รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การศึกษาคุณค่าทางโภชนาการและทางยาของข้าวงอกเพื่อเป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์เสริมอาหารและอาหารเพื่อสุขภาพ

โดย รศ. ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก และคณะ

กรกฎาคม พ.ศ. 2554

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	i
Abstract	iv
บทสรุปผู้บริหาร	vii
กิตติกรรมประกาศ	xi
สารบัญ	xii
สารบัญตาราง	xiii
สารบัญรูป	xix
สารบัญภาคผนวก	xxii
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 การตรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
บทที่ 3 วิธีการทดลอง	28
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	48
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	129
เอกสารอ้างอิง	134
ภาคผนวก	147

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ปริมาณสารอาหารในข้าวกล้องและข้าวขัดขาว 100 กรัม (นน.เปียก)	6
2.2	การแบ่งตามปริมาณของอะไมโลสและลักษณะข้าวสุก	7
2.3	ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิแป้งสุกกับระยะเวลาในการหุงต้ม	8
2.4	การแบ่งประเภทข้าวตามความคงตัวของแป้งสุก	8
2.5	คุณค่าทางโภชนาการและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของข้าวกล้องและข้าวกล้องงอก	15
2.6	ปริมาณกรดอะมิโนอิสระในข้าวพันธุ์ Haiminori ที่ผ่านการเพาะให้งอกด้วยการแช่น้ำและไม่ได้แช่น้ำ	16
2.7	วิธีการหรือสภาวะที่ใช้ในกระบวนการงอกเพื่อทำให้ปริมาณ GABA ในเมล็ดข้าวเพิ่มสูงขึ้น	18
2.8	ประโยชน์ต่อสุขภาพของข้าวกล้องงอก	21
2.9	ปริมาณ GABA ของจมูกข้าวที่มีระยะเวลาการเก็บรักษาต่างกันก่อนนำมาแช่ในน้ำ	25
2.10	การเปลี่ยนแปลงปริมาณ GABA ระหว่างกระบวนการงอก (เพาะให้งอกที่อุณหภูมิ 30°C)	26
3.1	สารละลายที่ pH ต่างๆ ที่ใช้แช่ข้าวกล้อง	32
3.2	ชนิดตัวทำละลายที่ใช้ในการชะผ่าน Column chromatography	40
4.1	องค์ประกอบทางเคมีของข้าวกล้องพันธุ์ต่างๆ	48
4.2	ผล pH ของสารละลายที่ใช้ระหว่างการแช่ข้าวกล้องพันธุ์ต่างๆต่อปริมาณ GABA	52
4.3	ผลของอุณหภูมิ ในระหว่างการแช่ข้าวกล้องพันธุ์ต่างๆ ต่อปริมาณ GABA	54
4.4	ผลของระยะเวลาในระหว่างการแช่ข้าวกล้องพันธุ์ต่างๆ ต่อปริมาณ GABA	55
4.5	ปริมาณ GABA ของข้าวกล้องพันธุ์ต่างๆเมื่อเพาะด้วยวิธีต่างๆ	58
4.6	สภาวะการเพาะที่ให้ GABA สูงที่สุดของข้าวพันธุ์ต่างๆ	59

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.7	องค์ประกอบทางเคมีของข้าวกล้องและข้าวกล้องงอกพันธุ์ต่างๆ	61
4.8	ปริมาณ Gamma-oryzanol ในข้าวกล้องงอกสายพันธุ์ต่างๆซึ่งเพาะจากสภาวะที่ให้ GABA สูงสุด ที่เวลาต่างๆ	62
4.9	ปริมาณ phytate ของข้าวกล้องงอกสายพันธุ์ต่างๆซึ่งเพาะจากสภาวะที่ให้ GABA สูงสุด ที่เวลาต่างๆ	63
4.10	ปริมาณ Total phenolic ในข้าวกล้องงอกสายพันธุ์ต่างๆซึ่งเพาะจากสภาวะที่ให้ GABA สูงสุด ที่เวลาต่างๆ	65
4.11	ปริมาณ ferulic acid ของข้าวกล้องงอกสายพันธุ์ต่างๆซึ่งเพาะจากสภาวะที่ให้ GABA สูงสุด ที่เวลาต่างๆ	66
4.12	ปริมาณ tocopherol ของข้าวกล้องงอกสายพันธุ์ต่างๆซึ่งเพาะจากสภาวะที่ให้ GABA สูงสุด ที่เวลาต่างๆ	67
4.13	ปริมาณ GABA ของข้าวกล้องงอกพันธุ์ต่างๆซึ่งเพาะจากสภาวะที่ให้ GABAสูงสุดที่เวลาต่างๆ	68
4.14	ปริมาณ GABA ในส่วนต่างๆของข้าวกล้องงอกทั้ง 4 สายพันธุ์ซึ่งเพาะจากสภาวะที่ให้ GABA สูงสุด ที่เวลาต่างๆ	69
4.15	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและกิจกรรมการต้านออกซิเดชันของข้าวกล้องงอก	69
4.16	ปริมาณตัวอย่างที่ร้อยละการยับยั้งกิจกรรมอะไมเลสจากน้ำลาย 50 ร้อยละการยับยั้งของส่วนต่างๆ ของข้าวกล้องงอก เล็บนกปัตตานี	73
4.17	ผลของวิธีเพาะต่อร้อยละการยับยั้งเอนไซม์อะไมเลสจากน้ำลายของสารสกัดข้าวเล็บนกปัตตานีและช่อลุง	74
4.18	ผลของวิธีเพาะต่อร้อยละการยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์อะไมเลสของสารสกัดข้าวกล้องช่อลุง	74

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.19	ผลของสายพันธุ์ข้าวกล้องต่อร้อยละการยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์อะไมเลส จากการเพาะแบบแช่ที่เวลาเพาะต่างๆ	75
4.20	ผลของชั่วโมงเพาะแบบแช่ และพันธุ์ข้าวต่อปริมาณวิตามินละลายในไขมัน	76
4.21	ผลของชั่วโมงเพาะแบบแช่ต่อปริมาณวิตามินกลุ่มละลายดีในไขมัน ของข้าวกล้องช่อลุง	77
4.22	ผลการแยกด้วย silica gel column chromatography ของ Fraction A	79
4.23	ผลการแยกด้วย silica gel column chromatography ของ Fraction B	79
4.24	ผลการสกัดแยกของ Fraction F-4	80
4.25	ผลการวิเคราะห์ ฤทธิ์และ ^{1}H NMR	80
4.26	แสดง ^{1}H NMR ของ F9 (D_2O)	80
4.27	ผลการทดสอบฤทธิ์เฉียบพลันโดยเบื้องต้น	81
4.28	ผลการตรวจวัดระดับสารชีวเคมีต่างๆ ในพลาสมาของหนูแต่ละกลุ่ม ซึ่งได้รับสารสกัดข้าวกล้องงอกในขนาดต่างๆ กัน	83
4.29	ผลการตรวจวัดค่าต่างๆ ทางโลหิตวิทยาของหนูแต่ละกลุ่ม ซึ่งได้รับสารสกัดข้าวกล้องงอกในขนาดต่างๆ กัน	85
4.30	น้ำหนักอวัยวะภายในของหนูแต่ละกลุ่มซึ่งได้รับสารสกัดข้าวกล้องงอกในขนาดต่างๆ กัน	87
4.31	ประเภทของผลิตภัณฑ์อาหารที่มีข้าวกล้องงอกเป็นส่วนประกอบ ที่ผู้ตอบแบบสอบถามเคยรับประทาน	89
4.32	ความถี่ในการบริโภคผลิตภัณฑ์อาหารที่มีข้าวกล้องงอกเป็นส่วนประกอบ	90
4.33	สาเหตุสำคัญที่ทำให้ผู้ตอบแบบสอบถามไม่เคยรับประทานหรือ เลิกรับประทานอาหารที่มีข้าวกล้องงอกเป็นส่วนประกอบ	91

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.34	ความต้องการของผู้ตอบแบบสอบถามต่อการปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการ	92
4.35	รูปแบบของผลิตภัณฑ์จากข้าวกล้องงอก	93
4.36	ความเห็นเกี่ยวกับส่วนผสมอื่นๆ ในข้าวกล้องงอกสำเร็จรูป/ กึ่งสำเร็จรูป	94
4.37	ความเห็นในปัจจัยวัตถุดิบที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นส่วนผสม ในข้าวกล้องงอกสำเร็จรูป/กึ่งสำเร็จรูป	94
4.38	ข้อมูลประชากรศาสตร์ของผู้ตอบแบบสอบถาม	95
4.39	ปริมาณความชื้นของข้าวกล้องหลังเพาะและผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอก สำเร็จรูปบรรจุในถุงรีทอร์ทเพาซ์	97
4.40	ปริมาณความชื้นของข้าวกล้องหลังเพาะและผลิตภัณฑ์ ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง	97
4.41	ค่าสีของข้าวกล้องงอกและผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปบรรจุในถุงรีทอร์ทเพาซ์	98
4.42	ค่าสีของข้าวกล้องงอกและผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง	99
4.43	ค่า Elongation ratio และ Elongation index ของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูป บรรจุในถุงรีทอร์ทเพาซ์	99
4.44	ค่า Elongation ratio และ Elongation index ของผลิตภัณฑ์ ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปบรรจุในกระป๋อง	100
4.45	พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความหนืดของข้าวกล้องงอกหลังเพาะและ ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปที่บรรจุในถุงรีทอร์ทเพาซ์	103
4.46	พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความหนืดของข้าวกล้องงอกหลังเพาะและ ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปที่บรรจุในกระป๋อง	103
4.47	ค่าความแข็งของข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปบรรจุในถุงรีทอร์ทเพาซ์	104

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.48	ค่าความแข็งของข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง	105
4.49	ระดับสภาพผลึกของข้าวกล้องงอกหลังเพาะและผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปทั้ง 2 ชนิด	107
4.50	ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปบรรจุในถุงรีทอร์ทเพาซ์	111
4.51	ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสเปรียบเทียบระหว่างผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปบรรจุในถุงรีทอร์ทเพาซ์และในกระป๋อง	112
4.52	คุณค่าทางโภชนาการของข้าวพันธุ์ช่อลุง เปรียบเทียบระหว่างข้าวกล้อง ข้าวกล้องงอกและผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูป	114
4.53	ชนิดและปริมาณแร่ธาตุของข้าวกล้อง ข้าวกล้องงอก และผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูป จากข้าวพันธุ์ช่อลุง	116
4.54	ปริมาณสาร GABA ในข้าวพันธุ์ช่อลุง เปรียบเทียบระหว่างข้าวกล้อง ข้าวกล้องงอกและผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูป	117
4.55	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและกิจกรรมการต้านออกซิเดชันของข้าวกล้อง ข้าวกล้องงอกและผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูป	119
4.56	ศักยภาพการยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์อะไมเลส ของสารสกัดจากข้าวกล้อง ข้าวกล้องงอกและผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูป จากข้าวพันธุ์ช่อลุง	120
4.57	ข้อมูลประชากรศาสตร์ของผู้ทำแบบสอบถาม	121
4.58	จำนวนและเปอร์เซ็นต์ของกลุ่มตัวอย่างที่เคยรู้จักหรือทราบข่าวเกี่ยวกับข้าวกล้องงอก	123
4.59	สื่อต่างๆที่ทำให้กลุ่มตัวอย่างรู้จักข้าวกล้องงอก	123
4.60	จำนวนและเปอร์เซ็นต์ของกลุ่มตัวอย่างที่สนใจบริโภคข้าวกล้องงอก	124

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.61	เหตุผลที่ทำให้กลุ่มตัวอย่างสนใจบริโภคข้าวกล้องงอก	124
4.62	เหตุผลที่ทำให้กลุ่มตัวอย่างไม่สนใจบริโภคข้าวกล้องงอก	125
4.63	จำนวนและเปอร์เซ็นต์ของกลุ่มตัวอย่างที่เคยรับประทานข้าวกล้องงอก หรือผลิตภัณฑ์จากข้าวกล้องงอก	125
4.64	จำนวนและร้อยละของผลิตภัณฑ์จากข้าวกล้องงอกที่ผู้ทดสอบเคยรับประทาน	126
4.65	ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูป กับผู้บริโภคกลุ่มผู้สูงอายุ จำนวน 111 คน	126
4.66	จำนวนและร้อยละของผู้ตอบแบบสอบถามที่ยอมรับข้าวกล้องงอกบรรจุกระป๋อง	127
4.67	จำนวนและร้อยละของผู้ตอบแบบสอบถามที่สนใจจะซื้อข้าวกล้องงอกบรรจุกระป๋อง	127
4.68	จำนวนและร้อยละของผู้ตอบแบบสอบถามที่สนใจจะซื้อข้าวกล้องงอกบรรจุกระป๋อง เมื่อมีข้อมูลบ่งชี้ว่าข้าวกล้องงอกบรรจุกระป๋องมีสาร GABA	128

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	โครงสร้างและส่วนประกอบของข้าว	5
2.2	ตัวอย่างกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง RVA	9
2.3	ข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์ช่อลุง, เหนียวดำเปลือกขาว, เหนียวหลันตัน และเล็บนกปัตตานี	11
2.4	ระยะต่างๆในการงอกของเมล็ดพืช	13
2.5	การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีและสารอาหารในระยะต่างๆของข้าว	17
2.6	โครงสร้างโมเลกุลของ GABA	17
2.7	ปริมาณสารอาหาร 6 ชนิดในข้าวกล้องที่ผ่านการแช่ของข้าว ที่มีจมูกข้าวขนาดใหญ่ (GE) กับมีจมูกข้าวขนาดปกติ (NE)	24
2.8	ปริมาณ GABA ในจมูกข้าวที่แช่ในสารละลายกรด-ด่างต่างๆ ใน 0.1 โมลาร์ ฟอสเฟตบัฟเฟอร์และซิเตรท บัฟเฟอร์ ระยะเวลาการแช่ 1 ชั่วโมง และ 4 ชั่วโมง	26
2.9	ผลของชนิดสารละลายที่ใช้ในการแช่ข้าวต่อกิจกรรมของเอนไซม์ กลูตาเมต ดีคาร์บอกซิเลส และปริมาณ GABA ในเอมบริโอหลังจากแช่นาน 4 ชั่วโมง	27
3.1	ข้าวกล้องทั้ง 4 สายพันธุ์ก่อนและหลังการบรรจุแบบสุญญากาศ ในถุงโพลีเอทธิลีน ขนาด 8x12 นิ้ว	28
3.2	ภาชนะสำหรับใช้เพาะข้าวกล้องงอก	34
4.1	การเปลี่ยนแปลงของปริมาณความชื้นของข้าวกล้องทั้ง 4 สายพันธุ์ ระหว่างการแช่ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้อง นาน 24 ชั่วโมง	50
4.2	การเปลี่ยนแปลงของปริมาณ GABA ของข้าวกล้องทั้ง 4 สายพันธุ์ ระหว่างการแช่ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้อง นาน 24 ชั่วโมง	51
4.3	ข้าวกล้องพันธุ์ต่างๆที่เพาะให้งอกด้วยการแช่ในสารละลาย Citric acid -Na_2HPO_4 buffer ที่ pH 3 โดยใช้อุณหภูมิ 40 ^{o}C ที่เวลาต่างๆ	56

ศูนย์วิทยทรัพยากรการเรียนรู้คุณหญิงหลง อรรถกระวีสุนทร

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.4	ข้าวกล้องพันธุ์ต่างๆที่เพาะให้งอกในภาชนะเปิด (ตะกร้า)	57
4.5	ข้าวกล้องพันธุ์ต่างๆที่เพาะให้งอกในภาชนะปิด (กล่องพลาสติกมีฝาปิด)	57
4.6	ผลของระยะเวลาในการงอกกับการยับยั้งการย่อยแป้งของเอนไซม์อะไมเลส ของสารสกัดจากข้าวเล็บนกปัตตานี	70
4.7	ข้าวกล้อง ข้าวกล้องงอก และส่วนของข้าวสารและจมูกข้าว	71
4.8	การกระจายตัวของสารยับยั้งอะไมเลสในส่วนต่างๆของเมล็ดข้าวกล้องงอก พันธุ์เล็บนกปัตตานี เพาะโดยใช้ภาชนะเปิด ที่ค่าการเจือจางต่างๆ	72
4.9	สูตรโครงสร้าง Hydroxy Phenyllactic acid	80
4.10	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาทดลองกับน้ำหนักตัวของ หนูขาวเพศผู้ (M) และเพศเมีย (F) ซึ่งได้รับสารสกัดข้าวงอกในขนาดต่างๆ กัน	82
4.11	แสดงภาพจากกล้องจุลทรรศน์ของตัวอย่างเนื้อเยื่ออวัยวะภายในของ หนูเพศผู้ซึ่งได้รับสารสกัดข้าวกล้องงอกในขนาด 300 mg/kg BW/day	87
4.12	เปอร์เซ็นต์ของผู้ตอบแบบสอบถามเกี่ยวกับสาเหตุสำคัญที่ทำให้ผู้ตอบแบบสอบถาม เลือกรับประทานผลิตภัณฑ์อาหารที่มีข้าวกล้องงอกเป็นส่วนประกอบ	90
4.13	เปอร์เซ็นต์ของผู้ตอบแบบสอบถามเกี่ยวกับการปรับปรุงผลิตภัณฑ์อาหาร ที่ใช้ข้าวกล้องงอกเป็นส่วนประกอบหลัก เมื่อมีการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์	91
4.14	เปอร์เซ็นต์ของความสนใจของผู้ตอบแบบสอบถามที่มีต่อพัฒนา ผลิตภัณฑ์ชนิดต่างๆหากมีการพัฒนาโดยใช้ข้าวกล้องงอกเป็นส่วนประกอบ	93
4.15	รูปแบบโครงสร้างผลึกของข้าวกล้องงอกหลังเพาะที่บรรจุในถุงรีทอร์ทเพาซ์	106
4.16	รูปแบบโครงสร้างผลึกของข้าวกล้องงอกหลังเพาะที่บรรจุในกระป๋อง	107

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.17	ลักษณะและรูปร่างโมเลกุลแป้งของข้าวกล้องงอกหลังเพาะ ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปบรรจุในถุงรีทอร์ทเพาซ์ที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนข้าวกล้อง: น้ำ เท่ากับ 1:0.5, 1:0.6 และ 1:0.7 ที่กำลังขยาย 60x, 5000x และ 9000x ตามลำดับ	109
4.18	ลักษณะและรูปร่างโมเลกุลแป้งของข้าวกล้องงอกหลังเพาะ ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนข้าวกล้อง: น้ำ เท่ากับ 1:1.25, 1:1.50 และ 1:1.75 ที่กำลังขยาย 60x, 5000x และ 9000x ตามลำดับ	110
4.19	ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง	113
4.20	กราฟเปรียบเทียบปริมาณวิตามิน ในข้าวกล้อง ข้าวกล้องงอก และผลิตภัณฑ์	115
4.21	การยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์อะไมเลสจากตับอ่อนของสารสกัดข้าวกล้องช่อลุงแบบแช่ (0.2 กรัม/มล.)ที่ค่าการเจือจางต่างๆ	121

สารบัญภาคผนวก

ภาคผนวก		หน้า
ก	การเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ	147
ข	ตารางค่าวิเคราะห์ทางเคมี	150
ค	การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ปริมาณอะไมโลสและแกมมาอะมิโนบิวทิริกแอซิด (GABA)	153
ง	สรุปขั้นตอนการเพาะข้าวกล้องแต่ละวิธี	166
จ	การเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์ที่ใช้ในการแช่ตัวอย่างข้าวกล้องงอก	168
ฉ	การศึกษาการส่งผ่านความร้อนในผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูป	170
ช	ตัวอย่างแบบสอบถาม: การพัฒนาผลิตภัณฑ์จากข้าวกล้องงอกเพื่อเป็นอาหารสำหรับผู้สูงอายุ	172
ซ	สรุปขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างข้าวกล้องงอกพันธุ์ช่อลุงเพื่อใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์	183
ฌ	แบบสอบถามทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูป	184
ญ-1	ใบชี้แจงข้อมูลและการแสดงความยินยอมเข้าร่วมการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกบรรจุกระป๋อง	185
ญ-2	ตัวอย่างแบบสอบถาม: การยอมรับของผู้บริโภคต่อข้าวกล้องงอกบรรจุกระป๋อง	186

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ (1) เพื่อศึกษาสภาวะการงอกที่เหมาะสมของข้าวกล้องพันธุ์พื้นเมืองภาคใต้ ที่ให้ปริมาณกาบาสูงสุด (2) ประเมินคุณค่าทางโภชนาการและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในข้าวกล้องงอก (3) วิเคราะห์กิจกรรมการต้านออกซิเดชั่น ฤทธิ์การต้านอักเสบ ฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์แอลฟ่า-อะไมเลส การทดสอบความเป็นพิษของสารสกัดจากข้าวกล้องงอก และ (4) การพัฒนาผลิตภัณฑ์จากข้าวกล้องงอกและการศึกษาครั้งนี้ใช้ข้าวกล้องพันธุ์พื้นเมืองภาคใต้ 4 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ช่อลุง เล็บนกปัตตานี เหนียวดำเปลือกขาวและเหนียวหลันตัน ด้วยวิธีการเพาะโดยการแช่ในสารละลายที่มี pH ต่างๆ เพาะในภาชนะปิดและเพาะในภาชนะเปิด จากการศึกษาพบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาการเพาะให้นานขึ้นทำให้มีปริมาณกาบาเพิ่มสูงขึ้นในทุกๆวิธีที่ใช้เพาะ($p<0.05$) ระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการเพาะข้าวกล้องทุกสายพันธุ์ คือ 48 ชั่วโมง การเพาะด้วยวิธีแช่ในสารละลาย Citric acid-Na_2HPO_4 buffer (pH 3) ที่อุณหภูมิ 40 ^{o}C ให้ข้าวกล้องงอกทั้ง 3 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ช่อลุง เล็บนกปัตตานี เหนียวดำเปลือกขาว มีปริมาณกาบาสูงสุด (75.03, 53.53 และ 60.03 mg /100 g ตามลำดับ) รองลงมา คือ การเพาะในภาชนะปิดและการเพาะในภาชนะเปิด ตามลำดับ สำหรับข้าวพันธุ์เหนียวหลันตันเพาะในภาชนะปิดจะให้ข้าวกล้องงอกที่ได้มีปริมาณกาบาสูงสุด (94.91 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม) รองลงมา คือ การเพาะในภาชนะเปิดและการแช่ในสารละลาย Citric acid-Na_2HPO_4 buffer (pH 3) ที่อุณหภูมิ 40 ^{o}C ตามลำดับ ดังนั้นสภาวะการงอกที่เหมาะสมที่ให้ปริมาณกาบาสูงสุด คือ การแช่ในสารละลาย Citric acid-Na_2HPO_4 buffer (pH 3) ใช้อัตราส่วนข้าว:น้ำ เท่ากับ 1:2 ที่อุณหภูมิ 40 ^{o}C นาน 48 ชั่วโมง ในพันธุ์ช่อลุง เล็บนกปัตตานี และเหนียวดำเปลือกขาว ในขณะที่ข้าวเหนียวหลันตัน ต้องเพาะในภาชนะปิด ที่อุณหภูมิห้อง (30±2^{o}C) นาน 48 ชั่วโมง หลังจากเพาะข้าวกล้องทั้ง 4 สายพันธุ์ตามสภาวะที่คัดเลือกพบว่า ข้าวกล้องงอกทุกสายพันธุ์มีคุณค่าทางโภชนาการ คือ ปริมาณคาร์โบไฮเดรต เถ้า และไขมันเพิ่มสูงขึ้น($p<0.05$) แต่มีปริมาณโปรตีนลดต่ำลง ($p<0.05$) สำหรับสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ พบว่าข้าวกล้องงอกส่วนใหญ่มีค่าของสารแกมมา-ออริซานอล ไม่ต่างจากข้าวกล้องก่อนเพาะ ในขณะที่ข้าวกล้องงอกทุกสายพันธุ์มีปริมาณไฟเตทลดลง ($p<0.05$) และมีปริมาณของสารฟีนอลิกทั้งหมด กรดเฟอรูริก โทโคฟีรอล และสารกาบา เพิ่มสูงขึ้น ($p<0.05$) โดยเฉพาะปริมาณกาบามีค่าเพิ่มขึ้น 6.80-20.69 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวกล้องก่อนเพาะ โดยข้าวเหนียวหลันตันมีปริมาณกาบาเพิ่มสูงขึ้นมากที่สุด รองลงมา คือ ข้าวพันธุ์ช่อลุง เหนียวดำเปลือกขาว และเล็บนกปัตตานี ตามลำดับ เมื่อนำข้าวกล้องงอกทั้ง 4 สายพันธุ์มาแยกเป็น 3 ส่วนคือ จมูกข้าว รำข้าว และเนื้อด้านในเมล็ด พบว่าในแต่ละส่วนมีปริมาณกาบาที่แตกต่างกัน ($p<0.05$) โดยพบว่าส่วนจมูกข้าวมีปริมาณกาบาสูงที่สุด (180.70-429.06 mg /100 g) รองลงมา คือ รำข้าว (47.41-176.61)และส่วนเนื้อด้านในของเมล็ดข้าว (15.11-24.42 mg /100 g) ตามลำดับ และจากการทดสอบกิจกรรมการต้านออกซิเดชั่นของข้าวกล้องงอกทั้ง 4 สายพันธุ์ พบว่าข้าวเหนียวดำเปลือกขาวมีฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชั่นสูงสุด รองลงมาคือ ข้าวเหนียวหลันตัน ข้าวช่อลุง และข้าวเล็บนกปัตตานี ตามลำดับ

สำหรับฤทธิ์การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟ่า-อะไมเลส พบว่าการเพาะในภาชนะเปิดมีผลให้ข้าวกล้องงอกมีศักยภาพในการยับยั้งเอนไซม์แอลฟ่า-อะไมเลสจากน้ำลายและตับอ่อนดีกว่าการเพาะแบบแช่ในสารละลาย ข้าวกล้องงอกพันธุ์ช่อลุงและเล็บนกปัตตานีต้องใช้เวลาแช่ 24 ชั่วโมง จึงจะยับยั้งเอนไซม์อะไมเลสได้สูงสุด และเมื่อนำข้าวกล้องพันธุ์เล็บนกปัตตานีมาแยกเป็น 3 ส่วน คือ ข้าวกล้องทั้งเมล็ด จมูกข้าว และข้าวกล้องที่ไม่มีจมูกข้าว พบว่าส่วนจมูกข้าวมีการยับยั้งอะไมเลสได้สูงสุด (98.9% ที่ปริมาณ 200 มก. /มล.; IC_{50} ที่ 34.5 มก./มล.) รองลงมา คือ ข้าวกล้องที่มีจมูกและข้าวกล้องที่ไม่มีจมูกตามลำดับ เมื่อระยะเวลาการเพาะนานขึ้น มีผลเพิ่มฤทธิ์ในการยับยั้งอะไมเลส

ข้าวกล้องงอกพันธุ์ช่อลุงถูกเลือกมาเป็นตัวอย่างเพื่อใช้ในการทดสอบฤทธิ์การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟ่า-อะไมเลส การแยกสารสำคัญที่มีฤทธิ์ต้านการอักเสบ และการทดสอบความเป็นพิษของสารสกัดจากข้าวกล้องงอก รวมถึงใช้เป็นตัวอย่างในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูป โดยพบว่าข้าวกล้องงอกมีปริมาณวิตามิน อี บี1 บี3และ บี 6 ลดต่ำลง ($p<0.05$) มีปริมาณแร่ธาตุลดลงจากข้าวกล้อง 21.5-95.7% รวมถึงมีฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟ่า-อะไมเลสได้ต่ำลงเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวกล้อง ($p<0.05$) การแยกสารสำคัญที่มีฤทธิ์ต้านการอักเสบ สามารถแยกได้ 2 ชนิด สารชนิดที่ 1 แทบจะไม่มีสัญญาณโปรตอน และค่า IC_{50} > 100 μg/mL สารชนิดที่ 2 น่าจะเป็น Hydroxy Phenyllactic acid ซึ่งมีค่า IC_{50} = 107.7 μg/mL สำหรับการทดสอบความเป็นพิษแบบเฉียบพลันและพิษแบบเรื้อรังในสัตว์ทดลอง พบว่าสารสกัดจากข้าวกล้องงอกมีความปลอดภัยในสัตว์ทดลอง โดยการทดสอบความเป็นพิษแบบเฉียบพลันใช้ขนาดของสารสกัด (Dose) เท่ากับ 2 กรัม ต่อน้ำหนัก 1 กิโลกรัมของหนูถีบจักร และในขณะที่การทดสอบความเป็นพิษแบบเรื้อรังซึ่งทำการทดสอบกับหนูขาวใช้ขนาดของสารสกัดสูงถึง 300 mg/kg BW/day ซึ่งคิดเป็น 4 เท่าของปริมาณเฉลี่ยที่คนได้รับเมื่อบริโภคข้าวงอกทุกวัน วันละ 3 มื้อ ติดต่อกันนาน 12 สัปดาห์

การสำรวจความต้องการของผู้บริโภคกลุ่มผู้สูงอายุที่มีต่อผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอก พบว่ากลุ่มผู้บริโภคส่วนใหญ่ให้ความสนใจกับผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกกึ่งสำเร็จรูป/ สำเร็จรูป ซึ่งสูตรที่ได้รับคะแนนจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสสูงสุด ในทุกๆปัจจัยที่ทำการทดสอบ คือ ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของข้าวกล้องงอก : น้ำ เท่ากับ 1:1.25 ซึ่งมีปริมาณกาบา เท่ากับ 1.94 mg /100 g มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด เท่ากับ 11.06 mg FAE/ 100 g มีกิจกรรมการต้านออกซิเดชันที่ทดสอบด้วยวิธี DPPH, ABTS และ FRAP เท่ากับ 10.54, 9.09 และ 7.13 mg FAE/ 100 g ตามลำดับ และจากการประเมินฤทธิ์ต้านการอักเสบของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป พบว่ามีฤทธิ์ต้านการอักเสบที่ IC_{50} > 100 μg/mL สำหรับฤทธิ์การยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์อะไมเลสจากตับอ่อนของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปพบว่ามีค่าน้อยกว่าข้าวกล้องงอกและข้าวกล้อง ($p<0.05$)

นอกจากนี้จากการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาขึ้น พบว่าผู้ตอบแบบสอบถาม 93.69% ให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง ในระดับชอบรวมปานกลาง (คะแนนเฉลี่ย เท่ากับ 7.39) ถ้ามีผลิตภัณฑ์ชนิดนี้จำหน่ายในท้องตลาด จะมีผู้ที่สนใจซื้อ 82.57% และ

เมื่อรู้ว่าผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกบรรจุกระป๋องนี้มีสารกาบาซึ่งเป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพความสนใจซื้อจะเพิ่มขึ้น จาก 82.57% เป็น 95.50% การให้ข้อมูลเกี่ยวกับประโยชน์ต่อสุขภาพทำให้มีโอกาสที่ผู้บริโภคจะเปลี่ยนใจซื้อสินค้าเพิ่มขึ้น 5.94 ถึง 19.66%

Abstract

This research aims to (i) study optimal condition for germination Southern Thai rice with the highest GABA content, (ii) evaluate nutritional composition and bioactive compounds in germinated brown rice, (iii) determine anti-oxidant activity, anti-inflammatory activity, inhibitory amylase enzyme activity and toxicity of germinated brown rice and the extracts and (iv) develope new product from germinated brown rice. Four Southern Thai rice varieties which two varieties are non-glutinous rice (Cholung and Leb Nok Pattani) and other two varieties are glutinous rice (Niaw Dam Peuak Khao and Niaw Lun Tun) were used to germinate with different methods (soaking in buffer solution with different pH, germinating in open and closed vessels). The results indicated that GABA content increased with increasing germination time ($p<0.05$) and the optimal time for germination of all varieties were 48 hr. The highest GABA contents were found in Cholung (75.03 mg /100 g), Leb Nok Pattani (53.53 mg /100 g) and Niaw Dam Peuak Khao (60.03 mg /100 g) respectively which were germinated by soaking in the Citric acid-Na_2HPO_4 buffer (pH 3) at 40 °C with ratio of brown rice and solution equal to 1:2, and germinated in closed and open vessels. While Niaw Lun Tun varieties gave 94.91 mg /100 g, germinating in closed vessel following by open vessel and by soaking in the Citric acid-Na_2HPO_4 buffer (pH 3) solution. Thus the optimum conditions for germination of three Southern Thai rice varieties (Cholung, Leb Nok Pattani and Niaw Dam Peuak Khao) were to soak the brown rice in the Citric acid-Na_2HPO_4 buffer (pH 3) at 40 °C for 48 hr with ratio of brown rice and solution equal to 1:2 while the other variety (Niaw Lun Tun) was germinated in the closed vessel at room temperature (30±2°C) for 48 hr. After germination, most nutritional components increased in all varieties ($p<0.05$) excepting protein content. The bioactive compounds in the germinated brown rice were found that the amount of γ-Oryzanol of all germinated brown rice were not significantly different from the ungerminated brown rice. The phytate content was significantly decreased while total

phenolic, ferulic acid, tocopherol and GABA contents were significantly increased in all germinated brown rice ($p<0.05$). Comparing to other bioactive compounds, the amount of GABA increased 6.80-20.69 times which was the highest rate. Niaw Lun Tun had the highest amount of GABA after germination, following by Cholung, Niaw Dam Peuak Khao and Leb Nok Pattani respectively. The germinated brown rice was separated into 3 parts; germ, bran and inner endosperm or white rice; had different amount of GABA ($p<0.05$). Germ gave the highest GABA content (180.70-429.06 mg /100 g), bran (47.41-176.61 mg /100 g) and inner endosperm (15.11-24.42 mg /100 g) respectively. For anti-oxidant activity, the results showed that Niaw Dam Peuak Khao had the highest activity, following by Niaw Lun Tun, Cholung, and Leb Nok Pattani respectively.

The inhibition α-amylase activity indicated that germination methods affected the inhibitory activity of α-amylase enzyme. Open vessel method showed the better activity in inhibiting α-amylase enzyme from saliva and pancreatic than of germinating with soaking in the buffer solution (pH 3). The optimum time that showed the highest inhibitory activity of Cholung and Leb Nok Pattani varieties (germinated by soaking in the buffer solution) was 24 hr. The brown rice, germ and brown rice without germ were determined the inhibitory activity of α-amylase enzyme. The highest inhibitory activity was found in germ (98.9% at 200 mg/mL; IC_{50} = 34.5 mg/mL.) following by brown rice and brown rice without germ respectively. The inhibitory activity increased with increasing germination time.

Germinated brown rice from Cholung variety was selected for product development as well as inhibition of α-amylase activity testing, anti-inflammatory activity and toxicity testing. After germination, activity of inhibition the α-amylase enzyme and the amount of vitamin E, B1, B3 and B6 were significantly decreased ($p<0.05$), including mineral content which was lower than brown rice 21.5-95.7%. After fractionation the extract, the results showed that 2 main compounds can be separated from the crude extract. The first

compound contained IC_{50} > 100 μg/mL and the second compound that might be Hydroxy Phenyllactic acid had IC_{50} = 107.7 μg/mL. For acute and sub-chronic toxicity testing, the results indicated that germinated brown rice extract had no toxicity to the rats. The extract dose used for acute toxicity that was 2g/kg BW of mice, while for sub-chronic toxicity that was 300 mg/ kg BW/day.

The target group of consumer in this research was the elderly (60 years olds up). From the consumer survey, the results showed that most consumers were interested in instant rice product. The canned germinated brown rice that prepared by using ratio of germinated brown rice and water equal to 1:1.25 was chosen for market survey because this product earned the highest sensory score. GABA and total phenolic contents in the product were 1.94 mg /100 g and 11.06 mg FAE/ 100 g respectively. Determining anti-oxidant activity by DPPH, ABTS and FRAP methods, the results showed that the product had anti-oxidant activity which were 10.54, 9.09 and 7.13 mg FAE/ 100 g respectively. This product possessed anti-inflammatory activity at IC_{50}> 100 μg/mL. For the inhibitory α-amylase activity, canned germinated brown rice product was lower activity than of germinated brown rice and brown rice respectively.

The result from marketing survey indicated that 93.69% of consumers accepted this product with the average 7.39 score. This score indicated that the consumers moderately like the product. The consumers were interested to purchase 82.57%, if this product available in the market. Moreover, the buying trend would increase from 82.57% to 95.50%, if health benefit of GABA was informed. Health benefit information will change consumers' mind to purchase this product from 5.94 to 19.66%.

บทสรุปผู้บริหาร

กระบวนการงอกเป็นกระบวนการหนึ่งที่ทำให้คุณค่าทางโภชนาการและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของข้าวกล้องสูงขึ้น นอกจากนั้นยังช่วยทำให้ข้าวกล้องมีเนื้อสัมผัสที่นุ่มขึ้นด้วย เนื่องจากในระหว่างที่เกิดกระบวนการงอกจะมีการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีในเมล็ดข้าว โดยอาศัยน้ำเป็นตัวกระตุ้นให้เอนไซม์ต่างๆภายในเมล็ดข้าวเกิดการทำงาน ทำให้สารอาหารที่ถูกเก็บไว้ในเมล็ดข้าวถูกย่อยสลายไปตามกระบวนการทางชีวเคมี จนเกิดเป็นสารประเภทคาร์โบไฮเดรตที่มีโมเลกุลเล็กลง (oligosaccharide) และน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar) นอกจากนี้โปรตีนภายในเมล็ดข้าวจะถูกย่อยให้เกิดเป็นกรดอะมิโนและเปปไทด์ รวมทั้งยังพบการสะสมสารเคมีสำคัญต่างๆ เช่น แกมมาออริซานอล (gamma-orazynol) โทโคฟีรอล (tocopherol) โทโคไตรอีนอล (tocotrienol) และแกมมาอะมิโนบิวทิริกแอซิด (gamma-aminobutyric acid, GABA) โดยเฉพาะสาร GABA มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นมากกว่า 13 เท่าหลังจากที่ข้าวงอกแล้ว ซึ่ง GABA มีความสำคัญกับระบบประสาท โดยทำหน้าที่เป็น Inhibitory nerve transmitter ในระบบประสาทส่วนกลาง มีการวิจัยพบว่า GABA เป็นสารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ โดยช่วยในการกระตุ้นการไหลเวียนของเลือดในสมอง ทำให้เลือดไปเลี้ยงสมองได้ดีจึงช่วยทำให้สมองผ่อนคลาย ทำให้จิตใจสงบ ลดความเครียด ความกังวล และลดอาการชัก รวมถึงช่วยรักษาระดับความดันเลือดและการเต้นของหัวใจให้คงที่ ช่วยลดความวิตกกังวลและความรู้สึกเจ็บปวด ช่วยลดไขมันในเส้นเลือด ช่วยเพิ่มการหลั่งอินซูลิน และควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดหลังรับประทานอาหาร นอกจากนี้การบริโภคอาหารที่มีสาร GABA สูงจะช่วยยับยั้งการเจริญของเซลล์มะเร็ง และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเรียนรู้และความจำในหนูให้สูงขึ้น

การวิจัยครั้งนี้จึงได้ศึกษาสภาวะการงอกที่เหมาะสมที่ทำให้เมล็ดข้าวกล้องงอกมีปริมาณ GABA สูงที่สุด โดยใช้ตัวอย่างข้าวกล้องพันธุ์พื้นเมืองภาคใต้ มีแหล่งเพาะปลูกที่จังหวัดพัทลุง จำนวน 4 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ช่อลุง เล็บนกปัตตานี เหนียวดำเปลือกขาว และเหนียวหลันตัน โดยข้าวกล้องทั้ง 4 สายพันธุ์มีองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ เถ้า ไขมัน โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และใยอาหารทั้งหมด ในปริมาณตั้งแต่ 0.48-1.44%, 2.05-3.47%, 8.98-11.61%, 84.43-88.43% และ 3.00-5.90% ตามลำดับ ข้าวกล้องทุกสายพันธุ์มีใยอาหารแบบไม่ละลายน้ำเป็นองค์ประกอบหลัก หลังจากนั้นเมื่อนำข้าวกล้องทั้ง 4 สายพันธุ์ มาเพาะด้วยวิธีการที่แตกต่างกัน 3 วิธี คือ เพาะด้วยการแช่ในสารละลายในพีเอชที่ต่างๆกัน เพาะในภาชนะเปิด และเพาะในภาชนะปิด ซึ่งวิธีการเพาะที่ให้ปริมาณ GABA สูงสุดในข้าวกล้องงอกส่วนใหญ่ คือ การแช่ในสาระลายรองลงมาคือการเพาะในภาชนะปิด และการเพาะในภาชนะเปิด ตามลำดับ ยกเว้นพันธุ์เหนียวหลันตันที่มีปริมาณ GABA สูงสุดเมื่อเพาะในภาชนะปิด รองลงมา คือ การเพาะในภาชนะเปิด และการแช่ในสารละลายตามลำดับ นอกจากนี้เมื่อใช้ระยะเวลาในการเพาะนานขึ้นจะให้เมล็ดข้าวงอกมีปริมาณ GABA เพิ่มมากขึ้นในทุกๆวิธีที่ใช้ในการเพาะ แต่อย่างไรก็ตามถึงแม้ที่ระยะเวลาในการเพาะเท่ากับ 72 ชั่วโมง จะส่งผลให้เมล็ดข้าวมีปริมาณ GABA สูงสุด แต่ตัวอย่างข้าวกล้องงอกที่เพาะได้มีกลิ่นไม่พึงประสงค์ ซึ่งเกิดจากการหมักของเชื้อจุลินทรีย์ และมีการปนเปื้อนของเชื้อรา ดังนั้นระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการเพาะทุกๆวิธี คือ 48

ชั่วโมง และสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเพาะข้าวพันธุ์ช่อลุง เล็บนกปัตตานี และเหนียวดำเปลือกขาว คือ การเพาะด้วยวิธีการแช่ในสารละลาย Citric acid -Na_2HPO_4 buffer ที่ pH 3 โดยใช้อัตราส่วนข้าว:น้ำ เท่ากับ 1:2 และแช่ที่อุณหภูมิ 40 ^{o}C นาน 48 ชั่วโมง ในขณะที่ข้าวเหนียวหลันตัน คือ การเพาะในภาชนะปิด แช่ในสารละลาย Citric acid -Na_2HPO_4 buffer ที่ pH 3 อัตราส่วนข้าว:น้ำ เท่ากับ 1:2 นาน 5 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำมาเพาะต่อในกล่องพลาสติกที่มีฝาปิด ที่อุณหภูมิห้อง (30±2^{o}C) นาน 48 ชั่วโมง)

หลังจากเพาะข้าวกล้องทั้ง 4 สายพันธุ์ตามสภาวะที่คัดเลือกได้ พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของข้าวกล้องงอกทั้ง 4 พันธุ์ ส่วนใหญ่มีค่าเพิ่มสูงขึ้น ยกเว้นโปรตีนมีค่าลดต่ำลง ($p<0.05$) และข้าวกล้องงอกทุกสายพันธุ์มีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก โดยมีค่าตั้งแต่ 86.97-91.18% สำหรับปริมาณเถ้า ไขมัน และโปรตีนของข้าวกล้องงอกทุกสายพันธุ์ มีค่าดังนี้ 1.05-1.52%, 2.78-3.88% และ 4.76-7.68% ตามลำดับ และจากการทดสอบกิจกรรมการต้านออกซิเดชั่นของข้าวกล้องงอกทั้ง 4 สายพันธุ์ พบว่า ข้าวเหนียวดำเปลือกขาว มีฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชั่นสูงที่สุด รองลงมาคือ ข้าวเหนียวหลันตัน ข้าวช่อลุง และข้าวเล็บนกปัตตานี ตามลำดับ นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ พบว่าตัวอย่างข้าวกล้องงอกมีปริมาณของ γ-Oryzanol ไม่แตกต่างจากข้าวกล้องก่อนเพาะ ในขณะที่ข้าวกล้องงอกทั้ง 4 สายพันธุ์ มีปริมาณ phytate ลดลง ($p<0.05$) โดยลดลงจากข้าวกล้องก่อนเพาะประมาณ 41.25-63.29% มีปริมาณ Total phenolic, Ferulic acid, Tocolpherol และ GABA เพิ่มสูงขึ้น ($p<0.05$) โดยมีค่าเพิ่มขึ้นจากข้าวกล้องก่อนเพาะตั้งแต่ 1.37-2.14 เท่า, 1.19-2.70 เท่า, 1.17-2.49 เท่า และ 6.80-20.69 เท่า ตามลำดับ ดังนั้นเห็นได้ว่า GABA เป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นมากที่สุดในข้าวกล้องงอกทั้ง 4 สายพันธุ์ โดยข้าวพันธุ์เหนียวหลันตันมีปริมาณ GABA เพิ่มขึ้นสูงสุด (94.91 mg/100 g) รองลงมา คือ ข้าวพันธุ์ช่อลุง (75.03 mg/100g) พันธุ์เหนียวดำเปลือกขาว (60.03 mg/100g) และพันธุ์เล็บนกปัตตานี (53.53 mg/100g) ตามลำดับ เมื่อนำข้าวกล้องงอกทั้ง 4 สายพันธุ์มาแยกเป็นส่วนต่างๆ 3 ส่วน คือ รำข้าว จมูกข้าว และเนื้อด้านในของเมล็ดข้าว (ไม่มีส่วนของรำและจมูกข้าว) พบว่าในแต่ละส่วนมีปริมาณ GABA ที่แตกต่างกัน ($p<0.05$) โดยพบว่าส่วนจมูกข้าวมีปริมาณ GABA สูงที่สุด (มีค่าตั้งแต่ 180.70-429.06 mg/100 g) รองลงมา คือ รำข้าว (47.41-176.61 mg/100 g) และส่วนเนื้อด้านในของเมล็ดข้าว (15.11-24.42 mg/100 g) ตามลำดับ

สำหรับฤทธิ์การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟ่า-อะไมเลส พบว่าการเพาะในภาชนะเปิดมีผลทำให้ข้าวกล้องงอกมีศักยภาพในการยับยั้งเอนไซม์แอลฟ่า-อะไมเลสจากน้ำลายและตับอ่อนดีกว่าการเพาะแบบแช่ในสารละลาย ข้าวกล้องงอกพันธุ์ช่อลุงและเล็บนกปัตตานีต้องใช้เวลาแช่ 24 ชั่วโมง จึงจะยับยั้งเอนไซม์อะไมเลสได้สูงสุด และเมื่อนำข้าวกล้องพันธุ์เล็บนกปัตตานีมาแยกแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ ข้าวกล้องที่มีจมูก จมูกข้าว และข้าวกล้องที่ไม่มีจมูกข้าว พบว่าส่วนจมูกข้าวมีการยับยั้งอะไมเลสได้สูงสุด (98.9% ที่ปริมาณ 200 มก./มล.; IC50 ที่ 34.5 มก./มล.) รองลงมา คือ ข้าวกล้องที่มีจมูกและข้าวกล้องที่ไม่มีจมูก ตามลำดับ โดยระยะเวลาการเพาะนานขึ้น มีผลเพิ่มฤทธิ์ในการยับยั้งอะไมเลส

แม้ว่าข้าวกล้องงอกจากพันธุ์เหนียวหลันตันจะมีปริมาณ GABA สูงสุด แต่การสำรวจความต้องการของผู้บริโภคกลุ่มผู้สูงอายุที่มีต่อผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอก พบว่ากลุ่มผู้บริโภคส่วนใหญ่ให้ความสนใจกับผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกกึ่งสำเร็จรูป/ สำเร็จรูป ดังนั้นเพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้บริโภคจึงเลือกใช้ข้าวเจ้าเป็นตัวอย่างในการวิจัยต่อไป โดยเลือกใช้ข้าวพันธุ์ช่อลุงเนื่องจากเป็นข้าวเจ้าพันธุ์ที่ให้ปริมาณ GABA สูงสุด หลังจากเตรียมเป็นข้าวกล้องงอกโดยใช้สภาวะที่แช่ในสารละลาย Citric acid - Na_2HPO_4 buffer ที่ pH 3 โดยใช้อัตราส่วนข้าว:น้ำ เท่ากับ 1:2 และแช่ที่อุณหภูมิ 40 °C นาน 48 ชั่วโมง พบว่าข้าวกล้องงอกที่ได้มีปริมาณวิตามิน อี, บี1, บี3 และ บี6 ลดลงจากข้าวกล้องก่อนเพาะ ($p<0.05$) และมีปริมาณแร่ธาตุลดลง 21.5-95.7% จากการแยกสารสำคัญที่มีฤทธิ์ต้านการอักเสบพบว่าสามารถแยกสารสำคัญจากสารสกัดข้าวกล้องงอกได้ 2 ชนิด โดยสารชนิดที่ 1 แทบจะไม่มีสัญญาณโปรตอน (proton) และมีค่า IC_{50} > 100 µg/mL และสารชนิดที่ 2 ซึ่งน่าจะเป็น Hydroxy Phenyllactic acid ซึ่งมีค่า IC50 = 107.7 µg/mL และเมื่อนำข้าวกล้องงอกไปทดสอบความเป็นพิษแบบเฉียบพลันและพิษแบบเรื้อรังพบว่าสารสกัดจากข้าวกล้องงอกมีความปลอดภัยในสัตว์ทดลอง โดยการทดสอบความเป็นพิษแบบเฉียบพลันใช้ขนาดของสารสกัด (Dose) เท่ากับ 2 กรัม ต่อน้ำหนัก 1 กิโลกรัมของหนูถีบจักร และในขณะที่การทดสอบความเป็นพิษแบบเรื้อรังซึ่งทำการทดสอบกับหนูขาวใช้ขนาดของสารสกัดสูงถึง 300 mg/kg BW/day ซึ่งคิดเป็น 4 เท่าของปริมาณเฉลี่ยที่คนจะได้รับเมื่อบริโภคข้าวกล้องงอกทุกวัน วันละ 3 มื้อ ติดต่อกันนาน 12 สัปดาห์

การสำรวจความต้องการของกลุ่มผู้บริโภคพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ผู้บริโภคส่วนใหญ่ให้ความสนใจหากมีการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ คือ ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูป และจากการพัฒนาผลิตภัณฑ์พบว่าสูตรที่ได้รับคะแนนจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสสูงสุด ในทุกๆปัจจัยที่ทำการทดสอบ คือ ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องซึ่งเตรียมโดยใช้อัตราส่วนของข้าวกล้องงอก : น้ำ เท่ากับ 1:1.25 ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณค่าทางโภชนาการ ดังนี้ เถ้า (0.35%) ไขมัน (2.49%) โปรตีน (5.40%) และคาร์โบไฮเดรต (91.77%) วิตามิน อี (003 mg/ 100g) วิตามิน บี1 (0.01 mg/ 100g) วิตามิน บี3 (0.05 mg/ 100g) และวิตามิน บี6 (0.02 mg/ 100g) แคลเซียม (250.96 mg/ kg) โซเดียม (0.571 mg/ kg) โปแตสเซียม (16.44 mg/ kg) แมกนีเซียม (12.25 mg/ kg) เหล็ก (2.67 mg/ kg) ทองแดง (0.39 mg/ kg) ซิลีเนียม (0.68 mg/ kg) สังกะสี (1.08 mg/ kg) โครเมียม (0.13 mg/ kg) นอกจากนี้ในข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปมีปริมาณ GABA เท่ากับ 1.94 mg/100 g หากบริโภคข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปวันละ 5 กระป๋อง (น้ำหนักบรรจุ 120 กรัม) ต่อกระป๋องจะได้รับปริมาณ GABA ในปริมาณเพียงพอที่จะส่งผลดีต่อสุขภาพ และมีสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด เท่ากับ 11.06 mg FAE/ 100 g mg /100 g และมีกิจกรรมการต้านออกซิเดชันที่ทดสอบด้วยวิธี DPPH, ABTS และ FRAP เท่ากับ 10.54, 9.09 และ 7.13 mg FAE/ 100 g ตามลำดับ จากการประเมินฤทธิ์ต้านการอักเสบของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป พบว่ามีฤทธิ์ต้านการอักเสบที่ IC_{50} > 100 µg/mL สำหรับฤทธิ์การยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์อะไมเลสจากตับอ่อนของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปพบว่ามีค่าน้อยกว่าข้าวกล้องงอกและข้าวกล้อง ($p<0.05$)

จากการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาขึ้น พบว่าผู้ตอบแบบสอบถาม 93.69% ให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง โดยให้คะแนนความชอบโดยรวม ในระดับชอบปานกลาง (คะแนนเฉลี่ย เท่ากับ 7.39) นอกจากนี้ถ้ามีผลิตภัณฑ์ชนิดนี้จำหน่ายในท้องตลาด จะมีผู้ที่สนใจซื้อ 82.57% และเมื่อรู้ว่าผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกบรรจุกระป๋องนี้มีสาร GABA ซึ่งเป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ ความสนใจซื้อจะเพิ่มขึ้น จาก 82.57% เป็น 95.50% โดยการให้ข้อมูลเกี่ยวกับประโยชน์ต่อสุขภาพทำให้มีโอกาสที่ผู้บริโภคจะเปลี่ยนใจซื้อสินค้าเพิ่มขึ้น 5.94 ถึง 19.66%

กิตติกรรมประกาศ

รายงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีได้ เนื่องจากได้รับการสนับสนุนและความร่วมมือจากหน่วยงานและบุคคลจำนวนมาก คณะผู้วิจัยรู้สึกประทับใจและขอขอบคุณในการสนับสนุนและความร่วมมือของทุกฝ่ายมาดังนี้

ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) สำหรับการสนับสนุนทุนในการดำเนินการวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยข้าวพัทลุง และศูนย์วิจัยข้าวปัตตานี โดยเฉพาะคุณสถาพร ตัมพวิสิฏฐ์ คุณนิธิศ แสงอรุณ คุณสำเริง แซ่ตัน และเจ้าหน้าที่ทุกท่าน สำหรับข้อมูลและคำแนะนำต่างๆเกี่ยวกับพันธุ์ข้าวพื้นเมืองภาคใต้ และความช่วยเหลือในการจัดหาตัวอย่างพันธุ์ข้าวสำหรับการทำวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายขอขอบคุณบุคลากรจากหลายๆหน่วยงานของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โดยเฉพาะคณะอุสาหกรรมเกษตร คณะเภสัชศาสตร์ และคณะวิทยาศาสตร์ สำหรับความช่วยเหลือและการสนับสนุนต่างๆที่ช่วยให้การดำเนินการวิจัยสำเร็จไปได้ด้วยดี

หากรายงานฉบับนี้มีข้อบกพร่องหรือผิดพลาดประการใด ขออภัยมาไว้ ณ ที่นี้ และคณะผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่ารายงานการวิจัยฉบับนี้จะมีประโยชน์สำหรับผู้ที่ต้องการจะศึกษาไม่มากก็น้อย

รศ.ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก
หัวหน้าโครงการ
31 กรกฎาคม 2554

บทที่ 1
บทนำ

คนไทยบริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก โดยนิยมบริโภคข้าวขัดขาวมากกว่าข้าวกล้อง ทั้งนี้เนื่องจากข้าวขัดขาวมีเนื้อสัมผัสที่นุ่มกว่าทำให้บริโภคได้ง่ายกว่า แต่ในแง่ของคุณค่าทางโภชนาการแล้วพบว่าข้าวกล้องมีคุณค่าทางโภชนาการและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพสูงกว่าข้าวขัดขาว เนื่องจากข้าวกล้องยังมีส่วนของจมูกข้าวและรำข้าวอยู่ ซึ่งทั้งสองส่วนดังกล่าวเป็นแหล่งของสารอาหารต่างๆ ได้แก่ โปรตีน, คาร์โบไฮเดรต, ไขมัน, เถ้า, ใยอาหาร, total free amino acids, α-tocopherol และ γ-oryzanol เป็นต้น (กรมอนามัย, 2530; ดวงจันทร์ เฮงสวัสดิ์, 2547) ซึ่งสารเหล่านี้ให้ประโยชน์ต่อสุขภาพทั้งในแง่ของการป้องกันและการรักษาโรค

มีงานวิจัยมากมายที่พบว่ากระบวนการงอกทำให้คุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้องเพิ่มสูงขึ้นและช่วยทำให้ข้าวกล้องมีเนื้อสัมผัสที่นุ่มขึ้นด้วย (Jung et al., 2005; Ohtsubo et al., 2005; Lee at al., 2008; Jiraporn, 2010; Moongngarm and Saetung, 2010) กระบวนการงอกของเมล็ดข้าวทำได้โดยการนำข้าวกล้องมาแช่ในน้ำ ซึ่งน้ำจะเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีในเมล็ดข้าว การเปลี่ยนแปลงเริ่มขึ้นเมื่อน้ำได้แทรกเข้าไปในเมล็ดข้าว โดยจะกระตุ้นให้เอนไซม์ภายในเมล็ดข้าวเกิดการทำงาน เมื่อเมล็ดข้าวเริ่มงอก (malting) สารอาหารที่ถูกเก็บไว้ในเมล็ดข้าวถูกย่อยสลายไปตามกระบวนการทางชีวเคมี จนเกิดเป็นสารประเภทคาร์โบไฮเดรตที่มีโมเลกุลเล็กลง (oligosaccharide) และน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar) นอกจากนี้โปรตีนภายในเมล็ดข้าวก็จะถูกย่อยให้เกิดเป็น กรดอะมิโนและเปปไทด์ รวมทั้งยังพบการสะสมสารเคมีสำคัญต่างๆ เช่น แกมมาออริซานอล (gamma-orazynol) โทโคฟีรอล (tocopherol) โทโคไตรอีนอล (tocotrienol) และสารแกมมาอะมิโนบิวทิริกแอซิด (gamma-aminobutyric acid, GABA) หรือที่รู้จักกันว่า "สารกาบา" (Varanyanond, 2005) โดยเฉพาะ GABA จะมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นมากกว่า 13 เท่าเมื่อเทียบกับข้าวกล้องก่อนเพาะ (Oh and Oh, 2004) ซึ่ง GABA เป็นกรดอะมิโนชนิดหนึ่งที่ผลิตจากกระบวนการ decarboxylation ของกรดกลูตามิก กรดชนิดนี้มีบทบาทสำคัญในการเป็น neurotransmitter ในระบบประสาทส่วนกลาง มีการใช้ GABA ในการรักษาโรคเกี่ยวกับระบบประสาทหลายโรค เช่น โรควิตกกังวล นอนไม่หลับ โรคลมชัก และยังมีคุณสมบัติในการลดความดันโลหิตด้วย นอกจากนี้ในข้าวกล้องงอกยังมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพอื่นๆที่มีฤทธิ์ในการต้านการอักเสบ โดยมีฤทธิ์ยับยั้งการเกิด thrombin ป้องกันการเกิด thombosis หรือการผิดปกติของการแข็งตัวของเลือดได้ (Nie and Wang, 2008) มีคุณสมบัติต้านเบาหวาน ต้านภาวะความดันสูง เนื่องจากมีสารยับยั้งเอนไซม์ย่อยคาร์โบไฮเดรต เช่น แอลฟ่า-อะไมเลส ทำให้การย่อยคาร์โบไฮเดรตเกิดขึ้นน้อยลง และการดูดซึมน้ำตาลกลูโคสที่บริเวณลำไส้เล็กเข้าสู่กระแสเลือดเกิดได้น้อยลง จึงส่งผลทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดลดลง

พันธุ์ข้าวที่ปลูกในประเทศไทยมีหลากหลายสายพันธุ์ แต่พันธุ์ที่ได้รับความนิยม เป็นที่รู้จักและมีมูลค่าในการส่งออกสูง คือ พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เนื่องจากเป็นพันธุ์ที่มีการปลูกอย่างแพร่หลาย ทำให้ผลผลิตของข้าวหอมมะลิในท้องตลาดมีปริมาณสูง รวมถึงมีเมล็ดข้าวที่เรียวยาว เนื้อสัมผัสนุ่ม และมีกลิ่นหอม นอกจากข้าวขาวดอกมะลิ 105 แล้วในแต่ละท้องถิ่นยังมีข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่นิยมปลูกและบริโภคกันภายในท้องถิ่น เช่นเดียวกันในภาคใต้มีข้าวพันธุ์พืชเมืองหลากหลายพันธุ์ ซึ่งได้แก่ พันธุ์ช่อลุง เล็บนกปัตตานี เฉี้ยง-พัทลุง และสังข์หยดพัทลุง เป็นต้น ซึ่งข้าวเหล่านี้เป็นข้าวที่มีคุณภาพดีและมีคุณค่าทางโภชนาการที่สูงไม่แพ้ข้าวขาวดอกมะลิ 105 แต่คนจำนวนมากแทบไม่รู้จักข้าวพันธุ์พื้นเมืองเหล่านี้ ทำให้ปัจจุบันข้าวหลายสายพันธุ์เริ่มสูญพันธุ์ไป ดังนั้นเพื่อเป็นการอนุรักษ์ข้าวพันธุ์พื้นเมืองภาคใต้ และทำให้สายพันธุ์เหล่านี้เป็นที่รู้จักเพิ่มขึ้น รวมถึงเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับพืชท้องถิ่น การวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณค่าทางโภชนาการและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์พื้นเมืองภาคใต้ โดยหาสภาวะที่เหมาะสมในการงอกของเมล็ดข้าว และเป็นสภาวะที่ให้ปริมาณ GABA สูง รวมถึงมีการทดลองการผลิตข้าวกล้องงอกในระดับ pilot scale และการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์สำหรับผู้สูงอายุ โดยใช้ข้าวกล้องงอกเป็นส่วนประกอบหลัก เนื่องจากบุคคลกลุ่มนี้ส่วนใหญ่มักมีปัญหาในด้านความจำ ปัญหาเกี่ยวกับระบบสมอง นอนไม่หลับ ดังนั้นการได้รับสาร GABA จะช่วยให้สภาพหรืออาการที่เกิดขึ้นบรรเทาลง แต่อย่างไรก็ตามผู้วิจัยคาดว่าผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจะส่งผลให้เกิดการส่งเสริม การอนุรักษ์ และเห็นความสำคัญของข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่มีอยู่

วัตถุประสงค์

1. เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเพาะข้าวกล้องงอกพันธุ์พื้นเมืองของภาคใต้ทั้งหมด 4 สายพันธุ์ ประกอบด้วยข้าวเจ้า 2 สายพันธุ์ (ช่อลุงและเล็บนกปัตตานี) และข้าวเหนียว 2 สายพันธุ์ (เหนียวดำเปลือกขาวและเหนียวหลันตัน) เพื่อให้มี GABA ในปริมาณสูง

2. เพื่อศึกษาคุณค่าทางโภชนาการและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในข้าวกล้องงอกแต่ละสายพันธุ์ที่เตรียมจากกระบวนการเพาะที่ทำให้มีปริมาณ GABA สูง

3. เพื่อศึกษากิจกรรมการต้านออกซิเดชั่นในข้าวกล้องงอกแต่ละสายพันธุ์ที่เตรียมจากกระบวนการเพาะที่ทำให้มีปริมาณ GABA สูง

4. เพื่อแยกสารสำคัญจากข้าวกล้องงอก (เตรียมจากสภาวะที่ให้ปริมาณ GABA สูงที่สุด) ที่มีฤทธิ์ต้านการอักเสบโดยลดปริมาณการสร้าง nitric oxide

5. เพื่อทดสอบความเป็นพิษแบบเฉียบพลันและแบบกึ่งเรื้อรังของสารสกัดจากข้าวกล้องงอกในสัตว์ทดลอง

6. ศึกษาการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟ่า-อะไมเลสจากน้ำลายและตับอ่อน ในหลอดทดลองของข้าวงอกแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์

7. เพื่อสำรวจความต้องการของผู้สูงอายุ (อายุตั้งแต่ 60 ปีขึ้นไป) เพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากข้าวกล้องงอก

8. เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์จากข้าวกล้องงอก

9. เพื่อศึกษาคุณค่าทางโภชนาการ สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาขึ้น

10. เพื่อทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาขึ้นและความตั้งใจซื้อของผู้บริโภค

บทที่ 2
การตรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้าว (RICE)

ข้าวเป็นเมล็ดของพืชที่อยู่ในตระกูลหญ้า Gramineae จัดเป็นอาหารหลักของประชากรมากกว่า 50% ในประเทศต่างๆของโลก ข้าวแบ่งออกเป็นชนิดสำคัญๆ ตามถิ่นกำเนิดและความนิยมในการบริโภค 2 ชนิด (บริสุทธิ์ สมฤทธิ์. 2537; อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547) คือ

1. ***Oryza glabberina*** มีถิ่นกำเนิดและใช้บริโภคในบางประเทศในทวีปแอฟริกา

2. ***Oryza sativa*** มีถิ่นกำเนิดในทวีปเอเชีย แถบตะวันออกกลางของยุโรป อเมริกาและออสเตรเลีย ซึ่งถือว่าเป็นชนิดที่มีการปลูกและใช้เป็นอาหารมากกว่าชนิดแรก Oryza sativa แบ่งย่อย ออกเป็น 3 สายพันธุ์ ได้แก่

2.1 indica เป็นข้าวที่ปลูกในประเทศต่างๆในเขตร้อน เช่น ศรีลังกา จีนตอนกลางและตอนใต้ อินเดีย อินโดนีเซีย บังคลาเทศ ฟิลิปปินส์ และไทย เมล็ดมีลักษณะเรียวยาว ใบสีเขียวอ่อน

2.2 japonica เป็นข้าวที่ปลูกในเอเชียตะวันออก ในประเทศจีนตอนเหนือ ญี่ปุ่น เกาหลี และประเทศอื่นๆ ที่อยู่ในเขตอบอุ่น เมล็ดมีลักษณะอ้วน ป้อม รวงแน่น ใบสีเขียวเข้ม

2.3 javaniga เป็นข้าวที่ปลูกในหมู่เกาะชวาประเทศอินโดนีเซีย ซึ่งมีปลูกและใช้บริโภคเฉพาะท้องถิ่นไม่แพร่หลาย มีปลูกบ้างเล็กน้อยใน ฟิลิปปินส์ อินเดียและศรีลังกา มีลักษณะลำต้นแข็ง รวงยาว เมล็ดมีหาง ใบสีเขียวอ่อน

2.2 องค์ประกอบและโครงสร้างของเมล็ดข้าว

เมล็ดข้าวประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ๆ ดังนี้ (เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข, 2536; และ Juliano, 1985) ดังรูปที่ 2.1

1. เปลือกนอกหรือแกลบ (hull) เป็นส่วนของกลีบดอกประกอบด้วย palea และ lemma น้ำหนักเฉลี่ยประมาณ 20% ของน้ำหนักเมล็ดข้าว เชื่อมกันโดยโครงสร้างพิเศษที่เรียกว่า hook – shaped ชั้นนอกของ hull มี trichomes องค์ประกอบส่วนใหญ่ภายใน hull ได้แก่ ลิกนิน (30%) เซลลูโลส (25%) และเถ้า (21%) ดังนั้นส่วนนี้จึงมีคุณค่าทางโภชนาการต่ำ แต่มีความสำคัญในการป้องกันเมล็ดจากเชื้อราและแมลงในระหว่างการเก็บรักษา

2. ส่วนที่บริโภคได้หรือข้าวกล้อง (caryopsis, brown rice, dehull rice, husked rice or cargo rice) ประกอบด้วย

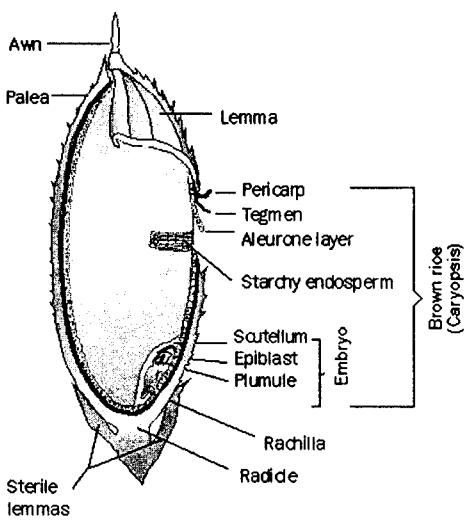
- เยื่อหุ้มผล (pericarp หรือ fruit coat) เป็นส่วนผิวนอกของข้าวกล้อง ประกอบด้วย เนื้อเยื่อ 3 ชั้นด้วยกัน คือ epicarp, mesocarp และ endocarp เยื่อหุ้มผลเหล่านี้มีลักษณะเป็น fibrous ผนังเซลล์ประกอบด้วย โปรตีน เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส

- เยื่อหุ้มเมล็ด (seed coat หรือ tegmen) เป็นเซลล์ชั้นเดียว หนาประมาณ 0.5 ไมครอน อยู่ถัดจากเยื่อหุ้มผลเข้าไปประกอบด้วยเนื้อเยื่อสองชั้นเรียงกันเป็นแถว เป็นชั้นที่มีไขมันอยู่มาก

- ชั้นแอลิวโรน (aleurone layer) เป็นเยื่อชั้นถัดจากเยื่อหุ้มเมล็ด ประกอบด้วยเซลล์ 1-7 ชั้น ลักษณะของเยื่อหุ้มด้านหลังของเมล็ดจะหนากว่าเยื่อหุ้มด้านท้อง ซึ่งความหนานี้จะแตกต่างไปตามพันธุ์ข้าว เช่น ข้าวเมล็ดป้อม-สั้นจะมีเยื่อชั้นแอลิวโรนหนากว่าข้าวเมล็ดยาว เป็นต้น และชั้นแอลิวโรนเป็นชั้นที่มีคุณค่าทางอาหารสูง ภายในชั้นแอลิวโรน ประกอบด้วยโปรตีน ไขมัน วิตามินและมีแป้งเล็กน้อย ดังนั้นเมื่อบริโภคข้าวกล้องซึ่งไม่ได้ขัดสีเอาชั้นแอลิวโรน ออกไปจึงรู้สึกกระด้างกว่าข้าวสาร

- เนื้อเมล็ดหรือเนื้อข้าว (Endosperm) เป็นส่วนเนื้อของเมล็ดข้าว (ประมาณ 80% ของน้ำหนักเมล็ดทั้งหมด) ส่วนใหญ่ประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตหรือแป้ง แป้งข้าวจะอยู่รวมกันเป็นกลุ่ม (starch compound) กลุ่มแป้งหลายๆกลุ่มจะอยู่รวมกันเป็น micelles โดยมีโปรตีน (protein body) แทรกอยู่ และไขมันเล็กน้อย แป้งข้าวแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ อะไมโลส (amylose) และอะไมโลเพคติน (amylopectin)

- จมูกข้าวหรือคัพภะ (embryo) เป็นส่วนเล็กๆอยู่ที่มุมล่างของเมล็ด ส่วนท้องของเมล็ดมีส่วนประกอบเป็นรากอ่อน (radicle), ต้นอ่อน (plumule), เยื่อหุ้มรากอ่อน (coleorhiza), เยื่อหุ้มต้นอ่อน (caleoptile), ท่อน้ำท่ออาหาร (epiblast) และใบเลี้ยง (scutellum) ซึ่งเป็นใบเลี้ยงเดี่ยว จมูกข้าวเป็นแหล่งสะสมอาหารสำหรับการเจริญเติบโตของต้นอ่อน จึงอุดมไปด้วยโปรตีนและไขมันส่วนต่างๆ ยกเว้น แป้ง วิตามิน B1 B2 และไนอาซิน ซึ่งวิตามินเหล่านี้จะถูกขัดออกไป เมื่อผ่านกระบวนการขัดขาว



รูปที่ 2.1 โครงสร้างและส่วนประกอบของข้าว
ที่มา: สมวงษ์ ตระกูลรุ่ง (2546)

ดังนั้นข้าวที่ประชาชนบริโภคและมีจำหน่ายในท้องตลาดในปัจจุบันแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ ข้าวกล้อง และข้าวขัดขาว โดยข้าวกล้อง คือ ข้าวที่ผ่านการกะเทาะเปลือก เพื่อให้เปลือกที่หุ้มเมล็ดข้าวหรือแกลบหลุดออกไป แต่ส่วนประกอบอื่นๆ ของเมล็ดข้าว (เยื่อหุ้มผล เยื่อหุ้มเมล็ด ชั้นแอลิวโรน เนื้อเมล็ด และจมูกข้าว) ยังคงมีอยู่อย่างสมบูรณ์ และหากนำข้าวกล้องนี้มาผ่านกรรมวิธีขัดสี ส่วนของเยื่อหุ้มผล เยื่อหุ้มเมล็ด ชั้นแอลิวโรน และจมูกข้าวจะถูกขัดออกไป เหลือแต่ส่วนที่เป็นเนื้อข้าวสีขาว เรียกว่า ข้าวขัดขาว เมื่อนำมาหุงจะมีสีขาวน่ารับประทาน แต่เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวกล้องแล้วคุณค่าทางอาหารที่ได้รับมีเพียงคาร์โบไฮเดรตเท่านั้น ในขณะที่สารอาหารตัวอื่นๆ จะสูญเสียไปในระหว่างการขัดสี เนื่องจากเยื่อหุ้มเมล็ดและจมูกข้าวเป็นแหล่งของโปรตีน วิตามินและเกลือแร่ ดังนั้นคุณค่าทางอาหารโดยเฉพาะวิตามินและแร่ธาตุต่างๆในข้าวขัดขาวจึงน้อยกว่าข้าวกล้อง ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ปริมาณสารอาหารในข้าวกล้องและข้าวขัดขาว 100 กรัม (นน.เปียก)

ส่วนประกอบ	ข้าวกล้อง	ข้าวขัดขาว	ข้าวกล้อง:ข้าวขัดขาว (เท่า)
สารอาหารหลัก (g)			
โปรตีน	7.6	6.4	1.19
ไขมัน	2.0	0.8	2.50
คาร์โบไฮเดรต	75.1	79.4	-
ใยอาหาร (mg)	2.1	0.7	3.0
วิตามิน (mg)			
วิตามิน บี1	0.34	0.07	4.86
วิตามิน บี2	0.05	0.03	1.66
ไนอะซิน	5.4	1.79	3.01
วิตามิน บี6	0.62	0.11	5.64
วิตามิน อี	0.07	0.04	1.75
แร่ธาตุ (mg)			
แคลเซียม	9	6	1.50
ธาตุเหล็ก	1.6	0.8	2.0
แมกนีเซียม	60	20	3.0
ฟอสฟอรัส	267	195	1.37
โพแทสเซียม	144	121	1.19
โซเดียม	84	79	1.06
สังกะสี	1.9	1.5	1.27

ที่มา: ดวงจันทร์ เฮงสวัสดิ์ (2547) และกรมอนามัย (2530)

2.3 คุณภาพเมล็ดข้าวในด้านคุณภาพการหุงต้มและรับประทาน (Cooking and eating quality)

คุณภาพการหุงต้มและรับประทาน เป็นการจำแนกข้าวอีกลักษณะหนึ่งโดยแบ่งตามลักษณะทางเคมีภายในเมล็ดข้าว ซึ่งประกอบไปด้วยอัตราส่วนของอะไมโลสในแป้ง อุณหภูมิที่แป้งสุก ความคงตัวของแป้ง การยืดตัวของเมล็ดเมื่อหุง ความชื้น กลิ่นหอม ฯลฯ ซึ่งสมบัติเหล่านี้จะมีผลต่อคุณภาพในการหุงต้มของข้าว

1.ปริมาณอะไมโลส (Apparent amylase content) อัตราส่วนอะไมโลสต่ออะไมโลเพคตินในแป้งเป็นสาเหตุสำคัญทำให้ข้าวสุกมีคุณภาพแตกต่างกัน คือ ถ้าข้าวพันธุ์ใดมีอะไมโลสสูงก็จะมี อะไมโลเพคตินต่ำ อะไมโลสทำให้ข้าวมีลักษณะร่วนเป็นตัวและแข็ง นอกจากนี้อะไมโลสสามารถดูดซับน้ำได้ดี จึงมีผลต่อการหุงขึ้นหม้อของข้าว ข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสมากจะหุงขึ้นหม้อ ส่วนความนุ่มและความเหนียวของข้าวที่หุงสุกแล้วจะขึ้นกับสัดส่วนของอะไมโลเพคตินในแป้ง แป้งข้าวเหนียวมักเป็นอะไมโลเพคตินเกือบทั้งหมด แต่ข้าวเจ้าจะมีการแบ่งตามปริมาณของอะไมโลสในสัดส่วนที่แตกต่างกัน (Juliano et al., 1974; ละม้ายมาศ ยังสุข, 2541) ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การแบ่งตามปริมาณของอะไมโลสและลักษณะข้าวสุก

ประเภทข้าว	ปริมาณอะไมโลส (%)	ลักษณะข้าวสุก	ชนิดข้าวที่รู้จักทั่วไป
ข้าวเหนียว	0-2	เหนียวมาก	ข้าวเหนียว
ข้าวอะไมโลสต่ำ	10-20	เหนียวนุ่ม	ข้าวหอมมะลิ
ข้าวอะไมโลสปานกลาง	20-25	ค่อนข้างร่วนไม่แข็ง	ข้าวขาวตาแห้ง
ข้าวอะไมโลสสูง	25-34	ร่วนแข็ง	ข้าวเสาไห้

ที่มา: จารนัย พาณิชยกุล (2537)

2. อุณหภูมิแป้งสุกหรืออุณหภูมิการเกิดเจล (Gelatinization temperature) อุณหภูมิแป้งสุกหรืออุณหภูมิการเกิดเจล หมายถึง อุณหภูมิสุดท้ายที่ทำให้เม็ดแป้งซึ่งแขวงลอยอยู่ในน้ำดูดน้ำและพองตัวขึ้นจนกระทั่งความร้อนทำลายการจัดตัวภายในเม็ดแป้ง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในอย่างถาวร (จารนัย พานิชยกุล, 2537) อุณหภูมิแป้งสุกมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาในการหุงต้ม คือ ข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกสูง ใช้ระยะเวลาในการหุงต้มนานกว่าข้าวที่มีอุณหภูมิต่ำ Juliano (1985) ได้จัดแบ่งประเภทข้าวตามระดับอุณหภูมิแป้งสุกเป็น 3 กลุ่ม ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิแป้งสุกกับระยะเวลาในการหุงต้ม

อุณหภูมิแป้งสุก (°C)	ประเภทอุณหภูมิแป้งสุก	ระยะเวลาในการหุงต้ม (นาที)
ต่ำกว่า 69	ต่ำ	12 – 16
70 – 74	ปานกลาง	16 – 24
สูงกว่า 74	สูง	มากกว่า 24

ที่มา: Juliano (1985)

3. ความคงตัวของแป้งสุก (Gel consistency) การหาความคงตัวของแป้งสุกอาศัยหลักการทำให้แป้งใสโดยการต้มในสารละลายเบสโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ แล้วทำให้เย็นในห้องและวัดระยะทางที่แป้งไหลไปเมื่อวางในแนวราบ ข้าวที่มีอะไมโลสเท่ากัน อาจมีความแข็งของข้าวสุกแตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากสมบัติของแป้งสุกมีอัตราการคืนตัวไม่เท่ากัน ทำให้แป้งสุกมีความแข็งและอ่อนแตกต่างกัน Buttery และคณะ (1983) ได้ทำการทดสอบความแข็งของแป้งสุกโดยอ่านจากระยะทางแป้งไหลไป พบว่าในการพิจารณาคุณภาพข้าวเจ้าโดยใช้ความคงตัวของแป้งสุกนั้น ต้องพิจารณาข้าวที่มีอะไมโลสอยู่ในประเภทเดียวกัน ดังนั้น หากข้าว 2 พันธุ์ มี อะไมโลสสูงใกล้เคียงกัน ข้าวที่มีความคงตัวของแป้งสุกอ่อน เมื่อหุงเป็นข้าวสวยจะได้ข้าวที่แข็งกระด้างน้อยกว่าข้าวที่มีความคงตัวของแป้งสุกแข็ง ดังนั้น IRRI จึงได้แบ่งข้าวตามความค่าความคงตัวของแป้งสุกเป็น 3 ประเภท ดังตารางที่ 2.4

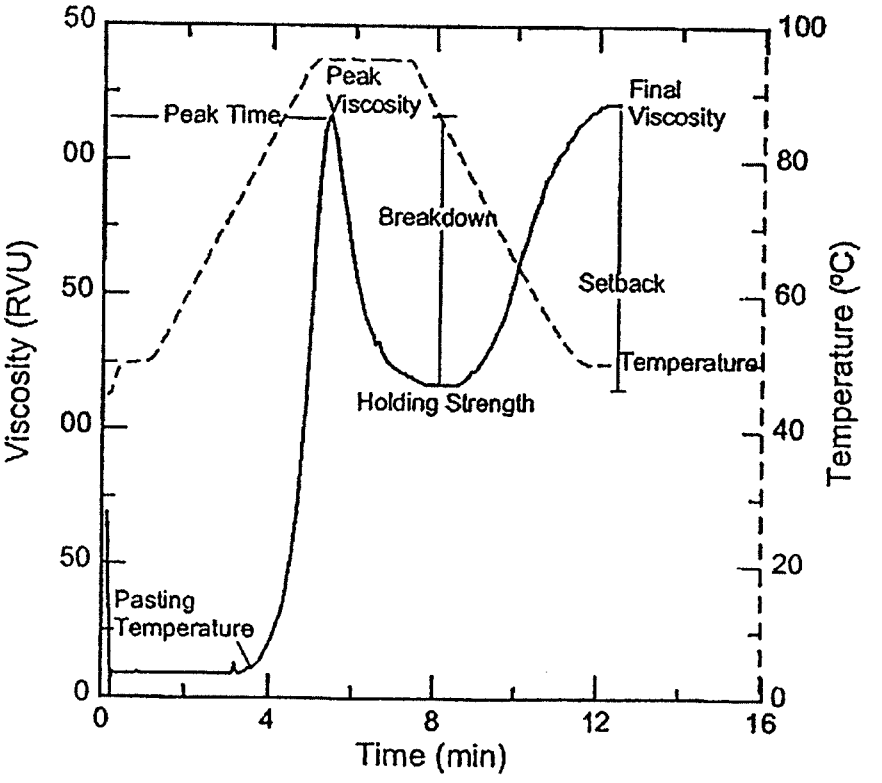
ตารางที่ 2.4 การแบ่งประเภทข้าวตามความคงตัวของแป้งสุก

ประเภทแป้งสุก	ระยะทางที่แป้งไหล (มม.)
แป้งสุกแข็ง	26 – 40
แป้งสุกปานกลาง	41 – 60
แป้งสุกอ่อน	61 - 100

ที่มา: Juliano (1985)

4. ความหนืดของแป้ง (Viscoamylograph) อุณหภูมิในการเกิดเจลและความหนืดของแป้งสุกสามารถวัดโดยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) ซึ่งแสดงพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำแป้งเมื่อได้รับความร้อน เมื่อให้ความร้อนเม็ดแป้งจะเกิดการพองตัว ความหนืดเริ่มต้นเพิ่มขึ้น ความหนืดจะสูงขึ้นจนถึงจุดสูงสุด เรียกความหนืดที่จุดสูงสุดนี้ว่า peak viscosity แสดงถึงความสามารถในการรวมตัวของน้ำแป้งเอง อะไมโลแพคตินมีความสามารถรวมตัวกับน้ำสูง ปัจจัยที่มีผลต่อ peak viscosity ได้แก่ อายุการเก็บรักษา (Aging) ปริมาณโปรตีน และปริมาณอะไมโลส โดยทั่วไปแป้งจากข้าวจะมี peak viscosity ต่ำกว่าแป้งอย่างอื่น ยกเว้นแป้งข้าวเหนียว (waxy starch) หลังจากเกิด peak viscosity แล้วความหนืดจะลดลง

เนื่องจากการแตกตัวของเม็ดแป้ง อะไมโลสจะถูกปล่อยออกมากับสารละลาย และอาจมีบางส่วนที่เป็นอะไมโลแพคตินด้วย ความหนืดมีการเปลี่ยนแปลงไปสู่ขั้นสลายตัวหรือเรียกว่า breakdown ค่า breakdown มีความสัมพันธ์กับอะไมโลส เมื่อเข้าสู่ระยะการทำให้น้ำแป้งเย็นตัวลง ความหนืดจะเพิ่มขึ้นอีก เป็นความหนืดที่เกิดจากโครงสร้างของแป้งที่เกิดการจัดเรียงตัวใหม่ (retrogradation) ช่วงอุณหภูมิที่แป้งคืนตัวเรียกว่า setback ส่วน peak viscosity มีหน่วยเป็น RVU ค่านี้สามารถใช้ในการคาดคะเนความแข็งกระด้างของข้าวสุกได้ อัตราส่วนระหว่างอะไมโลสต่ออะไมโลแพคตินมีผลต่อการเกิด setback เมื่อระดับอะไมโลสสูงทำให้ setback สูงขึ้นตาม (จารนัย พานิชยกุล, 2537) ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง RVA
ที่มา: จารนัย พาณิชยกุล (2537)

5. การยืดของเมล็ดข้าว (Elongation) เมล็ดข้าวมีการขยายตัวในระหว่างการหุงต้ม ข้าวสุกที่ยืดตัวได้มากและไม่เหนียวติดกันเป็นข้าวที่หุงขึ้นหม้อ การที่เมล็ดขยายตัวได้มากทำให้เนื้อภายในโปร่งไม่อัดแน่นและช่วยให้ข้าวนุ่มมากขึ้น ข้าวที่ผ่านการเก็บรักษามีการขยายตัวของข้าวสุกเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมล็ดข้าวสามารถดูดซับน้ำได้มากขึ้น ดังนั้นข้าวเก่าจึงใช้น้ำในการหุงต้มมากกว่าข้าวใหม่ ซึ่งอัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าว (Elongation ratio) หาได้จากความยาวของข้าวสุกต่อความยาวของข้าวสาร หรือคำนวณได้จากสูตร

$$\text{อัตราการยืดของเมล็ดข้าวสุก} = \frac{\text{ความยาวเฉลี่ยของเมล็ดข้าวสุก 10 เมล็ด}}{\text{ความยาวเฉลี่ยของเมล็ดข้าวสาร 10 เมล็ด}}$$

6. กลิ่นหอม (Aroma) ข้าวบางพันธุ์มีกลิ่นสารระเหยบางชนิดที่ผู้บริโภคบางกลุ่มชอบ แต่บางกลุ่มไม่ชอบซึ่งเป็นกลิ่นที่มีอยู่ประจำพันธุ์ เช่น ข้าวหอมที่ซื้อขายในตลาดข้าวของโลก คือ พันธุ์ข้าวที่มีสาร 2-แอซีทิล-1-ไพร์รอลีน (2-acetye - 1 - pyrroline) ซึ่งเป็นสารหลักของกลิ่นหอมจากข้าว โดยข้าวหอมที่อยู่ในรูปข้าวกล้องจะมีสารนี้ประมาณ 0.1 - 0.2 ไมโครกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ในขณะที่ข้าวสารมีเพียง 0.04 - 0.09 ไมโครกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ส่วนกลิ่นเหม็นอาจเกิดจากปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันไม่อิ่มตัว, กรดแอมิโนที่มีสารซัลเฟอร์ในโมเลกุล, สารประเภทไฮโดรเจนซัลไฟล์, แอมโมเนีย, คาร์บอนไดออกไซด์ หรือ แอซิแทลดีไฮด์ ซึ่งเป็นกลิ่นที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับ (Juliano, 1985) กลิ่นหอมของข้าวจะลดลงเมื่อเป็นข้าวเก่า เนื่องจากสารหอมระเหยค่อยๆระเหยหายไป ปัจจัยที่ส่งเสริมให้กลิ่นหอมเสื่อมเร็ว คือ ความร้อน และความชื้น การเก็บข้าวหอมในสภาพข้าวเปลือกและข้าวสารในห้องเย็น 15 องศาเซลเซียส จะช่วยรักษาคุณภาพข้าวสุกได้ใกล้เคียงกับข้าวใหม่แม้จะเก็บนานถึง 10 เดือน และช่วยชะลอการลดลงของกลิ่นหอมได้ การเก็บข้าวสารในสภาพอากาศผ่านได้ไม่ควรเก็บนานเกิน 4 เดือน เพราะข้าวจะมีกลิ่นหอมลดลง (งามชื่น คงเสรี, 2539 ก)

7. ปริมาณความชื้นในเมล็ดข้าว เป็นองค์ประกอบทางเคมีที่มีสำคัญต่อคุณภาพเมล็ดข้าวทั้งทางตรงและทางอ้อมคือ ปริมาณความชื้นของข้าว ทั้งในข้าวเปลือกและข้าวสาร ใช้เป็นเกณฑ์มาตรฐานสำคัญในการซื้อขายข้าว เนื่องจากปริมาณความชื้นสามารถบ่งบอกถึงน้ำหนักของเนื้อข้าวที่ผู้ซื้อ และผู้ขายเกี่ยวข้องกันโดยตรงในการกำหนดราคาซื้อ-ขาย และในทางอ้อมนั้น ความชื้นสามารถบ่งชี้ถึงอายุการเก็บรักษาข้าวหรือบ่งบอกถึงความปลอดภัยในการเก็บรักษาให้ข้าวมีคุณภาพดี (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547) Juliano (1985) ได้ทำการทดลองพบว่า ข้าวที่มีความชื้นสูงจะเสื่อมเร็วกว่าข้าวที่มีความชื้นต่ำ ระดับความชื้นของข้าวที่ยอมรับว่าปลอดภัยต่อการเก็บรักษาข้าวที่เหมาะสม คือ 13%w.b. ซึ่งจะเก็บรักษาได้ดีภายในเวลา 6 เดือน และถ้าข้าวมีความชื้น 12%w.b. จะทำให้เก็บรักษาได้นานขึ้น นอกจากนี้ความชื้นของข้าวยังมีผลต่อคุณภาพการสีของข้าวเปลือกโดยเป็นปัจจัยสำคัญตั้งแต่การเก็บเกี่ยวข้าวความชื้นที่เหมาะสม (22-26%w.b.) การตากข้าวเปลือกเพื่อลดความชื้นลงให้อยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัยต่อการเก็บรักษา (ความชื้นไม่สูงกว่า14%w.b.) จนถึงเวลาการสีข้าวเปลือกที่มีความชื้นที่เหมาะสมก็จะทำให้ได้ข้าวที่เต็มเมล็ดสูง และหักน้อย

2.4 ผลของการใช้ความร้อนต่อคุณภาพเมล็ดข้าว

การศึกษาการถนอมอาหารด้วยความร้อนในผลิตภัณฑ์ข้าวซึ่งเป็นอาหารที่มีกรดต่ำ จะใช้อุณหภูมิในช่วง 112-125 ° C ในเวลาที่กำหนดเพื่อให้ได้การสเตอร์ไรซ์ระดับการค้า (commercial sterilite) ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีอายุการเก็บรักษาประมาณ 12 เดือน (Prakash et al., 2005) การศึกษาการแปรรูปข้าวพร้อมบริโภค (ready-to-eat rice) ของ Prakash และคณะ(2005) ที่ศึกษาข้าวอินเดีย (Bangeru Thiguda) บรรจุถุงรีทอร์ทเพาซ์ ซึ่งใช้วัสดุประกบ 3 ชั้น ได้แก่ Polyester tetraphtalate (PET), Aluminium foil (Al) และ Cast polypropelene (CPP) โดยมีอัตราส่วนข้าวต่อน้ำเท่ากับ 1:2 นำมาผ่านการฆ่าเชื้อที่ F0 = 3 นาที ที่อุณหภูมิและเวลาระดับต่างๆ (112 ° C 30 นาที , 115 ° C 20 นาที, 118 ° C 8 นาที, 118 ° C 12 นาที และ 121 ° C

นาที) พบว่าอุณหภูมิและเวลาในการฆ่าเชื้อที่สูงขึ้นมีผลทำให้ความแข็งที่วัดโดย Texture analyzer โดยการฆ่าเชื้อที่ 118 °C 8 นาที มีคะแนนคุณภาพโดยรวมและคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส ได้แก่ การจับเป็นก้อน (plumpness) และความแข็งใกล้เคียงกับชุดควบคุม (หุงโดยใช้หม้อความดัน) มากที่สุด นอกจากนี้ Prasert และ Suvunnaporn (2009) ได้ศึกษาสภาวะ (ปริมาณความชื้น ความดัน และอุณหภูมิอบแห้ง) ที่เหมาะสมในการแปรรูปข้าวที่หุงสุกเร็ว (Instant or quick-cooking rice) พบว่าค่าความแข็ง (hardness) และค่าต้านแรงบดเคี้ยว (chewiness) จากการทดสอบ Texture profile analysis มีค่าลดลงเมื่อปริมาณความชื้นและความดันสูงขึ้น ขณะที่อุณหภูมิอบแห้งที่สูงขึ้นมีผลทำให้ค่าทั้งสองสูงขึ้น ความดันและความชื้นมีผลกับการเพิ่มปริมาตรของข้าวหุงสุกเร็ว เนื่องจากความเป็นรูพรุนของเมล็ดข้าว (kernel) อีกทั้งความดันยังเป็นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อสมบัติ pasting โดยข้าวหุงสุกเร็วมีลักษณะ cold paste viscosity สูงกว่าข้าวที่ผ่านการขัดสีทั่วไป และแสดงให้เห็นว่าข้าวดังกล่าวมีสมบัติในการดูดซับน้ำได้เร็ว และใช้เวลาในการทำให้สุกสั้น นอกจากนี้สภาวะที่ศึกษายังมีผลต่อการเกิดโครงสร้างแบบซับซ้อนของอะไมโลสและไลปิด ดังแสดงจากรูปแบบวี (V-shape pattern) ในการตรวจสอบโดย X-ray diffractometer

2.5 ข้าวกล้องงอก

ข้าวกล้องงอก คือ ข้าวกล้องที่ผ่านการแช่น้ำหรือให้ความชื้นที่อุณหภูมิต่างๆอย่างเหมาะสมจนมีปมรากงอกยาวออกมาประมาณ 0.5-1 มิลลิเมตรที่บริเวณจมูกข้าว ดังรูปที่ 2.3

รูปที่ 2.3 ข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์ช่อลุง (A), พันธุ์เหนียวดำเปลือกขาว (B), พันธุ์เหนียวหลันตัน (C) และพันธุ์เล็บนกปัตตานี (D)

2.5.1 กระบวนการผลิตข้าวกล้องงอก

ขั้นตอนในการผลิตข้าวกล้องงอก ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ การแช่ข้าวและการงอกของเมล็ดข้าว (Manna et al., 1995) ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

2.5.1.1 การแช่ข้าว (Soaking process)

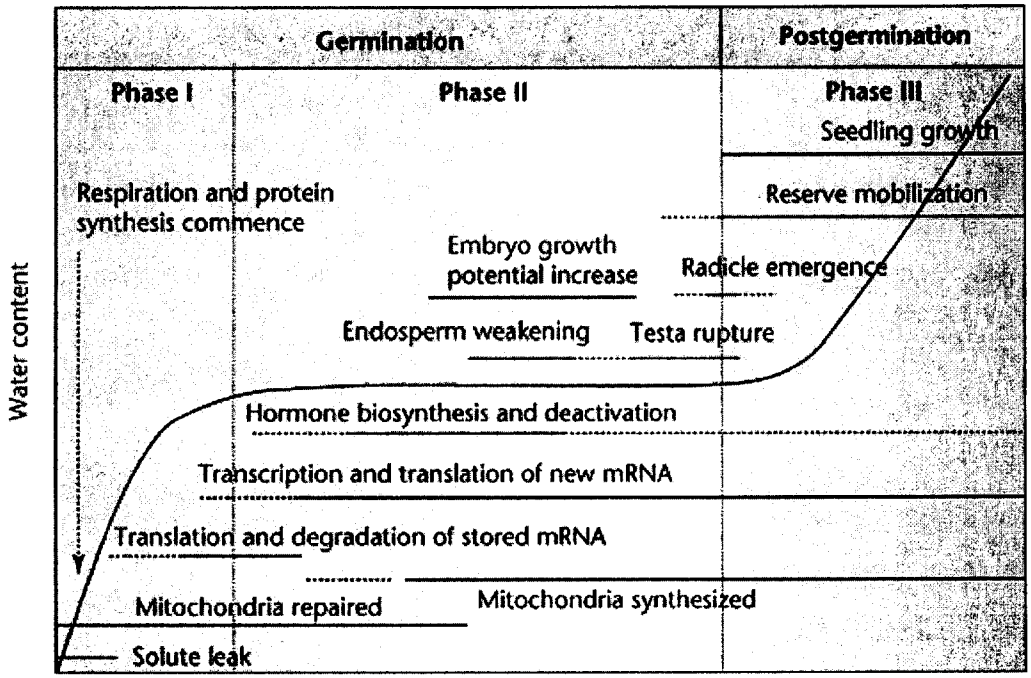
การแช่ข้าวมีจุดประสงค์เพื่อให้น้ำถูกดูดซึมสู่เมล็ดและกระจายตัวเข้าไปในส่วนต่างๆอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งจะเป็นการกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมีในเนื้อเมล็ดและทำให้เกิดการงอกของเมล็ด โดยอัตราเร็วของการดูดน้ำเข้าสู่เมล็ดและระยะเวลาที่ใช้ในการแช่น้ำขึ้นอยู่กับ (1) อุณหภูมิของน้ำที่แช่ (2) ขนาดของเมล็ด (3) ชนิดและสายพันธุ์ของข้าว และ (4) ลักษณะของส่วนประกอบในเนื้อเมล็ด เมื่อใช้น้ำอุณหภูมิสูงในการแช่เมล็ดจะทำให้เกิดการดูดน้ำเข้าสู่เมล็ดอย่างรวดเร็ว ทำให้การกระจายตัวของความชื้นในส่วนต่างๆของเมล็ดโดยเฉพาะในส่วนเนื้อเมล็ดและคัพพะไม่สม่ำเสมอ ส่งผลให้ประสิทธิภาพการเกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีในการผลิตเอนไซม์ การเจริญของรากและลำต้นมีประสิทธิภาพต่ำ ในทางตรงกันข้ามหากใช้อุณหภูมิต่ำเกินไป การดูดน้ำของเมล็ดจะเป็นไปอย่างช้าๆ จึงเป็นการเพิ่มโอกาสในการเจริญของจุลินทรีย์ เนื่องจากต้องใช้ระยะเวลานานเพื่อให้น้ำการกระจายเข้าไปในส่วนต่างๆอย่างทั่วถึง ส่งผลให้เกิดการเสื่อมสลายของเมล็ดและทำให้ประสิทธิภาพการงอกของเมล็ดต่ำลงเช่นกัน

2.5.1.2 การงอกของเมล็ดข้าว (Germination process)

การงอกของเมล็ดเป็นกระบวนการที่สำคัญของพืช เพื่อให้พืชดำรงเผ่าพันธุ์ตามธรรมชาติ เพื่อการเพาะปลูกของมนุษย์ และเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของเมล็ดพืช การที่เมล็ดจะงอกออกมาเป็นต้นอ่อนได้จะต้องมีสิ่งต่างๆ (นันทิยา วรรธนะภูติ, 2542) ดังนี้

- เมล็ดต้องมีชีวิต คือ เอ็มบริโอ (ต้นอ่อน) มีชีวิตอยู่และพร้อมที่จะงอก
- เมล็ดต้องได้รับสภาพแวดล้อมภายนอกที่เหมาะสม เช่น มีความชื้นพอเพียงมีอุณหภูมิพอเหมาะ มีออกซิเจนและเมล็ดบางชนิดต้องการแสงในการงอกด้วย
- เมล็ดต้องมีสภาพภายในเมล็ดเหมาะสม คือ สภาพการพักตัวครั้งแรก (primary dormancy) ภายในเมล็ดต้องหมดไปแล้ว กระบวนการภายในเมล็ดที่จะทำให้สภาพการพักตัวครั้งแรกหมดไปเรียกรวมว่า after-ripening และเป็นผลเนื่องมาจากปฏิกิริยาของสภาพแวดล้อมกับสภาพการพักตัวครั้งแรก กระบวนการ after-ripening ต้องการเวลาระยะหนึ่งและบางครั้งต้องการการจัดการกับเมล็ดเป็นพิเศษด้วย

Bewley (1997) ได้รายงานว่ากระบวนการงอกของเมล็ดข้าว แบ่งออกเป็น 3 ระยะ คือ ระยะเริ่มทำงาน (ระยะที่ 1) ระยะการย่อยอาหารและลำเลียงอาหาร (ระยะที่ 2) และระยะการเติบโตของต้นกล้า (ระยะที่ 3) ดังรูปที่2.4



รูปที่ 2.4 ระยะต่างๆในการงอกของเมล็ดพืช

ที่มา: Bewley (1997)

ระยะที่ 1: ระยะเริ่มทำงาน (Activation)

ก. การดูดน้ำเข้าในเมล็ด (Imbibition of water) การดูดซึมของน้ำเข้าสู่เมล็ดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในตอนแรกและต่อมาจะคงที่ ทำให้ความชื้นของเมล็ดเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งน้ำจะช่วยให้เปลือกเมล็ดอ่อนลงและทำให้โปรโทพลาสซึมในเซลล์ได้รับน้ำ เมล็ดจึงบวมขึ้นและเปลือกเมล็ดอาจแตก

ข. การสังเคราะห์เอนไซม์ (Synthesis of enzymes) เมื่อน้ำถูกดูดซึมเข้าสู่เมล็ด ทำให้เกิดการกระตุ้นให้เกิดกิจกรรมของเอนไซม์ชนิดต่างๆ โดยทั่วไปในเมล็ดข้าวมีเอนไซม์เบต้าอะไมเลสสะสมอยู่แล้ว เอนไซม์ชนิดนี้ถูกสร้างขึ้นมาพร้อมกับการพัฒนาของเมล็ดจนกลายเป็นเมล็ดที่สมบูรณ์ ดังนั้นในขั้นตอนการงอกของเมล็ดจึงเป็นการผลิตเอนไซม์เบต้าอะไมเลสเป็นหลัก การสร้างเอนไซม์เบต้าอะไมเลสเกิดขึ้นในส่วนคัพพะโดยการกระตุ้นของฮอร์โมนจิบเบอเรลลิกที่ถูกสร้างในขณะเกิดการงอก นอกจากนั้นเอนไซม์เบต้าอะไมเลสและกรดจิบเบอเรลลิกยังเป็นตัวกระตุ้นให้เยื่อหุ้มเนื้อเมล็ดผลิตเอนไซม์ชนิดอื่นๆ เช่น เบต้ากลูแคนเนส (β-glucanase) เพนโตแซนเนส (pentosanase) เป็นต้น

ค. การยืดของเซลล์และการงอกของราก (Cell elongation and emergence of the radicle) สิ่งที่บ่งบอกว่าเกิดการงอกของเมล็ดคือการเกิดจุดขาว (white chit) ของรากเทียม (root sheet) ซึ่งเกิดจากเซลล์ขยายขนาดใหญ่ขึ้นมากกว่าเกิดจากการแบ่งตัว การงอกของรากอาจเกิดขึ้นภายใน 2-3 ชั่วโมงหรือ 2-3 วันภายหลังจากการงอกได้เริ่มขึ้นและแสดงว่าระยะที่ 1 ได้สิ้นสุดลง

ระยะที่ 2: การย่อยอาหารและลำเลียงอาหาร (Digestion and Translocation)

หลังจากคัพพะและเยื่อหุ้มเนื้อเมล็ดมีการผลิตเอนไซม์ต่างๆขึ้นมา เอนไซม์เหล่านั้นมีกิจกรรมในการสลายสารอาหารต่างๆที่สะสมในส่วนเนื้อเมล็ด โดยสารอาหารที่สะสมอยู่ในรูปไขมัน โปรตีนและคาร์โบไฮเดรตถูกย่อยให้เป็นสารโมเลกุลไม่ซับซ้อน ดังนี้

- ไขมันและน้ำมันจะถูกย่อยเป็นกรดไขมันและน้ำตาล
- โปรตีนจะถูกย่อยเป็นสารประกอบที่มีไนโตรเจนเป็นหลัก (กรดอะมิโน) ซึ่งจำเป็นในการเจริญเติบโตของต้นกล้า
- แป้งจะถูกย่อยเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ เช่น กลูโคส มอลโตส ฟรุคโตส เป็นต้น

หลังจากผ่านการย่อยแล้ว สารอาหารเหล่านั้นจะเคลื่อนย้ายไปที่จุดเจริญส่วนต่างๆของเอมบริโอ ซึ่งเซลล์ทั้งระบบจะถูกกระตุ้นให้ทำงาน ระบบการสังเคราะห์โปรตีนทำหน้าที่ผลิตเอนไซม์ใหม่และสังเคราะห์สารใหม่ที่เป็นโครงสร้าง การดูดน้ำและการหายใจในระยะนี้เกิดขึ้นในอัตราที่คงที่

ระยะที่ 3: การเติบโตของต้นกล้า (seedling growth)

เกิดการเพิ่มปริมาณของเซลล์และเกิดการเจริญของต้นพืช โดยเมื่อคัพพะได้รับสารอาหารจะมีการแบ่งเซลล์ที่ปลายรากแรกเกิด จากนั้นโครงสร้างของต้นกล้าจึงขยายใหญ่ขึ้น ส่วนจุดการเจริญเติบโตของลำต้นในคัพภะ คือ plumule มีการยืดตัวและเติบโตเกิดเป็นใบแรก และแกนของคัพพะส่วนใต้ใบเลี้ยงจะเติบโตเป็นไฮโปโคทีล (hypocotyls) ในขณะที่ส่วนเหนือใบเลี้ยงจะเจริญเป็นอีพีโคทีล (epicotyls)

2.5.2 คุณค่าทางโภชนาการ สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและประโยชน์ต่อสุขภาพของข้าวกล้องงอก

2.5.2.1 คุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้องงอก

ข้าวที่ผ่านการเพาะให้งอกมีคุณค่าทางโภชนาการเพิ่มขึ้น(Tsukahara, 2004; Komatsuzaki et al., 2007, Moongngarm and Saetung, 2010) ดังแสดงในตารางที่ 2.5 นอกจากนี้กระบวนการงอกยังทำให้ชั้นนอกของข้าวมีความนุ่มขึ้น ทำให้ง่ายต่อการหุงและรับประทานได้ง่ายเหมือนข้าวขัดขาว (Tsukahara, 2004)

เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Kanyahara และ Tsukahara (2000) ซึ่งรายงานว่าในระหว่างกระบวนการงอก องค์ประกอบในข้าวกล้องจะเกิดการเปลี่ยนแปลงมากโดยสารหลักที่เพิ่มขึ้นในข้าวกล้องงอก คือ GABA, fiber, inositol, ferulic acid, phytic acid, magnesium, potassium, γ-Oryzanol และ zinc โดยพบว่าข้าวกล้องงอกมี GABA วิตามินอี วิตามิน บี3 ไลซีน วิตามิน บี1 และวิตามิน บี6 มากกว่าข้าวขัดขาว 10, 4, 4, 4, 3 และ 3 เท่า ตามลำดับ นอกจากนี้ Komatsuzaki และคณะ (2005) วิเคราะห์ปริมาณกรดอะมิโนอิสระของข้าวกล้องงอกพันธุ์ Haiminori โดยเปรียบเทียบวิธีการเพาะระหว่างเพาะด้วยการแช่และไม่แช่น้ำ (แช่น้ำที่อุณหภูมิ 35 ^{o}C นาน 24 ชม.) พบว่าการเพาะด้วยการแช่ในน้ำส่งผลให้กรดอะมิโนหลายๆชนิดเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะ GABA ดังแสดงในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.5 คุณค่าทางโภชนาการและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของข้าวกล้องและข้าวกล้องงอก

สารอาหาร	ข้าวกล้อง	ข้าวกล้องงอก
องค์ประกอบทางเคมี (%)		
ความชื้น	9.44 ± 0.76[a]	8.86 ± 0.95[a]
โปรตีน	6.98 ± 0.07[b]	8.98 ± 0.27[a]
ไขมัน[ns]	1.20 ± 0.68	1.23 ± 0.68
คาร์โบไฮเดรต[ns]	79.2 ± 2.08	77.7 ± 2.49
เถ้า[ns]	1.96 ± 0.11	2.06 ± 0.11
เยื่อใย[ns]	1.13 ± 0.16	1.22 ± 0.26
น้ำตาลทั้งหมด[ns]	0.91 ± 0.03	1.88 ± 0.13
น้ำตาลรีดิวซ์[ns]	0.19 ± 0.04	0.81 ± 0.19
ปริมาณกรดอะมิโนทั้งหมด[ns]	2.11 ± 0.56	3.12 ± 0.55
วิตามิน (mg/100 g)		
วิตามิน บี1	0.23 ± 0.02[a]	0.12 ± 0.02[b]
วิตามิน บี3	7.66 ± 0.14[a]	4.47 ± 0.18[b]
วิตามิน บี6	0.76 ± 0.08[a]	0.66 ± 0.04[b]
สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ		
Phytic acid (g/100 g)	1.32 ± 0.07[a]	1.15 ± 0.08[b]
Total phenolic (mg/100 g)[ns]	70.3 ± 8.31	84.3 ± 6.35
α-Tocopherol (mg/100 g)[ns]	0.93 ± 0.18	0.86 ± 0.08
γ-Oryzanol (mg/100 g)[ns]	66.0 ± 5.93	84.0 ± 5.93

[a,b,...] ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

[ns] ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ที่มา: ดัดแปลงจาก Moongngarm and Saetung (2010)

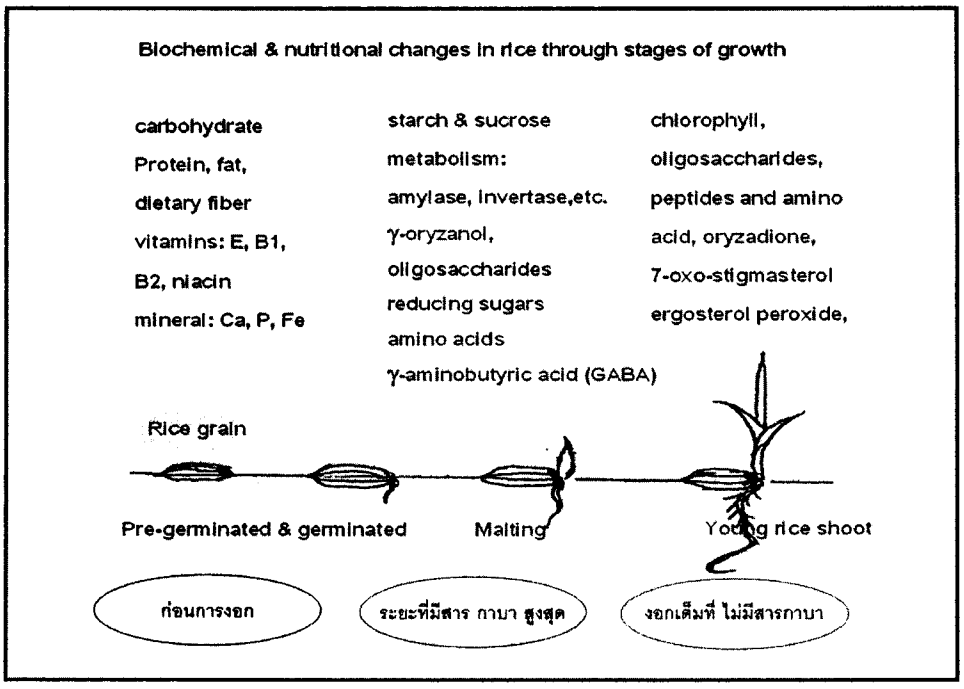
ตารางที่ 2.6 ปริมาณกรดอะมิโนอิสระในข้าวพันธุ์ Haiminori ที่ผ่านการเพาะให้งอกด้วยการแช่น้ำและไม่ได้แช่น้ำ

กรดอะมิโน	มิลลิกรัม/100 กรัม น้ำหนักสด		
	ข้าวกล้อง (Control)	ข้าวกล้องงอก (เพาะโดยไม่แช่น้ำ)	ข้าวกล้องงอก (เพาะโดยแช่น้ำที่ 35 °C นาน 24 ชม.)
Asp	6.6 ± 1.04	1.2 ± 0.22	1.8 ± 0.61
Thr	1.0 ± 0.48	3.1 ± 0.76	6.0 ± 1.16
Ser	3.5 ± 0.29	2.0 ± 0.75	2.7 ± 0.42
Asn	7.1 ± 1.69	3.7 ± 0.55	7.0 ± 0.78
Glu	12.4 ± 3.06	4.5 ± 0.41	13.4 ± 3.57
Pro	1.9 ± 1.66	5.1 ± 0.67	8.4 ± 1.26
Gly	1.5 ± 0.89	4.3 ± 0.82	8.7 ± 1.50
Ala	12.2 ± 4.48	13.0 ± 2.00	25.6 ± 9.29
Val	0.8 ± 0.33	4.5 ± 0.76	12.3 ± 1.00
Cys	1.4 ± 0.51	1.9 ± 1.41	2.9 ± 0.70
Met	0.4 ± 0.40	2.2 ± 0.52	3.3 ± 1.01
Ile	0.7 ± 0.15	3.7 ± 0.67	5.8 ± 0.70
Leu	0.9 ± 0.17	6.4 ± 0.97	12.3 ± 1.31
Tyr	1.4 ± 0.39	4.1 ± 0.37	7.0 ± 0.33
Phe	1.0 ± 0.59	3.8 ± 0.37	5.5 ± 0.99
GABA	7.3 ± 2.05	10.1 ± 1.36	24.9 ± 4.00
Lys	3.9 ± 1.45	4.4 ± 0.84	9.6 ± 2.55
His	1.0 ± 0.30	2.4 ± 0.79	4.3 ± 0.99
Arg	4.9 ± 1.14	9.0 ± 3.06	10.6 ± 6.48
รวมทั้งหมด	**67.0 ± 12.38**	**93.0 ± 13.34**	**178.7 ± 32.78**

ข้อมูลแสดงเป็นค่า mean ± SD ของการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

ที่มา: Komatsuzaki และคณะ (2005)

จากตารางที่ 2.5 และตารางที่ 2.6 จะเห็นว่ากระบวนการงอกส่งผลให้สารอาหารหลายชนิดมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีและสารอาหารในระยะต่างๆของข้าว แสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีและสารอาหารในระยะต่างๆของข้าว

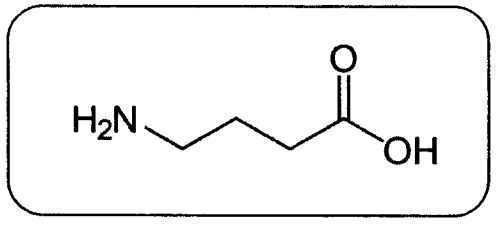
ที่มา: http://pcog.pharmacy.psu.ac.th

สารต่างๆที่สร้างขึ้นในช่วงอายุของข้าวที่ต่างกันมีรูปแบบการสะสมสารทุติยภูมิที่ต่างกัน เช่น สาร oryzadione ที่มีฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียเช่นเดียวกับสาร oryzalic acid B (Kono et al., 2004) สารต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ γ-oryzanol (Julino et al., 2005), feruloyl arabinoxylans, สารที่มีฤทธิ์ลดระดับคลอเรสเตอรอลในเลือด (Miura et al., 2006) และสารที่คุณสมบัติช่วยคลายความวิตกกังวล (antianxiety) เช่น GABA (Kamatsuzaki et al., 2005) เป็นต้น

2.5.2.2 สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในข้าวกล้องงอก

1. γ-aminobutyric acid (GABA)

GABA เป็นกรดอะมิโนที่ไม่ใช่โปรตีน (shelp et al., 1999) กล่าวคือเป็นโมเลกุลที่ประกอบด้วยหมู่อะมิโน (NH_3) และหมู่คาร์บอกซิล (COOH) อย่างละ 1 หมู่ต่ออยู่กับคาร์บอนอะตอม ดังรูปที่ 2.6 GABA มีความสามารถในการละลายในน้ำได้สูงและมีคุณสมบัติเป็น zwitterionic คือมีทั้งขั้วบวกและขั้วลบ ซึ่งมีค่า pK เท่ากับ 4.03 และ 10.56 (Chritensen, 1994)



รูปที่ 2.6 โครงสร้างโมเลกุลของ GABA

ที่มา: Shelp และคณะ (1999)

GABA เป็นกรดอะมิโนที่พบในธรรมชาติทั้งสัตว์มีกระดูกสันหลังและสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังรวมทั้งพืช ซึ่งสิ่งมีชีวิตสังเคราะห์ GABA จากกลูตาเมท (Maeda et al. 2007) สำหรับในพืช โดยทั่วไปเนื้อเยื่อพืชจะมี GABA ในระดับต่ำ (0.03-2.00 μmol/g) (Fougere et al., 1991; Bown and Shelp, 1997) นักวิทยาศาสตร์จึงให้ความสนใจที่จะศึกษาถึงปัจจัยหรือวิธีการที่จะทำให้พืชผลิต GABA ได้สูงขึ้น ซึ่งจากการศึกษาพบว่าการแช่เมล็ดพืชในน้ำ จนกระทั่งรากงอกยาวออกมาประมาณ 0.5-1.0 มิลลิเมตร จะทำให้มี GABA เพิ่มสูงขึ้น (Saikusa et al., 1994; Ohtsubo et al., 2005; Maeda et al. 2007) และนอกจากการเพิ่มขึ้นของ GABA แล้ว กระบวนการงอกยังส่งผลทำให้สารอาหารอื่นๆ ได้แก่ วิตามิน ใยอาหาร กรดไฟติก และกรดเฟอร์รูริก เพิ่มขึ้นอีกด้วย (Tian et al., 2004) นอกจากนี้ Maeda และคณะ (2007) ได้รายงานว่าข้าวกล้องงอกมีปริมาณ GABA มากกว่าข้าวกล้องปกติ 2 ถึง 7 เท่า แสดงว่าในระหว่างการงอกมีการสังเคราะห์ GABA เกิดขึ้นจากกระบวนการดีคาร์บอกซิเลชั่น (Decarboxylation) ของกรดอะมิโนแอล-กลูตาเมทโดยอาศัยเอนไซม์กลูตาเมทดีคาร์บอกซิเลส (Komatsuzaki et al. 2007) อย่างไรก็ตามมีหลายงานวิจัยที่สรุปถึงวิธีการหรือสภาวะที่ใช้ในกระบวนการงอกเพื่อทำให้ปริมาณ GABA ในเมล็ดข้าวเพิ่มสูงขึ้น แสดงดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 วิธีการหรือสภาวะที่ใช้ในกระบวนการงอกเพื่อทำให้ปริมาณ GABA ในเมล็ดข้าวเพิ่มสูงขึ้น

ตัวอย่าง	สภาวะในการงอก	เอกสารอ้างอิง
ข้าวของประเทศญี่ปุ่น	แช่ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 25°C นาน 18 ชม. ภายใต้ความดันสูง ที่ 400 MPa	Miwako et al., 1999
	แช่ในน้ำที่อุณหภูมิ 30°C นาน 72 ชม.	Ohtsubo et al., 2005
	แช่ในน้ำกลั่นนาน 3 ชม. ภายใต้สภาวะกาซที่อุณหภูมิ 35°C นาน 21 ชม.	Komatsuzaki et al., 2007
ข้าวของประเทศเกาหลี	แช่ในสารละลายกรดกลูตามิก เข้มข้น 5 mM ที่มีไคโตแซนเข้มข้น 50 ppm โดยแช่ในที่มืดอุณหภูมิ 25-26°C นาน 72 ชม.	Oh, 2003
ข้าวของประเทศไทย	แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ เข้มข้น 0.1 mM, pH 5.0 อุณหภูมิ 40°C นาน 36 ชม.	Sunte et al., 2007
	แช่ในน้ำ pH 5.0 อุณหภูมิ 35°C นาน 24 ชม.	Watchraparpaiboon et al., 2007
	แช่ในสารละลาย pH 3.0 นาน 48 ชม.	Charoenthaikij et al., 2009

GABA มีความสำคัญกับระบบประสาท โดยทำหน้าที่เป็นInhibitory nerve transmitter ในระบบประสาทส่วนกลาง มีการวิจัยพบว่า GABA เป็นสารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ โดยจะช่วยในการกระตุ้นการไหลเวียนของเลือดในสมอง ทำให้เลือดไปเลี้ยงสมองได้ดีจึงช่วยทำให้สมองผ่อนคลาย (Richard, 2000;

Su et al., 2003; Huang et al., 2007) ช่วยรักษาระดับความดันเลือดและการเต้นของหัวใจให้คงที่ รวมถึงช่วยลดความวิตกกังวลและความรู้สึกเจ็บปวด (Kono and Himeno, 2000; Toshio et al., 2004) ช่วยลดไขมันในเส้นเลือด (Zhang et al., 2005; Miura et al., 2006) ช่วยเพิ่มการหลั่งอินซูลิน (Huang et al., 2007) และควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดหลังรับประทานอาหาร (postprandial blood glucose) (Ito et al., 2005) นอกจากนี้การบริโภคอาหารที่มีสาร GABA สูงจะช่วยยับยั้งการเจริญของเซลล์มะเร็ง (Park and Oh, 2007; Oh and Oh, 2004) และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเรียนรู้และความจำในหนูให้สูงขึ้น (Miura et al., 2006)

2. Gamma-Oryzanol

Gamma-oryzanol เป็นสารทางเคมีที่พบได้ทั่วไปในพืช ประกอบด้วยสารประกอบหลายตัวด้วยกัน สารประกอบหลักๆคือ campestenyl ferulate, cycloartenyl ferulate และ 24-methylene-cycloartanyl ferulate

จากการรวบรวมผลงานวิจัยทางด้านโภชนาการของ gamma-oryzanol พบว่า การบริโภค gamma-oryzanol สามารถลดระดับโคเลสเตอรอลในเลือด ส่งเสริมการทำงานของหลอดเลือด ลดการจับตัวของเกล็ดเลือดและลดการสังเคราะห์โคเลสเตอรอลในตับ ปัจจุบัน gamma-oryzanol ยังมีความสำคัญมากขึ้น ในการใช้เป็นยา อาหารเสริมสุขภาพ และเครื่องสำอาง นอกจากนั้น ยังช่วยปรับสมดุลของระดับฮอร์โมนในสตรีวัยทอง ลดอาการวูบวาบ (Hot flashes) ป้องกันแสงยูวี ทำให้ผิวหนังชุ่มชื้น ใช้ต้านการอักเสบ และ gamma-oryzanol ในน้ำมันรำข้าวยังสามารถ เพิ่มระดับโคเลสเตอรอลชนิดดี (HDL-C) ได้อีกด้วย

ข้าวเป็นพืชที่นักวิจัยพบว่ามีสาร gamma-oryzanol ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับพืชชนิดอื่น โดยส่วนที่มีมากสุดคือส่วนรำข้าว มีการศึกษาสารประกอบกลุ่ม gamma-oryzanol ในตัวอย่างข้าวกล้องในประเทศแถบยุโรปพบว่าค่าเฉลี่ยของสารคือ 41.7 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง มีสารประกอบ 5 ตัวคือ cycloartenyl ferulate, 24-methylene cycloartanyl ferulate, campesteryl ferulate, campestanyl ferulate และ sitosteryl ferulate (Miller และคณะ, 2006) และนอกจากนี้ยังมีการศึกษาในข้าวกล้องงอก

Hirunpong และคณะ (2007) ศึกษาผลของการงอกต่อปริมาณสารชีวกิจกรรมในข้าวกล้องงอกสามสายพันธุ์คือ ขาวดอกมะลิ 105, กข 23 และ ชัยนาท 1 พบว่า γ- Oryzanol ในข้าวกล้องทั้งสามสายพันธุ์เท่ากับ 83.54, 84.41 และ 86.52 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่างข้าว และเมื่อเวลาการทำให้งอก 24 ชั่วโมง ปริมาณสารเพิ่มขึ้นเป็น 102.76, 84.52 และ 102.04 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่างข้าวตามลำดับ

3. Tocophenol

วิตามินอีเป็นสารที่ละลายได้ดีในน้ำมัน ประกอบด้วยสารประกอบกลุ่มหนึ่งที่เรียกเป็นภาษาวิทยาศาสตร์ว่า Tocopherols ดังนั้นเราจึงพบวิตามินอีในอาหารที่เป็นน้ำมัน หรือมีน้ำมันเป็นส่วนประกอบ เช่น น้ำมันพืช (น้ำมันถั่วเหลือง ดอกทานตะวัน และข้าวโพด) เมล็ดพืช เมล็ดถั่ว ข้าวซ้อมมือ รำ และผักบางชนิด จากการศึกษาค้นคว้าของโภชนาการ พบว่า วิตามินอีป้องกันการเกิดออกซิเดชัน (antioxdation) ของ

กรดไขมันไม่อิ่มตัว วิตามินเอ แคโรทีน และวิตามินซี วิตามินอีในอาหารมีได้หลายรูปแบบ ซึ่งจะมีประสิทธิภาพแตกต่างกัน ชนิดที่มีประสิทธิภาพทางชีวภาพมากที่สุด คือ alpha-tocophenol

วิตามินอีช่วยปกป้องเซลล์ในร่างกายจากสารอนุมูลอิสระ โดยไปขัดขวางปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของสารในร่างกายโดยอาศัยคุณสมบัติที่เป็นตัวที่ไวต่อการถูกออกซิไดส์มาก จึงเป็นตัวที่ถูกออกซิไดส์เองแทนสารอื่นๆในร่างกายที่มีความไวต่อการถูกออกซิไดส์ได้น้อยกว่า ป้องกันไขมันไม่อิ่มตัวที่กินเข้าไปรวมกับออกซิเจนซึ่งจะก่อให้เกิดอนุมูลอิสระ เป็นสารต้านไม่ให้หลอดเลือดแข็งตัว และยังขยายหลอดเลือดฝอยเล็กๆได้อีกด้วย ทำให้การไหลเวียนดีขึ้น ป้องกันการเกาะตัวของเกร็ดเลือดที่ผนังหลอดเลือด จึงช่วยลดการอุดตันของคอเลสเตอรอล นอกจากนี้ยังมีฤทธิ์ลดคอเลสเตอรอล ทำให้ร่างกายมีการนำพาออกซิเจนได้อย่างสะดวก ส่งผลให้ร่างกายใช้ออกซิเจนได้ดีขึ้น ทำให้กล้ามเนื้อมีกำลังมากขึ้น อีกทั้งยังช่วยให้มีการผลัดผิวหนังขึ้นมาใหม่ ช่วยเพิ่มการทำงานของอินซูลิน ทำให้ระบบประสาทดีขึ้นสามารถทำงานได้ตามปกติ ช่วยทำให้ระบบสืบพันธ์เป็นปกติ รักษาอาการเป็นหมันได้ ช่วยป้องกันการเกิดต้อกระจกได้ และยังเชื่อว่าทำลายฤทธิ์ของสารก่อมะเร็งได้ด้วย

Orozco และคณะ (2006) ศึกษาผลของการงอกและการหมักของเมล็ด Lupin (*Lupinus angustifolius* L. var. Zapaton) ต่อปริมาณ Vitamin C และ Tocopherol ด้วยวิธี HPLC โดยแช่เมล็ด Lupin ใน 0.07% sodium hypochloride เป็นเวลา 30 นาที ล้างด้วยน้ำกลั่นเพื่อทำให้เป็นกลาง จากนั้นแช่ในน้ำกลั่น 5 ชั่วโมง โดยเขย่าทุก 30 นาที นำมาเพาะให้งอกต่อบน germination tray ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ในที่มืดเป็นเวลา 2,3,4,5,6 และ 9 วัน พบว่า เมื่อระยะเวลาในการงอกเพิ่มขึ้น ปริมาณ Vitamin C และ Tocopherol มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

4. สารประกอบฟีนอลิก (Phenolic compounds)

Tian และคณะ (2004) วิเคราะห์องค์ประกอบของสาร Phenolics ในข้าวขัดขาว ข้าวกล้อง ข้าวกล้องงอก พบสารประกอบ 11 ตัว ได้แก่ protocatechuic acid, hydroxybenzoic acid, vanillic acid, syringic acid, chlorogenic acid , *p*-coumaric acid, ferulic acid, sinapinic acid, feruloylsucrose และ sinapoylsucrose ซึ่งจากการวิเคราะห์ ferulic acid ให้ค่าสูงที่สุด ในข้าวขัดขาวมีปริมาณ 5.26 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ในข้าวกล้องมี 15.19 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม และในข้าวกล้องงอกมีสูงสุดคือ 20.04 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม เมื่อแช่น้ำที่ 32 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 21 ชั่วโมง

ferulic acid เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ที่อยู่ร่วมกับสารประกอบอื่นๆ เช่น ลิกโนเซลลูโลส (Lignocellulose) มีคุณสมบัติซึ่งช่วยให้ผนังเซลล์ของพืชมีความแข็งแรง และมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ

5. Phytate

วัฒนาและคณะ (2007) ได้นำข้าวขาวดอกมะลิ 105 และข้าวชัยนาท มาทำให้งอกโดยการแช่ข้าวในสารละลายที่ pH ต่างๆ แปรผันเวลาในการแช่ จากนั้นทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี อันได้แก่ วิตามินบี1 และ phytic acid ในส่วนของการวิเคราะห์ Phytic acid พบว่าเมื่อเวลาในการแช่เพิ่มขึ้น ปริมาณ Phytic acid ลดลง ในข้าวขาวดอกมะลิ 105 แช่ข้าวที่ pH 3.0 อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ที่เวลา 12 ชั่วโมง มีค่า Phytic acid 567.06 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง และเมื่อเวลาผ่านไปเป็น 24 ชั่วโมงมีค่า 545.06 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง เช่นเดียวกับข้าวพันธุ์ชัยนาท1 ที่เวลา 12 และ 24 ชั่วโมงมีค่า 626.93 และ 512.03 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตามลำดับ การลดลงของ Phytic acid เกิดจากการงอกไปกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ phytase ทำให้เกิดการย่อยสลายสาร Phytic acid ไปเป็น myo-inosiol และ inositol phosphates (IP_1 – IP_6) เพื่อนำไปใช้ในการเจริญเติบโต (Oatway และคณะ, 2001)

2.5.2.3 ประโยชน์ต่อสุขภาพของข้าวกล้องงอก

สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในข้าวกล้องงอกมีผลดีต่อสุขภาพ ดังแสดงในตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 ประโยชน์ต่อสุขภาพของข้าวกล้องงอก

สาร	ประโยชน์ (Kayahara and Tsukahara, 2000)	ประโยชน์ (Asia BioBusiness, 2006)
GABA	เร่งกระบวนการเมตาบอริซึมในสมอง	-
ใยอาหาร	บรรเทาอาการท้องผูก ป้องกันมะเร็งลำไส้ใหญ่ ควบคุมปริมาณน้ำตาลในเลือด	-
อินโนซิทอล (Inositols)	เร่งการเผาผลาญไขมัน ป้องกันตับมีไขมัน	เป็นสารจำเป็นในการสร้างเลซิธินและทำงานอย่างใกล้ชิดกับวิตามิน บีรวม อินโนซิทอลเป็นสารหลักของเยื่อหุ้มเซลล์ จึงจำเป็นต้องการทำงานของระบบประสาท สมอง และกล้ามเนื้อ อินโนซิทอลทำงานร่วมกับสารอื่นๆในการป้องกันการสะสมของไขมันที่ตับ

ตารางที่ 2.8 (ต่อ)

สาร	ประโยชน์ (Kayahara and Tsukahara, 2000)	ประโยชน์ (Asia BioBusiness, 2006)
กรดเฟอร์รูริก (Ferulic acid) (พบมากในน้ำมันรำข้าว และมีโครงสร้างทางเคมีคล้าย curcumin ที่เป็นสารจากขมิ้น)	- กำจัดอนุมูลอิสระ (Superoxides) - ระงับกระบวนการสร้างเม็ดสีผิว (Melanogenesis)	การประยุกต์ใช้โรคเบาหวาน มะเร็ง การเสื่อมของกระดูก ภาวะการหมดประจำเดือน และ ความผิดปกติของระบบภูมิคุ้มกัน
กรดไฟติก (Phytic acid)	ต่อต้านอนุมูลอิสระ ป้องกันโรคหลอดเลือดหัวใจ ป้องกันการแข็งตัวของเลือด	-
โทโคโทเรียนอล (Tocotorienols)	ปกป้องผิวหนังจากรังสียูวี	-
แมกนีเซียม	ป้องกันโรคหัวใจ	-
โพแตสเซียม	ลดความดันโลหิต	-
สังกะสี	กระตุ้นระบบสืบพันธุ์	-
γ-oryzanol	- Antioxidative effects - ป้องกันการแก่ตัวของผิวหนัง	- ลดปริมาณคอเลสเตอรอล ซึ่งมีการค้นพบว่าลดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของคอเลสเตอรอลได้ดีกว่าวิตามินอี - สารโอไรซานอลในข้าวมีฤทธิ์ลดภาวะกระดูกพรุนในหนูทดลอง ซึ่งเป็นที่น่าสนใจว่าสารโอไรซานอลบริสุทธิ์มีฤทธิ์ดังกล่าวน้อยกว่าสารธรรมชาติที่ได้จากน้ำมันรำข้าว
Prolylendopepsidase inhibitor	มีแนวโน้มป้องกันโรคอัลไซเมอร์	-
Squalene	-	มีฤทธิ์ยับยั้งเนื้องอกในปอด และมะเร็งลำไส้ใหญ่ของสัตว์ทดลอง

ตารางที่ 2.8 (ต่อ)

สาร	ประโยชน์ (Kayahara and Tsukahara, 2000)	ประโยชน์ (Asia BioBusiness, 2006)
Phytosterols	-	จากการทดลองพบว่า Phtosterols สามารถช่วยลดคอเลสเตอรอล ระงับการ สังเคราะห์ LDL-C ลดการเติบโตของเซลล์มะเร็งเต้านม ระงับเซลล์มะเร็งลำไส้ใหญ่ และปรับปรุงระบบภูมิคุ้มกัน
Oligosaccharides	-	ร่างกายไม่สามารถย่อย oligosaccharides ได้ แต่สารนี้มีประโยชน์ต่อร่างกายเมื่อเกิดการหมักและถูกใช้โดย แบคทีเรียในลำไส้ที่เป็นประโยชน์

ที่มา: ประสิทธิ์ วังภคพัฒนวงศ์ (2553)

2.5.3 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการผลิตข้าวกล้องงอก

การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารอาหารที่สะสมในระหว่างกระบวนการงอกของข้าว เกิดจากปัจจัยหลักๆ 2 ปัจจัย คือ ปัจจัยด้านวัตถุดิบและปัจจัยด้านกระบวนการผลิต ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.5.3.1 ปัจจัยด้านวัตถุดิบ

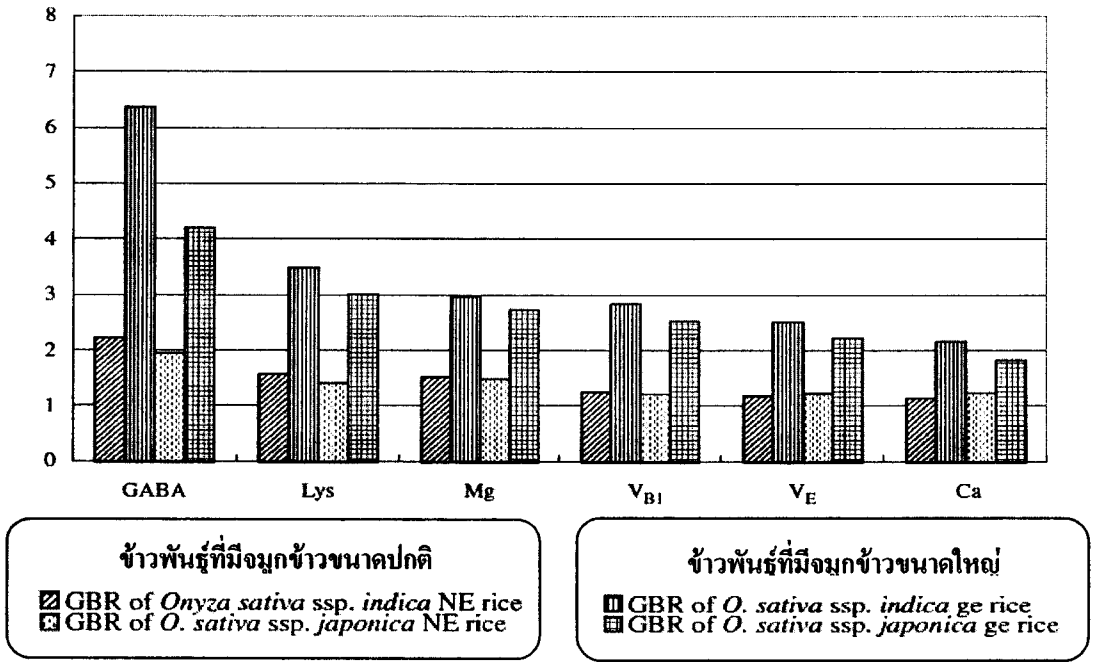
1. พันธุ์ข้าว

ชนิดของพันธุ์ข้าวส่งผลต่อปริมาณของกรดอะมิโนที่มีอยู่ในข้าวกล้องงอก โดยข้าวกล้องงอกที่เพาะมาจากข้าวสายพันธุ์ที่แตกต่างกันจะให้ปริมาณ GABA ที่แตกต่างกัน โดยพบว่าข้าวสายพันธุ์ที่มีจมูกข้าวขนาดใหญ่มีปริมาณการเพิ่มขึ้นของ GABA มากกว่าข้าวสายพันธุ์ที่มีจมูกข้าวขนาดเล็ก (Horino et al., 1994) และนอกจาก GABA แล้ว กรดอะมิโนตัวอื่นๆ ซึ่งได้แก่ กรดแอสพาติก กลูตาเมต อะลานีน ก็มีปริมาณที่แตกต่างกันด้วยเมื่อเป็นข้าวกล้องงอกที่เพาะมาจากสายพันธุ์ที่แตกต่างกัน (Ito and Ishikawa, 2004)

2. ขนาดของจมูกข้าวหรือคัพพะ

ขนาดของจมูกข้าวมีส่วนสำคัญต่อการการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารอาหารเมื่อนำข้าวมาเพาะให้งอกด้วยการแช่น้ำ ซึ่งพบว่าเมล็ดข้าวมีจมูกข้าวขนาดใหญ่กว่าจะมีสารอาหารต่างๆเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าข้าว

ที่มีจมูกข้าวปกติเมื่อแช่ในน้ำอุณหภูมิ 30 °C นาน 24 ชั่วโมง ซึ่งปริมาณของสารอาหารต่างๆที่เพิ่มขึ้นหลังการแช่ข้าวกล้อง ได้แก่ GABA ไลซีน แมกนีเซียม วิตามิน บี1 วิตามินอี และแคลเซียม (Zhang et al., 2005) ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ปริมาณสารอาหาร 6 ชนิดในข้าวกล้องที่ผ่านการแช่ของข้าวที่มีจมูกข้าวขนาดใหญ่ (GE) กับมีจมูกข้าวขนาดปกติ (NE)

ที่มา: Zhang และคณะ (2005)

จากรูปที่ 2.7 จะเห็นว่าข้าวกล้องที่ผ่านการแช่มีการเพิ่มขึ้นของสารอาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่ง GABA ซึ่งจะเพิ่มขึ้น 2-3 เท่าในข้าวกล้องงอกพันธุ์ที่มีจมูกข้าวขนาดใหญ่เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวที่มีจมูกข้าวขนาดปกติ (Zhang et al., 2005)

Horino และคณะ (1994b) นำข้าวพันธุ์ Hokkai ซึ่งเป็นข้าวที่มีจมูกข้าวขนาดใหญ่และข้าวที่มีจมูกข้าวขนาดปกติ ได้แก่ พันธุ์ Koshihikari และ Takanari ไปแช่ในน้ำอุณหภูมิ 40°C นาน 4 ชั่วโมง จากนั้นนำไปวิเคราะห์ปริมาณ GABA พบว่าข้าวพันธุ์ Hokkai มีปริมาณ GABA เพิ่มขึ้นมากกว่าข้าวพันธุ์ที่มีจมูกข้าวขนาดปกติ

นอกจากขนาดของจมูกข้าวแล้ว ส่วนประกอบอื่นๆของเมล็ดข้าวก็ให้ปริมาณสารอาหารที่แตกต่างกัน ซึ่งจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสารอาหารเมื่อนำเมล็ดข้าวนั้นมาเพาะให้งอก จากการวิจัยของ Horino และคณะ (1994a) พบว่าเมื่อนำส่วนต่างๆของเมล็ดข้าวมาแช่ในน้ำ มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของกรดอะมิโนแต่ละชนิดแตกต่างกัน

3. ระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวหลังการเก็บเกี่ยว

จากการศึกษาของ Horino และคณะ (1994b) พบว่าปริมาณ GABA ของจมูกข้าวที่มีระยะเวลาการเก็บรักษานาน มีค่าน้อยกว่าข้าวที่มีระยะเวลาการเก็บสั้นกว่า เมื่อนำมาเพาะให้งอกโดยการแช่น้ำที่อุณหภูมิ 40°C นาน 4 ชั่วโมง (ดังตารางที่ 2.9) ทั้งนี้เนื่องจากระยะเวลาการเก็บที่ยาวจะมีผลยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์กลูตาเมต ดีคาร์บอกซีเลส และเอนไซม์ที่ย่อยสลายโปรตีน ดังนั้นจมูกข้าวที่เก็บไว้นานสามารถผลิต GABA ได้น้อยลง

ตารางที่ 2.9 ปริมาณ GABA ของจมูกข้าวที่มีระยะเวลาการเก็บรักษาต่างกันก่อนนำมาแช่ในน้ำ

จำนวนวันหลังการเก็บเกี่ยวก่อนแช่ (วัน)	GABA ที่วัดก่อนแช่ (มิลลิกรัม/100 กรัม)	GABA ที่วัดหลังแช่ (มิลลิกรัม/100 กรัม)	สัดส่วน GABA (หลังแช่:ก่อน)
119	25.4	215	8.5
269	36.9	162	4.4

ที่มา: Horino และคณะ (1994b)

4. ระดับการสีของเมล็ดข้าว

การขัดสีในระดับที่แตกต่างกันจะส่งผลให้เมล็ดข้าวมีองค์ประกอบของเนื้อเยื่อที่แตกต่างกันและทำให้มีปริมาณสารอาหารที่แตกต่างกัน โดยเมื่อเพิ่มระดับการสีให้สูงขึ้นจะส่งผลทำให้ปริมาณ GABA ที่ได้ลดลง (Horino et al., 1994a)

2.5.3.2 ปัจจัยด้านกระบวนการผลิต

1. อุณหภูมิในการแช่ข้าว

อุณหภูมิมีความสำคัญต่อการควบคุมอัตราการเกิดปฏิกิริยาทางชีวเคมี ซึ่งมีผลต่อการงอกและเจริญเติบโตของพืช อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการงอกของเมล็ดพืชแต่ละชนิดแตกต่างกันไปตามพันธุ์ ซึ่งอุณหภูมิในการแช่ข้าวที่แตกต่างกัน ส่งผลทำให้ปริมาณ GABA และสารอาหารอื่นๆ ของข้าวกล้องงอกมีค่าแตกต่างกันด้วย (Ito and Ishikawa, 2004)

2. ระยะเวลาในการงอกของข้าว (germinating time)

ระยะเวลาในการงอกที่แตกต่างกัน มีผลทำให้ปริมาณสารอาหารและ GABA ในข้าวกล้องงอกแตกต่างกัน ซึ่งจากการวิจัยของ Ohtsubu และคณะ (2005) พบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการงอกให้นานขึ้นมีผลให้ปริมาณ GABA ที่ได้มีค่าเพิ่มมากขึ้น ดังตารางที่ 2.10

ตารางที่ 2.10 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ GABA ระหว่างกระบวนการงอก (เพาะให้งอกที่อุณหภูมิ 30°C)

ตัวอย่าง	GABA* (มิลลิกรัม/ 100 กรัม)
ข้าวขัดขาว	1.70 ± 0.01
ข้าวกล้อง	6.04 ± 0.20
ผ่านการงอก 24 ชั่วโมง	11.02 ± 0.25
ผ่านการงอก 48 ชั่วโมง	27.73 ± 0.46
ผ่านการงอก 72 ชั่วโมง	69.21 ± 0.14
ผ่านการงอก 96 ชั่วโมง	149.03 ± 5.16

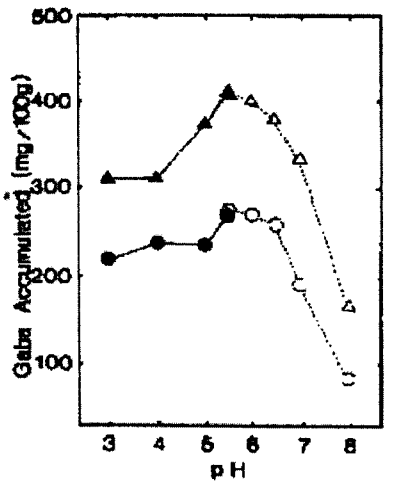
* เป็นค่า mean ± SD ของการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

ที่มา: Ohtsubu และคณะ (2005)

นอกจากระยะเวลาในการงอกจะมีผลต่อปริมาณ GABA แล้ว ยังมีผลต่อปริมาณของกรดอะมิโนชนิดอื่นๆด้วย โดยพบว่าปริมาณของอะลานีน ไทโรซีน ฮีสทิดีน GABA ไลซีนและไอโซลิวซีน เพิ่มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่กลูตาเมตและกรดแอสพาติกลดต่ำลงเมื่อระยะเวลาเพิ่มมากขึ้น (Watanabe et al., 2004)

3. ความเป็นกรด-ด่าง

Horino และคณะ (1994a) นำจมูกข้าวพันธุ์ Koshihikari แช่ในสารละลายที่มีความเป็นกรด-ด่าง แตกต่างกัน โดยแช่ที่อุณหภูมิ 40°C นาน 1 และ 4 ชั่วโมง พบว่าปริมาณ GABA เพิ่มสูงขึ้นมากที่สุดเมื่อแช่ที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 5.5 และจะมีปริมาณต่ำที่สุด เมื่อแช่ที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 8 แสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ปริมาณ GABA ในจมูกข้าวที่แช่ในสารละลายกรด-ด่างต่างๆ ใน 0.1 โมลาร์ ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (o,△) และซิเตรท บัฟเฟอร์ (●,▲) ระยะเวลาการแช่ 1 ชั่วโมง (o,●) และ 4 ชั่วโมง (△,▲)

ที่มา: Horino และคณะ (1994a)

4. ชนิดของสารละลายที่ใช้ในกระบวนการแช่ข้าว

ชนิดของสารละลายที่ใช้ในกระบวนการแช่ข้าวมีผลต่อปริมาณ GABA ซึ่ง Liu และคณะ (2005) ได้ศึกษากิจกรรมของเอนไซม์กลูตาเมต ดีคาร์บอกซิเลส และปริมาณ GABA เมื่อแช่จมูกข้าวที่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 28°C) นาน 4 ชั่วโมง ในสารละลายต่างๆ 4 ชนิด ดังนี้

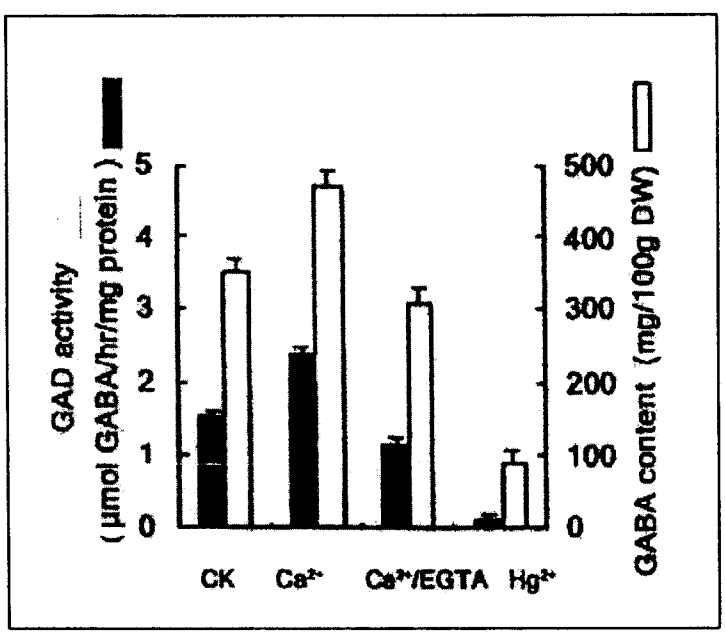
- สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.5 มิลลิโมลต่อลิตร (Ca^{2+})

- สารละลายเมอร์คิวรีคลอไรด์ 1 มิลลิโมลต่อลิตร (Hg^{2+})

- สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.5 มิลลิโมลต่อลิตร ร่วมกับ EGTA 0.5 มิลลิโมลต่อลิตร (Ca^{2+}/EGTA)

- น้ำขจัดอิออน (เป็นตัวอย่างควบคุม) (CK)

จากผลการทดลอง (รูปที่ 2.9) พบว่าการใช้แคลเซียมคลอไรด์ 0.5 มิลลิโมลต่อลิตร มีผลทำให้กิจกรรมของเอนไซม์กลูตาเมต ดีคาร์บอกซิเลสสูงขึ้นเมื่อเทียบกับตัวอย่างที่แช่ในน้ำที่ไม่มีการเติมแคลเซียม และกิจกรรมของเอนไซม์มีค่าลดลงเมื่อแช่ในสารลาย Ca^{2+}/EGTA และ Hg^{2+} ซึ่งผลดังกล่าวสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณ GABA เช่นเดียวกัน กล่าวคือ กิจกรรมของเอนไซม์กลูตาเมต ดีคาร์บอกซิเลสที่สูง ส่งผลให้ GABA มีปริมาณสูงด้วย ดังนั้นจากผลการทดลองนี้สามารถสรุปได้ว่าแคลเซียมอิออนช่วยกระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์กลูตาเมต ดีคาร์บอกซิเลส จึงส่งผลให้ปริมาณ GABA เพิ่มสูงขึ้น



รูปที่ 2.9 ผลของชนิดสารละลายที่ใช้ในการแช่ข้าวต่อกิจกรรมของเอนไซม์กลูตาเมต ดีคาร์บอกซิเลส และปริมาณ GABA ในเอมบริโอหลังจากแช่นาน 4 ชั่วโมง

ที่มา: Liu และคณะ (2005)

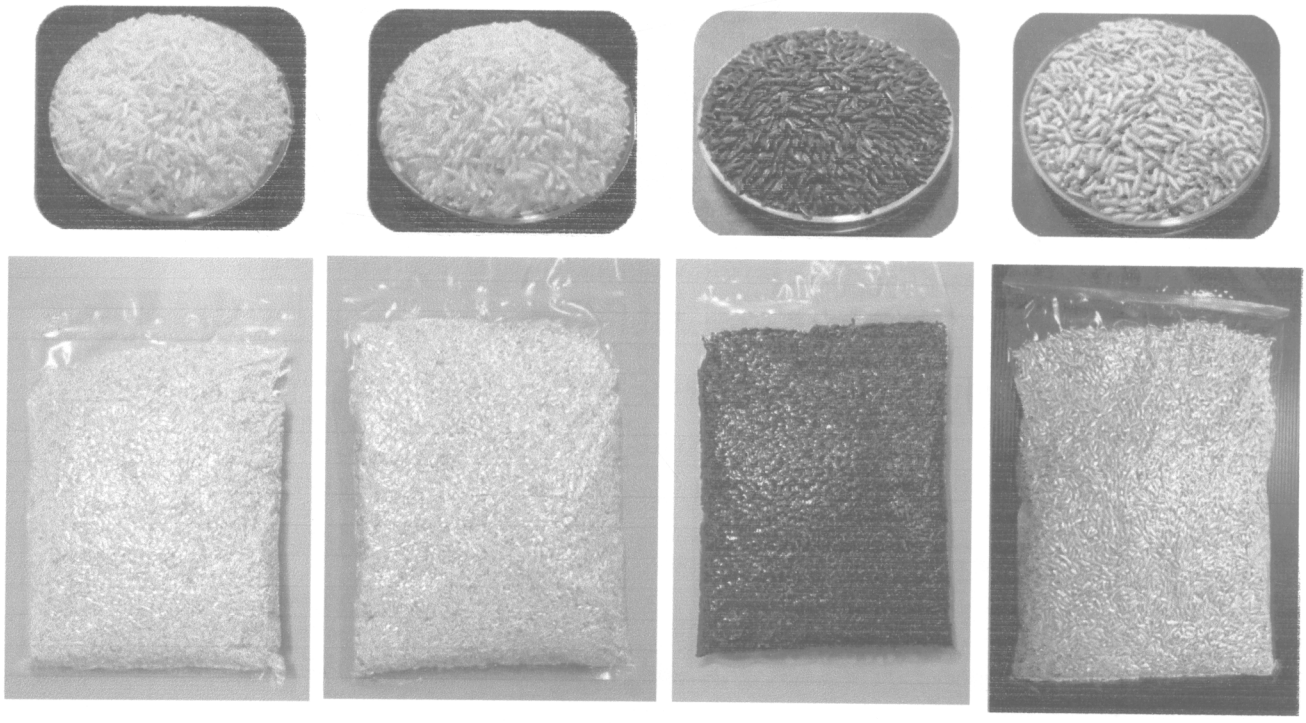
บทที่ 3
วิธีการทดลอง

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1 วัตถุดิบ

ข้าวกล้องที่นำมาใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นข้าวกล้องพันธุ์พื้นเมืองที่นิยมปลูกในภาคใต้ ซึ่งประกอบด้วยข้าวเจ้า 2 พันธุ์ (พันธุ์ช่อลุงและเล็บนกปัตตานี) และข้าวเหนียว 2 พันธุ์ (พันธุ์ข้าวเหนียวดำเปลือกขาว และเหนียวหลันตัน) ดังรูปที่ 3.1 โดยมีแหล่งเพาะปลูกจากศูนย์วิจัยข้าวพัทลุง ซึ่งเป็นผลผลิตจากข้าวนาปีที่เก็บเกี่ยวเดือนกุมภาพันธุ์-มีนาคม ในปี 2551 และ 2552 นำตัวอย่างข้าวกล้องทั้ง 4 สายพันธุ์บรรจุในถุงโพลีเอทธิลีน ขนาด 8 x 12 นิ้ว ถุงละ 1 กิโลกรัม ปิดผนึกถุงภายใต้สุญญากาศ และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 $^{\circ}$C เพื่อนำมาใช้ในการวิจัยต่อไป

สำหรับตัวอย่างข้าวพันธุ์ช่อลุงที่นำมาใช้ทำผลิตภัณฑ์ เป็นข้าวที่เป็นผลผลิตจากข้าวนาปีจากศูนย์วิจัยข้าวปัตตานี ในปี 2553 เนื่องจากในช่วงเวลาดังกล่าวจังหวัดพัทลุงประสบอุทกภัยทำให้นาข้าวเสียหายจำนวนมาก ผลผลิตที่ได้จึงมีปริมาณไม่เพียงพอกับความต้องการที่จะนำมาใช้ในการทดลอง



พันธุ์ช่อลุง **พันธุ์เล็บนกปัตตานี** **พันธุ์เหนียวดำเปลือกขาว** **พันธุ์เหนียวหลันตัน**

รูปที่3.1 ข้าวกล้องทั้ง 4 สายพันธุ์ก่อนและหลังการบรรจุแบบสูญญากาศในถุงโพลีเอทธิลีน ขนาด 8x12 นิ้ว

3.1.2 วัสดุและอุปกรณ์

1. เครื่องชั่งไฟฟ้า 2 ตำแหน่ง และ 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Satorious รุ่น BS/BT ประเทศเยอรมนี

2. อ่างควบคุมอุณหภูมิ ยี่ห้อ Memmert ประเทศสหรัฐอเมริกา

3. เครื่องวัด pH ยี่ห้อ Schott ประเทศอังกฤษ

4. ตู้อบลมร้อน ยี่ห้อ Memmert รุ่น D-91126 ประเทศสหรัฐเอมริกา

5. เครื่องผสมสารละลาย (vortex mixer genie 2) ยี่ห้อ Scientific Industries รุ่น G650E ประเทศสหรัฐอเมริกา

6. เครื่องเขย่าสารละลาย (shaker) ยี่ห้อ DAIHAN Scientific รุ่น SHO 2D ประเทศเกาหลี

7. เครื่องหมุนเหวี่ยงควบคุมอุณหภูมิ ยี่ห้อ Sorvall รุ่น RC-5B Plus ประเทศสหรัฐอเมริกา

8. เครื่องระเหยแบบลดความดัน (vacuum rotary evaporator) ยี่ห้อ BUCHI ประเทศสวิตเซอร์แลนด์

9. เครื่อง HPLC ยี่ห้อ Agilent Technologies รุ่น 1200 ประเทศเยอรมนี

10. เครื่องบดผสมตัวอย่าง ยี่ห้อ PHILIPS ประเทศไทย

11. โถดูดความชื้น

12. อุปกรณ์ย่อยและกลั่นโปรตีน ยี่ห้อ FOSS รุ่น 2006 และ 2200 ตามลำดับ ประเทศสวีเดน

13. อุปกรณ์ชุดสกัดไขมัน (Soxhlet apparatus) ยี่ห้อ Selecta รุ่น 6003286 ประเทศสวีเดน

14. เครื่องระเหยแบบสุญญากาศ ยี่ห้อ EYELA รุ่น SB-1000 ประเทศญี่ปุ่น

15. เตาเผา (muffle furnace) ยี่ห้อ Ney รุ่น Vulcan3-1750 ประเทศสหรัฐอเมริกา

16. เตาให้ความร้อน (Hot plate) ยี่ห้อ IKA รุ่น C-MAG HS7ประเทศเยอรมนี

17. เครื่อง microplate reader ยี่ห้อ Biotek รุ่น Power Wave X ประเทศสหรัฐเอมริกา

18. ถุงรีทอร์ทเพาซ์ (retort pouch) ขนาด 160x190 mm เป็นถุงแบบ transparent แบบ PET12/NY15/CPP70 บริษัทรอแยลแคน อินดรัสทรีส์ ประเทศไทย

19. กระป๋อง 3 ชิ้น ขนาด 307 x 113 บริษัทรอแยลแคน อินดรัสทรีส์ ประเทศไทย

20. เวอร์เนียคาลิปเปอร์ ยี่ห้อ Mitntoyo ประเทศญี่ปุ่น

21. เครื่องวัดค่าสี HunterLab รุ่น ColorFlex ประเทศสหรัฐเอมริกา

22. เครื่องวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer) ยี่ห้อ Stable Micro System, รุ่น TA-XT2i Surrey สหราชอาณาจักร

23. เครื่อง X-ray Diffractometer ยี่ห้อ Philips รุ่น X'Pert MPD ประเทศเนเธอร์แลนด์

24. เครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) ยี่ห้อ Newport Sciencetific RVA-4 สหราชอาณาจักร

25. กล้องอิเลคตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron micrographs, SEM) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-5200 ประเทศญี่ปุ่น

26. หม้อฆ่าเชื้อ (Retort) ยี่ห้อ FMC Food tech ประเทศเบลเยี่ยม

27. เครื่องปิดฝากระป๋อง (seammer) ยี่ห้อ VFM ประเทศไทย

28. เครื่องปิดผนึกถุงแบบสุญญากาศ ยี่ห้อ Audionvac รุ่น VM203 ประเทศเนเธอร์แลนด์

29. หม้อหุงข้าวไฟฟ้า ยี่ห้อ SHARP รุ่น KSH-555 ประเทศไทย

30. ไมโครเวฟ ยี่ห้อ SANYO ประเทศไทย

3.1.3 สารเคมี

1. Di-Sodium hydrogen phosphate ยี่ห้อ J.T. Beker (NJ., USA.)
2. Citric acid ยี่ห้อ J.T. Beker (NJ., USA.)
3. Sulfuric acid (AR Grade) ยี่ห้อ LAB-SCAN (Thailand)
4. Copper sulfate ยี่ห้อ J.T. Beker (NJ., USA.)
5. Potassium sulfate ยี่ห้อ J.T. Beker (NJ., USA.)
6. Sodium hydroxide ยี่ห้อ LAB-SCAN (Thailand)
7. Boric acid ยี่ห้อ Merck (Darmstadt, Germany)
8. Hydrochloric acid ยี่ห้อ LAB-SCAN (Thailand)
9. Ethanol and Methanol (AR grade) ยี่ห้อ LAB-SCAN (Thailand)
10. Bromocresol green ยี่ห้อ Merck (Darmstadt, Germany)
11. Petrolium ether ยี่ห้อ LAB-SCAN (Thailand)
12. Acetic acid ยี่ห้อ LAB-SCAN (Thailand)
13. Iodine ยี่ห้อ Merck (Darmstadt, Germany)
14. Potassium iodide ยี่ห้อ LAB-SCAN (Thailand)
15. Sulfosalicylic acid ยี่ห้อ LAB-SCAN (Thailand)
16. 4-dimethylaminoazobenzene-4-sulfonyl chloride ยี่ห้อ Sigma Chemical Co. (MO., USA.)
17. Sodium hydrogen carbonate ยี่ห้อ Merck (Darmstadt, Germany)
18. Acetonitrile (HPLC Grade) ยี่ห้อ LAB-SCAN (Thailand)
19. 4-aminobutyric acid ยี่ห้อ Fluka (Steinheim, Germany)
20. Sodium acetate ยี่ห้อ J.T. Beker (NJ., USA.)
21. Tetrahydrofuran ยี่ห้อ LAB-SCAN (Thailand)
22. Folin-Cioculate ยี่ห้อ Merck (Darmstadt, GERmany)
23. Sodium carbonate ยี่ห้อ Merck (Darmstadt, Germany)
24. Dichloromethane ยี่ห้อ LAB-SCAN (Thailand)
25. Sodium chloride ยี่ห้อ Merck (Darmstadt, Germany)

3.2 วิธีการทดลอง

งานวิจัยครั้งนี้แบ่งวิธีการทดลองออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ ดังนี้

ส่วนที่ 1: การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมข้าวกล้อง คุณค่าทางโภชนาการและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของข้าวกล้องงอก

ส่วนนี้เป็นการศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมข้าวกล้องงอกเพื่อให้มีปริมาณ GABA ที่สูง การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากข้าวกล้องงอก รวมถึงการศึกษากิจกรรมการต้านเบาหวานโดยการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟ่า-อะไมเลสจากน้ำลายและตับอ่อน กิจกรรมการต้านการอักเสบ กิจกรรมการต้านออกซิเดชั่น และการทดสอบความเป็นพิษของสารสกัดจากข้าวกล้องงอก

ส่วนที่ 2: การพัฒนาผลิตภัณฑ์จากข้าวกล้องงอก

ส่วนนี้เป็นการสำรวจความต้องการของผู้บริโภค เพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากข้าวกล้องงอก และมีการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาขึ้น รวมถึงทำการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาขึ้น

ซึ่งการทดลองในแต่ละส่วนมีรายละเอียด ดังนี้

ส่วนที่ 1: การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมข้าวกล้องงอก คุณค่าทางโภชนาการและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของข้าวกล้องงอก

1.1 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวกล้อง

นำข้าวกล้องแต่ละพันธุ์ที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4°C มาคัดเมล็ดที่ไม่สมบูรณ์และเปลือกที่ตกค้างออก จากนั้นทำการวิเคราะห์สมบัติทางเคมี ได้แก่ ความชื้น ไขมัน โปรตีน เถ้า ใยอาหาร โดยวิธี AOAC (2000) และปริมาณอะไมโลส (Juliano, 1971) ตามวิธีในภาคผนวก ค ตามลำดับ

1.2 การดูดซึมน้ำของเมล็ดข้าวกล้องระหว่างการแช่ (Hydration characteristic of brown rice during soaking)

ชั่งข้าวกล้องทั้ง 4 สายพันธุ์ที่ผ่านการคัดเลือกเฉพาะเมล็ดที่สมบูรณ์แล้วใส่ในภาชนะๆละ 10 กรัม จำนวน 24 ชุดสำหรับข้าวแต่ละพันธุ์ จากนั้นล้างน้ำให้สะอาดเพื่อกำจัดสิ่งแปลกปลอมที่ติดอยู่ในตัวอย่าง และเติมน้ำกลั่นในอัตราส่วนข้าวต่อน้ำ เท่ากับ 1:2 วางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง (30±2°C) โดยสุ่มเก็บตัวอย่างทุกๆชั่วโมง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากการเก็บตัวอย่างน้ำที่ใช้แช่ข้าวจะถูกเททิ้งไป จากนั้นนำข้าวไปล้างให้สะอาด ตัวอย่างข้าวถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนหนึ่งนำไปวิเคราะห์ความชื้นตามวิธี A.O.A.C (2000) อีกส่วนหนึ่งนำไปอบที่อุณหภูมิ 50 °C ประมาณ 3-4 ชั่วโมงหรือจนกระทั่งมีความชื้นประมาณร้อยละ 12-13 เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ GABA ตามวิธีของ Cohen and Michaud (1993) ดังแสดงในภาคผนวก ค

1.3 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณ GABA โดยใช้วิธีการทำให้งอกที่แตกต่างกัน

ข้าวกล้องทั้ง 4 สายพันธุ์ที่นำมาใช้เตรียมเป็นข้าวกล้องงอก จะต้องผ่านการคัดแยกด้วยวิธีการสังเกตด้วยสายตาเพื่อเลือกเอาเฉพาะเมล็ดที่สมบูรณ์และยังคงมีจมูกข้าวอยู่ เพื่อนำมาใช้ในการเตรียมเป็นข้าวกล้องงอกด้วยวิธีต่างๆ (ดังแสดงในภาคผนวก ง) ดังนี้

1.3.1 การเพาะให้งอกด้วยการแช่ในสารละลาย

1.3.2 การเพาะให้งอกในภาชนะเปิดและปิด

โดยในแต่ละวิธีการทำให้งอก มีการศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อปริมาณ GABA ดังนี้

1.3.1 การเพาะให้งอกด้วยการแช่ในสารละลาย

ตัวอย่างข้าวกล้องทั้ง 4 สายพันธุ์ที่ผ่านการคัดเพื่อเลือกเฉพาะเมล็ดที่สมบูรณ์ จะถูกนำมาทำให้งอกโดยการแช่ในสารละลาย ในอัตราส่วนของข้าวกล้องต่อสารละลาย เท่ากับ 1:2 โดยศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อปริมาณ GABA ดังนี้

1.3.1.1 ผล pH ของสารละลายที่ใช้ระหว่างการแช่ข้าวกล้อง

นำข้าวกล้องทั้ง 4 สายพันธุ์มาแช่ในสารละลายที่ pH ต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.1 (การเตรียมสารละลายที่ pH ต่างๆ แสดงในภาคผนวก จ) โดยแช่ที่อุณหภูมิห้อง (30 ^{o}C) นาน 24 ชั่วโมง หลังจากครบตามเวลาที่กำหนด เทสารละลายออก ล้างตัวอย่างด้วยน้ำให้สะอาดและนำไปอบที่อุณหภูมิ 50 ^{o}C นาน 5 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งตัวอย่างมีความชื้นเหลือประมาณร้อยละ 12-13 บดตัวอย่างข้าวกล้องงอกที่เตรียมได้ให้ละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 42 mesh (355 ไมโครเมตร) และวิเคราะห์ปริมาณ GABA ตามวิธีของ Cohen and Michaud (1993) เพื่อคัดเลือกสภาวะ pH ที่เหมาะสมซึ่งให้ประมาณ GABA สูงที่สุดเพื่อนำไปใช้ในการศึกษาผลของอุณหภูมิระหว่างการแช่ของข้าวกล้องต่อไป

ตารางที่ 3.1 สารละลายที่ pH ต่างๆ ที่ใช้แช่ข้าวกล้อง

pH	สารละลาย/ บัฟเฟอร์
2.0	Clark and Lubs solution
2.5	Glycine-HCl buffer solution
3.0	Citric acid-Na_2HPO_4 buffer
3.5	Citric acid-Na_2HPO_4 buffer
4.0	Citric acid-Na_2HPO_4 buffer
4.5	Citric acid-Na_2HPO_4 buffer
5.0	Citric acid-Na_2HPO_4 buffer
5.5	Citric acid-Na_2HPO_4 buffer
6.0	Citric acid-Na_2HPO_4 buffer

1.3.1.2 ผลของอุณหภูมิระหว่างการแช่ข้าวกล้อง

นำข้าวกล้องทั้ง 4 สายพันธุ์ มาทำให้งอกโดยแช่ในสารละลายที่มี pH ตามที่คัดเลือกได้จากข้อ 1.3.1.1 โดยใช้อุณหภูมิ 30, 40 และ 50°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากครบตามเวลาที่กำหนด เทสารละลายออก ล้างตัวอย่างด้วยน้ำให้สะอาดและนำไปอบที่อุณหภูมิ 50 °C นาน 5 ชั่วโมงหรือจนกระทั่งตัวอย่างมีความชื้นเหลือประมาณร้อยละ 12-13 บดตัวอย่างข้าวกล้องงอกที่เตรียมได้ให้ละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 42 mesh (355 ไมโครเมตร) และวิเคราะห์ปริมาณ GABA ตามวิธีของ Cohen and Michaud (1993) เพื่อคัดเลือกอุณหภูมิที่เหมาะสมซึ่งให้ประมาณ GABA สูงที่สุดเพื่อใช้ในการศึกษาผลของระยะเวลาระหว่างการแช่ของข้าวกล้องต่อไป

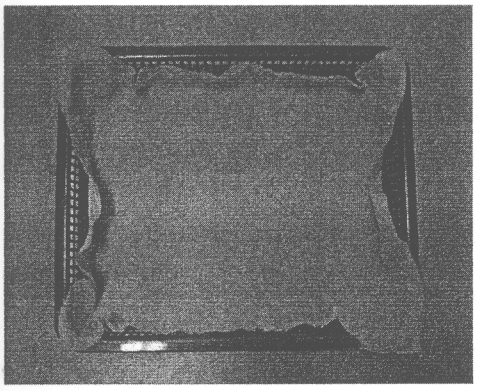
1.3.1.3 ผลของระยะเวลาระหว่างการแช่ของข้าวกล้อง

นำข้าวกล้องงทั้ง 4 สายพันธุ์ มาทำให้งอกโดยแช่ในสารละลายที่มี pH และอุณหภูมิที่คัดเลือกได้จากข้อ 1.3.1.1 และข้อ 1.3.1.2 ตามลำดับ เป็นเวลา 12, 24, 36 และ72 ชั่วโมง หลังจากครบตามเวลาที่กำหนดให้เทสารละลายออก ล้างตัวอย่างด้วยน้ำให้สะอาดและนำไปอบที่อุณหภูมิ 50 °C นาน 5 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งตัวอย่างมีความชื้นเหลือประมาณร้อยละ 12-13 บดตัวอย่างข้าวกล้องงอกที่เตรียมได้ให้ละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 42 mesh (355 ไมโครเมตร) และวิเคราะห์ปริมาณ GABA ตามวิธีของ Cohen and Michaud (1993) เพื่อใช้คัดเลือกเวลาที่เหมาะสมซึ่งให้ประมาณ GABA สูงที่สุดสำหรับการเพาะให้งอกด้วยการแช่ในสารละลาย

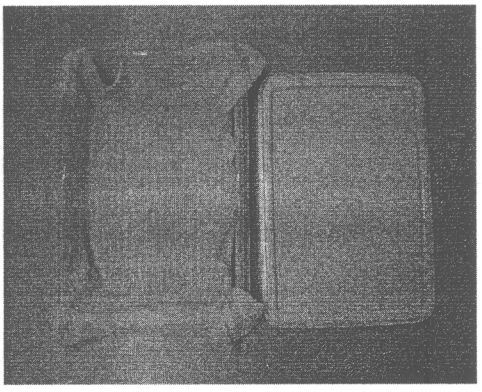
ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้จากข้อ 1.3.1.1-1.3.1.3 จะได้สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเพาะให้งอกด้วยการแช่ด้วยสารละลาย เพื่อให้มี GABA ในปริมาณสูง ซึ่งจะนำไปใช้เปรียบเทียบกับวิธีการเพาะอื่นๆต่อไป

1.3.2 การเพาะให้งอกในภาชนะเปิดและปิด

ตัวอย่างข้าวกล้องทั้ง 4 สายพันธุ์ที่ผ่านการคัดเพื่อเลือกเฉพาะเมล็ดที่สมบูรณ์ จะถูกนำมาทำให้งอกโดยการเพาะในภาชนะเปิดและภาชนะปิด (ดังรูปที่ 3.2) โดยตัวอย่างข้าวกล้องแต่ละสายพันธุ์จะถูกนำมาแช่ในสารละลายที่คัดเลือกได้จากข้อ 1.3.1.1 ด้วยอัตราส่วนของข้าวกล้องต่อสารละลาย เท่ากับ 1:2 นาน 5 ชั่วโมง จากนั้นเทสารละลายทิ้ง ล้างตัวอย่างด้วยน้ำให้สะอาด และนำไปเพาะให้งอกในภาชนะเปิดและภาชนะปิดที่อุณหภูมิห้อง (30±2°C) โดยใช้เวลาในการเพาะต่างๆ ดังนี้ 12, 24, 36 ,48 และ72 ชั่วโมง หลังจากครบตามระยะเวลาที่กำหนด นำตัวอย่างข้าวมาล้างน้ำให้สะอาด นำไปอบที่อุณหภูมิ 50°C จนมีค่าความชื้นประมาณร้อยละ 12-13 บดตัวอย่างข้าวกล้องงอกที่เตรียมได้ให้ละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 42 mesh (355 ไมโครเมตร) และวิเคราะห์ปริมาณ GABA ตามวิธีของ Cohen and Michaud (1993) เปรียบเทียบผลที่ได้กับการเพาะโดยการแช่ในสารละลาย เพื่อคัดเลือกวิธีการเพาะที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมข้าวกล้องงอกเพื่อให้มีปริมาณ GABA ที่สูง



(a) ภาชนะเปิด



(b) ภาชนะปิด

รูปที่ 3.2 ภาชนะสำหรับใช้เพาะข้าวกล้องงอก

การเพาะในภาชนะเปิด เป็นการเพาะตัวอย่างในตะกร้า ขนาด 24x32 เซนติเมตร ซึ่งภายในตะกร้าบุด้วยผ้าสำลีที่เปียกน้ำ (ใช้ผ้าสำลีเพราะสามารถอุ้มน้ำได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับผ้าขาวบาง) หลังจากกระจายตัวอย่างในตะกร้าแล้ว (ประมาณ 100-150 กรัม/ตะกร้า) ให้ใช้ผ้าสำลีเปียกน้ำอีกผืนคลุมทับ นำไปเก็บในตู้หรือบริเวณที่ไม่มีการรบกวนจากแมลงหรือสัตว์ต่างๆ และมีการพ่นน้ำเพื่อเพิ่มความชื้นให้กับตัวอย่างทุกๆ 12 ชั่วโมง ซึ่งการเพาะด้วยวิธีนี้อากาศสามารถถ่ายเทได้สะดวกและออกซิเจนมีปริมาณคงที่

ในขณะที่การเพาะในภาชนะแบบปิด เป็นการเพาะตัวอย่างในกล่องพลาสติกที่มีฝาปิด ขนาด 9x 20 x26 เซนติเมตร ซึ่งภายในมีตะแกรงรองก้นกล่องสูงประมาณ 1 เซนติเมตร บนตะแกรงบุด้วยผ้าสำลีที่เปียกน้ำ หลังจากกระจายตัวอย่างในกล่องแล้ว (ประมาณ 100 กรัม/ตะกร้า) ให้ใช้ผ้าสำลีเปียกน้ำอีกผืนคลุมทับและปิดฝากล่อง นำไปเก็บในตู้หรือบริเวณที่ไม่มีการรบกวนจากแมลงหรือสัตว์ต่างๆ การเพาะด้วยวิธีนี้อากาศไม่ค่อยถ่ายเททำให้ปริมาณออกซิเจนในกล่องลดลงเรื่อยๆ

1.4 สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและกิจกรรมการต้านออกซิเดชั่นของข้าวกล้องงอก

เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ปริมาณ GABA ข้าวกล้องงอกแต่ละสายพันธุ์ที่เตรียมได้จากข้อ 1.3.1-1.3.2 เพื่อคัดเลือกสภาวะการงอกที่ให้ปริมาณ GABA สูงที่สุดในข้าวแต่ละพันธุ์ เพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและกิจกรรมการต้านออกซิเดชั่น ดังนี้

1.4.1 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวกล้องงอก ได้แก่ ความชื้น ไขมัน โปรตีน เถ้าและคาร์โบไฮเดรต โดยวิธี AOAC (2000)

1.4.2 ปริมาณ Total phenolic ตามวิธีของ Slinkard และ Slingleton (1977)

เติมตัวอย่างหรือสารมาตรฐาน 12.5 ไมโครลิตร น้ำกลั่น 50 ไมโครลิตรและสาร Folin-Ciocalteu reagent 12.5 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ที่มืด 6 นาที หลังจากนั้นเติม Na_2CO_3 เข้มข้นร้อยละ 7 ปริมาตร 125 ไมโครลิตร และน้ำกลั่น 100 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันวางทิ้งไว้ในที่มืด 90 นาที วัดค่าการ

ดูดกลืนแสงที่ 760 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง microplate reader โดยใช้ Ferulic acid เป็นสารมาตรฐานในการเปรียบเทียบแล้วรายงานผลในรูป mmol สมมูลของ ferulic acid (mmol FAE/100g sample)

1.4.3 ปริมาณ Gamma-oryzanol ตามวิธีของ Chen และ Bergman (2005)

ชั่งตัวอย่างข้าวที่ผ่านการบดละเอียด 0.05 กรัม สกัดด้วยเมทานอล (100%) 3 มิลลิลิตร เขย่าโดยใช้ vortex เป็นเวลา 1 นาที และนำไปปั่นเหวี่ยง (centrifuge) ที่ 830 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที กรองและนำส่วนใสไปวิเคราะห์ HPLC สภาวะการทำงานของ HPLC คือใช้คอลัมน์ Econosphere C18 (250mm) mobile phase คือ methanol : acetonitrile : dichloromethane : acetic acid เท่ากับ 50: 44: 3: 3 อัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อนาที วัดที่อุณหภูมิห้องและใช้ความยาวคลื่น 330 นาโนเมตร ฉีดตัวอย่าง 50 ไมโครลิตร

1.4.4 ปริมาณ Phytate ตามวิธีของ AOAC (2000)

ทำการเตรียมคอลัมน์โดยใช้เรซิน Dowex 1x8 (Fluka) ในการ pack คอลัมน์ ก่อนใช้ต้องแช่เรซินในน้ำก่อนประมาณ 1 คืน (ใช้ 0.5 กรัมต่อ 1 คอลัมน์) ในการเตรียมคอลัมน์ นำคอลัมน์วางบนขาตั้งคอลัมน์ ใส่สำลีลงในคอลัมน์เพื่อปิดปลายคอลัมน์โดยใช้น้ำ DI ในการ pack จากนั้นปิเปตเรซินด้วย dropper ลงในคอลัมน์ โดยพยายามให้ผิวหน้าเรียบ (ขณะ pack อย่าให้น้ำในคอลัมน์แห้ง) จากนั้นรอให้น้ำหยดเกือบหมด เติม 0.7 M NaCl ลงไป 15 มิลลิลิตร รอให้สารละลายหยดเกือบหมด ใส่น้ำ DI ลงไป 15 มิลลิลิตร จากนั้นสามารถใช้พาราฟินพันปลายคอลัมน์เก็บไว้ ระหว่างรอการใช้งาน (เรซินสามารถใช้ได้ 2 ครั้ง) สำหรับการเตรียมตัวอย่างมีขั้นตอนดังนี้คือ ชั่งตัวอย่างข้าวที่บดละเอียด 2 กรัม ใส่ flask ขนาด 125 มิลลิลิตร เติม 2.4 % HCl (20 มิลลิลิตร/1กรัม ตัวอย่าง) เขย่าเป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นกรองตัวอย่างด้วย whatman # 541 (สารสกัดจะเก็บได้ประมาณ 1 อาทิตย์ โดยการแช่เย็น) ปิเปตตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร ลงใน volumetric flasks ขนาด 25 มิลลิลิตร จากนั้นปิเปต Na_2EDTA-NaOH 1 มิลลิลิตรลงไป ปล่อยทิ้งไว้ประมาณ 15 นาที ปรับปริมาตรด้วยน้ำ DI ให้ครบ 25 มิลลิลิตร ปิเปตตัวอย่างใส่ในคอลัมน์ รอจนเกือบหมดจากนั้นเติม น้ำ DI , 0.1 NaCl และ 0.7 NaCl ตามลำดับโดยแต่ละสารใช้ปริมาตร 15 มิลลิลิตรในการชะ ในการเก็บสารละลายที่ผ่านการชะเริ่มเก็บเมื่อทำการเติม 0.7 NaCl หลังจากนั้นเติมน้ำ DI ตามไปอีกครั้งโดยในระหว่างนี้ก็อาจทำการเก็บสารที่ผ่านการชะไว้ด้วย ตัวอย่างที่ได้จากการชะต้องนำไปทำการย่อย โดยเริ่มต้นทำการเตรียม micro kjahl flask ใส่ glass bead ลงไปประมาณ 3 เม็ด เทตัวอย่างที่ได้จากขั้นตอนการชะลงไป เติมกรด H_2SO_4 เข้มข้นลงไป 0.5 มิลลิลิตร เติมกรด HNO_3 เข้มข้นลงไป 3 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปผ่านการย่อยด้วยเครื่องย่อย เขย่าบ้างเป็นครั้งคราว รอจนสารละลายแห้งเกือบหมดยกลงจากเครื่อง วางทิ้งไว้ให้เย็นจะเห็นผลึกสีขาวเกิดขึ้น เติมน้ำ DI ลงไปประมาณ 10 มิลลิลิตร เพื่อละลายผลึก โดยวางบนเตาประมาณ 5 นาที จากนั้นยกออกมาวางทิ้งไว้ให้เย็น เก็บตัวอย่างที่ได้จากการย่อย นำตัวอย่างมาวิเคราะห์หาค่าไฟเตท โดยเทสารละลายที่ได้จากการย่อยลงใน volumetric flask ขนาด 50 มิลลิลิตร เติม molybdate solution ลงไป 2 มิลลิลิตร จากนั้น

เติม sulfonic acid reagent ลงไป 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ทำการปรับปริมาตร วางทิ้งไว้ 15 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 640 นาโนเมตร

1.4.5 ปริมาณ Ferulic acid ตามวิธีของ Ohtsubo และคณะ (2005)

ชั่งตัวอย่างข้าว 0.5 กรัม สกัดด้วย 50 มิลลิลิตร ของ 1 M NaOH เป็น 3 ชั่วโมง ที่ 40°C และปรับค่าความเป็นกลางด้วย 2 M HCl จากนั้นสกัดด้วย ethyl acetate ปริมาตร 50 มิลลิลิตร เป็นเวลา 5 นาที แยกส่วนที่เป็นชั้นของ ethyl acetate ทำการระเหยแห้งสุญญากาศแบบหมุน (rotary evaporator) และละลายตัวอย่างอีกครั้งด้วย 50% methyl alcohol เก็บตัวอย่างที่ได้สำหรับวิเคราะห์ HPLC สภาวะการทำงานของ HPLC คือใช้คอลัมน์ C18 (150mm) mobile phase คือ acetonitrile : 2.5% acetic acid เท่ากับ 12 : 88 อัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อนาที อุณหภูมิ 40°C วัดที่ความยาวคลื่น 320 นาโนเมตร ฉีดตัวอย่าง 5 ไมโครลิตร

1.4.6 ปริมาณ Tocolpherol ตามวิธีที่ดัดแปลงจาก Chen and Bergman (2005) และ Lloyd และคณะ (2000)

ชั่งตัวอย่างข้าว 0.05 กรัม สกัดด้วยเมธานอล 3 มิลลิลิตร เขย่าโดยใช้ vortex เป็นเวลา 1 นาที และนำไปปั่นเหวี่ยง ที่ 830 รอบต่อนาที กรองและนำส่วนใสไปวิเคราะห์ด้วย HPLC สภาวะการทำงานของ HPLC คือใช้คอลัมน์ C18 (150mm) mobile phase คือ methanol: water เท่ากับ 97: 3 อัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อนาที วัดที่อุณหภูมิห้องและใช้ความยาวคลื่น 292 นาโนเมตร ฉีดตัวอย่าง 20 ไมโครลิตร

1.4.7 ปริมาณ GABA ตามวิธีของ ของ Cohen and Michaud (1993)

ตัวอย่างข้าวกล้องงอกที่เตรียมจากสภาวะตามข้อ 1.3.1-1.3.2 ซึ่งให้ปริมาณ GABA สูงสุดในแต่ละสายพันธุ์จะถูกนำมาแยกเป็น 3 ส่วน คือ จมูกข้าว (germ) รำข้าว (bran) และเนื้อด้านในเมล็ดข้าว (endosperm) เพื่อวิเคราะห์ปริมาณ GABA เปรียบเทียบกับข้าวกล้องงอกทั้งเมล็ด (ไม่มีการแยกส่วน)

1.4.8 กิจกรรมการต้านออกซิเดชั่น

1.4.8.1 การเตรียมสารสกัด

นำตัวอย่างข้าวกล้องงอกแต่ละพันธุ์ (เตรียมด้วยสภาวะที่คัดเลือกได้โดยให้ปริมาณ GABA ที่สูง) ไปสกัดตามวิธีของ Sawaddiwong และคณะ (2008) โดยใช้สารละลายของเอทานอลเข้มข้น 50% ใช้อัตราส่วนของตัวอย่างต่อตัวทำละลายเท่ากับ 1:2 (w/v) โดยสกัดตามวิธีการดังนี้คือ นำข้าวกล้องงอกมาบดให้ละเอียด จากนั้นนำตัวอย่างที่บดแล้ว 200 กรัมมาผสมกับสารละลายเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 50 ปริมาตร 400 มิลลิลิตร ทำการโฮโมจีไนซ์เป็นเวลา 1 นาที แล้วกวนต่อเนื่องนาน 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง เมื่อครบเวลากรองตัวอย่างด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1ได้ออกมาเป็น 2 ส่วนคือส่วนที่เป็นกากตะกอนค้างอยู่บนกระดาษกรอง และส่วนที่ผ่านกระดาษกรองลงไป นำกากตะกอนที่ได้ไปผสมกับตัวทำละลายเอทานอลเข้มข้น 50% ปริมาตร 200 มิลลิลิตรอีกครั้ง จากนั้นกวนต่อเนื่องนาน 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปกรองผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 ส่วนที่กรองได้จะนำไปรวมกับส่วนที่กรองได้ก่อนหน้านี้ จากนั้น

นำสารละลายตัวอย่างที่ผ่านการกรองทั้งหมด ไปปั่นเหวี่ยงที่ 8000 rpm ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นำส่วนใสที่ได้มากำจัดไขมันออกโดยการเติม hexane ปริมาตร 400 มิลลิลิตร เขย่าแล้วทำการแยก (ทำ 3 ซ้ำ) ได้เป็นสารสกัดจากข้าว จากนั้นนำไประเหยแห้งโดยใช้เครื่องระเหยแบบลดความดัน (Vacuum rotary evaporator) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ได้เป็นสารสกัด (crude extract) นำสารสกัดที่ได้ละลายน้ำให้ได้ความเข้มข้นที่เหมาะสมก่อนนำไปวิเคราะห์กิจกรรมการต้านออกซิเดชันต่อไป

1.4.8.2 การวิเคราะห์กิจกรรมการต้านออกซิเดชัน ดังนี้

1. DPPH radical scavenging activity ตามวิธี Brand-Williams และคณะ (1995)

เตรียมสารละลาย DPPH เข้มข้น 0.2 มิลลิโมลาร์ ในเอทานอล หลังจากนั้นเติมสารละลาย DPPH ปริมาตร 100 ไมโครลิตร และตัวอย่างหรือสารมาตรฐานปริมาตร 100 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 517 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง microplate reader โดยใช้ ferulic acid เป็นสารมาตรฐานแล้วรายงานผลในรูป mmol สมมูลของ ferulic acid (mmol FAE/100g sample)

2. ABTS radical scavenging activity ตามวิธี Binsan และคณะ (2008)

เตรียมสารละลาย $ABTS^{+}$ เข้มข้น 7.4 มิลลิโมลาร์ และสารละลาย potassium persulphate เข้มข้น 2.6 มิลลิโมลาร์ จากนั้นผสมให้เข้ากันด้วยอัตราส่วน 1:1 (v/v) บ่มทิ้งไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาบ่มนำสารละลาย ABTS มาเจือจางด้วย methanol อัตราส่วน 1:50 (v/v) วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 734 นาโนเมตร ให้ได้ค่าการดูดกลืนแสง 1.1 ± 0.02 โดยเมื่อได้สารละลาย ABTS ตามต้องการแล้วจึงเติมสารละลาย ABTS ปริมาตร 190 ไมโครลิตร และตัวอย่างหรือสารมาตรฐานปริมาตร 10 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 120 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 734 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง microplate reader โดยใช้ ferulic acid เป็นสารมาตรฐาน แล้วรายงานผลในรูป mmol สมมูลของ ferulic acid (mmol FAE/100g sample)

3. รีดิวซิ่งพาวเวอร์ โดยวิเคราะห์ Ferric reducing/antioxidant power (FRAP) ตามวิธีของ Benzie และ Strain (1996)

เตรียมสารละลาย FRAP reagent ประกอบด้วย acetate buffer (pH 3.6) เข้มข้น 300 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 25 มิลลิลิตร สารละลาย TPTZ (2,4,6-tripyridyl-s-triazine) เข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ ใน HCl เข้มข้น 40 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร และสารละลาย $FeCl_3 \cdot 6H2O$ เข้มข้น 20 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 $^{\circ}C$ นาน 30 นาที เมื่อครบเวลาเติมตัวอย่างหรือสารละลายมาตรฐานปริมาตร 30 ไมโครลิตร และสารละลาย FRAP reagent ปริมาตร 270 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 595 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง microplate reader โดยใช้ $FeSO_4$ เป็นสารมาตรฐาน แล้วรายงานผลในรูป mmol สมมูลของ $FeSO_4$ (mmol FE/100g sample)

หมายเหตุ: การวิเคราะห์ในข้อ 1.4.2-1.4.6 จะทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่าง (1) ข้าวกล้องก่อนเพาะข้าว (2) กล้องงอกที่เพาะในสภาวะที่ให้ปริมาณ GABA สูงที่สุด และ (3) ข้าวกล้องงอกที่เพาะในสภาวะที่ให้ปริมาณ GABA สูงเป็นอันดับสอง

1.5 การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟ่า-อะไมเลส ในหลอดทดลองของข้าวกล้องงอก

1.5.1 การสกัดตัวอย่าง

นำตัวอย่างข้าวที่ต้องการศึกษามาบดละเอียด ชั่งน้ำหนักและสกัดด้วย 0.02 M phosphate buffer pH 6.9-0.15 M NaCl ในสัดส่วน 1: 5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 4 $^{\circ}$C นาน 16 ชั่วโมง คนด้วยแท่งแม่เหล็กต่อเนื่อง เซ็นตริฟิวจ์ ที่ 4°C ใช้ความเร็วรอบ 50,000 x g นาน 20 นาที เก็บสารละลายส่วนบน แบ่งย่อยในหลอดพลาสติกขนาด 1.5 มล. นำเก็บในตู้ -20°C เพื่อศึกษาการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟ่า-อะไมเลส และตรวจหาปริมาณโปรตีนโดยวิธี Lowry และคณะ (1951) เพื่อใช้ในการคำนวณกิจกรรมของเอนไซม์อะไมเลส

1.5.2 ศึกษาการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟ่า-อะไมเลส

นำสารสกัดของตัวอย่างข้าวตามวิธีในข้อ 1.5.1 มาบ่มกับเอนไซม์อะไมเลสที่ทราบค่ากิจกรรมเริ่มต้น (0.6 + 0.05 maltose) ที่ 37 $^{\circ}$C นาน 30 นาที เขย่าเบาๆ เติมน้ำแป้ง 0.2% ในบัฟเฟอร์ 0.02M phosphate buffer pH 6.9- 0.015M NaCl บ่มที่ 37°C 3 นาที เติมสารละลาย 3,5-dinitrosalicylate (DNS) นำไปต้มในน้ำเดือด 5 นาที เติมน้ำกลั่นและทิ้งให้เย็น วัดค่าดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานมอลโตส (Bernfeld, 1955) คำนวณร้อยละการยับยั้งอะไมเลสจากผลที่ได้ ในหน่วยของมิลลิกรัมน้ำตาลมอลโตสที่หายไปจากค่าเริ่มต้นของเอนไซม์เมื่อไม่เติมสารตัวอย่าง ดังสมการ

$$\text{ร้อยละการยับยั้งอะไมเลส} = \frac{100 \times (\text{กิจกรรมอะไมเลสเริ่มต้น} - \text{กิจกรรมอะไมเลสที่เหลือ})}{\text{กิจกรรมอะไมเลสเริ่มต้น}}$$

เมื่อทราบค่าร้อยละกิจกรรมการยับยั้งอะไมเลส แล้วนำตัวอย่างที่มีค่าเกินกว่าร้อยละ 50 มาเจือจางหลายๆ ความเข้มข้นที่เหมาะสม และนำไปตรวจกิจกรรมการยับยั้งเช่นวิธีข้างต้น คำนวณผลและเขียนกราฟระหว่างความเข้มข้นของตัวอย่างแต่ละค่าการเจือจาง กับร้อยละของกิจกรรมการยับยั้ง จากกราฟหาค่าความเข้มข้นของตัวอย่าง ที่ให้ค่าการยับยั้งร้อยละ 50 (IC_{50}) เพื่อรายงานผลศักยภาพในการยับยั้งเอนไซม์อะไมเลส

1.5.3 การหาปริมาณโปรตีน

นำตัวอย่างที่ต้องการศึกษาทำปฏิกริยากับ Lowry's Reagent ตามวิธีของ Lowry และคณะ (1951) วัดค่าดูดกลืนแสงที่ 500 นาโนเมตร เทียบกับกราฟมาตรฐานโปรตีน Bovine Serum Albumin นำค่าที่ได้ไปคำนวณกิจกรรมอะไมเลส

1.6 ชนิดและปริมาณของวิตามินและเกลือแร่

1.6.1 การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณวิตามิน

1. วิตามิน เอ ดี และอี (modified AOAC 2005)

นำตัวอย่างข้าวที่บดละเอียดแล้ว มาสกัดด้วยตัวทำละลายแอทธานอล-โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่อุณหภูมิ 80°C นาน 30 นาที สกัดด้วยเฮกเซน ทำให้แห้งภายใต้ความดันสูญญากาศ ละลายสารที่ได้คืนด้วยตัวทำละลายเมทธานอล แล้วนำไปตรวจวิเคราะห์ปริมาณ วิตามิน เอ ดี และ อี ด้วย C18 Reverse phase HPLC LiChroCART (125 x 4 mm, 5um) ชะด้วยสารผสมระหว่างเมธานอล-น้ำ (90/10, ปริมาตรต่อปริมาตร) อัตราไหล 1.0 มล./นาที

2. วิตามิน บี1 บี3 และ บี6 (modified AOAC 2005, Blake 2007, Aslam และคณะ 2008)

นำตัวอย่างข้าวที่บดละเอียดแล้ว มาสกัดด้วย กรดไฮโดรคลอริก 0.1 M สัดส่วน1: 15 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เขย่าแรงๆ ต้มในอ่างน้ำ เดือด (95-100 °C) 30 นาที โดยคนเรื่อยๆ เซนตริฟิวจ์ เก็บส่วนใส กรอง และ นำไปตรวจวิเคราะห์ปริมาณ วิตามิน บี 1 บี 3 และ บี 6 ด้วย C18 Reverse phase HPLC Column LiChroCART (125 x 4 mm, 5um) ชะด้วยสารผสมระหว่างน้ำปรับพีเอช 3-เมธานอล (90/10, ปริมาตรต่อปริมาตร) แบบ linear gradient อัตราไหล 1.0 มล./นาที

1.6.2 *การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณเกลือแร่*

วิเคราะห์ปริมาณธาตุ Ca, Na, K, Mg, Fe, Cu, Se, Zn, Cr, Mo, Pb, และ Cd ในตัวอย่างข้าวกล้อง ข้าวกล้องงอก และผลิตภัณฑ์ ด้วยวิธี ICP-OES ตามวิธี AOAC Official Method 990.08 (modified AOAC 2005) โดยสกัดตัวอย่าง ที่บดละเอียดเป็นผงแล้ว 2 กรัม ใน50%HNO_3 Reflux ที่ 95 องศาเซลเซียส 15 นาที ทิ้งให้เย็นแล้ว Reflux ซ้ำใน conc.HNO_3 30 นาที สองรอบ แล้วนำไปทำปฏิกิริยากับ 30%H_2O_2 เมื่อปฏิกิริยาสมบูรณ์ นำไป Reflux กับ conc.HCl 15 นาที ปรับปริมาตรและกรองด้วย Whatman เบอร์ 41 แล้วนำตัวอย่างไปวิเคราะห์ปริมาณแต่ละธาตุด้วย ICP-OES เทียบกับธาตุมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้น คำนวณปริมาณธาตุของตัวอย่างที่ใช้ ในหน่วย มก./กก.

1.7 สารออกฤทธิ์จากข้าวกล้องงอกที่มีฤทธิ์ต้านการอักเสบ

ตัวอย่างข้าวกล้องงอกที่มีปริมาณ GABA สูงสุดที่คัดเลือกได้จากข้อ 1.3.2 จะถูกนำศึกษาสารออกฤทธิ์ที่มีฤทธิ์ต้านการอักเสบ ดังนี้

1.7.1 การแยกสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ

นำตัวอย่างข้าวกล้องงอกที่คัดเลือกได้จากข้อ 1.3.2 ซึ่งมีปริมาณ GABA สูงที่สุด 2 กิโลกรัม บดให้ละเอียด แล้วแช่สกัดด้วยตัวทำละลายเอธานอลต่อน้ำ (อัตราส่วน 1:1) เป็นเวลา 3 วัน จนครบ 3 ครั้ง ปริมาตรตัวทำละลายที่ใช้ในครั้งที่ 1-3 เท่ากับ 3.5 ลิตร 2.0 ลิตร และ 1.5 ลิตร ตามลำดับ

จากนั้นนำไปกรองและระเหยตัวทำละลายออกให้หมด สารสกัดที่ได้มารวมกันและทำให้แห้งโดยวิธีการ freezed dry จากนั้นแบ่งสารสกัดที่ได้จากการ freezed dry ปริมาณ 20 กรัม เพื่อนำมาทำการแยกสารด้วยวิธี column chromatography โดยใช้ตัวทำละลายต่างๆ ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ชนิดตัวทำละลายที่ใช้ในการชะผ่าน Column chromatography

ลำดับ	ชนิดตัวทำละลาย	อัตราส่วน	ปริมาตรรวม	จำนวนครั้ง
1	Hexane	-	250	2
2	Hexane : EtOAc	1:1	250	2
3	EtOAc	-	250	2
4	EtOAc : MeOH	98:2	250	2
5	EtOAc: MeOH	90:10	250	2
6	EtOAc: MeOH	80:20	250	2
7	EtOAc: MeOH	60:40	250	2
8	EtOAc : MeOH: Water	38:60:2	250	2
9	EtOAc : MeOH: Water	36:60:4	250	2
10	EtOAc : MeOH: Water	26:70:4	250	2
11	EtOAc : MeOH: Water	24:70:6	250	2

Fraction ที่ได้จากการชำระผ่าน column chromatography ถูกนำไปผ่านการแยกด้วย silica gel column chromatography เพื่อแยก fraction อีกครั้ง โดยตัวทำละลาย EtOAc, MeOH, Water, Formic acid ในอัตราส่วนที่ต่างกัน เก็บ fraction ที่ได้เพื่อใช้วิเคราะห์ต่อไป

1.7.2 การทดสอบฤทธิ์ต้านการอักเสบ (Asssay for NO inhibitory effect from RAW264.7 cells) ตามวิธีของTewtrakul และคณะ (2009)

เลี้ยงเซลล์ RAW264.7 cell line ในอาหาร RPMI medium (เสริมด้วย 0.1% sodium bicarbonate , 2mM glutamine, penicillin G (100 units/ml), streptomycin (100 µg/ml) และ 10% FCS) ใช้ trypsin-EDTA ในการเก็บเซลล์ และเจือจางด้วยอาหารเลี้ยงเชื้อ ทำการเพาะเซลล์ใน 96-well plates โดยมีปริมาณเซลล์ $1x10^5$ cells/well และตั้งทิ้งไว้ให้เซลล์ได้ยึดเกาะเป็นเวลา 1 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 37 °C เลี้ยงในบรรยากาศที่มี 5% CO_2 เปลี่ยนอาหารเลี้ยงเชื้อ โดยใช้อาหารที่มี LPS 100 µg/ml พร้อมกับสารสกัดความเข้มข้นต่างๆในช่วง 3–100 µg/ml (3–100 µM สำหรับสารมาตรฐาน) เพาะเลี้ยงไว้ 48 ชั่วโมง (สารมาตรฐานคือ indomethacin)

1.7.3 การวัดปริมาณ Nitric oxide (NO) ทำโดยวิเคราะห์ปริมาณโดยใช้ Griess reagent

หลังจากเพาะเซลล์ไว้ 48 ชั่วโมง ปิเปต supernatant 100 µl ลงใน 96-well plate และเติม Griess reagent 100 µl จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 570 นาโนเมตรคำนวณ % Inhibition ได้ตามสมการด้านล่าง และ IC_{50} values คำนวณโดยการ plot curve ($n = 4$):

$$\text{Inhibition (\%)} = \frac{A-B}{A-C} \times 10$$

A-C: NO_2^- concentration (µM) [*A* : LPS (+), sample (-); *B* : LPS (+), sample(+); *C* : LPS (-), sample (-)].

1.8 การทดสอบความเป็นพิษเฉียบพลันและเป็นพิษกึ่งเรื้อรังในสัตว์ทดลองของสารสกัดจากข้าวกล้องงอก

ตัวอย่างข้าวกล้องงอกที่มีปริมาณ GABA สูงสุดที่คัดเลือกได้จากข้อ 1.3.2 จะถูกนำทดสอบความเป็นพิษทั้งแบบเฉียบพลันและกึ่งเรื้อรังในสัตว์ทดลอง ดังนี้

1.8.1 การเตรียมสารสกัด

นำตัวอย่างข้าวกล้องงอกที่คัดเลือกได้จากข้อ 1.3.2 ซึ่งมีปริมาณ GABA สูงที่สุด มาบดให้ละเอียด แล้วแช่ในสารละลายผสมระหว่างเอธานอลกับน้ำ (1:1 v/v) จนครบ 3 ครั้งๆ ละ 3 วัน นำเฉพาะส่วนที่ละลายมารวมกัน จากนั้นจึงระเหยตัวทำละลายออกไป แล้วนำส่วนที่สกัดได้ไปทำให้แห้งด้วยวิธี freezedry เพื่อนำไปทดสอบต่อไป

1.8.2 การทดสอบความเป็นพิษเฉียบพลัน

การทดสอบความเป็นพิษเฉียบพลันเบื้องต้น (Bruce, 1985) เป็นการทดสอบความเป็นพิษเบื้องต้นในหนูถีบจักร โดยการทดลองใช้หนูเพศผู้และเพศเมียอย่างละ 10 ตัว ป้อนสารสกัดข้าวกล้องงอกขนาด 2 กรัม/กิโลกรัม ของน้ำหนักตัวหนู แล้วสังเกตดูอาการเป็นเวลา 7 วัน

1.8.3 การทดสอบความเป็นพิษกึ่งเรื้อรัง

1.8.3.1 การเตรียมสัตว์ทดลอง

ก่อนทำการทดลองประมาณ 1 สัปดาห์ นำหนูขาวสายพันธุ์ Wistar เพศผู้และเพศเมีย อายุประมาณ 5 สัปดาห์ น้ำหนักตัวประมาณ 300 และ 200 กรัม ตามลำดับ มาเลี้ยงแยกกันในกรงโลหะสเตนเลสขนาด 25 x 96 x 15 ซ.ม. บรรจุกรงละ 5 ตัว โดยเลี้ยงอยู่ภายในห้องของสถานสัตว์ทดลองภาคใต้ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ซึ่งควบคุมอุณหภูมิประมาณ 22-24 $^{\circ}$C และได้รับแสงสว่างวันละประมาณ 12 ชั่วโมง (เวลา 6.00–18.00 น.) หนูทุกตัวได้รับอาหารเม็ดสำเร็จรูป (CP® Mice Feed) ของบริษัท เจริญโภคภัณฑ์ จำกัด และน้ำกรอง อย่างไม่จำกัด (adlibitum) ในแต่ละวัน ขั้นตอนการศึกษาในสัตว์ทดลองของ

โครงการวิจัยนี้ผ่านการพิจารณาและเห็นชอบจากคณะกรรมการจรรยาบรรณการใช้สัตว์ทดลอง มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ แล้ว(หนังสือรับรองเลขที่ 24/53)

1.8.3.2 การทดสอบในสัตว์ทดลอง

แบ่งหนูออกเป็น 4 กลุ่ม คือ control, LD, MD และ HD แต่ละกลุ่มประกอบด้วยหนูเพศผู้ 10 ตัว และเพศเมีย 10 ตัว ในเวลาประมาณ 10.00–12.00 น. ของทุกๆวันป้อนหนูแต่ละตัวด้วยสารสกัดข้าวกล้องงอกซึ่งละลายในน้ำกลั่นตามปริมาณที่กำหนด ดังนี้ กลุ่ม control ได้รับน้ำกลั่นอย่างเดียว (0 mg/kg BW/day) กลุ่ม low dose (LD), middle dose (MD) และ high dose (HD) ได้รับสารสกัดเท่ากับ 75, 150 และ 300 mg/kg BW/day ตามลำดับ พร้อมกับสังเกตอาการทางคลินิก รวมทั้งความผิดปกติอื่น ๆ ติดต่อกันนาน 12 สัปดาห์

เมื่อเสร็จสิ้นการทดลอง งดให้อาหารหนูทุกตัวประมาณ 12 ชั่วโมงก่อนเก็บตัวอย่างเลือดโดยสูบจากหัวใจโดยตรง (heart puncture) ขณะสลบด้วยอีเธอร์ แล้วเตรียมเป็นพลาสมาสำหรับตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ทางชีวเคมี ต่อไป จากนั้น ฆ่าหนูทุกตัวโดยวิธีดึงคอ (cervical dislocation) ก่อนชำแหละศพเพื่อเก็บ ตับ ไต ม้าม และหัวใจ มาชั่งน้ำหนัก แล้วแช่ในน้ำยา 10% (v/v) formalin เพื่อตรวจวิเคราะห์ทางพยาธิวิทยาเนื้อเยื่อต่อไป

1.8.3.3 การตรวจวัดระดับสารชีวเคมีต่างๆ ในพลาสมา

ใช้เครื่องตรวจวิเคราะห์ทางเคมีคลินิคอัตโนมัติของ Biosystems รุ่น A15 (BioSystems S.A., Barcelona, Spain)

1.8.3.4 การหาค่าทางโลหิตวิทยา

ใช้เครื่องตรวจนับค่าทางโลหิตวิทยาอัตโนมัติของ Nihon Kohden รุ่น Celltac E (MEK-7222) (Nihon Kohden Corp., Tokyo, Japan)

1.9 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ด้วยโปรแกรม SPSS 10.0 for windows โดยข้อมูลที่เกี่ยวกับการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและปริมาณของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (ข้อ 1.1-1.4) ใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance; ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ p <0.5

สำหรับการทดสอบความเป็นพิษกึ่งเรื้อรังของสารสกัดข้าวกล้องงอก (ข้อ 1.7.3) ข้อมูลทั้งหมดที่ได้แสดงค่าในรูปของ Mean ± S.E.M. และนำมาวิเคราะห์หาความ แตกต่างทางสถิติโดยใช้ one-way ANOVA (analysis of variance) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p<0.05$) จากนั้นจึงทำการทดสอบด้วย LSD (least significant difference) test เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุม

ส่วนที่ 2: การพัฒนาผลิตภัณฑ์จากข้าวกล้องงอก

ตัวอย่างข้าวกล้องงอกที่มีปริมาณ GABA สูงสุดที่คัดเลือกได้จากข้อ 1.3.2 จะถูกนำมาใช้เป็นตัวอย่างในการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากข้าวกล้องงอก โดยมีรายละเอียดแต่ละขั้นตอนดังนี้

2.1 การสำรวจความต้องการของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอก

2.1.1 การสำรวจความต้องการของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอก มีวัตถุประสงค์เพื่อสอบถามประเภทของผลิตภัณฑ์จากข้าวกล้องงอกที่ผู้บริโภคต้องการเพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ โดยกลุ่มเป้าหมาย คือ กลุ่มผู้สูงอายุ (อายุตั้งแต่ 60 ปีขึ้นไป) จำนวน 100 คน โดยใช้แบบสอบถามดังภาคผนวก ช ซึ่งประกอบด้วยคำถามที่เกี่ยวกับพฤติกรรมการบริโภคข้าวกล้องงอก ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกและคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ผู้บริโภคต้องการ รวมถึงข้อมูลเชิงประชากรศาสตร์ของผู้บริโภคในพื้นที่ต่างๆในอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

2.1.2 รวบรวมข้อมูลที่ได้จากการสำรวจและวิเคราะห์ค่าทางสถิติ เพื่อคัดเลือกผลิตภัณฑ์และคุณลักษณะที่ผู้บริโภคต้องการมากที่สุด เพื่อใช้เป็นแนวคิดสำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์ต่อไป

2.2 การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูป

ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูป คือ ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกหุงสุกแล้วนำไปบรรจุในถุงรีทอร์ทเพาซ์หรือในกระป๋องแล้วนำไปฆ่าเชื้อด้วยความร้อนโดยใช้อุณหภูมิสูง จึงทำให้ผลิตภัณฑ์สามารถเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องได้นานประมาณ 1-2 ปี และสามารถรับประทานได้ทันทีหลังจากเปิดถุง/กระป๋องหรือสามารถอุ่นให้ร้อนได้โดยใช้ไมโครเวฟเพียง 1-2 นาที

ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปปริมาณน้ำที่ใช้สำหรับหุงข้าวจึงมีความสำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ดังนั้นจึงมีการวางแผนการทดลองเพื่อศึกษาผลของปริมาณน้ำที่ใช้ในการหุงข้าวต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ดังนี้

2.2.1 ผลของปริมาณน้ำที่ใช้หุงข้าวต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

ตัวอย่างข้าวกล้องงอกที่ใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ คือ ข้าวกล้องงอกที่คัดเลือกได้จากข้อ 1.3.2 ซึ่งเป็นตัวอย่างที่มีปริมาณ GABA สูงที่สุด โดยมีวิธีการเตรียมตัวอย่างแสดงดังภาคผนวก ช หลังจากนั้นจึงนำข้าวกล้องงอกที่เตรียมได้มาหุงให้สุกโดยแปรผันปริมาณน้ำที่ใช้หุงข้าวเป็น 3 ระดับ และบรรจุในภาชนะบรรจุ ดังนี้

1. บรรจุในถุงรีทอร์ทเพาซ์

หุงโดยใช้อัตราส่วนของข้าว : น้ำ เท่ากับ 1:0.5, 1:0.6 และ 1:0.7 ตามลำดับ

2. บรรจุในกระป๋อง

หุงใช้อัตราส่วนของข้าว : น้ำ เท่ากับ 1:1.25, 1:1.50 และ 1:1.75 ตามลำดับ

หมายเหตุ: น้ำหนักข้าวที่ใช้หุงเป็นน้ำหนักของข้าวกล้องก่อนนำไปแช่สารละลายบัฟเฟอร์ การใช้อัตราส่วนน้ำที่แตกต่างกันของตัวอย่างที่บรรจุกระป๋องและบรรจุถุงรีทอร์ทเพาซ์เนื่องจากการใช้อัตราส่วนน้ำ 1:0.7 ในตัวอย่างบรรจุกระป๋องจะทำให้ข้าวมีลักษณะแข็งมาก (คล้ายข้าวไม่สุก) จึงต้องปรับปริมาณน้ำให้สูงขึ้น

การหุงจะใช้หม้อหุงข้าวไฟฟ้า หลังจากข้าวสุกแล้วนำข้าวมาบรรจุลงในกระป๋องขนาด 307x113 น้ำหนักบรรจุ เท่ากับ 120 กรัม โดยบรรจุขณะร้อนและปิดฝากระป๋องโดยใช้เครื่องปิดฝากระป๋อง หลังจากนั้นนำไปฆ่าเชื้อโดยใช้หม้อฆ่าเชื้อ โดยใช้อุณหภูมิ 118 ^{o}C และให้มีค่า $F_0 = 3$ (ผลการหาค่า F_0 ทดสอบจากศูนย์พัฒนาอุตสาหกรรมเกษตรเพื่อการส่งออก คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ดังแสดงในภาคผนวก ฉ) จะใช้เวลาฆ่าเชื้อนาน 45 นาที สำหรับตัวอย่างที่บรรจุถุงรีทอร์ทเพาซ์ นำข้าวสุกมาบรรจุในถุง ขนาด 160x190 mm มีน้ำหนักบรรจุ 180 กรัม ปิดปากถุงโดยใช้เครื่องปิดปากถุงแบบสุญญากาศ (ตั้งค่าของสุญญากาศ เท่ากับ 3) หลังจากนั้นก็นำไปฆ่าเชื้อโดยใช้หม้อฆ่าเชื้อ โดยใช้อุณหภูมิ 118 ^{o}C และให้มีค่า $F_0 = 3$ (ผลการหาค่า F_0 ซึ่งทดสอบจากศูนย์พัฒนาอุตสาหกรรมเกษตรเพื่อการส่งออก คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ดังแสดงในภาคผนวก ฉ) จะใช้เวลาในการฆ่าเชื้อนาน 15 นาที

หลังจากนั้นนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพและทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยใช้แบบทดสอบ 9-point hedonic scale (ดังแสดงรายละเอียดในข้อ 2.2.2) เพื่อคัดเลือกผลิตภัณฑ์ที่มีคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสสูงสุด และนำไปขยายขนาดการผลิต วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและการทดสอบฤทธิ์ทางชีวภาพ รวมถึงทดสอบการยอมรับและความตั้งใจซื้อของผู้บริโภคดังรายละเอียดในข้อ 2.3 และ 2.4 ต่อไป

2.2.2 การตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์

นำผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาได้มาตรวจสอบและวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ ดังนี้

2.2.2.1 ความชื้น โดยวิธี AOAC (2000)

2.2.2.2 คุณภาพทางกายภาพ

1. วัดค่าสี โดยวัดเป็นค่า L*, a* และ b*

2. Elongation ratio (ER) และ Elongation index (EI) ตามวิธีของ Julino และ Perez (1984) โดยคัดเลือกเมล็ดข้าวกล้องงอกที่ไม่ผ่านและผ่านการหุงแล้ว ซึ่งเป็นเมล็ดที่สมบูรณ์ ไม่แตกหัก จำนวน 10 เมล็ด และวัดความกว้างและความยาวของเมล็ดโดยใช้เวอร์เนียร์ แคลลิปเปอร์ (vernier slide calipers) และคำนวณ ER และ EI ได้ดังนี้

$$ER = \frac{\text{ความยาวของเมล็ดข้าวกล้องงอกที่หุงแล้ว}}{\text{ความยาวของเมล็ดข้าวกล้องงอกก่อนหุง}}$$

$$EI = \frac{\text{อัตราส่วนของความยาวต่อความกว้างของเมล็ดข้าวกล้องงอกที่หุงแล้ว}}{\text{อัตราส่วนของความยาวต่อความกว้างของเมล็ดข้าวกล้องงอกก่อนหุง}}$$

3. พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความหนืด (Pasting properties) ทดสอบโดยใช้เครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) ตามวิธีของ Zhou และคณะ (2003) โดยชั่งตัวอย่างแป้งจำนวน 3 กรัม เติมน้ำกลั่นปริมาตร 25 มล. และผสมให้เข้ากันโดยการกวนที่ความเร็วรอบ 960 rpm นาน 10 วินาที หลังจากนั้นปรับความเร็วรอบลดลงเป็น 160 rpm ให้ความร้อนกับตัวอย่างจนได้อุณหภูมิ 50 °C นาน 1 นาทีและค่อยๆปรับให้อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นเป็น 95 °C (อัตราการเพิ่มของอุณหภูมิ เท่ากับ 12°C/นาที) และให้ตัวอย่างมีอุณหภูมิคงไว้ที่ 95 °C นาน 2.5 นาที หลังจากนั้นให้ค่อยๆปรับอุณหภูมิให้ลดลงมาที่ 50 °C (อัตราการลดลงของอุณหภูมิ เท่ากับ 12°C/นาที) และให้ตัวอย่างคงอยู่ที่อุณหภูมิ 50 °C นาน 5 นาที เพื่อให้เครื่องวัดพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความหนืด ซึ่งจากกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและค่าความหนืด ที่มีหน่วยเป็น RVU สามารถนำมาใช้ในการคำนวณหาค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity, PV) อุณหภูมิเริ่มต้นของความหนืด (pasting temperature, Ptenp) ค่าความหนืดของเหลวขั้นขณะร้อน (trough viscosity) และค่าเซตแบค (setback viscosity, SBV) ได้

4. ความแข็ง (hardness) โดยใช้เครื่อง Texture analyzer ตามวิธีของ Bourne (1982)

5. ระดับสภาพความเป็นผลึก วัดโดยใช้เครื่อง X-ray diffractometer ตามวิธีของ Kim และคณะ (2001)

6. ลักษณะและรูปร่างโมเลกุลแป้ง ด้วยเครื่อง scanning electron micrographs (SEM) โดยทดสอบตามวิธีของ Singh และคณะ (2006)

2.2.2.3 การทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์

การทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ใช้แบบทดสอบ 9-point hedonic scale โดยมีระดับคะแนนตั้งแต่ 1-9 คะแนน (1=ไม่ชอบมากที่สุด, 5= บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ และ 9 = ชอบมากที่สุด) แสดงดังภาคผนวก ฌ เพื่อสอบถามความชอบของผู้ทดสอบที่มีต่อผลิตภัณฑ์ในด้านต่างๆ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ (ความแตกของเมล็ดข้าว/ความร่วน/การเกาะตัวกันของเมล็ดข้าว) สี กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส (ความเหนียว/ความแข็ง/การเกาะกลุ่มกันของเมล็ดข้าว) และความชอบโดยรวม โดยใช้บุคลากรและนักศึกษาจากคณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์จำนวน 30 คน เป็นผู้ทดสอบ โดยนำเสนอตัวอย่างให้แก่ผู้ทดสอบแบบสุ่มและนำเสนอครั้งละ 1 ตัวอย่างจนครบทุกตัวอย่าง อุณหภูมิของตัวอย่างขณะนำเสนออยู่ในช่วง 50-60 °C และหลังจากผู้ทดสอบชิมผลิตภัณฑ์แล้วก็จะให้คะแนนตามระดับความชอบที่มีต่อผลิตภัณฑ์ตามปัจจัยต่างๆที่ทดสอบ

ตัวอย่างที่นำมาทดสอบจะถูกกำหนดเป็นรหัสเลข 3 ตัวจากตารางตัวเลขสุ่ม และนำเสนอผลิตภัณฑ์ให้แก่ผู้ทดสอบทีละตัวอย่างโดยสุ่มลำดับการนำเสนอแบบ Balance order and carry-over effect Design (Macfie *et al.*, 1989) และผู้ทดสอบจะทำการบ้วนปากด้วยน้ำเปล่าก่อนทำการทดสอบตัวอย่างทุกครั้ง

2.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและการทดสอบฤทธิ์ทางชีวภาพ

ผลิตภัณฑ์ที่มีคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสสูงสุด ที่คัดเลือกได้จากข้อ 2.2 จะถูกนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ดังนี้

2.3.1 องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า และคาร์โบไฮเดรต ตามวิธี AOAC (2000)

2.3.2 ชนิดและปริมาณของวิตามินและเกลือแร่ ตามวิธีที่แสดงในข้อ 1.6

2.3.3 ปริมาณ GABA ตามวิธีของ Cohen and Michaud (1993)

2.3.4 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic) ตามวิธีที่แสดงในข้อ 1.4.2

2.3.5 ทดสอบกิจกรรมการต้านออกซิเดชันโดยวิธี DPPH radical scavenging activity, ABTS และ ferric reducing antioxidant power (FRAP) assay ตามวิธีที่แสดงในข้อ 1.4.8

2.3.6 ฤทธิ์ต้านการอักเสบ

นำผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอก 4 กระป๋อง (น้ำหนัก 467.71 กรัม) สกัดด้วยตัวทำละลายผสมระหว่าง Ethanol: water เท่ากับ1:1 จำนวน 700 มิลลิลิตร โดยแช่ไว้นาน 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปกรองและระเหยตัวทำละลายออก และนำส่วนกากที่เหลือมาสกัดซ้ำอีก 2 ครั้ง จากนั้นนำสารสกัดที่ได้มารวมกันนำไปทำให้แห้งโดยการ freeze dry และประเมินฤทธิ์ต้านการอักเสบตามวิธีที่แสดงในข้อ 1.7.2-1.7.3

2.3.7 ศักยภาพการยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์อะไมเลส ตามวิธีที่แสดงในข้อ 1.5

2.4 การทดสอบการยอมรับและความตั้งใจซื้อของผู้บริโภค

การทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์กับผู้บริโภค มีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจความคิดเห็นของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาขึ้น โดยใช้แบบสอบถาม (ดังแสดงในภาคผนวก ญ-2) และสำรวจกับกลุ่มผู้สูงอายุ (อายุ 60 ปีขึ้นไป) จำนวนทั้งหมด 111 คน ที่มาร่วมงานมหกรรมไท้เก๊กสัมพันธ์ทั่วประเทศ ที่บริเวณสนามกีฬาติณสูลานนท์ จังหวัดสงขลา ระหว่างวันที่ 18-19 มีนาคม 2554 โดยเป็นการร่วมตอบแบบสอบถามด้วยความสมัครใจ ซึ่งผู้ตอบแบบสอบถามได้กรอกใบยินยอมการเป็นอาสาสมัคร (ดังแสดงในภาคผนวก ญ-1) และได้รับทราบวัตถุประสงค์และเนื้อหาของแบบสอบถามก่อนเริ่มทำการสอบถาม

ในส่วนของการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ตัวอย่างที่นำเสนอให้กับผู้ทดสอบจะผ่านการอุ่นให้ร้อนโดยใช้ไมโครเวฟที่ระดับกำลังไฟ 720W นาน 1.5 นาที และนำเสนอให้กับผู้ทดสอบในขณะร้อน (อุณหภูมิของตัวอย่างอยู่ในช่วง 50- 60 °C) เพื่อสอบถามคะแนนตามระดับความชอบที่มีต่อผลิตภัณฑ์ด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม

2.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ด้วยโปรแกรม SPSS 10.0 for windows โดยข้อมูลของแบบสอบถามจากข้อ 2.1 และ 2.4 ใช้การวิเคราะห์ความถี่ และค่าไคสแควร์ สำหรับข้อมูลที่ได้จากการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ (ข้อ 2.2.2) และการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและการทดสอบฤทธิ์ทางชีวภาพ (ข้อ 2.3) ใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance; ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ $p < 0.5$

บทที่ 4
ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

ส่วนที่ 1: การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมข้าวกล้องงอก คุณค่าทางโภชนาการและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของข้าวกล้องงอก

1.1 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวกล้อง

องค์ประกอบทางเคมีของข้าวกล้องพันธุ์ช่อลุง เล็บนกปัตตานี เหนียวดำเปลือกขาว และเหนียวหลันตัน แสดงดังตารางที่ 4.1 จะเห็นว่าข้าวแต่ละพันธุ์มีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน โดยองค์ประกอบหลักของข้าวทั้ง 4 พันธุ์ คือ คาร์โบไฮเดรต มีค่าตั้งแต่ 84.43-88.43% โดยข้าวกล้องพันธุ์เล็บนกปัตตานีมีคาร์โบไฮเดรตสูงที่สุด (88.43%) สำหรับปริมาณโปรตีน ไขมัน เถ้า และใยอาหารทั้งหมดของข้าวกล้องทั้ง 4 พันธุ์ พบว่ามีค่า เท่ากับ 8.98-11.61%, 2.05-3.47%, 0.48-1.44% และ1.25-5.90% ตามลำดับ โดยข้าวกล้องพันธุ์ที่มีโปรตีนและไขมันมากที่สุด คือ เหนียวดำเปลือกขาว ในขณะที่ข้าวกล้องพันธุ์เหนียวหลันตันและช่อลุงเป็นพันธุ์ที่มีปริมาณเถ้าและใยอาหารทั้งหมดสูงที่สุด โดยมีใยอาหารไม่ละลายน้ำเป็นองค์ประกอบหลักของข้าวกล้องทั้ง 4 สายพันธุ์

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวกล้องพันธุ์ต่างๆ

องค์ประกอบ*	ข้าวเจ้า		ข้าวเหนียว	
(%, นน.แห้ง)	ช่อลุง	เล็บนกปัตตานี	เหนียวดำเปลือกขาว	เหนียวหลันตัน
คาร์โบไฮเดรต	85.31±0.13^{b}	88.43±0.15^{d}	84.43±0.15^{a}	86.36±0.03^{c}
โปรตีน	11.54±0.08^{b}	8.98±0.08^{a}	11.61±0.15^{b}	9.09±0.04^{a}
ไขมัน	2.64±0.12^{b}	2.05±0.12^{a}	3.47±0.01^{d}	3.11±0.03^{c}
เถ้า	0.51±0.03^{b}	0.54 ±0.01^{b}	0.48±0.01^{a}	1.44 ±0.03^{c}
ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ	3.03 ± 0.22^{c}	2.53 ± 0.15^{b}	1.09±0.07^{a}	4.84±0.25^{d}
ใยอาหารที่ละลายน้ำ	2.87± 0.26^{c}	0.47 ± 0.03^{b}	0.16±0.03^{a}	0.03±0.00^{a}
ใยอาหารทั้งหมด	5.90 ± 0.04^{d}	3.00± 0.12^{b}	1.25±0.05^{a}	4.87±0.25^{c}
อะไมโลส	25.58 ± 0.66^{c}	29.08 ± 0.67^{d}	5.16±0.34^{b}	3.41±0.06^{a}

*ค่าเฉลี่ย±SD ของการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

$^{a,b,\cdots}$= ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่ตามด้วยอักษรที่แตกต่างกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p< 0.05$)

นอกจากนี้จากตารางที่ 4.1 จะเห็นว่าข้าวแต่ละสายพันธุ์มีปริมาณอะไมโลสที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ซึ่งปริมาณอะมิโลสเป็นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อสมบัติเชิงหน้าที่ ได้แก่ ความหนืด การเกิดเจลาติไนเซชั่น การเกิดรีโทรเกรเดชั่น กำลังการพองตัวและดัชนีการละลาย ซึ่งปริมาณอะไมโลสมีความสัมพันธ์ทางบวกกับการขยายปริมาตรและการดูดน้ำในระหว่างการหุงต้ม และมีความสัมพันธ์ทางลบกับความนุ่มและความเหนียวของข้าวสุก โดยพบว่าเมื่อปริมาณอะมิโลสเพิ่มขึ้น ทำให้ดัชนีการละลายน้ำและความหนืดเพิ่มขึ้น ในขณะที่กำลังการพองตัวลดลง ข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูงเมื่อหุงสุกจะมีลักษณะร่วนและแข็ง ดังนั้นปริมาณอะมิโลสจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ข้าวสุกมีความเหนียวลดลงหรือร่วนมากขึ้นและทำให้ข้าวนุ่มน้อยลง นอกจากนี้ยังมีความสำคัญต่อเวลาและปริมาณน้ำที่ใช้ในการหุงข้าว (งามชื่น, 2539; ละม้ายมาศ, 2541; Juliano et al, 1974)

โดยปกติข้าวเจ้าจะมีปริมาณอะไมโลสสูงกว่าข้าวเหนียว และจากตารางที่ 4.1 จะเห็นว่าปริมาณอะไมโลสของข้าวพันธุ์ช่อลุง เล็บนกปัตตานี เหนียวดำเปลือกขาว และเหนียวหลันตัน มีค่าเท่ากับ 25.58%, 29.08%, 8.24% และ 3.41% ตามลำดับ สำเริง (2550) รายงานว่าข้าวช่อลุงและเหนียวหลันตันมีปริมาณอะไมโลส เท่ากับ 23.06% และ 5.66% ตามลำดับ และChansuwan (2005) รายงานว่าข้าวเล็บนกปัตตานีที่มีแหล่งเพาะปลูกจากจังหวัดพัทลุงมีปริมาณอะไมโลส เท่ากับ 26.76%

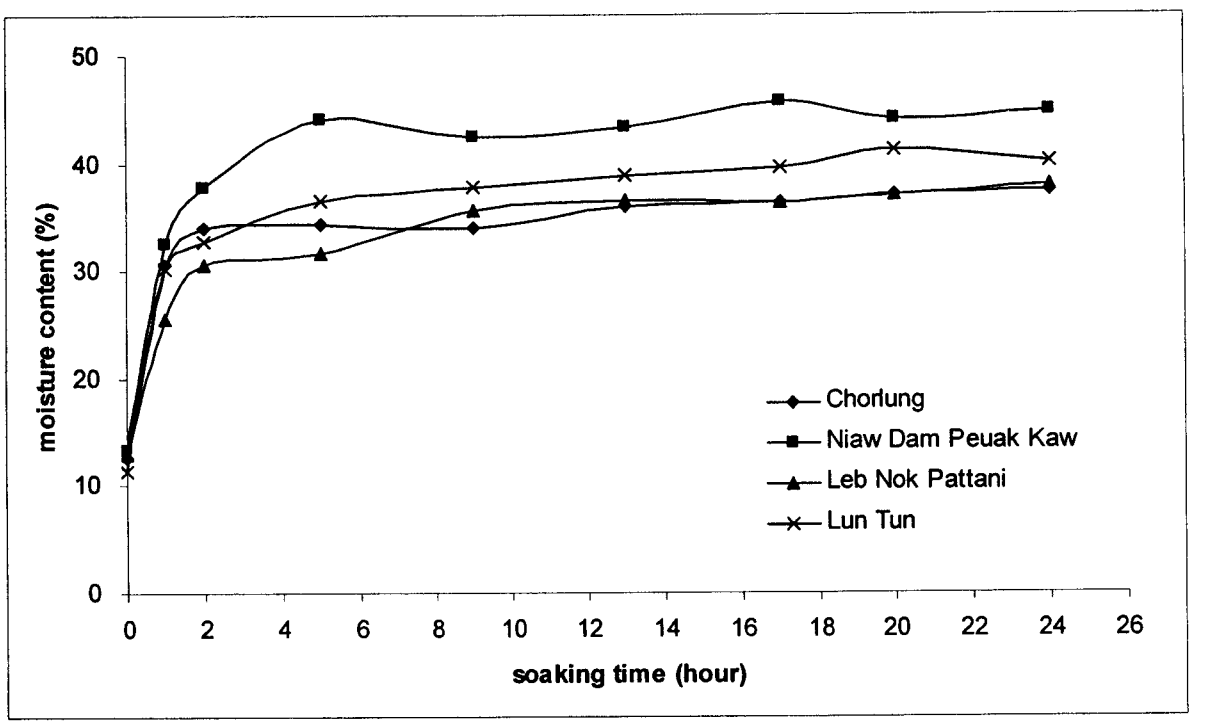
Juliano และคณะ (1992) ได้จัดแบ่งกลุ่มของข้าวตามปริมาณปริมาณอะไมโลส เป็น 5 กลุ่ม ดังนี้ ปริมาณอะไมโลส เท่ากับ 0-5% จัดเป็นข้าวเหนียว, 5-12% จัดเป็นกลุ่มอะไมโลสต่ำมาก, 12-20% จัดเป็นกลุ่มอะไมโลสต่ำ, 20-25% จัดเป็นกลุ่มอะไมโลสปานกลาง และ 25-33% จัดเป็นอะไมโลสสูง ดังนั้นจากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าข้าวเหนียวดำเปลือกขาวและเหนียวหลันตันจัดอยู่ในกลุ่มข้าวเหนียว ในขณะที่ข้าวช่อลุงจัดเป็นข้าวที่มีอะไมโลสปานกลาง และข้าวเล็บนกปัตตานีจัดเป็นข้าวที่มีอะไมโลสสูง ดังแสดงค่าในตารางที่ 4.1

1.2 การดูดซึมน้ำของเมล็ดข้าวกล้องระหว่างการแช่ (Hydration characteristic of brown rice during soaking)

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณความชื้นของข้าวกล้องทั้ง 4 สายพันธุ์ ในระหว่างการแช่ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้อง แสดงดังตารางที่ ข-1 ในภาคผนวก ข และรูปที่ 4.1 ซึ่งจะเห็นว่าข้าวกล้องทั้ง 4 สายพันธุ์มีการดูดซึมน้ำในลักษณะที่ใกล้เคียงกัน โดยในช่วงแรกของการแช่เมล็ดข้าว (0-2 ชั่วโมง) น้ำถูกดูดซึมเข้าสู่เมล็ดอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ความชื้นภายในเมล็ดข้าวเพิ่มสูงอย่างรวดเร็ว (Bello et al., 2004; Wijngaard et al., 2005) หลังจากนั้นเมื่อแช่ต่อไป (ชั่วโมงที่ 2-5) เมล็ดข้าวจะดูดซับน้ำได้ช้าลงเรื่อยๆจนเข้าสู่สภาวะสมดุลหรือถึงจุดอิ่มตัว และหลังจากผ่านชั่วโมงที่ 5 ไปแล้ว พบว่าเมล็ดข้าวจะดูดซึมน้ำได้น้อยมาก ทำให้ความชื้นภายในเมล็ดมีค่าคงที่หรือมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก (รูปที่ 4.1) เมื่อแช่เมล็ดข้าวกล้องพันธุ์ ช่อลุง เล็บนกปัตตานี เหนียวดำเปลือกขาว และเหนียวหลันตันจนครบ 24 ชั่วโมง พบว่าข้าวกล้องพันธุ์ต่างๆมีปริมาณความชื้น เท่ากับ 37.34%, 37.96%, 44.78% และ40.19% ตามลำดับ ปริมาณอะไมโลสและอะไมโลเพคตินที่

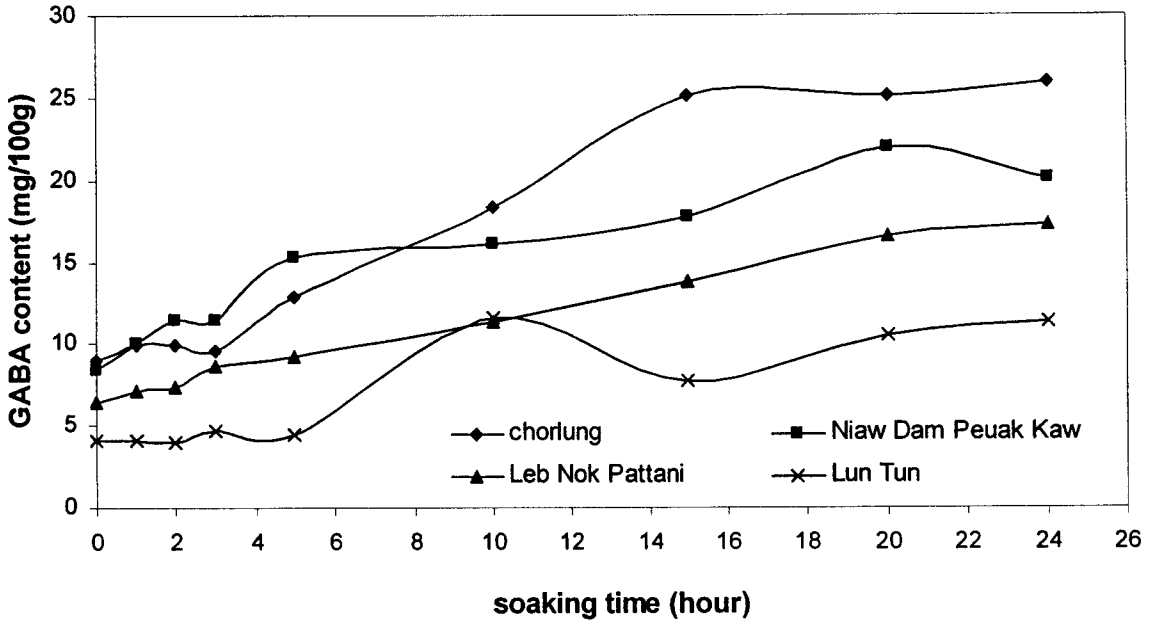
เป็นองค์ประกอบภายในเมล็ดข้าวมีผลต่อการดูดซึมน้ำและปริมาณความชื้นของเมล็ดข้าว เนื่องจากข้าวเหนียวมีอะไมโลเพคตินมากกว่าอะไมโลส อะไมโลเพคตินเป็นโพลีเมอร์เชิงกิ่ง ทำให้สามารถจับกับน้ำได้ดีกว่าอะไมโลสที่เป็นโพลีเมอร์เชิงเส้น (กล้าณรงค์, 2543) ดังนั้นจึงทำให้ความชื้นภายในเมล็ดของข้าวกล้องที่เป็นข้าวเหนียว(ข้าวเหนียวดำเปลือกขาวและเหนียวหลันตัน) มีค่าสูงกว่าข้าวกล้องที่เป็นข้าวเจ้า (รูปที่ 4.1) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาที่พบว่าความชื้นภายในเมล็ดข้าวเหนียวมีค่าสูงกว่าข้าวเจ้าหลังการแช่ (Benjamasuttkkul and Naivikul, 2007; Jiraporn, 2010)

ปริมาณความชื้นภายในเมล็ดหลังการแช่มีความสำคัญในการช่วยกระตุ้นให้เอนไซม์ที่อยู่ภายในเมล็ดทำงาน เพื่อทำให้เกิดกระบวนการงอกขึ้น (Rimsten, 2003) และความชื้นภายในเมล็ดที่เหมาะสมสำหรับการงอกของข้าวบาร์เลย์มีค่าเท่ากับ 39-44% (Haraldsson et al., 2004) โดยปกติข้าวกล้องงอกมีความชื้นอยู่ประมาณ 30-35% (Komatsuzaki et al., 2007) จากการศึกษาของ Benjamassuttikul และ Naivikul (2007) พบว่าระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการแช่ข้าวขาวดอกมะลิ 105 และข้าว กข6 เท่ากับ 5 ชั่วโมง ดังนั้นจากรูปที่ 4.1 สามารถสรุปได้ว่าระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการแช่ข้าวกล้องสายพันธุ์ต่างๆที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ 5 ชั่วโมง เนื่องจากเมื่อผ่านชั่วโมงที่ 5 ไปแล้ว ปริมาณความชื้นในตัวอย่างข้าวกล้องพันธุ์ต่างๆมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก



รูปที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณความชื้นของข้าวกล้องทั้ง 4 สายพันธุ์ ระหว่างการแช่ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้อง นาน 24 ชั่วโมง

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณ GABA ของข้าวกล้องงอกพันธุ์ต่างๆระหว่างการแช่ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้อง แสดงดังตารางที่ ข-2 ในภาคผนวก ข และรูปที่ 4.2 ปริมาณ GABA เริ่มต้นของข้าวกล้องแต่ละสายพันธุ์ ได้แก่ ช่อลุง เล็บนกปัตตานี เหนียวดำเปลือกขาว และเหนียวหลันตัน มีค่าเท่ากับ 8.72, 5.62, 7.66 และ3.61 มิลลิกรัม/100 กรัม (นน.แห้ง) ตามลำดับ และจากรูปจะเห็นว่าปริมาณ GABA มีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาในการแช่เพิ่มขึ้น โดยที่เวลา 24 ชั่วโมงหลังการแช่พบว่าปริมาณ GABA ในข้าวกล้องงอกแต่ละพันธุ์ ได้แก่ ช่อลุง เล็บนกปัตตานี เหนียวดำเปลือกขาว และเหนียวหลันตัน มีค่าเพิ่มสูงขึ้น 2.64, 2.67, 2.42 และ 2.81เท่า ตามลำดับ การเพิ่มขึ้นของ GABA เป็นผลเนื่องจากในระหว่างกระบวนการงอก เอนไซม์ต่างๆ ถูกกระตุ้นให้ทำงานจึงเกิดการย่อยสลายสารโมเลกุลใหญ่ให้มีขนาดโมเลกุลเล็กลง โดยโปรตีนจะถูกย่อยสลายเป็นเปปไทด์และกรดอะมิโน GABA เป็นกรดอะมิโนตัวหนึ่งที่มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นเมื่อนำข้าวมาเพาะให้งอกโดยการแช่น้ำ (Komatsuzaki et al., 2005) และเมื่อเพิ่มระยะเวลาการแช่ให้นานขึ้น ทำให้ GABA มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น (Komatsuzaki et al., 2007) โดยปริมาณ GABA ของข้าวพันธุ์ต่างๆ ได้แก่ พันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 พันธุ์ปทุมธานี 1 พันธุ์ชัยนาท 1 พันธุ์เหลืองประทิว 123 และพันธุ์ไผ่งาม มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วประมาณ 0.5-2.0 เท่า หลังการแช่น้ำ 2 ชั่วโมง และการเพิ่มเวลาที่แช่ให้นานขึ้น พบว่า GABA ก็ยังคงมีปริมาณเพิ่มขึ้น แต่เพิ่มในอัตราเร็วที่น้อยกว่าช่วงแรกของการแช่เมล็ดข้าว (Varanyanond et al., 2005) ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยครั้งนี้



รูปที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณ GABA ของข้าวกล้องทั้ง 4 สายพันธุ์ ระหว่างการแช่ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้อง นาน 24 ชั่วโมง

1.3 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณ GABA โดยใช้วิธีการทำให้งอกที่แตกต่างกัน

หลังจากเตรียมข้าวกล้องทั้ง 4 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ช่อลุง เล็กนกปัตตานี เหนียวดำเปลือกขาว เหนียวหลันตัน ด้วยวิธีต่างๆ (เพาะให้งอกโดยการแช่ในสารละลาย และการเพาะให้งอกในภาชนะเปิดและปิด) เพื่อใช้ในการศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อปริมาณ GABA ได้ผลดังนี้

1.3.1 การเพาะให้งอกด้วยการแช่ในสารละลาย

หลังจากนำตัวอย่างข้าวกล้องทั้ง 4 สายพันธุ์มาทำให้งอกโดยการแช่ในสารละลาย เพื่อหาสภาวะการแช่ที่เหมาะสมที่จะให้ GABA ในปริมาณที่สูงที่สุด ได้ผลการทดลองดังนี้

1.3.1.1 ผล pH ของสารละลายที่ใช้ระหว่างการแช่ข้าวกล้อง

หลังจากนำข้าวกล้องทั้ง 4 สายพันธุ์มาแช่ในสารละลายที่ pH ต่างๆ ได้แก่ Clark and Lubs solution (pH 2.0), Glycine-HCl buffer solution (pH 2.5) และ Citric acid -Na_2HPO_4 buffer (pH 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5 และ 6.0) แช่ในอัตราส่วนข้าวกล้องต่อสารละลาย เท่ากับ 1:2 ที่อุณหภูมิห้อง (30 ^{o}C) นาน 24 ชั่วโมง หลังจากครบเวลาที่กำหนดนำตัวอย่างข้าวกล้องงอกที่เตรียมได้มาวิเคราะห์ GABA ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผล pH ของสารละลายที่ใช้ระหว่างการแช่ข้าวกล้องพันธุ์ต่างๆต่อปริมาณ GABA

pH	สารละลาย/บัฟเฟอร์	ปริมาณ GABA* (มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่าง, นน.แห้ง)			
		ข้าวเจ้า		ข้าวเหนียว	
		ช่อลุง	เล็บนกปัตตานี	เหนียวดำเปลือกขาว	เหนียวหลันตัน
2	Clark and Lubs solution	21.16±1.40^{d}	14.85 ± 0.58^{c}	11.68 ± 3.77^{a}	15.73 ± 0.38^{c}
2.5	Glycine-HCl buffer solution	21.87 ± 0.85^{d}	19.49 ± 0.60^{d}	18.83 ± 0.91^{c}	7.02 ± 0.29^{a}
3.0	**Citric acid -Na_2HPO_4 buffer**	**32.72 ± 0.29^{g}**	**39.86 ± 0.24^{i}**	**33.32 ± 0.77^{h}**	**38.36 ± 1.06^{f}**
3.5	Citric acid -Na_2HPO_4 buffer	30.69 ± 0.61^{f}	36.09 ± 1.07^{h}	29.42 ±0.77^{g}	23.65 ± 0.94^{e}
4.0	Citric acid -Na_2HPO_4 buffer	29.69 ± 0.43^{f}	29.96 ±1.00^{g}	24.46 ± 0.21^{e}	22.70 ± 1.70^{e}
4.5	Citric acid -Na_2HPO_4 buffer	24.58± 0.74^{e}	27.06 ± 0.37^{f}	26.93 ±0.12^{f}	6.63 ± 0.38^{a}
5.0	Citric acid -Na_2HPO_4 buffer	19.63 ± 0.92^{c}	20.77 ± 0.67^{e}	21.62 ±0.45^{d}	12.16 ± 0.67^{b}
5.5	Citric acid -Na_2HPO_4 buffer	12.41 ± 1.02^{b}	12.79 ± 0.63^{b}	18.51±0.01^{b}	17.39± 0.96^{d}
6.0	Citric acid -Na_2HPO_4 buffer	9.88 ± 0.01^{a}	8.61 ± 0.31^{a}	16.22 ± 0 .17^{b}	10.76± 0.44^{b}

*ค่าเฉลี่ย±SD ของการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

$^{a,b,...}$= ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามด้วยอักษรที่แตกต่างกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p< 0.05$)

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณ GABA (ตารางที่ 4.2) พบว่าการแช่ข้าวกล้องในสารละลายที่มี pH ต่างๆกันทำให้ปริมาณ GABA ของข้าวกล้องงอกทั้ง 4 พันธุ์มีค่าแตกต่างกัน โดยพบว่า GABA ของข้าวทั้ง 4 สายพันธุ์มีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อ pH ของสารละลายมีค่าลดต่ำลง ($p<0.05$) แต่จะมากขึ้นจน pH มีค่าเท่ากับ 3.5 และหลังจากนั้นปริมาณ GABA ของข้าวทั้ง 4 สายพันธุ์มีค่าลดลง ($p<0.05$) และมีค่าต่ำที่สุดเมื่อสารละลายมี pH เท่ากับ 6.0 ทั้งนี้เนื่องจาก GABA เป็นสารที่เกิดขึ้นจากกระบวนการ decarboxylation ของกรดกลูตามิก (glutamic acid) โดยอาศัยเอนไซม์ glutamate decarboxylase (GAD) ซึ่ง pH ที่เหมาะสมที่เอนไซม์ดังกล่าวทำงานได้ดีคือ ที่ค่า pH ประมาณ 5.5 (Berry et al., 1999) แต่จากการศึกษาของ Alan และคณะ (1997) พบว่าการเพิ่มขึ้นของ GABA ขึ้นอยู่กับการเพิ่มของ H^+ และ Ca^+ เพราะในภาวะที่เป็นกรด H^+ สามารถกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ GAD ทำให้มีการเปลี่ยน glutamic acid ไปเป็น GABA ได้มากขึ้น จากเหตุผลดังกล่าวจึงทำให้ข้าวกล้องงอกที่แช่ในสารละลายที่มี pH ต่ำหรือมีความเป็นกรดสูงมีปริมาณ GABA สูงกว่าข้าวกล้องงอกที่แช่ในสารละลายที่มี pH สูงหรือมีความเป็นกรดต่ำ (ตารางที่ 4.2)

นอกจากนี้จากตารางที่ 4.2 จะเห็นว่าข้าวกล้องที่ผ่านการแช่ในสารละลายที่มี pH 3 มีปริมาณ GABA สูงกว่าข้าวกล้องที่แช่ในสารละลายอื่นๆในทุกๆสายพันธุ์ ($p<0.05$) โดยข้าวกล้องงอกพันธุ์ช่อลุง เล็บนกปัตตานี เหนียวดำเปลือกขาว และเหนียวหลันตัน มีปริมาณ GABA เท่ากับ 32.72, 39.86, 33.32 และ 38.36 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่าง (นน.แห้ง) ตามลำดับ ซึ่งปริมาณของ GABA ดังกล่าวเป็นปริมาณที่สูงที่สุดของการเพาะข้าวด้วยการแช่ในสารละลายที่ pH ต่างๆ ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับการศึกษาของ Charoenthaikij และคณะ (2009) ที่พบว่าการใช้ citrate buffer ที่มี pH = 3 แช่ข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 นาน 48 ชั่วโมงและแช่พันธุ์ กข6 นาน 24 ชั่วโมง จะทำให้ข้าวกล้องงอกที่ได้มีปริมาณ GABA สูงที่สุด (67 และ 30.69 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ) ดังนั้นจึงเลือกสารละลายที่มี pH เท่ากับ 3 เพื่อนำมาใช้ในการศึกษาต่อไป

1.3.1.2 ผลของอุณหภูมิระหว่างการแช่ข้าวกล้อง

นำข้าวกล้องงอกทั้ง 4 สายพันธุ์ มาทำให้งอกโดยแช่ในสารละลาย Citric acid -Na_2HPO_4 buffer ที่มี pH 3 จากผลข้อ 1.3.1. โดยใช้อัตราส่วนข้าวกล้องต่อสารละลาย เท่ากับ 1:2 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 30, 40 และ 50 $^{\circ}C$ หลังจากครบตามเวลาและนำตัวอย่างข้าวกล้องงอกที่เตรียมได้มาวิเคราะห์ GABA ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลของอุณหภูมิ ในระหว่างการแช่ข้าวกล้องพันธุ์ต่างๆ ต่อปริมาณ GABA

อุณหภูมิ (°C)	ปริมาณ GABA* (มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่าง, นน.แห้ง)			
	ข้าวเจ้า		ข้าวเหนียว	
	ช่อลุง	เล็บนกปัตตานี	เหนียวดำเปลือกขาว	เหนียวหลันตัน
30	27.13 ± 0.10[b]	17.59 ± 0.68[b]	24.86 ± 0.22[b]	43.41 ± 1.26[b]
40	**37.16 ± 0.05[c]**	**27.78 ± 0.09[c]**	**27.55 ±0.48[c]**	**50.49 ± 1.96[c]**
50	7.68 ± 0.37[a]	9.07 ± 0.07[a]	13.55 ± 0.15[a]	26.46 ± 1.17[a]

*ค่าเฉลี่ย±SD ของการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

[a,b,...]= ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามด้วยอักษรที่แตกต่างกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณ GABA (ตารางที่ 4.3) พบว่าเมื่อแช่ข้าวกล้องทั้ง 4 พันธุ์ในสารละลาย Citric acid -Na_2HPO_4 buffer (pH = 3) ที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน (30, 40 และ 50 °C) ทำให้ตัวอย่างมีปริมาณ GABA แตกต่างกัน ($p<0.05$) และการแช่ที่อุณหภูมิ 40°C ทำให้ข้าวกล้องทุกๆพันธุ์มีปริมาณ GABA สูงสุด ($p<0.05$) โดยข้าวกล้องงอกพันธุ์ช่อลุง เล็บนกปัตตานี เหนียวดำเปลือกขาว และเหนียวแดงหลันตัน มีปริมาณ GABA เท่ากับ 37.16, 27.78, 27.55 และ 50.49 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่าง (นน.แห้ง) ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.3 ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของจารุรัตน์ และคณะ (2550) ที่รายงานว่าการแช่ข้าวกล้องพันธุ์หอมมะลิ 105 ที่อุณหภูมิ 40 °C นาน 8 ชั่วโมง ทำให้มี GABA สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอื่นๆ (31.18 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง) นอกจากนี้มีหลายๆการศึกษาที่รายงานว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการการแช่ข้าว คือ 40 °C (Saikura et al., 1994; Varanyanond et al., 2005) ดังนั้นจึงเลือกอุณหภูมิ 40°C เป็นอุณหภูมิที่ใช้สำหรับการแช่ตัวอย่างข้าวกล้อง เพื่อใช้ในการทดสอบต่อไป

1.3.1.3 ผลของระยะเวลาระหว่างการแช่ของข้าวกล้อง

นำข้าวกล้องงอกทั้ง 4 สายพันธุ์ มาทำให้งอกโดยแช่ในสารละลาย Citric acid -Na_2HPO_4 buffer ที่มี pH 3 โดยใช้อัตราส่วนข้าวกล้องต่อสารละลาย เท่ากับ 1:2 ที่อุณหภูมิ 40 °C (จากผลข้อ 1.3.1.1 และ1.3.1.2) เป็นเวลา 12, 24, 36, 48 และ72 ชั่วโมง หลังจากครบตามเวลาและนำตัวอย่างข้าวกล้องงอกที่เตรียมได้มาวิเคราะห์ GABA ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.3

ตารางที่ 4.4 ผลของระยะเวลาในระหว่างการแช่ข้าวกล้องพันธุ์ต่างๆ ต่อปริมาณ GABA

เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณ GABA* (มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่าง, นน.แห้ง)			
	ข้าวเจ้า		ข้าวเหนียว	
	ช่อลุง	เล็บนกปัตตานี	เหนียวดำเปลือกขาว	เหนียวหลันตัน
0	9.97±0.98[a]	6.45±1.45[a]	8.83±0.41[a]	4.07±0.02[a]
12	17.07 ± 0.68[b]	19.63± 0.84[b]	6.83± 0.74[a]	22.99±1.02[b]
24	31.05 ± 0.60[c]	24.28± 0.01[c]	30.02± 0.62[b]	29.89±1.12[c]
36	50.78 ± 0.57[d]	46.51± 0.31[d]	51.60± 0.57[c]	35.52±0.95[e]
48	**75.03 ± 0.40[e]**	**53.53±0.67[e]**	**60.03± 0.70[d]**	**32.61±1.94[d]**
72	93.34 ± 0.10[f]	92.78±0.44[f]	108.80± 0.09[e]	37.11±0.20[e]

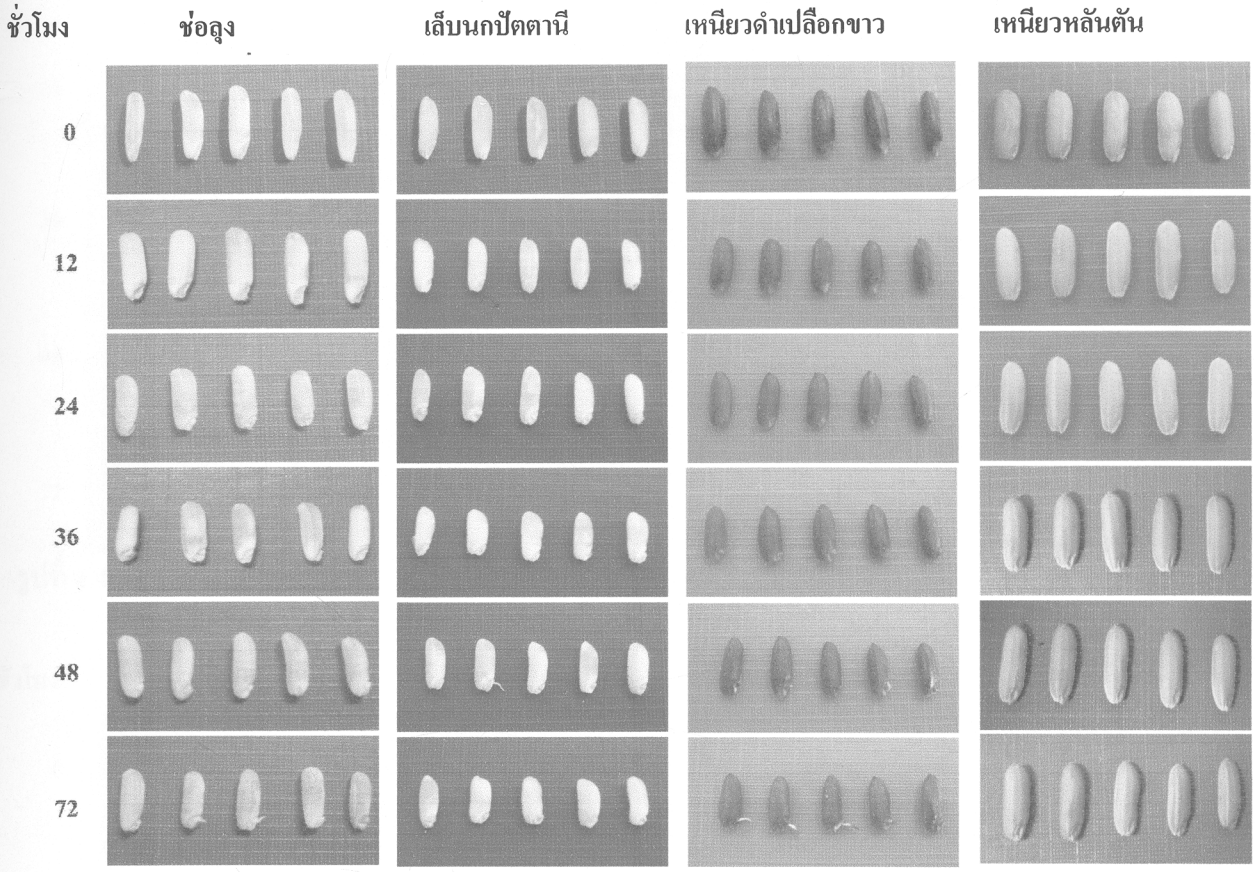
*ค่าเฉลี่ย±SD ของการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

[a,b,...] = ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามด้วยอักษรที่แตกต่างกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$)

จากตารางที่ 4.4 พบว่าเมื่อแช่ตัวอย่างนานขึ้น ทำให้ตัวอย่างมีปริมาณ GABA เพิ่มสูงขึ้น ($p<0.05$) และ GABA ของข้าวกล้องงอกทั้ง 4 สายพันธุ์มีปริมาณสูงที่สุดเมื่อแช่นาน 72 ชั่วโมง ข้าวพันธุ์ช่อลุง เล็บนกปัตตานี เหนียวดำเปลือกขาว และเหนียวหลันตัน มีปริมาณ GABA เพิ่มสูงขึ้น เท่ากับ 9.36, 14.38, 12.32 และ 9.12 เท่าหลังจากเพาะให้งอก ซึ่งสอดคล้องกับหลายๆการศึกษาที่รายงานว่าการเพิ่มระยะเวลาการงอกให้นานขึ้น ปริมาณ GABA เพิ่มมากขึ้น (Saikura et al., 1994; Varanyanond et al., 2005; Komatsuzaki et al., 2007; Chung et al., 2009; Jiraporn, 2010) ทั้งนี้เนื่องจากระหว่างการแช่น้ำในสภาวะที่เหมาะสมเพื่อทำให้เกิดการงอก จะมีการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีเกิดขึ้น โดยเอนไซม์ต่างๆจะถูกกระตุ้นให้ทำงาน จึงมีการย่อยสลายของสารที่มีโมเลกุลใหญ่ให้มีขนาดของโมเลกุลที่เล็กลง โปรตีนจะถูกย่อยเป็นกรดอะมิโนและเปปไทด์ (Veluppillali et al., 2009) และ GABA เป็นกรดอะมิโนตัวหนึ่งที่มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นหลังจากทำให้เมล็ดข้าวงอก (Varanyanond et al., 2005; Komatsuzaki et al., 2007; Chung et al., 2009)

อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าการแช่ข้าวกล้องพันธุ์ต่างๆ นาน 72 ชั่วโมงจะให้ปริมาณ GABA สูงที่สุด แต่ตัวอย่างข้าวกล้องงอกดังกล่าวมีกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ ซึ่งเกิดจากการหมักของเชื้อจุลินทรีย์ (มีการเปลี่ยนสารละลายที่แช่ทุกๆ 12 ชั่วโมง) และการวิจัยครั้งนี้ต้องใช้ข้าวกล้องงอกเป็นวัตถุดิบหลักสำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ การเลือกใช้ตัวอย่างข้าวกล้องงอกที่เพาะนาน 72 ชั่วโมงจึงไม่เหมาะสมเนื่องจากอาจทำให้ผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาขึ้นมีกลิ่นที่ผู้บริโภคไม่สามารถยอมรับได้ ดังนั้นข้าวกล้องงอกที่เหมาะสมสำหรับการวิจัยครั้งนี้ คือ ข้าวกล้องงอกที่เพาะจากการแช่นาน 48 ชั่วโมง

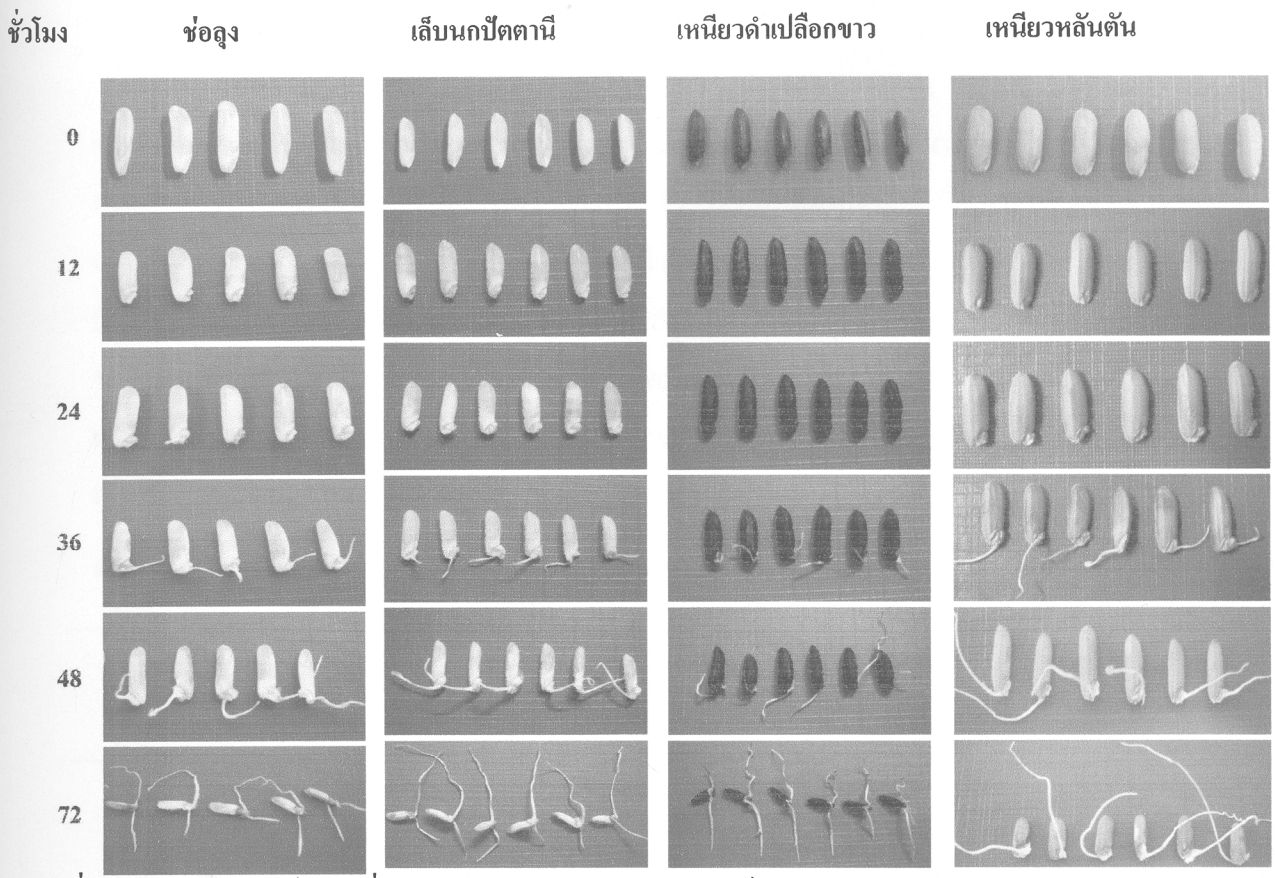
ดังนั้นจากผลการทดลองที่ได้จากข้อ 1.3.1.1-1.3.1.3 สามารถสรุปสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเพาะด้วยวิธีการแช่ในสารละลาย ที่ทำให้ได้ GABA ในปริมาณสูง ดังนี้ แช่ในสารละลาย Citric acid - Na_2HPO_4 buffer (pH = 3) โดยใช้อัตราส่วนข้าวกล้องต่อสารละลาย เท่ากับ 1:2 ที่อุณหภูมิ 40 °C แช่นาน 48 ชั่วโมง และจากสภาวะการเพาะดังกล่าว พบว่าข้าวพันธุ์ช่อลุงมีปริมาณ GABA ที่สูงที่สุด ($p<0.05$)



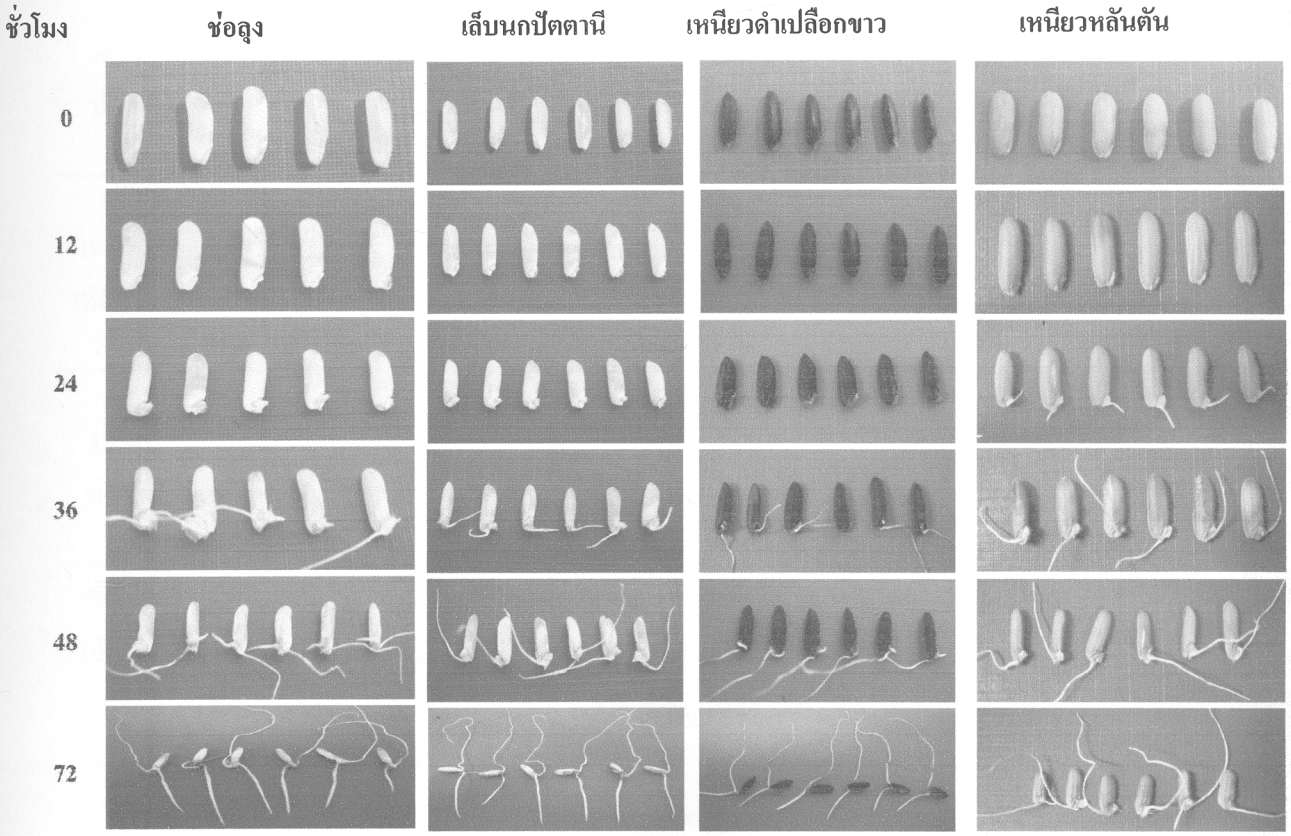
รูปที่ 4.3 ข้าวกล้องพันธุ์ต่างๆที่เพาะให้งอกด้วยการแช่ในสารละลาย Citric acid -Na_2HPO_4 buffer ที่ pH 3 โดยใช้อุณหภูมิ 40 °C ที่เวลาต่างๆ

1.3.2 การเพาะให้งอกในภาชนะเปิดและปิด

หลังจากนำตัวอย่างข้าวกล้องทั้ง 4 สายพันธุ์ มาแช่ในสารละลาย Citric acid -Na_2HPO_4 buffer ที่มี pH = 3 นาน 5 ชั่วโมงและนำมาเพาะให้งอกในภาชนะเปิดและภาชนะปิด โดยเพาะที่อุณหภูมิห้อง (30±2°C) และใช้เวลาในการเพาะต่างๆ ดังนี้ 12, 24, 36, 48 และ 72 ชั่วโมง ตัวอย่างข้าวกล้องทั้ง 4 สายพันธุ์ที่เพาะได้มีลักษณะแสดงดังรูปที่ 4.4 และ 4.5 ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อระยะเวลาในการเพาะนานขึ้นจะมีการเจริญของรากต้นอ่อนเพิ่มสูงขึ้น การเจริญของรากต้นอ่อนจะเกิดบริเวณจมูกข้าวโดยพบว่าเมล็ดข้าวกล้องจะเริ่มมีปมรากงอกยาวออกมาประมาณ 0.5-1 มิลลิเมตรเมื่อเพาะไว้นานประมาณ 24 ชั่วโมง และเมื่อระยะเวลาการเพาะนานขึ้นจะเห็นว่ามีการเจริญของรากเพิ่มมากขึ้น โดยหลังจาก 72 ชั่วโมงจะพบว่ารากของตัวอย่างข้าวกล้องงอกทั้ง 4 สายพันธุ์ยาวมากกว่า 1 เซนติเมตร (ดังรูปที่ 4.4 และ 4.5)



รูปที่ 4.4 ข้าวกล้องพันธุ์ต่างๆที่เพาะให้งอกในภาชนะเปิด (ตะกร้า)



รูปที่ 4.5 ข้าวกล้องพันธุ์ต่างๆที่เพาะให้งอกในภาชนะปิด (กล่องพลาสติกมีฝาปิด)

เมื่อนำตัวอย่างข้าวกล้องที่เพาะได้ไปวิเคราะห์ปริมาณ GABA ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4.5 ซึ่งพบว่าเมื่อปล่อยให้ข้าวกล้องมีระยะเวลาการงอกที่นานขึ้น จะทำให้ปริมาณ GABA มีค่าเพิ่มสูงขึ้นจากทั้งการเพาะโดยใช้ภาชนะเปิดและภาชนะปิด ($p<0.05$) ซึ่ง GABA มีค่าสูงที่สุดเมื่อเพาะนาน 72 ชั่วโมง และการเพาะข้าวกล้องทั้ง 4 สายพันธุ์ในภาชนะปิดจะทำให้ได้ปริมาณ GABA สูงกว่าการเพาะในภาชนะเปิด ($p<0.05$) โดยปริมาณ GABA ของข้าวกล้องทั้ง 4 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ช่อลุง เล็บนกปัตตานี เหนียวดำเปลือกขาว และเหนียวหลันตัน ที่เพาะโดยใช้ภาชนะเปิดที่เวลา 72 ชั่วโมง มีค่าสูงกว่าข้าวกล้องก่อนเพาะ เท่ากับ 9.21, 15.48, 10.47 และ 21.31 เท่า ตามลำดับ ในขณะที่การเพาะในภาชนะปิดมีค่าสูงกว่าข้าวกล้องก่อนเพาะเท่ากับ 10.84, 11.14, 14.04 และ 25.62 เท่า ตามลำดับ

ตารางที่ 4.5 ปริมาณ GABA ของข้าวกล้องพันธุ์ต่างๆเมื่อเพาะด้วยวิธีต่างๆ

ตัวอย่างข้าว	สภาวะในการเพาะ**	ปริมาณ GABA* (มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่าง, นน.แห้ง)				
		12 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง	36 ชั่วโมง	48 ชั่วโมง	72 ชั่วโมง
ช่อลุง	ภาชนะเปิด	19.16 ± 0.08^{aB}	21.54 ± 0.11^{bA}	31.73 ± 0.77^{cA}	41.11 ± 0.47^{dA}	91.86 ± 0.57^{eA}
	ภาชนะปิด	19.98 ± 0.38^{aB}	23.62 ± 0.15^{bB}	32.97 ± 0.07^{cB}	48.76 ± 0.74^{dB}	108.18 ± 0.23^{eC}
	แช่ในสารละลาย	17.07 ± 0.68^{aA}	31.05 ± 0.60^{bC}	50.78 ± 0.57^{cC}	75.03 ± 0.40^{dC}	93.34 ± 0.10^{eB}
เล็บนกปัตตานี	ภาชนะเปิด	19.23 ± 0.41^{aA}	22.09 ± 0.32^{bA}	26.71 ± 0.05^{cA}	33.55 ± 0.63^{dA}	99.87 ± 0.67^{eC}
	ภาชนะปิด	20.39 ± 0.49^{aA}	25.71 ± 0.53^{bC}	29.61 ± 0.15^{cB}	35.98 ± 0.74^{dB}	71.85 ± 0.77^{eA}
	แช่ในสารละลาย	19.63 ± 0.84^{aA}	24.28 ± 0.01^{bB}	46.51 ± 0.31^{cC}	53.53 ± 0.67^{dC}	92.78 ± 0.44^{eB}
เหนียวดำเปลือกขาว	ภาชนะเปิด	19.71 ± 0.42^{aB}	23.60 ± 0.18^{bA}	28.62 ± 0.20^{cA}	54.70 ± 0.55^{dB}	92.48 ± 0.70^{eA}
	ภาชนะปิด	21.12 ± 0.55^{aC}	24.38 ± 0.18^{bB}	37.58 ± 0.80^{cB}	52.56 ± 0.38^{dA}	123.99 ± 0.02^{eC}
	แช่ในสารละลาย	6.83 ± 0.74^{aA}	30.02 ± 0.62^{bC}	51.60 ± 0.57^{cC}	60.03 ± 0.70^{dC}	108.80 ± 0.09^{eB}
เหนียวหลันตัน	ภาชนะเปิด	22.13 ± 0.56^{aEF}	29.28 ± 1.15^{bA}	41.61 ± 0.19^{cB}	84.19 ± 3.09^{dB}	86.72 ± 0.69^{dB}
	ภาชนะปิด	20.32 ± 1.47^{aBC}	29.54 ± 0.96^{bA}	44.99 ± 0.52^{cB}	94.91 ± 3.69^{dC}	104.26 ± 3.55^{eC}
	แช่ในสารละลาย	22.99 ± 1.02^{aC}	29.89 ± 1.12^{bA}	35.52 ± 0.95^{dA}	32.61 ± 1.94^{cA}	37.11 ± 0.20^{dA}

*ค่าเฉลี่ย±SD ของการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ, ** แช่ในสารละลาย หมายถึง แช่ในสารละลาย Citric acid -Na_2HPO_4 buffer ที่ pH 3 (อัตราส่วนข้าว: น้ำ = 1:2) โดยใช้อุณหภูมิ 40 °C และการเพาะในภาชนะเปิดและภาชนะปิด หมายถึง การแช่ตัวอย่างในสารละลาย Citric acid -Na_2HPO_4 buffer ที่มี pH = 3 ที่อุณหภูมิห้อง นาน 5 ชั่วโมง ก่อนนำมาเพาะในภาชนะเปิด (ไม่มีฝาปิด) และภาชนะปิด (มีฝาปิด) ที่อุณหภูมิห้อง

$^{a, b, ...}$ = ค่าเฉลี่ยในแนวนอนของข้าวสายพันธุ์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรที่แตกต่างกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$)

$^{A, B, ...}$ = ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งของข้าวสายพันธุ์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรที่แตกต่างกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$)

อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าการเพาะข้าวกล้องพันธุ์ทั้ง 4 สายพันธุ์ในภาชนะเปิดและภาชนะปิดนาน 72 ชั่วโมงจะให้ปริมาณ GABA ที่สูงที่สุด แต่ตัวอย่างข้าวกล้องงอกดังกล่าวก็มีกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ ที่เกิดจากการหมักของเชื้อจุลินทรีย์ และมีการปนเปื้อนของเชื้อรา ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Jiraporn (2010) ที่พบว่าหากใช้ระยะเวลาในการเพาะข้าวในภาชนะเปิดและภาชนะปิดนานกว่า 48 ชั่วโมงจะทำให้ข้าวกล้องงอกที่ได้มีกลิ่นหมักและมีเชื้อราเกิดขึ้น นอกจากนี้การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่จากข้าวกล้องงอกด้วย จึงไม่เหมาะที่จะนำข้าวกล้องงอกที่เพาะนาน 72 ชั่วโมงมาใช้เป็นวัตถุดิบในการทำผลิตภัณฑ์ ดังนั้นระยะเวลาที่เหมาะสมการเพาะข้าวกล้องโดยใช้ภาชนะเปิดและภาชนะปิดสำหรับการวิจัยนี้ คือ เพาะนาน 48 ชั่วโมง แต่จากตารางที่ 4.5 จะเห็นว่าการเพาะในภาชนะปิดจะให้ปริมาณ GABA ที่สูงกว่าการเพาะในภาชนะเปิด ($p<0.05$)

นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบปริมาณ GABA ของข้าวกล้องงอกแต่ละสายพันธุ์ ที่เวลาการเพาะ 48 ชั่วโมง (ตาราง 4.5) พบว่าการใช้วิธีการเพาะที่แตกต่างกัน ทำให้ปริมาณ GABA ของข้าวกล้องงอกแต่ละสายพันธุ์มีค่าแตกต่างกัน ($p<0.05$) สำหรับข้าวกล้องพันธุ์ช่อลุง เล็บนกปัตตานี และเหนียวดำเปลือกขาว พบว่าเมื่อเพาะโดยการแช่ในสารละลาย (Citric acid -Na_2HPO_4 buffer pH = 3) ให้ปริมาณ GABA สูงที่สุด ส่วนวิธีเพาะที่ให้ปริมาณ GABA รองลงมา คือการเพาะโดยการใช้ภาชนะปิดและภาชนะเปิด ตามลำดับ ในขณะที่ข้าวเหนียวหลันตัน เมื่อเพาะโดยการใช้ภาชนะปิดจะทำให้มีปริมาณ GABA สูงที่สุด ส่วนวิธีเพาะที่ให้ปริมาณ GABA รองลงมา คือ เพาะโดยการแช่ในสารละลาย และเพาะในภาชนะเปิด ตามลำดับ ดังนั้นวิธีการเพาะที่เหมาะสมสำหรับข้าวกล้องแต่ละสายพันธุ์ ที่ให้ปริมาณ GABA สูงสุด สามรถสรุปได้ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 สภาวะการเพาะที่ให้ GABA สูงที่สุดของข้าวพันธุ์ต่างๆ

ตัวอย่างข้าว	ประเภท	สภาวะการเพาะที่ให้ GABA สูงที่สุด
ช่อลุง	ข้าวเจ้า	เพาะด้วยวิธีการแช่ในสารละลาย Citric acid -Na_2HPO_4 buffer ที่ pH 3 โดยใช้อัตราส่วนข้าว:น้ำ เท่ากับ 1:2 และแช่ที่อุณหภูมิ 40 ^{o}C นาน 48 ชั่วโมง
เล็บนกปัตตานี		เพาะด้วยวิธีการแช่ในสารละลาย Citric acid -Na_2HPO_4 buffer ที่ pH 3 โดยใช้อัตราส่วนข้าว:น้ำ เท่ากับ 1:2 และแช่ที่อุณหภูมิ 40 ^{o}C นาน 48 ชั่วโมง
เหนียวดำเปลือกขาว	ข้าวเหนียว	เพาะด้วยวิธีการแช่ในสารละลาย Citric acid -Na_2HPO_4 buffer ที่ pH 3 โดยใช้อัตราส่วนข้าว:น้ำ เท่ากับ 1:2 และแช่ที่อุณหภูมิ 40 ^{o}C นาน 48 ชั่วโมง
เหนียวหลันตัน		เพาะให้งอกในภาชนะปิด (โดยแช่ในสารละลาย Citric acid -Na_2HPO_4 buffer ที่ pH 3 โดยใช้อัตราส่วนข้าว:น้ำ เท่ากับ 1:2 นาน 5 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำมาเพาะต่อในกล่องพลาสติกที่มีฝาปิด ที่อุณหภูมิห้อง (30±2^{o}C) นาน 48 ชั่วโมง)

1.4 สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและกิจกรรมการต้านออกซิเดชั่นของข้าวกล้องงอก

เตรียมตัวอย่างข้าวกล้องงอกทั้ง 4 สายพันธุ์ตามสภาวะการเพาะที่แสดงในตารางที่ 4.6 เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ต่างๆ ดังนี้

1.4.1 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวกล้องงอก

องค์ประกอบทางเคมีของข้าวกล้องงอก (ที่เพาะตามวิธีที่แสดงในตารางที่ 4.6) มีค่าดังแสดงในตารางที่ 4.7 พบว่าข้าวกล้องงอกทุกสายพันธุ์มีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก โดยมีค่าตั้งแต่ 86.97-91.18% สำหรับปริมาณเถ้า ไขมัน และโปรตีนของข้าวกล้องงอกทุกสายพันธุ์ มีค่าตั้งแต่ 1.05-1.52%, 2.78-3.88% และ 4.76-7.68% ตามลำดับ การงอกเป็นกระบวนการหนึ่งที่ช่วยปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการและคุณภาพของเมล็ดข้าว เนื่องจากกระบวนการงอกช่วยกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีภายในเมล็ดข้าว (Veluppillali et al., 2009) และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารอาหารของข้าวกล้องงอกกับข้าวกล้อง (ตารางที่ 4.7) พบว่าปริมาณเถ้า ไขมันและคาร์โบไฮเดรตในข้าวกล้องงอกทุกสายพันธุ์มีค่าเพิ่มสูงขึ้น ยกเว้นโปรตีนที่มีปริมาณลดต่ำลง ($p<0.05$) ในทุกสายพันธุ์ ซึ่งการเพิ่มขึ้นของปริมาณสารอาหารต่างๆ ก็สอดคล้องกับงานวิจัยหลายๆฉบับที่รายงานว่าการงอกช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้กับเมล็ดข้าว (Jung et al., 2005; Ohtsubo et al., 2005; Lee at al., 2008; Jiraporn, 2010; Moongngarm and Saetung, 2010) ในขณะที่ผลการลดลงของปริมาณโปรตีนดังกล่าวสอดคล้องกับการทดลองของ Veluppillali et al (2009) และ Mohan et al (2010) ที่พบว่ากระบวนการงอกมีผลทำให้ปริมาณโปรตีนทั้งหมด (total protein) ในข้าวกล้องลดลง ($p < 0.05$) เนื่องจากระดับของเอนไซม์โปรติเอส มีค่าเพิ่มสูงขึ้น ($p < 0.05$) รวมถึงโปรตีนที่ละลายน้ำได้มีปริมาณลดลงจาก 7.24 เป็น 3.89 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) เมื่อปล่อยทิ้งไว้ให้งอกนาน 2 วัน (Veluppillali et al., 2009) ประกอบกับในกระบวนการผลิตข้าวกล้องงอกตามวิธีที่แสดงในภาคผนวก ง มีการล้างด้วยน้ำหลายครั้ง อาจจะทำให้มีการสูญเสียโปรตีนที่ละลายน้ำได้ไปกับขั้นตอนการล้าง จึงทำให้ปริมาณโปรตีนในข้าวกล้องงอกมีค่าที่ต่ำกว่าข้าวกล้อง ($p<0.05$) (ตารางที่ 4.7)

ตารางที่ 4.7 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวกล้องและข้าวกล้องงอกพันธุ์ต่างๆ

พันธุ์ข้าว	สภาวะ	องค์ประกอบ* (%, นน.แห้ง)			
		เถ้า	ไขมัน	โปรตีน	คาร์โบไฮเดรต
ช่อลุง	ก่อนงอก	0.51 ±0.03[a]	2.64 ±0.12 [b]	11.54±0.08[b]	85.31± 0.13[a]
	หลังงอก**	1.11±0.03[b]	2.78 ±0.03 [b]	6.05±0.55[a]	90.06±0.57[b]
เล็บนกปัตตานี	ก่อนงอก	0.54±0.01[a]	2.05±0.12[a]	8.98±0.08[b]	88.43± 0.15[a]
	หลังงอก**	1.05±0.02[b]	3.00±0.29[b]	4.76±0.33[a]	91.18±0.53[b]
เหนียวดำเปลือกขาว	ก่อนงอก	0.48±0.01[a]	3.47±0.01[a]	11.61±0.15[b]	84.43± 0.15[a]
	หลังงอก**	1.48±0.01[b]	3.88±0.05[b]	7.68±0.13[a]	86.97±0.09[b]
เหนียวหลันตัน	ก่อนงอก	1.44±0.03[a]	3.11±0.03[a]	9.09±0.04[b]	86.36± 0.03[a]
	หลังงอก**	1.52±0.07[b]	3.10±0.03[a]	7.56±0.42[a]	87.81±0.42[b]

* ค่าเฉลี่ย±SD ของการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ, **เพาะให้งอกตามสภาวะที่สรุปไว้ในตาราง 4.6

[a,b,...]= ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งของข้าวสายพันธุ์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรที่แตกต่างกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$)

1.4.1 ปริมาณ Gamma-oryzanol

ผลการวิเคราะห์ปริมาณ γ-Oryzanol ของข้าวกล้องและข้าวกล้องงอกทั้ง 4 สายพันธุ์ ดังแสดงในตารางที่ 4.8 แสดงในรูปของสารที่เป็นองค์ประกอบหลัก 4 ตัว คือ cycloartenol, 24-methylencycloartenol, campesterol และ sitosterol (Miller และคณะ, 2006) และจากการวิเคราะห์ปริมาณ γ-Oryzanol ในรำข้าวด้วยเครื่อง HPLC พบว่ามี peak ที่สามารถวัดค่าได้มี 4 ตัว คือ cycloartenyl ferulate, 24-methylene cycloartanyl ferulate, campesteryl ferulate และsitosteryl ferulate (Azrina et al., 2008)

จากผลการทดลอง (ตารางที่ 4.8) พบว่าปริมาณ γ-Oryzanol ในข้าวกล้องและข้าวกล้องงอกของข้าวเหนียวทั้ง 2 สายพันธุ์มีค่าสูงกว่าข้าวเจ้าทั้ง 2 สายพันธุ์ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Manuswarakul และคณะ (2003) ที่พบว่าข้าวเหนียวดำมีปริมาณ γ-Oryzanol สูงที่สุด รองลงมา คือ ข้าวเหนียวที่มีเปลือกหุ้มเมล็ดสีขาวและข้าวเจ้า ตามลำดับ นอกจากนั้นปริมาณ γ-Oryzanol ของตัวอย่างข้าวกล้องส่วนใหญ่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงหลังจากการเพาะนาน 48 ชั่วโมง ยกเว้นปริมาณของสาร 24- methylencycloartenol ในข้าวกล้องงอกพันธุ์ช่อลุง และปริมาณของสาร campesterol ในข้าวกล้องงอกพันธุ์เหนียวดำเปลือกขาวและเหนียวหลันตัน รวมถึงปริมาณของสาร sitosterol ในข้าวกล้องงอกพันธุ์เหนียวดำเปลือกขาวที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นหลังจากเพาะนาน 48 ชั่วโมง ($p<0.05$) ในขณะที่ปริมาณของสาร cycloartenol และ 24- methylencycloartenol มีค่าลดลง ($p<0.05$) ดังแสดงผลในตารางที่ 4.8 ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Ohtsubo และคณะ (2005) ที่

พบว่าปริมาณของ γ-Oryzanol ในข้าวกล้องหลังเพาะไม่แตกต่างจากข้าวกล้องก่อนเพาะ เช่นเดียวกับการศึกษาของ King และคณะ (2009) ที่ศึกษาผลของกระบวนการงอกที่มีต่อปริมาณ γ-Oryzanol ของข้าวพันธุ์พื้นเมืองของรัฐซาราวัก ประเทศมาเลเซีย พบว่า ข้าวกล้องพันธุ์ Sabak, Silah และ Hitam มีปริมาณ γ-Oryzanol เพิ่มขึ้นเล็กน้อยหลังจากการเพาะนาน 24 ชั่วโมง ในขณะที่ข้าวกล้องพันธุ์ Chelum, Biris, Boria, Udang Halus และ Mamut มีปริมาณ γ-Oryzanol ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวกล้องก่อนเพาะ

ตารางที่ 4.8 ปริมาณ Gamma-oryzanol ในข้าวกล้องงอกสายพันธุ์ต่างๆซึ่งเพาะจากสภาวะที่ให้ GABA สูงสุดที่เวลาต่างๆ

ข้าวกล้องงอก**	ชั่วโมงการแช่ (ชม)	ปริมาณ γ-Oryzanol* (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง, นน.แห้ง)			
		cycloartenol	24- methylencycloartenol	campesterol	sitosterol
ช่อลุง	0	36.68 ±1.61^{b}	71.89±1.31^{a}	72.04±1.83^{b}	85.60±12.98^{a}
	36	32.32±2.37^{a}	71.93±4.74^{a}	63.66±4.72^{a}	90.03±6.22^{a}
	48	34.55±0.92^{ab}	80.90±1.59^{b}	72.70±4.09^{b}	99.43±2.90^{a}
เล็บนกปัตตานี	0	22.24±1.31^{b}	66.90±1.32^{c}	65.26±5.62^{b}	91.83±19.16^{a}
	36	16.11±1.09^{a}	52.75±1.92^{b}	47.19±3.17^{a}	74.45±3.76^{a}
	48	15.92±1.86^{a}	45.84±2.23^{a}	67.24±3.76^{b}	72.77±4.91^{a}
เหนียวดำเปลือกขาว	0	78.52±11.17^{a}	45.37±7.15^{a}	92.56±15.11^{a}	116.91±19.17^{a}
	36	89.38±4.34^{a}	49.52±2.49^{a}	101.96±1.68^{ab}	145.70±18.54^{ab}
	48	91.05±10.07^{a}	52.70±4.15^{a}	116.92±9.79^{b}	159.59±19.49^{b}
เหนียวหลันตัน	0	61.07±2.12^{a}	70.82±3.30^{a}	72.82±3.58^{a}	119.87±6.69^{a}
	36	66.31±2.64^{b}	78.64±2.58^{b}	110.70±3.87^{b}	135.15±3.65^{b}
	48	61.70±2.33^{ab}	73.80±2.27^{ab}	100.00±9.45^{b}	125.97±3.37^{ab}

* ค่าเฉลี่ย±SD ของการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ, **เพาะให้งอกตามสภาวะที่สรุปไว้ในตาราง 4.6

$^{a, b,...}$ = ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งของข้าวสายพันธุ์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรที่แตกต่างกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$)

อย่างไรก็ตามมีรายงานวิจัยที่พบว่าหลังจากการเพาะให้งอก γ-Oryzanol มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น โดย Jiamyangyuen (2006) พบว่าการแช่ข้าวกล้องแดงและข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ในน้ำเป็นเวลา 6 ชั่วโมงและนำมาเพาะให้งอก ทำให้ปริมาณ γ-Oryzanol มีค่าเพิ่มสูงขึ้น 1.3-1.5 เท่าเมื่อเทียบกับตัวอย่างก่อน

เพาะ ในขณะที่ Sungsopha และคณะ (2009) รายงานว่าหลังจากการเพาะให้งอก γ-Oryzanol มีค่าเพิ่มสูงขึ้น 29.31% เมื่อเทียบกับตัวอย่างก่อนเพาะ จากผลการทดลองครั้งนี้สามารถสรุปได้ว่าระยะเวลาที่ใช้ในการเพาะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ γ-Oryzanol ของข้าวกล้องทั้ง 4 สายพันธุ์

1.4.2 ปริมาณ Phytate

ผลการวิเคราะห์ปริมาณ phytate ของข้าวกล้องและข้าวกล้องงอกทั้ง 4 สายพันธุ์ แสดงดังตารางที่ 4.9 ซึ่งพบว่าปริมาณ phytate ของข้าวกล้องมีค่าตั้งแต่ 486.15-840.44 มิลลิกรัม/100 กรัม (นน.แห้ง) phytate หรือ Phytic acid (myoinositol hexaphosphate, IP6) เป็นสารประกอบฟอสฟอรัสที่มีในเมล็ดพืชเป็นส่วนใหญ่ ปริมาณ phytate ของเมล็ดข้าวจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับระดับของการขัดสี โดยปกติแล้วข้าวกล้องจะมีปริมาณ phytate ที่สูงกว่าข้าวขัดข้าว (Ravindean et al., 1994) จากตารางที่ 4.9 พบว่าปริมาณ phytate ของข้าวกล้องทั้ง 4 สายพันธุ์ มีค่าลดลงประมาณ 41-63% หลังจากเพาะนาน 48 ชั่วโมง ซึ่งผลการทดลองที่ได้ก็สอดคล้องกับการศึกษาที่พบว่ากระบวนการงอกทำให้ปริมาณ phytateในเมล็ดข้าวลดลง โดย Lee และคณะ (2007) วิเคราะห์ปริมาณ Phytate จากตัวอย่างข้าว Goami2, Keunnun และ Heugkwang ก่อนแช่ข้าว มีค่า 608, 987 และ 908 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง ตามลำดับ และเมื่อผ่านการแช่น้ำ 72 ชั่วโมงแล้ว มีค่าเท่ากับ 538, 638 และ 623 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง ตามลำดับ เช่นเดียวกันกับ Liang และคณะ (2008) ที่พบว่า phytate จะมีค่าลดลง 60% เมื่อเพาะข้าวกล้องพันธุ์ Kenjian 90-31 (ข้าวของประเทศจีน)ที่อุณหภูมิ 30 °C นาน 72 ชั่วโมง ในขณะที่ Khampang และคณะ (2009) รายงานว่าเมื่อแช่ข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ในน้ำที่อุณหภูมิ 25 °C นาน 48 ชั่วโมง โดยที่น้ำมีค่า pH เท่ากับ 5.5 และ 6.5 จะทำให้ปริมาณ phytate ลดลง 3.47% และ 5.27% ตามลำดับ

ตารางที่ 4.9 ปริมาณ phytate ของข้าวกล้องงอกสายพันธุ์ต่างๆซึ่งเพาะจากสภาวะที่ให้ GABA สูงสุด ที่เวลาต่างๆ

ข้าวกล้องงอก**	ประเภท	ปริมาณ phytate* (มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่าง, นน.แห้ง)			ปริมาณ phytate ที่ลดลง (%)
		0 ชม	36 ชม	48 ชม	
ช่อลุง	ข้าวเจ้า	840.44±36.35^{c}	672.67±31.07^{b}	493.74±27.38^{a}	41.25
เล็บนกปัตตานี		780.50±63.89^{c}	526.38±39.09^{b}	419.88±33.62^{a}	46.20
เหนียวดำเปลือกขาว	ข้าวเหนียว	707.33±65.52^{c}	558.13±13.15^{b}	404.06±24.28^{a}	42.88
เหนียวหลันตัน		486.15±6.42^{c}	267.25±21.55^{b}	178.45±27.87^{a}	63.29

* ค่าเฉลี่ย±SD ของการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ, **เพาะให้งอกตามสภาวะที่สรุปไว้ในตาราง 4.6

$^{a, b, ...}$ = ค่าเฉลี่ยในแนวนอนของข้าวสายพันธุ์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรที่แตกต่างกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$)

นอกจากนี้จากผลการทดลอง (ตารางที่ 4.9) ยังพบว่าปริมาณ phytate ของข้าวกล้องงอกทั้ง 4 สายพันธุ์ที่เพาะนาน 48 ชั่วโมงมีค่าที่น้อยกว่าตัวอย่างข้าวกล้องที่เพาะนาน 36 ชั่วโมง ($p<0.05$) และผลดังกล่าวก็สอดคล้องกับหลายๆการศึกษาที่พบว่าการใช้ระยะเวลาในการเพาะที่นานขึ้นยิ่งจะทำให้ phytate มีค่าลดต่ำลง (Moong-ngarm, 2005;Liang et al., 2008) ซึ่งการลดลงของปริมาณ phytate ในเมล็ดพืชที่ผ่านกระบวนการทำให้งอก มีสาเหตุเนื่องมาจากในระหว่างที่เกิดกระบวนการงอก เอนไซม์ phytase จะถูกกระตุ้นให้ทำงานทำให้เกิดการย่อยสลายสาร Phytic acid ไปเป็น myo-inosiol และ inositol phosphates ($IP_1 - IP_6$) เพื่อให้เมล็ดใช้ในการเจริญเติบโต (Oatway และคณะ, 2001)

1.4.3 ปริมาณ Total phenolic

ผลการวิเคราะห์ปริมาณ Total phenolic ของข้าวกล้องและข้าวกล้องงอกทั้ง 4 สายพันธุ์ แสดงดังตารางที่ 4.10 ซึ่งพบว่าปริมาณ Total phenolic ของข้าวกล้องทั้ง 4 สายพันธุ์ มีค่าตั้งแต่ 18.31-105.82 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง (นน.แห้ง) ข้าวเหนียวมีปริมาณ Total phenolic สูงกว่าข้าวเจ้า โดยเฉพาะข้าวเหนียวดำเปลือกขาวมีปริมาณ Total phenolic สูงที่สุด (ตารางที่ 4.10) สาเหตุที่ทำให้ข้าวเหนียวทั้งสองพันธุ์มีปริมาณ Total phenolic สูง อาจเนื่องมาจากเปลือกหุ้มเมล็ดของข้าวเหนียวทั้งสองพันธุ์มีสีแดง (เหนียวหลันตัน) และสีม่วงเข้มจนถึงดำ (เหนียวดำเปลือกขาว) ดังแสดงในรูปที่ 4.4 ซึ่งสีของเปลือกหุ้มเมล็ดดังกล่าวอาจมีสารแอนโทไซยานินหรือสารฟลาโวนอยด์อื่นๆเป็นองค์ประกอบ ทำให้ปริมาณ Total phenolic ที่วิเคราะห์ได้มีค่าสูงกว่าข้าวเจ้าซึ่งมีเปลือกหุ้มเมล็ดสีขาว นอกจากนี้จากผลการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาการงอกให้นานขึ้น ปริมาณของ Total phenolic ของข้าวกล้องงอกทั้ง 4 สายพันธุ์เพิ่มสูงขึ้น ($p<0.05$) โดยข้าวกล้องงอกพันธุ์ช่อลุง เล็บนกปัตตานี เหนียวดำเปลือกขาว และเหนียวหลันตัน มีปริมาณ Total phenolic เพิ่มสูงขึ้น 1.67, 2.14, 1.55 และ 1.37 เท่า หลังจากเพาะนาน 48 ชั่วโมง ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Tian และคณะ (2004) ที่รายงานว่าข้าวกล้องพันธุ์ Koshihikari มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก เท่ากับ 18.47 มิลลิกรัม/100 กรัมแป้งข้าว และเมื่อนำไปทำให้งอกพบว่ามีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเพิ่มขึ้นเป็น 24.78 มิลลิกรัม/100 กรัมแป้งข้าว เช่นเดียวกับการศึกษาของ Lee และคณะ (2007) ที่นำข้าวกล้องพันธุ์พื้นเมืองของเกาหลี 3 พันธุ์ คือ Goami2, Keunnun และ Heugkwang สกัดสารต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ Phytic acid, Total phenolic, DPPH และ Hydroxyl radical scavenging โดยศึกษาเปรียบเทียบตัวอย่างระหว่างสภาวะที่ไม่แช่น้ำกับที่แช่ในน้ำ 3 วันที่อุณหภูมิห้อง พบว่าปริมาณ total phenolic ในข้าวที่ผ่านการทำให้งอกแล้ว (สภาวะที่แช่น้ำ)จะมีค่า total phenolic เพิ่มขึ้นจากตอนที่ยังไม่ผ่านการทำให้งอก (สภาวะที่ไม่แช่น้ำ)โดยข้าวกล้อง Goami2 , Keunnun และ Heugkwang มีค่า 260, 210 และ 490 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตามลำดับ และเมื่อผ่านการทำให้งอกแล้วค่า total phenolic จะเพิ่มเป็น 330 , 310 และ 790 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตามลำดับ

ตารางที่ 4.10 ปริมาณ Total phenolic ในข้าวกล้องงอกสายพันธุ์ต่างๆซึ่งเพาะจากสภาวะที่ให้ GABA สูงสุดที่เวลาต่างๆ

ข้าวกล้องงอก**	ประเภท	ปริมาณ Total phenolic* (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง, นน.แห้ง)		
		0 ชม	36 ชม	48 ชม
ช่อลุง	ข้าวเจ้า	18.31 ± 0.19[a]	28.22 ± 0.49[b]	30.87± 0.07[c]
เล็บนกปัตตานี		10.90 ± 0.10[a]	20.82 ± 0.35[b]	23.30 ± 0.43[c]
เหนียวดำเปลือกขาว	ข้าวเหนียว	105.82 ± 1.10[a]	120.37 ± 0.71[b]	164.01 ± 0.97[c]
เหนียวหลันตัน		38.50 ± 0.54[a]	46.71 ± 0.88[b]	52.76 ± 3.69[c]

* ค่าเฉลี่ย±SD ของการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ, **เพาะให้งอกตามสภาวะที่สรุปไว้ในตาราง 4.6

[a, b,...] = ค่าเฉลี่ยในแนวนอนของข้าวสายพันธุ์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรที่แตกต่างกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$)

นอกจากนั้นจากการศึกษาของ Tian และคณะ (2004) พบว่าสาร phenolic ที่เป็นองค์ประกอบของข้าวขัดขาว ข้าวกล้อง ข้าวกล้องงอก (แช่น้ำที่อุณหภูมิ 32 °C นาน 21 ชั่วโมง) มีทั้งหมด 11 ชนิด ได้แก่ protocatechuic acid, hydroxybenzoic acid, vanillic acid, syringic acid, chlorogenic acid , *p*-coumaric acid, ferulic acid, sinapinic acid, feruloylsucrose และ sinapoylsucrose ซึ่งจากสารทั้ง 11 ชนิดดังกล่าว ferulic acid มีปริมาณมากที่สุด โดยในข้าวขัดขาว ข้าวกล้อง และข้าวกล้องงอก มีปริมาณ เท่ากับ 5.26, 15.19 และ 20.04 มิลลิกรัม/ 100 กรัม ตามลำดับ และข้าวกล้องงอกมีปริมาณ ferulic acid สูงที่สุด ซึ่งจากข้อสรุปดังกล่าวจึงมีการวิเคราะห์ปริมาณ ferulic acid ในตัวอย่างข้าวกล้องงอกทั้ง 4 พันธุ์ ดังแสดงในข้อ 1.4.4

1.4.4 ปริมาณ Ferulic acid

ผลการวิเคราะห์ปริมาณ ferulic acid ของข้าวกล้องและข้าวกล้องงอกทั้ง 4 สายพันธุ์ แสดงดังตารางที่ 4.11 พบว่าข้าวกล้องทั้ง 4 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ช่อลุง เล็บนกปัตตานี เหนียวดำเปลือกขาว เหนียวหลันตัน มีปริมาณ ferulic acid ตั้งแต่ 5.70-11.20 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่าง (นน.แห้ง) โดยข้าวพันธุ์ช่อลุงมีปริมาณสูงที่สุด และเมื่อนำข้าวกล้องทั้ง 4 สายพันธุ์มาเพาะให้งอก พบว่ากระบวนการงอกช่วยเพิ่มปริมาณ ferulic acid ของเมล็ดข้าวให้สูงขึ้น (ตาราง 4.11) โดยปริมาณ ferulic acid เพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาการเพาะที่นานขึ้น ซึ่งพบว่าเมื่อใช้เวลาเพาะนาน 36 ชั่วโมง มีเพียงข้าวเหนียวหลันตันเพียงพันธุ์เดียวเท่านั้นที่มีปริมาณ ferulic acid เพิ่มมากขึ้นต่างจากข้าวกล้องก่อนเพาะ ($p<0.05$) แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลาการเพาะเป็น 48 ชั่วโมง พบว่าข้าวกล้องทั้ง 4 สายพันธุ์จะมีปริมาณ ferulic acid เพิ่มสูงขึ้นต่างจากตัวอย่างที่ใช้เวลาการเพาะอื่นๆ ($p<0.05$) และปริมาณ ferulic acid ที่ระยะเวลาการเพาะดังกล่าว (48 ชั่วโมง) เป็นค่าที่สูงสุด โดยมีค่า

ตั้งแต่ 10.81-21.24 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่าง (นน.แห้ง) (ตาราง 4.11) และเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างข้าวกล้องก่อนเพาะพบว่าปริมาณ ferulic acid ของข้าวกล้องงอกทั้ง 4 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ช่อลุง เล็บนกปัตตานี เหนียวดำเปลือกขาว เหนียวหลันตัน มีค่าเพิ่มขึ้น 1.19, 2.57, 2.70 และ 1.43 เท่า ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Ohtsubo และคณะ (2005) ที่พบว่าปริมาณ ferulic acid ของข้าวกล้องงอกพันธุ์ Koshihikari มีค่าเพิ่มสูงขึ้น 1.26 และ 3.93 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวกล้องก่อนเพาะและข้าวขัดขาวก่อนเพาะตามลำดับ

ตารางที่ 4.11 ปริมาณ ferulic acid ของข้าวกล้องงอกสายพันธุ์ต่างๆซึ่งเพาะจากสภาวะที่ให้ GABA สูงสุด ที่เวลาต่างๆ

ข้าวกล้องงอก**	ประเภท	ปริมาณ ferulic acid* (มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่าง, นน.แห้ง)		
		0 ชม	36 ชม	48 ชม
ช่อลุง	ข้าวเจ้า	11.20±0.58[a]	12.53±0.83[ab]	13.29±1.29[b]
เล็บนกปัตตานี		5.70±0.55[a]	6.16±0.34[a]	14.67±0.05[b]
เหนียวดำเปลือกขาว	ข้าวเหนียว	7.87±0.19[a]	8.40±0.89[a]	21.24±0.37[b]
เหนียวหลันตัน		7.54±0.01[a]	9.25±0.04[b]	10.81±0.17[c]

* ค่าเฉลี่ย±SD ของการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ, **เพาะให้งอกตามสภาวะที่สรุปไว้ในตาราง 4.6

[a, b,...] = ค่าเฉลี่ยในแนวนอนของข้าวสายพันธุ์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรที่แตกต่างกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$)

1.4.5 ปริมาณ Tocolpherol

ผลการวิเคราะห์ปริมาณ tocopherol ของข้าวกล้องและข้าวกล้องงอกทั้ง 4 สายพันธุ์ แสดงดังตารางที่ 4.12 ซึ่งพบว่าข้าวกล้องทั้ง 4 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ช่อลุง เล็บนกปัตตานี เหนียวดำเปลือกขาว เหนียวหลันตัน มีปริมาณ tocopherol ตั้งแต่ 7.59-21.84 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่าง (นน.แห้ง) โดยข้าวเหนียวดำเปลือกขาวมีปริมาณสูงที่สุด และเมื่อนำข้าวกล้องทั้ง 4 พันธุ์มาเพาะให้งอก พบว่ากระบวนการงอกช่วยเพิ่มปริมาณ tocopherol ของเมล็ดข้าวให้สูงขึ้น (ตารางที่ 4.12) โดยปริมาณ tocopherol มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาการเพาะที่นานขึ้น และเมื่อเพิ่มระยะเวลาการเพาะเป็น 48 ชั่วโมง จะทำให้ข้าวกล้องงอกทั้ง 4 สายพันธุ์มีปริมาณ tocopherol เพิ่มมากขึ้นแตกต่างจากข้าวกล้องก่อนเพาะ ($p<0.05$) โดยในแต่ละพันธุ์มีค่าเพิ่มมากขึ้น 1.47, 1.17, 1.19 และ 2.49 เท่าตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากในระหว่างการแช่เพื่อทำให้งอก เมล็ดข้าวจะมีการเปลี่ยนแปลงทางเมตาบอลิซึม ทำให้สารอาหารต่างๆมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งสารเหล่านี้ได้แก่ GABA, dietary fiber, inositols, ferulic acid, phytic acid, tocotrienols, magnesium, potassium, zinc, gamma-oryzanol and prolylendopeptidase inhibitor (Kayahara et al., 2000) เช่นเดียวกับการศึกษาของ Orozco และคณะ (2006) ที่สรุปว่าหลังจากการแช่ เมล็ด Lupin (*Lupinus angustifolius* L. var. Zapaton) ในน้ำกลั่น 5 ชั่วโมง

และนำมาเพาะให้งอกต่อบน germination tray ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ในที่มืดเป็นเวลา 2, 3, 4, 5, 6 และ 9 วัน พบว่าระยะเวลาในการงอกที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้ปริมาณวิตามินซี และ tocopherol มีค่าเพิ่มขึ้น ($p<0.05$)

ตารางที่ 4.12 ปริมาณ tocopherol ของข้าวกล้องงอกสายพันธุ์ต่างๆซึ่งเพาะจากสภาวะที่ให้ GABA สูงสุด ที่เวลาต่างๆ

ข้าวกล้องงอก**	ประเภท	ปริมาณ tocopherol* (มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่าง, นน.แห้ง)		
		0 ชม	36 ชม	48 ชม
ช่อลุง	ข้าวเจ้า	20.37±2.78[a]	27.79±0.99[ab]	30.04±0.43[b]
เล็บนกปัตตานี	ข้าวเจ้า	17.91±1.09[a]	19.75±1.99[a]	20.87±3.36[b]
เหนียวดำเปลือกขาว	ข้าวเหนียว	21.84±0.81[a]	25.54±1.64[a]	26.08±4.63[b]
เหนียวหลันตัน	ข้าวเหนียว	7.59±0.27[a]	16.54±0.67[b]	18.87±1.18[c]

* ค่าเฉลี่ย±SD ของการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ, **เพาะให้งอกตามสภาวะที่สรุปไว้ในตาราง 4.6

[a, b,...] = ค่าเฉลี่ยในแนวนอนของข้าวสายพันธุ์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรที่แตกต่างกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$)

1.4.6 ปริมาณ GABA

ผลการวิเคราะห์ปริมาณ GABA ของข้าวกล้องและข้าวกล้องงอกทั้ง 4 พันธุ์ แสดงดังตารางที่ 4.13 พบว่าปริมาณ GABA ของข้าวกล้องทั้ง 4 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ช่อลุง เล็บนกปัตตานี เหนียวดำเปลือกขาว และเหนียวหลันตัน มีค่าตั้งแต่ 4.07-9.97 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่าง (นน.แห้ง) โดยข้าวพันธุ์ช่อลุงมีปริมาณ GABA สูงที่สุด และเมื่อนำข้าวกล้องพันธุ์ต่างๆมาเพาะให้งอกตามสภาวะที่สรุปไว้ในตารางที่ 4.6 พบว่าปริมาณ GABA ของข้าวกล้องงอกทั้ง 4 สายพันธุ์มีค่าเพิ่มมากขึ้นจากตัวอย่างข้าวกล้องก่อนเพาะ ($p<0.05$) โดยมีค่าสูงเพิ่มขึ้น 7.53, 8.30, 6.80 และ 20.69 เท่า ตามลำดับ ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับหลายๆ การศึกษาที่รายงานว่ากระบวนการงอกมีผลช่วยทำให้ปริมาณ GABA ในเมล็ดพืชเพิ่มสูงขึ้น (Saikura et al., 1994; Varanyanond et al., 2005; Komatsuzaki et al., 2007; Chung et al., 2009; Jiraporn, 2010) และจากปริมาณ GABA ของข้าวกล้องงอกทั้ง 4 สายพันธุ์ พบว่าข้าวเหนียวหลันตันซึ่งเพาะให้งอกโดยในภาชนะปิด (โดยแช่ในสารละลาย Citric acid -Na_2HPO_4 buffer ที่ pH 3 โดยใช้อัตราส่วนข้าว:น้ำ เท่ากับ 1:2 นาน 5 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำมาเพาะต่อในกล่องพลาสติกที่มีฝาปิด ที่อุณหภูมิห้อง (30±2°C) นาน 48 ชั่วโมง) มีปริมาณ GABA ที่สูงที่สุด แต่เนื่องจากผลการสำรวจความต้องการของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกพบว่าผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมาย (กลุ่มผู้สูงอายุ) คิดว่าผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่น่าสนใจมากที่สุดหากจะมีการพัฒนาข้าวกล้องงอกให้เป็นผลิตภัณฑ์ ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงต้องคัดเลือกชนิด

ของข้าวให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมาย และปริมาณ GABA ของข้าวที่เป็นข้าวเจ้าที่มีปริมาณ GABA สูงที่สุด คือ ข้าวพันธุ์ช่อลุงที่เพาะให้งอกโดยการแช่ในสารละลาย (สารละลาย Citric acid -Na_2HPO_4 buffer ที่ pH 3 โดยใช้อัตราส่วนข้าว:น้ำ เท่ากับ 1:2 และแช่ที่อุณหภูมิ 40 °C นาน 48 ชั่วโมง) มีปริมาณ GABA สูงที่สุด ดังนั้นจึงเลือกข้าวพันธุ์ช่อลุงมาใช้เป็นตัวอย่างสำหรับใช้ในส่วนของการพัฒนาผลิตภัณฑ์รวมถึงส่วนของการแยกสารออกฤทธิ์จากข้าวกล้องงอกที่มีฤทธิ์ต้านการอักเสบและการทดสอบความเป็นพิษของสารสกัดจากข้าวกล้องงอก

ตารางที่ 4.13 ปริมาณ GABA ของข้าวกล้องงอกพันธุ์ต่างๆซึ่งเพาะจากสภาวะที่ให้ GABA สูงสุด ที่เวลาต่างๆ

พันธุ์ข้าว	ประเภท	ปริมาณ GABA* (มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่าง, นน.แห้ง)	
		ข้าวกล้อง	ข้าวกล้องงอก**
ช่อลุง	ข้าวเจ้า	9.97±0.98^{Ac}	75.03±0.04^{Bc}
เล็บนกปัตตานี		6.45±1.45^{Ab}	53.53±0.58^{Ba}
เหนียวดำเปลือกขาว	ข้าวเหนียว	8.83±0.41^{Ac}	60.03±0.70^{Bb}
เหนียวหลันตัน		4.07±0.02^{Aa}	84.19±3.09^{Bd}

* ค่าเฉลี่ย±SD ของการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ, **เพาะให้งอกตามสภาวะที่สรุปไว้ในตาราง 4.6

$^{a, b,...}$ = ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามด้วยอักษรที่แตกต่างกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$)

$^{A, B,...}$ = ค่าเฉลี่ยในแนวนอนของข้าวสายพันธุ์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรที่แตกต่างกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$)

นอกจากนี้หลังจากที่มีการแยกส่วนของข้าวกล้องงอกทั้ง 4 สายพันธุ์เป็น 3 ส่วน คือ รำข้าว จมูกข้าว และเนื้อด้านในของเมล็ดข้าว (ไม่มีส่วนของรำและจมูกข้าว) และนำมาวิเคราะห์ปริมาณ GABA ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4.14 ซึ่งจะพบว่าในแต่ละส่วนของเมล็ดข้าวมีปริมาณ GABA ที่แตกต่างกัน ($p<0.05$) โดยพบว่าส่วนจมูกข้าวมีปริมาณ GABA สูงที่สุด โดยมีค่าตั้งแต่ 180.70-429.06 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่าง (นน.แห้ง) รองลงมา คือ รำข้าวและส่วนเนื้อด้านในของเมล็ดข้าว ตามลำดับ โดยมีค่าตั้งแต่ 47.41-176.61 และ 15.11-24.42 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่าง (นน.แห้ง) ตามลำดับ

ตารางที่ 4.14 ปริมาณ GABA ในส่วนต่างๆของข้าวกล้องงอกทั้ง 4 สายพันธุ์ซึ่งเพาะจากสภาวะที่ให้ GABA สูงสุด ที่เวลาต่างๆ

ข้าวกล้องงอก**	ประเภท	ปริมาณ GABA* (มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่าง, นน.แห้ง)		
		เนื้อด้านในของเมล็ดข้าว	รำข้าว (เปลือกหุ้มเมล็ด)	จมูกข้าว
ช่อลุง	ข้าวเจ้า	16.52±0.83[a]	63.82±2.58[b]	274.34±15.89[c]
เล็บนกปัตตานี		15.11±0.58[a]	47.41±1.26[b]	219.44±4.43[c]
เหนียวดำเปลือกขาว	ข้าวเหนียว	24.42±0.47[a]	71.48±2.93[b]	180.70±10.26[c]
เหนียวหลันตัน		15.21±0.12[a]	176.61±9.68[b]	429.06±3.77[c]

* ค่าเฉลี่ย±SD ของการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ, **เพาะให้งอกตามสภาวะที่สรุปไว้ในตาราง 4.6

[a, b,...] = ค่าเฉลี่ยในแนวนอนของข้าวสายพันธุ์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรที่แตกต่างกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$)

1.4.7 กิจกรรมการต้านออกซิเดชั่น

ผลการวิเคราะห์กิจกรรมการต้านออกซิเดชันของข้าวกล้องงอกทั้ง 4 สายพันธุ์ ซึ่งประกอบด้วยการวิเคราะห์ DPPH radical scavenging activity, ABTS radical scavenging activity และ ferric reducing antioxidant power (FRAP) assay โดยรายงานผลในรูปมิลลิกรัมสมมูลของกรดเฟอรูลิกต่อ 100 กรัม ตัวอย่าง (mg equivalent of ferulic acid/100g sample) แสดงดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและกิจกรรมการต้านออกซิเดชันของข้าวกล้องงอก

ข้าวกล้องงอก**	ปริมาณ Total phenolic* (mg/100 g, นน.แห้ง)	Antioxidant activities* (mg FAE/100 g sample)		
		DPPH assay	*ABTS assay*	*FRAP assay*
ช่อลุง	30.87± 0.07[c]	18.23±1.12[c]	19.76±0.37[c]	15.79±0.27[c]
เล็บนกปัตตานี	23.30 ± 0.43[c]	15.69±0.44[c]	15.77±0.48[d]	13.27±0.02[d]
เหนียวดำเปลือกขาว	164.01 ± 0.97[c]	142.70±3.71[a]	119.31±0.83[a]	160.02±2.13[a]
เหนียวหลันตัน	52.76 ± 3.69[c]	25.76±0.66[b]	35.14±0.95[b]	33.07±0.24[b]

* ค่าเฉลี่ย±SD ของการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ, **เพาะให้งอกตามสภาวะที่สรุปไว้ในตาราง 4.6

[a, b,...]= ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามด้วยอักษรที่แตกต่างกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$).

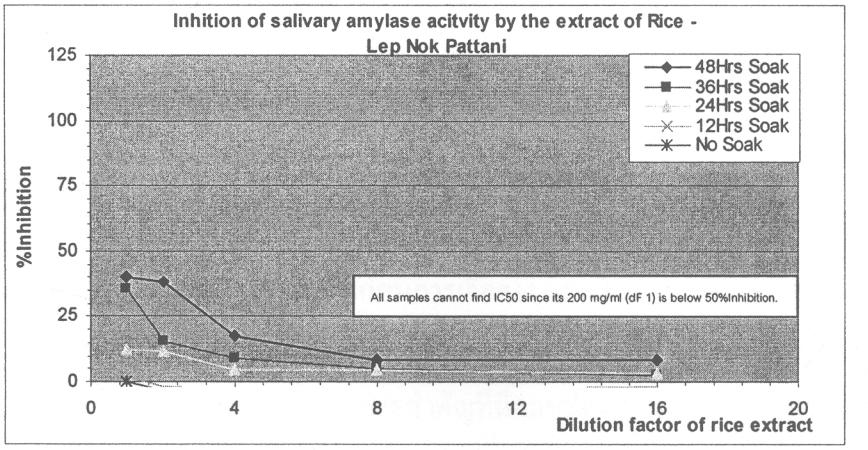
ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและกิจกรรมการต้านออกซิเดชัน ของข้าวเหนียวดำเปลือกขาวมีค่ามากที่สุด รองลงมาคือ ข้าวเหนียวหลันตัน ข้าวช่อลุง และข้าวเล็บนกปัตตานี ตามลำดับ โดยสารประกอบฟีนอลิกชนิดพิเศษที่พบมากในข้าวโดยทั่วไปคือสารประกอบเฟอรูลิก (ferulic acid) ดังนั้นในการศึกษานี้จึงใช้สารประกอบเฟอรูลิกเป็นสารมาตรฐานเพื่อใช้ในการรายงานผลวิเคราะห์ ซึ่งสามารถระบุได้ว่าข้าวเหนียวดำเปลือกขาวมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมากกว่าข้าวสายพันธุ์อื่นๆ ดังนั้นจึงมีกิจกรรมการต้านออกซิเดชันที่มากกว่าเช่นกัน โดยผลการศึกษานี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sawaddiwong และคณะ (2008) ซึ่งพบว่าข้าวกล้องงอกสายพันธุ์สังข์หยดพัทลุงซึ่งเป็นข้าวที่มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีแดงมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและกิจกรรมการต้านออกซิเดชันสูงกว่าข้าวเฉี้ยงพัทลุงและเล็บนกปัตตานี ซึ่งเป็นข้าวที่มีสีขาวตามลำดับ ซึ่งให้ผลในทำนองเดียวกันกับการศึกษาของ Tian และคณะ (2004) รายงานว่าข้าวที่มีสีมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมากกว่าข้าวที่ไม่มีสี ซึ่งมีค่าเท่ากับ 20.64±3.45 และ 6.05±1.39 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมแป้งข้าว ตามลำดับ ดังนั้นจากการศึกษานี้จึงอาจสรุปได้ว่าข้าวต่างสายพันธุ์กันซึ่งมีสีเมล็ดและความเข้มของสีเมล็ดที่แตกต่างกันไปอาจมีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่แตกต่างกัน และส่งผลให้กิจกรรมการต้านออกซิเดชันแตกต่างกันไปด้วย

1.5 การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟ่า-อะไมเลส ในหลอดทดลองของข้าวกล้องงอก

1.5.1. ผลของระยะเวลาในการงอกต่อความสามารถยับยั้งการย่อยแป้งของเอนไซม์อะไมเลส

ในการศึกษานี้ใช้ข้าวกล้องสายพันธ์เล็บนกปัตตานี ที่ได้จากการเพาะในตระกร้า ระยะเวลาการงอก 0, 12, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง เป็นตัวอย่างในการสกัดด้วย0.02 M phosphate buffer pH 6.9-0.15 M NaCl ในสัดส่วน 1: 5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่ 4 องศาเซลเซียส นาน 16 ชั่วโมง คนด้วยแท่งแม่เหล็กต่อเนื่อง เซ็นตริฟิวจ์ ที่ 4 องศาเซลเซียส เก็บสารละลายส่วนบน แล้วนำไปตรวจหา ปริมาณโปรตีน และค่าการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์แอลฟ่า-อะไมเลส ตามที่กล่าวในระเบียบวิธีวิจัย

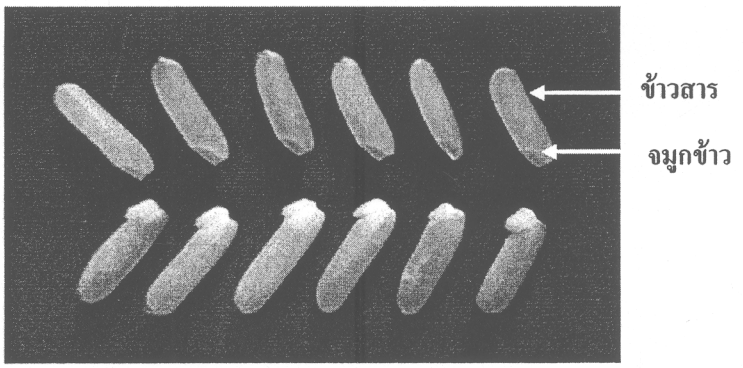
ผลการศึกษาที่ได้ใน รูปที่ 4.6 แสดงให้เห็นชัดว่า ระยะเวลาในการงอกมีผล ต่อความสามารถในการยับยั้งการทำงานย่อยแป้งของเอนไซม์อะไมเลส โดยข้าวกล้องที่ใช้ระยะเวลาเพาะให้เกิดการงอกนานมีศักยภาพในการยับยั้งกิจกรรมอะไมเลสได้สูงกว่าข้าวกล้องที่ใช้ระยะเวลาเพาะสั้นกว่า



รูปที่ 4.6 ผลของระยะเวลาในการงอกกับการยับยั้งการย่อยแป้งของเอนไซม์อะไมเลสของสารสกัดจากข้าวเล็บนกปัตตานี

1.5.2 การกระจายตัวของสารยับยั้งอะไมเลสในเมล็ดข้าวกล้องงอก

ในการศึกษา ใช้ข้าวกล้องสายพันธ์เล็บนกปัตตานี ที่ได้จากการเพาะในตระกร้า ระยะเวลาการงอก 0, 12, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง เป็นตัวอย่าง โดยตัดแยกเป็น 3 ส่วน ด้วยกรรไกร เป็น (1). ข้าวกล้องซึ่งยังมีส่วนของจมูกข้าวติดอยู่กับเมล็ดข้าว (2). จมูกข้าวซึ่งมีเฉพาะส่วนของจมูก และ (3). ข้าวสารซึ่งถูกตัดแยกจมูกข้าวออกแล้ว ดังรูปที่ 4.7 (แถวบนข้าวกล้อง แถวล่างข้าวกล้องงอก)

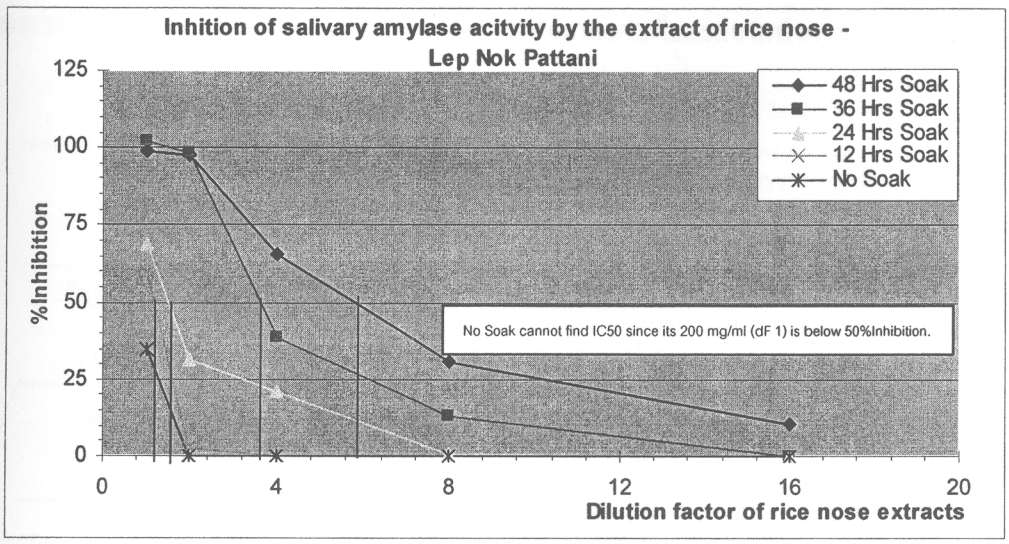


รูปที่ 4.7 ข้าวกล้อง ข้าวกล้องงอก และส่วนของข้าวสารและจมูกข้าว

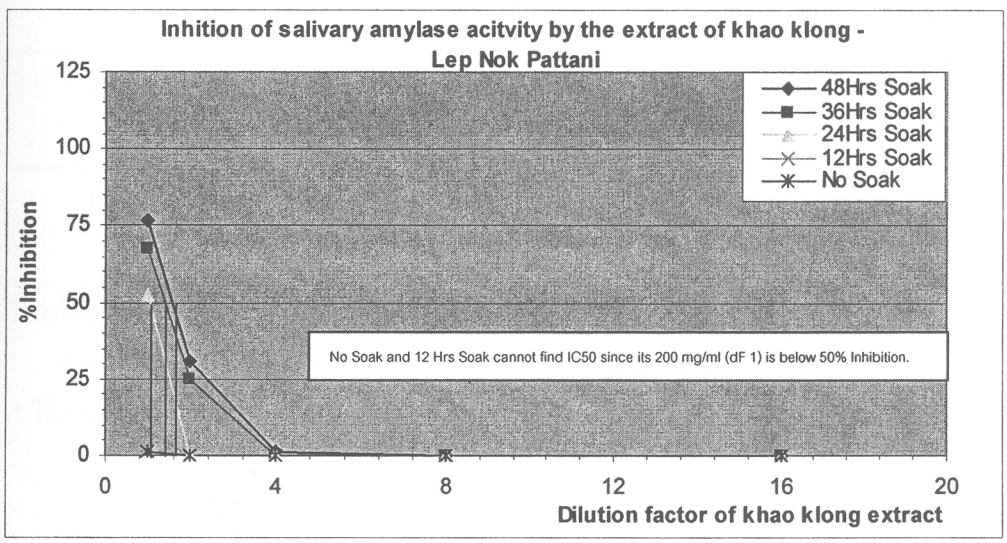
นำข้าวตัวอย่างแต่ละส่วน ทั้ง 3 ส่วนที่ระยะเวลางอกต่างๆ มาบดละเอียด ชั่งน้ำหนัก และสกัดด้วย 0.02 M phosphate buffer pH 6.9-0.15 M NaCl ตรวจหา ปริมาณโปรตีน และค่าการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์แอลฟ่า-อะไมเลส ตามที่กล่าวในระเบียบวิธีวิจัย

ผลการศึกษาที่แสดงในรูปที่ 4.8 พบว่าส่วนของจมูกข้าวมีศักยภาพในการยับยั้งอะไมเลสสูงสุด โดยเฉพาะจมูกข้าวที่ได้จากระยะเวลาการเพาะ 48 ชั่วโมง มีค่าสูงสุดเมื่อเทียบกับชั่วโมงเพาะอื่นๆ และตัวจมูกข้าวงอกมองเห็นด้วยตาเปล่าอย่างชัดเจน ง่ายต่อการแยกส่วนจากข้าวสาร ส่วนข้าวกล้องพบว่าค่าการยับยั้งที่ได้มีค่าต่ำกว่าผลการวิเคราะห์จากจมูกข้าวเมื่อเปรียบเทียบที่ระยะเวลาการเพาะเดียวกัน ผลเช่นนี้น่าจะสืบเนื่องจากปริมาณความเข้มข้นของตัวอย่างในสารสกัด ปริมาณจมูกข้าวในสัดส่วน 1:5 น้ำหนักต่อปริมาตร กับบัฟเฟอร์สกัดมีปริมาณตัวอย่างมากกว่าในสัดส่วนเดียวกันเมื่อใช้ในรูปของข้าวกล้อง ผลการวิเคราะห์ส่วนของข้าวสาร พบว่าค่าการยับยั้งอยู่ในระดับต่ำมาก สารสกัดข้าวสารจากระยะเวลาเพาะ 48 ชั่วโมง มีค่าการยับยั้งไม่ถึงร้อยละ 50 ทั้งที่ยังไม่มีการเจือจาง ทั้งนี้น่าจะเนื่องจากไม่มีส่วนของจมูกข้าวซึ่งมีศักยภาพสูงในการยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์อะไมเลส

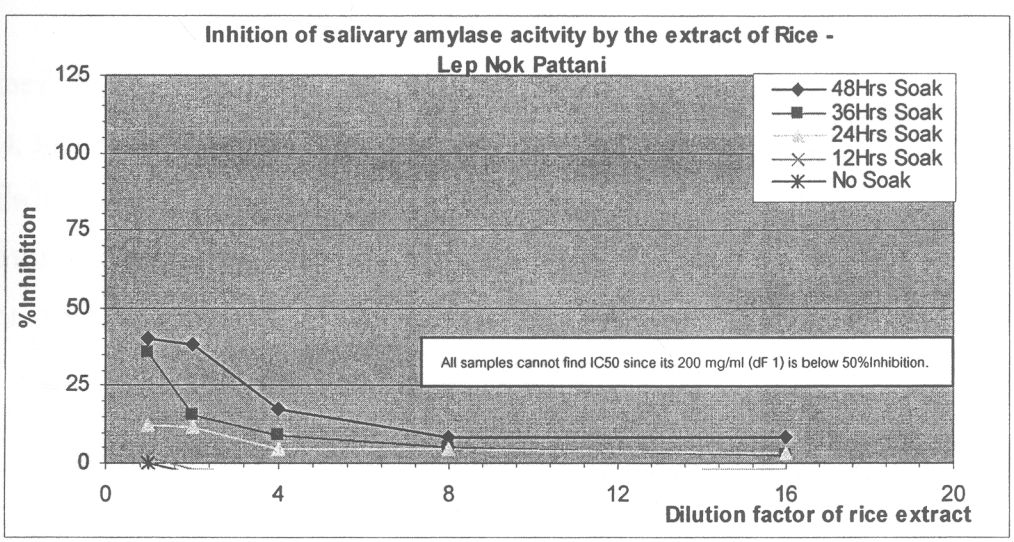
ตารางที่ 4.16 แสดงปริมาณสารสกัดตัวอย่างข้าวที่ให้ค่าการยับยั้งอะไมเลส จากน้ำลายร้อยละ 50 (IC50) จากส่วนต่างๆ ของข้าวกล้องงอก โดยหาจากกราฟรูปที่ 4.8 ที่ค่าการยับยั้งร้อยละ 50 และ ที่ให้ค่าการยับยั้งน้อยกว่าของสารตัวอย่างตั้งต้นก่อนการเจือจาง ผลที่ได้แสดงชัดว่าข้าวกล้องที่ผ่านการเพาะให้งอก ระยะเวลาแช่ 0, 12, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง มีศักยภาพในการยับยั้งกิจกรรมอะไมเลส จากน้อยไปมากตามระยะเวลาการเพาะให้เกิดการงอก และสารสำคัญที่มีผลหลักต่อการยับยั้งอยู่ในส่วนของจมูกข้าวที่งอกเป็นสำคัญ



ก. จมูกข้าว



ข. ข้าวกล้อง



ค. ข้าวสาร

รูปที่ 4.8 การกระจายตัวของสารยับยั้งอะไมเลสในส่วนต่างๆของเมล็ดข้าวกล้องอกพันธุ์เล็บนกปัตตานี เพาะโดยใช้ภาชนะเปิด ที่ค่าการเจือจางต่างๆ (—— ค่าการเจือจางตัวอย่างที่ร้อยละการยับยั้ง 50)

ตารางที่ 4.16 ปริมาณตัวอย่างที่ร้อยละการยับยั้งกิจกรรมอะไมเลสจากน้ำลาย 50 ร้อยละการยับยั้งของส่วนต่างๆ ของข้าวกล้องงอก เล็บนกปัตตานี

ส่วนของข้าว	ปริมาณตัวอย่าง (mg/mL) ที่ร้อยละการยับยั้งกิจกรรมอะไมเลส 50[1]		
	จมูกข้าว (JNK)	ข้าวกล้อง (NK)	ข้าวสาร(RNK)
วัตถุดิบ (0 ชั่วโมง)	* (200 for 34.6%)	* (200 for 1.5%)	* (200 for 0%)
แช่ 12 ชั่วโมง	170.5	* (200 for 7.6%)	* (200 for 1.8%)
แช่ 24 ชั่วโมง	133.6	192.0	* (200 for 12.2%)
แช่ 36 ชั่วโมง	55.3	141.5	* (200 for 35.9%)
แช่ 48 ชั่วโมง	34.5	126.9	* (200 for 39.9%)

[1] การใช้ปริมาณตัวอย่างน้อย ในการยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์อะไมเลส จากน้ำลายร้อยละ 50 (IC50) แสดงว่า ตัวอย่างนั้นมีศักยภาพในการ ยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์อะไมเลส จากน้ำลายดีสุด

* ไม่สามารถหาค่าIC50 ค่าแสดงคือปริมาณตัวอย่างที่ให้ค่าการยับยั้งสูงสุดของตัวอย่างนั้นๆ

1.5.3 ผลกระทบของวิธีการเพาะข้าวกล้องงอกต่อการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อะไมเลส

การศึกษานี้ใช้ข้าวกล้องสายพันธุ์เล็บนกปัตตานีและช่อลุงที่ได้จากการเพาะในภาชนะเปิด (ตระกร้า) และที่ได้จากการเพาะแบบแช่ในสารละลาย Citric acid-Na_2HPO_4 buffer (pH 3) ที่ระยะเวลาการงอก 0, 12, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง เป็นตัวอย่างในการวิจัย ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.17 พบว่าวิธีการเพาะในภาชนะเปิดให้ผลต่อการยับยั้งอะไมเลสจากน้ำลายดีกว่าการเพาะแบบแช่ในสารละลายบัฟเฟอร์ สำหรับข้าวกล้องเล็บนกปัตตานีและช่อลุง ซึ่งมีผลทำให้ศักยภาพในการยับยั้งอะไมเลสจากน้ำลายเป็น 0 ในการเพาะแบบแช่ในสารละลายบัฟเฟอร์

ตารางที่ 4.17 ผลของวิธีเพาะต่อร้อยละการยับยั้งเอนไซม์อะไมเลสจากน้ำลายของสารสกัดข้าวเล็บนกปัตตานีและช่อลุง

ข้าว	ร้อยละการยับยั้งกิจกรรมอะไมเลส*			
	การเพาะในภาชนะเปิด		*การเพาะแบบแช่ในสารละลาย*	
	เล็บนกปัตตานี	ช่อลุง	เล็บนกปัตตานี	ช่อลุง
วัตถุดิบ (0 ชั่วโมง)	1.48	10.82	<0	7.62
แช่ 12 ชั่วโมง	7.59	19.24	<0	<0
แช่ 24 ชั่วโมง	52.16	31.10	<0	<0
แช่ 36 ชั่วโมง	67.18	79.24	<0	<0
แช่ 48 ชั่วโมง	76.26	91.85	<0	<0

*อะไมเลสจากน้ำลาย จากค่าเฉลี่ยตัวอย่าง 1 รุ่น สกัด 1 ครั้ง วิเคราะห์แบบ 2 ซ้ำ

ตารางที่ 4.18 แสดงผลการยับยั้งต่อเอนไซม์อะไมเลสจากน้ำลาย และ ตับอ่อน ของข้าวพันธุ์ช่อลุงที่ทำให้งอกด้วยวิธีการเพาะในภาชนะเปิด และเพาะแบบแช่ในสารละลายบัฟเฟอร์ พีเอช 3 พบว่าวิธีการเพาะในภาชนะเปิดให้ผลดีกว่าแบบแช่เช่นเดียวกัน ทั้งเอนไซม์จากน้ำลาย และตับอ่อน แตกต่างตรงที่การเพาะแบบแช่มีผล ลดศักยภาพในการยับยั้งอะไมเลสจากน้ำลายเป็น 0 แต่ยังมีค่าการยับยั้งอะไมเลสจากตับอ่อนในระดับที่สูงกว่ามาก

ตารางที่ 4.18 ผลของวิธีเพาะต่อร้อยละการยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์อะไมเลสของสารสกัดข้าวกล้องช่อลุง

ข้าว	ร้อยละการยับยั้งกิจกรรมอะไมเลส+			
	การเพาะในตระกร้า		*การเพาะแบบแช่*	
	จากน้ำลาย	จากตับอ่อน	จากน้ำลาย	จากตับอ่อน
วัตถุดิบ (0 ชั่วโมง)	10.82	92.72	7.62	95.08
แช่ 12 ชั่วโมง	19.24	94.22	<0	96.69
แช่ 24 ชั่วโมง	31.10	89.69	<0	100.00
แช่ 36 ชั่วโมง	79.24	80.02	<0	94.84
แช่ 48 ชั่วโมง	91.85	87.29	<0	94.00

+จากค่าเฉลี่ยตัวอย่าง 1 รุ่น สกัด 1 ครั้ง วิเคราะห์แบบ 2 ซ้ำ

1.5.4 ผลของสายพันธุ์ข้าวกับการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟ่า-อะไมเลสจากการเพาะแบบแช่

การศึกษานี้ ใช้ข้าวกล้อง 4 สายพันธุ์ คือ เล็บนกปัตตานี ช่อลุง เหนียวหลันตัน และ เหนียวดำเปลือกขาว ที่ได้จากการเพาะแบบแช่ที่ระยะเวลาการงอก 0, 12, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง เป็นตัวอย่างในการวิจัย ผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 4.19 พบว่าในสภาวะก่อนนำไปทำการเพาะข้าวกล้องสายพันธุ์เหนียวดำเปลือกขาวมีความสามารถในการยับยั้งเอนไซม์จากน้ำลายสูงสุด (33.02%) ข้าวกล้องสายพันธุ์เหนียวหลันตันลำดับรอง (15.63%) ช่อลุงมีความสามารถในการยับยั้งเอนไซม์อันดับสาม (7.62%) ส่วนเล็บนกปัตตานีไม่พบค่าการยับยั้ง เมื่อนำไปเพาะแบบแช่ในสารละลายบัฟเฟอร์ พบว่า ข้าวกล้องสายพันธุ์เหนียวดำเปลือกขาวมีความ สามารถในการยับยั้งการทำงานย่อยแป้งของเอนไซม์สูงขึ้นตามระยะเวลาเพาะ จาก 12, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง ดังนี้ 33.02, 33.22, 39.65, 50.27, 63.96 แต่ข้าวกล้องสายพันธุ์เหนียวหลันตันมีความสามารถในการยับยั้งการทำงานย่อยแป้งของเอนไซม์สูงขึ้นตามระยะเวลาเพาะในช่วง 24 และ 36 ชั่วโมง คือ 24.51% และ 24.63% และกลับลดลงใกล้เคียงกับก่อนเพาะที่เวลาเพาะ 48 ชั่วโมง ส่วนข้าวกล้องเล็บนกปัตตานีและข้าวกล้องช่อลุง ไม่พบค่าร้อยละการยับยั้งเอนไซม์ทุกระยะเวลาการเพาะแบบแช่

ตารางที่ 4.19 ผลของสายพันธุ์ข้าวกล้องต่อร้อยละการยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์อะไมเลส จากการเพาะแบบแช่ที่เวลาเพาะต่างๆ

ส่วนของข้าว	ร้อยละการยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์อะไมเลส							
	น้ำลาย				*ตับอ่อน*			
	ช่อลุง	เล็บนกปัตตานี	เหนียวแดงหลันตัน	เหนียวดำเปลือกขาว	ช่อลุง	เล็บนกปัตตานี	เหนียวหลันตัน	เหนียวดำเปลือกขาว
วัตถุดิบ (ไม่แช่)	7.62	<0	15.63	33.02	95.08	86.44	87.03	78.24
แช่ 12 ชั่วโมง	<0	<0	12.12	33.22	96.69	90.73	92.35	77.98
แช่ 24 ชั่วโมง	<0	<0	24.51	39.65	100.00	91.90	103.65	78.75
แช่ 36 ชั่วโมง	<0	<0	24.63	50.27	94.84	87.02	115.42	100.77
แช่ 48 ชั่วโมง	<0	<0	17.74	63.96	94.00	63.32	88.11	99.87

*หมายเหตุ 0**: ข้าวกล้องวัตถุดิบ ก่อนทำให้งอก

ส่วนศักยภาพในการยับยั้งการทำงานย่อยแป้ง ของเอนไซม์แอลฟ่า-อะไมเลสจากตับอ่อนของข้าวกล้องพันธุ์ช่อลุง เล็บนกปัตตานี เหนียวหลันตัน และเหนียวดำเปลือกขาว ในสภาวะก่อนนำไปทำการเพาะ พบว่าก่อนการเพาะข้าวกล้องช่อลุงมีค่าร้อยละการยับยั้งสูงสุด(95.08%) และสูงกว่าข้าวกล้องเล็บนกปัตตานีและข้าวกล้องเหนียวหลันตัน ซึ่งมีศักยภาพพอๆกัน (86.44%, 87.03%) และข้าวกล้องเหนียวดำ

เปลือกขาว (78.24%) เมื่อนำไปเพาะแบบแช่ในบัฟเฟอร์พบว่าความสามารถในการยับยั้งการทำงานย่อยแป้งของเอนไซม์สูงขึ้นตามระยะเวลาเพาะในช่วง 12 และ 24 ชั่วโมง สำหรับข้าวกล้องช่อลุง ข้าวกล้องเล็บนกปัตตานีและข้าวกล้องเหนียวหลันตัน โดยข้าวกล้องช่อลุงมีค่าร้อยละการยับยั้งเอนไซม์จาก 96.69 เป็น 100 แต่ลดต่ำลงเมื่อเวลาเพาะนานขึ้นที่ 36 และ 48 ชั่วโมงเป็น 94.84 และ 94 ตามลำดับ ข้าวกล้องเล็บนกปัตตานีมีค่าร้อยละการยับยั้งเอนไซม์ในช่วง 12 และ 24 ชั่วโมง 90.73 และ 91.90 ตามลำดับ ที่ 36 และ 48 ชั่วโมง มีค่าร้อยละการยับยั้งเอนไซม์ลดลงเป็น 67.19 และ 63.32 ตามลำดับเวลา ข้าวเหนียวหลันตันมีค่าร้อยละการยับยั้งเอนไซม์ในช่วง12 และ 24 ชั่วโมง เท่ากับ 92.35 และ 103.65 ตามลำดับ แต่เมื่อเวลาการเพาะสูงขึ้นที่ 36 ยังมีค่าร้อยละการยับยั้งเอนไซม์สูงกว่า 24 ชั่วโมง คือ 115.42 แต่เมื่อเวลาการเพาะสูงถึง 48 ชั่วโมง พบว่าข้าวกล้องเหนียวหลันตันมีค่าร้อยละการยับยั้งเอนไซม์ลดลงเป็น 88.11

ข้าวกล้องเหนียวดำเปลือกขาว พบว่าความสามารถในการยับยั้งการทำงานย่อยแป้งของเอนไซม์จากตับอ่อนไม่แตกต่างกันทางสถิติระหว่างข้าวกล้องก่อนเพาะ เพาะที่ 12 และ 24 ชั่วโมง (78.24%, 77.98%, 78.98%) แต่เมื่อเวลาการเพาะสูงขึ้นที่ 36 และ 48 ชั่วโมงมีค่าร้อยละการยับยั้งเอนไซม์สูงขึ้น เป็น 100.77 และ 99.87 ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

1.6 ชนิดและปริมาณของวิตามินของข้าวงอก

1.6.1 ชนิดและปริมาณวิตามินเปรียบเทียบระหว่างสายพันธุ์ข้าวกล้อง

ในการทดลองนี้ใช้ข้าวกล้องช่อลุงและข้าวเหนียวดำเปลือกขาว ในการวิเคราะห์วิตามินละลายในไขมัน ตารางที่ 4.20 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณละลายดีในไขมันเอ ดี และอี พบว่า ข้าวทั้ง 2 สายพันธุ์มีแต่วิตามินอีเป็นองค์ประกอบสำคัญ วิตามินเอ และดี ตรวจไม่พบทั้งสองสายพันธุ์ แม้ใช้ตัวอย่างเริ่มต้น สูงกว่า 5 กรัมคือ 10 กรัม ปริมาณวิตามินอีที่พบของแต่ละสายพันธุ์คือ ข้าวกล้องสายพันธุ์ช่อลุงก่อนทำการเพาะ เท่ากับ 0.72 มิลลิกรัมวิตามิน/ 100 ตัวอย่างที่ใช้สกัด และภายหลังการเพาะแบบแช่ 48 ชั่วโมง เท่ากับ 0.63 มิลลิกรัมวิตามิน/ 100 ตัวอย่างที่ใช้สกัด ส่วนข้าวกล้องสายพันธุ์เหนียวดำเปลือกขาวก่อนทำการเพาะ เท่ากับ 1.29 มิลลิกรัมวิตามิน/ 100 ตัวอย่างที่ใช้สกัด และภายหลังการเพาะ 48 ชั่วโมง เท่ากับ 0.97 มิลลิกรัมวิตามิน/ 100 ตัวอย่างที่ใช้สกัด

ตารางที่ 4.20 ผลของชั่วโมงเพาะแบบแช่ และพันธุ์ข้าวต่อปริมาณวิตามินละลายในไขมัน

ชั่วโมงที่เพาะ	มิลลิกรัมวิตามิน/ 100 กรัม ตัวอย่าง					
	ช่อลุง			*เหนียวดำเปลือกขาว*		
	เอ	ดี	อี	เอ	ดี	อี
*0**	nf	nf	0.72	nf	nf	1.29
48	nf	nf	0.63	nf	nf	0.97

หมายเหตุ *0** : ข้าวกล้องวัตถุดิบ ก่อนทำให้งอก; nf : not found

เมื่อเปรียบผลการวิเคราะห์ระหว่าง 2 สายพันธุ์ พบว่าข้าวกล้องสายพันธุ์เหนียวดำเปลือกขาวมีปริมาณวิตามินอี สูงกว่าข้าวกล้องสายพันธุ์ช่อลุง 1.79 เท่า ในภาวะก่อนทำการเพาะ และ 1.54 เท่าในภาวะภายหลังการเพาะ 48 ชั่วโมง

เมื่อเปรียบเทียบค่าก่อนการเพาะกับภายหลังการเพาะ 48 ชั่วโมง พบว่าปริมาณวิตามินอีลดลงทั้ง 2 สายพันธุ์ในการเพาะแบบแช่ โดยข้าวกล้องสายพันธุ์ช่อลุงก่อนการเพาะมีค่าวิตามินอีสูงกว่าหลังการเพาะ 48 ชั่วโมง 1.14 เท่า หรือการเพาะแบบแช่นาน 48 ชั่วโมง มีผลลดค่าปริมาณวิตามินอีลงร้อยละ 12.5 (คำนวณ จาก :(0.72 - 0.63)/0.72*100) ส่วนข้าวกล้องสายพันธุ์เหนียวดำเปลือกขาว ก่อนการเพาะมีค่าวิตามินอีสูงกว่าหลังการเพาะ 48 ชั่วโมง 1.33 เท่า หรือการเพาะแบบแช่นาน 48 ชั่วโมง มีผลค่าลดปริมาณวิตามินอี ลงร้อยละ 24.8 (คำนวณ จาก:(1.29 – 0.97)/0.97*100)

วิตามิน กลุ่มละลายดีในไขมันที่พบในตัวอย่างข้าวกล้องที่วิเคราะห์ คือวิตามินอี ส่วนวิตามินเอ และ ดี ไม่พบปริมาณวิตามินอี คิดตาม ค่าแนะนำปริมาณที่ควรได้รับแต่ละวันของคนไทย (Thai RDA) สำหรับ 1 หน่วยบริโภคของข้าวสาร 50 กรัม พบว่า ข้าวกล้องพันธุ์ช่อลุงก่อนเพาะ และที่เวลาเพาะ 48 มีปริมาณวิตามินอีร้อยละ 3.6 และ 3.15 ของส่วนปริมาณวิตามินอีของข้าวกล้องพันธุ์เหนียวดำเปลือกขาวก่อนเพาะ และที่เวลาเพาะ 48 มีปริมาณวิตามินอีร้อยละ 6.45 และ 4.85 ตามลำดับ

1.6.2 ชนิดและปริมาณวิตามินเปรียบเทียบระหว่างเวลาที่เพาะข้าวกล้อง

ในการทดลองนี้ใช้ข้าวกล้องช่อลุง ในการวิเคราะห์วิตามินละลายในไขมัน ตารางที่ 4.21 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณละลายดีในไขมันเอ ดี และอี ของข้าวกล้องสายพันธุ์ช่อลุง ก่อนทำการเพาะและภายหลังระยะเวลาที่ทำการเพาะแบบแช่ ตั้งแต่ 12, 24, 36, และ 48 ชั่วโมงพบว่า ทุกช่วงเวลาพบแต่วิตามินอีเป็นองค์ประกอบสำคัญ วิตามินเอ และดี ตรวจไม่พบ แม้ใช้ตัวอย่างเริ่มต้นสูงกว่า 5 กรัมคือ 10 กรัม ปริมาณวิตามินอี ในหน่วยมิลลิกรัมวิตามิน/ 100 ตัวอย่างที่ใช้สกัด ที่พบของแต่ละช่วงเวลาการเพาะคือ ก่อนทำการเพาะ เท่ากับ 0.72 และภายหลังการเพาะ12, 24, 36, และ 48 ชั่วโมง เท่ากับ 0.86, 0.70, 0.57 และ 0.63 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.21 ผลของชั่วโมงเพาะแบบแช่ต่อปริมาณวิตามินกลุ่มละลายดีในไขมัน ของข้าวกล้องช่อลุง

	มิลลิกรัมวิตามิน/ 100 กรัม ตัวอย่าง		
ชั่วโมงที่เพาะ	**เอ**	**ดี**	**อี**
*0**	nf	nf	0.72
12	nf	nf	0.86
24	nf	nf	0.70
36	nf	nf	0.57
48	nf	nf	0.63

หมายเหตุ *0** : ข้าวกล้องวัตถุดิบ ก่อนทำให้งอก; nf : not found

ผลการวิเคราะห์ที่ได้แสดงว่าระยะเวลาการเพาะแบบแช่ 12 ชั่วโมงให้ค่าปริมาณวิตามิน อี สูงสุด โดยสูงกว่าข้าวกล้องก่อนทำการเพาะ 1.19 เท่า ส่วนระยะเวลาที่ทำการเพาะตั้งแต่ 24 -48 ชั่วโมง มีผลลดปริมาณของวิตามินอี ลงในช่วง 0.57-0.70 หรือเฉลี่ย 0.63 มิลลิกรัมวิตามิน/ 100 ตัวอย่างที่ใช้สกัด ซึ่งต่ำกว่าปริมาณวิตามินอี เริ่มต้นของข้าวกล้องก่อนเพาะร้อยละ 12.5

1.7 สารออกฤทธิ์ของข้าวกล้องงอกที่มีฤทธิ์ต้านการอักเสบ

ตัวอย่างข้าวกล้องงอกที่นำมาใช้ในการแยกสารสำคัญที่มีฤทธิ์ต้านการอักเสบ คือ ข้าวพันธุ์ช่อลุงที่เพาะให้งอกโดยการแช่ในสารละลาย (สารละลาย Citric acid -Na_2HPO_4 buffer ที่ pH 3 โดยใช้อัตราส่วนของข้าว: น้ำ เท่ากับ 1:2 และแช่ที่อุณหภูมิ 40 ^{o}C นาน 48 ชั่วโมง) ซึ่งเป็นตัวอย่างที่มีปริมาณ GABA สูงที่สุด ที่คัดเลือกได้จากข้อ 1.4.6

หลังจากนำตัวอย่างข้าวกล้องงอกดังกล่าวมาสกัดด้วยตัวทำละลายเอธานอลต่อน้ำ (อัตราส่วน 1:1) สารสกัดที่ได้จากการทำแห้งโดย freezed dry มีปริมาณ 29.26 กรัม หลังจากนั้นเมื่อแยกสารด้วยวิธี chromatography พบว่าสามารถแยกสารได้ 2 fraction คือ

1. Fraction A มีน้ำหนัก 234.5 มิลลิกรัม
2. Fraction B มีน้ำหนัก 499.7 มิลลิกรัม

และจากผลการประเมินฤทธิ์การยับยั้งสาร nitric oxide พบว่า Fraction A มีค่า IC_{50} = 37.7 µg/ml ในขณะที่ Fraction B มีค่า IC_{50} > 100 µg/ml จึงทำการแยกสารจากทั้ง 2 fraction ดังนี้

1.7.1 การแยกสารจาก fraction A

นำสารสกัด fraction A จำนวน 230 มิลลิกรัมมาแยกด้วย silica gel column chromatography โดยใช้ตัวทำละลายดังนี้

- EtOAc (ml) : MeOH (ml) : Water (ml) : Formic acid (drop) อัตราส่วน (8: 1.5: 0.5: 2)
- EtOAc (ml) : MeOH (ml) : Water (ml) : Formic acid (drop) อัตราส่วน (6: 3.5: 0.5: 2)

ซึ่งแยกได้ 7 fraction ย่อยได้แก่ F1-F7 แสดงผลดังตารางที่ 4.22 ซึ่งเมื่อพิจารณาน้ำหนักแล้วพบว่าแต่ละ fraction มีน้ำหนักน้อยไม่สามารถแยกต่อได้เนื่องจากองค์ประกอบแต่ละ fraction ซับซ้อน

ตารางที่ 4.22 ผลการแยกด้วย silica gel column chromatography ของ Fraction A

Fraction A	น้ำหนัก (มิลลิกรัม)
F1	15.4
F2	30.0
F3	34.6
F4	6.5
F5	29.4
F6	33.0
F7	43.8

1.6.2 การแยกสารจาก fraction B

นำ Fraction B 490 มิลลิกรัมมาแยกด้วย silica gel column chromatography โดยใช้ตัวทำละลาย EtOAC (ml): MeOH (ml): Water (ml): Formic acid (drop) (6:3.5:0.5:2) ได้ 5 fraction ย่อย ได้แก่ F1-F5 ดังตารางที่ 4.23

ตารางที่ 4.23 ผลการแยกด้วย silica gel column chromatography ของ Fraction B

Fraction ที่	น้ำหนัก (มิลลิกรัม)
F-1	50
F-2	170
F-3	110
F-4	130
F-5	10

พบว่า F2, F3 และ F4 มีปริมาณมากพอที่จะทำการแยกต่อได้ แต่จากการทดสอบด้วย Thin Layer Chromatography (TLC) พบว่า fraction F4 มีแถบที่แยกได้ (band) ไม่ซับซ้อน จึงเลือก F4 มาศึกษาต่อเพื่อให้ทราบองค์ประกอบทางเคมีและใช้ในการควบคุมคุณภาพวัตถุดิบ จึงนำ F4 จำนวน 130 มิลลิกรัม มาแยกต่อด้วย silica gel column chromatography ได้ 4 fraction F6-F9 (ตาราง 4.24)

ตารางที่ 4.24 ผลการสกัดแยกของ Fraction F-4

Fraction ที่	น้ำหนัก (มิลลิกรัม)
F-6	29.6
F-7 *	28.9
F-8	30.2
F-9*	38.5

จากการแยก Fraction F4 มีสารที่น่าสนใจ 2 ตัวคือ F7 และ F9 เพราะเมื่อวิเคราะห์ลักษณะบน TLC พบว่า มีลักษณะเป็น spot เดียว ซึ่งมีแนวโน้มที่จะบริสุทธิ์ จึงนำไปวิเคราะห์ NMR แสดงผลดังตารางที่ 4.25

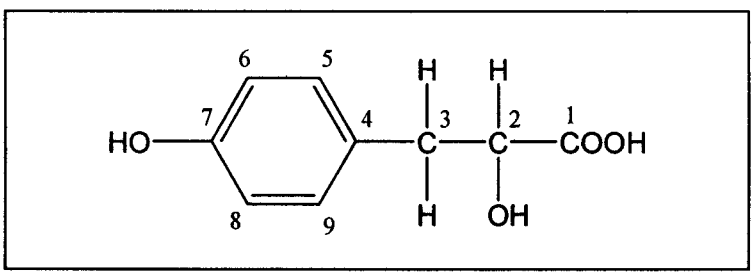
ตารางที่ 4.25 ผลการวิเคราะห์ ฤทธิ์และ ^{1}H NMR

Fraction	IC_{50}	ผล ^{1}H NMR
F7	> 100 μg/ml	แทบจะไม่มีสัญญาณ proton เลยยกเว้นที่ 8.43 ppm
F9	107.7 μg/ml	พบสัญญานของ ^{1}H NMR ดังตารางที่ 4.26

สามารถประเมินได้ว่า F9 น่าจะเป็น hydroxy phenyllactic acid ซึ่งข้อมูล ^{1}H NMR เปรียบเทียบได้กับข้อมูลขององค์ประกอบย่อยของ micropeptins (Adiv et al., 2010) ที่ทำการ run โดยใช้ตัวทำละลายเป็น DMSO-d_6

ตารางที่ 4.26 แสดง ^{1}H NMR ของ F9 (D_2O)

Position	δ (multiplicity)
2	3.84 (dd, 7.3, 5.5)
3	2.95 (dd, 14.6, 7.3) และ 3.10 (dd, 14.6, 5.5)
5,9	7.10 (d, 7.8)
6,8	6.80 (d, 7.8)



รูปที่ 4.9 สูตรโครงสร้าง Hydroxy Phenyllactic acid

ดังนั้นจากการทดสอบเบื้องต้นพบว่าสามารถแยกสารสำคัญจากสารสกัดข้าวกล้องงอกได้ 2 ชนิด สารชนิดที่ 1 แทบจะไม่มีสัญญาณ proton และค่า IC50 > 100 μg/mL สารชนิดที่ 2 น่าจะเป็น Hydroxy Phenyllactic acid ซึ่งมีค่า IC50 = 107.7 μg/mL ซึ่งงานวิจัยนี้ไม่สามารถแยกสารสกัดที่มีฤทธิ์ดีใกล้เคียงกับสารสกัดหยาบได้ อาจเนื่องมาจากสารที่มีฤทธิ์ดีมีปริมาณน้อย จึงไม่สามารถแยกสารสำคัญออกมาได้ หรือฤทธิ์ต้านการอักเสบเป็นฤทธิ์ที่เกิดจากการเสริมฤทธิ์ของสารต่างๆในสารสกัดหยาบ อย่างไรก็ตามสามารถใช้ Hydroxy phenyllactic acid เป็น marker ควบคุมคุณภาพถึงแม้มีฤทธิ์ต้านอักเสบไม่ดีมากนัก นอกจากนี้ยังพบว่า Hydroxy phenyllactic acid ยังเป็นองค์ประกอบของ oligopeptides หลายชนิดเช่น aeruginosins ซึ่ง aeruginosins มีฤทธิ์ยับยั้งการเกิด thrombin ป้องกันการเกิด thrombosis หรือการผิดปกติของการแข็งตัวของเลือดได้ (Nie ang Wang, 2008)

1.7 การทดสอบความเป็นพิษเฉียบพลันและเป็นพิษกึ่งเรื้อรังในสัตว์ทดลองของสารสกัดจากข้าวกล้องงอก

1.7.1 การทดสอบความเป็นพิษเฉียบพลันโดยเบื้องต้น

ในการทดสอบความเป็นพิษเฉียบพลันเบื้องต้น ทำการทดสอบโดยใช้หนูถีบจักรและสารละลายที่ใช้ป้อน คือ สารสกัดข้าวกล้องงอก (ที่เตรียมได้จากข้อ 1.7.1 ของบทที่ 3) ทำการละลายสารสกัดโดยใช้น้ำกลั่น เป็นตัวทำละลาย หลังจากนั้นป้อนสารสกัดข้าวกล้องงอกขนาด 2 กรัม/กิโลกรัมของน้ำหนักตัวหนู สังเกตอาการเป็นเวลา 7 วันหลังจากการป้อนสารสกัดแสดงผลดังตารางที่ 4.27

ตารางที่ 4.27 ผลการทดสอบฤทธิ์เฉียบพลันโดยเบื้องต้น

หนูถีบจักร	อาการแสดงหลังจากให้สารสกัดเป็นเวลา			
เพศ (จำนวน 10 ตัว)	1-3 ชม.	1 วัน	3 วัน	7 วัน
ผู้	-	-	-	-
เมีย	-	-	-	-

- ไม่พบอาการผิดปกติใดๆ

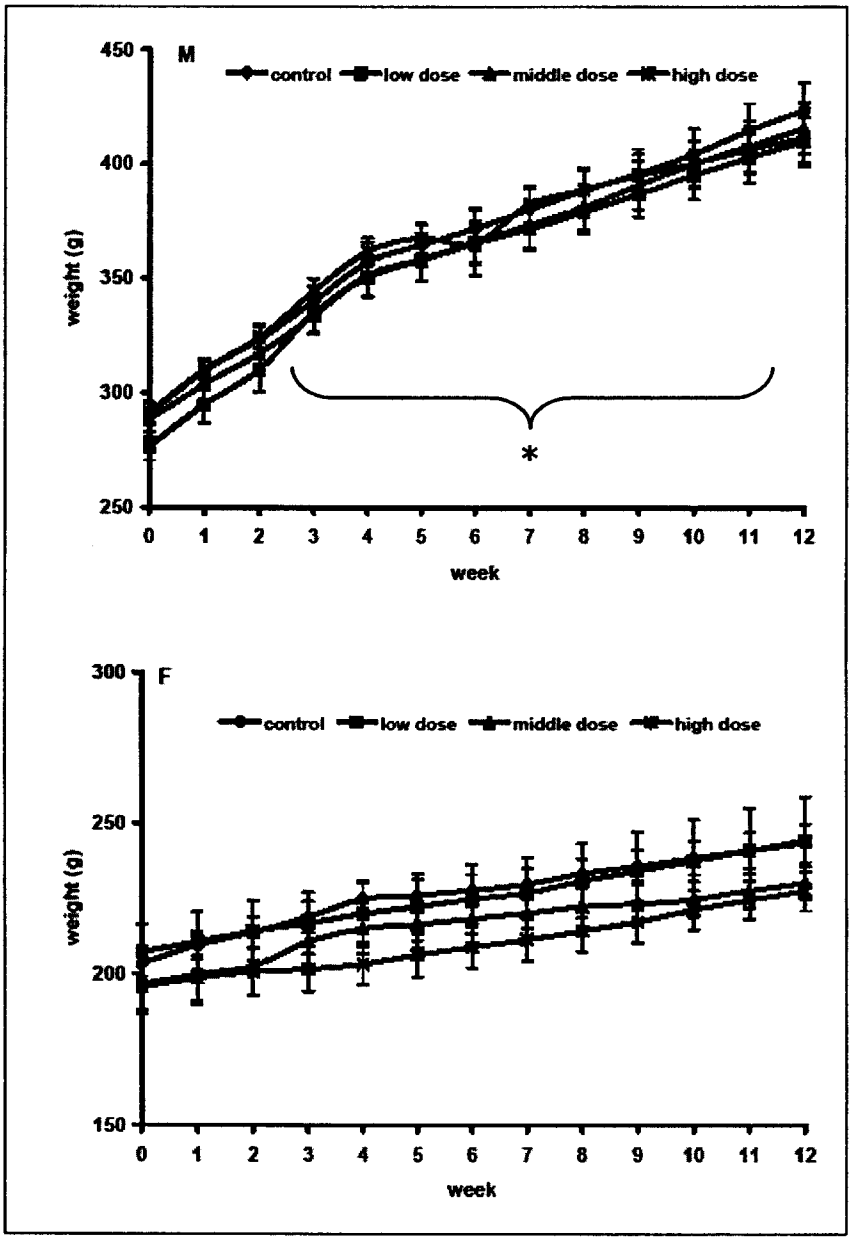
จากผลการทดสอบความเป็นพิษเฉียบพลันโดยเบื้องต้นหลังจากให้สารสกัดข้าวกล้องงอกในขนาด 2 กรัมต่อกิโลกรัมเพียงครั้งเดียว ดังแสดงในตารางที่ 4.21 พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 7 วัน ไม่พบสิ่งผิดปกติของหนูและไม่ทำให้หนูถีบจักรตาย

1.7.3 การทดสอบความเป็นพิษกึ่งเรื้อรัง

1.7.3.1 ผลของสารสกัดต่อน้ำหนักตัวของสัตว์ทดลอง

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของน้ำหนักตัวหนูแต่ละกลุ่ม ตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดการทดลอง(รูปที่ 4.10) พบว่า น้ำหนักตัวเฉลี่ยของหนูเพศผู้ทุกกลุ่มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และไม่มีความแตกต่างระหว่างกลุ่มที่ได้รับสารสกัดกับกลุ่มควบคุมตลอดระยะเวลา12 สัปดาห์ ($p > 0.05$) ในขณะที่น้ำหนักตัวของหนูเพศเมีย

แทบไม่เปลี่ยนแปลง ยกเว้นหนูกลุ่มควบคุมซึ่งมีน้ำหนักตัวเฉลี่ยเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 4 แต่ด้วยอัตราที่ช้ากว่าหนูเพศผู้ในวัยเดียวกันมาก ส่วนหนูที่ได้รับสารสกัดทั้ง 3 กลุ่มนั้น ถึงแม้น้ำหนักตัวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากเริ่มต้น อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักตัวเฉลี่ยของหนูเพศเมียแต่ละกลุ่มในสัปดาห์สุดท้ายของการทดลอง ไม่พบความแตกต่าง ($p > 0.05$) จึงสรุปว่า สารสกัดข้าวงอกในทุกขนาด (dose) ที่ใช้ทดสอบไม่มีผลต่อน้ำหนักตัวของหนูขาวทั้งเพศผู้และเพศเมีย



รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาทดลองกับน้ำหนักตัวของหนูขาวเพศผู้ (M) และเพศเมีย (F) ซึ่งได้รับสารสกัดข้าวกล้องงอกในขนาดต่างๆ กัน (control = 0 mg/kg BW/day, low dose = 75 mg/kg BW/day, middle dose = 150 mg/kg BW/day, high dose = 300 mg/kg BW/day) ผลที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่ม (mean ± SEM), n = 10; * = $p < 0.05$ เทียบกับเมื่อเริ่มต้นการทดลอง น้ำหนักตัวเฉลี่ยระหว่างกลุ่มของหนูแต่ละเพศในสัปดาห์ที่ 12 ไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$)

1.7.3.2 ผลของสารสกัดต่อค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ทางชีวเคมีในเลือด

เมื่อพิจารณาระดับเฉลี่ยของสารชีวเคมีต่างๆ ในเลือดของหนูทุกกลุ่มเมื่อสิ้นสุดการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 4.28 พบว่าในพลาสมาของหนูกลุ่ม LD และ MD ทั้งเพศผู้และเพศเมียซึ่งได้รับสารสกัดในขนาด 75 และ 150 mg/kg BW/day ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ทางชีวเคมีบางชนิดแตกต่างจากหนูกลุ่มควบคุมเพศเดียวกัน ในขณะที่ กลุ่ม HD ซึ่งได้รับสารสกัดในปริมาณที่สูงกว่าไม่พบความเปลี่ยนแปลงใดๆ เลย ทำให้เข้าใจว่า ค่าแตกต่างจากกลุ่มควบคุมซึ่งพบเฉพาะในกลุ่ม LD และ MD นั้นน่าจะเป็นความแปรปรวนทางชีวภาพซึ่งเป็นเรื่องปกติในสัตว์ทดลองมากกว่าฤทธิ์ของสารสกัด เพราะผลที่เกิดขึ้นไม่สม่ำเสมอ ค่าต่างๆ ที่วัดได้ยังอยู่ในช่วงอ้างอิง (reference intervals) ของหนู Wistar ปกติซึ่งมีขนาดตัวใกล้เคียงกับที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ (Boehm *et al.*, 2007) และที่สำคัญคือ ระดับความแตกต่างไม่แปรตามขนาดของสารสกัดที่หนูได้รับ

ดังนั้น การได้รับสารสกัดข้าวกล้องงอกที่ใช้ทดสอบในขนาดที่สูงถึง 300 mg/kg BW/day ซึ่งคิดเป็น 4 เท่าของปริมาณสารสกัดที่คนเราหนักประมาณ 60 กิโลกรัม จะได้รับเมื่อบริโภคข้าวกล้องงอกเฉลี่ยวันละ 3 มื้อ (300 กรัม) ติดต่อกันนาน 12 สัปดาห์ จึงไม่มีผลต่อค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ทางชีวเคมีในเลือดของสัตว์ทดลอง ซึ่งสามารถสะท้อนได้ถึงสภาพของอวัยวะภายในโดยเฉพาะตับกับไต นั่นเอง

ตารางที่ 4.28 ผลการตรวจวัดระดับสารชีวเคมีต่างๆ ในพลาสมาของหนูแต่ละกลุ่มซึ่งได้รับสารสกัดข้าวกล้องงอกในขนาดต่างๆ กัน (control = 0 mg/kg BW/day, LD = 75 mg/kg BW/day, MD = 150 mg/kg BW/day, HD = 300 mg/kg BW/day)

Parameters	Treatment Groups			
	Control	LD	MD	HD
Male Rats				
Glucose (mg%)	88.50 ± 3.72	75.44 ± 5.50	66.71 ± 10.52*	86.00 ± 5.08
BUN (mg%)	26.46 ± 1.45	21.24 ± 3.82*	21.80 ± 0.94*	25.03 ± 0.77
Creatinine (mg%)	0.64 ± 0.20	0.68 ± 0.36	0.43 ± 0.46*	0.56 ± 0.03
Cholesterol (mg%)	54.00 ± 4.26	77.00 ± 5.83	69.88 ± 5.97*	60.40 ± 3.62
Triglycerides	47.70 ± 3.50	90.56 ± 10.73*	82.00 ± 16.40*	52.10 ± 3.66
HDL-C (mg%)	42.30 ± 4.07	40.22 ± 4.99	42.33 ± 7.33	32.56 ± 2.49
Total Protein (g%)	7.10 ± 0.11	8.29 ± 0.12*	7.75 ± 0.23*	7.10 ± 0.10
Total Bilirubin	0.50 ± 0.07	0.53 ± 0.08	0.75 ± 0.22	0.42 ± 0.10
AST (U/L)	191.80 ±	257.00 ±	239.38 ±	178.00 ± 8.71
ALT (U/L)	45.90 ± 2.84	43.44 ± 1.44	47.75 ± 4.84	51.70 ± 4.44

ตารางที่ 4.28 (ต่อ)

Parameters	Treatment Groups			
	Control	LD	MD	HD
Male Rats				
Alkaline Phosphatase (U/L)	65.10 ± 2.48	61.44 ± 2.65	76.13 ± 14.17	67.70 ± 3.53
Albumin (g%)	3.49 ± 0.04	3.86 ± 0.04*	3.52 ± 0.26	3.47 ± 0.06
Uric Acid (mg%)	1.20 ± 0.15	1.92 ± 0.14*	1.99 ± 0.20*	1.56 ± 0.12
Femalemale Rats				
Glucose (mg%)	68.30 ± 4.48	131.83 ±	55.50 ± 9.43	72.00 ± 6.99
BUN (mg%)	27.85 ± 1.71	22.33 ± 5.58	30.40 ± 5.79	24.72 ± 1.49
Creatinine (mg%)	0.74 ± 0.10	0.43 ± 0.10*	0.73 ± 0.05	0.58 ± 0.02
Cholesterol (mg%)	50.30 ± 4.41	85.43 ± 22.78	103.12 ± 43.76	75.50 ± 7.32
Triglycerides	52.90 ± 4.12	83.50 ± 21.79	212.88 ± 37.31	60.60 ± 5.62
HDL-C (mg%)	47.10 ± 4.00	28.00 ± 0.00	28.25 ± 5.15*	35.78 ± 4.64
Total Protein (g%)	7.19 ± 0.26	5.20 ± 1.09	11.03 ± 3.69	7.22 ± 0.92
Total Bilirubin	0.82 ± 0.19	1.18 ± 0.43	0.68 ± 0.43	0.78 ± 0.33
AST (U/L)	157.40 ±	151.67 ± 55.27	216.20 ± 15.63	164.33 ± 13.84
ALT(U/L)	53.10 ± 9.65	134.50 ± 85.34	32.83 ± 5.48	34.67 ± 2.68
Alkaline	35.40 ± 1.92	35.50 ± 5.32	34.17 ± 3.82	39.67 ± 4.18
Albumin (g%)	3.62 ± 0.07	2.70 ±0.86	4.19 ± 0.28	3.71 ± 0.54
Uric Acid (g%)	1.99 ± 0.34	2.03 ± 0.34	2.42 ± 0.54	1.58 ± 0.11

ผลที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย (mean ± SEM), n = 8-10; * = $p < 0.05$ เทียบกับกลุ่มควบคุม

BUN = blood urea nitrogen, HDL-C = high density lipoprotein-cholesterol, AST = aspartate aminotransferase, ALT = alanine aminotransferase

1.7.3.3 ผลของสารสกัดต่อค่าทางโลหิตวิทยา

ค่าต่างๆ ทางโลหิตวิทยาของหนูแต่ละกลุ่มเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ใกล้เคียงกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.29 ยกเว้นหนูกลุ่ม LD เพศผู้ ซึ่งมีค่าฮีโมโกลบิน เม็ดเลือดแดงอัดแน่น (% hematocrit) และปริมาตรเม็ดเลือดแดงเฉลี่ย (MCV)สูงกว่ากลุ่มควบคุมเล็กน้อย ในขณะที่เกร็ดเลือดมีปริมาณเพิ่มขึ้นใกล้เคียง

กันเฉพาะในกลุ่ม LD และ MD ส่วนในหนูเพศเมียนั้นพบว่า มีสัดส่วน (%differential) ของเม็ดเลือดขาวชนิด eosinophil ต่ำกว่ากลุ่มควบคุม ในทำนองเดียวกันกับผลการตรวจวัดพารามิเตอร์ทางชีวเคมีในเลือดที่กล่าวมาแล้ว ค่าความแตกต่างเหล่านี้น่าจะเป็นลักษณะแปรปรวนทางชีวภาพมากกว่าผลของสารสกัด

ตารางที่ 4.29 ผลการตรวจวัดค่าต่างๆ ทางโลหิตวิทยาของหนูแต่ละกลุ่มซึ่งได้รับสารสกัดข้าวกล้องงอกในขนาดต่างๆ กัน (control = 0 mg/kg BW/day, LD = 75 mg/kg BW/day, MD = 150 mg/kg BW/day, HD = 300 mg/kg BW/day)

Parameters	Treatment Groups			
	Control	LD	MD	HD
Male Rats				
WBC (μL^{-1})	5,680.00 ± 214.89	5,677.80 ± 462.41	7,575.00 ± 2,403.40	5,510.00 ± 502.98
HB (g%)	14.81 ± 0.19	16.03 ± 0.22*	15.46 ± 0.55	14.48 ± 0.27
HCT (%)	43.50 ± 0.69	47.56 ± 0.44*	45.38 ± 1.59	42.20 ± 0.83
MCV (fL)	52.50 ± 0.22	54.00 ± 0.53*	52.88 ± 0.61	51.40 ± 0.60
MCH (pg)	18.00 ± 0.00	18.22 ± 0.22	18.00 ± 0.19	17.60 ± 0.27
MCHC (g/dL)	34.20 ± 0.13	33.78 ± 0.22	34.33 ± 0.24	34.10 ± 0.31
PMN (%)	70.00 ± 1.25	73.33 ± 1.17	70.75 ± 1.63	68.40 ± 2.09
Lymp (%)	27.30 ± 1.27	24.33 ± 1.12	25.63 ± 1.41	28.50 ± 1.70
Mono (%)	1.30 ± 0.15	1.22 ± 0.15	2.13 ± 0.40	2.10 ± 0.50
Eo (%)	1.40 ± 0.22	1.11 ± 0.20	1.50 ± 0.33	1.00 ± 0.15
Baso (%)	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
Plt (μL^{-1})	561,300.0 ± 21,686.7	770,625.0 ± 27,305.8*	728,750.0 ± 52,925.0*	561,600.0 ± 45,552.7
RBC (μL^{-1})	8,252,000.0 ± 153,947.0	8,796,666.7 ± 121,747.0	8,591,250.0 ± 327,080.0	8,249,000.0 ± 146,799.0
Female Rats				
WBC (μL^{-1})	3,070.00 ± 282.47	4,080.00 ± 377.36	3,188.90 ± 524.26	4,250.00 ± 571.21
HB (g%)	14.07 ± 0.47	15.00 ± 0.47	15.30 ± 0.36	14.23 ± 0.30
HCT (%)	39.90 ± 1.36	42.30 ± 1.25	43.00 ± 0.82	40.80 ± 1.07
MCV (fL)	53.90 ± 0.46	55.30 ± 0.47	52.44 ± 2.16	53.00 ± 0.33
MCH (pg)	19.00 ± 0.21	21.70 ± 2.04	19.00 ± 0.36	19.00 ± 0.33
MCHC (g/dL)	35.40 ± 0.22	35.70 ± 0.30	35.67 ± 0.44	35.70 ± 0.65
PMN (%)	68.60 ± 1.59	69.00 ± 2.56	68.89 ± 1.40	73.40 ± 0.79*

ตารางที่ 4.29 (ต่อ)

Parameters	Treatment Groups			
	Control	LD	MD	HD
Female Rats (ต่อ)				
Lymp (%)	26.10 ± 1.38	26.30 ± 2.54	27.44 ± 1.82	23.80 ± 1.08
Mono (%)	2.20 ± 0.49	2.50 ± 0.62	1.89 ± 0.31	1.80 ± 0.55
Eo (%)	3.00 ± 0.54	2.20 ± 0.59	1.78 ± 0.40	1.00 ± 0.47*
Baso (%)	0.10 ± 0.10	0.00	0.00	0.00
Plt (μL^{-1})	549,500.0 ± 70,106.8	742,000.0 ± 77,419.7	800,890.0 ± 10,578.3	616,400.0 ± 70,433.8
RBC (μL^{-1})	7,406,000.0 ± 260,888.0	7,661,000.0 ± 265,173.0	7,735,600.0 ± 245,821.0	7,697,000.0 ± 197,130.0

ผลที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย (mean ± SEM), n = 8-10; * = $p < 0.05$ เทียบกับกลุ่มควบคุม

WBC = leukocyte count, HB = hemoglobin concentration, HCT = hematocrit, MCV = mean corpuscular volume, MCH = mean corpuscular hemoglobin, MCHC = mean corpuscular hemoglobin concentration, PMN = polymorphonuclear leukocyte, Lymp = lymphocyte, Mono = monocyte, Eo = eosinophil, Baso = basophil, Plt=platelet count, RBC = erythrocyte count

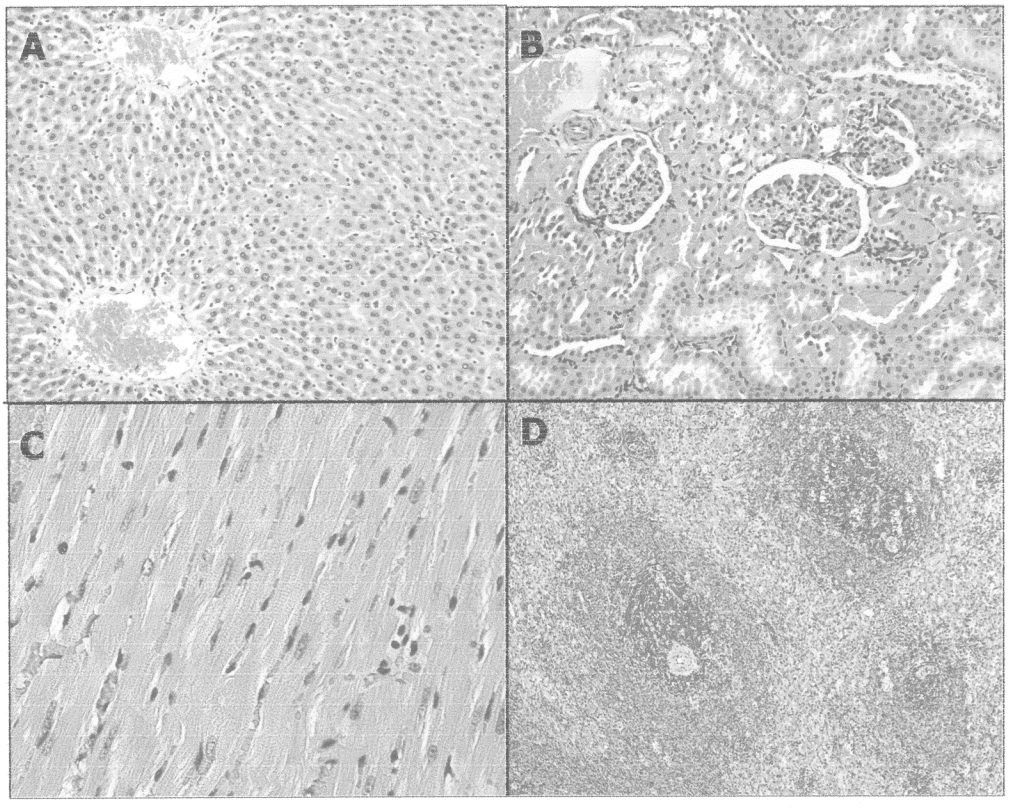
1.7.3.4 ผลของสารสกัดต่อลักษณะอวัยวะภายใน

จากการพิจารณาลักษณะภายนอกและขนาดของอวัยวะภายในของหนูแต่ละตัว เมื่อสิ้นสุดการทดลอง โดยเฉพาะตับและไตซึ่งเป็นอวัยวะสำคัญที่ต้องสัมผัสกับสารพิษโดยตรงและยังทำหน้าที่กำจัดสารพิษออกจากร่างกาย ไม่พบความผิดปกติของ ตับ ไต หัวใจ และม้ามในหนูทุกกลุ่มและขนาดของอวัยวะแต่ละชนิดไม่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.30 สอดคล้องกับผลการตรวจพยาธิวิทยาเนื้อเยื่อของอวัยวะเหล่านี้ ซึ่งไม่พบความผิดปกติใดๆ ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 4.11

ตารางที่ 4.30 น้ำหนักอวัยวะภายในของหนูแต่ละกลุ่มซึ่งได้รับสารสกัดข้าวกล้องงอกในขนาดต่างๆ กัน (control =0 mg/kg BW/day, LD =75 mg/kg BW/day, MD =150 mg/kg BW/day, HD = 300 mg/kg BW/day)

Organ Weights	Treatment Groups			
(g)	Control	LD	MD	HD
Male Rats				
liver	8.95 ± 0.46	7.99 ± 0.23	8.17 ± 0.32	8.90 ± 0.29
kidney	2.02 ± 0.07	1.91 ± 0.08	1.84 ± 0.06	2.02 ± 0.06
heart	1.29 ± 0.05	1.25 ± 0.06	1.28 ± 0.06	1.26 ± 0.05
spleen	0.73 ± 0.02	0.67 ± 0.04	0.69 ± 0.05	0.67 ± 0.03
Female Rats				
liver	5.84 ± 0.18	5.20 ± 0.20	5.26 ± 0.22	5.28 ± 0.14
kidney	1.40 ± 0.05	1.31 ± 0.05	1.31 ± 0.04	1.25 ± 0.03
heart	0.83 ± 0.02	0.84 ± 0.03	0.84 ± 0.03	0.80 ± 0.04
spleen	0.55 ± 0.02	0.50 ± 0.03	0.59 ± 0.08	0.52 ± 0.02

ผลที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย (mean ± SEM), n = 9-10



รูปที่ 4.11 แสดงภาพจากกล้องจุลทรรศน์ของตัวอย่างเนื้อเยื่ออวัยวะภายในของหนูเพศผู้ซึ่งได้รับสารสกัดข้าวงอกในขนาด 300 mg/kg BW/day [A = ตับ (x 10), B = ไต (x 40), C = หัวใจ (x 40), D = ม้าม (x 10)]

ส่วนที่ 2: การพัฒนาผลิตภัณฑ์จากข้าวกล้องงอก

ตัวอย่างข้าวกล้องงอกที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากข้าวกล้องงอก คือ ข้าวพันธุ์ช่อลุงที่เพาะให้งอกโดยการแช่ในสารละลาย (สารละลาย Citric acid -Na_2HPO_4 buffer ที่ pH 3 โดยใช้อัตราส่วนของข้าว: น้ำ เท่ากับ 1:2 และแช่ที่อุณหภูมิ 40 ^{o}C นาน 48 ชั่วโมง) ซึ่งเป็นตัวอย่างที่มีปริมาณ GABA สูงที่สุด ที่คัดเลือกได้จากข้อ 1.4.6 ซึ่งสามารถสรุปวิธีการเตรียมดังแสดงในภาคผนวก ซ

2.1 การสำรวจความต้องการของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอก

การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารโดยใช้ข้าวกล้องงอกเป็นส่วนประกอบจำเป็นต้องทราบถึงความต้องการของผู้บริโภคที่เป็นกลุ่มผู้บริโภคเป้าหมาย จึงต้องมีการสำรวจความต้องการของผู้ บริโภคกลุ่มดังกล่าวโดยใช้แบบสอบถาม กลุ่มผู้บริโภคเป้าหมายคือ ผู้สูงอายุที่มีอายุ 60 ปีขึ้นไป ทั้งนี้เนื่องจากว่าสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีอยู่ในข้าวกล้องงอก ได้แก่ GABA, gamma-oryzanol, ferulic acid, phytate, total phenolic มีฤทธิ์ในการลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคต่างๆ เช่น โรคอัลไซเมอร์ ความดันโลหิต โรคเบาหวาน และมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Richard, 2000; Su et al., 2003; Ito et al., 2005; Miura et al., 2006; Huang et al., 2007) จึงเหมาะสำหรับกลุ่มผู้สูงอายุซึ่งมีความเสี่ยงในการเกิดโรคเหล่านี้ได้สูงกว่าผู้บริโภคในวัยอื่นๆ ดังนั้นจึงทำการสำรวจความคิดเห็นของผู้บริโภคเพื่อใช้ความต้องการของกลุ่มผู้บริโภคเป้าหมายเป็นแนวทางสำหรับพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอก และได้ผลดังนี้

จากการสำรวจความคิดเห็นของผู้บริโภค ที่มีอายุในช่วง 60 ปีขึ้นไป จำนวน 100 คน (เทียบเป็น 100 %) โดยภาพรวมพบว่ากลุ่มตัวอย่างรู้จักข้าวกล้องงอก 71% ไม่รู้จัก 23% และไม่แน่ใจ 6% และจากการสำรวจว่ากลุ่มตัวอย่างเคยรับประทานผลิตภัณฑ์จากข้าวกล้องงอกหรือไม่ พบว่า 51% เคยรับประทาน ในขณะที่ 49% ไม่เคยรับประทาน ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่ใกล้เคียงกัน

สำหรับผู้ตอบแบบสอบถามจำนวน 51% ที่เคยรับประทานผลิตภัณฑ์ที่มีข้าวกล้องเป็นส่วนประกอบ พบว่าชนิดของผลิตภัณฑ์ 3 อันดับแรกที่ผู้ตอบแบบสอบถามเคยรับประทานคือ ข้าวกล้องงอกหุงสุก 31 คน เครื่องดื่มบรรจุขวด/กล่อง/กระป๋อง 27 คน และเครื่องดื่มแบบชงดื่ม 20 คน เมื่อเทียบกับผู้ตอบแบบสอบถามที่เคยรับประทานทั้งหมดพบว่าคิดเป็น 60.78%, 52.94% และ 39.22% ตามลำดับ (ดังตารางที่ 4.31)

ตารางที่ 4.31 ประเภทของผลิตภัณฑ์อาหารที่มีข้าวกกล้องงอกเป็นส่วนประกอบที่ผู้ตอบแบบสอบถามเคยรับประทาน

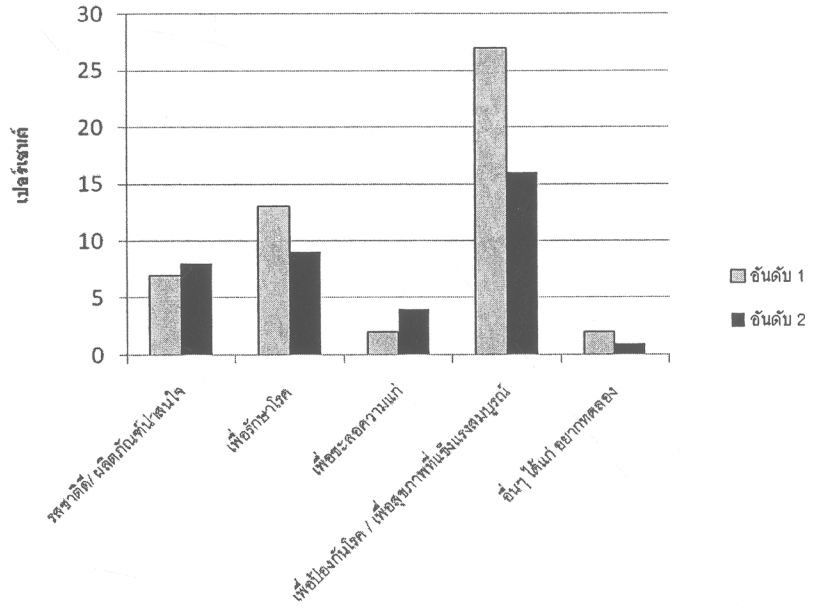
ผลิตภัณฑ์อาหารที่มีข้าวกล้องงอกเป็นส่วนประกอบที่ท่านเคยรับประทานคือผลิตภัณฑ์ประเภทใด	จำนวนผู้ตอบแบบสอบถาม	
	จำนวนคน	%
ข้าวต้ม / โจ๊กสำเร็จรูปหรือกึ่งสำเร็จรูป	14	27.45
เครื่องดื่มแบบชงดื่ม	20	39.22
เครื่องดื่มแบบที่บรรจุขวด/ กล่อง/ กระป๋อง	27	52.94
ข้าวกล้องงอกหุงสุก	31	60.78
ซุปสำเร็จรูปหรือกึ่งสำเร็จรูป	5	9.80
อาหารเช้าธัญพืช	3	5.88
ขนมหวาน เช่น ไอศกรีม เค้ก ขนมหวานไทยๆ	7	13.73
อาหารขบเคี้ยว	4	7.84
ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่	2	3.92
ผลิตภัณฑ์เส้นและแผ่น เช่น เส้นก๋วยเตี๋ยวขนาดต่างๆ ขนมจีน เกี๋ยมอี๋ แป้งแผ่น	8	15.69

ในการบริโภคผลิตภัณฑ์อาหารที่มีข้าวกล้องงอกเป็นส่วนประกอบพบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่บริโภคน้อยกว่า 1 ครั้งต่อเดือน โดยคิดเป็น 37.25% รองลงมาคือ 1-2 ครั้งต่อสัปดาห์ คิดเป็น 27.45% แสดงดังตารางที่ 4.32

ตารางที่ 4.32 ความถี่ในการบริโภคผลิตภัณฑ์อาหารที่มีข้าวกล้องงอกเป็นส่วนประกอบ

ความถี่ในการบริโภคผลิตภัณฑ์อาหารที่มีข้าวกล้องงอกเป็นส่วนประกอบ	จำนวนผู้ตอบแบบสอบถาม	
	จำนวน	%
มากกว่า 3 ครั้ง/สัปดาห์	6	11.76
1 – 2 ครั้ง/สัปดาห์	14	27.45
1 – 3 ครั้ง/เดือน	12	23.53
น้อยกว่า 1 ครั้ง/เดือน	19	37.25
รวม	**51**	**100**

นอกจากนี้สาเหตุที่ผู้ตอบแบบสอบถามใช้ในการเลือกรับประทานผลิตภัณฑ์อาหารที่มีข้าวกล้องงอกเป็นส่วนประกอบ พบว่าผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เลือกรับประทานเพราะคาดว่าผลิตภัณฑ์อาหารที่มีข้าวกล้องงอกเป็นส่วนประกอบมีส่วนช่วยในการป้องกันโรคและช่วยให้สุขภาพแข็งแรงสมบูรณ์ ซึ่งคิดเป็น 48.31% รองลงมาคือช่วยรักษาโรค คิดเป็น 24.72% ดังรูปที่ 4.12 แสดงให้เห็นว่าผู้บริโภคเลือกรับประทานโดยเน้นประโยชน์ที่มีต่อสุขภาพเป็นเหตุผลหลัก ส่วนเหตุผลที่ผู้ตอบแบบสอบถามไม่เคยรับประทานหรือเคยรับประทานอยู่ แล้วเลิกรับประทานส่วนใหญ่คือไม่รู้จัก หาซื้อลำบาก และไม่มีขายตามร้านค้าเล็กๆ แสดงดังตารางที่ 4.33

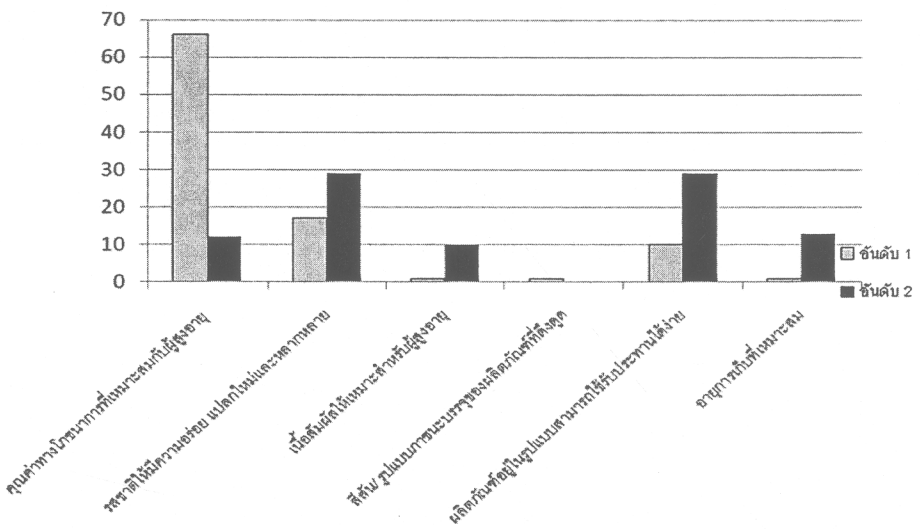


รูปที่ 4.12 เปอร์เซนต์ของผู้ตอบแบบสอบถามเกี่ยวกับสาเหตุสำคัญที่ทำให้ผู้ตอบแบบสอบถามเลือกรับประทานผลิตภัณฑ์อาหารที่มีข้าวกล้องงอกเป็นส่วนประกอบ

ตารางที่ 4.33 สาเหตุสำคัญที่ทำให้ผู้ตอบแบบสอบถามไม่เคยรับประทานหรือเลิกรับประทานอาหารที่มีข้าวกล้องงอกเป็นส่วนประกอบ

สาเหตุสำคัญที่ทำให้ท่านเลือกรับประทานผลิตภัณฑ์อาหารที่มีข้าวกล้องงอกเป็นส่วนประกอบ	ผู้ตอบแบบสอบถาม	
	จำนวน	%
ผลิตภัณฑ์ไม่มีความหลากหลาย	10	14.93
เบื่อ	3	4.48
รับประทานแล้วไม่รู้สึกดีขึ้น	2	2.99
กลัวรสชาติไม่ดี	5	7.46
ไม่คุ้มค่ากับราคาของผลิตภัณฑ์	6	8.96
ไม่เชื่อว่าให้ผลดีจริงตามคำกล่าวอ้าง	10	14.93
ผลิตภัณฑ์อยู่ในรูปแบบที่ไม่สะดวกในการรับประทาน	3	4.48
ไม่กล้าลอง	7	10.45
อื่นๆ ได้แก่ ไม่มีขายตามร้านค้าเล็กๆ , ไม่เคยรู้จักมาก่อน	21	31.34
รวม	**67**	**100**

ในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์อาหารที่ใช้ข้าวกล้องงอกเป็นส่วนประกอบ จากการสำรวจผู้ตอบแบบสอบถาม 100 คน โดยให้เลือกตอบ 2 อันดับที่คิดว่าควรมีการปรับปรุงพบว่า อันดับหนึ่งที่ผู้ตอบแบบสอบถามให้ความสำคัญคือการปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการที่เหมาะสมกับผู้สูงอายุคิดเป็น 68.75% อันดับสองคือการปรับปรุงรสชาติให้มีความอร่อย แปลกใหม่และหลากหลาย และผลิตภัณฑ์อยู่ในรูปแบบที่สามารถใช้รับประทานได้ง่าย คิดเป็น 31.18% แสดงดังรูปที่ 4.13



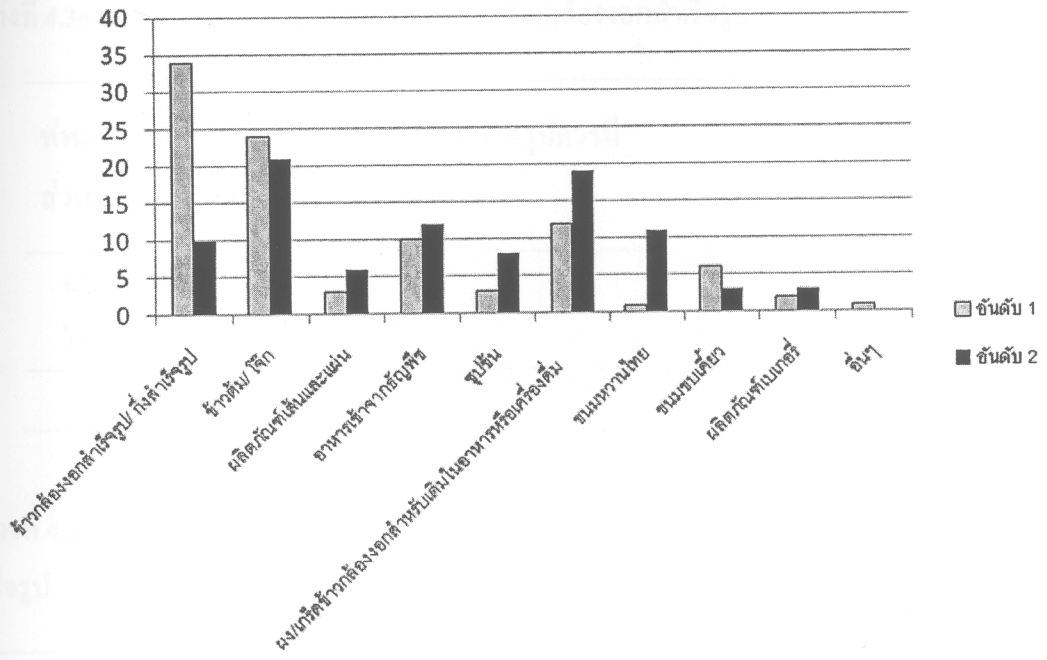
รูปที่ 4.13 เปอร์เซนต์ของผู้ตอบแบบสอบถามเกี่ยวกับการปรับปรุงผลิตภัณฑ์อาหารที่ใช้ข้าวกล้องงอกเป็นส่วนประกอบหลัก เมื่อมีการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์

จากตารางที่ 4.34 จะเห็นได้ว่าผู้ตอบแบบสอบถามต้องการให้ผลิตภัณฑ์มีการเสริม DHA ซึ่งเป็นกรดไขมันที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาสมองและระบบสายตา ซึ่งได้จากน้ำมันสกัดจากผลิตภัณฑ์ทางทะเลมากที่สุดถึง 28.13% รองลงมาคือต้องการให้ลดไขมันคิดเป็น 16.67%

การสำรวจความคิดเห็นโดยให้ผู้ตอบแบบสอบถามสามารถเลือกได้ 2 อันดับจากตัวอย่างผลิตภัณฑ์หลายๆชนิดที่ใช้ข้าวกล้องงอกเป็นส่วนประกอบ พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความสนใจจากผู้ตอบแบบสอบถามความถี่สูงสุดคือข้าวกล้องงอกสำเร็จรูป/กึ่งสำเร็จรูป คิดเป็น 35.42% อันดับสองคือข้าวต้ม/โจ๊ก คิดเป็น 25% (ดังรูปที่ 4.14) ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกข้าวกล้องงอกสำเร็จรูป/ กึ่งสำเร็จรูป เพื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ต่อไป

ตารางที่ 4.34 ความต้องการของผู้ตอบแบบสอบถามต่อการปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการ

ถ้าต้องการปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการ ท่านต้องการให้เพิ่มหรือลดสารอาหารชนิดใดร่วมกับการใช้ข้าวกล้องงอก	**จำนวนผู้ตอบแบบสอบถาม**	
	จำนวน	%
เสริม DHA (กรดไขมันที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาสมองและระบบสายตา ได้จากน้ำมันสกัดจากผลิตภัณฑ์ทางทะเล)	27	28.13
เสริมโปรไบโอติก (จุลินทรีย์ที่มีประโยชน์เช่นเดียวกับโยเกิร์ต)	4	4.17
เสริมใยอาหาร/ พรีไบโอติก	11	11.46
เสริมวิตามินต่าง ๆ	8	8.33
เสริมเกลือแร่ เช่น แคลเซียม	11	11.46
ลดไขมัน	16	16.67
ลดค่าพลังงาน เช่น ลดน้ำตาล	8	8.33
เสริมสารต้านอนุมูลอิสระ	9	9.38
อื่นๆ ได้แก่ ใส่ได้ทุกอย่างที่มีประโยชน์	2	2.08
รวม	**96**	**100**



รูปที่ 4.14 เปอร์เซนต์ของความสนใจของผู้ตอบแบบสอบถามที่มีต่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ชนิดต่างๆหากมีการพัฒนาโดยใช้ข้าวกล้องงอกเป็นส่วนประกอบ

จากการสำรวจพบว่า ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูป/ กึ่งสำเร็จรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความสนใจมากที่สุด ดังนั้นจึงทำการสำรวจความคิดเห็นที่มีต่อรูปแบบและลักษณะของผลิตภัณฑ์ พบว่าผู้ตอบแบบสอบมีความเห็นว่าผลิตภัณฑ์ควรมีลักษณะของข้าวกล้องงอกเป็นแบบกึ่งสำเร็จรูป (ผู้บริโภคจะต้องเตรียมเอง เช่น เติมน้ำร้อนจึงจะรับประทานได้) มากที่สุดคือ 56.82% (ตารางที่ 4.35) และควรมีส่วนผสมของวัตถุดิบอื่นๆ เพิ่มอีก (ผลการสำรวจคิดเป็น 73.17%) (ตารางที่ 4.36) และวัตถุดิบที่เหมาะสมที่นำมาใช้เป็นส่วนผสมในข้าวกล้องงอกสำเร็จรูป/ กึ่งสำเร็จรูปแสดงดังตารางที่ 4.37

ตารางที่ 4.35 รูปแบบของผลิตภัณฑ์จากข้าวกล้องงอก

ท่านคิดว่าผลิตภัณฑ์จากข้าวกล้องงอกควรมีรูปแบบลักษณะอย่างไร	**จำนวนผู้ตอบแบบสอบถาม**	
	จำนวน	%
ข้าวสวยพร้อมรับประทาน	15	34.09
ข้าวกึ่งสำเร็จรูป (ผู้บริโภคจะต้องเตรียมเอง เช่น เติมน้ำร้อนจึงจะรับประทานได้)	25	56.82
ข้าวผัด	2	4.55
อื่นๆ ได้แก่ ข้าวพร้อมหุง	2	4.55
รวม	**56**	**100**

ตารางที่ 4.36 ความเห็นเกี่ยวกับส่วนผสมอื่นๆ ในข้าวกล้องงอกสำเร็จรูป/ กึ่งสำเร็จรูป

ท่านคิดว่าข้าวกล้องงอกสำเร็จรูป/ กึ่งสำเร็จรูปควรมีส่วนผสมของวัตถุดิบอื่นๆ อีกหรือไม่	จำนวนผู้ตอบแบบสอบถาม	
	จำนวน	%
ควรมี	30	73.17
ไม่ควรมี	11	26.83
รวม	**41**	**100**

ตารางที่ 4.37 ความเห็นในปัจจัยวัตถุดิบที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นส่วนผสมในข้าวกล้องงอกสำเร็จรูป/กึ่งสำเร็จรูป

ท่านคิดว่าวัตถุดิบที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นส่วนผสมในข้าวกล้องงอกสำเร็จรูป/ กึ่งสำเร็จรูป	อันดับหนึ่ง		อันดับสอง	
	จำนวน	%	จำนวน	%
ข้าวสาร/ข้าวกล้อง	4	14.29	1	3.57
ข้าวโพด	3	10.71	1	3.57
ผักหวาน	1	3.57	-	-
ถั่วเขียว	1	3.57	-	-
เมล็ดแปะก๊วย	1	3.57	-	-
จมูกข้าวสาลี	7	25.00	4	14.29
เนื้อปลา	7	25.00	5	17.86
โปรตีนเกษตร	2	7.14	3	10.71
เต้าหู้	-	-	1	3.57
ต้นหอม/ผักชี	-	-	2	7.14
คะน้า	-	-	1	3.57
ผักโขม	-	-	1	3.57
เห็ดหอม	-	-	3	10.71
สาหร่าย	-	-	3	10.71
ข้าวโพดอ่อน	-	-	1	3.57
ถั่วเหลือง	-	-	1	10.71
เมล็ดเกาลัด	-	-	1	10.71
อื่นๆ ได้แก่ งาดำ	2	7.14	-	-
รวม	**28**	**100**	**28**	**100**

จากการสำรวจผู้ตอบแบบสอบถามจำนวน 100 คน เป็นชาย 28 % และเป็นหญิง 72 % นับถือศาสนาพุทธ 77% ผู้ตอบแบบสอบถามเป็นกลุ่มผู้สูงอายุ (60 ปีขึ้นไป) ส่วนใหญ่อยู่ในช่วงอายุ 60-65 ปี (คิดเป็น 44%) ระดับการศึกษาของผู้ตอบแบบสอบถามมีหลากหลาย (ประถมศึกษา 51%, ปวช/ปวส/มัธยมศึกษา 23%, ปริญญาตรี 20%) มีจำนวนสมาชิกในครอบครัวมากกว่า 4 คนขึ้นไป (59%) มีรายได้ของครอบครัว 10,000 – 30,000 บาท (48%) เมื่อสำรวจด้านสุขภาพพบว่าผู้ตอบแบบสอบถามเป็นโรคความดันโลหิตสูง (45%), โรคไขมันในเลือดสูง(32%) , โรคกระดูกและข้อ (27%), โรคที่เกี่ยวกับระบบทางเดิน (24%) และโรคเบาหวาน (21%) นอกจากนี้ผู้ตอบแบบสอบถามมีฟันปลอมและใช้ฟันปลอมในการรับประทานอาหาร 46% แสดงดังตารางที่ 4.38

ตารางที่ 4.38 ข้อมูลประชากรศาสตร์ของผู้ตอบแบบสอบถาม

ลักษณะทางประชากรศาสตร์	จำนวนผู้ตอบแบบสอบถาม (%)
1. เพศ	
ชาย	28
หญิง	72
2. ศาสนา	
พุทธ	77
คริสต์	1
อิสลาม	22
อื่นๆ	0
3. อายุ	
60 – 65 ปี	44
66 - 70 ปี	24
71 - 75 ปี	19
76 - 80 ปี	7
80 ปีขึ้นไป	6
4. การศึกษา	
ประถมศึกษา	51
ปวช./ ปวส./ มัธยมศึกษา	23
อนุปริญญาหรือเทียบเท่า	2
ปริญญาตรี	20
สูงกว่าปริญญาตรี	1
อื่น ๆได้แก่ เรียนโรงเรียนจีน, ไม่เรียน	3

ตารางที่ 4.38 (ต่อ)

ลักษณะทางประชากรศาสตร์	จำนวนผู้ตอบแบบสอบถาม (%)
5. รายได้ของครอบครัวต่อเดือน	
น้อยกว่า 10,000 บาท	24
10,000 – 30,000 บาท	48
30,001 – 50,000 บาท	15
มากกว่า 50,000 บาท	13
6. จำนวนสมาชิกในครอบครัว (นับรวมตัวท่านด้วย)	
1 คน	3
2 คน	12
3 คน	26
4 คนขึ้นไป	59
7. ท่านมีประวัติเจ็บป่วยจากโรคต่างๆเหล่านี้หรือไม่	
ไม่มี	15
โรคเบาหวาน	21
โรคไขมันในเลือดสูง	32
โรคความดันโลหิตสูง	45
โรคหัวใจและหลอดเลือด	6
โรคไต	3
โรคกระดูกและข้อ เช่น โรคเก๊าท์ โรคกระดูกพรุน	27
โรคที่เกี่ยวกับระบบทางเดิน อาหาร เช่น ท้องอืด	24
ท้องผูก ท้องเฟ้อ	
อื่นๆ	3
8. ท่านมีและใช้ฟันปลอมในการรับประทานอาหารหรือไม่	
ไม่มี	52
มีและใช้ในการ รับประทานอาหาร	46
มีแต่ไม่ใช้ในการรับประทานอาหาร	1

ดังนั้นแนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์ ผู้ตอบแบบสอบถามมีความเห็นว่าข้าวกล้องงอกสำเร็จรูป/ กึ่งสำเร็จรูป มีความน่าสนใจมากที่สุด โดยมีลักษณะเป็นข้าวกึ่งสำเร็จรูป (ผู้บริโภคจะต้องเตรียมเอง เช่น เติมน้ำร้อนจึงจะรับประทานได้) และควรมีการเติมส่วนผสมอื่นๆ เช่น จมูกข้าวสาลี หรือเนื้อปลา แต่จากการสำรวจ

ตลาด พบว่าผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูปที่ผู้บริโภคจะต้องเตรียมเอง มีจำหน่ายในท้องตลาดแล้ว ดังนั้นผู้วิจัยจึงคิดพัฒนาข้าวกล้องงอกสำเร็จรูป (พร้อมรับประทาน) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความสนใจเป็นอันดับรองลงมา เพื่อเป็นการเพิ่มโอกาสทางการตลาดและการเพิ่มความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ในท้องตลาด

2.2 การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูป

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูป โดยศึกษาข้าวกล้องงอกสำเร็จรูป 2 รูปแบบ ได้แก่ ข้าวกล้องสำเร็จรูปที่บรรจุในถุงรีทอร์ทเพาซ์และบรรจุในกระป๋อง ได้ผลการวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ทางด้านกายภาพ และการทดสอบทางประสาทสัมผัส ดังนี้

2.2.1 ความชื้น

ความชื้นของตัวอย่างข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปมีค่าผันแปรตามอัตราส่วนน้ำที่ใช้ โดยเมื่ออัตราส่วนของน้ำสูงขึ้นค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์เพิ่มสูงขึ้นด้วย ดังตารางที่ 4.39 และ 4.40 ซึ่งพบว่าปริมาณความชื้นในข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อปริมาณน้ำที่ใช้ในการหุงข้าวเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากเมล็ดแป้งในข้าวมีการจับตัวกับน้ำ ทำให้เมล็ดข้าวมีการขยายขนาดพองตัว

ตารางที่ 4.39 ปริมาณความชื้นของข้าวกล้องหลังเพาะและผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปบรรจุในถุงรีทอร์ทเพาซ์

ตัวอย่างข้าว		ความชื้น* (%)
ข้าวกล้องงอกหลังเพาะ		33.00±0.31[a]
อัตราส่วนข้าวกล้อง:น้ำ	1:0.5	49.02±0.05[b]
	1:0.6	52.76±0.14[c]
	1:0.7	53.68±0.04[d]

* Mean ± SD ของการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

[a, b, c,....] ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p<0.5$

ตารางที่ 4.40 ปริมาณความชื้นของข้าวกล้องหลังเพาะและผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง

ตัวอย่างข้าว		ความชื้น* (%)
ข้าวกล้องงอกหลังเพาะ		33.00±0.31[a]
อัตราส่วนข้าวกล้อง:น้ำ	1:1.25	63.35±0.13[b]
	1:1.50	65.11±0.30[c]
	1:1.75	66.48±0.31[d]

* Mean ± SD ของการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

[a, b, c,....] ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p<0.5$

2.2.2 คุณภาพทางกายภาพ

คุณสมบัติทางกายภาพสามารถใช้เป็นตัวบ่งบอกถึงคุณภาพและลักษณะต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาขึ้น โดยลักษณะต่างๆ ประกอบด้วย สี เนื้อสัมผัส ปริมาณโมเลกุลแป้งที่มีลักษณะเป็นผลึก เป็นต้น โดยผลการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของน้ำที่แตกต่างกันและนำมาบรรจุในถุงรีทอร์ทเพาซ์และกระป๋อง มีดังนี้

1. ค่าสี

ค่าสีของข้าวกล้องงอก ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปบรรจุในถุงรีทอร์ทเพาซ์และในกระป๋อง (หลังการฆ่าเชื้อ) แสดงดังตารางที่ 4.41 และ 4.42 ซึ่งพบว่าค่าสีของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปทั้งสองชนิดจะมีสีเข้มกว่าข้าวกล้องงอกหลังเพาะ ทั้งนี้เนื่องจากค่าความสว่าง (หรือค่า L*) มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อเทียบกับข้าวกล้องงอกหลังเพาะ ในขณะที่ค่าสีเหลือง (หรือค่า b*) ของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกทั้งสองชนิดส่วนใหญ่มีค่าลดลง แต่ค่าสีแดง (หรือค่า a*) ของผลิตภัณฑ์ทั้งสองชนิดส่วนใหญ่จะมีค่าเพิ่มขึ้นหรือใกล้เคียงกับค่าสีแดงของข้าวกล้องงอกหลังเพาะ ทั้งนี้สาเหตุที่ทำให้ค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปทั้งสองชนิดมีค่าต่ำกว่าข้าวกล้องงอกหลังเพาะ อาจเนื่องจากความร้อนจากขั้นตอนการหุงข้าวและจากกระบวนการฆ่าเชื้ออาจส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ขึ้น โดยปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ (non enzymatic browning reaction) ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากน้ำตาลรีดิวซ์ (อัลโดส หรือ คีโตส) ทำปฏิกิริยากับหมู่เอมีน จากโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ ทำให้เกิดสารสีน้ำตาลที่เรียกว่า เมลานอยดิน (melanoidins) ขึ้น (Cristina Delgado-Andrade et al., 2006; Sirisoontaralak and Noomhorm, 2007) จึงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปทั้งสองชนิดมีสีที่คล้ำกว่าข้าวกล้องงอกหลังเพาะ

ตารางที่ 4.41 ค่าสีของข้าวกล้องงอกและผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปบรรจุในถุงรีทอร์ทเพาซ์

ตัวอย่างข้าว		ค่าสี **		
		L*	a*	b*
ข้าวกล้องงอกหลังเพาะ		82.01±0.68^{a}	1.86±0.14^{b}	16.83±1.83^{a}
อัตราส่วนข้าวกล้อง:น้ำ	1:0.5	76.69±1.41^{c}	1.60±0.16^{c}	14.95±1.36^{b}
	1:0.6	78.78±1.34^{b}	2.02±0.23^{a}	16.31±0.73^{a}
	1:0.7	77.93±0.36^{b}	1.80±0.10^{b}	17.27±0.14^{a}

** Mean ± SD ของการวิเคราะห์ 12 ซ้ำ

$^{a,b,c,\ldots}$ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p<0.5$

ตารางที่ 4.42 ค่าสีของข้าวกล้องงอกและผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง

ตัวอย่างข้าว		ค่าสี **		
		L*	a*	b*
ข้าวกล้องงอกหลังเพาะ		82.01±0.68[a]	1.86±0.14[b]	16.83±1.83[b]
อัตราส่วนข้าวกล้อง:น้ำ	1:1.25	70.96±1.42[d]	2.93±0.32[d]	20.02±1.83[a]
	1:1.50	72.18±0.88[c]	1.72±0.23[b]	17.43±2.03[b]
	1:1.75	73.72±0.78[b]	1.73±0.16[b]	14.99±1.61[c]

** Mean ± SD ของการวิเคราะห์ 12 ซ้ำ

[a,b,c,....] ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p<0.5$

2. Elongation ratio (ER) และ Elongation index (EI)

ในระหว่างการหุงต้มเมล็ดข้าวมีการขยายตัวทุกด้านโดยเฉพาะด้านยาวคุณลักษณะนี้เป็นคุณภาพพิเศษของข้าว หากข้าวสุกที่ไม่เหนียวติดกันและการขยายตัวของข้าวสุกจะช่วยทำให้ข้าวขึ้นหม้อดีขึ้น และการที่เมล็ดข้าวขยายตัวได้มากทำให้เนื้อภายในโปร่งขึ้น ไม่อัดแน่นและช่วยให้ข้าวนุ่มมากขึ้น การขยายตัวของข้าวสุกเกิดจากปรากฏการณ์ที่เม็ดแป้งซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของข้าวได้รับความร้อนและมีน้ำในปริมาณที่เพียงพอ เม็ดแป้งเกิดการพองตัว เรียกปรากฏการณ์ดังกล่าวว่า เจลาติไนเซชั่น ซึ่งส่งผลให้เนื้อสัมผัสของข้าวนุ่มลง และผลการวิเคราะห์ ER และ EI แสดงดังตารางที่ 4.43 และ 4.44

ตารางที่ 4.43 ค่า Elongation ratio และ Elongation index ของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปบรรจุในถุงรีทอร์ทเพาซ์

อัตราส่วนข้าวกล้อง : น้ำ	Elongation ratio (ER)**	Elongation index (EI)**
1:0.5	1.07±0.07[NS]	0.74±0.08[NS]
1:0.6	1.08±0.14[NS]	0.72±0.11[NS]
1:0.7	1.10±0.07[NS]	0.73±0.05[NS]

** Mean ± SD ของการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ (ซ้ำละ 10 เม็ด)

[NS] ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p>0.5$

ค่า ER เป็นค่าที่คำนวณได้จากอัตราส่วนความยาวของข้าวที่หุงสุกแล้วต่อความยาวของข้าวที่ยังไม่ได้หุง แสดงถึงอัตราการขยายตัวของเมล็ดข้าวที่หุงสุกแล้ว ซึ่งเกิดขึ้นจากการพองตัวของเม็ดแป้งหลังจากการดูดซับน้ำเข้าไปในเมล็ด (Julino, 1979) จากตารางที่ 4.43 จะเห็นว่าปริมาณน้ำที่ใช้ในการหุงข้าวเพิ่มขึ้น ค่า ER ของตัวอย่างก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนน้ำที่ใช้ในการหุง แต่อัตราส่วนน้ำที่ใช้ระหว่าง 0.5-0.7

มีปริมาณไม่มากพอที่จะส่งผลให้ค่า ER เพิ่มขึ้น ($p>0.05$) เช่นเดียวกันกับผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปที่บรรจุในกระป๋อง ถึงแม้อัตราส่วนของน้ำจะเพิ่มขึ้นจาก 1.25 เป็น 1.50 ไม่ได้ทำให้ค่า ER มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) แต่ถ้าเพิ่มอัตราส่วนของน้ำจนถึง 1.75 จะทำให้ค่า ER มีค่าสูงขึ้น ($p<0.05$) ดังแสดงผลในตารางที่ 4.44

ตารางที่ 4.44 ค่า Elongation ratio และ Elongation index ของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปบรรจุในกระป๋อง

อัตราส่วนข้าวกล้อง : น้ำ	Elongation ratio (ER)**	Elongation index (EI)**
1:1.25	1.11 ± 0.06^{a}	0.90 ± 0.07^{NS}
1:1.50	1.13 ± 0.06^{a}	0.87 ± 0.54^{NS}
1:1.75	1.19 ± 0.58^{b}	0.88 ± 0.07^{NS}

** Mean ± SD ของการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ (ซ้ำละ 10 เม็ด)

$^{a, b, c, \ldots}$ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p<0.5$

^{NS} ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p>0.5$

นอกจากนี้จากตารางที่ 4.43 และ 4.44 จะเห็นว่าค่าการขยายตัว (ER) ของข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปที่บรรจุในกระป๋องมีแนวโน้มสูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงทอร์ทเพาซ์ ทั้งนี้เนื่องจากผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกบรรจุกระป๋องเตรียมโดยใช้อัตราส่วนของน้ำที่มากกว่า และระยะเวลาที่ใช้ในการฆ่าเชื้อที่นานกว่า โดยข้าวกล้องงอกบรรจุกระป๋องใช้เวลาฆ่าเชื้อ 45 นาที ในขณะที่ข้าวกล้องงอกบรรจุในถุงรีทอร์ทเพาซ์ ใช้เวลา 15 นาที ทำให้โมเลกุลน้ำสามารถซึมผ่านเข้าไปในโมเลกุลแป้งได้ดีกว่า การพองตัวของเม็ดแป้งดังกล่าวส่งผลให้เมล็ดข้าวมีการยืดออกได้มาก ทำให้ค่า ER ของข้าวกล้องงอกบรรจุกระป๋องมีค่าสูงกว่าข้าวกล้องงอกที่บรรจุในถุงรีทอร์ทเพาซ์ สอดคล้องกับการศึกษาของขวัญหทัย (2549) ที่พบว่าอัตราส่วนน้ำในการทำให้ข้าวสุก (น้ำต่อข้าว = 1:1, 1.5:1 และ 2.0:1) และจากการศึกษาของ Khatoon และPrakash (2007) พบว่ากระบวนการที่ใช้ในการหุงข้าวมีผลต่อค่า ER การหุงข้าวโดยใช้หม้อความดัน (pressure cooker) จะให้ค่า ER ที่สูงกว่าการใช้ไมโครเวฟในการหุงข้าว และการใช้ความร้อนสูงในการอบข้าวเปลือกก็มีผลทำให้ค่า ER เพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากความร้อนที่ได้จากการอบแห้งมีผลทำให้โครงสร้างภายในเมล็ดข้าวเปลี่ยนแปลง โดยการที่เมล็ดข้าวขยายตัวทำให้เนื้อภายในโปร่งไม่อัดกันแน่น ซึ่งมีผลสอดคล้องกับการดูดซับน้ำและการขยายปริมาตรของข้าวสุกมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อนำมาทำการหุงต้มทำให้การยืดตัวของเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้น (Soponronnarit et al., 2008)

สำหรับค่า EI ซึ่งเป็นค่าที่คำนวณได้จากอัตราส่วนระหว่าง (ความยาว/ความกว้าง)ของข้าวสุกและ (ความยาว/ความกว้าง)ของข้าวที่ยังไม่ได้หุง ซึ่งค่านี้แสดงถึงความสามารถในการขยายตัวหรือพองตัวของข้าวสุก ถ้ามีค่ามากแสดงว่าตัวอย่างมีการพองตัวได้ดี (Hossaina et al., 2009) ข้าวขึ้นหม้อดี และจากตารางที่

4.43 และ4.44 พบว่าข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องมีค่า EI สูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงรีทอร์ทเพาซ์ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในกระป๋องเตรียมโดยใช้น้ำและระยะเวลาที่ใช้ในการฆ่าเชื้อที่มากกว่า ทำให้โมเลกุลน้ำสามารถซึมผ่านเข้าไปในโมเลกุลแป้งได้ดี จึงส่งผลให้เมล็ดข้าวมีการยืดขยายออกได้มากกว่า ค่า EI ของข้าวกล้องงอกบรรจุกระป๋องจึงมีค่าสูงกว่าข้าวกล้องงอกที่บรรจุในถุงรีทอร์ทเพาซ์ แต่ถ้าเปรียบเทียบตัวอย่างที่บรรจุในภาชนะบรรจุที่เหมือนกันแต่อัตราส่วนของน้ำที่ใช้ในการหุงแตกต่างกัน พบว่าค่า EI ไม่มีความแตกต่างกัน ($p>0.05$)

3. พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความหนืด (Pasting properties)

ความสมบูรณ์ของเม็ดสตาร์ชและสมบัติการจับตัวกับน้ำสามารถตรวจสอบได้โดยการวัดพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความหนืดของข้าวก่อนและหลังการแปรรูป เมื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งจากตัวอย่างข้าวกล้องงอกแต่ละชนิดโดยใช้เครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) พบว่าตัวอย่างแต่ละชนิดให้ ค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity, PV), อุณหภูมิเริ่มต้นของความหนืด (pasting temperature, Ptemp), เวลาเกิดความหนืดสูงสุด (peak time), ค่าความหนืดของเหลวข้นขณะร้อน (Tourgh), ค่าความหนืดสุดท้าย (Final viscosity, FV), ค่าความหนืดลดลง (breakdown) และ ค่าเซตแบค (Setback, SBV) แตกต่างกัน ($p<0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.45 และ 4.46 โดยพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความหนืดทุกระยะที่วัด (PV, Tourgh, FV, breakdown และ SBV) ของตัวอย่างข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปทั้งสองแบบมีค่าต่ำกว่าค่าที่ได้จากข้าวกล้องงอกหลังเพาะอย่างเห็นได้ชัด ($p<0.05$) เนื่องจากขณะให้ความร้อนด้วยไอน้ำ การเรียงตัวของโมเลกุลภายในเม็ดสตาร์ชถูกรบกวน ส่งผลให้เม็ดสตาร์ชสูญเสียความสมบูรณ์และทำลายผลึก ส่งผลให้สตาร์ชเกิดการละลายและลดค่าความหนืดทั้งหมด (Prasert and Suwannapan, 2003) นอกจากนั้นจากผลการทดลอง (ตารางที่ 4.45 และ 4.46) พบว่าค่า Peak time เวลาเกิดความหนืดสูงสุดของตัวอย่างข้าวกล้องสำเร็จรูปทั้ง 2 ชนิด มีค่าสูงกว่า ขณะที่ Ptemp มีค่าต่ำกว่าค่าของข้าวกล้องงอกหลังเพาะ ($p<0.05$) และแป้งของข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปบรรจุในถุงรีทอร์ทเพาซ์ที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนน้ำ เท่ากับ 0.5 มีค่า Ptemp ต่ำที่สุด (58.3 °C) ค่า Ptemp เป็นค่าที่มีความสัมพันธ์กับค่ากำลังการพองตัว (Gunaratne and Hoover, 2002) นั่นหมายความว่าอุณหภูมิที่ใช้เพื่อทำให้เม็ดแป้งเกิดการของตัวของตัวอย่างข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปทั้ง 2 ชนิดมีค่าต่ำกว่าข้าวกล้องงอกหลังเพาะ

สำหรับค่าเซตแบค (SBV) ซึ่งเป็นค่าผลต่างของความหนืดสุดท้าย (FV) และค่าความหนืดของเหลวข้นขณะร้อน (Trough viscosity) ค่านี้ชี้ให้เห็นถึงการเกิดรีโทรเกรเดชั่นและแสดงถึงความคงตัวของแป้งและสตาร์ช โดยแป้งที่มีค่าเซตแบคสูงจะสามารถเกิดรีโทรเกรเดชั่นได้ดี (Yang and Tao, 2008) นอกจากนี้ค่าเซตแบคมีความสัมพันธ์กับเนื้อสัมผัสของอาหารที่มีสตาร์ชเป็นองค์ประกอบหลัก โดยเป็นตัวบ่งชี้ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่มีความหนืดหรือเจลเกิดขึ้นหลังจากการหุงต้มและทำให้เย็นตัวลง ถ้าค่า setback มีค่าต่ำแสดงว่าข้าวสุกนั้นมีความแข็งต่ำหลังจากการหุงสุกและปล่อยให้ข้าวเย็นตัวลง (Eiammi et al., 2004) ซึ่งจากตารางที่

4.45 และ 4.46 พบว่าค่าเซตแบคของข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปบรรจุในถุงรีทอร์ทเพาซ์มีค่าต่ำกว่าข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง ($p<0.05$)

ค่าความหนืดลดลง (breakdown) เป็นค่าความแตกต่างระหว่างค่าความหนืดสูงสุด (Peak Viscoscity) และค่าความหนืดของเหลวข้นขณะร้อน(Trough viscosity) เป็นค่าที่บอกถึงความทนทานและความแข็งแรงของแป้งสุก (heat stability) สตาร์ชที่มีค่า breakdown สูงกว่าจะมีความแข็งแรงและความคงตัวของเม็ดสตาร์ชน้อยกว่าสตาร์ชที่มีค่า breakdown ต่ำ (Singha et al., 2006) ดังนั้นแป้งของข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปทั้งสองชนิดเป็นแป้งที่ผ่านการให้ความร้อนมาแล้ว จึงทำให้เม็ดแป้งแตกได้ง่ายกว่าแป้งของข้าวกล้องงอกหลังเพาะ ดังนั้นข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปทั้ง 2 ชนิดจึงมีค่า Breakdown ต่ำกว่าข้าวกล้องงอกหลังเพาะ ($p<0.05$) (ตารางที่ 4.45 และ 4.46) อีกทั้งอัตราส่วนของน้ำที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่า breakdown เพิ่มสูงขึ้น

ตารางที่ 4.45 พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความหนืดของข้าวกล้องงอกหลังเพาะและผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปที่บรรจุในถุงรีทอร์ทเพาซ์

ตัวอย่างข้าวกล้องงอก		Viscosity (RVU)*					Peak time *	Pasting temp*
		PV	Trough	FV	breakdown	setback	(min)	(°C)
ข้าวกล้องงอกหลังเพาะ		2792.00±24.52[a]	1439.67±37.90[a]	2415.33±7.51[a]	1352.33±51.60[a]	975.67±34.02[a]	5.60±0.00[c]	75.05±1.39[a]
อัตราส่วนข้าวกล้อง:น้ำ	1:0.5	415.67±5.69[c]	411.67±5.51[b]	530.00±4.58[c]	4.00±1.00[b]	118.33±1.53[b]	6.64±0.28[c]	58.13±2.47[c]
	1:0.6	367.33±0.58[d]	371.00±1.73[c]	487.00±0.00[d]	5.33±1.15[b]	116.00±1.73[b]	6.71±0.10[c]	62.18±0.54[b]
	1:0.7	446.00±7.21[b]	436.00±6.56[b]	562.33±10.07[b]	10.00±1.00[b]	126.33±3.51[b]	6.04±0.14[b]	62.17±1.10[b]

PV= peak viscosity, FV = final viscosity, breakdown = (PV-Trough), setback = (FV- Trough); * Mean ± SD ของการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

[a, b, c,....] ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ p<0.5

ตารางที่ 4.46 พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความหนืดของข้าวกล้องงอกหลังเพาะและผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปที่บรรจุในกระป๋อง

ตัวอย่างข้าวกล้องงอก		Viscosity (RVU)*					Peak time *	Pasting temp*
		PV	Trough	FV	breakdown	setback	(min)	(°C)
ข้าวกล้องงอกหลังเพาะ		2793.70±32.72[a]	2162.00±32.45[a]	4327.30±45.76[a]	1352.33±51.60[a]	1533.70±13.05[a]	6.35±0.04[b]	77.77±0.16[a]
อัตราส่วนข้าวกล้อง:น้ำ	1:1.25	286.67±3.51[d]	286.00±3.00[d]	421.00±3.61[d]	10.67±0.58[b]	134.33±0.58[c]	6.89±0.08[a]	62.37±0.03[b]
	1:1.50	337.67±4.16[c]	326.00±4.36[c]	476.00±6.24[c]	11.67±0.58[b]	138.33±2.08[bc]	6.18±0.14[bc]	62.37±0.02[b]
	1:1.75	374.67±6.43[b]	357.67±5.51[b]	523.00±8.72[b]	17.00±1.73[b]	148.33±2.31[b]	6.02±0.10[c]	62.4±0.05[b]

PV= peak viscosity, FV = final viscosity, breakdown = (PV-Trough), setback = (FV- Trough); * Mean ± SD ของการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

[a, b, c,....] ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ p<0.5

4. ความแข็ง (Hardness)

ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุกโดยเฉพาะความแข็งเป็นปัจจัยด้านคุณภาพอย่างหนึ่งที่ผู้บริโภคให้ความสำคัญ ผู้บริโภคส่วนใหญ่นิยมบริโภคข้าวสุกที่ไม่แข็ง ไม่แฉะ และมีลักษณะร่วนไม่ติดกันเป็นก้อน (Sumrerath et al., 2008) ปัจจัยที่มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุก ได้แก่ ปริมาณอะไมโลส อะไมโลเพคติน โปรตีน ไขมันและความชื้น (Ong and Blanshard, 1995) ค่าความแข็งของข้าวกล้องงอกบรรจุในถุงรีทอร์ทเพาซ์และในกระป๋อง แสดงในตารางที่ 4.47 และ 4.48 ตามลำดับ จากตารางทั้งสองจะเห็นว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของน้ำที่ใช้หุงข้าวให้สูงขึ้นทำให้ค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ลดลง ($p<0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากโมเลกุลของแป้งเมื่อได้รับความร้อนจะเกิดการเจลาติไนเซชั่น ซึ่งการเกิดเจลาติไนเซชั่นสามารถช่วยให้เนื้อสัมผัสของข้าวนุ่มลงได้ (Jaiboon et al., 2010) การเกิดการเจลาติไนเซชั่นจะต้องมีน้ำร่วมอยู่ด้วย โดยต้องมีปริมาณมากเพียงพอที่จะทำให้เกิดเจลาติไนเซชั่นได้ แต่อย่างไรก็ตามกระบวนการนี้จะเกิดมากขึ้นเมื่อมีระดับน้ำสูงขึ้น และจะเพิ่มมากขึ้นจนถึงจุดที่เกิดเจลาติไนเซชั่นสูงสุดเมื่อระดับน้ำเพิ่มมากขึ้นไปจนถึงจุดจุดหนึ่ง (Udomrati et al., 2003) รวมทั้งการใช้ความดันสูงจะช่วยส่งเสริมให้เกิดเจลาติไนเซชั่นได้ดีขึ้น (Prasert and Suwannaporn, 2009) นอกจากนี้ค่าความแข็งของข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องมีแนวโน้มต่ำกว่าข้าวกล้องงอกที่บรรจุในถุงรีทอร์ทเพาซ์ (ตารางที่ 4.47 และ 4.48) ทั้งนี้เนื่องจากข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องมีปริมาณน้ำในสัดส่วนที่สูงกว่าและใช้เวลาในการฆ่าเชื้อนานกว่าข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปที่บรรจุในถุงรีทอร์ทเพาซ์ ดังนั้นจึงอาจเป็นไปได้ว่าปริมาณน้ำ ความดันและเวลาในการให้ความร้อนมีผลต่อค่าความแข็งซึ่งเกี่ยวข้องกับการเกิดเจลาติไนเซชั่น (Prasert and Suwannaporn, 2009) นอกจากนั้นเมื่อพิจารณาค่าความแข็งของเนื้อสัมผัสและอัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าวสุกโดยใช้ความร้อน พบว่าที่ระดับอัตราส่วนน้ำสูงขึ้นมีผลให้ข้าวสุกมีอัตราการยืดตัวของเมล็ดเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4.43 และ 4.44) ในขณะที่ความแข็งของเนื้อสัมผัสมีค่าลดลง

ตารางที่ 4.47 ค่าความแข็งของข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปบรรจุในถุงรีทอร์ทเพาซ์

อัตราส่วนข้าวกล้อง:น้ำ	Hardness (g)
1:0.5	34,269.50±944.43[a]
1:0.6	18,074.69±1304.25[b]
1:0.7	15,584.21±1296.49[c]

** Mean ± SD ของการวิเคราะห์ 10 ซ้ำ

[a, b, c,...] ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p<0.05$

ตารางที่ 4.48 ค่าความแข็งของข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง

อัตราส่วนข้าวกล้อง:น้ำ	Hardness (g)
1:1.25	20769.48±1962.54[a]
1:1.50	18003.27±1135.57[b]
1:1.75	15877.22±1374.86[c]

** Mean ± SD ของการวิเคราะห์ 10 ซ้ำ

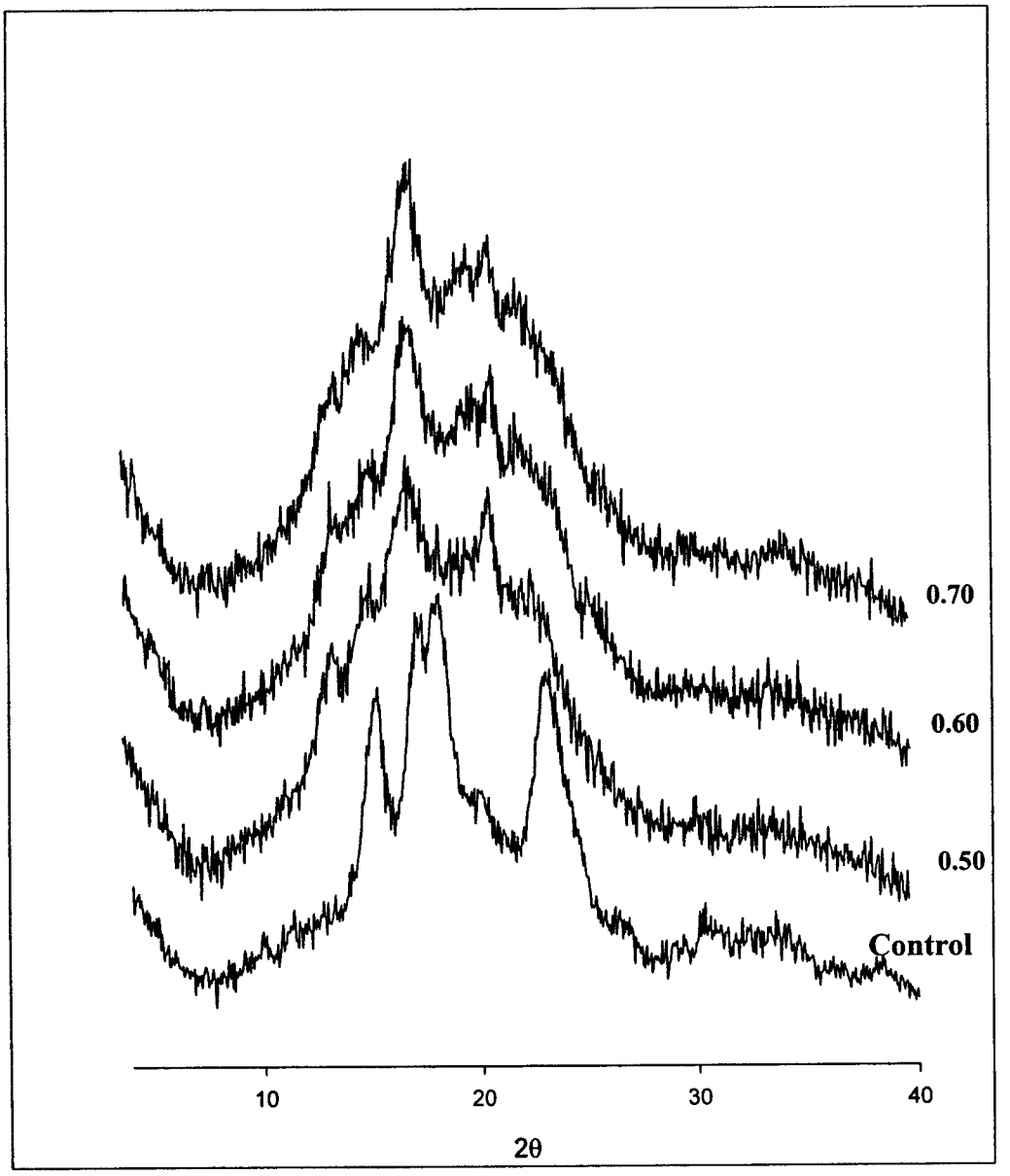
[a, b, c,....] ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p<0.05$

นอกจากนี้ค่าความแข็งของข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปทั้ง 2 ชนิดที่ลดลงก็ให้ผลที่สอดคล้องกับพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความหนืด ที่แสดงผลไว้ในตารางที่ 4.45 และ 4.46 ซึ่งจะเห็นว่าข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปทั้ง 2 ชนิดมีค่าเซตแบคต่ำกว่าข้าวกล้องงอกหลังเพาะ แสดงว่าแป้งหรือสตาร์ชนั้นๆมีความคงตัวสูง ไม่เกิดรีโทรเกรเดชั่นง่าย และข้าวนั้นจะมีความแข็งกระด้างต่ำหลังจากการหุงสุกและปล่อยให้ข้าวเย็นตัวลง (Eiammi et al., 2004)

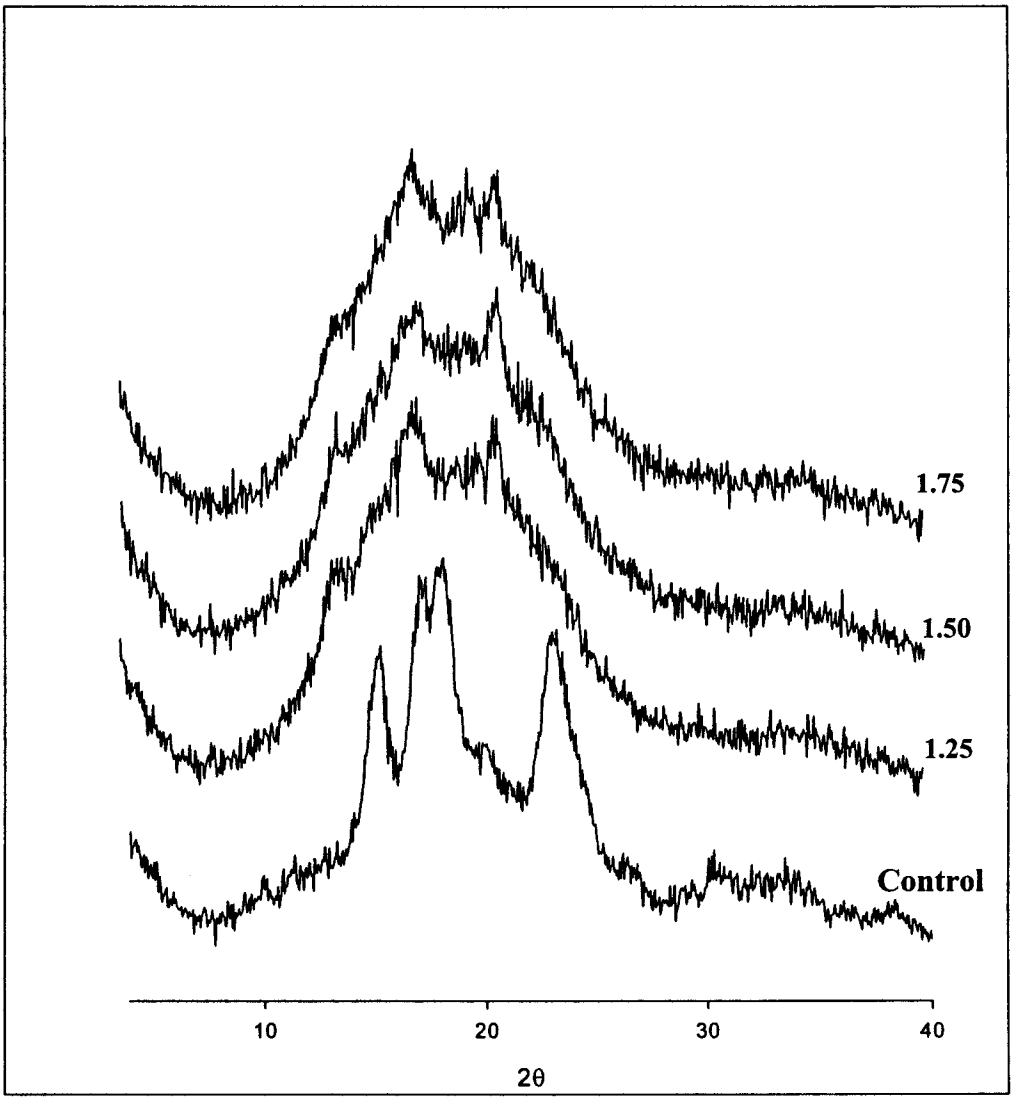
5. รูปแบบโครงสร้างผลึกและระดับสภาพผลึก (Degree of crystallinity)

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วย XRD ในข้าวกล้องงอกหลังเพาะและข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปบรรจุถุงรีทอร์ทเพาซ์และบรรจุกระป๋อง โดยหลอดรังสีเอ็กซ์นี้ใช้ทองแดงเป็นแหล่งผลิตรังสีและกำหนดค่าของการหักเห (2θ) อยู่ในช่วง 4.03-39.98° พบว่าข้าวกล้องงอกช่อลุงหลังเพาะมีโครงสร้างผลึกแบบ A และมีระดับสภาพผลึก เท่ากับ 25.92% (ตารางที่ 4.49) โดยมีพีคที่ 15.18°, 17.98°, 18.03° และ 23.13° 2θ ดังรูปที่ 4.15 และ 4.16 ซึ่งเป็นรูปแบบที่พบในข้าวดิบ (Iturriage et al., 2004) และมีลักษณะโครงสร้างผลึกเช่นเดียวกับข้าวหอมมะลิ KDML105 (Prasert and Suwannaporn, 2009) และข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (ขวัญหทัย แซ่ทอง, 2549) ที่ให้พีคที่ 15.2°, 17.0°, 17.9° และ 22.9°2θ ขณะที่ข้าวสำเร็จรูปทุกตัวอย่างมีโครงสร้างผลึกแบบอสัณฐาน (amorphous) โดยไม่ปรากฏพีคที่พบในโครงสร้างผลึกของข้าวดิบ (รูปที่ 4.15 และ 4.16) สอดคล้องกับค่าที่ระดับสภาพผลึกที่ลดลงอยู่ในช่วง 10-11% (ตารางที่ 4.49) เนื่องจากเกิดการหลอมส่วนที่เป็นผลึกทั้งหมดของแป้งในระหว่างกระบวนการให้ความร้อน (Slade, 1984) แต่อย่างไรก็ตามการปรากฏพีคเล็กที่ประมาณ 16.98-17.28° และ20.83-20.88° 2θของข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปบรรจุในถุงรีทอร์ทเพาซ์ และที่ 17.08-17.28° และ 20.88-20.93° 2θ ของข้าวกล้องสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง (ดังรูปที่ 4.15 และ4.16) แสดงให้เห็นว่ามีลักษณะโครงสร้างแบบ V (V-type) ร่วมอยู่ด้วย เนื่องจากการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างอะมิโลสและไขมัน โดยสอดคล้องกับ Prasert and Suwannaporn (2009) ที่แสดงให้เห็นว่ากระบวนการแปรรูปข้าวหอมมะลิหุงสุกเร็ว (instant rice) สามารถทำลายโครงสร้างผลึกของเมล็ดสตาร์ชโดยการเกิดโครงสร้างที่ซับซ้อนของอะไมโลสและไลปิดขณะให้ความร้อนชื้นดังแสดงเป็นรูปแบบ V ส่วนสตาร์ชก่อนการเกิดเจลาติไนเซชันมีความสามารถในการจับกับไลปิดที่จำกัด ดังนั้นไลปิดในระบบจึงไม่

สามารถเข้าไปสัมผัสกับสตาร์ชได้ แต่ภายหลังการเกิดเจลาติไนเซชันสามารถสังเกตเห็นรูปแบบ v ได้ เนื่องจากการเกิดโครงสร้างซับซ้อนดังกล่าวระหว่างการให้ความร้อน หรือบริเวณผลึก (crystalline region) เพิ่มขนาดขึ้น เช่นเดียวกับการศึกษาข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ที่ผ่านการนึ่งด้วยไอน้ำที่ 100°C 30 นาที โดยมีอัตราส่วนข้าวต่อน้ำ เท่ากับ 1:1, 1.5:1 และ 2:1 ซึ่งปรากฏรูปแบบ v ที่ประมาณ 20°2θ (ขวัญหทัย แซ่ทอง, 2549) รวมทั้งการศึกษาของ Jiranuntakul และคณะ (2011) ที่รายงานว่ากระบวนการแปรรูปโดยใช้ความร้อนชื้น (heat-moisture treatment) โดยผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิต่ำแล้วนำไปทำให้ร้อนที่อุณหภูมิ 100-120°C หลังจากนั้นนำมาอบที่อุณหภูมิ 40 °C จนกระทั่งมีความชื้นประมาณ 11% จะทำให้คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของแป้งเปลี่ยนแปลงไป โดยจะทำให้ระดับสภาพผลึกมีค่าลดลง



รูปที่ 4.15 รูปแบบโครงสร้างผลึกของข้าวกล้องงอกหลังเพาะที่บรรจุในถุงรีทอร์ทเพาซ์ (control คือ ข้าวกล้องงอกหลังเพาะ, 0.5, 0.6 และ 0.7 คือ อัตราส่วนของข้าวกล้อง:น้ำ เท่ากับ 1:0.5, 1:0.6 และ 1:0.7 ตามลำดับ)



รูปที่ 4.16 รูปแบบโครงสร้างผลึกของข้าวกล้องงอกหลังเพาะที่บรรจุในกระป๋อง (control คือ ข้าวกล้องงอกหลังเพาะ, 1.25, 1.50 และ 1.75 คือ อัตราส่วนของข้าวกล้อง: น้ำ เท่ากับ 1:1.25, 1:1.50 และ 1:1.75 ตามลำดับ)

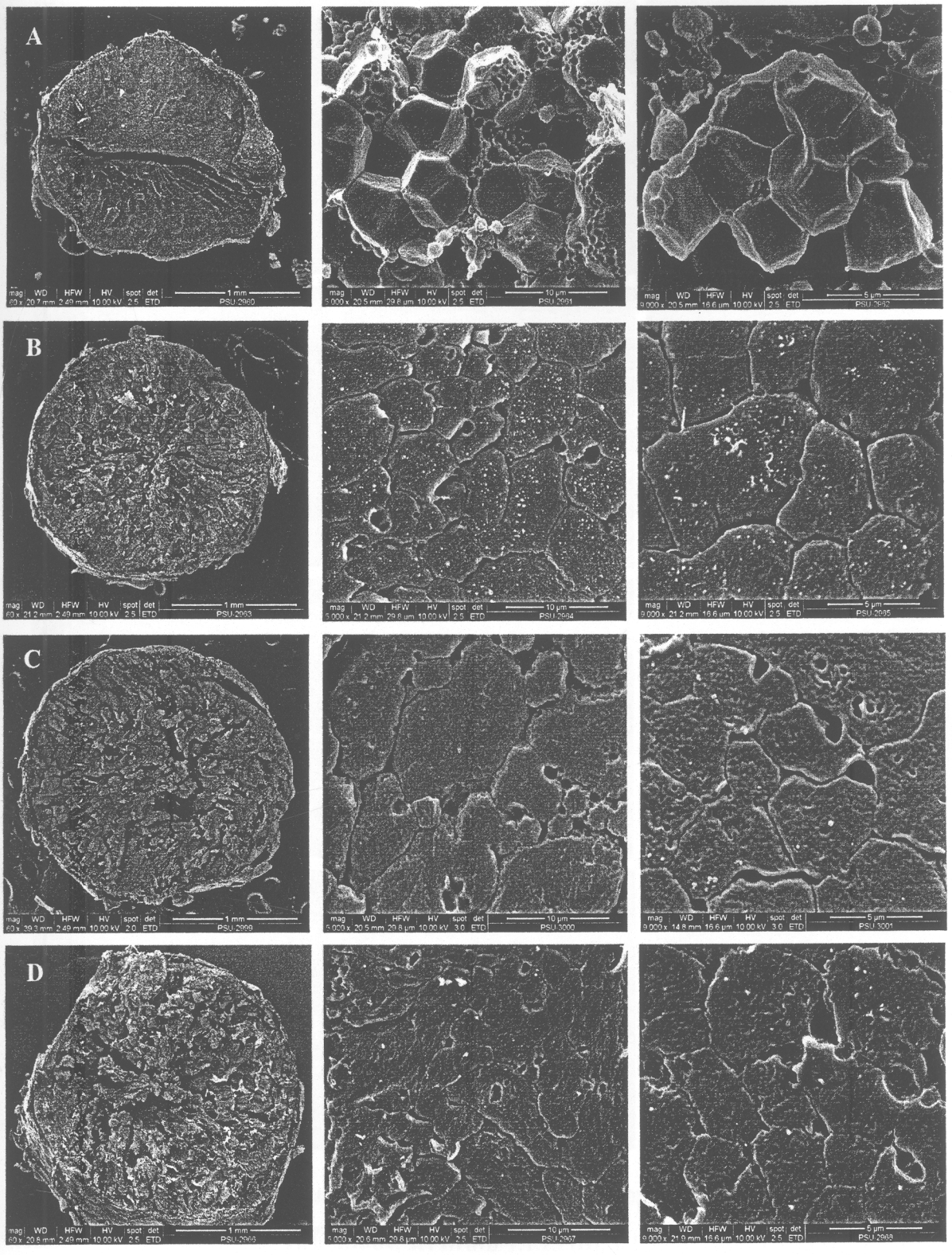
ตารางที่ 4.49 ระดับสภาพผลึกของข้าวกล้องงอกหลังเพาะและผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปทั้ง 2 ชนิด

ตัวอย่างข้าวกล้องงอก		Degree of crystallinity (%)
ข้าวกล้องงอกหลังเพาะ		25.92
ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปบรรจุในถุงรีทอร์ทเพาซ์		
อัตราส่วนข้าวกล้อง:น้ำ	1:0.5	10.22
	1:0.6	11.85
	1:0.7	10.28
ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปบรรจุในกระป๋อง		
อัตราส่วนข้าวกล้อง:น้ำ	1:1.25	10.60
	1:1.50	9.75
	1:1.75	10.33

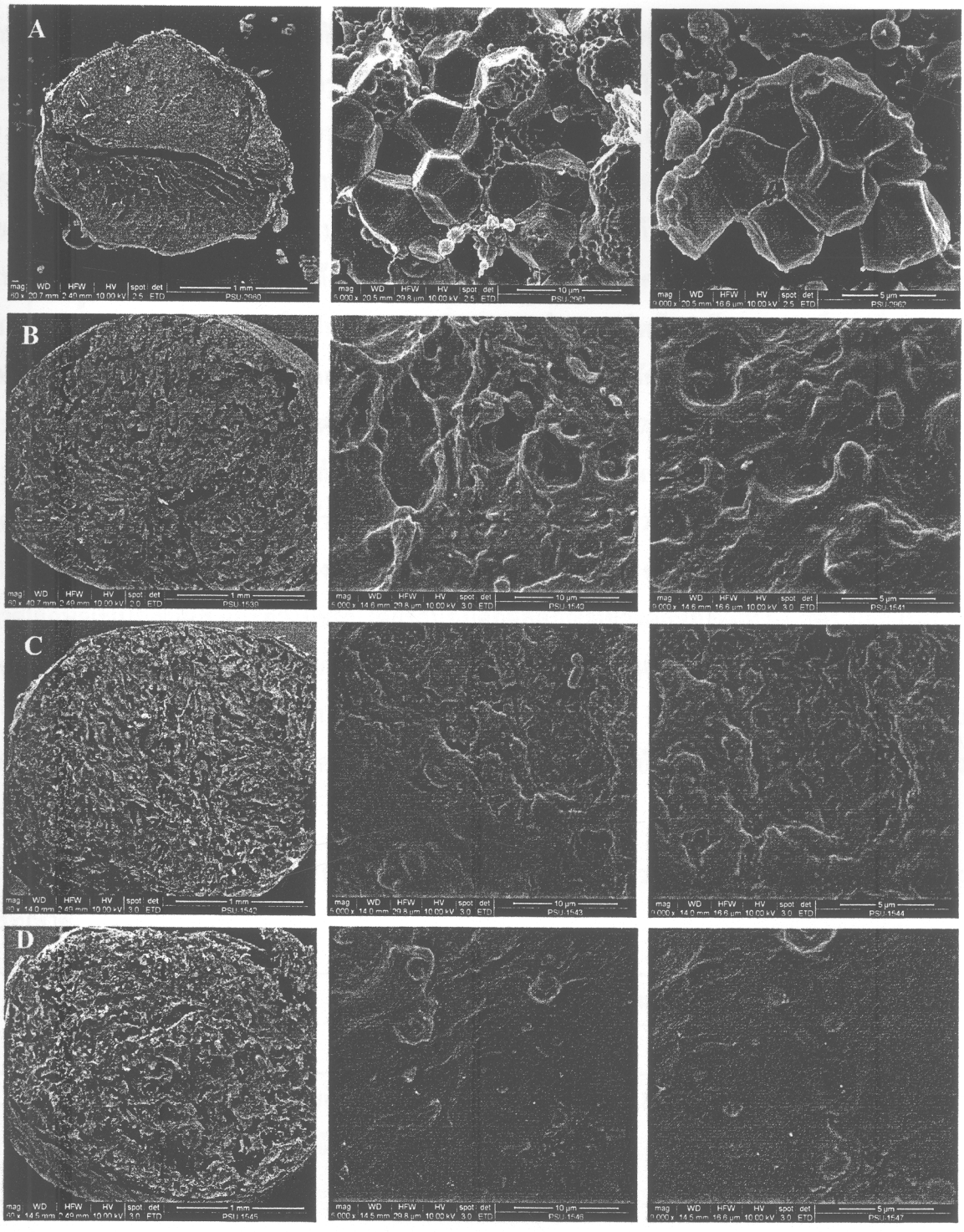
6. Scanning electron micrographs (SEM)

จากการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคภายในเมล็ดข้าวกล้องงอกหลังเพาะและข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปบรรจุถุงรีทอร์ทเพาซ์และบรรจุกระป๋องด้วย SEM ที่กำลังขยาย 60 เท่า จากการตัดขวางของเมล็ดข้าว แสดงดังรูปที่ 4.17 และ 4.18 พบว่าโครงสร้างของเนื้อในเมล็ดข้าวกล้องงอกหลังเพาะมีลักษณะแน่น ขณะที่ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปมีรอยแตกภายในเมล็ด และมีโครงสร้างที่เป็นรูพรุนมากขึ้นเมื่อมีอัตราส่วนของน้ำสูงขึ้น และเมื่อเพิ่มกำลังขยายเป็น 5000 และ 9000 เท่า พบว่าการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเม็ดสตาร์ชจากลักษณะหลายเหลี่ยมเรียงตัวกันแน่นเป็นร่างแหในตัวอย่างข้าวกล้องงอกหลังเพาะ เป็นเม็ดสตาร์ชที่เรียงตัวเป็นร่างแหที่มีลักษณะเหลี่ยมลดลงและเกิดการพองตัวมากขึ้นเมื่อสัดส่วนน้ำในการหุงข้าวเพิ่มมากขึ้น (0.5, 0.6 และ 0.7) ในตัวอย่างข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปบรรจุในถุงรีทอร์ทเพาซ์ (รูปที่ 4.17) สำหรับตัวอย่างข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปที่บรรจุในกระป๋องซึ่งมีสัดส่วนของน้ำที่สูงกว่า (1.25, 1.50 และ 1.75) และผ่านกระบวนการให้ความร้อนที่รุนแรงกว่า (118°C นาน 45 นาที) มีผลทำให้เม็ดสตาร์ชพองตัวออกจนแตกและเชื่อมติดกัน ระหว่างเม็ดสตาร์ชจึงไม่เห็นลักษณะการเรียงตัวเป็นร่างแห (รูปที่ 4.18) เช่นเดียวกับเมล็ดข้าวขาวดอกมะลิ 105ที่นึ่งด้วยไอน้ำ 100°C นาน 30 นาที โดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อข้าว เท่ากับ 1:1, 1.5:1 และ 2:1 (ขวัญหทัย, 2549) และรายงานของ Sanders (1996) ที่พบว่าเม็ดสตาร์ชที่มีการดูดซึมน้ำเข้ามามากจะเกิดการพองตัวแบบผันกลับไม่ได้ และมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเม็ดสตาร์ชและโครงสร้างแบบที่เกิดการบิดแสงระนาบโพลาไรซ์ (birefringence) เนื่องจากร่างแหระหว่างไมเซลล์ภายในเม็ดสตาร์ชอ่อนแอลงจากการที่พันธะไฮโดรเจนถูกทำลาย

นอกจากนี้จะเห็นว่าโครงสร้างทางจุลภาคให้ผลที่สอดคล้องกับค่า ER และ EI (ตารางที่ 4.43 และ 4.44) โดยมีค่าการขยายตัวสูงขึ้นเมื่อปริมาณน้ำในการหุงมากขึ้น เนื่องจากการพองตัวของเม็ดสตาร์ชดังที่กล่าวข้างต้น



รูปที่ 4.17 ลักษณะและรูปร่างโมเลกุลแป้งของข้าวกล้องงอกหลังเพาะ (A) ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปบรรจุในถุงรีทอร์ทเพาซ์ที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนข้าวกล้อง: น้ำ เท่ากับ 1:0.5 (B), 1:0.6 (C) และ 1:0.7 (D) ที่กำลังขยาย 60x, 5000x และ 9000x ตามลำดับ (ตามแนวนอน)



รูปที่ 4.18 ลักษณะและรูปร่างโมเลกุลแป้งของข้าวกล้องงอกหลังเพาะ (A) ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนข้าวกล้อง: น้ำ เท่ากับ 1:1.25 (B), 1:1.50 (C) และ 1:1.75 (D) ที่กำลังขยาย 60x, 5000x และ 9000x ตามลำดับ (ตามแนวนอน)

2.2.3 การทดสอบทางประสาทสัมผัส

ในการทดสอบทางประสาทสัมผัส มีปัจจัยที่ต้องการให้ผู้ทดสอบประเมินผลิตภัณฑ์ ดังนี้ ลักษณะปรากฏ (ความแตกของเมล็ดข้าว/ความร่วน/การเกาะตัวกันของเมล็ดข้าว) สี กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส

(ความเหนียว/ความแข็ง/การเกาะกลุ่มกันของเมล็ดข้าว) และความชอบโดยรวมที่มีต่อผลิตภัณฑ์ ซึ่งจากการทดสอบผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปที่บรรจุในถุงรีทอร์ทเพาซ์และในกระป๋อง ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4.50 และ 4.51 ซึ่งจากตารางที่ 4.50 พบว่าอัตราส่วนของข้าวต่อน้ำที่ใช้ในการหุงข้าวทั้ง 3 อัตราส่วน (1: 0.5, 1:0.6 และ 1:0.7) ไม่มีผลต่อทุกคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ทำการทดสอบ ซึ่งจะเห็นว่าระดับคะแนนเฉลี่ยของทุกๆปัจจัยในการทดสอบทางประสาทสัมผัสไม่มีความแตกต่างกัน ($p>0.05$) แต่อย่างไรก็ตามระดับคะแนนเฉลี่ยของอัตราส่วนของข้าวกล้องต่อน้ำ เท่ากับ 1:0.7 มีแนวโน้มคะแนนเฉลี่ยที่สูงสุดในทุกปัจจัยที่ทดสอบ ดังนั้นอัตราส่วนดังกล่าวจึงเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปที่บรรจุในถุงรีทอร์ทเพาซ์ ในขณะเดียวกันการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปที่บรรจุในกระป๋องซึ่งเตรียมโดยใช้อัตราส่วนต่างๆกัน (1:1.25, 1:1.50 และ 1:1.75) แสดงผลดังตารางที่ 4.51 ซึ่งจะเห็นว่าผลการทดสอบของปัจจัยด้านลักษณะปรากฏและสีของผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 สูตร มีคะแนนความชอบแตกต่างกัน ($p<0.05$)โดยที่ผลิตภัณฑ์ข้าวสำเร็จรูปที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนข้าวกล้องและน้ำ เท่ากับ 1: 1.25 มีคะแนนความชอบของทั้งสองปัจจัยสูงที่สุด (6.93 และ 7.03 ตามลำดับ) สำหรับปัจจัยด้านอื่นๆ ได้แก่ กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมที่มีต่อผลิตภัณฑ์ของผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 สูตร มีคะแนนไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปบรรจุในกระป๋องทั้ง 3 สูตรจะเห็นว่าสูตรที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของข้าวกล้องและน้ำ เท่ากับ 1:1.25 ได้คะแนนจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสในทุกปัจจัยสูงที่สุด ดังนั้นอัตราส่วนดังกล่าวจึงเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่ใช้ผลิตข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปที่บรรจุในกระป๋อง

ตารางที่ 4.50 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปบรรจุในถุงรีทอร์ทเพาซ์

ปัจจัยที่ทดสอบ	อัตราส่วนข้าว:น้ำที่ใช้หุง*		
	1:0.5	1:0.6	1:0.7
1. ลักษณะปรากฏ (ความแตกของเมล็ดข้าว/ความร่วน/การเกาะตัวกันของเมล็ดข้าว)	5.77±1.55[a]	5.83±1.58[a]	5.93±1.60[a]
2. สี	6.47±1.31[a]	6.37±1.40[a]	6.67±1.30[a]
3. กลิ่น	5.77±1.28[a]	5.80±1.45[a]	6.10±1.21[a]
4. รสชาติ	5.70±1.76[a]	5.77±1.59[a]	6.30±1.44[a]
5. ลักษณะเนื้อสัมผัส (ความเหนียว/ความแข็ง/การเกาะกลุ่มกันของเมล็ดข้าว)	5.60±1.96[a]	5.40±1.99[a]	6.30±1.24[a]
6. ความชอบโดยรวมที่มีต่อผลิตภัณฑ์	6.00±1.58[a]	5.87±1.48[a]	6.47±1.11[a]

* Mean ± SD ของการคนที่ร่วมทดสอบ 30 คน

[a] ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

นอกจากนี้เมื่อนำผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปที่บรรจุในถุงรีทอร์ทเพาซ์ซึ่งเตรียมจากการหุงโดยใช้อัตราส่วนของข้าวกล้องต่อน้ำ เท่ากับ 1:0.7 มาเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปที่บรรจุในกระป๋องทั้ง 3 สูตร (ดังตารางที่ 4.51) พบว่าอัตราส่วนของน้ำที่ใช้ในการหุงข้าว ทั้ง 4 อัตราส่วน คือ 0.7, 1.25, 1.50 และ 1.75 ไม่มีผลต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ทำการทดสอบในด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น รสชาติ และ ความชอบโดยรวมที่มีต่อผลิตภัณฑ์ โดยพบว่าระดับคะแนนเฉลี่ยของทุกๆปัจจัยตามที่กล่าวมาข้างต้นไม่มีความแตกต่างกัน ($p>0.05$) แต่ส่วนใหญ่แล้วผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปที่บรรจุในกระป๋องได้คะแนนเฉลี่ยสูงกว่าผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปที่บรรจุในถุง รีทอร์ทเพาซ์ซึ่งเตรียมจากการหุงโดยใช้อัตราส่วนของข้าวกล้องต่อน้ำ เท่ากับ 1:0.7 โดยเฉพาะปัจจัยด้านลักษณะเนื้อสัมผัส เนื่องจากการบรรจุในถุงรีทอร์ทเพาซ์ ต้องบรรจุแบบสุญญากาศ ส่งผลให้เมล็ดข้าวสุกเกาะตัวกันแน่นและเหนียว ระดับความชอบด้านเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมของผู้ทดสอบที่มีต่อผลิตภัณฑ์บรรจุกระป๋องที่เตรียมในอัตราส่วนของข้าวกล้องและน้ำ เท่ากับ 1:1.25 คือ 7.03 (ชอบปานกลาง) และ 7.14 (ชอบปานกลาง) ตามลำดับ ขณะที่ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปที่บรรจุในถุงรีทอร์ทเพาซ์ ซึ่งเตรียมโดยใช้อัตราส่วนของข้าวกล้องและน้ำ เท่ากับ 1:0.7 มีคะแนน 6.30 (ชอบเล็กน้อย) และ 6.47 (ชอบเล็กน้อย) ตามลำดับ ดังนั้นจึงเลือกผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปที่บรรจุในกระป๋องซึ่งเตรียมจากอัตราส่วนของข้าวกล้องและน้ำ เท่ากับ 1:1.25 เป็นผลิตภัณฑ์ที่จะนำไปทดสอบกับผู้บริโภคต่อไป

ตารางที่ 4.51 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสเปรียบเทียบระหว่างผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปบรรจุในถุงรีทอร์ทเพาซ์และในกระป๋อง

ปัจจัยที่ทดสอบ	อัตราส่วนข้าว:น้ำที่ใช้หุง*			
	บรรจุถุงรีทอร์ทเพาซ์	บรรจุกระป๋อง		
	1 : 0.7	1 : 1.25	1 : 1.50	1 : 1.75
1. ลักษณะปรากฏ (ความแตกของเมล็ดข้าว/ความร่วน/การเกาะตัวกันของเมล็ดข้าว)	6.70 ± 1.39^{ab}	6.93 ± 1.67^{b}	6.29 ± 1.57^{a}	6.33 ± 1.60^{ab}
2. สี	7.23 ± 1.19^{b}	7.03 ± 1.15^{b}	6.94 ± 1.12^{ab}	6.33 ± 1.40^{a}
3. กลิ่น	6.23 ± 1.25^{a}	6.97 ± 1.38^{b}	6.77 ± 1.31^{ab}	6.60 ± 1.43^{ab}
4. รสชาติ	6.43 ± 1.38^{a}	6.79 ± 1.72^{a}	6.29 ± 1.77^{a}	6.27 ± 1.57^{a}
5. ลักษณะเนื้อสัมผัส (ความเหนียว/ความแข็ง/การเกาะกลุ่มกันของเมล็ดข้าว)	5.87 ± 1.50^{a}	7.03 ± 1.35^{b}	6.52 ± 1.79^{ab}	6.27 ± 1.70^{ab}
6. ความชอบโดยรวมที่มีต่อผลิตภัณฑ์	6.47 ± 1.28^{a}	7.14 ± 1.38^{a}	6.55 ± 1.50^{a}	6.43 ± 1.55^{a}

* Mean ± SD ของการคนที่ร่วมทดสอบ 30 คน

^{a,b} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

2.3 องค์ประกอบทางเคมีและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูป

ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปที่ผ่านการคัดเลือก คือ ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปบรรจุในกระป๋องซึ่งเตรียมโดยใช้อัตราส่วนของข้าวกล้องและน้ำ เท่ากับ 1: 1.25 (ดังแสดงในรูปที่ 4.19) นำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ดังนี้

รูปที่ 4.19 ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง (เตรียมจากอัตราส่วนข้าวกล้องงอกและน้ำ เท่ากับ 1: 1.25)

2.3.1 คุณค่าทางโภชนาการ

คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปแสดงดังตารางที่ 4.52 เมื่อเปรียบเทียบคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปกับข้าวกล้องและข้าวกล้องงอก พบว่าผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปมีปริมาณของเถ้าและไขมันไม่แตกต่างจากกับข้าวกล้องและข้าวกล้องงอก ($p>0.05$) ในขณะที่คาร์โบไฮเดรตมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ($p<0.05$) และข้าวกล้องสำเร็จรูปมีปริมาณคาร์โบไอเดรตสูงที่สุด (91.77%) รองลงมาคือ ข้าวกล้องงอก (90.35%) และข้าวกล้อง (84.50%) ตามลำดับ สำหรับปริมาณโปรตีนพบว่ามีค่าลดลง ($p<0.05$) โดยข้าวกล้องมีปริมาณโปรตีนสูงที่สุด (10.22%) รองลงมา คือ ข้าวกล้องงอก (6.44%) และข้าวกล้องสำเร็จรูป (5.40%) ตามลำดับ การลดลงของปริมาณโปรตีนดังกล่าวสอดคล้องกับการทดลองของ Veluppillali et al (2009) และ Mohan et al (2010) ที่พบว่ากระบวนการงอกมีผลทำให้ปริมาณโปรตีนทั้งหมด (total protein) ในข้าวกล้องลดลง ($p < 0.05$) เนื่องจากระดับของเอนไซม์โปรติเอส มีค่าเพิ่มสูงขึ้น ($p < 0.05$) รวมถึงโปรตีนที่ละลายน้ำได้มีปริมาณลดลงจาก 7.24 เป็น 3.89 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) เมื่อปล่อยให้ทิ้งไว้ให้งอกนาน 2 วัน (Veluppillali et al., 2009) ประกอบกับในกระบวนการผลิตข้าวกล้องงอกตามวิธีที่แสดงในภาคผนวก ก มีการล้างด้วยน้ำหลายครั้ง อาจจะทำให้มีการสูญเสียโปรตีนที่ละลายน้ำได้ไปกับขั้นตอนการล้าง จึงทำให้ปริมาณโปรตีนในข้าวกล้องงอกมีค่าที่ต่ำกว่าข้าวกล้อง ($p<0.05$) ดังแสดงผลในตารางที่ 4.52

สำหรับปริมาณโปรตีนที่ลดลงของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปนั้น อาจเนื่องมาจากผลิตภัณฑ์ต้องผ่านการหุงและผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 118°C นาน 45 นาที ซึ่งสภาวะดังกล่าวอาจส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดขึ้น ซึ่งปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากน้ำตาลรีดิวซ์ ทำปฏิกิริยากับหมู่เอมีน จากโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ ส่งผลให้ปริมาณโปรตีนในตัวอย่างผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปลดลง

ตารางที่ 4.52 คุณค่าทางโภชนาการของข้าวพันธุ์ช่อลุง เปรียบเทียบระหว่างข้าวกล้อง ข้าวกล้องงอกและผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูป

องค์ประกอบทางเคมี* (% นน.แห้ง)	ข้าวกล้อง	ข้าวกล้องงอก	ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูป
เถ้า	0.30 ± 0.06^{NS}	0.33 ± 0.07^{NS}	0.35 ± 0.08^{NS}
ไขมัน	2.99 ± 0.46^{NS}	2.88 ± 0.72^{NS}	2.49 ± 0.24^{NS}
โปรตีน	10.22 ± 0.28^{a}	6.44 ± 0.26^{b}	5.40 ± 0.25^{c}
คาร์โบไฮเดรต	84.50 ± 0.33^{a}	90.35 ± 0.95^{b}	91.77 ± 0.39^{c}

* mean±SD ของการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

$^{a, b, c}$ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

^{NS} แสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

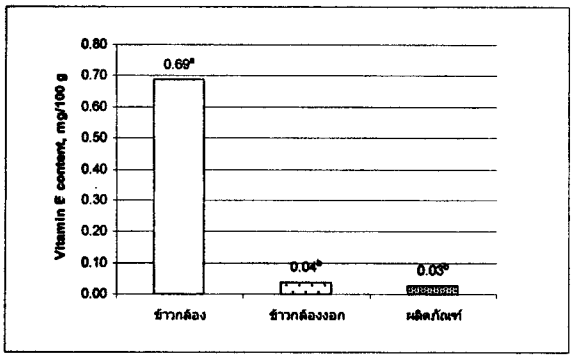
2.3.2 วิตามินและเกลือแร่

2.3.2.1 ชนิดและปริมาณวิตามิน

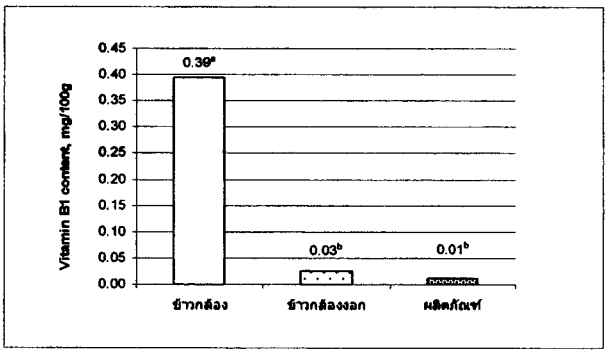
ผลการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณวิตามินของข้าวกล้องพันธุ์ช่อลุง ข้าวกล้องงอก และผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปในรูปที่ 4.20 และตารางที่ ข-3 ในภาคผนวก ข พบว่าข้าวกล้องมีปริมาณวิตามิน อี บี1 บี3 และบี6 เท่ากับ 0.69, 0.39, 0.99 และ 0.29 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ ข้าวกล้องงอกและผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปมีปริมาณวิตามิน อี บี1 บี 3 และบี6 ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เมื่อเทียบกับข้าวกล้องก่อนเพาะ

เมื่อเทียบระหว่างข้าวกล้องงอกกับผลิตภัณฑ์ พบว่าวิตามินอี และ บี1 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยข้าวกล้องงอกและผลิตภัณฑ์มีปริมาณวิตามิน อี เท่ากับ 0.04 และ 0.03 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ในขณะที่มีปริมาณวิตามิน บี1 เท่ากับ 0.03 และ 0.01 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ สำหรับวิตามิน บี3 และ บี6 พบว่าผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปมีปริมาณของวิตามินทั้ง 2 ชนิดต่ำกว่าข้าวกล้องงอก ($p<0.05$) ข้าวกล้องงอกและผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปมีวิตามิน บี3 เท่ากับ 0.07 และ 0.05 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม และมีวิตามิน บี6 เท่ากับ 0.11 และ 0.02 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ

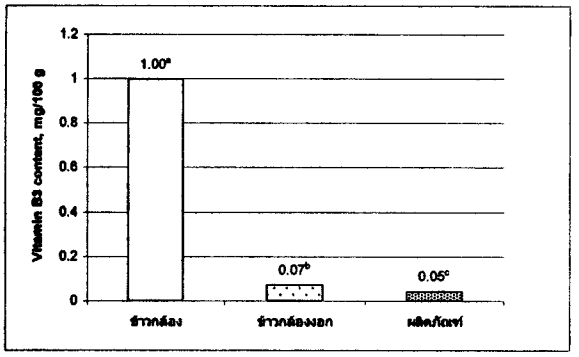
A. วิตามิน อี



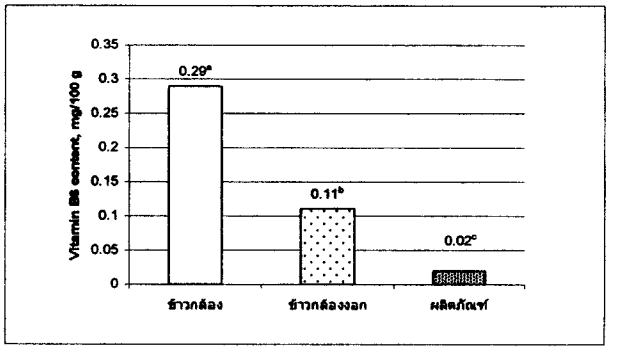
B. วิตามินบี 1



C. วิตามิน บี 3



D. วิตามิน บี 6



รูปที่ 4.20 กราฟเปรียบเทียบปริมาณวิตามิน ในข้าวกล้อง ข้าวกล้องงอก และผลิตภัณฑ์

2.3.2.2 ชนิดและปริมาณของเกลือแร่

ผลการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณแร่ธาตุของข้าวกล้อง ข้าวกล้องงอก และ ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูป จากข้าวพันธุ์ช่อลุง ในตารางที่ 4.53 พบแร่ธาตุที่มีสำคัญทางโภชนาการและจัดได้เป็น 3 กลุ่ม คือ

- กลุ่มที่ 1 แคลเซียม โปแทสเซียม และแมกนีเซียม
- กลุ่มที่ 2 โซเดียม คอปเปอร์ เซลิเนียม และโครเมียม
- กลุ่มที่ 3 ธาตุเหล็ก และสังกะสี

จากตัวอย่างข้าวทั้ง 3 ชนิด พบว่าข้าวกล้องมีปริมาณแร่ธาตุทุกตัวสูงที่สุด เมื่อเทียบกับข้าวกล้องงอก และผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูป ดังนี้ กลุ่มที่ 1 แคลเซียม 250.97, โปแทสเซียม 1310.71 และแมกนีเซียม 727.21 มก./กก. ในข้าวกล้อง; แคลเซียม 90.14, โปแทสเซียม 164.05 และแมกนีเซียม 26.21 มก./กก. ในข้าวกล้องงอก; แคลเซียม 52.182, โปแทสเซียม 16.44 และแมกนีเซียม 12.25 มก./กก. ในผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูป เมื่อเทียบเปอร์เซ็นต์ของธาตุที่หายไปในข้าวกล้องพบว่า ข้าวกล้องงอกมีแร่ธาตุหายไป64.1% สำหรับแคลเซียม, โปแทสเซียม 87.5% และแมกนีเซียม 96.4% ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปมีแร่ธาตุหายไป 79.2% สำหรับแคลเซียม, โปแทสเซียม 98.8% และแมกนีเซียม 98.3%

ธาตุกลุ่มที่ 2 โซเดียม 1.264, คอปเปอร์ 2.508, เซลิเนียม 2.189 และโครเมียม 0.446 มก./กก. ในข้าวกล้อง; โซเดียม 1.641, คอปเปอร์ 0.917, เซลิเนียม 1.734 และโครเมียม 0.219 มก./กก. ในข้าวกล้องงอก; โซเดียม 0.571, คอปเปอร์ 0.387, เซลิเนียม 0.679 และโครเมียม 0.127 มก./กก. ในผลิตภัณฑ์ของข้าวกล้องงอก เมื่อเทียบเปอร์เซ็นต์ของธาตุที่หายไปกับข้าวกล้องพบว่า ข้าวกล้องงอกมีธาตุหายไป 63.4% สำหรับคอปเปอร์, เซลิเนียม 20.8% และโครเมียม 50.9% เว้นโซเดียม มีค่าเพิ่มขึ้น 29.8% ซึ่งน่าจะมาจากบัฟเฟอร์ที่แช่ขณะทำให้งอกมีโซเดียมอยู่ด้วย, ผลิตภัณฑ์ของข้าวกล้องงอกมีธาตุหายไป 54.8% สำหรับโซเดียม, คอปเปอร์ 84.6%, เซลิเนียม 68.9% และโครเมียม 71.5%

ธาตุกลุ่มที่ 3 เหล็ก 20.539 และสังกะสี 19.108 มก./กก.ในข้าวกล้อง; เหล็ก 6.257 และสังกะสี 1.860 มก./กก.ในข้าวกล้องงอก; เหล็ก 2.670 และสังกะสี 1.084 มก./กก.ในผลิตภัณฑ์ของข้าวกล้องงอก; เมื่อเทียบเปอร์เซ็นต์ของธาตุที่หายไปกับข้าวกล้องพบว่า ข้าวกล้องงอกมีธาตุหายไป 69.5% สำหรับเหล็ก และสังกะสี 90.3% ผลิตภัณฑ์ของข้าวกล้องงอกมีธาตุหายไป 87.0% สำหรับเหล็ก และสังกะสี 94.3% โดยการหายไปของธาตุเหล่านี้น่าจะมาจากกระบวนการเพาะ และการทำผลิตภัณฑ์

Hossam และคณะ (2010) พบว่า ข้าวกล้องงอก (Rice Giza 175, Giza 181 (*Oryz sativa*)-เพาะโดยแช่ข้าวกล้องในน้ำ 24 และ 3 ชั่วโมง ที่ 40 ^{o}C) มีปริมาณธาตุ Zn, Ca, Mg, Cu และ Fe เพิ่มขึ้นจากข้าวกล้อง เนื่องจากปริมาณกรดไฟติก (phytic acid) ที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับก่อนงอก แต่ผลการทดลองนี้ได้ผลตรงข้าม คือ ธาตุทั้ง 5 มีปริมาณลดลงในข้าวกล้องงอกเมื่อเทียบกับก่อนงอกอย่างมีนัยสำคัญ อาจเนื่องจาก (1) วิธีเพาะข้าวที่ต่างกัน โดยการทดลองนี้แช่ในบัฟเฟอร์ พีเอช 3, (2) มีการปรับพีเอชจากกรดให้เป็นกลางก่อนทำผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 4.53 ชนิดและปริมาณแร่ธาตุของข้าวกล้อง ข้าวกล้องงอก และผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูป จากข้าวพันธุ์ช่อลุง

แร่ธาตุ	มิลลิกรัมวิตามิน/ 100 กรัม ตัวอย่าง		
	ข้าวกล้อง	ข้าวกล้องงอก	ผลิตภัณฑ์
Ca	250.96 ± 5.29^{a}	90.14 ± 5.49^{b}	250.96 ± 5.29^{c}
Na	1.264 ± 0.04^{a}	1.641 ± 0.07^{b}	0.571 ± 0.011^{c}
K	1310.71 ± 34.34^{a}	164.05 ± 58.01^{b}	16.44 ± 0.81^{c}
Mg	727.21 ± 12.05^{a}	26.21 ± 10.94^{b}	12.25 ± 0.57^{b}
Fe	20.54 ± 0.80^{a}	6.26 ± 0.41^{b}	2.67 ± 0.03^{c}
Cu	2.51 ± 0.10^{a}	0.92 ± 0.05^{b}	0.39 ± 0.03^{c}
Se	2.19 ± 0.30^{a}	1.73 ± 0.16^{b}	0.68 ± 0.15^{c}
Zn	19.11 ± 0.66^{a}	1.86 ± 0.15^{b}	1.08 ± 0.02^{b}
Cr	0.45 ± 0.01^{a}	0.22 ± 0.00^{b}	0.13 ± 0.01^{c}

*ค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง 1 รุ่นจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

2.3.3 สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ

2.3.3.1 γ-aminobutyric acid (GABA)

GABA มีบทบาทสำคัญต่อสุขภาพของมนุษย์และสัตว์ โดยทำหน้าที่เป็นสารสื่อประสาทประเภทสารยับยั้ง (inhibitory neurotransmitter) ในระบบประสาทส่วนกลาง (Chebib and Johnston, 1999) มีผลในการรักษาสมดุลในสมอง ช่วยให้สมองผ่อนคลาย ลดอาการนอนไม่หลับและกระวนกระวายใจ (Tadashi, 2000) นอกจากนี้จากการศึกษาที่ผ่านมายังชี้ให้เห็นว่า GABA เป็นสารที่ส่งผลดีต่อสุขภาพ โดยมีผลช่วยลดความดันโลหิตในสัตว์ทดลองและในมนุษย์ (Abe et al., 1995; Hayakawa et al., 2002; Inoue et al., 2003) ช่วยลดระดับน้ำตาลในเลือดของสัตว์ทดลอง (Hagiwara, et al., 2004) ช่วยยับยั้งการแพร่กระจายของเซลล์มะเร็งโดยกระตุ้นให้เกิดการ apoptosis ของเซลล์มะเร็ง (Oh and Oh, 2004) มีหลายๆการศึกษาที่สรุปว่ากระบวนการงอกมีผลทำให้ปริมาณ GABA ของเมล็ดพืชเพิ่มสูงขึ้น (Liu et al., 2005; Ohtsubo et al., 2005; Kihara et al., 2007; Komatsuzaki et al., 2007; Chung et al., 2009; Moongngarm and Saetung, 2010) ซึ่งผลการทดลองที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้ ก็สอดคล้องข้อสรุปกับดังกล่าว ซึ่งจะเห็นว่าปริมาณ GABA ของข้าวกล้องงอกมีค่ามากกว่าข้าวกล้องประมาณ 7 เท่า (ตารางที่ 4.54) และเป็นค่าที่มากกว่าข้าวกล้องอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 4.54 ปริมาณสาร GABA ในข้าวพันธุ์ช่อลุง เปรียบเทียบระหว่างข้าวกล้อง ข้าวกล้องงอกและผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูป

ตัวอย่าง	ปริมาณ GABA (มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่าง, นน.แห้ง)
ข้าวกล้อง	9.97 ± 0.97^{a}
ข้าวกล้องงอก	74.20 ± 0.04^{b}
ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูป	1.94 ± 0.13^{c}

$^{a, b,c}$ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จากการศึกษาของ Okada และคณะ (2000) อ้างโดย Otsubo และคณะ (2005) ได้สรุปว่าการรับประทานอาหารที่มี GABA เป็นส่วนประกอบในปริมาณ 26.4 มิลลิกรัมต่อวัน จะช่วยทำให้อาการที่เกิดจากการหมดประจำเดือน (symtoms of menopauses) หรืออาการของโรคทางจิต (metal disorder) ดีขึ้น ในขณะที่การรับประทาน GABA ปริมาณ 10 มิลลิกรัมต่อวัน ต่อเนื่องนาน 12 สัปดาห์ จะช่วยลดระดับความดันโลหิตในคนที่เป็นโรคความดันโลหิตสูงได้ (Inoue et al., 2003) ดังนั้นปริมาณของข้าวกล้องงอก (เตรียมตามวิธีในภาคผนวก ก) ที่ต้องบริโภคเพื่อให้ได้ผลตามข้อสรุปของ Okada และคณะ (2000) รวมถึง Inoue และคณะ (2003) คือ 45 และ 20 กรัม ตามลำดับ ซึ่งเป็นปริมาณที่ไม่สูงมาก แต่อย่างไรก็ตามมีการรายงานว่า

กระบวนการแปรรูปเป็นปัจจัยสำคัญ ที่ทำให้ปริมาณ GABA ในผลิตภัณฑ์อาหารมีการเปลี่ยนแปลง โดย Joye และคณะ (2011) พบว่าปริมาณ GABA มีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างกระบวนการผลิตอาหารเช้าจากธัญพืชด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชั่น โดยพบผลิตภัณฑ์มีปริมาณ GABA ลดลงประมาณ 15% หลังจากผ่านขั้นตอนการทำแผ่น (flaking) ซึ่งมีการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100±5°C และเมื่อนำผลิตภัณฑ์ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 190 °C นาน 3 นาที จะทำให้ปริมาณ GABA ลดลง 74% เมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ก่อนอบ แสดงว่าการใช้ความร้อนสูงจะทำให้ GABA ลดลง ซึ่งผลการวิจัยครั้งนี้ก็สอดคล้องกับการรายงานดังกล่าว ที่พบว่าปริมาณ GABA ของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปมีค่าลดลงอย่างมากเมื่อเทียบกับปริมาณ GABA ในข้าวกล้องงอก ($p<0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนสูง (118 °C) เป็นระยะเวลานาน (45 นาที) ดังแสดงผลในตารางที่ 4.54

แต่อย่างไรก็ตาม แม้ว่าผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปจะมีปริมาณ GABA ที่ลดลงอย่างมากเมื่อเทียบกับข้าวกล้องงอก แต่หากสามารถบริโภคผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปวันละ 5 กระป๋อง (น้ำหนักบรรจุ 120 กรัม) จะได้รับปริมาณ GABA ทั้งหมด เท่ากับ 11.28 mg ซึ่งเป็นปริมาณที่เพียงพอที่จะส่งผลดีต่อสุขภาพ โดยช่วยลดความดันโลหิตตามข้อสรุปของ Inoue และคณะ (2003)

2.3.3.2 กิจกรรมการต้านออกซิเดชั่น การประเมินฤทธิ์ต้านการอักเสบและศักยภาพการยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์แอลฟ่า-อะไมเลสของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูป

1. กิจกรรมการต้านออกซิเดชั่น

ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและกิจกรรมการต้านออกซิเดชันของข้าวกล้องงอกซึ่งประกอบด้วยการวิเคราะห์ DPPH radical scavenging activity, ABTS radical scavenging activity และ ferric reducing antioxidant power (FRAP) assay โดยรายงานผลในรูปมิลลิกรัมสมมูลของกรดเฟอรูลิกต่อ 100 กรัม ตัวอย่าง (mg equivalent of ferulic acid/100g sample) แสดงดังตารางที่ 4.55 ซึ่งพบว่าปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในข้าวกล้องงอกมีค่าสูงกว่าข้าวกล้อง ($p<0.05$) และผลดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lee et al. (2007) และ Moongngarm and Saetung (2010) ที่รายงานว่าตัวอย่างข้าวที่ผ่านการทำให้งอกด้วยสภาวะต่างๆจะมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่าข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการทำให้งอก ($p<0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในระหว่างกระบวนการงอกมีการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีเกิดขึ้น เอนไซม์ต่างๆทำงานได้ดีขึ้นทำให้สารฟีนอลิกที่อยู่ในรูป bound form (bound phenolic) ถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของฟีนอลิกอิสระ (free phenolic) เพิ่มขึ้น (Maillard et al., 1996) นอกจากนี้จากการศึกษาของ Tian และคณะ (2004) ยังพบว่าในระหว่างกระบวนการงอก เอนไซม์ที่สามารถย่อยคาร์โบไฮเดรตได้สามารถทำงานได้ดีขึ้น เมื่อมีการย่อยแป้งเพิ่มขึ้นทำให้มีการเปลี่ยนฟีนอลิกในรูปของ bound form ไปเป็นฟีนอลิกอิสระ เพิ่มขึ้น ซึ่งกรดเฟอรูริก (ferulic acid) เป็นฟีนอลิกอิสระที่มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นมากที่สุดในระหว่างกระบวนการทำให้ข้าวกล้องงอก และจากเหตุผลทั้งหมดที่กล่าวมาแล้วจึงส่งผลให้ปริมาณของ ฟีนอลิกทั้งหมดในข้าวกล้องงอกเพิ่มขึ้น

($p<0.05$) แต่จะเห็นได้ว่าเมื่อนำข้าวกล้องงอกมาผ่านกระบวนการแปรรูปโดยใช้ความร้อนสูง (118 °C นาน 45 นาที) ทำให้ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดลดลง ($p<0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากความร้อนเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลให้ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดรวมทั้งกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระในพืชต่างๆลดลง (Franke et al., 1994; Ismail et al., 2004; Lee et al., 2006; Morales-de la Pena et al., 2011; Vadivel et al., 2011) เนื่องจากความร้อนเข้าไปทำลายพันธะเอสเทอร์หรือพันธะไกลโคไซด์ ทำให้สารประกอบฟีนอลิกอยู่ในรูปอิสระหลุดออกมาในน้ำระหว่างการหุงสุก ส่งผลให้สารประกอบฟีนอลิกถูกทำลายได้ง่ายมากขึ้น (Xu and Chang, 2008)

ตารางที่ 4.55 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและกิจกรรมการต้านออกซิเดชันของข้าวกล้อง ข้าวกล้องงอกและผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูป

ตัวอย่าง	Total phenolic (mg FAE/100g, นน.แห้ง)	Antioxidant activities (mg FAE/100 g sample, นน.แห้ง)		
		DPPH	ABTS	FRAP
ข้าวกล้อง	14.67 ± 12.40[a]	11.76 ± 49.50[a]	12.71 ± 28.36[a]	8.92 ± 28.99[a]
ข้าวกล้องงอก	35.50 ± 70.47[b]	17.06 ± 30.51[b]	18.95 ± 61.16[b]	15.76 ± 34.72[b]
ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูป	11.06 ± 17.30[c]	10.54 ± 29.10[c]	9.09 ± 27.79[c]	7.13 ± 10.06[c]

[a,b,...] = ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามด้วยอักษรที่แตกต่างกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ

สำหรับการทดสอบกิจกรรมการต้านออกซิเดชั่นเป็นการทำเพื่อวัดความสามารถของตัวอย่างในการจับกับอนุมูลอิสระ ซึ่งเป็นการแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ จากตารางที่ 4.55 พบว่าข้าวกล้องงอกมีกิจกรรมการต้านออกซิเดชั่นสูงกว่าตัวอย่างข้าวกล้องในทุกๆวิธีที่ทดสอบ ($p<0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 17.06, 18.95 และ 15.76 มิลลิกรัม FAE/100 กรัมตัวอย่าง เมื่อทดสอบด้วยวิธี DPPH radical scavenging activity, ABTS radical scavenging activity และ ferric reducing antioxidant power (FRAP) assay ตามลำดับ โดยส่วนใหญ่สารต้านอนุมูลอิสระในพืชคือ สารประกอบฟีนอลิก (Rice-Evans et al., 1997; Maisuthisakul et al., 2008) มีหลายๆงานวิจัยที่รายงานว่าปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดมีความสัมพันธ์ในทางบวกกับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในพืช (Liu et al., 2007; Beta et al., 2005; Katalinic et al., 2006) เนื่องจากสารฟีนอลิกมีความสามารถในการจับอนุมูลอิสระ ซึ่งจากผลการทดลอง (ดังตารางที่ 4.55) จะเห็นว่าข้าวกล้องงอกมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่าข้าวกล้อง ดังนั้นจึงส่งผลให้ข้าวกล้องงอกมีกิจกรรมการต้านออกซิเดชั่นสูงกว่าข้าวกล้อง นอกจากนี้เมื่อนำข้าวกล้องงอกไปผ่านกระบวนการแปรรูปโดยใช้ความร้อนสูง (118 °C นาน 45 นาที) กิจกรรมการต้านออกซิเดชั่นของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอก

สำเร็จรูปมีค่าลดลง ($p< 0.05$) เนื่องจากความร้อนสามารถทำลายโครงสร้างที่เป็นวงแหวนของสารประกอบฟีนอลิกได้ จึงส่งผลให้กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของข้าวกล้องงอกลดลง (Granito et al., 2008)

2. การประเมินฤทธิ์ต้านการอักเสบ

น้ำหนักของสารสกัดที่ได้ เท่ากับ 1.57 g และหลังจากนำไปประเมินฤทธิ์ต้านอาการอักเสบพบว่าสารสกัดจากผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปมีค่า $IC_{50} > 100$ µg/ml นั่นหมายความว่าการแปรรูปอาจทำให้ฤทธิ์ลดลงได้ นอกจากนี้แหล่งของข้าวกล้องงอกที่แตกต่างกันอาจจะมีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีและฤทธิ์ทางชีวภาพได้

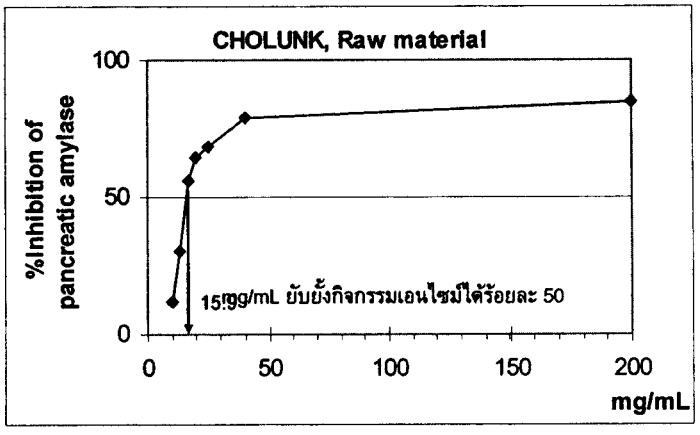
3. ศักยภาพการยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์แอลฟ่า-อะไมเลส

ผลการศึกษาในตารางที่ 4.56 แสดงว่าข้าวช่อลุงทั้ง 3 รูปแบบ (ข้าวกล้อง ข้าวกล้องงอกและผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูป) ไม่สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อะไมเลสจากน้ำลาย แต่สามารถยับยั้งอะไมเลสจากตับอ่อนได้ โดยข้าวกล้องยับยั้งได้ 90.89% ข้าวกล้องงอก 1.23% และผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปยับยั้งได้ 0.02% และพบว่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งต่ออะไมเลสจากตับอ่อนของข้าวกล้องงอกและผลิตภัณฑ์มีค่าลดต่ำลงจากข้าวกล้องอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งน่าจะเนื่องจากวิธีการเพาะแบบแช่ที่มีผลลดการยับยั้งเอนไซม์และกระบวนการเตรียมให้เป็นผลิตพันธ์

ตารางที่ 4.56 ศักยภาพการยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์อะไมเลส ของสารสกัดจากข้าวกล้อง ข้าวกล้องงอกและผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูป จากข้าวพันธุ์ช่อลุง

ตัวอย่าง	ร้อยละการยับยั้งกิจกรรมอะไมเลส	
	อะไมเลสจากน้ำลาย	อะไมเลสจากตับอ่อน
ข้าวกล้อง	$<0 \pm 6.39^{a}$	90.89 ± 3.26^{a}
ข้าวกล้องงอก	$<0 \pm 3.22^{a}$	1.23 ± 1.89^{b}
ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูป	$<0 \pm 2.81^{a}$	0.02 ± 1.28^{b}

รูปที่ 4.21 แสดงกราฟการหาปริมาณมก./มล.สารสกัดข้าวกล้องช่อลุงที่ความเข้มข้นต่างๆ เพื่อหาปริมาณที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อะไมเลสจากตับอ่อนได้ร้อยละ 50 พบว่ามีค่าเท่ากับ 15.9 มก./มล. ส่วนข้าวกล้องงอก และผลิตภัณฑ์ไม่สามารถทำการหาได้ เนื่องจากสารสกัดของตัวอย่างทั้งสองที่ปริมาณ 200 มก./มล. ยับยั้งเอนไซม์ได้ต่ำมากดังตารางที่ 4.56 ข้างต้น



รูปที่ 4.21 การยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์อะไมเลสจากตับอ่อนของสารสกัดข้าวกล้องช่อลุงแบบแช่ (0.2 กรัม/มล.) ที่ค่าการเจือจางต่างๆ (ข้าวกล้องช่อลุงจากปัตตานี ค่าเฉลี่ยจาก 3 รุ่น สกัด 3 ครั้ง วิเคราะห์แบบ 2 ซ้ำ)

2.4 การทดสอบการยอมรับของผลิตภัณฑ์กับผู้บริโภค

การทดสอบผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปกับผู้บริโภค ทำโดยใช้แบบสำรวจความคิดเห็น (ภาคผนวก ข) ในกลุ่มผู้สูงอายุ (อายุตั้งแต่ 60 ปีขึ้นไป) ซึ่งเป็นผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมาย โดยเนื้อหาของแบบสอบถาม แบ่งเป็น 3 ส่วน ดังนี้

- ส่วนที่ 1 พฤติกรรมการบริโภคข้าวกล้องงอกบรรจุกระป๋อง
- ส่วนที่ 2 การประเมินการยอมรับข้าวกล้องงอกบรรจุกระป๋อง
- ส่วนที่ 3 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

จากการสอบถามผู้บริโภคทั้งหมด 111 คน ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถามแสดงดังตารางที่ 4.57 ซึ่งผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง (86.5%) นับถือศาสนาพุทธ (99.1%) มีอายุในช่วง 60-65 ปี (35.1%) อยู่ในสถานภาพที่สมรสแล้ว (59.5%) จบการศึกษาในระดับประถมศึกษาเป็นส่วนใหญ่ (37.8%) มีจำนวนสมาชิกในครอบครัว เท่ากับ 3-4 คน (39.6%) และมีรายได้ของครอบครัว เท่ากับ 10,000- 30,000 บาท/เดือน (37.8%)

ตารางที่ 4.57 ข้อมูลประชากรศาสตร์ของผู้ทำแบบสอบถาม

ลักษณะทางประชากรศาสตร์	%
1. เพศ	
- ชาย	13.5
- หญิง	86.5
2. ศาสนา	
- พุทธ	99.1
- อื่นๆ	0.9

ตารางที่ 4.57 (ต่อ)

ลักษณะทางประชากรศาสตร์	%
3. ช่วงอายุ	
- 60-65 ปี	35.1
- 66-70 ปี	12.6
- 71-75 ปี	23.4
- 76-80 ปี	25.2
- มากกว่า 80 ปี	3.6
4. สถานภาพ	
- โสด	16.2
- สมรส	59.5
- หย่า /หม้าย /แยกกันอยู่	24.3
5. ระดับการศึกษา	
- ต่ำกว่าประกมศึกษา	5.4
- ประถมศึกษา	37.8
- มัธยมศึกษา	20.7
- ปวช	2.7
- ปวส. / อนุปริญญา	6.3
- ปริญญาตรี	23.4
- สูงกว่าปริญญาตรี	1.8
6. จำนวนสมาชิกในครอบครัว	
- 1-2 คน	30.6
- 3-4 คน	39.6
- 5-6 คน	22.5
- มากกว่า 6 คน	**7.2**
7. รายได้ของครอบครัวต่อเดือน	
- น้อยกว่า 10,000 บาท	29.7
- 10,000- 30,000 บาท	37.8
- 30,001- 50,000 บาท	22.5
- 50,001- 100,000 บาท	0.9
- มากกว่า 100,000 บาท	1.8

จากการสอบถามพบว่าผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เคยรู้จักหรือทราบข่าวสารเกี่ยวกับข้าวกล้องงอกมาก่อน (คิดเป็น 84.68%) โดยในแต่ละช่วงอายุมีสัดส่วนของผู้ที่รู้จักและไม่รู้จักข้าวกล้องงอก แสดงดังตารางที่ 4.58 แต่อย่างไรก็ตามหากดูเฉพาะในกลุ่มที่เคยรู้จักข้าวกล้องงอกพบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามที่มีอายุในช่วง 60-65 ปี เป็นกลุ่มที่รู้จักข้าวกล้องงอกมากที่สุด (คิดเป็น 30.85%) รองลงมาคือผู้ที่มีอายุในช่วง 71-75 ปี (คิดเป็น 26.60%) โดยผู้ตอบแบบสอบถามทั้งหมดที่รู้จักข้าวกล้องงอก (94 คน) จะรู้จักผ่านทางสื่อต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.59 โดยโทรทัศน์และคำบอกเล่าของบุคคลเป็นสื่อที่ทำให้ผู้ตอบแบบสอบถามรู้จักข้าวกล้องงอกมากที่สุด (50 และ 50 % ตามลำดับ) รองลงมาคือ หนังสือพิมพ์ / วารสาร (20.21%)

ตารางที่ 4.58 จำนวนและเปอร์เซ็นต์ของกลุ่มตัวอย่างที่เคยรู้จักหรือทราบข่าวเกี่ยวกับข้าวกล้องงอก

อายุ (ปี)	ท่านเคยรู้จักหรือทราบข่าวสารเกี่ยวกับ "ข้าวกล้องงอก" มาก่อนหรือไม่				รวม	
	เคย		ไม่เคย			
	จำนวน	%	จำนวน	%	จำนวน	%
60-65	29	26.13	10	9.01	39	35.14
66-70	24	21.62	2	1.80	26	23.42
71-75	25	22.52	3	2.70	28	25.23
76-80	12	10.81	2	1.80	14	12.61
มากกว่า 80	4	3.60	0	0	4	3.60
รวม	**94**	**84.68**	**17**	**15.32**	**111**	**100**

ตารางที่ 4.59 สื่อต่างๆที่ทำให้กลุ่มตัวอย่างรู้จักข้าวกล้องงอก

สื่อต่างๆ	เลือก	
	จำนวน	%
หนังสือพิมพ์/ วารสาร	19	**20.21**
วิทยุ	10	**10.64**
งานนิทรรศการ	16	**17.02**
โทรทัศน์	47	**50**
อินเตอร์เน็ต	3	**3.19**
คำบอกเล่าของบุคคล	47	**50**
อื่นๆ	8	**8.51**

เมื่อสอบถามถึงความสนใจในการบริโภคข้าวกล้องงอกพบว่า ผู้ตอบแบบสอบถาม 91.89% สนใจที่จะบริโภคข้าวกล้องงอก (ดังตารางที่ 4.60) โดยผู้ตอบแบบสอบถามที่มีอายุในช่วง 60-65 ปี มีความสนใจที่จะบริโภคมากที่สุด (37.25% ของผู้ที่สนใจทั้งหมด) และเหตุผลที่ทำให้ผู้ตอบแบบ สอบถามเลือกที่บริโภคข้าวกล้องงอก คือ เพื่อประโยชน์ต่อสุขภาพ (90.20 % ของผู้ที่สนใจทั้งหมด) รองลงมาคือเพื่อรักษาโรค (32.35% ของผู้ที่สนใจทั้งหมด) ดังแสดงในตารางที่ 4.61

ตารางที่ 4.60 จำนวนและเปอร์เซ็นต์ของกลุ่มตัวอย่างที่สนใจบริโภคข้าวกล้องงอก

อายุ (ปี)	ท่านมีความสนใจที่จะบริโภคข้าวกล้องงอกหรือไม่				รวม	
	สนใจ		ไม่สนใจ			
	จำนวน	%	จำนวน	%	จำนวน	%
60-65	38	34.23	1	0.90	39	35.14
66-70	25	22.52	1	0.90	26	23.42
71-75	22	19.82	6	5.41	28	25.23
76-80	13	11.71	1	0.90	14	12.61
มากกว่า 80	4	3.60	0	0	4	3.60
รวม	**102**	**91.89**	**9**	**8.11**	**111**	**100**

ตารางที่ 4.61 เหตุผลที่ทำให้กลุ่มตัวอย่างสนใจบริโภคข้าวกล้องงอก

เหตุผล	เลือก	
	จำนวน	%
ประโยชน์ต่อสุขภาพ	92	90.20
ชอบรสชาติและเนื้อสัมผัส	12	11.76
เพื่อรักษาโรค	33	32.35

นอกจากนี้ในกลุ่มผู้ตอบแบบสอบถามที่ไม่สนใจที่จะบริโภคข้าวกล้องงอก (ตารางที่ 4.60) ได้ให้เหตุผลของการที่ไม่สนใจบริโภคข้าวกล้องงอก ดังแสดงในตารางที่ 4.62 โดยเหตุผลหลัก คือ ราคาแพงกว่าข้าวปกติ คิดเป็น 44.44% ของผู้ที่ไม่สนใจทั้งหมด รองลงมา คือไม่สะดวกในการซื้อ คิดเป็น 33.33% ของผู้ที่ไม่สนใจทั้งหมด

ตารางที่ 4.62 เหตุผลที่ทำให้กลุ่มตัวอย่างไม่สนใจบริโภคข้าวกล้องงอก

เหตุผล	เลือก	
	จำนวน	%
ไม่ชอบทดลองผลิตภัณฑ์ใหม่	1	11.11
ไม่นิยมบริโภคข้าวกล้องงอก	2	22.22
ไม่สะดวกในการซื้อ	3	33.33
ไม่รู้จักผลิตภัณฑ์	2	22.22
ราคาแพงกว่าข้าวปกติ	4	44.44

ในกลุ่มผู้ตอบแบบสอบถามทั้งหมด พบว่ามีผู้ที่เคยรับประทานข้าวกล้องงอกหรือผลิตภัณฑ์จากข้าวกล้องงอกทั้งหมด 63.06% (ดังตารางที่ 4.63) โดยผู้ตอบแบบสอบถามที่มีอายุอยู่ในช่วง 60-65 ปี เป็นกลุ่มที่เคยรับประทานข้าวกล้องงอกหรือผลิตภัณฑ์จากข้าวกล้องงอกมากที่สุด (18.92%) รองลงมาคือผู้ที่มีอายุอยู่ในช่วง 66-70 ปี (18.02%) (ดังตารางที่ 4.63) และจากตารางที่ 4.64 พบว่าผลิตภัณฑ์จากข้าวกล้องงอกที่ผู้ตอบแบบสอบถามเคยรับประทานมากที่สุด คือ น้ำข้าวกล้องงอก (77.14%) รองลงมา คือ ข้าวหุงสุก (48.57%) และโจ๊กข้าวกล้องงอก (18.57%) ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาแต่ละการรับประทานผลิตภัณฑ์ตามช่วงอายุ พบว่าผู้ตอบแบบสอบถามที่มีอายุอยู่ในช่วง 60-65 ปี มีเปอร์เซ็นต์ของผู้ที่เคยรับประทานผลิตภัณฑ์จากข้าวกล้องงอกสูงที่สุด (ดังตารางที่ 4.64)

ตารางที่ 4.63 จำนวนและเปอร์เซ็นต์ของกลุ่มตัวอย่างที่เคยรับประทานข้าวกล้องงอกหรือผลิตภัณฑ์จากข้าวกล้องงอก

อายุ (ปี)	ท่านเคยรับประทานข้าวกล้องงอกหรือผลิตภัณฑ์จากข้าวกล้องงอกหรือไม่				รวม	
	เคย		ไม่เคย			
	จำนวน	%	จำนวน	%	จำนวน	%
60-65	21	18.92	18	16.22	39	35.14
66-70	20	18.02	6	5.41	26	23.42
71-75	17	15.32	11	9.91	28	25.23
76-80	10	9.01	4	3.60	14	12.61
มากกว่า 80	2	1.80	2	1.80	4	3.60
รวม	**70**	**63.06**	**41**	**36.94**	**111**	**100**

ตารางที่ 4.64 จำนวนและร้อยละของผลิตภัณฑ์จากข้าวกล้องงอกที่ผู้ทดสอบเคยรับประทาน

ผลิตภัณฑ์จากข้าวกล้องงอก	อายุ (ปี)										รวม	
	60-65		66-70		71-75		76-80		มากกว่า 80			
	จำนวน	%	จำนวน	%	จำนวน	%	จำนวน	%	จำนวน	%	จำนวน	%
ข้าวหุงสุก	11	15.71	9	12.86	7	10.0	5	7.14	2	2.86	34	48.57
น้ำข้าวกล้องงอก	17	24.29	16	22.86	13	18.57	7	10.0	1	1.43	54	77.14
โจ๊กข้าวกล้องงอก	4	5.71	4	5.71	4	5.71	1	1.43	0	0.0	13	18.57
น้ำข้าวกล้องงอกชนิดผง	5	7.14	3	4.29	0	0.0	2	2.86	1	1.43	11	15.71
อื่นๆ	1	1.43	0	0.0	1	1.43	0	0.0	0	0.0	2	2.85

หลังจากให้ผู้ตอบแบบสอบถามทดลองชิมผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกบรรจุกระป๋องที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ และให้คะแนนความชอบต่อลักษณะต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ ดังนี้ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ผลการทดสอบทางประสามสัมผัสแสดงดังตารางที่ 4.65 โดยผู้ตอบแบบสอบถามให้คะแนนในทุกๆปัจจัยที่ทดสอบตั้งแต่ 6.92-7.39 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผู้ตอบแบบสอบถามมีความรู้สึกชอบต่อผลิตภัณฑ์ในระดับชอบปานกลาง และพบว่าผู้ตอบแบบสอบถาม 93.69% ให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง (ดังตารางที่ 4.66) นอกจากนั้นสามารถสรุปได้ว่าผู้ตอบแบบสอบถามที่มีอายุในช่วง 60-65 ปีให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกบรรจุกระป๋องมากที่สุด (31.53%) และถ้ามีผลิตภัณฑ์ชนิดนี้จำหน่ายในท้องตลาดจะมีผู้ที่สนใจซื้อ 82.57% (ดังตารางที่ 4.67) โดยผู้ตอบแบบสอบถามที่มีอายุในช่วง 60-65 ปีสนใจที่จะซื้อผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกบรรจุกระป๋องมากที่สุดคิดเป็น 26.61% (ดังตารางที่ 4.67)

ตารางที่ 4.65 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปกับผู้บริโภคกลุ่มผู้สูงอายุ จำนวน 111 คน

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	Mean ± SD
ลักษณะปรากฏ	7.22 ± 1.47
สี	7.12 ± 1.44
กลิ่น	6.92 ± 1.72
รสชาติ	7.14 ± 1.69
เนื้อสัมผัส	7.15 ± 1.58
ความชอบโดยรวม	7.39 ± 1.66

ตารางที่ 4.66 จำนวนและร้อยละของผู้ตอบแบบสอบถามที่ยอมรับข้าวกล้องงอกบรรจุกระป๋อง

อายุ (ปี)	ท่านยอมรับข้าวกล้องงอกบรรจุกระป๋องนี้หรือไม่				รวม	
	ยอมรับ		ไม่ยอมรับ			
	จำนวน	%	จำนวน	%	จำนวน	%
60-65	35	**31.53**	4	**3.60**	39	**35.14**
66-70	25	**22.52**	1	**0.90**	26	**23.42**
71-75	26	**23.42**	2	**1.80**	28	**25.23**
76-80	14	**12.61**	0	**0.0**	14	**12.61**
มากกว่า 80	4	**3.60**	0	**0.0**	0	**0.0**
รวม	**104**	**93.69**	**7**	**6.31**	**111**	**100**

ตารางที่ 4.67 จำนวนและร้อยละของผู้ตอบแบบสอบถามที่สนใจจะซื้อข้าวกล้องงอกบรรจุกระป๋อง

อายุ (ปี)	ถ้ามีการผลิตข้าวกล้องงอกบรรจุกระป๋องจำหน่ายในท้องตลาด ท่านสนใจจะซื้อหรือไม่				รวม	
	สนใจ		ไม่สนใจ			
	จำนวน	%	จำนวน	%	จำนวน	%
60-65	29	**26.61**	10	**9.17**	39	**35.78**
66-70	23	**21.10**	2	**1.83**	25	**22.94**
71-75	22	**20.18**	6	**5.50**	28	**25.69**
76-80	12	**11.01**	1	**0.92**	13	**11.93**
มากกว่า 80	4	**3.67**	0	**0.0**	4	**3.67**
รวม	**90**	**82.57**	**19**	**17.43**	**109**	**100**

นอกจากนั้นเมื่อมีการอธิบายเพิ่มเติมว่าผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกบรรจุกระป๋องนี้มีสาร GABA ซึ่งเป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพพบว่าผู้ทดสอบสนใจที่จะซื้อผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นจาก 82.57% เป็น 95.50% (ดังตารางที่ 4.67 และ4.68) และมีความแตกต่างของความถี่ของผู้บริโภคที่ไม่ซื้อผลิตภัณฑ์ก่อนและหลังรับข้อมูล โดยค่าχ_2 = 12.25 ($p<0.05$) และการให้ข้อมูลเกี่ยวกับประโยชน์ต่อสุขภาพมีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภค ค่า95% CI สำหรับความแตกต่างของสัดส่วนมีค่า

0.0554-0.1966 หมายความว่าหลังผู้บริโภคทราบข้อมูล โอกาสที่ผู้บริโภคจะเปลี่ยนใจซื้อสินค้าเพิ่มขึ้น 5.94 ถึง 19.66%

ตารางที่ 4.68 จำนวนและร้อยละของผู้ตอบแบบสอบถามที่สนใจจะซื้อข้าวกล้องงอกบรรจุกระป๋องเมื่อมีข้อมูลบ่งชี้ว่าข้าวกล้องงอกบรรจุกระป๋องมีสาร GABA

อายุ (ปี)	ถ้าข้าวกล้องงอกบรรจุกระป๋องที่ท่านได้ทดสอบชิม มีข้อมูลบ่งชี้ให้ท่านทราบว่ามีสารกาบา ท่านจะซื้อผลิตภัณฑ์นี้หรือไม่				รวม	
	ซื้อ		ไม่ซื้อ			
	จำนวน	%	จำนวน	%	จำนวน	%
60-65	37	**33.33**	2	**1.80**	39	**35.14**
66-70	24	**21.62**	2	**1.80**	26	**23.42**
71-75	27	**24.32**	1	**0.90**	28	**25.23**
76-80	14	**12.61**	0	**0.0**	14	**12.61**
มากกว่า 80	4	**3.60**	0	**0.0**	4	**3.60**
รวม	**106**	**95.50**	**5**	**4.50**	**111**	**100**

บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ส่วนที่ 1: การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมข้าวกล้อง คุณค่าทางโภชนาการและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของข้าวกล้องงอก

1.1 ข้าวกล้อง 4 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ช่อลุง เล็บนกปัตตานี เหนียวดำเปลือกขาว และเหนียวหลันตัน มีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก โดยมีค่าตั้งแต่ 84.43-88.43 % องค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ ได้แก่ โปรตีน ไขมัน เถ้า และใยอาหาร มีค่าตั้งแต่ 8.98-11.61%, 2.05-3.47%, 0.48-1.44% และ 1.25-5.90% ตามลำดับ และใยอาหารที่เป็นองค์ประกอบหลักในข้าวกล้องทั้ง 4 พันธุ์ คือ ใยอาหารประเภทที่ไม่ละลายน้ำ หลังจากนำข้าวกล้องทั้ง 4 สายพันธุ์มาเพาะให้งอก โดยใช้สภาวะตามที่สรุปไว้ในข้อ 1.2 พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของข้าวกล้องงอกทั้ง 4 พันธุ์ ส่วนใหญ่มีค่าเพิ่มสูงขึ้น ยกเว้นโปรตีนที่มีค่าลดต่ำลง ($p<0.05$) และข้าวกล้องงอกทุกสายพันธุ์มีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก โดยมีค่าตั้งแต่ 86.97-91.18% สำหรับปริมาณเถ้า ไขมัน และโปรตีนของข้าวกล้องงอกทุกสายพันธุ์ มีค่าตั้งแต่ 1.05-1.52%, 2.78-3.88% และ 4.76-7.68% ตามลำดับ

นอกจากนี้สามารถจัดแบ่งกลุ่มของข้าวกล้องทั้ง 4 สายพันธุ์ ตามปริมาณอะไมโลส ได้ดังนี้ ข้าวเหนียวดำเปลือกขาวและเหนียวหลันตันจัดอยู่ในกลุ่มข้าวเหนียว ในขณะที่ข้าวช่อลุงจัดอยู่ในข้าวที่มีอะไมโลสปานกลาง และข้าวเล็บนกปัตตานีจัดอยู่ในข้าวที่มีอะไมโลสสูง (Juliano et al., 1992)

1.2 กระบวนการที่ใช้ในการเพาะตามวิธีที่ศึกษาครั้งนี้ (การเพาะโดยการแช่ในสารละลาย การเพาะในภาชนะเปิด และการเพาะในภาชนะปิด) มีผลช่วยทำให้ปริมาณ GABA ในเมล็ดข้าวเพิ่มสูงขึ้น วิธีการเพาะที่ให้ปริมาณ GABA สูงที่สุดในข้าวกล้องงอกส่วนใหญ่ คือ การแช่ในสาระลาย Citric acid -Na_2HPO_4 buffer ที่ pH 3 รองลงมาคือการเพาะในภาชนะปิด และการเพาะในภาชนะเปิด ตามลำดับ ยกเว้นพันธุ์เหนียวหลันตันที่จะมีปริมาณ GABA สูงที่สุดเมื่อเพาะในภาชนะปิด รองลงมา คือ การเพาะในภาชนะเปิดและการแช่ในสารละลาย ตามลำดับ นอกจากนี้เมื่อใช้ระยะเวลาในการเพาะที่นานขึ้นจะทำให้เมล็ดข้าวกล้องงอกที่ได้มีปริมาณ GABA ที่เพิ่มมากขึ้นในทุกๆวิธีที่ใช้ในการเพาะ แต่อย่างไรก็ตามถึงแม้ที่ระยะเวลาในการเพาะเท่ากับ 72 ชั่วโมง จะทำให้เมล็ดข้าวมีปริมาณ GABA สูงที่สุด แต่ตัวอย่างข้าวกล้องงอกที่เพาะได้มีกลิ่นไม่พึงประสงค์ ซึ่งเกิดจากการหมักของเชื้อจุลินทรีย์ และมีการปนเปื้อนของเชื้อรา ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเพาะข้าวกล้องทั้ง 4 สายพันธุ์ สามารถสรุปได้ดังนี้

- ข้าวพันธุ์ช่อลุง เล็บนกปัตตานี และเหนียวดำเปลือกขาว เพาะโดยการแช่ในสารละลาย Citric acid -Na_2HPO_4 buffer ที่ pH 3 โดยใช้อัตราส่วนข้าว: น้ำ เท่ากับ 1:2 และแช่ที่อุณหภูมิ 40 ^{o}C นาน 48 ชั่วโมง
- ข้าวเหนียวหลันตัน เพาะให้งอกในภาชนะปิด (โดยแช่ในสารละลาย Citric acid -Na_2HPO_4 buffer ที่ pH 3 โดยใช้อัตราส่วนข้าว: น้ำ เท่ากับ 1:2 นาน 5 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำมาเพาะต่อในกล่องพลาสติกที่มีฝาปิด ที่อุณหภูมิห้อง (30±2^{o}C) นาน 48 ชั่วโมง)

1.3 กระบวนการงอกมีผลต่อปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในเมล็ดข้าว โดยพบว่าหลังจากนำข้าวกล้องทั้ง 4 พันธุ์ มาเพาะให้งอกตามสภาวะที่กล่าวไว้ในข้อ 2 ตัวอย่างข้าวกล้องงอกที่ได้จะมีปริมาณของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพเพิ่มสูงขึ้น ($p<0.05$) ซึ่งสารดังกล่าวได้แก่ Total phenolic, Ferulic acid, Tocolpherol และ GABA ในขณะที่ phytate มีปริมาณลดลง ($p<0.05$) และสำหรับ γ-Oryzanol ตัวอย่างข้าวกล้องงอกส่วนใหญ่มีค่าไม่ต่างข้าวกล้องก่อนเพาะ ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นมากที่สุดหลังจากการเพาะ คือ สาร GABA ข้าวพันธุ์เหนียวหลันตันมีปริมาณ GABA เพิ่มขึ้นสูงที่สุด รองลงมา คือ ข้าวพันธุ์ช่อลุง เหนียวดำเปลือกขาว และเล็บนกปัตตานี ตามลำดับ นอกจากนี้เมื่อนำข้าวกล้องงอกทั้ง 4 สายพันธุ์มาแยกแบ่งเป็นส่วนต่างๆ 3 ส่วน คือ รำข้าว จมูกข้าว และเนื้อด้านในของเมล็ดข้าว (ไม่มีส่วนของรำและจมูกข้าว) พบว่าในแต่ละส่วนของเมล็ดข้าวมีปริมาณ GABA ที่แตกต่างกัน ($p<0.05$) จมูกข้าวมีปริมาณ GABA สูงที่สุด โดยมีค่าตั้งแต่ 180.70-429.06 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่าง (นน.แห้ง) รองลงมา คือ รำข้าวและส่วนเนื้อด้านในของเมล็ดข้าว โดยมีค่าตั้งแต่ 47.41-176.61 และ 15.11-24.42 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่าง (นน.แห้ง) ตามลำดับ

1.4 จากการทดสอบกิจกรรมการต้านออกซิเดชั่นของข้าวกล้องงอกทั้ง 4 สายพันธุ์ พบว่าข้าวเหนียวดำเปลือกขาว มีฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชั่นสูงที่สุด รองลงมาคือ ข้าวเหนียวหลันตัน ข้าวช่อลุง และข้าวเล็บนกปัตตานี ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องมาจากข้าวเหนียวดำเปลือกขาวมีปริมาณ Total phenolic สูงที่สุด

1.5 ความสามารถในการยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์แอลฟ่า-อะไมเลสของข้าวกล้องงอกขึ้นกับระยะเวลาการเพาะ พบว่าการเพิ่มเวลาในการเพาะข้าวกล้องพันธุ์เล็บนกปัตตานีให้นานขึ้น ทำให้ศักยภาพการยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์แอลฟ่า-อะไมเลสเพิ่มสูงขึ้น (48>36>24>12> ก่อนเพาะ) และจมูกข้าวเป็นส่วนที่สามารถยับยั้งอะไมเลสได้สูงสุด (98.9% ที่ปริมาณ 200 มก./มล.; IC50 ที่ 34.5 มก./มล.) เมื่อเทียบกับข้าวกล้องและเมล็ดข้าว (ข้าวสาร) ตามลำดับ การเพาะในภาชนะเปิดมีผลทำให้ข้าวกล้องงอกมีศักยภาพในการยับยั้งเอนไซม์แอลฟ่า-อะไมเลสดีกว่าการเพาะแบบแช่ในสารละลายบัฟเฟอร์ (pH 3)

1.6 ข้าวกล้องพันธุ์ช่อลุงและเล็บนกปัตตานีต้องใช้เวลาแช่ในสารละลาย Citric acid -Na_2HPO_4 buffer ที่ pH 3 นาน 24 ชั่วโมง ในขณะที่ข้าวเหนียวดำเปลือกขาวและเหนียวหลันตันต้องใช้เวลาเพาะ 36 ชั่วโมง จึงมีความสามารถสูงสุดในการยับยั้งการกิจกรรมของเอนไซม์แอลฟ่า-อะไมเลส ความแตกต่างนี้อาจ

เนื่องจากข้าวกล้องที่เป็นข้าวเหนียว อาจมีกลไกทางชีวเคมีที่ต่างไปจากข้าวที่เป็นสายพันธุ์ข้าวเจ้า ซึ่งมีปริมาณอะไมโลสและอะไมโลเพคตินที่แตกต่างกันทั้งในเชิงโครงสร้างและปริมาณ

1.7 ชนิดและปริมาณของวิตามินในข้าวกล้อง ข้าวกล้องงอก และผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูป

1.7.1 ชนิดและปริมาณวิตามินเปรียบเทียบระหว่างสายพันธุ์ข้าวกล้อง

พบว่าปริมาณ วิตามินอี ของข้าวกล้องงอกลดลงเมื่อเทียบกับก่อนเพาะ ในข้าวกล้องช่อลุง และข้าวกล้องเหนียวดำเปลือกขาวที่ทำการศึกษา ทั้ง 2 สายพันธุ์ ในการเพาะแบบแช่ 48 ชั่วโมง

1.7.2 ชนิดและปริมาณวิตามินเปรียบเทียบระหว่างเวลาที่เพาะข้าวกล้อง

ระยะเวลาการเพาะแบบแช่ 12, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง มีผลทำให้ปริมาณวิตามินอี ลดลงใน 48 ชั่วโมง เมื่อเทียบกับก่อนเพาะสำหรับข้าวกล้องพันธุ์ช่อลุง โดยมีค่ามิลลิกรัมวิตามินอี /100 กรัม เท่ากับ 0.72, 0.86, 0.70, 0.57, 0.63 ที่ชั่วโมงเพาะ 12, 24, 36 และ 48 ตามลำดับ

1.8 การแยกสารสำคัญที่มีฤทธิ์ต้านการอักเสบจากตัวอย่างข้าวกล้องงอกพันธุ์ช่อลุง จากการทดสอบเบื้องต้นพบว่าสามารถแยกสารสำคัญจากสารสกัดข้าวกล้องงอกได้ 2 ชนิด สารชนิดที่ 1 แทบจะไม่มีสัญญาณโปรตอน และค่า IC_{50} > 100 µg/mL สารชนิดที่ 2 น่าจะเป็น Hydroxy Phenyllactic acid ซึ่งมีค่า IC_{50}= 107.7 µg/mL ซึ่งงานวิจัยนี้ไม่สามารถแยกสารสกัดที่มีฤทธิ์ดีใกล้เคียงกับสารสกัดหยาบได้ อาจเนื่องมาจากสารที่มีฤทธิ์ดีมีปริมาณน้อย จึงไม่สามารถแยกสารสำคัญออกมาได้ หรือ ฤทธิ์ต้านการอักเสบเป็นฤทธิ์ที่เกิดจากการเสริมฤทธิ์ของสารต่างๆในสารสกัดหยาบ อย่างไรก็ตามสามารถใช้ Hydroxy phenyllactic acid เป็น marker ควบคุมคุณภาพถึงแม้มีฤทธิ์ต้านอักเสบไม่ดีมากนัก นอกจากนี้ยังพบว่า Hydroxy phenyllactic acid ยังเป็นองค์ประกอบของ oligopeptides หลายชนิดเช่น aeruginosins ซึ่ง aeruginosins มีฤทธิ์ยับยั้งการเกิด thrombin ป้องกันการเกิด thrombosis หรือการผิดปกติของการแข็งตัวของเลือดได้ (Nie ang Wang, 2008)

1.9 การทดสอบความเป็นพิษแบบเฉียบพลันและพิษแบบเรื้อรังของสารสกัดจากข้าวกล้องงอกพันธุ์ช่อลุง พบว่าหลังจากการทดสอบความเป็นพิษเฉียบพลันเบื้องต้นโดยใช้ขนาดของสารสกัด (Dose) เท่ากับ 2 กรัมต่อน้ำหนัก 1 กิโลกรัมของหนูถีบจักรพบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 7 วัน ไม่พบสิ่งผิดปกติของหนูและไม่ทำให้หนูถีบจักรตาย ดังนั้นสารสกัดจากข้าวกล้องงอกจึงมีความปลอดภัยในสัตว์ทดลอง

สำหรับการทดสอบความเป็นพิษแบบเรื้อรัง พบว่า สารสกัดข้าวกล้องงอกที่เตรียมได้ไม่แสดงความเป็นพิษต่อหนูขาว เมื่อได้รับในขนาดที่สูงถึง 300 mg/kg BW/day ซึ่งคิดเป็น 4 เท่าของปริมาณเฉลี่ยที่คนเราจะได้รับเมื่อบริโภคข้าวงอกทุกวันๆ ละ 3 มื้อ ติดต่อกันนาน 12 สัปดาห์

ส่วนที่ 2: การพัฒนาผลิตภัณฑ์จากข้าวกล้องงอก

2.1 จากการสำรวจความต้องการของผู้บริโภคกลุ่มผู้สูงอายุต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอก พบว่าผู้บริโภคส่วนใหญ่ให้ความสนใจกับผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกกึ่งสำเร็จรูป/ สำเร็จรูป แต่เนื่องจาก

ในตลาด ณ ปัจจุบันยังไม่มีผลิตภัณฑ์ประเภทนี้วางจำหน่าย ดังนั้นการพัฒนาเป็นข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปจึงเป็นทางเลือกที่ดีที่จะช่วยตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค และเป็นการสร้างโอกาสทางการตลาดโดยช่วยเพิ่มความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ในท้องตลาด

2.2 ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วน ข้าว: น้ำ เท่ากับ 1: 1.25 เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับคะแนนจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสสูงที่สุด ในทุกๆปัจจัยที่ทำการทดสอบ

2.3 ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปมีคุณค่าทางโภชนาการ ดังนี้ เถ้า (0.35%) ไขมัน (2.49%) โปรตีน (5.40%) และคาร์โบไฮเดรต (91.77%) และในข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปมีปริมาณ GABA เท่ากับ 1.94 mg/100 g (นน.แห้ง) เมื่อบริโภคข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปวันละ 5 กระป๋อง (น้ำหนักบรรจุ 120 กรัม) จะให้ปริมาณ GABA ในปริมาณที่เพียงพอที่จะส่งผลดีต่อสุขภาพ โดยช่วยลดความดันโลหิต (Inoue et al., 2003) นอกจากนี้ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องยังมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด เท่ากับ 11.06 mg FAE/ 100 g (นน.แห้ง) และมีกิจกรรมการต้านออกซิเดชันที่ทดสอบด้วยวิธี DPPH, ABTS และ FRAP เท่ากับ 10.54, 9.09 และ 7.13 mg FAE/ 100 g (นน.แห้ง) ตามลำดับ และจากการประเมินฤทธิ์ต้านการอักเสบของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป พบว่ามีฤทธิ์ต้านการอักเสบที่ > 100 μg/mL แสดงว่ากระบวนการแปรรูปอาจทำให้ฤทธิ์ลดลงได้ นอกจากนี้แหล่งของข้าวกล้องงอกที่แตกต่างกันอาจจะมีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีและฤทธิ์ทางชีวภาพได้

2.4 วิตามินและเกลือแร่

2.4.1 ชนิดและปริมาณวิตามินของข้าวกล้อง ข้าวกล้องงอก และผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูป

เมื่อทำให้งอกปริมาณวิตามิน อี บี1 บี3 และ บี6 ลดลงมากทุกชนิดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับข้าวดั้งต้นก่อนเพาะ ซึ่งน่าจะมาจากกระบวนการงอกต้องใช้ในการเจริญเติบโตของเซลล์หรือหายไประหว่างกระบวนการเพาะ และประกอบกับวิธีที่ใช้ในการเพาะแบบแช่ในบัฟเฟอร์ และการปรับค่าพีเอชกลับขึ้นไปสู่สภาพเป็นกลางเพื่อลด รสชาติกรดของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกหุงบรรจุกระป๋อง โดย วิตามินบี 3 ลดลง จาก 0.07 เป็น 0.05 มก./ 100 กรัม คิดเป็นร้อยละ 28.6 และวิตามินบี 6 ลดลง จาก 0.07 เป็น 0.05 มก./ 100 กรัม คิดเป็นร้อยละ 81.8 จากก่อนที่ข้าวงอกจะถูกทำเป็นผลิตภัณฑ์ ส่วนปริมาณวิตามิน อี และ บี 1 มีปริมาณลดลงและแต่ไม่แตกต่างกันในทางสถิติ

2.4.2 ชนิดและปริมาณเกลือแร่ของข้าวกล้อง ข้าวกล้องงอก และผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูป

เมื่อเทียบกับข้าวกล้องพบว่าข้าวกล้องงอกมีปริมาณธาตุลดลงมากทุกธาตุตั้งแต่ 21.5- 95.7% เว้นโซเดียมที่เพิ่มขึ้น 78.9% ซึ่งน่าจะมาจากบัฟเฟอร์ที่ใช้เพาะซึ่งมีโซเดียมอยู่ด้วย ส่วนผลิตภัณฑ์ปริมาณธาตุลดลงตั้งแต่ 10.0-95.4% ทั้งนี้อาจเนื่องจากกระบวนการงอกต้องใช้ในการเจริญเติบโตของเซลล์ วิธีการเพาะ การปรับพีเอชเป็นกลาง

เมื่อเทียบระหว่างข้าวกล้องงอกกับผลิตภัณฑ์ พบว่าร้อยละการลดลงไม่สูงเท่าที่ลดลงเมื่อเทียบกับข้าวกล้อง แสดงว่ากระบวนการผลิตมีผลกระทบต่อปริมาณของธาตุน้อยเนื่องจากปริมาณธาตุของข้าวกล้องงอกก่อนและหลังทำผลิตภัณฑ์ไม่ต่างกันทางสถิติ

2.5 ร้อยละการยับยั้งต่อเอนไซม์อะไมเลสจากตับอ่อนของข้าวกล้องงอกและผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปมีค่าลดต่ำลงจากข้าวกล้องอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p< 0.05$) น่าจะเนื่องจากวิธี การเพาะแบบแช่ในบัฟเฟอร์ พีเอช 3 การปรับพีเอชด้วยด่างให้เป็นกลาง และกระบวนผลิตผลิตภัณฑ์

2.6 การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาขึ้น ซึ่งมีผู้ตอบแบบสอบถาม 91.89% มีความสนใจที่จะบริโภคข้าวกล้องงอกเพื่อประโยชน์ต่อสุขภาพ (90.20 % ของผู้ที่สนใจทั้งหมด) และเพื่อรักษาโรค (32.35% ของผู้ที่สนใจทั้งหมด) นอกจากนี้พบว่าในกลุ่มผู้ตอบแบบสอบถามทั้งหมดมีผู้ที่เคยรับประทานข้าวกล้องงอกหรือผลิตภัณฑ์จากข้าวกล้องงอกทั้งหมด 63.06% ซึ่งผลิตภัณฑ์จากข้าวกล้องงอกที่ผู้ตอบแบบสอบถามเคยรับประทานมากที่สุด คือ น้ำข้าวกล้องงอก (77.14%) รองลงมา คือ ข้าวหุงสุก (48.57%) และโจ๊กข้าวกล้องงอก (18.57%) ตามลำดับ

หลังจากให้ผู้ตอบแบบสอบถามทดลองชิมผลิตภัณฑ์พบว่าผู้ตอบแบบสอบถาม 93.69% ให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง โดยให้คะแนนความชอบโดยรวม ในระดับชอบปานกลาง (คะแนนเฉลี่ย เท่ากับ 7.39) นอกจากนั้นถ้ามีผลิตภัณฑ์ชนิดนี้จำหน่ายในท้องตลาด จะมีผู้ที่สนใจซื้อ 82.57% และเมื่อรู้ว่าผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกบรรจุกระป๋องนี้มีสาร GABA ซึ่งเป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพความสนใจซื้อจะเพิ่มขึ้น จาก 82.57% เป็น 95.50% โดยการให้ข้อมูลเกี่ยวกับประโยชน์ต่อสุขภาพทำให้มีโอกาสที่ผู้บริโภคจะเปลี่ยนใจซื้อสินค้าเพิ่มขึ้น 5.94 ถึง 19.66%

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาในข้าวพื้นเมืองภาคใต้สายพันธุ์อื่นๆเพิ่มเติม เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับข้าวพันธุ์พื้นเมือง ซึ่งข้าวบางสายพันธุ์อาจกำลังจะเริ่มสูญหายไปจากวิถีชีวิตของคนในท้องถิ่น

2. มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้หลากหลายขึ้นเพื่อช่วยตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคได้ครบทุกเพศทุกวัย

3. การวิจัยที่ต้องใช้วัตถุดิบทางการเกษตรเป็นวัตถุดิบหลักในการวิจัย มักมีหลายๆปัจจัยที่นักวิจัยไม่สามารถควบคุมได้ ซึ่งหนึ่งในปัจจัยเหล่านั้นคือสภาพลมฟ้าอากาศและภัยทางธรรมชาติต่างๆ ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ก็ได้รับผลกระทบจากปัจจัยเหล่านั้นทำให้ต้องมีการเปลี่ยนแหล่งของวัตถุดิบที่จะนำมาใช้ในส่วนของการพัฒนาผลิตภัณฑ์ เนื่องจากในขั้นตอนดังกล่าวจำเป็นต้องใช้ตัวอย่างข้าวจำนวนมาก ส่งผลให้การดำเนินการวิจัยมีความล่าช้า และส่งผลกระทบต่อค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ต่างๆ ด้วย

เอกสารอ้างอิง

กรมอนามัย. 2530. คุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้องและข้าวขาว. นนทบุรี: กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข.

กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปียะจอมขวัญ. 2543. เทคโนโลยีแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ขวัญหทัย แช่ทอง. 2549. ผลของการใช้ความร้อนและความดันสูงต่อคุณลักษณะทางเคมีกายภาพและกลิ่นรสของข้าวขาวดอกมะลิ 105 (*Oryza sativa, L.)* สุก และผลการเก็บรักษาข้าวสารต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวสุก. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข. 2536. คุณภาพเมล็ดทางกายภาพและการแปรสภาพเมล็ด, เอกสารประกอบการบรรยายฝึกอบรมหลักสูตรวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว ณ ศูนย์วิจัยข้าวพัทลุง. หน้า 1- 53.

งามชื่น คงเสรี. 2539ก. คุณภาพข้าว: ด้านการบริโภคและหุงต้ม เอกสารการสัมมนาเชิงปฏิบัติการคุณภาพข้าว ณ กองเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ.

จารนัย พาณิชยกุล. 2537. "แป้ง (starch) – การเปลี่ยนแปลงระหว่างการทำให้แป้งสุก" วารสารจาร์พา. ฉบับที่ 11 หน้า 22 – 24.

จารุรัตน์ สันเต วรนุช ศรีเจษฎารักษ์ และรัชฎา ตั้งวงค์ไชย. 2550. ผลของกระบวนการแช่ต่อปริมาณสารแกมมาอะมิโนบิวทิริกแอซิดในข้าวกล้องงอก. วารสาร วิทยาศาสตร์เกษตร 38(5)(พิเศษ): 164-167.

ดวงจันทร์ เฮงสวัสดิ์. 2547. เสริมสุขภาพตามวิถีธรรมชาติด้วยข้าวกล้อง. วารสารอาหาร. 34(2): 102-104.

นันทิยา วรรธนะภูติ. 2542. การขยายพันธุ์พืช. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพมหานคร. 447 หน้า.

บริสุทธิ์ สมฤทธิ์. 2537. ข้าวญี่ปุ่นในประเทศไทย ข่าวสารเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปีที่ 39 ฉบับที่ 4 หน้า 1-5.

ประสิทธิ์ วังภคพัฒนวงศ์. 2553. โภชนาการของข้าวและนวัตกรรมการใช้ประโยชน์. วารสารคลินิกอาหารและโภชนาการ (วคอภ). 4(1): 32-40.

ละม้ายมาศ ยังสุข. 2541. "คุณภาพการหุงต้มและรับประทาน" เทคโนโลยีการผลิตข้าวหอมมะลิคุณภาพดี กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพฯ.

วัฒนา วัชรอาภาไพบูลย์ ณัฏฐา เลาหกุลจิตต์ อรพิน เกิดชูชื่น และ ทรงศิลป์ พจน์ชนะชัย. 2007. ผลของพีเอชอุณหภูมิ และเวลาการแช่ข้าวต่อคุณภาพของข้าวกล้องงอก. วารสารวิทยาศาสตร์ 38(6)(พิเศษ):169-172.

สำเริง แซ่ตัน. 2550. ข้าวพันธุ์พื้นเมืองภาคใต้ เล่ม 1. ศูนย์วิจัยข้าวพัทลุง สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว

สมวงษ์ ตระกูลรุ่ง. 2546. ข้าวโภชนาการเพื่อสุขภาพและการใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ: ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ สำนักงานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.

อรอนงค์ นัยวิกุล. 2547. ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. หน้า 139 - 197.

Abe, Y., Umemura, S., Sugimoto, K., Hirawa, N., Kato, Y., Yokoyama, N., Yokoyama, T., Iwai, J., and Ishi, M. 1995. Effect of green tea rich in gamma-aminobutyric-acid on blood-pressure of Dahl salt-sensitive rats. American Journal of Hypertension. 8(1): 74–79.

Alan, W. B. and Berry, J. S. 1997. The metabolism and functions of γ-aminobutyric acid. Plant Physiology. 115:1-5.

A.OA.C. 2000. Official methods of analysis of the association of official analytical chemist (17^{th} ed). Washington, DC: A.O.A.C.

A.OA.C. 2005. Official methods of analysis of the association of official analytical chemist (17^{th} ed). Washington, DC: A.O.A.C.

Asia BioBusiness. 2006. Potential world markets for innovative rice businesses in Thailand. Final report prepared for the National Innovation Agency, Thailand. Asia BioBusiness Pte Ltd, Singapore

Aslam, J., Mohajir, M. S., Khan S. A. and Khan, A. Q. 2008. HPLC analysis of water-soluble vitamins (B1, B2, B3, B5, B6) in in vitro and ex vitro germinated chickpea (*Cicer arietinum* L.). African J Biotech 7(14):2310-2314.

Azrina, A., Maznah, I. and Azizah, A. H. 2008. Extraction and determination of oryzanol in rice bran of mixed herbarium UKMB; AZ 6807 : MR 185, AZ 6808 : MR 211, AZ6809 : MR 29. ASEAN Food Journal.15 (1): 89-96.

Banchuen, J. 2010. Bio-active compounds in germinated brown rice and its application. PhD Thesis. Prince of Songkha University.

Barry, J. S., Alan, W. B. and Michael, D. M. 1999. Metabolism and function of gamma-aminobutyric acid. Trends Plant Sci. 4: 446-452.

Bello, M., Tolaba, M. P. and Suarez, C. 2004. Factors affecting water uptake of rice grain during soaking. Lebensm Wiss Technol. 37: 811-816.

Benjamasuttikul, S. and Naivikul, O. 2007. Pasting properties change during pre-germination process of Thai rice varieties. In Proceeding of the 4 th International Conference on Starch Technology. Queen Sirikit National Conventional Center, Bangkok. 6-7 November 2007. p 185-192.

Benzie, I. F. F. and Strain, J. J. 1996. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of " antioxidant power" : the FRAP assay. Anal. Biochem. 239: 70-76.

Bernfeld, P. 1955. Amylases, α and β. Methods in Enzymology 1: 149-158.

Beta, T., Nam, S., Dexter, J. E., and Sapirstein, H. D. 2005. Phenolic content and antioxidant activity of pearled wheat fractions. Cereal Chemistry. 82(4): 390–393.

Bewly, J. D. 1997. Seed germination and dormancy. The Plant Cell. 9: 1055-1066.

Binsan, W., S., Visessanguan, W., Roytrakul, S., Tanaka, M. and Kishimura, H. 2008. Antioxidative activity of Mungoong, an extract paste from the cephalothorax of white shrimp (*Litopenaeus vannamei)*. Food Chem. 106: 185-193.

Blake, C. 2007. Analytical procedures for water-soluble vitamins in foods and dietary supplements: a review. Anal Bioanal Chem. 389:63-76.

Boehm, O., Zur, B., Koch, A., Tran, N., Freyenhagen, R., Hartmann, M. and Zacharowski, K. 2007. Erratum: Clinical chemistry reference database for Wistar rats and C57/BL6 mice. Biol. Chem. 388: 1255-1256.

Bourne, M.C. 1982. Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement. Academic Press. New York, N.Y.

Bown, A. W. and Shelp, B. J. 1997. The metabolism and functions of γ-aminobutyric acid. Plant Physiol. 115: 1-5.

Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E. and Berset, C. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. Lebensm. Wiss. Technol. 28: 25-30.

Bruce, R.D. 1985. An up-and down procedure for acute toxicity testing. Fundamental Applied Toxicology 5: 151-157.

Buttery, R. G., Lung, L. C., Juliano, B. O. and Turnbaugh, J. G. 1983. "Cooked rice aroma and 2-acetyl-1-pyrroline". Journal of Agricultural and Food Chemistry. 31: 823-826.

Chansuwan, W. 2005. Study on iron dialyzability and affecting factors in selected varieties of rice in Thailand by using *in-vitro* digestion method. MSc Thesis. Mehidol University.

Charoenthaikij, P., Jangchud, K., Jangchud, A., Piyachomkwan, K., Tungtrakul, P. and Prinyawiwatkul, W. 2009. Germination conditions affect physicochemical properties of germinated brown rice flour. J. Food. Sci. 74: 658-665.

Chebib, M., and Johnston, G. A. R. 1999. The 'ABC' of GABA receptors: A brief review. Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology. 26(11): 937–940.

Chen, M. H. and Bergman, C. J. 2005. A rapid procedure for analyzing rice bran tocopherol, tocotrienol and γ-oryzanol content. J. Food Compos Anal. 18: 319-331.

Cristina Delgado-Andrade, J., A. Rufi, n-Henares and Francisco, J. M. 2006. Study on fluorescence of Maillard reaction compounds in breakfast cereals. Mol. Nutr. Food Res. 50: 799 – 804.

Christensen, H. N., Greene, A. A., Kakuda, D. K. and Macleod, C. L. 1994. Special transport and neurological significance of two amino acids in configuration conventionally designated as D. J. Exp. Biol. 196: 297-305.

Chung, H. J., Ang, S. H., Cho, H. Y. and Lim, S. T. 2009. Effects of steeping and anaerobic treatment on GABA (γ-aminobutyric acid) content in germinated waxy hull-less barley. Lebensm Wiss Technol. 42: 1712-1716.

Cohen, S. A. and Michaud, D. P. 1993. Synthesis of a fluorescent derivatizing reagent, 6-Aminoquinolyl-*N*-hydroxysuccinimidyl carbamate, and its application for the analysis of hydrolysate amino acids via high-performance liquid chromatography. Anal. Biochem. 211: 279-287.

Eiammi, C., P. Tangtrakul, C, Tachpairoj and S. Soponnarit. 2004. Combination Process of Stemming and Drying for Parboiling Aromatic Rice. Thai Society of Agricultural Engineering Journal. 11(1): 24-33.

Franke, A. A., Custer, L. J., Cerna, C. M. and Narala, K. K. 1994. Quantitation of phytoestrogens in legume by HPLC. J. Agri. Food Chem. 42: 1905-1913.

Fougere, F., Le Rudulier, D. and Streeter, J. G.1991. Effects of salt stress on amino acid, organic acid, and carbohydrate composition of roots, bacteroids, and cytosal of alfalfa (*Medicago sativa* L.) Plant Physiol. 93: 1228-1236.

Goffman, F.D., and Bergman, C.J. 2004. Rice kernel phenolic content and its relationship with antiradical efficiency. J Sci Food Agric 84:1235–1240.

Gramito, N., Paolini, M. and Perez, S. 2008. Polyphenol and antioxidant capacity of *Phaseolus vulgaris* stored under extreme conditions and processed. Lebensm. Wiss. Technol. 41: 994-999.

Gunaratne, A. and Hoover, R. 2002. Effect of heat-moisture treatment on the structure and physicochemical properties of tuber and root starches. Carbohydr. Polym. 49: 425-437.

Hagiwara, H., Seki, T. and Ariga, T. 2004. The effect of pre-germinated brown rice intake on blood glucose and PAI-1 levels in streptozotocin-induced diabetic rats. Biosci. Biotechnol. Biochem. 68: 444–447.

Haraldsson, A. K., Rimsten, L., Alminger, M., Andersson, R., Andlid, T. and Aman, P. 2004. Phytate content is reduced and β-glucanase activity suppressed in malted barley steeped with lactic acid at high temperature. J. Sci. Food Agri.84: 653-662.

Hayakawa, K., Kimura, M., and Kamata, K. 2002. Mechanism underlying gammaaminobutyric acid-induced antihypertensive effect in spontaneously hypertensive rats. European Journal of Pharmacology. 438(1–2): 107–113.

Hirunpong, P and Tungjaroenchai, W. Effect of germination on contents of bioactive components in germinated brown rice of three rice cultivars. *34th Congress on Science and Technology of Thailand.* Faculty of Agro-Industry, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang.

Kayahara, H. and Tukahara, K. 2000. " Flavor, health and nutritional quality of pre-germinated brown rice" presented at 2000 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies in Hawaii, December 2000.

Horino, T., Mori, Y. and Saikusa, T. 1994. Distribution of free amino acids in the rice kernel and kernel fractions and effect of water soaking on the distribution. J. Agric Food Chem. 42: 1122-1125.

Hossaina, M. S., Singhb, A. K. and Zamanb, F. 2009. Cooking and eating characteristics of some newly identified inter sub-specific (*indica/japonica*) rice hybrids. ScienceAsia. 35:320-325.

Hossam, S.E., Magdy, A.M., Mona, A.M. and Amera, T.M. 2010. Chemical evaluation of pre-germinated brown rice and whole grain rice bread. EJEAFChe 9(3):958-971.

Huang, J., Mei, L. H. and Wu, H. 2007. Biosynthesis of gamma-aminobutyric acid (GABA) using immobilized whole cells of *Lactobacillus brevis*. World J. Microbiol Biotechnol. 23: 865-871.

Inoue, K., Shirai, T., Ochiai, H., Kasao, M., Hayakawa, K., Kimura, M. and Sansawa, H. 2003. Blood-pressure-lowering effect of a novel fermented milk containing gammaaminobutyric acid (GABA) in mild hypertensives. European Journal of Clinical Nutrition. 57(3): 490–495.

Ismail, A., Marjan, Z. M. and Foong, C. W. 2004. Total antioxidant activity and phenolic content in selected vegetables. Food Chem. 87: 581-586.

Ito, S. and Ishikawa, Y. 2004. Marketing of value-added rice products in Japan. FAO International Rice Year Symposium Rome http://www.hatsuga.com/DOMER/english/en/GBRRB.html

Ito, Y., Mizukuchi, A., Kise, M., Aoto, H., Yamamoto, S., Yoshihara., R. and Yokoyama, J. 2005. Postprandial blood glucose and insulin responses to pre-germinated brown rice in healthy subjects. J. Med. Invest. 52: 159-164.

Jaiboon, P., Prachayawarakorn, S., Devahastin, S. and Soponronnarit, S. 2010. Effects of Gelatinization on Textural Properties of Brown Waxy Rice. Agricultural Sci. J. 41(3/1)(Suppl.): 393-396.

Jiamyangyuen, S. 2006. Final report: The study of antioxidant content in germinated-rice and pigmented-germinated rice. Naresuan University.

Jiranuntakul, W., Puttanlek, C., Rungsardthong, V., Puncha-arnon, S. and Uttapap, D. 2011. Microstructural and physicochemical properties of heat-moisture treated waxy and normal starches. Journal of Food Engineering. 104: 246–258.

Joye, I. J., Lambert, L., Brijs, K. and Delcour, J.A. 2011. In situ production of c-aminobutyric acid in breakfast cereals. Food Chemistry. doi:10.1016/j.foodchem.2011.04.090.

Juliano, B. O. 1971. Simplified assay for milled-rice amylase. Cereal Science. Today. 16 (10) : 334-336.

Juliano, B. O., Perdon, A. A., Perez, C. M. and Cagampang, C. B. 1974. Molecular and gel properties of starch and texture of rice product. Journal of Food Science and Technology. 1:120-126.

Juliano, B. O. 1979. The chemical basis of rice quality. Proceedings of Workshop on Chemical Aspects of Rice Grain Quality, IRRI, Manila, pp 69–90.

Juliano, B. O. and Perez, C. M. 1984. Result of collaborative test on the measurement of grain elongation of milled rice during cooking. J. Cereal Sci. 2: 281-292.

Juliano, B. O. 1985. Rice: Chemical and technology, 2nd ed., Minnesota,American Association of Cereal Chemists, 774 p.

Juliano, B. O. 1992. Structure chemistry and function of the rice grain and its fraction. Cereal Foods World. *37*: 772–774.

Juliano, C., Cossu, M., Alamanni, M. C. and Piu, L. 2005. Antioxidant activity of gamma-oryzanol: mechanism of action and its effect on oxidative stability of pharmaceutical oils. Int. J. Pharm. 299: 146-154.

Jung, G. H., Park, N. Y., Jang, S. M., Lee, J. B. and Jeong, Y. J. 2005. Effects of germination in brown rice by addition chitosan/glutamic acid. Korean J. Food Preserv. 4: 538-543.

Katalinic, V., Milos, M., Kulisic, T., and Jukic, M. 2006. Screening of 70 medicinal plant extracts for antioxidant capacity and total phenols. Food Chemistry. 94: 550–557.

Kayahara, H. and Tsukahara, K. 2000. Flavor Health and Nutritional Quality of Pre-germinated Brown Rice International Chemical Congress of Pacific Basin Societies in Hawaii.

Khampang, E., Kerdchoechuen, O. and Laohaka, N. 2009. Change of chemical composition of rice and cereals during germination. Agricultural Sci. J.(Suppl.) 40: 341-344.

Khatoon, N. and Prakash, J. 2007. Physico-chemical characteristics, cooking quality and sensory attributes of microwave cooked rice varieties. Food Science and Technology Research. 13(1): 35-40.

Kihara, M., Okada, Y., Iimure, T. and Ito, K. 2007. Accumulation and degradation of two functional constituents, GABA and b-glucan, and their varietal differences in germinated barley grains. Breeding Science. 57: 85–89.

Kiing, S. C., Yiu, P. H., Rajan, A. and Wong, S. C. 2009. Effect of germination on γ-oryzanol content of selected Sarawak rice cultivars. Am. J. Applied Sci. 6: 1658-1661.

Kim, Y. J., Suzuki, T., Hagiwara, T., Yamaji, I. and Takai, R. 2001. Enthalpy relaxation and glass to rubber transition of amorphus potato starch formed by ball-milling. Carbohydrate Polymer. 46: 1-6.

Komatsuzaki, N., Shima, J. and Kawamoto, S. 2005. Production of gamma-aminobutyric acid (GABA) by *Lactobacillus paracasei* isolated from traditional fermented foods. J. Food Microbiol.22: 497-504.

Komatsuzaki, N., Tsukahara, K., Toyoshima, H., Suzuki, T., Shimizu, N. and Kimura, T. 2007. Effect of soaking and gaseous treatment on GABA content in germinated brown rice. J. Food Eng. 78: 556-560.

Kono, I and Himeno, K. 2000. Change in gamma-aminobutyric acid content during beni-koji making. Biosci Biotechnol Biochem. 64: 617-619.

Kono, Y., Kojima, A., Nagai, R., Watanabe, M., Kawashima, T., Onizawa, T., Teraoka, T., Koshino, H., Uzawa, J., Suzuki, Y. and Sukurai, A. 2004. Antibacterial diterpenes and their fatty acid conjugate from rice leaves. Phytochem. 65: 1291-1298.

Hossaina, M. S., Singhb, A. K., and Zamanb, F. 2009. Cooking and eating characteristics of some newly identified inter sub-specific (*indica/japonica*) rice hybrids. Science Asia. 35:320-325.

Hossam, S. E., Magdy, A. M., Mona, A. M. and Amera, T. M. 2010. Chemical evaluation of pre-germinated brown rice and whole grain rice bread. EJEAFChe 9(3):958-971.

Iturriaga, L., Lopez, B. and Anon, M. 2004. Thermal and physicochemical characterization of seven argentine rice flours and starches. Food Res. Inter. 37: 439-447.

Lee, Y. R., Kim, J. Y., Woo, K. S., Hwang. I. G., Kim, K. H., Kim, K. J., Kim, J. H. and Jeong, H. S. 2007. Changes in the chemical and functional components of Korean rough rice before and after germination. Food Sci. Biotechnol. 16: 1006-1010.

Liang, J., Han, B. Z., Nout, M. J. R. and Hamer, R. J. 2009. Effect of soaking, germination and fermentation on phytic acid, total and in vitro soluble zinc in brown rice. Food Chem. 110: 821-828.

Liang, J., Han, B. Z., Nout, M. J. R. and Hamer, R. J. 2009. Effect of soaking and phytase treatment on phytic acid, calcium, iron and zinc in rice fractions. Food Chem. 115: 789-794.

Liu, L. L., Zhai, H. Q. and Wan, J. M. 2005. Accumulation of c-aminobutyric acid in giant-embryo rice grain in relation to glutamate decarboxylase activity and its gene expression during water soaking. Cereal Chemistry. 82: 191–196.

Liu, Q. and Yao, H. 2007. Antioxidant activity of barley seeds extracts. Food Chemistry. 102: 732–737.

Lloyd, B. J., Siebenmorgen, T. J. and Beers, K. W. 2000. Effects of commercial processing on antioxidants in rice bran. Cereal Chem. 77: 551-555.

Lowry, O. H., Rosebrough, N. J., Farr, A. L. and Randall, R. J. (1951). Protein measurement with the Folin phenol reagent. J. Biol. Chem. 193: 265-275.

Macfie, H. J., Bratchell, N., Greenhoff, K. and Vallis, L. V. 1989. Designs to balance the effect of order of presentation and first-order carry-over effects in hall tests. J. Sensory Studies. 4: 129-148.

Maeda, S., Shinmura, H., Nakagawa, K., Asai, T. and Morita, A. 2007. Comparison of the free amino acid content and certain other agronomic traits of germinated and non-germinated brown rice in monocultured and mixed plantings. SABRAO Journal of Breeding and Genetics. 39(2):107-115.

Maillard, M. N., Soum, M. H., Boivin, P., and Berset, C. 1996. Antioxidant activity of barley and malt: Relationship with phenolic content. Lebensmittel Wissenschaft and Technologie. 29: 238–244.

Maisuthisakula, P., Pasukb, S., and Ritthiruangde, P. 2008. Relationship between antioxidant properties and chemical composition of some Thai plants. Journal of Food Composition and Analysis. 21: 229–240.

Manuswarakul, N., Krisnangura, K. and Jeyashoke, N. 2003. Oryzanol and vitamin E content in Thai rice varieties. In Proceeding of 29th Congress on Science & Technology of Thailand. Khon Kaen.m20-22 October, 2003.

Manna, K. M., Naing, K. M. and Pe, H. 1995. Amylase activity of some roots and sprouted cereals and beans. Food and Nutrition Bulletin. 16: 1-4.

Miller, A. and Engel, K. H. 2006. Content of γ-oryzanol and composition of steryl ferulate in brown rice (*Oryza sativa*) of European origin. J. Agric. Food Chem. 54: 8127-8133.

Miura, D., Ito, Y. and Mizukuchi, A. 2006. Hypercholesterolemic action of pre-germinated brown rice in hepatoma-bearing. Life Sci. 79: 259-264.

Miwako, K., Miyuki, S., Akira, Y. and Koji, Y. 1999. Manufacture of processed brown rice enriched with GABA accumulation using high pressure treatment. Part I. Accumulation of GABA in brown rice by high pressure treatment. J. Jpn Soc Food Sci. 46: 323-328.

Mohan, B.H., Malleshi, N.G. and Koseki, T. 2010. Physico-chemical characteristics and non-starch polysaccharide contents of Indica and Japonica brown rice and their malts. LWT - Food Science and Technology. 43: 784–791.

Morales-de la Pena, M., Salvia-Trujillo, L., Rojas-Grau, M. A. and Martin-Belloso, O. 2011. Changes on phenolic and carotenoid composition of high intensity pulsed electric field and thermally treated fruit juice−soymilk beverages during refrigerated storage. Food Chemistry. 129: 982-990.

Moong-ngarm, A. 2005. Phytate and its degradation products from germinated rice as antioxidant and anticancer agents. Mahasarakham University.

Moongngarm, A., and Saetung, N. 2010. Comparison of chemical compositions and bioactive compounds of germinated rough rice and brown rice Food Chemistry. 122: 782–788.

Nickavar, B., Abolhasani, L. and Izadpanah, H. 2008. α-Amylase inhibitory activities of six *Salvia* species. Iranian Journal of Pharmaceutical Research. 4:297-303.

Nie, X., Wang, G. 2008. Total synthesis of aeruginosin 298-A analogs containing ring oxygenated variants of 2-carboxy-6-hydroxyoctahydroindole, Tetrahedron, 64: 5784-5793.

Oatway, L., Vasanthan, T. and Helm, J. H. 2001. Phytic acid. Food Reviews International. 17: 419-431.

Oh, C. H. and Oh, S. H. 2004. Effects of germinated brown rice extracts with enhanced levels of GABA on cancer cell proliferation and apoptosis. J. Med Food. 1: 19-23.

Ohtsubo, K., Suzuki, K., Yasui, Y. and Kasumi, T. 2005. Bio-functional components in the processed pre-germinated brown rice by a twin-screw extruder. J. Food Compos Anal. 18: 303-316.

Okada, C., Sugiashita, T., Murakami, T., Murai, H., Saikusa, T., Horino, T., Onodera, A., Kazimoto, T., Takahashi, H. and Takahashi, T. 2000. Effect on improvement of the symptoms of mental disorder, at menopause or at middle age, through the diet including defatted rice germ rich in GABA. Journal of the Japanese Food Science and Technology. 47: 596–603.

Ong, M.H. and Blanshard, J.M.V. 1995. Texture determinants of cooked, parboiled rice. II. Physicochemical properties and leaching behaviour of rice. J. Cereal Sci. 21:261–269.

Orozco, R. F., Piskula, M. K., Zielinski, H., Kozlowska, H., Frias, J. and Valverde, C. V. 2006. Germination as a process to improve the antioxidant capacity of *Lupinus angustifolus* L. var. Zapaton. European Food Research and Technology. 223: 495-502.

Park, K. B. and Oh, S. H. 2007. Production of yogurt with enhanced levels of gamma-aminobutyric acid and valuable nutrients using lactic acid bacteria and germinated soybean extract. Bioresour Technol. 98: 1675-1679.

Prakash, M., Ravi, R., Sathish, H. S., Shyamala, J. C., Shwetha, M. A. and Rangarao, G. C. P. 2005. Sensory and instrumental texture measurement of thermally processed rice. J.sensory studied. 20: 410-420.

Prasert , W. and Suwannaporn, P. 2009. Optimization of instant jasmine rice process and its physicochemical properties. Journal of Food Engineering. 95: 54–61.

Ravindean, V., Ravindran, G. and Sivalogan, S. 1994. Total phytate phosphorus contents of various foods and feedstuffs of plant origin. Food Chem. 50: 133-136.

Rice-Evans, C.A., Miller, N.J. and Paganga, G. 1997. Antioxidant properties of phenolic compounds. Trends in Plant Science. 2: 152–159.

Richard, A. G., Atticus, H. H. and David, M. J. 2000. GABA potentiation a logical pharmacological approach for the treatment of acute ischaemic stroke. Neuropharmacology. 39: 1483-1494.

Rimsten, L. 2003. Extractable cell-wall polysaccharides in cereals, with emphasis on β-glucan in steeped and germinated barley. PhD Dissertation. Swedish University of Agricultural Science.

Saikusa, T., Horino, T. and Mori, Y. 1994. Accumulation of γ-amino-n-butyric acid (GABA) in the rice germ during water soaking. Biosci. Biotech. Biochem. 58: 2291-2292.

Sanders, J. P. M. 1996. Starch manufacturing in the world. In Advanced Post Academic Course on Tapioca Starch Technology. AIT Center. Bangkok.

Sawaddiiwong, S., Jongjareonrak, A. and Benjakul, S. 2008. Phenolic content and antioxidant activity of germinated brown rice as affected by germination temperature and extraction solvent. In Proceeding of 34 th Congress on Science and Technology of Thailand of Thailand. Bangkok. 31 October-2 November. 2008.

Shelp, B. J., Bown, A. W. and Malean, M. D. 1999. Metabolism and functions of gamma-aminobutyric acid. Trends Plant Sci. 4: 446-452.

Singha, N., Kaura, L., Sandhua, K.S., Kaura, J. and Nishinari, K. 2006. Relationships between physicochemical, morphological, thermal, rheological properties of rice starches. Food Hydrocolloids. 20: 532–542.

Sirisoontaralak, P. and Noomhorm, A. 2007. Change in physicochemical and sensory-properties of irradiated rice during storage. Journal of Stored Products Research. 43: 282-289.

Slinkard, K. and Singleton, V. L. 1977. Total phenol analysis: automation and comparison with manual methods. Am. J. Enol. Viticult. 28: 49-55.

Soponronnarit, S., Chiawwet, M., Prachayawarakorn, S., Tungtrakul, P. and Taechapairoj, C. 2008. Comparative study of physicochemical properties of accelerated and naturally aged rice. Journal of Food Engineering. 85: 268–276.

Su, Y. C., Wang, J. J. and Lin, T. T. 2003. Production of the secondary metabolites gamma-aminobutyric acid and monacolin K by Monascus. J. Ind. Microbiol. Biotechnol. 30: 41-46.

Sumrerath, P., Thanapornpoonpong, S. and Vearasilp, S. 2008. Modifying Cooking Quality of Khao Dawk Mali 105 Rice by Radio Frequency Agricultural Sci. J. 39, 3 (Suppl.): 354-358.

Sungsopha, J, Moongngarm, A. and Kanesaboo, R. 2009. Application of germination and enzymatic treatment to improve the concentration of bioactive compounds and antioxidant activity of rice bran. J. Basic. Appli. Sci. 3: 3653- 3662.

Sunte, J., Srijesdaruk, S. and Tangwongchai, R. 2007. Effect of soaking and germinating process on gamma-aminobutyric acid (GABA) content in germinated brown rice (Hom mali 105). Agricultural Sci. J. (Suppl). 38: 103-106.

Tadashi, O. 2000. Effect of the Defatted Rice Germ Enriched with GABA for Sleeplessness, Depression, Autonomic Disorder by Oral Administration. Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology. 47(8): 596-603.

Tewtrakul, S., Wattanapiromsakul, C. and Mahabusarakam, W., 2009. Effects of compounds from *Garcinia mangostana* on inflammatory mediators in RAW264.7 macrophage cells. Journal of Ethnopharmacology. 121: 379-382.

Tsukahara, K. 2004. What is Germinated brown rice (GBR). Retrieved on June 18, 2007 from :http://hatsuga.com/Domer/English/en/main.html.

Tian, S., Nakamura, K. and Kayahara, H. 2004. Analysis of phenolic compounds in white rice, brown rice and germinated brown rice. J. Agric. Food Chem. 52 : 4808-4813.

Toshio, N., Tsuneo, M., Kazuko, K., Takashi, H., Yotaro, A. and Masashi, O. 2004. γ-Aminobutyric acid (GABA) –rich Chlorella depresses the elevation of blood pressure in spontaneously hypertensive rats (SHR). Nippon Nogeikagaku Kaishi. 74: 907-909.

Udomrati, S., Poolkasorn, K., Potisate, S. and Charoenrein, S. 2003. Effects of Water Content on Gelatinization of Various Rice Flours. Proceedings of 41th Kasetsart University Annual Conference: Agro-Industry. Thailand.

Vadivel, V., Stuetz, W., Scherbaum, V. and Biesalski, H. K. 2011. Total free phenolic content and health relevant functionality of Indian wild legume grains: Effect of indigenous processing methods. J. Food Compos. Anal. doi:10.1016/j.jfca.2011.04.001.

Varanyanond, W., Tungtrakul, P., Surojanametakul, V., Watanasiritham, L. and Luxiang, W. 2005. Effects of water soaking on γ-aminobutyric acid (GABA) in germ of different Thai rice varieties. Kasetsart J. (Nat. Sci.) 39: 411-415.

Veluppillai, S., Nithyanantharajah, K., and Vasantharuba, S., Balakumar, S. and Arasaratnam, V. 2009. Biochemical Changes Associated with Germinating Rice Grains and Germination Improvement. Rice Science. 16(3): 240–242.

Watchraparpaiboon, W., Laohakunjit, N., Kerdchoechuen, O. and Photchanachai, S. 2007. Effects of pH, temperature and soaking time on qualities of germinated brown rice. Agricultural Sci. J. (Suppl). 38: 169-172.

Wijngaard, H. H., Ulmer, H. M., Neumann, M. and Arendt, E. K. 2005. The effect of steeping time on the final malt quality of buckwheat. J. Inst. Brew. 111: 275-281.

Xu, B. and Chang, K.C. 2008. Effect of soaking, boiling and steaming on total phenolic content and antioxidant activities of cool season food legumes. Food Chem. 110:1-13.

Yang, Y. and Tao, W.-Y. 2008. Effect of lactic acid fermentation on FT-IR and pasting properties of rice flour. Food Research International. 41: 937-940.

Zajacz, A., Gyemant, G., Vittori, N. and Kandra, L. 2007. Aleppo tannin: structural analysis and salivary amylase inhibition. Carbohydrate Research. 342:717-723.

Zhang, L., Hu, P., Tang, S., Zhao, H. and Wu, D. 2005. Comparative studies on major nutritional components of rice with a giant embryo and a normal embryo. J. Food Biochem. 29: 653-661.

Zhou, Z., Robards, K., Helliwella, S. and Blanchard C. 2003. Effect of rice storage on pasting properties of rice flour. Food Research International. 36 : 625-634.

ภาคผนวก ก

การเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ

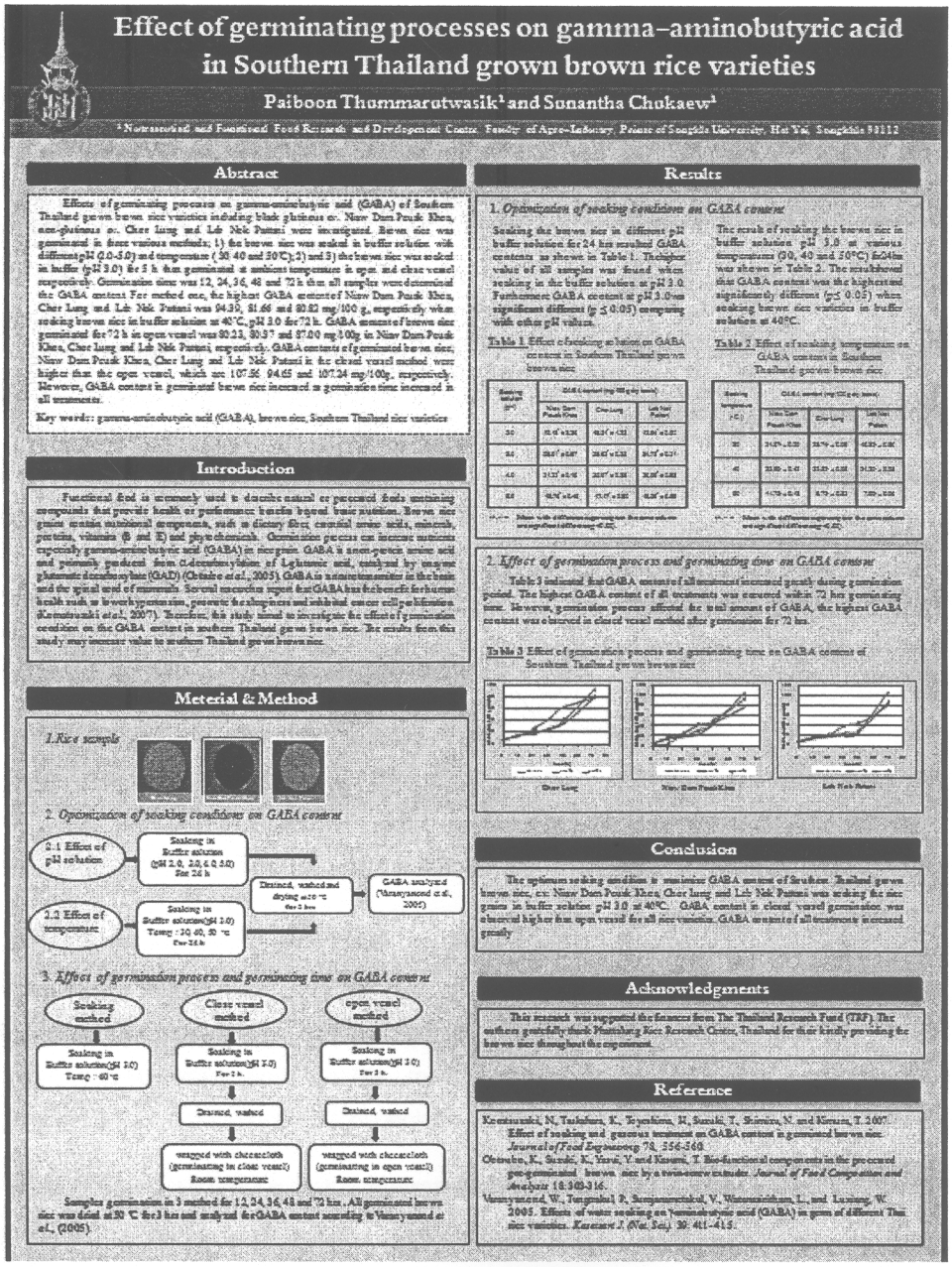
1. ผลของกระบวนการงอกต่อปริมาณสารแกมมาอะมิโนบิวเทอริกเอซิดในข้าวกล้องพันธุ์ภาคใต้

(Effect of germinating processes on gamma-aminobutyric acid of Southern Thailand grown brown rice varieties) โดย ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก[1] และ สุนันทา ชูแก้ว[1]

[1]สถานวิจัยผลิตภัณฑ์เสริมอาหารและอาหารเพื่อสุขภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ในการประชุมวิชาการพืชสวนแห่งชาติ ครั้งที่ 8 ภายใต้หัวข้อ "พืชสวนไทยบนเส้นทางสู่ความยั่งยืน" ในวาระพิเศษร่วมฉลองในโอกาสที่มหาวิทยาลัยแม่โจ้ครบรอบ 75 ปี ณ ศูนย์การประชุมนานาชาติ โรงแรมดิเอ็มเพรส จังหวัดเชียงใหม่ วันที่ 6-9 พฤษภาคม 2552

(ตามรายละเอียดในเอกสารแนบ)



Effect of germinating processes on gamma–aminobutyric acid in Southern Thailand grown brown rice varieties

Paiboon Thummarutwasik[1] and Sunantha Chukaew[1]

[1] Nutraceutical and Functional Food Research and Development Center, Faculty of Agro-Industry, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla 90112

Abstract

Effects of germinating process on gamma-aminobutyric acid (GABA) of Southern Thailand grown brown rice varieties including black glutinous cv. Nuw Dum Pouk Khra, non-glutinous cv. Chor Lung and Leb Nok Pattani were investigated. Brown rice was germinated in three various methods; 1) the brown rice was soaked in buffer solution with different pH (2.0-5.0) and temperature (30, 40 and 50°C); 2) and 3) the brown rice was soaked in buffer (pH 3.0) for 5 h then germinated at ambient temperature in open and close vessel respectively. Germination time was 12, 24, 36, 48 and 72 h then all samples were determined the GABA content. For method one, the highest GABA content of Nuw Dum Pouk Khra, Chor Lung and Leb Nok Pattani was 94.39, 81.66 and 80.82 mg/100 g., respectively when soaking brown rice in buffer solution at 40°C, pH 3.0 for 72 h. GABA content of brown rice germinated for 72 h in open vessel was 80.23, 80.57 and 87.00 mg/100g in Nuw Dum Pouk Khra, Chor Lung and Leb Nok Pattani, respectively. GABA contents of germinated brown rice, Nuw Dum Pouk Khra, Chor Lung and Leb Nok Pattani in the closed vessel method were higher than the open vessel, which are 107.56, 94.65 and 107.24 mg/100g., respectively. However, GABA content in germinated brown rice increased as germination time increased in all treatments.

Key words: gamma-aminobutyric acid (GABA), brown rice, Southern Thailand rice varieties

Introduction

Functional food is commonly used to describe natural or processed foods containing compounds that provide health or performance benefits beyond basic nutrition. Brown rice grains contain nutritional components, such as dietary fiber, essential amino acids, minerals, proteins, vitamins (B and E) and phytochemicals. Germination process can increase nutrients especially gamma-aminobutyric acid (GABA) in rice grain. GABA is a non-protein amino acid and primarily produced from α-decarboxylation of L-glutamic acid, catalyzed by enzyme glutamate decarboxylase (GAD) (Oetsbe et al., 2005). GABA is a major neurotransmitter in the brain and the spinal cord of mammals. Several researches report that GABA has beneficial for human health such as lowers hypertension, prevents the progression and inhibits cancer cell proliferation (Komatsuzaki et al., 2007). Therefore, this study aimed to investigate the effect of germination condition on the GABA content in southern Thailand grown brown rice. The results from this study may increase value to southern Thailand grown brown rice.

Meterial & Method

1. Rice sample

2. Optimization of soaking conditions on GABA content

2.1 Effect of pH solution: Soaking in Buffer solution (pH 2.0, 3.0, 4.0, 5.0) For 24 h → Drained, washed and drying at 50 °C for 2 hrs → GABA analyzed (Veerayuenod et al., 2005)

2.2 Effect of temperature: Soaking in Buffer solution(pH 3.0) Temp : 30, 40, 50 °C For 24 h

3. Effect of germination process and germinating time on GABA content

Soaking method: Soaking in Buffer solution(pH 3.0) Temp : 40 °C → Drained, washed → wrapped with cheesecloth (germinating in close vessel) Room temperature

Close vessel method: Soaking in Buffer solution(pH 3.0) For 5 h. → Drained, washed → wrapped with cheesecloth (germinating in open vessel) Room temperature

open vessel method: Soaking in Buffer solution(pH 3.0) For 5 h. → Drained, washed

Samples germination in 3 method for 12, 24, 36, 48 and 72 hrs. All germinated brown rice was dried at 50 °C for 3 hrs and analyzed for GABA content according to Veerayuenod et al., (2005).

Results

1. Optimization of soaking conditions on GABA content

Soaking the brown rice in different pH buffer solution for 24 hrs resulted GABA contents as shown in Table 1. The higher value of all samples was found when soaking in the buffer solution at pH 3.0. Furthermore GABA content at pH 3.0 was significant different ($p \leq 0.05$) comparing with other pH values.

Table 1 Effect of soaking solution on GABA content in Southern Thailand grown brown rice

Soaking solution (pH)	GABA content (mg/100 g dry basis)		
	Nuw Dum Pouk Khra	Chor Lung	Leb Nok Pattani
2.0	42.41 ± 0.32	43.24 ± 0.32	42.66 ± 0.27
3.0	94.39 ± 0.27	81.66 ± 0.32	80.82 ± 0.31
4.0	51.27 ± 0.45	50.97 ± 0.32	50.66 ± 0.32
5.0	46.76 ± 0.42	45.67 ± 0.32	45.56 ± 0.32

Means with a different superscript letter within the same column are significantly different ($p \leq 0.05$).

The result of soaking the brown rice in buffer solution pH 3.0 at various temperatures (30, 40 and 50°C) for 24 hrs was shown in Table 2. The result showed that GABA content was the highest and significantly different ($p \leq 0.05$) when soaking brown rice varieties in buffer solution at 40°C.

Table 2 Effect of soaking temperature on GABA content in Southern Thailand grown brown rice

Soaking temperature (°C)	GABA content (mg/100 g dry basis)		
	Nuw Dum Pouk Khra	Chor Lung	Leb Nok Pattani
30	74.29 ± 0.20	73.79 ± 0.32	73.29 ± 0.32
40	94.39 ± 0.27	81.66 ± 0.32	80.82 ± 0.31
50	74.79 ± 0.45	73.79 ± 0.32	73.29 ± 0.32

Means with a different superscript letter within the same column are significantly different ($p \leq 0.05$).

2. Effect of germination process and germinating time on GABA content

Table 3 indicated that GABA content of all treatment increased greatly during germination period. The highest GABA content of all treatments was occurred within 72 hrs germinating time. However, germination process affected the total amount of GABA, the highest GABA content was observed in closed vessel method after germination for 72 hrs.

Table 3 Effect of germination process and germinating time on GABA content of Southern Thailand grown brown rice

Conclusion

The optimum soaking condition to maximize GABA content of Southern Thailand grown brown rice, cv. Nuw Dum Pouk Khra, Chor Lung and Leb Nok Pattani was soaking the rice grains in buffer solution pH 3.0 at 40°C. GABA content in closed vessel germination was observed higher than open vessel for all rice varieties. GABA contents of all treatments increased greatly.

Acknowledgements

This research was supported the finances from The Thailand Research Fund (TRF). The authors gratefully thank Phatthalung Rice Research Center, Thailand for their kindly providing the brown rice throughout the experiment.

Reference

Komatsuzaki, N., Tsukahara, K., Toyoshima, H., Suzuki, T., Shimizu, N. and Kimura, T. 2007. Effect of soaking and gaseous treatment on GABA content in germinated brown rice. *Journal of Food Engineering* 78, 556-560.

Oetsbe, K., Suzuki, K., Yasui, Y. and Kasumi, T. Bio-functional components in the processed pre-germinated brown rice by a twin-screw extruder. *Journal of Food Composition and Analysis* 18:303-316.

Veerayuenod, W., Tungtrakul, P., Sompornrattanakul, V., Wuttisornthuan, L., and Luxsing, W. 2005. Effects of water soaking on γ-aminobutyric acid (GABA) in germ of different Thai rice varieties. *Kasetsart J. (Nat. Sci.)* 39: 401-415.

ผลของกระบวนการงอกต่อปริมาณสารแกมมาอะมิโนบิวเทอริกเอซิดในข้าวกล้องพันธุ์ภาคใต้

Effect of germinating processes on gamma-aminobutyric acid of Southern Thailand grown brown rice varieties

ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก[1]* และ สุนันทา ชูแก้ว[1]*

Paiboon Thummarutwasik[1] and Sunantha Chukaew[1]

Abstract

Effects of germinating processes on gamma-aminobutyric acid (GABA) of Southern Thailand grown brown rice varieties including black glutinous cv. Niaw Dam Peuak Khoa, non-glutinous cv. Chor Lung and Leb Nok Pattani were investigated. Brown rice was germinated in three various methods; 1) the brown rice was soaked in buffer solution with different pH (2.0-5.0) and temperature (30, 40 and 50°C); 2) and 3) the brown rice was soaked in buffer (pH 3.0) for 5 h then germinated at ambient temperature in open and close vessel respectively. Germination time was 12, 24, 36, 48 and 72 h then all samples were determined the GABA content. For method one, the highest GABA content of Niaw Dam Peuak Khoa, Chor Lung and Leb Nok Pattani was 94.39, 81.66 and 80.82 mg/100 g, respectively when soaking brown rice in buffer solution at 40°C, pH 3.0 for 72 h. GABA content of brown rice germinated for 72 h in open vessel was 80.23, 80.37 and 87.00 mg/100g in Niaw Dam Peuak Khoa, Chor Lung and Leb Nok Pattani, respectively. GABA contents of germinated brown rice; Niaw Dam Peuak Khoa, Chor Lung and Leb Nok Pattani in the closed vessel method were higher than the open vessel, which are 107.56, 94.65 and 107.24 mg/100g, respectively. However, GABA content in germinated brown rice increased as germination time increased in all treatments.

Key words: gamma-aminobutyric acid (GABA), brown rice, Southern Thailand rice varieties

บทคัดย่อ

ผลของกระบวนการงอกต่อปริมาณแกมมา-อะมิโนบิวเทอริกเอซิด (GABA) ในข้าวกล้องพันธุ์ภาคใต้ 3 พันธุ์ คือ ข้าวเหนียวดำเปลือกขาว และข้าวเจ้า พันธุ์ช่อลุง และเล็บนกปัตตานี โดยใช้วิธีการทำให้งอกที่แตกต่างกัน 3 วิธี คือ 1) แช่ในสารละลายบัฟเฟอร์ที่ความเป็นกรด-ด่างต่างๆ (2.0-5.0) แช่ที่อุณหภูมิ 30, 40, 50 องศาเซลเซียส วิธีที่ 2) และ 3) แช่ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 3.0 เป็นเวลา 5 ชั่วโมง จากนั้นเพาะที่อุณหภูมิห้อง (30°C± 2) ในภาชนะเปิด(2) และในภาชนะปิด(3) ตามลำดับ ทุกชุดการทดลองมีระยะเวลาในการงอก 12, 24, 36, 48 และ 72 ชั่วโมง ผลการทดลองพบว่าการแช่ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 3.0 อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เวลา 72 ชั่วโมง ให้ปริมาณ GABA สูงสุด ในข้าวเหนียวดำเปลือกขาว ช่อลุง และเล็บนกปัตตานี มีค่าเท่ากับ 94.39, 81.66 และ 80.82 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่างตามลำดับ สำหรับการเพาะที่อุณหภูมิห้องในภาชนะเปิด พบว่าระยะเวลาการเพาะ 72 ชั่วโมงให้ปริมาณ GABA สูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 80.23, 80.37 และ 87.00 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง ในข้าวเหนียวดำเปลือกขาว ช่อลุง และเล็บนกปัตตานี ตามลำดับ ปริมาณ GABA ของเหนียวดำเปลือกขาว ช่อลุง และเล็บนกปัตตานี เพาะที่อุณหภูมิห้องในภาชนะปิด มีค่าสูงกว่าตัวอย่างที่เพาะในภาชนะเปิด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 107.56, 94.65 และ 107.24 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง ตามลำดับ ปริมาณ GABA ในข้าวกล้องงอกมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการทำให้งอกที่นานขึ้นในทุกชุดการทดลอง

คำสำคัญ: แกมมา-อะมิโนบิวเทอริกเอซิด, ข้าวกล้อง, ข้าวพันธุ์ภาคใต้

Introduction

Functional food is commonly used to describe natural or processed foods containing compounds that provide health or performance benefits beyond basic nutrition. Brown rice grains contain nutritional components, such as dietary fiber, essential amino acids, minerals, proteins, vitamins (B and E) and phytochemicals. Germination process can increase nutrients especially gamma-aminobutyric acid (GABA) in rice grain. GABA is a

[1] ศูนย์วิจัยผลิตภัณฑ์เสริมอาหารและอาหารเพื่อสุขภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่ สงขลา 90112

* paiboon.th@gmail.com, sununta199@hotmail.com

[1] Nutraceutical and Functional Food Research and Development Center, Faculty of Agro-Industry, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla 90112

non-protein amino acid and primarily produced from α-decarboxylation of L-glutamic acid, catalyzed by enzyme glutamate decarboxylate (GAD) (Obtsubo *et al.*, 2005). GABA is a neurotransmitter in the brain and the spinal cord of mammals. Several researches report that GABA has the benefit for human health such as lower hypertension, promote the sleepiness and inhibited cancer cell proliferation. (Komatsuzaki *et al.*, 2007). Therefore, this study aimed to investigate the effect of germination condition on the GABA content in southern Thailand grown brown rice. The results from this study may increase value to southern Thailand grown brown rice.

Materials and methods

1. Rice sample

Three varieties of Southern Thailand grown brown rice, c.v. Niaw Dam Peuak Khoa, Chor Lung and Leb Nok Pattani, was provide by Rice Research Center, Phattalung, Thailand. The brown rice grains in this research were harvested in 2008. After harvesting, the paddies were milled, sealed in plastic bag under vacuum condition and kept in the refrigerator (temperature 4-8 °C) throughout the study.

2. Optimization of soaking conditions on GABA content

2.1 Effect of soaking solution on GABA content

To determine effect of soaking solution, all brown rice varieties were soaked in buffer solutions at various pH (pH 2.0, 3.0, 4.0 and 5.0), using grain-to-solution ratio of 1:2 w/v, for 24 hrs at room temperature. After soaking, the buffer solutions were drained and the rice grains were washed with distilled water before drying at 50 °C for 3 hrs. GABA content was analyzed according to Varanyanond *et al.*, (2005). The buffer solution which gave the highest amount of GABA was selected for study in the next part.

2.2 Effect of soaking temperature on GABA content

To determine effect of soaking temperature, the brown rice was steeped in the selected buffer solution at various temperatures (30, 40 and 50^{0}C) for 24 hrs. After draining the soaking solutions, the rice grains were washed with distilled water and were dried at 50 °C for 3 hrs. GABA content was analyzed according to Varanyanond *et al.*, (2005). The soaking temperature which gave the highest GABA content was selected for further study.

3. Effect of germination process and germinating time on GABA content

To evaluate germination process and germinating time, the brown rice was germinated in three various methods. First is soaking method (1); the brown rice was soaked in the selected buffer solution at selected temperature from previous study (2.1 and 2.2) for 12, 24, 36 48 and 72 hrs. The other methods were open vessel (2) and close vessel (3); the brown rice was soaked in the selected buffer solution at room temperature for 5 hrs (equilibrium point of moisture content). After soaking, the buffer solution was drained. The rice grains were washed with distilled water and were wrapped with cheesecloth to maintain moisture level before germinating in open and close vessel for 12, 24, 36, 48 and 72 hrs at room temperature. All germinated brown rice was dried at 50 °C for 3 hrs and analyzed for GABA content according to Varanyanond *et al.*, (2005).

Results and discussion

1. Optimization of soaking conditions on GABA content

1.1 Effect of soaking solution on GABA content

Soaking the brown rice in different pH buffer solution for 24 hrs resulted GABA contents in the different amount as shown in Table 1. The highest value of all samples was found when soaking in the buffer solution at pH 3.0. Furthermore GABA content at pH 3.0 was significant different ($p \leq 0.05$) comparing with other pH values. GABA is synthesized from glutamic acid and catalyzed by enzyme glutamate decarboxylate (GAD). The optimum pH of GAD is about 5.5 (Shelp *et al*, 1999). However, the optimum pH of GAD in rice grain depends

on varieties and cultivating area. This research found that optimal pH buffer solution for Southern Thailand grown brown rice, c.v. Niaw Dam Peuak Khoa, Chor Lung and Leb Nok Pattani, was pH 3.0.

Table 1 Effect of soaking solution on GABA content in Southern Thailand grown brown rice

Soaking solution (pH)	GABA content (mg/100 g dry basis)		
	Niaw Dam Peuak Khoa	Chor Lung	Leb Nok Pattani
2.0	$10.13^{a} \pm 3.26$	$18.51^{a} \pm 1.23$	$12.94^{a} \pm 0.50$
3.0	$28.91^{c} \pm 0.67$	$28.62^{c} \pm 0.25$	$34.72^{d} \pm 0.21$
4.0	$21.22^{b} \pm 0.16$	$25.97^{b} \pm 0.38$	$26.09^{c} \pm 0.88$
5.0	$18.76^{b} \pm 0.40$	$17.17^{a} \pm 0.80$	$18.09^{b} \pm 0.59$

$^{a,b,\cdots}$ = Mean with difference superscripts in the same column are significant difference ($p<0.05$).

Table 2 Effect of soaking temperature on GABA content in Southern Thailand grown brown rice

Soaking temperature (°C)	GABA content (mg/100 g dry basis)		
	Niaw Dam Peuak Khoa	Chor Lung	Leb Nok Pattani
30	$21.57^{b} \pm 0.20$	$23.74^{b} \pm 0.09$	$15.32^{b} \pm 0.59$
40	$23.90^{c} \pm 0.42$	$32.52^{c} \pm 0.05$	$24.20^{c} \pm 0.08$
50	$11.75^{a} \pm 0.13$	$6.72^{a} \pm 0.32$	$7.90^{a} \pm 0.06$

$^{a,b,\cdots}$ = Mean with difference superscripts in the same column are significant difference ($p<0.05$)

1.2 Effect of soaking temperature on GABA content

The result of soaking the brown rice in buffer solution pH 3.0 at various temperatures (30, 40 and 50°C) for 24 hrs was shown in Table 2. The result showed that GABA content was the highest and significantly different ($p \leq 0.05$) when soaking brown rice varieties in buffer solution at 40°C. According to Saikusa *et al.* (1994) reported that highest GABA content was observed after soaking rice germ in distilled water at 40°C. The amounts of GABA in each variety, c.v. Niaw Dam Peuak Khoa, Chor Lung and Leb Nok Pattani, were 23.90, 32.52 and 24.20 mg/100g, respectively.

2. Effect of germination process and germinating time on GABA content

Table 3 Effect of germination process and germinating time on GABA content of Southern Thailand grown brown rice

Type	Time (hrs)	GABA content (mg/100 g dry basis)		
		Soaking	Open vessel	Closed vessel
Niaw Dam Peuak Khoa	12	$5.93^{aA} \pm 0.64$	$17.10^{aB} \pm 0.37$	$18.32^{aC} \pm 0.48$
	24	$26.04^{bC} \pm 0.54$	$20.47^{bA} \pm 0.16$	$21.15^{bB} \pm 0.16$
	36	$44.76^{cC} \pm 0.50$	$24.83^{cA} \pm 0.18$	$32.60^{cB} \pm 0.69$
	48	$52.07^{dC} \pm 0.61$	$47.46^{dB} \pm 0.48$	$45.60^{dA} \pm 0.33$
	72	$94.39^{eB} \pm 0.07$	$80.23^{eA} \pm 0.61$	$107.56^{eC} \pm 0.01$
Chor Lung	12	$14.94^{aA} \pm 0.60$	$16.76^{aB} \pm 0.08$	$17.48^{aB} \pm 0.34$
	24	$27.17^{bC} \pm 0.53$	$18.84^{bA} \pm 0.10$	$20.66^{bB} \pm 0.13$
	36	$44.4^{cC} \pm 0.50$	$27.76^{cA} \pm 0.68$	$28.85^{cB} \pm 0.06$
	48	$65.64^{dC} \pm 0.04$	$35.97^{dA} \pm 0.42$	$42.66^{dB} \pm 0.65$
	72	$81.66^{eB} \pm 0.09$	$80.37^{eA} \pm 0.50$	$94.65^{eC} \pm 0.20$
Leb Nok Pattani	12	$17.09^{aA} \pm 0.74$	$16.75^{aA} \pm 0.36$	$17.76^{aA} \pm 0.43$
	24	$21.15^{bB} \pm 0.01$	$19.24^{bA} \pm 0.28$	$22.40^{bC} \pm 0.46$
	36	$40.52^{cC} \pm 0.27$	$23.27^{cA} \pm 0.04$	$25.79^{cB} \pm 0.13$
	48	$46.63^{dC} \pm 0.58$	$29.22^{dA} \pm 0.55$	$31.34^{dB} \pm 0.65$
	72	$80.82^{eA} \pm 0.39$	$87.00^{eB} \pm 0.59$	$107.77^{eC} \pm 0.74$

$^{a,b,\cdots}$ = Mean with difference superscripts in the same column are significant difference, comparing within a same variety ($p<0.05$).

$^{A,B,\cdots}$ = Mean with difference superscripts in the same row are significant difference, comparing within a same variety ($p<0.05$).

Table 3 indicated that GABA content of all treatment increased greatly during germination period. The highest GABA content of all treatments was occurred within 72 hrs germinating time. However, germination process affected the total amount of GABA, the highest GABA content was observed in closed vessel method after germination for 72 hrs. The results indicated that GABA content of this method showed significantly different higher than other two methods. Komatsuzaki *et al.* (2007) reported the germinated brown rice in closed vessel shows significantly higher GABA content than that of germination by soaking treatment.

Conclusion

The optimum soaking condition to maximize GABA content of Southern Thailand grown brown rice, c.v. Niaw Dam Peuak Khoa, Chor Lung and Leb Nok Pattani was soaking the rice grains in buffer solution pH 3.0 at 40^0C. GABA content in closed vessel germination was observed higher than open vessel for all rice varieties. GABA content of all treatments increased greatly.

Acknowledgments

This research was supported the finances from The Thailand Research Fund (TRF). The authors gratefully thank Phattalung Rice Research Center, Thailand for their kindly providing the brown rice throughout the experiment.

References

Komtsuzaki, N., Tsukahara, K., Toyoshima, H., Suzuki, T., Shimizu, N. and Kimura, T. 2007. Effect of soaking and gaseous treatment on GABA content in germinted brown rice. *Journal of Food Engineering*. 78, 556-560.

Obtsubo, K., Suzuki, K., Yasui, Y. and Kasumi, T. Bio-functional components in the processed pre-germinated brown rice by a twin-screw extruder. *Journal of Food Composition and Analysis* 18: 303-316.

Saikusa, T., Horino, T. and Mori, Y. 1994. Accumulation of γ-aminobutyric acid (GABA) in the rice germ during water soaking. *Bioscience Biotechnology and Biochemistry*. 58(12): 2291-2292.

Shelp, B. J., Bown, A. W. and Mclean, M. D. 1999. Metabolism and functions of gamma-aminobutyric acid. *Trends in Plant science*. 4(11): 446-452.

Varanyanond, W., Tungtrakul, P., Surojanametakul, V., Watanasiritham, L., and Luxiang, W. 2005. Effects of water soaking on γ-aminobutyric acid (GABA) in germ of different Thai rice varieties. *Kasetsart J. (Nat. Sci.)*. 39: 411-415.

2. ศักยภาพของข้าวกล้องงอกของไทยในการต้านภาวะเบาหวาน (Potential Anti-diabetes of Pre-germinated Brown Rice of Thai Variety) โดย อโนชา ตั้งโพธิธรรม[1] และ อมรรัตน์ ทองน้อย[2]

[1]ภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และ [2] นักศึกษาบัณฑิตศึกษา สถานวิจัยผลิตภัณฑ์เสริมอาหารและอาหารเพื่อสุขภาพ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ในการประชุมวิชาการข้าวแห่งชาติ ครั้งปฐมฤกษ์ "ขับเคลื่อนงานวิจัยข้าวไทยสู่นวัตกรรม" 14-16 ธันวาคม 2553 ณ. อาคารสารสนเทศ 50 ปี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน (The 1st National Rice Research Conference "Moving Rice Research Towards Innovation" 14-16 December 2010 Bangkok, Thailand)

ศักยภาพของข้าวกล้องงอกของไทยในการต้านภาวะเบาหวาน

Potential Anti-diabetes of Pre-germinated Brown Rice of Thai Variety

อโนชา ตั้งโพธิธรรม[1] และ อมรรัตน์ ทองน้อย[2]

[1]ภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

[2] นักศึกษาบัณฑิตศึกษา สถานวิจัยผลิตภัณฑ์เสริมอาหารและอาหารเพื่อสุขภาพ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

บทคัดย่อ

ข้าวกล้องงอกเป็นผลิตภัณฑ์จากการบ่มหมักในระยะเวลาพอเหมาะเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ ขณะงอกมีกระบวนการทางชีวเคมีเกิดขึ้นมากมาย เช่น การสลายคาร์โบไฮเดรตเป็นพลังงาน การสังเคราะห์สารชีวโมเลกุลที่เกี่ยวข้องกับการเจริญของเอ็มบริโอ งานวิจัยนี้ศึกษาศักยภาพในการต้านเบาหวานของข้าวกล้องงอกสายพันธ์เล็บนกปัตตานี จากศูนย์วิจัยข้าวจังหวัดพัทลุง ในหลอดทดลองว่ายับยั้งเอนไซม์ย่อยคาร์โบไฮเดรต แอลฟ่า-อะไมเลสหรือไม่ โดยนำข้าวที่กระเทาะเปลือก แช่ในน้ำกลั่น (1: 2g/mL) 5 ชม.ในที่มืด กรอง ล้างให้สะอาด บ่มในตู้ ปิดมืดที่อุณหภูมิห้องภายใต้ความชื้นสูงเก็บตัวอย่างที่ 12, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง ล้าง อบที่ 50°ซ 3 ชม. เก็บ 4° ซในภาชนะปิดสนิท การวิเคราะห์นำตัวอย่างแต่ละช่วงเวลาการงอก และวัตถุดิบมาแยกเป็น 3 ส่วนคือ ข้าวกล้อง จมูกข้าว และข้าวสาร บดละเอียด สกัดด้วย 0.02 M phosphate buffer pH 6.9-0.15 M NaCl บ่มกับอะไมเลสจากน้ำลาย 30' ตรวจการยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์ โดยใช้น้ำแป้งเป็นซับสเตรต (Bernfeld 1955) คำนวณ %ยับยั้งและปริมาณตัวอย่างที่ให้ 50%ยับยั้ง (IC_{50}) พบว่าสารสกัดจมูกข้าว ข้าวกล้อง และข้าวสาร ที่เวลางอกต่างๆ เทียบกับก่อนเพาะที่เวลางอกนานมี %ยับยั้งสูงสุด และจมูกข้าวมีการยับยั้งสูงกว่าข้าวกล้อง และข้าวสาร ตามลำดับ ผลการวิจัยนี้บ่งชี้ถึงศักยภาพการใช้ประโยชน์ จากข้าวกล้องงอกลดการดูดซึมกลูโคสสู่เลือดจากการชะลอการย่อยคาร์โบไฮเดรตด้วยเอนไซม์อะไมเลส

ขอขอบคุณ โครงการ "การศึกษาคุณค่าทางโภชนาการและทางยาของข้าวงอกเพื่อเป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์เสริมอาหารและอาหารเพื่อสุขภาพ" สถานวิจัยผลิตภัณฑ์เสริมอาหารและอาหารเพื่อสุขภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ผู้สนับสนุนทุนวิจัย

ศักยภาพของข้าวกล้องงอกของไทย ในการต้านภาวะเบาหวาน

Potential Anti-diabetes of Pre-germinated Brown Rice of Thai Variety

อโนชา ตั้งโพธิธรรม[1] และ อมรรัตน์ ทองน้อย[2]

[1] ภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

[2] นักศึกษาบัณฑิตศึกษา สถาบันวิจัยผลิตภัณฑ์เสริมอาหารและอาหารเพื่อสุขภาพ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

บทคัดย่อ ข้าวกล้องงอกเป็นผลิตภัณฑ์จากการปนหมัก ในระยะเวลาพอเหมาะเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ ในกระบวนการงอกมีสารชีวเคมีเกิดขึ้นมากมาย งานวิจัยนี้ศึกษาศักยภาพของข้าวกล้องงอกของไทย ในการต้านภาวะเบาหวาน สายพันธุ์พื้นเมืองในภาคใต้ 4 สายพันธุ์ทั้งข้าวมีสีและไม่มีสี ซึ่งศึกษาผ่านโมเดลในหลอดทดลองโดยสกัดข้าวกล้องงอกด้วย 0.02 M Phosphate buffer, pH 6.9 – 0.15 M NaCl แล้วนำไปตรวจหาค่าการยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสจากน้ำลาย และ ตับอ่อน พบว่าสารสกัดที่เวลางอกต่างๆ มีค่าการยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสจากน้ำลายและ จากตับอ่อน ที่ IC50 สูงขึ้นเมื่อเวลาเพาะมากขึ้น ผลการวิจัยนี้บ่งชี้ถึงศักยภาพการใช้ประโยชน์ในการลดการดูดซึมกลูโคสสู่กระแสเลือด จากการชะลอการย่อยคาร์โบไฮเดรตด้วยเอนไซม์อะไมเลส

บทนำ โรคเบาหวาน (Diabetes Millitus, DM) คือการมีระดับน้ำตาลในเลือดสูง เนื่องจากความบกพร่องในการทำงานของฮอร์โมนอินซูลิน แบ่งตามลักษณะทางคลินิกได้ 3 ชนิด คือ เบาหวานชนิดที่หนึ่ง ชนิดที่สอง และเบาหวานขณะตั้งครรภ์ องค์การอนามัยโลกรายงานว่า ประชากรเอเชียหลายชนชาติมีอุบัติการณ์ของโรคเบาหวานเพิ่มขึ้นอย่างมาก เนื่องจากมีการปรับเปลี่ยนวิถีการดำเนินชีวิตแบบตะวันตกทั้งในด้านการรับประทานอาหารที่ทำจากแป้งและไขมัน รวมถึงเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ และน้ำตาล ร่วมกับการขาดการใช้พลังงานในการทำกิจกรรมต่างๆ ทำให้เข้าสู่ภาวะน้ำหนักเกิน ซึ่งเป็นปัจจัยเสี่ยงของโรคเบาหวาน รายงานการศึกษาพบว่าข้าวกล้องของไทยเป็นแหล่งที่ดีของสารอาหาร วิตามิน เกลือแร่ และสารกลุ่ม ฟีนอลิค ซึ่งสารกลุ่มฟีนอลิคในพืชหลายชนิดมีรายงานการวิจัยว่าสามารถลดระดับน้ำตาลในเลือดผ่านกลไกการยับยั้งอะไมเลสได้ ผู้วิจัยจึงมุ่งศึกษาหาศักยภาพนี้ในข้าวกล้องงอกของไทย

วิธีการทดลอง

[illegible] ข้าวกล้องงอก

[illegible] สกัดข้างต้นใน 0.02 M Phosphate buffer, pH 6.9 – 0.15 M NaCl (1: 5 น้ำหนักต่อปริมาตร) ที่ 16 ชม. ที่ 4 °C เติมตัวทำปฏิกิริยา [illegible] ยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์ที่ศึกษา

การหาค่าการยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์

[illegible] กับเอนไซม์ (0.[illegible] นาที ที่ 37 °C [illegible] นาที [illegible] ไม่ต่อ 3 นาที [illegible] ปริมาณน้ำตาลที่เกิดขึ้น [illegible] ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร [illegible] ยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์

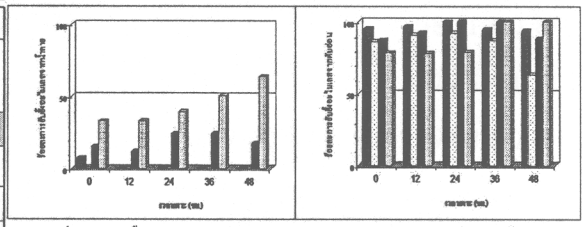
ตารางที่ 1 การยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสจากน้ำลาย และ ตับอ่อน

สายพันธุ์ข้าวกล้องงอก	ชั่วโมงการเพาะ	ร้อยละยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์อะไมเลส*			
		12	24	36	48
ช่อสุง	อะไมเลสจากน้ำลาย	0	0	0	0
	อะไมเลสจากตับอ่อน	96.7	100	94.8	94
เตี้ยภูเขียว	อะไมเลสจากน้ำลาย		0	0	0
	อะไมเลสจากตับอ่อน	92.9	89.9	85.7	66.4
หนี่ยวแดงหลันต้น	อะไมเลสจากน้ำลาย	12.1	24.5	24.6	17.7
	อะไมเลสจากตับอ่อน	92.3	103.6	115.4	88.1
เหนียวดำเปลือกขาว	อะไมเลสจากน้ำลาย	33.2	39.7	50.3	63.9
	อะไมเลสจากตับอ่อน	77.5	78.8	100.8	99.9

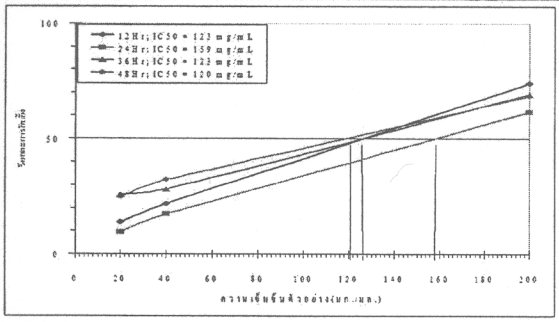
หมายเหตุ *ร้อยละการยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์อะไมเลสจากน้ำลายและตับอ่อนของข้าวกล้องงอกสายพันธุ์ต่างๆ ที่ความเข้มข้นตัวอย่าง 1 มก./มล. ที่ผ่านการเพาะที่เวลาต่างๆ

ตารางที่ 2 การยับยั้งอะไมเลสของจมูกข้าวกล้องงอกเหนียวแดงหลันต้น

ความเข้มข้นตัวอย่าง (มก./มล.)	ร้อยละการยับยั้งกิจกรรมอะไมเลสจากตับอ่อนของจมูกข้าวกล้องเหนียวแดงหลันต้น			
ชั่วโมงการเพาะ	12	24	36	48
200	74.8	94.1	99.1	68.5
40	21.6	17.2	28.[illegible]	31.9
20	13.7	9.2	25.7	24.7



ภาพที่ 1. การยับยั้งอะไมเลสของข้าวกล้องงอกสายพันธุ์ต่างๆ ที่ผ่านการเพาะที่ 12-48 ชั่วโมง



ภาพที่ 2. ปริมาณสารสกัดจมูกข้าวเหนียวแดงหลันต้นที่ยับยั้งกิจกรรมอะไมเลส จากตับอ่อนได้ร้อยละ 50

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการศึกษาของอะไมเลสจากน้ำลาย (ตารางที่ 1 และ ภาพที่ 2) พบว่าพันธุ์ช่อองุ่นและเตี้ยนกปัดตานีไม่แสดงการยับยั้ง ส่วนพันธุ์ที่แสดงศักยภาพ[illegible] ที่ระยะเวลาเพาะโดยเหนียวดำเปลือกขาวยับยั้งสูงสุด (6[illegible] ยับยั้งสูงสุดที่เวลา 24 และ 36 คือ 24.5% และ 24.6% ส่วนหนี่ยวแดงหลันต้น[illegible] ที่เวลาเพาะ 36 ชม. เหนียวแดงหลันต้นและเหนียวดำเปลือกขาว[illegible] 48% ยับยั้ง 94-100 ช่วงเวลาเพาะ12-48 ชม. [illegible] 2.5 ชม. ค่อยค่อลดลงตามเวลาเพาะ

การคัดเลือกจมูกข้าวกล้องงอก[illegible] ในส่วนจมูกเพื่อเทียบกับตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองที่ 2 และ การที่[illegible] ตามเวลาเพาะที่เพิ่มขึ้นของจมูกข้าวกล้องเหนียวแดงหลันต้น[illegible] ที่เวลาเพาะ 12-48 ชม. ที่เวลา 48 [illegible] ที่ความเข้มข้น 120 [illegible] ยับยั้งได้ร้อยละ 50

สรุป ระยะเพาะข้าวกล้องงอกทุกพันธุ์ที่ยับยั้งอะไมเลสจากตับอ่อนได้มากกว่า 85% คือ 36 ชม. ทั้งข้าวเหนียวแดงหลันต้นและหนี่ยวดำเปลือกขาวยับยั้งอะไมเลสจากตับอ่อนได้สูงถึง 100% ของเอนไซม์ข้าวเหนียวดำเปลือกขาวยังสามารถยับยั้งอะไมเลสจากน้ำลายสูงถึง 50% ด้วยจึงเป็นข้าวที่เหมาะในการนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพต่อไป

เอกสารอ้างอิง Nickavar, B., Abolhasani, L. and Izadpanah, H. 2008. α-Amylase inhibitory activities of six Salvia species. Iranian Journal of Pharmaceutical Research, 4:297-303.

Zajac, A., Gyemant, G., Vitlon, N. and Kandra, L. 2007. Alcepoo tannin, structural analysis and salivary α-amylase inhibition. Carbohydrate Research, 342:717-723.

กิตติกรรมประกาศ โครงการการศึกษาคุณค่าทางโภชนาการและทางยาของข้าวงอกเพื่อเป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์เสริมอาหารและอาหารเพื่อสุขภาพ สถาบันวิจัยผลิตภัณฑ์เสริมอาหารและอาหารเพื่อสุขภาพมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ภาคผนวก ข

ตารางค่าวิเคราะห์ทางเคมี

ตารางที่ ข-1 ผลของการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความชื้นของข้าวกล้องทั้ง 4 สายพันธุ์ ระหว่างการแช่ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้อง นาน 24 ชั่วโมง

การแช่ (ชั่วโมง)	ปริมาณความชื้น (%)			
	ช่อลุง	เหนียวดำเปลือกขาว	เล็บนกปัตตานี	เหนียวแดงหลันตัน
0	12.51± 0.01	13.25± 0.02	12.89± 0.04	11.30 ± 0.33
1	30.53± 1.26	32.63± 0.05	25.47± 0.40	30.21 ± 0.88
2	34.03± 2.92	37.71± 0.96	30.66± 0.89	32.69 ± 2.44
3	33.89± 1.05	36.29± 0.50	32.33± 1.73	34.57 ± 0.67
4	35.64 ± 0.44	44.60 ± 0.06	31.66 ± 0.05	34.78 ± 1.08
5	34.39 ± 0.48	44.00 ± 0.54	31.70 ± 0.01	36.42 ± 1.62
6	34.65 ± 0.40	44.06 ± 1.62	33.06 ± 1.18	36.33 ± 0.89
7	34.74 ± 0.39	45.60 ± 0.29	33.64 ± 1.33	36.62 ± 0.75
8	33.83 ± 1.09	48.87 ± 0.19	34.95 ± 0.75	37.34 ± 0.59
9	34.05 ± 0.31	42.51 ± 1.24	35.61 ± 0.77	37.80 ± 1.90
10	36.41 ± 2.83	44.91 ± 0.59	33.71 ± 1.03	38.11 ± 0.49
11	34.46 ± 0.32	45.63 ± 0.21	36.17 ± 0.65	37.65 ± 1.16
12	37.03 ± 3.73	42.66 ± 1.30	36.29 ± 0.86	39.08 ± 0.19
13	36.03 ± 1.11	43.39 ± 0.95	36.53 ± 1.30	38.91 ± 0.55
14	35.64 ± 0.94	46.17 ± 1.63	36.88 ± 1.09	40.55 ± 0.51
15	35.2 ± 0.90	44.83 ± 0.30	35.66 ± 0.93	39.17 ± 0.44
16	36.1 ± 0.90	44.85 ± 1.23	36.56 ± 1.22	39.49 ± 0.68
17	36.34 ± 0.04	45.72 ± 0.79	36.29 ± 0.39	39.49 ± 1.15
18	37.2 ± 1.32	46.19 ± 0.66	36.33 ± 0.58	38.94 ± 0.16
19	36.45 ± 0.27	45.13 ± 0.65	36.40 ± 0.35	39.56 ± 0.59
20	36.97 ± 0.69	44.15 ± 1.53	37.04 ± 0.35	41.11 ± 0.71
21	36.93 ± 0.13	45.94 ± 1.22	37.35 ± 0.48	41.12 ± 0.58
22	35.97 ± 0.98	45.39 ± 1.72	37.64± 0.48	39.73 ± 0.67
23	35.91 ± 0.66	45.19 ± 0.40	38.27 ± 0.98	41.11 ± 0.64
24	37.34 ± 0.30	44.78 ± 0.09	37.96 ± 0.07	40.19 ± 0.60

ตารางที่ ข-2 ผลของการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ GABA ของข้าวกล้องทั้ง 4 สายพันธุ์ ระหว่างการแช่ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้อง นาน 24 ชั่วโมง

การแช่	ปริมาณ GABA (มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่าง, นน.แห้ง)			
(ชั่วโมง)	ช่อลุง	เล็บนกปัตตานี	เหนียวดำเปลือกขาว	เหนียวแดงหลันตัน
0	8.99 ± 0.97	6.45 ±1.45	8.43 ±0.40	4.05 ±0.01
1	9.91 ±1.09	7.13 ±1.28	9.99 ±0.18	4.06 ±0.02
2	9.97 ±1.07	7.37 ±1.22	11.46 ±0.31	3.95 ±0.05
3	9.57 ±1.52	8.67 ±1.28	11.39 ±0.61	4.65 ±0.03
4	6.96 ±1.17	10.13 ±1.45	12.51 ±0.67	4.49 ±0.03
5	12.85 ±0.57	9.24 ±1.20	15.26 ±0.58	4.39 ±0.01
6	12.73 ±0.57	7.89 ±1.60	18.12 ±0.06	6.14 ±0.05
7	13.49 ±0.84	9.16 ±1.35	16.71 ±0.64	8.65 ±0.01
8	17.60 ±0.64	10.22 ±1.42	19.82 ±0.05	6.23 ±0.06
9	16.51 ±0.56	10.80 ±1.35	15.68 ±0.06	8.21 ±0.05
10	18.36 ±0.69	11.29 ±1.49	16.13 ±0.42	11.52 ±0.08
11	18.60 ±0.61	12.11 ±1.60	20.23 ±0.21	10.92 ±0.03
12	19.36 ±0.56	10.73 ±0.99	17.11 ±1.15	10.42 ±0.06
13	21.99 ±0.35	11.46 ±0.69	17.12 ±0.91	8.09 ±0.04
14	30.18 ±0.42	13.16 ±0.25	17.31 ±0.59	8.43 ±0.01
15	25.11 ±0.35	13.74 ±0.35	17.70 ±0.67	7.66 ±0.03
16	27.18 ±0.47	15.25 ±0.30	18.73 ±0.21	8.64 ±0.06
17	23.71 ±0.43	13.29 ±0.48	19.53 ±0.24	8.61 ±0.04
18	22.61 ±1.26	13.29 ±0.33	18.50 ±0.54	8.85 ±0.04
19	23.45 ±1.05	14.25 ±0.37	20.20 ±0.41	8.57 ±0.04
20	25.13 ±1.17	16.55 ±0.31	21.91 ±0.63	10.45 ±0.04
21	24.54 ±1.03	17.74 ±0.24	19.47 ±0.48	10.58 ±0.04
22	19.68 ±1.19	16.98 ±0.15	19.33 ±0.15	9.74 ±0.03
23	21.25 ±0.93	19.22 ±0.11	17.70 ±0.84	11.77 ±0.04
24	25.92 ±0.36	17.25 ±0.22	20.12 ±1.26	11.37 ±0.0.05

ตารางที่ ข-3 ปริมาณวิตามินของข้าวกล้อง ข้าวกล้องงอก และผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูป ของข้าวพันธุ์ช่อลุง

วิตามิน	มิลลิกรัม/ 100 กรัม ตัวอย่าง		
	ข้าวกล้อง	ข้าวกล้องงอก	ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูป
Fat Soluble Vitamin			
E	0.69 ± 0.0100^{a}	0.04 ± 0.0000^{b}	0.03 ± 0.0000^{b}
Water Soluble Vitamin			
B1	0.39 ± 0.0651^{a}	0.03 ± 0.0115^{b}	0.01 ± 0.0025^{b}
B3	0.99 ± 0.0025^{a}	0.07 ± 0.0030^{b}	0.05 ± 0.0000^{c}
B6	0.29 ± 0.2900^{a}	0.11 ± 0.1100^{b}	0.02 ± 0.0190^{c}

$^{a,b,...}$= ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่ตามด้วยอักษรที่แตกต่างกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p< 0.05$) จากการสกัด 3 ครั้ง ของข้าวรุ่นที่ 2

ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ปริมาณอะไมโลส และแกมมาอะมิโนบิวทิริกแอซิด (GABA)

1. การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000)

อุปกรณ์

1. เครื่องบดผสมตัวอย่าง (Blender)
2. ตู้อบไฟฟ้า ยี่ห้อ Memmert รุ่น D-91126 ประเทศสหรัฐอเมริกา
3. ภาชนะหาความชื้น (ถ้วยอะลูมิเนียมพร้อมฝา)
4. โถดูดความชื้น
5. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น AL 204 ประเทศ สวิตเซอร์แลนด์

วิธีการ

1. อบถ้วยอะลูมิเนียมพร้อมฝา ในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 100-105 องศาเซลเซียสนาน 3 ชั่วโมง วางให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักแล้วนำไปอบซ้ำเป็นเวลา 30 นาทีจนทราบน้ำหนักที่แน่นอน
2. ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน ประมาณ 1-2 กรัม ใส่ลงในถ้วยอะลูมิเนียม เกลี่ยตัวอย่างให้กระจายทั่ว
3. นำไปอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 100±5 องศาเซลเซียส ค้างคืน นำออกมาวางให้เย็นในโถดูดความชื้นนาน 30 นาที แล้วชั่งน้ำหนัก นำไปอบซ้ำครั้งละ 30 นาที จนได้น้ำหนักที่แน่นอนชั่งทั้งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม แล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณปริมาณความชื้นจากสูตร

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)} = \frac{(W_1-W_2) \times 100}{W_1}$$

W_1 = น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)

W_2 = น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

2. การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนโดยวิธี Kjeldahl (AOAC, 2000)

อุปกรณ์

1. หลอดย่อยโปรตีน (Kjeldahl tube)
2. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น AL 204 ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
3. อุปกรณ์ย่อยและกลั่นโปรตีน ยี่ห้อ FOSS TECATOR รุ่น 2006 และ 2200 ตามลำดับ ประเทศสวีเดน
4. ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 และ 500 มิลลิลิตร
5. ขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร
6. ปิเปต ขนาด 5 และ 10 มิลลิลิตร
7. บิวเรต ขนาด 25 มิลลิลิตร
8. กระดาษกรอง
9. กระบอกตวงขนาด 20 และ 50 มิลลิลิตร

สารเคมี

1. กรดซัลฟูริกเข้มข้น
2. สารเร่งปฏิกิริยาใช้คอปเปอร์ซัลเฟต 1 ส่วนผสมกับ โพแทสเซียมซัลเฟต 9 ส่วน
3. โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 40 และร้อยละ 20
4. กรดบอริกเข้มข้นร้อยละ 4
5. กรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้นมาตรฐาน 1 นอร์มัล เตรียมโดยชั่งโซเดียมเทตราบอเรต (Borax) ให้ได้น้ำหนักแน่นอน (4 ตำแหน่ง) 4 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนด 250 มิลลิลิตร ละลายด้วยน้ำกลั่นปริมาณ 50 มิลลิลิตร ทำซ้ำ 3 ขวด แต่ละขวดเติม 2-3 หยด ของเมทิลเรด (อินดิเคเตอร์) แล้วไตเตรตกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่เตรียมไว้ สีของสารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีชมพูที่จุดยุติสามารถคำนวณความเข้มข้นที่แน่นอนของกรดไฮโดรคลอริกจากสูตร

$$\text{ความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรคลอริก} = \frac{W_1}{W_2 \times 0.1907}$$

W_1 = น้ำหนักของโซเดียมเทตราบอเรต (กรัม)

W_2 = ปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตรเตรท (มิลลิลิตร)

กรัมสมมูลของโซเดียเทตราบอเรต = 190.72

6. อินดิเคเตอร์ เตรียมโดย ก. ชั่ง 0.125 กรัม เมทธิลเรด และ 0.2 กรัม เมทิลีนบลู (Methylene blue) ละลายในเอทานอล 100 มิลลิลิตร ข. ชั่ง 0.1 กรัมโบรโมครีซอลกรีน (Bromocresol green) ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร นำมาผสมกันในอัตราส่วน ก: ข เท่ากับ 5:1

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างบนกระดาษกรองให้ได้น้ำหนักแน่นอน (4 ตำแหน่ง) ประมาณ 1-2 กรัม ห่อให้มิดชิดลงในขวดย่อยโปรตีน
2. เติมสารเร่งปฏิกิริยา 5 กรัม และกรดซัลฟูริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร
3. นำไปย่อยที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และย่อยที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส จนได้สารละลายใส แล้วตั้งทิ้งให้เย็น
4. เติมน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตรในหลอดย่อยโปรตีน
5. ต่อหลอดย่อยโปรตีนในส่วนของเครื่องกลั่นโปรตีน และวางขวดรูปชมพู่ที่เติมกรดบอริกปริมาตร 40 มิลลิลิตรแล้ววางที่ตำแหน่งรับสารละลายของเครื่องกลั่น โดยให้ปลายจุ่มในสารละลายกรดบอริก เติมอินดิเคเตอร์ 2 หยด ทำการกลั่นโปรตีนตามโปรแกรมที่ตั้งไว้ ปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 40 ปริมาณ 50 มิลลิลิตร และกลั่นเป็นเวลา 4 นาที
6. ไตเตรทของเหลวที่กลั่นได้ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐานจนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวอมฟ้าเป็นสีชมพูที่จุดยุติ นำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณปริมาณไนโตรเจน หรือปริมาณโปรตีน
7. ทำ blank โดยใช้กระดาษกรองไม่ใส่ตัวอย่างแล้วทำตามข้อ 2-6

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (ร้อยละ)} = \frac{1.4007 \times N \times (Vs - Vb)}{W}$$

$$\text{ปริมาณโปรตีนทั้งหมด (ร้อยละ)} = \frac{1.4007 \times N \times (Vs - Vb) \times F}{W}$$

N = ความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน (นอร์มอล)

Vs = ปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรทตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

Vb = ปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรทแบลงค์ (มิลลิลิตร)

W = น้ำหนักตัวอย่าง(กรัม)

F = แฟกเตอร์ (เท่ากับ 5.95)

3. การวิเคราะห์ปริมาณไขมันโดยวิธี Soxhlet Extraction Method (AOAC, 2000)

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์ชุดสกัดไขมัน (Soxhlet apparatus) ยี่ห้อ Selecta รุ่น 6003286 ประเทศสเปน
2. หลอดใส่ตัวอย่าง (Extraction thimble)
3. เครื่องบดผสมตัวอย่าง (Blender)
4. ตู้อบไฟฟ้า ยี่ห้อ Memmert รุ่น D-91126 ประเทศสหรัฐอเมริกา
5. โถดูดความชื้น
6. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น AL 204 ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
7. เครื่องระเหยสุญญากาศ ยี่ห้อ EYELA รุ่น SB-1000 ประเทศญี่ปุ่น

สารเคมี

ปิโตรเลียมอีเทอร์

วิธีการ

1. อบขวดก้อนกลมในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 100-105 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง วางให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักแล้วนำไปอบซ้ำเป็นเวลา 30 นาที จนทราบน้ำหนักที่แน่นอน (4 ตำแหน่ง)
2. นำตัวอย่างที่ผ่านการหาความชื้นแล้วมาชั่งให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน (4 ตำแหน่ง) ประมาณ 2-3 กรัม ในกระดาษกรอง ห่อให้มิดชิดแล้วใส่ลงในหลอดสำหรับใส่ตัวอย่าง คลุมด้วยสำลีเพื่อให้สารทำละลายมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ
3. นำหลอดตัวอย่างใส่ลงในซอคแลต
4. เทปิโตรเลียมอีเทอร์ในขวดก้อนกลม ปริมาตร 250 มิลลิลิตร
5. ประกอบหลอดใส่ตัวอย่าง และขวดก้อนกลมเข้ากับเครื่องสกัดไขมันแล้วทำการสกัดไขมัน 14 ชั่วโมง โดยปรับความร้อนให้หยดของสารทำละลายกลั่นตัวจากอุปกรณ์ควบแน่น ด้วยอัตรา 150 หยดต่อนาที
6. เมื่อครบ 14 ชั่วโมง นำหลอดใส่ตัวอย่างออกจากซอคแลต แล้วระเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่องระเหยแบบสุญญากาศ
7. นำขวดหาไขมันไปอบที่อุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียส จนแห้ง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น
8. ชั่งน้ำหนักแล้วอบซ้ำครั้งละ 30 นาที จนกระทั่งผลต่างของน้ำหนัก 2 ครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณไขมัน (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักไขมันหลังอบ} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้นก่อนอบ}}$$

4. การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (AOAC, 2000)

อุปกรณ์

1. เตาเผา (muffle furnace) ยี่ห้อ Ney รุ่น Vulcan3-1750 ประเทศสหรัฐอเมริกา
2. ถ้วยกระเบื้องเคลือบ (porcelain crucible)
3. โถดูดความชื้น
4. เครื่องชั่งไฟฟ้า ทศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น AL 204 ประเทศสวิตเซอร์แลนด์

วิธีการ

1. เผาถ้วยกระเบื้องเคลือบในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 3 ชั่วโมง ปิดสวิตซ์เตาเผาแล้วรอประมาณ 30-45 นาที เพื่อให้อุณหภูมิภายในเตาเผาลดลงก่อน แล้วนำออกจากเตาเผาใส่ในโถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้องแล้วชั่งน้ำหนัก
2. เผาซ้ำอีกครั้งครั้งละประมาณ 1 ชั่วโมงและกระทำเช่นข้อ 1 จนได้ผลต่างของน้ำหนักทั้ง 2 ครั้ง ติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม
3. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างให้ได้น้ำหนักแน่นอน (4 ตำแหน่ง) ประมาณ 1 กรัม ใส่ในถ้วยกระเบื้องเคลือบที่ทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว นำไปเผาในตู้ควันจนหมดควัน แล้วจึงนำเข้าเตาเผาอุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส และกระทำซ้ำเช่นเดียวกับข้อ 1-2

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณเถ้า (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา x100}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}}$$

5. ปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด

$$\text{คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด (\%)} = 100 - \text{ปริมาณโปรตีน} - \text{ปริมาณไขมัน} - \text{ปริมาณความชื้น} - \text{ปริมาณเถ้า}$$

6. การวิเคราะห์เยื่อใยอาหาร (Dietary fiber) โดยวิธี Enzymatic gravimetric (AOAC,2000)

อุปกรณ์

1. Test tube (หลอด centrifuge) ขนาด 50 ml จำนวน 12 หลอด
2. Magnetic bar ขนาด 15 × 16 mm จำนวน 12 ชิ้น
3. Hot plate & stirrer
4. Thermometer ช่วงอุณหภูมิ 0 – 150^0 C หรือ 0 - 100^0 C
5. Glass filter Crucible Porosity No. 2 ขนาด 20 ml (Pyrex No.22940 ASTM 40 – 60 μm) วิธีเตรียม Crucible คือ เผาที่อุณหภูมิ 525^0 C นาน 1 ชั่วโมง วางให้เย็นแล้วผ่านน้ำ เติม celite น้ำหนักแน่นอน 0.5 g. อบที่อุณหภูมิ 130^0 C จนน้ำหนักคงที่ (≥ 1hr.) ทำให้เย็นแล้วเก็บใน desiccator จนกว่าจะใช้)
6. Porcelain crucible (filter crucible) Porosity No. 2 ขนาด 30 ml
7. Beaker ขนาด 600 ml. 12 ใบ
8. Rubber politeman
9. Desiccator
10. Oven
11. Muffle Fernance
12. เครื่องวิเคราะห์โปรตีน

สารเคมี

1. Enzyme
   1.1 ∝-Amylase heat stable (sigma A3306)
   1.2 Protease (Sigma A9913)
   1.3 Amyloglucosidase (sigma P3910)
2. Petroleum ether (de-fat)
3. Methanol (de-sugar)
4. Phosphate buffer 0.08 M, pH 6.0
5. Sodium hydroxide solution, 0.275 N
6. Hydrochloric acid solution, 0.325 N
7. 95% ethanol (v/v) Technical grade
8. 78% ethanol
9. Acetone (AR)
10. Celite
11. Deionized water (DI)
12. สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์โปรตีน

วิธีการ

ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง

1. เตรียมตัวอย่างตามคู่มือวิธีปฏิบัติงานเรื่องการรับและเตรียมตัวอย่างทางเคมี (AIL-T01-WI01)
2. ตัวอย่างที่มีลักษณะเปียก ต้องผ่านการอบแห้งก่อน โดยชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 50 กรัมใส่ plate ที่อบ หาน้ำหนักคงที่แล้ว นำตัวอย่างมาอบแห้งที่ 60^0 C ข้ามคืน หาน้ำหนักหลังอบเป็นเปอร์เซ็นต์ของแข็งทั้งหมด
3. ตัวอย่างที่มีปริมาณไขมันเกิน 5 เปอร์เซ็นต์ต้องผ่านการสกัดไขมันก่อน โดยนำตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งมาสกัดไขมันโดยชั่งตัวอย่างประมาณ 5 กรัม (น้ำหนักแน่นอน) ใช้ Petroleum Ether ครั้งละ 20 มิลลิลิตร ใส่ในตัวอย่าง กวนผสมแล้วทิ้งให้ตกตะกอน ดูดเอา Petroleum Ether ออกจากบีกเกอร์ การสกัดซ้ำ2 ครั้ง หากสารสกัดยังมีสีเหลืองอยู่ให้สกัดอีกครั้ง แล้วดูดเอาสารสกัดออก นำตัวอย่างที่เหลือไปอบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส นาน 5 ชั่วโมง วางให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนัก คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ไขมัน/เปอร์เซ็นต์ของแข็ง
4. หากตัวอย่างมีปริมาณน้ำตาลสูงกว่า 10 % หรือตัวอย่างมีลักษณะเหนียวหลังอบแห้ง ให้สกัดน้ำตาลออกโดยใช้ Methanol สกัดครั้งละ 20 มิลลิลิตร 3 ครั้ง ใช้ตัวอย่างที่ผ่านการสกัดไขมันโดยเติม Methanol แล้วกวนผสมรอให้กากตกตะกอน ดูดเอาสารละลายออก ทำซ้ำอีก 2 ครั้ง นำตัวอย่างที่ผ่านการสกัดไปอบแห้งที่ 60^0 C ไม่ต่ำกว่า 5 ชั่วโมง วางให้เย็นใน desiccator ชั่งน้ำหนักคำนวณหาเปอร์เซ็นต์น้ำตาล/เปอร์เซ็นต์ของแข็ง
5. นำตัวอย่างที่ผ่านการสกัดมาบดโดยใช้โกร่งบด จนละเอียดเป็นผง

ขั้นตอนการวิเคราะห์ตัวอย่าง

1 ชั่งตัวอย่างน้ำหนักแน่นอน 0.5 กรัม ลงในหลอด centrifuge ขนาด 50 ml. จำนวน 4 หลอด น้ำหนักตัวอย่างที่ชั่งไม่ควรห่างกันเกิน 20 มิลลิกรัม ใส่ magnetic bar ลงไปในแต่ละหลอดและใส่ลงในหลอดเปล่าจำนวน 2 หลอดเพื่อใช้เป็น Blank

2. เติมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 6.0 $\pm$ 0.2 ลงไป 25 ml. ทุกหลอด ตรวจสอบ pH โดยใช้ pH meter ปรับ pH ให้ได้ 6.0 $\pm$ 0.2 โดยใช้ 0.275 N NaOH หรือ 0.225 N HCl
3. เติม α- amylase heat – stable 50 µl. ปิดฝาแล้วหุ้มด้วย Aluminium foil ที่ฝาอีกครั้งวางใน water bath ที่อุณหภูมิ 100^0 C นาน 15 นาที โดยใช้ hot plate & stirrer เริ่มจับเวลาเมื่ออุณหภูมิอยู่ในช่วง 95 - 100^0 C เปิด stirrer เพื่อเขย่าตัวอย่าง
4. เมื่อครบเวลายกออกจาก water bath แล้ววางให้เย็นที่อุณหภูมิห้องหรือแช่น้ำ
5. เติม 0.275 N NaOH 5 ml. ปรับ pH ให้ได้ 7.5$\pm$0.1 ตรวจสอบโดยใช้ pH meter

6. เติมสารละลาย protease 50 µl. วางใน water bath ที่ 60 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที เริ่มจับเวลาเมื่ออุณหภูมิอยู่ในช่วง 60 ± 2^{0} C เปิด stirrer เพื่อเขย่าตัวอย่าง
7. เมื่อครบเวลายกออกจาก water bath แล้ววางให้เย็นที่อุณหภูมิห้องหรือแช่น้ำ
8. เติมสารละลาย 0.325 N HCl 5 ml. ปรับ pH ให้ได้ 4.5 ± 0.2 ตรวจสอบ pH โดยใช้ pH meter
9. เติม amyloglucosidase 100 µl วางใน water bath ที่ 60^{0} C นาน 30 นาที เริ่มจับเวลาเมื่ออุณหภูมิอยู่ในช่วง 60 ± 2^{0} C เปิด stirrer เพื่อเขย่าตัวอย่าง
10. เมื่อครบเวลายกออกจาก water bath ในกรณีที่วิเคราะห์เป็น total dietary fiber นำตัวอย่างจากหลอด centrifuge ใส่ในปีกเกอร์ขนาด 600 ml แล้วชะตัวอย่างในหลอดและฝาด้วย 95% Ethanol 225 ml. วางไว้ให้ตกตะกอนที่อุณหภูมิห้อง 1 คืน
11. นำตะกอนมากรองผ่าน fritted Glass Crucible ที่เตรียมไว้ โดยต่อกับ Aspirator ชะ celite บริเวณผิวหน้าของ fritted Glass Crucible ด้วย 78% Ethanol ก่อนการกรองตัวอย่าง
12. ชะล้างตะกอนโดยใช้ 78% Ethanol ครั้งละ 20 ml. 3 ครั้ง แล้วชะด้วย 95% Ethanol ครั้งละ 10 ml 2 ครั้ง แล้วล้างด้วย acetone ครั้งละ 10 ml 2 ครั้ง ในระหว่างการล้างตะกอนให้ชะตัวอย่างออกจากบิกเกอร์ให้หมด โดยใช้ rubber politeman ขัด หากมีตะกอนเกาะติดเป็นก้อนกรองได้ยากให้ใช้ spatula เขี่ยบริเวณผิวหน้าของ celite
13. นำตะกอนที่ได้ไปอบที่ 100 - 105^{0} C ข้ามคืน วางให้เย็นใน desiccator ชั่งน้ำหนักหลังอบ
    - นำตัวอย่างไปหาโปรตีน 2 หลอด และ Blank 1 หลอด ตามขั้นตอนการวิเคราะห์โปรตีน ปริมาณโปรตีนในตัวอย่าง

      ปริมาณโปรตีน = $0.014007 \times [HCl] \times (\text{ปริมาตร HCl} - \text{Blank}) \times 6.25$
    - นำตัวอย่างไปวิเคราะห์เถ้า 2 หลอด และ Blank 1 หลอด ตามขั้นตอนการวิเคราะห์เถ้า โดยเผาที่ 525^{0} C นาน 5 ชั่วโมง

      ปริมาณเถ้าในตัวอย่าง = น้ำหนักเถ้าหลังเผา - น้ำหนักถ้วย
14. ในกรณีที่วิเคราะห์ Insoluble dietary หลังจากย่อย (9) กรองตะกอนผ่าน fitted Glass Crucible แล้วล้างตะกอนด้วยน้ำ DI อุณหภูมิ 70^{0} C ที่ปริมาตร 10 ml. 2 ครั้ง ส่วนของเหลวที่เหลือนำไปวิเคราะห์ Soluble dietary
15. นำตะกอนที่กรองได้มาล้างด้วย 95% Ethanol ครั้งละ 10 ml. ครั้ง แล้วล้างด้วย acetone 10 ml. 2 ครั้ง
16. นำตัวอย่างที่ได้วิเคราะห์ตามขั้นตอนที่ (13)
17. ในกรณีที่วิเคราะห์ Soluble dietary fiber นำของเหลวที่ได้จากการกรองเอาตะกอนออกในขั้นตอน (14) มาตกตะกอนโดยใช้ 95% Ethanol 225 ml. แล้ววางให้ตกตะกอนที่อุณหภูมิห้อง 1 คืน แล้วทำการวิเคราะห์ตามขั้นตอน (11) – (13)

การคำนวณผล

$$\text{ปริมาณ Total Dietary Fiber} = \frac{\left(\frac{\text{Residue Protein} + \text{Residue Ash}}{2}\right) - P - A - B}{\frac{W.Ex1 + W.Ex2}{2}} \times 100$$

Residue Protein = น้ำหนักตัวอย่างที่เหลือหลังการย่อย (วิเคราะห์โปรตีนต่อ) g

Residue Ash = น้ำหนักตัวอย่างที่เหลือหลังการย่อย (วิเคราะห์เถ้าต่อ) g

P = ปริมาณโปรตีนจาก Residue Protein

A = ปริมาณเถ้าจาก Residue Ash

$$B = \frac{BR_1 + BR_2}{2} - BP - BA$$

BR_1 = Residue Protein Blank (g)

BR_2 = Residue Ash Blank (g)

BP = ปริมาณโปรตีน จาก Residue Protein Blank

BA = ปริมาณเถ้า จาก Residue Ash Blank

7. การวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลส (Juliano, 1971)

อุปกรณ์

1. เครื่อง spectrophotometer
2. เครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า
3. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง
4. เครื่องสับผสม (blender)
5. ตะแกรงร่อนขนาด 100 mesh
6. ขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร

สารเคมี

1. เอทานอลร้อยละ 95
2. โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมลาร์
3. กรดอะซิติกเข้มข้น 1 โมลาร์
4. สารละลายไอโอดีน (ไอโอดีน 0.2 กรัม และโปแตสเซียมไอโอไดด์ 2.0 กรัม ในสารละลาย 100 มิลลิลิตร
5. อะมิโลสบริสุทธิ์

วิธีการ

สารละลายมาตรฐานอะมิโลส

1. ชั่งอะมิโลสบริสุทธิ์ 0.04 กรัม ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร
2. เติม 95 % Ethanol ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าเบาๆ
3. เติม 1 M NaOH ปริมาตร 9 มิลลิลิตร
4. กวนของเหลวในขวดด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้านาน 10 นาที
5. นำแท่งแม่เหล็กออกและล้างส่วนที่ติดมากลับไปในขวดด้วยน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร เขย่าให้ละลายเข้ากัน

กราฟมาตรฐาน

1. ปิเปตสารละลาย ปริมาตร 1, 2, 3, 4, และ 5 มิลลิลิตร ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำกลั่นประมาณ 70 มิลลิลิตร
3. ปิเปต 1 M Acetic acid ปริมาตร 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดที่มีสารละลายมาตรฐานตามลำดับ
4. ปิเปตสารละลายไอโอดีน 2 มิลลิลิตร
5. ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 100 มิลลิลิตร เขย่าและตั้งทิ้งไว้ 20 นาที
6. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร

ตัวอย่าง

1. บดเมล็ดข้าวด้วยเครื่องสับผสม แล้วร่อนผ่านตะแกรง
2. ชั่งตัวอย่าง 0.1000 กรัม ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร
3. เติมสารตามขั้นตอนการเตรียมสารละลายมาตรฐานอะมิโลส ข้อ 2-5

วิเคราะห์ตัวอย่าง

1. ปิเปตสารละลายจากการเตรียมตัวอย่างปริมาตร 5 มิลลิลิตร ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำกลั่นประมาณ 70 มิลลิลิตร
3. ปิเปต 1 M Acetic acid ปริมาตร 1 มิลลิลิตร
4. ปิเปต Iodine solution ปริมาตร 2 มิลลิลิตร
5. ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 100 มิลลิลิตร เขย่าและตั้งทิ้งไว้ 20 นาที
6. ทำแบลงค์เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ตัวอย่างแต่ไม่ใส่สารตัวอย่าง
7. วัดความเข้มสีของสารละลายโดยใช้ เครื่อง microplate reader วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร
8. นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปหาปริมาณอะมิโลส โดยเทียบจากกราฟมาตรฐาน

8. การวิเคราะห์แกมมาอะมิโนบิวทิริกแอซิด (GABA)

อุปกรณ์

1 เครื่อง HPLC รุ่น Agilent 1200

2 เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง

3 เครื่องเขย่าสาร (shaker)

4 เครื่อง centrifuge

5 เครื่องอบลมร้อน (Hot air oven)

สารเคมี

1. Sulfosalicylic acid
2. Sodium hydrogen carbonate
3. 4-dimethylaminoazobenzene-4-sulfonyl chloride
4. Acetonitrile
5. Ethanol (absolute)
6. 4-Aminobutyric acid
7. Sodium acetate
8. Acetic acid
9. Tetrahydrofuran
10. Water (HPLC grade)

การเตรียมข้าวกล้องงอก

1. ชั่งข้าวตัวอย่างละ 10 กรัม ใส่ภาชนะ
2. เติมน้ำในอัตราส่วนข้าวต่อน้ำเท่ากับ 1 : 2 วางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง
3. เมื่อครบเวลาที่ต้องการของแต่ละตัวอย่าง ทำการเก็บตัวอย่างโดยนำเทน้ำทิ้ง ล้างข้าวให้สะอาดอีกครั้ง จากนั้นนำตัวอย่างไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
4. ทำการเก็บตัวอย่างไว้ในภาชนะที่ปิดสนิท และเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อรอนำไปวิเคราะห์
5. นำตัวอย่างที่เก็บไว้ในข้อ 4 มาบดด้วยเครื่องบดอาหาร
6. ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.25 ไมครอน เพื่อให้ตัวอย่างแต่ละตัวมีขนาดเท่ากัน

การเตรียมตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC

<u>การสกัด</u>

1. ชั่งตัวอย่างข้าว 0.25 กรัมใส่หลอดทดลอง

2. เติมน้ำ 1.8 มิลลิลิตร เขย่าที่อุณหภูมิห้องความเร็ว 300 rpm เป็นเวลา 1 ชั่วโมงครึ่ง
3. เติม 3% sulfosalicylic acid ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 4,500 rpm เป็นเวลา 10 นาที
4. ปิเปตส่วนใสออกมา(ประมาณ 1 มิลลิลิตร) เก็บไว้ในหลอด eppendorf รอนำไปทำการทดลองต่อ

<u>การทำอนุพันธุ์</u>

1. นำตัวอย่างที่ได้จากการสกัด(ส่วนใส) ปิเปตมา 50 ไมโครลิตร
2. เติมสาร 100 mM $NaHCO_3$ ปริมาตร 50 ไมโครลิตร
3. เติม 4 mM 4-dimethylaminoazobenzene-4-sulfonyl chloride ใน Acetonitrile ปริมาตร 200 ไมโครลิตร
4. ผสมให้เข้ากัน นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส 10 นาที
5. เติม Ethanol (HPLC grade) ปริมาตร 250 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากัน
6. เติม 25 mM PO_4 buffer pH 6.8 ปริมาตร 250 ไมโครลิตร
7. ผสมให้เข้ากัน ปั่นเหวี่ยงที่ 4500 rpm เป็นเวลา 10 นาที กรองโดยใช้ตัวกรอง NYLON 0.45 μm ใส่ขวด vial สำหรับเตรียมนำไปวิเคราะห์ HPLC

<u>การเตรียมอนุพันธุ์ Blank</u>

1. ใช้สาร 0.3% sulfosalicylic acid และ สารมาตรฐานใช้สาร4-Aminobutyric acid (GABA) แทนตัวอย่าง จากนั้นเตรียมแบบเดียวกับขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง

การเตรียมสาร mobile phase สำหรับวิเคราะห์ HPLC

1. การเตรียม 25 mM Sodium acetate pH 6.8

   เตรียมโดย ชั่งสาร Sodium acetate 3.4007 กรัมเติมน้ำ (water HPLC) ปรับ pH ด้วย acetic acid เข้มข้น ให้มีค่า pH 6.8 จากนั้นเติม Tetrahydrofuran 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 1ลิตร และกรอง

2. Mobile phase

   ใช้ 25 mM Sodium acetate pH 6.8 และ Acetonitrile ในอัตราส่วน 65 : 35 อัตราการไหล 0.5 มิลลิลิตรต่อนาที วิเคราะห์ที่ค่าความยาวคลื่น 465 นาโนเมตร

3. Column

   คอลัมน์ที่ใช้คือ SUPERCOSIL ™ LC – DABS ฉีดตัวอย่างปริมาตร 5 ไมโครลิตร

ภาคผนวก ง

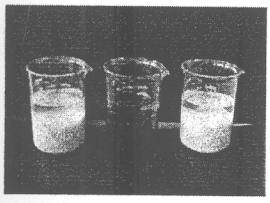
สรุปขั้นตอนการเพาะข้าวกล้องแต่ละวิธี

วิธีที่ 1

เพาะโดยการแช่ในสารละลาย

↓

แช่ในสารละลายบัฟเฟอร์



แช่เป็นเวลา 12, 24,36,48,72 ชม

วิธีที่ 2

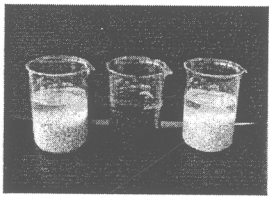
เพาะในภาชนะเปิด

วิธีที่ 3

เพาะในภาชนะปิด

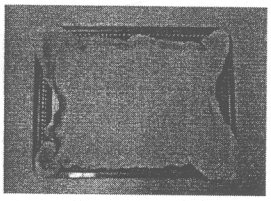
↓

แช่ในสารละลายบัฟเฟอร์

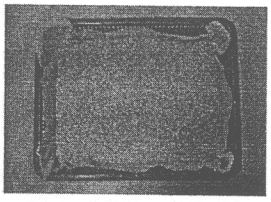


แช่ 5 ชั่วโมง

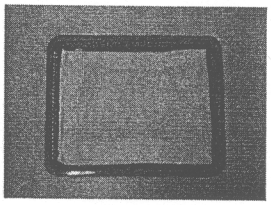
เพาะในตะกร้า



บุด้วยผ้าขาวบาง



กระจายข้าวให้ทั่วตะกร้า

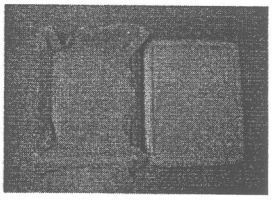


ปิดทับด้วยผ้าขาวบางเพาะเป็น

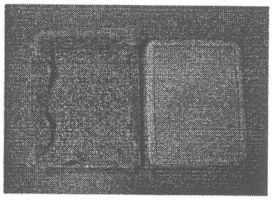
เวลา 12, 24,36,48,72 ชม

↓

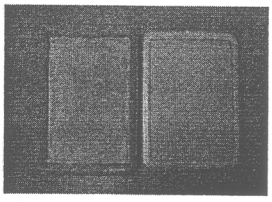
เพาะในกล่อง



บุด้วยผ้าขาวบาง

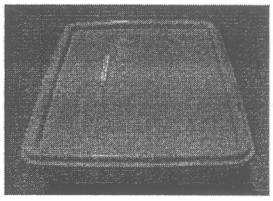


กระจายข้าวให้ทั่ว



ปิดทับด้วยผ้าขาวบาง

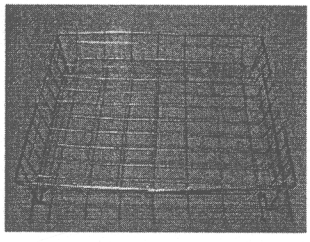
↓

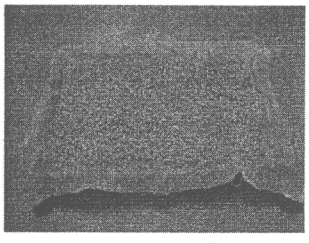


ปิดผ้าให้สนิท

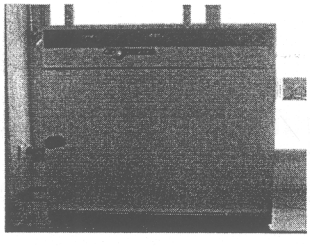
เพาะเป็นเวลา 12, 24, 36, 48, 72 ชม

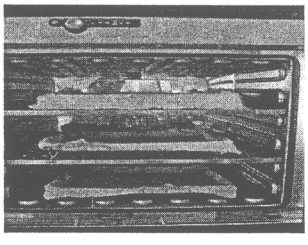
การอบแห้ง





กระจายข้าวกล้องงอกในตะแกรง





อบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

นาน 3-4 ชั่วโมง

ข้าวกล้องงอก

ภาคผนวก จ

การเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์ที่ใช้ในการแช่ตัวอย่างข้าวกล้องงอก

1. การเตรียมสารละลาย pH 2.0

ใช้วิธีการเตรียมของ Clark and Lubs solution (pH 1.0-2.2)

ขั้นตอนการเตรียม

1. เตรียมสารละลาย 0.2 M KCl

   ชั่งสาร KCl 14.919 กรัม ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 1 ลิตร

2. เตรียมสารละลาย 0.2 M HCl
3. เตรียมสารละลาย pH 2.0

   ปิเปตสารละลาย 0.2 M KCl ปริมาตร 250 ml ลงในขวดปรับปริมาตร ทำการเติมสารละลาย 0.2 M HCl ปริมาตร 65 มิลลิลิตร
4. วัดค่า pH จะได้ pH = 2.0

2. การเตรียมสารละลาย pH 2.5

ใช้วิธีการเตรียมของ Glycine-HCl buffer solution (pH 2.2-3.6)

ขั้นตอนการเตรียม

1. เตรียมสารละลาย 0.2 M Glycine

   ชั่งสาร Glycine ($C_2H_2NO_3$) 15.01 กรัม ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 1 ลิตร
2. เตรียมสารละลาย 0.2 M HCl
3. เตรียมสารละลาย pH 2.5

   ปิเปตสารละลาย 0.2 M KCl ปริมาตร 250 ml ลงในขวดปรับปริมาตร ทำการเติมสารละลาย 0.2 M HCl ปริมาตร 36 มิลลิลิตร
4. วัดค่า pH จะได้ pH = 2.5

3. การเตรียมสารละลาย pH 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5, 6.0

ใช้วิธีการเตรียมของ Citric acid-Na_2HPO_4 buffer solution (pH 2.2-3.6)

ขั้นตอนการเตรียม

1. เตรียมสารละลาย 0.1 M Citric acid monohydrate ($C_6H_8O_7 . H_2O$, 210.14 g/mol)

2. เตรียมสารละลาย 0.2 M Na_2HPO_4 (Na_2HPO_4 .2 H_2O , 178.05 g/mol)

3. เตรียม pH โดยใช้สารละลาย X (ข้อ 1) และสารละลาย Y (ข้อ 2)

pH	X = 0.1 M Citric (ml)	Y = 0.2 M Na_2HPO_4 (ml)
3.0	794.5	205.5
3.5	696.5	303.5
4.0	614.5	385.5
4.5	545.7	454.3
5.0	485.0	515.0
5.5	431.2	568.8
6.0	368.5	631.5

** คิดปริมาตรรวม 1000 ml

ภาคผนวก ฉ

การศึกษาการส่งผ่านความร้อนในผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูป

1. ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องสำเร็จรูปบรรจุถุงรีทอร์ทเพาซ์

การศึกษาการส่งผ่านความร้อนในผลิตภัณฑ์ข้าวงอกบรรจุถุงเพื่อกำหนดกระบวนการฆ่าเชื้อ ทำการศึกษาในหม้อฆ่าเชื้อความดันสูง ขนาด 1 ตะกร้า ผลการศึกษาแสดงดังตารางต่อไปนี้

ขนาดบรรจุภัณฑ์	ผลิตภัณฑ์	กระบวนการ	ค่า F_o
140x60 (mm)	ข้าวกล้องงอกบรรจุถุง	118 °C / 15 นาที	3.25 (F)

Note: - การหุงข้าวงอก ข้าวงอก: น้ำ เท่ากับ 1: 0.5 และ 1: 0.75

- ความชื้นของข้าวงอกสุก 48.14 – 53.71 %

F = Formula Method.

ผลทดสอบทางการฆ่าเชื้อ (Sterility Test)

ขนาดบรรจุภัณฑ์	ผลิตภัณฑ์	ผลการตรวจสอบ
140x60 (mm)	ข้าวกล้องงอกบรรจุถุง	ไม่พบการเจริญของเชื้อ

(ตามรายละเอียดในเอกสารแนบ)

AGRO-INDUSTRY DEVELOPMENT CENTER FOR EXPORT (ADCET)
FACULTY OF AGRO-INDUSTRY, PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY
HAT YAI, SONGKHLA, 90112, THAILAND
Tel: 66-74-286391, 286310 Fax: 66-74-213008, 558866
e-mail : adcet.psu@hotmail.com website : adcet.psu.ac.th

รายงานผลทดสอบ

เลขที่ใบขอรับบริการ 0412/53 **เลขที่ใบรายงานผลทดสอบ** MI0127/2010

วันที่รับตัวอย่าง 21 กันยายน 2553

ชื่อผู้ขอรับบริการ โครงการโภชนาการข้าวงอก (รศ.ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก)

ที่อยู่ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ต.คอหงส์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา

ชื่อ / ชนิดของตัวอย่าง : ข้าวงอก

รายงานผลทดสอบ :

ชื่อ/รหัสตัวอย่าง	รายการทดสอบ	วิธีทดสอบ	ผลทดสอบ (หน่วย)
1. ข้าวงอก	Aerobe 35°C	BAM 2001	Negative
pH = 3.5	Anaerobe 35°C	BAM 2001	Negative
อากาศภายในถุง = 10.5 ml	Aerobe 55°C	BAM 2001	Negative
	Anaerobe 55°C	BAM 2001	Negative
	Total Coliform จากการบ่ม 35 °C	BAM 2002	< 3 MPN/g
	จากการบ่ม 55 °C	BAM 2002	< 3 MPN/g
	Yeast & Mold count จากการบ่ม 35 °C	BAM 2001	< 10 CFU/g
	Yeast & Mold count จากการบ่ม 55 °C	BAM 2001	< 10 CFU/g

- รายงานนี้รับรองผลเฉพาะตัวอย่างที่ตรวจวิเคราะห์/ทดสอบเท่านั้น
- ห้ามคัดถ่ายรายงานผลแต่เพียงบางส่วน โดยไม่ได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษร

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพิชญา จันทะชุม)
ผู้บริหารวิชาการ
ห้องปฏิบัติการทดสอบทางจุลชีววิทยา

รายงานผลการทดสอบตามหนังสือเลขที่ ADCET/0756/2553 ลงวันที่ 8 เดือนตุลาคม พ.ศ 2553

2. ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง

Heat penetration a study on rice product was conducted at steam-still retort (I-crate) t 0 establishes the schedule process. The results of study are shown as following.

Can size	Product	Process	ค่า F_0
307 x 113 (2-pcs)	Germinated Brown Rice	118 °C / 45 นาที	4.4 (F)

Note: - Cooked rice was consisted of rice: water 1: 1.25 (35.09 % moisture), 1: 1.50 (40.92 % moisture), 1: 1.75 (44.18 % moisture)

- 1: 1.25 (35.09 % moisture) was the worst in heat penetration study.

- F = Formula Method.

ผลทดสอบทางการฆ่าเชื้อ (Sterility Test)

ตามรายละเอียดในเอกสารแนบ

AGRO-INDUSTRY DEVELOPMENT CENTER FOR EXPORT (ADCET)

FACULTY OF AGRO-INDUSTRY, PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY
HAT YAI, SONGKHLA, 90112, THAILAND
Tel: 66-74-286391, 286310 Fax: 66-74-213008 e-mail : adcet.psu@hotmail.com

รายงานผลทดสอบ

เลขที่ใบขอรับบริการ 0650/53 **เลขที่ใบรายงานผลทดสอบ** MI0004/2011
วันที่รับตัวอย่าง 28 ธันวาคม 2553
ชื่อผู้ขอรับบริการ โครงการโภชนาการข้าวงอก (อ.ไพบูลย์)
ที่อยู่ ศูนย์พัฒนาอุตสาหกรรมเกษตรเพื่อการส่งออก คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ชื่อ / ชนิดของตัวอย่าง : ข้าวกล้องงอกบรรจุกระป๋อง

รายงานผลทดสอบ :

ชื่อ/รหัสตัวอย่าง	รายการทดสอบ	วิธีทดสอบ	ผลทดสอบ (หน่วย)
1.ข้าวกล้องงอกบรรจุกระป๋อง Vac (inHg) = 3.7 HS (mm) = 7.7 pH = 3.87	Aerobe 35°C	BAM 2001	Negative
	Anaerobe 35°C	BAM 2001	Negative
	Aerobe 55°C	BAM 2001	Negative
	Anaerobe 55°C	BAM 2001	Negative
	Total Coliform จากการบ่ม 35 °C	BAM 2002	< 3 MPN/g
	จากการบ่ม 55 °C	BAM 2002	< 3 MPN/g
	Yeast & Mold count จากการบ่ม 35 °C	BAM 2001	< 10 CFU/g
	จากการบ่ม 55 °C	BAM 2001	< 10 CFU/g
	Total viable count จากการบ่ม 35 °C	BAM 2001	< 10 CFU/g
	จากการบ่ม 55 °C	BAM 2001	< 10 CFU/g

- รายงานนี้รับรองผลเฉพาะตัวอย่างที่ตรวจวิเคราะห์/ทดสอบเท่านั้น
- ห้ามคัดถ่ายรายงานผลแต่เพียงบางส่วน โดยไม่ได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษร

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ดร.[illegible] ณีรัตน์)
ผู้ช่วยผู้อำนวยการวิชาการ
ห้องปฏิบัติการทดสอบทางจุลชีววิทยา

รายงานผลการทดสอบตามหนังสือเลขที่ ADCET/0050/2554 ลงวันที่ 25 เดือนมกราคม พ.ศ 2554

ตัวอย่างแบบสอบถาม: การพัฒนาผลิตภัณฑ์จากข้าวกล้องงอกเพื่อเป็นอาหารสำหรับผู้สูงอายุ

คำชี้แจง แบบสอบถามนี้เป็นส่วนหนึ่งของการวิจัยเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารสำหรับผู้สูงอายุโดยใช้ข้าวกล้องงอกเป็นส่วนประกอบหลัก ทุกคำตอบจะเป็นประโยชน์ในการปรับปรุงพัฒนาผลิตภัณฑ์ต่อไป ขอขอบพระคุณที่ให้ความร่วมมือ

คำอธิบาย ***ข้าวกล้องงอก คือ*** ข้าวกล้องที่ผ่านกระบวนการทำให้งอกโดยการนำเมล็ดข้าวกล้องไปแช่น้ำทิ้งไว้จนเกิดการงอก ซึ่งในข้าวกล้องงอกจะมีสารที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายหลายชนิด โดยเฉพาะสาร GABA (Gamma-aminobutyric acid) ที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นมากกว่าเดิมเมื่อทำเป็นข้าวกล้องงอก ซึ่งสารนี้เป็นสื่อประสาทที่ช่วยรักษาสมดุลในสมองป้องกันการทำลายสมอง ทำให้สมองผ่อนคลาย ป้องกันการเกิดอัลไซเมอร์ ลดความดันโลหิต ลดน้ำหนัก ช่วยให้สุขภาพผิวพรรณดี

กรุณาใส่เครื่องหมาย ✓ ใน ( ) หน้าข้อที่ท่านเลือก

สำหรับผู้เก็บข้อมูล

ส่วนที่ 1: ข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมการบริโภค

1. ท่านรู้จักข้าวกล้องงอกหรือไม่

( ) รู้จัก ☐

( ) ไม่รู้จัก

( ) ไม่แน่ใจ

2. ท่านเคยรับประทานผลิตภัณฑ์อาหารที่มีข้าวกล้องงอกเป็นส่วนประกอบหรือไม่

( ) เคย [กรุณาไปทำต่อข้อ 3] ☐

( ) ไม่เคย [กรุณาทำไปต่อข้อ 6]

3. ผลิตภัณฑ์อาหารที่มีข้าวกล้องงอกเป็นส่วนประกอบที่ท่านเคยรับประทานคือผลิตภัณฑ์ประเภทใด **(เลือกตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)**

( ) ข้าวต้ม / โจ๊กสำเร็จรูปหรือกึ่งสำเร็จรูป ☐

( ) เครื่องดื่มแบบชงดื่ม ☐

( ) เครื่องดื่มแบบที่บรรจุขวด/ กล่อง/ กระป๋อง ☐

( ) ข้าวกล้องงอกหุงสุก ☐

( ) ซุปสำเร็จรูปหรือกึ่งสำเร็จรูป ☐

( ) อาหารเช้าธัญพืช ☐

( ) ขนมหวาน เช่น ไอศกรีม เค้ก ขนมหวานไทยๆ ☐

( ) อาหารขบเคี้ยว ☐

( ) ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่

( ) ผลิตภัณฑ์เส้นและแผ่น เช่น เส้นก๋วยเตี๋ยวขนาดต่างๆ ขนมจีน เกี๊ยมอี๋ แป้งแผ่น

( ) อื่นๆ โปรดระบุ.....

4. ความถี่ในการบริโภคผลิตภัณฑ์อาหารที่มีข้าวกล้องงอกเป็นส่วนประกอบ

( ) 1 – 2 ครั้ง / สัปดาห์

( ) มากกว่า 3 – 7 / สัปดาห์

( ) 1 – 3 ครั้ง / เดือน

( ) น้อยกว่า 1 ครั้ง / เดือน

สำหรับผู้เก็บข้อมูล

☐

5. สาเหตุสำคัญที่ทำให้ท่านเลือกรับประทานผลิตภัณฑ์อาหารที่มีข้าวกล้องงอกเป็นส่วนประกอบ คือข้อใด **(กรุณาเลือกตอบ 2 อันดับแรก โดย 1 คือ สำคัญมากที่สุด และ 2 คือ สำคัญเป็น อันดับสอง)**

( ) รสชาติดี/ ผลิตภัณฑ์น่าสนใจ ( ) เพื่อความงาม ☐

( ) เพื่อรักษาโรค ( ) เพื่อชะลอความแก่ ☐

( ) เพื่อป้องกันโรค / เพื่อสุขภาพที่แข็งแรงสมบูรณ์ ( ) อื่นๆ โปรดระบุ.....

6. สาเหตุสำคัญที่ทำให้ท่าน**ไม่เคยรับประทานหรือเลิกรับประทาน**อาหารที่มีข้าวกล้องงอกเป็นส่วนประกอบ คือข้อใด **เลือกตอบเพียง 1 ข้อ (หากไม่เลิกรับประทานให้ข้ามไปตอบข้อต่อไป)**

( ) ผลิตภัณฑ์ไม่มีความหลากหลาย ( ) เบื่อ

( ) รับประทานแล้วไม่รู้สึกดีขึ้น ( ) กลัวรสชาติไม่ดี

( ) ไม่คุ้มค่ากับราคาของผลิตภัณฑ์ ( ) ไม่เชื่อว่าให้ผลดีจริงตามคำกล่าวอ้าง ☐

( ) ผลิตภัณฑ์อยู่ในรูปแบบที่ไม่สะดวกในการรับประทาน

( ) ไม่กล้าลอง

( ) สีสัน/ รูปแบบภาชนะบรรจุของผลิตภัณฑ์ไม่ดึงดูด

( ) อื่น ๆ โปรดระบุ .....

(มีต่อด้านหลัง)

ส่วนที่ 2: ข้อมูลในการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากข้าวกล้องงอก

สำหรับผู้เก็บข้อมูล

หากมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่โดยใช้ข้าวกล้องงอกเป็นส่วนประกอบหลัก ให้ท่านแสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ดังต่อไปนี้

7. หากมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารโดยใช้ข้าวกล้องงอกเป็นส่วนประกอบหลัก ท่านคิดว่าควรปรับปรุงด้านใด ***(กรุณาเลือกตอบ 2 อันดับแรก โดย 1 คือ สำคัญมากที่สุด และ 2 คือ สำคัญเป็นอันดับสอง)***

( ) คุณค่าทางโภชนาการที่เหมาะสมกับผู้สูงอายุ
( ) รสชาติให้มีความอร่อย แปลกใหม่และหลากหลาย
( ) เนื้อสัมผัสให้เหมาะสำหรับผู้สูงอายุ
( ) สีสัน/ รูปแบบภาชนะบรรจุของผลิตภัณฑ์ที่ดึงดูด
( ) ผลิตภัณฑ์อยู่ในรูปแบบสามารถใช้รับประทานได้ง่าย
( ) อายุการเก็บที่เหมาะสม
( ) อื่นๆ โปรดระบุ.....

8. ถ้าต้องการปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการ ท่านต้องการให้เพิ่มหรือลดสารอาหารชนิดใดร่วมกับการใช้ข้าวกล้องงอก ***(เลือกตอบเพียงข้อเดียว)***

( ) เสริม DHA (กรดไขมันที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาสมองและระบบสายตา ได้จากน้ำมันสกัดจากผลิตภัณฑ์ทางทะเล)
( ) เสริมโปรไบโอติก (จุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ เช่นเดียวกับโยเกิร์ต)
( ) เสริมใยอาหาร/ พรีไบโอติก
( ) เสริมวิตามินต่าง ๆ
( ) เสริมเกลือแร่ เช่น แคลเซียม
( ) ลดไขมัน
( ) ลดค่าพลังงาน เช่น ลดน้ำตาล
( ) เสริมสารต้านอนุมูลอิสระ
( ) อื่น ๆ โปรดระบุ .....

สำหรับผู้เก็บข้อมูล

9. หากจะมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์โดยใช้ข้าวกล้องงอกเป็นส่วนประกอบ ท่านสนใจพัฒนาผลิตภัณฑ์ใดมากที่สุด ***(เลือกตอบ 2 อันดับแรก โดย 1 คือ สนใจมากที่สุด และ 2 คือ สนใจเป็นอันดับสอง)***

( ) ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูป/ กึ่งสำเร็จรูป [กรุณาไปทำต่อข้อ 10]

( ) ข้าวต้ม/ โจ๊ก [กรุณาไปทำต่อข้อ 13] ☐

( ) ผลิตภัณฑ์เส้นและแผ่น [กรุณาไปทำต่อข้อ 16] ☐

( ) อาหารเช้าจากธัญพืช [กรุณาไปทำต่อข้อ 17]

( ) ซุปข้น [กรุณาไปทำต่อข้อ 20]

( ) ผง/เกร็ดข้าวกล้องงอกสำหรับเติมในอาหารหรือเครื่องดื่ม [กรุณาไปทำต่อข้อ 22]

( ) ขนมหวานไทย [กรุณาไปทำต่อข้อ 23]

( ) ขนมขบเคี้ยว [กรุณาไปทำต่อข้อ 25]

( ) ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ [กรุณาไปทำต่อข้อ 26]

( ) อื่น ๆโปรดระบุ.....

ข้อ 10 -12 สำหรับท่านที่เลือกตอบข้าวกล้องงอกสำเร็จรูป/ กึ่งสำเร็จรูป

10. ท่านคิดว่าผลิตภัณฑ์จากข้าวกล้องงอกควรมีรูปแบบลักษณะอย่างไร

( ) ข้าวสวยพร้อมรับประทาน

( ) ข้าวกึ่งสำเร็จรูป (ผู้บริโภคจะต้องเตรียมเอง เช่น เติมน้ำร้อนจึงจะรับประทานได้) ☐

( ) ข้าวผัด

( ) อื่นๆ โปรดระบุ.....

11. ท่านคิดว่าข้าวกล้องงอกสำเร็จรูป/ กึ่งสำเร็จรูปควรมีส่วนผสมของวัตถุดิบอื่นๆ อีกหรือไม่

( ) ควรมี

( ) ไม่ควรมี[กรุณากลับไปที่ข้อ 9] ☐

12. ท่านคิดว่าวัตถุดิบที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นส่วนผสมในข้าวกล้องงอกสำเร็จรูป/ กึ่งสำเร็จรูป *(กรุณาเรียงลำดับ 1 –3 โดย 1 คือ ชอบมากที่สุด, 2 คือ ชอบเป็นอันดับที่สอง และ3 คือ ชอบเป็นอันดับที่สาม)*

สำหรับผู้เก็บข้อมูล

( ) ข้าวสาร/ ข้าวกล้อง
( ) ข้าวโพด
( ) ข้าวบาร์เล่ย์
( ) ข้าวฟ่าง

( ) เนื้อปลา
( ) โปรตีนเกษตร
( ) เต้าหู้
( ) เนื้อวัว
( ) ปลาหมึก
( ) กุ้ง

( ) ต้นหอม / ผักชี
( ) คะน้า
( ) ผักโขม
( ) บล็อคโคลี่
( ) ขิง
( ) เห็ดหอม
( ) สาหร่าย
( ) ผักกาดขาว
( ) ผักหวาน
( ) ข้าวโพดอ่อน

( ) ถั่วเขียว
( ) ถั่วเหลือง
( ) มันฝรั่ง
( ) เมล็ดอัลมอล
( ) เมล็ดเกาลัด
( ) เมล็ดแปะก๊วย
( ) เผือก
( ) มันเทศ
( ) อื่นๆ .....

[กรุณากลับไปที่ข้อ 9]

ข้อ 13-15 สำหรับท่านที่เลือกตอบข้าวตัม/ โจ๊ก

13. ท่านคิดว่าข้าวต้ม/ โจ๊ก ที่ทำมาจากข้าวกล้องงอก ควรมีรูปแบบลักษณะอย่างไร

( ) โจ๊กสำเร็จรูป
( ) โจ๊กกึ่งสำเร็จรูป
( ) ข้าวต้มสำเร็จรูป
( ) ข้าวต้มกึ่งสำเร็จรูป

14. ท่านคิดว่าข้าวต้ม/ โจ๊ก ที่ทำมาจากข้าวกล้องงอกควรมีส่วนผสมอื่นๆด้วยหรือไม่

( ) ควรมี
( ) ไม่ควรมี [กรุณากลับไปที่ข้อ 9]

15. ท่านคิดว่าวัตถุดิบที่เหมาะสมที่นำมาใช้เป็นส่วนผสมในข้าวต้ม/ โจ๊ก ***(กรุณาเรียงลำดับ 1 – 3 โดย 1 คือ ชอบมากที่สุด, 2 คือ ชอบเป็นอันดับที่สอง และ3 คือชอบเป็นอันดับที่สาม)***

( ) งาดำ/งาขาว	( ) ไข่	( ) แครอท	( ) ถั่วลันเตา
( ) ลูกเดือย	( ) เนื้อหมู	( ) ฟักทอง	( ) ถั่วแดง
( ) ข้าวโอ๊ต	( ) เนื้อไก่	( ) ตำลึง	( ) เม็ดบัว
( ) ข้าวสาร/ ข้าวกล้อง	( ) เนื้อปลา	( ) ต้นหอม / ผักชี	( ) ถั่วเขียว
( ) ข้าวโพด	( ) โปรตีนเกษตร	( ) คะน้า	( ) ถั่วเหลือง
( ) ข้าวบาร์เล่ย์	( ) เต้าหู้	( ) ผักโขม	( ) มันฝรั่ง
	( ) เนื้อวัว	( ) บล็อคโคลี่	( ) เมล็ดอัลมอล
	( ) ปลาหมึก	( ) ขิง	( ) เมล็ดเกาลัด
		( ) เห็ดหอม	( ) เมล็ดแปะก๊วย
		( ) สาหร่าย	

สำหรับผู้เก็บข้อมูล

☐

☐

☐

[กรุณากลับไปที่ข้อ 9]

ข้อ 16 สำหรับท่านที่เลือกตอบผลิตภัณฑ์เส้นและแผ่น

16. ผลิตภัณฑ์เส้นและแผ่นชนิดใดที่ท่านคิดว่าควรเสริมข้าวกล้องงอกลงไปด้วย

(กรุณาเรียงลำดับ 1 – 2 โดย 1 คือ ชอบมากที่สุด และ 2 คือ ชอบเป็นอันดับที่สอง)

( ) เส้นก๋วยเตี๋ยว	( ) เส้นเล็ก/ เส้นจันทน์	( ) เส้นหมี่
( ) บะหมี่เหลือง/ บะหมี่หยก	( ) ขนมจีน	( ) เส้นก๋วยจั๊บ
( ) เกี่ยมอี่	( ) แป้งแผ่น	( ) อื่นๆ โปรดระบุ.....

☐

☐

[กรุณากลับไปที่ข้อ 9]

ข้อ 17-19 สำหรับท่านที่เลือกตอบอาหารเช้าจากธัญพืช

สำหรับผู้เก็บข้อมูล

17. ท่านคิดว่าในกล่องของอาหารเช้าจากธัญพืชที่มีข้าวกล้องงอกเป็นส่วนประกอบควรผสมวัตถุดิบอื่นๆด้วยหรือไม่

( ) ควรมี ( ) ไม่ควรมี [กรุณาไปทำต่อข้อ 19] ☐

18. วัตถุดิบที่ท่านเห็นว่าควรมีในซอง/ ถุงของอาหารเช้าจากธัญพืชที่มีข้าวกล้องงอกเป็นส่วนประกอบ ***(กรุณาเรียงลำดับ 1 – 3 โดย 1 คือ ชอบมากที่สุด, 2 คือ ชอบเป็นอันดับที่สองและ 3 คือชอบเป็นอันดับที่สาม)***

( ) งาดำ/งาขาว	( ) มะละกอ	( ) ถั่วลันเตาอบกรอบ	
( ) ลูกเดือย	( ) สับปะรด	( ) ถั่วแดง	☐
( ) ข้าวโอ๊ต	( ) เนื้อมะพร้าว	( ) เม็ดบัว	☐
( ) เมล็ดทานตะวันอบแห้ง	( ) สตรอเบอรี่	( ) ถั่วเขียว	☐
( ) ข้าวโพด	( ) กีวี่	( ) ถั่วเหลือง	
( ) ข้าวบาร์เล่ย์	( ) ลูกเกด	( ) มันฝรั่ง	
( ) ข้าวฟ่าง	( ) ลูกตาล	( ) เมล็ดอัลมอลด์	
( ) จมูกข้าวสาลี	( ) แอปเปิ้ล	( ) เมล็ดเกาลัด	
		( ) เมล็ดแปะก๊วย	
		( ) เผือก	

19. ผลิตภัณฑ์อาหารเช้าจากธัญพืชที่มีข้าวกล้องงอกเป็นส่วนประกอบควรมีรสชาติใด **(เลือกตอบเพียง 1 ข้อ)**

( ) ไม่แต่งกลิ่นรส ( ) ช็อกโกแล็ต ( ) วานิลลา

( ) กาแฟ ( ) ประเภทถั่ว ( ) รสน้ำผึ้ง ☐

( ) ผลไม้จำพวกเบอร์รี่ เช่น สตอร์เบอร์รี่, เชอรี่, บลูเบอร์รี่, แกรนเบอร์รี่

( ) ผลไม้อื่นๆ เช่น พีช, แอปเปิ้ล, กีวี, กล้วย, มะม่วง, ส้ม, สับปะรด

( ) อื่นๆ โปรดระบุ .....

[กรุณากลับไปที่ข้อ 9]

ข้อ 20-21 สำหรับท่านที่เลือกตอบซุปข้น

สำหรับผู้เก็บข้อมูล

20. ท่านคิดว่าซุปข้นจากข้าวกล้องงอกควรมีส่วนผสมของวัตถุดิบอื่นๆ อีกหรือไม่

( ) ควรมี ( ) ไม่ควรมี[กรุณากลับไปที่ข้อ 9] ☐

21. ท่านคิดว่าวัตถุดิบที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นส่วนผสมในซุปข้น

(กรุณาเรียงลำดับ 1 – 3 โดย 1 คือ ชอบมากที่สุด, 2 คือ ชอบเป็นอันดับที่สองและ 3 คือชอบเป็นอันดับที่สาม)

( ) งาดำ/งาขาว	( ) ไข่	( ) แครอท	( ) ถั่วลันเตา
( ) ลูกเดือย	( ) เนื้อหมู/ไก่	( ) ฟักทอง	( ) ถั่วแดง ☐
( ) ข้าวโอ๊ต	( ) เนื้อวัว	( ) ตำลึง	( ) เม็ดบัว ☐
( ) ข้าวสาร/ ข้าวกล้อง	( ) อาหารทะเล	( ) ต้นหอม /ผักชี	( ) ถั่วเขียว ☐
( ) ข้าวโพด	( ) โปรตีนเกษตร	( ) คะน้า	( ) ถั่วเหลือง
( ) ข้าวบาร์เล่ย์	( ) เต้าหู้	( ) ผักโขม	( ) มันฝรั่ง
( ) ข้าวฟ่าง		( ) บล็อคโคลี่	( ) เมล็ดอัลมอลต์
( ) จมูกข้าวสาลี		( ) ขิง	( ) เมล็ดเกาลัด
		( ) เห็ด	( ) เมล็ดแปะก๊วย
		( ) สาหร่าย	( ) เผือก

[กรุณากลับไปที่ข้อ 9]

ข้อ 22 สำหรับท่านที่เลือกผง/เกร็ดข้าวกล้องงอกสำหรับเติมในอาหารหรือเครื่องดื่ม

22. ท่านคิดว่าผลิตภัณฑ์ผง/เกร็ดข้าวกล้องงอกสำหรับเติมในอาหารหรือเครื่องดื่มควรมีรสชาติแบบใด **(เลือกตอบเพียง 1 ข้อ)**

( ) ไม่แต่งกลิ่นรส	( ) ช็อกโกแล็ต	( ) วานิลลา	☐
( ) กาแฟ	( ) ประเภทถั่ว	( ) รสน้ำผึ้ง	

( ) ผลไม้จำพวกเบอร์รี่ เช่น สตอร์เบอร์รี่, เชอรี่, บลูเบอร์รี่, แกรนเบอร์รี่

( ) ผลไม้อื่นๆ เช่น พีช, แอปเปิ้ล, กีวี, กล้วย, มะม่วง, ส้ม, สับปะรด

( ) อื่นๆ โปรดระบุ .....

[กรุณากลับไปที่ข้อ 9]

ข้อ 23-24 สำหรับท่านที่เลือกตอบขนมไทย

23. ท่านคิดว่ารูปแบบของขนมไทยที่มีข้าวกล้องงอกเป็นส่วนประกอบควรมีลักษณะแบบใด

( ) ขนมสำเร็จรูปพร้อมบริโภค

( ) แป้งผสมสำเร็จรูป (ผู้บริโภคจะต้องนำไปเตรียมเอง)

24. ขนมไทยชนิดใดที่ท่านคิดว่าควรนำข้าวกล้องงอกมาใช้เป็นส่วนประกอบ **(กรุณาเรียงลำดับ 1 – 3 โดย 1 คือ ชอบมากที่สุด, 2 คือ ชอบเป็นอันดับที่สองและ 3 คือชอบเป็นอันดับที่สาม)**

( ) ขนมถ้วยฟู	( ) ข้าวหมาก	( ) ขนมตาล
( ) ลอดช่อง	( ) ขนมถังแตก	( ) ขนมขี้หนู
( ) ขนมน้ำดอกไม้	( ) ขนมสาลี่	( ) ขนมชั้น
( ) ขนมครก	( ) ขนมกลีบลำดวน	( ) ขนมปุยฝ้าย
( ) ขนมรังผึ้ง	( ) ขนมถ้วย	( ) ขนมเปียกปูน
( ) ขนมกล้วย/ ขนมฟักทอง	( ) อื่นๆ โปรดระบุ.....	

[กรุณากลับไปที่ข้อ 9]

ข้อ 25 สำหรับท่านที่เลือกตอบขนมขบเคี้ยว

25. ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทใดที่ท่านคิดว่าควรใช้ข้าวกล้องงอกเป็นส่วนประกอบ **(กรุณาเรียงลำดับ 1 – 3 โดย 1 คือ ชอบมากที่สุด, 2 คือ ชอบเป็นอันดับที่สองและ 3 คือชอบเป็นอันดับที่สาม)**

( ) ข้าวเกรียบกุ้ง / ปลา	( ) สเนคบาร์
( ) แป้งข้าวโพดอบกรอบ เช่น คอนเน่	( ) ข้าวตัง
( ) ขนมแป้งข้าวอบกรอบ เช่น ชินมัย โดโซะ	( ) ข้าวเกรียบงา
( ) ขนมดอกจอก	( ) ทองม้วน/ ทองพับ
( ) ขนมอบกรอบ เช่น ป๊อกกี้, เวเฟอร์, บิสกิต, แครกเกอร์	( ) ข้าวแต๋น/ นางเล็ด

สำหรับผู้เก็บข้อมูล

( ) ครองแครง ( ) ปั้นสิบ

( ) อื่น ๆ โปรดระบุ .....

สำหรับผู้เก็บข้อมูล

[กรุณากลับไปที่ข้อ 9]

ข้อ 26-27 สำหรับท่านที่เลือกตอบผลิตภัณฑ์เบเกอรี่

26. ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ชนิดใดที่ท่านคิดว่าควรเสริมข้าวกล้องงอกลงไปด้วย

(กรุณาเรียงลำดับ 1 – 3 โดย 1 คือ ชอบมากที่สุด, 2 คือ ชอบเป็นอันดับที่สองและ 3 คือชอบเป็นอันดับที่สาม)

( ) เค้ก	( ) พาย	( ) ขนมปังปอนด์	☐
( ) แพนเค้ก	( ) คุกกี้	( ) ขนมปังกรอบ	☐
( ) โดนัท	( ) อื่น ๆ โปรดระบุ		☐

27. ท่านคิดว่ารูปแบบของผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ที่มีข้าวกล้องงอกเป็นส่วนประกอบควรมีลักษณะแบบใด

( ) สำเร็จรูปพร้อมบริโภค

( ) แป้งผสมสำเร็จรูป (ผู้บริโภคจะต้องนำไปเตรียมเอง) ☐

[กรุณากลับไปที่ข้อ 9]

ส่วนที่ 3: ข้อมูลส่วนตัวของผู้ตอบแบบสอบถาม

28. เพศ

( ) ชาย ( ) หญิง ☐

29. ศาสนา

( ) พุทธ ( ) คริสต์ ( ) อิสลาม ☐

( ) อื่น ๆ โปรดระบุ .....

30. อายุ

( ) 60-65 ปี ( ) 66-70 ปี

( ) 71-75 ปี ( ) 76-80 ปี ☐

( ) 80 ปีขึ้นไป

31. การศึกษา

สำหรับผู้เก็บข้อมูล

( ) ประถมศึกษา ( ) ปริญญาตรี

( ) ปวช./ ปวส./ มัธยมศึกษา ( ) สูงกว่าปริญญาตรี ☐

( ) อนุปริญญาหรือเทียบเท่า ( ) อื่น ๆ โปรดระบุ .....

32. รายได้ของ<u>ครอบครัวต่อเดือน</u>

สำหรับผู้เก็บข้อมูล

( ) น้อยกว่า 10,000 บาท ( ) 30,001 – 50,000 บาท

( ) 10,000 – 30,000 บาท ( ) มากกว่า 50,000 บาท ☐

33. จำนวนสมาชิกในครอบครัว (นับรวมตัวท่านด้วย)

( ) 1 คน ( ) 3 คน

( ) 2 คน ( ) 4 คนขึ้นไป ☐

34. ท่านมีประวัติเจ็บป่วยจากโรคต่างๆเหล่านี้หรือไม่ **(ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)**

( ) ไม่มี ( ) โรคเบาหวาน

( ) โรคไขมันในเลือดสูง ( ) โรคความดันโลหิตสูง ☐☐☐

( ) โรคหัวใจและหลอดเลือด ( ) โรคไต ☐☐☐

( ) โรคกระดูกและข้อ เช่น โรคเก๊าท์ โรคกระดูกพรุน ☐☐☐

( ) โรคที่เกี่ยวกับระบบทางเดินอาหาร เช่น ท้องอืด ท้องผูก ท้องเฟ้อ

( ) อื่นๆ โปรดระบุ.....

35. ท่านมีและใช้ฟันปลอมในการรับประทานอาหารหรือไม่

( ) ไม่มี

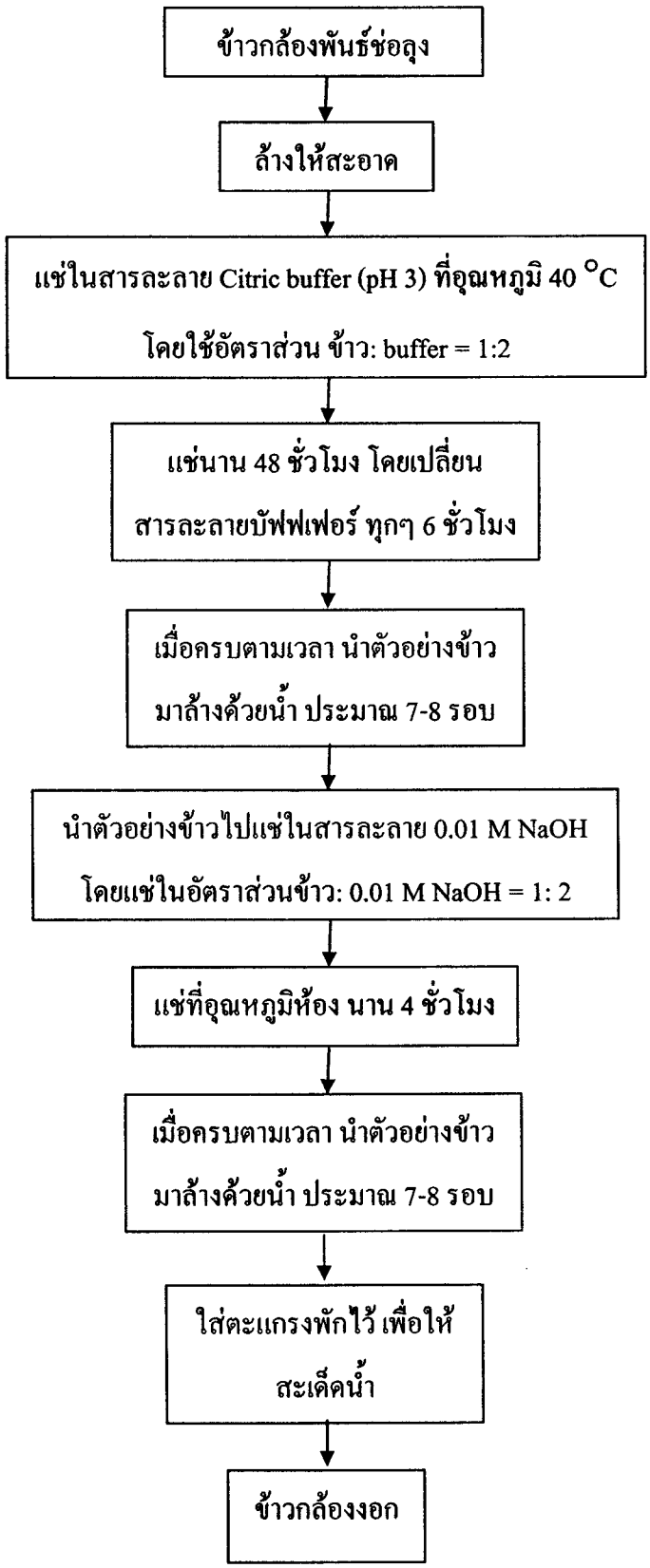
( ) มีและใช้ในการรับประทานอาหาร ☐

( ) มีแต่ไม่ใช้ในการรับประทานอาหาร โปรดระบุเหตุผล.....

.....

ภาคผนวก ซ

สรุปขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างข้าวกล้องงอกพันธุ์ช่อลุงเพื่อใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์



ภาคผนวก ฌ

แบบสอบถามทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูป

แบบทดสอบนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการ "การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารจากข้าวกล้องงอก" โดยผลิตภัณฑ์ที่นำมาทดสอบ คือ ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปบรรจุอยู่ในถุงที่สามารถฆ่าเชื้อได้ (retort pouch) ซึ่งท่านสามารถเปิดถุงและรับประทานข้าวได้ทันที หรือสามารถนำไปอุ่นให้ร้อนก่อนรับประทานโดยใช้ไมโครเวฟ

กรุณาทดสอบตัวอย่างจากซ้ายไปขวา (โปรดระบุรหัสตัวอย่างลงในแบบสอบถาม) และให้คะแนนตามระดับความชอบที่ท่านมีต่อผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่ 1-9 คะแนน (1 = ไม่ชอบมากที่สุด. 5 = เฉยๆ, 9 = ชอบมากที่สุด)

ลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ทดสอบ	รหัสตัวอย่าง			
- ลักษณะปรากฏ (ความแตกของเมล็ดข้าว/ความร่วน/การเกาะตัวกันของเมล็ดข้าว)				
- สี				
- กลิ่น				
- รสชาติ				
- ลักษณะเนื้อสัมผัส (ความเหนียว/ความแข็ง/การเกาะกลุ่มกันของเมล็ดข้าว)				
- ความชอบโดยรวมที่มีต่อตัวอย่าง				

ข้อเสนอแนะ _____

_____

_____

_____

ขอบคุณสำหรับความร่วมมือค่ะ

ภาคผนวก ญ-1

ใบชี้แจงข้อมูลและการแสดงความยินยอมเข้าร่วมการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกบรรจุกระป๋อง

ใบยินยอมการเป็นอาสาสมัคร

(Consent form)

ในระหว่างวันที่ 17-25 มีนาคม 2554 นี้ ท่านจะได้รับตัวอย่างข้าวกล้องงอกบรรจุกระป๋องเพื่อทดสอบชิมจำนวน 1 ตัวอย่าง โดยจะใช้เวลาในการทดสอบชิมคิดเป็นเวลาไม่เกิน 20 นาที โดยประมาณ ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกบรรจุกระป๋องที่ท่านได้ทดสอบชิมนั้นเป็นผลิตภัณฑ์ที่ทางผู้จัดการทดสอบได้ผลิตขึ้นเองอย่างถูกสุขลักษณะ ท่านสามารถสอบถามรายละเอียดของการวิจัยครั้งนี้ได้จาก นางสาววรพนิต จันทร์สุวรรณ์ ผู้วิจัย และถ้าท่านมีเหตุผลใดๆที่ทำให้ท่านไม่อาจทดสอบชิมต่อได้ท่านสามารถยกเลิกการทดสอบได้ทุกขณะที่ท่านต้องการ

ข้าพเจ้าได้รับข้อมูลตามที่ต้องการและยินดีเข้าร่วมการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกบรรจุกระป๋อง

ลงชื่อ .....

( )

วันที่ .....

ตัวอย่างแบบสอบถาม: การยอมรับของผู้บริโภคต่อข้าวกล้องงอกบรรจุกระป๋อง

คำชี้แจ้ง

แบบสอบถามชุดนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการ "การศึกษาคุณค่าทางโภชนาการและทางยาของข้าวงอกเพื่อเป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์เสริมอาหารและอาหารเพื่อสุขภาพ" ในนามของสถานวิจัยผลิตภัณฑ์เสริมอาหารและอาหารเพื่อสุขภาพ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อข้าวกล้องงอกบรรจุกระป๋อง ซึ่งทีมผู้วิจัยใคร่ขอความกรุณาและความร่วมมือจากท่านในการตอบแบบสอบถามให้สมบูรณ์โดยแบบสอบถามแบ่งเป็น 3 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 พฤติกรรมการบริโภคข้าวกล้องงอกบรรจุกระป๋อง

ส่วนที่ 2 การประเมินการยอมรับข้าวกล้องงอกบรรจุกระป๋อง

ส่วนที่ 3 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

ทั้งนี้ข้อมูลทั้งหมดที่ท่านตอบมาจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับงานวิจัยดังกล่าว ขอขอบคุณทุกท่านที่เสียสละเวลาในการตอบแบบสอบถามในครั้งนี้เป็นอย่างสูง

ทีมผู้วิจัย

ส่วนที่ 1 พฤติกรรมการบริโภคข้าวกล้องงอก

คำจำกัดความ

ข้าวกล้องงอก หมายถึง ข้าวกล้องที่ผ่านกระบวนการทำให้งอก ทำให้มีคุณค่าทางโภชนาการเพิ่มขึ้นตลอดจนมีสารออกฤทธิ์ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ

สำหรับผู้เก็บข้อมูล

1. ท่านเคยรู้จักหรือทราบข่าวสารเกี่ยวกับ "ข้าวกล้องงอก" มาก่อนหรือไม่ ☐

   ○ เคย (ทำต่อข้อ 2) ○ ไม่เคย (ข้ามไปทำข้อ 3)

2. ท่านรู้จักหรือรับทราบข่าวสาร "ข้าวกล้องงอก" จากที่ใดบ้าง (เลือกตอบได้มากกว่า 1 ข้อ) ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

   ○ หนังสือพิมพ์/วารสาร ○ โทรทัศน์

   ○ วิทยุ ○ อินเตอร์เน็ต

   ○ งานแสดงนิทรรศการ ○ คำบอกเล่าของบุคคล

   ○ อื่นๆ (โปรดระบุ).....

3. ท่านมีความสนใจที่จะบริโภค "ข้าวกล้องงอก" หรือไม่ ☐

   ○ สนใจ (ทำต่อข้อ 4) ○ ไม่สนใจ (ข้ามไปทำข้อ 5)

4. เหตุผลที่ทำให้ท่าน<u>สนใจ</u>ที่จะบริโภค "ข้าวกล้องงอก" (เลือกตอบได้มากกว่า 1 ข้อ) ☐ ☐ ☐ ☐

   ○ ประโยชน์ต่อสุขภาพของข้าวกล้องงอก ○ เพื่อรักษาโรค

   ○ ชอบรสชาติและเนื้อสัมผัส

   ○ อื่นๆ (โปรดระบุ).....

5. เหตุผลที่ทำให้ท่าน<u>ไม่สนใจ</u>ที่จะบริโภค "ข้าวกล้องงอก" (เลือกตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)

สำหรับผู้เก็บข้อมูล

- ○ ไม่ชอบทดลองผลิตภัณฑ์ใหม่
- ○ ไม่มั่นใจในคุณค่าทางโภชนาการ
- ○ ไม่นิยมบริโภคข้าวกล้อง
- ○ ไม่รู้จักผลิตภัณฑ์
- ○ ไม่สะดวกในการซื้อ
- ○ ราคาแพงกว่าข้าวปกติ
- ○ รสชาติและเนื้อสัมผัสไม่ดี
- ○ อื่นๆ (โปรดระบุ).....

6. ท่านเคยรับประทาน "ข้าวกล้องงอกหรือผลิตภัณฑ์จากข้าวกล้องงอก" หรือไม่

- ○ เคย (ทำต่อข้อ 7)
- ○ ไม่เคย (ข้ามไปทำส่วนที่ 2)

7. ท่านเคยรับประทานข้าวกล้องงอกในรูปแบบใด (เลือกตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)

- ○ ข้าวหุงสุก
- ○ โจ๊กข้าวกล้องงอก
- ○ น้ำข้าวกล้องงอก
- ○ น้ำข้าวกล้องงอกชนิดผง
- ○ อื่นๆ (โปรดระบุ).....

ส่วนที่ 2 การประเมินการยอมรับข้าวกล้องงอกบรรจุกระป๋อง

ข้าวกล้องงอกบรรจุกระป๋อง

ข้าวกล้องงอกบรรจุกระป๋อง ทำมาจากข้าวกล้องพันธุ์ช่อลุง ที่ผ่านการทำให้งอกแล้ว จากนั้นนำมาหุงโดยใช้อัตราส่วนข้าวต่อน้ำที่เหมาะสม บรรจุใส่กระป๋องและนำไปฆ่าเชื้อโดยใช้ความร้อน ทำให้ผลิตภัณฑ์นี้สามารถเก็บได้นานกว่า 1 ปี และเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปที่สามารถเปิดรับประทานได้ทันที หรือสามารถนำมาอุ่นให้ร้อนโดยแช่ในน้ำร้อนประมาณ 3-5 นาที หรืออุ่นโดยใช้ไมโครเวฟนำรับประทานได้อย่างสะดวก

ในส่วนที่ 2 ท่านจะได้ทดสอบตัวอย่างข้าวกล้องงอกบรรจุกระป๋อง

1. **การประเมินตัวอย่างข้าวกล้องงอกบรรจุกระป๋อง**

กรุณาประเมินและชิมตัวอย่างข้าวกล้องงอกบรรจุกระป๋อง **แล้วให้คะแนนตามความชอบ** โดยทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องคะแนนความชอบที่ตรงกับความรู้สึกของท่านในลักษณะต่างๆ ดังนี้

- ลักษณะปรากฏ หมายถึง ลักษณะที่ท่านสามารถประเมินได้จากการมองดู เช่น สี การจับกันของเมล็ดข้าว และการแตกของเมล็ดข้าว
- สี หมายถึง สีที่ท่านมองเห็น
- กลิ่น หมายถึง กลิ่นที่ท่านได้รับเมื่อดม
- รสชาติ หมายถึง รสชาติที่ท่านได้รับเมื่อรับประทานข้าวกล้องงอก
- เนื้อสัมผัส หมายถึง ลักษณะที่ท่านประเมินได้ขณะรับประทานข้าวกล้องงอก เช่น ความนุ่มความแข็ง และความเหนียวของเม็ดข้าว
- ความชอบโดยรวม หมายถึง ความชอบที่ท่านประเมินจากทุกๆลักษณะของตัวอย่างโดยรวม

ลักษณะที่ทดสอบ / คะแนนความชอบ	ไม่ชอบมากที่สุด	ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบปานกลาง	ไม่ชอบเล็กน้อย	เฉยๆ	ชอบเล็กน้อย	ชอบปานกลาง	ชอบมาก	ชอบมากที่สุด
ลักษณะปรากฏ									
สี									
กลิ่น									
รสชาติ									
เนื้อสัมผัส									
ความชอบโดยรวม									

สำหรับผู้เก็บข้อมูล

■รับข้าวกล้องงอกบรรจุกระป๋องนี้หรือไม่

● ยอมรับ ○ ไม่ยอมรับ (กรุณาระบุเหตุผล) ☐

■เหตุที่ไม่ยอมรับ

■.....

■.....

■รผลิตข้าวกล้องงอกบรรจุกระป๋องจำหน่ายในท้องตลาด ท่านสนใจซื้อหรือไม่

● ซื้อ ○ ไม่ซื้อ ☐

■กล้องงอกบรรจุกระป๋องที่ท่านได้ทดสอบชิม มีข้อมูลบ่งชี้ให้ท่านทราบว่า

■วกล้องงอกนี้มีสารกาบา (GABA : Gamma aminobutyric acid) ซึ่งเป็นสารสื่อ

■ทที่จะช่วยรักษาสมดุลในสมอง ลดอาการนอนไม่หลับและกระวนกระวายใจ รักษา

■นโลหิต ช่วยสร้างกล้ามเนื้อและการเติบโต ลดการสะสมไขมัน จึงไม่ทำให้อ้วน

■ยป้องกันโรคสมองเสื่อมได้"

■จะซื้อผลิตภัณฑ์นี้หรือไม่

● ซื้อ ○ ไม่ซื้อ ☐

■ม่ซื้อ .....

■.....

(มีต่อด้านถัดไป)

ส่วนที่ 3 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

สำหรับผู้เก็บข้อมูล

1. เพศ

○ ชาย ○ หญิง ☐

2. ศาสนา

○ พุทธ ○ อิสลาม ☐

○ คริสต์ ○ อื่นๆโปรดระบุ.....

3. อายุ

○ 60 – 65 ปี ○ 66 – 70 ปี ☐

○ 71 – 75 ปี ○ 76 – 80 ปี

○ 80 ปีขึ้นไป

4. สถานภาพ

○ โสด ○ สมรส ☐

○ หย่า / หม้าย / แยกกันอยู่

5. การศึกษาขั้นสูงสุดที่ได้รับหรือกำลังศึกษาอยู่

○ ไม่ได้เข้าศึกษาตามระบบ ○ ประถมศึกษา ☐

○ มัธยมศึกษา ○ ปวช.

○ ปวส. / อนุปริญญา ○ ปริญญาตรี

○ สูงกว่าปริญญาตรี

6. จำนวนสมาชิกในครอบครัวของท่าน (รวมตัวท่านด้วย)

○ 1-2 คน ○ 3-4 คน ○ 5-6 คน ○ มากกว่า 6 คน

7. รายได้ของครอบครัวท่านต่อเดือน

○ ไม่เกิน 10,000 บาท ○ 10,000 – 30,000 บาท

○ 30,001 – 50,000 บาท ○ 50,001 – 100,000 บาท

○ มากกว่า 100,000 บาทขึ้นไป

สำหรับผู้เก็บข้อมูล
☐
☐

ขอบคุณทุกๆท่านสำหรับความร่วมมือ