

บทที่ 3

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ข้าว นับเป็นแหล่งพลังงานที่ถูกที่สุด ซึ่งอุดมไปด้วยวิตามินและสารอาหารต่าง ๆ มากมาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้าวกล้อง แต่ทั้งนี้ข้าวกล้องเป็นข้าวที่มีเนื้อสัมผัสที่ค่อนข้างแข็ง ใช้เวลาในการหุงนานและระยะเวลาการเก็บรักษาสั้น ดังนั้นจึงไม่เป็นที่นิยมของผู้บริโภคส่งผลให้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องเพื่อให้ง่ายต่อการบริโภค หนึ่งในนั้นก็คือ “ข้าวกล้องงอก” ซึ่งจะได้อธิบายผลการทดลองที่ได้จากการศึกษาในงานวิจัยนี้

3.1 ศึกษาผลของกระบวนการแช่ และการบ่มข้าวกล้อง ต่อคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของข้าวกล้องงอกพันธุ์หอมมะลิ 105

การแช่ข้าวกล้องในน้ำที่ควบคุมอุณหภูมิเพื่อให้เกิดการงอกนั้น นับว่าเป็นขั้นตอนที่สำคัญทั้งนี้ ปริมาณน้ำที่เหมาะสมจะทำให้ประสิทธิภาพการงอกของเมล็ดข้าวดีขึ้น จากการศึกษาของ Shimura ในปี 2007 แนะนำว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมของการแช่ข้าวกล้องในน้ำอยู่ในช่วง $20-40^{\circ}\text{C}$ แต่สำหรับข้าวหอมมะลิแล้ว อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมคือ 40°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมเพราะทำให้ปริมาณการเพิ่มของ GABA มากขึ้น ซึ่งรายงานผลโดย Varanyanond (2005) ดังนั้นการทดลองนี้จึงเลือกทำการทดลองที่อุณหภูมิ 40°C นอกจากนี้คุณสมบัติของน้ำที่ใช้ในการแช่ก็มีความสำคัญเช่นเดียวกัน ทั้งนี้พบว่า น้ำที่มีคุณสมบัติเป็นกรดอ่อนๆ จะช่วยเร่งปฏิกิริยาการงอกให้เกิดได้เร็วขึ้น ดังนั้นน้ำที่ใช้สำหรับการแช่ข้าวกล้องนอกจากควบคุมอุณหภูมิแล้วยังได้มีการควบคุมค่าความเป็นกรดค่าเริ่มต้นที่ 5.0 และได้ทำการสังเกตผลการเปลี่ยนแปลงหลังจากที่ได้แช่ข้าวกล้องไปแล้วให้ผลการทดลองดังหัวข้อที่ 3.1.1

3.1.1 กระบวนการแช่ข้าวกล้องในน้ำควบคุมอุณหภูมิและค่าความเป็นกรดเป็นด่าง

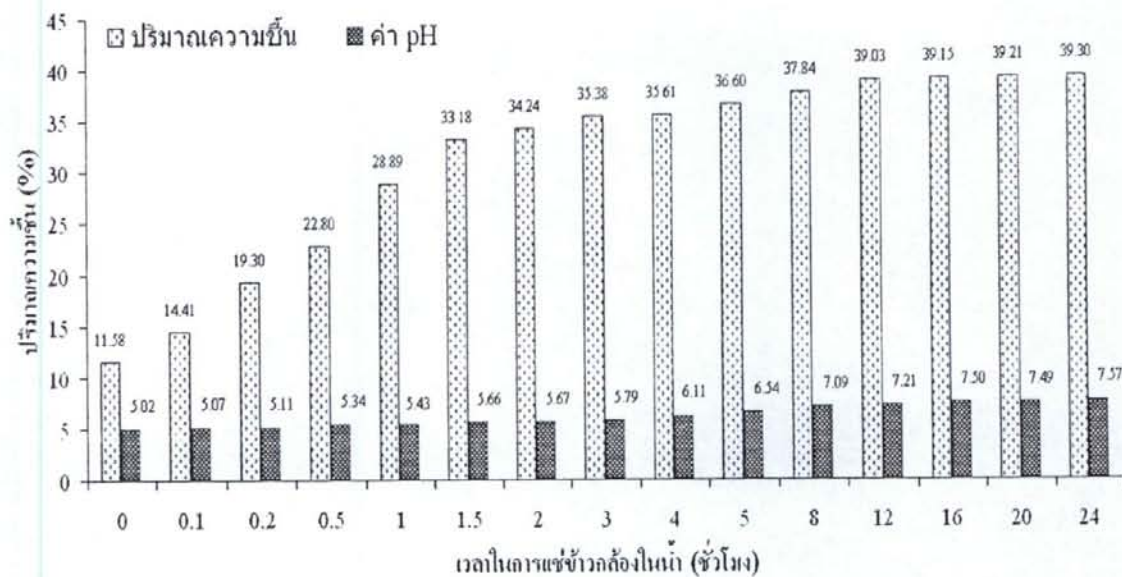
ก. การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของข้าวกล้องงอก

หลังจากที่ข้าวกล้องได้ถูกแช่ในน้ำอุณหภูมิ 40°C พบว่าปริมาณความชื้นในเมล็ดข้าวเพิ่มมากขึ้น จาก 11.58% เป็น 33.18% หลังการแช่เพียง 1.5 ชั่วโมง และเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งวัดได้ที่ประมาณ

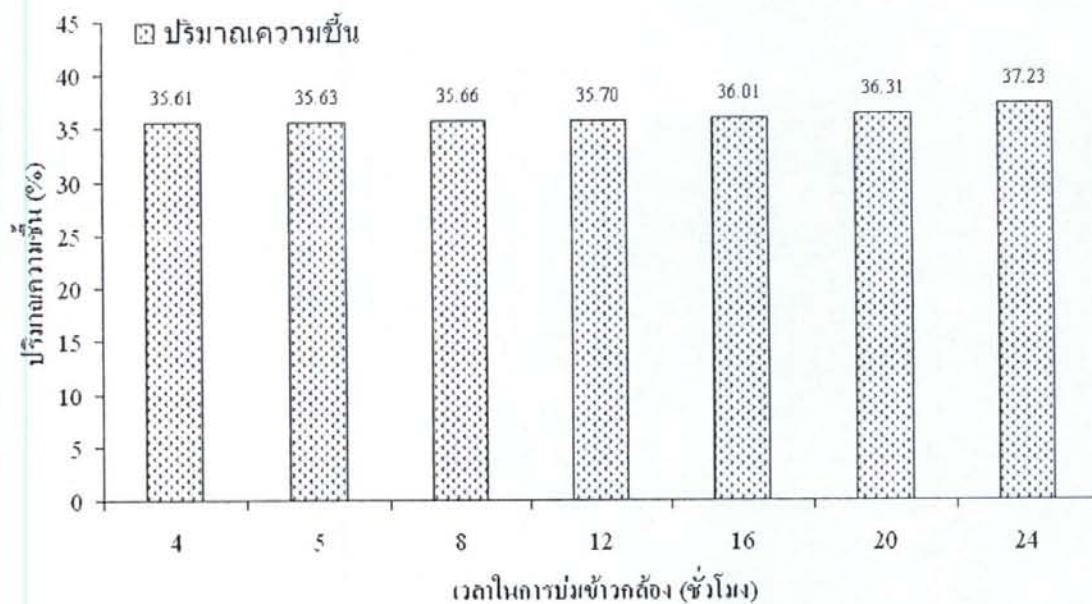
35% หลังการแช่ 4 ชั่วโมง จากนั้นเข้าสู่สภาวะคงที่คือ ปริมาณความชื้นก่อนข้างคงที่ในช่วง 39-40% จากระยะเวลาการแช่ข้าวกล้อง 12 ถึง 24 ชั่วโมง เช่นเดียวกับปริมาณการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด เป็นด่างซึ่งเพิ่มขึ้นจาก 5 เป็น 6 หลังการแช่ข้าวกล้องไปแล้ว 4 ชั่วโมง หลังจากนั้นมีการเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อยจนกระทั่งคงที่ที่ประมาณ 7.5 ที่ 24 ชั่วโมง การเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของปริมาณความชื้นในช่วงเริ่มต้นของการแช่ข้าวกล้องนั้น เนื่องมาจากเกิดการแทรกซึมของน้ำอย่างรวดเร็วเข้าไปในเซลล์ของแป้ง รวมถึงช่องว่างของอากาศที่มีอยู่ในเซลล์เม็ดแป้ง จนกระทั่งภายในเซลล์เต็มไปด้วยน้ำนั่นคือสังเกตได้จากการเพิ่มขึ้นน้อยมากของความชื้นเมื่อเวลาในการแช่ข้าวกล้องนานขึ้นนั่นเอง จากการรายงานของ Komatsuzaki (2007) ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมของข้าวกล้องงอกคือ 30-35% ดังนั้นการแช่ข้าวกล้องถึง 24 ชั่วโมงจึงไม่มีความจำเป็นอีกทั้งเมื่อสังเกตลักษณะของการงอกของจมูกข้าวที่เกิดขึ้นน้อยดังภาพที่ 3.3 ดังนั้นการแช่ข้าวกล้องในน้ำเพียงแค่ 4 ชั่วโมง ก็เพียงพอแล้วสำหรับค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสม

สำหรับค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำ มีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะการเพิ่มมากขึ้นเมื่อเวลาการแช่ข้าวกล้องนานขึ้นทั้งนี้เนื่องมาจากมิได้มีการเปลี่ยนน้ำในระหว่างกระบวนการแช่ ดังนั้นทำให้เกิดการละลายของแป้งข้าวจากเมล็ดข้าวลงในน้ำ ซึ่งสังเกตได้จากน้ำที่ขุ่น อีกทั้งมีตะกอนมากขึ้นนั้นคงเป็นสาเหตุหลักของการเปลี่ยนแปลงปริมาณของค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำ รวมถึงเมื่อระยะเวลาในการแช่นานขึ้นจะทำให้เกิดกลิ่นเน่าเหม็นของข้าวและน้ำมากขึ้นด้วย ซึ่งการแก้ไขจึงควรมีการเปลี่ยนน้ำทุก 4-6 ชั่วโมง หากต้องการแช่ข้าวเป็นระยะเวลานานๆ แต่ก็นำมาซึ่งการสิ้นเปลืองน้ำหากกำลังการผลิตเพิ่มมากขึ้น

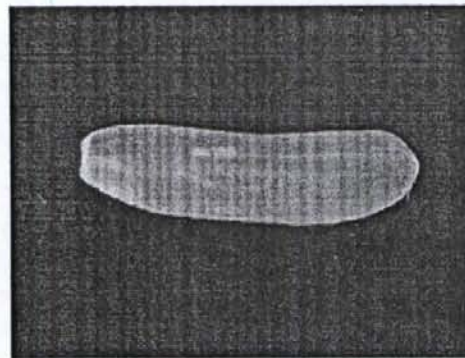
จากการสังเกตลักษณะการงอกของเมล็ดพบว่า เกิดขึ้นน้อยมากเมื่อแช่ข้าวกล้องในน้ำที่เวลานาน ทั้งนี้การงอกของเมล็ดที่เหมาะสมควรจะได้จมูกข้าวที่มีความยาวประมาณ 0.5 ถึง 1 มิลลิเมตรแต่ในกรณีนี้พบว่าเกิดการงอกเพียงเล็กน้อยเท่านั้นทั้งนี้เมื่อสังเกตจากค่าปริมาณ GAGA ที่ตรวจวัดได้ ให้ผลที่มีลักษณะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วงเริ่มต้นของการแช่ข้าวกล้อง และมีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาการแช่นานขึ้น อีกทั้งเกิดกลิ่นเน่าเหม็นขึ้นเล็กน้อย ดังนั้นการแก้ปัญหาตรงนี้สามารถทำได้โดยการแช่ข้าวเพียง 4 ชั่วโมงในน้ำอุ่น 40°C และนำตัวอย่างข้าวกล้องไปบ่มที่อุณหภูมิเดิมใน ตู้ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ที่ 90%RH เป็นเวลา 20 ชั่วโมงซึ่งให้ผลการทดลองดังแสดงในหัวข้อ 3.1.2 ต่อไป



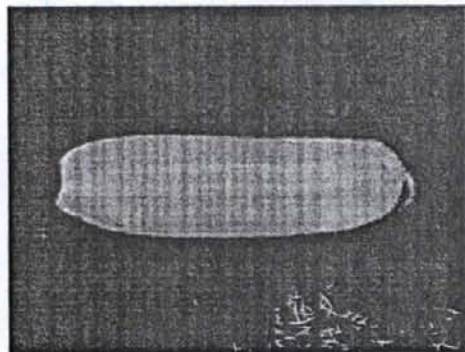
ภาพที่ 3.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในเมล็ดข้าวและค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำในกระบวนการแช่ข้าวกล้องที่อุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง



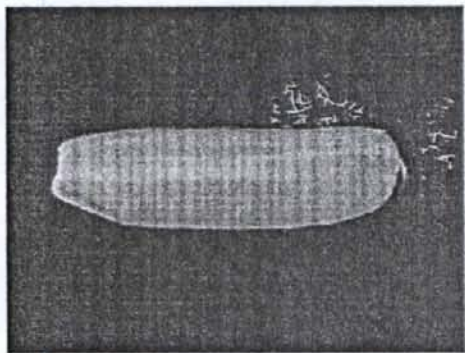
ภาพที่ 3.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในเมล็ดข้าวในกระบวนการบ่มข้าวกล้องที่อุณหภูมิ 40°C, 90%RH เป็นเวลา 20 ชั่วโมง



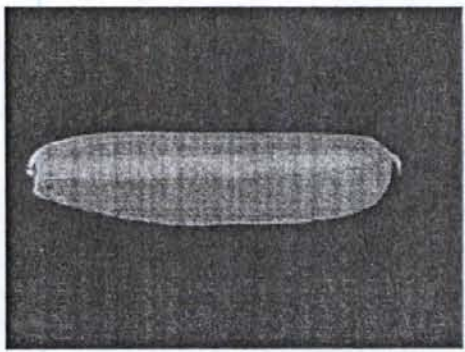
ข้าวกล้อง



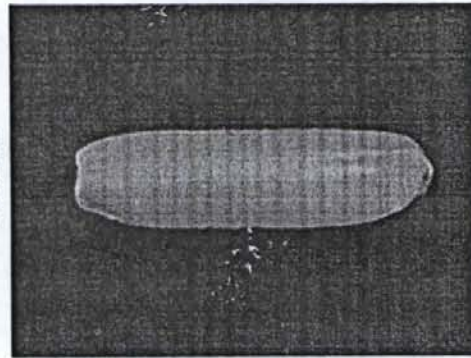
แช่ 4 ชั่วโมง



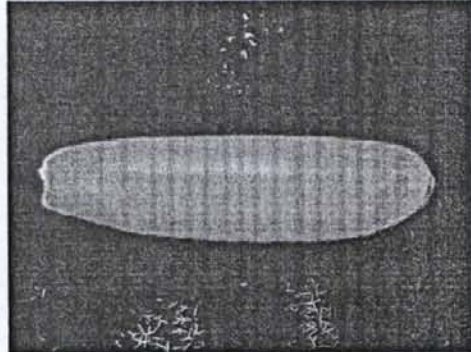
แช่ 8 ชั่วโมง



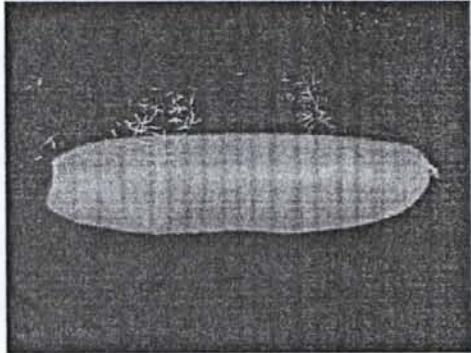
แช่ 12 ชั่วโมง



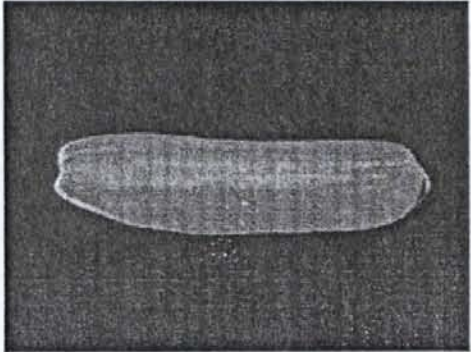
แช่ 16 ชั่วโมง



แช่ 20 ชั่วโมง



แช่ 24 ชั่วโมง



แช่ 28 ชั่วโมง

ภาพที่ 3.3 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของข้าวกล้อง KDM105 หลังการแช่น้ำที่ควบคุมอุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 28 ชั่วโมง

ข. การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของข้าวกล้องงอกหลังการแช่น้ำ

เป็นที่ทราบกันดีว่าการแช่ข้าวกล้องในน้ำควบคุมอุณหภูมินั้น เป็นกระบวนการที่สำคัญของการผลิต ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอก ซึ่งจะส่งผลถึงการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทั้งทางกายภาพและทางเคมีดังแสดงในตารางที่ 3.1 และ 3.2



การเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด (Pasting property)

สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ

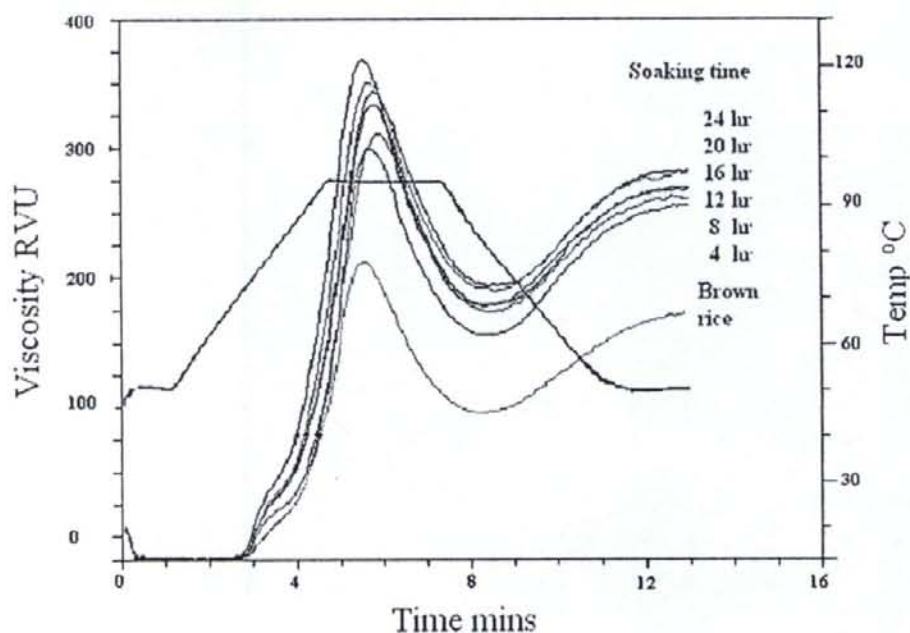
การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของแป้งข้าวกล้องหลังการแช่ข้าวกล้องในน้ำนั้น สามารถพิจารณาได้จากค่าความหนืด (RVA) ที่เปลี่ยนไปซึ่งให้ผลดังภาพที่ 3.4 และตารางที่ 3.1 ค่าความหนืดที่เกิดการเปลี่ยนแปลงนั้นรับอิทธิพลมาจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโปรตีนและแป้ง ซึ่งเกิดจากกระบวนการงอกของเมล็ด โดยที่โปรตีนในเมล็ดข้าวจะถูกย่อยโดยเอนไซม์ ทำให้โครงสร้างหรืออนุภาคเล็กลงเป็นกรดอะมิโน (Yamada และคณะ 2005) ส่งผลต่อความสามารถในการรวมตัวของโปรตีนกับน้ำลดลงทำให้ค่าความหนืดของแป้งเกิดการเปลี่ยนแปลง

จากตารางที่ 3.1 แสดงให้เห็นว่าการแช่ข้าวในน้ำที่อุณหภูมิ 40°C ทำให้ค่า trough, final viscosity และ set back เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการแช่ข้าวกล้องนานขึ้น ในขณะที่ peak viscosity, breakdown และ peak time มีค่าไม่คงที่ที่เวลาเดียวกัน อย่างไรก็ตามการเพิ่มขึ้นของ peak viscosity และ final viscosity เห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวกล้องที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการแช่ โดยที่ peak viscosity เพิ่มขึ้นจาก 224 ± 10.6 RVU เป็น 373.6 ± 9.4 RVU หลังการแช่ข้าวกล้องในน้ำเป็นเวลา 8 ชม. และค่อยๆ ลดลงที่ 346.4 ± 8.1 RVU ที่ 24 ชม. หลังการแช่ ซึ่งการลดลงของค่าความหนืดนี้เนื่องมาจากการที่เม็ดแป้งดูดซึมน้ำจนบวมเต็มเซลล์และเมื่อเวลานานขึ้น เซลล์เม็ดแป้งเกิดการแตก ด้วยชั้นตอนนี้ส่งผลให้ค่าความหนืดของแป้งข้าวเพิ่มมากขึ้นในช่วงแรกและลดลงเมื่อเกิดการแตกของเซลล์ในช่วงหลังนั่นเอง

ค่า Break down ซึ่งเกิดจากผลต่างของค่า peak และ trough viscosity เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความคงตัวของอนุภาคแป้งเมื่อได้รับความร้อน ค่าของ breakdown เพิ่มขึ้นจาก 113 ± 4.1 RVU เป็น 185.4 ± 6.4 RVU หลังจากการแช่ข้าวกล้องในน้ำ 40°C เป็นเวลา 8 ชม. หลังจากนั้นลดลงเป็น 154.7 ± 4.3 RVU เมื่อการแช่ข้าวกล้องเสร็จสิ้นที่ 24 ชม. นั้นหมายความว่าเวลาในการแช่ข้าวกล้องมีผลต่อค่า Breakdown ของเม็ดแป้ง

(Reke และคณะ 2005) นอกจากนี้จากการสังเกตค่า final viscosity พบว่าค่าความหนืดเพิ่มขึ้นตลอดกระบวนการแช่ข้าวกล้องจาก 187.9 ± 10.1 RVU ไปเป็น 285.9 ± 9.3 RVU ที่ 0 และ 24 ชม. ตามลำดับ

ค่า Retrogradation หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า setback นั้น เกิดจากการคืนตัวของแป้งหลังจากถูกทำให้เย็นตัวลงส่งผลต่อค่าความหนืดของแป้งข้าว รวมถึงยังขึ้นอยู่กับค่าอะไมโลสของข้าวแต่ละชนิดที่ค่าอะไมโลสสูงจะให้ค่า Retrogradation เพิ่มมากขึ้น สำหรับในกรณีของการแช่ข้าวกล้องในน้ำแล้วพบว่าค่า setback จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วง 4 ชม. แรกหลังการแช่ หลังจากนั้นมีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะไม่แตกต่างทางสถิติจากชั่วโมงการแช่ที่ 8 ถึง 20 ชม. และเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วงสุดท้ายของกระบวนการแช่ สำหรับค่า peak time ของข้าวกล้องหลังการแช่ในน้ำที่เวลา 4 ถึง 24 ชม. อยู่ในช่วง 5.6-5.9 นาที ซึ่งในทางสถิติแล้วไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เช่นเดียวกันกับค่า pasting temperature หรืออุณหภูมิที่ทำให้เม็ดแป้งที่ดูดซึมน้ำเข้าไบนั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดเพิ่มมากขึ้น หรือที่เรียกว่าการเกิดปฏิกิริยาเจลลาติไนส์เซชัน (gelatinization) ซึ่งในกรณีนี้พบว่าให้ค่า pasting temperature ในช่วง $70-72^{\circ}\text{C}$



ภาพที่ 3.4 การเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด (RVA) ของแป้งข้าวกล้องงอกหลังการแช่ข้าวกล้องที่เวลาต่างๆ

ค่าสีและค่าความขาว (Color and Whiteness)

จากตารางที่ 3.2 แสดงให้เห็นว่าหลังการแช่ข้าวกล้องในน้ำที่ 40°C เป็นเวลา 24 ชม. ส่งผลต่อค่าสีของเมล็ดข้าวโดยที่ค่า L^* เพิ่มขึ้นจากเริ่มต้นก่อนการแช่ที่ 63.03 เป็น 81.99 หลังการแช่ 12 ชม. และ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงจนกระทั่งเสร็จสิ้นกระบวนการแช่ขณะเดียวกันที่ความชื้นก็เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับค่าความขาว (whiteness) ให้ผลการทดลองในลักษณะเดียวกัน คือ ค่าเพิ่มขึ้นจาก $22.30 \pm 0.00\%$ ของข้าวกล้อง เป็น $42.92 \pm 0.21\%$ หลังการแช่ข้าวกล้องในน้ำ 24 ชม. ทั้งนี้เนื่องมาจากไขมันที่ผิวของเมล็ดข้าวซึมผ่านเข้าไปภายในเมล็ดระหว่างกระบวนการแช่เรียกว่า “Inward diffusion” (Lambert, 2006) ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความขาวของเมล็ดนั่นเอง สำหรับค่า a^* เพิ่มขึ้นจาก 0.98 เป็น 2.33 หลังการแช่ข้าวกล้องที่ 4 และ 24 ชม. ตามลำดับ ค่าความเหลืองของเมล็ดหรือที่เรียกว่า ค่า b^* ให้ค่าสูงสุดเท่ากับ 24.97 ± 0.50 ของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการแช่ในน้ำ แต่เมื่อนำข้าวกล้องไปแช่ในน้ำแล้วพบว่าค่า b^* ลดลงอยู่ในช่วง 21-22 ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของความชื้นในระหว่างกระบวนการแช่ข้าวกล้องนั้น มีผลต่อการลดลงของค่าสีของเมล็ดข้าว ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกันกับ Lambert (2006) การลดลงของค่า b^* อาจเนื่องมาจากเกิดการแทรกซึมของสารบางชนิดจากผิวของเมล็ดข้าวด้านนอกเข้าไปด้านใน และที่สำคัญโดยเฉพาะอย่างยิ่งการแช่ข้าวกล้องซึ่งปราศจากเปลือกห่อหุ้ม นั้นหมายถึงเมล็ดที่อยู่เปลือกจะไม่มีการซึมเข้าไปในเมล็ดได้ ดังนั้นจึงทำให้เมล็ดข้าวมีสีเหลืองลดลง

ปริมาณไขมันและกรดไขมันอิสระ (Total lipid and Free Fatty Acid)

ไขมันเป็นองค์ประกอบหนึ่งของเมล็ดข้าวและสะสมอยู่มากบริเวณผิวด้านนอกที่เรียกว่า “รำข้าว” ประมาณ 2.1-3.2% โดยมวลของเมล็ดข้าว ซึ่งจากการทดลองนี้พบว่าข้าวกล้องพันธุ์ KDML 105 ให้ปริมาณไขมันทั้งหมดเริ่มต้น $2.36 \pm 0.04\%$ และเมื่อมีการแช่ข้าวกล้องในน้ำ 40°C พบว่าปริมาณไขมันเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยเพิ่มขึ้นจาก 2.36% เป็น 3.54% เมื่อการแช่ผ่านไป 16 ชม. หลังจากนั้นสังเกตพบว่าปริมาณไขมันมีแนวโน้มลดลงจนกระทั่งวิเคราะห์ได้ 2.95% ที่ 24 ชม. หลังการแช่ข้าวกล้องในน้ำ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนี้สามารถอธิบายได้ถึงกระบวนการงอกของเมล็ด ที่เกิดขึ้นระหว่างการแช่ข้าวกล้องนั้น ส่งผลต่อการย่อยไขมันด้วยเอนไซม์ไลเปส นอกจากนั้นยังส่งผลต่อค่าของกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid) ซึ่งจากการสังเกตพบว่า ข้าวกล้องก่อนการแช่ให้ค่ากรดไขมันอิสระ $1.64 \pm 0.13\%$ และมีแนวโน้ม

ลดลงเป็น $0.91 \pm 0.14\%$ หลังการแช่ข้าวกล้อง 8 ชม. และให้ผลแตกต่างทางสถิติ หลังจากนั้นลดลงอย่างต่อเนื่องแบบไม่แตกต่างทางสถิติไปที่ $0.89 \pm 0.15\%$ ที่ 16 ชม. และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อการแช่ข้าวกล้องยาวนานขึ้นจนกระทั่งสิ้นสุดที่ $0.97 \pm 0.01\%$ ที่ 24 ชม. ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นของกรดไขมันอิสระอาจเนื่องมาจาก เกิดปฏิกิริยาการย่อยไขมันเป็นกรดไขมันอิสระโดยเอนไซม์ α -amylase, β -amylase (Urquhart และคณะ 1983) ระหว่างกระบวนการงอกนั่นเอง

ตารางที่ 3.1 ค่าต่ำสุด สูงสุดและค่าเฉลี่ย ของค่าความหนืด (Pasting properties) ของแป้งข้าวกึ่งกลึงออกหลังกระบวนการแช่เวลาต่างๆ

	Peak viscosity (RVU)			Trough (RVU)			Breakdown (RVU)			Final viscosity (RVU)		
	Min	Max	Mean \pm SD	Min	Max	Mean \pm SD	Min	Max	Mean \pm SD	Min	Max	Mean \pm SD
ข้าวกึ่งกลึงเริ่มต้น	212.1	239.2	224.4 \pm 10.6 ^a	95.8	123.3	111.1 \pm 10.4 ^a	106.7	116.3	113.4 \pm 4.1 ^a	172.4	199.3	187.9 \pm 10.1 ^a
หลังแช่น้ำ 4 ชม.	275.8	299.0	287.4 \pm 12.4 ^b	146.9	182.1	159.9 \pm 13.9 ^b	126.8	142.9	131.7 \pm 6.8 ^b	245.2	276.8	257.5 \pm 12.5 ^b
หลังแช่น้ำ 8 ชม.	363.6	388.1	373.6 \pm 9.4 ^f	177.7	208.2	188.4 \pm 12.3 ^c	179.5	192.7	185.4 \pm 6.4 ^c	267.6	294.4	277.0 \pm 11.5 ^c
หลังแช่น้ำ 12 ชม.	326.1	350.1	337.6 \pm 10.2 ^{cd}	174.3	199.8	183.3 \pm 8.4 ^c	150.4	160.6	153.6 \pm 4.2 ^d	261.7	280.4	270.8 \pm 8.7 ^{bc}
หลังแช่น้ำ 16 ชม.	310.8	339.4	327.3 \pm 12.9 ^e	171.8	199.8	187.1 \pm 13.5 ^c	137.6	144.3	140.3 \pm 2.4 ^e	260.9	288.0	275.3 \pm 13.0 ^e
หลังแช่น้ำ 20 ชม.	343.7	374.1	355.9 \pm 12.3 ^e	190.8	201.4	195.1 \pm 3.9 ^e	150.3	172.7	160.5 \pm 9.1 ^d	271.4	294.9	284.2 \pm 8.5 ^e
หลังแช่น้ำ 24 ชม.	333.1	354.2	346.4 \pm 8.1 ^d	178.5	196.4	191.2 \pm 7.3 ^c	151.8	162.1	154.7 \pm 4.3 ^d	269.5	291.2	285.9 \pm 9.3 ^e

	Setback (RVU)			Peak time (min)			Pasting temperature (°C)		
	Min	Max	Mean \pm SD	Min	Max	Mean \pm SD	Min	Max	Mean \pm SD
ข้าวกึ่งกลึงเริ่มต้น	75.8	78.5	76.9 \pm 1.1 ^a	5.5	5.7	5.6 \pm 0.1 ^a	71.1	73.5	72.2 \pm 1.1 ^b
หลังแช่น้ำ 4 ชม.	94.7	98.8	97.6 \pm 1.6 ^d	5.7	5.9	5.8 \pm 0.1 ^b	71.8	72.7	72.0 \pm 0.4 ^b
หลังแช่น้ำ 8 ชม.	86.3	89.9	88.3 \pm 1.8 ^b	5.5	5.7	5.6 \pm 0.1 ^a	70.2	71.1	70.7 \pm 0.5 ^a
หลังแช่น้ำ 12 ชม.	85.9	90.2	88.9 \pm 1.7 ^b	5.7	5.9	5.8 \pm 0.1 ^{bc}	71.1	72.0	71.3 \pm 0.4 ^a
หลังแช่น้ำ 16 ชม.	87.6	89.8	88.2 \pm 0.9 ^b	5.8	6.0	5.9 \pm 0.1 ^c	71.1	71.9	71.3 \pm 0.4 ^a
หลังแช่น้ำ 20 ชม.	88.7	93.5	90.1 \pm 2.1 ^b	5.7	5.8	5.8 \pm 0.1 ^b	71.1	71.2	71.1 \pm 0.1 ^a
หลังแช่น้ำ 24 ชม.	91.0	97.3	94.7 \pm 2.3 ^c	5.7	5.9	5.8 \pm 0.1 ^{bc}	71.1	71.9	71.3 \pm 0.4 ^a

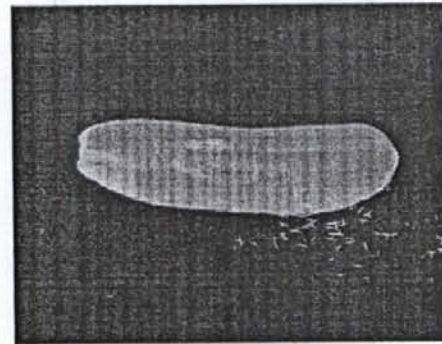
Data were reported in means \pm standard deviation of five determinations.

Mean for each characteristic followed by the same letter superscripts within the same column are not significantly different at (P<0.05) by Duncan multiple range test.

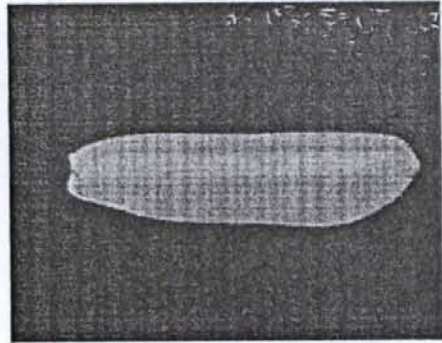
ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี (ค่าสี, ค่าความขาว, ปริมาณไขมันทั้งหมด และปริมาณกรดไขมันอิสระ) ของแป้งข้าวกล้องอกหลังกระบวนการ
แช่ที่เวลาด่าง ๆ

	ค่าสีของเมล็ดข้าวกล้องอก		ค่าความขาว		ปริมาณไขมันทั้งหมด		ปริมาณกรดไขมันอิสระ	
	L*	a*	b*	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
ข้าวกล้องเริ่มต้น	63.03±0.06 ^a	2.04±0.35 ^{cd}	24.97±0.50 ^c	22.30±0.00 ^a	2.36±0.04 ^a	1.64±0.13 ^c		
หลังแช่น้ำ 4 ชม.	77.85±0.10 ^b	0.98±0.47 ^a	22.71±0.17 ^b	38.20±0.00 ^b	2.84±0.02 ^b	1.13±0.01 ^b		
หลังแช่น้ำ 8 ชม.	79.40±0.07 ^c	1.38±0.21 ^{ab}	22.71±0.09 ^b	40.17±0.06 ^c	3.47±0.02 ^{dc}	0.91±0.14 ^a		
หลังแช่น้ำ 12 ชม.	81.99±0.09 ^c	1.65±0.29 ^{bc}	21.45±0.22 ^a	42.73±0.06 ^d	3.50±0.08 ^{dc}	0.86±0.06 ^a		
หลังแช่น้ำ 16 ชม.	81.17±0.04 ^d	1.88±0.09 ^{bcd}	21.82±0.01 ^a	43.30±0.00 ^f	3.54±0.04 ^c	0.89±0.15 ^a		
หลังแช่น้ำ 20 ชม.	81.19±0.08 ^d	2.15±0.10 ^{cd}	21.71±0.05 ^a	44.60±0.00 ^g	3.40±0.11 ^d	0.92±0.06 ^a		
หลังแช่น้ำ 24 ชม.	81.34±0.18 ^d	2.33±0.21 ^d	22.42±0.40 ^b	42.92±0.21 ^e	2.95±0.03 ^c	0.97±0.01 ^{ab}		

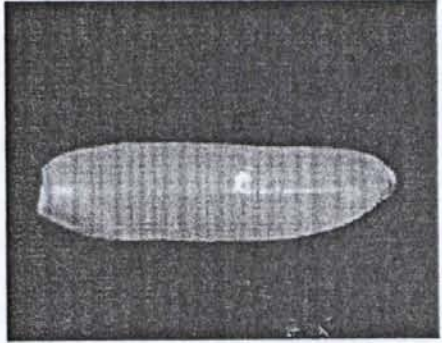
Data were reported in means ± standard deviation of triplicate determinations.
Mean for each characteristic followed by the same letter superscripts within the same column are not significantly different at (P<0.05) by Duncan multiple ranges test.



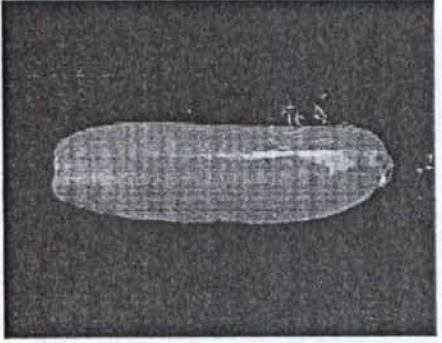
ช้ำวักถ้อง



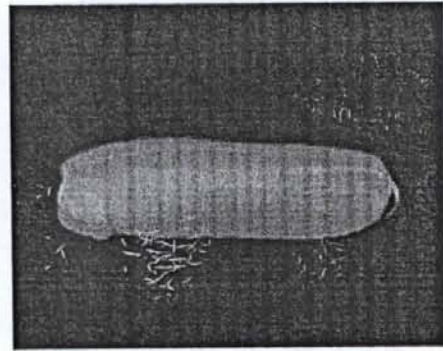
แช่ 4 ชั่วโมง



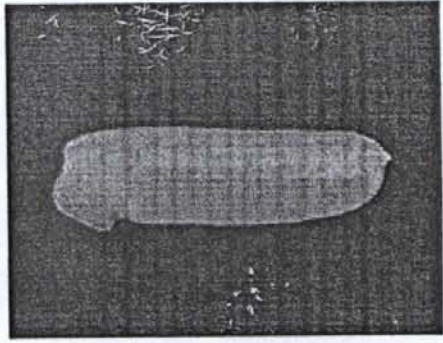
แช่ 4 ชั่วโมง + บ่ม 4 ชั่วโมง



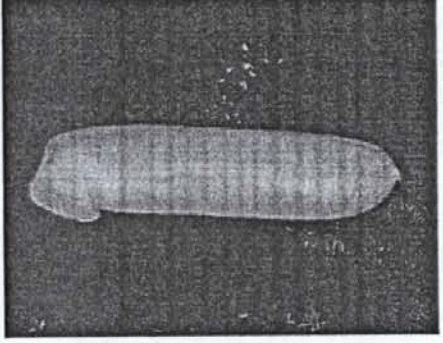
แช่ 4 ชั่วโมง + บ่ม 8 ชั่วโมง



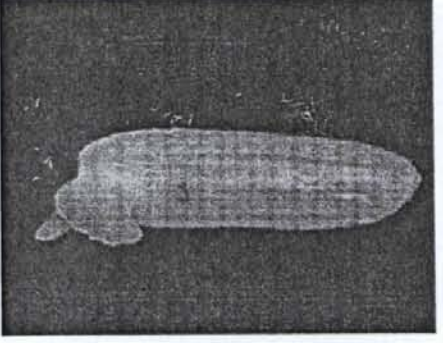
แช่ 4 ชั่วโมง + บ่ม 12 ชั่วโมง



แช่ 4 ชั่วโมง + บ่ม 16 ชั่วโมง



แช่ 4 ชั่วโมง + บ่ม 20 ชั่วโมง



แช่ 4 ชั่วโมง + บ่ม 24 ชั่วโมง

ภาพที่ 3.5 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของจำวกถ้อง KDM 105 หลังการแช่น้ำที่ควบคุมอุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ร่วมกับการบ่มที่อุณหภูมิ 40°C, 90%RH เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3.1.2 กระบวนการบ่มข้าวกล้อง

จากการศึกษาการแช่ข้าวกล้องในน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 40°C เป็นเวลา 24 ชม. ดังที่รายงานผลในหัวข้อที่ 3.1.1 นั้นพบว่าเมื่อสังเกตกระบวนการงอกของเมล็ดข้าวกล้อง เห็นได้ว่าไม่ปรากฏการงอกของงอกข้าวอย่างชัดเจน ถึงแม้ว่าเวลาการแช่ข้าวกล้องในน้ำจะนานขึ้นแต่ปฏิกิริยาการงอกไม่ได้เพิ่มขึ้นตาม อีกทั้งเมื่อเวลาการแช่นานขึ้นกลับทำให้เกิดการเหินน้ำของน้ำที่ใช้ในการแช่อีกด้วย อีกทั้งเมื่อสังเกตปริมาณความชื้นของเมล็ดข้าวที่เพิ่มขึ้นนั้นคงที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงหลังการแช่ข้าวกล้องผ่านไปประมาณ 12 ชม. ที่ประมาณ 39% ทั้งนี้จากรายงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการแช่ที่เหมาะสมนั้นอยู่ในช่วง 35-40% ดังนั้นการแช่ข้าวกล้องเพียงแค่ 4 ชม. ก็เพียงพอแล้ว ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาการแช่ข้าวกล้องในน้ำร่วมกับการบ่มโดยการนำข้าวกล้องที่แช่น้ำแล้ว 4 ชม. ห่อด้วยผ้าขาวบางใส่ในกล่องพลาสติกปิดฝาแล้วบ่มโดยการควบคุมอุณหภูมิ 40°C ความชื้นสัมพัทธ์ 90%RH เป็นเวลา 20 ชม. ในตู้ที่เรียกว่า "Incubator" ซึ่งให้ผลทดลองดังรายงานด้านล่าง และปรากฏลักษณะการงอกดังภาพที่ 3.4

ก. การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของข้าวกล้องงอกหลังการบ่ม

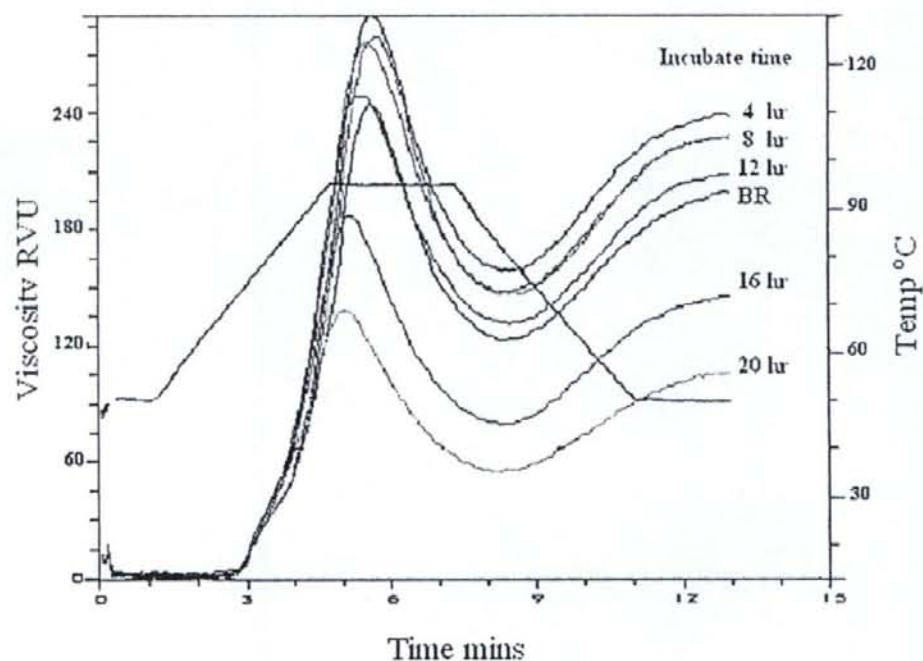
ปริมาณความชื้นของข้าวกล้องหลังการบ่มมีการเปลี่ยนแปลงในช่วง 35% ถึง 37% ดังแสดงในภาพที่ 3.2 ซึ่งค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับการแช่ข้าวในน้ำ อย่างไรก็ตามเมื่อเวลาการบ่มนานขึ้นพบว่าข้าวกล้องจะมีกลิ่นเหม็นมากขึ้น ดังนั้นจากปัญหาดังกล่าวนี้อาจแก้ไขได้โดยการล้างข้าวกล้องด้วยน้ำสะอาดทุก 4-6 ชั่วโมง เพื่อลดปริมาณจุลินทรีย์ที่เพิ่มมากขึ้นอีกทั้งลดกลิ่นที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการบ่ม ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ดีด้วยเช่นกัน นอกจากนี้ระหว่างการบ่มข้าวกล้องที่อุณหภูมิ 40°C ความชื้นสัมพัทธ์ 90% สังเกตการเปลี่ยนแปลงของการงอกของเมล็ดทุก 4 ชั่วโมง พบว่างอกข้าวมีความยาวเพิ่มขึ้นประมาณ 1 มิลลิเมตร เมื่อการบ่มผ่านไป 20 ชั่วโมง และเมื่อเวลานานขึ้นการงอกที่เกิดขึ้นมีลักษณะเป็นราก ดังภาพที่ 3.4 ซึ่งนั่นหมายความว่าส่งผลต่อผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่น่ารับประทานและไม่เป็นที่นิยมของผู้บริโภค ดังนั้นเวลาการบ่มที่เหมาะสมสำหรับที่อุณหภูมิ 40°C คือ 20 ชั่วโมง

ข. การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของข้าวกล้องงอกหลังการบ่ม

เมื่อพิจารณาผลของการงอกของเมล็ดข้าวกล้องแล้วพบว่า ให้ผลดีกว่ากรณีการแช่ข้าวในน้ำเพียงอย่างเดียว ทั้งนี้สังเกตได้จากความยาวของงอกข้าวที่เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาการบ่มนานขึ้น ซึ่งทั้งนี้การงอกจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทั้งทางกายภาพและทางเคมีของเมล็ดข้าวกล้องหลังการงอก ดังแสดงค่าในตารางที่ 3.3 และ 3.4 รวมถึงการเพิ่มขึ้นของ GABA เป็นการยืนยันผลการงอกอีกทางหนึ่งด้วย

การเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด (Pasting property)

การเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดของแป้งข้าวกล้องที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการบ่มนั้น สามารถสังเกตได้จากกราฟดังภาพที่ 3.5 และตารางที่ 3.3 ซึ่งค่าความหนืดนี้ขึ้นอยู่กับระยะเวลาของการบ่มจนกระทั่งเกิดกระบวนการงอกขึ้น ซึ่งสังเกตได้ชัดเจนว่าค่าความหนืดลดลงเมื่อกระบวนการงอกเพิ่มมากขึ้น หรือยาวนานขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากปฏิกิริยาการย่อยสลายของแป้ง โปรตีน ให้มีอนุภาคเล็กลงด้วยเอ็นไซม์ (Reka และคณะ 1989)



ภาพที่ 3.6 การเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด (RVA) ของแป้งข้าวกล้องงอกหลังการแช่ข้าวกล้องที่เวลาต่างๆ

โดยปกติแล้วเมื่ออนุภาคแป้งมีการดูดซึมน้ำเข้าไปภายในเมล็ด เอ็นไซม์ α -amylase จะทำการย่อย α -1,4 glycosidic bonds ระหว่างโมเลกุลของกลูโคส ซึ่งการเพิ่มขึ้นของปฏิกิริยา α -amylase เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการงอก ดังนั้นจึงทำให้เกิดการย่อยสลายมากขึ้น (Reka, 2005) ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความหนืดของแป้งอย่างเห็นได้ชัดในค่าของ peak viscosity, trough, breakdown, final viscosity, setback และ peak time ให้ค่าความแตกต่างทางสถิติเมื่อเวลาการบ่มนานขึ้น ในขณะที่ค่า pasting temperature ไม่มีการเปลี่ยนแปลงหลังกระบวนการบ่มข้าวกล้องที่เวลาต่างๆ

ค่า Peak viscosity ของข้าวกล้องเริ่มต้นที่ 224.4 ± 10.6 RVU เพิ่มขึ้นเป็น 287.4 ± 12.4 RVU หลังการแช่ข้าวกล้องไปแล้ว 4 ชม. และเพิ่มขึ้นเล็กน้อยหลังการบ่มที่ 4 ชม. อุณหภูมิเดียวกันเป็น 294.4 ± 12.1 RVU แต่เมื่อนำข้าวกล้องมาบ่มด้วยเวลาที่นานขึ้น พบว่าการย่อยสลายของแป้งเพิ่มมากขึ้นส่งผลต่อการลดลงของค่า peak viscosity จาก 294.4 ± 12.1 RVU เป็น 142.2 ± 6.6 RVU หลังการบ่มไปแล้ว 20 ชม. จากการเปลี่ยนแปลงนี้เกิดจากปัจจัยหลายปัจจัย เช่น ค่าอะไมโลส, ค่าอะไมโลเพคติน และโปรตีน ที่ถูกย่อยสลายหลังกระบวนการงอกของเมล็ดข้าวในสภาวะที่เหมาะสมโดยการควบคุม ปริมาณความชื้น อุณหภูมิ และเวลา (Meullenet, 2004) เช่นเดียวกับค่า trough, breakdown, final viscosity, setback และ peak time ที่มีแนวโน้มลดลงจาก 158.8 ± 8.1 RVU, 135.6 ± 5.9 RVU, 239.5 ± 9.4 RVU, 80.5 ± 1.5 RVU, 5.7 ± 0.1 min เป็น 54.2 ± 4.2 RVU, 88.1 ± 3.7 RVU, 104.4 ± 7.5 RVU, 50.3 ± 3.9 RVU, 4.9 ± 0.1 min ที่กระบวนการบ่มข้าวกล้องที่ 4 ชม. และ 20 ชม. ตามลำดับ

Pasting temperature เป็นอีกค่าหนึ่งที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดของแป้งข้าวกล้องงอก แต่เนื่องจากกระบวนการบ่มข้าวกล้องจนเกิดการงอกนี้ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ Pasting temperature ทั้งนี้ไม่มีความแตกต่างทางสถิติซึ่งให้ผลในช่วง $71-72^{\circ}\text{C}$

ตารางที่ 3.3 ค่าต่ำสุด สูงสุดและค่าเฉลี่ย ของค่าความหนืด (Pasting properties) ของแป้งข้าวจ้าวลี้ยงออกหลังกระบวนการหมักการหมักกับการบ่มที่เวลาต่างๆ

	Peak viscosity (RVU)			Trough (RVU)			Breakdown (RVU)			Final viscosity (RVU)		
	Min	Max	Mean \pm SD	Min	Max	Mean \pm SD	Min	Max	Mean \pm SD	Min	Max	Mean \pm SD
แช่น้ำ 4 ชม. + บ่ม 4 ชม.	275.8	305.6	294.4 \pm 12.1 ^e	147.9	168.1	158.8 \pm 8.1 ^e	129.8	142.8	135.6 \pm 5.9 ^e	226.3	249.6	239.5 \pm 9.4 ^e
แช่น้ำ 4 ชม. + บ่ม 8 ชม.	248.2	276.3	260.9 \pm 11.7 ^d	134.5	149.3	140.6 \pm 6.7 ^d	112.3	129.9	120.1 \pm 6.4 ^e	215.3	229.9	221.6 \pm 6.8 ^d
แช่น้ำ 4 ชม. + บ่ม 12 ชม.	240.4	248.4	245.7 \pm 3.3 ^c	116.0	131.3	123.1 \pm 7.0 ^c	117.2	128.3	122.6 \pm 4.5 ^d	192.7	209.8	200.8 \pm 8.0 ^c
แช่น้ำ 4 ชม. + บ่ม 16 ชม.	186.8	209.8	198.83 \pm 8.2 ^b	78.9	93.8	86.1 \pm 5.4 ^b	107.9	116.1	112.9 \pm 3.2 ^b	145.7	162.1	154.3 \pm 6.0 ^b
แช่น้ำ 4 ชม. + บ่ม 20 ชม.	137.4	153.3	142.28 \pm 6.6 ^a	51.3	71.9	54.2 \pm 4.2 ^a	83.6	91.9	88.1 \pm 3.7 ^a	95.2	115.8	104.4 \pm 7.5 ^a

	Setback (RVU)			Peak time (min)			Pasting temperature (°C)		
	Min	Max	Mean \pm SD	Min	Max	Mean \pm SD	Min	Max	Mean \pm SD
แช่น้ำ 4 ชม. + บ่ม 4 ชม.	78.4	82.5	80.5 \pm 1.5 ^{cd}	5.6	5.7	5.7 \pm 0.1 ^d	71.1	72.7	71.9 \pm 0.6 ^a
แช่น้ำ 4 ชม. + บ่ม 8 ชม.	78.8	84.4	80.9 \pm 2.2 ^d	5.5	5.7	5.6 \pm 0.1 ^d	71.2	72.7	72.1 \pm 0.7 ^a
แช่น้ำ 4 ชม. + บ่ม 12 ชม.	75.8	80.5	77.7 \pm 1.7 ^c	5.3	5.5	5.4 \pm 0.1 ^c	70.3	72.7	71.3 \pm 0.8 ^a
แช่น้ำ 4 ชม. + บ่ม 16 ชม.	66.8	70.0	68.4 \pm 1.2 ^b	5.1	5.1	5.1 \pm 0.1 ^b	67.9	72.0	70.9 \pm 1.7 ^a
แช่น้ำ 4 ชม. + บ่ม 20 ชม.	43.8	54.4	50.3 \pm 3.9 ^a	4.9	5.0	4.9 \pm 0.1 ^a	70.3	71.9	71.1 \pm 0.6 ^a

Data were reported in means \pm standard deviation of five determinations.

Mean for each characteristic followed by the same letter superscripts within the same column are not significantly different at ($P < 0.05$) by Duncan multiple range test.

ตารางที่ 3.4 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี (ค่าสี, ค่าความขาว, ปริมาณไขมันทั้งหมด และปริมาณกรดไขมันอิสระ) ของแป้งข้าวกล้องออกหลังกระบวนการแช่ร่วมกับการบ่มที่เวลาต่างๆ

	ค่าสีของเมล็ดข้าวกล้องออก			ค่าความขาว (%)	ปริมาณไขมันทั้งหมด (%)	ปริมาณกรดไขมันอิสระ (%)
	L*	a*	b*			
ข้าวกล้อง	63.03±0.06 ^a	2.04±0.35 ^b	24.97±0.50 ^d	22.80±0.00 ^a	2.36±0.04 ^a	1.64±0.13 ^c
แช่น้ำ 4 ชม.	77.85±0.10 ^d	0.98±0.47 ^a	22.71±0.17 ^a	38.20±0.00 ^f	2.84±0.02 ^b	1.13±0.01 ^a
แช่น้ำ 4 ชม. + บ่ม 4 ชม.	78.41±0.07 ^e	2.42±0.10 ^{bc}	22.75±0.01 ^a	39.10±0.10 ^g	3.24±0.02 ^c	1.47±0.03 ^b
แช่น้ำ 4 ชม. + บ่ม 8 ชม.	76.33±0.11 ^c	2.27±0.19 ^{bc}	22.59±0.09 ^a	37.03±0.25 ^e	3.26±0.02 ^c	1.45±0.00 ^b
แช่น้ำ 4 ชม. + บ่ม 12 ชม.	78.56±0.24 ^e	2.46±0.36 ^{bc}	23.47±0.12 ^b	36.43±0.21 ^d	2.88±0.07 ^b	1.62±0.03 ^c
แช่น้ำ 4 ชม. + บ่ม 16 ชม.	75.21±0.18 ^b	2.69±0.04 ^c	24.22±0.24 ^c	35.73±0.06 ^c	2.84±0.02 ^b	1.53±0.00 ^b
แช่น้ำ 4 ชม. + บ่ม 20 ชม.	75.23±0.27 ^b	2.68±0.23 ^c	23.51±0.31 ^b	35.00±0.00 ^b	2.86±0.02 ^b	1.52±0.02 ^b

Data were reported in means ± standard deviation of triplicate determinations.

Mean for each characteristic followed by the same letter superscripts within the same column are not significantly different at (P<0.05) by Duncan multiple range test.

ค่าสีและค่าความขาว (Color and Whiteness)

ค่าสีของเมล็ดข้าวออกหลังการบ่มที่เวลาต่างๆ แสดงค่าในรูปแบบของค่า L^* , a^* และ b^* ซึ่งให้ผลดังแสดงในตารางที่ 3.4 และเปรียบเทียบค่าที่ได้กับข้าวกล้องที่ไม่ผ่านกระบวนการงอก หลังจากแช่ข้าวกล้องในน้ำควบคุมอุณหภูมิ 4 ซม. พบว่าค่า L^* เพิ่มขึ้นจาก 63.03% เป็น 77.85% ในขณะเดียวกับที่ค่าความชื้นที่เกิดจากการแช่ข้าวก็เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกันจาก 11.58% เป็น 35.61% และเมื่อนำข้าวกล้องมาบ่มที่อุณหภูมิเดิมพบว่าค่า L^* ยังคงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยและไม่เปลี่ยนแปลงที่ 75% ตลอด กระบวนการบ่มจนกระทั่งสิ้นสุดการบ่ม เช่นเดียวกับค่าความขาว (whiteness) เพิ่มขึ้นจาก 66.97% จากการแช่ข้าวกล้องที่ 4 ซม. เป็น 70.17% หลังการบ่ม 8 ชม. หลังจากนั้นก็มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยจนสิ้นสุดกระบวนการที่ 20 ชม. สำหรับค่า a^* ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงลักษณะเมล็ดที่สีออกแดง สัมพันธ์จากค่า a^* มากนั้นหมายถึงเมล็ดมีสีออกแดงมาก โดยที่ จะเห็นได้ชัดกับข้าวกล้อง หรือข้าวที่ไม่ได้ผ่านการขัดขาวเช่นกรณีนี้ข้าวกล้องให้ค่า a^* 2.04 และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อนำข้าวกล้องไปบ่มที่ 20 ชม. หลังการบ่มให้ค่า a^* เท่ากับ 2.68

ค่า b^* หรือค่าความเหลืองของเมล็ดให้ค่าสูงสุด 24.97 กับข้าวกล้องที่ไม่ผ่านกระบวนการแช่ แต่เมื่อนำข้าวกล้องไปแช่น้ำและบ่มที่อุณหภูมิเดียวกันแล้วพบว่าค่า b^* มีแนวโน้มลดลงและคงที่ประมาณ 22 หลังการบ่มไปแล้ว 8 ชม. รวมไปถึงเพิ่มขึ้นเล็กน้อยที่ 23 ณ จุดสิ้นสุดกระบวนการบ่ม (20 ชม.) ซึ่งการลดลงของค่าสีในช่วงการบ่มนั้นอาจเนื่องมาจากการบ่มที่อุณหภูมิต่ำ (40°C) ทำให้ไม่เกิดปฏิกิริยาที่เรียกว่า non-enzyme browning หรือ Maillard reaction ทั้งนี้ปฏิกิริยานี้มักมีผลต่อค่าสีที่อุณหภูมิมากกว่า 60°C รวมถึงระหว่างกระบวนการบ่มก่อให้เกิดการเคลื่อนที่ขององค์ประกอบ เช่น ไขมัน เม็ดสีจากผิวข้าว และอื่นๆ ทั้งเคลื่อนตัวเข้า และเคลื่อนตัวออก (Inward-outward) ดังที่อธิบายไปแล้วในเบื้องต้นซึ่งล้วนมีผลต่อค่าสีของเมล็ดข้าวทั้งสิ้น เช่นเดียวกับการเพิ่มขึ้นของค่าความขาวเนื่องจากการเคลื่อนที่ของไขมันระหว่างกระบวนการบ่มทั้งนี้ และทั้งนั้นเกิดจากปัจจัยที่สำคัญอย่างยิ่ง คือ การเพิ่มขึ้นของค่าความชื้นนั่นเอง

ปริมาณไขมันและกรดไขมันอิสระ (Total lipid and Free Fatty Acid)

จากตารางที่ 3.4 แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณไขมันและกรดไขมันอิสระของข้าวกล้องพบว่า ข้าวกล้องที่ไม่ผ่านกระบวนการงอกให้ปริมาณไขมันต่ำสุด $2.36 \pm 0.04\%$ ขณะที่ให้ค่ากรดไขมันอิสระสูงที่สุด $1.64 \pm 0.13\%$ หลังจากนั้นปริมาณไขมันเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อแช่ข้าวกล้องที่ 4 ชม. ($2.84 \pm 0.02\%$) และเพิ่มขึ้นอย่างไม่มี ความแตกต่างทางสถิติด้วยค่า $3.24 \pm 0.02\%$, $3.26 \pm 0.02\%$ ที่เวลาการบ่ม 4 และ 8 ชม. ตามลำดับ เมื่อการบ่มนานขึ้นค่าปริมาณไขมันคงที่ในช่วง $2.84-2.88\%$ และไม่มี ความต่างทางสถิติที่ 12-20 ชม. สำหรับค่ากรดไขมันอิสระให้ค่าเพิ่มมากขึ้นที่การบ่มข้าวกล้องในช่วง 4 ชม. ถึง 12 ชม. ที่ $1.47 \pm 0.03\%$ และ $1.62 \pm 0.03\%$ ตามลำดับ และคงที่ ไม่มี ความแตกต่างทางสถิติที่ค่าประมาณ 1.52% ทั้งนี้เนื่องมาจาก กระบวนการย่อยสลายของไขมันเป็นกรดไขมันอิสระด้วยเอนไซม์ในสภาวะการบ่มที่เหมาะสมนั่นเอง

ก. การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดแกมมาเอมิโนบิวทิริกของข้าวกล้องงอกหลังการแช่ร่วมกับการบ่มข้าวกล้อง ที่เวลาต่างๆ

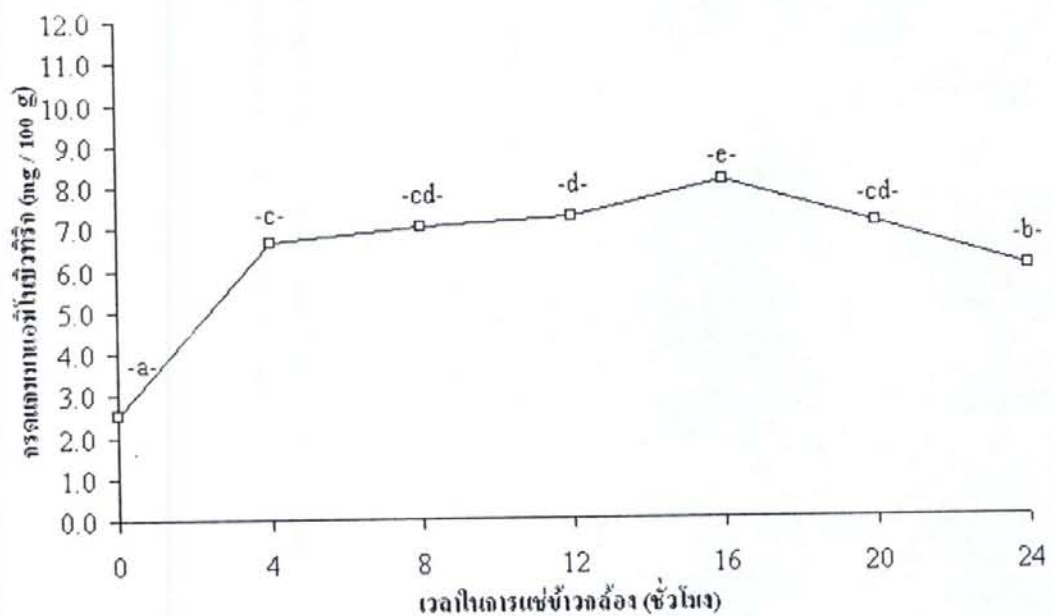
จากการศึกษาที่ผ่านมาทั้งกระบวนการแช่ข้าวกล้องในน้ำที่อุณหภูมิ 40°C และการแช่ร่วมกับการบ่ม ข้าวกล้องที่อุณหภูมิ 40°C , $90\%\text{RH}$ พบว่าให้ค่าความแตกต่างของคุณสมบัติทั้งทางกายภาพและทางเคมี อย่างไรก็ดีตามกระบวนการผลิตข้าวกล้องงอกซึ่งเกิดปฏิกิริยาการกระตุ้นเอนไซม์ให้ทำงานในระหว่างการแช่ และการบ่มข้าวกล้อง จนเกิดการย่อยสลายของ แป้ง โปรตีน ไขมัน เป็นอนุมูลที่มีขนาดเล็กลงสิ่งสำคัญคือ การเพิ่มขึ้นของสารอาหารในระหว่างกระบวนการงอกนั้นคือ กรดแกมมาเอมิโนบิวทิริก (GABA) และการเปลี่ยนแปลงด้านกลิ่นและเนื้อสัมผัสของเมล็ดข้าวในทางที่ดีขึ้นด้วย

กรดแกมมาเอมิโนบิวทิริก (GABA) เป็นกรดอะมิโนตัวหนึ่งที่เกิดจากการย่อย Glutamic acid โดยเอนไซม์ Decarboxylase ซึ่งค่า GABA นี้มีประโยชน์อย่างมากต่อร่างกายเพราะเป็นสารสื่อประสาท ช่วยลดและบรรเทาอาการของโรคได้หลายโรค เช่น ความจำเสื่อม ความดันโลหิตสูง เป็นต้น และค่า GABA นี้จะเพิ่มมากขึ้นเมื่อเกิดกระบวนการงอกของข้าวกล้องทั้งนี้วิธีการตรวจวัดหลายวิธีด้วยกัน คือ การใช้ High performance liquid chromatographic (HPLC) (Herbert และคณะ 2000) การตรวจวัดโดยใช้ Gas chromatographic (GC) ซึ่งวิธีการทั้งสองวิธีนี้ให้ผลการทดสอบที่ดีและน่าเชื่อถือ แต่ทั้งนี้และทั้งนั้นด้วย

เครื่องมือที่มีราคาค่อนข้างแพง อีกทั้งกระบวนการที่ค่อนข้างยุ่งยากรวมถึงใช้สารเคมีที่เฉพาะดังนั้นทั้งสองวิธีการจึงมีค่าใช้จ่ายที่ค่อนข้างสูง ด้วยเหตุนี้นักวิจัยจึงได้ทำการทดลองหาวิธีการทดสอบหาค่า กรดแกมมาเอมิโนบิวทิริก (GABA) ด้วยวิธีอื่นๆ โดยเน้นที่ความน่าเชื่อถือและความถูกต้องของข้อมูลอีกทั้งเสียค่าใช้จ่ายที่ไม่สูงมากนัก จากรายงานวิจัยของ Kitaoka และ Nakano (1959) ที่ทำการทดลองวิเคราะห์หาค่าเอมิโนโดยใช้เครื่อง Spectrophotometer และให้ผลการทดลองที่ดีดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทดสอบค่าค่ากรดแกมมาเอมิโนบิวทิริก (GABA) โดยใช้วิธีการอ้างอิงจากงานวิจัยของ Kitaoka และ Nakano (1959)

ปริมาณกรดแกมมาเอมิโนบิวทิริกของข้าวกล้องหลังการแช่และการร่วมกับการบ่มที่เวลาต่างๆ

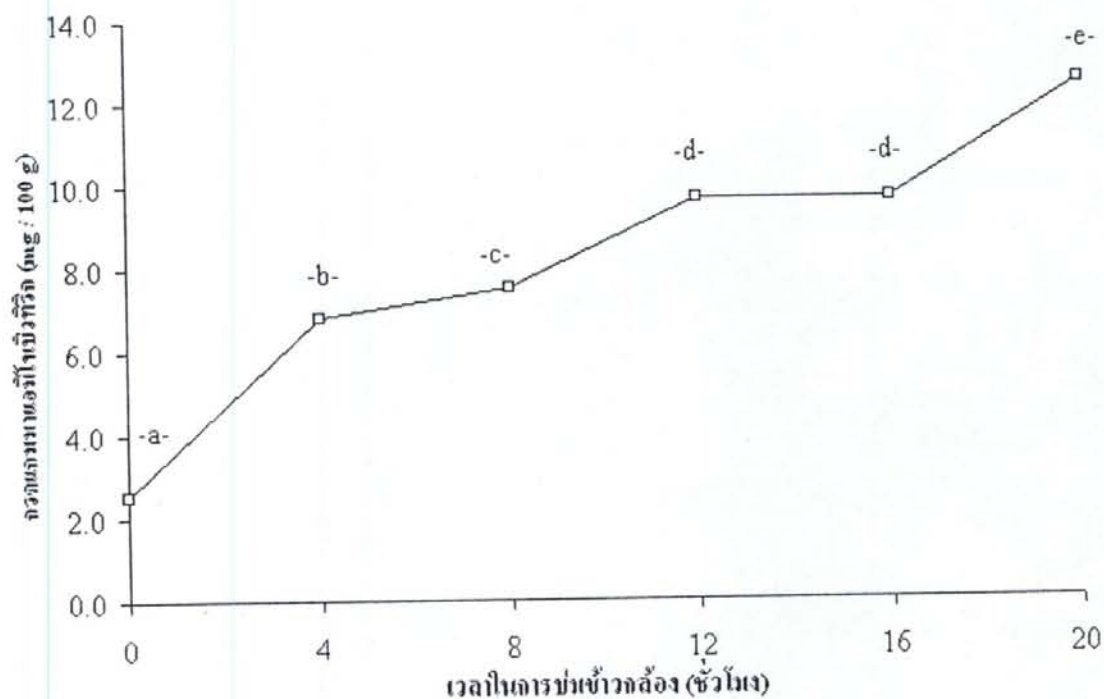
หลังจากข้าวกล้อง KDML 105 ถูกแช่ที่อุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 24 ชม. และทุก 4 ชม. สุ่มตัวอย่างเพื่อนำมาแช่แข็ง และลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งสุญญากาศก่อนที่จะนำไปบดเป็นแป้งเพื่อสกัดและวิเคราะห์หาปริมาณกรดแกมมาเอมิโนบิวทิริก (GABA) ด้วยวิธีการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ให้ผลการทดลองดังภาพที่ 3.7 จากผลการทดลองพบว่าค่า GABA มีค่าเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่องจากเริ่มต้นจนกระทั่ง 16 ชม. ของการแช่ข้าวกล้องในน้ำ หลังจากนั้นก็มีแนวโน้มลดลงจนกระทั่งสิ้นสุดกระบวนการแช่ที่ 24 ชม.



ภาพที่ 3.7 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดแกมมาเอมิโนบิวทิริก (GABA) ที่เวลาต่างๆ ของการแช่ข้าวกล้องในน้ำ 40°C

ค่าเริ่มต้นของปริมาณกรดแกมมาเอมิโนบิวทริก (GABA) ที่วิเคราะห์ได้จากข้าวกล้องที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการงอกมีค่า 2.51 ± 0.47 mg/100g ซึ่งการเปลี่ยนแปลงที่สังเกตได้นั้นพบว่าการงอกของเมล็ดข้าวกล้องส่งผลให้ค่า GABA เพิ่มขึ้นคือ ที่การแช่ 4 ชม. GABA เพิ่มขึ้นเป็น 6.66 ± 0.14 mg/ 100g และเพิ่มขึ้นเป็น 7.01 ± 0.34 และ 7.24 ± 0.27 mg/ 100g หลังการแช่ข้าวกล้องที่ 8 ชม. และ 12 ชม. ตามลำดับ และยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องที่ 16 ชม. เป็น 8.11 ± 0.15 mg/ 100g ถึงแม้ว่าค่า GABA จะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องอย่างเห็นได้ชัดแต่เมื่อเวลาการแช่ข้าวกล้องในน้ำนานขึ้นกลับทำให้ค่า GABA ลดลงเป็น 7.04 ± 0.52 และ 5.97 ± 0.49 mg/ 100g ที่ 20 และ 24 ชม. ตามลำดับ ซึ่งการทดลองนี้ให้ผลเช่นเดียวกับ Khara (2007)

ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของ GABA สูงสุดที่ 16 ชม. ของการแช่ข้าวกล้องที่ 40°C โดยเพิ่มขึ้นประมาณ 4 เท่าเมื่อเทียบกับปริมาณ GABA เริ่มต้นที่มีอยู่ จากผลการทดลองนี้สอดคล้องกับลักษณะของข้าวกล้องที่ปรากฏในภาพ 3.3 ทั้งนี้จากการสังเกตพบว่าถึงแม้เวลาในการแช่ข้าวกล้องจะนานขึ้นแต่ก็มิได้ทำให้ข้าวกล้องงอกมากขึ้น โดยพิจารณาที่จมูกข้าวมิได้ยาวเพิ่มขึ้น ดังนั้นเมื่อวิเคราะห์ค่า GABA พบว่าเมื่อการแช่ข้าวกล้องนานขึ้นกลับมีค่าลดลง ถึงกระนั้นปริมาณของ กรดแกมมาเอมิโนบิวทริก (GABA) ก็ยังมีค่ามากกว่าค่าเริ่มต้นของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านกระบวนการงอก ทั้งนี้การลดลงของปริมาณ GABA นั้นอาจเนื่องมาจากเกิดกระบวนการหมัก (Fermentation) ขึ้นขณะทำการแช่ข้าวในน้ำทั้งนี้เมื่อการแช่ยาวนานขึ้นทำให้มีกลิ่นเหม็นอย่างเห็นได้ชัด จึงทำให้อาจไปยับยั้งกระบวนการงอกได้ ดังนั้นจึงสามารถป้องกันได้โดยการเปลี่ยนน้ำในระหว่างกระบวนการแช่ หรือหากในกรณีของการบ่มที่จะได้กล่าวถึงต่อไปนั้น จะต้องมีการล้างข้าวกล้องทุกๆ 4-6 ชม. เพื่อลดประสิทธิภาพการหมักให้ลดลง และเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการงอก



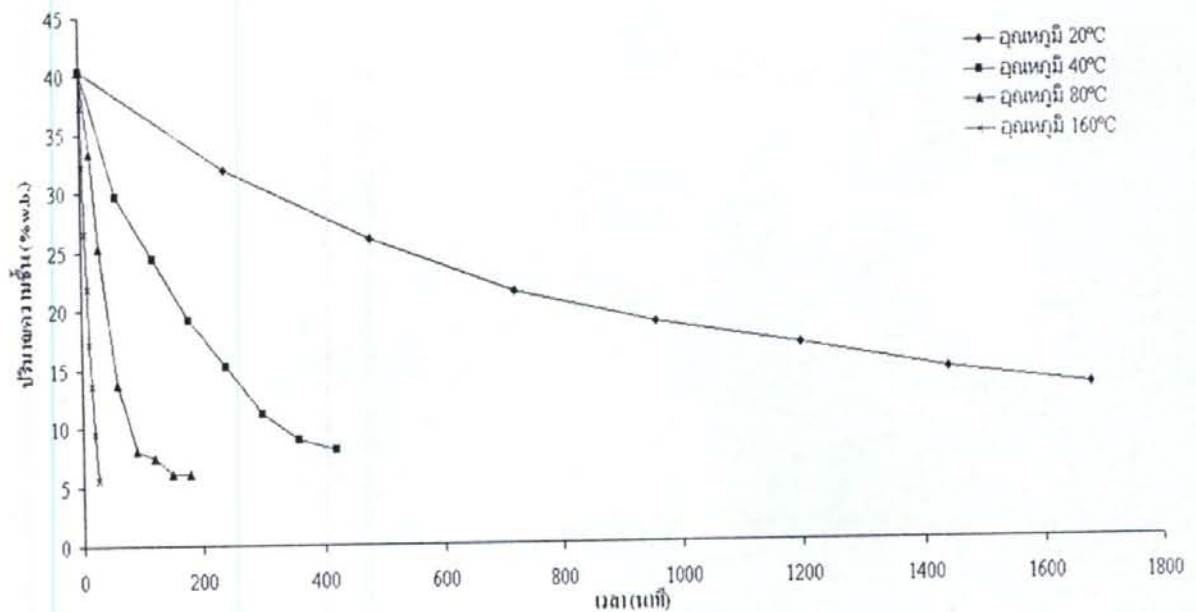
ภาพที่ 3.8 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดแกมมาเอมิโนบิวทีริก (GABA) ที่เวลาต่างๆ ของการบ่มข้าวกล้อง 40°C, 90%RH

จากกระบวนการแช่ข้าวกล้องในน้ำนั้นให้ประสิทธิภาพการงอกที่ต่ำ ดังนั้นจึงได้ศึกษาการแช่ข้าวกล้องที่ 40°C เป็นเวลา 4 ชม. หลังจากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 40°C, 90%RH ผลจากการวิเคราะห์ค่า GABA แสดงดังภาพที่ 3.8 พบว่าปริมาณ GABA เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการบ่มนานขึ้นอย่างต่อเนื่อง การเพิ่มขึ้นของ GABA นั้นประมาณ 3 เท่าหลังจากการบ่มเพียง 4 ชม. จากเริ่มต้น 2.51 ± 0.47 ไปที่ 6.81 ± 0.23 mg/ 100g หลังจากนั้นยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องไปที่ 9.66 ± 0.35 mg/ 100g และ 9.67 ± 0.38 mg/ 100g ที่ 12 และ 16 ชม. ตามลำดับ สุดท้ายหลังจากที่บ่มข้าวกล้องไป 20 ชม. พบว่าให้ค่า GABA สูงสุดที่ 12.50 ± 0.74 mg/100g หรือประมาณ 5 เท่าจากเริ่มต้น เช่นเดียวกันเมื่อเปรียบเทียบกับลักษณะทางกายภาพที่ปรากฏจากภาพที่ 3.4 สังเกตได้ชัดเจนว่าการงอกของจมูกข้าวมีผลต่อค่า GABA ที่วิเคราะห์ได้โดยเฉพาะอย่างยิ่งการงอกเพิ่มมากขึ้นส่งผลต่อค่า GABA ที่เพิ่มมากขึ้นเช่นกัน แต่อย่างไรก็ตามยังคงมีข้อจำกัดทางด้านของความพร้อมใจของผู้บริโภค เนื่องจากการที่จมูกข้าวงอกยาวมากเกินไปจนสังเกตคล้ายรากนั้นไม่เป็นที่นิยม ดังนั้นการงอกของจมูกข้าวที่ความยาวประมาณ 1 mm เหมาะสมดีแล้ว อีกทั้งมีรายงานวิจัยรายงานว่าถ้าความยาวของจมูกข้าวเพิ่มขึ้นมากเกินไปจะทำให้ปริมาณค่า GABA ลดลง รวมถึงการเพิ่มขึ้นของ GABA ยังสอดคล้องกับการลดลงของ

Glutamate ทั้งนี้เนื่องจากเอนไซม์ Glutamate decarboxylase ถูกกระตุ้นจากสภาวะที่เหมาะสมของ กระบวนการบ่มย่อยสลาย Glutamate เป็นกรดแกมมาเอมิโนบิวทิริก (GABA) นั้นเอง (Saikusa, 1994; Sasagawa และคณะ 2006)

3.2 ศึกษาผลของอุณหภูมิในการลดความชื้นที่มีต่อปริมาณกรดแกมมาเอมิโนบิวทิริก (GABA) ในผลิตภัณฑ์ ข้าวกล้องงอกพันธุ์หอมมะลิ 105

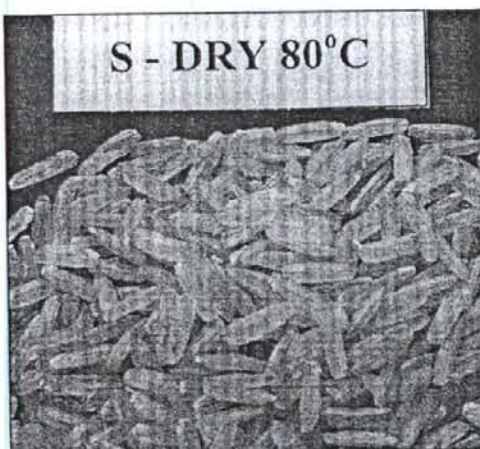
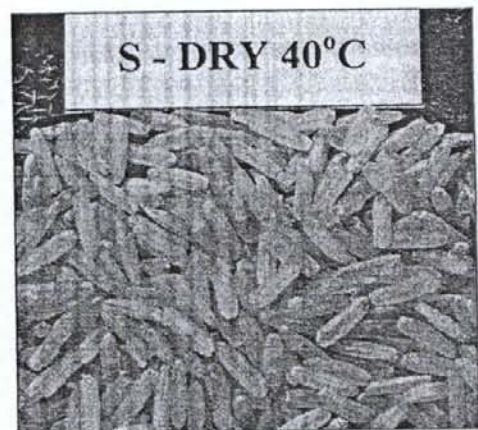
กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกนั้น มีวัตถุประสงค์พื้นฐานเพื่อการเพิ่มมูลค่าของข้าวกล้อง โดยการเพิ่มของสารอาหารและวิตามินต่างๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการงอกของข้าวกล้อง ซึ่งเป็นผลมาจากการที่ แป้ง โปรตีน ไขมัน เกิดการย่อยสลายด้วยเอนไซม์เปลี่ยนแปลงโครงสร้าง ทำให้ข้าวกล้องงอกที่ได้ มีกลิ่นหอม เนื้อสัมผัสนุ่มขึ้น รสชาติเป็นที่น่าพึงพอใจส่งผลให้ผู้บริโภคหันมารับประทานข้าวกล้องเพิ่มมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามเมื่อข้าวผ่านกระบวนการงอกแล้วนั้น ข้าวกล้องยังคงมีความชื้นสูงซึ่งไม่สะดวกต่อการนำไปจำหน่ายในทันที ทั้งนี้เนื่องจากน้ำหนักที่มากยากแก่การขนส่ง และเก็บรักษาได้ไม่นาน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการลดความชื้นลงให้อยู่ในช่วงที่สามารถเก็บรักษาได้นานเหมือนข้าวปรกติทั่วไป คือที่ประมาณ 12-13% ดังนั้นกระบวนการลดความชื้นจึงต้องเข้ามาเกี่ยวข้องกับข้าว ซึ่งกระบวนการลดความชื้นหรือที่เรียกว่า การทำแห้งนั่นเอง แล้วอุณหภูมิเท่าไรจึงจะเหมาะสมต่อการทำแห้ง ทั้งนี้เป็นที่ทราบกันดีว่า GABA เป็นสารอาหารที่ไวต่อค่าความร้อนหรือสูญเสียได้ง่ายต่ออุณหภูมิโดยเฉพาะที่อุณหภูมิสูง ดังนั้นถึงแม้ว่าเราสามารถเพิ่มปริมาณ GABA ได้จากกระบวนการแช่ข้าวกล้องในน้ำและบ่ม แต่ถ้าปริมาณของกรดแกมมาเอมิโนบิวทิริก ต้องมาสูญเสียในช่วงของการลดความชื้นก็คงไม่เป็นที่ต้องการอย่างแน่นอน ดังนั้นจากผลการทดลองในตารางด้านล่าง จะได้รายงานผลจากการที่ลดความชื้นข้าวกล้องงอกที่อุณหภูมิ 20°C, 40°C, 80°C และ 160°C มีผลอย่างไรต่อค่า GABA และคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของข้าวกล้องงอก โดยที่ก่อนการอบแห้งนี้ข้าวกล้องงอกได้ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำความร้อนสูงที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 10 min ซึ่งการให้ความร้อนนี้เพื่อลดปริมาณจุลินทรีย์ที่เติบโตขึ้นระหว่างกระบวนการแช่และบ่มข้าวกล้อง



ภาพที่ 3.9 การลดลงของปริมาณความชื้นของข้าวกล้องงอกหลังการอบแห้งที่อุณหภูมิ 20°C, 40°C, 80°C และ 160°C

จากภาพที่ 3.9 เป็นการแสดงให้เห็นลักษณะการลดลงของปริมาณความชื้นของข้าวกล้องที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่าเวลาที่ใช้ในการลดความชื้นอยู่ในช่วง 15 นาที ถึง 24 ชม. โดยที่เมื่ออุณหภูมิในการลดความชื้นสูง เช่นที่ 160°C จะใช้เวลาเพียงแค่ 15 นาที ขณะที่ 20°C ใช้เวลาถึง 24 ชม. จึงจะลดความชื้นลงมาได้ตามที่ต้องการ

จากภาพที่ 3.10 เป็นการเปรียบเทียบให้เห็นคุณลักษณะของข้าวกล้องงอกหลังการอบแห้งเพื่อลดความชื้นที่อุณหภูมิต่างๆ กับข้าวกล้องที่ไม่ผ่านกระบวนการงอก พบว่าข้าวกล้องเมื่อนำไปผ่านไอน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 100°C, 10 min ก่อนนำไปลดความชื้นนั้นไม่พบการปริแตกของเมล็ดข้าว และเมล็ดข้าวที่ได้ค่อนข้างใส ซึ่งเกิดจากกระบวนการเจลาติไนส์เซชันของแป้ง แต่อย่างไรก็ตามการลดความชื้นที่อุณหภูมิสูงสังเกตเห็นรอยไหม้บริเวณจมูกข้าวเป็นลักษณะสีน้ำตาลอย่างเห็นได้ชัด ดังนั้นอาจส่งผลกระทบต่อปริมาณของ GABA ซึ่งจะได้รายงานผลต่อไป แต่สำหรับที่การอบแห้งอุณหภูมิต่ำ (20°C) ให้คุณลักษณะปรากฏของข้าวกล้องที่ดี เมล็ดใสไม่มีรอยร้าวอีกทั้งสีของเมล็ดที่อ่อนใกล้เคียงกับข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการงอก



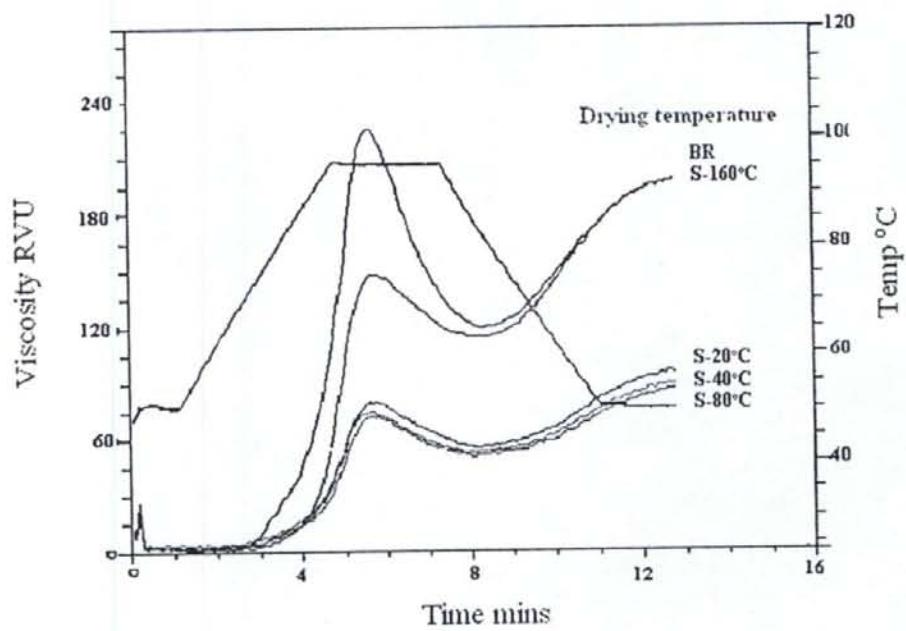
ภาพที่ 3.10 ลักษณะทางกายภาพของข้าวกล้องงอกที่ผ่านกระบวนการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ เปรียบเทียบกับข้าวกล้องที่ไม่ผ่านกระบวนการงอก

ก. การเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด (Pasting property) ของข้าวกล้องหลังการลดความชื้นที่อุณหภูมิต่างๆ

Pasting property หรือคุณสมบัติทางความหนืดของแป้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อลดความชื้นของข้าวกล้องงอกที่อุณหภูมิต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 3.11 และตารางที่ 3.5 จากการสังเกตพบว่าค่า peak viscosity ของแป้งข้าวกล้องงอกมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการลดความชื้นเพิ่มมากขึ้น และให้ค่าสูงสุดที่ 148.1 ± 4.6 RVU ที่อุณหภูมิ 160°C ขณะที่ต่ำสุดเกิดขึ้นหลังการลดความชื้นที่ 20°C (77.2 ± 3.5 RVU) ซึ่งแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงนี้ให้ผลเช่นเดียวกับค่าที่แสดงของ trough, breakdown, final viscosity, setback และ peak time ขณะที่ pasting temperature มีค่าค่อนข้างกว้างอยู่ในช่วง $55-86^\circ\text{C}$

การลดความชื้นที่อุณหภูมิต่างๆ และส่งผลที่แตกต่างของค่าความหนืดนั้นเนื่องมาจาก ระหว่างกระบวนการให้ความร้อนด้วยไอน้ำและลดความชื้นลงนั้นเกิดปฏิกิริยาเจลลาติไนส์เซชันที่ระดับต่างๆ กัน (Degree of gelatinization) ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ความชื้นเริ่มต้น อุณหภูมิ (Jaisut และคณะ 2008) เช่นเดียวกับที่ Taechapairoj (2004) รายงานว่าการเกิดปฏิกิริยาเจลลาติไนส์เซชันมีผลให้ค่า peak viscosity ลดลง ดังนั้นการที่ข้าวกล้องถูกฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำร้อนอุณหภูมิสูง 100°C เวลา 10 นาทีนั้นทำให้อนุภาคของเม็ดแป้งเกิดการเชื่อมต่อกันจนไม่สังเกตเห็นรอยร้าว ไม่เกิดช่องว่าง และเมื่อนำไปลดความชื้นที่อุณหภูมิต่ำ $20-80^\circ\text{C}$ ซึ่งจะใช้เวลาที่ค่อนข้างนานดังนั้นจึงทำให้ระดับของการเกิดเจลลาติไนส์เซชันเพิ่มมากขึ้นส่งผลต่อค่าความหนืดที่น้อยกว่ากรณีของการลดความชื้นที่อุณหภูมิสูง เพราะเวลาในการลดความชื้นจะสั้นกว่ามาก ดังนั้นระดับของการเกิดเจลลาติไนส์เซชันจึงน้อยกว่า ทำให้ได้ค่าความหนืดที่สูงกว่านั่นเอง

ค่า Pasting temperature ของแป้งกล้องงอกนั้นอยู่ในช่วง $55-86^\circ\text{C}$ ซึ่งที่อุณหภูมิสูงนั้นเนื่องมาจาก ระหว่างกระบวนการฆ่าเชื้อและลดความชื้นนั้นแป้งเกิดการเจลลาติไนส์เซชัน จึงทำให้อะไมโลสและไขมัน (Amylose-lipid complexes) รวมตัวกันด้วยโครงสร้างที่แน่น ยากต่อการแทรกซึมของน้ำ ดังนั้นค่า Pasting temperature จึงสูงขึ้น (Juliano, 1985; Kaur และ Singh, 2000)



ภาพที่ 3.11 การเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด (RVA) ของแป้งข้าวกล้องงอกหลังการลดความชื้นด้วยอุณหภูมิ
ต่างๆ

ตารางที่ 3.5 ค่าต่ำสุด สูงสุดและค่าเฉลี่ย ของค่าความหนืด (Pasting properties) ของแป้งข้าวกล้องงอกหลังกระบวนการลดความชื้นที่อุณหภูมิ 20°C, 40°C, 80°C และ 160°C

	Peak viscosity (RVU)			Trough (RVU)			Breakdown (RVU)			Final viscosity (RVU)		
	Min	Max	Mean ±SD	Min	Max	Mean ±SD	Min	Max	Mean ±SD	Min	Max	Mean ±SD
อุณหภูมิ 20°C	71.3	79.7	77.2±3.5b	53.1	55.4	54.1±1.2b	23.1	28.0	25.0±2.2b	92.3	99.0	94.8±2.9b
อุณหภูมิ 40°C	75.3	87.3	79.1±4.7b	52.4	61.6	54.5±3.9b	22.8	25.8	24.3±1.2b	89.6	102.3	93.4±5.1b
อุณหภูมิ 80°C	66.3	72.3	69.1±2.3a	45.8	50.4	48.1±0.7a	20.1	21.9	20.8±0.7a	83.2	87.3	84.9±2.1a
อุณหภูมิ 160°C	140.3	152.1	148.1±4.6c	110.6	152.1	115.2±3.4c	29.7	35.6	33.6±2.4c	192.9	205.0	200.5±4.8c

	Setback (RVU)			Peak time (min)			Pasting temperature (°C)		
	Min	Max	Mean ±SD	Min	Max	Mean ±SD	Min	Max	Mean ±SD
อุณหภูมิ 20°C	39.1	45.7	41.2±2.7b	5.5	5.8	5.7±0.1a	78.4	87.7	82.6±4.5bbc
อุณหภูมิ 40°C	37.2	49.3	41.4±4.6b	5.6	5.7	5.7±0.1a	50.3	58.1	55.8±3.3a
อุณหภูมิ 80°C	34.4	37.3	35.7±1.3a	5.5	5.8	5.7±0.1a	81.1	88.2	86.7±3.1c
อุณหภูมิ 160°C	82.3	86.0	84.6±1.4c	5.8	5.9	5.8±0.1b	74.3	82.5	78.8±2.9b

Data were reported in means ± standard deviation of five determinations. Mean for each characteristic followed by the same letter superscripts within the same column are not significantly different at (P<0.05) by Duncan multiple range test.

ตารางที่ 3.6 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี (เวลาในการหุง, ค่าความแข็ง, ค่าการดูดซึมน้ำ, ค่าสี, ค่าความขาว) ของแป้งข้าวกล้องงอกหลังการลดความชื้นที่อุณหภูมิ 20°C, 40°C, 80°C และ 160°C

ตัวอย่าง	*เวลาในการหุง (นาที)	**ค่าความแข็ง (นิวตัน)	*ปริมาณการดูดซึมน้ำ (กรัม น้ำ / กรัม ข้าว)	*ค่าสีของเมล็ดข้าวออก			*ค่าความขาว	
				L*	a*	b*	(%)	
ข้าวกล้องเริ่มต้น	27.00±0.00 ^e	28.38±3.54 ^d	2.42±0.12 ^c	63.03±0.06 ^e	2.04±0.35 ^a	24.97±0.50 ^b	22.30±0.00 ^b	
อุณหภูมิ 20°C	24.00±0.00 ^b	24.63±1.18 ^{ab}	1.72±0.04 ^a	55.77±1.28 ^a	2.73±0.27 ^b	26.24±0.27 ^c	16.40±0.00 ^b	
อุณหภูมิ 40°C	24.00±0.00 ^b	24.83±1.74 ^{ab}	1.78±0.01 ^a	56.41±0.48 ^a	2.88±0.30 ^b	27.54±0.29 ^e	16.13±0.06 ^a	
อุณหภูมิ 80°C	23.00±0.00 ^a	26.77±1.29 ^{bcd}	1.84±0.03 ^{ab}	58.80±0.84 ^b	2.88±0.12 ^b	26.84±0.43 ^d	17.70±0.00 ^c	
อุณหภูมิ 160°C	23.00±0.00 ^a	30.83±2.15 ^e	1.94±0.01 ^{bc}	60.31±0.45 ^c	2.90±0.20 ^b	26.65±0.50 ^{cd}	19.53±0.06 ^d	

* Data were reported in means ± SD of triplicate determinations, ** Means ± SD of five determinations

Mean for each characteristic followed by the same letter superscripts within the same column are not significantly different at (P<0.05) by Duncan multiple range test.

ตารางที่ 3.7 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี (ปริมาณไขมันทั้งหมด, ปริมาณกรดไขมันอิสระ และ ปริมาณจุลินทรีย์) ของแป้งข้าวกล้องงอกหลังการลดความชื้นที่อุณหภูมิ 20°C, 40°C, 80°C และ 160°C

ตัวอย่าง	*ปริมาณไขมันทั้งหมด (%)	*ปริมาณกรดไขมันอิสระ (%)	*ปริมาณจุลินทรีย์ (log ₁₀ cfu ml ⁻¹)
ข้าวกล้องเริ่มต้น	2.36±0.04 ^a	1.64±0.13 ^d	4.00±0.04 ^{ab}
อุณหภูมิ 20°C	3.19±0.02 ^{ef}	0.89±0.07 ^b	5.51±0.94 ^d
อุณหภูมิ 40°C	3.17±0.01 ^e	0.81±0.02 ^b	5.25±0.07 ^d
อุณหภูมิ 80°C	2.98±0.06 ^{bc}	0.73±0.01 ^a	4.15±0.01 ^{ab}
อุณหภูมิ 160°C	2.96±0.00 ^{bc}	0.68±0.00 ^a	3.65±0.06 ^a

Data were reported in means ± standard deviation of triplicate determinations.
Mean for each characteristic followed by the same letter superscripts within the same column are not significantly different at P<0.05) by Duncan multiple range test.

Note: The initial of colony (6.75±0.05 log cfu ml⁻¹) at soaking 4 hr and incubate 20 hr.

ข. การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของข้าวกล้องงอกหลังกระบวนการลดความชื้นที่อุณหภูมิต่างๆ

คุณสมบัติทั้งทางกายภาพและทางเคมีของข้าวกล้องงอกนั้นให้ค่าที่แตกต่างกัน เมื่ออุณหภูมิในการลดความชื้นแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 3.6 และ 3.7 ซึ่งสามารถสังเกตได้ว่าค่าเวลาในการหุงข้าวกล้องงอก ค่าความขาว ค่าปริมาณไขมัน ค่ากรดไขมันอิสระ และปริมาณจุลินทรีย์ มีค่าลดลงในขณะที่ ค่าความแข็ง ปริมาณการดูดซึมน้ำ และค่า b^* เพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการลดความชื้นเพิ่มมากขึ้น และให้ค่าที่แตกต่างทางสถิติกับข้าวกล้องที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการงอก

- ค่าเวลาในการหุง (Cooking time)

ข้าวกล้องงอกเป็นข้าวที่ใช้เวลาในการหุงที่สั้นกว่าข้าวกล้องที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการงอก (Watanabe, 2004) ดังเช่นในตารางที่ 3.6 พบว่าเวลาในการหุงข้าวกล้องทั่วไปอยู่ที่ 27 นาทีแต่เมื่อข้าวกล้องผ่านกระบวนการงอกแล้วทำให้เวลาในการหุงลดลงอยู่ในช่วง 23-24 นาทีเท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจากข้าวกล้องโดยทั่วไปห่อหุ้มด้วยชั้นของไขมันที่เราเรียกว่า “รำข้าว” ดังนั้นจึงยากต่อการซึมผ่านของน้ำในระหว่างการหุง ดังนั้นจึงใช้เวลาที่ค่อนข้างนาน แต่เมื่อข้าวเกิดการงอกขึ้น ซึ่งทำให้ ไขมัน โปรตีน และแป้งย่อยสลายเป็นโมเลกุลที่มีขนาดเล็กลงทำให้ง่ายต่อการซึมผ่านของน้ำช่วยลดระยะเวลาในการหุงข้าวให้สั้นลง

- ค่าความแข็ง (Hardness)

คุณสมบัติทางด้านเนื้อสัมผัสของข้าวกล้องงอกนับว่าเป็นอีกปัจจัยที่สำคัญของการเลือกบริโภคข้าวกล้องงอก ทั้งนี้เนื่องจากพบว่าค่าความแข็งที่ลดลงของข้าวกล้องเมื่อเทียบกับข้าวที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการงอก เช่น ข้าวกล้องให้ค่าความแข็ง 28.38 ± 3.54 N ขณะที่ข้าวกล้องงอกให้ค่าความแข็งอยู่ในช่วง 24-26 N ยกเว้นกรณีที่มีการอบแห้งอุณหภูมิสูงส่งผลต่อค่าความแข็งที่สูงตามไปด้วย และค่าความแข็งที่ได้จากการทดสอบด้วยเครื่อง Texture analyzer นี้ให้ผลสอดคล้องกับค่าที่ได้จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคดังที่ได้แสดงผลในตารางที่ 3.8 การที่ค่าความแข็งลดลงนั้นทั้งนี้เนื่องมาจากการย่อยสลายขององค์ประกอบของข้าว เช่น ไขมัน โปรตีน และแป้ง ดังที่กล่าวไปแล้วในเบื้องต้น

- ปริมาณการดูดซึมน้ำ (Water absorption)

กระบวนการแช่และบ่มข้าวกล้องจนเกิดการงอก รวมถึงการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงของไอน้ำร้อนและลดความชื้น ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของข้าวหรือเกิดปฏิกิริยาเจลลาติไนส์เซชันขึ้น ดังนั้นเมื่อสังเกตค่าปริมาณการดูดซึมน้ำของข้าวระหว่างการหุงพบว่าให้ค่าที่ลดลง จาก 2.42 ± 0.12 (กรัม น้ำ / กรัม ข้าว) ของข้าวกล้องไม่งอก เป็น 1.72 ± 0.04 ถึง 1.94 ± 0.01 (กรัม น้ำ / กรัม ข้าว) ของข้าวที่ผ่านกระบวนการงอกและลดความชื้นที่อุณหภูมิ 20 และ 160°C ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกระบวนการงอกของเมล็ดข้าวกล้องร่วมกับการลดความชื้น อาจเกิดการรวมตัวกันของอะไมโลสและไขมัน (Amylose-lipid complexes) (Priestley, 1976; Biliaderis และคณะ 1993) ทำให้โครงสร้างของแป้งยึดตัวกันอย่างหนาแน่น ขาดต่อการซึมผ่านของน้ำดังนั้นจึงเกิดการลดลงของปริมาณการดูดซึมน้ำนั่นเอง

- ค่าสีและค่าความขาว (Color and Whiteness)

ค่าสีของข้าวกล้องงอกแสดงผลในรูปแบบของ L^* , a^* และ b^* ซึ่งให้ค่าความแตกต่างไปตามอุณหภูมิในการลดความชื้นที่แตกต่างกันแต่สำหรับค่า a^* แล้วพบว่าไม่แตกต่างทางสถิติ ค่า L^* ของข้าวกล้องงอกลดลงเมื่อเทียบกับข้าวที่ไม่ได้ผ่านการงอก ($63.03 \pm 0.06\%$) เช่นเดียวกับค่าความขาว (Whiteness) ($22.30 \pm 0.00\%$) ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการดังกล่าวก่อให้เกิดปฏิกิริยาดัชนีหนึ่งที่เรียกว่า Maillard reaction ซึ่งจะทำให้สีของเมล็ดข้าวเกิดการเปลี่ยนแปลง แต่อย่างไรก็ตามปฏิกิริยาดังกล่าวยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ อีก เช่น อุณหภูมิและเวลา ดังนั้นจะเห็นว่าถึงแม้อุณหภูมิในการลดความชื้นของข้าวกล้องงอกจะสูงถึง 160°C แต่เวลาสั้นก็ทำให้ค่าความ L^* และค่าความขาว (Whiteness) ลดลงไม่มากที่ 60.31 ± 0.45 และ $19.53 \pm 0.06\%$ ตามลำดับ ในขณะที่อุณหภูมิการลดความชื้นต่ำแต่เวลานาน เช่น ที่ 40°C ค่า L^* และค่าความขาว (Whiteness) ลดลงไปถึง 56.41 ± 0.48 และ 16.13 ± 0.06 ตามลำดับ

- ปริมาณไขมันและกรดไขมันอิสระ (Total lipid and free fatty acid)

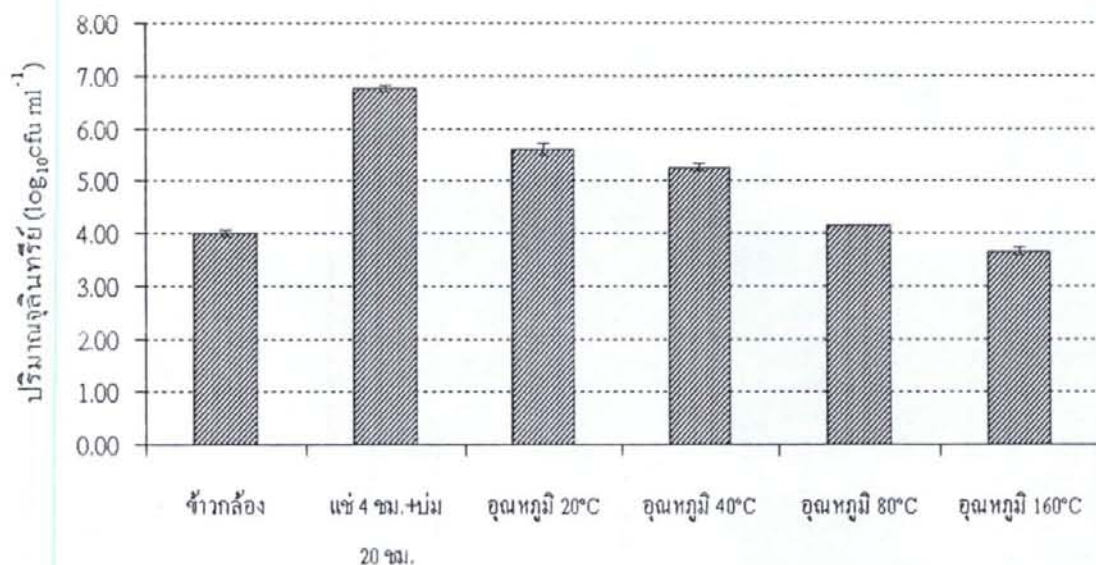
ไขมันและกรดไขมันอิสระในข้าวโดยปกติจะสะสมอยู่ในเซลล์และมีมากบริเวณผิวของเมล็ด และจะเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเมื่อได้รับปัจจัยกระทบทั้งภายในและภายนอก เช่น ความร้อน แสง หรือ

เวลา เป็นต้น ดังเช่นกรณีของการลดความชื้นข้าวกล้องงอกที่อุณหภูมิต่างๆ ก็ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของไขมันและกรดไขมันอิสระดังแสดงในตารางที่ 3.7 จากข้อมูลพบว่าปริมาณไขมันเพิ่มขึ้นหลังกระบวนการงอกและการลดความชื้น ในขณะที่กรดไขมันอิสระลดลง อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิในการลดความชื้นพบว่า ที่อุณหภูมิสูงส่งผลต่อการลดลงของปริมาณไขมัน และกรดไขมันอิสระเมื่อเทียบกับที่อุณหภูมิต่ำ

- ปริมาณจุลินทรีย์ (Microbiological quantity)

ปริมาณจุลินทรีย์ที่วิเคราะห์นี้พบว่า หลังกระบวนการแช่และบ่มข้าวที่อุณหภูมิ 40°C, 90%RH เป็นเวลา 20 ชม. มีค่าสูงขึ้นอย่างมากจากข้าวกล้องที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการงอก จาก $4.00 \pm 0.04 \log \text{ cfu ml}^{-1}$ เป็น $6.75 \pm 0.05 \log \text{ cfu ml}^{-1}$ นั้นหมายความว่าจะต้องมีการฆ่าเชื้อเพื่อไม่ให้เกิดผลเสียต่อผู้บริโภคดังนั้นจึงได้นำข้าวกล้องงอกไปผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 100°C, 10 นาที ซึ่งสภาวะดังกล่าวนี้ไม่ทำให้เมล็ดข้าวเกิดการปริแตกจนเสียรูปทรง ก่อนที่จะไปลดความชื้นที่อุณหภูมิต่างๆ ซึ่งการลดความชื้นนี้ยังช่วยให้ปริมาณของจุลินทรีย์มีค่าลดลงด้วยเช่นกัน สังเกตได้จากที่อุณหภูมิสูง (160°C) ปริมาณจุลินทรีย์ลดลงไปที่ $3.65 \pm 0.06 \log \text{ cfu ml}^{-1}$ ขณะที่ 20°C, 40°C และ 80°C ให้ค่าปริมาณจุลินทรีย์ 5.51 ± 0.94 , 5.25 ± 0.07 และ $4.15 \pm 0.01 \log \text{ cfu ml}^{-1}$ ตามลำดับ

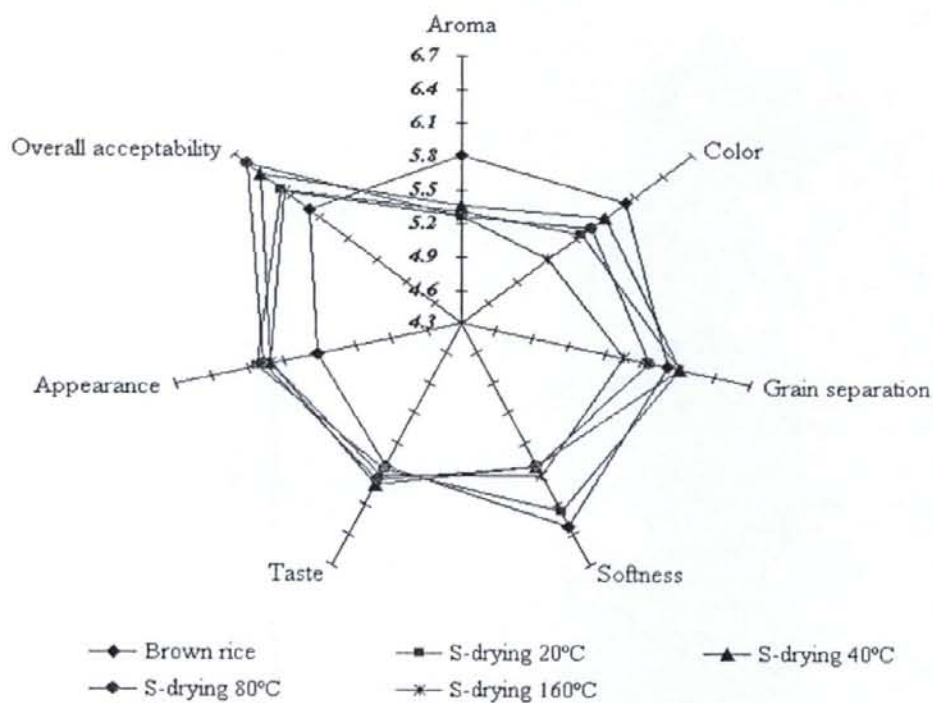
จากผลการทดลองข้างต้นนั้นหมายความว่า กระบวนการฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำร้อนและการอบแห้งนั้นสามารถกำจัดจุลินทรีย์ลงได้ อย่างไรก็ตามในระหว่างกระบวนการผลิตข้าวกล้องงอกนั้นสามารถควบคุมการเติบโต และเพิ่มปริมาณของจุลินทรีย์ได้โดยการ เปลี่ยนน้ำ การใช้ระบบน้ำหมุนวน เพิ่มความดัน หรือการฆ่าเชื้อด้วยอุลตราไวโอเลต (Kinefuchi และคณะ 1999; Yamakura และคณะ 2005; Sasagawa และคณะ 2006)



ภาพที่ 3.12 เปรียบเทียบปริมาณจุลินทรีย์ของข้าวกล้องงอกหลังกระบวนการเข้าร่วมกับการบ่ม และหลังที่ผ่านกระบวนการลดความชื้นแล้ว

ก. ทดสอบความพึงพอใจของผู้บริโภค ที่มีต่อข้าวกล้องงอกหุงสุกเปรียบเทียบกับข้าวกล้องที่ไม่ผ่านกระบวนการงอกหุงสุก

สิ่งสำคัญของการพัฒนาผลิตภัณฑ์ชนิดโคชนิดหนึ่งออกสู่ท้องตลาด คือ การทดสอบความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์นั้น เช่นเดียวกับข้าวกล้องงอกที่ทำการทดสอบลักษณะความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ในแง่ของการหุงสุก โดยทดสอบเนื้อสัมผัส กลิ่น สี ความนุ่ม ความแข็ง ลักษณะปรากฏ และความชอบโดยรวม โดยทดสอบนี้ได้จากการทดสอบผู้บริโภคที่สุ่มตัวอย่างมาจำนวน 15 คน และให้ผลการทดสอบเฉลี่ยดังแสดงในตารางที่ 3.8 และภาพที่ 3.13 เมื่อพิจารณาแต่ละคุณสมบัติพบว่าให้ผลที่ไม่แตกต่างทางสถิติของคุณสมบัติทั้งหมด แต่เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยที่ได้จากค่าความพึงพอใจโดยรวมแล้วพบว่าข้าวกล้องงอกให้ค่าระดับคะแนนที่สูงกว่า ข้าวกล้องที่ได้ผ่านกระบวนการงอก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการลดความชื้นที่อุณหภูมิต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากสาเหตุที่ค่าระดับคะแนนไม่ค่อยแตกต่างกันมากนัก อาจเนื่องจากผู้บริโภคส่วนใหญ่แล้วไม่ค่อยได้บริโภคข้าวกล้องบ่อยมากนัก ดังนั้นการเปรียบเทียบที่เกิดขึ้นจึงค่อนข้างยากลำบาก อีกทั้งข้าวกล้องไม่เป็นที่นิยมบริโภคมากเท่าข้าวขาวจึงทำให้ค่าระดับคะแนนที่ได้นั้นอยู่ในช่วงที่ค่อนข้างไปในทางน้อยคือ 5-6 คะแนนเท่านั้น



ภาพที่ 3.13 เปรียบเทียบค่าระดับคะแนนของการทดสอบระดับความพึงพอใจของผู้บริโภคที่คุณสมบัติต่างๆ ระหว่างข้าวกล้องงอกและข้าวกล้องไม่ผ่านกระบวนการงอก

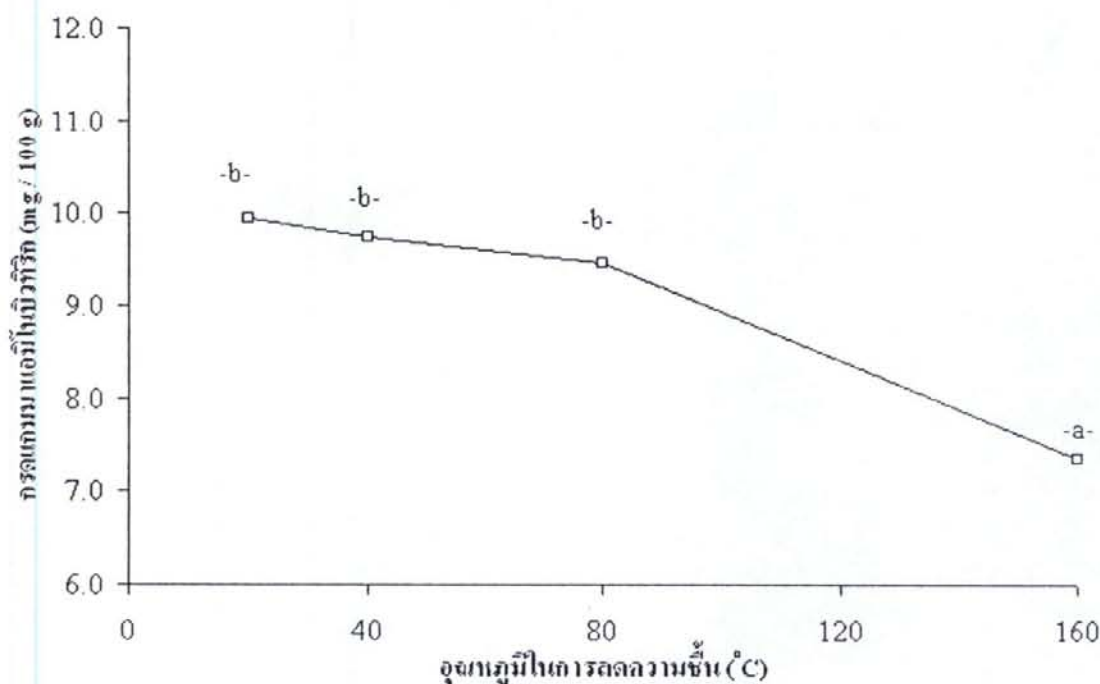
ตารางที่ 3.8 ค่าระดับคะแนนความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อข้าวกล้องออกหุงสุกหลังการลดความชื้นที่อุณหภูมิ 20°C, 40°C, 80°C และ 160°C เปรียบเทียบกับข้าวกล้องหุงสุกที่ไม่ผ่านกระบวนการออก

ตัวอย่าง	ปัจจัยทดสอบความพึงพอใจของผู้บริโภค*					
	กลิ่น	สี	การแยกตัวของเมล็ดข้าว	ความนุ่ม	รสชาติ	ลักษณะปรากฏ
ข้าวกล้อง	5.80±1.32a	6.00±1.08b	6.00±1.41bc	6.30±1.56a	5.70±1.49a	5.50±1.57ab
อุณหภูมิ 20°C	5.30±2.18a	5.55±1.28ab	6.10±1.65c	6.15±1.87a	5.75±1.77a	6.00±1.45b
อุณหภูมิ 40°C	5.35±1.66a	5.80±1.36ab	6.10±1.37c	5.70±1.69a	5.90±1.55a	5.90±1.25ab
อุณหภูมิ 80°C	5.25±2.00a	5.65±1.87ab	5.85±1.53bc	5.70±1.95a	5.85±1.60a	5.95±0.94ab
อุณหภูมิ 160°C	5.25±1.97a	5.20±1.74ab	5.65±1.18bc	5.80±1.44a	5.80±1.88a	5.90±1.29ab

*Data were reported in means ± standard deviation of fifteen determinations. Mean for each characteristic followed by the same letter superscripts within the same column are not significantly different at (P<0.05) by Duncan multiple range test.

ง. การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดแกมมาแอมิโนบิวทิริกของข้าวกล้องงอกหลังการลดความชื้นที่อุณหภูมิ 20°C, 40°C, 80°C และ 160°C

จากการที่ข้าวกล้องงอกต้องผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อ และการลดความชื้นเพื่อกำจัดปริมาณจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งทั้งสองกระบวนการนั้นใช้อุณหภูมิที่ค่อนข้างสูง ดังนั้นเป็นที่สนใจเป็นอย่างยิ่งว่า อุณหภูมิที่สูงนั้นจะมีผลกระทบต่อปริมาณของกรดแกมมาแอมิโนบิวทิริก (GABA) อย่างไรและจะทำให้เกิดการสูญเสียของค่ากรดแกมมาแอมิโนบิวทิริก (GABA) หรือไม่ ดังนั้นจึงวิเคราะห์และแสดงผลการทดสอบในภาพที่ 3.14 จากผลที่ได้พบว่าแรกเริ่มข้าวกล้องที่ไม่ผ่านกระบวนการงอกนั้นให้ค่า GABA 2.51 ± 0.47 (mg / 100 g) และเมื่อผ่านกระบวนการงอกทำให้ปริมาณ GABA เพิ่มขึ้นเป็น 12.50 ± 0.74 (mg / 100 g) หลังจากนั้นเมื่อนำข้าวกล้องงอกดังกล่าวมาลดความชื้นด้วยอุณหภูมิต่างๆ แล้วพบว่าการลดความชื้นที่อุณหภูมิสูง 160°C ทำให้ค่า GABA ลดลงไปที่ 7.36 ± 0.75 (mg / 100 g) ในขณะที่การลดความชื้นที่อุณหภูมิต่ำก็ส่งผลต่อการลดลงของปริมาณ GABA แต่ไม่มาก ทั้งนี้ที่ 20°C, 40°C และ 80°C ให้ปริมาณ GABA ที่หลงเหลืออยู่เท่ากับ 9.95 ± 0.40 , 9.74 ± 0.45 และ 9.46 ± 0.64 (mg / 100 g) ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าปริมาณ GABA จะลดลงแต่ก็ยังให้ค่าที่มากกว่าข้าวกล้องที่ไม่ผ่านกระบวนการงอกอยู่นั่นเอง ดังนั้นการบริโภคข้าวกล้องงอกแน่นอนว่าเราต้องได้รับปริมาณ GABA ไม่มากก็น้อยอย่างแน่นอน

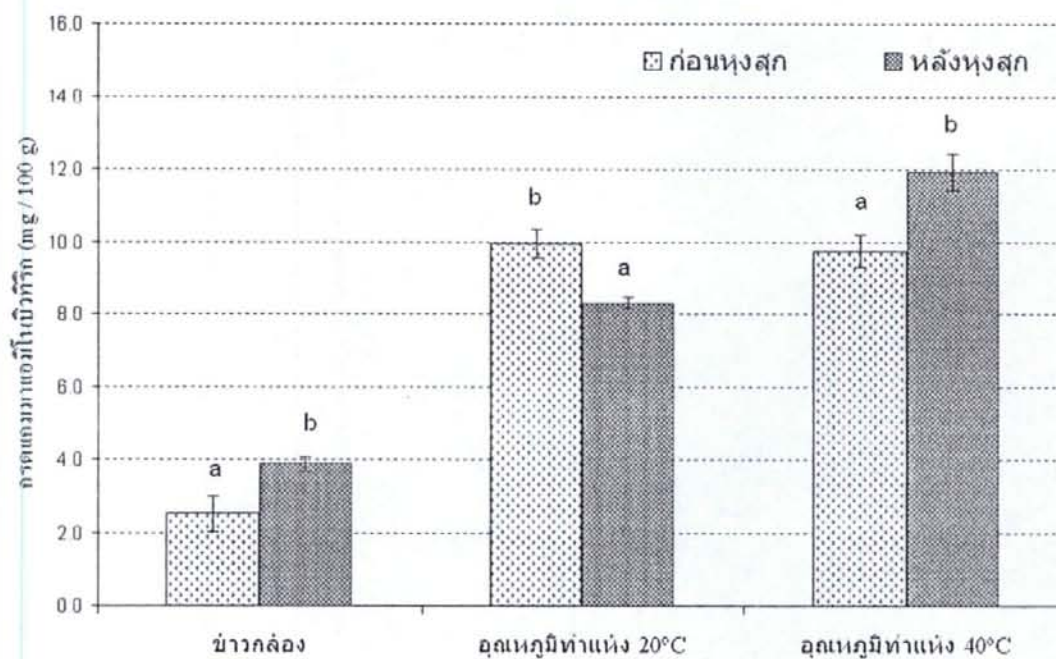


ภาพที่ 3.14 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดแกมมาแอมิโนบิวทีริก (GABA) ของข้าวกล้องงอกที่ความแตกต่างของการลวกความชื้นด้วยอุณหภูมิ 20°C, 40°C, 80°C และ 160°C

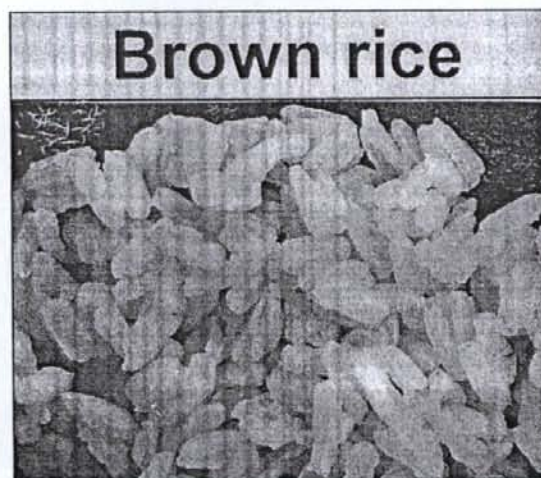
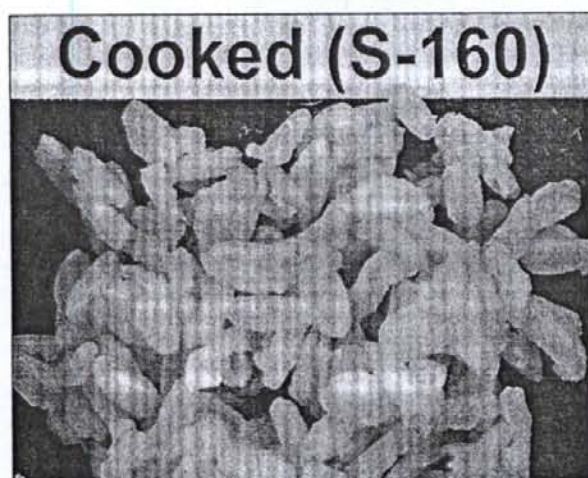
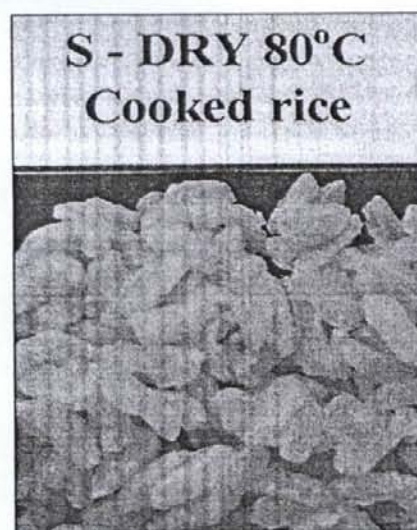
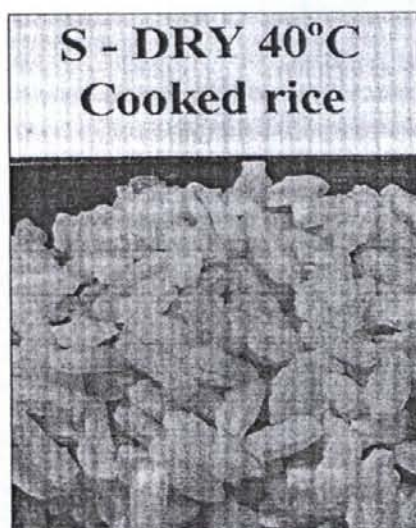
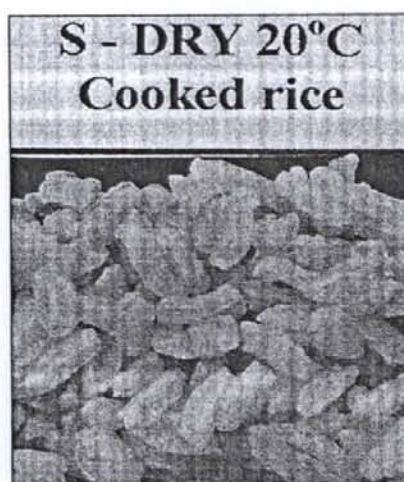
3.3 ศึกษาปริมาณการเปลี่ยนแปลงกรดแกมมาแอมิโนบิวทีริก และคุณสมบัติทางกายภาพของข้าวกล้องงอกหลังการหุงสุกเพื่อบริโภค

ข้าวกล้องที่ไม่ผ่านกระบวนการงอกและข้าวกล้องที่ผ่านกระบวนการงอกและลวกความชื้นที่อุณหภูมิ 20°C และ 40°C ถูกเลือกมาเพื่อนำไปหุงสุกโดยการควบคุมเวลาการหุงและคำนวณปริมาณน้ำที่ใช้ที่เหมาะสม ทั้งนี้จุดมุ่งหมายเพื่อทดสอบการเปลี่ยนแปลงของค่ากรดแกมมาแอมิโนบิวทีริก (GABA) หลังจากที่ได้ตัวอย่างข้าวผ่านการหุงสุกแล้ว เนื่องด้วยจากหัวข้อที่ผ่านมาพบว่าความร้อนที่เกิดจากการลวกความชื้นข้าวกล้องงอกที่อุณหภูมิสูงมีผลต่อการสูญเสียของ ปริมาณกรดแกมมาแอมิโนบิวทีริก (GABA) ดังนั้นก่อนที่เราจะบริโภคข้าวกล้องงอกได้นั้นแน่นอนว่าต้องผ่านกระบวนการหุงสุกก่อน ซึ่งกระบวนการหุงสุกนั้นต้องใช้อุณหภูมิที่สูงด้วยเช่นกัน จากการวิเคราะห์หาค่าปริมาณกรดแกมมาแอมิโนบิวทีริก (GABA) ก่อนและหลังการหุงสุกได้แสดงผลการทดสอบดังภาพที่ 3.15

จากผลการทดสอบพบว่าเมื่อข้าวกล้อง และข้าวกล้องงอกผ่านกระบวนการหุงสุกแล้ว ไม่มีผลต่อการลดลงของค่า กรดแกมมาเอมิโนบิวทิริก (GABA) ถึงแม้ในกรณีของตัวอย่างข้าวที่มีการลดความชื้นที่ 20°C จะมีการลดลงของ กรดแกมมาเอมิโนบิวทิริก (GABA) แต่ก็เพียงเล็กน้อยเท่านั้น



ภาพที่ 3.15 เปรียบเทียบค่ากรดแกมมาเอมิโนบิวทิริก ของก่อนและหลังการหุงสุกข้าวกล้องงอกและข้าวกล้องที่ไม่ผ่านกระบวนการงอก



ภาพที่ 3.16 ลักษณะทางกายภาพของข้าวกล้องงอกหุงสุกที่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำ (Steaming) อบแห้งที่อุณหภูมิ 20°C, 40°C, 80°C และ 160°C เปรียบเทียบกับข้าวกล้องงอกหุงสุกที่ไม่ผ่านกระบวนการงอก