รายงานการปฏิบัติงานสหกิจศึกษา

“สาเหตุการเกิดข้าวเหลือง”

“THE CAUSE OF YELLOW KERNEL RICE”

โดย

นางสาวเบญจวรรณ อัศวธีระ

B4151883

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของรายวิชา 305 497 สหกิจศึกษา

สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร

สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วันที่ 11 เมษายน 2545

รายงานการปฏิบัติงานสหกิจศึกษา

“สาเหตุการเกิดข้าวเหลือง”

“THE CAUSE OF YELLOW KERNEL RICE”

โดย

นางสาวเบญจวรรณ อัศวธีระ

B4151883

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปฏิบัติงาน ณ

บริษัท เจียเม้ง จำกัด

119 หมู่8 ถ.มิตรภาพ-พิมาย ต.หนองงูเหลือม อ.เฉลิมพระเกียรติ จ.นครราชสีมา 30000

วันที่ 11 เดือนเมษายน พ.ศ.2545

เรื่อง ขอส่งรายงานการปฏิบัติงานสหกิจศึกษา

เรียน อาจารย์ที่ปรึกษาสหกิจศึกษา สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร อาจารย์ปิยะวรรณ กาสลัก

ตามที่ข้าพเจ้า นางสาวเบญจวรรณ อัศวธีระ นักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีได้ไปปฏิบัติงานสหกิจศึกษา (305497) ในระหว่างวันที่ 24 ธันวาคม พ.ศ.2544 ถึงวันที่ 12 เมษายน พ.ศ.2545 ในตำแหน่งผู้ช่วยพนักงาน HACCP PLAN แผนกคุณภาพ ณ บริษัทเจียเม้ง จำกัด และได้รับมอบหมายงานจาก job superviser ให้นักศึกษา และได้ทำรายงานใน 3 หัวข้อ ดังนี้

1.) เรื่อง การทดลองหาสาเหตุการเกิดข้าวเหลือง

2.) เรื่อง การเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับสารสกัดจากพืชสมุนไพรที่ใช้สำหรับกำจัดสัตว์พาหะภายในโรงงาน และการเก็บรักษาข้าวในไซโล

3.) เรื่อง การทวนสอบประสิทธิภาพเครื่องจักรในกระบวนการผลิตข้าวของบริษัทฯ

บัดนี้ การปฏิบัติงานสหกิจศึกษาได้สิ้นสุดลงแล้ว ข้าพเจ้าจึงขอส่งรายงานดังกล่าวมาพร้อมนี้จำนวน 3 เล่ม เพื่อขอรับคำปรึกษาต่อไป โดยสำหรับรายงานในหัวข้อที่ 3 จะเป็นการส่งรายงานในรูปของบทคัดย่อแทรกอยู่ในรายงานเรื่องการทดลองหาสาเหตุการเกิดข้าวเหลือง

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา

ขอแสดงความนับถือ

เบญจวรรณ อัศวธีระ

(นางสาวเบญจวรรณ อัศวธีระ)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

กิตติกรรมประกาศ

การที่ข้าพเจ้าได้มาปฏิบัติงานสหกิจศึกษา ณ บริษัท เจียเม้ง จำกัด ตั้งแต่วันที่ 24 ธันวาคม พ.ศ. 2545 ถึงวันที่ 12 เมษายน พ.ศ. 2545 ส่งผลให้ข้าพเจ้าได้รับความรู้ และประสบการณ์ต่างๆ อันมีค่ายิ่งอย่างมากมายซึ่งไม่สามารถพบได้ในห้องเรียน สำหรับรายงานวิชาสหกิจศึกษาฉบับนี้ สำเร็จลงได้ด้วยดีจากความร่วมมือ และสนับสนุนจากบุคลากรหลายฝ่าย ดังนี้

1. คุณฉวัลย์ มานะธัญญา ประธานอำนวยการฝ่ายผลิต บริษัท เจียเม้ง จำกัด ที่เห็นความสำคัญของระบบการศึกษาแบบสหกิจศึกษา และได้ให้โอกาสอันมีคุณค่าอย่างยิ่งต่อข้าพเจ้า
2. คุณประพิศ มานะธัญญา กรรมการผู้จัดการ (MD)
3. คุณดำรงค์ บุญอุทิศ ผู้จัดการทั่วไปฝ่ายผลิต (GMP)
4. คุณสมศักดิ์ กำจรกิจบวร ผู้จัดการฝ่ายคุณภาพ (SAN/QMR)
5. คุณบัญชา บุญนิตย์ ผู้จัดการฝ่ายทรัพยากรบุคคล (SCH)
6. คุณนิตยา แห่ล้อม ผู้จัดการฝ่ายจัดซื้อ (SCB)
7. คุณนัยนา อยู่กำเหนิด ผู้จัดการฝ่ายบัญชีและการเงิน (SCA)
8. คุณขวัญชัย ศิริจันทร์ ผู้จัดการฝ่ายเกษตรกรรม (SCG)
9. คุณฉัตร เชือดกิ่ง ผู้จัดการฝ่ายสนับสนุน (SCS)
10. คุณสุวิชัย แห่ล้อม ผู้จัดการฝ่ายผลิต (SCP)
11. คุณสาหร่าย ศรีศิริ ผู้จัดการแผนกคุณภาพ (R100)
12. คุณพิชาญ พบวันดี หัวหน้าหน่วยคุณภาพ (R110)
13. คุณเริงหทัย สำราญ พนักงาน HACCP PLAN ผู้เป็น Co-op Supervisor และบุคลากรท่านอื่นๆ ที่ไม่ได้กล่าวนามทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำ และความช่วยเหลือแก่ข้าพเจ้าในการจัดทำรายงานให้สำเร็จลงได้ด้วยดี

ข้าพเจ้าใคร่ขอขอบพระคุณผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการให้ข้อมูล และเป็นที่ปรึกษาแก่ข้าพเจ้าในการทำรายงานฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์ ตลอดจนให้การดูแล และแนะนำสิ่งต่างๆ เพื่อให้ข้าพเจ้าเกิดความเข้าใจในการปฏิบัติงานจริง ข้าพเจ้าขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้

นางสาวเบญจวรรณ อัศวธีระ

ผู้จัดทำรายงาน

11 เมษายน พ.ศ. 2545

บทคัดย่อ

(Abstract)

บริษัท เจียเม้ง จำกัด เป็นบริษัทที่ดำเนินธุรกิจโรงสีข้าว จำหน่ายข้าวสาร และข้าวกล้องหอมมะลิทั้งภายในและต่างประเทศ จากการที่ได้เข้ามาปฏิบัติงานตามโครงการสหกิจศึกษาในหน่วย HACCP & SQF 2000 แผนกคุณภาพ ณ บริษัทฯ และได้รับมอบหมายโครงการหาสาเหตุการเกิดข้าวเหลือง จึงได้ทำการทดลองเพื่อหาสาเหตุการเกิดข้าวเหลืองในข้าวหอมมะลิโดยการนำข้าวหอมมะลิทั้งข้าวเปลือก (paddy rice) ที่เก็บรักษาไว้ในไซโล และข้าวขาวหอมมะลิ (Milled rice) ที่อยู่ในกระบวนการผลิตของบริษัทฯ มาเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 35°C และควบคุมปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ให้ได้เท่ากับ 65% เพื่อทำให้เกิดข้าวเหลือง พร้อมทั้งเก็บตัวอย่างข้าวเปลือก และข้าวขาวหอมมะลิของบริษัทฯ ไว้ที่อุณหภูมิห้องอีก 1 ชุดเพื่อใช้เป็นชุดควบคุม และเก็บตัวอย่างข้าวเปลือก และข้าวขาวหอมมะลิจากทั้ง 2 สภาวะนี้มาติดตามการเปลี่ยนแปลงทุกๆ สัปดาห์ เป็นระยะเวลา 5 สัปดาห์โดยตรวจติดตามการเปลี่ยนแปลงของตัวอย่างก่อนทำการเก็บรักษาไว้ในทั้ง 2 สภาวะนี้ด้วย ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงของตัวอย่างข้าวนี้ได้ตรวจติดตามทั้งการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพได้ตรวจวัดค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ปริมาณความชื้น (Moisture content) ความขาว (Whiteness) และเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ด (Whole rice percent) ซึ่งพบว่า ค่าความเป็นกรดด่างของข้าวเปลือก และข้าวขาวหอมมะลิทั้ง 2 สภาวะการเก็บรักษานี้ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณความชื้นของข้าวขาวระหว่างชุดทดลอง กับชุดควบคุมพบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความน่าเชื่อถือ 95% โดยข้าวขาวชุดทดลองมีความชื้นสูงกว่าชุดควบคุม และข้าวขาวชุดทดลองมีความชื้นสูงกว่า ข้าวเปลือกชุดทดลอง ตัวอย่างข้าวทั้งข้าวเปลือก และข้าวขาวในชุดทดลองมีค่าความขาวต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หรือข้าวมีสีเหลืองมากกว่าชุดควบคุม นอกจากนี้ยังพบว่าระยะเวลาในการเก็บ และสภาวะการเก็บรักษามีผลต่อเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ การติดตามการเปลี่ยนแปลงทางเคมีได้ตรวจวัดปริมาณ reducing sugar แต่พบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่งทั้งในข้าวเปลือก และข้าวขาวนั้นมีน้อยมากจนไม่สามารถตรวจวัดได้ และการติดตามการเปลี่ยนแปลงทางจุลินทรีย์ได้ตรวจนับจำนวน และชนิดของเชื้อราที่พบในตัวอย่างข้าวทั้ง 2 สภาวะพร้อมทั้งตรวจดูโครงสร้างเชื้อราที่พบด้วย โดยพบว่า มีเชื้อราอยู่หลายชนิดที่มีผลต่อการเกิดข้าวเหลืองในข้าว เช่น เชื้อราในสกุล *Penicillium* sp., *Fusarium* sp. และ *Chaetomium* sp. เป็นต้น

ในการปฏิบัติงานดังกล่าวข้างต้นนี้จะส่งผลให้บริษัทฯ สามารถนำข้อมูลเกี่ยวกับสาเหตุการเกิดข้าวเหลืองไปใช้ประกอบการดูแลรักษาข้าวเปลือก และข้าวขาวหอมมะลิของบริษัทฯ ได้

คำสำคัญ: ข้าวเปลือก, ข้าวขาว, ค่าความเป็นกรดด่าง, ปริมาณความชื้น, ความขาว, เปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ด, น้ำตาลรีดิวซิ่ง, เชื้อรา

บทคัดย่อ

(Abstract)

ในการทวนสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรในกระบวนการผลิตข้าวของโรงงานนี้ได้ทำการทวนสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักร 2 ชนิด คือ เครื่องแม่เหล็ก และเครื่อง UV โดยเริ่มจากการศึกษา และเก็บรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับเครื่องจักรชนิดต่างๆ ในกระบวนการผลิตข้าวของโรงงาน แล้วจึงกำหนดการวางแผนการทวนสอบต่อไป ซึ่งได้ทำการตรวจสอบการตรวจเช็คเครื่องจักรของพนักงานผู้ปฏิบัติหน้าที่ว่ามีการตรวจสอบจริงหรือไม่ และผลการตรวจสอบผ่านเกณฑ์ที่กำหนดไว้หรือไม่ รวมทั้งปฏิบัติการตรวจสอบเครื่องจักรดังกล่าวนี้ด้วยตนเอง และออกแบบแบบฟอร์มสำหรับใช้ในการตรวจเช็คประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรทั้ง 2 เครื่อง

การปฏิบัติงานทวนสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรนี้ส่งผลดีต่อบริษัทฯ โดยจัดเป็นการส่งเสริมระบบ HACCP & SQF 2000 ของบริษัทฯ ที่ต้องมีการวางแผน และควบคุมการเฝ้าระวังด้วยการทวนสอบระบบต่างๆ อยู่เสมอเพื่อให้ระบบยังคงอยู่ในมาตรฐานที่กำหนดไว้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อการทดลองหาสาเหตุการเกิดข้าวเหลือง	ข
บทคัดย่อการทวนสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักร	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูปภาพ	ฉ
บทที่ 1 : บทนำ	1
1.1) วัตถุประสงค์	1
1.2) ผลที่คาดว่าจะได้รับ	1
1.3) ขอบข่าย	1
1.4) ระยะเวลาดำเนินงาน	1
1.5) งบประมาณ	1
1.6) รายละเอียดเกี่ยวกับบริษัท เจียเม้ง จำกัด	1 - 2
บทที่ 2 : รายละเอียดของงานที่ปฏิบัติ	3 - 31
2.1 ทฤษฎี	3
2.2 การทดลอง	14
2.3 ผล และวิจารณ์ผลการทดลอง	19
บทที่ 3 : สรุปผลการปฏิบัติงาน	32
บทที่ 4 : ปัญหา และข้อเสนอแนะ	33
บรรณานุกรม	34
ภาคผนวก	35 - 47

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	องค์ประกอบทางเคมีในเมล็ดข้าว (กรัม/100 กรัมน้ำหนักแห้ง)	4
2	ปริมาณกรดอะมิโนในข้าวเปลือก และส่วนต่างๆ โดยคิดคำนวณจากการวิเคราะห์ตามวิธีการของเคลดอล (Kjeldahl method)	6
3	กระบวนการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของเมล็ดข้าวในระหว่างการเก็บรักษา	7
4	แสดงการตรวจติดตามการเปลี่ยนแปลงของตัวอย่างข้าวในการทดลอง	15
5	แสดงค่าเฉลี่ยของค่าความเป็นกรดด่างของตัวอย่างข้าวเปลือก และข้าวขาวหอมมะลิในทั้ง 2 สภาวะการทดลอง	19
6	แสดงค่าเฉลี่ยของปริมาณความชื้นของตัวอย่างข้าวเปลือก และข้าวขาวหอมมะลิในทั้ง 2 สภาวะการทดลอง	22
7	แสดงค่าเฉลี่ยด้านความขาวของตัวอย่างข้าวเปลือก และข้าวขาวหอมมะลิในทั้ง 2 สภาวะการทดลอง	24
8	แสดงค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดในตัวอย่างข้าวเปลือก และข้าวขาวหอมมะลิจากทั้ง 2 สภาวะการทดลอง	26
9	แสดงข้อมูลที่ได้จากการตรวจติดตามการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ของตัวอย่างข้าวทั้งข้าวเปลือก และข้าวขาวหอมมะลิในทั้ง 2 สภาวะ (ตาราง ANOVA)	36
10	แสดงข้อมูลที่ได้จากการตรวจติดตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้น (Moisture content) ของตัวอย่างข้าวทั้งข้าวเปลือก และข้าวขาวหอมมะลิในทั้ง 2 สภาวะ	37
11	แสดงข้อมูลที่ได้จากการตรวจติดตามการเปลี่ยนแปลงค่าความขาว (Whiteness) ของตัวอย่างข้าวทั้งข้าวเปลือก และข้าวขาวหอมมะลิในทั้ง 2 สภาวะ	38
12	แสดงข้อมูลที่ได้จากการตรวจติดตามการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ด (Whole rice kernel percent) ของตัวอย่างข้าวทั้งข้าวเปลือก และข้าวขาวหอมมะลิในทั้ง 2 สภาวะ	39
13	แสดงข้อมูลที่ได้จากการตรวจติดตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณเชื้อราของตัวอย่างข้าวทั้งข้าวเปลือก และข้าวขาวหอมมะลิในทั้ง 2 สภาวะ	40
14	แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้านค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ของตัวอย่างข้าวเปลือก และข้าวขาวหอมมะลิในทั้ง 2 สภาวะการทดลองด้วยตาราง ANOVA	41
15	แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้านปริมาณความชื้นของตัวอย่างข้าวเปลือก และข้าวขาวหอมมะลิในทั้ง 2 สภาวะการทดลองด้วยตาราง ANOVA	42
16	แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้านค่าความขาวของตัวอย่างข้าวเปลือก และข้าวขาวหอมมะลิในทั้ง 2 สภาวะการทดลองด้วยตาราง ANOVA	44
17	แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้านเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดของตัวอย่างข้าวเปลือก และข้าวขาวหอมมะลิในทั้ง 2 สภาวะการทดลองด้วยตาราง ANOVA	46

สารบัญรูปภาพ

ภาพ		หน้า
1	โครงสร้างของเมล็ดข้าวเจ้า	3
2	เม็ดสตาร์ชจากข้าว	5
3	ลักษณะโครงสร้างของเชื้อ *Aspergillus* sp. ที่มี conidiophore 1 และ 2 ชั้น	9
4	ลักษณะโครงสร้างทั่วไปของเชื้อรา *Penicillium* sp.	9
5	แสดงการเปรียบเทียบลักษณะข้าว	10
6	แสดงสูตรโครงสร้างทางเคมีของสารรงควัตถุในข้าว	13
	แผนภูมิแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ของตัวอย่างข้าวเปลือก และข้าวขาวหอมมะลิในทั้ง 2 สภาวะการทดลอง	21
8	แผนภูมิแสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในตัวอย่างข้าวเปลือก และข้าวขาวหอมมะลิทั้ง 2 สภาวะการทดลอง	23
9	แผนภูมิแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความขาวของตัวอย่างเมล็ดข้าวเปลือก และข้าวขาวจากทั้ง 2 สภาวะการทดลอง	25
10	แผนภูมิแสดงการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดของข้าวเปลือก และข้าวขาวหอมมะลิในทั้ง 2 สภาวะการทดลอง	27
11	ยีสต์ที่มีโคโลนีสีเหลืองเยิ้มที่ตรวจพบในตัวอย่างข้าว	28
12	แสดงลักษณะปรากฏภายนอกของเชื้อราที่พบในตัวอย่างข้าวเปลือก และข้าวขาวหอมมะลิ	28 - 31

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
บทนำ

เมื่อเก็บรักษาข้าวเปลือกไว้ระยะเวลาหนึ่ง แล้วนำมาผ่านกรรมวิธีการผลิตข้าวขาวหอมมะลิพบว่า มีข้าวขาวหอมมะลิบางส่วนที่เกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นข้าวเหลือง (Yellow kernel) และข้าวในส่วนนี้ไม่สามารถนำเข้ากระบวนการปรับปรุงคุณภาพเพื่อทำให้ได้ข้าวขาวได้ จากการศึกษาเอกสารต่างๆ จึงสามารถสรุปสาเหตุสำคัญๆ ที่ทำให้เกิดข้าวเหลืองได้คือ การเกิดสีน้ำตาลโดยปราศจากเอนไซม์ (non-enzymatic browning) รงควัตถุที่เป็นองค์ประกอบของเปลือกข้าวซึมแพร่ผ่านเข้าไปในเนื้อข้าว และเชื้อจุลินทรีย์สร้างสารพิษโดยเฉพาะพวกเชื้อราเช่น *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp. ซึ่งการเกิดข้าวเหลืองเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่จัดว่าเป็นอันตรายทางคุณภาพต่อกระบวนการผลิตข้าวหอมมะลิของโรงงาน ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการศึกษาหาสาเหตุที่ทำให้เกิดข้าวเหลืองให้ชัดเจน โดยการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของข้าวเปลือก และข้าวขาวทั้งทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ ทั้งนี้ก็เพื่อใช้ข้อมูลที่ได้จากการทดลองนี้เป็นแนวทางในการหาวิธีการป้องกัน และวิธีการแก้ไขปัญหาการเกิดข้าวเหลืองต่อไปในอนาคตได้

1.1 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาสาเหตุที่ทำให้เกิดข้าวเหลืองในข้าวหอมมะลิ (ข้าวเปลือก และข้าวขาวหอมมะลิ) ที่สภาวะการเก็บรักษาในกระบวนการผลิต

1.2 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.2.1) ทราบสาเหตุที่ก่อให้เกิดข้าวเหลืองในข้าวหอมมะลิทั้งข้าวเปลือก และข้าวขาว

1.2.2) ทราบแนวทางการป้องกัน และแก้ไขปัญหาข้าวเหลืองที่เกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาข้าว

1.3 ขอบข่าย

1.3.1) แผนกรับสินค้า

1.3.2) แผนกตรวจสอบ

1.4 ระยะเวลาดำเนินการ

24 ธันวาคม 2544 – 12 เมษายน 2545

1.5 งบประมาณ

5,000 บาท

1.6 รายละเอียดเกี่ยวกับบริษัท เจียเม้ง จำกัด

จุดเริ่มต้นของบริษัท เจียเม้ง จำกัด มาจากการก่อตั้งโรงสีข้าวที่บางซื่อในนามของ ห้างหุ้นส่วนจำกัดโรงสีไฟเจียเม้ง เมื่อปี พ.ศ. 2498 ห้างหุ้นส่วนจำกัด โรงสีไฟ เจียเม้ง ได้ทำการส่งออกข้าวหอมมะลิโดยใช้ชื่อ "GOLDEN PHOENIX" หรือในชื่อภาษาไทยว่า "ข้าวหงษ์ทอง" และเมื่อผลิตภัณฑ์ข้าวหงษ์ทองออกสู่ตลาดก็เป็นที่รู้จักและเป็นที่นิยมของผู้บริโภคอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ต้องทำการขยายกิจการ เพื่อให้มีกำลังการผลิตเพียงพอต่อความต้องการที่เพิ่มมากขึ้น และได้เปลี่ยนชื่อเป็น บริษัท บางซื่อโรงสีไฟ เจียเม้ง จำกัด ในปี พ.ศ. 2511 ทั้งยังได้จัดตั้งบริษัทในเครือมากถึง 4 แห่ง ซึ่งหนึ่งในนั้นคือ บริษัท เจียเม้ง จำกัด

บริษัท เจียเม้ง จำกัด เริ่มดำเนินกิจการมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2536 มีสำนักงานตั้งอยู่ที่ 119 หมู่ 8 ถนนมิตรภาพ-พิมาย ตำบลหนองงูเหลือม อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดนครราชสีมา มีคณะกรรมการบริหารบริษัท คือ คุณกวัลย์ มานะรักษ์

ญา เป็นประธานอำนวยการบริหารฝ่ายผลิต และคุณประพิศ มานะธัญญา เป็นกรรมการผู้จัดการ มีพนักงานจำนวน 362 คน ประกอบกิจการประเภทคัดและปรับปรุงคุณภาพผลิตผลทางการเกษตรเพื่อการส่งออก โดยเป็นผู้ผลิตข้าวหอมมะลิคุณภาพสูง ภายใต้เครื่องหมายการค้าตรา "หงษ์ทอง" เพื่อขายภายในประเทศ และส่งออกต่างประเทศ ประมาณปีละ 150,000 ตัน มูลค่า 2,500-3,000 ล้านบาท /ปี

นโยบายคุณภาพ

สรรหาวัตถุดิบที่มีคุณภาพดี นำมาผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพเป็นเลิศ เหนือมาตรฐานสากล มีความปลอดภัยตามสุขอนามัยต่อผู้บริโภค ด้วยราคายุติธรรม และบริการส่งมอบ ด้วยความถูกต้อง แม่นยำ เป็นที่ประทับใจของลูกค้า สร้างสรรบุคลากร พัฒนากระบวนการผลิต ด้วยเทคโนโลยีอันทันสมัย ปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม ในต้นทุนที่เหมาะสม พร้อมทั้งความมุ่งมั่นในการรักษาระบบ ให้ยั่งยืน โดยตรวจติดตาม ระบบคุณภาพ อย่างสม่ำเสมอ

ด้วยนโยบายคุณภาพของบริษัทฯ ทางระบบจึงนำระบบบริหารคุณภาพตามมาตรฐาน ISO 9002, HACCP, SQF 2000 มาใช้เป็นแนวทางในการปฏิบัติ เพื่อให้บรรลุจุดมุ่งหมายดังกล่าว ตั้งแต่ปลายปี พ.ศ.2541 เป็นต้นมา

ระบบคุณภาพมาตรฐาน ของบริษัทฯ

วันที่ 26 พฤษภาคม 2542 : ได้รับการรับรองระบบคุณภาพมาตรฐาน ISO 9002 จากบริษัท SGS Yarsley International Certification Services Limited ประเทศอังกฤษ

วันที่ 23 กรกฎาคม 2542 : ได้รับการรับรองระบบ HACCP และยังได้พัฒนามาสู่ระบบคุณภาพสูงสุด SQF 2000 ในเวลาต่อมา ซึ่งเป็นการยืนยันความมั่นใจทั้งด้านคุณภาพและความปลอดภัย ให้ผู้บริโภค อย่างแท้จริง

เป้าหมาย

- ผลิตสินค้าให้มีคุณภาพเป็นเลิศ ด้วยเทคโนโลยีที่ทันสมัย
- ให้มีการนำระบบคุณภาพที่จัดทำมาพัฒนา และปรับปรุงกระบวนการอย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพ
- ให้มีการบริการแก่ลูกค้าด้วยความประทับใจสูงสุด

วิสัยทัศน์

- เป็นโรงงานอุตสาหกรรมเกษตรที่ทันสมัยในศตวรรษที่ 21 มีระบบการจัดการด้านคุณภาพข้าวหอมมะลิที่มีคุณภาพสูงสุด และการบริการที่เป็นเลิศเป็นที่ยอมรับแก่ลูกค้าทั่วโลก
- ตั้งนโยบายชัดเจนในการพัฒนาองค์กรอย่างต่อเนื่อง เพื่อความยั่งยืนตลอดไป

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 2
รายละเอียดของงานที่ปฏิบัติ

2.1 ทฤษฎี

เมล็ดข้าว

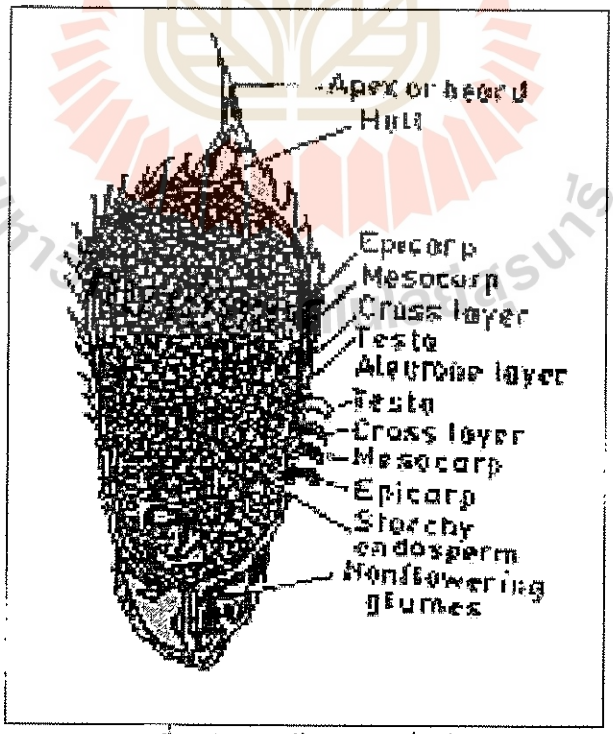
ข้าวเป็นพืชที่จัดอยู่ในตระกูล *Oryza sativa* L. ซึ่งเป็นอาหารหลักที่สำคัญของชาวเอเชีย เมล็ดข้าว หรือข้าวเปลือก (rough rice or paddy) เป็นส่วนผลของต้นข้าว สามารถจำแนกลักษณะเมล็ดข้าวออกเป็นลักษณะทางกายภาพ และทางเคมีโดยลักษณะทางกายภาพอาจจำแนกเป็นส่วนต่างๆ ได้ดังภาพที่ 1 ดังนี้

ก. **เปลือกนอก หรือแกลบ (hull)** เป็นส่วนที่หุ้มอยู่ภายนอก ช่วยป้องกันเมล็ดจากการทำลายภายนอก เนื่องจากมีการอัดตัวระหว่างเปลือก กับส่วนที่อยู่ภายใน

ข. **ส่วนที่บริโภคได้ หรือข้าวกล้อง (caryopsis, brown rice, dehulled rice, husked rice, or cargo rice)** แบ่งออกเป็นชั้นต่างๆ ดังนี้

1. **เยื่อหุ้มผล** (pericarp) เป็นส่วนผิวนอกของข้าวกล้องที่พัฒนามาจากผนังรังไข่ของดอกข้าว มีความหนาประมาณ 10 ไมครอน และมีท่ออาหารอยู่ทางด้านหลัง (dorsal) ของเมล็ด อาจมีสารสีอยู่ เช่น ข้าวแดง หรือข้าวเหนียวดำ

2. **เยื่อหุ้มเมล็ด** (seed coat or tegmen) เป็นเซลล์ชั้นเดียว หนาประมาณ 0.5 ไมครอน ส่วนนี้เป็นส่วนที่อุดมด้วยโปรตีน ไขมัน เซลลูโลส (cellulose) และเฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) สารสีที่เกิดกับข้าวกล้องจะอยู่ในส่วนเยื่อหุ้มเมล็ดเช่นกัน



ภาพที่ 1: โครงสร้างของเมล็ดข้าวเจ้า

ที่มา: Juliano, 1985

3. **ชั้นอลูโรน** (aleurone layer) ประกอบด้วยเซลล์ 1-7 ชั้น ข้าวเมล็ดสั้น และป้อมมักมีจำนวนชั้นของอลูโรน

จำนวนชั้นของอลูโรนมากกว่าด้านท้องของเมล็ด (ventral) ภายในเซลล์อลูโรนอุดมด้วยโปรตีน และไขมัน ผนังเซลล์ประกอบด้วยโปรตีน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส ดังนั้นเมื่อบริโภคข้าวกล้องจึงรู้สึกสากกระด้างกว่าข้าวสาร

4. คัพภะ (embryo) คัพภะของข้าวมีขนาดเล็กมาก อยู่ตรงปลายของเมล็ดด้านท้อง ส่วนนี้จะเจริญเป็นต้นอ่อนต่อไป ภายในคัพภะอุดมด้วยโปรตีน ไขมัน นอกจากนี้ในส่วนเยื่ออลูโรน และคัพภะยังอุดมไปด้วยไวตามิน เช่น B. (thiamine), B_2 (riboflavin) และไนอาซิน (niacin) ซึ่งไวตามินเหล่านี้จะถูกขัดออกไปเมื่อผ่านขบวนการสีข้าว และคงเหลืออยู่ในข้าวสารน้อยมาก

5. เอนโดสเปิร์ม (endosperms) คือ ส่วนที่เป็นข้าวสาร ในส่วนนี้มีแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก แป้งข้าวมีรูปร่างเป็นทรงผลึกหลายเหลี่ยม (poly gonal) ขนาด 2-10 ไมครอน อยู่รวมกันเป็นกลุ่มแป้ง (starch compound) กลุ่มแป้งหลายๆ กลุ่มจะอยู่รวมกันในเซลล์โดยมีกลุ่มโปรตีน (protein body) แทรกอยู่ กลุ่มโปรตีนเหล่านี้มีขนาด 1-4 ไมครอน และมีอยู่หนาแน่นตรงบริเวณผิวของเมล็ดข้าวสาร ภายในเมล็ดข้าวสารมีแป้งอยู่ประมาณ 84-93% โดยน้ำหนักแห้ง และมีโปรตีนประมาณ 5-14%

ส่วนลักษณะทางเคมีของเมล็ดข้าวนั้น โดยปกติเมล็ดข้าวที่สมบูรณ์จะประกอบด้วยองค์ประกอบทางเคมีหลักคือ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน แร่ธาตุ และน้ำ ส่วนองค์ประกอบอื่นๆ ได้แก่ ไวตามิน เอนไซม์ และสารอื่นๆ โดยองค์ประกอบทางเคมีเหล่านี้จัดเป็นสารที่ให้คุณค่าทางอาหารแก่มนุษย์

ตารางที่ 1: องค์ประกอบทางเคมีในเมล็ดข้าว (กรัม/100 กรัมน้ำหนักแห้ง)

เมล็ดข้าว	โปรตีน	ไขมัน	เส้นใย	แร่ธาตุ	คาร์โบไฮเดรต
ข้าวเปลือก	9.1	2.2	10.2	7.2	71.2
ข้าวกล้อง	11.0	2.7	1.2	1.8	83.2
ข้าวสาร	9.8	0.5	0.3	0.6	88.9

ที่มา: ดัดแปลงจาก Kent, 1983

ซึ่งเกี่ยวข้องกับคุณภาพเมล็ด และการนำเมล็ดไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง สตาร์ช ที่มีองค์ประกอบเป็นอะไมโลส และอะไมโลเพกตินในสัดส่วนต่างๆ กัน โปรตีน ไขมันที่อยู่เป็นกลุ่มไขมัน (lipid bodies) หรือพยดกลม (spherosomes) โดยอยู่ร่วมกับเม็ดสตาร์ช และโปรตีนในชั้นอลูโรน และคัพภะจะมีผลในการเสื่อมเสียขณะเก็บรักษาเมล็ด รวมทั้งเมล็ดที่แปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ

<u>สตาร์ช</u>

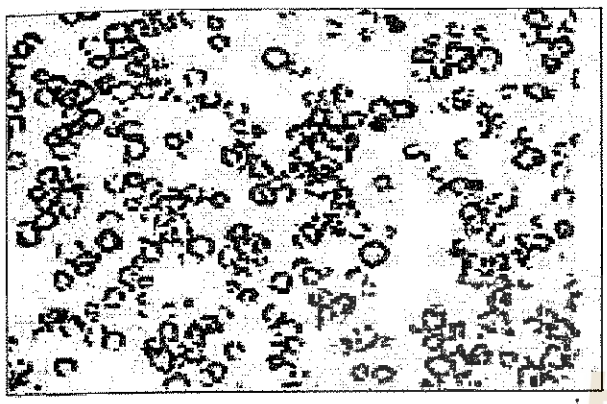
แหล่งเกิดของสตาร์ชจะอยู่ในเม็ดสตาร์ชซึ่งมีลักษณะเป็นเม็ดห้าเหลี่ยมขนาด 3-9 ไมโครเมตรรวมกันอยู่เป็นกลุ่มภายในอะไมโลพลาสท์ (amyloplast) ที่มีลักษณะกลม หรือรี มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 7 ถึง 39 ไมโครเมตร โดยภายในแต่ละอะไมโลพลาสท์จะมีเม็ดสตาร์ชเกาะรวมกันอยู่ประมาณ 20-60 เม็ด และระหว่างเม็ดสตาร์ชจะมีกลุ่มโปรตีนแทรกอยู่เห็นเป็นร่องบนเม็ดสตาร์ชดังภาพที่ 2

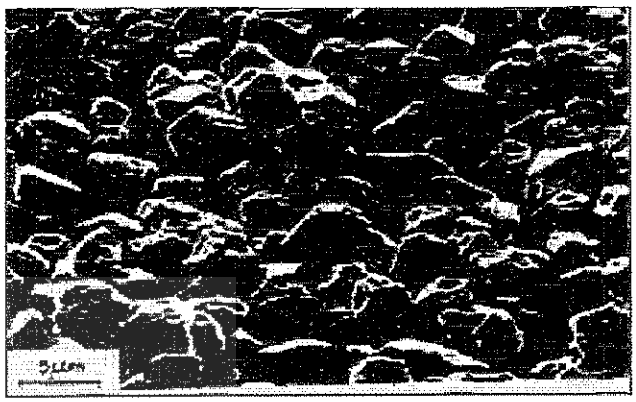
<u>โพลีแซ็คคาไรด์ที่ไม่ใช่สตาร์ช</u>

พบมากในเปลือกหุ้มผล และเปลือกหุ้มเมล็ด มากกว่าในเนื้อ และคัพภะของเมล็ด ซึ่งเป็นโพลีแซ็คคาไรด์ที่วิเคราะห์ได้ในรูปเส้นใยอาหาร (dietary fiber) ประกอบด้วยเฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส สารเพกติน ลิกนิน และโปรตีนที่ติดอยู่

น้ำตาลอิสระ

น้ำตาลอิสระที่พบมากในส่วนคัพภะ และเนื้อเมล็ดของข้าวคือ ซูโครส นอกจากนั้นเป็นแรฟฟิโนส กลูโคส และฟรักโทส โดยพบว่าน้ำตาลทั้งหมดในคัพภะมีประมาณ 8-25% ในรำมีประมาณ 6.5% และในข้าวสารมีประมาณ 0.52% น้ำตาลไม่รีดิวซ์ที่สำคัญคือ ซูโครส และน้ำตาลรีดิวซ์ที่พบมากคือ กลูโคส และฟรักโทส นอกจากนี้ยังพบน้ำตาลเมลิไบโอส (melibiose) กลูโคไดฟรักโทส มอลโทไตรโอส และน้ำตาลมอลโทโอลิโกแซ็คคาไรด์อื่นๆ อีกในเมล็ดข้าวที่กำลังงอก





ภาพที่ 2: เม็ดสตาร์ชจากข้าว

ที่มา: Juliano, 1985

โปรตีน

เป็นสารอาหารที่มีในข้าวมากเป็นอันดับสองรองจากคาร์โบไฮเดรตโดยคิดคำนวณจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีของเคลดอล (Kjeldahl method) ดังแสดงในตารางที่ 2

ซึ่งปรากฏว่า ปริมาณกรดอะมิโนแต่ละชนิดในโปรตีนจากขาวเปลือกไม่ต่างจากข้าวกล้อง และข้าวสารมากนัก เนื่องจากในส่วนแป้งเปลือกมีโปรตีนอยู่น้อยมาก (2-3%) แต่อย่างไรก็ตามในเปลือกมีปริมาณกรดอะมิโนไลซีนอยู่มากกว่าส่วนอื่นๆ และในข้าวกล้องจะมีไลซีนมากกว่าในข้าวสารเล็กน้อย ซึ่งไลซีนนี้จัดว่าเป็นกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายที่มีไม่เพียงพอเป็นอันดับแรกของโปรตีนจากข้าว และธัญชาติอื่นๆ และปริมาณไลซีนนี้จะมีในรำ และคัพภะมากกว่าในส่วนเนื้อเมล็ดแต่ถ้าคิดโดยปริมาณรวมของโปรตีนทั้งหมดแล้ว จะได้รับโปรตีนจากเนื้อเมล็ดมาก เนื่องจากสัดส่วนของเมล็ดมีมากกว่าส่วนอื่นๆ และแหล่งที่มีโปรตีนมากอีกส่วนคือ ชั้นถัดจากชั้นอลูโรน และชั้นอลูโรน โดยสะสมอยู่เป็นกลุ่มโปรตีน (protein bodies)

ไขมัน

ไขมันที่พบในเมล็ดข้าวจะอยู่ในลักษณะเป็นหยดกลม (lipid droplets) แทรกอยู่ในชั้นอลูโรนขนาดเล็กกว่า 1.5 ไมโครเมตร อยู่ในชั้นถัดจากอลูโรนมีขนาดเล็กกว่า 1 ไมโครเมตร และอยู่ในส่วนคัพภะขนาดเล็กกว่า 0.7 ไมโครเมตร สำหรับในส่วนเนื้อเมล็ดจะอยู่ร่วมกับกลุ่มโปรตีน และในเม็ดสตาร์ชจะมีไขมันชนิดที่มีโครงสร้างร่วมกับสารอื่น (bound lipids)

การเปลี่ยนแปลงของข้าวในระหว่างการเก็บรักษา

การเก็บรักษาข้าว

เนื่องจากประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตภูมิอากาศแบบร้อนชื้น อุณหภูมิของอากาศเฉลี่ยทั้งปีประมาณ 30°C และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเฉลี่ยทั้งปีประมาณ 70% หรือสูงกว่า ซึ่งเป็นระดับที่ก่อให้เกิดความเสียหายกับข้าวขณะเก็บรักษาได้ นอกจากนี้อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ระดับนี้ยังเหมาะสมต่อการเจริญเติบโต และแพร่ระบาดของแมลงศัตรู จุลินทรีย์ และสัตว์

สัตรูอื่นๆ ทำให้ข้าวที่เก็บเกิดความเสียหายขึ้นได้ ดังนั้นในการเก็บรักษาข้าวจึงต้องมีเป้าหมายหลักคือ ต้องมีการสูญเสียของข้าวในขณะเก็บรักษาน้อยที่สุด โดยต้องเก็บรักษาข้าวไว้ในสภาพ หรือโรงเก็บที่มีความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิของอากาศต่ำ (แห้ง และเย็น) เมื่อเก็บเกี่ยวเมล็ดได้แล้ว จำเป็นต้องเก็บรักษาไว้เช่นเดียวกับเมื่อแปรรูปข้าวเปลือกเป็นข้าวกล้อง และข้าวสารนั้น ก็ต้องมีการเก็บเพื่อรอจำหน่ายเช่นกัน ในขณะเก็บรักษานี้จะมีการเปลี่ยนแปลงภายในองค์ประกอบของเมล็ดข้าว ซึ่งมีผลสำคัญต่อคุณภาพในการขัดสี คุณภาพของข้าวกล้อง และข้าวสารในการหุงต้ม และในการบริโภค เนื่องจากลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวดิบ และข้าวสุกเปลี่ยนแปลงขณะเก็บรักษา ซึ่งภายในเมล็ดข้าวจะเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้น โดยเฉพาะในระยะเวลา 3-4 เดือนหลังการเก็บเกี่ยว เอนโดสเปิร์มจะแกร่งขึ้นทำให้คุณภาพการสีดีขึ้น หากเมล็ดไม่ถูกแมลงทำลายในระหว่างการเก็บ การเปลี่ยนแปลงในเมล็ดข้าวเกิดขึ้นจากขบวนการที่เกี่ยวข้อง 3 องค์ประกอบคือ แป้ง ไขมัน และโปรตีนดังแสดงในตารางที่ 3 ในระหว่างการเก็บรักษานี้เมล็ดข้าวจะเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้น ซึ่งมีทั้งการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์

ตารางที่ 2: ปริมาณเกรดอะมิโนในข้าวเปลือก และส่วนต่างๆ โดยคิดคำนวณจากการวิเคราะห์ตามวิธีการของเคลดอล (Kjeldahl method)

กรดอะมิโน	ข้าวเปลือก	ส่วนที่แยกได้					
		ข้าวกล้อง	ข้าวสาร	เปลือก	รำ	ทัพภะ	รำละเอียด
อะลานีน	4.6-6.7	5.8	5.6-5.8	6.4-7.4	6.2-6.7	6.6-7.2	6.2
อาร์จินีน	7.2-10.0	8.5-10.5	8.6-8.7	4.2-4.9	8.2-8.7	9.7-10.4	8.5
กรดแอสพาร์ติก	7.2-11.0	9.0	9.1-9.6	9.0-10.9	9.5-10.5	9.1-10.6	9.2
ซีสทีน	1.2-3.0	2.2-2.4	1.8-2.6	1.9-2.1	2.4-2.7	2.6-2.8	2.6
กรดกลูทามิก	15.4-20.5	16.9	18.3-18.5	10.9-13.8	13.9-14.3	15.1-17.3	15.3
ไกลซีน	4.1-5.7	4.7	4.5-4.8	5.7-6.3	5.5-5.9	6.0-6.6	5.3
ฮีสทิดีน	1.6-2.9	2.4	2.3-2.7	1.7	2.8-3.5	3.4-3.8	2.7
ไอโซลิวซีน	3.2-5.0	3.6	3.7-4.8	3.4-4.2	2.8-4.3	3.2-3.8	2.8
ลิวซีน	7.2-9.2	8.3	8.4-8.6	8.4	7.2-8.0	6.9-7.0	6.9
ไลซีน	3.4-4.9	3.9	3.4-4.2	4.0-5.7	5.0-5.7	6.2-7.4	4.4
เมทิโอนีน	1.6-3.6	2.3	2.3-3.0	1.6	1.8-2.4	1.4-1.9	2.3
เฟนีลอะลานีน	3.3-6.1	5.0	5.3-5.5	4.6-5.4	4.7-5.0	4.0-4.5	4.4
โพรลีน	3.9-6.3	4.8	4.6-5.1	6.8-10.8	4.4-5.8	4.3-5.4	4.7
เซอรีน	4.2-6.0	4.8-5.8	5.3-5.9	4.8-5.7	4.9-5.7	4.8-5.4	4.7
ทริโอนีน	3.2-4.7	3.9-4.0	3.7-3.9	4.4-5.3	4.0-4.4	4.2-4.5	3.7
ทริปโตแฟน	1.3-2.1	1.3-1.5	1.3	0.6	0.6	1.0-1.4	1.3
ไทโรซีน	4.0-5.7	3.8-4.6	4.4-5.5	2.3	3.3-3.6	3.3-3.7	3.6
วาลีน	4.8-7.4	5.0-6.6	4.9-6.8	5.8-7.9	5.1-6.3	5.1-6.3	4.6
แอมโมเนีย	1.4-6.8	2.8	3.0-7.0	2.6-8.5	1.8-7.2	1.8-9.7	2.1
สัดส่วน							
Alb : Glo : Pro :Glu		6:10:3:81	5:9:3:83	5:1:1:93	37:36:5:22	24:14:8:54	30:14:5:51

ที่มา : Juliano, 1985

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 3: กระบวนการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของเมล็ดข้าวในระหว่างการเก็บรักษา

องค์ประกอบ	การเปลี่ยนแปลง	ผลต่อการหุงต้ม	ผลต่อข้าวสุก
แป้ง	เพิ่มแรงเกาะกันระหว่าง micelle	ยับยั้งการพองตัวของผนึกแป้ง	เนื้อสัมผัสข้าวสุก
สารประกอบ กรดไขมัน – อะไมโลส			
เอนไซม์ย่อยไขมัน	กรดไขมันอิสระ		
ปฏิกิริยาเติมออกซิเจน	Hydroperoxide	เพิ่มปริมาณสารระเหย	
สารประกอบคาร์บอนิล		คาร์บอนิล	กลิ่น
ปฏิกิริยาเติมออกซิเจน			
โปรตีน	SH	S-S	ลดปริมาณสารระเหยซัลเฟอร์
		ยับยั้งการพองตัวของผลึกแป้ง	เนื้อสัมผัสข้าวสุก
ปฏิกิริยาระหว่างโปรตีน			สีข้าวสุก

ที่มา : Juliano, 1985

การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ

มีส่วนกระทบกระเทือนต่อคุณสมบัติการหุงต้ม และข้าวสุกของเมล็ดกล่าวคือ ข้าวสุกจะแข็ง และร่วนมากขึ้น หรือเหนียวเกาะติดกันน้อยลง และมีผลให้ข้าวสุกขยายปริมาตรรวม (bulk volume) ได้มากขึ้น หรือขึ้นหม้อดีขึ้น ทั้งนี้เมล็ดข้าวจะดูดน้ำได้มากขึ้นโดยไม่แตกตัว น้ำข้าวจะใสขึ้น เมล็ดข้าวอาจต้องใช้เวลาต้มให้สุกนานขึ้นเล็กน้อย และสีของข้าวจะคล้ำขึ้น ลักษณะความคงตัวของเจลจะมีมากขึ้น และความหนืดข้นจากการวัดด้วยเครื่องอะไมโลกราฟจะเพิ่มขึ้น

การเปลี่ยนแปลงทางเคมี

การเปลี่ยนแปลงทางเคมีขององค์ประกอบข้าวขณะเก็บรักษาจะไม่เห็นชัดจากผลการวิเคราะห์โดยส่วนรวม กล่าวคือ ปริมาณสตาร์ช อะไมโลส และโปรตีนจะใกล้เคียงกับข้าวใหม่ แต่อาจเกิดกระบวนการย่อยสลายด้วยน้ำทำให้มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มากขึ้น ในขณะที่ปริมาณน้ำตาลไม่รีดิวซ์ และสตาร์ชลดลง นอกจากนี้ยังมีผลให้กรดอะมิโนอิสระลดลง แต่ปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น และกรดฟีนอลิกอิสระเพิ่มขึ้นมีผลทำให้มีความเป็นกรดในน้ำที่ใช้หุงมากขึ้น ไขมันในส่วนที่ไม่ใช่มาจากสตาร์ชจะมีผลให้ค่าเพอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้น และปริมาณกลุ่มคาร์บอนิล และค่าไอโอดีนลดลงจากการเก็บรักษานานขึ้น ในขณะเก็บรักษาข้าวสารนี้จะมีผลให้กลิ่นของข้าวสุกเปลี่ยนแปลง เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวในกระบวนการออกซิเดชันทำให้เกิดสารประกอบคาร์บอนิลหลายชนิดมากขึ้น เช่น แอซีแตลดีไฮด์ โปรพานแนล หรือแอซีโตน 2-บิวทานโนน เพนทานแนล และเฮกซานแนล ในขณะที่ปริมาณกรดไลโนเลอิก และกรดลิโนเลนิกลดลง นอกจากนี้ข้าวสารที่เก็บไว้นานจะมีสีน้ำตาลเกิดขึ้น ยิ่งเก็บไว้ในที่อุณหภูมิสูง (> 25 องศาเซลเซียส) ความชื้นสูง (> 14%) และขัดสีน้อยสีจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลได้ง่ายขึ้น ปริมาณโปรตีนที่ละลายได้ในน้ำ และน้ำเกลือจะลดลงในขณะเก็บรักษา ในขณะเดียวกันปริมาณเอนไซม์ใน

ข้าวที่เก็บไว้นานก็จะลดลง และมีผลให้ไวตามินบี โดยเฉพาะไทอะมีนสูญเสียมากกว่าไนอะซิน และไรโบฟลาวิน ซึ่งสามาร
สรุปการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของข้าวขณะเก็บรักษาได้ดังตารางที่ 3

สีของข้าวจะคล้ำขึ้นจากปฏิกิริยาการเติมออกซิเจน (Oxidation reaction) ในไขมันทำให้เกิดไขมันอิสระ และสา
carbonyl เพิ่มขึ้นทำให้เกิดกลิ่นสาบในข้าวเก่า การเกิดเมล็ดเหลืองในข้าวเก่า สืบเนื่องจากปฏิกิริยาร่วมกันระหว่างเชื้อจุลินทรี
หรือเคมีในข้าวเปลือกที่ได้รับความชื้น และความร้อนสูงก่อนที่จะทำการลดความชื้น

การเปลี่ยนแปลงทางจุลินทรีย์

ปัญหาของข้าวในระยะการเก็บรักษาส่วนใหญ่จะมีสาเหตุมาจากเชื้อรา เพราะเชื้อราสามารถเจริญเติบโตได้ที่ระดั
ความชื้นไม่สูงมากนัก เชื้อราที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของข้าวในระหว่างการเก็บรักษาแบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ

1.) เชื้อราที่ติดมาจากไร่ (Field Fungi) เชื้อราเหล่านี้จะสร้างเส้นใยฝังตัว และฟักตัวอยู่ในเมล็ด และ
บนเมล็ดข้าว โดยจะเจริญ และทำลายเมล็ดพันธุ์ได้ก็ต่อเมื่อเมล็ดได้รับความชื้นสูงมากกว่า 14%

2.) เชื้อราในโรงเก็บ (Storage Fungi) เชื้อรานี้สามารถพบได้ทั่วไปในอากาศไม่ว่าจะเป็นในรูปของสปอ
หรือเส้นใย เชื้อราจำพวกนี้ได้แก่ *Aspergillus* sp. และ *Penicillium* sp. จะเจริญเติบโตได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 20-40 องศาเซลเซีย
และความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 90%

เชื้อราเหล่านี้สามารถอาศัยอยู่ได้ในเมล็ดเป็นระยะเวลานานๆ นอกจากนี้ในไซโลใหญ่ๆ แล้วจะพบว่า แหล่งสะสมเชื้
ราในโรงเก็บที่สำคัญคือ สายพานที่ใช้ปล่อยเมล็ดไปเก็บในตัวไซโล

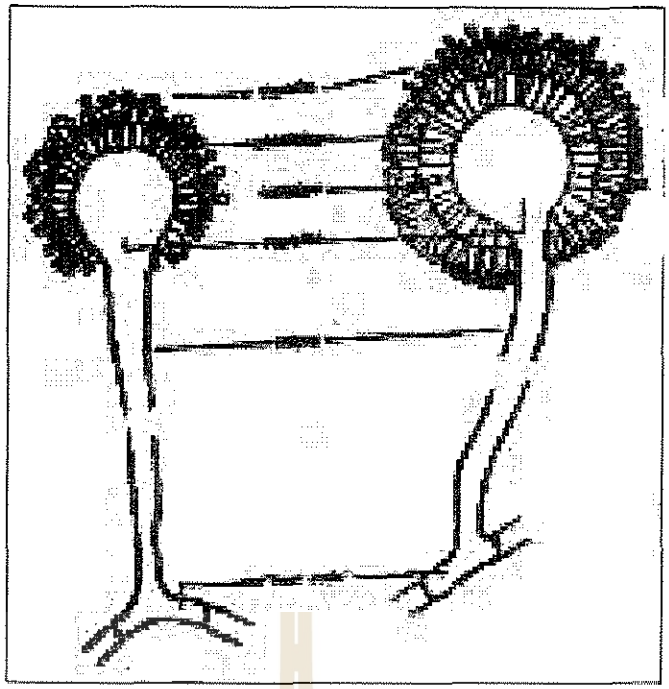
<u>สภาพที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อราในโรงเก็บ</u>

1. ความชื้นของเมล็ดที่จะเก็บ
2. อุณหภูมิ
3. ระยะเวลาที่เก็บเมล็ดไว้
4. สภาวะการเก็บรักษา
5. สิ่งปลอมปนอื่นๆ เช่น หิน กรวด เศษวัชพืช-ศัตรูพืช เป็นต้น
6. การเข้าทำลายของศัตรูเมล็ดข้าว

<u>เชื้อราในโรงเก็บที่พบมากในเมล็ดข้าว</u> มี 2 ชนิด คือ

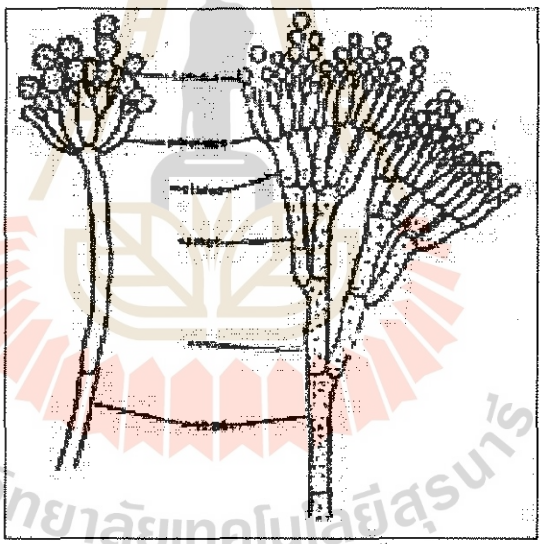
1.) *Aspergillus* sp. เชื้อรานี้นอกจากจะทำให้คุณภาพของเมล็ดต่ำลงแล้ว บางชนิดยังสามารถสร้างส
พิษได้ด้วย ที่รู้จักกันแพร่หลายในประเทศไทยเรา ได้แก่ สารพิษอะฟลาทอกซิน (Aflaoxins) สารพิษนี้สามารถทำให้เกิดโ
มะเร็งในตับแก่คน และสัตว์ได้ อาหารที่ใช้ในการเลี้ยงเชื้อราชนิดนี้คือ Czapek's solution agar อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจ
เติบโตคือ 23-26 องศาเซลเซียส แต่มีบางชนิดสามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิ 15-50 องศาเซลเซียส แสดงโครงสร้างเชื้อราชนิดนี้
ดังภาพที่ 3

2.) *Penicillium* sp. พบได้ทั่วไปในอากาศ ดิน เศษซากพืช-ไม้ หนังสือ เป็นต้น เชื้อราชนิดนี้มีทั้ง
และโทษแก่มนุษย์ ได้แก่ สามารถสร้างสารพิษได้หลายชนิดที่รู้จักกันมาก ได้แก่ ซิตรินิน แต่ประโยชน์ที่ได้จากเชื้อราชนิดนี้
มากเช่นกัน เช่น นำมาสกัดเป็นยารักษาโรคที่รู้จักกันทั่วไปได้แก่ ยาปฏิชีวนะ คือเพนนิซิลิน และใช้ในอุตสาหกรรมการทำ
เนย อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตคือ 25 องศาเซลเซียส แต่บางชนิดสามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิ 5-37 องศาเซลเซีย
อาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้เลี้ยงเชื้อราชนิดนี้ คือ Malt extract agar แสดงโครงสร้างเชื้อราชนิดนี้ได้ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 3: ลักษณะโครงสร้างของเชื้อ *Aspergillus* sp. ที่มี conidiophore 1 และ 2 ชั้น

ที่มา: โรคเมล็ดพันธุ์ และเชื้อราในโรงเก็บ, 2538



ภาพที่ 4: ลักษณะโครงสร้างทั่วไปของเชื้อรา *Penicillium* sp.

ที่มา: โรคเมล็ดพันธุ์ และเชื้อราในโรงเก็บ, 2538

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เชื้อราสร้างสารพิษที่พบในข้าว

1.) *Aspergillus* sp. จะผลิตสารพิษ Aflatoxin B1, B2, G1, G2 ซึ่งเกิดจากเชื้อ *Aspergillus flavus* สารพิษนี้มีคุณสมบัติเป็นสารก่อมะเร็ง (carcinogen) ในตับคน และสัตว์ ส่วนเชื้อ *Aspergillus ochraceus* จะผลิตสารพิษ Ochratoxin ซึ่งพบในผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นสูงกว่า 16% สารนี้จะมีผลต่อตับ และไต ทำให้มีปริมาณไขมันในตับ และเกิดการบวมของเซลล์ตับ ส่วนในไตมีผลทำให้เกิดการตายของเนื้อเยื่อ หรือกลุ่มเซลล์ของท่อไต

2.) *Penicillium* sp. สารพิษ Yellow rice toxin พบได้บนเมล็ดข้าว ราที่เจริญมักสร้างสารพิษ และรงควัตถุที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดสีเหลืองในข้าว เชื้อราในสกุลที่สร้างสารพิษนี้ได้แก่ *P. toxicarium*, *P. islandicum*, *P. rugulosum*, *P. [illegible]* และ *P. [illegible]* ซึ่งสารพิษในกลุ่มนี้ที่สำคัญแต่ละ [illegible] ที่ผลิตโดยเชื้อ *P. [illegible]* และดีดหลายสกุล

นอกจากนี้ยังพบว่าผลเสียที่เกิดจากจุลินทรีย์ยังทำให้เกิดความสูญเสียกับเอนโดสเปิร์ม โดยส่วนนี้ในเมล็ดข้าวเป็นส่วนที่ถูกเชื้อจุลินทรีย์เข้าทำลายมากที่สุด และเมื่อเอนโดสเปิร์มซึ่งเป็นส่วนที่มีความสมบูรณ์ของสารอาหารมากที่สุดถูกทำลายจะส่งผลให้เมล็ดสูญเสียความสามารถในการงอก

สาเหตุการเกิดข้าวเหลือง

อาจเนื่องมาจากสาเหตุดังต่อไปนี้

1. เชื้อจุลินทรีย์

จุลินทรีย์สำคัญที่ก่อให้เกิดปัญหาข้าวเหลืองในระหว่างการเก็บรักษาได้แก่ *Aspergillus* sp. และ *Penicillium* sp. โดยเชื้อรา *Aspergillus* sp. จะทำให้เกิดข้าวเหลืองได้โดยทางอ้อมเนื่องจากขบวนการเมทาบอลิซึมในกิจกรรมของจุลินทรีย์กลุ่มนี้ ส่วนเชื้อ *Penicillium* sp. จะทำให้เกิดข้าวเหลืองได้โดยการสร้างรงควัตถุ และสารพิษ (yellow rice toxin)

เชื้อรามักจะเจริญในเมล็ดข้าวที่เก็บไว้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้าวที่ผ่านการขัดสี การเจริญของราพร้อมกับการสร้างรงควัตถุเป็นสาเหตุที่ทำให้ผิวของเนื้อเมล็ดข้าว (rice kernel) ปรากฏเป็นสีเหลือง

ส่วนความร้อนที่เกิดขึ้นจากขบวนการหายใจของเมล็ดข้าว และความร้อนที่เกิดจากกิจกรรมของเชื้อจุลินทรีย์เช่น การเจริญเติบโต จะส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแป้งในเมล็ดข้าวขึ้นได้ และทำให้เกิดลักษณะข้าวเหลือง (yellow kernel) ดังภาพที่ 5 หรือสีอื่นๆ ทั้งนี้จะเกิดสีใดขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อราที่เข้าทำลาย ซึ่งลักษณะเช่นนี้ทำให้ข้าวไม่เป็นที่ต้องการของตลาด จัดเป็นข้าวคุณภาพต่ำ

ก) ข้าวปกติ ข) ข้าวเหลืองที่เกิดจากการทำลายของจุลินทรีย์

ภาพที่ 5: แสดงการเปรียบเทียบลักษณะข้าว

ที่มา: เอกสาร QMR\R120\RE19 ของบริษัท เจียเม้ง จำกัด, 2544

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของเชื้อรา

1.) ความชื้นของข้าว ถ้าระดับความชื้นสูงกว่า 18% จะเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของราต่างๆ

2.) อุณหภูมิ อุณหภูมิของอากาศระหว่าง 20-40 องศาเซลเซียส จัดเป็นระดับอุณหภูมิที่เอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโตของเชื้อราส่วนใหญ่ เมล็ดที่เกิดความร้อนสูงขึ้นในกอง บางครั้งพบว่า มีอุณหภูมิสูงถึง 50-62 องศาเซลเซียส อุณหภูมินี้จะทำให้เกิดการถ่ายเทความชื้นไปยังส่วนที่เย็นกว่า จึงทำให้เกิดการเจริญเติบโตของเชื้อราขึ้น และทำให้เกิดจุดร้อนขึ้นภายในกองเมล็ด การเกิดความร้อนขึ้นภายในกองนี้จะพบได้เนื่องจากขบวนการทางเคมีที่เกิดขึ้น

3.) ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ เชื้อราส่วนใหญ่จะเจริญเติบโตได้ดีในที่ที่มีความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศไม่ต่ำกว่า 75%

4.) สภาพของข้าวที่จะเก็บ ข้าวที่นำมาเก็บถ้ามีสภาพไม่สมบูรณ์ มีความเสียหายเช่น แตก หักฯลฯ จากการผ่านขั้นตอนการแปรรูปต่างๆ เช่น การนวด การลดความชื้น เป็นต้น ก็จะทำให้ง่ายต่อการเข้าทำลายของเชื้อราต่างๆ

5.) การแพร่ระบาดของแมลงศัตรูโรงเก็บ ถ้าในโรงเก็บมีการแพร่ระบาดของแมลงศัตรูโรงเก็บมากก็จะมีความเสียหายจากเชื้อราต่างๆ ตามมา เนื่องจากแมลงศัตรูจะขับถ่ายของเสียออกมาทำให้ความชื้นของข้าวเพิ่มขึ้นรวมทั้งความร้อนสะสมที่เกิดจากกิจกรรมของแมลง ซึ่งสภาพร้อนชื้นเช่นนี้จะชักนำให้เชื้อจุลินทรีย์ที่มีอยู่เจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว

2. ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลโดยปราศจากเอนไซม์ (Non-enzymatic Browning)

ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลโดยปราศจากเอนไซม์นี้เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดข้าวเหลืองในระหว่างการเก็บรักษาได้ ซึ่งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ทำให้เกิดข้าวเหลืองได้นี้คือ ปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard Browning Reaction) เนื่องจากในระหว่างการเก็บรักษาข้าว ปริมาณ reducing sugar (maltose) ต้องมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น ส่วนพวก non-reducing sugar จะลดต่ำลง ทั้งนี้มีสาเหตุมาจากขบวนการทางชีวเคมีของเมล็ดข้าวที่ทำให้คาร์โบไฮเดรตเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เช่น ขบวนการหายใจ ดังสมการเคมี

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 673\ Kcal\ (heat)$$

แต่ถ้า reducing sugar กลับมีปริมาณลดต่ำลงในระหว่างการเก็บรักษาข้าวอาจมีสาเหตุมาจากการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบเมลลาร์ดในข้าวได้ ซึ่งปฏิกิริยาดังกล่าวนี้เกิดจากการทำปฏิกิริยากันระหว่างคาร์โบไฮเดรต (reducing sugar) กับโปรตีน (amino acid) ในเมล็ดข้าว และผลจากการเกิดปฏิกิริยาจึงทำให้ได้สารสีน้ำตาลเกิดขึ้น ส่งผลให้เกิดลักษณะข้าวเหลือง (yellow kernel) ในเมล็ดข้าวได้

การเกิดข้าวเหลืองขึ้นด้วยสาเหตุนี้จะทำให้คุณค่าทางโภชนาการของข้าวลดลงเพราะกรดอะมิโน (โดยเฉพาะ lysine) และคาร์โบไฮเดรต (โดยเฉพาะพวก reducing sugar) จะถูกใช้เป็นสารตั้งต้น (Substrate) ในการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบเมลลาร์ด ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบเมลลาร์ดเป็นปฏิกิริยาที่เกิดจากหลายปฏิกิริยาร่วมกัน ดังนี้

- การเกิดสารไกลโคซิลเอมีน
- การเรียงตัวอะมาดอริ
- การเกิดเมลานอยดิน
- สเตรคเกอร์ดีเกรดเดชัน

<u>ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด</u>

1.) ความเป็นกรดด่าง (pH)	สภาวะที่เป็นด่างจะเกิดปฏิกิริยาได้ดี
2.) ความชื้น (Moisture)	ความชื้นต่ำ หรือสูง ปฏิกิริยานี้ก็สามารถเกิดขึ้นได้ แต่ความชื้นต่ำจะเกิดดีที่สุด
3.) โลหะ (Metal)	Copper และ iron เป็นโลหะที่เร่งการเกิดปฏิกิริยา
4.) ชนิดของน้ำตาล	reducing sugar เป็นน้ำตาลที่เป็นสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยาโดยเฉพาะแบบโครงสร้างเปิดจะเกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่า
5.) ชนิดของกรดอะมิโน	basic amino acid เช่น lysine เป็นสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่าพวก acidic amino acid

<u>การป้องกัน และแก้ไขการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด</u>

1.) ลดความเป็นกรดด่าง (pH)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.) กำจัดสารตั้งต้นเช่น น้ำตาล

4.) ใช้ sulfur dioxide/ sulfite มาฟอกสีน้ำตาล

3. รงควัตถุ (pigment) ในเปลือกข้าว

ในข้าว (rice) จะมีสารรงควัตถุอยู่ในส่วนต่างๆ ของข้าว ได้แก่ pericarp, lemma, pula, outer glume, ligule และ pulvinus เป็นต้น โดยปกติแล้วสารรงควัตถุที่พบในข้าว (*Oryza sativa* L.) มีหลายชนิด แต่สารสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีเหลืองในข้าวคือ สารรงควัตถุแอนโธไซยานิน (Anthocyanins) ซึ่งสารรงควัตถุชนิดนี้ที่พบในข้าวประกอบด้วยสาร 4 ตัว คือ Cyanidin 3-glucoside, Cyanidin 3-rhamnoside, Cyanidin 3,5-diglucoside และ Malvidin 3-galactoside แต่แอนโธไซยานินที่พบในเมล็ดข้าว (seed) มีเพียง 3 ตัวเท่านั้นคือ Cyanidin 3-glucoside, Cyanidin 3-rhamnoside และ Malvidin 3-galactoside

แอนโธไซยานินจัดเป็นรงควัตถุในกลุ่มฟลาโวนอยด์ตัวหนึ่งเป็นเม็ดสีที่ละลายน้ำให้สีแดง ม่วง ฟ้า เป็นกลัยโคไซด์ของแอนโธไซยานิดิน

และเนื่องจากยังไม่ค่อยมีการศึกษาเกี่ยวกับสารรงควัตถุในเปลือกข้าวกันแพร่หลายนัก จึงเป็นการยากที่จะระบุชนิดที่แน่นอนได้แต่หากสังเกตจากการนำเปลือกข้าวไปแช่น้ำจะพบว่า น้ำแช่นั้นจะมีสีเหลือง หรือสีฟาง หรือสีน้ำตาลอ่อน ซึ่งจากการศึกษาพบว่า สารรงควัตถุที่ให้สีเหลืองอ่อนนี้คือ Flavanone, Flavanonol (Dihydroflavonol) และ Flavone โดยสารเหล่านี้จัดอยู่ในกลุ่มฟลาโวนอยด์เช่นกันกับสารรงควัตถุแอนโธไซยานิน

เมล็ดข้าวเปลือกภายหลังการเก็บเกี่ยวแล้วจะยังคงมีขบวนการหายใจของเมล็ดเกิดขึ้นอยู่ จึงมีการคายน้ำ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และความร้อนออกมาจากปฏิกิริยาดังกล่าว เมื่อนำข้าวเปลือกมาเก็บกองไว้ในไซโลก็จะเกิดการสะสมความร้อน และน้ำในกองเมล็ดเพิ่มมากขึ้น และจะแพร่กระจายออกไปรอบๆ เมล็ดข้าวที่เกิดกรณีเช่นนี้ได้ ดังนั้นเมื่อน้ำ กับความร้อนมาสัมผัสกับเปลือกข้าวที่มีสารรงควัตถุสำหรับให้สีได้จึงทำให้สารนั้นละลายออกมา และซึมแพร่ผ่านเข้าไปในเปลือกข้าว จนไปสัมผัสกับเนื้อเมล็ดข้าวได้ ส่งผลให้เกิดสีเหลือง หรือส้มขึ้นบนเนื้อเมล็ดข้าวจึงเป็นสาเหตุทำให้เกิดลักษณะข้าวเหลือง (yellow kernel) ขึ้นในเมล็ดข้าว

<u>ปัจจัยที่ทำให้เกิดการซึมแพร่ผ่านของสารรงควัตถุในเมล็ดข้าว</u>

1.) ความชื้นของเมล็ดข้าว

2.) ความร้อนจากขบวนการทางชีวเคมีของเมล็ดข้าว

3.) สารรงควัตถุในเปลือกข้าว

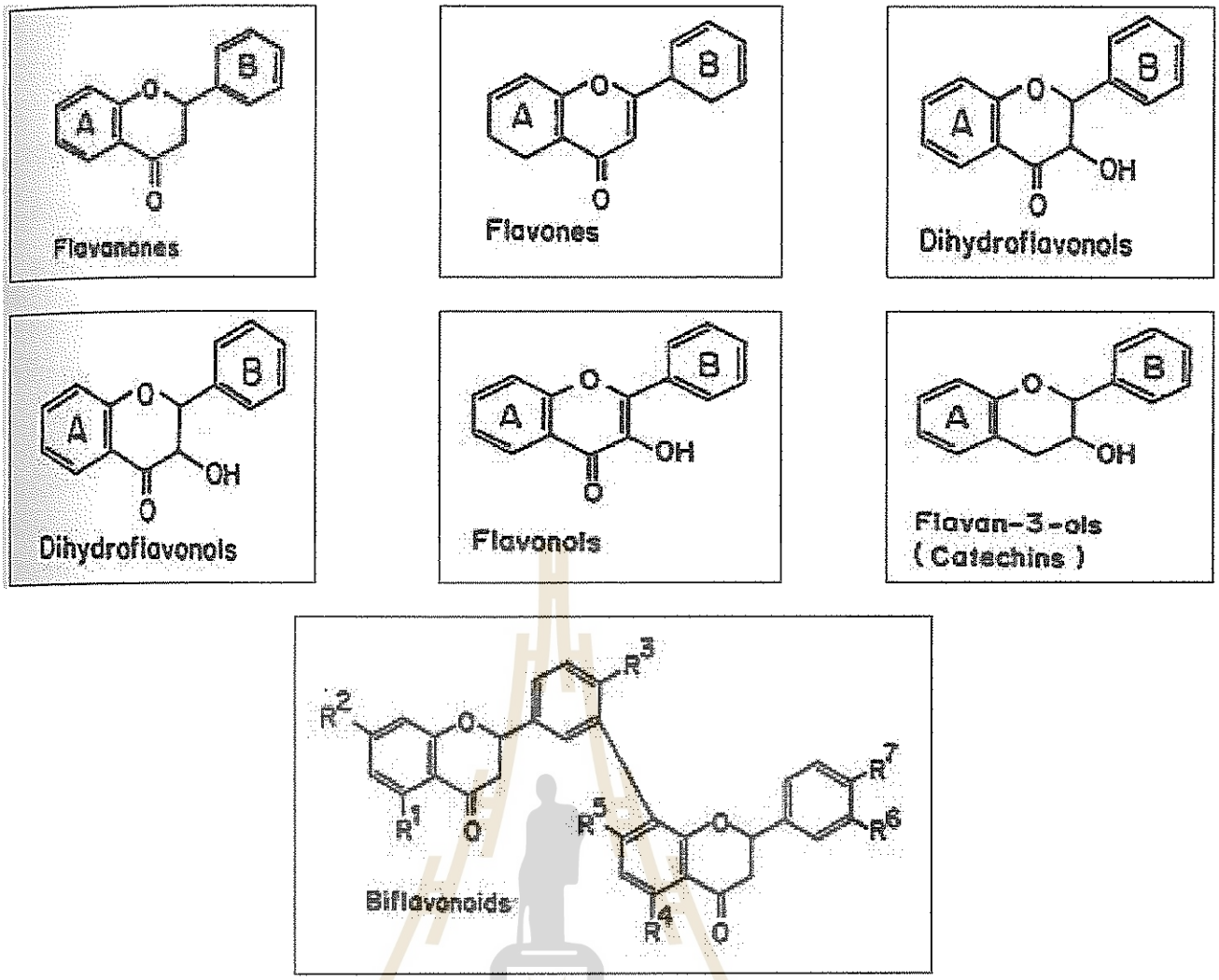
4.) เมล็ดถูกแมลงทำลาย

5.) สภาวะการเก็บรักษา

<u>ปัจจัยที่ก่อให้เกิดข้าวเหลือง</u>

1. ความชื้นของเมล็ดข้าว
2. สภาวะการเก็บรักษา
3. สภาพเมล็ดที่รับซื้อมา เช่น มีร่องรอยการถูกแมลงศัตรูทำลาย ดังนั้นจึงทำให้ง่ายต่อการเปลี่ยนแปลงทั้งทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์
4. ความสะอาดของ line การผลิต และโรงเก็บ
5. สิ่งปนเปื้อนในข้าววัตถุดิบ เช่น หิน กรวด เศษซากพืช-แมลง เป็นต้น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



ภาพที่ 6 : แสดงสูตรโครงสร้างทางเคมีของสารรงควัตถุในข้าว

ที่มา: อ้อมบุญ ล้วนรัตน์, 2536

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.2 การทดลอง

1. วิธีการสุ่ม และเตรียมตัวอย่าง

การเก็บตัวอย่างข้าวเปลือก

การเก็บตัวอย่างข้าวเปลือกของโรงงาน ซึ่งเก็บไว้ใน Silo Cooling ที่อุณหภูมิ 25 °C นั้นจะทำการเก็บตัวอย่าง 19 จุด ต่อ 1 Silo โดยเก็บตัวอย่างข้าวเปลือกทั้งหมดในปริมาณ 10,000 กรัมโดยแบ่งเป็นข้าวเปลือกชุดควบคุมที่อุณหภูมิห้องจำนวน 5,000 กรัม กับข้าวเปลือกชุดควบคุมที่อุณหภูมิ 35 °C, 65% RH ในจำนวน 5,000 กรัม

การเก็บตัวอย่างข้าวขาวหอมมะลิ

สุ่มเก็บตัวอย่างเป็น 2 บริเวณในโกดัง คือ

- เก็บตัวอย่างจาก jumbo bag ที่อยู่บริเวณตรงกลางโกดัง
- เก็บตัวอย่างจาก jumbo bag ที่อยู่บริเวณตรงขอบ/ด้านข้างโกดัง

การเก็บตัวอย่างจะเก็บ ประมาณ 10 lock โดยจะเก็บจากบริเวณตรงกลาง จำนวน 5 lock และบริเวณขอบโกดัง จำนวน 5 lock (ทั้งนี้ถ้าเก็บตามหลักการทางสถิติแล้วจะเก็บตัวอย่างทุก 1000 kg :1 kg sample) และเก็บตัวอย่างข้าวขาวหอมมะลิทั้งหมดในปริมาณ 6,000 กรัม โดยแบ่งเป็นข้าวขาวชุดควบคุมที่อุณหภูมิห้องจำนวน 3,000 กรัม กับข้าวขาวชุดควบคุมที่อุณหภูมิ 35 °C, 65% RH จำนวน 3,000 กรัม

การเตรียมตัวอย่างข้าวเพื่อใช้ในการศึกษา

1. เมื่อสุ่มตัวอย่างข้าวเปลือกจาก silo และข้าวขาวจาก jumbo bag แล้ว จะนำมาเก็บไว้ในสภาวะควบคุมที่ทำให้เกิดข้าวเหลืองได้ดี คือ ความชื้นสัมพัทธ์บรรยากาศเท่ากับ 65% และอุณหภูมิการเก็บเท่ากับ 35 องศาเซลเซียส โดยใช้เกลือ $NaNO_2$ ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์บรรยากาศให้ได้เท่ากับ 65% (82 กรัม/น้ำ 100 กรัม)
2. ตัวอย่างข้าวเปลือกจาก silo และข้าวขาวจาก jumbo bag อีกจำนวนหนึ่งนำไปเก็บไว้ในสภาวะปกติที่อุณหภูมิห้อง เพื่อใช้เป็นชุดเปรียบเทียบกับตัวอย่างข้าวเปลือก และข้าวขาวชุดที่ควบคุมให้เกิดข้าวเหลืองตามข้อ 1.
3. เก็บตัวอย่างข้าวเปลือก และข้าวขาวทั้งที่สภาวะที่ทำให้เกิดข้าวเหลือง กับที่สภาวะปกติที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลาประมาณ 5 สัปดาห์โดยสุ่มเก็บตัวอย่างทุก ๆ สัปดาห์เพื่อนำไปตรวจติดตามการเปลี่ยนแปลงทั้งทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์

2. การตรวจวัดคุณภาพ

ตรวจติดตามคุณภาพ และการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ทางเคมี และทางจุลินทรีย์ของข้าวเหลืองในทั้ง 2 สภาวะการทดลอง ดังตารางที่ 4

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4: แสดงการตรวจติดตามการเปลี่ยนแปลงของตัวอย่างข้าวในการทดลอง

การตรวจติดตาม	ข้าวที่ใช้ในการทดลอง		สถานที่ทดลอง
	ข้าวเปลือก	ข้าวขาว	
1.) การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ			
- ค่าความเป็นกรดด่าง (pH)	✓	✓	F3 มทส.
- ความชื้น (Moisture Content)	✓	✓	ห้องตรวจสอบ บริษัท เจียเม้ง จำกัด
- ความขาว (Whiteness)	✓	✓	
- % ข้าวเต็มเมล็ด	✓	✓	
2.) การเปลี่ยนแปลงทางเคมี			
- reducing sugar	✓	✓	F3 มทส.
- สารรงควัตถุ (pigment)	✓	✓	F3 มทส.
3.) การเปลี่ยนแปลงทางจุลินทรีย์			
- ตรวจนับเชื้อรา	✓	✓	F3 มทส.
- *Penicillium* sp.	✓	✓	F3 มทส.

หมายเหตุ ✓ หมายถึง มีการปฏิบัติการทดลอง

3. วิธีการทดลอง

1. การติดตามการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ

1.) การวัดค่าความขาวของเมล็ดข้าว

1. กดสวิทช์เปิดเครื่องที่สวิทช์ด้านหลังเครื่อง
2. Calibrate เครื่องวัดความขาวโดยการกดปุ่ม CAL แช่ค้างไว้ประมาณ 3 วินาทีแล้วรอจนกระทั่งไฟสีแดงที่ calibration กับ White plate กระพริบ
3. ใส่ตลับ calibration plate สีขาว (White plate) ลงไปในช่องบรรจุตัวอย่าง รอจนกระทั่งตัวเลขปรากฏที่หน้าจอ และไฟสีแดงที่ Brown plate กระพริบก่อน จากนั้นจึงใส่ตลับ calibration plate สีน้ำตาล (Brown plate) เข้าไปในช่องบรรจุตัวอย่าง และรอจนกระทั่งตัวเลขปรากฏที่หน้าจอ
4. รอสัญญาณไฟสีแดงที่ calibration กระพริบ
5. นำตัวอย่างข้าวที่ต้องการจะวัดความขาวมาประมาณ 22-23 กรัมใส่ในกล่องบรรจุตัวอย่างโดยใช้ที่เกลี่ยๆ ผิวหน้าตัวอย่างข้าวเพื่อให้สม่ำเสมอกัน แล้วจึงนำไปใส่ในตลับ plate
6. นำตลับ plate ไปใส่ในช่องบรรจุตัวอย่างที่เครื่องวัดความขาว และรอจนตัวเลขปรากฏขึ้นที่หน้าจอ
7. นำตลับใส่ตัวอย่างข้าวดังกล่าวออกมาจากช่องบรรจุตัวอย่าง แล้วทำข้อ 2-4 ซ้ำอีก 2 ครั้ง
8. นำตลับใส่ตัวอย่างข้าวดังกล่าวออกมาจากช่องบรรจุตัวอย่าง แล้วกดปุ่ม avg เพื่อเฉลี่ยค่าทั้ง 3 ค่าที่ทำการวัด

2.) การวัดปริมาณความชื้นของเมล็ดข้าว โดยใช้เครื่องตรวจวัดปริมาณความชื้น

3.) ตรวจวัดเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ด โดยใช้เครื่องแยกข้าวเต็มเมล็ด

4.) ตรวจวัดค่าความเป็นกรดด่าง (pH) โดยใช้เครื่อง pH meter

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2. การติดตามการเปลี่ยนแปลงทางเคมี

จะติดตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณ reducing sugar และสารรงควัตถุ (pigment) ในตัวอย่างข้าวเปลือก และข้าวขาวหอมมะลิที่ควบคุมสภาวะการทำให้เกิดข้าวเหลืองในระยะเวลาต่างๆ

1.) *วิเคราะห์น้ำตาลด้วยวิธี Copper Reduction (Lane and Eynon Method)*

<u>การเตรียมตัวอย่าง:</u>

1. หาปริมาณ reducing sugar

1.1 ชั่งตัวอย่างที่บดละเอียด 5-10 กรัมใส่ในบีกเกอร์ขนาด 25 cm^3

1.2 เทตัวอย่างลงใน Volumetric flask ขนาด 100 cm^3 แล้วล้างบีกเกอร์ด้วยน้ำเล็กน้อย

1.3 เติม clearing agent 1 และ 2 อย่างละ 5 cm^3 เขย่าเบาๆ

1.4 เติมน้ำให้ครบปริมาตร 100 cm^3 เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 15 นาที

1.5 กรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 4 หรือ glass wool เก็บไว้เป็นสารละลายตัวอย่าง (sample solution)

2. หาปริมาณ Sucrose

2.1 ปิเปตสารละลายตัวอย่าง (sample solution) จากข้อ 1.5 จำนวน 25 cm^3 ใส่ใน Volumetric flask ขนาด 100 cm^3

2.2 เติมน้ำ 45 cm^3

2.3 เติมกรด Hydrochloric (conc.) จำนวน 1 cm^3 เขย่าให้เข้ากัน

2.4 จุ่มในอ่างควบคุมอุณหภูมิ 3 นาที

2.5 นำขึ้นจุ่มในน้ำเย็นจนอุณหภูมิลดลงเหลือประมาณ 20 องศาเซลเซียส

2.6 ทำให้เป็นกลางด้วย NaOH 1 N

2.7 เติมน้ำให้ครบปริมาตร 100 cm^3 เขย่าให้เข้ากัน

การวิเคราะห์:

1. Standardization

1.1 บรรจุบิวเรตด้วย Standard D-glucose solution หรือ standard invert sugar solution

1.2 ปิเปตสารละลาย Fehling's reagent (A และ B อย่างละ 12.5 cm^3) ใส่ใน Erlenmeyer flask ขนาด 500 cm^3 เขย่าเบาๆ ให้เข้ากัน

1.3 เติมน้ำ 15 cm^3 และ working standard invert sugar solution จากบิวเรตในข้อ 1.1 ปริมาตร 39 cm^3

1.4 เติม anti-bumping granules เล็กน้อย

1.5 ตั้งบน hot-plate ให้เดือดปานกลางนาน 2 นาที

1.6 เติม methylene blue solution ที่เตรียมไว้จำนวน 1 cm^3

1.7 ไทเทรตต่อไปให้เสร็จภายในเวลา 3 นาที โดยเติม working standard invert sugar solution ทีละประมาณ 0.2 cm^3 จนสารละลายเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นไม่มีสี และเห็นตะกอนสีแดงของ cuprous oxide

1.8 บันทึกปริมาตรที่ใช้ไป (ประมาณ 40 cm^3): V_3

$$\text{mg Factor} = \text{volume of titer (ml)} \times 2.5$$

2. Sample titration

Primary titration: ทำการไทเทรตเบื้องต้นเพื่อทราบปริมาตรของสารละลายตัวอย่างคร่าวๆ สำหรับการไทเทรตอย่างแน่นอน

1. ปิเปตสารละลายเฟห์ลิ่ง (A และ B อย่างละ 12.5 cm^3) ใส่ใน flask ขนาด 500 cm^3 เขย่าเบาๆ ให้เข้ากัน

3. เติม sample solution (ที่มี reducing sugar 250-400 มิลลิกรัมต่อ 100 cm^3) จำนวน 25 cm^3 ลงใน flask เติม
4. ต้มให้เดือดปานกลาง 15 วินาที เติมสารละลายตัวอย่าง ลงไปอีกอย่างรวดเร็วจนสีน้ำเงินของสารละลายจางลงเกือบหมด
5. เติม methylene blue 4 หยด แล้วไทเทรตต่อจนสารละลายหมดสีน้ำเงิน เหลือแต่ตะกอนแดงของ cuprous oxide (การไทเทรตควรทำให้เสร็จภายในเวลา 3 นาที)
6. บันทึกปริมาตรของสารละลายตัวอย่าง (sample solution) ที่ใช้ไป : X cm^3

Accurate titration: เป็นการไทเทรตเพื่อให้ได้ปริมาตรของ sample solution ที่ใช้อย่างถูกต้อง และแม่นยำที่สุด

1. ปิเปตสารละลายเฟห์ลิ่ง (A และ B อย่างละ 12.5 cm^3) ใส่ใน flask ขนาด 500 cm^3 เขย่าเบาๆ ให้เข้ากัน
2. เติมน้ำกลั่นจำนวน (50-X) cm^3 และ anti-bumping granules เล็กน้อย
3. เติมสารละลายตัวอย่าง (sample solution) โดยไขจากบิวเรตให้มีปริมาตรน้อยกว่าปริมาตรที่หาได้จากขั้นตอน primary titration ประมาณ 0.5-1.5 cm^3 ต้มให้เดือดปานกลางนาน 2 นาที
4. เติม methylene blue solution 4 หยด
5. ไทเทรตต่อโดยเติมสารละลายตัวอย่างครั้งละประมาณ 2-3 หยดจนสีน้ำเงินของ methylene blue หายไปโดยสมบูรณ์ และเห็นตะกอนแดงของ cuprous oxide (ต้องทำให้เสร็จภายใน 3 นาที)
6. บันทึกปริมาตรของสารละลายตัวอย่างที่ใช้ไป :V_1

3. การคำนวณ

% reducing sugar = $\frac{V_0 \times 25}{W \times V_1}$

(as invert sugar)

% Total Sugar = คำนวณเช่นเดียวกับสูตรข้างบนโดยใช้ปริมาตรจากการหาปริมาณ Sucrose

(as invert sugar)

% Sucrose = (% total sugar as invert sugar - % reducing sugar) × 0.95

% Total sugar = % reducing sugar + % sucrose

2.) การวิเคราะห์สารรงควัตถุ (pigment)

1. การเตรียมสารสกัด

1.1 บดตัวอย่างข้าว 3 กรัมในโกร่งกับ petroleum 15 ml. บดซ้ำจนไม่มีสีออกมาในชั้นของ petroleum ether

1.2 บดกากที่ได้กับ 80% Ethanol 30 ml. กรองเก็บ filtrate เพื่อนำ filtrate ที่ได้ไปทำการทดสอบ

2. การตรวจสอบฟลาโวนอยด์

2.1 ถ่ายสารสกัด 1 ml. ลงในหลอดทดลอง แล้วใส่วงแหวนแมกนีเซียม 3-4 อัน (0.1 g) แล้วจึงเติม Conc. HCl 10 หยด สังเกตสีส้มถึงสีแดงที่เกิดขึ้น (shinoda test) ทำให้หลอดเย็น เจือจางด้วยน้ำปริมาตรเท่าตัว เติม octyl alcohol 1 ml. เขย่า และตั้งทิ้งไว้ให้แยกชั้น สังเกตสีแต่ละชั้น และบันทึกผล โดยถ้าเป็นสารพวก flavonol, flavanone, flavanonol และ xanthone จะให้สีแดงถึงม่วงแดง ส่วน flavone, chalcone และ aurone จะให้สีส้ม

2.2 Pew test สำหรับตรวจสอบ flavanonol หรือ flavonol-3-glycoside โดยการถ่ายสารสกัด 1 ml. ลงในหลอดทดลอง เติม Zn-dust 0.5 g และ 2N HCl 2 หยด เขย่าให้เข้ากันประมาณ 1 นาที เติม Conc. HCl 10 หยด จะเกิดสีแดงเข้มภายใน 2-5 นาที แสดงว่ามี flavanonol หรือ flavonol-3-glycoside ส่วนถ้าเป็น flavanone และ flavonol จะให้สีจางๆ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.3 ปฏิกิริยากับด่าง โดยการนำสารสกัด 1ml. เติม ammonia T.S. ทีละหยด สังเกตสี

3. การตรวจสอบแอนโธไซยานิน

3.1 นำสารสกัด 1 ml. มาเติม 2N HCl 1หยด จะได้สีแดงเกิดขึ้น

3.2 ค่อยๆ เติม ammonia T.S. ทีละหยด สังเกตการเปลี่ยนสีจากสีแดงเป็นสีน้ำเงินแสดงว่าเป็นสารแอนโธไซยานิน

3. การติดตามการเปลี่ยนแปลงทางจุลินทรีย์

โดยใช้วิธีการตรวจนับเชื้อราในตัวอย่างข้าวเปลือก และข้าวขาวที่ระยะเวลาการควบคุมสภาวะการเก็บต่างๆ ซึ่งมีวิธีการตรวจนับเชื้อรา ดังนี้

1. เตรียมเจือจางตัวอย่างข้าวให้มีความเจือจาง 10 เท่าด้วย 0.1% peptone water โดยการนำตัวอย่างข้าวไปปั่นละเอียดด้วยโถปั่นอะลูมิเนียม
2. เจือจางต่อไปจนมีระดับความเจือจางถึง 10^{-6} เท่า
3. ปิเปตตัวอย่างอาหารที่เจือจางที่ระดับความเจือจางที่เหมาะสม ใส่ในจานเพาะเชื้อความเจือจางระดับละ 1 มล. ทำ 2 ซ้ำสำหรับแต่ละอาหารเลี้ยงเชื้อ
4. เทอาหารเลี้ยงเชื้อ Malt extract agar (MEA) สำหรับเลี้ยงเชื้อ *Penicillium* sp. และเชื้อราสายพันธุ์อื่นๆ ที่สามารถเจริญได้ซึ่งอุ่นไว้ในอ่างปรับอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 45-50 องศาเซลเซียส
5. ค่อยๆ หมุนจานเพาะเชื้อตามเข็มนาฬิกา จนกระทั่งตัวอย่างอาหาร และอาหารเลี้ยงเชื้อผสมเข้ากันดี ทิ้งไว้จนอาหารเลี้ยงเชื้อแข็งตัว
6. นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 25-28 องศาเซลเซียส โดยไม่ต้องคว่ำจานเพาะเชื้อ บ่มไว้ประมาณ 2-5 วัน
7. ตรวจนับโคโลนีที่ปรากฏบนจานเพาะเชื้อที่มีจำนวนโคโลนีอยู่ระหว่าง 50-100 โคโลนี
8. คำนวณจำนวนโคโลนีต่อกรัมอาหาร
9. เขี่ยเชื้อราลงบนแผ่นสไลด์ที่มี lactophenol-cotton blue ปิดด้วยกระจกปิดสไลด์ และนำไปส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์
10. ถ่ายภาพ หรือวาดรูปแสดงลักษณะโครงสร้างของเชื้อราที่พบ

4. การวิเคราะห์ผลการทดลอง

นำผลการทดลองที่ได้ทั้งหมดนี้มาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ผลทางสถิติ SAS โดยออกแบบการทดลองแบบ split plot design in RCBD เพื่อให้ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือยิ่งขึ้น และจัดทำกราฟผลการทดลองแสดงด้านการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพเพื่อให้เห็นการเปลี่ยนแปลงได้ชัดเจนขึ้น ส่วนการเปลี่ยนแปลงทางด้านจุลินทรีย์จะรายงานผลการทดลองโดยใช้รูปภาพแสดงลักษณะปรากฏภายนอก และโครงสร้างภายในบางอย่างของเชื้อที่ตรวจพบ

2.3 ผล และวิจารณ์ผลการทดลอง

1. การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ

1.1) การตรวจวัดค่าความเป็นกรดด่าง (pH)

จากการตรวจติดตามการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ในตัวอย่างข้าวเปลือก และข้าวขาวหอมมะลิทั้ง 2 สภาวะการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 5 สัปดาห์นี้ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 9 ในภาคผนวก ซึ่งพบว่า ค่าความเป็นกรดด่างที่วัดได้ในตัวอย่างข้าวตลอดระยะเวลาการเก็บรักษานี้มีค่าอยู่ในช่วง 6 - 7 ทั้งๆ ที่ค่าความเป็นกรดด่างของสารละลายที่ใช้เป็นตัวทำละลายตัวอย่างข้าวเพื่อให้สามารถตรวจวัดค่าได้นั้นมีค่าความเป็นกรดด่างเท่ากับ 7.0 ± 0.1 ซึ่งสารละลายที่ใช้นี้ก็คือ 0.1% peptone water ที่ถูกปรับค่าความเป็นกรดด่าง และผ่านการฆ่าเชื้อมาแล้ว การที่ค่าความเป็นกรดด่างในสารละลายตัวอย่างข้าวที่ตรวจวัดได้นี้มีค่าลดลงจากที่กล่าวมานี้จึงเป็นเพราะการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นภายในเมล็ดข้าวเอง และจากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของเมล็ดข้าวพบว่า หากเป็นเมล็ดข้าวเหลืองที่มีสาเหตุมาจากการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ (non-enzymatic browning) แล้ว ค่าความเป็นกรดด่างในเมล็ดข้าวควรจะมีค่าเป็นด่างเพราะสภาวะที่ค่อนข้างเป็นด่างจะมีผลในการเร่ง หรือส่งเสริมการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์นี้ได้ (กนกอร, 2541) แต่หากเป็นเมล็ดข้าวเหลืองที่มีสาเหตุมาจากการเจริญเติบโต และแพร่กระจายของเชื้อจุลินทรีย์โดยเฉพาะเชื้อรา (fungi) แล้ว ค่าความเป็นกรดด่างในเมล็ดข้าวที่ตรวจวัดได้นี้ควรมีค่าค่อนข้างเป็นกรด เนื่องจากเชื้อราที่เจริญได้นี้จะมีกระบวนการเมทาบอลิซึมเพื่อใช้ประโยชน์จากสารอาหารในการเจริญเติบโต แต่ค่าความเป็นกรดด่างที่ตรวจวัดได้จากตัวอย่างข้าวในการทดลองนี้มีค่าค่อนข้างเป็นกลางดังภาพที่ 7 ซึ่งอาจไม่ได้หมายความว่า ไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดด่างในเมล็ดข้าว แต่ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปฏิกิริยาที่เกิดร่วมกันระหว่างปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ กับการเจริญเติบโตของเชื้อรา

ตารางที่ 5: แสดงค่าเฉลี่ยของค่าความเป็นกรดด่างของตัวอย่างข้าวเปลือก และข้าวขาวหอมมะลิในทั้ง 2 สภาวะการทดลอง

ชนิดตัวอย่างข้าว	สภาวะการทดลอง	ค่าเฉลี่ยค่าความเป็นกรดด่าง (pH)
ข้าวเปลือก	ชุดควบคุม	6.5133^{ns}
	ชุดทดลอง	6.5033^{ns}
ข้าวขาว	ชุดควบคุม	6.5650^{ns}
	ชุดทดลอง	6.4317^{ns}

หมายเหตุ: ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

โดยเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาตัวอย่างข้าวเพิ่มมากขึ้น หากเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์จะส่งผลให้ตัวอย่างเมล็ดข้าวมีค่าเป็นด่างมากขึ้น แต่หากมีเชื้อราเจริญเติบโตอยู่ด้วยก็จะทำให้ค่าความเป็นกรดด่างกลับมีค่าลดลงกลายเป็นกรดได้เช่นกันเพราะอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้ในการแยกเชื้อจุลินทรีย์นี้ถูกปรับสภาวะให้มีความเป็นกรด (pH = 5.6) ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อราได้ดี และเมื่อเชื้อราเจริญขึ้นก็จะมีการสร้างสารต่างๆ ที่อาจมีพิษ หรือไม่มีก็ได้ที่มีความเป็นกรดออกมา (Pitt, J.I. and Hocking, A.D, 1997) จากภาพที่ 7 สังเกตพบว่า ค่าความเป็นกรดด่างของตัวอย่างข้าวในทั้ง 2 สภาวะจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นในช่วงสัปดาห์เริ่มต้น และสัปดาห์ที่ 1 ซึ่งอาจเป็นเพราะมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีขององค์ประกอบ

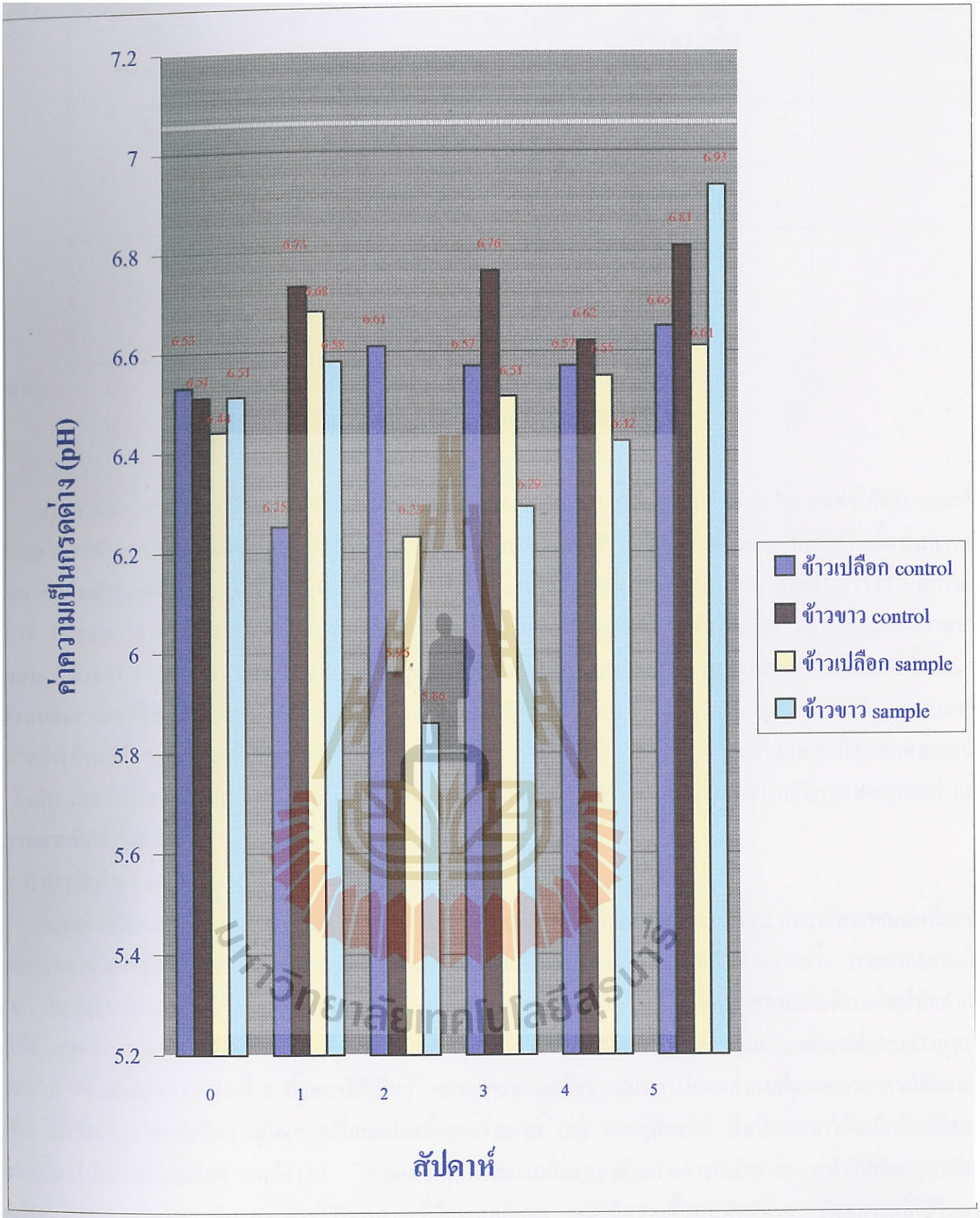
ต่างๆ ในเมล็ดข้าวที่เอื้อต่อการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ แต่เมื่อเก็บตัวอย่างข้าวจนถึงสัปดาห์ที่ 2 กลับพบว่า ค่าความเป็นกรดด่างมีค่าลดต่ำลง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเมื่อเก็บตัวอย่างข้าวไว้ในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูง และความชื้นสัมพัทธ์ต่ำทำให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อรา และเมื่อมีการเจริญเติบโตของเชื้อราก็ส่งผลให้เกิดการสร้างสารเมทาบอไลท์จากกิจกรรมเพื่อการดำรงชีวิตของเชื้อราเหล่านี้ได้ ซึ่งจากการศึกษาพบว่า เชื้อราจะเจริญได้ในสภาวะที่ค่อนข้างเป็นกรด จึงทำให้ค่าความเป็นกรดด่างมีค่าลดต่ำลงได้ แต่เมื่อเข้าสู่สัปดาห์ที่ 3 จะพบว่า ค่าความเป็นกรดด่างของตัวอย่างข้าวมีค่าเพิ่มสูงขึ้นจนถึงสัปดาห์ที่ 5 ที่ทำการเก็บรักษาตัวอย่างข้าวนั้น โดยอาจเป็นเพราะมีการเกิดการเปลี่ยนแปลงทั้ง 2 สาเหตุคือ การเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ กับการเจริญเติบโตของเชื้อราตามที่กล่าวไว้ข้างต้น

ดังนั้นค่าความเป็นกรดด่างในเมล็ดข้าวจึงมีการเปลี่ยนแปลงไปจากค่าความเป็นกลางไม่มากนัก และเมื่อนำผลการเปลี่ยนแปลงนี้ไปวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ตัวอย่างข้าวเปลือก และข้าวขาวหอมมะลิจากการทดลองในทั้ง 2 สภาวะนี้ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติทั้งที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99% ดังตารางที่ 5

1.2) การตรวจวัดปริมาณความชื้นของเมล็ดข้าว (Moisture content)

จากผลการตรวจติดตามปริมาณความชื้นของตัวอย่างเมล็ดข้าวในการทดลองแสดงข้อมูลได้ดังตารางที่ 10 ในภาคผนวก และจากการศึกษาพบว่า ปริมาณความชื้น 14% เป็นปริมาณความชื้นที่นิยมใช้เก็บรักษาข้าวเปลือกไว้เป็นเวลานานๆ ยิ่งปริมาณความชื้นต่ำๆ คือ ประมาณ 11-12% จะช่วยยับยั้ง หรือชะลอการเปลี่ยนแปลงทั้งทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ในเมล็ดข้าวได้ดียิ่งขึ้น (อรอนงค์, 2532) ทั้งนี้เนื่องจากหากเมล็ดข้าวมีปริมาณความชื้นสูงจะทำให้เมล็ดข้าวมีความเหมาะสมยิ่งขึ้นสำหรับการเกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ภายในเมล็ดโดยเชื้อจุลินทรีย์จะสามารถเจริญได้มากขึ้นเพราะข้าวมีสารอาหารที่เชื้อเหล่านี้ต้องการในการเจริญเติบโตอยู่แล้ว และถ้ามีปริมาณความชื้นมากเชื้อจุลินทรีย์จะเจริญได้มากชนิดขึ้นด้วยแทนที่จะมีเพียงแต่เชื้อราเป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้จะส่งเสริมให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ และเคมีได้ง่ายขึ้นอีกเช่นกัน

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณความชื้นของตัวอย่างข้าวหอมมะลิในชุดทดลองแล้วจะพบว่า ข้าวขาวมีปริมาณความชื้นสูงกว่าข้าวเปลือกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งอาจเป็นเพราะข้าวขาวหอมมะลิในชุดทดลองไม่มีสิ่งปกป้องความชื้นตามธรรมชาติ เช่น เปลือกข้าว และเยื่อหุ้มเมล็ดชั้นต่างๆ เหมือนอย่างที่ข้าวเปลือกในชุดทดลองยังคงมีอยู่จึงส่งผลให้ข้าวขาวสามารถดูดซับปริมาณความชื้นในระบบที่ทำการเก็บรักษาไว้ได้สูงกว่าข้าวเปลือก และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณความชื้นของตัวอย่างข้าวขาวหอมมะลิระหว่างชุดทดลองกับชุดควบคุมแล้วจะพบว่า ข้าวขาวในชุดทดลองมีปริมาณความชื้นสูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยในตารางที่ 6 การที่ข้าวขาวชุดทดลองมีปริมาณความชื้นสูงกว่าข้าวขาวชุดควบคุมนั้นเป็นเพราะชุดทดลองมีการปรับหรือควบคุมสภาวะการเก็บรักษาให้มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำๆ คือ 65% RH จึงทำให้เมื่อเมล็ดข้าวขาวในชุดทดลองมีการคายน้ำออกมาในระหว่างการเก็บรักษาแล้ว ส่งผลให้ความชื้นในส่วนนี้ไม่สามารถระเหยไปบริเวณอื่นๆ ได้ (เนื่องจากเป็นระบบปิดด้วย) ดังนั้นเมล็ดข้าวจึงดูดซับความชื้นในส่วนนี้กลับเข้าไปในเมล็ดอีกครั้ง ด้วยเหตุนี้จึงอาจเป็นสาเหตุให้เมล็ดข้าวเกิดการเปลี่ยนแปลงกลายเป็นข้าวเหลืองได้เช่นกัน และแสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของตัวอย่างข้าวเปลือก และข้าวขาวหอมมะลิตลอดระยะเวลา 5 สัปดาห์ได้ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 7: แผนภูมิแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ของตัวอย่างข้าวเปลือก และข้าวขาวหอมมะลิในทั้ง 2 สภาวะการทดลอง

ตารางที่ 6: แสดงค่าเฉลี่ยของปริมาณความชื้นของตัวอย่างข้าวเปลือก และข้าวขาวหอมมะลิในทั้ง 2 สภาวะการทดลอง

ชนิดตัวอย่างข้าว	สภาวะการทดลอง	ปริมาณความชื้น (%)
ข้าวเปลือก	ชุดควบคุม	12.3567^{ns}
	ชุดทดลอง	12.1617^{ns}
ข้าวขาว	ชุดควบคุม	12.4583^{b}
	ชุดทดลอง	12.8533^{a}

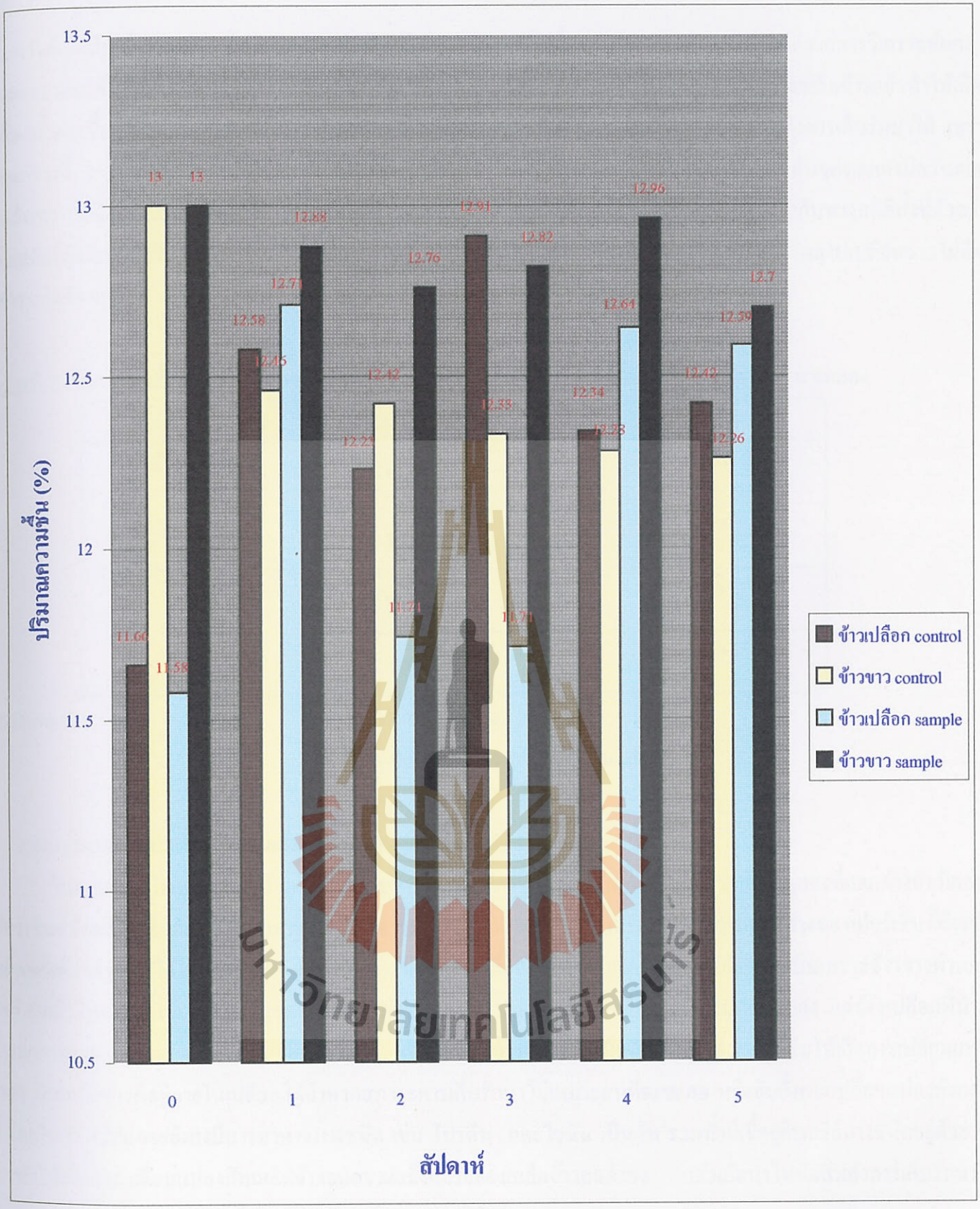
หมายเหตุ: ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

a, b หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ

จากภาพที่ 8 พบว่า ถึงแม้ค่าความขาวของตัวอย่างข้าวเปลือกในชุดควบคุม กับชุดทดลองจะไม่แตกต่างกันในทางสถิติ แต่สังเกตได้ว่า ค่าความขาวจะมีแนวโน้มลดต่ำลงจากค่าความขาวของตัวอย่างข้าวเปลือกเมื่อก่อนเก็บรักษาไว้ในทั้ง 2 สภาวะนี้ เช่นเดียวกันกับตัวอย่างข้าวขาวทั้ง 2 ชุดที่ค่าความขาวมีแนวโน้มลดต่ำลงจากเมื่อก่อนเริ่มเก็บรักษาตัวอย่างข้าวไว้ในสภาวะที่ต้องการ โดยเฉพาะค่าความขาวของตัวอย่างข้าวเปลือก และข้าวขาวชุดทดลองที่ต้องการทำให้เกิดข้าวเหลืองจะมีค่าความขาวลดต่ำลงกว่าตัวอย่างข้าวเปลือก และข้าวขาวชุดควบคุม แสดงว่าสภาวะที่เก็บตัวอย่างในชุดทดลองนี้เป็นสภาวะที่เอื้อต่อการเกิดข้าวเหลือง และเมื่อเปรียบเทียบค่าความขาวของตัวอย่างข้าวเปลือกชุดทดลอง กับข้าวขาวชุดทดลองจะพบว่า ค่าความขาวของตัวอย่างข้าวเปลือกชุดทดลองนี้มีค่าต่ำกว่าข้าวขาวชุดทดลอง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะในเปลือกข้าวมีสารประกอบหลายชนิด เช่น ไขมัน และโปรตีน เป็นต้น ที่อาจทำปฏิกิริยากันกับองค์ประกอบในเมล็ดข้าวขาวทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี และกายภาพตามที่กล่าวมาแล้วได้

1.3) การวัดค่าความขาว (Whiteness)

การตรวจวัดค่าความขาว (Whiteness) ในตัวอย่างเมล็ดข้าวเปลือก และข้าวขาวหอมมะลิทั้ง 2 สภาวะการทดลองนี้แสดงข้อมูลการตรวจวัดได้ดังตารางที่ 11 ในภาคผนวก และเมื่อเปรียบเทียบค่าความขาวทางสถิติแล้วจะพบว่า ระยะเวลาการเก็บรักษา กับสภาวะการเก็บรักษาตัวอย่างข้าวในการทดลองนี้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความขาวของเมล็ดข้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยค่าความขาวของตัวอย่างข้าวเปลือก และข้าวขาวหอมมะลิจากทั้ง 2 สภาวะทดลองนี้มีค่าลดต่ำลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นดังแสดงในภาพที่ 9 ที่แสดงให้เห็นว่า ความขาวของเมล็ดข้าวมีแนวโน้มลดต่ำลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากเมล็ดข้าวเกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ ซึ่งเป็นผลทำให้เมล็ดข้าวเกิดการเปลี่ยนแปลงไปกลายเป็นเมล็ดข้าวเหลืองได้ นอกจากนี้สภาวะการเก็บรักษาตัวอย่างข้าวยังมีผลต่อการทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในเมล็ดข้าวได้โดยหากเก็บรักษาข้าวไว้ในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูงๆ และมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำๆ ดังสภาวะที่ใช้ในการทดลองนี้จะก่อให้เกิดเมล็ดข้าวเหลืองได้เนื่องจากสภาวะนี้เป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ดังกล่าวมาข้างต้นแล้ว



ภาพที่ 8: แผนภูมิแสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในตัวอย่างข้าวเปลือก และข้าวขาวหอมมะลิทั้ง 2 สภาวะการทดลอง

สาเหตุที่ทำให้ค่าความขาวของตัวอย่างข้าวเปลือก และข้าวขาวในทั้ง 2 สภาวะการทดลองนี้ลดต่ำลงอาจเกิดจากหลายสาเหตุประกอบกันได้คือ 1.) เกิดจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ที่มีการสร้างสารสีน้ำตาลขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลรีดิวซิ่ง และกรดอะมิโนบางชนิดที่มีในเมล็ดข้าว และ 2.) เกิดจากการสร้างสารสี หรือสารพิษโดยเชื้อจุลินทรีย์จำพวกเชื้อราที่สามารถเจริญได้ในสภาวะที่มีความชื้นต่ำ ซึ่งเชื้อราเหล่านี้บางชนิดอาจมีการสร้างสารพิษ mycotoxins ขึ้นมาได้

และทำให้เกิดสีเหลืองในเมล็ดข้าวได้ รวมทั้งยังทำให้ได้รับสารพิษจากเชื้อราด้วยหากบริโภคเข้าไป แต่จากการวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติได้พบว่า การซึมแพร่ผ่านของสารรงควัตถุจากเปลือกข้าวเข้าไปภายในโครงสร้างของเมล็ดข้าวแล้วทำให้เกิดสีเหลืองน้ำตาลขึ้นที่เนื้อเมล็ดข้าวนั้นไม่น่าเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดข้าวเหลืองในข้าวหอมมะลิที่อยู่ระหว่างการเก็บรักษาได้ เพราะจากตารางที่ 7 ที่แสดงค่าเฉลี่ยความขาวของตัวอย่างข้าวนี้จะเห็นได้ว่า ตัวอย่างข้าวขาวชุดควบคุม กับชุดทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญแต่ข้าวเปลือกชุดควบคุม กับชุดทดลองกลับไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติทั้งที่ตัวอย่างข้าวเปลือกยังมีเปลือกที่อาจมีสารรงควัตถุซึ่งสามารถแพร่ผ่านเข้าไปในเนื้อเมล็ดได้ แสดงว่า สารรงควัตถุในเปลือกข้าวไม่มีผลต่อการเกิดข้าวเหลือง

ตารางที่ 7: แสดงค่าเฉลี่ยด้านความขาวของตัวอย่างข้าวเปลือก และข้าวขาวหอมมะลิในทั้ง 2 สภาวะการทดลอง

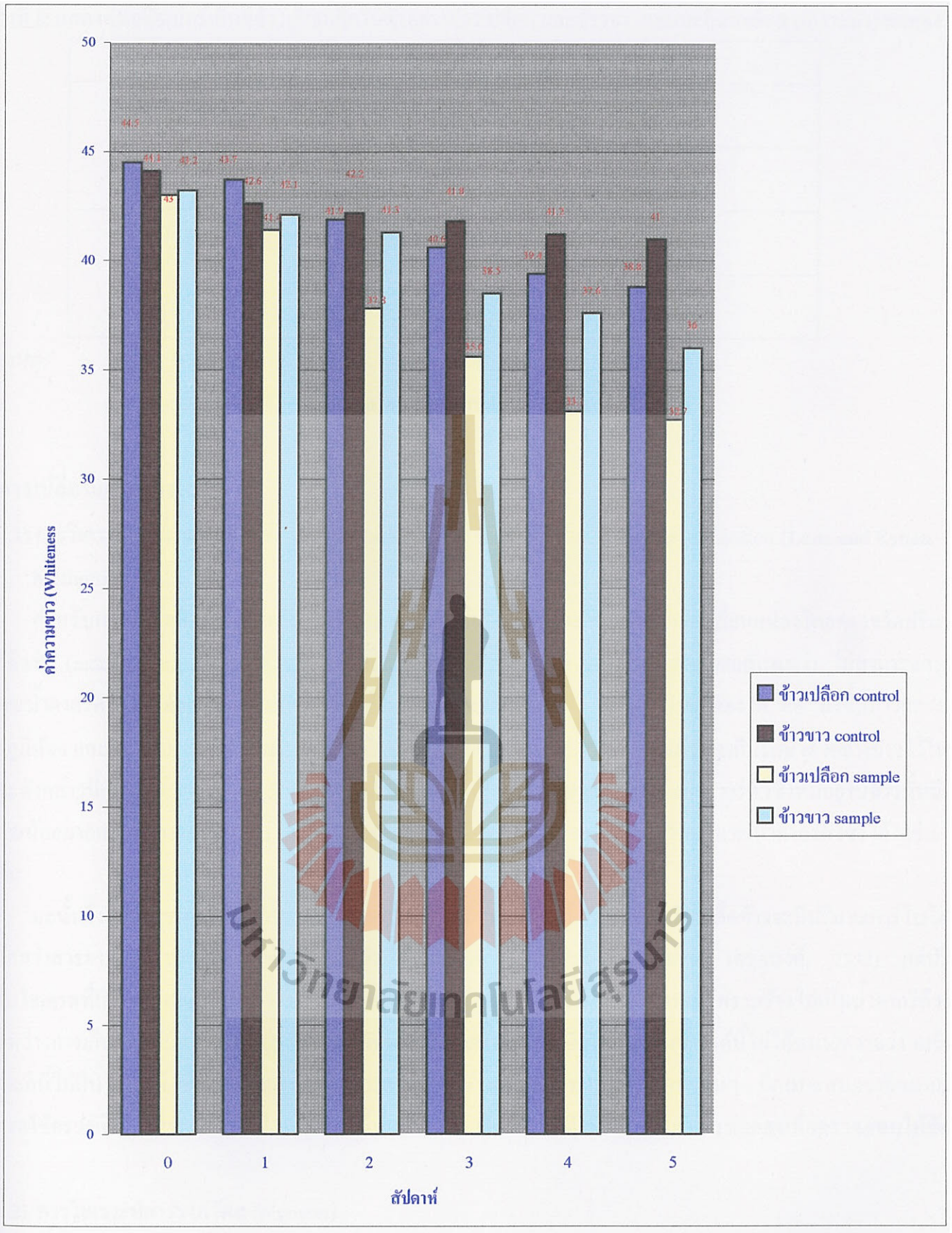
ชนิดตัวอย่างข้าว	สภาวะการทดลอง	ความขาว
ข้าวเปลือก	ชุดควบคุม	41.4833 ns
	ชุดทดลอง	37.2667 ns
ข้าวขาว	ชุดควบคุม	42.1500 a
	ชุดทดลอง	39.7833 b

หมายเหตุ: ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

a, b หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ

1.4)การตรวจวัดเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ด (Whole rice kernel percent)

ในการตรวจวัดเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดพบว่า ระยะเวลาในการเก็บรักษา กับสภาวะการทดลองที่แตกต่างกันมีผลต่อเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากตารางที่ 8 และแสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดของตัวอย่างข้าวได้ในภาพที่ 10 การที่ข้าวขาวมีเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดมากกว่าข้าวเปลือกนั้นเป็นเพราะข้าวขาวผ่านการขัดสีมาแล้วในกระบวนการผลิตข้าวของบริษัทฯ ก่อนที่จะถูกนำมาเก็บรักษาไว้ที่สภาวะที่ทำการทดลอง แต่ข้าวเปลือกที่นำมาเก็บรักษาตามสภาวะทดลองนี้ยังมีเปลือกข้าวอยู่ และเปลือกข้าวนี้อาจเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยส่งเสริมให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆ กับเมล็ดข้าวที่อยู่ภายในเปลือกได้ถ้าหากสภาวะการเก็บรักษาไม่เหมาะสมที่จะชะลอ หรือยับยั้งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนี้ โดยในข้าวเปลือกจะยังคงมีสารอาหารบางชนิด เช่น โปรตีน และไขมัน เป็นต้น รวมทั้งมีเชื้อจุลินทรีย์บางชนิดอยู่ด้วย ซึ่งอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกับเมล็ดข้าวจนความแข็งแกร่งของเมล็ดข้าวลดต่ำลง แล้วเมื่อนำไปขัดสีหลังการเก็บรักษาในระยะเวลาต่างๆ จึงส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดลดต่ำลงได้



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาพที่ 9: แผนภูมิแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความขาวของตัวอย่างเมล็ดข้าวเปลือก และข้าวขาวจากทั้ง 2 สภาวะการทดลอง

ตารางที่ 8: แสดงค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดในตัวอย่างข้าวเปลือก และข้าวขาวหอมมะลิจากทั้ง 2 สภาวะการทดลอง

ชนิดตัวอย่างข้าว	สภาวะการทดลอง	ความขาว
ข้าวเปลือก	ชุดควบคุม	83.3933 ns
	ชุดทดลอง	80.3600 ns
ข้าวขาว	ชุดควบคุม	84.6933 b
	ชุดทดลอง	85.4067 a

หมายเหตุ: ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

a, b หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ

2. การเปลี่ยนแปลงทางเคมี

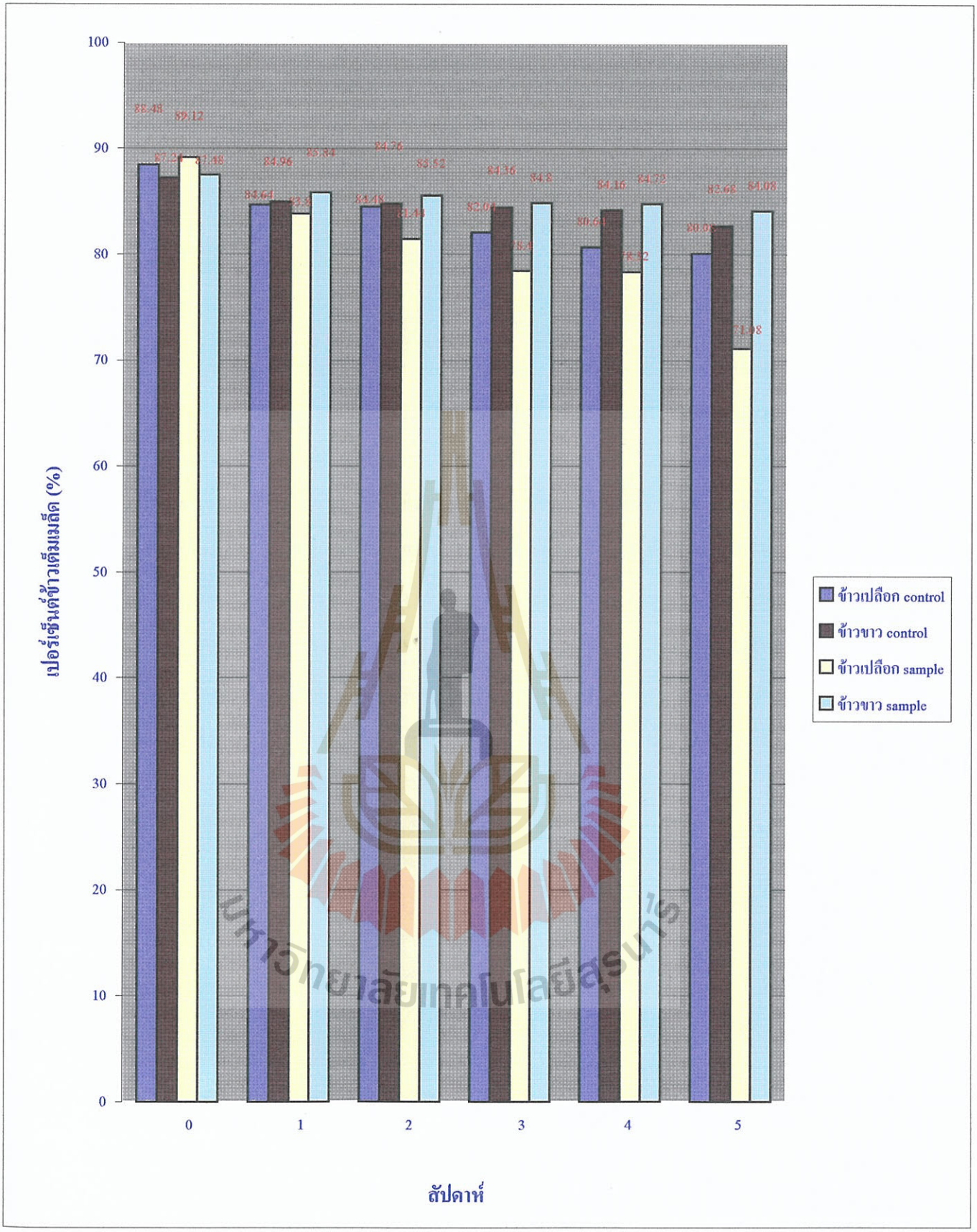
2.1) การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่ง (Reducing sugar content) ด้วยวิธี Copper Reduction (Lane and Eynon Method)

สำหรับการตรวจติดตามการเปลี่ยนแปลงทางด้านเคมีนี้ได้ทำการตรวจติดตามการเปลี่ยนแปลงโดยตรวจวัดปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่ง (reducing sugar) ที่มีอยู่ในข้าวเปลือก และข้าวขาวหอมมะลิ แต่จากการทดลองกลับพบว่า ไม่สามารถตรวจวัดปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่งในตัวอย่างข้าวเปลือก และข้าวขาวที่เก็บรักษาไว้ทั้ง 2 สภาวะการทดลองได้ คือ ทั้งที่สภาวะควบคุมที่อุณหภูมิห้อง และสภาวะควบคุมที่ต้องการทำให้เกิดข้าวเหลือง (35°C และ 65% RH) แม้ว่าจะเก็บรักษาตัวอย่างข้าวไว้ในทั้ง 2 สภาวะดังกล่าวนี้เป็นระยะเวลานาน 5 สัปดาห์แล้วก็ตาม ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่งที่มีอยู่ในข้าวนั้นมีอยู่ในปริมาณน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบระหว่างข้าว กับผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นๆ ที่สามารถตรวจวัดปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่งได้ เช่น แยม เป็นต้น

ฉะนั้นจึงไม่สามารถใช้วิธีนี้ทำการตรวจติดตามการเปลี่ยนแปลงได้ และแม้ว่าในเมล็ดข้าวจะมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตอยู่มากกว่าสารอาหารประเภทอื่นๆ ซึ่งน้ำตาลรีดิวซิ่งก็จัดเป็นคาร์โบไฮเดรตชนิดหนึ่งด้วย (อรอนงค์, 2532) แต่ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่มีในปริมาณมากนี้อาจไม่ใช่น้ำตาลรีดิวซิ่ง หรืออาจไม่สามารถเปลี่ยนแปลงโครงสร้างไปเป็นน้ำตาลรีดิวซิ่งได้ในระหว่างการเก็บรักษา โดยการที่ไม่สามารถตรวจพบปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่งในตัวอย่างข้าวได้นี้ไม่ได้หมายความว่า เมล็ดข้าวหอมมะลินี้ไม่มีน้ำตาลรีดิวซิ่งที่จะเป็นสาเหตุในการก่อให้เกิดข้าวเหลือง เพราะยังมีวิธีการอื่นๆ ที่เหมาะสมกว่าอีกมากมายที่สามารถใช้ตรวจติดตามการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนี้กับตัวอย่างเมล็ดข้าวได้ ดังนั้นจึงควรทำการทดลองเพื่อตรวจสอบให้ชัดเจน

2.2) การวิเคราะห์สารรงควัตถุ (pigment)

ในการทดลองไม่สามารถวิเคราะห์ชนิดของสารรงควัตถุ (pigment) ที่มีอยู่ในเมล็ดข้าวได้ เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านเวลา อุปกรณ์ และสารเคมีสำหรับทำการทดลอง

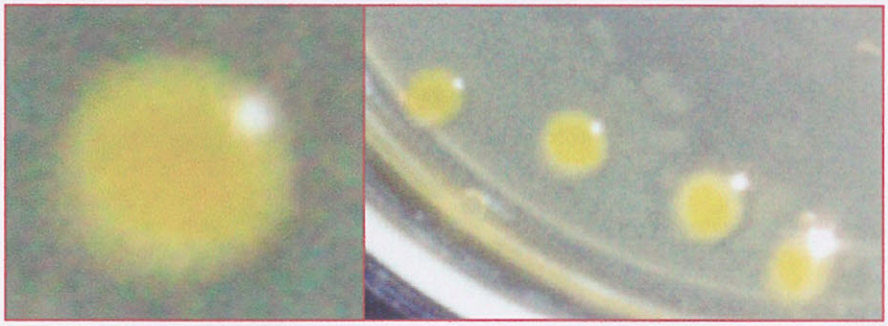


มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาพที่ 10: แผนภูมิแสดงการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดของข้าวเปลือก และข้าวขาวหอมมะลิในทั้ง 2 สภาวะการทดลอง

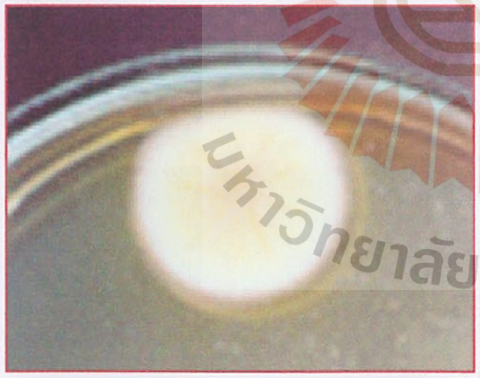
การเปลี่ยนแปลงทางจุลินทรีย์

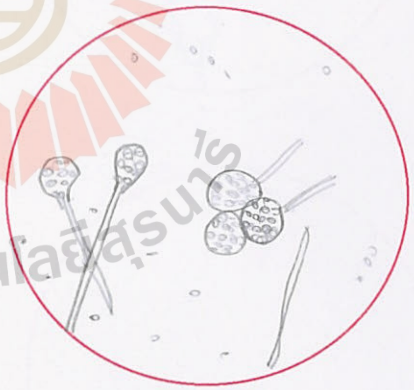
สำหรับการเปลี่ยนแปลงทางด้านจุลินทรีย์ในตัวอย่างข้าวที่ตรวจติดตามนี้พบว่า มียีสต์หลายชนิดที่สามารถเจริญได้บนอาหารเลี้ยงเชื้อ MEA โดยยีสต์ที่ตรวจพบในตัวอย่างข้าวจะมีลักษณะเป็นโคโลนีสีเหลืองเยิ้ม และสีขาวเยิ้มดังภาพที่ 11 จากการศึกษานี้ไม่สามารถระบุได้ว่าเชื้อจุลินทรีย์ที่พบนี้เป็นเชื้อใดเพราะมีองค์ประกอบหลายอย่างที่ต้องทำการตรวจสอบต่อไป

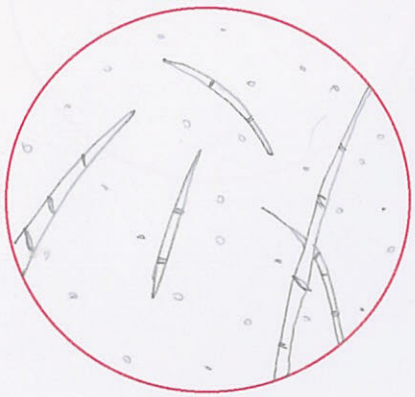


ภาพที่ 11: ยีสต์ที่มีโคโลนีสีเหลืองเยิ้มที่ตรวจพบในตัวอย่างข้าว

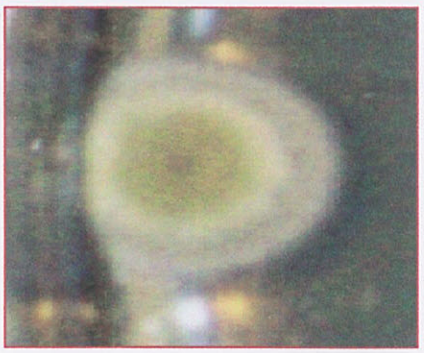
นอกจากจุลินทรีย์พวกยีสต์ที่ตรวจพบนี้แล้วยังพบว่า สามารถตรวจพบเชื้อราในตัวอย่างข้าวทั้งข้าวเปลือก และข้าวขาวหอมมะลิทั้ง 2 สภาวะทดลอง โดยเชื้อจุลินทรีย์ที่พบส่วนใหญ่จะเป็นเชื้อรา (fungi) ซึ่งพบหลายสายพันธุ์มาก เชื้อราบางชนิดจะขึ้นปกคลุมทั่วทั้งจานเลี้ยงเชื้อ แต่บางชนิดก็เป็นเพียงโคโลนีขนาดเล็กๆ จนถึงปานกลางเท่านั้น ดังภาพที่ 12 และเมื่อสังเกตดูด้วยตาเปล่าจะพบว่า เชื้อราบางชนิดมีการสร้างสปอร์ (spores) ขึ้นมาด้วย และจะเห็นได้อย่างชัดเจนเมื่อส่องดูโครงสร้างภายในของเชื้อราเหล่านี้ด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยายต่างๆ ซึ่งการตรวจดูเพียงแต่ลักษณะปรากฏภายนอก และโครงสร้างภายในบางอย่างเหล่านี้อาจไม่เพียงพอที่จะระบุได้ว่าเป็นเชื้อราชนิดใด แต่บางชนิดอาจสามารถระบุถึงสกุล (จีนัส) ของเชื้อราชนิดนั้นๆ ได้ เช่น พวก *Penicillium* sp., *Aspergillus* sp. และ *Fusarium* sp. เป็นต้น

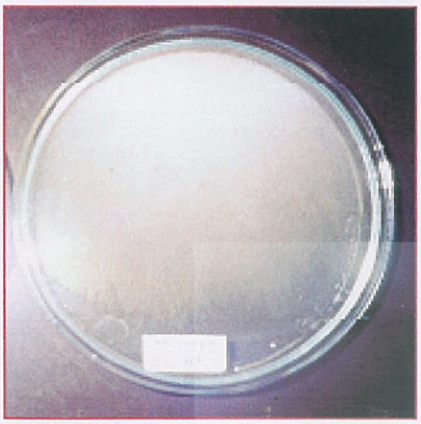


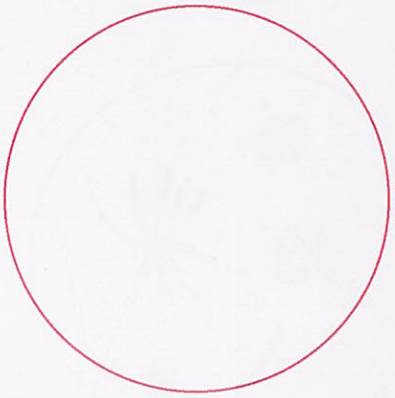


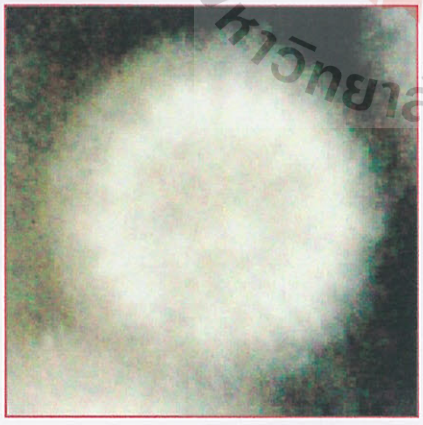


มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

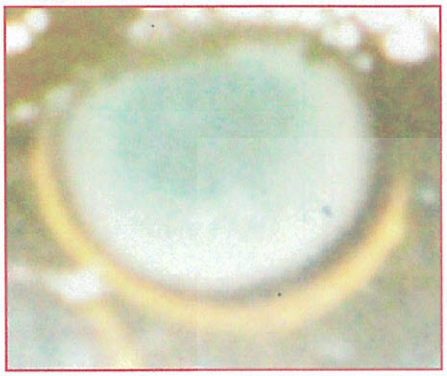


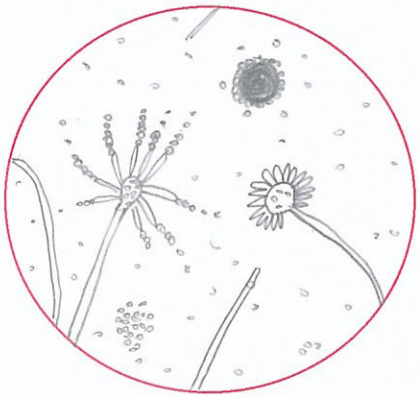


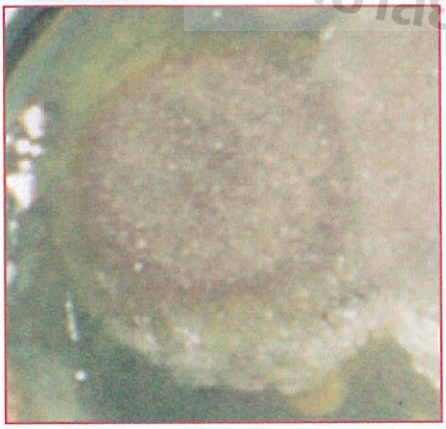


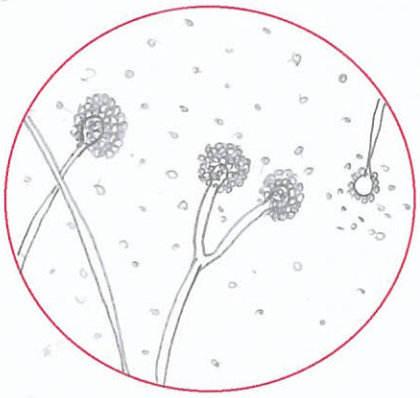


มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

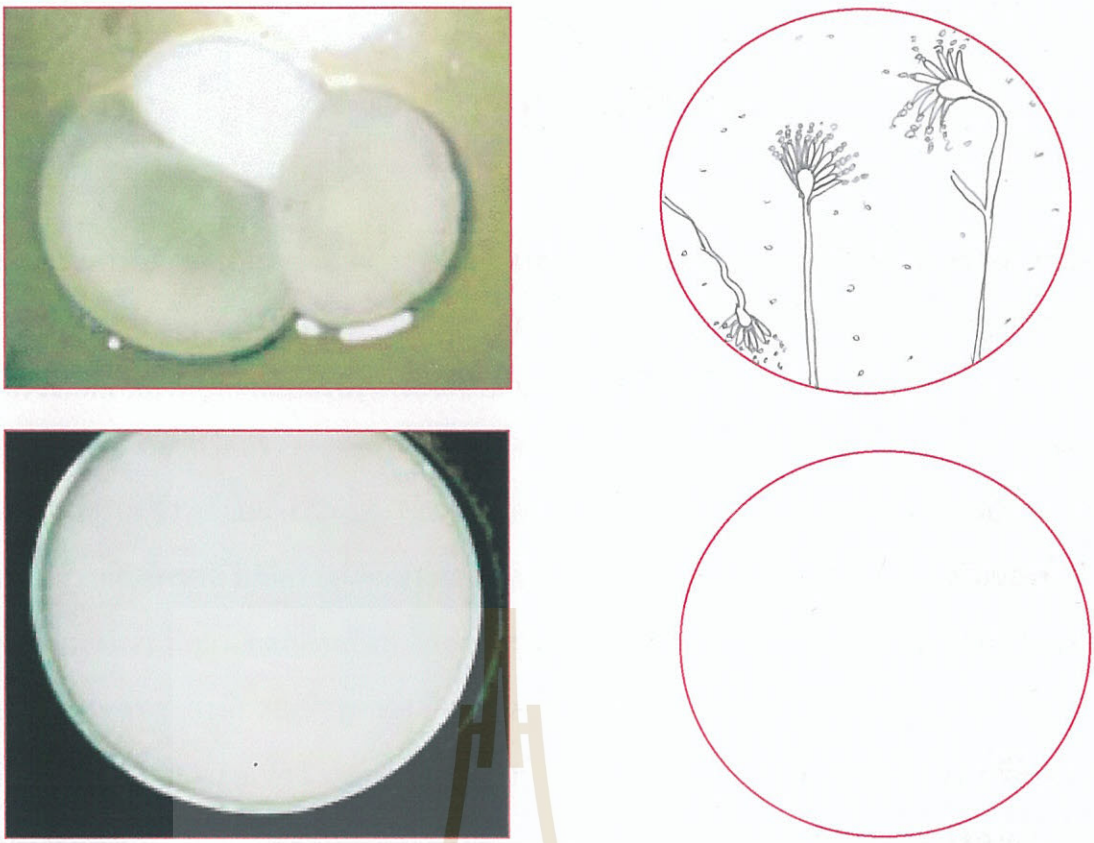








มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



ภาพที่ 12: แสดงลักษณะปรากฏภายนอกของเชื้อราที่พบในตัวอย่างข้าวเปลือก และข้าวขาวหอมมะลิ

เชื้อราเหล่านี้ไม่ใช่ทุกสายพันธุ์จะสามารถสร้างสารรงควัตถุ หรือสารพิษออกมาแล้วมีผลในการเปลี่ยนแปลงสีของเมล็ดข้าวให้กลายเป็นข้าวเหลืองได้ และจากผลการตรวจนับจำนวนเชื้อราในตัวอย่างข้าวแสดงข้อมูลได้ดังตารางที่ 13 ในภาคผนวก ซึ่งจะสังเกตได้ว่า เชื้อจุลินทรีย์ที่ตรวจพบในตัวอย่างข้าวทั้งเชื้อรา และยีสต์นั้นสามารถตรวจพบได้นับตั้งแต่การตรวจเชื้อในตัวอย่างข้าวก่อนทำการเก็บรักษาไว้ในสภาวะทดลองทั้ง 2 สภาวะ จึงไม่สามารถระบุชนิดของเชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุในการเกิดข้าวเหลืองได้ หรืออาจมีความเป็นไปได้ว่า เชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดข้าวเหลืองขึ้นในข้าวเปลือก และข้าวขาวหอมมะลิที่เก็บรักษาไว้นั้นมีหลายชนิดร่วมกัน และเชื้อจุลินทรีย์แต่ละชนิดนี้ต่างก็ผลิต หรือสร้างสารต่างๆ จากกิจกรรมในการดำรงชีวิตของพวกมันออกมาสู่เมล็ดข้าว ทำให้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของเมล็ดข้าวในด้านต่างๆ และเมื่อประกอบเข้ากับการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสารอาหารจำพวกคาร์โบไฮเดรตไปเป็นน้ำตาลรีดิวซิ่งในบางส่วน มาทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโนบางชนิด ซึ่งการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้อาจเกิดจากกิจกรรมของเชื้อจุลินทรีย์ หรือเกิดโดยธรรมชาติของสารอาหารเองได้ และเมื่อเกิดปฏิกิริยาหลายอย่างดังกล่าวนี้ร่วมกันแล้วก็อาจเป็นสาเหตุให้เกิดข้าวเหลืองในข้าวในระหว่างการเก็บรักษาที่สภาวะไม่เหมาะสมกับการเก็บรักษาข้าว แต่สภาวะเช่นนี้อาจเหมาะสมกับการเกิดกิจกรรมต่างๆ ที่กล่าวมาข้างต้นได้

บทที่ 3
สรุปผลการปฏิบัติงาน

ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงของตัวอย่างข้าวเพื่อหาสาเหตุการเกิดข้าวเหลืองนี้ได้เก็บตัวอย่างข้าวเปลือก และข้าวขาวหอมมะลิของบริษัท เจียเม้ง จำกัดไว้ใน 2 สภาวะคือ สภาวะควบคุม (อุณหภูมิห้อง) กับสภาวะทดลอง (อุณหภูมิ 35°C, 65% RH) แล้วตรวจติดตามการเปลี่ยนแปลงทั้งทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ทุกสัปดาห์เป็นระยะเวลา 5 สัปดาห์ จากการติดตามการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพได้ตรวจวัดค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ปริมาณความชื้น (Moisture content) ความขาว (Whiteness) และเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ด (Whole rice percent) ซึ่งพบว่า ค่าความเป็นกรดด่างของข้าวเปลือก และข้าวขาวหอมมะลิทั้ง 2 สภาวะการเก็บรักษานี้ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณความชื้นของข้าวขาวระหว่างชุดทดลอง กับชุดควบคุมพบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความน่าเชื่อถือ 95% โดยข้าวขาวชุดทดลองมีความชื้นสูงกว่าชุดควบคุม และข้าวขาวชุดทดลองมีความชื้นสูงกว่า ข้าวเปลือกชุดทดลอง ตัวอย่างข้าวทั้งข้าวเปลือก และข้าวขาวในชุดทดลองมีค่าความขาวต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หรือข้าวมีสีเหลืองมากกว่าชุดควบคุม นอกจากนี้ยังพบว่าระยะเวลาในการเก็บ และสภาวะการเก็บรักษามีผลต่อเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ การติดตามการเปลี่ยนแปลงทางเคมีได้ตรวจวัดปริมาณ reducing sugar แต่พบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่งทั้งในข้าวเปลือก และข้าวขาวนั้นมีน้อยมากจนไม่สามารถตรวจวัดได้ และการติดตามการเปลี่ยนแปลงทางจุลินทรีย์พบว่า มีเชื้อราอยู่หลายชนิดที่มีผลต่อการเกิดข้าวเหลืองในข้าวที่ทำการเก็บรักษา เช่น เชื้อราในสกุล *Penicillium* sp., *Fusarium* sp., *Chaetomium* sp., และอื่นๆ เป็นต้น

จากการทดลองหาสาเหตุการเกิดข้าวเหลืองนี้ยังไม่สามารถระบุสาเหตุที่แน่ชัดของการเกิดข้าวเหลืองได้แต่มีความเป็นไปได้มากว่าการเกิดข้าวเหลืองนี้อาจมีสาเหตุมาจากการเกิดปฏิกิริยาร่วมกันระหว่างการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ (non-enzymatic browning) และการเจริญเติบโต กับการแพร่กระจายของเชื้อรา (fungi)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 4

ปัญหา และข้อเสนอแนะ

1.) ในการทดลองไม่สามารถวิเคราะห์ชนิดของสารรงควัตถุ (pigment) ที่มีอยู่ในเมล็ดข้าวได้ เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านเวลา อุปกรณ์ และสารเคมีสำหรับทำการทดลอง โดยห้องปฏิบัติการทดลองที่อาคารเครื่องมือ 3 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีนั้นไม่มีสารเคมี และอุปกรณ์บางอย่างสำหรับใช้ในการตรวจสอบสารรงควัตถุที่ต้องการตรวจติดตามในตัวอย่างข้าว

2.) การหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่งด้วยวิธี Copper Reduction ตามวิธีการของ Lane and Eynon Method ในการทดลองนี้อาจไม่เหมาะสมสำหรับตัวอย่างข้าวที่มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่งน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับแยมแล้ว ซึ่งจากการศึกษาพบว่า ยังมีวิธีการอื่นๆ ที่เหมาะสมกว่าอีกมากมายที่สามารถใช้ตรวจติดตามการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนี้กับตัวอย่างเมล็ดข้าวได้ ดังนั้นจึงควรทำการทดลองเพื่อตรวจสอบให้ชัดเจน

3.) จากการทดลองหาสาเหตุการเกิดข้าวเหลืองนี้ยังไม่สามารถระบุสาเหตุที่แน่ชัดของการเกิดข้าวเหลืองได้แต่ถือว่า การทดลองนี้เป็นการเก็บข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับการหาสาเหตุการเกิดข้าวเหลืองในข้าวเจ้า

4.) การตรวจเชื้อราในตัวอย่างข้าวควรมีการตรวจสอบด้านสารพิษที่เชื้อราสร้างขึ้นในตัวอย่างข้าวประกอบด้วยเพื่อการบ่งชี้ถึงชนิดของเชื้อราที่มีในตัวอย่างข้าวได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

5.)ในการทดลองเกี่ยวกับข้าวเหลืองนี้ ควรมีระยะเวลาในการทดลองนานกว่านี้เพื่อเก็บรักษาข้าวตัวอย่างให้กลายเป็นข้าวเหลืองได้เหลืองมากกว่านี้จะได้สามารถบ่งชี้ค่าการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ได้ชัดเจนขึ้น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บรรณานุกรม

กนกอร อินทราพิเชฐ, 2542, Food Analysis Laboratory Manual, สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร ศูนย์บรรณสาร และสื่อการศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

กนกอร อินทราพิเชฐ, 2541, Food Chemistry, สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร ศูนย์บรรณสาร และสื่อการศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

งามชื่น คงเสรี, 2540, คุณภาพข้าวสาร และข้าวสุก, ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี, ปทุมธานี.

ปิยะวรรณ กาสลัก, 2540, เอกสารประกอบการสอนวิชา Food Microbiology Laboratory, สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร ศูนย์บรรณสาร และสื่อการศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

รัชนี ตัณฑะพานิชกุล, 2542, เคมีอาหาร, ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

อรอนงค์ นัยวิกุล, 2532, เคมีทางธัญญาหาร, ภาควิชาวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อ้อมบุญ ล้วนรัตน์, 2536, การสกัด และตรวจสอบสารสำคัญจากผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ, ภาควิชาเภสัชวินิจฉัย คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.

Chellkowski, J. 1991. Cereal Grain Mycotoxins, Fungi and Quality in Drying and Storage. Elsevier. London.

Mazza, G. and Miniati, E. 2000. Anthocyanins in Fruits, Vegetables, and Grains. CRC Press.

Phillips, S., Widjaja, S., Wallbridge, Ann. And Coore, R. 1988. Rice Yellowing During Post-Harvest Drying By Aeration and During Storage. J. Stored Prod. Res. Vol. 24, No. 3, pp. 173-181.

Pitt, J.I., Hocking, A. D., Bhudhasamai, K., Miscamble, B. F., Eheeler, K. A., and Tanboon-Ek, P. 1994. The Normal Mycoflora of Commodities from Thailand. 2. Beans, Rice, Small Grains and Other Commodities. Int. J. Food Microbiol. Vol. 23. pp. 35-53.

Pitt, J.I. and Hocking, A.D. 1997. Fungi and Food Spoilage. 2nd Ed. Blackie Academic & Professional. London.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก

ตารางที่ 9 : แสดงข้อมูลที่ได้จากการตรวจติดตามการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ของตัวอย่างข้าวทั้งข้าวเปลือกและข้าวขาวหอมมะลิในทั้ง 2 สภาวะ

ชนิดตัวอย่างข้าว	สภาวะการเก็บรักษา	ระยะเวลาการเก็บ (สัปดาห์)	ค่าความเป็นกรดด่าง (pH)
ข้าวเปลือก	อุณหภูมิห้อง	0	6.53
	35°C, 65% RH	0	6.44
ข้าวขาว	อุณหภูมิห้อง	0	6.51
	35°C, 65% RH	0	6.51
ข้าวเปลือก	อุณหภูมิห้อง	1	6.25
	35°C, 65% RH	1	6.68
ข้าวขาว	อุณหภูมิห้อง	1	6.73
	35°C, 65% RH	1	6.58
ข้าวเปลือก	อุณหภูมิห้อง	2	6.61
	35°C, 65% RH	2	6.23
ข้าวขาว	อุณหภูมิห้อง	2	5.96
	35°C, 65% RH	2	5.86
ข้าวเปลือก	อุณหภูมิห้อง	3	6.57
	35°C, 65% RH	3	6.51
ข้าวขาว	อุณหภูมิห้อง	3	6.76
	35°C, 65% RH	3	6.29
ข้าวเปลือก	อุณหภูมิห้อง	4	6.57
	35°C, 65% RH	4	6.55
ข้าวขาว	อุณหภูมิห้อง	4	6.62
	35°C, 65% RH	4	6.42
ข้าวเปลือก	อุณหภูมิห้อง	5	6.65
	35°C, 65% RH	5	6.61
ข้าวขาว	อุณหภูมิห้อง	5	6.81
	35°C, 65% RH	5	6.93

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 10 : แสดงข้อมูลที่ได้จากการตรวจติดตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้น (Moisture content) ของตัวอย่างข้าวทั้งข้าวเปลือก และข้าวขาวหอมมะลิในทั้ง 2 สภาวะ

ชนิดตัวอย่างข้าว	สภาวะการเก็บรักษา	ระยะเวลาการเก็บ (สัปดาห์)	ปริมาณความชื้น (Moisture content)
ข้าวเปลือก	อุณหภูมิห้อง	0	11.66
	35°C, 65% RH	0	11.58
ข้าวขาว	อุณหภูมิห้อง	0	13.00
	35°C, 65% RH	0	13.00
ข้าวเปลือก	อุณหภูมิห้อง	1	12.58
	35°C, 65% RH	1	12.71
ข้าวขาว	อุณหภูมิห้อง	1	12.46
	35°C, 65% RH	1	12.88
ข้าวเปลือก	อุณหภูมิห้อง	2	12.23
	35°C, 65% RH	2	11.74
ข้าวขาว	อุณหภูมิห้อง	2	12.42
	35°C, 65% RH	2	12.76
ข้าวเปลือก	อุณหภูมิห้อง	3	12.91
	35°C, 65% RH	3	11.71
ข้าวขาว	อุณหภูมิห้อง	3	12.33
	35°C, 65% RH	3	12.82
ข้าวเปลือก	อุณหภูมิห้อง	4	12.34
	35°C, 65% RH	4	12.64
ข้าวขาว	อุณหภูมิห้อง	4	12.28
	35°C, 65% RH	4	12.96
ข้าวเปลือก	อุณหภูมิห้อง	5	12.42
	35°C, 65% RH	5	12.59
ข้าวขาว	อุณหภูมิห้อง	5	12.26
	35°C, 65% RH	5	12.70

ตารางที่ 11 : แสดงข้อมูลที่ได้จากการตรวจติดตามการเปลี่ยนแปลงค่าความขาว (Whiteness) ของตัวอย่างข้าวทั้งข้าวเปลือกและข้าวขาวหอมมะลิในทั้ง 2 สภาวะ

ชนิดตัวอย่างข้าว	สภาวะการเก็บรักษา	ระยะเวลาการเก็บ (สัปดาห์)	ค่าความขาว (Whiteness)
ข้าวเปลือก	อุณหภูมิห้อง	0	44.5
	35°C, 65% RH	0	43.0
ข้าวขาว	อุณหภูมิห้อง	0	44.1
	35°C, 65% RH	0	43.2
ข้าวเปลือก	อุณหภูมิห้อง	1	43.7
	35°C, 65% RH	1	41.4
ข้าวขาว	อุณหภูมิห้อง	1	42.6
	35°C, 65% RH	1	42.1
ข้าวเปลือก	อุณหภูมิห้อง	2	41.9
	35°C, 65% RH	2	37.8
ข้าวขาว	อุณหภูมิห้อง	2	42.2
	35°C, 65% RH	2	41.3
ข้าวเปลือก	อุณหภูมิห้อง	3	40.6
	35°C, 65% RH	3	35.6
ข้าวขาว	อุณหภูมิห้อง	3	41.8
	35°C, 65% RH	3	38.5
ข้าวเปลือก	อุณหภูมิห้อง	4	39.4
	35°C, 65% RH	4	33.1
ข้าวขาว	อุณหภูมิห้อง	4	41.2
	35°C, 65% RH	4	37.6
ข้าวเปลือก	อุณหภูมิห้อง	5	38.8
	35°C, 65% RH	5	32.7
ข้าวขาว	อุณหภูมิห้อง	5	41.0
	35°C, 65% RH	5	36.0

ตารางที่ 12 : แสดงข้อมูลที่ได้จากการตรวจติดตามการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ด (Whole rice kernel percent) ของตัวอย่างข้าวทั้งข้าวเปลือก และข้าวขาวหอมมะลิในทั้ง 2 สภาวะ

ชนิดตัวอย่างข้าว	สภาวะการเก็บรักษา	ระยะเวลาการเก็บ (สัปดาห์)	ข้าวเต็มเมล็ด (%)
ข้าวเปลือก	อุณหภูมิห้อง	0	88.48
	35°C, 65% RH	0	89.12
ข้าวขาว	อุณหภูมิห้อง	0	87.24
	35°C, 65% RH	0	87.48
ข้าวเปลือก	อุณหภูมิห้อง	1	84.64
	35°C, 65% RH	1	83.80
ข้าวขาว	อุณหภูมิห้อง	1	84.96
	35°C, 65% RH	1	85.84
ข้าวเปลือก	อุณหภูมิห้อง	2	84.48
	35°C, 65% RH	2	81.44
ข้าวขาว	อุณหภูมิห้อง	2	84.76
	35°C, 65% RH	2	85.52
ข้าวเปลือก	อุณหภูมิห้อง	3	82.04
	35°C, 65% RH	3	78.40
ข้าวขาว	อุณหภูมิห้อง	3	84.36
	35°C, 65% RH	3	84.80
ข้าวเปลือก	อุณหภูมิห้อง	4	80.64
	35°C, 65% RH	4	78.32
ข้าวขาว	อุณหภูมิห้อง	4	84.16
	35°C, 65% RH	4	84.72
ข้าวเปลือก	อุณหภูมิห้อง	5	80.08
	35°C, 65% RH	5	71.08
ข้าวขาว	อุณหภูมิห้อง	5	82.68
	35°C, 65% RH	5	84.08

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 13 : แสดงข้อมูลที่ได้จากการตรวจติดตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณเชื้อราของตัวอย่างข้าวทั้งข้าวเปลือก และข้าวขาวหอมมะลิในทั้ง 2 สภาวะ

ชนิดตัวอย่างข้าว	สภาวะการเก็บรักษา	ระยะเวลาการเก็บ (สัปดาห์)	จำนวนเชื้อรา (โคโลนี/กรัม)
ข้าวเปลือก	อุณหภูมิห้อง	0	160,000
	35°C, 65% RH	0	160,000
ข้าวขาว	อุณหภูมิห้อง	0	360
	35°C, 65% RH	0	360
ข้าวเปลือก	อุณหภูมิห้อง	1	110,000
	35°C, 65% RH	1	SPR
ข้าวขาว	อุณหภูมิห้อง	1	< 2,500
	35°C, 65% RH	1	< 2,500
ข้าวเปลือก	อุณหภูมิห้อง	2	320,000
	35°C, 65% RH	2	220,000
ข้าวขาว	อุณหภูมิห้อง	2	36,000
	35°C, 65% RH	2	< 2,500
ข้าวเปลือก	อุณหภูมิห้อง	3	690,000
	35°C, 65% RH	3	< 250,000
ข้าวขาว	อุณหภูมิห้อง	3	< 250,000
	35°C, 65% RH	3	380
ข้าวเปลือก	อุณหภูมิห้อง	4	180,000
	35°C, 65% RH	4	< 250,000
ข้าวขาว	อุณหภูมิห้อง	4	< 2,500
	35°C, 65% RH	4	SPR
ข้าวเปลือก	อุณหภูมิห้อง	5	74,000
	35°C, 65% RH	5	< 250,000
ข้าวขาว	อุณหภูมิห้อง	5	< 250
	35°C, 65% RH	5	SPR

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 14 : แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้านค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ของตัวอย่างข้าวเปลือก และข้าวขาวหอมมะลิในทั้ง 2 สภาวะการทดลองด้วยตาราง ANOVA

Dependent Variable: pH

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	13	1.11576667	0.08582821	3.01	0.0442
Error	10	0.28556667	0.02855667		
Corrected Total	23	1.40133333			

R-Square	C.V.	Root MSE	pH Mean
0.796218	2.598470	0.168987	6.50333333

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Block	5	0.63998333	0.12799667	4.48	0.0210
Variety	1	0.00060000	0.00060000	0.02	0.8876
Block*Variety	5	0.42155000	0.08431000	2.95	0.0683
Cond	1	0.03081667	0.03081667	1.08	0.3234
Variety*Cond	1	0.02281667	0.02281667	0.80	0.3924

Tests of Hypotheses using the Anova MS for Block*Variety as an error term.

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Block	5	0.63998333	0.12799667	1.52	0.3290
Variety	1	0.00060000	0.00060000	0.01	0.9360

Alpha = 0.05 df = 5 MSE = 0.08431

Duncan Grouping	Mean	N	Variety
A	6.508	12	Paddy
A			
A	6.498	12	Milled

Alpha = 0.05 df = 10 MSE = 0.02856

Duncan Grouping	Mean	N	Condition
A	6.5392	12	Control
A			
A	6.4675	12	Sample

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 15 : แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้านปริมาณความชื้นของตัวอย่างข้าวเปลือก และข้าวขาวหอมมะลิในทั้ง 2 สภาวะการทดลองด้วยตาราง ANOVA

Dependent Variable: Moisture

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	13	2.30380000	0.17721538	0.90	0.5784
Error	10	1.96665000	0.19666500		
Corrected Total	23	4.27045000			

R-Square	C.V.	Root MSE	Mois Mean
0.539475	3.559858	0.443469	12.4575000

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Block	5	0.17450000	0.03490000	0.18	0.9649
Variety	1	0.94406667	0.94406667	4.80	0.0532
Block*Variety	5	0.60308333	0.12061667	0.61	0.6928
Cond	1	0.06000000	0.06000000	0.31	0.5928
Variety*Cond	1	0.52215000	0.52215000	2.66	0.1343

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Block	5	0.17450000	0.03490000	0.29	0.9002
Variety	1	0.94406667	0.94406667	7.83	0.0381

Alpha = 0.05 df = 5 MSE = 0.120617

Duncan Grouping	Mean	N	Variety
A	12.656	12	Milled
B	12.259	12	Paddy

Alpha = 0.05 df = 10 MSE = 0.196665

Duncan Grouping	Mean	N	Condition
A	12.508	12	Sample
A			
A	12.407	12	Control

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Block	5	0.32344167	0.06468833	2.57	0.1620
Condition	1	0.46807500	0.46807500	18.58	0.0076
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Block	5	0.32344167	0.06468833	2.57	0.1620
Condition	1	0.46807500	0.46807500	18.58	0.0076

Alpha = 0.05 df = 5 MSE = 0.025195

Duncan Grouping	Mean	N	Condition
A	12.8533	6	Sample
B	12.4583	6	Control

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Block	5	0.45414167	0.09082833	0.25	0.9246
Variety	1	0.11407500	0.11407500	0.31	0.6018
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Block	5	0.45414167	0.09082833	0.25	0.9246
Variety	1	0.11407500	0.11407500	0.31	0.6018

Alpha = 0.05 df = 5 MSE = 0.368135

Duncan Grouping	Mean	N	Condition
A	12.357	6	Control
A			
A	12.162	6	Sample

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 16 : แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้านค่าความขาวของตัวอย่างข้าวเปลือก และข้าวขาวหอมมะลิในทั้ง 2 สภาวะการทดลองด้วยตาราง ANOVA

Dependent Variable: Whiteness

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	13	196.9187500	15.1475962	2.88	0.0504
Error	10	52.5908333	5.2590833		
Corrected Total	23	249.5095833			

R-Square	C.V.	Root MSE	White Mean
0.789223	5.708792	2.293269	40.1708333

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Block	5	89.24708333	17.84941667	3.39	0.0473
Variety	1	15.20041667	15.20041667	2.89	0.1200
Block*Variety	5	22.32708333	4.46541667	0.85	0.5456
Cond	1	65.01041667	65.01041667	12.36	0.0056
Variety*Cond	1	5.13375000	5.13375000	0.98	0.3464

Tests of Hypotheses using the Anova MS for Block*Variety as an error term.

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Block	5	89.24708333	17.84941667	4.00	0.0773
Variety	1	15.20041667	15.20041667	3.40	0.1243

Alpha = 0.05 df = 5 MSE = 4.465417

Duncan Grouping	Mean	N	Variety
A	40.967	12	Milled
A			
A	39.375	12	Paddy

Alpha = 0.05 df = 10 MSE = 5.259083

Duncan Grouping	Mean	N	Condition
A	41.817	12	Control
B	38.525	12	Sample

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Block	5	28.70666667	5.74133333	6.91	0.0268
Condition	1	1.33333333	1.33333333	1.60	0.2612
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Block	5	28.70666667	5.74133333	6.91	0.0268
Condition	1	1.33333333	1.33333333	1.60	0.2612

Alpha = 0.05 df = 5 MSE = 0.831333

Duncan Grouping	Mean	N	Variety
A	42.150	6	Milled
A			
A	41.483	6	Paddy

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	6	54.67000000	9.11166667	5.32	0.0433
Error	5	8.55666667	1.71133333		
Corrected Total	11	63.22666667			

R-Square	C.V.	Root MSE	White Mean
0.864667	3.193278	1.308179	40.9666667

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Block	5	37.86666667	7.57333333	4.43	0.0642
Condition	1	16.80333333	16.80333333	9.82	0.0259
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Block	5	37.86666667	7.57333333	4.43	0.0642
Condition	1	16.80333333	16.80333333	9.82	0.0259

Alpha = 0.05 df = 5 MSE = 1.711333

Duncan Grouping	Mean	N	Condition
A	42.150	6	Control
B	39.783	6	Sample

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 17 : แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้านเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดของตัวอย่างข้าวเปลือก และข้าวขาวหอมมะลิในทั้ง 2 สภาวะการทดลองด้วยตาราง ANOVA

Dependent Variable: Whole rice kernel percent

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	13	201.8256000	15.5250462	1.12	0.4369
Error	10	138.6925333	13.8692533		
Corrected Total	23	340.5181333			

R-Square	C.V.	Root MSE	Rice Mean
0.592701	4.462013	3.724145	83.4633333

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Block	5	62.30453333	12.46090667	0.90	0.5180
Variety	1	60.42026667	60.42026667	4.36	0.0634
Block*Variety	5	49.97093333	9.99418667	0.72	0.6229
Cond	1	8.07360000	8.07360000	0.58	0.4631
Variety*Cond	1	21.05626667	21.05626667	1.52	0.2461

Tests of Hypotheses using the Anova MS for Block*Variety as an error term.

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Block	5	62.30450000	12.46090667	1.25	0.4073
Variety	1	60.42026667	60.42026667	6.05	0.0573

Alpha = 0.05 df = 5 MSE = 9.994187

Duncan Grouping	Mean	N	Variety
A	85.050	12	Milled
A			
A	81.877	12	Paddy

This test controls the type I comparisonswise error rate, not the experimentwise error rate.

Alpha = 0.05 df = 10 MSE = 13.86925

Duncan Grouping	Mean	N	Condition
A	84.043	12	Control
A			
A	82.883	12	Sample

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	6	57.02426667	9.50404444	5.90	0.0353
Error	5	8.05560000	1.61112000		
Corrected Total	11	65.07986667			

R-Square	C.V.	Root MSE	Rice Mean
0.876220	1.510291	1.269299	84.0433333

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Block	5	51.95426667	10.39085333	6.45	0.0308
Variety	1	5.07000000	5.07000000	3.15	0.1363
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Block	5	51.95426667	10.39085333	6.45	0.0308
Variety	1	5.07000000	5.07000000	3.15	0.1363

Alpha = 0.05 df = 5 MSE = 1.61112

Duncan Grouping	Mean	N	Variety
A	84.693	6	Milled
A			
A	83.939	6	Paddy

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	6	19.22373333	3.20395556	38.90	0.0005
Error	5	0.41186667	0.08237333		
Corrected Total	11	19.63560000			

R-Square	C.V.	Root MSE	Rice Mean
0.979024	0.337457	0.287008	85.0500000

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Block	5	17.69720000	3.53944000	42.97	0.0004
Condition	1	1.52653333	1.52653333	18.53	0.0077
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Block	5	17.69720000	3.53944000	42.97	0.0004
Condition	1	1.52653333	1.52653333	18.53	0.0077

Alpha = 0.05 df = 5 MSE = 1.082373

Duncan Grouping	Mean	N	Condition
A	85.407	6	Sample
B	84.693	6	Control

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี