ 107±4.3 g/kg dry biomass ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าปริมาณกลูโคซามีนจะเป็นตัวบ่งชี้การเจริญของเส้นใยเชื้อราได้ และเมื่อหมักเทมเป้เป็น เวลา 40 ชั่วโมง ค่าความแน่นเนื้อของเทมเป้ข้าวโพดหวานและเทมเป้ถั่วเหลืองจะลดลงจาก 344.03±27.58 gf และ293.95±70.28 gf เป็น 41.00±4.31 gf และ 90.57±10.26 gf ตามลำดับ ในขณะที่ปริมาณกลูโคซามีนจะเพิ่มขึ้นเป็น 8.54±0.36 และ 7.56±0.05 g/kg dry biomass ตามลำดับ นั่นคือมีเส้นใยของเชื้อราเพิ่มขึ้นและการที่ค่าความแน่นเนื้อของเทมเป้ลดลงก็เนื่องจากเมื่อเชื้อราเจริญได้ระยะหนึ่งเส้นใยของเชื้อราจะสร้างเอนไซม์เพิ่มมากขึ้นย่อยสลายองค์ประกอบของวัตถุดิบทำให้โครงสร้างของเทมเป้อ่อนแอลง ซึ่ง Milto, Yayoi and Nobuko (2004) รายงานว่า *Rhizopus oligosporus* จะผลิต cellulolytic enzymes และ hydrolase enzymes หลายชนิด เช่น cellulose (1.7 U/ml) beta-glucosidase (0.1 U/ml) xylanase 90.8 U/ml) amylase (3.9 U/ml) และ acid protease (0.01 U/ml) ย่อยสลายถั่วเหลืองในกระบวนการผลิตเทมเป้ทำให้มีเนื้อสัมผัสนิ่มลง และงานวิจัยของ Handoyo and Morita (2006) ที่ศึกษาผลของเชื้อรา *Rhizopus oligosporus* ต่อโครงสร้างของถั่วเหลืองระหว่างการหมักเทมเป้พบว่าเมื่อหมักได้ 48 ชั่วโมงจะมีค่า modulus elalsticity (Pa) สูงที่สุดคือ 0.73 x 10^9 Pa และหลังจากนั้นคือ 72 ชั่วโมงค่าจะลดลงเป็น 0.61 x 10^9 Pa เนื่องจากเส้นใยเชื้อรามีอายุมากขึ้นจึงเสื่อมลงและจะไม่เจริญขึ้นใหม่ ประกอบกับถั่วเหลืองที่เป็นวัตถุดิบถูกย่อยทำให้มีเนื้อสัมผัสนิ่มมากขึ้น เทมเป้จึงมีความยืดหยุ่นน้อยลง ในขณะที่ปริมาณกลูโคซามีนยังคงเพิ่มขึ้นในอัตราที่ลดลง จากการทดลองจะเห็นว่าปริมาณกลูโคซามีนแสดงถึงมวลเส้นใยเชื้อราและสัมพันธ์กับค่าความแน่นเนื้อในช่วง 0-24 ชั่วโมงเท่านั้น หลังจากนั้นโครงสร้างเนื้อเยื่อของวัตถุดิบจะถูกย่อยสลายด้วยเอ็นไซม์ของเชื้อรา ซึ่งจะสร้างได้มากในช่วง 48 ชั่วโมง(Varsakas, 1998) ทำให้ความแน่นเนื้อไม่สัมพันธ์กับปริมาณกลูโคซามีนเมื่อหมัก 40 ชั่วโมง ดังนั้นจึงใช้ค่าความแน่นเนื้อเป็นตัวบ่งบอกถึงการเจริญของเส้นใยเชื้อราในกระบวนการหมักเทมเป้ถั่วเหลืองและข้าวโพดได้ในช่วงระยะเวลา 0-24 ชั่วโมงเท่านั้น จากผลการทดลองจึงใช้ระยะเวลาหมัก 24 ชั่วโมงเป็นเวลาที่เกิดการหมักอย่างสมบูรณ์และให้ค่าความแน่นเนื้อสูงที่สุด จึงเลือกใช้ระยะเวลาหมักที่ 24 ชั่วโมงในการทดลองขั้นต่อไป ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kronenberg and Hang (1985) ที่พบว่าค่าแรงที่เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์กับการสร้างเส้นใยของเชื้อราทำให้ค่าความแน่นเนื้อเพิ่มมากขึ้นเมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มขึ้น

4. ผลการศึกษาอัตราส่วนข้าวโพดต่อถั่วเหลืองที่เหมาะสมต่อการผลิตเทมเป้

การปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์เทมเป้ข้าวโพดให้มีปริมาณโปรตีนเพิ่มมากขึ้นเพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย และมีกรดอะมิโนที่จำเป็นสมดุลมากขึ้น ดังนั้นจึงเลือก

ถั่วเหลืองมาผสมกับข้าวโพดโดยนำข้าวโพดและถั่วเหลือง มาทำให้มีขนาดตามที่ได้จากผลการทดลองในข้อ 3 โดยผสมกันในอัตราส่วนต่าง ๆ เพื่อผลิตเทมเป้ข้าวโพดผสมถั่วเหลือง แล้วนำตัวอย่างเทมเป้ที่ได้มาตรวจวัดลักษณะทางกายภาพด้านค่าสี ความชื้นและ pH พบว่าเมื่อผสมถั่วเหลืองในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าความสว่าง (L) เพิ่มขึ้น ส่วนค่าสีแดง (a) และค่าสีเหลือง (b) จะลดลง ค่าความชื้นก็ลดลงเช่นกัน ส่วนค่า pH จะเพิ่มขึ้น ผลดังแสดงในตารางที่ 8 เมื่อผสมถั่วเหลืองในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น เทมเป้ที่ผลิตได้จะมีค่าความสว่าง (L) เพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนตรงกับถั่วเหลือง โดยเทมเป้ที่ทำจากถั่วเหลืองล้วน(0:5)จะมีค่าความสว่างมากที่สุดคือมีค่า87.25^{a}±1.38 และเทมเป้ข้าวโพดล้วน(5:0) มีค่าความสว่างน้อยที่สุดคือมีค่า69.49^{e}±1.22 ส่วนค่าสีแดง (a) และค่าสีเหลือง (b)ของเทมเป้ที่ได้จะมีค่า

ตารางที่ 8 ค่าสี ความชื้นและ pH ของเทมเป้ข้าวโพดผสมถั่วเหลืองที่อัตราส่วนต่าง ๆ หมักที่ 30°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

เทมเป้ ข้าวโพด : ถั่วเหลือง	ค่าสี			ความชื้น (%)	pH
	L	a	b		
5 : 0	69.49^{e}±1.22	2.22^{a}±0.48	32.94^{a}±3.94	74.52^{a}±1.06	5.04^{f}±0.02
4 : 1	71.86^{d}±1.06	1.65^{b}±0.57	30.00^{b}±3.70	73.10^{a}±0.47	6.24^{e}±0.03
3 : 2	73.02^{c}±0.98	1.52^{b}±0.57	25.62^{c}±1.70	70.22^{b}±0.81	6.46^{d}±0.04
2 : 3	76.03^{b}±1.43	1.19^{c}±0.37	23.14^{d}±3.21	68.86^{b}±2.23	6.90^{c}±0.02
1 : 4	86.57^{a}±1.37	0.90^{cd}±0.12	2.44^{e}± 2.00	65.45^{c}±0.39	7.03^{b}±0.03
0 : 5	87.25^{a}±1.38	0.79^{d}± 0.26	11.01^{e}±0.87	60.70^{d}±0.11	7.10^{a}±0.02

a, b, c, ... ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน หมายความว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$

ลดลงเป็นสัดส่วนผกผันกับถั่วเหลืองที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากสีเหลืองของข้าวโพดจะถูกเจือจางลงเมื่อผสมถั่วเหลืองเพิ่มขึ้น แต่ลักษณะโดยรวมยังคงมีสีขาวเหลืองคล้ายกัน โดยเทมเป้ข้าวโพดผสมถั่วเหลืองที่อัตราส่วน0:5 (ถั่วเหลืองล้วน) จะมีค่าสีแดง (a) และค่าสีเหลือง (b)น้อยสุดคือ0.79± 0.26 และ 11.01±0.87ตามลำดับ และเทมเป้ข้าวโพดผสมถั่วเหลืองที่อัตราส่วน5:0 (ข้าวโพดล้วน) จะมีค่าสีแดง (a) และค่าสีเหลือง (b)สูงสุดคือ2.22±0.48และ32.94±3.94 ตามลำดับ ส่วนค่าความชื้นจะลดลงเมื่ออัตราส่วนของถั่วเหลืองเพิ่มขึ้น เนื่องจากถั่วเหลืองที่เป็นวัตถุดิบมีความชื้นต่ำกว่าข้าวโพด และค่า pH ในเทมเป้ข้าวโพดผสมถั่วเหลืองจะสูงขึ้นเมื่ออัตราส่วนของถั่วเหลืองเพิ่มขึ้น เนื่องจากโปรตีนในถั่วเหลืองเกิดการย่อยสลายในระหว่างการหมักและปลดปล่อยแอมโมเนียที่เป็นด่างออกมา (Paresdes-lopez, Harry and Montes-Rivera, 1987) แต่เมื่ออัตราส่วนข้าวโพดในเทมเป้เพิ่มขึ้นจะ

ส่งผลให้ค่า pH ลดลง เนื่องจากในกระบวนการหมักจะมีการเมตาบอไลซ์คาร์โบไฮเดรตของข้าวโพดและเกิดกรดอินทรีย์ขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความเปรี้ยวเล็กน้อย และมีลักษณะเฉพาะตัวคือมีกลิ่น yeasty และ fruit-like (Steinkraus, 1983) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Wang and Hesseltine (1966) ที่ผลิต wheat tempeh หมัก 24 ชั่วโมง จะมีค่า pH ลดลงเป็น 5.7 และ Cuevas-Rodriguez et al., (2003) ผลิตแป้งจากเทมเป้ข้าวโพด พบว่ามีค่า pH ลดลงจากแป้งข้าวโพดที่ไม่ผ่านการหมัก คือ 6.1 เป็น 4.5

สำหรับค่าความแน่นเนื้อของเทมเป้ข้าวโพดผสมถั่วเหลือง พบว่าค่าความแน่นเนื้อของเทมเป้ที่ได้จะมีค่าลดลงเป็นสัดส่วนผกผันกับถั่วเหลืองที่เพิ่มขึ้น เมื่อสัดส่วนของถั่วเหลืองเพิ่มขึ้นค่าความแน่นเนื้อของเทมเป้จะลดลง เช่นเดียวกับปริมาณกลูโคซามีนก็มีค่าลดลงเช่นกัน ผลดังแสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ค่าความแน่นเนื้อและปริมาณกลูโคซามีนในเทมเป้ข้าวโพดผสมถั่วเหลืองในอัตราส่วนต่าง ๆ หมักที่ 30°C. เป็นเวลา24 ชั่วโมง

เทมเป้ ข้าวโพด : ถั่วเหลือง	ความแน่นเนื้อ (gf)	กลูโคซามีน (g/kg dry biomass)
5:0	$335.55^{a} \pm 15.44$	$8.33^{a} \pm 0.01$
4:1	$312.11^{b} \pm 11.48$	$7.72^{b} \pm 0.01$
3:2	$295.85^{bc} \pm 18.41$	$7.67^{b} \pm 0.04$
2:3	$293.00^{bc} \pm 21.13$	$7.64^{b} \pm 0.06$
1:4	$289.89^{c} \pm 14.65$	$7.44^{c} \pm 0.15$
0:5	$286.11^{c} \pm 20.96$	$7.17^{d} \pm 0.14$

a, b, c, ... ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน หมายความว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

โดยเทมเป้ข้าวโพดมีค่าความแน่นเนื้อและปริมาณกลูโคซามีนสูงที่สุดคือ 335.55 gf และ 8.33 g/kg dry biomass ตามลำดับ ซึ่งค่าใกล้เคียงกับตัวอย่างเทมเป้ที่ผลิตทางการค้าคือ 325 gf ส่วนเทมเป้ถั่วเหลืองมีค่าความแน่นเนื้อและปริมาณกลูโคซามีนต่ำที่สุดคือ 286.11 gf และ 7.17 g/kg dry biomass ตามลำดับ เนื่องจากเชื้อรา *Rhizopus* มี proteolytic activity สูงกว่า amylolytic activity โดยมีค่า activity index ประมาณ 0.98-1.02 และ 0-0.82 ตามลำดับ (Lim, Tan and Rahim, 1987) ซึ่งจากองค์ประกอบทางเคมีของถั่วเหลืองพบว่ามีปริมาณโปรตีนสูงถึง 18.20% (โดยน้ำหนักเปียก) ในขณะที่ข้าวโพดมีปริมาณโปรตีนต่ำกว่าคือประมาณ 4.59% (โดยน้ำหนักเปียก) ทำให้ถั่วเหลืองเกิดการย่อยสลายโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบได้สูงกว่า ทำให้เทมเป้ถั่วเหลืองมีโครงสร้างนิ่มกว่าเทมเป้ข้าวโพด ค่าความแน่นเนื้อจึงลดลงและในเทมเป้ข้าวโพดมีปริมาณเส้นใยเชื้อราสูงกว่าเทมเป้ถั่ว

เหลือง ดังจะเห็นได้จากปริมาณของกลูโคซามีนที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากข้าวโพดมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นคาร์โบไฮเดรตประมาณ 39.3% ในขณะที่ถั่วเหลืองมีเพียง 10.8% โดยน้ำหนักเปียก (กรมอนามัย, กระทรวงสาธารณสุข, 2530) จึงเป็นแหล่งคาร์บอนสำหรับเชื้อราเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตได้ดีกว่า เนื่องจากเชื้อราจะใช้แหล่งคาร์บอนได้หลายชนิด เช่น คาร์โบไฮเดรต กรดอะมิโน กรดอินทรีย์และโพลิเมอร์ ต่าง ๆ แต่ส่วนใหญ่แหล่งคาร์บอนที่เชื้อราใช้ในการเจริญเติบโตได้ดีก็คือคาร์โบไฮเดรต ได้แก่ hexose เช่น glucose, sucrose, lactose โดยน้ำตาล hexose ส่วนใหญ่จะถูกเปลี่ยนไปเป็น glucose-6-phosphate หรือ fructose-6-phosphate ก่อนที่จะถูก metabolize โดยขบวนการ glycolysis และ tricarboxylic acid cycle (TCA cycle) ได้พลังงาน คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ

เมื่อนำเทมเป้ข้าวโพดผสมถั่วเหลืองในอัตราส่วนต่าง ๆ มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พบว่าเทมเป้ข้าวโพดที่ผสมถั่วเหลืองในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น จะมีปริมาณโปรตีนและไขมันสูงขึ้น ในขณะที่เส้นใยอาหารจะลดลง ผลดังแสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 องค์ประกอบทางเคมีของเทมเป้ข้าวโพดผสมถั่วเหลืองในอัตราส่วนต่าง ๆ หมักที่ 30°C เป็นเวลา24 ชั่วโมง

เทมเป้ ข้าวโพด : ถั่วเหลือง	โปรตีน (g/100 g)	ไขมัน (g/100 g)	เส้นใยอาหาร (g/100 g)
5:0	$7.29^{f}\pm0.91$	$1.09^{f}\pm1.91$	$28.70^{a}\pm0.06$
4:1	$12.70^{e}\pm1.04$	$5.02^{e}\pm0.24$	$22.78^{b}\pm0.02$
3:2	$17.63^{d}\pm1.00$	$8.36^{d}\pm1.21$	$18.11^{cd}\pm0.02$
2:3	$23.65^{c}\pm1.95$	$13.54^{c}\pm1.25$	$16.48^{de}\pm0.05$
1:4	$28.74^{b}\pm0.81$	$17.00^{b}\pm0.22$	$14.80^{e}\pm0.04$
0:5	$33.84^{a}\pm0.26$	$20.64^{a}\pm0.16$	$10.82^{f}\pm0.91$

a, b, c, ... ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน หมายความว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

โดยเทมเป้ข้าวโพดล้วน (อัตราส่วน 5:0) จะมีโปรตีน 7.29±0.91 % มีไขมัน 1.09±1.91 % และมีเส้นใยอาหาร 28.70±0.06% และเมื่อนำถั่วเหลืองมาปรับปริมาณโปรตีนในเทมเป้ข้าวโพด โดยผสมถั่วเหลือง ลงในข้าวโพด 0% 20% 40% 60% 80% และ 100 % (อัตราส่วน5:0 4 :1 3:2 2:3 1:4 และ 0:5) พบว่าโปรตีนในเทมเป้ข้าวโพดผสมถั่วเหลืองจะสูงขึ้นจาก 7.29±0.91% เป็น 12.70±1.04% 17.63±1.00 % 23.65±1.95% 28.74±0.81% และ 33.84±0.26 % (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้ก็เนื่องจากเมล็ดถั่วเหลืองมีปริมาณโปรตีนสูงประมาณ 40 % (น้ำหนักแห้ง) เมื่อนำมาผสมกับข้าวโพดในการทำเทมเป้ จึงทำให้เทมเป้ข้าวโพดผสมถั่วเหลืองมีปริมาณโปรตีนสูงขึ้น ซึ่งปริมาณโปรตีนที่สูงขึ้นนี้ เพียงพอต่อความต้องการของร่างกายของคนไทย ซึ่งมี

ความต้องการปริมาณโปรตีนประมาณ 8-10% ต่อวันในเด็กวัย 1-5 ปี ดังนั้นการผสมถั่วเหลืองลงในข้าวโพดในการทำเทมเป้ปริมาณไม่น้อยกว่า 20 % ซึ่งแม้จะมีปริมาณโปรตีนไม่สูงเท่ากับเทมเป้ถั่วเหลืองล้วน (0:5) แต่ก็ให้ปริมาณโปรตีนที่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย ส่วนไขมันนั้นเมื่อผสมถั่วเหลืองลงในข้าวโพดที่อัตราส่วนเพิ่มขึ้น จะทำให้เทมเป้ข้าวโพดผสมถั่วเหลืองมีปริมาณไขมันสูงขึ้นจาก 1.09±1.91 % เป็น 5.02±0.24 % 8.36±1.21% 13.54±1.25% 17.00±0.22% และ 20.64±0.16% (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นเพราะถั่วเหลืองที่ผสมลงในข้าวโพดในการหมักเทมเป้ มีปริมาณไขมันสูงไม่ต่ำกว่า 20 %(น้ำหนักแห้ง) ดังนั้นจึงทำให้เทมเป้ข้าวโพดผสมถั่วเหลืองมีไขมันสูงขึ้น สำหรับปริมาณเส้นใยอาหารนั้น เมื่อเติมถั่วเหลืองลงในข้าวโพดในการทำเทมเป้เพิ่มขึ้น จะทำให้เส้นใยอาหารในเทมเป้ข้าวโพดผสมถั่วเหลือง ลดลงจาก 28.70±0.06% เป็น 22.78±0.02% 18.11±0.02% 16.48±0.05% 14.80±0.04% และ 10.82±0.91% ตามลำดับ ซึ่งถ้าเติมถั่วเหลืองลงในข้าวโพด ไม่มากนักคือไม่เกิน 2 :3 (60%) ปริมาณเส้นใยอาหารก็ยังเพียงพอต่อการช่วยให้ระบบขับถ่ายของเสียของร่างกายอยู่ในสภาพที่ดี

การผสมถั่วเหลืองกับข้าวโพดในอัตราส่วนต่าง ๆ ในการทำเทมเป้ ทำให้คุณภาพของโปรตีนในเทมเป้ข้าวโพดผสมถั่วเหลืองดีขึ้นกว่า เทมเป้ข้าวโพดล้วน(อัตราส่วน 5 : 0) และเทมเป้ถั่วเหลืองล้วน(อัตราส่วน0 :5) ผลดังค่าที่คำนวณได้แสดงในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายในเทมเป้ข้าวโพดผสมถั่วเหลืองอัตราส่วนต่าง ๆ ที่ได้จากการคำนวณโดยใช้กรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบของโปรตีนในเมล็ดถั่วเหลืองและข้าวโพดเปรียบเทียบกับไข่ไก่ (mg/g protein)

amino acids	ไข่ไก่*	ข้าวโพด : ถั่วเหลือง					
		5:0	4:1	3:2	2:3	1:4	0:5
Histidine	22	34.66	32.57	30.48	28.40	26.31	24.22
Isoleucine	54	32.52	33.43	34.34	35.26	36.17	37.08
Leucine	86	116.80	108.17	99.55	90.92	82.30	73.67
Lysine	70	25.05	31.85	38.66	45.46	52.27	59.07
methionine and cystine	57	32.62	30.56	28.51	26.46	24.41	22.35
phenylalanine and tyrosine	93	75.15	72.89	70.63	68.36	66.10	63.84
threonine	47	20.10	24.39	28.67	32.96	37.24	41.53
tryptophan	17	3.01	5.44	7.87	10.31	12.74	15.17
valine	51	38.83	41.14	43.46	45.77	48.09	50.40

a, b, c, ... ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน หมายความว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

* FAO/WHO (1985)

ผลจากการคำนวณปริมาณกรดอะมิโนในเทมเป้ข้าวโพดผสมถั่วเหลือง พบว่าเมื่อผสมถั่วเหลืองในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น เทมเป้ข้าวโพดผสมถั่วเหลืองจะมี sulfur containing amino acids (methionine และ cystine) ลดลง ส่วนปริมาณ lysine และ tryptophan จะเพิ่มขึ้น จึงทำให้คุณภาพของโปรตีนดีขึ้น

สำหรับความสมดุลของกรดอะมิโนที่จำเป็นในโปรตีนของเทมเป้ข้าวโพดผสมถั่วเหลืองนั้นจะขึ้นกับอัตราส่วนที่เหมาะสมของข้าวโพดและถั่วเหลืองที่ใช้เป็นวัตถุดิบ ซึ่งสามารถคำนวณค่าได้จาก amino acid score (Harper and Yoshimura, 1993) ของเทมเป้ข้าวโพดผสมถั่วเหลืองในอัตราส่วนต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ค่า amino acid score ของเทมเป้ข้าวโพดผสมถั่วเหลืองที่อัตราส่วนต่าง ๆ ที่ได้จากการนำค่ากรดอะมิโนของเมล็ดข้าวโพดและถั่วเหลืองมาเป็นหลักในการคำนวณ โดยเปรียบเทียบ กับ ปริมาณความต้องการกรดอะมิโนของเด็ก (mg/g protein)

amino acids	เด็ก*	ข้าวโพด : ถั่วเหลือง					
		5:0	4:1	3:2	2:3	1:4	0:5
isoleucine	40	81.30	83.58	85.85	88.15	90.43	92.70
leucine	70	166.86	154.53	142.21	129.89	117.57	105.24
lysine	53	45.55	57.91	70.29	82.65	95.04	107.40
methionine and cystine	35	93.20	87.31	81.46	75.60	69.74	63.86
phenylalanine and tyrosine	60	125.25	121.48	117.72	113.93	110.17	106.40
threonine	40	50.25	60.98	71.68	82.40	93.10	103.83
tryptophan	10	30.10	54.40	78.70	103.10	127.40	151.70
valine	50	77.66	82.28	86.92	91.54	96.18	100.80

a, b, c, ... ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน หมายความว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

* FAO/WHO/UNU (1981)

พบว่าเมื่ออัตราส่วนของถั่วเหลืองเพิ่มขึ้นจะทำให้ limiting amino acid ในเทมเป้ข้าวโพดผสมถั่วเหลืองอัตราส่วน 5:0 4:1 3:2 2:3 1:4 และ 0:5 มีค่า amino acid score เป็น 30.10 54.40 70.29 75.60 69.74 และ63.86 ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบกับค่า amino acid score ของไข่ไก่ที่มีค่าเท่ากับ 100 เด็กจะต้องบริโภคโปรตีนในเทมเป้ข้าวโพดผสมถั่วเหลืองในปริมาณเพิ่มขึ้นเป็น 3.32 1.84 1.43 1.32 1.44 และ 1.57 เท่าของโปรตีนในไข่ ตามลำดับจึงจะได้รับประโยชน์เทียบเท่ากับไข่ ดังนั้นโปรตีนในเทมเป้ข้าวโพดผสมถั่วเหลืออัตราส่วน 3:2 2:3 และ 1:4 จึงให้โปรตีนที่มี

คุณภาพอยู่ในระดับที่ดี เนื่องจากมีส่วนประกอบของกรดอะมิโนที่สมดุลกว่า ซึ่งสอดคล้องกับ Bressani, Elías และ Braham (1966) ที่แสดงถึงสัดส่วนของกรดอะมิโนในข้าวโพดและถั่วเหลืองที่ผสมกันด้วยอัตราส่วนต่าง ๆ ซึ่งเสริมกันทำให้โปรตีนสมบูรณ์ขึ้น พบว่าการผสมข้าวโพดและถั่วเหลืองในอัตราส่วน3:2 2:3 และ 1:4 จะทำให้ค่าประสิทธิภาพการนำโปรตีนเทมเป้ไปใช้ประโยชน์ได้สูง เนื่องจากมีกรดอะมิโนที่สมดุลทำให้ร่างกายสามารถนำโปรตีนไปใช้ได้ดีกว่าในเทมเป้ข้าวโพดหรือถั่วเหลืองเพียงอย่างเดียว โดยเมื่อนำถั่วเหลืองและข้าวโพดมาผสมกันจะทำให้ข้าวโพดมีปริมาณ lysine และ tryptophan สูงขึ้นในขณะที่ถั่วเหลืองมี methionine สูงขึ้น

ผลการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสด้านความชอบต่อสี ความแน่นเนื้อและความชอบโดยรวมของเทมเป้ผสมข้าวโพดที่อัตราส่วนต่างๆ พบว่าคะแนนความชอบต่อสีของเทมเป้จะมีค่าสูงขึ้นเมื่ออัตราส่วนข้าวโพด เพิ่มขึ้น โดยเมื่อใช้อัตราส่วนข้าวโพด:ถั่วเหลืองเป็น 2:3 3:2และ 4:1 มีคะแนนความชอบต่อสีไม่แตกต่างกัน คือ มีความชอบต่อสีเล็กน้อยถึงปานกลาง ผลดังแสดงในตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ผลการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสด้านความชอบต่อสี ความแน่นเนื้อและ ความชอบโดยรวมของเทมเป้ผสมข้าวโพดที่อัตราส่วนต่าง ๆ

เทมเป้ ข้าวโพด : ถั่วเหลือง	สี	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
5:0	$7.38^{c}\pm0.88$	$5.98^{a}\pm0.77$	$6.54^{ab}\pm0.75$
4:1	$6.73^{bc}\pm0.68$	$6.14^{ab}\pm1.20$	$6.32^{ab}\pm0.82$
3:2	$6.54^{b}\pm0.58$	$6.53^{b}\pm1.13$	$6.74^{ab}\pm0.98$
2:3	$6.38^{b}\pm0.45$	$6.81^{c}\pm0.46$	$6.95^{b}\pm0.85$
1:4	$5.33^{a}\pm0.65$	$6.62^{bc}\pm1.50$	$6.00^{ab}\pm0.82$
0:5	$5.17^{a}\pm0.38$	$6.44^{b}\pm1.88$	$5.20^{a}\pm1.01$

a, b, c, ... ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน หมายความว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

[1] ทดสอบด้านความชอบ (hedonic scale) 9 ระดับ โดย 1 = ไม่ชอบมากที่สุด 2 = ไม่ชอบมาก 3 = ไม่ชอบปานกลาง 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย 5 = เฉย ๆ 6 = ชอบเล็กน้อย 7 = ชอบปานกลาง 8 = ชอบมาก และ 9 = ชอบมากที่สุด

ส่วนความชอบในเรื่องเนื้อสัมผัส(ความแน่นเนื้อ) พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยเทมเป้ข้าวโพดผสมถั่วเหลืองในอัตราส่วนข้าวโพด:ถั่วเหลือง เป็น 3:2 2:3และ 1:4มีคะแนนสูง ทั้งนี้อาจเนื่องจากเมื่อสัดส่วนของข้าวโพดสูงขึ้น จะทำให้มีค่าความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 9) ทำให้มีคะแนนความชอบทางด้านเนื้อสัมผัสเพิ่มขึ้น แต่ถ้ามีความแน่นเนื้อมากเกินไปอาจทำให้ผู้ทดสอบมีความชอบน้อยลง และเมื่อพิจารณาความชอบโดยรวม พบว่า เทมเป้ข้าวโพด

ผสมถั่วเหลืองในอัตราส่วน5:0 4:1 3:2 2:3 และ1:4 มีคะแนนความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยคะแนนจะแปรตามคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัส

เมื่อพิจารณาจากปริมาณโปรตีนร่วมกับคะแนนทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าเทมเป้ข้าวโพดผสมถั่วเหลืองในอัตราส่วนข้าวโพด:ถั่วเหลือง 3:2 - 2:3 เป็นสูตรที่ดี เนื่องจากมีปริมาณโปรตีนมากเพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย (กระทรวงสาธารณสุข, 2546) และมีคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสที่สูงพอประมาณ นอกจากนี้เทมเป้ข้าวโพดผสมถั่วเหลืองในอัตราส่วนนี้ ยังมีปริมาณโปรตีนสูง 17.63$\pm$1.00 - 23.65$\pm$1.95% ซึ่งแม้จะมีปริมาณไม่สูงเท่ากับเทมเป้ถั่วเหลือง แต่ก็เพียงพอต่อความต้องการของร่างกายคนไทย สำหรับเด็กวัย 1-5 ปี ที่ต้องการโปรตีน 8-10% ต่อวัน (กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, 2546) และมีปริมาณไขมัน 8.36$\pm$1.21 - 13.54$\pm$1.25% ซึ่งลดลงจากเทมเป้ถั่วเหลือง ส่วนปริมาณเส้นใยก็สูงกว่าเทมเป้ถั่วเหลืองคือมีปริมาณ 16.48$\pm$0.05-18.11$\pm$0.02% ซึ่งเส้นใยที่ไม่ละลายน้ำจะรวมตัวกันเป็นก้อนช่วยให้ระบบขับถ่ายดีขึ้น ส่วนเส้นใยที่ละลายน้ำได้จะถูกหมักโดยจุลินทรีย์ในลำไส้ ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย นอกจากนี้ยังช่วยลดการดูดซับไขมันในร่างกายได้ และเมื่อพิจารณาค่าความแน่นเนื้อของเทมเป้ข้าวโพดผสมถั่วเหลืองที่อัตราส่วนต่าง ๆ จะเห็นว่าแม้จะต่างกันแต่อยู่ในช่วงมาตรฐานทางการค้า

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สรุปผลการทดลอง

1. วัตถุดิบถั่วเหลือง ข้าวโพดหวานและข้าวโพดข้าวเหนียวมีปริมาณความชื้น 60.21, 71.94 และ 69.82%(wet basis) ตามลำดับ ปริมาณโปรตีน 33.74 7.87 และ 7.90%(dry basis) ตามลำดับ ปริมาณไขมัน 21.26 2.12 และ 1.23% (dry basis) ตามลำดับ และปริมาณเส้นใยอาหาร (dietary fiber) 3.68 5.51 และ 5.57% (dry basis) ตามลำดับ

2 ถั่วเหลืองเมล็ดปั่นละเอียดและข้าวโพดหวานขนาด ¼ เมล็ด จะให้ผลิตภัณฑ์เทมเป้ที่มีค่าความแน่นเนื้อและปริมาณกลูโคซามีนสูงที่สุดคือ 319.61 gf และ 7.66 g/kg dry biomass ตามลำดับ และระยะเวลาที่ทำให้เกิดการหมักเทมเป้สมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 30°C คือ 24 ชั่วโมง

5.1.3 เทมเป้ข้าวโพดเมื่อผสมถั่วเหลืองเพิ่มขึ้นจะทำให้เทมเป้ที่ได้มีปริมาณโปรตีนสูงขึ้นเพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย และโปรตีนมีคุณภาพดีขึ้นเนื่องจากมีกรดอะมิโนที่สมดุลมากขึ้น ถั่วเหลืองที่เติมควรอยู่ในช่วง 20-60 %(อัตราส่วน 4:1 3:2 2:3)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บรรณานุกรม

กฤษฎา สัมพันธารักษ์. 2531. พืชไร่. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: ไทยวัฒนาพานิช.

ธงชัย สุวรรณลิขณน์. 2531. การพัฒนาเทมเป้จากถั่วลิสง. ปัญหาพิเศษปริญญาโท. ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นภา โล่ห์ทอง. 2537. กล้าเชื้ออาหารหมักและเทคโนโลยีการผลิต. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร: ฟันนี่.

ลาวัณย์ ไกรเดช. 2530. ผลิตภัณฑ์อาหารหมักจากถั่วลิสง. อาหาร. 17(1): 1-6.

สาธารณสุข, กระทรวง. กรมอนามัย. 2530. ตารางแสดงคุณค่าอาหารไทยในส่วนที่กินได้ 100 กรัม. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร: องค์การทหารผ่านศึก.

สาธารณสุข, กระทรวง. กรมอนามัย. 2533. ตารางแสดงคุณค่าอาหารไทยในส่วนที่กินได้ 100 กรัม. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร: องค์การทหารผ่านศึก.

สาธารณสุข, กระทรวง. กรมอนามัย. 2546. ปริมาณสารอาหารอ้างอิงที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย พ.ศ. 2546. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร: องค์การรับส่งสินค้าและพัสดุภัณฑ์.

สาธารณสุข, กระทรวง. กรมอนามัย. 2549. ข่าวโภชนาการ [online]. Available from: http://nutrition.anamai.moph.go.th/. [2006, August 17].

สุจินดา สุวรรณกิจ. 2534. การผลิตเทมเป้ถั่วลิสงระดับอุตสาหกรรมในครัวเรือน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุชาดา สังขพันธุ์. 2541. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวตังหน้าตั้งสำเร็จรูปจากเทมเป้ข้าว ถั่วลิสง และงา. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุภางค์ เรืองฉาย. 2539. การผลิตเชื้อเทมเป้ผงในระดับอุตสาหกรรมครัวเรือน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อารีย์ วรัญญูวัฒน์. 2544. ถั่วเหลือง ถั่วลิสงและละหุ่ง. กรุงเทพมหานคร: โชติวงศ์.

Aidoo, K. E., Hendry, R., and Wood, B. J. B. 1981. Estimation of fungal growth in a solid state fermentation system. European J. of Appl. Microbiol. Biotechnol. 12: 6-9.

Alfred, E. H., and Norman, N. Y. 1993. Protein Quality, Amino Acid Balance [Online]. Available from: http://www.oralchelation.com/technical/amino1.htm. [2007, May 15].

Ashenafi, M., and Busse, M. 1991. The microflora of soak water during tempeh production from various beans. J. Appl. Bact. 70: 334-338.

Berghofer, E., Grzeskowiak, N., Mundigler, N., Sentall, W. B., and Walcak, J. 1998. Antioxidative properties of faba bean-, soybean- and oat tempeh. Int. J. Food Sci. and Nutri. 49: 45-54.

Bressani, R., Elĺas, L. G., and Braham, J. E. 1966. Cottonseed Protein in Human Foods. Washington, D. C.: American Chemical Society.

Bunger, A., and Moyano, P. 2003. NaCl soaking treatment for improving the quality of French-fried potatoes. Food Res. Int. 36: 161-166.

Cochran, W. C., and Cox, G. M. 1992. Experimental Design. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons.

Cuevas-Rodriguez, E. O., Milán-Carrillo, J., Mora-Escobedo, R., Cárdenas-Velenzuela, O. G., and Reyes-Merono, C. 2003. Quality protein maize (*Zea mays* L.) tempeh flour through solid state fermentation process. Lebensm.-Wiss. u. Technol. 37: 59-67.

Cuevas-Rogrĺguez, E. O., Verdugo-Montoya, N. M., Angulo-Bejarano, P. I., Milán-Carrillo, J., Mora-Escobedo, R., Bello-Pérez, L. A., GarzÓn-Tiznado, J. A., and Reyes-Moreno, C. 2006. Nutritional properties of tempeh flour from quality protein maize (*Zea mays* L.). Lebensm.-Wiss. u. Technol. 39: 1072-1079.

Davey, C. L., Peñaloza, W., Kell, D. B., and Hedger, J. N. 1991. Real-time monitoring of the accretion of *Rhizopus oligosporus* biomass during the solid-substrate tempe fermentation. World J. Microbiol and Biotechnol. 7: 248-259.

David, I. M., and Verma, J. 1981. Modification of tempeh with the addition of Bakla. Food Technol. 16(1): 39.

Desgranges, C., Vergoignan, C., Georges, M., and Durand, A. 1991. Biomass estimation in solid state fermentation I mannual biochemical methods. Appl. Microbiol. Biotechnol. 35: 200-205.

Donald, W. W.,and Mirocha, C. J. 1977. Chitin as a measure of fungal growth in stored corn and soybean seed. Cereal Chem. 54: 466.

FAO/WHO/UNU.1981. Joint Expert Consultation: Energy and protein requirements. method for evaluating protein quality. Nutr. Rep. int. 23: 1157-1166.

FAO/WHO. 1985. Energy and protein requirements. Report of a joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation. (No authors listed) World Health Organ Tech Rep Ser. 1985;724:1-206

Egounlety, M., and Aworth, O. C. 2003. Effect of soaking, dehulling, cooking and fermentation with *Rhizopus oligosporus* on the oligosaccharides, trypsin inhibitor, phytic acid and tannin of soybean (*Glycine max* Merr.), cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) and groundbean (*Macrotyloma geocarpa* Harms). J. Food Eng. 56: 249-254..

Esters, V., Angenot, L., Brandt, V., Brandt, V., Frédérich, M., Tits, M., Nerum, C. V., Wauters, J. N., and Hubert, P. 2006. Validation of a high-performance thin layer chromatography/ densitometry method for the quantitative determination of glucosamine in a herbal dietary supplement. J. Chro. 1112: 156-164.

Feng, X. M., Eriksson, A. R. B., and Schnürer, J. 2005. Growth of lactic acid bacteria and *Rhizopus oligosporus* during barley tempeh fermentation. Int. J. Food Microbiol. 104: 249-256.

Garayo, J., and Moreira, R. 2002. Vacuum frying of potato chips. J. Food Eng. 55(2): 181-191.

Gyorgy, P., Murata, K., and Ikehata, H. 1964. Antioxidants isolated from Fermented Soybeans (Tempeh). Nature. 203: 870 – 872.

Handoyo, T., and Morita, N. 2006. Structural and functional properties of fermenter soybean (tempeh) by using *Rhizopus oligosporus*. Int. J. Food Prop. 9(2): 347-355.

Han, B-Z., and Nout, R. M. J. 2000. Effect of temperature, water activity and gas atmosphere on mycelial growth of tempe fungi *Rhizopus microsporus* var. *microsporus* and *R. micorsporus* var. *oligosporus*. World J. Microbiol and Biotechnol. 16: 8-9.

Harper, A.E. and Yoshimura, N.N. 1993. Protein quality, amino acid balance, utilization, and evaluation of diets containing amino acids as therapeutic agents. Nutrition. 9(5):460-469.

Hedger, J. N. 1982. Production of tempe, and Indonesian fermented food. Wales: The Society for General Microbiology.

Hesseltine, C. W. 1965. A millennium of fungi, food and fermentation. Mycologia. 57: 149-197.

Jurus, A. M., and Sundberg, W. J. 1976. Penetration of *Rhizopus oligosporus* into soybeans tempeh. Appl. and Environ. Microbiol. 32: 284-287.

Katz, E. E., and Labuza, T. P. 1981. Effect of water activity on the sensory crispness and mechanical deformation of snack food products. J. Food Sci. 46: 403-409.

Khall, A. H. 1999. Quality of French fried potatoes as influenced by coating with hydrocolloids. Food Chem. 66:201-214.

Kiers, J. L., Nout, R. M. J., and Rombouts, F. M. 2000. In vitro digestibility of processed and fermented soya bean, cowpea and maize. J. Sci. Food and Agric. 80(9): 1325-1331.

Klus, K.,and Barz, W. 1998. Formation of polyhydroxylated isoflavones from the isoflavones genistein and biochanin a by bacteria isolated from tempe. Phytochemistry. 47: 1045-1048.

Krokida, M. K., Oreopolou, V., Maroulis, Z. B., and Marinos-Kouris, D. 2001. Deep fat frying of potato strip-quality issues. Drying Technol. 19: 897-935.

Kronenberg, H. G., and Hang, Y. D. 1985. A research note: A puncture testing method for mornitoring solid substrate fermentation. J. of Food Sci. 50: 539-540.

Liem, I. T. H., Steinkraus, K. H., and Cronk, T. C. 1977. Production of vitamin B-12 in *tempeh*, a fermented soybean food. Appl. and Environ. Microbiol. 34: 773-776.

Lim, G., Tan, T. K., and Rahim, N. A. 1987. Variations in amylase protease activities among Rhizopus isolates. World J. Microbiol. And Biotechnol. 3(3): 319-322.

Liu, K. 1999. Fermented oriental soyfoods. In Liu, K. Soybeans: Chemistry, Technology and Utilization, Chapman and Hall: New York.

Michell, D. A., Doelle, H. W., and Greenfield, P. F. 1988. Improve growth of *Rhizopus oligosporus* on a model solid substrate. Biotechnol. Letters. 10(7): 497-502.

Milto, O., Yayoi, O., and Nobuko, O. 2004. Production of hydrolase by a tempeh manufacturing fungus, *Rhizopus oligosporus*. Wayo Joshi Daigaku Kiyo. Kaseikeihen. 44: 147-158.

Mugula, J. K., and Lyimo, M. 2000. Evaluation of the nutritional quality and acceptability of sorghum-based tempe as potential weaning foods in Tanzania. Int. J. Food Sci. and Nutri. 51: 269-277.

Murata, K. Ikehata, H., and Miyamoto, T. 1967. Studies on the nutrition value of tempeh. J. Food Sci. 32: 580-585.

Nakajima, N., Nozaki, N., Ishihara, K., Ishikawa, A., and Tsuji, H. 2005. Analysis of isoflavone content in tempeh, a fermented soybean, and preparation of a new isoflavone-enriched tempeh. J. Biosci. and Bioeng. 100: 685-687.

Nout, M. J. R., and Rombouts, F. M. 1990. A review Recent developments in tempe research. J. Appl. Bacteriol. 69: 609-633.

Nout, R. M. J., and Han, B.-Z. 2000. Effect of temperature, water activity and gas atmosphere on mycelial growth of tempe fungi *Rhizopus microsporus* var. *microsporus* and *R. microsporus* var. *oligosporus*. Abstract. World J. Microbiol. and Biotechnol. 16: 8-9.

Nowak, J., and Szebiotko, K. 1992. Some biochemical changes during soybean and pea tempeh fermentation. Food Microbiol. 9(1): 37-43.

Paresdes-López, O., Harry, G.and Montes-Rivera, R. 1987. Development of a fermentation procedure to produce a tempeh–an Indonesian ferment prods.Food Res. 25: 777–781.

Paresdes-Lopez, O., Harry, G. and Gonzalez-Castaneda, J. 1990. Sensory evaluation of tempeh produced by fermentation of commonbeans. J. Food Sci. 55(1): 123-126.

Pedreschi, F., and Moyano, P. 2007. Effect of pre-drying on texture and oil uptake of potato chips. LWT. 38: 599-604.

Reyes-Moreno, C., Romero-Urias, C., Milian-Carrillo, J., Valdez-Torres, B., and Zarate-Marquez, E. 2000. Optimization of the solid state fermentation process to optain tempeh from hardend chickpeas (*Cicer arietinum* L.). Plant Foods for Human Nutri. 55(3): 219-228.

Ride, J. P., and Drysdale, R. B. 1971. A chemical method for estimating *Fusarium oxysporum F. lycopersici* in infected tomato plants. Physio. Plant Pathology. 1: 409-420.

Ride, J. P., and Drysade, R. B. 1972. A chemical method for estimating *Fusarium oxysporum F. lycopersici* in infected tomato plants. Physio. Plant Pathology. 2: 7-11.

Robinson, R. J., and Kao, C. 1977. Tempeh and miso from chickpea, horse bean, and soybean. Cereal Chem. 54: 1192-1197.

Ruiz-Teran, F. and Owens, J. D. 1996. Chemical and enzymatic changes during the fermentation of bacteria-free soya bean tempe. J. the Sci. Food and Agric. 71: 523-530.

Shurtleff, W., and Aoyagi, A. 1976. The book of tempeh. Los Angeles: Happer & Row.

Sparringa, R. A., and Owens, J. D. 1999. Glucosamine content of tempe mould,*Rhizopus oligosporus*. Int. J. Food Microbiol. 47: 153-157.

Steinkraus, K. H. 1983. Handbook of Indigenous Fermented Foods. New York: Marcel Dekker.

Steinkraus, K. H. 1996. Handbook of Indigeneous Fermented Food. 2nd ed. New York: Marcel Dekker

Tsuji, A., Kinoshita, T., and Hoshino, M. 1969. Analytical chemical studies on amino sugars II. Chem. and Pharm. Bulletin. 17: 1505-1510.

Vaidehi, M. P., Annapurna, M. L., and Vishwanath, N. R. 1985. Nutritional and sensory evaluation of tempeh products made with soybean, ground-nut, and sunflower-seed combinations. Food and Nutri. Bulletin. 7(1):54-57.

Van der Riet, W. B., Weight, A. W., Cilliers, J. J. L., and Dentel, J. M. 1987. Food chemical analysis of tempeh prepared from South African-grown soybeans. Food Chem. 25: 197-206.

Varsakas, T. 1998. *Rhizopus oligosporus* myceliam penetration and enzyme diffusion in soya bean tempeh. Proc. Biochem. 33: 741-747.

Wagenknecht, A.C., Mattick, L.R., Lewin, L.M., Hand, D.B., and Streinkraus, K.H. 1961. Changes in soybean lipids during tempeh fermentation. J. Food Sci. 26(4): 373-376.

Wang, H. L., and Hesseltine, C. W. 1966. Wheat tempeh. Cereal Chem. 43: 563-570.

Wang, H. L., Ruttle, D. L., and Hesseltine, C. W. 1969. Protein quality of wheat and soybeans after *Rhizopus oligosporus* fermentation. J. Nutri. 96(1): 109-114.

Wang, H. L., Swain, E. W., and Hesseltine, C. W. 1975. Mass production of *Rhizopus oligosporus* spores and their application in tempeh fermentation. J. Food Sci. 40: 168-170.

White, P. J., and Johnson, L. A. 1987. Corn: Chemistry and Technology. 2nd ed. USA: American Association of Cereal Chemists.

Wiesel, I., Rehm, H. J., and Bisping, B. 1997. Improvement of tempe fermentations by application of mixed cultures consisting of *Rhizopus* sp. and bacterial strains. J. Appl. Microbiol. Biotech. 47: 218-225.

William, R., and Mittal, G. S. 1999. Low-fat fried foods with edible coatings: modeling and simulation. J.Food Sci. 64: 317-322.

Winarno, F.G., and Reddy, N.R. 1986. Tempe. In Reddy, N. R., Pierson, M. D. and Salunkhe, D.K. Legume-based fermented foods. Indonesia: Indonesia Institute of Sciences.

Wright, R. C., Rose, D. H., and Whiteman, T. M. 1954. Agriculture Hand Book No. 66. . New York: U.S. Department of Agriculture.

Youch, M. H., Darvingas, G. V., Rigether, F. J., and Muller, H. W. 1979. Process for producing a snack food containing tempeh [Online]. Available from http://nutrition.anamai.moph.go.th/. [2006, August 17].

ภาคผนวก ก

ก.1 วิธีการใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Instron texture analyzer, รุ่น 5565P9835)

การเตรียมตัวอย่าง

1.1 วัดความแน่นเนื้อ (firmness)

หั่นเทมเป้ผสมข้าวโพดขนาด 2.0 x 2.0 x 2.0 เซนติเมตร แล้ววัดค่าความแน่นเนื้อ จากการเจริญของเชื้อรา โดยวัดแบบ puncture test 70% ด้วยหัววัดรูปทรงกระบอกปลายตัด (cylinder probe) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร ระยะห่างจากตัวอย่าง 3 เซนติเมตร ด้วยความเร็ว 200 มิลลิเมตร/นาที (Kronenberg และ Hang,1985) วิเคราะห์ตัวอย่างละ 15 ซ้ำ

วิธีวัดค่าเนื้อสัมผัส

1. เปิดเครื่อง แล้วเข้าสู่โปรแกรม merlin โดย double click ที่ icon ของ merlin
2. เลือก user name หรือ method ที่ต้องการโดย double click
3. ติดตั้งหัวกดเข้ากับ load cell ของเครื่อง พร้อมทั้งติดตั้งแท่นวางและตุ้มน้ำหนักขนาด 5 kN แล้ว click ที่ calibrate เครื่องจะขึ้นว่า remove load from load cell จากนั้น click OK. รอให้เครื่องแสดงข้อความว่า calibrate completed จากนั้น click ปุ่ม balance แล้ว click ที่ done รอจนเครื่องกลับไปสู่หน้าจอปกติ
4. กดปุ่ม down เพื่อเลื่อนตำแหน่งของหัววัดให้มาแตะกับแท่นวาง จากนั้นกดปุ่ม reset GL จากนั้นกดปุ่ม up เพื่อเลื่อนหัววัดขึ้นไปให้ห่างจากแท่นวางตามต้องการ (มิลลิเมตร) จากนั้นกดปุ่ม reset GL
5. กดปุ่ม start test เพื่อเลื่อนหัวเจาะลงมาที่ตัวอย่างจนกระทั่งเจาะทะลุผ่านชิ้นตัวอย่าง จะได้กราฟ force-deformation เพื่อวิเคราะห์ค่า maximum forces คือค่าความแน่นเนื้อ (gf) ของเทมเป้ผสมข้าวโพด

ก.2 การวิเคราะห์กลูโคซามีน

การเตรียมตัวอย่าง ตามวิธีของ Ruiz- Teran and Owens (1996)

นำตัวอย่างที่สกัดไขมัน (defatted meal) ตามวิธีข้อ ก.3 มาอบแห้งที่ 100°C เวลา 4 ชั่วโมงและเก็บใน desiccator ที่อุณหภูมิห้อง เพื่อไว้ใช้วิเคราะห์ต่อไป

การเตรียมสารเคมี

1. สารละลาย potassium hydroxide (KOH) เข้มข้น โดยชั่ง KOH 120 กรัม ละลายในน้ำกลั่นปริมาตร 100 มิลลิลิตร แล้วเก็บที่ 4°C
2. สารละลาย ethanol เข้มข้น 75% (v/v) โดยผสม ethanol ปริมาตร 750 มิลลิลิตร ในน้ำกลั่นปริมาตร 250 มิลลิลิตร แล้วเก็บที่ 4°C
3. สารละลาย ethanol เข้มข้น 40% (v/v) โดยผสม ethanol ปริมาตร 400 มิลลิลิตร ในน้ำกลั่นปริมาตร 600 มิลลิลิตร แล้วเก็บที่ 4°C

4. สารละลาย sodium nitrite ($NaNO_2$) เข้มข้น 5% (w/v) โดยชั่ง $NaNO_2$ 0.05 กรัม ละลายในน้ำกลั่นปริมาตร 10 มิลลิลิตร ต้องเตรียมใหม่ก่อนใช้ทุกครั้ง

5. สารละลาย potassium hydrogen sulphate ($KHSO_4$) เข้มข้น 5% (w/v) โดยชั่ง $KHSO_4$ 5 กรัม ละลายในน้ำกลั่นปริมาตร 100 มิลลิลิตร ต้องเตรียมใหม่ก่อนใช้ทุกครั้ง

6. สารละลาย ammonium sulfamate ($NH_4SO_3NH_2$) เข้มข้น 12.5% (w/v) โดยชั่ง $NH_4SO_3NH_2$ 12.5 กรัม ละลาย ในน้ำกลั่นปริมาตร 100 มิลลิลิตร ต้องเตรียมใหม่ก่อนใช้ทุกครั้ง

7. สารละลาย 3-methyl-2-benzothaizolone hydrazone hydrochloride (MBTH) เข้มข้น 0.5% (w/v) โดยชั่ง MBTH 0.5 กรัม ละลายในน้ำกลั่นปริมาตร 100 มิลลิลิตร แล้วเก็บที่ 4°C ต้องเตรียมใหม่ก่อนใช้ทุกครั้ง

8. สารละลาย ferric chloride ($FeCl_3$) เข้มข้น 0.5% โดยชั่ง $FeCl_3.6H_2O$ 0.83 กรัม ละลายในน้ำกลั่นปริมาตร 100 มิลลิลิตร แล้วเก็บที่ 4°C ไว้ใช้ได้ 3 วัน

วิธีการทดลอง

1. **ขั้นตอนการเปลี่ยนไคโตซานเป็นกลูโคซามีน** ตามวิธีของ Ruiz- Teran and Owens (1996)

1.1 ชั่งตัวอย่าง 0.1 กรัม แล้วเติมสารละลาย KOH เข้มข้น ปริมาตร 3 มิลลิลิตร แล้วให้ความร้อนที่ 130°C เวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง (30°C)

1.2 สารละลาย ethanol เข้มข้น 75% (v/v) ปริมาตร 8 มิลลิลิตร แล้วทิ้งให้เย็นในอ่างน้ำแข็งเป็นเวลา 15 นาที

1.3 นำไปปั่นเหวี่ยงให้ตกตะกอนที่อุณหภูมิ 2°C ด้วยความเร็ว 15000 x g เวลา 10 นาที แล้วทิ้งส่วนที่เป็นสารละลาย

1.4 ล้างตะกอนด้วยสารละลาย ethanol เข้มข้น 40% (v/v) ปริมาตร 8 มิลลิลิตร โดย resuspended แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงให้ตกตะกอนอีกครั้งที่อุณหภูมิ 2°C ด้วยความเร็ว 15000 x g เวลา 10 นาที ทิ้งส่วนที่เป็นสารละลาย

1.5 ล้างตัวทำละลายออกจากตะกอนด้วยน้ำกลั่นเย็น (2°C) ปริมาตร 8 มิลลิลิตร จำนวน 2 ครั้ง ด้วยการปั่นเหวี่ยงและครั้งสุดท้ายให้เติมน้ำกลั่นปริมาตร 3 มิลลิลิตร เพื่อทำให้เป็นสารแขวนลอย (suspension)

2. **ขั้นตอนการตรวจวัดปริมาณกลูโคซามีนด้วยวิธี** colorimetric ตามวิธีของ Ride and Drysdale (1972)

2.1 เก็บตัวอย่างที่ได้จากข้อ 1.5 ปริมาตร 3 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง (สำหรับ blank ใช้น้ำกลั่นแทนตัวอย่าง)

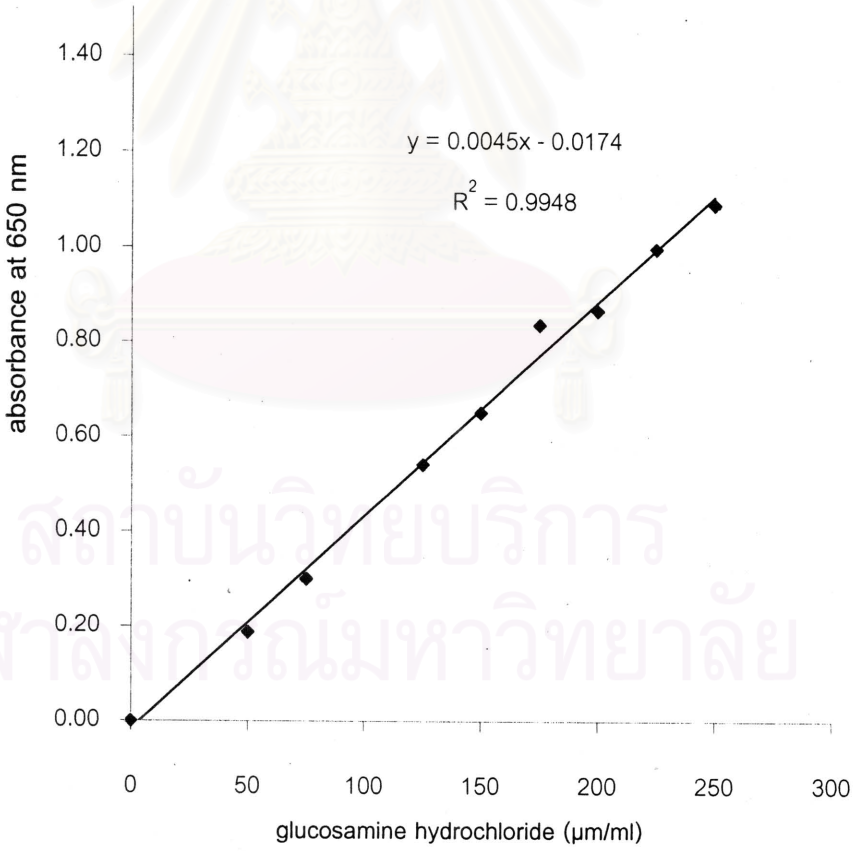
2.2 เติมสารละลาย $NaNO_2$ เข้มข้น 5% (w/v) ปริมาตร 3 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลาย $KHSO_4$ เข้มข้น 5 % (w/v) ปริมาตร 3 มิลลิลิตร จากนั้นเขย่า 15 นาที แล้วปั่นเหวี่ยงที่อุณหภูมิ 2°C ด้วยความเร็ว 15000 x g เวลา 2 นาที

2.3 ปิเปตส่วนที่เป็นสารละลายใสปริมาตร 3 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง แล้วเติมสารละลาย $NH_4SO_3NH_2$ เข้มข้น 12.5 % (w/v) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าเป็นเวลา 5 นาที แล้วเติมสารละลาย MBTH เข้มข้น 0.5% (w/v) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร

2.4 นำไปให้ความร้อนใน water bath 3 นาที ทิ้งให้เย็นแล้วเติม 0.5 % $FeCl_3$ 1 มิลลิลิตร

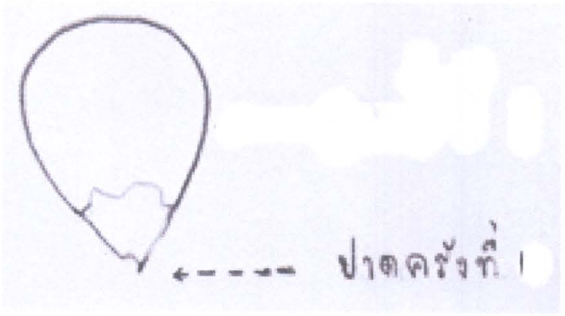
2.5 วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 650 nm. เทียบกับ blank

2.6 นำผลของการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ได้เทียบกับกราฟมาตรฐาน โดยเตรียมสารละลายมาตรฐาน glucosamine hydrochloride ความเข้มข้น 25-250 µg/ml แล้วทำตามขั้นตอนข้อ 2.1-2.5 นำผลการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาสร้างกราฟมาตรฐาน

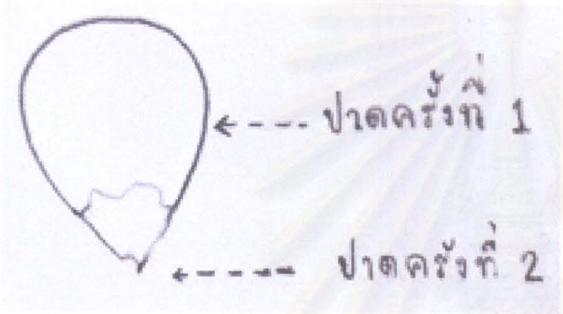


กราฟมาตรฐาน glucosamine hydrochloride

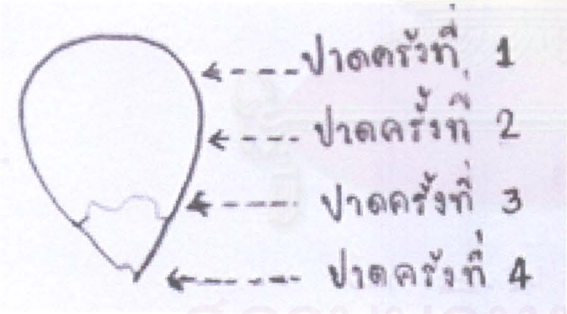
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

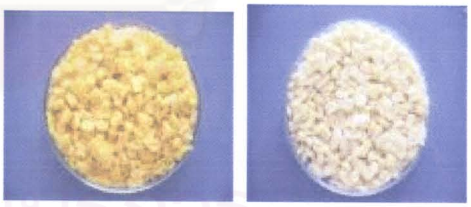


ขนาดเต็มเมล็ด



ขนาด ½ เมล็ด





ขนาด ¼ เมล็ด

วิธีการฝานเพื่อแปรขนาดเมล็ดข้าวโพดหวานและข้าวโพดข้าวเหนียวเป็น เต็มเมล็ด ½ เมล็ดและ¼ เมล็ด

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการย่อย เรื่อง
มอยส์เจอร์ซอร์พชันไอโซเธอร์มของผงสาหร่ายไกปรุงรสโรยข้าว

ในโครงการวิจัย เรื่อง

การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารจากวัตถุดิบท้องถิ่นของจังหวัดน่าน

ปีงบประมาณ 2549

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดย

อ. อินทาวุธ สรรพวรสถิตย์

อ.ดร. ชาลิดา บรมพิชัยชาติกุล

ผศ.ดร. วรภา คงเป็นสุข

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสภาวะการเก็บรักษาผงสาหร่ายปรุงรสโรยข้าวที่เหมาะสมที่สุด โดยหามอยส์เจอร์ซอร์พชันไอโซเธอร์มจากการทดลองหาค่าความชื้นสมดุลของผงสาหร่ายปรุงรสที่อุณหภูมิ 15 และ 35°C ในช่วงความชื้นสัมพัทธ์ 11-95% เมื่อเปรียบเทียบมอยส์เจอร์ซอร์พชันไอโซเธอร์มของทั้งสองอุณหภูมิพบว่าที่อุณหภูมิ 15°C ค่าความชื้นสมดุลจะสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบที่ความชื้นสัมพัทธ์เดียวกันที่อุณหภูมิ 35°C เมื่อพิจารณาโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (GAB model) พบว่าสภาวะการเก็บรักษาของผงสาหร่ายปรุงรสที่เหมาะสมที่สุดที่ 15°C คือช่วงความชื้นสัมพัทธ์ 21.79-27.25% และที่ 35°C คือช่วงความชื้นสัมพัทธ์ 36.10-44.57% เมื่อทดลองวัดค่าสีของผงสาหร่ายที่บรรจุอยู่ในสารละลายเกลืออิ่มตัว 4 ชนิดคือ LiCl (11%) $MgCl_2$ (33%) NaBr (58%) และ NaCl (75%) ทุกสัปดาห์เป็นเวลา 10 สัปดาห์ พบว่าผงสาหร่ายที่เก็บที่ 15 และ 35°C มีการเปลี่ยนแปลงค่าความแตกต่างของสีขณะวัดเทียบกับสีของผงสาหร่ายเริ่มต้น (ΔE) ในทิศทางเดียวกันคือเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้นค่า ΔE มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และที่ความชื้นสัมพัทธ์สูง ค่า ΔE จะสูงกว่าที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า สำหรับค่าสีแดง-สีเขียว (a) พบว่า ค่า a ของผงสาหร่ายที่เก็บทั้งที่ความชื้นสัมพัทธ์สูงและต่ำมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเก็บเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Abstract

The objective of this study was to find an optimum storage condition for Furikake rice seasoning from fresh water algae *Cladophora glomerata* Kutzing. The moisture sorption isotherms were determined at 15°C and 35°C and at the equilibrium relative humidity (ERH) range of 11-95%. The results showed that equilibrium moisture content (EMC) of the product at 15°C was higher than the EMC measured at 35°C. By using GAB model, the optimum storage condition of the product at 15°C and at 35°C was at the equilibrium relative humidity ranges of 21.79-27.25% and 36.10-44.57%, respectively. The colour of product was weekly measured for 10 weeks from selected equilibrium relative humidity (ERH) conditions i.e. LiCl (11%), $MgCl_2$ (33%), NaBr (58%) and NaCl (75%). It is found that the colour change (ΔE) of the product stored at 15 and 35°C was in the same way. The ΔE was significantly increased ($p \leq 0.05$) as the storage time increased and ΔE at high ERH was higher than ΔE at low ERH. The redness-greenness value (a) of the product at high and low ERH was also increased.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญเรื่อง

	หน้า
บทนำ	158
วารสารปริทัศน์	159 – 170
วิธีการดำเนินงานวิจัย	171 – 175
ผลการทดลองและวิจารณ์	176 – 183
สรุปผลการทดลอง	184
บรรณานุกรม	185 – 186
ภาคผนวก ก.	187
ภาคผนวก ข.	188
ภาคผนวก ค.	188

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายไกจากลำน้ำน่าน	162
2	ปริมาณรงควัตถุที่สำคัญในสาหร่ายไก	163
3	ค่าคงที่ใน GAB model ของผงสาหร่ายไกปรุงรสโรยข้าว	177
4	ความชื้นสมดุล (wb และ db) และ RSS ที่ 15°C โดยใช้ GAB model	178
5	ความชื้นสมดุล (wb และ db) และ RSS ที่ 35°C โดยใช้ GAB model	178
6	ค่าความแตกต่างของสี (ΔE) ของผงสาหร่ายไกปรุงรสโรยข้าวที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 15°C เป็นเวลา 10 สัปดาห์	180
7	ค่าความแตกต่างของสี (ΔE) ของผงสาหร่ายไกปรุงรสโรยข้าวที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 35°C เป็นเวลา 10 สัปดาห์	181
8	ค่า a ของผงสาหร่ายไกปรุงรสโรยข้าวที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 15°C เป็นเวลา 10 สัปดาห์	182
9	ค่า a ของผงสาหร่ายไกปรุงรสโรยข้าวที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 35°C เป็นเวลา 10 สัปดาห์	183

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
1	มอยส์เจอร์ซอร์พชันไอโซเธอร์มของอาหารทั่วไปที่แสดงถึงช่วงการดูดและคายความชื้น	164
2	มอยส์เจอร์ซอร์พชันไอโซเธอร์มของช่วงการดูดความชื้น (adsorption) 5 แบบ	164
3	เส้นโค้งแบบ sigmoid ของมอยส์เจอร์ซอร์พชันไอโซเธอร์มในอาหารส่วนใหญ่	165
4	มอยส์เจอร์ซอร์พชันไอโซเธอร์มของถั่วเขียวที่ 20 30 40 และ 50 °C	166
5	มอยส์เจอร์ซอร์พชันไอโซเธอร์มของผงสาหร่ายปรุงรสโรยข้าวที่อุณหภูมิ15 และ 35°C	176
6	มอยส์เจอร์ซอร์พชันไอโซเธอร์มของผงสาหร่ายปรุงรสโรยข้าวที่อุณหภูมิ15 และ 35°C โดยใช้ GAB model	179

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทนำ

สาหร่ายเป็นพืชที่พบมากในประเทศไทยทั้งในแหล่งน้ำจืดและน้ำเค็ม ในปัจจุบันสาหร่ายได้รับความนิยม นำมาบริโภคเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยเฉพาะมีปริมาณโปรตีนและใยอาหารค่อนข้างสูง แต่สาหร่ายที่นำมาบริโภคส่วนใหญ่เป็นสาหร่ายทะเลที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ จึงควรมีการวิจัยและศึกษาประโยชน์สาหร่ายที่มีอยู่ในประเทศไทย

งานวิจัยนี้เป็นงานต่อเนื่องจากโครงการพัฒนาผลิตภัณฑ์ผงสาหร่ายปรุงรสโรยข้าว ในโครงการวิจัยเรื่องการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารจากวัตถุดิบท้องถิ่นของจังหวัดน่าน ปีงบประมาณ 2548 เพื่อนำสาหร่ายไก ซึ่งเป็นสาหร่ายน้ำจืดที่พบมากในลำน้ำน่านมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหาร เพื่อเพิ่มมูลค่าของวัตถุดิบและเพิ่มรายได้ให้กับชาวบ้าน และเป็นทางเลือกใหม่ให้กับผู้บริโภคอีกด้วย แต่เนื่องจากผลิตภัณฑ์ผงสาหร่ายไกปรุงรสโรยข้าวที่พัฒนาขึ้นนั้นมีลักษณะค่อนข้างแห้ง เมื่อเก็บในสภาวะที่ไม่เหมาะสม เช่น ที่ที่มีความชื้นสูง อาจส่งผลทำให้ผลิตภัณฑ์เสื่อมคุณภาพได้อย่างรวดเร็วและมีรสชาติที่ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค จึงมีความจำเป็นที่จะศึกษาการเลือกสภาวะการเก็บรักษาผงสาหร่ายไกปรุงรสโรยข้าวที่เหมาะสมเพื่อให้สามารถเก็บรักษาให้ได้นานที่สุดโดยที่ยังคงลักษณะเดิมมากที่สุด และอาจนำไปประยุกต์ใช้ในการเลือกบรรจุภัณฑ์ให้เหมาะสมด้วย

โครงงานนี้จึงมีจุดมุ่งหมายในการหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการเก็บรักษาผงสาหร่ายปรุงรสโรยข้าว โดยศึกษามอยส์เจอร์ซอร์พชันไอโซเธอร์มของผงสาหร่ายปรุงรสโรยข้าว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วารสารปริทัศน์

สาหร่ายไก

สาหร่ายไกเป็นสาหร่ายน้ำจืด จัดเป็นสาหร่ายสีเขียว (green algae) ในดิวิชันคลอโรไฟตา (Division Chlorophyta) สามารถจำแนกได้ 6 ชนิด ได้แก่ *Cladophora glomerata* Kutzing, *Cladophora* sp.1, *Microspora floccosa* (Vaucher) Thuret, *Microspora pachyderma* (Will) Lagerheim, *Microspora* sp.1, *Microspora* sp.2

สาหร่ายในดิวิชันนี้มีสีเขียวเหมือนหญ้า มีรงควัตถุชนิดเดียวกับรงควัตถุที่พบในพืชชั้นสูงคือ คลอโรฟิลล์เอ (Chlorophyll-a) คลอโรฟิลล์บี (Chlorophyll-b) แคโรทีน (carotene) และแซนโธฟิลล์ (xanthophyll) สาหร่ายสีเขียวเป็นพืชที่พบทั่วไปทั้งในน้ำจืด น้ำกร่อย น้ำเค็ม หรือแม้แต่บนดินก็สามารถเจริญเติบโตได้ มีตั้งแต่ขนาดเล็กมากซึ่งประกอบด้วยเซลล์เพียงเซลล์เดียวไปจนถึงขนาดใหญ่ ซึ่งมีลักษณะเป็นต้นหรือธัลลัส (thallus) พวกที่มีขนาดเล็กมักอยู่ในลักษณะเป็นแพลงค์ตอน ส่วนพวกที่มีขนาดใหญ่มักมีที่ยึดเกาะแบบเบนติก (benthic form) หรือ อีพิไฟต์ (epiphytic form) สาหร่ายในดิวิชันนี้สามารถจำแนกได้เพียงคลาส (class) เดียวคือ Class Chlorophyceae โดยแบ่งได้เป็น 13 อันดับ (order) ดังนี้

Order 1 Volvocales
Order 2 Tetrasporales
Order 3 Chlorococcales
Order 4 Chlorellales
Order 5 Ulotrichales
Order 6 Chaetophorales
Order 7 Oedogoniales
Order 8 Ulvales
Order 9 Cladophorales
Order 10 Caulerpales
Order 11 Siphonocladales
Order 12 Dasycladales
Order 13 Zygnematales

สาหร่ายไกทั้ง 6 ชนิดด้านบนจัดอยู่ในอันดับ Ulotrichales และ Siphonocladales โดยในอันดับ Ulotrichales พบสาหร่ายไก 2 ชนิด คือ *Cladophora glomerata* Kutzing และ *Cladophora* sp.1 ส่วนอันดับ Siphonocladales พบสาหร่ายไก 4 ชนิด คือ *Microspora floccosa* (Vaucher) Thuret, *Microspora pachyderma* (Will) Lagerheim, *Microspora* sp.1และ *Miccrospora* sp.2

กาญจนภาชน์ ลิ่วมโนมนต์ (2527) ได้กล่าวถึงลักษณะสาหร่ายในทั้ง 2 อันดับไว้ว่า

อันดับที่ 5: Ulotrichales

สาหร่ายในอันดับนี้เป็นพวกที่มีสายไม่แตกแขนง มีนิวเคลียสเพียง 1 นิวเคลียส มีหลายสกุลที่สร้างซูโดสปอร์ (pseudospore) ขึ้นอยู่ในน้ำจืด น้ำเค็ม หรือบนดินและที่ชื้นแฉะ บางสกุลเป็นแพลงก์ตอนตลอดชีวิต แต่บางสกุลมีส่วนที่คล้ายราก (holdfast) สำหรับยึดเกาะ โดยเซลล์ประกอบด้วยคลอโรพลาสต์ (chloroplast) เป็นแถบข้างเซลล์หรือเป็นวงรอบเซลล์ซึ่งอาจเต็มทั้งเซลล์หรือไม่เต็ม บนคลอโรพลาสต์มีไพรีนอยด์ (pyrenoid) ตรงกลางเซลล์มีแวคิวโอล (vacuole) ขนาดใหญ่ การสืบพันธุ์เป็นได้ทั้งแบบอาศัยเพศและไม่อาศัยเพศ

อันดับที่ 11: Siphonocladales

สาหร่ายในอันดับนี้เป็นสาหร่ายที่พบเฉพาะในเขตร้อนเท่านั้น มีการแบ่งเซลล์แบบพิเศษที่เรียกว่า segregative โดยการที่โปรโตพลาสซึมแบ่งออกเป็นส่วนๆ มีขนาดต่างๆกัน รูปร่างของโปรโตพลาสซึมจะกลมและสร้างเยื่อบางๆ หุ้มไว้ต่อมาโปรโตพลาสซึมแต่ละอันจะขยายใหญ่ขึ้นจนด้านข้างมาแตะกัน และจะขยายต่อไปจนเบียดกันแน่น มีลักษณะเป็น pseudoparenchymatous tissue เช่น *Dictyosphaeria* หรือบางครั้งจะดันจนมีส่วนพองปูดออกมาที่ผิว เช่น *Siphonocladus* คลอโร-พลาสซึม (chloroplasm) มีลักษณะเป็นลอน (lobed) และจัดเรียงแบบตาข่ายไม่มีไพรีนอยด์ สืบพันธุ์โดยการสร้างเซลล์สืบพันธุ์

สำหรับสาหร่ายไกในลำน้ำน่านจะพบหลังฤดูน้ำหลากประมาณปลายเดือนตุลาคมถึงเดือนมีนาคม หรือในขณะที่สภาพของน้ำเปลี่ยนแปลงไปอันเนื่องมาจากฝนตกหรือมีปริมาณน้ำมาก สาหร่ายไกจะมีการเจริญเติบโตแพร่พันธุ์ และพบมากในบริเวณที่แม่น้ำมีสภาพเป็นหินและกรวด น้ำไหลใสสะอาด ตื้น มีความลึกระหว่าง 30-50 เซนติเมตร มักจะพบมากในบริเวณสภาพของน้ำไหลที่ใสสะอาด และมีคุณภาพน้ำที่ดีเท่านั้น ในน้ำที่สกปรก (น้ำขุ่น) หรือพื้นท้องน้ำเป็นดินทรายจะไม่พบสาหร่ายชนิดนี้ ในลำน้ำน่านจะพบสาหร่ายไกเจริญเติบโตเป็นแผงเต็มพื้นที่ตั้งแต่ต้นแม่น้ำ (อำเภอทุ่งช้าง) จนถึงปลายแม่น้ำ (อำเภอเวียงสา)

ปริมาณของสาหร่ายไกในลำน้ำน่านมีความแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ ในอำเภอวังผา บริเวณบ้านดอนแก้ว จะพบสาหร่ายไกมากที่สุด โดยพบ 122.75 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตร ปัจจัยที่มีแนวโน้มต่อปริมาณสาหร่ายคือสิ่งยึดเกาะซึ่งเป็นก้อนหินบริเวณพื้นท้องน้ำ คุณภาพน้ำและปริมาณสารอาหาร

คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายไก

คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายไกวิเคราะห์โดยโครงการวิทยาศาสตร์ชีวภาพ กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ในตารางที่ 1 พบว่าสาหร่ายไกประกอบด้วยโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต 20.6 6.14 และ 31.25 กรัม ต่อน้ำหนักแห้ง 100 กรัม ตามลำดับ ที่น่าสนใจคือปริมาณ ใยอาหารซึ่งมีสูงถึง 21.2 กรัม ต่อน้ำหนักแห้ง 100 กรัม ถือว่ามีปริมาณค่อนข้างมากเมื่อเทียบกับผัก ทั่วไป พบวิตามินซีสูง นอกจากนั้นยังพบวิตามินบี 2 กรดโฟลิก (folic acid) และกรดแพนโธทินิก (panthotinic acid) ส่วนเกลือแร่พบแคลเซียม โซเดียม แมกนีเซียม และเหล็กค่อนข้างสูง ปริมาณรงควัตถุในสาหร่ายไกพบว่ามีคลอโรฟิลล์ บี มากที่สุด (ตารางที่ 2)

ผลิตภัณฑ์จากสาหร่ายไก

จากความเชื่อในภูมิปัญญาท้องถิ่น สาหร่ายไกมีประโยชน์มากมายทั้งทางด้านโภชนาการและเป็นยาอายุวัฒนะรักษาโรคต่างๆ ได้ รับประทานแล้วทำร่างกายกระชุ่มกระชวย ชะลอความแก่ช่วยให้ผมดกดำ ทั้งยังเป็นสมุนไพรเพื่อรักษาโรคและบรรเทาอาการต่างๆ เช่น รักษาโรคมะเร็ง ช่วยระบายความร้อน รักษาพิษจากแผลสดอันเนื่องจากของมีคม เป็นต้น จากคุณประโยชน์ที่กล่าวมานี้ทำให้มีการบริโภคสาหร่ายไกกันอย่างแพร่หลาย และมีการนำสาหร่ายไกไปประยุกต์เป็นอาหารหลายชนิด เช่น ไกยี (สาหร่ายหยอง) คั่วไก ข้าวแคบไก สาหร่ายไกแผ่นกรอบปรุงรส และข้าวเหนียวอบกรอบผสมสาหร่ายไก (ฝ่ายวิจัยและฝึกอบรมมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตน่าน, 2544) และในในโครงการวิจัย เรื่องการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารจากวัตถุดิบท้องถิ่นของจังหวัดน่าน ปีงบประมาณ 2548 คณะผู้วิจัยได้ศึกษาพัฒนาผลิตภัณฑ์ผงสาหร่ายปรุงรสโรยข้าวจากสาหร่ายไกเพื่อเพิ่มมูลค่าของวัตถุดิบ และเป็นทางเลือกใหม่ให้กับผู้บริโภค

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 1 คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายไกจากลำน้ำน่าน

ชนิดสารอาหารที่ศึกษา	ปริมาณที่พบ
สารอาหารพื้นฐาน (กรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง)	
ความชื้น	6.61
ไขมัน	6.14
โปรตีน (N×6.25)	20.6
กาก (ใยอาหาร)	21.2
เถ้า	14.2
คาร์โบไฮเดรต	31.25
ค่าพลังงานความร้อน (กิโลแคลอรี่/100กรัมน้ำหนักแห้ง)	262.7
วิตามิน (ไมโครกรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง)	
วิตามินA	ไม่พบ
วิตามินซี (มิลลิกรัม/10กรัมน้ำหนักแห้ง)	21.6
วิตามินบี1	87.3
วิตามินบี2	355.6
กรดโฟลิก	128.2
กรดแพนโธทินิก	349.3
ไนอะซิน (มิลลิกรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง)	4.59
เกลือแร่ (มิลลิกรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง)	
แคลเซียม	768.0
โซเดียม	474.3
โพแทสเซียม (กรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง)	2.61
คลอไรด์ (กรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง)	1.04
แมกนีเซียม	194.8
แมงกานีส	21.2
เหล็ก	195.2
ทองแดง (ไมโครกรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง)	250.0
สังกะสี	1.13
ซีลิเนียม (ไมโครกรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง)	9.60

ที่มา : กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี อ้างอิงโดย ยุวดี พีรพรพิศาล และคณะ (2547)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2 ปริมาณรงควัตถุที่สำคัญในสาหร่ายไก

ปริมาณรงควัตถุ	
คลอโรฟิลล์ เอ	3.75
คลอโรฟิลล์ บี	18.45
แคโรทีนอยด์	1.84
ไฟโคไซยานิน	ไม่มี
อัลโลไฟโคไซยานิน	ไม่มี

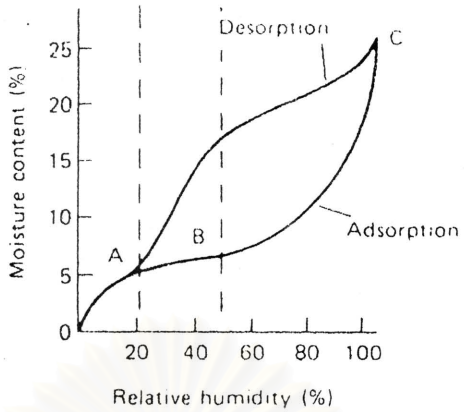
ที่มา : กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี อ้างอิงโดย ยุวดี พีรพรพิศาล และคณะ (2547)

มอยส์เจอร์ซอร์พชันไอโซเธอร์ม (Moisture Sorption Isotherm)

Labuza (1968) อธิบายว่ามอยส์เจอร์ซอร์พชันไอโซเธอร์ม คือ กราฟแสดงปริมาณน้ำที่ถูกดูดซับไว้ ซึ่งเป็นฟังก์ชันของความชื้นสัมพัทธ์กับปริมาณน้ำที่จุดสมดุลที่อุณหภูมิคงที่หนึ่งๆ มีประโยชน์ในการตรวจสอบความเสถียรของผลิตภัณฑ์อบแห้งด้านต่างๆ เช่น ทางเคมี เม็ดสี เนื้อสัมผัส ทางชีวภาพ (Rahman, 1995) รวมถึงการออกแบบกระบวนการผลิต การเลือกส่วนประกอบของอาหารและบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม

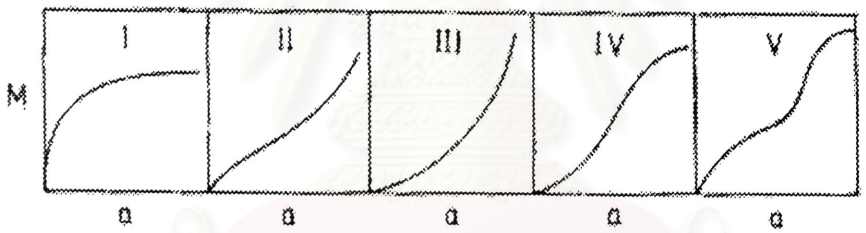
มอยส์เจอร์ซอร์พชันไอโซเธอร์ม แบ่งได้เป็น 2 ส่วน ส่วนแรกคือการดูดความชื้น (adsorption) ส่วนที่สองคือการคายความชื้น (desorption) ช่วงการดูดความชื้นหาได้โดยการนำตัวอย่างที่แห้งอย่างสมบูรณ์ ไปวางในที่ที่มีความชื้นสัมพัทธ์ที่แตกต่างกันหลายค่าและวัดปริมาณความชื้นสมดุลของตัวอย่าง ส่วนช่วงการคายความชื้นหาได้โดยการนำตัวอย่างที่มีความชื้นสูง ไปวางไว้ในที่ที่มีความชื้นสัมพัทธ์ที่แตกต่างกันหลายค่าเช่นกันและวัดปริมาณความชื้นสมดุลของตัวอย่าง ดังรูปที่ 1 ผลที่ได้ก็คือเส้นพฤติกรรมการดูดและคายความชื้น ที่เตรียมได้จากทั้ง 2 วิธีนี้ไม่สามารถซ้อนทับกันได้ เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า hysteresis

โดยทั่วไปที่ค่าความชื้นสัมพัทธ์หนึ่งๆ กราฟของมอยส์เจอร์ซอร์พชันไอโซเธอร์มช่วงการคายความชื้น (desorption) จะสูงกว่า ช่วงการดูดความชื้น (adsorption)



รูปที่ 1 มอยส์เจอร์ซอร์พชันไอโซเธอร์มของอาหารทั่วไปที่แสดงถึงช่วงการดูดและคายความชื้น
ที่มา: Labuza (1968)

Brunauer, Emmett and Teller (1983) แบ่งประเภทของมอยส์เจอร์ซอร์พชันไอโซเธอร์มช่วงการดูดความชื้น (adsorption) ไว้ 5 แบบ ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 มอยส์เจอร์ซอร์พชันไอโซเธอร์มช่วงการดูดความชื้น (adsorption) 5 แบบ

แบบที่ 1 เกิดจากการดูดซับน้ำของของแข็งที่มีรูพรุนขนาดเล็ก และขีดจำกัดของการดูดซับน้ำพิจารณาได้จากปริมาตรของรูที่น้ำผ่านเข้าไป

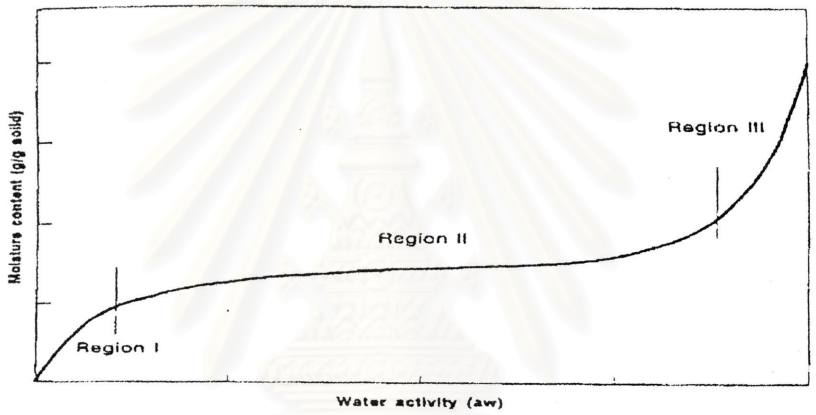
แบบที่ 2 เป็นรูปแบบการดูดซับน้ำทั่วไปของวัตถุที่มีรูพรุนและไม่มีรูพรุน ใน isotherm รูปแบบนี้แสดงถึงการดูดซับน้ำอย่างไม่จำกัดของผิววัตถุ

แบบที่ 3 เส้น isotherm มีความโค้งนูนตามค่า P/P_o ไม่เป็นรูปแบบที่พบเห็นได้ทั่วไป

แบบที่ 4 เกิดจากการมีอยู่ของ hysteresis loop ซึ่งเกี่ยวข้องกับการควบแน่นของ capillary ที่เกิดขึ้นในรูขนาดกลางของวัตถุ และ isotherm แบบนี้ พบได้ทั่วไปในตัวดูดซับที่มีรูขนาดกลางที่ใช้ในอุตสาหกรรม

แบบที่ 5 เป็น isotherm แบบขั้นบันได เกิดในกรณีการดูดซับของตัวดูดซับในอุดมคติเท่านั้น

เส้นพฤติกรรมการดูดและคายความชื้นของอาหารส่วนใหญ่ไม่เป็นเส้นตรง โดยส่วนมากเป็นเส้นโค้งแบบ sigmoid ดังรูปที่ 3 ซึ่งกราฟแบ่งได้เป็น 3 ส่วน (Joeng, 1995)



รูปที่ 3 เส้นโค้งแบบ sigmoid ของมอยส์เจอร์ซอร์พชันไอโซเธอร์มในอาหารส่วนใหญ่

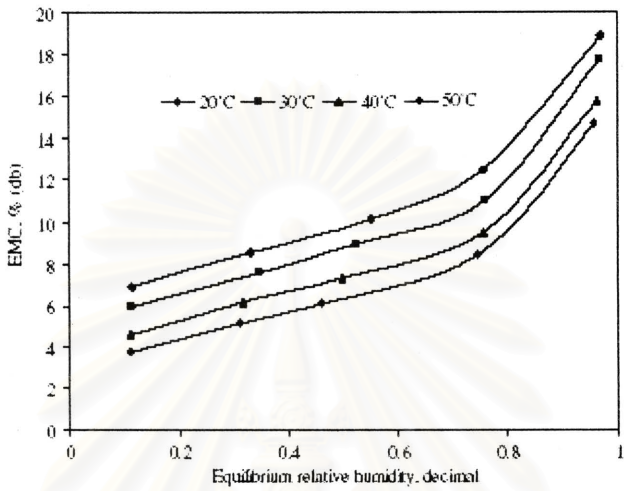
ส่วน I น้ำจะยึดกับเนื้อเยื่อของอาหารอย่างแข็งแรงและมีความสามารถในการเคลื่อนที่ต่ำ โดยจับกับบริเวณที่มีขั้ว ยึดกันด้วยแรงดึงดูดระหว่างขั้ว น้ำในส่วนนี้ไม่สามารถกลายเป็นน้ำแข็งได้ แม้ที่อุณหภูมิต่ำมากก็ตาม มีปริมาณน้อยมากในอาหาร

ส่วน II น้ำจับอยู่กับโมเลกุลของน้ำข้างเคียง หรือตัวของถูกละลาย โดยมากยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน

ส่วน III น้ำในส่วนนี้ เรียกว่า free water หรือ bulk water มีความสามารถในการเคลื่อนที่สูง สามารถทำปฏิกิริยาต่างๆได้ดี และสามารถเป็นน้ำแข็งได้ที่อุณหภูมิต่ำ และยังยอมให้เชื้อจุลินทรีย์เจริญเติบโตได้

ประโยชน์ของมอยส์เจอร์ซอร์พชันไอโซเธอร์ม

จากรายงานการวิจัยมอยส์เจอร์ซอร์พชันไอโซเธอร์มของถั่วเขียว ที่ศึกษาโดย Chowdhury *et al.* (2005) ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 มอยส์เจอร์ซอร์พชันไอโซเธอร์มของถั่วเขียว ที่ 20 30 40 และ 50 องศาเซลเซียส

จากรูป ณ ความชื้นสัมพัทธ์เดียวกัน ที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะมีความชื้นสมดุลต่ำลง และ ณ ความชื้นสมดุลเดียวกัน ที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะมีความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้น มอยส์เจอร์ซอร์พชันไอโซเธอร์มช่วงการดูดความชื้น (adsorption) ที่ได้นี้สามารถนำมาช่วยในการเลือกสภาวะการเก็บรักษาถั่วเขียวได้อย่างเหมาะสม เช่น ถ้าถั่วเขียวอบแห้งมีลักษณะของเนื้อสัมผัสที่ดีที่สุดเมื่อมีปริมาณความชื้น 7% (dry basis) และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 30°C ภายในบรรจุภัณฑ์ควรมีปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 25-28 % ซึ่งในสภาวะนี้จะสามารถรักษาปริมาณความชื้น 7% ในถั่วเขียวอบแห้งไว้ได้ จากมอยส์เจอร์ซอร์พชันไอโซเธอร์มสามารถที่จะนำไปเลือกบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมได้ว่าควรมีสมบัติในการรักษาความชื้นสัมพัทธ์ภายในเท่าใดเพื่อให้ได้ค่าตามที่ต้องการ

ในการสร้าง moisture sorption isotherm มีค่าที่เกี่ยวข้องคือ Equilibrium Relative Humidity และ Equilibrium Moisture Content โดยที่

Equilibrium Relative Humidity (ERH) คือปริมาณความชื้นในอากาศที่สมดุลกับความชื้นในวัตถุ (Fennema, 1985)

$$ERH = \frac{\text{vapour pressure of air}}{\text{vapour pressure at saturation}}$$

Equilibrium Moisture Content (EMC) คือ ปริมาณความชื้นที่จุดสมดุลของวัตถุ ณ ความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิเดียวกันหนึ่งๆ

water activity (a_w) คือ อัตราส่วนของความดันไอของวัตถุต่อความดันไอของน้ำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิเดียวกัน ซึ่งสามารถใช้ในการทำนายความเสถียร ความปลอดภัย และสมบัติต่างๆของอาหาร (Fennema, 1985)

$$a_w = \frac{P}{Po} = \frac{ERH(\%)}{100}$$

โดย P คือความดันไอของน้ำในวัตถุที่อุณหภูมิคงที่

P_o คือความดันไอของน้ำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิคงที่

a_w จะมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 และกำหนดให้น้ำบริสุทธิ์เป็นสภาวะมาตรฐาน (standard state) โดยให้มีค่า $a_w = 1.0$ และระบบต้องอยู่ในสภาวะสมดุลที่อุณหภูมิเดียวกัน

การเสื่อมเสียของอาหารเนื่องจากจุลินทรีย์จะเกิดขึ้นเร็วกว่าปฏิกิริยาจากเอ็นไซม์หรือปฏิกิริยาเคมีในระหว่างการเก็บรักษา แต่ในทุกกรณีน้ำเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดที่ควบคุมอัตราการเสื่อมเสีย ค่า a_w ของอาหารแสดงถึงปริมาณน้ำซึ่งจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ได้ หรือปริมาณน้ำที่ช่วยให้เอนไซม์ทำงาน หรือช่วยให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีได้ หรือ a_w อาจหมายถึงปริมาณน้ำอิสระได้ กิจกรรมของจุลินทรีย์ส่วนใหญ่จะถูกยับยั้งการเจริญที่ a_w ต่ำกว่า 0.70 ส่วนยีสต์และแบคทีเรียส่วนใหญ่จะถูกยับยั้งการเจริญที่ a_w ต่ำกว่า 0.80 และ 0.90 ตามลำดับ ในขณะที่อาหารสด เช่น ผักผลไม้ เนื้อสัตว์ รวมทั้งสัตว์ปีกและปลา มีค่า a_w อยู่ระหว่าง 0.97 ถึงประมาณ 1.00

ปัจจัยที่มีต่อมอยส์เจอร์ซอร์พชันไอโซเธอร์ม

อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และลักษณะและธรรมชาติของอาหาร ล้วนส่งผลต่อมอยส์เจอร์ซอร์พชันไอโซเธอร์ม ดังต่อไปนี้

อุณหภูมิ

การแสดงมอยส์เจอร์ซอร์พชันไอโซเธอร์มจะมีการระบุอุณหภูมิ เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป มอยส์เจอร์ซอร์พชันไอโซเธอร์มจะเลื่อนขึ้นหรือเลื่อนลง โดยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ปริมาณความชื้นสมดุลจะลดลง ณ ความชื้นสัมพัทธ์เดียวกัน และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ความชื้นสัมพัทธ์จะสูงขึ้น ณ ปริมาณความชื้นสมดุลเดียวกัน ซึ่งมอยส์เจอร์ซอร์พชันไอโซเธอร์มของอาหารส่วนใหญ่จะมีลักษณะเช่นนี้ เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เนื้อของอาหารจะจับตัวกับน้ำได้น้อยลง จึงส่งผลให้ปริมาณความชื้นในอาหารลดลง

ความชื้นสัมพัทธ์

ความชื้นจะถ่ายโอนจากที่ที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงไปสู่ที่ที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ ในอาหารแห้ง เนื้ออาหารจะดูดซับความชื้นในอากาศ ปริมาณความชื้นในอาหารจะสูงขึ้น ส่วนอาหารที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงจะถ่ายโอนความชื้นไปสู่อากาศ ปริมาณความชื้นในอาหารจะลดลง

ลักษณะและธรรมชาติของอาหาร

องค์ประกอบทางเคมีของอาหารเป็นปัจจัยที่สำคัญ เนื่องจากองค์ประกอบในอาหารเป็นตัวยึดกับน้ำ ซึ่งในอาหารที่มีองค์ประกอบที่มีแรงยึดจับกับน้ำสูง เช่น พันธะไฮโดรเจนจะมีการยึดจับกับโมเลกุลน้ำได้ดีกว่า ในอาหารที่ไม่มีองค์ประกอบพวกนี้หรือมีน้อยกว่า และลักษณะเนื้อสัมผัสก็เป็นอีกเหตุผลหนึ่ง อาหารที่มีรูพรุนมีช่องว่างให้น้ำเข้าไปได้มากจะสามารถดูดซับความชื้นได้ดีกว่าอาหารที่มีผิวสัมผัสที่มีช่องว่างให้น้ำเข้าไปได้น้อยจะดูดความชื้นได้น้อยกว่า

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และความชื้นสมดุล

มีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์หลายแบบที่ใช้ในการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และความชื้นสมดุล โดยมีทั้ง 2 ตัวแปร และ 3 ตัวแปร ในงานวิจัยนี้ใช้ GAB model ซึ่งเป็นแบบ 3 ตัวแปร

GAB model

สมการของ Guggenheim-Anderson-de Boer (GAB) เป็นสมการแบบ 3 ตัวแปร โดยเป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการดูดและคายความชื้นแบบหลายโมเลกุล ซึ่งสมการนี้เหมาะแก่

การใช้อธิบายอาหารได้หลากหลายในช่วงของ a_w ที่กว้าง (Rahman, 1995 cited by Borompichaichartkul, 1999) ซึ่งมีสมการดังนี้

$$EMC = \frac{MKCa}{(1-Ka)[1-Ka+KCa]}$$

สัญลักษณ์			
K, C	*equation constants*	*a*	*water activity*
EMC	*equilibrium moisture content, %(dry basis)*	*M*	*monolayer moisture con*

มีงานวิจัยหลายงานซึ่งใช้สมการ GAB ในการอธิบายมอยส์เจอร์ซอร์พชันไอโซเธอร์ม ของผลไม้และผักได้ดี Wang and Brennan (1991) และ Lim, Tang and He (1995) ศึกษามอยส์เจอร์ซอร์พชันไอโซเธอร์มของบลูเบอรี่แห้ง และพบว่าสมการ GAB ดีที่สุด เช่นเดียวกับ Ayranci *et al.* (1990) ซึ่งกล่าวถึงการใช้สมการ GAB ว่าใช้ได้ดีในช่วง water activity ที่กว้างมาก (0-0.95) สำหรับแอพริคอท และ ลูกเกดที่อุณหภูมิ 20 และ 36 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามการสร้างมอยส์เจอร์ซอร์พชันไอโซเธอร์ม ก็สามารถสร้างได้จากหลายสมการ (แบบจำลอง)

สภาวะเริ่มต้นก่อนทำการทดลองมีส่วนที่ทำให้มอยส์เจอร์ซอร์พชันไอโซเธอร์มเปลี่ยนแปลงลักษณะได้ ซึ่งมีการศึกษาของ Lazarides, Nickolaidis and Katsanidis (1995) ได้พบว่าสภาวะก่อนการทดลองของแผ่นแอปเปิลซึ่งอยู่ในสารละลายที่มีแรงดันออสโมติกต่างกันส่งผลต่อการเลื่อน (shifting) ของมอยส์เจอร์ซอร์พชันไอโซเธอร์ม อุณหภูมิก็เป็นสาเหตุที่สำคัญเช่นกัน โดยปริมาณความชื้นสมดุลเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลงที่ water activity เดียวกัน และ water activity เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นที่ปริมาณความชื้นสมดุลเดียวกัน ซึ่งพฤติกรรมเหล่านี้เป็นเรื่องปกติของอาหารหลายชนิด (Wang and Brennan, 1991)

การประเมินความแม่นยำแบบจำลองสำหรับการสร้างมอยส์เจอร์ซอร์พชันไอโซเธอร์ม

ความแม่นยำของแบบจำลองพิจารณาได้จากค่า RSS (residual sum of square) ถ้าแบบจำลองมีความแม่นยำสูงค่า RSS จะมีค่าเข้าใกล้ "0" แต่ถ้ามีความแม่นยำต่ำจะมีค่า RSS สูง (Chowdhury *et al.*, 2005)

ประโยชน์ของแบบจำลอง

มอยส์เจอร์ซอร์พชันไอโซเธอร์มที่สร้างขึ้นมาจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นตัวแทนจากข้อมูลของผลการทดลองและยังแสดงค่าที่ไม่ได้หาจากการทดลอง ซึ่งเป็นประโยชน์ในการใช้งาน เนื่องจากไม่จำเป็นต้องทำการทดลองใหม่ สามารถใช้ค่าที่ได้จากการใช้แบบจำลองได้ และยังสามารถใช้ทำนายมอยส์เจอร์ซอร์พชันไอโซเธอร์มของผลิตภัณฑ์เดียวกันหรือผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่มีส่วนประกอบคล้ายคลึงกันที่อุณหภูมิอื่นๆ ซึ่งไม่ได้ทำการทดลองจึงเป็นการประหยัดเวลาและค่าใช้จ่าย (Chowdhury *et al.*, 2005)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิธีการดำเนินงานวิจัย

1 วัตถุดิบ

- สาหร่ายไกอบแห้ง (บรรจุในถุงพลาสติกและส่งมาจากจังหวัดน่าน)
- สาหร่ายทะเลแผ่นอบแห้ง
- ไข่ไก่ (บมจ.กรุงเทพผลิตผลอุตสาหกรรมการเกษตร)
- งาขาว
- ซอสถั่วเหลืองสูตรเจ ตรางวนเชียง (บริษัท ง่วนเชียง ฟู้ด อินดัสทรี จำกัด)
- น้ำมันงา (บริษัท ยูเนียนฟู้ดอินดัสตรี จำกัด)
- พริกขี้หนูป่น (บริษัท ไร่ธัญญะ จำกัด)
- งาดำ
- เกลือป่น (บริษัท อุตสาหกรรมเกลือบริสุทธิ์ จำกัด)
- น้ำตาล (บริษัท น้ำตาลมิตรผล จำกัด)

2 สารเคมี

- KCl (AR Grade)
- NaBr (LAB Grade)
- LiCl (LAB Grade)
- $MgCl_2$ (AR Grade)
- KNO_3 (AR Grade)
- $NaNO_2$ (AR Grade)
- K_2CO_3 (LAB Grade)
- NaCl (AR Grade)
- CH_3COOK (LAB Grade)

<u>หมายเหตุ</u> สารเคมีทั้งหมดมาจาก บริษัท แล็บสแกน เอเชีย จำกัด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3 อุปกรณ์

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมผลิตภัณฑ์

- เครื่องปั่น (Moulinex รุ่น AY 46)
- tray dryer (Yeo Heng รุ่น HA-100s)

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Sartorius รุ่น BP 210S)
- เครื่องชั่งทศนิยม 3 ตำแหน่ง (Sartorius รุ่น BP 310S)
- desiccator
- magnetic stirrer (Framo รุ่น M21/1)
- magnetic bar
- เครื่องวัดสี (Minolta CR300)
- moisture analyzer (Sartorius รุ่น MA 30)
- เตาอบ 100 องศาเซลเซียส (Memmert)
- ตู้เย็น (Aseco LCF 402-30)

3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการคำนวณ และวิเคราะห์ผลทางสถิติ

- โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับคำนวณค่าทางสถิติ (SPSS for Windows version 11.5)

4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

4.1 การเตรียมผงสาหร่ายไกปรุงรสโรยข้าว

เตรียมผงสาหร่ายไกปรุงรสโรยข้าว ตามสูตรและกรรมวิธีการผลิตที่พัฒนาขึ้นใน โครงการพัฒนาผลิตภัณฑ์ผงสาหร่ายปรุงรสโรยข้าว ในโครงการวิจัย เรื่องการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารจากวัตถุดิบท้องถิ่นของจังหวัดน่าน ปีงบประมาณ 2548 ดังนี้

4.1.1 การเตรียมสาหร่ายไกป่น

1. ชั่งสาหร่ายไก 5 กรัม ใส่ในภาชนะและเติมน้ำ 60 มิลลิลิตร
2. แผ่สาหร่ายบน alminium foil ให้สม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น
3. อบด้วยเครื่อง tray dryer ที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 50 นาที

4. ทาน้ำซอส (ซอส:น้ำ = 2:1) ปริมาตร 5 มิลลิลิตรต่อหนึ่งแผ่น
5. อบที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 20 นาที
6. แยกแผ่นสาหร่ายออกจาก alminium foil กลับด้านแล้วทาด้วยน้ำมันงา 1 มิลลิลิตร ต่อหนึ่งแผ่นให้ทั่วแผ่น
7. อบที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 20 นาที
8. ปั่นแผ่นสาหร่ายที่แห้งแล้วด้วยเครื่องปั่น Kenwood ระดับ Quick นาน 30 วินาที จะได้สาหร่ายไกผงเพื่อนำไปผลิตต่อ

4.1.2 การเตรียมไข่แดงอบแห้ง

1. ต้มไข่ไก่จนสุก (ใช้เวลาประมาณ 15 นาที)
2. ปอกเปลือกไข่แล้วแยกเอาเฉพาะส่วนที่เป็นไข่แดงออกมา
3. บดไข่แดง ให้เป็นชิ้นเล็กๆ สม่ำเสมอกัน
4. เติมเกลือและน้ำตาลปน อย่างละ 3.75 % ของน้ำหนักไข่แดง
5. คลุกให้เข้ากันแล้วนำไปแผ่บนกระดาษฟอยล์ให้ทั่ว
6. อบที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
7. ปั่นด้วยเครื่องปั่นหรือบดด้วยช้อนจนเป็นผงละเอียด

4.1.3 การเตรียมส่วนประกอบอื่น ๆ

1. คั่วงาขาวและงาดำด้วยไฟอ่อนเป็นเวลา 5 นาที
2. ปั่นสาหร่ายทะเลแห้งด้วยเครื่องปั่น (ได้ลักษณะออกมาคล้ายสาหร่ายไกผง)
3. ป่นพริกให้ละเอียด
4. เตรียมน้ำตาล

4.1.4 การผสมส่วนผสมทั้งหมด

1. เตรียมน้ำซอสปรุงรส โดยใช้อัตราส่วน ซอส : น้ำ = 2 : 1 โดยใช้น้ำซอสผสม 20 มิลลิลิตร ต่อน้ำหนักรวมผลิตภัณฑ์ 100 กรัม
2. ตั้งกระทะให้ร้อนด้วยไฟอ่อนๆ เทน้ำซอส (5 มิลลิลิตร) ลงไปแล้วทาให้ทั่วกระทะรอจนน้ำซอสร้อนให้เทส่วนผสม (25 กรัม) ลงไปทันที
3. คั่วผสมให้เข้ากันจนทั่ว ใช้เวลาประมาณ 1-2 นาที จนส่วนผสมแห้ง

4.2 การเตรียมสารละลายเกลืออิ่มตัว

1. นำเกลือแต่ละ ชนิดมาละลายด้วยน้ำกลั่นในบีกเกอร์ขนาด 1,000 มิลลิลิตร กวนตลอดเวลาด้วยเครื่อง magnetic stirrer
2. เติมเกลือจนกระทั่งได้สารละลายเกลืออิ่มตัว สังเกตได้จากมีผลึกของเกลือเหลืออยู่ที่ก้นโถ
3. เทสารละลายลงในโถแก้ว ตั้งทิ้งไว้ 1 วัน สังเกตดูว่ามีผลึกของเกลือหลงเหลืออยู่หรือไม่ ถ้าละลายหมดให้เติมเกลือลงไปอีก
4. ตั้งทิ้งไว้ 3 วัน เพื่อให้แน่ใจว่าสารละลายที่ได้เป็นสารละลายเกลืออิ่มตัวจริงๆ

4.3 การหาความชื้นสมดุล

1. นำผงสาหร่ายไกปรุงรสโรยข้าวที่ผลิตได้ 2 กรัม ใส่ในจานรองแก้วที่ทราบน้ำหนักแล้ว บันทึกน้ำหนักรวมของจานรองแก้วและผงสาหร่ายไว้
2. วางจานรองแก้วที่ใส่สาหร่ายไกปรุงรสโรยข้าวบนแก้วที่วางอยู่ในโถที่บรรจุสารละลายเกลืออิ่มตัว
3. นำขวดแก้วขนาดเล็กที่บรรจุสารละลายโทลูอีน (toluene) ปิดปากแก้วด้วย aluminium foil เจาะรูบน aluminium foil 2-3 รู เพื่อให้ไอของโทลูอีนระเหยออกมาได้ ทั้งนี้เพื่อเป็นการป้องกันการเจริญจากเชื้อรา วางไว้ในโถ
4. ปิดฝาโถ โดยนำเทปยางมาพันเพื่อป้องกันการผ่านเข้าออกของอากาศ
5. ชั่งน้ำหนักรวมของสาหร่ายและจานรองแก้ว ทุกๆ 3 วันจนน้ำหนักคงที่ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง
6. เมื่อน้ำหนักคงที่แล้ว นำผงสาหร่ายไกไปหาค่าความชื้นสมดุลด้วยวิธี hot air oven ทำให้รู้ค่าความชื้นสมดุลของสาหร่าย (equilibrium moisture content)
7. พล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นสมดุลกับค่าความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งเป็นค่าเฉพาะตัวของสารละลายเกลือแต่ละชนิดทำให้ได้กราฟมอยเจอร์ซอร์พชันไอโซเธอร์ม

4.4 การวิเคราะห์สี

1. นำผงสาหร่ายปรุงรสโรยข้าวที่เตรียมได้มาใส่ในถุงผ้าขาวบาง
2. วางลงจานรองแก้วบนแท่นวางในโถที่บรรจุสารละลายเกลืออิ่มตัว (LiCl $MgCl_2$ NaBr และ NaCl)

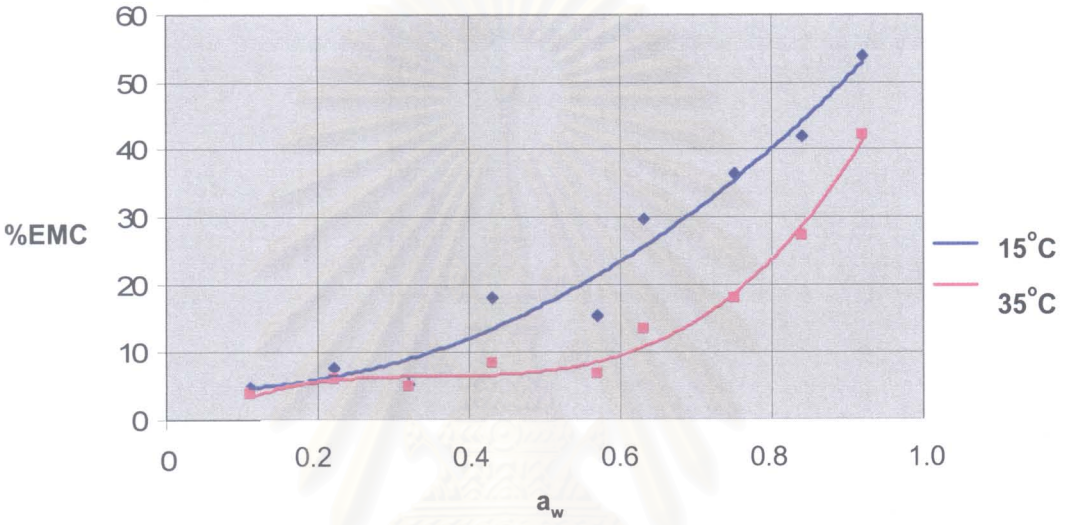
3. วัดค่าสีตัวอย่างในถุงผ้าขาวบางทุกสัปดาห์ เป็นเวลา 10 สัปดาห์ ด้วยเครื่อง Minolta CR 300 (แหล่งแสง D 65) โดยวัดค่า L, a และ b นำค่าดังกล่าวมาคำนวณหาค่า ΔE ดังแสดงในภาคผนวก ข
4. ประมวลผลด้วยโปรแกรม SPSS for Windows version 11.5

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

1 การหา moisture sorption isotherm ของผงสาหร่ายไกปรุงรสโรยข้าว

จากการทดลองหาค่า equilibrium moisture content (EMC) ของผงสาหร่ายไกปรุงรสโรยข้าว ที่อุณหภูมิ 15 และ 35°C ตามข้อ 4.3 มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง EMC กับ a_w ตามรูปที่ 5



รูปที่ 5 moisture sorption isotherm ของผงสาหร่ายปรุงรสโรยข้าวที่อุณหภูมิ 15 และ 35°C

จากรูปพบว่า moisture sorption isotherm ของผงสาหร่ายปรุงรสโรยข้าวในทั้งสองอุณหภูมิให้ผลเป็นที่น่าเชื่อถือ ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อพิจารณาจากค่า R^2 ให้ค่าเข้าใกล้ 1 ซึ่งเป็นที่น่าเชื่อถือได้ โดยที่อุณหภูมิ 15°C มีค่า R^2 เท่ากับ 0.9458 และและอุณหภูมิ 35°C มีค่า R^2 เท่ากับ 0.9852

จาก moisture sorption isotherm ของผงสาหร่ายไกปรุงรสโรยข้าว ที่อุณหภูมิ 15 และ 35°C พบว่าเมื่อพิจารณาที่ความชื้นสัมพัทธ์เดียวกันค่า %EMC ของผงสาหร่ายที่อุณหภูมิ 15°C มีค่ามากกว่าที่อุณหภูมิ 35°C ทั้งนี้เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิมากขึ้น ค่าพลังงานในโมเลกุลของน้ำมีค่ามากขึ้นและถ้ามี พลังงานมากพอที่จะสลายพันธะระหว่างโมเลกุลของน้ำด้วยกันเองหรือระหว่างโมเลกุลของน้ำที่ยึดติดกับเนื้อเยื่อต่าง ก็ทำให้น้ำสามารถระเหยออกไปได้ ทำให้เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่า %EMC มีค่าลดลง Chowdhury et al. (2005) ได้วิจัยหามอยส์เจอร์ซอร์พชันไอโซเธอร์มของถั่วเขียว ก็ได้ผลการทดลองในแนวเดียวกัน คือที่อุณหภูมิต่ำกว่าความชื้นสมดุลจะมากกว่าที่อุณหภูมิสูงกว่า ณ ความชื้นสัมพัทธ์เดียวกัน

2 การหามอยส์เจอร์ซอร์พชันไอโซเธอร์มโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ช่วยในการหามอยส์เจอร์ซอร์พชันไอโซเธอร์ม โดยเลือกแบบจำลองที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ซึ่ง GAB model เป็นที่รู้จักและยอมรับโดยทั่วไปในการอธิบายอาหารได้หลากหลายในช่วงของ a_w ที่กว้าง โดยค่าที่ได้จากการทดลองเพื่อนำมาใช้ใน GAB model คือ ความชื้นสมดุล (EMC) ซึ่งใช้ร่วมกับ water activity (a_w) เพื่อคำนวณหาค่าคงที่ใน GAB model และได้ค่าคงที่ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าคงที่ใน GAB model ของผงสาหร่ายไกปรุงรสโรยข้าว

อุณหภูมิ (^{o}C)	M	K	C
15	54.1064	0.7767	0.4366
35	6.6266	1.0087	1.8213

GAB model

$$EMC = \frac{MKCa}{(1-Ka)[1-Ka+KCa]}$$

เมื่อได้ค่าคงที่และแทนลงใน GAB model แล้วจะได้มอยส์เจอร์ซอร์พชันไอโซเธอร์ม ซึ่งจะสามารถหาค่า residual sum of square (RSS) ของไอโซเธอร์มในแต่ละอุณหภูมิได้ ดังแสดงในตารางที่ 4 และ 5

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4 ความชื้นสมดุล (wb และ db) และ RSS ที่ 15°C โดยใช้ GAB model

%RH	a_w	%EMC (wb)	%EMC (db)	EMC (db)	$\%EMC_m$ (wb)	$\%EMC_m$ (db)	RSS
11.30	0.1130	4.66	4.8878	0.048878	2.3352	2.3911	6.2336
23.40	0.2340	7.735	8.3835	0.083835	5.5229	5.8457	6.4401
33.30	0.3330	5.415	5.7250	0.057250	8.7985	9.6474	15.3849
43.15	0.4315	18.12	22.1300	0.221300	12.8010	14.6802	55.4985
55.87	0.5587	12.45	14.2205	0.142205	19.3353	23.9700	95.0543
75.61	0.7561	36.37	57.1586	0.571586	33.4366	50.2327	47.9672
85.92	0.8592	42.00	72.4138	0.724138	43.1637	75.9438	12.4610
95.41	0.9541	53.83	116.5909	1.165909	53.7167	116.0605	0.2812
Total							239.3208

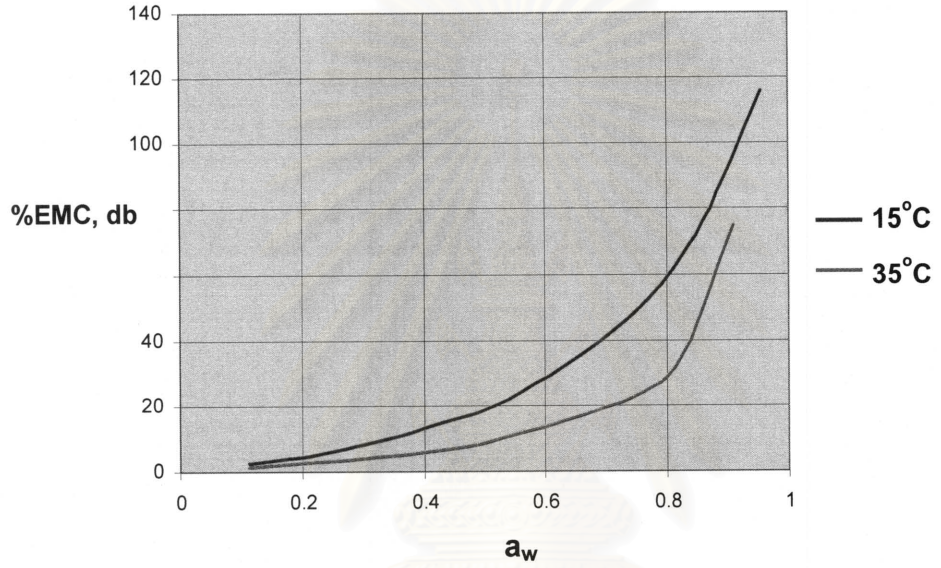
ตารางที่ 5 ความชื้นสมดุล (wb และ db) และ RSS ที่อุณหภูมิ 35 °C โดยใช้ GAB model

%RH	a_w	%EMC (wb)	%EMC (db)	EMC (db)	$\%EMC_m$ (wb)	$\%EMC_m$ (db)	RSS
11.25	0.1125	3.87	4.0258	0.040258	1.3936	1.4133	6.8250
32.05	0.3205	4.92	5.1746	0.051746	4.3580	4.5566	0.3819
43.17	0.4317	6.77	7.2616	0.072616	7.9683	8.6582	1.9505
74.87	0.7487	17.95	21.8769	0.218769	18.6914	22.9882	1.2350
82.95	0.8295	27.46	37.8550	0.378550	26.8328	36.6732	1.3966
90.79	0.9079	42.8	74.8252	0.748252	42.8532	74.9880	0.0265
Total							11.8155

จากตารางที่ 4 และ 5 จะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิ 35°C มีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าที่ 15°C โดยพิจารณาได้จากค่า RSS (ค่าความแตกต่างกำลังสองระหว่างค่าจากการทดลองกับค่าที่ได้จาก model) ซึ่งที่อุณหภูมิ 35°C มีค่าต่ำกว่าที่ 15 °C

ค่า RSS ที่ 15°C มีค่าค่อนข้างสูงมาก แสดงถึงความแม่นยำของการทดลองว่าไม่มากนัก โดยถ้าการทดลองที่ถูกต้องแม่นยำควรจะมีค่า RSS เข้าใกล้ "0" หรือมีค่าน้อยที่สุด แต่ผลการทดลองที่ได้ก็สามารถแสดงให้เห็นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลง EMC เมื่อ a_w เปลี่ยนแปลงไปได้

เมื่อนำค่าคงที่ในตารางที่ 4 แทนใน GAB model สามารถนำมาเขียนเป็นรูปกราฟของมอยส์-เจอร์ซอร์พชันไอโซเธอร์มได้ ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 6 มอยส์เจอร์ซอร์พชันไอโซเธอร์มของผงสาหร่ายปรุงรสโรยข้าวที่อุณหภูมิ 15 และ 35°C โดยใช้ GAB model

จากรูปที่ 6 มอยส์เจอร์ซอร์พชันไอโซเธอร์มที่ได้ มีลักษณะเหมือนแบบที่ 3 มอยส์เจอร์ซอร์พชันไอโซเธอร์มที่อุณหภูมิ 15°C อยู่เหนือมอยส์เจอร์ซอร์พชันไอโซเธอร์มที่อุณหภูมิห้อง มอยส์เจอร์ซอร์พชันไอโซเธอร์มนี้ได้จากการใช้ GAB model ในการสร้างเส้นกราฟ ซึ่งทำนายความชื้นสมดุลของผลิตภัณฑ์ที่ความชื้นสัมพัทธ์ที่กำหนด

จากการทดลองพบว่า ความชื้นของผงสาหร่ายปรุงรสโรยข้าวเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 6.26% (ภาคผนวก ข) เมื่อพิจารณาที่ความชื้นสมดุลเท่ากับ 6.26% ที่อุณหภูมิ 15°C ได้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมคือ 24.62% และเมื่อบวกลบส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความชื้นสมดุลที่ 6.26% (0.94) แล้วจะได้ช่วงของความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมที่สุดอยู่ในช่วง 21.79-27.25% และในทำนองเดียวกับ

เมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิ 35°C พบว่าได้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ 40.58% และเมื่อบวกลบส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความชื้นสมดุล แล้วจะได้ช่วงของความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมที่สุดอยู่ในช่วง 36.10-44.57% ซึ่งเป็นค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมในการเก็บผงสาหร่ายปรุงรสโรยข้าว ณ อุณหภูมินั้นๆ

3 การเปลี่ยนแปลงค่าสีของผงสาหร่ายไกปรุงรสโรยข้าวระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 15 และ 35°C

การเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์บ่งบอกถึงความเสถียรของผลิตภัณฑ์ในสภาวะนั้นๆ ซึ่งช่วยบอกสภาวะที่เหมาะสมในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ และยังสามารถใช้ยืนยันผลที่ได้จากการหามอยส์-เจอร์ซอร์พชันไอโซเธอร์ม ในการทดลองนี้วัดการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวม (ΔE) และการเปลี่ยนแปลงค่าสีเขียว (a) โดยมีสีของผลิตภัณฑ์เริ่มต้นเป็นสีอ้างอิง ค่า ΔE ของผลิตภัณฑ์แสดงในตารางที่ 6 และ 7

ตารางที่ 6 ค่าความแตกต่างของสี (ΔE) ของผงสาหร่ายไกปรุงรสโรยข้าว ที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 15°C เป็นเวลา 10 สัปดาห์

สัปดาห์ที่	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
	LiCl	$MgCl_2$	NaBr	NaCl
1	$3.80^{bc} \pm 1.02$	$3.78^{abc} \pm 1.61$	$4.71^{ab} \pm 1.66$	$8.78^{a} \pm 1.39$
2	$2.95^{abc} \pm 1.66$	$2.30^{a} \pm 1.53$	$4.09^{a} \pm 1.34$	$11.45^{b} \pm 2.84$
3	$3.32^{abc} \pm 2.3$	$2.85^{ab} \pm 1.11$	$5.91^{ab} \pm 2.41$	$13.81^{c} \pm 1.92$
4	$4.84^{c} \pm 1.06$	$2.43^{a} \pm 0.95$	$4.02^{ab} \pm 1.05$	$15.62^{cd} \pm 2.81$
5	$2.13^{ab} \pm 0.93$	$3.37^{ab} \pm 1.74$	$5.72^{ab} \pm 2.08$	$15.42^{cd} \pm 1.53$
6	$2.54^{ab} \pm 1.10$	$3.36^{ab} \pm 1.50$	$6.49^{b} \pm 1.86$	$14.95^{c} \pm 2.07$
7	$4.70^{c} \pm 0.58$	$5.29^{c} \pm 1.18$	$6.47^{b} \pm 1.07$	$16.86^{cd} \pm 2.58$
8	$1.82^{a} \pm 0.70$	$4.62^{bc} \pm 0.76$	$5.77^{ab} \pm 0.82$	$17.74^{d} \pm 1.43$
9	$4.35^{bc} \pm 2.00$	$3.61^{abc} \pm 0.96$	$6.92^{b} \pm 1.14$	$18.21^{d} \pm 1.18$
10	$3.45^{abc} \pm 1.55$	$5.03^{c} \pm 1.57$	$7.27^{b} \pm 1.10$	$18.61^{d} \pm 1.57$

a, b, c ... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 7 ค่าความแตกต่างของสี (ΔE) ของผงสาหร่ายไกปรุงรสโรยข้าว ที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 35°C เป็นเวลา 10 สัปดาห์

สัปดาห์ที่	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
	LiCl	$MgCl_2$ ns	NaBr	NaCl
1	$3.30^{ab} \pm 1.51$	4.49 ± 1.79	$4.92^{a} \pm 0.93$	$7.60^{a} \pm 2.10$
2	$4.11^{ab} \pm 1.96$	3.59 ± 1.82	$6.07^{ab} \pm 1.74$	$12.15^{b} \pm 2.13$
3	$5.19^{b} \pm 2.10$	4.53 ± 1.84	$7.54^{ab} \pm 1.37$	$13.94^{b} \pm 1.50$
4	$3.95^{ab} \pm 1.99$	4.52 ± 2.62	$6.64^{ab} \pm 2.01$	$14.22^{b} \pm 2.25$
5	$2.13^{a} \pm 0.93$	4.29 ± 2.14	$6.76^{ab} \pm 2.02$	$14.46^{b} \pm 0.75$
6	$3.89^{ab} \pm 1.18$	2.98 ± 1.44	$6.63^{ab} \pm 1.93$	$16.59^{c} \pm 2.19$
7	$4.75^{b} \pm 1.86$	4.04 ± 1.71	$6.62^{ab} \pm 1.62$	$17.98^{c} \pm 1.67$
8	$3.09^{ab} \pm 1.05$	3.67 ± 1.35	$8.45^{b} \pm 2.23$	$18.65^{c} \pm 3.18$
9	$3.68^{ab} \pm 1.22$	3.37 ± 1.04	$8.93^{b} \pm 2.55$	$17.56^{c} \pm 2.65$
10	$3.66^{ab} \pm 1.80$	2.79 ± 1.21	$8.87^{b} \pm 2.20$	$21.69^{d} \pm 2.51$

a, b, c ... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns ... ไม่มีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

จากตารางที่ 6 และ 7 พบว่าที่ทั้ง 15 และ 35°C ให้ผลคล้ายคลึงกันโดยผงสาหร่ายปรุงรสโรยข้าวที่เก็บใน NaCl (ความชื้นสัมพัทธ์สูง; 75.61% สำหรับที่ 15°C และ 74.87% สำหรับที่ 35°C) มีการเปลี่ยนแปลงของสี (ΔE) มากกว่าผงสาหร่ายที่เก็บที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า(ในสารละลายเกลือ LiCl $MgCl_2$ และ NaBr อิ่มตัว) การเปลี่ยนแปลงของสีที่เกิดขึ้นนี้เนื่องจากในผงสาหร่ายมีคลอโรฟิลล์เป็นองค์ประกอบ เมื่อคลอโรฟิลล์ได้รับแสง ออกซิเจน ความร้อน กรด หรือด่าง คลอโรฟิลล์จะเปลี่ยนเป็นฟีโอไฟติน (pheophytin) ซึ่งมีสีน้ำตาล ด้วยปฏิกิริยา pheophytinization (Britton, 1983) และสำหรับที่ความความชื้นสัมพัทธ์สูงนั้น ปฏิกิริยาเคมีจะเกิดได้ดีกว่าที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ ทำให้การเปลี่ยนแปลงของสี (ΔE) เกิดขึ้นได้มากกว่าหรือเร็วกว่า (Eskin and Robinson, 2001) จึงไม่ควรเก็บผงสาหร่ายปรุงรสโรยข้าวไว้ในที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงในทั้ง 2 อุณหภูมิ และจากผลการทดลองที่ได้นี้ เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับผลจากการหามอยส์เจอร์ซอร์พชันไอโซเธอร์มของผงสาหร่ายปรุงรสโรยข้าวจากข้อ 1 และ 2 พบว่าได้ผลสอดคล้องกันโดยจะเห็นว่าช่วงความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษาผงสาหร่ายปรุงรสโรยข้าวที่หาได้จากการทำมอยส์เจอร์ซอร์พชันไอโซเธอร์ม ที่ทั้ง 2 อุณหภูมิ (21.79-

27.25% สำหรับที่ 15°C และ 36.10-44.57% สำหรับที่ 35°C) เป็นช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าสี (ΔE) น้อย และเมื่อพิจารณาค่า ΔE ที่ระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น จะเห็นว่าที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ มีการเปลี่ยนแปลงค่า ΔE ไม่มากนักเมื่อเวลาการเก็บนานขึ้น (โดยสังเกตได้จากค่า ΔE ที่เปลี่ยนไปในแต่ละสัปดาห์ของ LiCl และ $MgCl_2$ ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันมาก โดยเฉพาะค่า ΔE ของ $MgCl_2$ ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเลยในแต่ละสัปดาห์) ในขณะที่เมื่อความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้น ค่า ΔE มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้น (โดยสังเกตได้จากค่า ΔE ที่เปลี่ยนไปของ NaBr และ NaCl ซึ่งมีค่าที่แตกต่างจากสัปดาห์แรกค่อนข้างมาก) ทั้งนี้เนื่องจากที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ ปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นได้ไม่ดีเท่ากับที่ความชื้นสัมพัทธ์สูง แม้ว่าระยะเวลาการเก็บจะเท่ากันก็ตาม ดังที่อธิบายไปแล้วข้างต้น การเปลี่ยนแปลงสี (ΔE) จึงเกิดขึ้นน้อยกว่าหรือช้ากว่า

ค่า a (ค่าสีแดง-สีเขียว) เป็นอีกค่าหนึ่งที่ควรพิจารณา เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีสีเขียว จึงควรเน้นการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงสีเขียวของผลิตภัณฑ์ ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 8 และ 9

ตารางที่ 8 ค่า a ของผงสาหร่ายไกปรุงรสโรยข้าว ที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 15 °C เป็นเวลา 10 สัปดาห์

สัปดาห์ที่	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
	LiCl	$MgCl_2$	NaBr	NaCl
1	$-2.69^{bc} \pm 0.36$	$-3.04^{a} \pm 0.53$	$-3.02^{a} \pm 0.66$	$-1.07^{a} \pm 0.55$
2	$-3.19^{b} \pm 0.50$	$-2.95^{a} \pm 0.26$	$-1.58^{b} \pm 0.32$	$0.22^{b} \pm 0.46$
3	$-3.69^{a} \pm 0.54$	$-3.01^{a} \pm 0.45$	$-1.56^{b} \pm 0.28$	$1.12^{c} \pm 0.43$
4	$-1.75^{d} \pm 0.58$	$-3.23^{a} \pm 0.27$	$-1.48^{b} \pm 0.27$	$1.47^{c} \pm 0.49$
5	$-3.38^{b} \pm 0.46$	$-2.56^{b} \pm 0.60$	$-0.61^{c} \pm 0.39$	$1.67^{c} \pm 0.60$
6	$-3.08^{bc} \pm 0.45$	$-2.25^{b} \pm 0.34$	$-0.30^{c} \pm 0.51$	$1.57^{c} \pm 0.34$
7	$-1.98^{d} \pm 0.42$	$-1.00^{cd} \pm 0.36$	$0.79^{e} \pm 0.30$	$2.57^{d} \pm 0.17$
8	$-2.82^{bc} \pm 0.30$	$-1.21^{cd} \pm 0.36$	$0.25^{d} \pm 0.33$	$2.59^{d} \pm 0.36$
9	$-2.61^{c} \pm 0.44$	$-1.53^{c} \pm 0.28$	$0.84^{e} \pm 0.33$	$2.62^{d} \pm 0.38$
10	$-2.59^{c} \pm 0.64$	$-0.85^{d} \pm 0.34$	$1.42^{f} \pm 0.52$	$3.12^{e} \pm 0.18$

a, b, c ... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 9 ค่า a ของผงสาหร่ายไกปรุงรสโรยข้าว ที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 35°C เป็นเวลา 10 สัปดาห์

สัปดาห์ที่	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
	LiCl	$MgCl_2$	NaBr	NaCl
1	$-3.34^{cd} \pm 0.47$	$-4.52^{a} \pm 0.60$	$-3.54^{a} \pm 0.63$	$-1.98^{a} \pm 0.45$
2	$-3.64^{b} \pm 0.42$	$-4.05^{abc} \pm 0.63$	$-3.31^{ab} \pm 0.41$	$-1.02^{b} \pm 0.54$
3	$-2.90^{cd} \pm 0.53$	$-3.83^{bcd} \pm 0.28$	$-2.75^{b} \pm 0.62$	$-0.01^{c} \pm 0.37$
4	$-2.97^{cd} \pm 0.29$	$-2.94^{e} \pm 0.60$	$-2.92^{ab} \pm 0.68$	$-0.20^{c} \pm 0.35$
5	$-2.79^{cd} \pm 0.48$	$-3.41^{cde} \pm 0.48$	$-2.08^{c} \pm 0.56$	$0.11^{c} \pm 0.33$
6	$-2.43^{d} \pm 0.40$	$-3.52^{cd} \pm 0.37$	$-2.13^{c} \pm 0.60$	$0.42^{c} \pm 0.70$
7	$-2.60^{cd} \pm 0.31$	$-2.85^{e} \pm 0.47$	$-1.73^{c} \pm 0.31$	$1.54^{d} \pm 0.41$
8	$-4.22^{a} \pm 0.59$	$-4.29^{ab} \pm 0.27$	$-1.80^{c} \pm 0.25$	$1.27^{d} \pm 0.83$
9	$-2.95^{cd} \pm 0.37$	$-3.06^{de} \pm 0.61$	$-0.79^{d} \pm 0.52$	$1.74^{d} \pm 0.50$
10	$-2.81^{cd} \pm 0.45$	$-2.64^{e} \pm 0.56$	$-0.50^{d} \pm 0.64$	$2.42^{e} \pm 0.52$

a, b, c ... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 8 และ 9 พบว่าที่ทั้ง 15 และ 35°C การเปลี่ยนแปลงค่า a มีแนวโน้มคล้ายคลึงกับการเปลี่ยนแปลงค่า ΔE ในตารางที่ 6 และ 7 โดยผงสาหร่ายปรุงรสโรยข้าวที่เก็บใน NaCl (ความชื้น-สัมพัทธ์สูง; 75.61% สำหรับที่ 15°C และ 74.87% สำหรับที่ 35°C) มีการเปลี่ยนแปลงของสีเขียว (a) มากกว่าผงสาหร่ายที่เก็บที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าเช่นเดียวกัน (ในสารละลายเกลือ LiCl $MgCl_2$ และ NaBr อิ่มตัว) ด้วยเหตุผลเดียวกับกับการเปลี่ยนแปลงค่า ΔE ที่กล่าวไว้ข้างต้น การเปลี่ยนแปลงสีเขียว (a) จึงเกิดขึ้นมากกว่าหรือเร็วกว่า (Eskin and Robinson, 2001) จึงไม่ควรเก็บผงสาหร่ายปรุงรสโรยข้าวไว้ในที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงมากกว่า 50%ในทั้ง 2 อุณหภูมิ และจากผลการทดลองที่ได้นี้ เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับผลจากการหามอยส์เจอร์ซอร์พชันไอโซเธอร์มของผงสาหร่ายปรุงรสโรยข้าวจากข้อ 1 และ 2 เมื่อพิจารณาค่า a ที่ระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น พบว่าได้ผลเช่นเดียวกับผลของการเปลี่ยนแปลงค่า ΔE ด้วยเหตุผลอันเดียวกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สรุปผลการทดลอง

1. ผลจากการหามอยส์เจอร์ซอร์พชันไอโซเธอร์มของผงสาหร่ายปรุงรสโรยข้าวที่ และ 15 และ 35°C โดยทดลองหาค่าความชื้นสมดุลนั้น พบว่าได้ผลน่าเชื่อถือ โดยที่ 15°C มี R^2 = 0.9458 และที่ 35°C มีค่า R^2 = 0.9852

2. ผลจากการหามอยส์เจอร์ซอร์พชันไอโซเธอร์มของผงสาหร่ายปรุงรสโรยข้าวโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (GAB model) จะได้สภาวะการเก็บรักษาผงสาหร่ายปรุงรสที่เหมาะสมที่สุดที่อุณหภูมิ 15°C คือที่ช่วงความชื้นสัมพัทธ์ 21.79-27.25% และสภาวะการเก็บผงสาหร่ายปรุงรสที่เหมาะสมที่สุดที่อุณหภูมิ 35°C คือที่ช่วงความชื้นสัมพัทธ์ 36.10-44.57%

3. ผลการวิเคราะห์ค่า ΔE ที่ทั้ง 15 และ 35°C มีผลให้ผลคล้ายคลึงกันโดยผงสาหร่ายปรุงรสโรย ข้าวที่เก็บในสภาวะที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงมีการเปลี่ยนแปลงของสี (ΔE) มากกว่าผงสาหร่ายที่เก็บที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ จึงไม่ควรเก็บผงสาหร่ายปรุงรสโรยข้าวไว้ในที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงมากกว่า 50% ในทั้ง 2 อุณหภูมิ และผลการวัดการเปลี่ยนแปลง ΔE ที่ได้ สอดคล้องกันกับผลการหามอยส์เจอร์ซอร์พชันไอโซเธอร์ม โดยช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าสี (ΔE) น้อยเป็นช่วงความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษาผงสาหร่ายปรุงรสโรยข้าวที่หาได้จากการทำมอยส์เจอร์ซอร์พชันไอโซเธอร์มที่ทั้ง 2 อุณหภูมิ

4. ผลการวัดการเปลี่ยนแปลงค่า a ที่ทั้ง 15 และ 35°C มีแนวโน้มคล้ายคลึงกับการเปลี่ยนแปลงค่า ΔE โดยผงสาหร่ายปรุงรสโรยข้าวที่เก็บในสภาวะที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูง มีการเปลี่ยนแปลงของสีเขียว (a) มากกว่าผงสาหร่ายที่เก็บที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าเช่นเดียวกัน จึงไม่ควรเก็บผงสาหร่ายปรุงรสโรยข้าวไว้ในที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงในทั้ง 2 อุณหภูมิ และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับผลจากการหามอยส์เจอร์ซอร์พชันไอโซเธอร์ม พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น ค่า a มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน

ซึ่งหากผลิตผงสาหร่ายปรุงรสโรยข้าวที่มีความชื้นเริ่มต้น 6.26 % ควรเก็บไว้ในบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมที่สามารถรักษาความชื้นสัมพัทธ์ภายในบรรจุภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 15°C คือที่ช่วงความชื้นสัมพัทธ์ 21.79-27.25% และที่อุณหภูมิ 35°C คือที่ช่วงความชื้นสัมพัทธ์ 36.10-44.57% เพื่อรักษาความชื้นและสีของผงสาหร่ายปรุงรสโรยข้าวไว้

บรรณานุกรม

กาญจนภาชน์ ลิ่วมโนมนต์. 2527. สาหร่าย. กรุงเทพมหานคร: [ม.ป.ท.].

ยุวดี พีรพรพิศาล และคณะ. 2547. "ความหลากหลายทางชีวภาพและการใช้ประโยชน์ของสาหร่ายในลำน้ำน่าน." วารสารวิจัยวิทยาศาสตร์ (Section T) 3,พิเศษ :83-94.

ฝ่ายวิจัยและฝึกอบรมมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตน่าน. 2544. สาหร่ายไก [Online] แหล่งที่มา: http://www.nan.rmult.ac.th/webvijai/research/kai/kai1.php [2005, November 15]

A.O.A.C. 1995. "Official Methods of Analysis of AOAC International," 16th ed. Association of Official Analytical Chemists. Arington, Virginia: AOAC International.

Aryanci, E., Aryanci, G., and Dogantan, Z. 1990. Moisture sorption isotherm of dried apricot, fig and raisin at 20°C and 36°C. J. Food Sci. 55 (6) :1591-1593.

Borompichaichartkul, C. 1999. Studies of effect of trehalose on drying behaviour of cherries and blueberries, BSc thesis, University of New South Wales, Sydney Australia, p. 33-34.

Britton, G. 1983. Tetrapyrroles. In The biochemistry of natural pigments., Cambridge University Press, Cambridge. p. 130-188

Brunauer, S., Emmett, P. H., and Teller, E. 1983. The adsorption of gases, Am. Chem. Soc. J., 62: 1723.

Chowdhury, M. M. I., Huda, M. D., Hossain, M. A., and Hassain, M. S. 2005. Moisture sorption isotherms for mungbean (*Vigna radiata* L). J. Food Eng. 74(4):462-467

Eskin, N. A. M., and Robinson, D. S., eds. 2001. Water activity and Plasticization. In Food shelf life stability. p. 3-36, CRC Press, Boca Raton, Florida.

Fennema , O. R. 1985. Water and Ice. In Food Chemistry., Marcel Dekker, Inc., New York. p. 23-67

Joeng, Y. H. 1995. Optimisation of Quality of Dried Cherries. UNSW MAppSc thesis.

Labuza, T. P. 1968. Sorption phenomena in foods. Food Technology. 22 :15-24.

Lazarides, H. N., Nickolaidis, A., and Katsanidis, E. 1995. Sorption changes induced by osmotic precontration of apple slices in different osmotic media. J. Food Sci. 60 (2): 348-359.

Lim, T. L., Tang, J., and He, J. 1995. Moisture Sorption Characteristics of Freeze Dried Blueberries. J. Food Sci. 60 (4): 810-813.

Rahman, S. Md. 1995. Food properties Handbook. CRC press.

Wang, N., and Brennan, J. G. 1991. Moisture Sorption Isotherm Characteristics of Potatoes at Four Temperature. J. Food Eng. 14: 269-287.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก
การวิเคราะห์สี

วัสดุอุปกรณ์

- เครื่องวัดสี minolta CR 300
- ช้อนตักสาร

วิธีทำการทดลอง

1. นำตัวอย่างของผงสาหร่ายปรุงรสโรยข้าวที่บรรจุอยู่ในถุงผ้าขาวบาง ออกมาวางบนกระดาษขาว
2. แผ่กระจายให้ทั่วโดยมีความหนาพอสมควรเพื่อไม่ให้เวลาวัดสี ไปติดสีของกระดาษ
3. วัดสีด้วยเครื่อง minolta CR 300 ในค่าของ L, a, b และ ΔE
4. ประมวลผลโดยใช้โปรแกรม SPSS 11.5

$$\Delta E = \sqrt{(L - L_{std})^2 + (a - a_{std})^2 - (b - b_{std})^2}$$

ΔE = ค่าการเปลี่ยนแปลงของสีเมื่อเทียบกับค่าสีเริ่มต้น

L, a และ b = ค่าการวัดสี

L_{std}, a_{std} และ b_{std} = ค่าการวัดสีเริ่มต้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข
ค่าความชื้นเริ่มต้นของผงสาหร่ายปรุงรสโรยข้าว

ครั้งที่	น้ำหนัก (g)	% ความชื้นของสาหร่ายเริ่มต้น
1	1.053	7.47
2	1.061	6.51
3	1.074	5.73
4	1.086	5.34

ทำการทดลองหา % ความชื้นเริ่มต้นของผงสาหร่ายปรุงรสโรยข้าว โดยใช้วิธี hot air oven และทำการทดลอง 4 ครั้ง ได้ค่า % ความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ย มีค่าเท่ากับ 6.26 มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.94

ภาคผนวก ค
ค่าความเข้มสีของผงสาหร่ายปรุงรสโรยข้าว

สาหร่ายเริ่มต้น	ค่าสีของสาหร่าย					
	L		a		b	
	mean	SD	mean	SD	mean	SD
	47.58	0.91	-3.74	0.34	+17.44	1.37

ทำการหาค่าความเข้มสีของผงสาหร่ายปรุงรสโรยข้าว โดยใช้เครื่อง minolta CR300 และพิจารณาในรูปของค่า L a และ b โดยที่แต่ละตัวทำการทดลอง 10 ค่า แล้วนำมาคำนวณทางสถิติ