

บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 ผลการศึกษาคุณสมบัติทั้งทางกายภาพและทางเคมีเบื้องต้นของตัวอย่างข้าวพันธุ์หอมมะลิ 105

การทดสอบคุณสมบัติทั้งทางกายภาพและทางเคมีในเบื้องต้นของตัวอย่างข้าวกล้องหอมมะลิ 105 นั้น นับว่ามีประโยชน์อย่างยิ่งที่จะช่วยในการเปรียบเทียบผลการทดลองที่จะเกิดขึ้นกับตัวอย่างข้าวกล้องนอกต่อไป ซึ่งให้ผลการทดสอบดังนี้

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบข้าวกล้องและข้าวกล้องงอกหอมมะลิ 105

สภาวะการทดสอบ	หน่วย	ข้าวกล้อง	ข้าวกล้องงอก
ปริมาณความชื้น	(%wb.)	14.85±0.07	12.81±0.30
เวลาการหุง (cooker)	(min)	26.33±0.58	26.33±0.59
เวลาการหุง (water bath)	(min)	39.67±0.58	39.67±0.59
ปริมาณการดูดซึมน้ำ	(g water/ g rice)	2.25±0.04	2.13±0.10
ค่าความแข็ง	(N)	20.75±0.31	21.17±0.85
ค่าสี	L*	53.70±2.79	54.10±1.15
	a*	6.53±0.64	7.47±0.21
	b*	18.77±1.29	22.20±0.61
ปริมาณจุลินทรีย์	log (CFU/g)	3.32±0.34	3.92±0.57
ปริมาณไขมันอิสระ	(%)	0.309±0.029	0.327±0.055

*Mean ± standard deviation of three replication

หมายเหตุ ข้อมูลของข้าวกล้องงอกเป็นตัวอย่างข้าวที่ผ่านการอบแห้งแล้ว

ผลการทดสอบทางเคมีและทางกายภาพของข้าวกล้องงอกหลังการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆเริ่มด้วยการเตรียมตัวอย่างข้าวกล้องงอกพันธุ์หอมมะลิ 105 ด้วยวิธีการที่ได้นำเสนอในบทที่ 3 จนได้ข้าวกล้องงอกที่มีคุณภาพดีทั้งลักษณะปรากฏ และกลิ่น รวมถึงสังเกตความยาวของจมูกข้าวประมาณ 1 - 2 มิลลิเมตร ดังแสดงรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ข้าวกล้องงอกก่อนการอบแห้ง

4.2 ผลการศึกษาการใช้ความร้อนในกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำ (100°C, 10-20 นาที) ร่วมกับการอบลดความชื้นที่อุณหภูมิต่าง ๆ (20°C, 40°C และ 80°C) เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาต่อปริมาณกรดแกมมาแอมิโนบิวทิริกในผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกพันธุ์หอมมะลิ 105

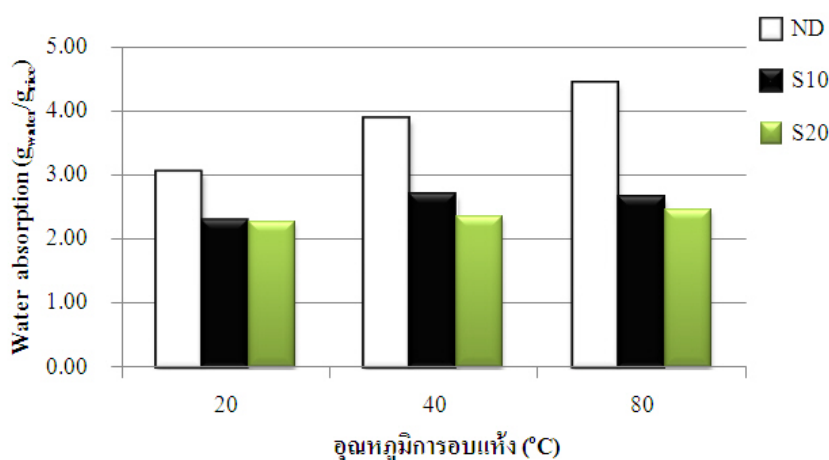
วัตถุประสงค์นี้มุ่งเน้นศึกษาผลของความร้อนที่มีต่อคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของข้าวกล้องงอกพันธุ์หอมมะลิ 105 โดยการเตรียมตัวอย่างข้าวกล้องงอกตามวิธีการที่ได้นำเสนอแล้วในบทที่ 3 และแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ส่วนที่หนึ่งนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 20, 40 และ 80°C โดยไม่ผ่านการให้ความร้อนด้วยไอน้ำ ส่วนที่สองผ่านการให้ความร้อนด้วยไอน้ำอุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 10 นาทีก่อนนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 20, 40 และ 80°C และส่วนที่สามผ่านการให้ความร้อนด้วยไอน้ำอุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 20 นาทีก่อนนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 20, 40 และ 80°C ตามลำดับ ดังนั้นเพื่อง่ายต่อการอธิบายผลการทดลองจึงขออนุญาตย่อการทดลองดังนี้

- ND 20 : ข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 20°C โดยไม่ผ่านการให้ความร้อนด้วยไอน้ำ
- ND 40 : ข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 40°C โดยไม่ผ่านการให้ความร้อนด้วยไอน้ำ
- ND 80 : ข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 80°C โดยไม่ผ่านการให้ความร้อนด้วยไอน้ำ
- S10 + D20 : ข้าวกล้องงอกผ่านการให้ความร้อนด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 100°C, 10 นาทีและอบลด ความชื้นอุณหภูมิ 20°C
- S10 + D40 : ข้าวกล้องงอกผ่านการให้ความร้อนด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 100°C, 10 นาที และอบลดความชื้นอุณหภูมิ 40°C
- S10 + D80 : ข้าวกล้องงอกผ่านการให้ความร้อนด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 100°C, 10 นาที และอบลดความชื้นอุณหภูมิ 80°C
- S20 + D20 : ข้าวกล้องงอกผ่านการให้ความร้อนด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 100°C, 20 นาที และอบลดความชื้นอุณหภูมิ 20°C
- S20 + D40 : ข้าวกล้องงอกผ่านการให้ความร้อนด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 100°C, 20 นาที และอบลดความชื้นอุณหภูมิ 40°C
- S20 + D80 : ข้าวกล้องงอกผ่านการให้ความร้อนด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 100°C, 20 นาที และอบลดความชื้นอุณหภูมิ 80°C

ตัวอย่างข้าวกล้องงอกผ่านการให้ความร้อนด้วยไอน้ำและลดความชื้นจนกระทั่งมีค่าอยู่ในช่วง 12-13%wb. ก่อนการนำไปทดสอบคุณสมบัติต่างๆ เพื่อรักษาคุณภาพและเหมาะสมต่อการเก็บรักษา

4.2.1 ผลการทดสอบค่าการดูดซึมน้ำ (Water absorption) ของข้าวกล้องงอกหลังการอบแห้ง

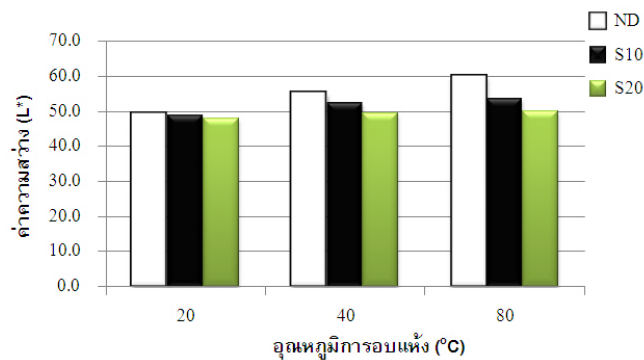
ปริมาณการดูดซึมน้ำ เป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถในการดูดซึมน้ำเข้าสู่ในเมล็ดระหว่างกระบวนการให้ความร้อน ซึ่งจากการทดสอบค่าปริมาณการดูดซึมน้ำของข้าวกล้องงอกหลังจากผ่านการให้ความร้อนและอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่า การให้ความร้อนด้วยไอน้ำเป็นระยะเวลานานขึ้น ส่งผลต่อการลดลงของความสามารถในการดูดซึมน้ำ เช่น ที่สภาวะ S10+D40 แสดงค่าปริมาณการดูดซึมน้ำ $2.69 \text{ g}_{\text{water}}/\text{g}_{\text{rice}}$ ในขณะที่เพิ่มระยะเวลาการให้ความร้อนเพิ่มขึ้นเป็นสภาวะ S20+D40 พบว่า ค่าปริมาณการดูดซึมน้ำกลับลดลง $2.35 \text{ g}_{\text{water}}/\text{g}_{\text{rice}}$ ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างภายในเมล็ดข้าวเกิดการยึดเกาะตัวกันแน่นขึ้นเมื่อได้รับความร้อนด้วยระยะเวลาที่นาน ดังนั้นจึงส่งผลต่อความสามารถในการดูดซึมน้ำที่ลดลง นอกจากนี้หากพิจารณาที่ผลของอุณหภูมิในการอบแห้งโดยที่ข้าวกล้องงอกไม่ผ่านกระบวนการให้ความร้อน นั่นคือ ND20, ND40 และ ND80 พบว่าให้ค่าปริมาณการดูดซึมน้ำ 3.03, 3.87 และ $4.43 \text{ g}_{\text{water}}/\text{g}_{\text{rice}}$ ตามลำดับ ซึ่งแสดงแนวโน้มของการเพิ่มขึ้นของความสามารถในการดูดซึมน้ำของข้าวที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนด้วยไอน้ำ หรืออาจกล่าวได้ว่าไม่ผ่านกระบวนการเจลาไทไนเซชัน (gelatinization) ส่งผลให้ความสามารถในการดูดซึมน้ำมากขึ้นระหว่างกระบวนการหุงต้ม สังเกตได้จากเมล็ดจะค่อนข้างแฉะและไม่ร่วนซุย เมล็ดขยายตัวได้มากนั่นเอง



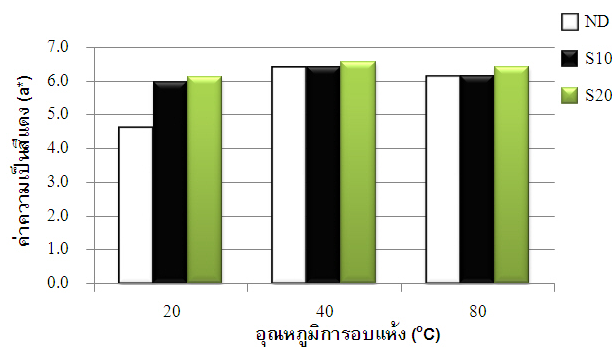
รูปที่ 4.2 ค่าปริมาณการดูดซึมน้ำ (water absorption) ของข้าวกล้องงอกหลังการอบแห้ง

4.2.2 ผลการทดสอบค่าสี (Color) ของข้าวกล้องงอกหลังการอบแห้ง

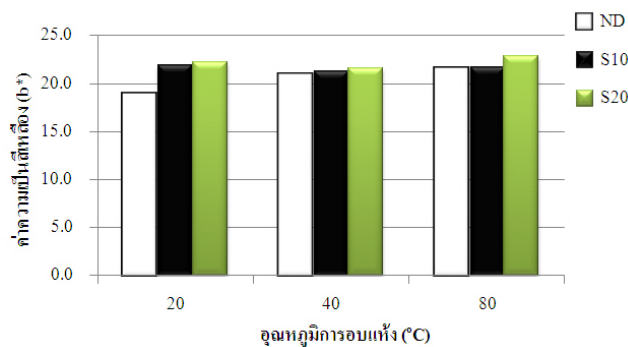
สีของเมล็ดข้าวเป็นปัจจัยในการบ่งบอกคุณภาพของข้าวได้เป็นอย่างดี รวมถึงสียังเป็นตัวกำหนดราคาในการซื้อขายข้าวในท้องตลาดด้วยเช่นกัน ทั้งนี้สีเป็นสิ่งที่ผู้บริโภคสามารถสังเกตเห็นในตัวผลิตภัณฑ์นั้นๆ ดังนั้นกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารไม่เฉพาะข้าวจึงต้องคำนึงถึงคุณภาพด้านสีเป็นสำคัญ จากการทดสอบกระบวนการให้ความร้อนกับข้าวกล้องงอกที่อุณหภูมิต่างๆ ให้ผลของค่าสีดังแสดงในรูปที่ 4.3, 4.4 และ 4.5



รูปที่ 4.3 ค่าความสว่าง (L*) ของข้าวกล้องงอกหลังการอบแห้ง



รูปที่ 4.4 ค่าความเป็นสีแดง (a*) ของข้าวกล้องงอกหลังการอบแห้ง



รูปที่ 4.5 ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ของข้าวกล้องงอกหลังการอบแห้ง

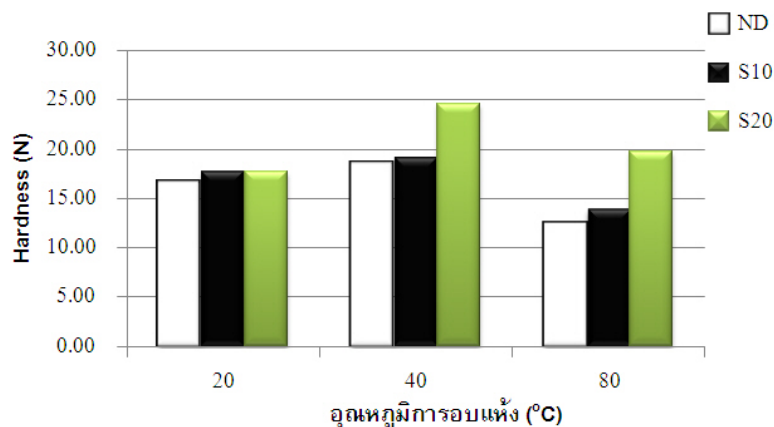
จากรูปที่ 4.3 แสดงค่าความสว่างของเมล็ดข้าวกล้องงอกหลังจากผ่านการให้ความร้อนและอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ ผลการทดสอบพบว่า การเพิ่มระยะเวลาในการให้ความร้อนด้วยไอน้ำ ส่งผลต่อการลดลงของค่าความสว่างของเมล็ดข้าวในทุกช่วงอุณหภูมิของการอบแห้ง ยกตัวอย่างเช่น การอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 °C กรณีข้าวกล้องงอกไม่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการอบแห้งให้ค่าความขาว 60.1% และเมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 10 นาทีและ 20 นาที ส่งผลต่อค่าความสว่างของเมล็ดเป็น

53.8% และ 50.0% ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม หากพิจารณาที่การอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำกลับให้ค่าความสว่างต่ำกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงใช้เวลาที่ค่อนข้างสั้นประมาณ 3 - 4 ชั่วโมง เมื่อลดปริมาณความชื้นของข้าวกล้องงอกจาก 38%wb. เป็น 12 - 13%wb. ในขณะที่เมื่อใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่ 40°C เพื่อลดความชื้นของข้าวกล้องงอกให้มีค่าสุดท้ายเท่ากับ 12 - 13%wb. ใช้เวลาถึง 12 - 15 ชั่วโมง ดังนั้น ถึงแม้ว่าอุณหภูมิในการอบแห้งสูง แต่เมื่อใช้เวลาสั้นส่งผลกระทบกับค่าความสว่างน้อยกว่าการใช้เวลานานขึ้น

จากรูปที่ 4.5 แสดงค่าความเป็นสีเหลืองของเมล็ดข้าวกล้องงอกหลังจากผ่านการให้ความร้อนและอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ ผลการทดสอบพบว่า การเพิ่มระยะเวลาในการให้ความร้อนด้วยไอน้ำส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าความเป็นสีเหลืองของเมล็ดข้าวในทุกช่วงอุณหภูมิของการอบแห้ง ยกตัวอย่างเช่น อุณหภูมิ 80°C กรณีข้าวกล้องงอกผ่านการให้ความร้อนด้วยไอน้ำอุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 10 นาที และ 20 นาที ให้ค่าความเป็นสีเหลือง 21.7 และ 22.8 และเมื่อไม่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการอบแห้งให้ค่าความเป็นสีเหลืองลดลงเป็น 21.6 อย่างไรก็ตาม หากพิจารณาการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงให้ค่าความเป็นสีเหลืองสูงกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเอนไซม์ที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (Browning reaction) ซึ่งอุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการทำงานของสารบางชนิดที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงด้านสี เมื่ออุณหภูมิสูงสีจะเคลื่อนตัวออกจากเมล็ดออกมาสู่ภายนอก ทำให้ได้ค่าความเป็นสีเหลืองที่มากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ

4.2.3 ผลการทดสอบค่าความแข็ง (Hardness) ของข้าวกล้องงอกหลังการอบแห้ง

ค่าความแข็ง เป็นค่าที่แสดงถึงความแข็งของเมล็ดข้าวหุงสุก สามารถวัดโดยใช้เครื่องทดสอบแรงกดด้วยวิธี Back extrusion ซึ่งจะแสดงค่าสูงสุดในหน่วยนิวตัน จากการทดสอบค่าความแข็งของข้าวกล้องงอกหลังจากการให้ความร้อนและอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่า การให้ความร้อนด้วยไอน้ำอุณหภูมิ 100°C เป็นระยะเวลานานส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าความแข็ง ตัวอย่างเช่น ที่สภาวะ S10+D40 แสดงค่าความแข็ง 19.12 นิวตัน ในขณะที่ให้ความร้อนเพิ่มระยะเวลาในการให้ความร้อนเป็นสภาวะ S20+D40 เป็น 24.64 นิวตัน พบว่า ค่าความแข็งเพิ่มขึ้นแสดงดังรูปที่ 4.6 ขณะที่เมล็ดข้าวดูดซึมน้ำ จะเกิดการพองตัวเล็กน้อย แต่เมื่อได้รับความร้อนเมล็ดข้าวจะดูดน้ำและพองตัวได้มากขึ้น โมเลกุลของน้ำอิสระที่อยู่รอบๆ เมล็ด เหลือน้อยลง ทำให้โครงสร้างภายในเกิดการเกาะตัวแน่นขึ้นและดูดซึมน้ำลดลง ส่งผลให้ได้ข้าวสุกที่มีเนื้อสัมผัสที่แข็ง นอกจากนี้หากพิจารณาที่อุณหภูมิในการอบแห้งโดยข้าวกล้องงอกไม่ผ่านการให้ความร้อนนั้นคือ ND20, ND40 และ ND80 พบว่าให้ค่าความแข็งเป็น 16.67, 18.65 และ 12.54 นิวตัน ตามลำดับ ซึ่งแสดงได้ว่าการใช้เวลาในการอบแห้งนาน ถึงแม้จะใช้อุณหภูมิต่ำ (20°C และ 40 °C) ให้ค่าความแข็งมากกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงเวลาสั้น (80°C) เช่นกัน



รูปที่ 4.6 ค่าความแข็ง (Hardness) ของข้าวกล้องงอกหลังการอบแห้ง

4.2.4 ผลการทดสอบปริมาณกรดแกมมาเอมิโนบิวทีริก (GABA) และปริมาณจุลินทรีย์

สารกาบา หรือ กรดแกมมาเอมิโนบิวทีริก (Gamma Amino Butyric : GABA) เป็นกรดเอมิโนจากกระบวนการ Decarboxylation ของกรดกลูตามิก (Glutamic acid) ข้าวกล้องงอกเป็นข้าวที่ผ่านกระบวนการผลิตโดยการควบคุมสภาวะที่เหมาะสมให้เกิดการงอกที่จมูกข้าวประมาณ 1 - 2 มม. ซึ่งส่งผลต่อการเพิ่มของสาร GABA จากการทดสอบพบว่า ข้าวที่ไม่ผ่านการงอกมีสาร GABA อยู่ 4.67 mg/100 g และเมื่อผ่านการงอก ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของสาร GABA อย่างไรก็ตามจากการทดลองโดยการลดความชื้นข้าวกล้องงอก โดยผ่านและไม่ผ่านการให้ความร้อนด้วยไอน้ำ ดังแสดงในตารางที่ 4.2 ผลการทดลองพบว่า การลดความชื้นที่อุณหภูมิต่ำ (20°C) โดยไม่ผ่านการให้ความร้อนให้ค่า GABA สูงสุด 10.68 mg/100 g อย่างไรก็ตราบ้างแม้ข้าวกล้องงอกที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยไอน้ำและลดความชื้นที่อุณหภูมิสูงกว่า 20°C จะปรากฏผลว่ามีการลดลงของสาร GABA แต่ก็ยังคงมากกว่าสาร GABA ที่มีอยู่ในข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการงอก ดังนั้น หากผู้บริโภคต้องการข้าวกล้องงอกที่มีสาร GABA ปริมาณสูงจึงควรหลีกเลี่ยงการให้ความร้อนกับเมล็ดข้าวกล้องงอก

ปริมาณการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่กำหนดคุณภาพของข้าวจากผลการทดสอบปริมาณจุลินทรีย์ของข้าวกล้องงอกที่ผ่านและไม่ผ่านการให้ความร้อน ดังตารางที่ 4.2 พบว่าการลดความชื้นข้าวที่สภาวะต่างๆ ส่งผลต่อการลดลงของปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของเชื้อจุลินทรีย์ จะมีผลต่อลักษณะค่าความปลอดภัยของผู้บริโภค โดยปริมาณจุลินทรีย์ที่ยอมรับได้ในข้าวต้องไม่เกิน 5×10^4 CFU/g ซึ่งเป็นค่าที่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบปริมาณกรดแอมมาเอมิโนบิวทริกและปริมาณจุลินทรีย์

สภาวะการทดลอง	ปริมาณกรดแอมมาเอมิโนบิวทริก (mg/100g)	ปริมาณจุลินทรีย์ (CFU/g)
ND 20	10.68	1.8×10^4
ND 40	5.19	4.0×10^3
ND 80	9.93	7.0×10^3
S10 + D20	5.42	9.0×10^3
S10 + D40	5.66	5.0×10^3
S10 + D80	5.68	2.0×10^3
S20 + D20	5.47	6.0×10^3
S20 + D40	7.24	4.0×10^3
S20 + D80	5.95	3.0×10^3

4.3 ผลการศึกษาผลของกระบวนการเก็บรักษาข้าวกล้องงอกที่อุณหภูมิ 4°C และ 37°C เป็นเวลา 8 เดือนต่อปริมาณการเปลี่ยนแปลงกรดแอมมาเอมิโนบิวทริกในผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกพันธุ์หอมมะลิ 105

4.3.1 การเปลี่ยนแปลงค่าความชื้น (moisture content) และปริมาณจุลินทรีย์ (total plate count)

จากการศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในกระบวนการเก็บรักษาข้าวกล้องงอก (GR) เปรียบเทียบกับข้าวกล้อง (BR) โดยพิจารณาผลทางกายภาพและทางเคมีของข้าวกล้องพันธุ์หอมมะลิ 105 การเก็บรักษาจะแบ่งออกเป็นสองอุณหภูมิ คือที่ 4°C และ 37°C ทำการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 8

จากผลการทดสอบพบว่า ก่อนเริ่มทำการเก็บรักษาปริมาณความชื้นสุดท้ายของข้าวกล้องงอกที่ผ่านการลดความชื้นแล้วจะมีค่าอยู่ที่ $12.81 \pm 0.30\% \text{wb}$ และปริมาณความชื้นสุดท้ายของข้าวกล้องจะมีค่าอยู่ที่ $14.85 \pm 0.07\% \text{wb}$ ดังแสดงค่าในตารางที่ 4.3 จากนั้นเมื่อเริ่มทำการเก็บรักษาข้าวกล้องทั้งสองชนิดที่อุณหภูมิการเก็บรักษาที่ต่ำคือ 4°C และที่อุณหภูมิการเก็บรักษาที่สูงคือ 37°C จากการทดสอบพบว่า ข้าวกล้องที่ผ่านการเก็บที่อุณหภูมิต่ำไม่มีการเปลี่ยนแปลงในขณะที่ข้าวกล้องกลองเพิ่มขึ้นเล็กน้อย อย่างไรก็ตามเมื่อเก็บตัวอย่างข้าวทั้งสองชนิดที่อุณหภูมิสูงพบว่าค่าความชื้นมีแนวโน้มลดลง

ปริมาณการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่กำหนดคุณภาพของข้าว จากการทดสอบปริมาณจุลินทรีย์ของข้าวกล้องงอกและข้าวกล้องที่ไม่ผ่านกระบวนการงอก พบว่าการเก็บรักษาข้าวกล้องที่อุณหภูมิต่างๆ ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งการเพิ่มขึ้น

หรือลดลงของเชื้อจุลินทรีย์ จะมีผลต่อลักษณะค่าความปลอดภัยของผู้บริโภคโดยปริมาณจุลินทรีย์ที่ยอมรับได้ในข้าวต้องไม่เกิน 5×10^4 CFU/g หรือประมาณ 4.6990 Log CFU/g ซึ่งเป็นค่าที่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค จากการทดสอบปริมาณจุลินทรีย์พบว่า การเก็บตัวอย่างข้าวกล้องและข้าวกล้องงอกที่อุณหภูมิ 4°C ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ในช่วง 4 เดือนแรกและมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้น ซึ่งกลับส่งผลในทางตรงกันข้ามกับการเก็บตัวอย่างข้าวที่อุณหภูมิสูง (37°C)

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้น (moisture content) และปริมาณจุลินทรีย์ (total plate count) ระหว่างการเก็บรักษาข้าวกล้องและข้าวกล้องงอก

เดือน	ค่าความชื้น (%)				ปริมาณจุลินทรีย์ (log CFU/g)			
	ข้าวกล้อง		ข้าวกล้องงอก		ข้าวกล้อง		ข้าวกล้องงอก	
	4°C	37°C	4°C	37°C	4°C	37°C	4°C	37°C
0	14.85±0.07	14.85±0.08	12.81±0.30	12.81±0.31	3.32±0.34	3.32±0.35	3.92±0.57	3.92±0.58
1	14.88±0.13	12.49±0.40	13.10±0.74	12.47±0.38	3.78±0.54	4.24±0.87	6.37±1.06	5.10±0.65
2	14.77±0.17	12.60±0.29	13.64±0.32	12.47±0.05	4.89±0.72	6.42±1.87	4.52±1.44	5.38±0.46
4	14.17±0.61	12.28±0.01	13.49±0.14	12.31±0.78	4.36±0.50	5.12±0.32	5.51±0.22	5.11±0.19
6	14.18±0.37	12.10±0.34	14.00±0.35	12.34±0.58	5.13±0.23	4.29±0.38	6.52±0.35	3.84±0.33
8	14.54±0.37	11.81±0.19	14.03±0.71	12.09±0.51	5.88±0.04	2.94±0.30	7.64±0.40	1.65±0.25

*Mean ± standard deviation of three replication

4.3.2 การเปลี่ยนแปลงค่าการดูดซึมน้ำ (water absorption) และค่าความแข็ง (Hardness)

ปริมาณการดูดซึมน้ำเป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถในการดูดซึมน้ำเข้าสู่ในเมล็ดข้าวระหว่างกระบวนการให้ความร้อนซึ่งจากการทดสอบค่าปริมาณการดูดซึมน้ำของข้าวกล้องงอกและข้าวกล้อง ซึ่งผ่านการเก็บรักษาที่ 4°C และ 37°C ดังแสดงในตารางที่ 4.4 พบว่าการเก็บรักษาข้าวกล้องงอกและข้าวกล้องเป็นระยะเวลานานขึ้น ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของความสามารถในการดูดซึมน้ำ ณ การเก็บที่อุณหภูมิสูงและมีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลง ณ การเก็บที่อุณหภูมิต่ำ

ตารางที่ 4.4 แสดงผลของปริมาณการดูดซึมน้ำของข้าวกล้องงอกและข้าวกล้องที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C และ 37°C เมื่อให้ความร้อนในการหุงต้มตามระยะเวลาในการหุงต้ม (Cooking time) ของการหุงด้วยหม้อต้มน้ำ (Water bath) คือ 40 นาที พบว่าก่อนการเก็บรักษาข้าวกล้องงอกมีปริมาณการดูดซึมน้ำเท่ากับ $2.13 \pm 0.10 \text{ g}_{\text{water}} / \text{g}_{\text{rice}}$ และข้าวกล้องมีปริมาณการดูดซึมน้ำเท่ากับ $2.25 \pm 0.04 \text{ g}_{\text{water}} / \text{g}_{\text{rice}}$ เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้น การเก็บข้าวกล้องที่อุณหภูมิ 4°C ปริมาณการดูดซึมน้ำของข้าวกล้องงอกจะมีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลงในช่วง 2.21-2.25 ในขณะที่ข้าวกล้องงอกมีการเปลี่ยนแปลง

เพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วง 2.13-2.23 อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาการเก็บข้าวกล้องและข้าวกล้องงอกที่อุณหภูมิสูงพบว่าค่าปริมาณการดูดซึมน้ำของข้าวกล้องเพิ่มขึ้นในช่วง 2.25-2.42 และข้าวกล้องงอกเพิ่มขึ้นในช่วง 2.13-2.32 ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณการดูดซึมน้ำของตัวอย่างข้าวทั้งสองซึ่งทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำจะยับยั้งการเสื่อมสภาพ ทำให้ตัวอย่างข้าวทั้งสองมีลักษณะใกล้เคียงกับลักษณะตัวอย่างข้าวก่อนเก็บรักษา ในขณะที่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูง ส่งผลทำให้ข้าวกล้องงอกและข้าวกล้องที่เก็บรักษามีปริมาณความชื้นน้อยลงและแห้งขึ้น เมื่อให้ความร้อนในการหุงต้ม ข้าวกล้องงอกและข้าวกล้องจะขยายตัวและดูดซึมน้ำเข้าไปมากขึ้น เมื่อเทียบกับข้าวกล้องงอกและข้าวกล้องที่มีระยะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำกว่า

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบการเปลี่ยนค่าการดูดซึมน้ำ (water absorption) และค่าความแข็ง (Hardness) ระหว่างการเก็บรักษาข้าวกล้องและข้าวกล้องงอก

เดือน	ปริมาณการดูดซึมน้ำ (g water/g rice)				ค่าความแข็ง (N)			
	ข้าวกล้อง		ข้าวกล้องงอก		ข้าวกล้อง		ข้าวกล้องงอก	
	4°C	37°C	4°C	37°C	4°C	37°C	4°C	37°C
0	2.25±0.04	2.25±0.05	2.13±0.10	2.13±0.11	20.75±0.31	20.75±0.32	21.17±0.85	21.17±0.86
1	2.21±0.01	2.33±0.05	2.17±0.03	2.17±0.08	20.33±0.29	22.99±1.14	19.85±0.68	21.43±0.94
2	2.17±0.01	2.38±0.01	2.15±0.04	2.27±0.03	22.23±0.34	23.17±1.03	21.10±0.51	22.05±0.81
4	2.19±0.05	2.42±0.06	2.22±0.05	2.32±0.02	22.34±0.73	23.46±0.47	21.86±0.91	23.06±0.85
6	2.21±0.09	2.41±0.02	2.23±0.02	2.31±0.04	22.62±0.40	23.47±0.45	22.60±0.20	23.39±0.80
8	2.22±0.05	2.36±0.05	2.27±0.04	2.29±0.04	22.59±0.39	23.64±0.40	22.68±0.13	23.81±0.37

*Mean ± standard deviation of three replication

ค่าความแข็ง เป็นค่าที่แสดงถึงความแข็งของเมล็ดข้าวหุงสุก สามารถวัดโดยใช้เครื่องทดสอบแรงกดด้วยวิธี Back extrusion ซึ่งจะแสดงค่าสูงสุดในหน่วยนิวตัน จากการทดสอบค่าความแข็งของข้าวกล้องงอกและข้าวกล้องที่ไม่ผ่านกระบวนการงอกและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C และ 37°C พบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าความแข็งข้าวกล้องงอกและข้าวกล้อง ดังแสดงในตารางที่ 4.4 โดยเฉพาะการเก็บที่อุณหภูมิสูงมีค่าความแข็งสูงกว่าการเก็บที่อุณหภูมิต่ำเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบในเดือนเดียวกันของทั้งสองตัวอย่างข้าว

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบการเปลี่ยนค่าสี (color) ระหว่างการเก็บรักษาข้าวกล้องและข้าวกล้องงอก

เดือน	ค่าสี											
	L*				a*				b*			
	ข้าวกล้อง		ข้าวกล้องงอก		ข้าวกล้อง		ข้าวกล้องงอก		ข้าวกล้อง		ข้าวกล้องงอก	
	4°C	37°C	4°C	37°C	4°C	37°C	4°C	37°C	4°C	37°C	4°C	37°C
0	53.70±2.79	53.70±2.80	54.10±1.15	54.10±1.16	6.53±0.64	6.53±0.65	7.47±0.21	7.47±0.22	18.77±1.29	18.77±1.30	22.20±0.61	22.20±0.62
1	58.80±1.35	60.70±2.10	52.07±0.97	53.60±2.26	4.97±0.40	5.50±0.36	6.33±0.21	6.27±0.12	21.87±0.45	22.77±1.14	22.40±0.72	23.13±0.59
2	55.87±4.39	56.87±0.35	53.40±0.78	47.63±0.75	6.63±0.12	7.47±0.15	8.23±0.06	7.57±0.06	22.03±0.35	23.07±0.15	22.73±0.15	22.87±0.47
4	54.90±1.51	60.13±0.87	51.60±2.16	46.67±2.98	6.87±0.21	7.83±0.21	8.50±0.62	7.97±0.51	20.27±0.59	23.03±0.40	22.73±0.93	21.67±1.59
6	58.13±2.97	61.80±2.25	53.60±0.75	52.43±0.90	6.60±0.26	7.93±0.38	8.00±0.17	8.33±0.25	20.90±1.51	24.73±0.74	22.53±0.32	24.07±1.02
8	56.97±0.71	60.17±2.27	53.47±1.10	51.87±1.10	6.87±0.32	8.20±0.20	8.10±0.10	9.20±0.52	21.07±0.68	24.77±0.50	22.63±0.72	25.17±0.95

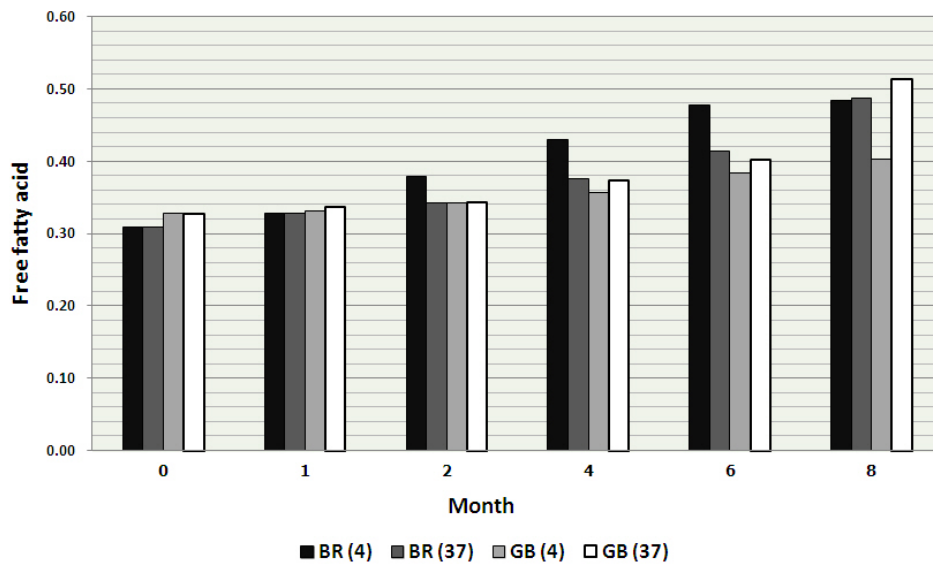
*Mean ± standard deviation of three replication.

4.3.3 การเปลี่ยนแปลงค่าสี (L^* , a^* , b^*)

จากการทดสอบการเก็บรักษาข้าวกล้องงอกและข้าวกล้องที่อุณหภูมิ 4°C และ 37°C ในระยะเวลาการเก็บรักษาต่าง ๆ ให้ผลของค่าสี (L^* , a^* , b^*) ดังแสดงในตารางที่ 4.5 พบว่าค่าความสว่างของเมล็ดข้าวกล้องงอกและข้าวกล้อง หลังจากผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานมากขึ้นค่าความสว่างของข้าวกล้องงอกและข้าวกล้องจะมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงน้อยมาก เนื่องจากที่อุณหภูมิต่ำสามารถชะลอการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ ที่เกิดกับตัวอย่างข้าวได้ ทำให้ค่าสีไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ในขณะที่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูง ที่ 37°C ข้าวกล้องงอกมีค่าความสว่างในทิศทางที่ลดลง ในขณะที่ข้าวกล้องกลับดูสว่างมากขึ้น เนื่องมาจากการเก็บรักษาข้าวที่อุณหภูมิสูงจะทำให้ปริมาณความชื้นลดลงและแห้งมากขึ้น ตัวอย่างข้าวจึงมีความสว่างลดลง เช่นเดียวกับค่าความเป็นสีเหลืองและสีแดงพบว่าทั้งสองตัวอย่างข้าวเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำมีทิศทางคงที่และที่อุณหภูมิสูงพบว่า a^* และ b^* เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดโดยเฉพาะข้าวกล้องงอกทั้งนี้อาจเนื่องมาจากตัวอย่างข้าวกล้องงอกนั้นผ่านการให้ความร้อนด้วยไอน้ำก่อนการเก็บรักษาจึงเกิดปฏิกิริยาเจลลาคีไนส์เซชัน ค่าความเป็นสีแดงและเหลืองจึงสังเกตได้อย่างชัดเจน

4.3.4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid)

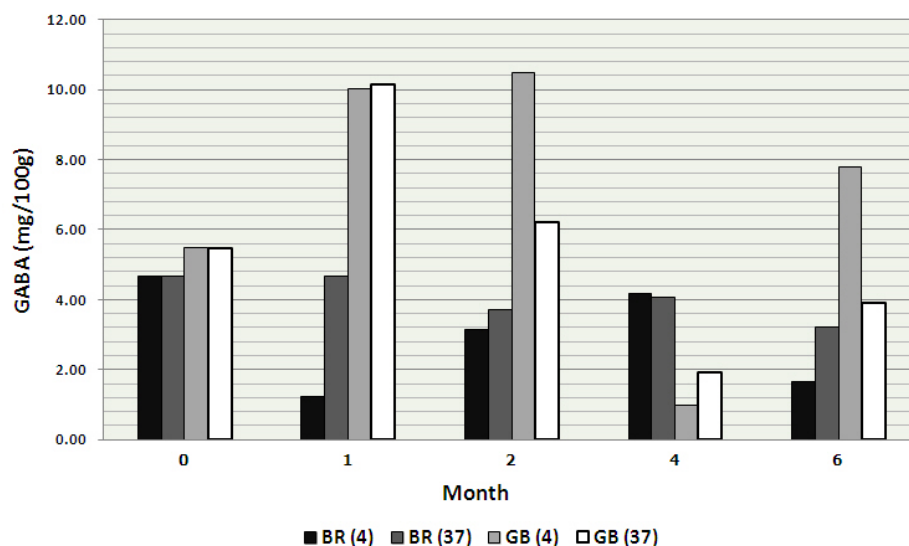
กรดไขมันอิสระ เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่จำเป็นต้องศึกษาเกี่ยวกับการเก็บรักษาข้าวกล้อง เนื่องจากเป็นสารที่จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ ทำให้ข้าวเกิดการเหม็นหืนขึ้น จึงจำเป็นต้องหาสภาวะอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเก็บรักษาข้าวกล้อง โดยกำหนดการเก็บรักษาที่ 4°C และ 37°C ดังแสดงในรูปที่ 4.7 พบว่า ข้าวกล้องงอกและข้าวกล้อง เมื่อระยะเวลาผ่านไปข้าวกล้องทั้งสองชนิดจะมีปริมาณกรดไขมันมากขึ้น โดยการเก็บรักษาที่ 4°C ข้าวกล้องทั้งสองชนิดจะมีปริมาณกรดไขมันเพิ่มขึ้นในอัตราที่น้อยกว่า ถ้าเทียบกับการเพิ่มขึ้นของกรดไขมันอิสระของข้าวกล้องงอกและข้าวกล้องที่เก็บรักษาที่ 37°C ตัวอย่างเช่น ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 8 เดือน อุณหภูมิการเก็บรักษา 4°C ข้าวกล้องมีกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นจากระดับเริ่มต้น โดยข้าวกล้องเพิ่มขึ้นจาก 0.309% เป็น 0.484% ในขณะที่ อุณหภูมิการเก็บรักษา 37°C ข้าวกล้องมีกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นจากระดับเริ่มต้น โดยข้าวกล้องเพิ่มขึ้นจาก 0.309% เป็น 0.487% เช่นเดียวกับการเก็บข้าวกล้องงอกที่ให้ผลในทิศทางเดียวกัน นอกจากนี้ยังพบว่าข้าวกล้องงอกหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 เดือน ให้ปริมาณกรดไขมันอิสระเท่ากับ 0.403 และ 0.513% ที่การเก็บรักษา 4°C และ 37°C ตามลำดับ



รูปที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid) ของตัวอย่างข้าวระหว่างการเก็บรักษา

4.3.5 ผลการวิเคราะห์กรดแกมมาอะมิโนบูทีริก (α -Amino butyric acid; GABA)

ข้าวกล้องงอกและข้าวกล้องก่อนการเก็บรักษาหรือที่ 0 เดือน พบว่ามีปริมาณสารกาบา (GABA) เริ่มต้น 5.47 mg/100g และ 4.67 mg/100g ตามลำดับ จากรูปที่ 4.8 พบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวกล้องงอกและข้าวกล้องนานขึ้น การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ข้าวกล้องงอกจะมีปริมาณสาร GABA ที่เพิ่มสูงขึ้น ในช่วง 4 เดือนแรก เมื่อเทียบกับปริมาณสาร GABA ของข้าวกล้องงอกก่อนการเก็บรักษา และมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บยาวนานขึ้น



รูปที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสาร GABA ของตัวอย่างข้าวระหว่างการเก็บรักษา