

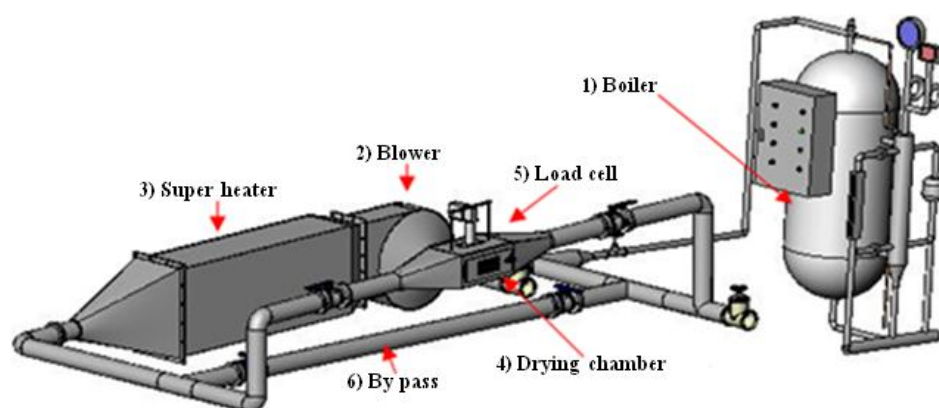
อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

งานวิจัยนี้ทำการทดสอบหาสภาวะในการอบแห้งข้าวกล้องงอกด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อนโดยใช้เครื่องอบแห้งระดับห้องปฏิบัติการ เพื่อศึกษาจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งข้าวกล้องงอกและเปรียบเทียบคุณภาพของข้าวกล้องงอกหลังผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อน

1. เครื่องอบแห้งระดับห้องปฏิบัติการ

เครื่องอบแห้งระดับห้องปฏิบัติการที่ใช้ในงานวิจัยนี้สามารถใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อนเป็นตัวกลางในการอบแห้งได้ ซึ่งมีอุปกรณ์หลักๆ ดังแสดงในภาพที่ 5 ดังนี้



ภาพที่ 5 เครื่องอบแห้งระดับห้องปฏิบัติการ

1.1 เครื่องกำเนิดไอน้ำ (boiler) กำลังการผลิตไอน้ำ 20 kg/h

1.2 พัดลม (blower) เป็นแบบเหวี่ยงใบพัดโค้งหลัง (backward-curved centrifugal blower) เส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 9 in ซึ่งถูกควบคุมด้วยเครื่องปรับความเร็วรอบพัดลม (inverter) ยี่ห้อ Fuji Electric FA รุ่น FRNO. 75C1S-7A ความละเอียด ± 0.01 Hz

1.3 อุปกรณ์ให้ความร้อน (super heater) ขนาด 4.5 kW ควบคุมอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งระดับห้องปฏิบัติการด้วย Temperature control ยี่ห้อ OMRON รุ่น E5CZ ความละเอียด $\pm 1^{\circ}\text{C}$

1.4 ห้องอบแห้ง (drying chamber) ขนาด $20 \times 30 \times 15 \text{ cm}^3$

1.5 เครื่องบันทึกน้ำหนัก (load cell weighing indicator) รุ่น PT650D ความละเอียด $\pm 0.1 \text{ g}$

1.6 ท่อ By pass ใช้สำหรับเป็นทางผ่านของตัวกลางในการอบแห้ง ขณะนำวัสดุเข้าและออกจากห้องอบแห้ง

ทำการอบแห้งข้าวกล้องงอกโดยใช้ตัวกลางอากาศร้อน มีลักษณะการทำงานเริ่มต้นจากการป้อนอากาศเข้าในระบบโดยพัดลมแบบใบพัดโค้งหลัง อากาศจะเคลื่อนที่ผ่านอุปกรณ์ให้ความร้อน หลังจากนั้นอากาศจะร้อนขึ้นและจะไหลผ่านเข้าไปในห้องอบแห้ง เพื่อลดความชื้นของข้าวกล้องงอกที่มีความชื้นสูง ส่วนการอบแห้งข้าวกล้องงอกโดยใช้ตัวกลางไอน้ำร้อนยวดยิ่ง มีลักษณะการทำงานเริ่มต้นจากการป้อนไอน้ำอัดตัวซึ่งผลิตจากเครื่องกำเนิดไอน้ำเข้าในระบบ โดยพัดลมแบบใบพัดโค้งหลัง จะบังคับให้ไอน้ำไหลผ่านอุปกรณ์ไฟฟ้าให้ความร้อนทำให้ไอน้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้นกลายเป็นไอน้ำร้อนยวดยิ่ง หลังจากนั้นไอน้ำร้อนยวดยิ่งจะผ่านเข้าไปในห้องอบแห้ง เพื่อลดความชื้นของข้าวกล้องงอกที่มีความชื้นสูง

2. ตู้อบแห้งแบบอากาศร้อน Hot air oven ยี่ห้อ Memmert รุ่น ULE 400 ความละเอียด $\pm 1^\circ\text{C}$ ใช้ในการหาน้ำหนักแห้ง ของตัวอย่างข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งในเงื่อนไขต่างๆ

3. เครื่องทำความสะอาดแบบตะแกรงโยกและพัดลมดูด ใช้ทำความสะอาดข้าวเปลือกคัดแยกสิ่งเจือปนขนาดเล็กและขนาดใหญ่ก่อนนำไปกะเทาะเปลือก

4. เครื่องกะเทาะเปลือกแบบลูกยางยี่ห้อ Satake ใช้กะเทาะตัวอย่างข้าวเปลือกปริมาณ 250 g ให้เป็นข้าวกล้องโดยทำการกะเทาะไม่เกิน 3 ชั่วโมง

5. เครื่องคัดเกรดข้าว (rice grader) ใช้คัดแยกเฉพาะข้าวกล้องเต็มเมล็ด รวมทั้งทำการคัดแยกด้วยมือเลือกเฉพาะข้าวกล้องที่มีลักษณะเมล็ดสมบูรณ์

6. เครื่องอ่างน้ำ (water bath) ยี่ห้อ Memmert รุ่น WB 22 ความละเอียด $\pm 1^\circ\text{C}$ ใช้แช่ข้าวกล้อง โดยสามารถกำหนดอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการแช่ได้

7. เครื่องชั่งดิจิตอล ยี่ห้อ Electronic digital scale ความละเอียด ± 0.01 g ใช้ชั่งน้ำหนักตัวอย่างข้าวขณะทำการทดลองอบแห้ง

8. เครื่องวัดความเร็วตัวกลาง ยี่ห้อ Testo รุ่น 512 ความละเอียด ± 0.1 m/s ใช้วัดความเร็วตัวกลางภายในเครื่องอบแห้งระดับห้องปฏิบัติการ ในการตั้งค่าความเร็วตัวกลางให้ตรงกับขอบเขตการทดลอง

9. เครื่องวัดสี Spectrophotometer ยี่ห้อ ColorFlex รุ่น S/N: CX1220 ระบบ Hunter Lab โดยแสดงค่าสีแบบ L a b เพื่อใช้วัดค่าสีเปรียบเทียบตัวอย่างการทดลอง

10. อุปกรณ์ส่องสว่าง Compact Fluorescent ขนาด 220V 3W ใช้ส่องตัวอย่างข้าวกล้องงอกหาเปอร์เซ็นต์การร้าว

11. อุปกรณ์ให้ความร้อน (hot plate) ยี่ห้อ House Worth รุ่น HW-223A1 ใช้ต้มน้ำในการทดสอบหาเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของเมล็ดข้าว เปอร์เซ็นต์การสูญเสียเนื้อแป้ง และเวลาในการหุงสุก

12. นาฬิกาจับเวลา ยี่ห้อ ALBA รุ่น CAL.SW01 ความละเอียด 1/100 s ใช้บันทึกเวลาในการทดลอง

13. เครื่องตรวจวิเคราะห์ HPLC (High performance liquid chromatography) ยี่ห้อ Shimadzu ใช้วัดหาค่าปริมาณสาร GABA ของข้าวกล้องงอก

วิธีการ

ข้าวที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ คือข้าวเปลือกหอมมะลิ 105 ซึ่งมีอายุเก็บรักษาไม่เกิน 6 เดือน และมีขั้นตอนการทดสอบโดยการเตรียมตัวอย่างข้าวกล้องงอก และมีวิธีการเก็บข้อมูลตามมาตรฐานต่างๆ ในหัวข้อต่อไปนี้

1. การเตรียมข้าวกล้องงอก

เตรียมตัวอย่างข้าวกล้องงอกโดยนำข้าวเปลือกหอมมะลิ 105 มาทำความสะอาดด้วยเครื่องทำความสะอาดแบบตะแกรงโยกและพัดลมดูด เพื่อแยกเมล็ดลีบและสิ่งเจือปนต่างๆ จากนั้นทำการกะเทาะเปลือกด้วยเครื่องกะเทาะเปลือกแบบลูกยางยี่ห้อ Satake นำข้าวกล้องที่ได้ไปคัดแยกข้าวเต็มเมล็ดด้วยเครื่องคัดเกรดข้าว รวมไปถึงการคัดแยกด้วยมือ จากนั้นแช่ข้าวกล้องในน้ำอุณหภูมิ 35-40°C นาน 8 ชั่วโมง (จารุรัตน์, 2550) ด้วยเครื่องอังน้ำ และเพาะในถังอกที่อุณหภูมิแวดล้อมระยะเวลาประมาณ 24-27 ชั่วโมง สังเกตรากเทียมจะงอกที่บริเวณจมูกข้าวเกิดจุดขาวเป็นตุ่มเล็กๆ ขนาดประมาณ 0.5-2.0 mm จากนั้นนำไปอบแห้งตามเงื่อนไขต่างๆ ที่กำหนดไว้

2. การอบแห้งข้าวกล้องงอก

ทำการอบแห้งข้าวกล้องงอกด้วยเครื่องอบแห้งระดับห้องปฏิบัติการ โดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (Superheated steam, SH) และอากาศร้อน (Hot air, HA) ที่อุณหภูมิอบแห้ง 120 140 และ 160°C ความเร็วตัวกลาง 1.0 1.5 และ 2.0 m/s ทำการบันทึกค่าน้ำหนักของข้าวกล้องงอกในการอบแห้งโดยชั่งน้ำหนักทุกๆ 2 min ในช่วง 10 min แรก หลังจากนั้นชั่งน้ำหนักทุกๆ 10 min เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และชั่งทุกๆ 20 min จนกระทั่งน้ำหนักของข้าวกล้องงอกไม่เปลี่ยนแปลงหรือเปลี่ยนแปลงน้อยมาก แล้วจึงนำตัวอย่างข้าวกล้องงอกทั้งก่อนและหลังการอบแห้งไปหาความชื้นแล้วนำข้อมูลที่ได้มาสร้างกราฟลดนพลศาสตร์การอบแห้งข้าวกล้องงอก เพื่อหาเวลาในการอบแห้งข้าวกล้องงอกให้มีความชื้นประมาณ 14% (d.b.) แล้วทำการอบแห้งข้าวกล้องงอกตามเวลาดังกล่าวทุกๆ เงื่อนไขการทดลอง จากนั้นนำข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งแล้วผึ่งด้วยอากาศแวดล้อมเป็นเวลา 7 วัน เพื่อให้ความชื้นสม่ำเสมอแล้วจึงนำไปตรวจสอบเปอร์เซ็นต์การร้าว ทำการวัดค่าสี คุณภาพการหุงต้ม และปริมาณสาร GABA

3. การตรวจวัดความชื้น (AOAC, 1990)

สุ่มเก็บตัวอย่างข้าวกล้องงอกก่อนและหลังการอบแห้งจากการทดลองมาตัวอย่างละ 3 ซ้ำ บรรจุลงในกระป๋องอลูมิเนียมที่ใช้สำหรับหาความชื้น ชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งแบบดิจิตอล ความละเอียด ± 0.01 g จากนั้นนำไปเข้าตู้อบแห้งแบบอากาศร้อน ที่อุณหภูมิ 103°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง จึงนำออกมาใส่โถแก้วบรรจุสารดูดความชื้น ปิดสนิททิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นนำไปชั่งและบันทึกผล ข้อมูลที่ได้นำไปคำนวณหาความชื้นจากสมการที่ (1) และ (2) ดังนี้

$$M_d = (w-d)/d \quad (1)$$

$$M_w = (w-d)/w \quad (2)$$

เมื่อ	M_d	คือ ความชื้นเศษส่วนมาตรฐานแห้ง, % (d.b.)
	M_w	คือ ความชื้นเศษส่วนมาตรฐานเปียก, % (w.b.)
	w	คือ น้ำหนักที่เวลาใดๆ, g
	d	คือ น้ำหนักแห้ง, g

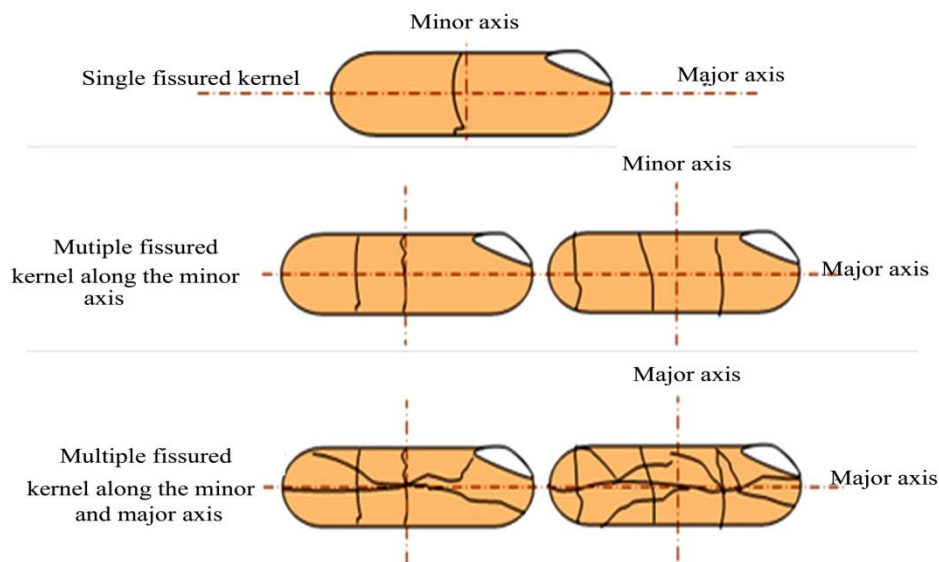
4. การตั้งค่าอุณหภูมิ การตรวจวัดความเร็วตัวกลางและน้ำหนักของวัสดุ

อุณหภูมิในการอบแห้งสามารถปรับตั้งได้โดยเสียบเทอร์โมคัปเปิลซึ่งควบคุมด้วย Temperature control เข้าที่บริเวณท่อนก่อนเข้าสู่ห้องอบแห้ง สำหรับความเร็วตัวกลางสามารถปรับตั้งได้ด้วยเครื่องปรับความเร็วรอบพัดลม แล้วใช้เครื่องวัดความเร็วตัวกลาง ทำการสอดท่อในตำแหน่งอากาศออกจากอุปกรณ์ให้ความร้อนก่อนเข้าห้องอบแห้ง แล้วอ่านค่า ส่วนน้ำหนักของข้าวกล้องงอกอ่านค่าได้โดยนำตัวอย่างข้าวกล้องงอกออกมาชั่งด้วยตาชั่งดิจิตอลตามช่วงเวลาในการอบแห้ง

5. การตรวจสอบคุณภาพข้าว

ทำการทดสอบคุณภาพข้าวในหัวข้อต่างๆ คือ เปอร์เซ็นต์การร้าว คุณภาพการหุงต้ม การวัดค่าสี และหาปริมาณสาร GABA โดยมีรายละเอียดวิธีการทดสอบดังต่อไปนี้

5.1 การทดสอบหาเปอร์เซ็นต์การร้าว (cracking)



ภาพที่ 6 ลักษณะการร้าวของเมล็ดข้าวกล้องงอก

ที่มา: นพรัตน์ และอรรถสิทธิ์ (2529)

นำตัวอย่างข้าวกล้องงอกมาจำนวน 100 เมล็ด วางบนกระดาษสีใช้อุปกรณ์ส่องสว่างส่องจากด้านล่างเลือกเฉพาะเมล็ดข้าวกล้องงอกที่มีการร้าวมากกว่า 80% ของพื้นที่ทั้งหมดของเมล็ดข้าวกล้องงอก (ภาพที่ 6) นับจำนวนข้าวกล้องงอกที่ร้าว บันทึกข้อมูล ทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ หาค่าเฉลี่ยแล้วนำผลการทดลองไปวิเคราะห์ทางสถิติ

5.2 คุณภาพการหุงต้ม (cooking qualities)

ศึกษาในหัวข้อของเวลาในการหุงสุก (cooking time) การยืดตัวตามความยาว (elongation) การสูญเสียเนื้อแป้ง (solid loss) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ก) เวลาในการหุงสุก

ทดสอบหาเวลาในการหุงสุก โดยปรับปรุงวิธีการของ Juliano (1982) เพื่อให้สะดวกในการทดสอบมากขึ้น เริ่มจากสุ่มตัวอย่างข้าวกล้องงอกประมาณ 10 g แบ่งใส่หลอดทดลองขนาด 50 ml หลอดละ 10 เมล็ด เติมน้ำให้ท่วมเมล็ดข้าวและใส่หลอดทดลองทั้งหมดลงในภาชนะ

ต้มด้วยอุปกรณ์ให้ความร้อนอุณหภูมิ 100°C เมื่อครบเวลา 10 min ให้สุ่มหยิบหลอดทดลอง 1 หลอด รินน้ำออกและเทเมล็ดข้าวลงบนกระดาษกรอง หยิบกระดาษกรองอันที่บดแล้วกดให้แบน สังเกตว่ามีเมล็ดข้าวเป็นไตขุนเหลืออยู่ซึ่งหมายถึงยังไม่สุกหากเกิน 1 เมล็ด ให้ทำการต้มต่อไปเรื่อยๆ ทุกๆ 1 min สุ่มหยิบมา 1 หลอด กดด้วยกระดาษกรอง จนพบว่าเหลือเพียงเมล็ดเดียวที่ยังไม่สุกให้บันทึกเวลา เป็นเวลาที่น้อยที่สุดที่ทำให้ข้าวหุงสุก (minimum cooking time) แล้วบวกเวลาเพิ่มอีก 2 min เป็นเวลาที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้ข้าวหุงสุก (optimum cooking time) บันทึกข้อมูล ทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ หาค่าเฉลี่ยแล้วนำผลการทดลองไปวิเคราะห์ทางสถิติ

ข) การยืดตัวตามความยาว (Gujral and Kumar, 2003)

ทดสอบหาการยืดตัวตามความยาว โดยสุ่มตัวอย่างข้าวกล้องงอกจำนวน 10 เมล็ดที่มีขนาดใกล้เคียงกัน วัดขนาดความยาวของเมล็ดข้าวก่อนต้ม (Y_L) นำตัวอย่างข้าวกล้องงอกใส่ในตะแกรงทรงกระบอก วางลงในภาชนะต้มด้วยอุปกรณ์ให้ความร้อนอุณหภูมิ 100°C และนำลงต้มในเครื่องต้มน้ำอุณหภูมิ 100°C นาน 10 min ครบกำหนดเวลานำตะแกรงทรงกระบอกลงแช่น้ำเย็นทันที ยกขึ้นพักให้สะเด็ดน้ำนาน 10 min ทำการวัดขนาดความยาวของเมล็ดข้าวหลังต้ม (X_L) บันทึกข้อมูล แล้วนำไปคำนวณค่าการยืดตัวตามความยาวด้วยสมการที่ 3 ทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ หาค่าเฉลี่ยแล้วนำผลการทดลองไปวิเคราะห์ทางสถิติ

$$\text{Elongation (\%)} = (X_L - Y_L) / Y_L \times 100 \quad (3)$$

ค) การสูญเสียเนื้อแป้ง (Gujral and Kumar, 2003)

ทดสอบหาการสูญเสียเนื้อแป้ง โดยสุ่มตัวอย่างข้าวกล้องงอกจำนวน 2 g (weight of rice sample) ใส่ในหลอดทดลองขนาด 20 ml เติมน้ำ 10 ml ใส่หลอดทดลองลงในภาชนะต้มด้วยอุปกรณ์ให้ความร้อนอุณหภูมิ 100°C นานเท่ากับเวลาที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้ข้าวหุงสุกของตัวอย่างนั้นๆ เมื่อครบกำหนดเวลากลึงหลอดทดลองออกแช่ในน้ำเย็นทันที หยิบเอาเมล็ดข้าวทั้งหมดออกรินน้ำลงในกระป๋องอูมิเนียมชั่งน้ำหนัก แล้วนำไปเข้าตู้อบแห้งแบบอากาศร้อนอุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักผลต่างของน้ำหนักก่อนและหลังเข้าตู้อบแห้งแบบอากาศร้อน (increase in weight of dish) นำไปคำนวณค่าการสูญเสียเนื้อแป้งด้วยสมการที่ 4 ทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ หาค่าเฉลี่ยแล้วนำผลการทดลองไปวิเคราะห์ทางสถิติ

$$\text{Solid loss (\%)} = (\text{increase in weight of dish}) / (\text{weight of rice sample}) \times 100 \quad (4)$$

5.3 การทดสอบค่าสี

ทำการวัดสีข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อน โดยทำการวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสี Spectrophoto meter ระบบ Hunter Lab แสดงค่าสีแบบ L a b ซึ่งแต่ละค่ามีความหมายดังนี้ ค่า L (lightness parameter) แสดงค่าความสว่างมีค่าตั้งแต่ 0 จนถึง 100 ค่าที่ 100 แสดงค่าความสว่างมากหรือสูงสุด ถ้าค่าเป็น 0 แสดงว่าไม่มีความสว่าง มีดหรือมีความสว่างน้อย ค่า a (redness-greenness parameter) แสดงถึงค่าความเป็นสีแดง มีค่าตั้งแต่ -60 จนถึง +60 ถ้าค่า +a มาก แสดงว่าค่าความเป็นสีแดงมาก ถ้าค่า -a มากแสดงว่ามีสีเขียวมาก ค่า b (yellowness-blueness parameter) แสดงค่าความเป็นสีเหลือง มีค่าตั้งแต่ -60 จนถึง +60 ถ้า +b มาก แสดงว่าค่าความเป็นสีเหลืองมาก ถ้าค่า -b มากแสดงว่ามีสีน้ำเงินมาก โดยมีขั้นตอนดังนี้

ก) นำอุปกรณ์ที่ใช้ในการสอบเทียบค่าสีค่าและสีขาวมาใส่ในเครื่องวัดสี Spectrophoto meter ระบบ Hunter Lab ทำการสอบเทียบเครื่อง (calibrate)

ข) นำตัวอย่างข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อนแต่ละตัวอย่างการทดลองใส่ในเครื่องวัดสี Spectrophoto meter ระบบ Hunter Lab แสดงผลค่า L a และ b แล้วบันทึกค่า

ค) ทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ หาค่าเฉลี่ยแล้วนำผลการทดลองไปวิเคราะห์ทางสถิติ

5.4 การทดสอบหาปริมาณสาร GABA

การวิเคราะห์หาปริมาณสาร GABA ทำการดัดแปลงจากวิธีของ Khuhawar and Rajper (2003) โดยนำตัวอย่างข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อนที่ได้จากการสกัดเดิม borax buffer pH 8 และ 2-Hydroxy-naphthaldehyde (0.3%w/v in methanol) จากนั้นนำไปต้มที่อุณหภูมิ 80°C นาน 10 min ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องและปรับปริมาตรให้เป็น 5 ml ด้วย methanol นำไปกรองด้วย syringe filter nylon ขนาด 0.45 μm ตัวอย่างที่ได้นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC โดยทำการฉีดเข้าเครื่องที่สถานะ mobile phase คือ methanal: H_2O +Trifluoroacetic acid (0.1% w/w) อัตราส่วน 40:60 Column คือ Inertsil C_{18} , 5 μm (250×4.6 mm) อัตราการไหล คือ 1.5 ml/min Detector UV-vis 330 nm อ่านค่าบันทึกผลการทดลอง ทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ หาค่าเฉลี่ยแล้วนำผลการทดลองไปวิเคราะห์ทางสถิติ