สภาวะที่เหมาะสมต่อการเพิ่มปริมาณกาบาในข้าวโพดเพื่อผลิตเป็นอาหารสุขภาพ

The Appropriate Condition for Increasing GABA in Corn for Health Food Production

ศุภมาศ กลิ่นขจร[1/*] นราทร สุขวิเสส[1/] สุปรียา ศุขเกษม[1/]

Supamas Klinkajorn[1/*] Narathorn Sukwises[1/] Supreeya Sukhasem[1/]

Received 21 Nov. 2022/Revised 3 Jan. 2023/Accepted 11 Jan. 2023

ABSTRACT

GABA (γ-aminobutyric acid) is an amino acid that serves as the inhibitory neurotransmitter in the brain. It has the effect of lowering blood pressure, relieving insomnia and reducing stress. GABA could be found in germinating seeds through the activity of Glutamic Acid Decarboxylase (GAD) with glutamic acid or glutamate salt as a precursor. This research aimed to test and select the appropriate process to increase GABA content in various corn varieties using as raw material in health food products. Three recommended corn varieties of the of the Department of Agriculture were used in this experiment, i.e waxy corn var. Chainat 84-1, sweet corn var. Chainat 7566 and sweet corn var. Songkhla 1. Factors affecting the activity of GAD enzyme in GABA synthesis were studied which were the soaking period, the suitable pH and the suitable amount of monosodium glutamate for increasing GABA. Results showed that variety of corn and soaking period influenced the increase of GABA content in corn seeds. Sweet corn has higher ability to synthesize GABA than waxy corn. Moreover, longer soaking period would generate more GABA in corn seed. GABA content in corn seeds was found to be higher under low acidic condition (pH 6.5) when provided with optimum amount of GAD precursor. Results also showed that sweet corn var. Songkhla 1 has the highest ability to convert glutamic acid to GABA by GAD. The overall suitable conditions for increasing GABA was soaking corn seed for 24 hrs in pH-6.5 water adjusted by citric acid 0.1 M with the addition of 0.5% of monosodium glutamate as GAD substrate. GABA in corn seeds would increase to 259.2 mg/100 g or 1,006 which was.75% higher than the initial GABA content in seeds at 23.42 mg/100 g, without any off-flavor taste suitable for using as raw material in the high GABA content food products.

Keywords: GABA, corn, soaking, pH, monosodium glutamate

[1/] กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

Postharvest and Processing Research and Development Division, Department of Agriculture, Chatuchak, Bangkok 10900

[*] **Corresponding author: supamas.klin@gmail.com**

บทคัดย่อ

กาบา (γ-aminobutyric acid, GABA) เป็นกรดอะมิโนที่ทำหน้าที่เป็นสารสื่อประสาทชนิดยับยั้งในสมอง พบได้ในเมล็ดพืชที่กำลังงอกผ่านการสังเคราะห์ด้วยเอนไซม์ Glutamic Acid Decarboxylase (GAD) โดยมีกรดกลูตามิคหรือเกลือของกรดกลูตามิคเป็นสารตั้งต้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการที่เหมาะสมในการเพิ่มปริมาณกาบาในข้าวโพดพันธุ์ต่าง ๆ เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตอาหารเพื่อสุขภาพ ทำการทดลองในข้าวโพดพันธุ์แนะนำของกรมวิชาการเกษตร 3 พันธุ์ คือ ข้าวโพดข้าวเหนียวพันธุ์ชัยนาท 84-1 ข้าวโพดหวานพันธุ์ชัยนาท 7566 และข้าวโพดหวานพันธุ์สงขลา 1 โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ GAD ในการสังเคราะห์กาบา ได้แก่ระยะเวลาในการแช่เมล็ดข้าวโพดในน้ำ ค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสม และปริมาณโมโนโซเดียมกลูตาเมตที่เหมาะสมต่อการเพิ่มขึ้นของกาบา ผลการทดลองพบว่าพันธุ์ข้าวโพดและระยะเวลาในการแช่น้ำมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณกาบาในเมล็ดข้าวโพด โดยเมล็ดข้าวโพดหวานมีความสามารถในการสังเคราะห์กาบาสูงกว่าเมล็ดข้าวโพดข้าวเหนียว และเมื่อแช่น้ำนานขึ้น ปริมาณกาบาในเมล็ดข้าวโพดจะเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้ กาบาในเมล็ดข้าวโพดจะเพิ่มสูงขึ้นในสภาวะที่เป็นกรดอ่อน (ความเป็นกรด-ด่าง 6.5) รวมทั้งมีปริมาณสารตั้งต้นสำหรับเอนไซม์ GAD ที่เหมาะสม โดยข้าวโพดหวานพันธุ์สงขลา 1 มีความสามารถสูงที่สุดในการเปลี่ยนกรดกลูตามิคให้เป็นกาบาโดยเอนไซม์ GAD สภาวะที่เหมาะสมในการเพิ่มปริมาณกาบาคือ การแช่เมล็ดข้าวโพดในน้ำที่ปรับความเป็นกรด-ด่างให้เป็น 6.5 ด้วยสารละลายกรดซิตริก 0.1 โมลาร์ ร่วมกับการเติมโมโนโซเดียมกลูตาเมตเพื่อเป็นสารตั้งต้นให้เอนไซม์ GAD ร้อยละ 0.5 เป็นเวลา 24 ชม. จะทำให้กาบาสูงขึ้น 259.2 มก./100 ก. หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 1,006.75 จากปริมาณกาบาเริ่มต้นในเมล็ด 23.42 มก./100 ก. โดยไม่เกิดกลิ่นรสที่ผิดปกติ ซึ่งเหมาะที่จะนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตอาหารเพื่อสุขภาพที่มีกาบาสูงต่อไป

คำสำคัญ: กาบา, ข้าวโพด, การแช่น้ำ, ความเป็นกรด-ด่าง, โมโนโซเดียมกลูตาเมต

บทนำ

กาบา (GABA) หรือ γ-aminobutyric acid เป็นกรดอะมิโนชนิดหนึ่งที่ไม่สามารถเปลี่ยนโปรตีนได้ (Shelp *et al*., 1999) สามารถพบกาบาได้ในธรรมชาติ ทั้งในสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังและมีกระดูกสันหลัง รวมทั้งพืช (Maeda *et al*., 2007) กาบาถูกค้นพบครั้งแรกในปี ค.ศ. 1950 ในสมองของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ต่อมามีการค้นพบกาบาที่มีความเข้มข้นสูงในสมองส่วน encephalon และ medulla oblongata โดยทำหน้าที่เป็นสารสื่อประสาทชนิดยับยั้ง (Inhibitory neurotransmitter) ซึ่งเป็นสารสื่อประสาทชนิดที่ผ่านบริเวณเชื่อมต่อระหว่างเซลล์ประสาท มีหน้าที่เข้าไปจับกับบริเวณส่วนรับสัญญาณประสาท (nerve receptor site) ที่ก่อให้เกิดความกังวลและความเครียดเพื่อรักษาสมดุลในสมองที่ได้รับการกระตุ้น จึงทำให้กระแสประสาทผ่านได้น้อยลง ส่งผลให้สมองเกิดการผ่อนคลายและนอนหลับสบาย (Schousboe and Waagepetersen, 2007) นอกจากนี้ กาบายังช่วยกระตุ้นต่อมใต้สมองส่วนหน้า (anterior pituitary gland) ซึ่งทำหน้าที่ผลิตฮอร์โมนที่ช่วยในการเจริญเติบโต (human growth hormone; HGH) ทำให้เกิดการสร้างเนื้อเยื่อ ส่งผลให้กล้ามเนื้อเกิดความกระชับ และสามารถป้องกันการเกิดริ้วรอยได้ รวมทั้งยังทำให้เกิดสาร lipotropic ที่ช่วยป้องกันการสะสมไขมันในร่างกาย (Powers *et a*l., 2008)

ยังมีผลงานวิจัยทางการแพทย์ระบุว่า กาบาสามารถช่วยในการบำบัดอาการต่าง ๆ เช่น ลดความดันโลหิตแบบซิสโตลิค (Vermulapalli and Barletta, 1984) เพิ่มความสามารถในการเรียนรู้เพื่อแยกแยะความแตกต่าง บรรเทาอาการที่เกิดขึ้นในวัยทอง และบรรเทาอาการต่าง ๆ ที่เกิดจากระบบประสาทอัตโนมัติผิดปกติ (Okada *et al*., 2000) กระบวนการเมตาบอริซึมของกาบาจะเกี่ยวข้องกับกลไกการสังเคราะห์ให้เกิดกาบา (catalyst) และกลไกที่เกี่ยวข้องกับการสลายกาบา (metabolized) โดยมีเอนไซม์ที่เกี่ยวข้อง 3 ชนิด เรียกว่า วิถีกาบา (GABA shunt) (Bouche and Fromm, 2004) ซึ่งเกิดใน 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนไซโทซอล (cytosol) มีเอนไซม์ glutamic acid decarboxylase (GAD) ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยา และในส่วนไมโทคอนเดรียจะมีเอนไซม์ GABA transaminase (GABA-T) และ succinic semialdehyde dehydrogenase (SSADH) ทำหน้าที่ในการเร่งปฏิกิริยา

ขั้นตอนในการสังเคราะห์กาบาเกิดขึ้นจากกระบวนการทางชีวภาพผ่านการทำงานของเอนไซม์ glutamic acid decarboxylase (GAD) โดย H+ จะทำปฏิกิริยากับ L-glutamate ผ่านปฏิกิริยา Decarboxylation ได้เป็นสารกาบา

$$\text{L-Glu} + H^{+} \xrightarrow[\text{GAD}]{} \text{GABA} + CO_2$$

ขั้นตอนต่อมาคือ กลไกทางชีวภาพที่เกี่ยวข้องกับการสลายตัวของกาบาเพื่อให้เกิดการสมดุลระหว่างกาบาและกลูตาเมต ซึ่งกระบวนการดังกล่าวจะเกิดจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ GABA transaminase (GABA-T) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ผันกลับได้

$$\text{GABA} + \text{pyruvate} \underset{\text{GABA-T}}{\rightleftharpoons} \text{succinic semialdehyde} + \text{alanine}$$

ขั้นตอนสุดท้าย เป็นกระบวนการที่ไม่ผันกลับจะเกิดขึ้นโดยเอนไซม์ succinic semialdehyde dehydrogenase (SSADH) จะออกซิไดซ์ succinic semialdehyde ไปเป็น succinate

$$\text{Succinic semialdehyde} + \text{NAD} + H_2O \xrightarrow[\text{SSADH}]{} \text{succinate} + \text{NADH}$$

กาบาสามารถพบได้ในผักและผลไม้ต่าง ๆ เช่น แตงเมลอน และฟักทองพบกาบาในปริมาณ 14.5 และ 9.7 มก/ 100 ก. ตามลำดับ (กาญจนา,2555) โดยสารกาบาที่พบในธรรมชาติมีปริมาณไม่คงที่ และอาจไม่เพียงพอต่อการที่จะทำให้เกิดประโยชน์ต่อการดูแลสุขภาพ นอกจากนี้ยังสามารถพบกาบาได้ใน เมล็ดข้าว ถั่ว หรือธัญพืชต่าง ๆ ที่กำลังงอก เนื่องจากในระหว่างการงอกเมล็ดพืชจะสัมผัสความชื้น ทั้งจากสิ่งแวดล้อมโดยตรงหรือจากการนำเมล็ดพืชไปแช่น้ำ เมล็ดพืชจะมีการดูดความชื้นหรือน้ำเข้าสู่เมล็ด และน้ำจะกระจายตัวเข้าไปในส่วนต่าง ๆ ของเมล็ดอย่างสม่ำเสมอ จากนั้นจะไปกระตุ้นให้เอนไซม์ในเมล็ดเริ่มทำงานรวมทั้งเอนไซม์ GAD และจะเปลี่ยน

กรดกลูตามิคในเมล็ดพืชไปเป็นกาบา (ณัฐฌา และคณะ, 2561) นอกจากกาบาจะเพิ่มได้จากกระบวนการงอกแล้ว ยังมีปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มของกาบาในเมล็ดพืช เช่น ระยะเวลาการแช่น้ำ ค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ GAD โดย จารุรัตน์ และคณะ (2550) พบว่า ข้าวกล้องหอมมะลิ 105 ที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิ 40 ºซ. นาน 8 ชม. ปริมาณกาบาจะเพิ่มขึ้นสูงสุดเป็น 31.18 มก./100 ก. ของน้ำหนักแห้ง จากปริมาณกาบาเริ่มต้นในเมล็ด 10.55 มก./100 ก. ของน้ำหนักแห้ง นอกจากนี้ อรพิน และคณะ (2556) พบว่า ข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่แช่ในสารละลายที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 6 จะมีปริมาณกาบาสูงกว่าข้าวกล้องที่แช่ในสารละลายที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 4 หลังการแช่ที่ 6 ชม.

การบริโภคกาบาเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการผ่อนคลายความเครียดอยู่ที่ปริมาณ 20-30 มก./การบริโภค 1 ครั้ง (Fujibayashi *et al*., 2008) หรืออาจสูงถึง 300-600 มก./วัน เพื่อการบำบัดความวิตกกังวลและอาการนอนหลับผิดปกติ (Thorne Research, Inc., 2007) ซึ่งในปัจจุบันได้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์เสริมอาหารกาบาสูงหลายชนิด ผลิตภัณฑ์เหล่านี้อยู่ในรูปแบบของเครื่องดื่มน้ำผลไม้ โยเกิร์ต ลูกอม หมากฝรั่ง ชีส นมถั่วเหลืองพร้อมดื่ม หรือกาแฟพร้อมดื่ม รวมไปถึงผลิตภัณฑ์เสริมอาหารชนิดเม็ด (กาญจนา, 2555) โดยผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่ใช้วิธีการเติมสารกาบาลงไปโดยตรง ดังนั้น เพื่อให้เกิดการเพิ่มขึ้นของกาบาในปริมาณที่จะเกิดประโยชน์กับร่างกายจากการบริโภคผลิตผลเกษตรตามธรรมชาติที่ปลอดภัยต่อสุขภาพ อาจใช้หลายกระบวนการร่วมกัน ตั้งแต่การคัดเลือกวัตถุดิบที่เหมาะสมที่มีองค์ประกอบกรดกลูตามิคสูงที่เป็นสารตั้งต้นของเอนไซม์ GAD สูง เช่น ข้าวโพด เนื่องจากในเมล็ดข้าวโพดมีปริมาณกรดกลูตามิคในปริมาณที่สูงถึง 1,925 มก./100 ก.ของเมล็ดแห้ง (กรมอนามัย, 2544) รวมถึงการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเพิ่มปริมาณกาบาด้วยกระบวนการต่าง ๆ ได้แก่ ระยะเวลาของแช่น้ำและค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมต่อการทำการของเอนไซม์ GAD รวมถึงปริมาณที่เหมาะสมของกรดกลูตามิคที่ใช้เป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยาการสังเคราะห์กาบา เพื่อให้กาบาที่ผลิตได้มีปริมาณสูงเพียงพอที่จะเกิดประโยชน์ในการดูแลสุขภาพให้กับผู้บริโภค ซึ่งผลิตผลเกษตรที่ผ่านการเพิ่มกาบาให้มีปริมาณที่สูงขึ้นสามารถใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อการบริโภคโดยตรง หรือใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตอาหารเพื่อสุขภาพเพื่อเพิ่มปริมาณกาบาให้สูงขึ้นได้

อุปกรณ์และวิธีการ

1. ศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการแช่เมล็ดข้าวโพดเพื่อเพิ่มปริมาณกาบา

ทำการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการแช่เมล็ดข้าวโพดพันธุ์แนะนำของกรมวิชาการเกษตร ได้แก่ ข้าวโพดข้าวเหนียวพันธุ์ชัยนาท 84-1 ข้าวโพดหวานพันธุ์ชัยนาท 7566 และข้าวโพดหวานพันธุ์สงขลา 1 แช่เมล็ดข้าวโพดในน้ำสะอาดที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 7.0±0.2 ใช้อัตราส่วนระหว่าง ข้าวโพด : น้ำ เท่ากับ 1 : 10 โดยน้ำหนัก กรรมวิธีทดลอง คือ ระยะเวลาในการแช่เมล็ดข้าวโพดในน้ำ 4 ระดับคือ 0, 12, 24 และ 36 ชม. วางแผนการทดลองแบบ CRD จำนวน 4 ซ้ำ/กรรมวิธี เมื่อครบเวลาตามแต่ละกรรมวิธี ตรวจวัดคุณสมบัติต่าง ๆ เพื่อคัดเลือกระยะเวลาในการแช่เมล็ดข้าวโพดที่เหมาะสมในการสังเคราะห์กาบา ศึกษาปริมาณกาบาในเมล็ดข้าวโพดตามวิธีของ มกษ. 4003-2555 (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2555) และกรดกลูตามิคในรูปของ

L-glutamic acid ในเมล็ดข้าวโพดตามวิธีของ Petritis *et al*. (2002)

2. ศึกษาความเป็นกรด - ด่างที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ Glutamic Acid Decarboxylase (GAD)

ทำการศึกษาความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ GAD โดยปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำที่ใช้แช่เมล็ดข้าวโพดด้วยสารละลายกรดซิตริกความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ให้มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 3 ระดับ คือ 6.0, 6.5 และ 7.0 วางแผนการทดลองแบบ CRD จำนวน 5 ซ้ำ/กรรมวิธี ทำการแช่เมล็ดข้าวโพดในน้ำสะอาดที่มีการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างในแต่ละกรรมวิธี ใช้อัตราส่วนระหว่าง ข้าวโพด:น้ำ เท่ากับ 1:10 โดยน้ำหนัก ใช้ระยะเวลาการแช่เมล็ดข้าวโพดที่เหมาะสมในการทำให้เกิดกาบาสูงสุดจากผลการทดลองที่ได้จากข้อ 1. จากนั้นตรวจวัดคุณสมบัติต่าง ๆ เพื่อคัดเลือกค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมในการสังเคราะห์กาบา ดังนี้ ปริมาณ L-glutamic acid ตามวิธี (Petritis *et al.*, 2002) และปริมาณกาบา ตามวิธีของ มกษ. 4003-2555 (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2555)

3. ศึกษาปริมาณโมโนโซเดียมกลูตาเมตที่เหมาะสมต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณกาบา

ศึกษาปริมาณโมโนโซเดียมกลูตาเมตที่เหมาะสมต่อการเพิ่มขึ้นของกาบาในเมล็ดข้าวโพด วางแผนการทดลองแบบ CRD จำนวน 5 ซ้ำ 3 กรรมวิธี คือ การเติมโมโนโซเดียมกลูตาเมตซึ่งเป็นเกลือโซเดียมของกรดกลูตามิคในน้ำแช่เมล็ดข้าวโพดที่ปริมาณร้อยละ 0.25 และ 0.5 และกรรมวิธีไม่เติมโมโนโซเดียมกลูตาเมตในน้ำแช่เมล็ดข้าวโพด จากนั้นปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำที่ใช้แช่เมล็ดข้าวโพดตามผลการทดลองที่ได้จากข้อ 2. แช่เมล็ดข้าวโพดในสารละลายโมโนโซเดียมกลูตาเมตที่มีการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างในแต่ละกรรมวิธี โดยใช้อัตราส่วนระหว่าง ข้าวโพด:น้ำ เท่ากับ 1:10 โดยน้ำหนัก ใช้ระยะเวลาการแช่เมล็ดข้าวโพดที่เหมาะสมจากผลการทดลองที่ได้จากข้อ 1. จากนั้นตรวจวัดปริมาณ L-glutamic acid และปริมาณกาบา เช่นเดียวกับวิธีการในข้อ 1 และ 2

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ระยะเวลาที่เหมาะสมในแช่เมล็ดข้าวโพดเพื่อเพิ่มปริมาณกาบา

ปริมาณกาบาและกรดกลูตามิคในข้าวโพดพันธุ์แนะนำของกรมวิชาการเกษตร 3 พันธุ์ ได้แก่ ข้าวโพดข้าวเหนียวพันธุ์ชัยนาท 84-1 ข้าวโพดหวานพันธุ์ชัยนาท 7566 และข้าวโพดหวานพันธุ์สงขลา 1 พบว่า ข้าวโพดทั้ง 3 พันธุ์ มีปริมาณกรดกลูตามิคในรูป L-glutamic acid เท่ากับ 2,019, 2,163 และ 2,004 มก./100 ก. ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ปริมาณกาบา พบว่าข้าวโพดหวานจะมีปริมาณกาบาในเมล็ดสูงกว่าข้าวโพดข้าวเหนียว โดยพบปริมาณกาบาสูงสุดในข้าวโพดหวานพันธุ์สงขลา 1 รองลงมาคือ ข้าวโพดหวานพันธุ์ชัยนาท 7566 และข้าวโพดข้าวเหนียวพันธุ์ชัยนาท 84-1 โดยพบกาบาเป็นองค์ประกอบในเมล็ด 28.37, 14.40 และ 4.22 มก./100 ก. ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (Table 1) ซึ่งเป็นปริมาณกาบาที่สูงกว่าข้าวโพดทั่วไป โดยข้าวโพดข้าวเหนียวพันธุ์อื่น ๆ จะมีปริมาณกาบาที่ 1.58-2.68 มก./100 ก. ของน้ำหนักแห้ง (Polthum and Ahromrit, 2014) และข้าวโพดหวานจะมีปริมาณกาบา 6.32 มก./100 ก. ของน้ำหนักแห้ง (อิงฟ้า และคณะ, 2552)

เมื่อนำเมล็ดข้าวโพดทั้ง 3 พันธุ์มาแช่น้ำสะอาดที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 7.0±0.2 ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 12, 24 และ 36 ชม. เมื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณกาบา พบว่า ระยะเวลาในการแช่น้ำมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณกาบาในเมล็ดข้าวโพด โดยเมล็ดข้าวโพดหวานจะมีความสามารถในการสังเคราะห์กาบาสูงกว่าเมล็ดข้าวโพดข้าวเหนียว และเมื่อแช่น้ำนานขึ้นปริมาณกาบาในเมล็ดข้าวโพดจะเพิ่มสูงขึ้น

Table 1 The GABA content in three varieties of corn seed after soaking for 0-36 hr

Corn varieties	GABA (mg/100 g of dry weight)			
	0 hr	12 hr	24 hr	36 hr
Waxy corn var. Chainat 84-1	4.22±0.19 c	53.73±1.27 c	62.64±0.79 c	62.69±1.63 c
Sweet corn var. Chainat 7566	14.40±0.46 b	194.46±2.29 b	206.33±3.64 b	236.49±7.28 b
Sweet corn var. Songkla 1	28.37±0.80 a	185.08±3.48 a	230.49±5.85 a	247.79±4.07 a

Mean in the same column followed by a common letters are not significantly difference at the 5% level by DMRT

ผลจากการทดลองจะเห็นว่าข้าวโพดหวานพันธุ์สงขลา 1 มีความสามารถสูงสุดในการสังเคราะห์กาบาด้วยเอนไซม์ GAD โดยระยะเวลาในการแช่เมล็ดข้าวโพดที่ 36 ชม. สามารถเพิ่มปริมาณกาบาได้สูงสุดในเมล็ดข้าวโพดทุกพันธุ์ แต่เมล็ดข้าวโพดที่ผ่านการแช่น้ำที่ 36 ชม. จะมีกลิ่นผิดปกติจากแอลกอฮอล์ซึ่งเกิดจากกระบวนการหมักของยีสต์ ดังนั้น เวลาในการแช่น้ำที่เหมาะสมคือ 24 ชม. จากผลการทดลองดังกล่าว จึงทำการคัดเลือกข้าวโพดหวานพันธุ์สงขลา 1 และระยะเวลาในการแช่น้ำเพื่อเพิ่มปริมาณกาบาที่ 24 ชม. มาศึกษาระดับของความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณของโมโนโซเดียมกลูตาเมตที่เหมาะสมในการเพิ่มปริมาณกาบาต่อไป ซึ่งสภาวะในการแช่เมล็ดข้าวโพดในน้ำสะอาด 24 ชม.จะสามารถเพิ่มปริมาณกาบาในเมล็ดข้าวโพดหวานพันธุ์สงขลา 1 ได้สูงถึง 230.49 มก./100 ก. จากปริมาณกาบาที่มีเริ่มต้นเพียง 28.37 มก./100 ก. (Table 1) คิดเป็นปริมาณกาบาที่เพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 712.44 จากปริมาณกาบาเริ่มต้นในเมล็ด

การแช่น้ำเมล็ดข้าวโพดจะทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของกาบาและสารอาหารอื่น ๆ ได้ โดยน้ำจะเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีในเมล็ดข้าวโพด เมื่อน้ำได้แทรกเข้าไปในเมล็ดจะกระตุ้นให้เอนไซม์ภายในเมล็ดข้าวโพดเกิดการทำงาน ทำให้เมล็ดข้าวโพดเริ่มงอก (malting) สารอาหารที่อยู่ภายในเมล็ดจะถูกย่อยสลายด้วยกระบวนการชีวเคมีจนเกิดเป็นสารประกอบชนิดต่าง ๆ ขึ้นมา เช่น คาร์โบไฮเดรตที่มีโมเลกุลเล็กลง ได้แก่ โอลิโกแซคคาไรด์ และน้ำตาลรีดิวซ์ นอกจากนี้ ยังไปกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ GAD ให้เปลี่ยนกรดกลูตามิคหรือเกลือของกรดกลูตามิคที่อยู่ในเมล็ดเป็นสารกาบา

(Varanyanond *et al*., 2005) การแช่น้ำเพื่อกระตุ้นให้เกิดการงอกนิยมใช้ในการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้กับถั่วและเมล็ดพืชต่าง ๆ เช่น การผลิตข้าวงอกด้วยการแช่น้ำที่ 72 ชม. จะสามารถเพิ่มปริมาณกาบาในเมล็ดข้าว จาก 11.16 มก./100 ก. เป็น 23.85 มก./100 ก. คิดเป็นปริมาณกาบาที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 113.71 จากปริมาณกาบาเริ่มต้นในเมล็ด (ยุพกนิษฐ์ และวาสนา, 2553) นอกจากนี้ยังมีรายงานการเพิ่มกาบาในเมล็ดงาด้วยการแช่เมล็ดงาในน้ำ 2 ชม. ร่วมกับการบ่ม 22 ชม. จะทำให้เมล็ดงามีกาบาเพิ่มขึ้นจาก 5.85 เป็น 47.27 มก./100 ก. คิดเป็นปริมาณกาบาที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 708.03 จากปริมาณกาบาเริ่มต้นในเมล็ด (สุนัน และจตุรงค์, 2556)

2. ศึกษาความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ Glutamic Acid Decarboxylase (GAD)

ค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ GAD ในเมล็ดข้าวโพดหวานพันธุ์สงขลา 1 พบว่า ความเป็นกรด-ด่างที่ 6.5 เมล็ดข้าวโพดพันธุ์สงขลา 1 สามารถสังเคราะห์กาบาได้สูงถึง 307.68 มก./100 ก. ของน้ำหนักแห้งจากปริมาณกาบาในเมล็ด 24.70 มก./100 ก. คิดเป็นปริมาณกาบาที่เพิ่มสูงขึ้นร้อยละ 1,145.67 จากปริมาณกาบาเริ่มต้นในเมล็ด (Table 2) ซึ่งสูงกว่าปริมาณกาบาที่สังเคราะห์ได้ที่ความเป็นกรด-ด่าง 6.0 และ 7.0 ซึ่งจะอยู่ที่ 293.36 และ 291.91 มก./100 ก. ของน้ำหนักแห้ง หรือคิดเป็นเป็นปริมาณกาบาที่เพิ่มสูงขึ้นจากปริมาณกาบาเริ่มต้นในเมล็ดร้อยละ 1,087.69 และ 1,081.82 ตามลำดับ ดังนั้น ความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ GAD ในการสังเคราะห์กาบาในเมล็ดข้าวโพดคือความเป็นกรด-ด่างที่ 6.5 สอดคล้องกับ Shelp *et al.*(1999) ที่พบว่า สภาวะที่เป็นกรดเล็กน้อย ไฮโดรเจนอิออนจะไปกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ GAD ทำให้เกิดการเปลี่ยนกรดกลูตามิคไปเป็นกาบาได้มากขึ้น ส่งผลให้มีปริมาณกาบาที่สูงขึ้น โดยค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ GAD มีค่าอยู่ระหว่าง 3.8-7.0 ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับแหล่งของเอนไซม์ (Satyanarayan and Nair, 1985) ซึ่งในเมล็ดพืชต่างชนิดกันจะมีระดับของความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมต่อเอนไซม์ GAD ในการสังเคราะห์กาบาที่ต่างกัน เช่น ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 จะมีการสังเคราะห์กาบาสูงสุดที่ความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 6 โดยจะมีปริมาณกาบาเท่ากับ 16.50 และ 14.51 มก./100 ก. ตามลำดับ หลังการแช่น้ำที่ 24 ชม. (วัฒนา และคณะ, 2550) ส่วนข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 สามารถสังเคราะห์กาบาสูงสุดที่ความเป็นกรด-ด่าง 5 โดยจะมีปริมาณกาบา 21.93 มก./100 ก. (จารุรัตน์ และคณะ, 2550) นอกจากนี้ ยังมีงานวิจัยของ Saikusa *et a*l. (1994) ที่พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายที่เหมาะสมที่ใช้แช่ข้าวมีค่าเท่ากับ 5.6 โดยเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายเพิ่มขึ้นเท่ากับ 8 จะส่งผลให้ปริมาณกาบาลดลง เนื่องจากค่าความเป็นกรด-ด่างที่ระดับดังกล่าวเป็นระดับที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ transaminase ที่เร่งให้กาบาเปลี่ยนไปเป็น succinic semialdehyde (Bouche and Fromm, 2004)

3. ปริมาณโมโนโซเดียมกลูตาเมตที่เหมาะสมต่อการเพิ่มขึ้นของกาบา

หลังจากแช่เมล็ดข้าวโพดหวานพันธุ์สงขลา 1 ในน้ำที่เติมโมโนโซเดียมกลูตาเมตร้อยละ 0, 0.25 และ 0.5 แล้วปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำแช่เมล็ดข้าวโพดที่ 6.5 หลังจากแช่เป็นเวลา 24 ชม. พบว่า เมื่อปริมาณ

โมโนโซเดียมกลูตาเมตเพิ่มขึ้นจะส่งผลต่อปริมาณกาบาที่ข้าวโพดสามารถสังเคราะห์ได้เพิ่มขึ้น โดยเพิ่มปริมาณจาก 23.42 มก.100 ก. ของน้ำหนักแห้ง เป็น 233.12, 231.19 และ 259.20 มก./100 ก. ของน้ำหนักแห้ง เมื่อปริมาณโมโนโซเดียมกลูตาเมตเป็นร้อยละ 0, 0.25 และ 0.5 ตามลำดับ (Table 3) หรือคิดเป็นปริมาณกาบาที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 895.39, 887.15 และ 1,006.75 ตามลำดับ จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า การเติมโมโนโซเดียมกลูตาเมตที่ระดับร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักของเมล็ดข้าวโพดเริ่มต้น ร่วมกับการใช้น้ำที่มีการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้เป็น 6.5 ด้วยกรดซิตริก 0.1 โมลาร์ จะทำให้เกิดการสังเคราะห์กาบาในเมล็ดข้าวโพดพันธุ์สงขลา 1 ได้สูงสุด หลังจากการแช่ในสารละลายดังกล่าว 24 ชม.

การสังเคราะห์กาบาโดยเอนไซม์ GAD ด้วยการใช้ผลิตผลเกษตรชนิดเดียวกัน และสายพันธุ์เดียวกัน แต่มีการเพาะปลูกคนละสถานที่หรือมีช่วงเวลาการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน อาจส่งผลให้ปริมาณกาบาที่สังเคราะห์ได้แตกต่างกันจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น ปริมาณกรดกลูตามิคในเมล็ดที่ทำหน้าที่เป็นสารตั้งต้นให้กับเอนไซม์ GAD ในการสังเคราะห์กาบา รวมไปถึงปริมาณของวิตามินบี 6 ในรูปของไพริดอกซอลฟอสเฟต (pyridoxal phosphate; PLP) ที่ทำหน้าที่เป็นโคแฟคเตอร์ให้กับเอนไซม์ GAD ในการสังเคราะห์กาบา หากในผลิตผลเกษตรมีปริมาณ PLP ที่แตกต่างกันอาจส่งผลให้ปริมาณกาบาที่สังเคราะห์ได้แตกต่างกัน (Lehninger *et al*., 1993) ดังจะเห็นได้จากปริมาณกาบาที่สังเคราะห์ได้โดยการแช่เมล็ดข้าวโพดในน้ำ

Table 2 The content of L-glutamic acid and GABA in corn seed after soaking in water adjusted different pH for 24 hr

pH of soaking water	L-glutamic acid (mg/100g of dry weight)	GABA (mg/100g of dry weight)
6.0	3,002.86±138.93 b	293.63±5.64 a
6.5	3,124.32±72.04 b	307.68±8.41 b
7.0	3,719.35 ±221.26 a	291.91±6.43 a

Mean in the same column followed by a common letters are not significantly difference at the 5% level by DMRT
*Corn seed prior to the experiment contained L-glutamic acid 2,869.30±353.91 mg/100g of dry weight and GABA 24.70±2.42 mg/100g of dry weight

Table 3 The content of L-glutamic acid and GABA in corn seed after soaking in water pH 6.5 with different concentration of monosodium glutamate for 24 hr

Monosodium glutamate %(w/w)	L-glutamic acid content (mg/100g of dry weight)	GABA content (mg/100g of dry weight)
0	2,938.36±181.94 a	233.12±15.54 b
0.25	3,075.68±162.19 a	231.19±14.15 b
0.50	3,212.25±172.50 a	259.20±10.64 a

Mean in the same column followed by a common letters are not significantly difference at the 5% level by DMRT
* Corn seed prior to the experiment contained L-glutamic acid 2,447.84±141.86 mg/100g of dry weight and GABA 23.42±1.71 mg/100g of dry weight

ที่มีการปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่ 6.5 จากข้อ 2. และ 3. ที่มีปริมาณกาบาที่สังเคราะห์ได้ต่างกัน คือ 307.68 และ 233.12 มก./100 ก. ทั้งนี้ เนื่องจากเมล็ดข้าวโพดที่ใช้มีปริมาณกรดกลูตามิคที่เป็นองค์ประกอบในเมล็ดแตกต่างกันคือ 2,869.30 และ 2,447.84 มก./100 ก. ตามลำดับ

ผลการเพิ่มกาบาด้วยการเพิ่มสารตั้งต้นให้กับเอนไซม์ GAD โดยการเติมเกลือของกรดกลูตามิคในการทดลองนี้ สอดคล้องกับวิธีการของ Ohtsubo (2000) ที่ทำการเพิ่มกาบาในคัพภะของข้าวกล้องด้วยการทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมกลูตาเมต 0.4 โมลาร์ 1 ล. และควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างให้อยู่ระหว่าง 5.5 - 5.6 พบว่าสามารถสังเคราะห์กาบาได้ถึง 29.0 ก. ต่อคัพภะของข้าวกล้อง 100 ก. และยังได้ทำการทดลองเพิ่มปริมาณกาบาในรำข้าวด้วยการทำปฏิกิริยากับโซเดียมกลูตาเมต 0.24 โมลาร์ ซึ่งจะได้ปริมาณกาบาถึง 17 ก./ต่อรำข้าว 100 ก. นอกจากนี้ ยังมีการศึกษาถึงการเพิ่มกาบาในข้าวบาร์เลย์ โดยการใช้ข้าวบาร์เลย์ 150 มก. ทำปฏิกิริยากับโซเดียมกลูตาเมตความเข้มข้น 10 มิลลิโมล ปริมาตร 1 ล. ที่อุณหภูมิ 20 ซ.นาน 6 ชม. จะได้สารกาบา 11.34 ก. (Limure *et al*., 2008)

สรุปผลการทดลอง

ข้าวโพดพันธุ์แนะนำของกรมวิชาการเกษตรคือ ข้าวโพดข้าวเหนียวพันธุ์ชัยนาท 84-1 ข้าวโพดหวานพันธุ์ชัยนาท 7566 และข้าวโพดหวานพันธุ์สงขลา 1 มีความสามารถในการเปลี่ยนกรดกลูตามิคที่มีอยู่ในเมล็ดให้เป็นกาบาได้ โดยพันธุ์ที่มีความสามารถสูงที่สุดคือ ข้าวโพดหวานพันธุ์สงขลา 1 และพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการเพิ่มปริมาณกาบาได้สูงสุดคือ การแช่เมล็ดข้าวโพดในน้ำที่ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้เป็น 6.5 ด้วยสารละลายกรดซิตริกความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ และเติมโมโนโซเดียมกลูตาเมตร้อยละ 0.5 แช่เป็นเวลา 24 ชม. สามารถเพิ่มปริมาณกาบาได้ถึงร้อยละ 1,006.75 จากปริมาณกาบาเริ่มต้นในเมล็ด ดังนั้น สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับเมล็ดข้าวโพดที่ต้องการเพิ่มปริมาณกาบาให้สูง เพื่อนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น น้ำข้าวโพด ซุปข้าวโพด รวมทั้งผลิตภัณฑ์ขนมกรอบพองต่าง ๆ ซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารดังกล่าวมีปริมาณกาบาที่เพิ่มสูงขึ้นและเพียงพอต่อการเกิดประโยชน์ต่อร่างกาย

เอกสารอ้างอิง

กรมอนามัย. 2544. ตารางแสดงชนิดและปริมาณกรดอะมิโนในอาหารไทย กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. 51 หน้า.

กาญจนา พลอยศรี. 2555. GABA กับการผ่อนคลายความเครียด. *จดหมายข่าว ชา* 2(8): 8-10.

จารุรัตน์ สันเต วรนุช ศรีเจษฎารักษ์ และรัชฎา ตั้งวงค์ไชย. 2550. ผลของกระบวนการแช่ต่อปริมาณสารแกมมาอะมิโนบิวทาริกแอซิดในข้าวกล้องงอก (หอมมะลิ 105). *ว.วิทย์.กษ.* 38(5) (พิเศษ): 164-167.

ณัฐฌา เหล่ากุลดิลก สุวนันท์ คำปัน ธัญเรศ พรมอินทร์ นภาพันธ์ โชคอำนวยพร และนันทินา ดำรงวัฒนกูล. 2561. สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการงอกของข้าวเหนียวพันธุ์ กข6 และการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ข้าวอบพอง. *ว.เกษตร* 34(2): 297-309.

ยุพกนิษฐ์ พ่วงวีระกุล และวาสนา กล้าหาญ. 2553. การเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินบี 1 และแกมมาแอมิโนบิวทิริกแอซิดในการผลิตข้าวงอกนึ่งขาวดอกมะลิ 105 ระดับโรงงานต้นแบบ. เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48: สาขาอุตสาหกรรมเกษตร. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุนัน ปานสาคร และจตุรงค์ ลังกาพินธุ์. 2556. พัฒนากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์งางอกร่วมกับการคั่วเพื่อการเพิ่มมูลค่าผลผลิตทางการเกษตร. *แก่นเกษตร.* 41(3): 305-316.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2563. ข้าวโพดหวาน: เนื้อที่เพาะปลูก เก็บเกี่ยว ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ รวมทั้งประเทศ ปี 2562. แหล่งข้อมูล http://www.oae.go.th/view/1/ตารางแสดงรายละเอียดข้าวโพดหวาน/TH-TH สืบค้น: 10 ตุลาคม 2563.

อรพิน เกิดชูชื่น ณัฏฐา เลาหกุลจิตต์ และอรทัย โกกิลกนิษฐ. 2556. ผลของพีเอชและอุณหภูมิของน้ำที่ใช้แช่เมล็ดข้าวต่อคุณค่าทางอาหารของข้าวกล้องงอกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105. *SDU Res. J.* 6(1): 171-186.

อิงฟ้า คำแพง อรพิน เกิดชูชื่น และณัฏฐา เลาหกุลจิตต์. 2552. การเปลี่ยนแปลงสารอาหารของข้าวและธัญพืชในระหว่างการงอก. *ว.วิทย์.กษ.* 40(พิเศษ3): 341-344.

Bouche, N. and H. Fromm. 2004. GABA in plants: Just a metabolite. *Trends Plant Sci.* 9(3): 110-115.

Fujibayashi, M., T. Kamiya, K. Takagaki, and T. Moritani. 2008. Activation of autonomic nervous system activity by the oral ingestion of GABA. *J. Jpn. Soc. Nutr. Food Sci.* 61: 129–133.

Lehninger, L., L. Nelson and M. Cox. 1993. Principles of Biochemistry. 2nd edition. New York, worth publisher. 714 p.

Limure, T., M. Kihara, N. Hirota, T. Zhou, K. Hayashi and K. Ito 2008. A method for production of g-aminobutyric acid (GABA) using barley bran supplemented with glutamate. *Food Res. Inter*. 42(3): 319-323.

Maeda, Y., T.L. Lisi, C.G. Vance and K. A. Sluka. 2007. Release of GABA and activation of GABA(A) in the spinal cord mediates the effects of TENS in rats. *Brain research*, *1136*(1), 43–50.

Ohtsubo, S., S. Asano, K. Sato and I. Matsumato. 2000. Enzymatic production of g-aminobutyric acid using rice (Oryza sativa) Germ. *Food sci. Technol Res*. 6(3): 208-211.

Okada, T., T. Sugishita, T. Murakami, H. Murai, T. Saikusa, T. Horino, A. Onoda, O. Kajimoto, R. Takahashi and T. Takahashi. 2000. Effect of the defatted rice germ enriched with GABA for sleeplessness, depression, autonomic Disorder by oral administration. *Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi.* 47:596-603.

Petritis, K., C. Elfakir and M. Dreux. 2002. A comparative study of liquid chromatographic detectors for the analysis of underivatized amino acids. *J. chromato*. *A*. 961(1): 9-21.

Polthum, P. and A. Ahromrit. 2014. GABA content and Antioxidant activity of Thai waxy corn seeds germinated by hypoxia method. *Songklanakarin J. Sci. Technol*. 36 (3), 309-316.

Powers, M.E., J.F. Yarrow, S.C. McCoy. and S.E. Borst. 2008. Growth hormone isoform responses to GABA ingestion at rest and after exercise. *Med. Sci. Sports Exerc*. 40(1): 104–110.

Saikusa, T., T. Horino and Y. Mori. 1994. Distribution of free amino acids in the rice kernel and kernel fractions and the effect of water soaking on the distribution. *J. Agric. Food Chem*. 42(5): 1122-1125.

Satyanarayan, V. and P.M. Nair. 1985. Purification and characterization of glutamate decarboxylase from Solanum tuberosum. *Eur. J. Biochem.* 150(1): 53-60.

Schousboe, A. and H.S. Waagepetersen. 2007. GABA: homeostatic and pharmacological aspects. *Prog. Brain Res*. 160: 9–19.

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

Thorne Research, Inc. 2007. Gamma-Aminobutyric Acid (GABA). *Altern. Med. Rev*. 12(3): 274- 279.

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

Vermulapalli, S. and M. Barletta 1984. The role of the sympathetic nervous system in the cardiovascular effects of systemically administered g-aminobutyric acid. *Arch. Int. Pharmacodyn*. 267:46-58.