การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตสารสีแดงบนปลายข้าวเจ้าของ *Monascus purpureus* TISTR 3090 เพื่อนำไปสู่การผลิตในระดับการค้า

นฤมล เถื่อนกูล

วท.บ., วท.ม. ชีววิทยา

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

พ.ศ. 2548

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณอธิการบดี คณะกรรมการบริหารงานวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ที่กรุณาให้ทุนอุดหนุนงานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณโปรแกรมวิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงครามที่ได้ให้ความกรุณา อุปกรณ์ เครื่องมือ และสถานที่ ในการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. อุไรวรรณ วิจารณกุลที่ให้คำแนะนำและคำปรึกษาในการเขียนรายงานการวิจัย ขอขอบคุณ อาจารย์ ดร. เชิดชัย โพธิ์ศรี ที่ช่วยตรวจรูปเล่มงานวิจัยและให้ข้อเสนอแนะ และขอขอบคุณ อาจารย์สราวุฒิ สิทธิกูล ที่ให้คำแนะนำและคำปรึกษาเรื่องการย้อมสีผ้า

ขอขอบคุณ นางสาววิไลกร บุญช่วยสุข นักศึกษา ปี 3 โปรแกรมวิชาชีววิทยาประยุกต์ คุณเชาวลิต พึ่งแตง และ คุณวันเพ็ญ เพ็ญจันทร์ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการจุลชีววิทยา โปรแกรมวิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ที่ให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัย

สุดท้ายขอขอบคุณ บิดา มารดา สามี บุตรีและบุตร ที่ให้กำลังใจในการทำงานวิจัยในครั้งนี้มาโดยตลอด

นฤมล เถื่อนกูล

มกราคม 2549

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

หัวข้อวิจัย	การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตสารสีแดงบนปลายข้าวเจ้าของ *Monascus purpureus* TISTR 3090 เพื่อนำไปสู่การผลิตในระดับการค้า
ชื่อผู้วิจัย	นางนฤมล เถื่อนกูล
ภาควิชา	วิทยาศาสตร์
คณะ	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
สถาบัน	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
ปีการศึกษา	2548

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ คือ เพื่อให้ได้วิธีการผลิตสารสีแดงบนปลายข้าวเจ้าของ *Monascus purpureus* TISTR 3090 ในระดับการค้า ทำการศึกษาภาชนะชนิดต่างๆ ที่แปรผันตามปริมาณปลายข้าว อุณหภูมิและระยะเวลาของการอบแห้ง วิธีการย้อมเส้นใยไหมและฝ้าย และการบรรจุภัณฑ์ พบว่า ภาชนะและปริมาณปลายข้าวที่เหมาะสมต่อการผลิตข้าวแดง ได้แก่ ขวดโหลแก้วขนาดปริมาตร 6,150 มิลลิลิตร ปริมาณปลายข้าว 300 กรัม โหลแก้วขนาดปริมาตร 6,500 มิลลิลิตร ปริมาณปลายข้าว 300 กรัม บีกเกอร์ขนาดปริมาตร 2000, 1000 และ 500 มิลลิลิตร ปริมาณปลายข้าว 200 (และ150), 100 และ 50 กรัม ตามลำดับ ฟลาสก์ ขนาดปริมาตร 2000, 1000 และ 500 มิลลิลิตร ปริมาณปลายข้าว 150, 100 และ 50 กรัม ตามลำดับ อุณหภูมิและระยะเวลาของการอบแห้งข้าวแดงที่เหมาะสมคือ 90 องศาเซลเซียส 20 นาที นำข้าวแดงที่ได้มาบดให้ละเอียด แล้วนำมาย้อมเส้นใยไหมและฝ้ายโดยใช้แช่และต้มในมอร์แดนท์ที่เป็นน้ำมะขาม พีเอช 3.4 พบว่าเส้นใยไหมติด สีส้ม-ชมพู รหัส 555 (seattle fabrics, Inc., 2005) เส้นใยฝ้ายติดสีชมพูอ่อน รหัส 503 ซึ่งเส้นใยทั้งสองชนิดติดสีไม่คงตัว การบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมคือ บรรจุผงข้าวแดงในถุงพลาสติกปิดผนึกด้วยเครื่องปิดผนึก

Research Title The Study on Effective Factors for *Monascus purpureus* TISTR 3090 Red Pigment Production Using Rice Grains as Commercial Media.

Name Mrs. Naruemol Thaunkoon

Department Applied Biology

Faculty Science and Tecnology

Institute Pibulsongkram Rajabhat University

Year 2005

Abstract

The objective of the research was to produce red pigment of *Monascus purpureus* TISTR 3090 using rice grains as commercial media. The study factors were container (varied of rice grains), temperature and dried time, dyeing silk fiber, cotton fiber mordants and packaging. Duncan's Mutiple Range Test (DRMT) and the standard color chart were used to analyze the data. The result showed that glass jars, beakers and flasks were the best container. Temperature and dried time were 90 °C, 20 minutes. The tamarind juice (pH 3.4) was the best mordant for dyeing silk fiber (pink-orange; code 555) and cotton fiber (pinkness; code 503). However, it was unstable dyeing. Red fermented rice packing in closed sealling plastic bag was the suitable method for packaging.

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ข
บทคัดย่อภาษาไทย	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญภาพ	ฉ
สารบัญตาราง	ฌ
บทที่ 1 บทนำและวัตถุประสงค์	1
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย	47
บทที่ 4 ผลการวิจัย	51
บทที่ 5 อภิปรายและสรุปผลการวิจัย	66
เอกสารอ้างอิง	70
ภาคผนวก ก	75
ภาคผนวก ข	76
ภาคผนวก	77
ประวัติผู้วิจัย	79

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	โคโลนีของราโมแนสคัสอายุ 5, 7 และ 9 วัน บน starch agar	6
2.2	โครงสร้างการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศของราโมแนสคัสภายใต้กล้องจุลทรรศน์ (400 เท่า)	6
2.3	วัฏจักรชีวิตของราโมแนสคัส	7
2.4	การหมักข้าวแดงในระดับอุตสาหกรรม	10
2.5	ข้าวแดง	11
2.6	สีของเต้าหู้ยี้ที่ได้จากสีแดงของราโมแนสคัส	12
2.7	ไวน์แดงที่ได้จากสีแดงของราโมแนสคัส	12
2.8	สีผสมอาหาร (สีแดง) ที่ได้จากราโมแนสคัส	13
2.9	การเตรียมเชื้อตั้งต้นของจุลินทรีย์เซลล์เดียวและจุลินทรีย์หลายเซลล์	15
2.10	การเตรียมเชื้อตั้งต้นในรูปเซลล์ร่างกาย	16
2.11	การเตรียมเชื้อตั้งต้นในรูปสปอร์	16
2.12	การสร้างสปอร์ของ *Monacus purpureus* บนเมล็ดข้าวเจ้าในถุงพลาสติก	17
2.13	ลักษณะของแบฟเฟิลภายในฟลาสก์	20
2.14	การหมักเชื้อราบนอาหารแข็งในถาดอะลูมิเนียมในห้องที่ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น	21
2.15	ระบบต้นแบบการให้อากาศอัตโนมัติในหลอดแก้ว	22
2.16	ระบบการหมักแข็งโดยใช้คอลัมน์เดี่ยว	22
2.17	ตัวอย่างบรรจุภัณฑ์เฉพาะหน่วย	27
2.18	ตัวอย่างบรรจุภัณฑ์ชั้นใน	27
2.19	ตัวอย่างบรรจุภัณฑ์ชั้นนอกสุด	28
2.20	ประเภทของวัสดุบรรจุภัณฑ์	29
2.21	ตัวอย่างการออกแบบภาชนะบรรจุในประเทศญี่ปุ่น	32
2.22	ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย้อมสีธรรมชาติ	44
2.23	*Janthinobacterium lividum* และผลิตภัณฑ์ที่ย้อมได้จากสีของ *J. lividum*	45

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
3.1	แผนผังแสดงขั้นตอนการวิจัย	47
4.1	การสร้างสารสีแดงบนปลายข้าวเจ้าของ *M. purpureus* TISTR 3090 ในฟลาสก์ขนาด 500, 1000, 2000 และ 2,000 มิลลิลิตร ปริมาณปลายข้าว 50, 100, 150 และ 200 กรัม ตามลำดับ ปิดจุกสำลี	54
4.2	การสร้างสารสีแดงบนปลายข้าวเจ้าของ *M. purpureus* TISTR 3090 ในบีกเกอร์ขนาด 500, 1000 และ 2,000 มิลลิลิตร ปริมาณปลายข้าว 50, 100 และ 150 กรัม ตามลำดับ ปิดจุกสำลี	55
4.3	การสร้างสารสีแดงบนปลายข้าวเจ้าของ *M. purpureus* TISTR 3090 ในถุงพลาสติกทนความร้อนขนาด 12x18 นิ้ว 16x26 นิ้ว และ 20x30 นิ้ว ปริมาณปลายข้าว 50, 100 และ 150 กรัม ตามลำดับ ปิดด้วยสำลี	56
4.4	การสร้างสารสีแดงบนปลายข้าวเจ้าของ *M. purpureus* TISTR 3090 ในถาดอะลูมิเนียม ขนาด 20x24x8 เซนติเมตร ปริมาณปลายข้าว 500 กรัม ปิดด้วยกระดาษ	56
4.5	การสร้างสารสีแดงบนปลายข้าวเจ้าของ *M. purpureus* TISTR 3090 ในขวดโหลแก้ว ขนาดปริมาตร 6,150 ลิตร ปริมาณปลายข้าว 300 กรัม ปิดด้วยกระดาษ	57
4.6	การสร้างสารสีแดงบนปลายข้าวเจ้าของ *M. purpureus* TISTR 3090 ในโหลแก้วขนาดปริมาตร 6,500 ลิตร ปริมาณปลายข้าว 300 กรัม ปิดด้วยกระดาษ	57
4.7	ลักษณะผงข้าวแดงของ *M. purpureus* TISTR 3090 จากภาชนะ 4 ชนิด ที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง	58
4.8	ลักษณะการเจริญของ *M. purpureus* TISTR 3090 บนอาหารวุ้นเข็งและปลายข้าวเจ้า ระยะเวลา 3 วัน	59
4.9	ลักษณะของผงข้าวแดงที่ผ่านการอบแห้งตามอุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ	60
4.10	สีส้ม-ชมพู ของเส้นใยไหมที่ย้อมด้วยมอร์แดนท์ 5 ชนิด และน้ำประปา โดยวิธีแช่ 1 คืน และแช่ 1 คืน แล้วต้ม	62

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
4.11	สีชมพูอ่อนของเส้นใยฝ้ายที่ย้อมด้วยมอร์แดนท์ 5 ชนิด และน้ำประปา โดยวิธีแช่ 1 คืน และแช่ 1 คืน แล้วต้ม	63
4.12	ลักษณะเส้นใยไหมที่ย้อมด้วยสีแดงจากข้าวแดง	64
4.13	การบรรจุผงข้าวแดงในถุงพลาสติก ถ้วยพลาสติก และขวดแก้ว ปิดผนึกด้วยเครื่องปิดผนึก	65

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
4.1	ชนิดของภาชนะ ขนาดของภาชนะ น้ำหนักของปลายข้าวเจ้าก่อนการหมัก น้ำหนักแห้งของผงข้าวแดง ลักษณะการสร้างสารสีบนปลายข้าวเจ้า ผงข้าวแดงที่ผลิตได้และสีมาตรฐาน	52
4.2	เปรียบเทียบน้ำหนักแห้งของผงข้าวแดงในฟลาสก์กับบีกเกอร์ เมื่อใช้น้ำหนักของปลายข้าวเจ้าก่อนการหมักเท่ากันในภาชนะปริมาตรเท่ากัน	54
4.3	อุณหภูมิและระยะเวลาของการอบแห้ง น้ำหนักก่อนอบแห้ง น้ำหนักแห้ง และผงข้าวแดงที่ผลิตได้เทียบกับสีมาตรฐาน	60
4.4	เส้นใยไหมและเส้นใยฝ้ายที่ย้อมรวมกับมอร์แดนท์ 5 ชนิด และน้ำประปาโดยวิธีแช่ 1 คืน และแช่ 1 คืน แล้วนำมาต้มให้เดือด	61

มหาวิทยาลัยพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

บทที่ 1
บทนำ

งานวิจัยเรื่องนี้สืบเนื่องมาจาก งานวิจัยเรื่อง การใช้สารสีจากจุลินทรีย์ในการย้อมสีเส้นใยจากธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์ (นฤมล เถื่อนกูล, 2547) พบว่าสารสกัดสีแดงบนปลายข้าวเจ้าหรือข้าวแดงที่ผลิตจาก *Monascus purpureus* TISTR 3090 สามารถย้อมติดเส้นใยไหมและเส้นใยฝ้ายได้ดี จึงน่าจะนำมาศึกษาการเพิ่มการผลิตของสารสีแดงบนปลายข้าวเจ้าของ *M. purpureus* TISTR 3090 ให้ได้มากขึ้น เนื่องจากกระบวนการหมักที่ผ่านมาเป็นการศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการและจะประสบความสำเร็จทางการค้าได้ขึ้นอยู่กับความสามารถในการขยายกระบวนการเป็นระยะๆ จากห้องปฏิบัติการจนถึงระดับการค้า การขยายการหมัก (scale up) ต้องเหมาะสมในเกณฑ์ทางกายภาพและเศรษฐศาสตร์ด้วยวิธีที่ง่ายที่สุด ซึ่งไม่สามารถใช้เกณฑ์ของการหมักระดับห้องปฏิบัติการมาใช้กับถังหมักทางการค้าได้โดยตรง (บุษบา ยงสมิทธ์, 2542) และเนื่องจากวัตถุดิบ (ปลายข้าวเจ้า) ราคาถูก ชนิดของราไม่เป็นอันตรายต่อผู้ผลิต ผู้ใช้ และสามารถนำมาใช้ย้อมสีเส้นใยไหมและเส้นใยฝ้ายเพื่อใช้ในการทอผ้าในระดับครัวเรือน ซึ่งสอดคล้องกับรัฐบาลได้มีนโยบายในการดำเนินโครงการหนึ่งตำบล หนึ่งผลิตภัณฑ์ เพื่อส่งเสริมสนับสนุนกระบวนการพัฒนาท้องถิ่นชุมชนเข้มแข็ง พึ่งตนเองได้ ให้ประชาชนมีส่วนร่วมในการสร้างงาน สร้างรายได้ด้วยการนำทรัพยากรในท้องถิ่นมาพัฒนาเพิ่มมูลค่า

1.1 วัตถุประสงค์

1.1.1 เพื่อให้ได้วิธีการผลิตสารสีแดงบนปลายข้าวเจ้าของ *M. purpureus* TISTR 3090 ในระดับการค้า

1.1.2 เพื่อย้อมเส้นใยฝ้ายและเส้นใยไหม โดยใช้ผงข้าวแดงที่ผลิตในปริมาณมาก

1.2 สมมุติฐาน

1.2.1 ภาชนะที่เลือกใช้ในการผลิตสารสีแดงบนปลายข้าวเจ้าของ *M. purpureus* TISTR 3090 ในระดับการค้าต้องหาง่าย ราคาถูก หรืออาจใช้เครื่องแก้วในห้องปฏิบัติการ ดังนั้น ฟลาสก์ บีกเกอร์ ถุงพลาสติก ถาดอะลูมิเนียม ขวดโหลแก้ว และโหลแก้ว สามารถใช้เป็นภาชนะในการผลิตสารสีแดงได้ดีต่างกันและแปรผันที่ปริมาณปลายข้าวเริ่มต้นด้วย

1.2 สมมุติฐาน

1.2.1 ภาชนะที่เลือกใช้ในการผลิตสารสีแดงบนปลายข้าวเจ้าของ *M. purpureus* TISTR 3090 ในระดับการค้าต้องหาง่าย ราคาถูก หรืออาจใช้เครื่องแก้วในห้องปฏิบัติการ ดังนั้น ฟลาสก์ บีกเกอร์ ถุงพลาสติก ถาดอะลูมิเนียม ขวดโหลแก้ว และโหลแก้ว สามารถใช้เป็นภาชนะในการผลิตสารสีแดงได้ดีต่างกันและแปรผันที่ปริมาณปลายข้าวเริ่มต้นด้วย

1.2.2 การเตรียมเชื้อตั้งต้นของรา ควรมีวิธีการเตรียมที่สะดวก และรวดเร็ว

1.2.3 ถ้าอุณหภูมิและระยะเวลาของการอบแห้งมีผลต่อการผลิตข้าวแดง ดังนั้นอุณหภูมิ อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เวลา 20 นาที อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เวลา 15 นาที และอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที มีผลต่อการอบแห้งของข้าวแดงได้แตกต่างกัน

1.2.4 มอร์แดนท์ 5 ชนิด ได้แก่ สารส้ม เกลือแกง มะขามเปียก โซเดียมไบคาร์บอเนต และน้ำขี้เถ้าที่มีพีเอชต่างกัน โดยมีน้ำประปาเป็นชุดควบคุม และวิธีการย้อม 2 วิธี คือ แช่ในมอร์แดนท์ หรือแช่ในมอร์แดนท์ แล้วนำมาต้ม ซึ่งอาจทำให้การย้อมติดสีของเส้นใยไหมและเส้นใยฝ้ายแตกต่างกัน

1.2.5 การบรรจุภัณฑ์ต้องใช้ภาชนะและการปิดผนึกที่ป้องกันความชื้น และราคาถูก ดังนั้น ภาชนะที่ใช้ในการบรรจุผลิตภัณฑ์ เช่น ถุงพลาสติก ถ้วยพลาสติก และขวดแก้ว การปิดผนึกด้วยเครื่องปิดผนึก ใช้ในการบรรจุภัณฑ์ได้แตกต่างกัน

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1.3.1 เชื้อราที่สามารถผลิตสารสีแดงที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Monascus purpureus* TISTR 3090 ซื้อจากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

1.3.2 วิเคราะห์ผลการวิจัยโดยการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test; DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 11 และตรวจสอบสีที่ผลิตได้จาก *M. purpureus* TISTR 3090 โดยเทียบกับสีมาตรฐานของบริษัทซีตเทิลเฟบริค (seattle fabrics, Inc., 2005)

1.3.3 การทดลองนี้แบ่งออกเป็น 6 ขั้นตอน คือ

ขั้นตอนที่ 1 หาชนิดของภาชนะและปริมาณปลายข้าวที่เหมาะสมในการผลิตสารสีแดงของ *M. purpureus* TISTR 3090 โดยทดลองใช้ภาชนะ 6 ชนิด ฟลาสก์ บีกเกอร์ ถุงพลาสติก

ถาดอะลูมิเนียม ขวดโหลแก้ว และโหลแก้ว โดยแปรผันที่ปริมาณปลายข้าว ในสภาวะการหมักแบบเดียว คือ อุณหภูมิห้อง และหมักเป็นเวลานาน 5-7 วัน

ขั้นตอนที่ 2 การเตรียมเชื้อตั้งต้นของรา เลือกวิธีการสร้างสปอร์บนอาหารวุ้นแข็ง และการสร้างสปอร์บนอาหารแข็ง บ่มที่อุณหภูมิห้องและหมักเป็นเวลานาน 5-7 วัน เปรียบเทียบกันโดยดูที่วิธีการเตรียมที่สะดวก และรวดเร็ว

ขั้นตอนที่ 3 ศึกษาอุณหภูมิและระยะเวลาของการอบแห้งมีผลต่อการผลิตข้าวแดง โดยใช้อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เวลา 20 นาที อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เวลา 15 นาที และอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที

ขั้นตอนที่ 4 . หาวิธีการนำไปใช้ นำผงข้าวแดงที่ผลิตได้มาละลายในมอร์แดนท์ 5 ชนิด ได้แก่ สารส้ม เกลือแกง มะขามเปียก โซเดียมไบคาร์บอเนต และน้ำขี้เถ้า โดยมีน้ำประปาเป็นชุดควบคุม และหาวิธีการย้อมเส้นใยไหมและเส้นใยฝ้าย คือ แช่ในมอร์แดนท์ 1 คืน และ แช่ในมอร์แดนท์ 1 คืน แล้วนำมาต้ม

ขั้นตอนที่ 5 ศึกษาวิธีการบรรจุภัณฑ์ ได้แก่ ภาชนะที่ใช้ในการบรรจุผลิตภัณฑ์รูปแบบต่างๆ เช่น ถุงพลาสติก และถ้วยพลาสติก การปิดผนึกด้วยเครื่องปิดผนึก

ขั้นตอนที่ 6 วิเคราะห์ข้อมูล จาก 5 ขั้นตอนข้างต้น แล้วจึงนำมาขยายผลการวิจัยไปสู่กลุ่มทอผ้าลาวดั่ง บ้านสระยายชี ตำบลเนินปอ อำเภอสามง่าม จังหวัดพิจิตร

1.4 ข้อจำกัดของการวิจัย

ข้อจำกัดของการวิจัย คือ ปัญหาหรืออุปสรรคที่จะทำให้ผลการทดลองคลาดเคลื่อน เมื่อทำการทดลองซ้ำ โดยเฉพาะถ้าจะนำไปสู่ระบบอุตสาหกรรม จะต้องมีความแม่นยำสูง ในที่นี้น่าจะเป็นปริมาณเชื้อเริ่มต้น ความแก่-อ่อน หรืออายุของปลายข้าวพันธุ์ชัยนาถที่ใช้เป็นซับสเตรต อุณหภูมิห้องที่ใช้บ่มเชื้อราบนซับสเตรต

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทราบชนิดของภาชนะและปริมาณปลายข้าว การเตรียมเชื้อตั้งต้น อุณหภูมิและระยะเวลาการอบแห้ง การนำไปใช้ และการบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมของผงข้าวแดงที่ผลิตจาก *M. purpureus* TISTR 3090 ในระดับการค้า

1.6 หน่วยงานที่นำวิจัยไปใช้ประโยชน์

กลุ่มแม่บ้านที่ผลิตผ้าทอพื้นบ้าน อุตสาหกรรมผลิตสีย้อมผ้า กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ สถาบันการศึกษาระดับอุดมศึกษา

1.7 สถานที่ทำการทดลองและเก็บข้อมูล

ศูนย์วิทยาศาสตร์ (ตึกวิทยสโมสร) และตึกวิทยาศาสตร์ สาขาชีววิทยา ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม และบ้านสระยายชี ตำบลเนินปอ อำเภอสามง่าม จังหวัดพิจิตร

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

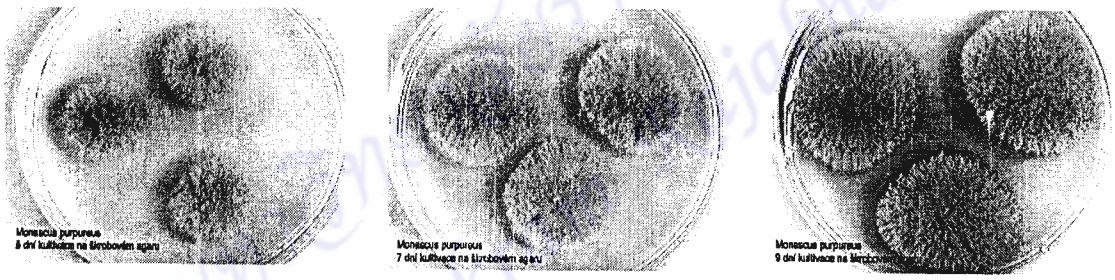
2.1 ราโมแนสคัสหรือราข้าวแดง (*Monascus* spp. or red rice mold)

ราโมแนสคัสมีการนำมาใช้ในอาหารและเครื่องยาพื้นบ้านในประเทศแถบตะวันออกมีมานานแล้วนับเป็นเวลาหลายร้อยปี สามารถเจริญบนข้าวนึ่ง เมื่อบ่มที่อุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสมโดยย่อยเมล็ดข้าวจนข้าวนุ่ม ในขณะเดียวกันก็สร้างสีแดงเข้มขึ้นบนเมล็ดข้าวเรียกว่าข้าวแดง ข้าวแดงมีชื่อเรียกต่างๆ กันมากมายเช่น ข้าวแดง (red rice) ข้าวแดงจากจีน (Chinese red rice) อังคัก (ang-kak) แอนแคก (ankak) แองคา (anka) อังคเวค (angquac) เบนนิ-โคจิ (beni-koji) และอะกาโคจิ (aka-koji)

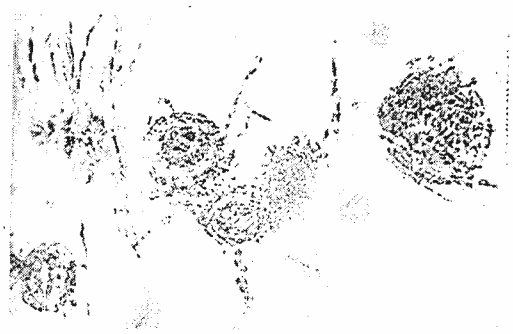
2.1.1 อนุกรมวิธานและสันฐานวิทยาของราโมแนสคัสหรือราข้าวแดง

ราโมแนสคัสหรือราข้าวแดงอยู่ในอาณาจักรฟังไจ (Kingdom Fungi) ไฟลัมแอสโคมัยคอตา (Phylum Ascomycota) กลุ่มแอสโคมัยซีตีส (Class Ascomycetes) อันดับยูโรเทียเลส (Order Eurotiales) วงศ์ไตรโคคอมาซีอี (Family Trichocomaceae) (Alexopoulos, Mims, & Blackwell, 1996) ใยรามีผนังกั้น (septate) มีการแตกกิ่งมากมายและมักเจริญแบบชิดเกาะแน่นบนผิวของอาหารแข็ง ใยราเมื่ออายุอ่อนมีสีขาวแต่เมื่ออายุมากขึ้นจะมีสีแดงหรือแดงม่วง (ภาพที่ 2.1) มีการสืบพันธุ์แบบโฮโมแทลลิก (homothallic) คือ สามารถสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศได้ด้วยตนเองโดยไม่ต้องอาศัยการผสมพันธุ์กับสายพันธุ์ที่มีเพศตรงข้าม (opposite mating type) การสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ มีการสร้างโคนิเดียชนิดอะลูริโอโคนิเดีย (aleurioconidia) ซึ่งสร้างขึ้นตรงปลายก้านชูโคนิเดีย (conidiophore) หรือเกิดตรงด้านข้างของใยราแบบซิกแซกไปมา (sympodial or lateral) โคนิเดียรูปร่างกลมหรือรูปไข่ มีรอยตัดที่ฐาน ไม่มีสีถึงสีน้ำตาล ผนังหนาและเรียบ อาจเกิดเดี่ยวๆ และมีการเจริญในลักษณะที่โคนิเดียซึ่งเกิดใหม่ที่ฐานล่างดันโคนิเดียแก่ขึ้นไปเรื่อยๆ (basipetal development) บนก้านชูโคนิเดีย ในบางชนิดสร้างคลามัยโดโคนิเดีย (chlamydoconidia) หรืออาร์โทรโคนิเดีย (arthroconidia) โคนิเดียมักไม่มีสี แต่เมื่ออายุมากขึ้นจะเกิดสีแดงได้บ้าง ก้านชูโคนิเดียมีขนาดสั้นอาจมีผนังกั้นหนึ่งอัน ถ้ามีขนาดยาวจะมีผนังกั้น 2–6 อัน เป็นสายตรงหรือขดเป็นเกลียวและเปลี่ยนเป็นสีแดง เมื่ออายุแก่ขึ้น การงอกของโคนิเดียจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสูตรอาหารเช่น อาหารซี (C-Medium) เหมาะสมสำหรับการเกิดโคนิเดียของโมแนสคัส นอกจากนั้นยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นอีกหลายๆ ประการ เช่น อายุสปอร์ ความหนาแน่นของสปอร์ พีเอช แสงและอุณหภูมิ เช่น อุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 35 องศาเซลเซียส โดยทั่วไปโคนิเดียจะงอกภายใน 4 ชั่วโมง เมื่อมีความชื้น

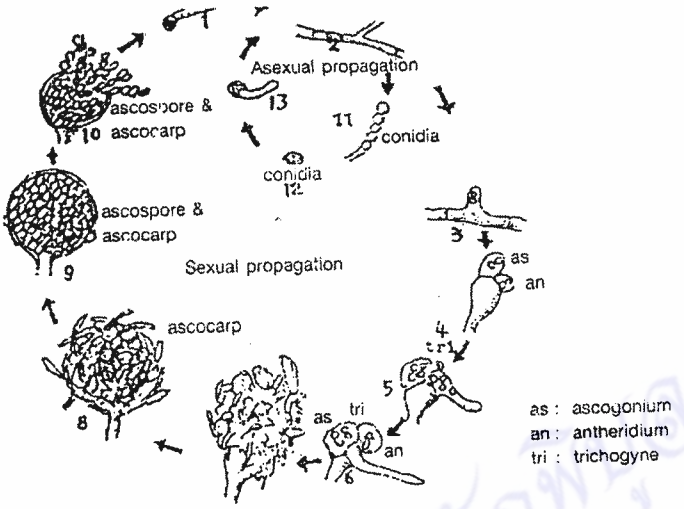
และอุณหภูมิที่เหมาะสมด้วยการสร้างเจิร์มทิวป์ (germ tube) ขึ้นมา 1-2 อัน หรือบางทีอาจมีได้ถึง 6 อัน ซึ่งการงอกของโคนิเดีย กระตุ้นได้ด้วยคาร์โบไฮเดรตหลายชนิด ส่วนการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศของราโมแนสคัสคล้ายๆ กับราอื่นในกลุ่มแอสโคมัยซีตีส คือ สร้างแอสโคคาร์ป (ascocarp) ชนิดคลิสโททิเชียม (cleistothecium) เป็นแอสโคคาร์ป ที่มีรูปร่างกลม (ภาพที่ 2.2) โดยจะเกิดบนก้าน (stalk) ที่มีหรือไม่มีผนังกั้นก็ได้ แอสโคคาร์ปเกิดขึ้นบนใยราแบบโฮโมแทลลิกโดยการสร้างโครงสร้างสืบพันธุ์เพศผู้ คือ แอนเทอริเดียม (antheridium) โครงสร้างสืบพันธุ์เพศเมียคือ แอสโคโกเนียม (ascogonium) เกิดการรวมกันที่ปลายแอสโคโกเนียมกับส่วนฐานหรือส่วนกลางของแอนเทอริเดียมแล้วจะมีการแบ่งเซลล์แบบไมโอซีส และไมโทซีสได้เซลล์ลูกที่มี 8 นิวเคลียส ต่อมาเจริญเป็น 8 แอสโคสปอร์ (ascospores) แอสโคสปอร์มีลักษณะเป็นรูปไข่ อาจมีสีน้ำตาล สีแดง สีส้มหรือไม่มีสี เมื่อผนังแอสโคคาร์ปแตกออกก็จะปล่อยแอสโคสปอร์งอกเป็นใยราใหม่ (ภาพที่ 2.3)



ภาพที่ 2.1 โคโลนีของราโมแนสคัสอายุ 5, 7 และ 9 วัน บน starch agar
ที่มา (ICT, Department of Fermentation Chemistry and Bioengineering, Czech Republic, 2005)



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศของราโมแนสคัสภายใต้กล้องจุลทรรศน์ (400 เท่า)
ที่มา (บุษบา ยงสมิทธ์, 2542, หน้า 249)



ภาพที่ 2.3 วัฏจักรชีวิตของราโมแนสคัส
ที่มา (บุษบา ยงสมิทธ์, 2542, หน้า 206)

2.1.2 ประวัติและสายพันธุ์ต่างๆ ของโมแนสคัส

ปี ค.ศ. 1884 Van Tieghem ได้แยกโมแนคัสเป็นครั้งแรกจากมันฝรั่งต้มในประเทศฝรั่งเศส โดยพบว่ามีอยู่ 2 ชนิดคือ *Monascus ruber* และ *M. mucoroides* ต่อมา ค.ศ. 1985 Went ได้แยก *M. purpureus* จากข้าวแดงหรืออังคัก ปัจจุบันมีการรวบรวมราโมแนสคัสกว่า 20 ชนิด ซึ่งมีวิธีการจัดแบ่งชนิดของราโมแนสคัสโดยคณะวิจัยหลายกลุ่ม แต่ละกลุ่มใช้หลักการแตกต่างกันในการแบ่งชนิด เช่น ลักษณะทางสัณฐานวิทยา คุณสมบัติทางสรีรวิทยา และการใช้คุณสมบัติทางเอนไซม์ต่างๆ เช่น ราโมแนสคัส 4 ชนิด ได้แก่ *M. pilosus, M. purpureus, M. ruber* และ *M. floridanus* นอกจากจะแตกต่างกันทางสรีรวิทยาแล้ว ทางด้านวิทยาเอนไซม์ยังต่างกันด้วย โดย *M. pilosus* พบกิจกรรมเอนไซม์ β – galactosidase และ α –glucosidase *M. purpureus* พบกิจกรรมเอนไซม์ polypectase และ cystine arylamidase *M. ruber* พบกิจกรรมเอนไซม์ cellulose ส่วน *M. floridanus* เป็นชนิดเดียวที่พบกิจกรรมเอนไซม์ tripsinase แต่ไม่พบกิจกรรมเอนไซม์ valine arylamidase เหมือนชนิดอื่นๆ Nishikawa และคณะ (1988) พบว่าราโมแนสคัสชนิดต่างๆ ส่วนใหญ่มีกิจกรรมเอนไซม์ alkali protease มากกว่า acid protease และมีน้อยชนิดที่มีกิจกรรมเอนไซม์ protease ทั้ง 2 แบบ ต่อมา Nishikawa และ Lizuka (1993) ได้ใช้หลักการวิเคราะห์อะครีลาหมีดเจลอิเล็กโตรฟอรีซีส (acrylamide gel electrophoresis) สามารถจำแนกราโมแนสคัส จำนวน 15 ชนิด ออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 ประกอบด้วย *M. ruber* van. Tieghem และ *M. kaoliang* และ กลุ่มที่ 2 ประกอบด้วย *M. piolsus* Sato และ *M. pubigerus* Sato และในปี

ค.ศ. 1995 มีรายงานว่า พบรา *Monascus* sp. 2 ชนิดใหม่ ซึ่งแยกได้จากตะกอนในแม่น้ำชัทท์-เอล-อาหรับ (Shatt-al-Arab) ประเทศอิรัก คือ *M. pallens* sp. nov และ *M. sanguineus* sp. nov (บุษบา ยงสมิทธ์, 2542)

2.1.3 การหมักราโมแนสคัสบนอาหารแข็ง

2.1.3.1 สายพันธุ์ราโมแนสคัส โดยทั่วไปราโมแนสคัสเมื่อเจริญบนเมล็ดข้าวโดยการงอกของใยราทั้งผิวหน้า และแทรกทะลุเข้าไปในเมล็ดข้าวนั้นก็จะมีการสร้างสารสีได้ภายหลังจากการบ่มไปได้นาน 3 วัน สารสีเหล่านี้เมื่อมีการนำมาสกัดด้วยสารละลายเอทานอล พบว่าสารสีแดงทั่วไปจะมีค่าดูดกลืนแสงสูงสุด 2 จุด ที่ 420 และ 500 นาโนเมตร บางสายพันธุ์ที่ให้สีข้าวแดงหรืออังคัก เป็นสีแดงเข้มหรือแดงชมพูแก่จะมีจุดสูงสุด (peakedness) ที่ 500 นาโนเมตร ซึ่งสูงกว่าที่ 420 นาโนเมตร เช่น ที่พบในสายพันธุ์ของ *M. purpureus* หรือ *M. anka* แต่บางสายพันธุ์อาจให้สีแดงเข้มคล้ำ โดยมีจุดสูงสุดที่ 420 นาโนเมตร สูงกว่าที่ 500 นาโนเมตร หรือค่าความโค่งที่ 370 สูงกว่า 500 นาโนเมตร เช่น สายพันธุ์ *M. barkeri* หรือ *M. kaoliang*

2.1.3.2 วัตถุดิบ วัตถุดิบที่ใช้ในการหมักสีโมแนสคัสแบบแห้งนั้น ปกติจะเป็นข้าวหรือเมล็ดธัญพืชและอื่น ๆ

(1) ข้าว Palo และคณะ (1960) ศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการสร้างสีของ *M. purpureus* พบว่าสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตอังคัก มีดังนี้ ความชื้นไม่เกินร้อยละ 50 พีเอชระหว่าง 3.0-7.5 อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส แต่สายพันธุ์ข้าวเหนียวให้ผลไม่ดีนัก มีการทดลองการสร้างสีของ *M. purpureus* โดยใช้สภาวะดังกล่าวต่อการผลิตข้าวแดงมาทดสอบกับข้าวพันธุ์ต่างๆ ของไทย พบว่าข้าวเหนียวพันธุ์เขี้ยวงูและข้าวพันธุ์หอมมะลิให้สีเข้มใกล้เคียงกันแต่ข้าวเหนียวกลับให้กลิ่นหอมมากกว่าข้าวหอมมะลิกลิ่นหอมดังกล่าวคือ กลิ่นเอสเทอร์และแอลกอฮอล์ปนกันทั้งนี้ข้าวเหนียวพันธุ์เขี้ยวงู และข้าวเจ้าพันธุ์หอมมะลิให้ผลความเข้มของสีใกล้เคียงกับข้าวพันธุ์ญี่ปุ่น ในขณะที่ข้าวสายพันธุ์อื่นๆ ของไทย คือ พันธุ์เสาไห้และพันธุ์ธรรมดา นั้นล้วนแต่ให้สีและความหอมน้อยกว่ามาก มีรายงานว่าปริมาณอะไมโลสในเมล็ดข้าวที่แตกต่างกันมีผลต่อการผลิตข้าวแดงแตกต่างกันไปด้วย โดยพบว่าพันธุ์ข้าวที่มีอะไมโลสสูงมากกว่าร้อยละ 24 เช่น พันธุ์เหลือง 148 กข 23 กข 25 เหมาะสมต่อการผลิตข้าวแดงมากกว่าพันธุ์ กข 7 และขาวดอกมะลิ 105 ซึ่งปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าวมีเพียงพอต่อการสร้างสารสี จึงไม่จำเป็นต้องเติมเปบโตน (peptone) และข้าวจากแหล่งปลูกต่างๆ ในประเทศเกาหลีมีผลต่อการสร้างสีของข้าวแดง และพบว่าข้าวจากแหล่งปลูก Punpo ให้ผลดีที่สุด

(2) เมล็ดธัญพืช และอื่น ๆ พลายแก้ว และบุษบา (2534) ศึกษาแหล่งซับสเตรตชนิดต่างๆ ต่อการผลิตสีแดงเปรียบเทียบกับการผลิตบนข้าวโดยใช้เมล็ดข้าวโพด มันเทศ มันสำปะหลัง มันฝรั่ง ถั่วเขียว ถั่วเหลือง ข้าวฟ่าง ขนมปังแทนข้าวต่อการเจริญ การสร้างสีและการสร้าง สปอร์ของ *M. kaoliang*

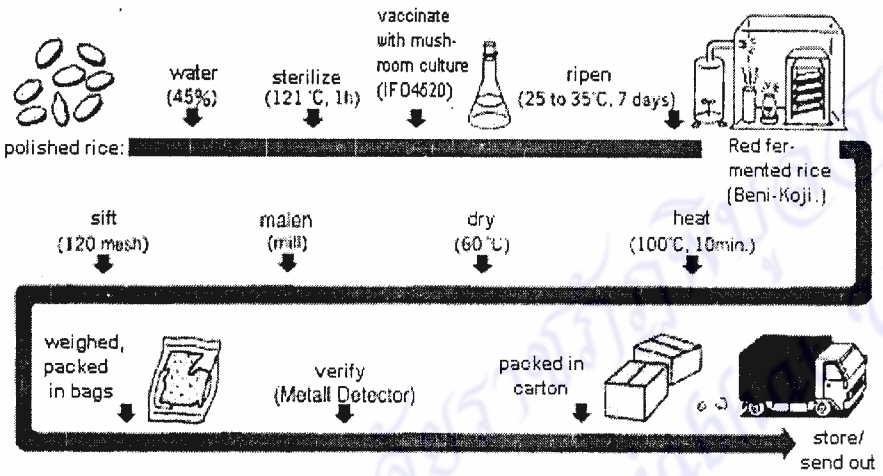
2.1.3.3 พีเอช Palo และคณะ (1960) รายงานว่า *M. purpureus* สร้างสีแดงได้ในพีเอชระหว่าง 3.0–7.5 และพบว่าสภาวะเป็นกรดไม่มีผลต่อการสร้างสีเหลืองของ *M. barkari*

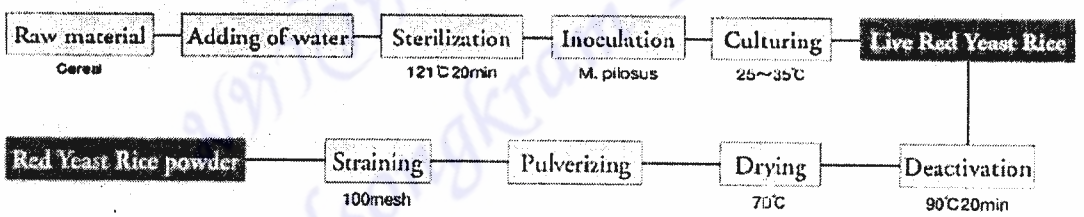
2.1.3.4 อุณหภูมิ อุณหภูมิที่เหมาะต่อการสร้างสีจะอยู่ระหว่าง 27-30 องศาเซลเซียส และพบว่าอุณหภูมิ 35-37 องศาเซลเซียส เหมาะสมต่อการเจริญและการสร้างเอนไซม์กลูโคอะไมเลส แต่ไม่เหมาะสมต่อการสร้างสีของราโมแนสคัส

2.1.3.5 อัตราส่วนของแก๊ส สัดส่วนของแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ มีผลต่อการผลิตข้าวแดงด้วย โดยพบว่าความดันแก๊สออกซิเจนต่อความดันคาร์บอนไดออกไซด์ที่ระดับ 0.50 ต่อ 0.02 บรรยากาศ (atm) จะมีผลดีต่อการสร้างสีแดงของข้าวแดงมากที่สุด โดยปกติการเพาะเลี้ยงโดยการให้อากาศจะเพาะเลี้ยงในอาหารเหลวบนเครื่องเขย่า

2.1.3.6 ความชื้น Palo และคณะ (1960) รายงานว่าความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 50 ให้ผลดีต่อการสร้างสีของ *M. purpureus* และความชื้นร้อยละ 60 ให้ผลดีเมื่อมีการเขย่าหรือการให้อากาศช่วยให้ราสร้างสีแดงได้ดีและเร็วขึ้น การหมักข้าวแดงในสภาพที่มีความชื้นสูงมากไปนั้น ราโมแนสคัสจะสร้างเอนไซม์ย่อยแป้งได้สูงแต่สีกลับน้อยลง ความชื้นเริ่มต้นที่เหมาะสมต่อการผลิตข้าวแดงในถุงพลาสติกของรา *Monascus* sp. NP1 คือ ร้อยละ 32.6 แต่ความชื้นเริ่มต้นเท่ากับร้อยละ 39.6 อัตราการสร้างสารสีจะลดลง ความชื้นต่ำเกินไปทำให้ราเจริญได้ไม่ดี ส่งผลให้การสร้างสีไม่ดีด้วย ความชื้นสูงเกินไปเกิดการเจริญและการสร้างเอนไซม์กลูโคสอะไมเลสมาก เกิดการสะสมกลูโคสยับยั้งการสร้างสีได้จึงได้พัฒนาสายพันธุ์กลายที่ทนกลูโคสได้สูง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตข้าวแดง ต่อมาพบว่าถ้าความชื้นเริ่มต้นต่ำกว่าร้อยละ 40 จะได้สีน้อย แต่ถ้าความชื้นเริ่มต้นที่ร้อยละ 50-56 จะทำให้สีสูงสุดภายใน 8 วัน สภาพวัตถุดิบที่เหมาะสมต่อการเจริญและการสร้างสีของ *M. kaoliang* ที่ให้สีแดง พบว่าเวลาในการแช่ข้าว และเวลาสะเด็ดน้ำ และ *M. barkari* ที่ให้สีเหลืองในสภาพที่เป็นกรด และเวลาแช่ข้าวนาน 8 ชั่วโมง และสะเด็ดน้ำ 5–10 นาที ที่ทำให้ข้าวมีความชื้นเริ่มต้นประมาณร้อยละ 41 เหมาะสมต่อการสร้างสีแดงของ *M. kaoliang* และสีเหลืองของ *M. barkeri* นอกจากนั้นยังพบว่าการแช่ข้าวในน้ำนานเกินไปทำให้เมล็ดข้าวเกาะกัน การผึ่งสะเด็ดน้ำชั่วครู่ก็เพียงพอ มิฉะนั้นอาจทำให้ข้าวผึ่งลมมากเกินไป ทำให้ผิวหน้าแห้ง

เกินไป ไม่เป็นผลดีต่อการสร้างสี (บุษบา ยงสมิทธ์, 2542) ดังนั้นการทำข้าวแดงในระดับอุตสาหกรรมจึงสามารถปฏิบัติได้ดังภาพที่ 2.4





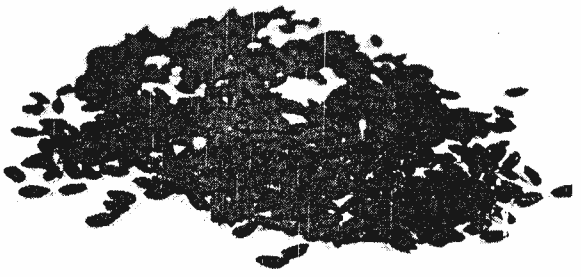
ภาพที่ 2.4 การหมักข้าวแดงในระดับอุตสาหกรรม
ที่มา (AllOk GmbH, 2001)

2.1.4 ประโยชน์ของราโมแนสคัส

นับแต่โบราณกาลชาวจีนรู้จักใช้ข้าวแดง (ภาพที่ 2.5) ในการผลิตอาหารหมักและเครื่องดื่มจากราโมแนสคัส ผลิตภัณฑ์เหล่านั้นได้แก่ เต้าหู้ยี้ (read soybean cheese) (ภาพที่ 2.6) บรั่นดีเกาเหลียง (kaoliang brandy) ไวน์ข้าวแดง (red rice wine) (ภาพที่ 2.7) หรือที่ชาวจีนเรียกว่า อังจิ้ว (Antyu) หรือไวน์แดงเฉาชิง (read Shao-Hsing wine) ราโมแนสคัสที่เกี่ยวข้องในผลิตภัณฑ์เหล่านี้ได้แก่ *Monascus anka, M. purpureus* และ *M. barkeri* โดยจะนำราเหล่านี้มาเตรียมหัวเชื้อข้าวแดงเพื่อใช้กับผลิตภัณฑ์ต่างๆ

ต่อไป โดยเฉพาะเครื่องดื่มที่ใช้หัวเชื้อของราเหล่านี้จะมีปริมาณเอทานอลสูงถึงร้อยละ 13-15 เมื่อใช้หมักร่วมกับยีสต์ นอกจากนี้ราโมแนสคัสบางชนิดยังมีสมบัติในการยับยั้งแบคทีเรีย ตลอดจนยีสต์และราบางชนิด นอกจากประโยชน์ในกระบวนการอาหารโดยตรงแล้วราโมแนสคัสยังสามารถสร้างเอนไซม์ต่างๆ ได้แก่ α-amylase, β-amylase, protease, α-galactosidase, ribonuclease, lipase, α-glucosidase, glucoamylase, maltase, RNA-degrading enzyme และ polypectase นอกจากนี้ *M. ruber* ยังสร้างสารโมนาโคลิน เค (Monacolin k) ซึ่งมีอิทธิพลต่อแมแทบอลิซึมของลิโพโปรตีนซึ่งใช้ลดคลอเลสเตอรอลและเอชดี-แอลคอลเลสเตอรอล (HDL-chloesterol) ตลอดจนไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride)

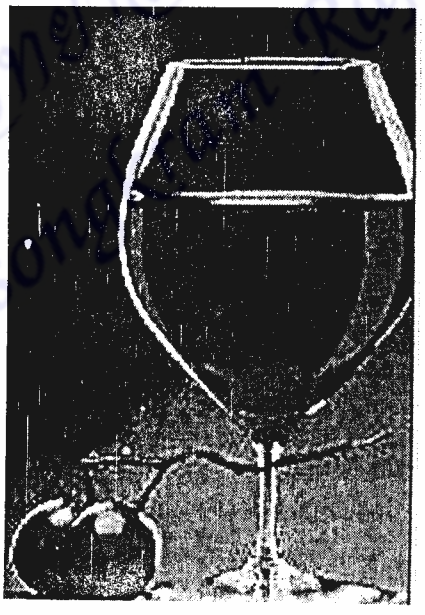
ประโยชน์ที่สำคัญอีกประการหนึ่งของราโมแนสคัส คือ การสร้างรงควัตถุธรรมชาติเพื่อใช้เป็นสีผสมอาหาร (ภาพที่ 2.8) ซึ่งต่อมาได้มีการผลิตรงควัตถุจากราโมแนสคัสเป็นการค้า เช่น ในประเทศจีน ไต้หวันและญี่ปุ่น ชนิดที่สำคัญในการผลิตสีผสมอาหาร ได้แก่ *M. purpureus* และ *M. anka* ซึ่งมีความปลอดภัยเพราะเป็นราที่ชาวตะวันออกใช้เป็นหัวเชื้อข้าวแดงมาแต่โบราณ สำหรับรงควัตถุที่ราสร้างขึ้นเป็นสีผสมของสีเหลือง (monascin and ankaflavin) สีแดง-ส้ม (robropuntatin and monascorubrin) และสีม่วงแดง (rubropunctamine and monascorubramine) ซึ่งได้จากการหมักในอาหารเหลวและบนอาหารแข็งโดยใช้เซลล์อิสระ (free cell) หรือการตรึงเซลล์ (immobilized cell) ในปัจจุบันสีผสมอาหารที่ผลิตจากราโมแนสคัสได้รับจดการสิทธิบัตรทั้งหมด 38 ฉบับ ได้แก่ สีที่ใช้กับผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ อาหารที่ใช้ทดแทนเนื้อสัตว์ โปรตีนจากพืช ปลา เป็ด ไก่ สีที่ใช้แต่งลูกกวาด ขนมเค้ก ผลิตภัณฑ์นมและเครื่องดื่มประเภทแอลกอฮอล์ สำหรับประโยชน์ของการผสมสีลงไปในเนื้อสัตว์นั้นนอกจากเพื่อการแต่งเติมสีของเนื้อแล้ว ยังใช้รักษาสีของเนื้อเช่นเดียวกับการเติมไนไตรท์ นอกจากนี้ยังใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางได้อีกด้วย



ภาพที่ 2.5 ข้าวแดง

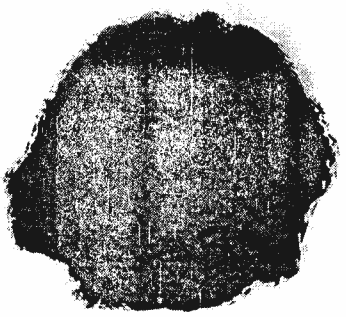
ที่มา (AllOk GmbH, 2001)

ภาพที่ 2.6 สีของเต้าหู้ยี้ที่ได้จากสีแดงของราโมแนสคัส
ที่มา (นิตยสารเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2005)



ภาพที่ 2.7 ไวน์แดงที่ได้จากสีแดงของราโมแนสคัส
ที่มา (AllOk GmbH, 2001)

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University



ภาพที่ 2.8 สีผสมอาหาร (สีแดง) ที่ได้จากราโมแนสคัส
ที่มา (Nanjing Tianshu Food Ingredients Supermarket Co.,Ltd., 2005)

2.2 การเตรียมเชื้อตั้งต้น

การเตรียมเชื้อตั้งต้นเป็นการเพิ่มจำนวนเชื้อจุลินทรีย์จากหลอดเก็บรักษาเชื้อ (stock culture) ให้ได้มากเพียงพอและอยู่ในสภาพที่พร้อมจะใส่ลงในถังหมักเพื่อผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ การเตรียมเชื้อตั้งต้นมีขนาดตั้งแต่ 10 ลิตรถึง 1,000 ลิตร สำหรับหมักในถังหมักขนาด 1 ตัน ถึง 160 ตัน โดยทั่วไปจะใช้เชื้อตั้งต้นในความเข้มข้นร้อยละ 3-10 ของปริมาตรอาหารหมัก

2.2.1 คุณสมบัติของเชื้อตั้งต้นที่ดี

เชื้อตั้งต้นมีความสำคัญมากต่อการหมักและการจะได้ผลผลิตที่ต้องการมาก ดังนั้นเชื้อตั้งต้นที่ดีควรมีลักษณะดังนี้

2.1.1.1 อยู่ในสภาพแข็งแรง สมบูรณ์ ทำงานได้ดีเพื่อลดระยะพักตัวในการหมักขั้นต่อไป

2.2.1.2 มีปริมาณที่เพียงพอ และปริมาตรเหมาะสมต่อการหมักของผลิตภัณฑ์นั้นๆ

2.2.1.3 อยู่ในสภาพที่มีขนาด รูปร่าง และโครงสร้างที่เหมาะสมต่อการหมัก เช่น ในเชื้อราควรอยู่ในสภาพเป็นใยราสั้นๆ ใยรายาวๆ ใยราม้วนกลม หรือสปอร์

2.2.1.4 ต้องไม่มีเชื้ออื่นปนเปื้อน

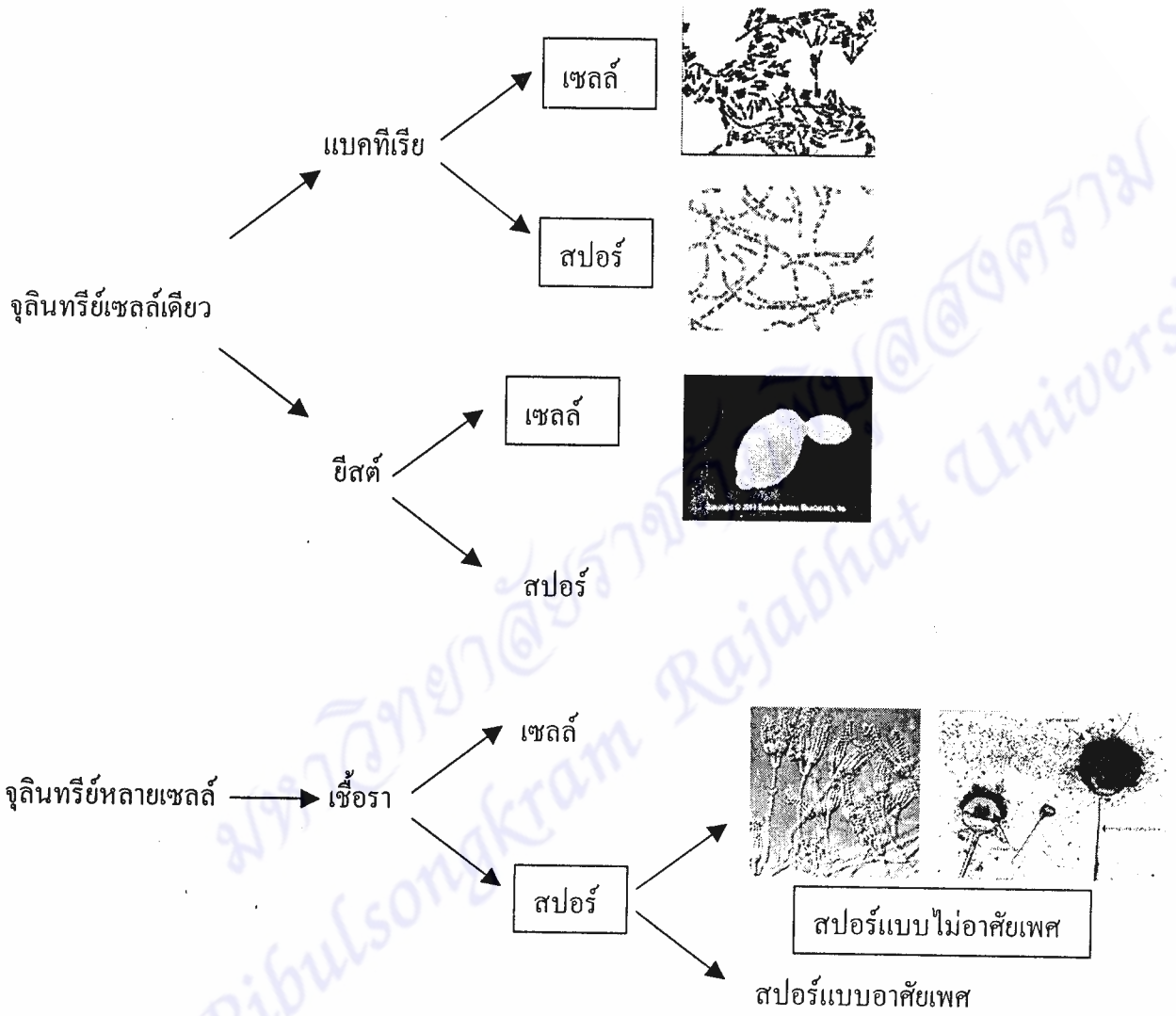
2.2.1.5 ให้ผลิตคงที่

2.2.2 ลักษณะการเตรียมเชื้อตั้งต้น

การเตรียมเชื้อตั้งต้น (ภาพที่ 2.9) ของจุลินทรีย์เซลล์เดียว เช่น แบคทีเรียและ ยีสต์ ส่วนใหญ่จะเตรียมเชื้อตั้งต้นอยู่ในรูปของเซลล์ร่างกายหรือเซลล์ที่ใช้ในการหาอาหาร (somatic cell or

vegetative cell) แบคทีเรียที่สร้างเอนโดสปอร์จะเตรียมเชื้อตั้งต้นอยู่ในรูปของสปอร์ ส่วนยีสต์ที่สร้างสปอร์ชนิดแอสโคสปอร์ บอลลิสโทสปอร์ (ballistospore) อาร์โทรสปอร์ (arthospore) จะเตรียมเชื้อตั้งต้นอยู่ในรูปของเซลล์ร่างกายมากกว่าในรูปสปอร์ ในขณะที่จุลินทรีย์หลายเซลล์ เช่น เชื้อราที่สร้างใยรา และสปอร์จะเตรียมเชื้อตั้งต้นอยู่ในรูปของสปอร์แบบไม่อาศัยเพศ เช่น โคนิเดีย ออยเดีย สปอร์ คาร์มัยโดสปอร์ หรืออาร์โทรสปอร์ มากกว่าการเตรียมในรูปใยรา ดังนั้นการเตรียมเชื้อตั้งต้นอยู่ในลักษณะที่เหมาะสมอาจเตรียมได้ทั้งในรูปเซลล์ร่างกาย หรือสปอร์ (ภาพที่ 2.10-2.11)

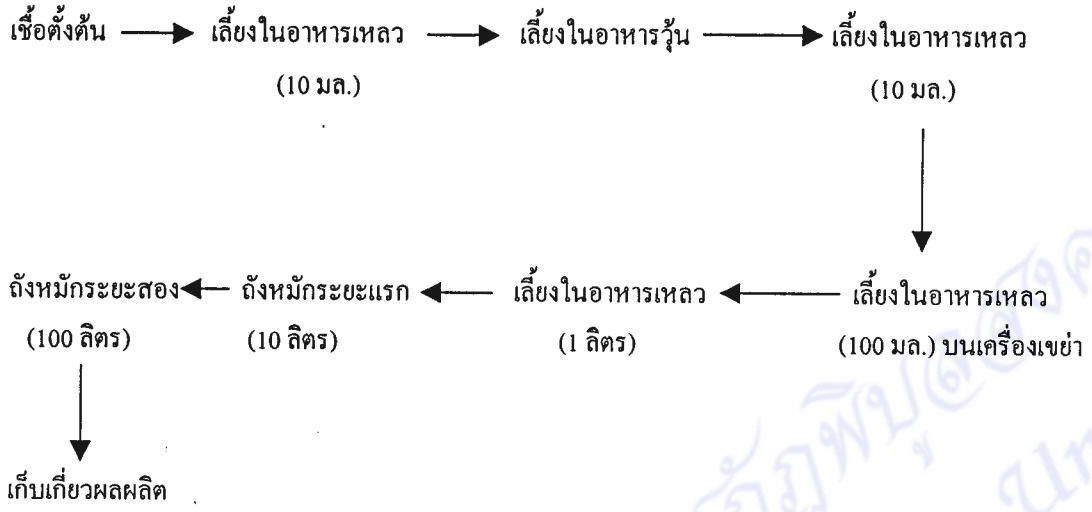
มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University



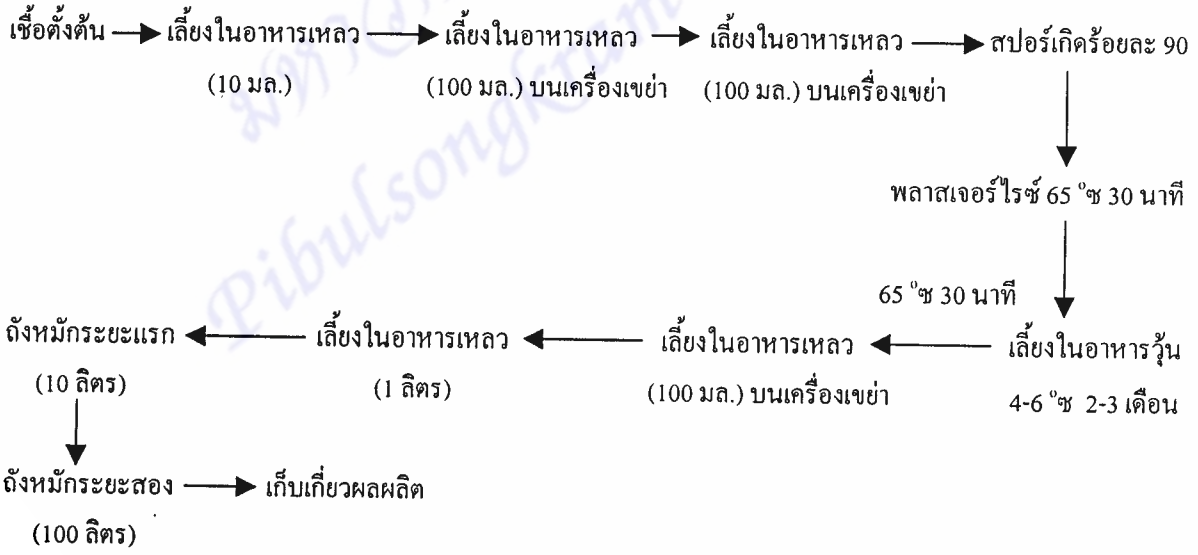
ภาพที่ 2.9 การเตรียมเชื้อตั้งต้นของจุลินทรีย์เซลล์เดียวและจุลินทรีย์หลายเซลล์

ที่มา (Dion Service Information, 2004) (University of medicine and dentistry of New Jersey, 2005) (University of South Carolina, 2005) (University of Guelph, 2005) (Palaeos site: The trace of life on earth, 2005)

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University



ภาพที่ 2.10 การเตรียมเชื้อตั้งต้นในรูปเซลล์ร่างกาย



ภาพที่ 2.11 การเตรียมเชื้อตั้งต้นในรูปสปอร์

2.2.3 การเตรียมเชื้อตั้งต้นของเชื้อราที่สร้างสปอร์

การเตรียมเชื้อตั้งต้นของเชื้อรา ส่วนใหญ่เตรียมในรูปของสปอร์แบบไม่อาศัยเพศ ซึ่งจะแตกต่างจากการเตรียมเชื้อตั้งต้นของแบคทีเรียและยีสต์ เตรียมเชื้อตั้งต้นของเชื้อรา มี 3 วิธี คือ การสร้างสปอร์บนอาหารวุ้นแข็ง การสร้างสปอร์บนอาหารแข็ง การสร้างสปอร์ในอาหารเหลว มีรายละเอียดดังนี้

2.2.3.1 การสร้างสปอร์บนอาหารวุ้นแข็ง เทคนิคที่ใช้ในการสร้างสปอร์บนอาหารวุ้นแข็ง คือ เทคนิคหมุนขวด (roll-bottle technique) วิธีการ คือ ใช้ขวดทรงกระบอกจุ 1 ลิตร บรรจุอาหารวุ้นเข้มข้นร้อยละ 3 ที่นึ่งฆ่าเชื้อแล้วปริมาตร 300 มิลลิลิตร ปล่อยให้อุณหภูมิต่ำลงประมาณ 45 องศาเซลเซียส แล้วหมุนขวดช้าๆ เพื่อให้วุ้นเคลือบแข็งภายในผิวขวดทำให้เพิ่มพื้นที่ผิวสำหรับการสร้างสปอร์ ใส่สารแขวนลอยสปอร์ (spore suspension) ลงไป บ่มที่อุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมของเชื้อราชนิดนั้น วิธีนี้จะทำให้ภาชนะมีพื้นที่ผิวสำหรับการสร้างสปอร์เพิ่มขึ้นและสามารถมองเห็นสปอร์ที่เกิดขึ้นได้อย่างชัดเจน เป็นวิธีที่สะดวกมากอีกวิธีหนึ่งในห้องปฏิบัติการ

2.2.3.2 การสร้างสปอร์บนอาหารแข็ง อาหารแข็งในที่นี้คือ วัตถุดิบธรรมชาติ ส่วนใหญ่จะเป็นเมล็ดธัญพืช เช่น ข้าวบาร์เลย์ รำข้าวสาลี ข้าวโพดบด ข้าวฟ่าง ข้าวเจ้า ปลายข้าวเจ้า ถั่วเหลือง ถั่วลิสง ถั่วเขียว เมล็ดข้าวโพด หรือวัตถุดิบชนิดอื่น เช่น มันฝรั่ง มันสำปะหลัง มันเทศ และขนมปัง ซึ่งเมล็ดธัญพืชและวัตถุดิบชนิดอื่นเหล่านี้ เมื่อให้ความชื้นที่เหมาะสมบรรจุในภาชนะหรือฟลาสก์ นำไปนึ่งฆ่าเชื้อ ใส่สารแขวนลอยสปอร์ลงไป บ่มที่อุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมของเชื้อราชนิดนั้นจะได้สปอร์ของราจำนวนมาก (ภาพที่ 2.12) ซึ่งมากกว่าวิธีแรก

ภาพที่ 2.12 การสร้างสปอร์ของ *Monscus purpureus* บนเมล็ดข้าวเจ้าในถุงพลาสติก
ที่มา (ICT, Department of Fermentation Chemistry and Bioengineering, Czech Republic, 2005)

2.2.3.3 การสร้างสปอร์ในอาหารเหลว อาหารเหลวที่เลือกใช้ส่วนใหญ่จะเป็นสูตรเดียวกับอาหารวุ้นแข็งที่ไม่ใส่วุ้น หรือเป็นอาหารแข็งที่เป็นวัตถุดิบธรรมชาตินำมาต้มแล้วใส่แหล่งคาร์บอนและแหล่งไนโตรเจนให้เหมาะสมก็สามารถนำมาใช้เป็นอาหารที่ใช้สร้างสปอร์ได้เช่นเดียวกัน

2.2.4 การเตรียมเชื้อตั้งต้นของเชื้อราที่ไม่สร้างสปอร์ การเตรียมเชื้อตั้งต้นของเชื้อรา ส่วนใหญ่นิยมเตรียมในรูปของสปอร์แบบไม่อาศัยเพศ แต่ในกรณีเชื้อราบางชนิดที่ไม่สร้างสปอร์ จึงต้องเตรียมเชื้อตั้งต้นจากใยราโดยตรง วิธีการนี้ใช้เครื่องปั่นในรูปโฮโมจีไนเซอร์ (homogenizer) ช่วยปั่นใยราให้แตกหักกระจายเป็นใยราสั้นๆ ความเร็วและระยะเวลาในการปั่นควรให้เหมาะสมกับราแต่ละชนิด หรืออาจจะใช้วิธีในเม็ดแก้ว (glass bead) เล็กๆ 5-6 เม็ด ลงในอาหารเหลวที่ใส่ราที่ไม่สร้างสปอร์ บ่มเชื้อบนเครื่องเขย่า (shaker) เม็ดแก้วจะช่วยให้ใยราไม่จับกันเป็นกลุ่มก้อนขนาดใหญ่ แต่จะทำให้ใยรามีการรวมกันเป็นก้อนเล็กๆ หรือเรียกว่าเพลเลต (pellet) หรือทำให้ใยราอยู่ในรูปใยราที่แตกหักกระจายเป็นใยราสั้นๆ

2.2.5 คุณภาพของเชื้อตั้งต้น

เชื้อตั้งต้นมีความสำคัญอย่างมากต่อการผลิตผลิตภัณฑ์สุดท้าย ดังนั้นการเตรียมเชื้อตั้งต้นจึงควรพิจารณาปัจจัยต่าง ได้แก่ การเตรียมเชื้อตั้งต้น อายุของเชื้อตั้งต้น สูตรอาหารเลี้ยงเชื้อตั้งต้น วิธีการฆ่าเชื้อในอาหาร ความเข้มข้นของเชื้อตั้งต้น และอิทธิพลของสารตกค้าง

2.2.5.1 การเตรียมเชื้อตั้งต้น การเตรียมเชื้อตั้งต้นในรูปของเซลล์หรือสปอร์ให้พิจารณาตามชนิดของเชื้อ ทั้งนี้ให้คำนึงถึงความสะดวก รวดเร็ว คงตัว และผลผลิตที่ต้องการ

2.2.5.2 อายุของเชื้อตั้งต้น อายุของจุลินทรีย์มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์และเชื้อแต่ละสายพันธุ์จะมีคุณสมบัติแตกต่างกันด้วย ต้องตรวจสอบให้ชัดเจน

2.2.5.3 สูตรอาหารเลี้ยงเชื้อตั้งต้น สูตรอาหารเลี้ยงเชื้อตั้งต้นควรมีแหล่งไนโตรเจนหรือแหล่งคาร์บอนต่ำกว่าสูตรอาหารหมักของผลิตภัณฑ์นั้นซึ่งจะทำให้เชื้อตั้งต้นเจริญเร็ว ระยะพักตัวสั้นและลดระยะเวลาการเตรียมเชื้อตั้งต้นได้

2.2.5.4 วิธีการฆ่าเชื้อในอาหาร วิธีการฆ่าเชื้อในอาหารต้องระวังอย่าให้อาหารได้รับความร้อนเกินระดับ เพราะจะทำให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Millard reaction) ซึ่งเกิดจากการที่สารอาหารมีโปรตีน กรดแอมิโน น้ำตาลรีดิวส์สูง สภาพค่อนไปทางกรดเมื่อได้รับความร้อนสูง กลุ่มแอมิโนทำปฏิกิริยากับกลุ่มคาร์บอนิลของน้ำตาลรีดิวส์ ทำให้เกิดลักษณะสีน้ำตาลและไม่เหมาะสมแก่การเป็นซับสเตรตของจุลินทรีย์ทำให้เกิดผลผลิตลดลง การที่อาหารได้รับความร้อนสูงมากเกินไป นอกจากจะเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดแล้ว ยังมีผลทำให้สารเร่งการเจริญ เช่น วิตามินเสียสภาพจุลธาตุ (trace element) ตกตะกอนจึงไม่เพียงพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์ โดยทั่วไปเพื่อให้อาหารเลี้ยงเชื้อตั้งต้นมีคุณภาพดี

จึงนึ่งฆ่าเชื้อน้ำตาลกลูโคสโดยแยกออกจากแหล่งไนโตรเจน ส่วนวิตามินใช้วิธีกรองแบบปราศจากเชื้อ และแยกฟอสเฟตนึ่งฆ่าเชื้อออกจากสารประกอบอนินทรีย์อื่นๆ

2.2.5.5 ความเข้มข้นของเชื้อตั้งต้น ส่วนใหญ่ใช้ความเข้มข้นของเชื้อตั้งต้นร้อยละ 1-10 ความเข้มข้นที่เหมาะสมจะแตกต่างกันไปแล้วแต่ชนิดของเชื้อ

2.2.5.6 อิทธิพลของสารตกค้าง ในการเตรียมเชื้อตั้งต้นในอาหารเลี้ยงเชื้อ เชื้อตั้งต้นอาจสร้างเมแทบอไลต์ซึ่งมีผลเร่งหรือยับยั้งการผลิตในอาหารหมักผลิตภัณฑ์ (fermentation media) ถ้าอิทธิพลจากสารตกค้างมีผลในการกระตุ้นก็อาจใช้ความเข้มข้นของเชื้อตั้งต้นได้สูงถึงร้อยละ 10 แต่ถ้าอิทธิพลจากสารตกค้างมีผลยับยั้งต่อการผลิตสารที่ต้องการก็อาจจะลดปริมาณความเข้มข้นของเชื้อตั้งต้นลงเหลือปริมาณที่เหมาะสม

2.2.6 ภาชนะในการเตรียมเชื้อตั้งต้น

ภาชนะในการเตรียมเชื้อตั้งต้นในรูปของสปอร์เชื้อรามีหลายชนิดซึ่งขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์และวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเชื้อตั้งต้นด้วย

2.2.6.1 ฟลาสก์ (flask) ฟลาสก์ที่ใช้ในผลิตเชื้อตั้งต้นมีหลายชนิด เช่น roux bottle, fernbach flask, blood plasma flask และ Erlenmeyer flask

(1) **roux bottle** ใช้ในการผลิตสปอร์รา มีอาหารวุ้นเป็นวัตถุดิบ

(2) **fernbach flask** ใช้ในการผลิตสปอร์รา มีอาหารวุ้นเป็นวัตถุดิบ

(3) **blood plasma flask** ใช้ในการผลิตสปอร์รา มีอาหารวุ้นเป็นวัตถุดิบ

(4) **erlenmeyer flask** ใช้ในการผลิตสปอร์รา มีอาหารวุ้นเป็นวัตถุดิบ

2.2.6.2 ขวดแม่โขงแบน ใช้ในการผลิตสปอร์เห็ด มีฟางข้าวเป็นวัตถุดิบ

2.2.6.3 ถุงพลาสติกทนร้อน ถุงพลาสติกทนร้อนมีหลายขนาดและมีวิธีเตรียมแตกต่างกัน

(1) **ถุงพลาสติกทนร้อนรัดปากถุงด้วยกระดาษแข็งจุกด้วยสำลี** ใช้ในการผลิตสปอร์เห็ดมีฟางข้าวเป็นวัตถุดิบ สปอร์เชื้อราซีอิ๊วมีปลายข้าวเป็นวัตถุดิบ และสปอร์เชื้อราไรโซปัส (*Rhizopus* sp.) มีปลายข้าวเป็นวัตถุดิบ

(2) **ถุงพลาสติกทนร้อนขนาดใหญ่รัดปากถุงด้วยแผ่นเหล็กไร้สนิมจุกด้วยสำลี** ใช้ในการผลิตสปอร์เชื้อราซีอิ๊วมีรำข้าวสาลีเป็นวัตถุดิบ (บุษบา ยงสมิทธ์, 2542)

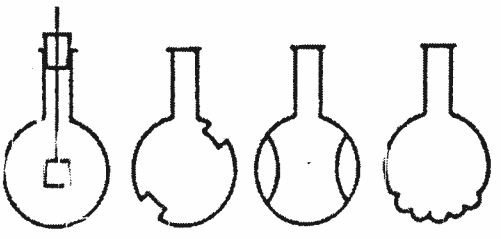
2.3 กระบวนการหมักบนอาหารแข็ง

กระบวนการหมักบนอาหารแข็ง เป็นการเปลี่ยนแปลงสารอินทรีย์ให้เกิดพลังงานโดยไม่ใช้ตัวรับอิเล็กตรอนและเกิดในสภาพที่ไม่มีออกซิเจนบนอาหารที่เป็นวัตถุดิบจากธรรมชาติ เช่น ฟางข้าว ปลายข้าว รำข้าวสาลี เมล็ดข้าวโพด ถั่วเหลือง และถั่วเขียว เป็นต้น ซึ่งการพัฒนากระบวนการหมักบนอาหารแข็งนอกจากจะคำนึงถึงซับสเตรตและจุลินทรีย์แล้วยังต้องคำนึงถึงเครื่องมือในการหมักด้วย โดยมีจุดมุ่งหมายในการศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมและลดต้นทุนในการผลิตที่มีขนาดใหญ่ขึ้น สภาวะการเลี้ยงเชื้อที่เหมาะสมต้องพิจารณาจากเครื่องมือในการหมัก วัสดุในการผลิตภาชนะ อัตราส่วนของปริมาตรภาชนะต่อปริมาตรอาหาร วิธีการฆ่าเชื้อในอาหารเลี้ยงเชื้อก่อนหมัก และการขยายการผลิตจากการผลิตในห้องปฏิบัติการสู่ระดับการค้าและอุตสาหกรรม

2.3.1 เครื่องมือในการหมักบนอาหารแข็ง

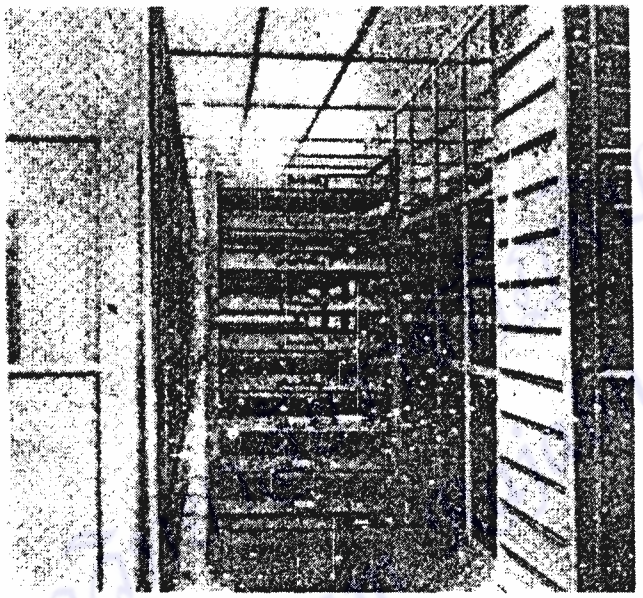
เครื่องมือในการหมักบนอาหารแข็ง ได้แก่ ฟลาสก์ ถาดอะลูมิเนียม และหลอดแก้ว

2.3.1.1 ฟลาสก์ ขนาดและรูปร่างของฟลาสก์ที่นิยมใช้คือ แบบทรงกรวยป้าน และทรงกลม ขนาดปริมาตร 500 มิลลิลิตร แบบ roux bottle, fernbach flask, blood plasma flask ขนาดปริมาตร 100-1000 มิลลิลิตร อัตราการถ่ายเทออกซิเจนภายในฟลาสก์ขึ้นอยู่กับลักษณะกลไกของฟลาสก์หรืออัตราส่วนของปริมาตรอาหารต่อปริมาตรของฟลาสก์ หรือโดยรูปร่างของฟลาสก์ ฟลาสก์ก้นแบนจะให้ค่าอัตราการถ่ายเทออกซิเจนสูงกว่าฟลาสก์ก้นกลม การเพิ่มอัตราการถ่ายเทออกซิเจนภายในฟลาสก์ทำได้โดยการทำรอยเว้าในฟลาสก์ให้มีลักษณะต่างๆที่เรียกว่าแบฟเฟิล (baffles) (ภาพที่ 2.13) วัสดุที่ใช้ทำฟลาสก์ ส่วนใหญ่ทำด้วยแก้ว เพราะมีราคาถูก สามารถมองทะลุเห็นการเจริญของจุลินทรีย์และอาหารได้ นึ่งฆ่าเชื้อได้ง่าย และสะดวกในการทำความสะอาด แก้วที่นำมาทำฟลาสก์ควรมีคุณสมบัติไม่ปล่อยจุลธาตุออกมา แม้ว่าจะใช้กับกรด ด่าง หรือความร้อน



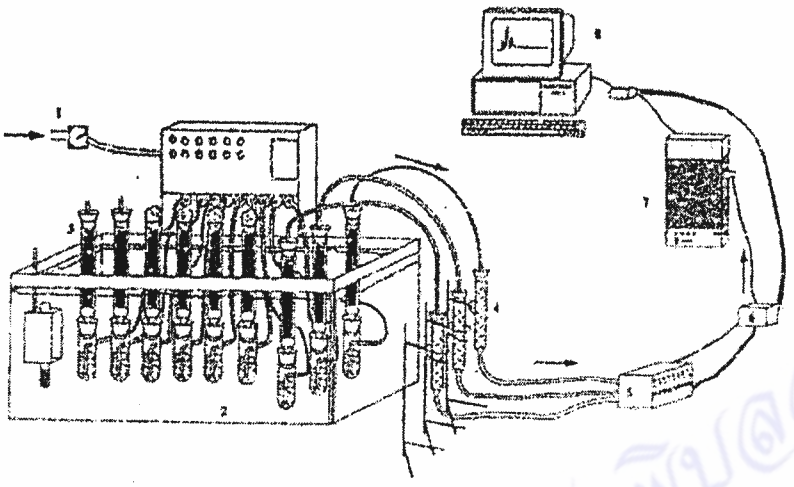
ภาพที่ 2.13 ลักษณะของแบฟเฟิลภายในฟลาสก์
ที่มา (Sikyta, 1983 อ้างโดยบุษบา ยงสมิทธ์, 2542, หน้า 97)

2.3.1.2 ถาดอะลูมิเนียม ถาดอะลูมิเนียมที่นิยมใช้ในการหมักบนอาหารแข็งจะเป็นถาดอะลูมิเนียมสำหรับบรรจุอาหาร มีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสหรือสี่เหลี่ยมผืนผ้า วิธีการหมักจะนำอาหารแข็งคลุกเคล้ากับจุลินทรีย์ หนาประมาณ 5 เซนติเมตร และวางถาดอะลูมิเนียมซ้อนกันเป็นชั้นๆ นำมาบ่มในห้องที่ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น (ภาพที่ 2.14)

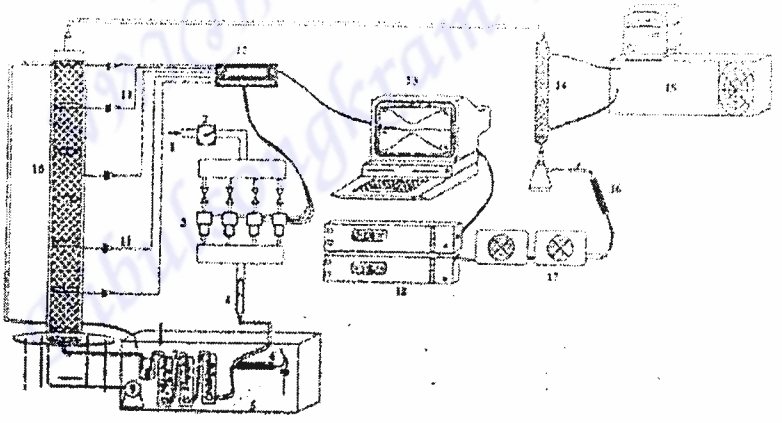


ภาพที่ 2.14 การหมักเชื้อราบนอาหารแข็งในถาดอะลูมิเนียมในห้องที่ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น
ที่มา (Sikyta, 1983 อ้างโดยบุษบา ยงสมิทธ์, 2542, หน้า 112)

2.3.1.3 หลอดแก้ว หลอดแก้วที่ใช้ในการหมักบนอาหารแข็งจะเป็นหลอดแก้วที่มีขนาดปริมาตร 35 มิลลิลิตร วิธีการหมักจะนำอาหารแข็งคลุกเคล้ากับจุลินทรีย์ใส่ลงในหลอดแก้วจำนวนหลายๆ หลอด นำมาบ่มในอ่างน้ำที่มีการปรับอุณหภูมิและมีการใช้ระบบคอมพิวเตอร์ช่วยควบคุมกระบวนการหมัก (ภาพที่ 2.15) หรือระบบการใช้เป็นคอลัมน์เดี่ยวแบ่งเป็นตอนๆ ที่ควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ (ภาพที่ 2.16) (บุษบา ยงสมิทธ์, 2542)



ภาพที่ 2.15 ระบบต้นแบบการให้อากาศอัตโนมัติในหลอดแก้ว
ที่มา (Saucedo-Castaneda และคณะ, 1994 อ้างโดยบุษบา ยงสมิทธ์, 2542, หน้า 113)



ภาพที่ 2.16 ระบบการหมักแข็งโดยใช้คอลัมน์เดี่ยว
ที่มา (Saucedo-Castaneda และคณะ, 1994 อ้างโดยบุษบา ยงสมิทธ์, 2542, หน้า 113)

2.3.2 การขยายการหมัก

กระบวนการหมักที่ผ่านการพัฒนาในระดับห้องปฏิบัติการและประสบความสำเร็จในทางการค้าได้นั้นขึ้นอยู่กับความสามารถในการขยายการหมักเป็นระยะๆ จากขั้นต้นเป็นระดับโรงงานต้นแบบและจนถึงระดับการค้า การขยายการหมักต้องเหมาะสมทางกายภาพและเศรษฐศาสตร์ด้วยวิธีที่ง่ายที่สุด ซึ่งจะไม่สามารถเอาเกณฑ์ของถังหมักทดลองมาใช้กับถังหมักทางการค้าได้โดยตรง ปัจจัยควบคุมกระบวนการหมักบางประการอาจศึกษาในถังหมักขนาดเล็ก 5-10 ลิตร แต่ปัจจัยอื่นอาจต้องศึกษาในระดับโรงงานต้นแบบ ซึ่งต้องอาศัยความรู้ความชำนาญของวิศวกรกระบวนการเข้าช่วย ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการขยายขนาดหมักจากขนาดเล็กเป็นขนาดใหญ่ ได้แก่ ปัจจัยที่คงที่ ปัจจัยที่ต้องเปลี่ยนแปลง และปัจจัยที่ต้องควบคุม

2.3.2.1 ปัจจัยที่คงที่ ปัจจัยที่คงที่ในการขยายขนาดหมัก ได้แก่

(1) การออกแบบพื้นฐานของถังหมักและการจัดการ

(2) จำนวนบุคลากรใช้ในการเดินถังหมัก

(3) สายพันธุ์ของจุลินทรีย์

(4) ส่วนประกอบของอาหารและข้อจำกัดสารอาหารพิเศษ

(5) อุณหภูมิที่นึ่งฆ่าเชื้อและการทำงาน

(6) สมบัติวิทยากระแสของเชื้อ

(7) ฟองอากาศควรอยู่ในระดับเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.005-0.2 มิลลิเมตร

2.3.2.2 ปัจจัยที่ต้องเปลี่ยนแปลง ปัจจัยที่ต้องเปลี่ยนแปลงในการขยายขนาดหมัก ได้แก่

(1) ขนาดของถังหมักต้องเพิ่มขึ้น

(2) จำนวนของวัสดุสิ่งของรวมทั้งถังหมักเพิ่มขึ้น

(3) ปริมาณสิ่งของที่ต้องใช้ทั้งก่อนหมักและหลังหมักเพิ่มขึ้น

(4) จำนวนของภาชนะที่ใช้เท่าเดิมหรือลดลงได้

(5) ต้นทุน การปนเปื้อน และความผิดพลาดต่างๆ ในการทำงานของกระบวนการจะเพิ่มขึ้น

(6) เพิ่มเวลาในการให้ความร้อน และทำให้เย็นลง ขณะทำปลอดเชื้อ

(7) อัตราส่วนพื้นที่ต่อปริมาตรลดลงและผลต่อขอบข้างภาชนะลดลง

2.3.2.3 ปัจจัยที่ต้องควบคุม

(1) ส่วนประกอบของอาหาร อาจใช้ระดับอุตสาหกรรมที่หยาบขึ้นได้ ความเข้มข้นอาจเปลี่ยนไป

(2) ความดันทั้งหมดของถังหมักสูงเหนือกว่าความดันบรรยากาศปกติ

(3) พลังงานที่ใช้ต่อมวลสาร และหลังการหมักเพิ่มขึ้นควรลดลง

(4) ความเร็วของใบพัดลดลง ร่วมกับเพิ่มการไหล และความเร็วของของเหลว

(5) เวลาที่ใช้ในการผสม

(6) การกวนที่เพียงพอ

ส่วนปัจจัยที่เป็นปัญหาในการขยายขนาดหมักจากขนาดเล็กเป็นขนาดใหญ่ คือ การขจัดความร้อน การถ่ายเทอากาศและอากาศที่ควรจะได้รับ การละลายสารต่างๆ ในอาหาร เช่น สารอาหาร เมแทบอไลต์ กรดหรือด่าง เป็นต้น การจัดการกับปัญหาเหล่านี้ต้องการเงินลงทุนค่อนข้างสูง ในการผสม การให้อากาศ การทำงานและการควบคุมเครื่องมือต่างๆ ภายใต้สภาพที่ไม่มีเชื้ออื่นปนเปื้อน โดยที่จะต้องเน้นประเด็นที่จะต้องให้ผลผลิตสูงสุด ภายในระยะเวลาหมักน้อยที่สุด และต้นทุนการดำเนินการหมักต่ำที่สุดด้วย ไม่มีกฎเกณฑ์ที่แน่นอนในการศึกษาการขยายการหมัก

2.3.3 การเก็บเกี่ยวผลิตภัณฑ์

หลังกระบวนการหมักสิ้นสุดลง การสกัดผลผลิตแล้วทำให้บริสุทธิ์ต้องกระบวนการหลายขั้นตอน และมีค่าใช้จ่ายที่แพงมาก เริ่มจากการแยกสารให้มีคุณภาพสูงมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ แยกให้เร็วที่สุด และแยกอย่างมีประสิทธิภาพโดยให้มีค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุด ค่าใช้จ่ายส่วนนี้อยู่ระหว่างร้อยละ 20-60 ของค่าใช้จ่ายทั้งหมด วิธีปฏิบัติมีหลายวิธีจะเลือกใช้วิธีใดขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด และเครื่องมือที่มีอยู่ สารที่ต้องการจากการหมักจะปะปนอยู่กับอาหารเลี้ยงเชื้อในปริมาณน้อยมาก ซึ่งจะมีจุลินทรีย์ชนิดอื่น เศษเซลล์ สารอาหารที่ละลายและไม่ละลาย ผลิตภัณฑ์เมแทบอไลต์อื่นๆ ปะปนมาด้วย ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการจากการหมักอาจอยู่ในเซลล์ของจุลินทรีย์ หรือเมื่อถูกความร้อนอาจสลายตัว หรือถูกทำลายได้โดยง่ายโดยจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมา เรื่องต่างๆ ที่กล่าวมานี้ล้วนเป็นปัญหาในการแยกเอาผลิตภัณฑ์ที่ต้องการออกมา เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่แน่นอนต้องปฏิบัติงานให้เร็วที่สุดเพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพโดยธรรมชาติของสาร ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ต้องเหมาะสมทั้งชนิดและขนาด

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเก็บเกี่ยวผลิตภัณฑ์ ได้แก่

2.3.3.1 สารนั้นอยู่ภายในหรือถูกขับออกมานอกเซลล์

2.3.3.2 ความเข้มข้นของสารในอาหารเหลว

2.3.3.3 สมบัติทางฟิสิกส์และเคมีของสารที่ต้องการ

2.3.3.4 ความตั้งใจในการนำเอาสารไปใช้

2.3.3.5 มาตรฐานการยอมรับขั้นต่ำสุดของความบริสุทธิ์ของสารนั้น

2.3.3.6 ความไม่บริสุทธิ์ของของเหลวจากการหมัก

2.3.3.7 ราคาของผลิตภัณฑ์

ในห้องปฏิบัติการจะมีนักวิทยาศาสตร์ทางด้านเคมีช่วยศึกษาคุณสมบัติของสารนั้นๆ เช่น การมีเสถียรภาพในสภาวะต่างๆ ความสามารถในการละลาย โดยอาศัยการวิเคราะห์ทั้งวิธีทางเคมี และชีวภาพ ซึ่งจะทำให้สารมีความเข้มข้น ความบริสุทธิ์ และมีสารพิษหรือไม่ เป็นต้น วิธีการแยกเซลล์ของจุลินทรีย์ที่ผลิตสารที่ต้องการอยู่ภายในเซลล์โดยวิธีการกรอง หรือใช้เครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง หลังจากได้เซลล์แล้วนำมาล้างสกัดสารออกจากเซลล์ แยกเศษเซลล์ที่ไม่ต้องการออกไป นำสารมาตกตะกอนทำให้เป็นผงออกมา ส่วนการแยกผลิตภัณฑ์ที่อยู่นอกเซลล์และอยู่ในส่วนของเซลล์เป็นงานที่ ยุ่งยากมากขึ้นกว่าการแยกเซลล์ของจุลินทรีย์ที่ผลิตสารที่ต้องการอยู่ภายในเซลล์ เพราะปกติสารที่ต้องการจะละลายอยู่ในอาหารหมักในปริมาตรที่เจือจาง เช่น วิตามิน สารปฏิชีวนะ หรือกรดแอมิโน ปริมาตรอาจมีอยู่เพียงเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร หรือกรัมต่อลิตร ส่วนสารที่มีปริมาตรมากขึ้นมาก็จะเป็นกรดอินทรีย์ที่อาจมีมากถึง 40-100 กรัมต่อลิตร น้ำหนักผลผลิตที่มีปริมาตรน้อย เช่น กรดแลคติก และกรดกลูตามิก ส่วน น้ำหนักผลผลิตที่มีปริมาตรสูงมาก เช่น เอนไซม์อะไมเลส เป็นต้น (บุษบา ยงสมิทธ์, 2542)

2.4 การบรรจุภัณฑ์ (packaging)

การบรรจุภัณฑ์ หมายถึง หน่วยรูปแบบวัตถุภายนอกที่ทำหน้าที่ปกป้องคุ้มครอง หรือห่อหุ้มผลิตภัณฑ์ภายในให้ปลอดภัย สะดวกต่อการขนส่ง เอื้ออำนวยให้เกิดผลประโยชน์ในทางการค้าและการบริโภค

2.4.1 บทบาทและหน้าที่ในการตลาด

อัตราการแข่งขันด้านการค้าขายในภาวะเศรษฐกิจของโลกปัจจุบัน นับวันจะยิ่งเพิ่มปริมาณมากขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งนับว่าเป็นภาวะการณ์หนึ่งที่ทำให้เกิดการพัฒนาและค้นคิดผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ ตลอดทั้งมีการคิดค้นกลยุทธ กลวิธีทางการตลาดขึ้นอย่างมากมาย โดยมีจุดมุงหมายที่คล้ายกัน คือ การได้มาซึ่งความสนใจของลูกค้า เงินตรา และฐานะความร่ำรวยทางเศรษฐกิจ ด้วยเหตุผลดังกล่าว บรรจุภัณฑ์จึงได้รับความสำคัญขึ้นมาอย่างมากมายและเป็นองค์ประกอบหลักที่ผู้ผลิตนำมาเป็นเครื่องมือสำหรับการแข่งขัน บรรจุภัณฑ์ได้แสดงบทบาทและหน้าที่ในการตลาด คือการบรรจุและการคุ้มครองป้องกัน

(containment and protection) การบ่งชี้ผลิตภัณฑ์ (identification) การอำนวยความสะดวก (convenience) การดึงดูดความสนใจผู้บริโภค (consumer appeal) และการเศรษฐกิจ (economy)

2.4.1.1 การบรรจุและการคุ้มครองป้องกัน บรรจุภัณฑ์ที่จะประสบความสำเร็จได้นั้นต้องเอื้ออำนวยต่อการบรรจุ และการคุ้มครอง ซึ่งภาชนะบรรจุจะต้องได้รับการออกแบบให้สามารถคุ้มครองผลิตภัณฑ์จากความเสียหาย เนื่องจากการขนส่ง ป้องกันการเน่าเสีย เก็บรักษาง่าย ไม่เสื่อมสลายเร็ว เพราะผู้บริโภคไม่ต้องการที่จะได้รับอันตรายจากอาหารเป็นพิษหรือบาดแผลอันเนื่องมาจากบรรจุภัณฑ์ที่ไม่เรียบร้อย สมบูรณ์

2.4.1.2 การบ่งชี้ผลิตภัณฑ์ บรรจุภัณฑ์ต้องแสดงให้เห็นตัวผลิตภัณฑ์ต่อผู้บริโภคทันที โดยการใช้ชื่อการค้า (trade) เครื่องหมายการค้า (trademark) ชื่อผู้ผลิต ลักษณะและประเภทของสินค้า เข้ามาเป็นเครื่องมือบ่งชี้ เพราะผู้บริโภคต้องการบรรจุภัณฑ์ที่มีรูปทรงเด่นชัด และมองหาง่าย

2.4.1.3 การอำนวยความสะดวก บรรจุภัณฑ์ต้องเอื้ออำนวยความสะดวกต่อการขนส่งและการเก็บรักษาในคลังสินค้า ซึ่งต้องมีความมั่นคง แข็งแรง สามารถที่จะวางซ้อนทับกันได้หลายชั้น ในระดับการขายปลีกก็เช่นกัน บรรจุภัณฑ์ต้องมีขนาดรูปร่างที่ลงตัว ง่ายและสะดวกต่อการเรียงซ้อนในชั้นวางของหรือจัดแสดงโชว์

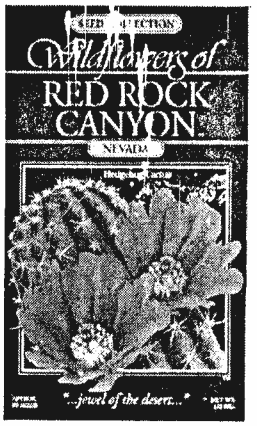
2.4.1.4 การดึงดูดความสนใจผู้บริโภค การที่บรรจุภัณฑ์จะสามารถดึงดูดความสนใจผู้บริโภคได้ดีนั้น เป็นผลมาจากองค์ประกอบหลายอย่าง เช่น ขนาด รูปร่าง รูปทรง สี วัสดุ ข้อความตัวอักษรบอกวิธีการใช้ สิ่งที่ประกอบเป็นรูปลักษณ์บรรจุภัณฑ์ที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพทางการสื่อสาร และเกิดผลกระทบทางจิตวิทยาต่อผู้บริโภค เช่น ออกแบบให้บรรจุภัณฑ์มีหลายขนาด การใช้สีบนบรรจุภัณฑ์ การใช้รูปร่าง เป็นต้น

2.4.1.5 การเศรษฐกิจ บรรจุภัณฑ์มีบทบาทและหน้าที่สำคัญอีกประการหนึ่ง คือ เป็นองค์ประกอบร่วมในการกำหนดราคาขายผลิตภัณฑ์ เพราะถือว่าเป็นต้นทุนการผลิต ที่ทำให้เกิดกำไรแก่ผู้ผลิต เกิดการว่าจ้าง และการใช้แรงงาน

2.4.2 ประเภทของบรรจุภัณฑ์

บรรจุภัณฑ์แบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ บรรจุภัณฑ์เฉพาะหน่วย (individual package) บรรจุภัณฑ์ชั้นใน (inner package) และบรรจุภัณฑ์ชั้นนอกสุด (outer package)

2.4.2.1 บรรจุภัณฑ์เฉพาะหน่วย เป็นบรรจุภัณฑ์ที่สัมผัสอยู่กับผลิตภัณฑ์ชั้นแรก เป็นสิ่งที่บรรจุผลิตภัณฑ์เอาไว้เฉพาะส่วน (ภาพที่ 2.17) มีจุดประสงค์ คือ เพิ่มคุณค่าในเชิงพาณิชย์

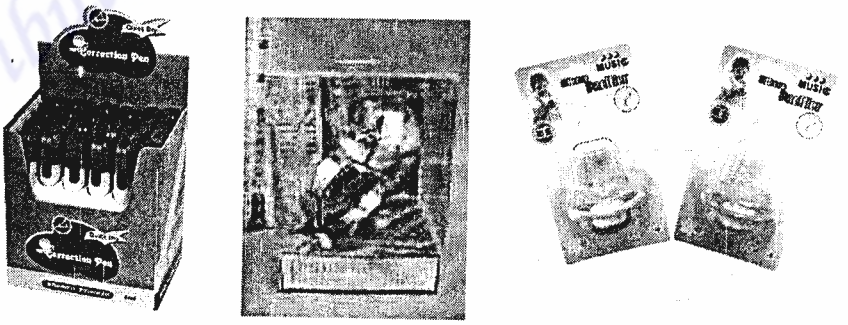


ภาพที่ 2.17 ตัวอย่างบรรจุภัณฑ์เฉพาะหน่วย

ที่มา (The Red Rock Canyon Interpretive Association [RRCIA]., 2005)

(Minimus.biz., 2005)

2.4.2.2 บรรจุภัณฑ์ชั้นใน เป็นบรรจุภัณฑ์ที่ถัดออกมาเป็นชั้นที่สอง มีหน้าที่รวบรวมบรรจุภัณฑ์ชั้นแรกเข้าไว้ด้วยกันหรือเป็นชุด (ภาพที่ 2.18) มีจุดประสงค์ คือ การป้องกันรักษาสินค้าผลิตภัณฑ์จากน้ำ ความชื้น ความร้อน แสง แรงกระทบกระเทือน และเอื้ออำนวยความสะดวกแก่การขาย ปลีกและย่อย

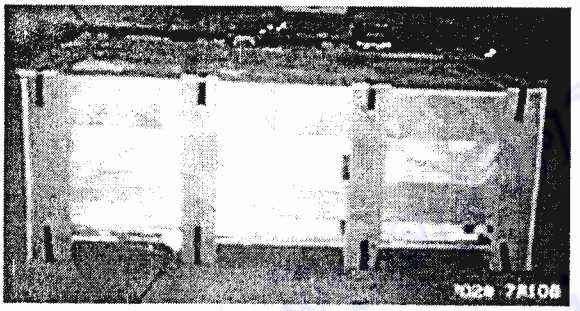


ภาพที่ 2.18 ตัวอย่างบรรจุภัณฑ์ชั้นใน

ที่มา (Ningbo Rico Chemical Industry Co.,LTD., 2005) (soaresantiques.com, 2005)

(Ruenn Ta Enterprise Co., LTD., 2000)

2.4.2.3 บรรจุภัณฑ์ชั้นนอกสุด เป็นบรรจุภัณฑ์ที่เป็นหน่วยรวมขนาดใหญ่ที่ใช้ในการขนส่ง (ภาพที่ 2.19) ทำหน้าที่ป้องกันผลิตภัณฑ์ในระหว่างการขนส่งเท่านั้น



ภาพที่ 2.19 ตัวอย่างบรรจุภัณฑ์ชั้นนอกสุด
ที่มา (Eco-Artware.com, 1999) (unistone.net, 2005)

2.4.3 วัสดุบรรจุภัณฑ์

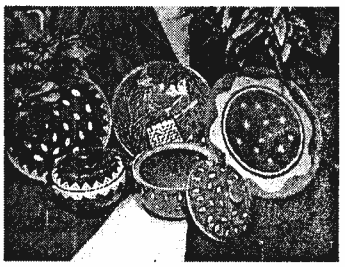
วัสดุบรรจุภัณฑ์ แบ่งออกเป็น 4 ประเภทใหญ่ๆ คือ ประเภทเซรามิคส์ (ceram cs) ประเภทผลิตภัณฑ์ที่ได้จากพืชและผัก (vegetable products) ประเภทโลหะ (metals) และประเภทพลาสติก (plastics)

2.4.3.1 ประเภทเซรามิคส์ รวมทั้งเครื่องแก้ว และเครื่องกระเบื้อง เครื่องลายคราม (ภาพที่ 2.20 ก)

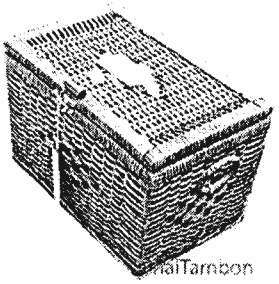
2.4.3.2 ประเภทผลิตภัณฑ์ที่ได้จากพืชและผัก ได้แก่ ไม้ เยื่อไม้ ยางไม้ เส้นใยจากพืช ผัก ในรูปของกระดาษ สิ่งทอ เช่น ผ้า หรือเครื่องจักสาน (ภาพที่ 2.20 ข)

2.4.3.3 ประเภทโลหะ เช่น แผ่นเหล็กอาบดีบุก อลูมิเนียม โลหะผสม อลูมิเนียมแผ่นเปลว ทองแดง ทองเหลือง ได้แก่ ภาชนะบรรจุในรูปของกระป๋อง ถังโลหะ (ภาพที่ 2.20 ค)

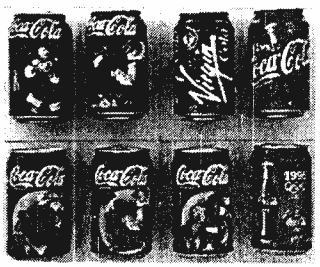
2.4.3.4 ประเภทพลาสติก เป็นวัสดุที่ได้จากการสังเคราะห์ของพวกโพลิเมอร์ (polymer) ส่วนมากทำมาจากน้ำมันปิโตรเลียม (ภาพที่ 2.20 ง) ได้แก่ polyethylene (PE), polypropylene (PP), polystyrene (PS), polyester, polyvinyl chloride (PVC) และอื่นๆ (ประชิด ทิณบุตร, 2531)



(ก)



(ข)



(ค)

(ง)

ภาพที่ 2.20 ประเภทของวัสดุบรรจุภัณฑ์

(ก) เซรามิคส์ (ข) ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากพืชและผัก (ค) โลหะ (ง) พลาสติก

ที่มา (ก) (Mahaguthi, Craft with a Conscience, 2005) (ข) (ThaiTamboo.com, 2004)

(ค) (bugss.org, 2000) (ง) (spectroscopynow.com, 2005)

2.4.4 การออกแบบบรรจุภัณฑ์

2.4.4.1 ข้อควรรู้ในการออกแบบบรรจุภัณฑ์ ในการออกแบบโครงสร้างของบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม จำเป็นต้องมีความรู้และพึงปฏิบัติรวม 10 ประการด้วยกันดังนี้

(1) มีสามัญสำนึก เช่น ผลิตภัณฑ์ที่ไวต่อความชื้น ต้องได้รับการบรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่สามารถป้องกัน ไอน้ำได้ดี ผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันสูงก็ต้องใช้วัสดุที่กันไขมันได้ ผลิตภัณฑ์ที่ แตกหักง่าย ต้องมีการยึดมิให้เคลื่อน ที่ และใช้วัสดุกันกระแทก ผลิตภัณฑ์ ที่มีมูลค่าต้องใช้บรรจุภัณฑ์ที่ดีมากเป็นพิเศษ เป็นต้น

(2) มีความรู้ในวิชาฟิสิกส์และหน่วยที่ใช้ในด้านการบรรจุภัณฑ์ เช่น ในเรื่อง

ของมวล แรง ความดัน รวมทั้งคุณสมบัติทางกายภาพ และเคมี-กายภาพของบรรจุภัณฑ์ด้วย เช่น ความทนทานต่อการโค้งงอ การต้าน แรงดึงขาด การกระแทกอย่างรุนแรงการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซ การ กัดกร่อน เป็นต้น ส่วนหน่วยที่ใช้ก็ควรเป็นมาตรฐานสากล

(3) มีความรู้ในด้านการหีบห่อ ไม่ว่าจะเป็นวัสดุ รูปแบบและส่วนประกอบต่างๆ ของบรรจุภัณฑ์ เช่น มีความรู้ในเรื่องของชนิดและคุณสมบัติของวัสดุและบรรจุภัณฑ์เพื่อสามารถเลือกใช้ได้ตามความต้องการ รวมทั้งมีความเข้าใจในเรื่อง ของส่วนประกอบของบรรจุภัณฑ์ เช่น กาว แถบกาว สายรัด ฉลาก วัสดุ กันกระแทก เป็นต้น

(4) มีความรู้เกี่ยวกับระบบการขนส่ง เช่น ความเสียหายเนื่องจากทางกล สภาพอากาศแวดล้อมและสิ่งมีชีวิต สภาพของการลำเลียงขนส่งสินค้าและระบบการขนส่งหน่วยใหญ่ที่ควรใช้

(5) มีความรู้ในผลิตภัณฑ์ที่บรรจุ ได้แก่ คุณสมบัติเฉพาะของผลิตภัณฑ์ไม่ว่าจะเป็นสถานะ ส่วนประกอบคุณค่าทางโภชนาการ ความแข็งแกร่งหรือบอบบาง สาเหตุที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เสียหายหรือเสื่อมคุณภาพ ราคา และอายุการเก็บที่ต้องการ

(6) มีความรู้เกี่ยวกับกฎระเบียบและข้อกำหนดของลูกค้า อันรวมทั้งกฎหมายข้อบังคับต่างๆ ของประเทศที่จำหน่ายสินค้าและมาตรฐานของบรรจุภัณฑ์ที่ลูกค้ากำหนด

(7) มีความรู้ในด้านเครื่องจักรที่ใช้สำหรับการหีบห่อ เช่น เครื่องบรรจุ เครื่องปิดผนึก เครื่องห่อ เครื่องปิดฉลาก เครื่องพิมพ์ฉลาก เป็นต้น

(8) มีความรู้ในเรื่องจุดเด่นและจุดด้อยของบรรจุภัณฑ์ที่คู่แข่งขันใช้อยู่ หรือบรรจุภัณฑ์ของผลิตภัณฑ์ที่คล้ายคลึงกับที่จะผลิต เพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ของตน โดยศึกษาจากบรรจุภัณฑ์ตามร้านค้า ซุปเปอร์มาร์เก็ต งานนิทรรศการ และโรงงานผู้ใช้บรรจุภัณฑ์

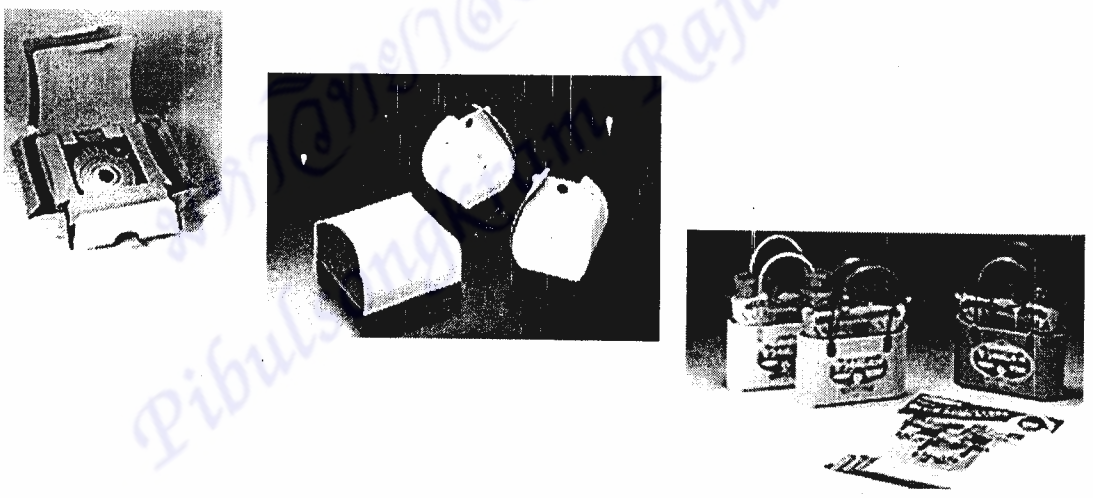
(9) พัฒนาบรรจุภัณฑ์และทดสอบคุณสมบัติบางประการที่ทำได้โดยง่าย และเสียค่าใช้จ่ายไม่สูงนัก เช่น การทดสอบความแข็งแรงในการ เรียงซ้อน การตกกระแทก การเปลี่ยนแปลงของรสชาติของผลิตภัณฑ์ เป็นต้น ข้อมูลที่ได้จะสามารถนำกลับมาปรับปรุงบรรจุภัณฑ์ให้เหมาะสม

(10) ส่งตัวอย่างบรรจุภัณฑ์ที่ผ่านการปรับปรุงแล้วในข้อ 9 ไปยัง ศูนย์การหีบห่อหรือหน่วยงานที่ได้รับการรับรอง เพื่อวิเคราะห์ตรวจสอบคุณสมบัติของวัสดุและ บรรจุภัณฑ์ที่บรรจุผลิตภัณฑ์ แล้ว อันเป็นการจำลองสภาวะการใช้งานจริง เพื่อยืนยันผลของการพัฒนาก่อนจะสู่การผลิตบรรจุภัณฑ์ ต่อไป (มยุรี ภาคลำเจียก, 2548)

2.4.4.2 ปัจจัยสำคัญในการออกแบบภาชนะบรรจุ มีผู้กล่าวว่า "รูปแบบของภาชนะบรรจุมีความสัมพันธ์อย่างแน่นแฟ้น กับศิลปวัฒนธรรม ของประชาชนในประเทศนั้นๆ" ซึ่งดูจะเป็นความจริง

ดังเห็นได้จากภาชนะบรรจุพื้นบ้านซึ่งทำจากวัสดุที่หาได้ง่ายในท้องถิ่น เช่น ไม้ ไม้ไผ่ ใบตอง ฯลฯ การทำภาชนะบรรจุเหล่านี้ นอกจากจะมีวัตถุประสงค์เพื่อรวบรวมและปกป้องสินค้าแล้ว ยังนับได้ว่าเป็นหัตถกรรมประเภทหนึ่งที่แฝงไว้ซึ่งศิลปวัฒนธรรมและสืบทอดกันมาช้านาน ในยุคปัจจุบัน แม้ว่าเทคโนโลยีที่ก้าวหน้า จะได้มีส่วนทำให้รูปแบบของภาชนะบรรจุเปลี่ยนไปจากเดิม และมีการใช้วัสดุที่ทันสมัยมาทดแทน ก็ตาม แต่ก็สังเกตได้ว่าภาชนะบรรจุบางประเภท ยังมีรูปแบบที่ผูกพันกับศิลปวัฒนธรรมอยู่ดี ตัวอย่างที่เด่นชัดคือประเทศญี่ปุ่นซึ่งมีภาชนะบรรจุเพื่อการขายปลีกหลายประเภทที่ได้รับการออกแบบ ให้คงเอกลักษณ์ อันบ่งบอกถึงศิลปวัฒนธรรมของชาวญี่ปุ่นที่ดำรงไว้อย่างเหนียวแน่น สภาพสังคมและวิถีการดำรงชีวิตในยุคใหม่ยังทำให้ประชาชน ส่วนใหญ่ต้องการสินค้าที่อำนวยความสะดวกต่อชีวิตประจำวัน ภาชนะบรรจุจึงได้รับการออกแบบให้สนองตอบ ต่อความต้องการเหล่านี้ โดยอาศัยเทคโนโลยีที่ทันสมัย ส่งผลให้สินค้า เก็บรักษาได้นานขึ้น สะดวกต่อการ ใช้สอย และการลำเลียงขนส่ง รวมทั้งสามารถสร้างจุดเด่นให้กับสินค้าในแง่ของคุณภาพ อันช่วยส่งเสริมการขายได้ การตลาดเป็น องค์ประกอบแรกของการออกแบบภาชนะบรรจุ ที่จำเป็นต้องศึกษาอย่างถี่ถ้วนทั้งในแง่ของกลุ่มผู้ซื้อ เป้าหมาย สถานที่ และราคา เนื่องจากภาชนะบรรจุเป็นส่วนหนึ่งของระบบการค้าขายและชีวิตของคนเรา วัสดุที่ใช้ทำภาชนะบรรจุ ต้องคำนึงถึงคุณสมบัติของวัสดุ ข้อดี และข้อเสีย ตลอดจนกรรมวิธีการผลิต และขอบขีดของเทคโนโลยีในการผลิต เป็นต้น ประโยชน์ของการใช้งานสูงสุดที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างของภาชนะบรรจุนั้นๆ เช่น ความสะดวกต่อการใช้สอยในการปิดเปิด การเทผลิตภัณฑ์ การพกพาติดตัวไปยังสถานที่ต่างๆ เป็นต้น การสื่อความหมายระหว่างผู้ผลิตกับผู้บริโภค ซึ่งหมายถึงการแจ้งข้อมูลบอก รายละเอียดของสินค้า สรรพคุณ วิธีการใช้ รวมทั้งรูปภาพ เครื่องหมายการค้า และตรา สิ่งเหล่านี้มีชื่อเรียกรวมกันว่า "กราฟฟิกของภาชนะบรรจุ" การออกแบบด้านนี้ควรเรียบง่าย แต่ให้ผลต่อการดึงดูดสายตาได้ดี มีความเด่น ชัดเจน โดยอาศัยเทคนิคการพิมพ์ที่เหมาะสม เพื่อให้งานพิมพ์บนพื้นผิวของภาชนะบรรจุมีคุณภาพที่ดี การออกแบบกราฟฟิกที่ไม่เหมาะสมทำให้สินค้าดูด้อยค่า ไม่มีราคา ในทาง ตรงข้ามการออกแบบที่สวยงามจะช่วยเพิ่มคุณค่าให้กับสินค้า ทำให้สินค้ามี "ระดับ" ได้ ในเรื่องของการใช้สีกับการออกแบบกราฟฟิกของภาชนะบรรจุนั้น ได้มีแนวโน้มว่าสีสดๆ เช่น สีที่มีส่วนผสมของแดงและเหลืองจะมีการใช้ลดลงในอนาคตอันใกล้นี้ ในขณะที่การใช้สีเดียวที่ไล่ระดับแก่อ่อน จะได้รับความนิยมเพิ่มขึ้น การบรรจุหีบห่อยังคงก้าวหน้าพัฒนาอย่างไม่หยุดยั้ง เพื่อสนองตอบต่อความต้องการของผู้บริโภค และให้สอดคล้องกับสภาพสังคมที่แปรเปลี่ยนอยู่ตลอดเวลา การออกแบบมีบทบาทอย่างยิ่งต่อการบรรจุหีบห่อ เนื่องจากเป็นตัวเชื่อมโยงระหว่างภาชนะบรรจุกับคนเรา ดังนั้นการออกแบบจึงควรได้รับการพัฒนาควบคู่ไปกับการบรรจุหีบห่อเสมอ และควรคำนึงถึงวัสดุ ที่ไม่ทำลาย สิ่งแวดล้อมด้วย (มยุรี ภาคลำเจียก, 2548)

2.4.4.3 ตัวอย่างการออกแบบภาชนะบรรจุ สำหรับชีวิตในประเทศญี่ปุ่น งานกระดาษเป็นงานที่ปรากฏให้เห็นในหลายรูปลักษณ์ (ภาพที่ 2.21) คงจะไม่เป็นการกล่าวที่เกินเลยไปว่าชีวิตในญี่ปุ่นถูกห้อมล้อมไปด้วยกระดาษ บรรพบุรุษของเราเอากระดาษมาทำร่ม ภาชนะต่าง ๆ ที่ใช้บนโต๊ะรับประทานอาหาร นั่นยังไม่นับรวมไปถึงประตูบานเลื่อนที่ปิดด้วยกระดาษสาญี่ปุ่น ชาวต่างชาติมักจะประหลาดใจที่ได้เห็นกระดาษที่พับอย่างประณีตซ่อนอยู่ใต้กล่องขนมหวานญี่ปุ่นโอริงามิ เป็นที่รู้จักอย่างกว้างขวางไปทั่วโลกในฐานะที่เป็นศิลปะการพับกระดาษแบบญี่ปุ่น ความมหัศจรรย์ของมันก็คือรูปลักษณ์ใหม่ที่ปรากฏหลังจากการพับอย่างธรรมดาหรือตัดเพียงครั้งเดียว ความหลากหลายของมันเป็นผลมาจากความเพลิดเพลินที่ได้รับการกระตุ้นให้เกิดจินตนาการอันกว้างไกลออกไปอย่างไร้ขอบเขต การพับกระดาษนำไปสู่การประดิษฐ์สิ่งใหม่ ๆ ซึ่งสามารถเป็นต้นแบบของการออกแบบทุกชนิด หรือสามารถประยุกต์ใช้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ทำจากวัสดุอื่นที่แตกต่างออกไป ไม่เฉพาะแต่ของเล่น เครื่องประดับ บรรจุภัณฑ์ หากรวมไปถึง เจล อุปกรณ์ของใช้ การออกแบบตกแต่งภายใน การออกแบบอุตสาหกรรม และแม้กระทั่งสถาปัตยกรรม ฯลฯ (มูลนิธิญี่ปุ่น, 2544)



ภาพที่ 2.21 ตัวอย่างการออกแบบภาชนะบรรจุในประเทศญี่ปุ่น
ที่มา (มูลนิธิญี่ปุ่น, 2544)

2.4.5 การบรรจุผลิตภัณฑ์ (packaging)

การบรรจุผลิตภัณฑ์ เป็นระบบในการเตรียมสินค้าเพื่อการขนส่ง จัดจำหน่าย เก็บรักษาและการตลาด โดยให้สอดคล้องกับคุณสมบัติของสินค้า รวมทั้งการใช้ต้นทุนที่เหมาะสม ในยุคปัจจุบัน

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีได้มีบทบาทต่อชีวิตประจำวัน ของคนเรามากขึ้น การบรรจุหีบห่อจึงได้เพิ่มความสำคัญยิ่งขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการบรรจุผลิตภัณฑ์ เป็นปัจจัยที่สำคัญในการนำสินค้าจากแหล่งผลิตสู่มือผู้บริโภคในคุณภาพซึ่งเป็นที่ยอมรับ การบรรจุผลิตภัณฑ์จัดได้ว่าเป็นแขนงวิชาหนึ่งที่ผนวกความรู้ทางวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และศิลปะ เข้าด้วยกัน มีความสัมพันธ์กับขั้นตอนต่างๆ มากมาย นับตั้งแต่การเตรียมสินค้า การบรรจุ การลำเลียงและขนส่ง จนถึงการตลาด วิธีการบรรจุ (packing) หมายถึงวิธีการบรรจุสินค้า จะด้วยการห่อหุ้มหรือการใส่ลงในภาชนะปิดใดๆ ก็ได้ (มยุรี ภาคลำเจียก, 2548)

2.4.5.1 การบรรจุผลิตภัณฑ์ได้คุณภาพ หลายคนอาจจะดูว่าบรรจุภัณฑ์นั้นเป็นสิ่งที่ง่ายๆ เพียงแต่นำมาใช้บรรจุรองรับสินค้าเท่านั้น แต่ทำไมถึงได้มีบรรจุภัณฑ์หลากหลายในท้องตลาด ทั้งนี้ก็เนื่องจากมีกฎหมายที่มีผลกระทบต่อการออกแบบบรรจุภัณฑ์นั่นเอง ปัจจุบันมีผู้จำหน่ายบรรจุภัณฑ์กระจายอยู่ทั่วโลก แต่สินค้าก็ยังมีความเสียหาย การที่จะตรวจสอบว่าบรรจุภัณฑ์ใช้งานได้อย่างดีนั้นมักจะดูถึงคุณสมบัติในการคุ้มครองสินค้า เช่น สินค้าจำหน่ายในประเทศหรือเพื่อการส่งออก หรือทั้งสองประการ ใช้เครื่องจักรหรือคนขนย้าย วางตลาดในที่ที่มีความชื้นและอุณหภูมิเปลี่ยนแปลง เพียงใด บรรจุขนาดใดจึงจะพอเหมาะกับผู้บริโภค เหล่านี้เป็นเพียงคำถามตัวอย่างเพื่อใช้จัดทำบรรจุภัณฑ์ให้เป็นไปตามข้อกำหนด แต่บางครั้งก็ยังไม่สามารถให้ความคุ้มครองสินค้าได้ตามที่คาดหวังไว้ ผลิตภัณฑ์จำนวนมาก รวมทั้งสารเคมี ที่ถูกจัดไว้ในประเภท “สินค้าอันตราย” นั้น ต้องมีบรรจุภัณฑ์ที่มีสมบัติตาม กฎข้อบังคับชื่อว่า “Recommendations on the Transport of Dangerous Goods (ninth revised edition)” ซึ่งจัดทำโดยองค์ การรสหประชาชาติ เอกสารนี้มักรู้จักกันในชื่อว่า “UN Orange Book” มีสาระว่าด้วย กฎข้อบังคับในการขนส่งสินค้าอันตราย ระบบในการทดสอบบรรจุภัณฑ์ การจัดทำรหัสและเครื่องหมายบนบรรจุภัณฑ์ ดังนั้นผู้ผลิตสินค้าประเภทนี้จะต้องจัดหาบรรจุภัณฑ์ให้เป็นไปตามกฎข้อบังคับนี้ แต่ยังมีผลิตภัณฑ์อีกหลายชนิดที่ ไม่ได้จัดอยู่ในประเภทดังกล่าว และไม่มีข้อกำหนดเกี่ยวกับสมบัติบรรจุภัณฑ์ที่ใช้อย่างชัดเจน ผู้ที่เคยผลิตและใช้บรรจุภัณฑ์ที่สามารถผ่านกฎข้อบังคับ ขององค์การสหประชาชาติมาแล้วจะสามารถนำประสบการณ์มาใช้กับสินค้าเหล่านี้ได้อย่างดี ในสถานการณ์ที่เน้นสมบัติของการใช้งานมาเป็นข้อกำหนดในการจัดหาบรรจุภัณฑ์ยิ่งกว่าการเลือกใช้โครงการของวัสดุ ซึ่งมีการพัฒนาวัสดุใหม่ มีกฎหมายด้านการนำมาแปรใช้ใหม่และใช้ซ้ำ และการสร้างความเชื่อมั่นของผู้บริโภคในตราสินค้า เหล่านี้เป็นองค์ประกอบที่ทำให้การคัดเลือก ผู้ผลิตเป็นสิ่งสำคัญ อย่างไรก็ตาม มิใช่ว่าจะมีแต่เพียงรายเดียวเท่านั้น ที่จะผลิตบรรจุภัณฑ์ได้ตามข้อกำหนด อีกทั้งใช่ว่าจะพิจารณาเพียงบรรจุภัณฑ์ที่ มีราคาต่ำสุดเท่านั้น ยังมีปัจจัยอื่นที่จะ ต้องนำมาพิจารณาร่วมด้วย เช่น เวลาในการจัดส่ง ปริมาณการเก็บสำรอง มาตรฐานในการประกันคุณภาพ และการสนับสนุนด้านเทคนิค ซึ่งยังต้องการงานวิจัยและการทดสอบที่ล้วนแต่ทำ

ให้ค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นทั้งสิ้น การจัดทำข้อกำหนดบรรจุภัณฑ์ปฐมภูมินั้นต้องพิจารณาถึงการเลือกใช้บรรจุภัณฑ์เพื่อการขนส่งแท่นรองรับสินค้า ฟิล์มยืดที่ห่อหุ้ม และวัสดุต่างๆ ที่นำมาใช้ประกอบใน การขนส่งด้วย แท่นรองรับสินค้าทำด้วยไม้ควรได้รับการตรวจสอบทั้งด้านการออกแบบ และความคงทนในการใช้งาน เพราะจะช่วยให้การขนถ่ายและขนส่งเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ การจัดทำข้อกำหนดบรรจุภัณฑ์ จึงเป็นเรื่องทางเทคนิค บรรจุภัณฑ์จะใช้งานได้ดีเพียงใดนั้นขึ้นอยู่ที่คุณภาพของบรรจุภัณฑ์ในการคุ้มครองสินค้าได้อย่างปลอดภัย รวมทั้งการใช้ปริมาณวัสดุในการจัดทำให้น้อยที่สุด เพื่อประหยัดพลังงาน มีเศษเหลือทิ้งน้อยที่สุด สามารถนำไปแปรใช้ใหม่ หรือใช้ซ้ำได้ ยิ่งกว่านั้นบรรจุภัณฑ์จะต้องมีราคาที่ทั้งผู้ผลิตสินค้าและผู้บริโภค สามารถซื้อหาได้ (กาญจนา ทุมมานนท์, 2548)

2.4.5.2 เทคโนโลยีการพิมพ์และการติดฉลากแบบใหม่ การขาดการสื่อสารที่ดีต่อกันที่จุดขายทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างผู้ผลิตสินค้ากับผู้บริโภค หยุดชะงักลง เช่น ผู้ผลิตขนมปัง ไม่สามารถแจ้งต่อผู้บริโภคได้ว่าขนมปังจะหมดอายุเมื่อใด ฉลากจึงได้เข้ามามีบทบาทเป็นสื่อกลางที่ให้ความสัมพันธ์อันดีดำเนินต่อไป ฉลากสามารถบอกวันหมดอายุ ส่วนผสมคุณค่าทางโภชนาการและข้อมูลอื่นๆ ได้ ปัจจุบันประชาคมยุโรปและทั่วโลกได้ออกกฎหมายเกี่ยวกับฉลากมาใช้กันอย่างมากมาย ผู้ผลิตรายใหญ่ๆ ที่ผลิตสินค้าไม่กี่ชนิด มักจะไม่มีปัญหาในการพิมพ์วันหมดอายุ ชุดตัวเลข บาร์โค้ด เพราะสามารถพิมพ์ลงบนบรรจุภัณฑ์ก่อนหรือหลังการบรรจุได้ แต่ผู้ผลิตรายเล็กที่มีสินค้าหลากหลายการพิมพ์ดังกล่าวจะเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายมากขึ้น และเสี่ยงต่อการนำสินค้าบรรจุ ผิดกล่อง วิธีแก้ปัญหาและลดต้นทุนคือ การพิมพ์บนฉลากกระดาษและนำไปติด บนบรรจุภัณฑ์ ณ จุดสุดท้ายของการผลิต สมัยก่อนระบบการพิมพ์และติดฉลากไม่มีทางเลือกมากนัก ต้องใช้น้ำหมึกและฟอยล์ที่ไวต่อความร้อนซึ่งพิมพ์ได้ช้า จนกระทั่งได้มีการประดิษฐ์คิดค้นกรรมวิธีการพิมพ์ แบบเทอร์มัล (thermal printing) ขึ้นมาใช้ โดยพัฒนาจากอุปกรณ์ทางทหาร ความร้อนจากหัวพิมพ์จะสัมผัสกับกระดาษที่เคลือบด้วยสารไวต่อความร้อน แล้วเปลี่ยนสีขาวของกระดาษ ไปเป็นสีเทาดำ ความกว้างของเส้นจะมีขนาด 1 มิลลิเมตร สามารถพิมพ์ตัวอักษร ตัวเลข และกราฟฟิก ตลอดจนจุดเมตริกได้ แต่ฉลากแบบนี้เมื่อโดนแสงอัลตราไวโอเลตนานๆ จะจางลง จึงได้นำฟอยล์มาใช้ในการแก้ปัญหาดังกล่าว ทำให้สามารถพิมพ์ฉลากได้ 2 สี โดยนำฟอยล์ 2 สี มาพิมพ์พร้อมกัน และความลื่นของฟอยล์เองก็จะช่วยยืดอายุการใช้งานของหัวพิมพ์ได้อีกด้วย จากนั้นได้มีการพัฒนาให้เครื่องพิมพ์ฉลากแบบนี้สามารถพิมพ์ได้ ละเอียดมากถึง 12 จุดต่อ มม. จึงพิมพ์บาร์โค้ดเล็กๆ ได้โดยไม่มีปัญหา สิ่งที่สำคัญคือการแก้ปัญหาในการติดฉลาก เนื่องจากเครื่อง ติดฉลากมีความเร็ว 30 เมตร/นาที ส่วนการพิมพ์ฉลากมีความเร็วเพียง 125 มิลลิเมตร/วินาที ซึ่งเป็นสัดส่วน 4 ต่อ 1 จึงต้องสำรองฉลากที่พิมพ์ไว้แล้วในม้วนระหว่างหัวพิมพ์กับเครื่องติดฉลาก การพัฒนาเครื่องพิมพ์ และติดฉลากแบบนี้ได้คำนึงถึง

ความแม่นยำในการติดฉลาก และความสะดวกในการติดตั้ง บุคคลที่ไม่มีความรู้ทางช่างก็สามารถติดตั้งได้ และเครื่องก็ไม่ต้องการการบำรุงรักษามากมายนัก อีกทั้งสามารถใช้กับการผลิตสินค้าที่ต้องการความสะอาด นอกจากนี้ได้มีการนำเครื่องคอมพิวเตอร์มาควบคุมในการติดฉลากให้แม่นยำมากขึ้น และสามารถเปลี่ยนข้อมูลที่หลากหลายของสินค้าได้สะดวกรวดเร็ว ทันต่อสินค้า (ปริญญา ขำสาธร, 2548)

2.4.5.3 ตัวอย่างการบรรจุผลิตภัณฑ์

(1) การบรรจุกาแฟ เมล็ดกาแฟที่ได้ควรเก็บไว้ในรูปของกาแฟกะลา (Parchment - Coffee) เพราะจะสามารถรักษาเนื้อกาแฟและป้องกันความชื้นกาแฟได้ดี ควรบรรจุในกระสอบป่านใหม่ และควรกลับด้านในของกระสอบป่านออกมาผึ่งลมก่อนนำไปใช้ เก็บในโรงเก็บที่มีอากาศถ่ายเท ได้สะดวก ไม่อับชื้น หรือมีกลิ่นเหม็น (ปรารภ ประภาลักษณ์, 2548)

(2) การบรรจุส้มโอเพื่อการส่งออก ในบรรดาผลไม้ไทยที่มีศักยภาพสูงในการส่งออกนั้น ส้มโอเป็นผลไม้ที่มีอนาคตสดใสมาก เนื่องจากปลูกง่าย ขายได้ราคาและมีรสชาติเป็น ที่ชื่นชอบของชาวต่างประเทศ โดยทั่วไป จากการที่รัฐบาลไทยได้มีนโยบายเด่นชัดในการรณรงค์ ส่งเสริม และ เผยแพร่ผลไม้ไทยให้เป็นที่ยอมรับและนิยมแพร่หลายในตลาดโลก ส้มโอจึงได้รับการกำหนดไว้เป็น สินค้าเป้าหมายในการส่งเสริมและเผยแพร่ไปในตลาดยุโรปศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย ซึ่งเป็นหน่วยงานของรัฐภายใต้สังกัดสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย จึงได้ดำเนินการพัฒนาบรรจุภัณฑ์สำหรับส้มโอเพื่อการส่งออก เพื่อผลักดันให้มีการใช้ บรรจุภัณฑ์ที่ได้มาตรฐาน เป็นที่ต้องการและยอมรับของตลาดต่างประเทศ อีกทั้งช่วยสร้างภาพพจน์ที่ดีแก่ผลไม้ไทยในต่างแดน บรรจุภัณฑ์ที่ได้พัฒนาเสร็จสมบูรณ์แล้วเป็นกล่องกระดาษลูกฟูก 2 แบบ คือ แบบที่ 1 เพื่อการส่งออกทางอากาศ และแบบที่ 2 เพื่อการขนส่งทางเรือ กล่องสำหรับการขนส่งทางอากาศ มีขนาดวัดภายนอก 45 x 35 x 20 เซนติเมตร บรรจุส้มโอขนาดเส้นรอบวงเกิน 17.5 นิ้ว ได้ 5 ผล หรือส้มโอขนาดเส้นรอบวงไม่เกิน 17.5 นิ้ว ได้ 6 ผล การบรรจุใช้แผ่นลูกฟูกวางกั้นระหว่างผลเพื่อไม่ให้ผลส้มโอเคลื่อนที่และกระแทกกันในระหว่างการลำเลียงขนส่ง น้ำหนักบรรจุสุทธิของส้มโอแต่ละกล่องไม่เกิน 9 กิโลกรัม กล่องมีค่าการต้านแรงกดไม่ต่ำกว่า 650 กิโลกรัมแรง กล่องสำหรับการขนส่งทางเรือ มีขนาดวัดภายนอก 50 x 40 x 25 เซนติเมตร บรรจุส้มโอขนาดเส้นรอบวง 16-18 นิ้ว ได้ 1622 ผล น้ำหนักบรรจุสุทธิไม่เกิน 18 กิโลกรัม กล่องมีค่าการต้านแรงกดไม่ต่ำกว่า 860 กิโลกรัมแรง บรรจุภัณฑ์ส้มโอที่ได้พัฒนาขึ้นนี้มีขนาดมาตรฐาน ใช้เนื้อที่ขนส่งได้อย่างมีประสิทธิภาพมีรูปแบบโครงสร้างที่แข็งแรง สามารถรักษาสภาพของส้มโอ และตัวกล่องไว้ได้อย่างสมบูรณ์ตลอดเส้นทางการลำเลียงขนส่ง และทำหน้าที่เป็นภาชนะเพื่อการขนส่งและเพื่อการวางขายอีกด้วย (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์แห่งประและเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2548)

(3) การบริการสั่งสินค้า ส่งสินค้าและการบรรจุของขวัญ ทางร้านอาจจะมีเงื่อนไขดังนี้

(3.1) โดยปกติสินค้า จะบรรจุอยู่ในกล่องกระดาษอาร์ตสีขาว 1 ใบ ต่อ 1 กล่อง

(3.2) กรณีมีจัดส่งสถานที่เดียวกัน ผู้สั่งซื้อรายเดียวกัน จะทำการบรรจุกล่องย่อยเรียงและรวมกันในกล่องใหญ่เพื่อความเป็นระเบียบเรียบร้อย

(3.3) กรณีที่เป็นการสั่งซื้อโดยตัวแทนจำหน่าย สินค้าที่หักส่วนลด ยังไม่ได้รวมค่ากล่อง

(3.4) หากผู้สั่งซื้อต้องการการบรรจุผลิตภัณฑ์ในรูปแบบอื่น เพื่อนำเป็นของขวัญหรือของที่ระลึกให้บุคคลอื่นเป็นกรณีเร่งด่วน ให้โทรสั่งได้ดังนี้คะ

(3.4.1) บรรจุในถุงแก้ว โรยด้วยบุหงา อบอโรม่าและโบว์สีสวย 1 บาท

(3.4.2) ห่อด้วยกระดาษสา อัดกลีบกุหลาบภายในเนื้อกระดาษ พร้อมโบว์ลายเก๋ กล่องละ 15 บาท

(3.4.3) ถุงกระดาษสาใบละ 15 บาท

(3.4.4) ซื้อวัสดุเพื่อห่อเอง ชุดละ 12 บาท

(SP.Boutique City & Design, 2003)

2.5 สีย้อมธรรมชาติ

2.5.1 ความสำคัญของสีย้อมธรรมชาติ

การทำหัตถกรรมเกษตรที่ผ่านมา มีปัญหาเรื่องสีย้อมติดไม่คงทน ตกหรือหลุด จึงขอแนะนำสีย้อมธรรมชาติ ซึ่งมีราคาถูกและไม่ต้องเสียดุลการค้า เพราะไม่ต้องซื้อสารเคมีจากต่างประเทศอีก ทั้งยังไม่ทำลายสิ่งแวดล้อมด้วยการย้อมสีเป็นศาสตร์และศิลปอย่างหนึ่ง เพื่อทำให้วัสดุชนิดต่าง ๆ ติดสีเป็นแขนงหนึ่ง ของเคมีประยุกต์ การย้อมสีเป็นการใช้หลักการทางกายภาพและเคมีร่วมกันเพื่อทำให้เกิดการรวมกันระหว่างสีย้อมกับเส้นใยวัสดุได้อย่างถาวร ไม่หลุดออกไปภายนอกวัสดุเส้นใยได้โดยง่าย ถึงแม้จะผ่านการซักฟอก การขัดสีและการนำไปใช้ประโยชน์ การย้อมสีเป็นการตกแต่งปรับปรุงวัสดุต่างๆ เช่น ฝ้าย ไหม ไม้ไผ่ ผักตบชวา เป็นต้น เพื่อทำให้เกิดความสวยงามน่าใช้น่าสวมใส่ เป็นการเพิ่มน้ำหนักให้กับวัสดุเหล่านั้นทำให้มีคุณค่าและมีราคาสูงขึ้น การย้อมสีวัสดุโดยทั่วไปจะต้องอาศัยองค์ประกอบหลายอย่างร่วมกันการย้อมสีที่แท้จริงจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อสีย้อมอยู่ในลักษณะที่เป็นสารละลาย หรือเป็นอณูเล็กๆ ในสภาวะที่แขวนลอยกระจายอยู่ในตัวกลางคือ น้ำหรือตัวทำละลายบางชนิดเท่านั้นและเมื่อวัสดุดังกล่าวใส่ลงไปทำการย้อมในน้ำย้อมดังกล่าว โมเลกุลของสีก็จะแทรกซึมเข้าไปภายในเส้นใย และจะติด

แน่นอยู่ภายในเส้นใยในสภาพที่จะไม่ละลายตัวหรือหลุดออกมาภายนอกเส้นใยได้อีก โดยอาศัยแรงยึดเหนี่ยวทางกายภาพและเคมี หรือในลักษณะที่สีย้อมสามารถเชื่อมโยงได้โดยตรงกับโครงสร้างโมเลกุลของเส้นใยก็ตาม ซึ่งทั้งสิ้นเป็นลักษณะที่แตกต่างกันกับลักษณะการดูดน้ำของฟองน้ำ ซึ่งจะเป็นเพียงการดูดซึมหรืออมน้ำเอาไว้เท่านั้น ภาวะการย้อมที่ถูกต้องนั้น สีย้อมจะต้องถูกดูดซึมเข้าไปติดเส้นใยวัสดุได้อย่างทั่วถึงและสม่ำเสมอโดยตลอดความยาวและความหนาของเนื้อวัสดุ ไม่ใช่เป็นแต่เพียงการย้อมติดบริเวณพื้นผิวของวัสดุเท่านั้น และผลจากการที่โมเลกุลของสีถูกดูดซึมเข้าไปภายในเส้นใยวัสดุนี้ ก็จะเกิดขึ้นพร้อม ๆ กันกับที่ความเข้มข้นของน้ำย้อมในภาชนะย้อมซีดจางลงหรือสูญหายไปโดยสิ้นเชิง สีย้อมส่วนมากเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่สกัดจากสิ่งที่มีชีวิตทั้งที่ได้จากพืชและสัตว์ สำหรับที่สกัดได้จากวัตถุแร่ธาตุก็มีอยู่บ้างแต่ก็เป็นส่วนน้อย สีย้อมเป็นสารเคมีเชิงซ้อน โครงสร้างโมเลกุลของสีย้อมโดยทั่วไปประกอบด้วยกลุ่มเคมี 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ กลุ่มเคมีซึ่งเป็นตัวที่ทำให้เกิดเป็นสีซึ่งสามารถมองเห็นได้ และกลุ่มซึ่งทำหน้าที่เกี่ยวกับคุณสมบัติในการละลายตัวของสี การย้อมสี การดูดซึมและการดูดติดของสีย้อม สีย้อมธรรมชาติส่วนใหญ่ได้จากพืช เปลือกไม้ ใบไม้ และรากไม้ มีขั้นตอนเพื่อที่จะทำให้เกิดเป็นสีต่างๆ ได้สวยงาม แปลกตา ต่างจากสีวิทยาศาสตร์ ข้อดีของสีย้อมธรรมชาติคือ ความสดใสน้อย สีตกง่าย ซีดจางไว มีจำนวนสีให้เลือกน้อย ขบวนการย้อมยุ่งยาก ส่วนข้อดีของสีย้อมสังเคราะห์ คือ ความสดใสมาก สีไม่ตก ทนทาน มีจำนวนสีให้เลือกมากกว่า ขบวนการย้อมง่าย ตัวอย่างสีย้อมจากธรรมชาติ เช่น

สีแดง ได้จาก ดอกคำฝอย รากยอ ครั่ง
สีน้ำเงิน ได้จากต้นคราม
สีเหลือง ได้จาก แก่นขนุน ขมิ้นชัน แก่นเข รากต้นสะกือ
สีดำ ได้จาก ลูกกระจาย ลูกมะเกลือ
สีชมพู ได้จาก ต้นมหากาฬ และต้นฝาง
สีน้ำตาลแก่ ได้จาก เปลือกไม้โกงกาง
สีม่วงอ่อนได้จาก ลูกหว้า
สีกากีแกมเขียว ได้จาก เปลือกเอกากับแก่นขนุน
สีส้ม (แดงเลือดนก) ได้จาก ลูกตะตี
สีตองอ่อน(กระดังงา) ได้จาก รากแถลง (มะพูด)
สีเขียว ได้จาก เปลือกต้นมะริดไม้ ใบหูกวาง เปลือกกระหูด
สีเปลือกไม้ ได้จาก ต้นลกฟ้า หนามกราย ไม้โกงกาง เปลือกตะบูน

2.5.2 กรรมวิธีในการย้อมสี

กรรมวิธีในการย้อมสี มี 2 วิธี คือ ย้อมโดยตรง และย้อมโดยใช้มอร์แดนท์ สีย้อมบางชนิดติดสีเส้นใยชนิดหนึ่ง แต่ไม่ติดสีเส้นใยอีกชนิดหนึ่ง เช่น ติดขนฝ้าย ลินิน แต่ไม่ติดขนใยไหมหรือขนสัตว์ จึงต้องใช้สารเคมีบางชนิด ช่วยให้สีย้อมติดบนเส้นใยได้ "สารเคมีที่ช่วยให้ติดเส้นใยได้เรียกว่ามอร์แดนท์ มอร์แดนท์ที่ควรรู้จัก ได้แก่ สารส้ม เกลือแกง (โซเดียมคลอไรด์) เรานำผ้าก่อนย้อมสีต้มรวมกับมอร์แดนท์ก่อน ทำให้มอร์แดนท์จับเส้นใยก่อนเมื่อนำผ้านั้นไปย้อมสี สีย้อมจะติดที่มอร์แดนท์ หากเราใช้มอร์แดนท์ต่างชนิดกันกับผ้าและสีย้อมชนิดเดียวกัน จะให้สีหลังการย้อมแตกต่างกัน เช่น ใช้สารส้มเป็นมอร์แดนท์ย้อมผ้าและสีย้อมที่เหมือนกับใช้เกลือแกงเป็นมอร์แดนท์ จะให้สีย้อมออกมาไม่เหมือนกัน (Education zone Co., Ltd., 2000)

2.5.3 ตัวอย่างกรรมวิธีการย้อมสีธรรมชาติ

2.5.3.1 การย้อมสีแดง

(1) สีแดงจากดอกคำฝอย นำดอกคำฝอยตำให้ละเอียด ห่อด้วยผ้าขาวบาง ดอกคำฝอยจะเกิดสีได้ต้องผสมกับน้ำด่าง การทำน้ำด่าง นำต้นผักขมหนามที่แก่จนแห้งเป็นสีแดงหรือน้ำตาลมาตากให้สนิท แล้วนำเอาไปเผาไฟให้เป็นขี้เถ้า เสร็จแล้วแช่ทิ้งไว้ให้ใส รินเอาเฉพาะน้ำใส ๆ เท่านั้นมาผสมกับสี

(2) สีแดงจากรากยอ ยอเป็นต้นไม้ยืนต้น ใบมีลักษณะคล้ายกับหูกวาง สีเขียวเข้ม ใบใช้ประกอบอาหาร ผลใช้ตำส้มรับประทาน ส่วนที่เป็นรากของต้นยอนำมาทำเป็นสีย้อมได้ โดยการเอารากของต้นยอที่แห้ง เลือกเอารากที่แก่ ๆ หั่นให้เป็นแว่นหรือสับให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ แล้วนำไปต้มในน้ำสะอาดให้เดือดต้มจนกว่าสีที่รากของต้นยอจะออกมาผสมกับน้ำเป็นสีแดงคล้ำ จึงยกลงกรองเอาแต่น้ำสีพร้อมที่จะย้อมได้

(3) สีแดงจากครั่ง ครั่งมีมากในภาคเหนือและภาคอีสาน การเลี้ยงใช้วิธีปล่อยไว้ตามต้นจามจุรีหรือต้นพุทรา ชาวอีสานเรียกว่าขี้ครั่ง วิธีย้อมผ้าด้วยครั่ง คือ นำครั่งมาตากแดดให้แห้ง นำไปป่นในครกตำข้าวให้ละเอียด แล้วแช่ในน้ำมะขามเปียก นานประมาณ 6 ชั่วโมง เสร็จแล้วนำเอาไปตั้งไฟต้มน้ำให้เดือด นำวัสดุที่ต้องการย้อม ลงไปแช่ในน้ำสีที่เตรียมไว้ 30 นาที เสร็จแล้วยกลงล้างน้ำให้สะอาด

2.5.3.2 การย้อมสีน้ำเงิน

สีน้ำเงินจากต้นคราม ครามเป็นพืชล้มลุก มีอยู่ 2 ชนิด ได้แก่ ครามบ้านและครามป่า แต่ครามที่ใช้ย้อมสีผ้าเป็นครามบ้านมีขนาดสูง 1 เมตรครึ่ง ลักษณะใบคล้ายใบมะขาม ครามมีอายุ

ประมาณ 3 เดือน ก็จะออกดอก แสดงว่าครามแก่จัดเต็มที่ ตัดต้นหรือกิ่งครามที่มีใบติดอยู่ด้วยมามัดเป็นฟ่อน ๆ แช่น้ำทิ้งไว้ประมาณ 2-3 วัน จนครามเปื่อย คั้นเอาเฉพาะน้ำ เอาปูนขาวใส่ในอัตราส่วนพอเหมาะใส่ลงในน้ำคราม จะเกิดเป็นฟอง ทิ้งไว้ให้ตกตะกอน และรอจนฟองดับ จึงกรองเอาตะกอนหยาบทิ้ง นำที่เหลือมาหมักเพื่อเก็บไว้ใช้คราวต่อไป

2.5.3.3 การย้อมสีเหลือง

(1) สีเหลืองจากแก่นขนุน ขนุนเป็นไม้ยืนต้น มีผลรับประทานได้ เปลือกและแก่นขนุนสามารถนำมาทำเป็นสีย้อมได้อย่างสวยงาม ให้สีเหลืองอ่อน นำแก่นขนุนที่แห้งแล้วมาหั่นหรือไสด้วยกบบาง ๆ ใช้มือขยำให้ป่นละเอียดห่อด้วยผ้าขาวบาง แล้วต้มประมาณ 4 ชั่วโมงดูว่าสีนั้นออกตามความต้องการหรือยัง เมื่อใช้ได้แล้วช้อนเอากากทิ้ง กรองให้เหลือแต่น้ำใส ๆ ก็จะได้สีที่พร้อมจะย้อมก่อนย้อมจะละลายสารส้มลงไปในน้ำสีเล็กน้อย สีจะติดดี

(2) สีเหลืองจากขมิ้นชัน ขมิ้นชันเป็นพืชล้มลุก ชอบขึ้นอยู่ตามที่ลุ่ม ลักษณะของลำต้นเหมือนกับข่า ใบยาวเหมือนกับต้นพุทธรักษา หัวขมิ้นชันใช้ผสมทำยาและทำอาหารับประทานได้ สีเป็นสีเหลือง ส่วนที่นำมาย้อมคือหัวขมิ้น ถ้าต้องการให้สีติดแน่นควรจะใช้น้ำมะนาวผสมลงไปในสีที่จะย้อมด้วย จะได้สีเหลืองตามต้องการ

(3) สีเหลืองจากแก่นเข เขเป็นต้นไม้เลื้อยเป็นเถา มีหนามตามลำต้น ขึ้นอยู่ตามโคกตามป่า เวลาต้องการสีจากต้นเข ต้องเอาแก่นเขมาตากแดดให้แห้ง แล้วผ่าให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ ใส่หม้อต้มกับน้ำสะอาดจนเดือดจะเห็นว่าเป็นสีเหลืองเข้ม ๆ ยกลงกรองด้วยผ้าขาวบาง พักเก็บไว้ เอาชิ้นเขที่กรองออกมานั้นต้มอีกครั้งจะได้สีอ่อนกว่าสีแรก ทำการต้มแบบนี้ 3 ครั้ง ตั้งแต่อ่อนสุดจนถึงแก่สุด เมื่อได้สีตามต้องการแล้วเอาวัสดุที่เตรียมไว้จุ่มลงในน้ำสีสุดท้ายก่อน (สีอ่อนสุด) กลับบ่อย ๆ เพื่อให้สีดูดซึมเข้าไปในวัสดุได้อย่างทั่วถึงและไม่ด่าง ยกลงจุ่มลงในน้ำสีที่ 2 และสีแรก ทำแบบเดียวกันจนครบ 3 หม้อ นำมาซักน้ำสะอาดจนสีไม่ตก บิดกระตุกตาก

(4) สีเหลืองจากรากต้นสะกือ สะกือเป็นต้นไม้ชนิดหนึ่ง ใช้ส่วนที่เป็นรากมาทำเป็นสีย้อม โดยการนำรากต้นสะกือมาสับหรือไสให้เป็นชิ้นบาง ๆ ต้มในน้ำเดือดประมาณ 2 ชั่วโมง ช้อนเอาตะกอนออก เติมน้ำด่างลงไปพร้อมทั้งเติมขี้เถ้าขี้เหล็กและขมิ้นที่บดละเอียดลงไป เติมน้ำมะเกลือลงไปเล็กน้อย ใส่ใบและกิ่งส้มป่อยลงไปเคี่ยว ตักเอากากออก จะได้น้ำสีที่ต้องการ

2.5.3.4 การย้อมสีดำ

(1) สีดำจากลูกกระจาย กระจายเป็นไม้ยืนต้นจำพวกต้นโพธิ์ขึ้นอยู่ตามป่าทั่ว ๆ ไป มีลูกกลม ๆ คล้ายมะขามป้อมสีดำสนิท การทำสี นำเอาลูกกระจายที่แก่จัดมาป่นหรือตำให้ละเอียด แช่

น้ำทิ้งไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง จนกว่าจะได้น้ำสีเป็นสีดำ กรองเอาแต่สี

(2) สีดำจากลูกมะเกลือ มะเกลือเป็นต้นไม้ยืนต้นชนิดหนึ่ง ลูกมะเกลือใช้ทำเป็นสีย้อมได้สีดำ วิธีการทำ เอาลูกมะเกลือสด ๆ มาตำให้ละเอียดแล้วแช่น้ำ ในน้ำที่แช่นี้เอารากลำเจียกหรือต้นบงตำปนกับลูกมะเกลือ นำเอาด้ายที่ขับน้ำแล้วลงไปย้อม 3-4 ครั้ง การย้อมทุกครั้งต้องตากแดดให้แห้งจนเห็นว่าดำสนิทดี

(3) สีดำจากเปลือกรกฟ้า โดยการแช่เปลือกต้นรกฟ้าในปริมาณพอสมควรไว้นาน 3 วันแล้วตั้งไฟต้มให้เดือด จนเห็นว่าสีออกหมดดีแล้ว จึงเทน้ำย้อมใส่ลงในอ่างย้อมหมักแช่ไว้ 1 คืน นำเอาเปลือกไม้ผึ่งแดดจนแห้ง เก็บไว้ใช้ต่อไป สีเปลือกไม้นี้ถ้าถูกต้มจะกลายเป็นสีดำได้ (จามจุรี, 2548)

(4) สีดำจากเปลือกสมอ ให้เอาเปลือกสมอมาต้มเคี่ยวให้แห้งจนงวดพอสมควร รินเอาแต่น้ำใส่หม้อดิน เอาด้ายฝ้ายที่เตรียมไว้ลงย้อมขณะที่น้ำสียังร้อนอยู่ จะได้สีดำแกมเขียวเข้ม ถ้าต้องการได้สีเขียว ใช้ด้ายฝ้ายที่ผ่านการย้อมสีครามมาย้อมจะได้สีเขียวตามต้องการ (จามจุรี, 2548)

2.5.3.5 การย้อมสีน้ำตาล

สีน้ำตาลแก่จากเปลือกไม้โกงกาง โกงกางเป็นต้นไม้ชนิดหนึ่ง ซึ่งเราสามารถนำเอาเปลือกมาทำเป็นสีย้อมให้เกิดเป็นสีน้ำตาลได้โดยนำเอาเปลือกไม้โกงกางที่แห้งพอหมาด ๆ มาล้างให้สะอาด แช่น้ำไว้ 1 คืน แล้วต้มเคี่ยวไว้ 2 วัน กรองเอากากทิ้ง เหลือน้ำย้อม การย้อมควรใส่สารเคมีไฮโดรซัลไฟต์ผสมลงไปในน้ำย้อม จะช่วยให้สีติดทนดีขึ้น การย้อมใช้วิธีย้อมแบบเดียวกับสีชมพูจากต้นมหากาฬ

2.5.3.6 การย้อมสีม่วง

สีม่วงอ่อนจากลูกหว้า หว้าเป็นไม้ยืนต้น ลำต้นใหญ่ ใบเล็ก ลักษณะคล้ายกับใบตะแบก ลูกหว้าขนาดเท่าลูกอมุ่นสีม่วงนำลูกที่สุกแล้วมาคั้น เอาน้ำไปต้มประมาณ 1-3 ครั้ง เพื่อไม่ให้สีเปลี่ยนแปลง แล้วกรองด้วยผ้าขาวบางให้สะอาด

2.5.3.7 การย้อมสีเขียว

(1) สีกากีแกมเขียวจากเปลือกเอกากับแก่นขนุน เพกาเป็นต้นไม้ชนิดหนึ่ง เอาส่วนที่เป็นเปลือกเอกาสด ๆ มาล้างน้ำ แล้วผึ่งแดดสัก 2-3 แดดพักทิ้งไว้ เอาแก่นขนุนหั่นหรือไสให้เป็นชิ้นบาง ๆ แบ่งออกมา 1 ส่วน เปลือกเอกา 3 ส่วน ผสมรวมกันต้มเคี่ยวในน้ำเดือด แล้วกรองเอาแต่น้ำ เวลาจะย้อมเติมน้ำสารส้มลงไปเล็กน้อยจะช่วยให้สีติดทนทานดีขึ้น การย้อมใช้วิธีเดียวกับสีม่วงอ่อนจากลูกหว้า

(2) สีกากีแกมเหลืองจากหมากสงกับแก่นแกแล (แก่นเข) นำลูกหมากสงที่แห้งแล้วประมาณ 1 กิโลกรัม ตำหรือป่นให้พอหยาบๆ ต้มในน้ำเดือด ประมาณ 2 ชั่วโมง กรองเอาแต่น้ำเก็บไว้ เอาแก่นแกแลหั่นหรือไสให้บาง ๆ ลงเคี่ยวให้น้ำงวด ช้อนเอากากทิ้งเอาน้ำย้อมทั้ง 2 ผสมกัน น้ำย้อมหมากสง 3 ส่วน น้ำย้อมแก่นแกแล 1 ส่วน และจุลสีหรือสารส้มประมาณ 50 กรัม คนให้เข้ากัน

(3) สีเขียวจากเปลือกต้นแพกา เอาเปลือกเพกามาหั่น หรือสับให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ นำไปต้ม 20 นาที ช้อนเอาเปลือกออก ต้มเถาถั่วแปบเอาแต่น้ำใสเติมลงไปใส่น้ำมะเกลือกเล็กน้อย ใส่ปูนขาวและใบส้มป่อยผสมลงไป ทิ้งไว้สักพัก แล้วกรองให้เหลือแต่น้ำสีพร้อมที่จะย้อม นำเอาน้ำย้อมตั้งไฟพออุ่น นำด้ายฝ้ายซึ่งชุบน้ำบิดพอหมาด จุ่มลงในอ่างย้อม ต้มต่อไปนาน 20 นาที จนได้สีที่ต้องการ ยกด้ายฝ้ายออก ซักน้ำสะอาดใส่ราวกระตุกตากจนแห้ง จะได้สีเขียวตามต้องการ (จามจุรี, 2548)

(4) สีตองอ่อน (กระดังงา) จากรากแถลง (มะพูด) แถลงเป็นพืชล้มลุกประเภทไม้เลื้อย มีใบสีเขียวตองอ่อน ส่วนที่นำมาเป็นสีย้อมคือรากของแถลง โดยการนำเอารากของแถลงมาผ่าให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ แล้วตากแดดให้แห้ง ต้มเคี่ยวนานประมาณ 3-4 วัน แล้วกรองเอาเฉพาะแต่น้ำ

(5) สีเขียวจากเปลือกต้นมะริดไม้ มะริดเป็นต้นไม้ชนิดหนึ่ง นำเอาเฉพาะส่วนที่เป็นเปลือกมาทำเป็นสีย้อม โดยการหั่นหรือสับเปลือกไม้มะริดไม้ให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ แล้วนำไปต้มประมาณ 20 นาที ช้อนเอาเปลือกออก คั้นเถาถั่วแปบเอาแต่น้ำใสเติมลงไป ใส่น้ำมะเกลือ (เล็กน้อย) แล้วใส่ปูนขาวและใบส้มป่อยผสมลงไป ทิ้งไว้สักพักแล้วกรองให้เหลือแต่น้ำสีพร้อมที่จะย้อมได้ การย้อมเอาน้ำย้อมที่เตรียมไว้ตั้งไฟพออุ่น

(6) สีเขียวจากใบหูกวาง หูกวางเป็นต้นไม้ยืนต้น ใบใหญ่แผ่เป็นชั้น ๆ มีดอกและผลให้ร่มเงา ส่วนที่นำมาเป็นสีย้อมคือ ส่วนที่ใบมีสีเขียว นำมาคั้นหรือตำ กรองเอาแต่น้ำตั้งไฟต้มให้เดือด พร้อมที่จะเอาวัสดุลงไปย้อม จะได้สีเขียวอ่อนตามต้องการ

(7) สีเขียวจากเปลือกกระหูด ต้นกระหูดมีอยู่ตามป่าทั่วไป ส่วนที่ทำให้เกิดสีคือส่วนเปลือก วิธีทำเอาเปลือกกระหูดล้างน้ำให้สะอาดแล้วทุบให้แตกพอหยาบ ๆ แช่น้ำสะอาดทิ้งไว้ประมาณ 1 คืน เสร็จแล้วนำมาต้มเคี่ยว จนได้สีที่ต้องการ แล้วกรองให้เหลือเฉพาะน้ำ เอาสารส้มใส่ลงไปเล็กน้อย เพื่อทำให้สีสดดีขึ้น พร้อมที่จะเอาวัสดุลงไปย้อมจะได้เป็นสีเขียวใบไม้

(8) สีเขียวจากเปลือกสมอ เอาเปลือกสมอมาต้มเคี่ยวให้แห้งพอสมควร รินเอาแต่น้ำใส่หม้อดิน เอาด้ายฝ้ายที่ผ่านการย้อมครามมาครั้งหนึ่งแล้ว ลงไปย้อมในน้ำสีที่ยังร้อนอยู่ ต้มต่อไปประมาณ 1 ชั่วโมง หมั่นกลับด้ายฝ้ายไปมา เพื่อให้สีดูดซึมอย่างสม่ำเสมอ พอได้สีตามต้องการยก

ด้ายฝ้ายขึ้นกระตุก ตากให้แห้ง จะได้สีเขียวตามต้องการ (จามจุรี, 2548)

2.5.3.8 การย้อมสีส้มแดงเลือดนก

สีส้มแดงเลือดนกจากลูกสะดี่ สะดี่เป็นพืชล้มลุก มีลักษณะเป็นเถาขึ้นอยู่ทั่วไป โดยเฉพาะตามรั้วหรือกำแพงมีมากกว่าที่อื่น เถาและใบมีลักษณะคล้ายใบตำลึง มีลูกสีแดง ใช้ส่วนที่เป็นเมล็ดข้างในสีแดงมาต้ม จนกว่าสีภายในเมล็ดจะออกเป็นสีแดงเข้ม แล้วกรองให้สะอาดเอาแต่น้ำ

2.5.3.9 การย้อมสีเปลือกไม้ธรรมชาติจากต้นลกฟ้า หนามกราย ไม้โกงกาง และเปลือกตะบูน วิธีย้อมสีธรรมชาติสีเปลือกไม้นี้ ทำได้โดยการแช่เปลือกต้นลกฟ้า หนามกราย ไม้โกงกาง และเปลือกตะบูน อย่างใดอย่างหนึ่ง ในปริมาณพอสมควรไว้นาน 3 คืน แล้วตั้งไฟต้มให้เดือด จนเห็นว่าสีออกหมดดีแล้ว จึงเทน้ำย้อมใส่ลงที่จะย้อม หมักแช่ไว้ 1 คืน นำเอาเปลือกไม้ผึ่งแดดจนแห้งเก็บไว้ใช้ต่อไป สีเปลือกไม้นี้ถูกดินจะกลายเป็นสีดำได้ แต่ทนน้ำเค็ม

2.5.3.10 การย้อมสีชมพู

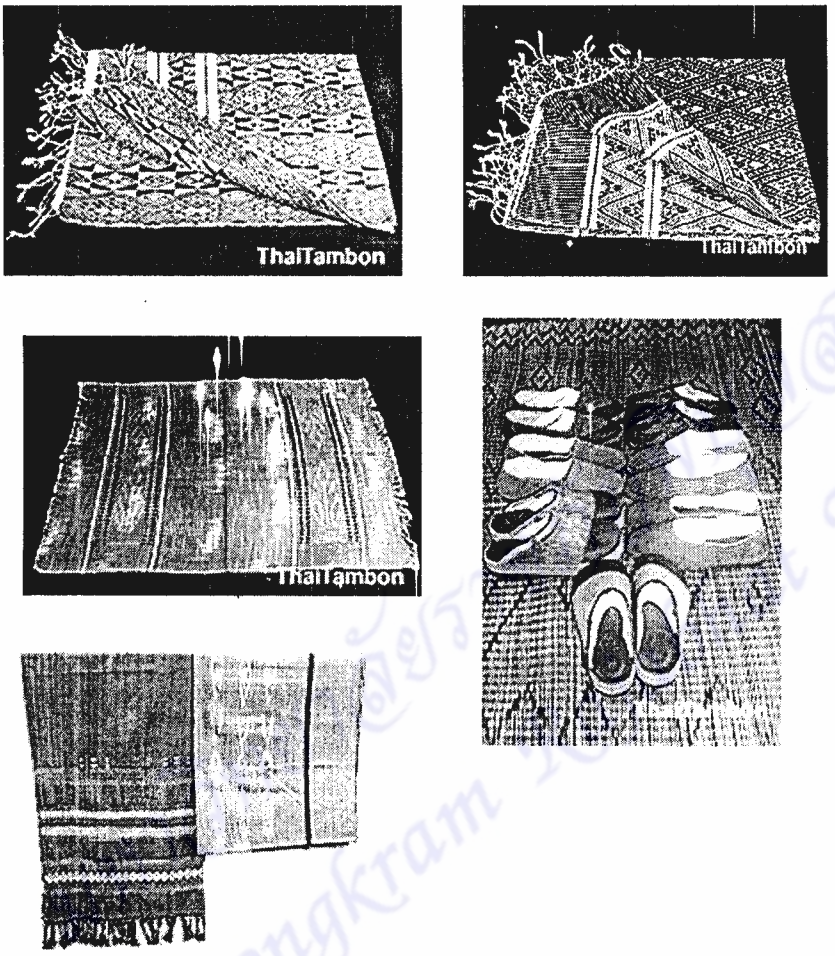
สีชมพูจากต้นมหากาพและต้นฝาง ต้นมหากาพ เอาส่วนที่เป็นเปลือกมาสับให้ละเอียด ต้มในน้ำเดือดนานประมาณ 1 ชั่วโมง แล้วช้อนเอาเปลือกมหากาพออก เติมไม้ฝาง ซึ่งผ่าเป็นชิ้นเล็ก ๆ ลงไป ต้มในน้ำเดือดนาน 1 ชั่วโมง เติมใบส้มป่อยลงไป 1 กำ ต้มต่อไปอีกเล็กน้อย แล้วช้อนเอากากออกเติมน้ำด่างลงไป จะได้น้ำย้อมเป็นสีชมพูตามต้องการปัจจุบันการย้อมสีธรรมชาติค่อย ๆ เลือนหายไป เพราะหาพืชที่จะนำมาย้อมตามต้องการได้ยาก จึงแนะนำให้ปลูกไว้ใช้เองและจำหน่ายเพิ่มรายได้อีกทางหนึ่งด้วย (สุพจน์ ชุติพันธ์, 2548)

2.5.4 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย้อมสีธรรมชาติ

ประเทศไทยมีโครงการหนึ่งตำบล หนึ่งผลิตภัณฑ์ หนึ่งตำบล หนึ่งผลิตภัณฑ์" เป็นแนวทางประการหนึ่ง ที่จะสร้างความเจริญแก่ชุมชนให้สามารถยกระดับฐานะความเป็นอยู่ของคนในชุมชนให้ดีขึ้น โดยการผลิตหรือจัดการทรัพยากรที่มีอยู่ในท้องถิ่น ให้กลายเป็นสินค้าที่มีคุณภาพ มีจุดเด่นเป็นเอกลักษณ์ของตนเองที่ สอดคล้องกับวัฒนธรรมในแต่ละท้องถิ่น สามารถจำหน่ายในตลาดทั้งภายในและต่างประเทศ โดยมีหลักการ พื้นฐาน 3 ประการ คือ ภูมิปัญญาท้องถิ่นสู่สากล (Local Yet Global) พึ่งตนเองและคิดอย่างสร้างสรรค์ (Self-Reliance-Creativity) และการสร้างทรัพยากรมนุษย์ (Human Resource Development) ผลิตภัณฑ์ ไม่ได้หมายถึงตัวสินค้าเพียงอย่างเดียวแต่เป็นกระบวนการทางความคิดรวมถึงการบริการ การดูแลการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม การรักษาภูมิปัญญาไทย การท่องเที่ยว ศิลปวัฒนธรรม ประเพณี การต่อยอดภูมิปัญญาท้องถิ่นการแลกเปลี่ยนเรียนรู้เพื่อให้กลายเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ มีจุดเด่น จุดขายที่รู้จักกันแพร่หลายไปทั่วประเทศและทั่วโลก

จากนโยบายของรัฐบาล ที่แถลงต่อรัฐสภา และตามระเบียบสำนักนายกรัฐมนตรีว่าด้วยคณะกรรมการอำนวยการหนึ่งตำบล หนึ่งผลิตภัณฑ์แห่งชาติ พ.ศ. 2544 การดำเนินงานตามโครงการหนึ่งตำบล หนึ่งผลิตภัณฑ์ มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างงาน สร้างรายได้ แก่ชุมชน สร้างความเข้มแข็งแก่ชุมชนให้สามารถคิดเอง ทำเอง ในการพัฒนาท้องถิ่นส่งเสริมภูมิปัญญาท้องถิ่น ส่งเสริมการพัฒนาทรัพยากรมนุษย์ ส่งเสริมความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ของชุมชน ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ โดยสอดคล้องกับวิถีชีวิตและวัฒนธรรมในท้องถิ่น จากนโยบายดังกล่าวมีชุมชนหลายตำบลได้พัฒนาผลิตภัณฑ์ขึ้นเป็นผลิตภัณฑ์หนึ่งตำบล หนึ่งผลิตภัณฑ์ เช่น กลุ่มสตรีสหกรณ์บ้านหนองดินดำ ตำบลบ้านแก้ง อำเภอภูเขียว จังหวัดชัยภูมิ กลุ่มทอผ้าย้อมสีธรรมชาติ ตำบลบริบูรณ์ อำเภอสีชมพู จังหวัดขอนแก่น กลุ่มสตรีสหกรณ์ดอนไชยไร่อ้อย ตำบลศิลาแลง อำเภอปัว จังหวัดน่าน กลุ่มทอผ้าฝ้ายเข็นย้อมครามบ้านโนนเรือ ตำบลนาหัวบ่อ อำเภอพรรณานิคม จังหวัดสกลนคร กลุ่มอาชีพสตรีทอฝ้ายสีธรรมชาติบ้านแม่ปิง ตำบลแม่ฮี้ อำเภอปาย จังหวัดแม่ฮ่องสอน ผลิตผ้าย้อมสีธรรมชาติ ผ้าฝ้ายขิด และผ้าฝ้ายย้อมสีธรรมชาติ (ภาพที่ 2.22) เป็นต้น

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

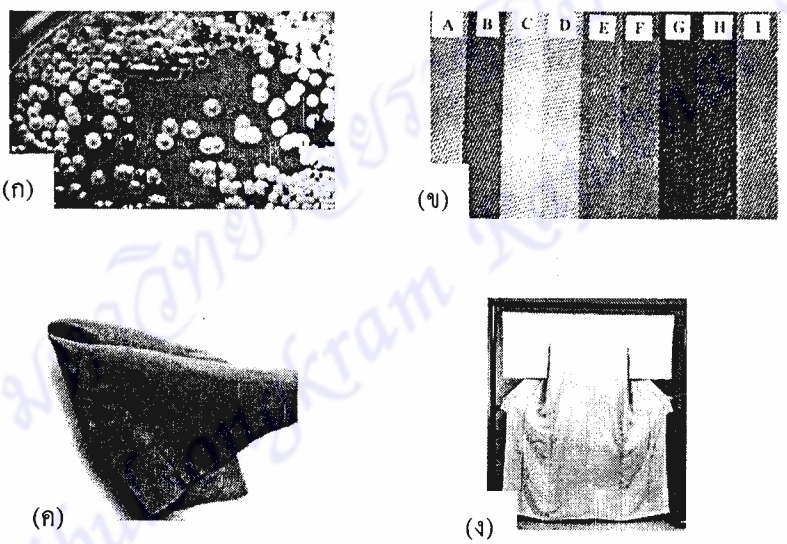


ภาพที่ 2.22 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย้อมสีธรรมชาติ
ที่มา (ไทยตำบล ดอท คอม, 2544)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Akira Shirata และคณะ (2000) ทำวิจัยเรื่อง การคัดเลือกแบคทีเรียที่ผลิตสารสีม่วงแกมน้ำเงินในการย้อมสีผ้า โดยทำการแยกแบคทีเรียที่ผลิตสีที่เจริญในเส้นไหมเปียก นำแบคทีเรียมามาแยกให้เป็นเชื้อบริสุทธิ์และเพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการ ซึ่งต่อมาพบว่าแบคทีเรียชนิดนี้ คือ *Janthinobacterium lividum* แบคทีเรียชนิดนี้จะสร้างสารสีม่วงแกมน้ำเงินได้มากในอาหารแข็งที่มีกรดอะมิโนเป็นองค์ประกอบ เช่น semi-synthetic potato agar medium (Wakimoto medium) (ภาพที่ 2.23 ก สกัดสารสี

ซีน (deoxyviocein) สารสกัดสามารถย้อมเส้นใยจากธรรมชาติได้หลายชนิด เช่น ไหม ฝ้าย ขนสัตว์ และสามารถใช้ย้อมเส้นใยสังเคราะห์ เช่น ไนลอน (nylon) และ วิไนลอน (vinylon) โดยให้ระดับความอ่อนเข้มของสีได้หลายระดับ ระดับของสีขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ย้อมและวิธีย้อม ซึ่งไหม ฝ้ายและขนสัตว์จะให้สีม่วงแกมน้ำเงิน ไนลอนให้สีน้ำเงินเข้มและสีม่วง วิธีการย้อมมี 2 วิธี คือ จุ่มย้อมในสารสกัดหรือต้มพร้อมเซลล์แบคทีเรีย ระดับของสีขึ้นอยู่กับระยะเวลา และอุณหภูมิที่ใช้ย้อม (ภาพที่ 2.23 ค-ง) การย้อมสีด้วยสีจากแบคทีเรียจะคล้ายกับการย้อมสีวัสดุด้วยสีที่สกัดได้จากพืช แต่สีจะซีดง่ายเมื่อวัสดุนั้นได้รับแสงแดด และศึกษาความสามารถของสารสกัดสีม่วงแกมน้ำเงินในการยับยั้งจุลินทรีย์ที่ก่อโรคในพืช 11 ชนิด พบว่าสามารถยับยั้ง *Colletotrichum dematium* สาเหตุของโรคแอนแทรคโนส และ *Rosellinia necatrix* สาเหตุของโรครากเน่าของต้นหม่อนได้ดีที่สุด



ภาพที่ 2.23 *Janthinobacterium lividum* และผลิตภัณฑ์ที่ย้อมได้จากสีของ *J. lividum*

(ก) โคโลนีบนอาหาร semi-synthetic potato agar medium.

(ข) ระดับความอ่อน-เข้ม ของสีบนเส้นใยที่ใช้ย้อมต่างๆ กัน

(ค) ไหมสังเคราะห์ที่ย้อมด้วยวิธีจุ่มย้อมในสารสกัดจากแบคทีเรีย

(ง) กิโมโน (ไหมสังเคราะห์) ที่ย้อมด้วยวิธีการต้มพร้อมเซลล์แบคทีเรีย

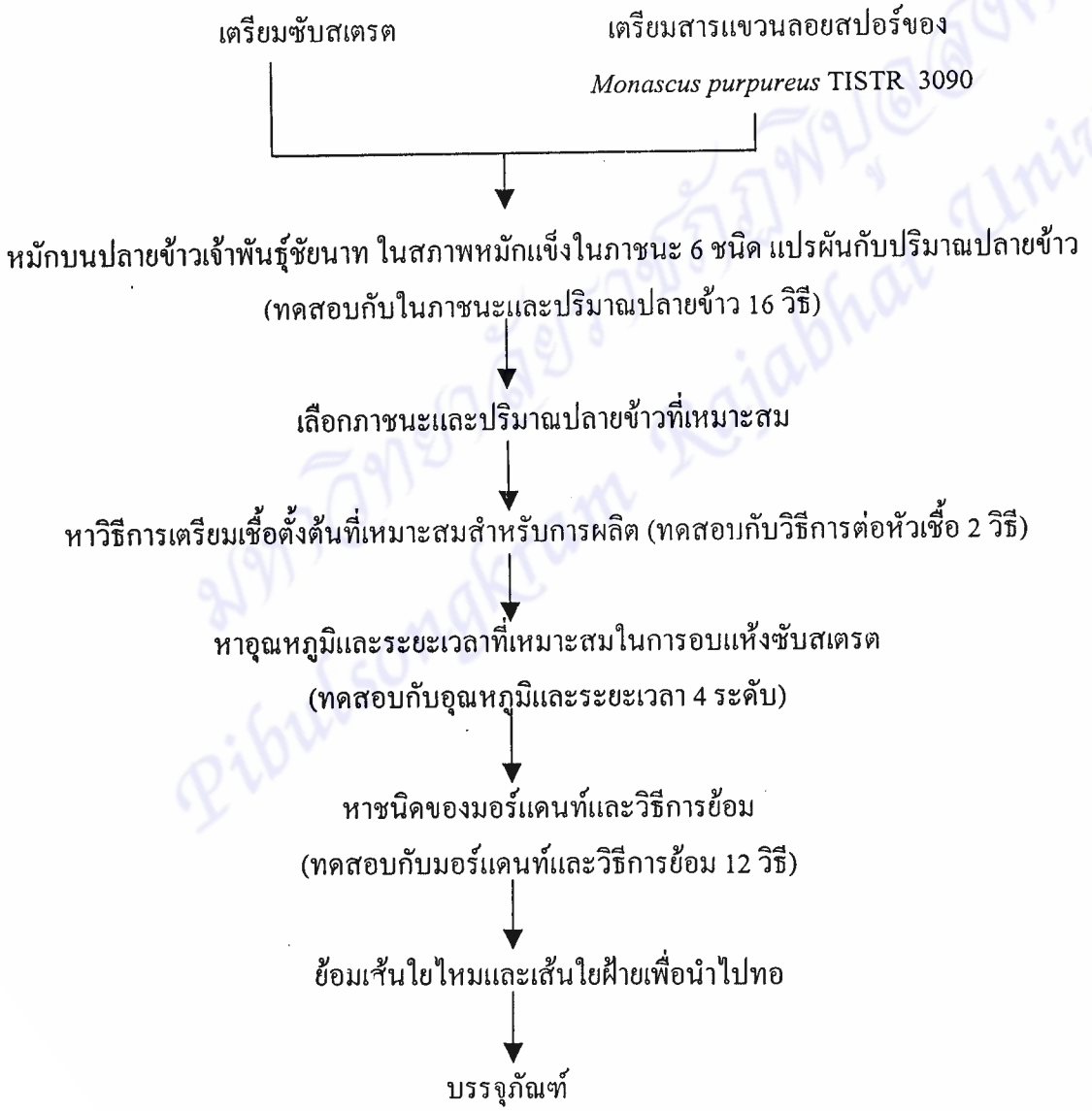
ที่มา (Akira Shirata and et. al., 2000)

นฤมล เถื่อนกูล (2546) ศึกษาชนิดของสับสเตรต 18 ชนิด และสภาวะที่เหมาะสมที่มีผลต่อค่าดูดกลืนแสงของสารสกัดสีแดงของ *Monascus purpureus* TISTR 3090 ในสภาพหมักแข็ง ได้แก่ พีเอช ในอาหารเลี้ยงเชื้อ อุณหภูมิ ระยะเวลาในการหมัก และกระตุ้นให้มีการสร้างสารสีแดงเพิ่มขึ้นด้วยแสงสว่าง ไม่มีแสงสว่าง อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และ 50 องศาเซลเซียส นำสับสเตรตมาสกัดสารสีด้วยเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 50 ตรวจสอบการสร้างสารสีแดงจากการวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตรโดยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ วิเคราะห์ผลการวิจัยโดยใช้ค่าเฉลี่ยเลขคณิต ผลการวิจัยพบว่า ข้าวเจ้าหอมมะลิเป็นสับสเตรตที่ดีที่สุดโดยให้ค่าดูดกลืนแสงเฉลี่ยสูงสุด รองลงมาคือ ข้าวเจ้าพันธุ์เหลืองอ่อนและปลายข้าวเจ้าพันธุ์เหลืองอ่อนตามลำดับ แต่เมื่อนำมาเปรียบเทียบราคากับปลายข้าวเจ้าพันธุ์เหลืองอ่อน พบว่าปลายข้าวเจ้าพันธุ์เหลืองอ่อนมีราคาถูกกว่ามากจึงนำปลายข้าวเจ้าพันธุ์เหลืองอ่อนมาใช้เป็นสับสเตรตในการทำวิจัยในเรื่องสภาวะที่เหมาะสมต่อไป สภาวะที่เหมาะสม คือ พีเอช 6 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการหมัก 20 วัน มีผลทำให้ค่าดูดกลืนแสงของสารสกัดสีแดงของ *M. purpureus* TISTR 3090 เพิ่มขึ้น ส่วนการกระตุ้นให้มีการสร้างสารสีแดงเพิ่มขึ้นด้วยแสงสว่าง ไม่มีแสงสว่าง อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และ 50 องศาเซลเซียส พบว่าทำให้ค่าดูดกลืนแสงของสารสกัดสีแดงของ *M. purpureus* TISTR 3090 ลดลง

นฤมล เถื่อนกูล (2547) ศึกษาการใช้สารสีจากจุลินทรีย์ในการย้อมสีเส้นใยจากธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์ โดยทำการคัดเลือกจุลินทรีย์ที่ผลิตสารสีจากดินและห้องปฏิบัติการจุลชีววิทยาด้วยอาหารเลี้ยงเชื้อ Potato dextrose agar (PDA), Sodium caseinate agar (SCA) และ Nutrient Agar (NA) พบว่าสามารถคัดเลือกราได้ 14 ไอโซเลต แอคทิโนมัยซีตีส 5 ไอโซเลต และแบคทีเรีย 4 ไอโซเลต นำมาเพาะลงบนปลายข้าวเจ้า สกัดสารสีโดยใช้เมทานอลความเข้มข้นร้อยละ 50 นำสารสกัดมาย้อมเส้นใยไหม เส้นใยฝ้ายและเส้นใยสังเคราะห์ พบว่าสารสีที่สกัดจากแอคติโนมัยซีตีสและราย้อมติดเส้นใยไหมโดยให้ระดับสีที่เข้มกว่าการย้อมติดเส้นใยสังเคราะห์และเส้นใยฝ้าย สารสีที่น่าจะนำไปพัฒนาต่อคือสารสีแดงจากราแดง (*Monascus purpureus* TISTR 3090) สารสีเหลืองและชมพูที่ได้จากแอคทิโนมัยซีตีส ส่วนสารสีที่สกัดจากเซลล์แบคทีเรียพบว่าสารสกัดไม่เสถียรคือ เมื่อสกัดทิ้งไว้ 1 คืน สีจะเปลี่ยนเป็นสีซีดจนเกือบเป็นสีขาว จึงไม่นำมาใช้ในการย้อมสีเส้นใยทั้ง 3 ชนิด

บทที่ 3
ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 แผนการดำเนินการวิจัย แผนการดำเนินการวิจัย ดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 แผนผังแสดงขั้นตอนการวิจัย

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
Pibulsongkram Rajabhat University

3.2 วิธีการดำเนินการวิจัย

3.2.1 หาข้อมูลและตรวจเอกสารที่เกี่ยวข้อง

3.2.2 เตรียมเชื้อราและสารแขวนลอยสปอร์ (spore suspension)

3.2.2.1 ใส่เชื้อ (inoculate) รา *Monascus purpureus* TISTR 3090 ลงในอาหารแข็งพีดีเอ (potato dextrose agar slant) บ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-5 วัน

3.2.2.2 เทน้ำกลั่นที่ปราศจากเชื้อปริมาตร 10 มิลลิลิตร ลงไปในหลอดทดลองที่มีเชื้อราเจริญอยู่ ใช้ห่วงเขี่ยเชื้อขูดเบาๆ เพื่อให้สปอร์หลุดออกมาอยู่ในรูปสารแขวนลอยสปอร์

3.2.3 เตรียมซับสเตรต (ปลายข้าวพันธุ์ชัยนาท) และการเพาะราลงซับสเตรต

3.2.3.1 นำปลายข้าวพันธุ์ชัยนาถมาชั่งน้ำหนัก 20 กรัม แช่น้ำให้ท่วม ประมาณ 18-20 ชั่วโมง หรือ 1 คืน นำมาผึ่งให้สะเด็ดน้ำประมาณครึ่งชั่วโมง ใส่ในฟลาสต์ นำไปฆ่าเชื้อด้วยเครื่องนึ่งไอน้ำความดันสูง (autoclave)

3.2.3.2 ดูดสารแขวนลอยสปอร์ที่เตรียมได้จากข้อ 3.2.2.2 ลงในซับสเตรตในอัตราส่วน ซับสเตรต (กรัม) ต่อสารแขวนลอยสปอร์ (มิลลิลิตร) เท่ากับ 20 : 1 ปริมาณต่อปริมาตร นำไปบ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3-5 วัน

3.2.4 ศึกษาภาชนะที่ใช้การผลิตสารสีแดงบนปลายข้าวเจ้าของ *M. purpureus* TISTR 3090

3.2.4.1 เตรียมซับสเตรตและการเพาะเชื้อราลงในภาชนะที่ใช้การผลิตสารสีแดงของ *M. purpureus* TISTR 3090 ภาชนะที่ใช้ ได้แก่ ฟลาสก์ (flask) บีกเกอร์ (beaker) ถุงพลาสติกทนความร้อน ถาดอะลูมิเนียม ขวดโหลแก้ว และโหลแก้ว โดยแปรผันภาชนะกับน้ำหนักปลายข้าวเจ้า (ทรีทเมนท์ละ 3 ซ้ำ) ดังนี้

(1) ฟลาสก์ ขนาดปริมาตร 500, 1000 และ 2000 มิลลิลิตร ต่อน้ำหนักปลายข้าวเจ้า 50, 100 และ 150 (และ 200) กรัม ตามลำดับ

(2) บีกเกอร์ขนาดปริมาตร 500, 1000 และ 2000 มิลลิลิตร ต่อน้ำหนักปลายข้าวเจ้า 50, 100 และ 150 (และ 200) กรัม ตามลำดับ

(3) ถุงพลาสติกทนความร้อนขนาด 12x18 นิ้ว16x26 นิ้ว และ 20x30 นิ้ว ต่อน้ำหนักปลายข้าวเจ้า 150, 200 และ 250 กรัม ตามลำดับ

(4) ถาดอะลูมิเนียมขนาด 20x24x8 เซนติเมตร (กว้าง x ยาว x สูง) ต่อน้ำหนักปลายข้าวเจ้า 500 กรัม

(5) ขวดโหลแก้วขนาดปริมาตร 6,150 มิลลิลิตร ต่อน้ำหนักปลายข้าวเจ้า

300 และ 500 กรัม

(6) โหลแก้วขนาดปริมาตร 6,500 มิลลิลิตร ต่อน้ำหนักปลายข้าวเจ้า 300 และ 500 กรัม

3.2.4.2 บ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3-5 วัน แล้วนำซับสเตรตที่หมักด้วยราในภาชนะต่างๆ ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที นำมาบด และชั่งน้ำหนัก เปรียบเทียบสีของข้าวแดงกับสีมาตรฐานบริษัทซีตเทิลเฟบริค (seattle fabrics, Inc., 2005)

3.2.5 ศึกษาการเตรียมเชื้อตั้งต้นของ *M. purpureus* TISTR 3090

3.2.5.1 เตรียมเชื้อตั้งต้น 2 วิธี คือ วิธีการสร้างสปอร์บนอาหารวุ้นแข็ง (potato dextrose agar) และการสร้างสปอร์บนอาหารแข็ง โดยเตรียมปลายข้าวเจ้าและอาหารวุ้นแข็งในหลอดทดลอง

3.2.5.2 เพาะเชื้อรา 1 ลูป (loop) ลงในซับสเตรต ทั้ง 2 ชนิด บ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3-5 วัน

3.2.5.3 สังเกตลักษณะและระยะเวลาในการเจริญของ *M. purpureus* TISTR 3090 บนซับสเตรต

3.2.6 ศึกษาอุณหภูมิและระยะเวลาการอบแห้งของซับสเตรตที่หมักด้วย *M. purpureus* TISTR 3090

3.2.6.1 เตรียมซับสเตรตในภาชนะที่เหมาะสมต่อการผลิตสารสีแดงของ *M. purpureus* TISTR 3090 ในข้อ 3.2.4 และเพาะราด้วยวิธีที่เหมาะสมในข้อที่ 3.2.5

3.2.6.2 ชั่งน้ำหนักของซับสเตรต 50 กรัม นำมาศึกษาอุณหภูมิและระยะเวลาของการอบแห้งสารสีแดงบนปลายข้าวเจ้าแปรผันที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ ได้แก่ อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เวลา 20 นาที อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เวลา 15 นาที และอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที (ทรีทเมนท์ละ 3 ซ้ำ) นำมาบด และชั่งน้ำหนักแห้ง เปรียบเทียบสีของผงข้าวแดงกับสีมาตรฐานบริษัทซีตเทิลเฟบริค

3.2.7 ศึกษาวิธีการนำไปใช้ของผลิตภัณฑ์

3.2.7.1 ศึกษาชนิดของมอร์แดนท์และวิธีการย้อม

(1) นำข้าวแดงที่ผลิตได้มาละลายในมอร์แดนท์ที่หาได้ง่ายในครัวเรือน 5 ชนิด ได้แก่ สารส้ม เกลือแกง มะขามเปียก โซเดียมไบคาร์บอเนต และน้ำขี้เถ้า ในอัตราส่วน 1: 10 (ปริมาณต่อปริมาตร) โดยมีน้ำประปาเป็นชุดควบคุม (ทรีทเมนท์ละ 3 ซ้ำ)

(2) แช่เส้นใยไหมและเส้นใยฝ้ายลงในมอร์แดนท์ 5 ชนิด แช่ 1 คืน และ แช่

1 คืน แล้วนำมาต้มให้เดือด

(3) เปรียบเทียบสีของเส้นใยไหมและเส้นใยฝ้ายกับสีมาตรฐานบริษัทซีตเทิลเฟบริค

3.2.7.2 ศึกษาการย้อมเส้นใยไหมและเส้นใยฝ้าย

(1) ชั่งน้ำหนักเส้นใยไหมและเส้นใยฝ้าย ลงในมอร์แดนท์และย้อมด้วยวิธีการย้อมที่ได้จากข้อ 3.2.7.1

(2) เปรียบเทียบสีของเส้นใยไหมและเส้นใยฝ้ายกับสีมาตรฐานบริษัทซีตเทิลเฟบริค

3.2.8 ศึกษาการบรรจุภัณฑ์

ศึกษาการบรรจุภัณฑ์ การบรรจุผลิตภัณฑ์ และการปิดผนึก

3.2.9 วิเคราะห์ผลการวิจัย วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test; DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 11 และเปรียบเทียบสีกับสีมาตรฐานบริษัทซีตเทิลเฟบริค

3.2.10 วิจารณ์และสรุปผลการวิจัย

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

บทที่ 4
ผลการวิจัย

4.1 ศึกษาภาชนะที่ใช้ในการผลิตสารสีแดงบนปลายข้าวเจ้าของ *M. purpureus* TISTR 3090

ภาชนะที่ใช้ในการผลิตสารสีแดงบนปลายข้าวเจ้าของ *M. purpureus* TISTR 3090 ได้แก่ ฟลาสก์ ขนาดปริมาตร 500, 1000 และ 2000 มิลลิลิตร บีกเกอร์ขนาดปริมาตร 500, 1000 และ 2000 มิลลิลิตร ถุงพลาสติกทนความร้อนขนาด 12x18 นิ้ว16x26 นิ้ว และ 20x30 นิ้ว ถาดอะลูมิเนียมขนาด 20x24x8 เซนติเมตร (กว้าง x ยาว x สูง) ขวดโหลแก้วขนาดปริมาตร 6,150 ลิตร และ โหลแก้วขนาดปริมาตร 6,500 ลิตร โดยแปรผันกับปริมาณของปลายข้าว สังเกตุลักษณะการสร้างสีแดงบนปลายข้าวเจ้าในภาชนะต่างๆ เมื่อนำปลายข้าวสีแดงที่ได้จากการหมักมาอบ บด และชั่ง น้ำหนัก เปรียบเทียบผงข้าวแดงที่ผลิตได้ในภาชนะต่างๆ กับสีมาตรฐานบริษัทซีตเทิลเฟบริค ได้ผลดังตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.1- 4.9

ตารางที่ 4.1 ชนิดของภาชนะ ขนาดของภาชนะ น้ำหนักของปลายข้าวเจ้าก่อนการหมัก น้ำหนักแห้งเฉลี่ยของผงข้าวแดง ลักษณะการสร้างสารสีบนปลายข้าวเจ้า และผงข้าวแดงที่ผลิตได้เทียบกับสีมาตรฐาน

ชนิดของภาชนะ	ขนาดของภาชนะ	น้ำหนักของปลายข้าวเจ้าก่อนการหมัก (กรัม)	น้ำหนักแห้งเฉลี่ยของผงข้าวแดง (กรัม)	ลักษณะการสร้างสารสีบนปลายข้าวเจ้า	ผงข้าวแดงที่ผลิตได้เทียบกับสีมาตรฐาน*
1. ฟลาสก์ ปิดจุกสำลี	500 มล.	50	37.10	ปลายข้าวเจ้ามีสีแดงเข้มภายในระยะเวลา 5 วัน	สีแดง รหัส 591
	1,000 มล.	100	55.89	ปลายข้าวเจ้ามีสีแดงเข้มภายในระยะเวลา 5 วัน	สีแดง รหัส 591
	2,000 มล.	150	67.64	ปลายข้าวเจ้ามีสีแดงเข้มภายในระยะเวลา 5 วัน	สีแดง รหัส 595
		200	-	ปลายข้าวเจ้ามีสีแดง ชมพู	-
2. บีกเกอร์ ปิดด้วยสำลี	500 มล.	50	41.38	ปลายข้าวเจ้ามีสีแดงเข้มภายในระยะเวลา 5 วัน	สีแดง รหัส 591
	1,000 มล.	100	57.10	ปลายข้าวเจ้ามีสีแดงเข้มภายในระยะเวลา 5 วัน	สีแดง รหัส 591
	2,000 มล.	150	79.55	ปลายข้าวเจ้ามีสีแดงเข้มภายในระยะเวลา 5 วัน	สีแดง รหัส 591
		200	147.98		
3. ถุงพลาสติกทนความร้อน ปิดจุกสำลี	12x18 นิ้ว	50	-	เชื้อราสร้างความร้อนมาก มีความชื้นสูง ปลายข้าวเจ้ามีสีแดงชมพูและขาวไม่สม่ำเสมอ	-
	16x26 นิ้ว	100	-	เชื้อราสร้างความร้อนมาก มีความชื้นสูง ปลายข้าวเจ้ามีสีชมพูและขาวไม่สม่ำเสมอ	-
	20x30 นิ้ว	150	-	เชื้อราสร้างความร้อนมาก มีความชื้นสูง ปลายข้าวเจ้ามีสีชมพูอ่อนและขาว	-

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม PibulSongKram Rajabhat University

ตารางที่ 4.1 ชนิดของภาชนะ ขนาดของภาชนะ น้ำหนักของปลายข้าวเจ้าก่อนการหมัก น้ำหนักแห้งเฉลี่ยของผงข้าวแดง ลักษณะการสร้างสารสีบนปลายข้าวเจ้า และผงข้าวแดงที่ผลิตได้เทียบกับสีมาตรฐาน (ต่อ)

ชนิดของภาชนะ	ขนาดของภาชนะ	น้ำหนักของปลายข้าวเจ้าก่อนการหมัก (กรัม)	น้ำหนักแห้งเฉลี่ยของผงข้าวแดง (กรัม)	ลักษณะการสร้างสารสีบนปลายข้าวเจ้า	ผงข้าวแดงที่ผลิตได้เทียบกับสีมาตรฐาน*
4. ถาดอะลูมิเนียม ปิดด้วยกระดาษ	20x24x8 ซม.	500	-	เชื้อราสร้างความร้อนมาก มีความชื้นสูง ปลายข้าวเจ้ามีสีแดงทางด้านล่างและมีสีขาวที่ด้านบน ผิวหน้าแห้งมาก	-
5. ขวดโหลแก้ ปิดด้วยกระดาษ	6,150 มล.	300	173.30	เชื้อราสร้างความร้อนมาก มีความชื้นสูง ปลายข้าวเจ้ามีสีแดงเข้มภายในระยะเวลา 4 วัน	สีแดง รหัส 591
		500	-	เชื้อราสร้างความร้อนมาก มีความชื้นสูง ปลายข้าวเจ้ามีสีแดง ชมพู และขาวไม่สม่ำเสมอ	-
6. โหลแก้ว ปิดด้วยกระดาษ	6,500 มล.	300	225.37	เชื้อราสร้างความร้อนมาก มีความชื้นสูง ปลายข้าวเจ้ามีสีแดงเข้มภายในระยะเวลา 4 วัน	สีแดง รหัส 591
		500	-	เชื้อราสร้างความร้อนมาก มีความชื้นสูง ปลายข้าวเจ้ามีสีแดง ชมพู และขาวไม่สม่ำเสมอ	-

หมายเหตุ * หมายถึง สีมาตรฐานบริษัทซีตเทิลเฟบริค (seattle fabrics, Inc.) (ภาคผนวก ข)

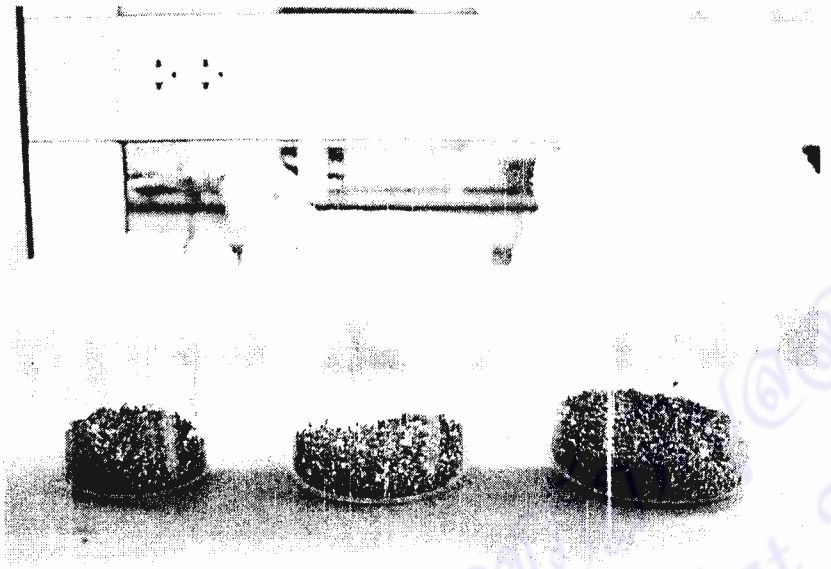
- หมายถึง ไม่ได้นำปลายข้าวเจ้าที่หมักด้วย *M. purpureus* TISTR 3090 ไปอบแห้งเนื่องจากเชื้อราไม่สร้างสีแดงเข้มบนปลายข้าวเจ้า

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบน้ำหนักแห้งของผงข้าวแดงในฟลาสก์กับบีกเกอร์ เมื่อใช้น้ำหนักของปลายข้าวเจ้าก่อนการหมักเท่ากันในภาชนะปริมาตรเท่ากัน

ขนาด / ภาชนะ	500 มิลลิลิตร	1,000 มิลลิลิตร	2,000 มิลลิลิตร
ฟลาสก์	37.10 [a]	55.89 [a]	67.64 [a]
บีกเกอร์	41.38 [a]	57.10 [a]	79.55 [a]

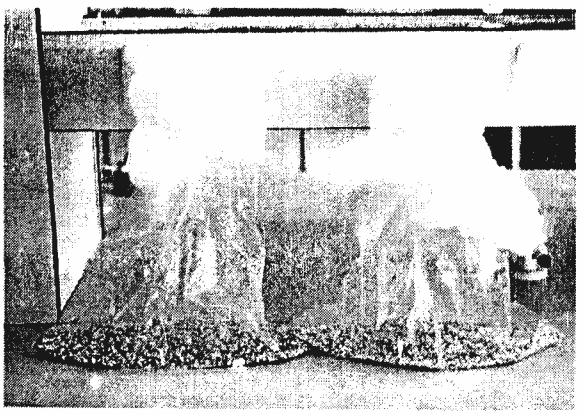
หมายเหตุ ตัวอักษรที่กำกับ หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ภาพที่ 4.1 การสร้างสารสีแดงบนปลายข้าวเจ้าของ *M. purpureus* TISTR 3090 ในฟลาสก์ขนาด 500, 1000, 2000 และ 2,000 มิลลิลิตร ปริมาณปลายข้าว 50, 100, 150 และ 200 กรัม ตามลำดับ ปิดจุกสำลี

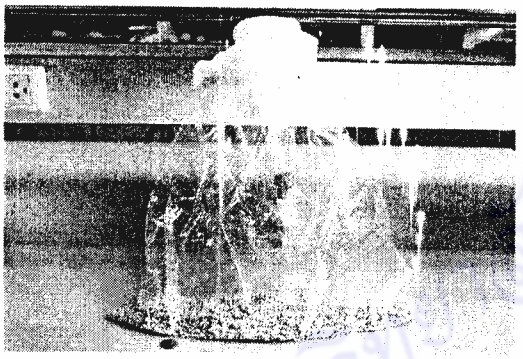


ภาพที่ 4.2 การสร้างสารสีแดงบนปลายข้าวเจ้าของ *M. purpureus* TISTR 3090 ในบีกเกอร์ขนาด 500, 1000 และ 2,000 มิลลิลิตร ปริมาณปลายข้าว 50, 100 และ 150 กรัม ตามลำดับ ปิดด้วยสำลี

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University



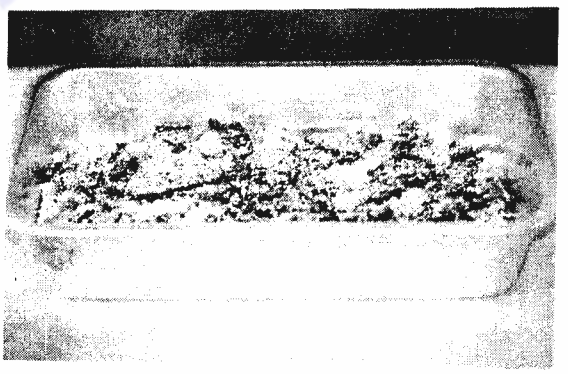
(ก)



(ข)

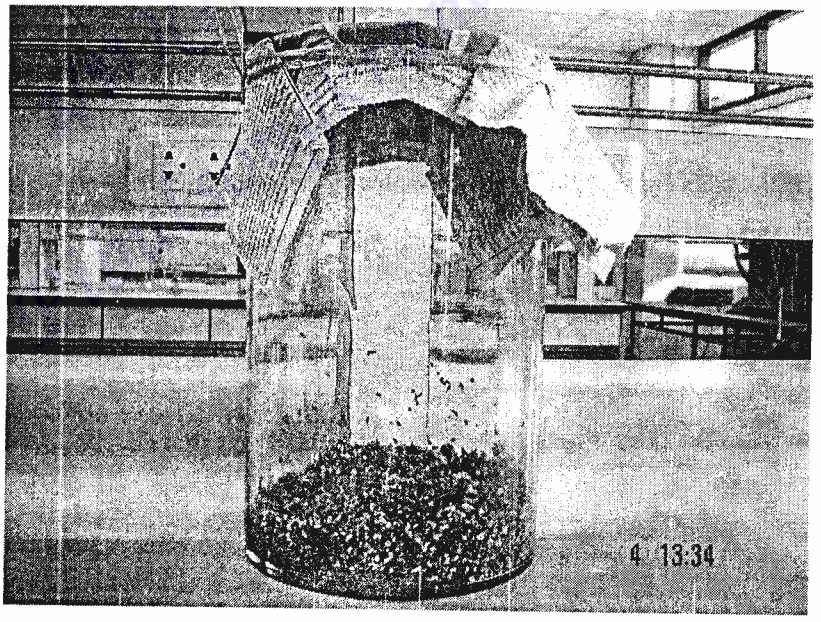
(ค)

ภาพที่ 4.3 การสร้างสารสีแดงบนปลายข้าวเจ้าของ *M. purpureus* TISTR 3090 ในถุงพลาสติกทนความร้อนขนาด 12x18 นิ้ว 16x26 นิ้ว และ 20x30 นิ้ว ปริมาณปลายข้าว 50, 100 และ 150 กรัม ตามลำดับ ปิดด้วยสำลี

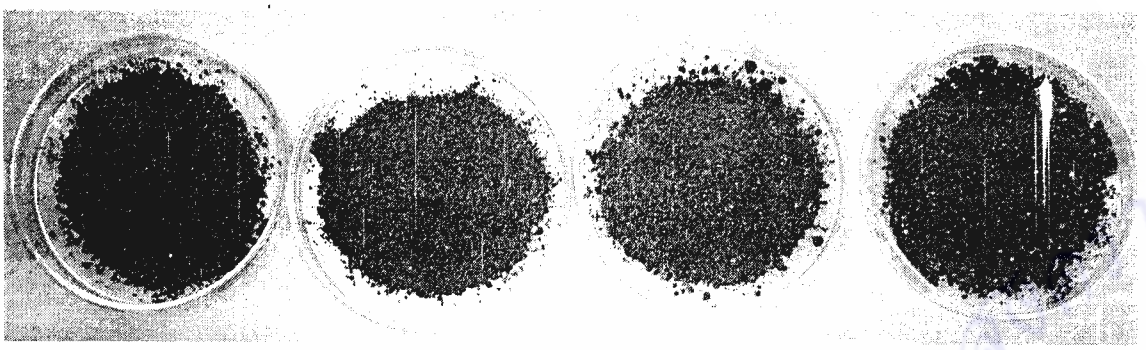


ภาพที่ 4.4 การสร้างสารสีแดงบนปลายข้าวเจ้าของ *M. purpureus* TISTR 3090 ในถาดอะลูมิเนียม ขนาด 20x24x8 เซนติเมตร ปริมาณปลายข้าว 500 กรัม ปิดด้วยกระดาษ

ภาพที่ 4.5 การสร้างสารสีแดงบนปลายข้าวเจ้าของ *M. purpureus* TISTR 3090 ในขวดโหลแก้ว ขนาดปริมาตร 6,150 ลิตร ปริมาณปลายข้าว 300 กรัม ปิดด้วยกระดาษ



ภาพที่ 4.6 การสร้างสารสีแดงบนปลายข้าวเจ้าของ *M. purpureus* TISTR 3090 ในโหลแก้วขนาดปริมาตร 6,500 ลิตร ปริมาณปลายข้าว 300 กรัม ปิดด้วยกระดาษ

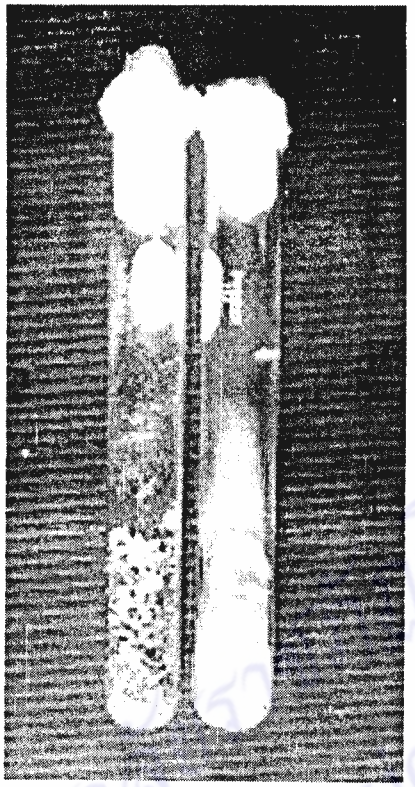


(ก) (ข) (ค) (ง)

ภาพที่ 4.7 ลักษณะผงข้าวแดงของ *M. purpureus* TISTR 3090 จากภาชนะ 4 ชนิด ที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที
(ก) ฟลาสก์ (ข) บีกเกอร์ (ค) ขวดโหลแก้ว (ง) โหลแก้ว

4.2 ศึกษาการเตรียมเชื้อตั้งต้นของ *M. purpureus* TISTR 3090

ศึกษาการเตรียมเชื้อตั้งต้น 2 วิธีคือ วิธีการสร้างสปอร์บนอาหารวุ้นแข็ง และการสร้างสปอร์บนอาหารแข็ง เมื่อสังเกตลักษณะและระยะเวลาในการเจริญของ *M. purpureus* TISTR 3090 บนอาหารวุ้นแข็ง และปลายข้าวเจ้า พบว่าวิธีการสร้างสปอร์บนอาหารวุ้นแข็ง เชื้อราจะสร้างใยราได้ดีภายในเวลา 5-7 วัน ส่วนการสร้างสปอร์บนอาหารแข็ง เชื้อราจะสร้างใยราและสารสีบนปลายข้าวเจ้าได้ดีภายในเวลา 3 วัน (ภาพที่ 4.8)



(ก) (ข)

ภาพที่ 4.8 ลักษณะการเจริญของ *M. purpureus* TISTR 3090 บนอาหารวุ้นแข็งและปลายข้าวเจ้า ระยะเวลา 3 วัน
(ก) ปลายข้าวเจ้า (ข) อาหารวุ้นแข็ง

4.3 ศึกษาอุณหภูมิและระยะเวลาการอบแห้งของซับสเตรตที่หมักด้วย *M. purpureus* TISTR 3090

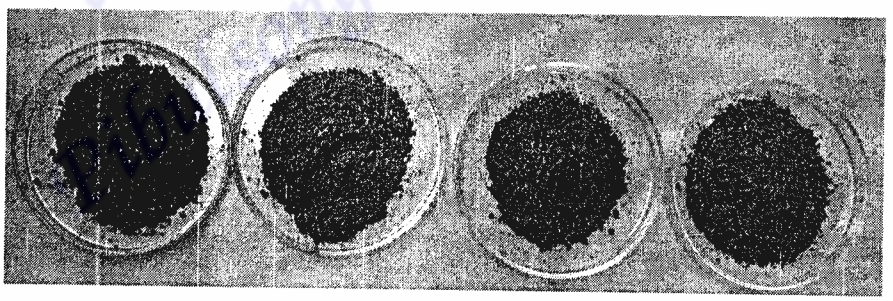
การอบแห้งสารสีแดงบนปลายข้าวเจ้าแปรผันตามอุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ ได้แก่ อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เวลา 20 นาที อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที และอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที นำมาบด ชั่งน้ำหนักแห้ง และเปรียบเทียบสีของผงข้าวแดงกับสีมาตรฐาน พบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เวลา 20 นาที อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เวลา 15 นาที และอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที ได้น้ำหนักแห้งเฉลี่ยเท่ากับ 30.44, 32.64, 32.03 และ 30.82 กรัม ตามลำดับ ส่วนสีของผงข้าวแดงเมื่อเปรียบเทียบกับสีมาตรฐาน พบว่าเป็นสีแดงรหัส 591 เหมือนกันทุกทรีทเมนต์ ดังตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.9

ตารางที่ 4.3 อุณหภูมิและระยะเวลาของการอบแห้ง น้ำหนักก่อนอบแห้ง น้ำหนักแห้ง และผงข้าวแดงที่ผลิตได้เทียบกับสีมาตรฐาน

อุณหภูมิและระยะเวลา	น้ำหนักก่อนอบแห้ง (กรัม)	น้ำหนักแห้งเฉลี่ย (กรัม)	ผงสีแดงที่ผลิตได้เทียบกับสีมาตรฐาน*
1. 80 องศาเซลเซียส 30 นาที	50	30.44[a]	สีแดง รหัส 591
2. 90 องศาเซลเซียส 20 นาที	50	32.64[a]	สีแดง รหัส 591
3. 90 องศาเซลเซียส 15 นาที	50	32.03[a]	สีแดง รหัส 591
4. 100 องศาเซลเซียส 10 นาที	50	30.82[a]	สีแดง รหัส 591
F-test		NS	

หมายเหตุ * หมายถึง สีมาตรฐานบริษัทซีตเทิลเฟบริค (seattle fabrics, Inc.)

NS (not significant) หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



(ก) (ข) (ค) (ง)

ภาพที่ 4.9 ลักษณะของผงข้าวแดงที่ผ่านการอบแห้งตามอุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ

(ก) อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที

(ข) อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เวลา 20 นาที

(ค) อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เวลา 15 นาที

(ง) อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที

4.4 ศึกษาวิธีการนำไปใช้ของผลิตภัณฑ์

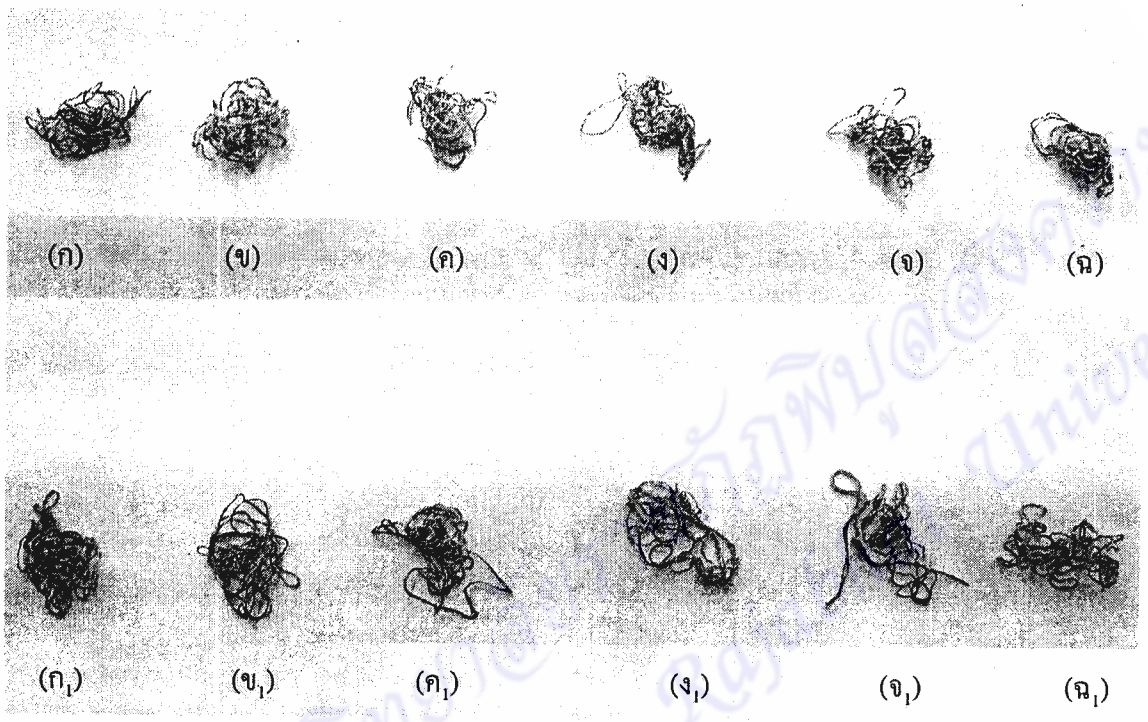
4.4.1 ศึกษาชนิดของมอร์แดนท์และวิธีการสกัด

นำผงข้าวแดงที่ผลิตได้มาละลายในมอร์แดนท์ 5 ชนิด ได้แก่ สารส้ม (พีเอช 3.87) เกลือแกง (พีเอช 7.2) มะขามเปียก (พีเอช 3.4) โซเดียมไบคาร์บอเนต (พีเอช 8.5) และขี้เถ้า (พีเอช 10.6) โดยมีน้ำประปา (พีเอช 7.5) เป็นชุดควบคุม ในอัตราส่วน 1: 10 (ปริมาณต่อปริมาตร) จุ่มเส้นใยไหมและเส้นใยฝ้ายลงในน้ำประปา และมอร์แดนท์ 5 ชนิด นำแช่ 1 คืน และแช่ 1 คืน แล้วนำมาต้มให้เดือด พบว่ามอร์แดนท์ 4 ชนิด คือ สารส้ม เกลือแกง โซเดียมไบคาร์บอเนต และขี้เถ้า ย้อมโดยวิธีแช่ 1 คืน และแช่ 1 คืนแล้วต้ม ทำให้เส้นใยไหมย้อมติดสีส้ม-ชมพู รหัส 554 ส่วน มอร์แดนท์ที่เป็นมะขามเปียก ย้อมโดยวิธีแช่ 1 คืน และแช่ 1 คืนแล้วต้ม ทำให้เส้นใยไหมย้อมติดสีส้ม-ชมพู รหัส 555 และเส้นใยไหมที่ย้อมในน้ำประปาซึ่งเป็นชุดควบคุม ย้อมโดยวิธีแช่ 1 คืน และแช่ 1 คืน ติดสีส้ม-ชมพู รหัส 470 ดังตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.10 ส่วนการย้อมเส้นใยฝ้าย พบว่ามอร์แดนท์ทั้ง 5 ชนิดและน้ำประปา ย้อมโดยวิธีแช่ 1 คืน และแช่ 1 คืนแล้วต้ม ทำให้เส้นใยฝ้ายย้อมติดสีชมพูอ่อน รหัส 503 ดังตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.11

ตารางที่ 4.4 เส้นใยไหมและเส้นใยฝ้ายที่ย้อมรวมกับมอร์แดนท์ 5 ชนิด และน้ำประปา โดยวิธีแช่ 1 คืน และ แช่ 1 คืน แล้วนำมาต้มให้เดือด

ชนิดของเส้นใย	ชนิดของมอร์แดนท์	พีเอช	สีของเส้นใยเทียบกับสีมาตรฐาน*	
			แช่ 1 คืน	แช่ 1 คืนและต้ม
1. เส้นใยไหม	1. น้ำประปา	7.5	สีส้ม-ชมพู รหัส 470	สีส้ม-ชมพู รหัส 470
	2. สารส้ม	3.7	สีส้ม-ชมพู รหัส 554	สีส้ม-ชมพู รหัส 554
	3. เกลือแกง	7.2	สีส้ม-ชมพู รหัส 554	สีส้ม-ชมพู รหัส 554
	4. มะขามเปียก	3.4	สีส้ม-ชมพู รหัส 555	สีส้ม-ชมพู รหัส 555
	5. โซเดียมไบคาร์บอเนต	8.5	สีส้ม-ชมพู รหัส 554	สีส้ม-ชมพู รหัส 554
	6. น้ำขี้เถ้า	10.6	สีส้ม-ชมพู รหัส 554	สีส้ม-ชมพู รหัส 554
2. เส้นใยฝ้าย	1. น้ำประปา	7.5	สีชมพูอ่อน รหัส 503	สีชมพูอ่อน รหัส 503
	2. สารส้ม	3.7	สีชมพูอ่อน รหัส 503	สีชมพูอ่อน รหัส 503
	3. เกลือแกง	7.2	สีชมพูอ่อน รหัส 503	สีชมพูอ่อน รหัส 503
	4. มะขามเปียก	3.4	สีชมพูอ่อน รหัส 503	สีชมพูอ่อน รหัส 503
	5. โซเดียมไบคาร์บอเนต	8.5	สีชมพูอ่อน รหัส 503	สีชมพูอ่อน รหัส 503
	6. น้ำขี้เถ้า	10.6	สีชมพูอ่อน รหัส 503	สีชมพูอ่อน รหัส 503

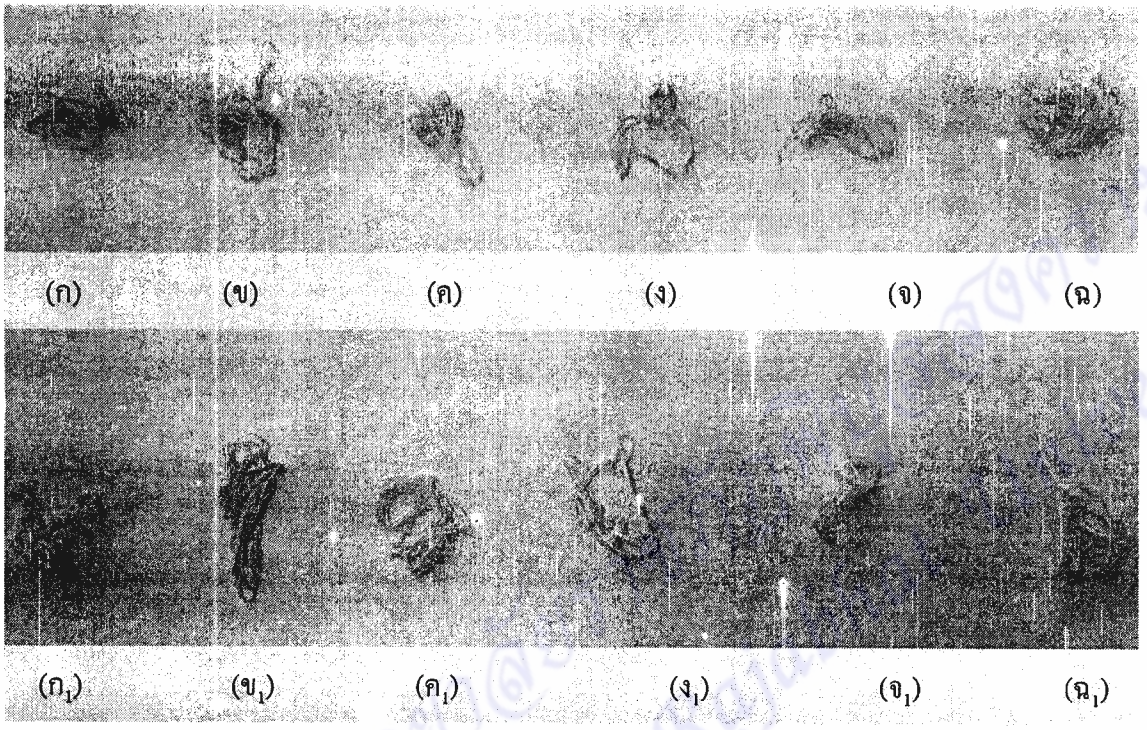
* หมายถึง สีมาตรฐานบริษัทซีตเทิลเฟบริค (seattle fabrics, Inc.)



ภาพที่ 4.10 สีส้ม-ชมพู ของเส้นใยไหมที่ย้อมด้วยมอร์แดนท์ 5 ชนิด และน้ำประปา โดยวิธีแช่ 1 คืน และแช่ 1 คืน แล้วต้ม

(ก) แช่ในน้ำประปา 1 คืน
(ข) แช่ในสารส้ม 1 คืน
(ค) แช่ในเกลือแกง 1 คืน
(ง) แช่ในมะขามเปียก 1 คืน
(จ) แช่ในโซเดียมไบคาร์บอเนต 1 คืน
(ฉ) แช่ในขี้เถ้า 1 คืน

(ก$_1$) แช่ในน้ำประปา 1 คืน แล้วต้ม
(ข$_1$) แช่ในสารส้ม 1 คืน แล้วต้ม
(ค$_1$) แช่ในเกลือแกง 1 คืน แล้วต้ม
(ง$_1$) แช่ในมะขามเปียก 1 คืน แล้วต้ม
(จ$_1$) แช่ในโซเดียมไบคาร์บอเนต 1 คืน แล้วต้ม
(ฉ$_1$) แช่ในขี้เถ้า 1 คืน แล้วต้ม



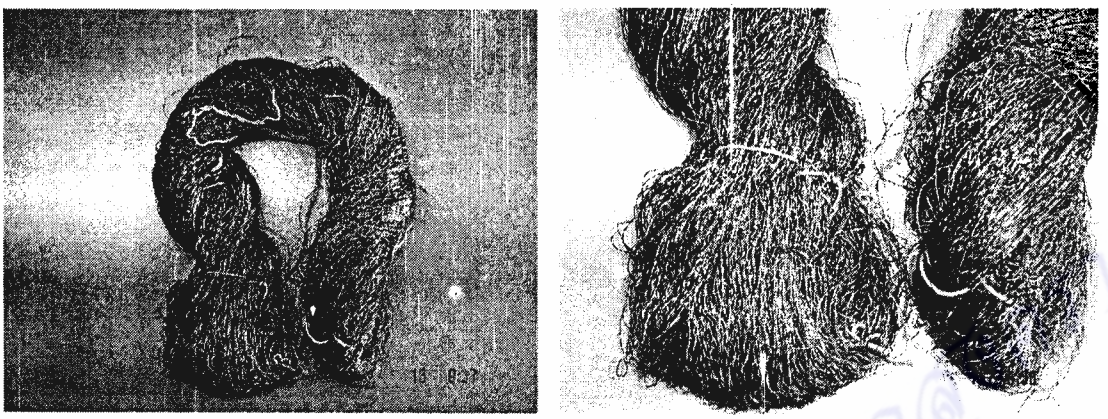
ภาพที่ 4.11 สีชมพูอ่อนของเส้นใยฝ้ายที่ย้อมด้วยมอร์แดนท์ 5 ชนิด และน้ำประปา โดยวิธีแช่ 1 คืน และแช่ 1 คืน แล้วต้ม

(ก) แช่ในน้ำประปา 1 คืน
(ข) แช่ในสารส้ม 1 คืน
(ค) แช่ในเกลือแกง 1 คืน
(ง) แช่ในมะขามเปียก 1 คืน
(จ) แช่ในโซเดียมไบคาร์บอเนต 1 คืน
(ฉ) แช่ในขี้เถ้า 1 คืน

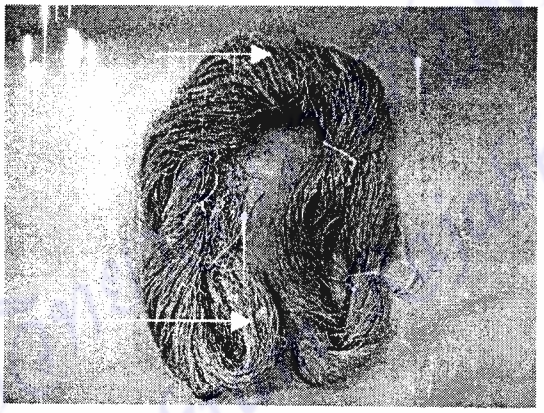
($ก_1$) แช่ในน้ำประปา 1 คืน แล้วต้ม
($ข_1$) แช่ในสารส้ม 1 คืน แล้วต้ม
($ค_1$) แช่ในเกลือแกง 1 คืน แล้วต้ม
($ง_1$) แช่ในมะขามเปียก 1 คืน แล้วต้ม
($จ_1$) แช่ในโซเดียมไบคาร์บอเนต 1 คืน แล้วต้ม
($ฉ_1$) แช่ในขี้เถ้า 1 คืน แล้วต้ม

4.4.2 การย้อมเส้นใยไหมเพื่อนำไปทอ

ย้อมเส้นใยไหมในผงข้าวแดงละลายในน้ำมะขามเปียก (พีเอช 3.4) โดยวิธีการแช่ 1 คืน ต้มให้เดือด และล้างน้ำ นำเส้นใยไหมเทียบสีกับสีมาตรฐานบริษัทซีตเทิลเฟบริค พบว่าเส้นใยไหมติดสีส้ม-ชมพู รหัส 555 (ภาพที่ 4.12 ก-ข) แต่เมื่อวางไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 7 วัน พบว่า เส้นใยไหมที่ย้อมด้วยสีแดงของ *M. purpureus* TISTR 3090 มีความไม่คงตัว สีจะซีดลง (ภาพที่ 4.12 ค)



(ก) (ข)



(ค)

ภาพที่ 4.12 ลักษณะเส้นใยไหมที่ย้อมด้วยสีแดงจากข้าวแดง
(ก) เส้นใยไหมที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 2 วัน
(ข) เส้นใยไหมที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 2 วัน (ขยายใหญ่)
(ค) เส้นใยไหมมีสีซีดลงเมื่อวางไว้ที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 7 วัน

4.5 ศึกษาการบรรจุภัณฑ์

บรรจุผงข้าวแดงในถุงพลาสติก ถ้วยพลาสติก และขวดแก้ว (ภาพที่ 4.13) ซึ่งถุงพลาสติก และถ้วยพลาสติก ปิดผนึกด้วยเครื่องปิดผนึก เก็บที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 เดือน พบว่าผงข้าวแดงยังคงสภาพเช่นเดิม ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

ภาพที่ 4.13 การบรรจุผงข้าวแดงในถุงพลาสติก ถ้วยพลาสติก และขวดแก้ว

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

บทที่ 5
อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

5.1 อภิปรายผลการวิจัย

ภาชนะและปริมาณปลายข้าวที่ใช้ในการผลิตสารสีแดงของ *M. purpureus* TISTR 3090 ที่เหมาะสมได้แก่ ฟลาสก์ขนาดปริมาตร 500, 1000 และ 2000 มิลลิลิตร ปริมาณปลายข้าว 50, 100 และ 150 กรัม ตามลำดับ ผลิตผงข้าวแดงได้ 37.10, 55.89 และ 67.64 กรัม ตามลำดับ บีกเกอร์ขนาดปริมาตร 500, 1000 และ 2000 มิลลิลิตร ปริมาณปลายข้าว 50, 100 และ 150 (และ 200) กรัม ตามลำดับ ผลิตผงข้าวแดงได้ 41.83, 57.10, 79.55 และ 147.98 กรัม ตามลำดับ ขวดโหลแก้วขนาดปริมาตร 6,150 มิลลิลิตร ปริมาณปลายข้าว 300 กรัม ผลิตผงข้าวแดงได้ 173.30 กรัม และโหลแก้วขนาดปริมาตร 6,500 มิลลิลิตร ปริมาณปลายข้าว 300 กรัม ผลิตผงข้าวแดงได้ 225.37 กรัม ส่วนภาชนะและปริมาณปลายข้าวที่ไม่เหมาะสมในการผลิตสารสีแดงของ *M. purpureus* TISTR 3090 ได้แก่ ฟลาสก์ขนาดปริมาตร 2000 มิลลิลิตร ปริมาณปลายข้าว 200 กรัม ถุงพลาสติกทนความร้อนขนาด 12x18 นิ้ว 16x26 นิ้ว และ 20x30 นิ้ว ปริมาณปลายข้าว 50, 100 และ 150 กรัม ตามลำดับ และถาดอะลูมิเนียมขนาด 20x24x8 เซนติเมตร ปริมาณปลายข้าว 500 กรัม ในภาชนะและปริมาณปลายข้าวที่เหมาะสมดังกล่าว ปริมาณปลายข้าวเริ่มต้นมีผลต่อการผลิตสีแดงบนปลายข้าวเพราะถ้าปริมาณปลายข้าวมากเกินไป เมื่อเกิดการหมักในสภาพหมักแข็ง ราโมแนสคัสจะผลิตความร้อนมากซึ่งทำให้ไม่สามารถระบายความร้อนได้ ทำให้เกิดไอน้ำขึ้นมาก ทำให้ปลายข้าวแฉะและมีกลิ่นของแอลกอฮอล์ ซึ่งมีผลต่อการเติบโตและสร้างสารสีแดง ดังจะเห็นได้จากขวดโหลแก้วและขวดโหลเมื่อใส่ปริมาณปลายข้าว 500 กรัม เชื้อราจะผลิตความร้อนและเกิดไอน้ำขึ้นมาก ทำให้ปลายข้าวแฉะมีสีชมพู-ขาว และมีกลิ่นของแอลกอฮอล์ แต่เมื่อใส่ปริมาณปลายข้าว 300 กรัม พบว่าราโมแนสคัสจะผลิตสีแดงเข้มบนปลายข้าว เมื่อนำมาอบแห้ง บด แล้วนำผงข้าวแดงมาเทียบกับสีมาตรฐานบริษัทซีตเทิลเฟบริค (seattle fabrics, Inc., 2005) พบว่าผงข้าวแดงมีสีแดง รหัส 591 ส่วนในภาชนะและปริมาณปลายข้าวที่ไม่เหมาะสมในการผลิตสารสีแดง ราโมแนสคัสจะสร้างสารสีแดง ชมพู และขาวได้ไม่สม่ำเสมอบนปลายข้าวเจ้า และเกิดไอน้ำขึ้นมากทำให้ปลายข้าวแฉะและมีกลิ่นของแอลกอฮอล์ เมื่อนำมาอบแห้ง บด แล้วนำผงข้าวแดงมาเทียบกับสีมาตรฐานซีตเทิลเฟบริค พบว่าผงข้าวแดงมีสีชมพู รหัส 460

แต่เมื่อพิจารณาการผลิตทางการค้าและต้นทุนการผลิตแล้วจะพบว่าขวดโหลแก้วและโหลแก้วสามารถผลิตผงข้าวแดงได้ปริมาณมากกว่าบีกเกอร์และฟลาสก์ ส่วนบีกเกอร์จะผลิตผงข้าวแดงได้ในปริมาณไม่แตกต่างกับฟลาสก์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แต่กระบวนการผลิตผงข้าวแดงในบีกเกอร์จะทำได้ง่ายกว่าฟลาสก์ เพราะส่วนบนของบีกเกอร์จะกว้างกว่าฟลาสก์ ทำให้การกวนและการระบายอากาศในอาหารทำได้ง่ายกว่า ดังนั้นภาชนะและปริมาณปลายข้าวที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตเพื่อการค้าเรียงลำดับจากมากไปน้อย คือ ขวดโหลแก้วขนาดปริมาตร 6,150 มิลลิลิตร ปริมาณปลายข้าว 300 กรัม โหลแก้วขนาดปริมาตร 6,500 มิลลิลิตร ปริมาณปลายข้าว 300 กรัม บีกเกอร์ขนาดปริมาตร 2000, 1000 และ 500 มิลลิลิตร ปริมาณปลายข้าว 200 (และ100), 150 และ 50 กรัม ตามลำดับ ฟลาสก์ขนาดปริมาตร 2000, 1000 และ 500 มิลลิลิตร ปริมาณปลายข้าว 150, 100 และ 50 กรัม ตามลำดับ

การเตรียมเชื้อตั้งต้น 2 วิธี คือ วิธีการสร้างสปอร์บนอาหารวุ้นแข็ง และการสร้างสปอร์บนอาหารแข็ง พบว่าวิธีการสร้างสปอร์บนอาหารวุ้นแข็ง ราโมแนสคัสจะสร้างใยรา สปอร์ และสารสีได้ ภายในเวลา 3-5 วัน ส่วนการสร้างสปอร์บนอาหารแข็ง (ปลายข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาถ) ราโมแนสคัสจะสร้างใยรา สปอร์ และสารสีบนปลายข้าวเจ้าได้ภายในเวลา 3 วัน ดังนั้นการเตรียมเชื้อตั้งต้นทั้ง 2 วิธี เป็นวิธีที่เหมาะสม แต่เมื่อพิจารณาทางการค้าและต้นทุนการผลิตแล้วจะพบว่าวิธีการสร้างสปอร์บนอาหารแข็ง ผลิต สปอร์ได้จำนวนมาก กระบวนการผลิตทำได้ง่าย และใช้ต้นทุนต่ำกว่าวิธีการสร้าง สปอร์บนอาหารวุ้นแข็ง

การอบแห้งสารสีแดงบนปลายข้าวเจ้าแปรผันตามอุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ ได้แก่ อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เวลา 20 นาที อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เวลา 15 นาที และอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที พบว่าน้ำหนักแห้งเฉลี่ยที่อุณหภูมิและเวลาดังกล่าว คือ 30.44, 32.64, 32.03 และ 30.82 กรัม ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 นำผงข้าวแดงทุกทรีทเมนต์มาเทียบกับสีมาตรฐานซีเทิลเฟบริค พบว่าผงข้าวแดงมีสีแดง รหัส 591 แต่เมื่อพิจารณาทางการค้า และต้นทุนการผลิตแล้วพบว่า อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เวลา 20 นาที เป็นอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการผลิตซึ่งสอดคล้องกับการหมักข้าวแดงในระดับอุตสาหกรรม (AllOk GmbH, 2001) ที่พบว่าอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เวลา 20 นาที เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งและ ลดกิจกรรม (deactivation) ของราโมแนสคัสในการผลิตข้าวแดงในระดับอุตสาหกรรม

วิธีการนำไปใช้ของผลิตภัณฑ์โดยศึกษาชนิดของมอร์แดนท์ 5 ชนิด ได้แก่ สารส้ม (พีเอช 3.87) เกลือแกง (พีเอช 7.2) มะขามเปียก (พีเอช 3.4) โซเดียมไบคาร์บอเนต (พีเอช 8.5) และขี้เถ้า (พีเอช 10.6)

โดยมีน้ำประปา (พีเอช 7.5) เป็นชุดควบคุม ย้อมโดยวิธีแช่ 1 คืน และแช่ 1 คืน แล้วต้ม พบว่ามอร์แดนท์ที่เป็นมะขามเปียกทำให้เส้นใยไหมย้อมติดสีส้ม-ชมพู รหัส 555 ซึ่งเป็นสีที่เข้มที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมและมอร์แดนท์อีก 4 ชนิด ส่วนเส้นใยฝ้ายเมื่อย้อมด้วยมอร์แดนท์ 5 ชนิด พบว่าย้อมติดสีชมพูอ่อน รหัส 503 ซึ่งเกือบจะไม่ติดสี

การบรรจุผลิตภัณฑ์ในภาชนะได้แก่ ถุงพลาสติก ถ้วยพลาสติก และขวดแก้ว ซึ่งภาชนะทั้ง 3 ชนิด เหมาะสมในการบรรจุภัณฑ์ เพราะเมื่อเก็บไว้นานประมาณกว่า 1 เดือน ผงข้าวแดงไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่เมื่อพิจารณาทางการค้า และต้นทุนการผลิต พบว่าถุงพลาสติกเป็นภาชนะที่เหมาะสมในการบรรจุภัณฑ์ เพราะสะดวกในการปิดผนึกและราคาถูกกว่าถ้วยพลาสติกและขวดแก้ว ซึ่งการบรรจุภัณฑ์ด้วยถุงพลาสติกและปิดผนึกด้วยเครื่องปิดผนึก จะช่วยป้องกันความชื้นและการปนเปื้อนจากเชื้อราชนิดอื่น ซึ่งจากการวิจัยพบว่า ความชื้นมีผลต่อการปนเปื้อนของเชื้อราชนิดอื่น คือ ถ้าอบผงข้าวแดงไม่แห้ง และใส่ในถุงพลาสติกแล้วรัดด้วยยาง เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง 3-5 วัน จะมีการปนแปื้อนของเชื้อราที่สร้างสปอร์สีเขียว

5.2 สรุปผลการวิจัย

5.2.1 ภาชนะและปริมาณปลายข้าวที่เหมาะสมใช้ในการผลิตสารสีแดงของ *M. purpureus* TISTR 3090 เมื่อเปรียบเทียบภาชนะ 6 ชนิด และแปรผันปริมาณปลายข้าว ได้แก่ ขวดโหลแก้วขนาดปริมาตร 6,150 มิลลิลิตร ปริมาณปลายข้าว 300 กรัม โหลแก้วขนาดปริมาตร 6,500 มิลลิลิตร ปริมาณปลายข้าว 300 กรัม บีกเกอร์ขนาดปริมาตร 2000, 1000 และ 500 มิลลิลิตร ปริมาณปลายข้าว 200, 150 และ 100 กรัม ตามลำดับ ฟลาสก์ขนาดปริมาตร 2000, 1000 และ 500 มิลลิลิตร ปริมาณปลายข้าว 150, 100 และ 50 กรัม ตามลำดับ ส่วนภาชนะและปริมาณปลายข้าวที่ไม่เหมาะสมในการผลิตสารสีแดงของ *M. purpureus* TISTR 3090 ได้แก่ ฟลาสก์ขนาดปริมาตร 2000 มิลลิลิตร ปริมาณปลายข้าว 200 กรัม ถุงพลาสติกทนความร้อนขนาด 12x18 นิ้ว 16x26 นิ้ว และ 20x30 นิ้ว ปริมาณปลายข้าว 50, 100 และ 150 กรัม ตามลำดับ และถาดอะลูมิเนียมขนาด 20x24x8 เซนติเมตร ปริมาณปลายข้าว 500 กรัม

5.2.2 วิธีการเตรียมเชื้อตั้งต้นของ *M. purpureus* TISTR 3090 บนอาหารแข็งเหมาะสมกว่าบนอาหารวุ้นแข็ง

5.2.3 อุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมในการอบแห้งผงข้าวแดงที่ผลิตจาก *M. purpureus* TISTR 3090 บนปลายข้าวเจ้า คือ อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เวลา 20 นาที

5.2.4 มอร์แดนท์ และวิธีการย้อมเส้นใยไหมด้วยผงข้าวแดงซึ่งผลิตจาก *M. purpureus*

TISTR 3090 คือ ย้อมเส้นใยไหมด้วยผงข้าวแดงในน้ำมะขามเปียก (พีเอช 3.4) แช่ 1 คืน และนำมาต้ม

5.2.5 การบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม คือ บรรจุผลิตภัณฑ์ในถุงพลาสติกและปิดผนึกด้วยเครื่องปิดผนึก

5.2.6 การผลิตสารสีแดงบนปลายข้าวเจ้าของ *M. purpureus* TISTR 3090 ต้องผลิตในห้องปฏิบัติการ

5.6.7 เส้นใยไหมที่ย้อมด้วยสีแดงของ *M. purpureus* TISTR 3090 ติดสีไม่คงตัว

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ควรศึกษาความทนทานต่อแสงของเส้นใยไหมที่ย้อมสีแล้ว

5.3.2 ควรมีการศึกษาช่วงพีเอชที่เหมาะสมของน้ำมะขามเปียกเพื่อใช้เป็นมอร์แดนท์ที่ช่วยให้เส้นใยไหมย้อมติดสีแดงได้เข้มขึ้น

5.3.3 ควรมีการศึกษาชนิดของมอร์แดนท์ที่ช่วยให้เส้นใยฝ้ายย้อมติดสีแดง

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

เอกสารอ้างอิง

กาญจนา ทุมมานนท์. (2548). สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์แห่งประและเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. [Online]. Available HTTP: http://learning.bkt.ac.th/science_new/file4/14-3.htm (29/09/2005)

จามจุรี. (2548). [Online]. Available HTTP: http://jamjuree.topcities.com/colour.htm (29/09/2005)

ไทยตำบล ดอท คอม. (2544). [Online]. Available HTTP: http://www.thaitambon.com/tambon/tsmeplist.asp?ID=361004&SME=0182011409, http://www.thaitambon.com/tambon/tsmepdesc.asp?Prod=0296142331&ID=470404&SME=0296135021, http://www.thaitambon.com/tambon/tcommdesc.asp?ID=580304&SME=0171714644 (30/09/2005)

นฤมล เถื่อนกูล. (2546). การศึกษาชนิดของสับสเตรตและสภาวะที่เหมาะสมต่อการดูดกลืนแสงของสารสกัดสีแดงของ *Monascus purpureus* TISTR 3090. **รายงานการวิจัย.** โปรแกรมวิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม. 117 หน้า.

นฤมล เถื่อนกูล. (2547). การใช้สารสีจากจุลินทรีย์ในการย้อมสีเส้นใยจากธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์. **รายงานการวิจัย.** โปรแกรมวิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม. 58 หน้า.

นิตยาสารเกษตรศาสตร์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ปีที่ 3 ฉบับที่ 9 กันยายน 2545. [Online]. Available HTTP: http://www.ku.ac.th/e-magazine/september45/agri/color.html (16/09/2005)

บุษบา ยงสมิทธ์. (2542). **จุลชีววิทยาการหมักวิตามินและสารสี.** ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 287 หน้า.

ประชิด ทิณบุตร. (2531). **การออกแบบบรรจุภัณฑ์ (packaging design).** (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุ เทพฯ: โอ.เอส.พริ้นติ้ง เฮ้าส์.

ปรารภ ประภาลักษณ์. (2548). กาแฟอราบิก้าไทย. [Online]. Available HTTP: http://www.chiangmaicoffee.com/arabica.htm (29/09/2005)

ปริญญา ขำสาธร. (2548). สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์แห่งประและเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. [Online]. Available HTTP: http://learning.bkt.ac.th/science_new/file4/14-4.htm (29/09/2005)

มยุรี ภาคลำเจียก. (2548). สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์แห่งประและเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. [Online]. Available HTTP: http://learning.bkt.ac.th/science_new/file4/14-5.htm, http://learning.bkt.ac.th/science_new/file4/14-7.htm, http://learning.bkt.ac.th/science_new/file4/14-1.htm (29/09/2005)

มูลนิธิญี่ปุ่น. (2544). สำนักพัฒนาผลิตภัณฑ์. กรมส่งเสริมการส่งออก กระทรวงพาณิชย์. [Online]. Available HTTP: http://www.jfbkk.or.th/event/package_01_th.html (29/09/2005)

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์แห่งประและเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. (2548). [Online]. Available HTTP: http://learning.bkt.ac.th/science_new/file4/14-17.htm (29/09/2005)

สุพจน์ ชุติพันธ์. (2548). สำนักส่งเสริมและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 2 จังหวัดราชบุรี. [Online]. Available HTTP: http://wdoae.doae.go.th/old_news2/news_93.html (29/09/2005)

Akira Shirata and et. al. (2000). Isolation of Bacteria Producing Bluish-purple Pigment and Use for Dyeing. Japan Agricultural Research Quarterly (JARQ). Vol.34 No.2 (April 2000). [Online]. Available HTTP: http://ss.Jarcas.affrc.go.jp/endpage/jarq/34-2/shirata/34-2 (8).html. (27/09/2005)

AllOk GmbH. (2001). [Online]. Available HTTP: http://allok-e.mandt.de/erot.htm (16/09/2005)

bugss.org. (2000). [Online]. Available HTTP: http://www.bugss.org/ftp/pub/cans/coca3.jpg (27/09/2005)

Dion Service Information. (2004). [Online]. Available HTTP: http://www.d2.dion.ne.jp/~tareryu/sub1.htm (22/09/2005)

Eco-Artware.com. (1999). [Online]. Available HTTP: http://www.eco-artware.com/newsletter/index.shtml (27/09/2005)

Education zone Co., Ltd. (2000). [Online]. Available HTTP: http://www.eduzones.com/vichakan/bio/bio4.html (29/09/2005)

ICT, Department of Fermentation Chemistry and Bioengineering, Czech Republic. (2005). [online]. Available HTTP: http://www.vscht.cz/kch/galerie/obrazky/houby/skrob-5.gif, http://www.vscht.cz/kch/galerie/frame.htm

Mahaguthi, Craft with a Conscience. (2005). [Online]. Available HTTP: http://catgen.net/mguthi/images/678.jpeg (27/09/2005)

Minimus.biz. (2005). [Online]. Available HTTP: http://www.minimus.biz/detail.aspx?ID=492 (27/09/2005)

Nanjing Tianshu Food Ingredients Supermarket Co.,Ltd. (2005). [Online]. Available HTTP: http://tianshu.en.alibaba.com/product/50012155/50069213/Natural_Pigments/Monascus_Pigment.html (16/09/2005)

Ningbo Rico Chemical Industry Co.,LTD. (2005). [Online]. Available HTTP: http://www.pasco-stationery.com/english/pro_02.htm (27/09/2005)

Palaeos site: The trace of life on earth. (2005). [Online]. Available HTTP: http://www.palaeos.com/Fungi/default.htm (22/09/2005)

Ruenn Ta Enterprise Co., LTD. (2000). [Online]. Available HTTP: http://www.musicbaby.com.tw/p_pf_with_cap_package_5.htm (27/09/2005)

Saucedo-Castaneda, G. and M. R. Trejo-Hernandez. (1994). On-line automated monitoring and control systems for CO_2 and O_2 in aerobic and anaerobic solid-state fermentation. Proc. Biochem. 29.13-24. อ้างโดยบุษบา ยงสมิทธ์. (2542). **จุลชีววิทยาการหมักวิตามินและสารสี.** ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. หน้า 113

seattlefabrics.com. (2005). [Online]. Available HTTP: http://seattlefabrics.com/gutermann%20chart.jpg (27/09/2005)

Sikyta, R.B., (1983). Methods in Industrial Microbiology. Ellis Horwood Limited. Sussex. England. อ้างโดยบุษบา ยงสมิทธ์. (2542). **จุลชีววิทยาการหมักวิตามินและสารสี.** ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. หน้า 97

soaresantiques.com. (2005). [Online]. Available HTTP: http://www.soaresantiques.com/misc1.htm (27/09/2005)

SP.Boutique City & Design. (2003). [Online]. Available HTTP: http://spdesign.genesis.mweb.co.th/page7.html (29/09/2005)

spectroscopynow.com. (2005). [Online]. Available HTTP: http://www.spectroscopynow.com/ftp_images/2SL36-plastics.jpg (27/09/2005)

ThaiTamboo.com. (2004). [Online]. Available HTTP: http://www.thaitambon.com/tambon/tsmepdesc.asp?Prod=0372415338&ID=170305&SME=0232419358 (27/09/2005)

The Red Rock Canyon Interpretive Association [RRCIA]. Las Vegas, Nevada. (2005). [Online]. Available HTTP: http://www.redrockcanyonlv.org/catalog/wildflowers_by_individual_package_2047568.htm (27/09/2005)

unistone.net. (2005). [Online]. Available HTTP: http://unistone.net/Feedback/Package.jpg (27/09/2005)

University of Guelph. (2005). [Online]. Available HTTP: http://www.uoguelph.ca/~gbarron/MISCELLANEOUS/penmicro.htm (22/09/2005)

University of medicine and dentistry of New Jersey. (2005). [Online]. Available HTTP: http://www.healthynj.org/nj/concerns/bacillus.jpg (22/09/2005)

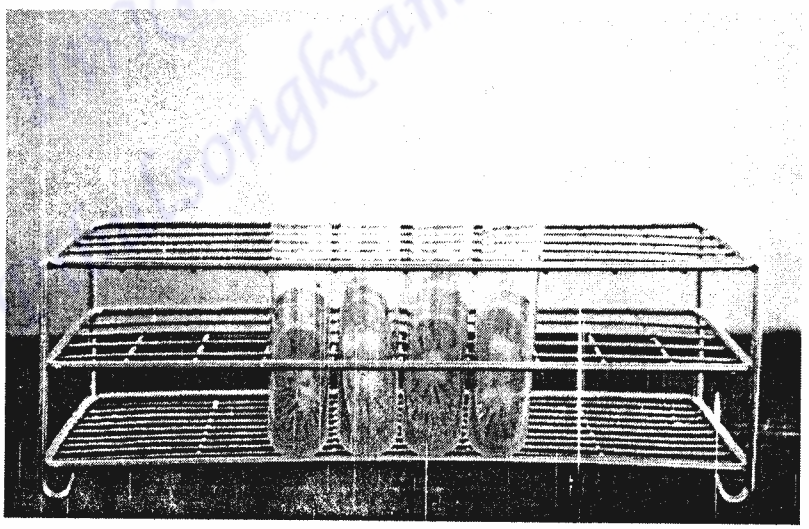
University of South Carolina. (2005). [Online]. Available HTTP: http://pathmicro.med.sc.edu/mycology/mycology-3.htm (22/09/2005)

ภาคผนวก

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
Pibulsongkram Rajabhat University

ภาคผนวก ก

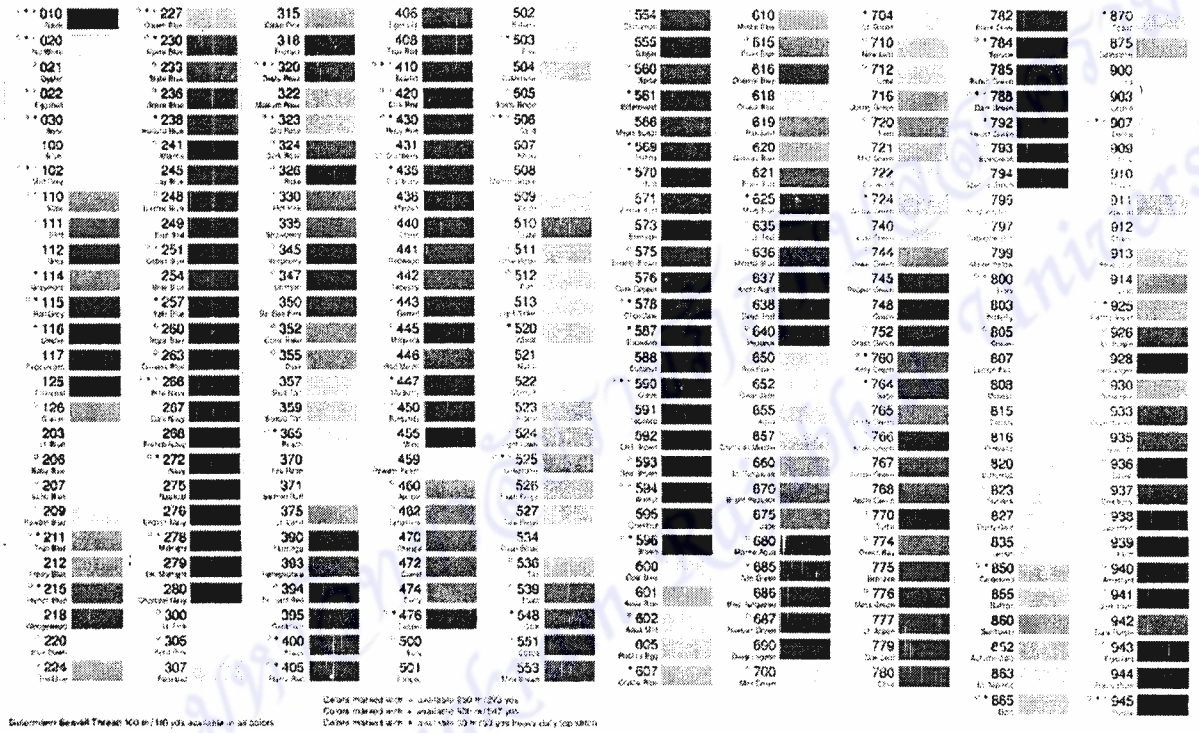
Monascus purpureus TISTR 3090



ภาพที่ ภ.1 ลักษณะโคโลนีของ *Monascus purpureus* TISTR 3090 บนอาหาร PDA slant

ภาคผนวก ข

สีมาตรฐาน



ภาพที่ ภ.2 สีมาตรฐานบริษัทซีตเทิลเฟบริค

ที่มา (seattle fabrics, Inc., 2005)

ภาคผนวก ค
อุปกรณ์ เครื่องมือ อาหารเลี้ยงเชื้อและสารเคมี

อุปกรณ์

1. บีกเกอร์ขนาด 500,1000 และ 2,000 มิลลิลิตร (beaker 500, 1000 and 2,000 ml.)
2. ขวดรูปชมพู่ขนาด 500, 1000 และ 2,000 มิลลิลิตร (erlenmyer flask 500, 1000 and 2,000 ml.)
3. จานเพาะเชื้อ (petri dishes)
4. กระบอกตวง (cylender)
5. ตะแกรงใส่หลอดทดลอง (culture tube racks)
6. เข็มถ่ายเชื้อและห่วงถ่ายเชื้อ (needle and loop)
7. แท่งแก้วคนสาร (stirrer)
8. ขวดอาหาร (medium bottle)
9. หลอดทดลองขนาด (test tubes 16 × 150 mm.)
10. สำลี (cotton wool)
11. กระดาษกรอง (filter paper)
12. ตะเกียงแอลกอฮอล์ (alcohol burner)
13. ปากคีบ (forcep)
14. ขวดโหลแก้ว
15. โหลแก้ว
16. ถุงพลาสติกทนร้อนขนาด 12x18 นิ้ว16x26 นิ้ว และ 20x30 นิ้ว
17. ถาดอะลูมิเนียมขนาด 20x24x8 เซนติเมตร (กว้าง x ยาว x สูง)
18. ขวดโหลแก้วขนาดปริมาตร 6,150 มิลลิลิตร
19. โหลแก้วขนาดปริมาตร 6,500 มิลลิลิตร
20. เส้นใยฝ้ายและเส้นใยไหม

เครื่องมือ

1. หม้อนึ่งความดันไอน้ำ (autoclave)
2. เครื่องชั่ง (balances)

3. เตาอบอากาศร้อน (hot air oven)
4. ตู้บ่มเชื้อ (incubator)
5. กล้องจุลทรรศน์ (microscope)
6. สเปกโทรโฟโตมิเตอร์
8. มาตรวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter)
9. ไมโครปิเปต (micropipette)

อาหารเลี้ยงเชื้อ

อาหารพีดีเอ

อาหารพีดีเอ มีส่วนประกอบดังนี้

มันฝรั่ง	200.0	กรัม
น้ำตาลเดกโตรส	20.0	กรัม
วุ้น	15.0	กรัม
น้ำกลั่น	1.0	ลิตร

พีเอช 4.5

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ สกุล นางนฤมล เถื่อนกูล

ตำแหน่ง อาจารย์ 2 ระดับ 7

สังกัด สาขาชีววิทยา ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม จังหวัดพิษณุโลก

ประวัติการศึกษา

วิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) สาขาชีววิทยา มหาวิทยาลัยนเรศวร 2535

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วท.ม.) สาขาชีววิทยา (จุลชีววิทยา) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 2537

ประสบการณ์การทำงาน

พ.ศ. 2537-2538 นักวิจัย ทำวิจัยเรื่อง การคัดเลือกเชื้อราที่ผลิตเอนไซม์ไคทิเนส
ภาควิชาชีววิทยา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

พ.ศ. 2538-2541 นักวิจัย ทำวิจัยเรื่อง การควบคุมแมลงและโรคพืชด้วยวิธีชีวภาพ
บริษัทเคการเกษตร จังหวัดลำปาง

ประสบการณ์การทำวิจัย

1. วิทยานิพนธ์ เรื่อง การแปลงรงควัตถุของ *Zymomonas mobilis* CM 141 โดยการชักนำให้เกิดการกลายพันธุ์

2. การแยกแบคทีเรียในดินที่สามารถสร้างสารปฏิชีวนะในการยับยั้ง *Staphylococus aureus* และ *Fusarium* sp. (ได้รับทุนอุดหนุนงานวิจัยจากสถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม พ.ศ. 2545)

3. การศึกษาชนิดของสับสเตรตและสภาวะที่เหมาะสมต่อการดูดกลืนแสงของสารสกัดสีแดงของ *Monascus purpureus* TISTR 3090 (ได้รับทุนอุดหนุนงานวิจัยจากสถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม พ.ศ. 2546)

4. การใช้สารสีจากจุลินทรีย์ในการย้อมสีเส้นใยจากธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์ (ได้รับทุนอุดหนุนงานวิจัยจากมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม พ.ศ. 2547)

เกียรติประวัติในการได้รับรางวัล

1. ได้รับโล่รางวัลงานวิจัยดี มีคุณภาพ รางวัลชมเชยอันดับ 1 ด้านการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ ประเภทรายงานการวิจัยประจำปีโดยทั่วไปของหน่วยงานและที่เสนอโครงการวิจัยผ่านสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ของกระทรวงศึกษาธิการ ประจำปี 2546 จากงานวิจัยเรื่อง การศึกษาชนิดของสับสเตรตและสภาวะที่เหมาะสมต่อการดูดกลืนแสงของสารสกัดสีแดงของ *Monascus purpureus* TISTR 3090

2. ได้รับรางวัลการท่องเที่ยวภายในประเทศตามนโยบายรัฐบาลในการให้รางวัลแก่ข้าราชการ พนักงานของรัฐ และลูกจ้างประจำที่มีผลปฏิบัติงานดีเด่น พ.ศ. 2546

ที่ทำงาน สาขาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
โทรศัพท์ 055-267054 โทรสาร 055-267054

ที่อยู่ 1/10 หมู่ที่ 8 ถนนเลี่ยงเมืองพิษณุโลก ตำบลท่าทอง อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000
โทรศัพท์ 055-227622, 09-1948953

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University