

การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางเคมี สมบัติทางด้านความหนืด และการทำงานของ
ของเอนไซม์ไอโซอะไมเลสจากฟลาวัวร์ข้าวโพดข้าวเหนียว

**Correlation Analysis among Chemical Properties, Viscosity Properties
and Isoamylase Activities of Waxy Corn Flours**

ธีรวุฒิ วงศ์วรรตน์^{1/} วรธมน มงคล^{2/} ยิ่งยศ พาลูกา^{1/}

Theerawut Wongwarat^{1/} Wassamon Mongkol^{2/} Yingyod Paluka^{1/}

Received 29 Jun. 2022 /Revised 14 Sept. 2022/Accepted 29 Sept. 2022

ABSTRACT

The objective of this research was to study relationship among chemical properties, viscosity properties and isoamylase activities of thirty inbred lines/hybrids/ commercial hybrids waxy corns. The information of these variables could be used as basis for waxy corn variety improvement. Pearson correlation coefficient was used to analyse the correlation between variables. We found that total starch content had a positive correlation ($p<0.05$) with amylose content and amylopectin content. The peak viscosity had a positive correlation coefficient ($p<0.05$) with breakdown and setback. The Pearson correlation analysis of chemical properties and viscosity properties showed that the total starch content exhibited positive correlation coefficient ($p<0.05$) with the peak viscosity and breakdown. Similarly, the amylose content was positively correlated ($p<0.05$) with the peak viscosity and the breakdown. A positive correlation coefficient ($p<0.05$) was also observed between the amylopectin content and the peak viscosity and between the amylopectin content and the breakdown. On the other hand, the debranching activities of isoamylase displayed a positive correlation coefficient with the total starch content, amylopectin content and breakdown but showed a negative correlation coefficient ($p<0.05$) with the setback. Information on relationship between these variables could be used as basis for selection of waxy corn inbred lines and hybrids for the stickiness texture under breeding program in future.

Keywords: waxy Corns, Pearson correlation coefficient, chemical properties, viscosity properties, isoamylase activities

^{1/} ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น 180 ต. ศีลา อ. เมือง จ. ขอนแก่น 40000

Khon Kaen Field Crops Research Center, 180, Sila, Mueang, Khon Kaen 40000

^{2/} ศูนย์วิจัยพืชไร่ชัยนาท 522 ต. บางหลวง อ. สรรพยา จ. ชัยนาท 17150

Chai Nat Field Crops Research Center, 522, Bang Luang, Sapphaya, Chai Nat 17150

* Corresponding author: theerawut6949@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางเคมี สมบัติทางด้านความหนืด และการทำงานของเอนไซม์ไอโซอะไมเลส ในแป้งฟลาวร์ที่ได้จากข้าวโพดข้าวเหนียวลูกผสมพันธุ์การค้า (commercial hybrids) จำนวน 5 พันธุ์ ข้าวโพดข้าวเหนียวสายพันธุ์แท้ (inbred lines) จำนวน 13 สายพันธุ์ และข้าวโพดข้าวเหนียวลูกผสม (hybrids) จำนวน 12 ลูกผสม โดยนำข้อมูลจากการวิเคราะห์ ตัวอย่างทั้งหมดที่ได้มาหาความสัมพันธ์โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson correlation coefficient) พบว่า ปริมาณแป้งทั้งหมดมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในทางบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับปริมาณอะไมโลสและปริมาณอะไมโลเพคติน ความหนืดสูงสุดมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในทางบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับการแตกตัวของเม็ดแป้ง และการคินตัวของแป้ง การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของสมบัติทางเคมีและสมบัติทางด้านความหนืด พบว่า ปริมาณแป้งทั้งหมดมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในทางบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับความหนืดสูงสุด และการแตกตัวของเม็ดแป้ง การทำงานของเอนไซม์ไอโซอะไมเลสมีความสัมพันธ์ทางบวกกับแป้งทั้งหมดและปริมาณอะไมโลเพคติน แต่มีความสัมพันธ์ทางลบกับการคินตัวของแป้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ผลของข้อมูลหลายตัวแปรในงานวิจัยนี้ เป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญสำหรับการนำมาใช้ในการคัดเลือกข้าวโพดข้าวเหนียวสายพันธุ์แท้ และข้าวโพดข้าวเหนียวลูกผสม ในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดข้าวเหนียวต่อไป

คำสำคัญ: ข้าวโพดข้าวเหนียว, ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน, สมบัติทางเคมี, สมบัติทางด้านความหนืด, การทำงานของเอนไซม์ไอโซอะไมเลส

บทนำ

การปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดข้าวเหนียว ต้องดำเนินการประเมินตัวแปรต่าง ๆ ทั้งลักษณะผลผลิตและลักษณะทางการเกษตร (กิตติ และ ชูศักดิ์, 2556) สมบัติทางเคมีกายภาพของแป้ง (จารุวรรณ และคณะ, 2560) ลักษณะเหนียวนุ่มของเมล็ดข้าวโพดข้าวเหนียวเกิดจากองค์ประกอบและโครงสร้างของแป้งภายในเมล็ดข้าวโพดข้าวเหนียว (Azanza et al., 1996; Simla et al., 2010)

เม็ดแป้ง (starch granule) ในเมล็ดข้าวโพดข้าวเหนียว มีรูปร่างลักษณะ ขนาดและองค์ประกอบภายในที่แตกต่างกัน เม็ดแป้งโดยทั่วไปมีอะไมโลสซึ่งกลูโคสเรียงกันเป็นโพลิเมอร์โดยเชื่อมกันด้วยพันธะ $\alpha-1,4$ กลูโคซิดิก ในขณะที่อะไมโลเพคติน มีสายโซ่กิ่งก้านที่เชื่อมด้วยพันธะ $\alpha-1,6$ กลูโคซิดิก การตัดกิ่งก้านของอะไมโลเพคตินสามารถทำได้โดยใช้เอนไซม์ไอโซอะไมเลส เป็นเอนไซม์ที่ตัดเฉพาะกิ่งเฉพาะพันธะ $\alpha-1,6$ กลูโคซิดิกของโมเลกุลอะไมโลเพคติน ได้เป็นมอลโตโอลิโกแซคคาไรด์

ปริมาณและสัดส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินมีความสำคัญยิ่งต่อรูปร่างและโครงสร้างของเม็ดแป้งและมีผลต่อลักษณะคุณภาพของแป้งในผลิตภัณฑ์อาหารและการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง (Pster and Zeeman, 2016) เมื่อเม็ดแป้งได้รับความร้อนมีผลทำให้พันธะไฮโดรเจนของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินภายในเม็ดแป้งสลายตัวออก (breakdown) รวมกับน้ำที่ล้อมรอบทำให้เม็ดแป้งพองตัว และมีความหนืดของน้ำแป้งเพิ่มสูงขึ้น จนกระทั่งถึงจุดที่เกิดเป็นความหนืดสูงสุด (peak viscosity)

เมื่อลดอุณหภูมิลงมีผลทำให้พันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของน้ำและโมเลกุลของแป้งถูกแทนที่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายโมเลกุลของแป้งแทน เกิดเป็นโครงสร้างตาข่าย (Roos and Karel, 1991) ทำให้ค่าความหนืดเพิ่มขึ้นอีก (setback) โครงสร้างของอะไมโลเพคตินประกอบด้วยจำนวนและความยาวของสายโซ่กิ่งก้านที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับหลายตัวแปร ได้แก่ สมบัติทางเคมีที่เหมาะสม รวมทั้งจำนวนและความยาวของสายโซ่กิ่งก้าน (Subaric *et al.*, 2014; Yadav and Patki, 2015) จำนวนและความยาวของสายโซ่กิ่งก้านของอะไมโลเพคตินมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างพันธุ์ข้าวโพดข้าวเหนียวต่างกัน (Ketthaisong *et al.*, 2015)

งานวิจัยนี้ดำเนินการประเมินสมบัติทางเคมี สมบัติทางด้านความหนืด ซึ่งเป็นองค์ประกอบภายในเมล็ด และระดับการทำงานของเอนไซม์ไอโซอะไมเลส เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางเคมี สมบัติทางด้านความหนืด และการทำงานของเอนไซม์ไอโซอะไมเลส ผลที่ได้จากการศึกษานี้จะถูกนำมาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำคัญสำหรับการจัดกลุ่มและวิเคราะห์องค์ประกอบสำคัญทางด้านลักษณะเหนียวนุ่มของข้าวโพดข้าวเหนียว รวมถึงการพัฒนาเครื่องหมายสปีส์ที่สัมพันธ์กับลักษณะเหนียวนุ่มในข้าวโพดข้าวเหนียว เพื่อเป็นข้อมูลในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดข้าวเหนียว

อุปกรณ์และวิธีการ

1. ตัวอย่างข้าวโพดข้าวเหนียว

ข้าวโพดข้าวเหนียวที่ใช้ในงานวิจัยมีจำนวน 30 พันธุ์/สายพันธุ์/ลูกผสม ซึ่งปลูก ดูแลรักษาและเก็บเกี่ยวผลผลิตที่ศูนย์วิจัยพืชไร่ชัยนาท อ. สรรพยา จ. ชัยนาท ได้แก่ ข้าวโพดข้าวเหนียวลูกผสมพันธุ์การค้า (commercial hybrids) จำนวน 5 พันธุ์ ข้าวโพดข้าวเหนียวสายพันธุ์แท้ (inbred lines) จำนวน 13 สายพันธุ์ และข้าวโพดข้าวเหนียวลูกผสม (hybrids) จำนวน 12 ลูกผสม

2. การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของฟลาวัวร์ข้าวโพดข้าวเหนียว

2.1. การเตรียมฟลาวัวร์ข้าวโพดข้าวเหนียว

บดเมล็ดแห้งของข้าวโพดข้าวเหนียวด้วยเครื่องบดจนได้เป็นผงละเอียด และร่อนผ่านตะแกรงไนลอนที่มีขนาดของรู 100 เมช (mesh) ซึ่งผงที่ได้ตัวอย่างละ 10 มก. ใส่ลงในหลอดทดลองเติมเมทานอลความเข้มข้นร้อยละ 85 ปริมาตร 5 มล. ต้มที่อุณหภูมิ 65°C. นาน 30 นาที เพื่อกำจัดไขมันออกจากแป้ง แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่ 12,000 รอบ/นาที นาน 5 นาที เทส่วนใสทิ้ง ทำซ้ำ 3 รอบ นำฟลาวัวร์ข้าวโพดข้าวเหนียวที่ได้ไปอบให้แห้งในตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 50°C. ซ้ำมครั้ง แล้วบรรจุลงในหลอดที่มีฝาปิดสนิท และเก็บในโถดูดความชื้น

2.2. การวิเคราะห์ปริมาณแป้งทั้งหมด

ชั่งฟลาวัวร์ข้าวโพดข้าวเหนียวตัวอย่างละ 100 มก. ใส่ลงในหลอดทดลองและดำเนินการทำปฏิกิริยาเคมีตามวิธีการของ AOAC official method (2005) ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

2.3. การวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลสและอะไมโลเพคติน

การวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลสและอะไมโลเพคตินโดยดัดแปลงวิธี dual-wavelength colorimetric (DWC) procedure (Jian *et al.*, 2014)

2.3.1. การเตรียมสารมาตรฐานอะไมโลสและอะไมโลเพคติน

ชั่งสารมาตรฐาน ได้แก่ สารมาตรฐานโปเตไตอะไมโลส (potato amylose) และสารอะไมโลเพคติน อย่างละ 50 มก. ลงในหลอดทดลอง เติมสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide, NaOH) ความเข้มข้น 5 โมลาร์ ปริมาตร 0.66 มล. ลงในหลอดทดลองฟอสฟอรัสเจาจนกระทั่งสารมาตรฐานละลายหมด เติมน้ำกลั่นปราศจากไอออน 32.64 มล. ปิดฝาหลอดทดลอง แล้วนำไปแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 80°C. นาน 30 นาที นำหลอดทดลองออกมาตั้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ใช้เป็น stock solution

(ร้อยละ 100) การเจือจางสารมาตรฐานทำได้โดยการเติมสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.13 โมลาร์ ให้ได้สารมาตรฐานโปเตโตอะไมโลสและสารอะไมโลเพคติน ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 100, 80, 60, 40, 20 และ 0

2.3.2 การสร้างกราฟมาตรฐาน

ดูดสารละลายกรดไตรคลอโรอะซิติก (trichloroacetic acid; TCA) ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ปริมาตร 5 มล. ลงในหลอดทดลองฝาเกลียวเติมสารมาตรฐานอะไมโลสและอะไมโลเพคติน ความเข้มข้นร้อยละ 100, 80, 60, 40, 20 และ 0 ปริมาตร 300 ไมโครลิตร ลงในหลอดทดลอง แล้วเติมสารละลายไอโอดีนปริมาตร 300 ไมโครลิตร ลงไปเขย่าให้เข้ากันทันที จะได้สารประกอบเชิงซ้อนของน้ำแป้งและสารละลายไอโอดีน ตั้งไว้ให้สารเกิดปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำมาวัดด้วยวิธี dual-wavelength colorimetric (DWC) procedure ดังนี้ การวัดค่าปริมาณอะไมโลสให้วัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 และ 440 นาโนเมตร ส่วนการวัดค่าปริมาณอะไมโลเพคตินให้วัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 560 และ 728 นาโนเมตร โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.13 โมล เป็น blank แล้วทำการปรับค่าการดูดกลืนแสงให้เท่ากับศูนย์ก่อนการวัดสารมาตรฐาน

การสร้างกราฟมาตรฐานโดยกำหนดให้แกน X เป็นความเข้มข้นของสารมาตรฐานอะไมโลส แกน Y เป็นค่าความแตกต่างของการดูดกลืนแสงที่ 620 และ 440 นาโนเมตร สำหรับการคำนวณสมการทำนายปริมาณอะไมโลส โดยสามารถสร้างเป็นสมการ $Y = 0.1688x - 0.1001$ มีค่าความเชื่อมั่นของสมการเท่ากับร้อยละ 99.44 การสร้างกราฟมาตรฐานโดยกำหนดให้แกน X เป็นความเข้มข้นของสารมาตรฐานอะไมโลเพคติน แกน Y เป็นค่าความแตกต่างของการดูดกลืนแสงที่ 560 และ 728 นาโนเมตร สำหรับการคำนวณสมการทำนายปริมาณอะไมโลส สามารถสร้าง

เป็นสมการ $Y = 0.0713x - 0.0984$ มีค่าความเชื่อมั่นของสมการเท่ากับร้อยละ 98.89

2.3.3 การเตรียมน้ำฟลาร์ข้าวโพดข้าวเหนียว ซึ่งฟลาร์ข้าวโพดข้าวเหนียว 50 มก.

ใส่ลงในหลอดทดลองฝาเกลียวเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.4 โมล ปริมาตร 25 มล. เขย่าให้เข้ากัน ปิดฝาหลอดทดลองและนำไปแช่ในอ่างน้ำร้อนควบคุมอุณหภูมิที่ 95°C. นาน 30 นาที จากนั้นนำมาตั้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้องและใช้เป็นสารละลายตัวอย่าง

2.3.4 การวัดปริมาณอะไมโลสและอะไมโลเพคตินในฟลาร์ข้าวโพดข้าวเหนียว

การวัดปริมาณอะไมโลสและอะไมโลเพคตินในตัวอย่างน้ำฟลาร์ข้าวโพดข้าวเหนียว ด้วยวิธี dual-wavelength colorimetric (DWC) procedure เช่นเดียวกับการวัดสารมาตรฐานปริมาณอะไมโลสและอะไมโลเพคติน ตัวอย่างละ 3 ขั้ว นำผลต่างค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ แทนค่าในสมการทำนายปริมาณ อะไมโลสและอะไมโลเพคติน

3. การวิเคราะห์สมบัติทางความหนืดของฟลาร์ข้าวโพดข้าวเหนียว

วัดความหนืดของฟลาร์ข้าวโพดข้าวเหนียว ด้วยเครื่องวัดความหนืดแบบอิงยวด หรือ RVA (rapid visco analysis 4500) ดำเนินการตามวิธี Newport Scientific method (Newport Scientific, 1997) บันทึกค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ค่าแตกตัวของเม็ดแป้ง (breakdown) และค่าการคืนตัวของแป้ง (setback) ตัวอย่างละ 3 ขั้ว

4. การวิเคราะห์การทำงานของเอนไซม์ไอโซอะไมเลสของฟลาร์ข้าวโพดข้าวเหนียว

ดำเนินการตามวิธีมาตรฐาน enzymatic assay of isoamylase (เอนไซม์ไอโซอะไมเลส จาก *Pseudomonas* sp., Sigma-Aldrich, St. Louis, MI, USA) ดังนี้ ดูดสารละลายบัฟเฟอร์โซเดียมอะซีเตตความเข้มข้น 500 มิลลิโมลาร์

พีเอช 3.5 อุณหภูมิ 40°ซ. ปริมาตร 0.075 มล. ลงในหลอดทดลอง ตามด้วยสารละลายแบ่งความเข้มข้นร้อยละ 1 ผสมให้เข้ากัน นำไปแช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 40°ซ. นาน 15 นาที เติมสารละลายเอนไซม์ไอโซอะไมเลส ปริมาตร 0.075 มล. นำไปแช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 40°ซ. นาน 15 นาที จากนั้นเติมสารละลายไอโอดีน-โพแทสเซียมไอโอไดด์ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ เติมน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 11.50 มล. ผสมให้เข้ากัน ตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 นาที นำไปปั่นเหวี่ยงที่ 10,000 รอบ/นาที นาน 5 นาที นำส่วนใสมาผ่านตัวกรองไซริงค์ ขนาด 0.8 ไมครอน สารละลาย blank ทำเช่นเดียวกัน แต่ใช้สารละลายเอนไซม์ไอโซอะไมเลสที่ผ่านการแช่ในน้ำเดือด 10 นาที เพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ จากนั้นนำผลผลิตของปฏิกิริยาที่ได้ทั้งจากสารละลายแบ่งและสารละลาย blank มาวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 610 นาโนเมตร ดำเนินการทำปฏิกิริยาดังกล่าว 3 ซ้ำ หนึ่งหน่วยการทำงานของเอนไซม์ไอโซอะไมเลส หมายถึง ปริมาณมอลโตไตรออสและมอลโตโอลิโกแซคคาไรด์หรือมอลโตเดกซ์ทรินที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาย่อยโซ่กิ่งของอะไมโลเพคตินในฟลาวัวร์ข้าวโพดข้าวเหนียวด้วยเอนไซม์ไอโซอะไมเลสที่อุณหภูมิ 40°ซ. ในเวลา 1 ชม.

5. การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลทั้งหมดมาหาความสัมพันธ์โดยการวิเคราะห์ไคสแควร์ (chi-square) โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson correlation coefficient : r) แบ่งระดับความสัมพันธ์ตามเกณฑ์ของ Zady, (2000) ดังนี้

- r = 0.90-1.00 ระดับความสัมพันธ์สูงมาก
- r = 0.70-0.89 ระดับความสัมพันธ์สูง
- r = 0.50-0.69 ระดับความสัมพันธ์ปานกลาง
- r = 0.30-0.49 ระดับความสัมพันธ์ต่ำ
- r = 0.00-0.29 ระดับความสัมพันธ์ต่ำมาก

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. สมบัติทางเคมี สมบัติทางด้านความหนืด และระดับการทำงานของเอนไซม์ไอโซอะไมเลส

1.1 สมบัติทางเคมี

จากการประเมินปริมาณแบ่งทั้งหมดพบว่า ที่ระดับมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีปริมาณแบ่งทั้งหมดของฟลาวัวร์ข้าวโพดข้าวเหนียวอยู่ร้อยละ 50.33-82.57 โดยฟลาวัวร์ข้าวโพดข้าวเหนียวลูกผสมพันธุ์การค้า (พันธุ์เปรียบเทียบ) มีปริมาณแบ่งอยู่ร้อยละ 63.36-77.25 ฟลาวัวร์ข้าวโพดข้าวเหนียวสายพันธุ์แท้มีปริมาณแบ่งทั้งหมดอยู่ร้อยละ 50.33-82.57 และฟลาวัวร์ข้าวโพดข้าวเหนียวลูกผสมมีปริมาณแบ่งทั้งหมดอยู่ร้อยละ 58.87-81.59 (Table 1)

เมื่อพิจารณาปริมาณอะไมโลส พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ปริมาณอะไมโลสที่วัดได้มีค่าอยู่ร้อยละ 0.73-10.11 โดยฟลาวัวร์ข้าวโพดข้าวเหนียวลูกผสมพันธุ์การค้ามีปริมาณอะไมโลส 1.68-9.46 ฟลาวัวร์ข้าวโพดข้าวเหนียวสายพันธุ์แท้มีปริมาณอะไมโลสอยู่ร้อยละ 0.73-9.21 ฟลาวัวร์ข้าวโพดข้าวเหนียวลูกผสมมีปริมาณอะไมโลสอยู่ร้อยละ 3.25-10.11 (Table 1) Li et al. (2008) และ Prez and Bertoft, (2010) รายงานว่า ปริมาณอะไมโลสในข้าวโพดข้าวเหนียวมีร้อยละ 0-8 เมื่อนำร้อยละปริมาณอะไมโลสมาคิดเป็นร้อยละปริมาณอะไมโลสต่อร้อยละของปริมาณแบ่งทั้งหมด พบว่า ฟลาวัวร์ข้าวโพดข้าวเหนียวมีปริมาณอะไมโลสคิดเป็นร้อยละ 1.44-12.24 ของปริมาณแบ่งทั้งหมด

ขณะที่การประเมินปริมาณอะไมโลเพคตินในตัวอย่างพบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน สามารถวัดปริมาณอะไมโลเพคตินได้ร้อยละ 50.06-74.56 โดยฟลาวัวร์ข้าวโพดข้าวเหนียวลูกผสมพันธุ์การค้ามีปริมาณอะไมโลเพคตินร้อยละ 56.47-68.32 ฟลาวัวร์ข้าวโพดข้าวเหนียวสายพันธุ์แท้มีปริมาณอะไมโลเพคตินร้อยละ 50.28-73.76 และฟลาวัวร์ข้าวโพดข้าวเหนียวลูกผสมมีปริมาณอะไมโลเพคตินร้อยละ 56.77-74.56

(Table 1) เมื่อนำร้อยละปริมาณอะไมโลเพคตินมาคิดเป็นร้อยละต่อร้อยละของปริมาณแป้งทั้งหมด พบว่าฟลาวัวร์ข้าวโพดข้าวเหนียวมีปริมาณอะไมโลเพคตินคิดเป็นร้อยละ 90.29-99.06 ของปริมาณแป้งทั้งหมด มีรายงานการศึกษาเมล็ดข้าวโพดข้าวเหนียวที่สูงเต็มที่ (mature kernels) มีปริมาณแป้งทั้งหมดและปริมาณอะไมโลเพคตินมีปริมาณสูงมากที่สุด (Simla et al., 2010)

1.2. สมบัติทางด้านความหนืด

ค่าความหนืดสูงสุด พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ โดยค่าความหนืดของฟลาวัวร์ข้าวโพดข้าวเหนียวอยู่ระหว่าง 14.12-180.46 RVU ฟลาวัวร์ข้าวโพดข้าวเหนียวลูกผสมพันธุ์การค้ามีค่าความหนืด 56.29-153.54 RVU และฟลาวัวร์ข้าวโพดข้าวเหนียวสายพันธุ์แท้มีค่าความหนืด 14.12-180.46 RVU ฟลาวัวร์ข้าวโพดข้าวเหนียวลูกผสม มีค่าความหนืดอยู่ระหว่าง 61.04-114.65 RVU (Table 1)

ค่าการแตกตัวของเม็ดแป้งหรือค่าความหนืดลดลง เป็นค่าความแตกต่างระหว่างความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด ค่านี้ออกถึงการแตกตัวของเม็ดแป้งในช่วงการให้ความร้อนหรือการหุงต้ม ถ้าการแตกตัวของเม็ดแป้งหรือค่าความหนืดลดลงมีค่าต่ำ แสดงว่า แป้งนั้นทนความร้อนได้มากเมื่อถูกให้ความร้อน จะได้เจลที่มีลักษณะแข็งหรือแข็งกระด้าง อาจต้องใช้เวลาในการทำให้เกิดเจलगานขึ้น (วิจิตรา และวชิรญา, 2563) งานวิจัยนี้พบว่า ค่าการแตกตัวของเม็ดแป้งของฟลาวัวร์ข้าวโพดข้าวเหนียวมีความแตกต่างกันทางสถิติ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.37-97.66 RVU โดยฟลาวัวร์ข้าวโพดข้าวเหนียวลูกผสมพันธุ์การค้ามีค่าการแตกตัวของเม็ดแป้งอยู่ระหว่าง 23.12-66.45 RVU ฟลาวัวร์ข้าวโพดข้าวเหนียวสายพันธุ์แท้มีค่าการแตกตัวของเม็ดแป้ง 0.37-97.66 RVU ฟลาวัวร์ข้าวโพดข้าวเหนียวลูกผสมมีค่าการแตกตัวของเม็ดแป้ง 11.08-56.70 RVU (Table 1)

ค่าการคืนตัว ซึ่งได้จากผลต่างระหว่างความหนืดสุดท้ายกับความหนืดสูงสุด ค่าการคืนตัวจะมีความสัมพันธ์กับลักษณะเนื้อสัมผัส เมื่อให้ความร้อนแก่แป้งแล้วปล่อยให้เย็นลง แป้งที่มี

ค่าการคืนตัวต่ำเนื้อสัมผัสของแป้งยังคงเหนียวนุ่ม การคืนตัวทำให้เกิดการรวมตัวกันของโมเลกุลอะไมโลส และอะไมโลเพคตินกับเจลแป้ง ได้โครงสร้างใหม่จากการเรียงผลึกของเจลหลังการทำให้เย็นตัวลง งานวิจัยนี้พบว่า ค่าการคืนตัวแป้งมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ มีค่าการคืนตัว 6.29-60.70 RVU โดยฟลาวัวร์ข้าวโพดข้าวเหนียวลูกผสมพันธุ์การค้ามีค่าการคืนตัว 10.37-23.29 RVU ฟลาวัวร์ข้าวโพดข้าวเหนียวสายพันธุ์แท้มีค่าการคืนตัว 6.29-60.70 RVU และฟลาวัวร์ข้าวโพดข้าวเหนียวลูกผสมมีค่าการคืนตัว 12.37-56.12 RVU (Table 1)

1.3 การทำงานของเอนไซม์ไอโซอะไมเลสฟลาวัวร์ข้าวโพดข้าวเหนียว

จากการประเมินการทำงานของเอนไซม์ไอโซอะไมเลส พบว่า ระดับการทำงานของเอนไซม์ไอโซอะไมเลสมีความแตกต่างกันทางสถิติ (Table 1) เมื่อตัดจุดสายโซ่กิ่งก้านของอะไมโลเพคตินด้วยเอนไซม์ไอโซอะไมเลสในน้ำฟลาวัวร์ข้าวโพดข้าวเหนียว มีระดับการตัดกิ่งอยู่ระหว่าง 547.33-3,120.44 หน่วย/มล. ฟลาวัวร์ข้าวโพดข้าวเหนียวลูกผสมพันธุ์การค้ามีระดับการตัดกิ่งอยู่ระหว่าง 1,316.88-2,144.00 หน่วย/มล. ฟลาวัวร์ข้าวโพดข้าวเหนียวสายพันธุ์แท้มีระดับการตัดกิ่งอยู่ระหว่าง 547.33-3,120.44 หน่วย/มล. ฟลาวัวร์ข้าวโพดข้าวเหนียวลูกผสมมีระดับการตัดกิ่งอยู่ระหว่าง 803.77-2,467 หน่วย/มล.

จากการเปรียบเทียบข้อมูลค่าเฉลี่ยสมบัติทางเคมี สมบัติทางด้านความหนืด และการทำงานของเอนไซม์ไอโซอะไมเลสตามกลุ่มของฟลาวัวร์ข้าวโพดข้าวเหนียว ทั้ง 3 กลุ่ม พบว่า ค่าเฉลี่ยความหนืดสูงสุดของกลุ่มข้าวโพดข้าวเหนียวลูกผสมพันธุ์ทางการค้ามีความแตกต่างกันทางสถิติ กับกลุ่มข้าวโพดข้าวเหนียวสายพันธุ์แท้ และค่าเฉลี่ยการแตกตัวของเม็ดแป้งของกลุ่มข้าวโพดข้าวเหนียวลูกผสมพันธุ์ทางการค้ามีความแตกต่างกันทางสถิติกับกลุ่มข้าวโพดข้าวเหนียวสายพันธุ์แท้ และกลุ่มข้าวโพดข้าวเหนียวลูกผสม (Table 2)

Table 1 Chemical properties, viscosity properties and isoamylase activities of thirty waxy corn flours

Lines/cultivars/hybrids	Groups	Chemical properties			Viscosity properties			Isoamylase activities*	
		Total starch content*	Amylose content*	Amylopectin content*	Peak viscosity*	Breakdown*	Setback*		
		(%)	(%)	(%)	(RVU)	(RVU)	(RVU)	(unit/ml)	(unit/ml)
F4305	Inbred line	67.7 g-i	9.2 bc	58.3 lm	98.4 g	35.5 g	15.1 gh	1,309.8 n	
KKCW02	Inbred line	58.1 m	2.4 kl	56.2 m	74.4 j	21.8 kl	11.9 kl	1,859.5 h-k	
M80	Inbred line	80.9 b	8.4 cd	72.4 bc	82.3 i	39.0 f	13.7 ij	1,908.0 h-j	
PWHB01	Inbred line	69.0 fg	9.0 bc	60.2 jk	64.3 mn	15.0 n	13.0 i-k	1,793.1 h-k	
UT11	Inbred line	66.1 ij	2.3 kl	58.5 lm	94.0 h	20.0 lm	32.5 c	1,680.9 k-m	
UT122	Inbred line	62.9 k	6.2 g	58.5 lm	72.9 jk	11.2 o	60.7 a	547.3 p	
WEWS003	Inbred line	82.6 a	9.0 bc	73.8 ab	180.5 a	97.7 a	21.1 e	3,120.4 a	
WKA005	Inbred line	60.5 l	6.7 fg	54.3 o	38.1 q	16.2 n	8.8 op	1,884.9 h-k	
WPK018	Inbred line	50.3 o	0.7 m	91.1 e-g	14.2 r	0.5 p	6.3 q	1,793.1 h-k	
WKNN016	Inbred line	70.0 f	8.5 c	61.5 ij	34.1 q	0.4 p	9.7 no	1,215.5 n	
WSJ003	Inbred line	80.3 b	8.7 bc	71.7 cd	55.1 p	32.6 h	8.1 p	2,734.9 b	
WTNGHB003	Inbred line	63.5 f	8.8 bc	60.6 jk	75.9 j	19.2 m	15.2 gh	1,753.3 i-m	
YNB01	Inbred line	54.0 n	3.9 h	50.3 p	33.9 q	0.4 p	11.5 lm	1,874.0 h-k	
CNW142430505	Hybrids	78.5 c	8.6 bc	70.2 d	110.3 e	42.5 e	15.5 gh	1,982.7 f-h	
CNW142430519	Hybrids	80.3 b	10.1 a	70.3 d	99.5 fg	42.5 e	13.6 ij	2,189.2 ef	
CNW1504	Hybrids	81.6 ab	7.1 ef	74.6 a	109.0 e	56.7 c	15.4 gh	2,230.7 e	
CNW1515	Hybrids	76.3 d	7.5 e	68.5 e	112.9 de	40.8 ef	17.8 f	1,974.7 f-h	
CNW1537	Hybrids	65.1 j	2.7 i-k	62.3 hi	61.0 no	11.1 o	14.2 hi	2,278.4 de	
CNW1602	Hybrids	68.3 f-h	2.6 jk	65.4 g	69.1 kl	22.4 k	13.0 i-k	1,643.8 lm	
CNW1608	Hybrids	69.8 f	8.4 cd	62.8 hi	99.5 fg	42.4 e	13.7 ij	2,467.8 c	
CNW1614	Hybrids	76.2 d	8.4 cd	67.6 ef	99.8 fg	41.7 e	16.2 g	2,295.1 cd	

Table 1 Continue

Lines/cultivars/hybrids	Groups	Chemical properties			Viscosity properties			Isoamylase activities*
		Total starch	Amylose	Amylopectin	Peak	Breakdown*	Setback*	
		content*	content*	content*	viscosity*	(RVU)	(RVU)	
		(%)	(%)	(%)	(RVU)	(RVU)	(RVU)	(unit/ml)
CNW1627	Hybrids	65.21 j	6.1 g	59.1 kl	73.3 jk	28.0 i	13.3 i-k	2,342.2 cd
CNW1643	Hybrids	58.9 m	3.2 h-j	56.8 n	103.3 f	34.2 gh	12.4 j-l	803.8 o
UT1120	Hybrids	61.2 l	3.5 hi	57.5 mn	67.8 lm	15.1 n	15.9 g	1,952.9 g-i
UT1122	Hybrids	66.6 h-j	2.8 i-k	63.6 h	114.6 d	23.7 jk	56.1 b	1,712.0 j-m
Chai Nat 84-1	Com. Hybrids	77.2 cd	9.5 ab	68.3 e	140.9 c	66.4 b	23.3 d	1,316.9 n
Fancy 111	Com. Hybrids	72.7 e	6.4 fg	66.3 fg	153.5 b	57.9 c	22.3 d	1,529.5 m
Sweet violet	Com. Hybrids	63.7 k	6.7 fg	56.5 n	58.9 op	23.1 jk	11.2 lm	1,695.5 k-m
Sweet wax 254	Com. Hybrids	72.7 e	7.7 de	66.0 g	98.1 g	51.0 d	13.2 i-k	2,144.0 e-g
Violet white 926	Com. Hybrids	67.0 hi	1.7 l	65.9 g	56.3 p	25.0 j	10.4 mn	1,769.1 h-k
CV (%)		1.5	1.1	1.1	2.8	4.2	4.0	2.2

* Mean in the same column follow by a common letter are not significantly different at the 5% level by DMRT

Com. hybrids = Commercial hybrids

Table 2 Chemical properties, viscosity properties and isoamylase activities from inbred lines, hybrids and commercial hybrid groups

Groups	Chemical properties			Viscosity properties			Isoamylase activity (unit/ml)
	Total starch (%)	Amylose content (%)	Amylopectin content (%)	Peak viscosity (RVU)	Breakdown (RVU)	Setback (RVU)	
Inbred lines	67.91 a	5.74 a	61.58 a	73.64 b	25.94 b	16.08 a	1,691.02 a
Hybrids	69.73 a	6.37 a	64.16 a	90.04 ab	31.14 b	17.65 a	1,841.77 a
Com. hybrids	70.60 a	6.61 a	64.57 a	101.54 a	44.71 a	17.95 a	1,950.41 a
CV(%)	1.5	1.1	1.1	2.8	4.2	4.6	2.2

* Means in the same column follow by a common letter are not significantly different at the 5% level by DMRT

2. สหสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางเคมี

การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของสมบัติทางเคมี พบว่า ปริมาณแป้งทั้งหมดมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในทางบวกระดับปานกลางและระดับสูงมากกับปริมาณอะไมโลส ($r=0.708^{**}$) และปริมาณอะไมโลเพคติน ($r=0.948^{**}$) ตามลำดับ ปริมาณอะไมโลสมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในทางบวกระดับต่ำกับปริมาณอะไมโลเพคติน ($r=0.483^{**}$) (Table 3) ผลการทดลองสอดคล้องกับรายงาน Ketthaisong *et al.* (2015) ที่ประเมินองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรตในเมล็ดข้าวโพดข้าวเหนียวต่างสายพันธุ์

Table 3 Correlation coefficient of chemical properties of thirty waxy corns

Trait	Total starch content	Amylose content
Amylose content	0.708**	
Amylopectin content	0.948**	0.483**

** significantly different at $p < 0.01$ (2-tailed)

3. สหสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางด้านความหนืด

การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของสมบัติทางด้านความหนืด พบว่าความหนืดสูงสุดมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในทางบวกระดับสูงและระดับต่ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการแตกตัวของเม็ดแป้ง ($r=0.892^{**}$) และกับการคินตัวของแป้ง และ $r=0.336^{**}$) ตามลำดับ (Table 4) มีรายงานวิจัยสหสัมพันธ์ระหว่างความหนืดสูงสุดมีทิศทางบวก

ระดับสูงกับการแตกตัวของเม็ดแป้ง (ความแตกต่างของความหนืดสูงสุดกับความหนืดต่ำสุด) ($r=0.892$, $p<0.01$) มีผลทำให้การเกิดเจลที่มีลักษณะนุ่ม (Tsakama *et al.*, 2010) ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดสูงสุด การแตกตัวของเม็ดแป้ง และการคินตัวของแป้งมีผลต่อลักษณะคุณภาพการบริโภคของข้าว (Zhang *et al.*, 2020)

4. สหสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางเคมีกับสมบัติทางด้านความหนืด

การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของสมบัติทางเคมีและสมบัติทางด้านความหนืด พบว่า ปริมาณแป้งทั้งหมด มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในทางบวกระดับปานกลางและระดับสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความหนืดสูงสุด ($r=0.615^{**}$) และการแตกตัวของเม็ดแป้ง ($r=0.728^{**}$) ตามลำดับ ปริมาณอะไมโลสมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในทางบวกระดับต่ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความหนืดสูงสุด ($r=0.371^{**}$) และการแตกตัวของเม็ดแป้ง ($r=0.493^{**}$) ตามลำดับ ในขณะที่ปริมาณอะไมโลเพคตินมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในทางบวกระดับปานกลางและระดับสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความหนืดสูงสุด ($r=0.629^{**}$) และการแตกตัวของเม็ดแป้ง ($r=0.722^{**}$) ตามลำดับ (Table 5) แสดงให้เห็นว่าสมบัติทางเคมีของเม็ดแป้ง ได้แก่ ปริมาณแป้งทั้งหมด ปริมาณอะไมโลส และปริมาณอะไมโลเพคติน เป็นตัวแปรที่สำคัญต่อความหนืดสูงสุดและการแตกตัวของเม็ดแป้ง

5. สหสัมพันธ์ระหว่างการทำงานของเอนไซม์ไอโซอะไมเลสกับสมบัติทางเคมี

การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของการทำงานของเอนไซม์ไอโซอะไมเลสและสมบัติทางเคมีกับพบว่าการทำงานของเอนไซม์ไอโซอะไมเลสมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในทางบวกระดับต่ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับปริมาณแป้งทั้งหมด ($r=0.415^{**}$) และปริมาณอะไมโลเพคติน ($r=0.422^{**}$) (Table 6)

6. สหสัมพันธ์ระหว่างการทำงานของเอนไซม์ไอโซอะไมเลสกับสมบัติทางด้านความหนืด

การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของการทำงานของเอนไซม์ไอโซอะไมเลสกับสมบัติทางด้านความหนืดพบว่าการทำงานของเอนไซม์ไอโซอะไมเลสมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในทางบวกระดับต่ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการแตกตัวของเม็ดแป้ง ($r=0.399^{**}$) ในทางตรงข้ามค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในทางลบระดับต่ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการคั่นตัวของแป้ง ($r=-0.366^{**}$) (Table 7) จำนวนสายโซ่กิ่งก้านของอะไมโลเพคติน สัมพันธ์กับลักษณะเนื้อสัมผัส (Stevenson *et al.*, 2007)

Table 4 Correlation coefficient of viscosity properties of thirty waxy corns

Trait	Peak viscosity	Breakdown
Breakdown	0.892**	
Setback	0.336	0.399**

** significantly different at $p < 0.01$ (2-tailed)

Table 5 Correlation coefficient of chemical properties and viscosity properties of thirty waxy corns.

Trait	Total starch content	Amylose content	Amylopectin content
Peak viscosity	0.615**	0.371**	0.629**
Breakdown	0.728**	0.493**	0.722**
Setback	0.005	-0.105	0.071

** significantly different at $p < 0.01$ (2-tailed)

Table 6 Correlation coefficient of isoamylase activities and chemical properties of thirty waxy corns

Trait	Total starch content	Amylose content	Amylopectin content
Isoamylase activities	0.415**	-0.796	0.422**

** significantly different at $p < 0.01$ (2-tailed)

Table 7 Correlation coefficient of isoamylase activities and viscosity properties of thirty waxy corns

Trait	Peak viscosity	Breakdown	Setback
Isoamylase activities	-0.831	0.399**	-0.366**

** significantly different at $p < 0.01$ (2-tailed)

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรจากสมบัติทางเคมี สมบัติทางด้านความหนืด และการทำงานของเอนไซม์อะไมเลสในฟลาวร์ที่ได้จากข้าวโพดข้าวเหนียว 30 พันธุ์/สายพันธุ์/ลูกผสม เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญสำหรับการคัดเลือกข้าวโพดข้าวเหนียวสายพันธุ์แท้ ข้าวโพดข้าวเหนียวลูกผสมในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดข้าวเหนียวให้มีลักษณะเหนียวนุ่มซึ่งเป็นลักษณะที่บ่งชี้ลักษณะคุณภาพการบริโภคที่ดีของข้าวโพดข้าวเหนียว ผลของงานวิจัยนี้ พบว่า สมบัติทางเคมี ได้แก่ ปริมาณแป้งทั้งหมด ปริมาณอะไมโลส ปริมาณอะไมโลเพคติน มีความสัมพันธ์ทางบวกอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) กับสมบัติทางด้านความหนืด ได้แก่ ความหนืดสูงสุด การแตกตัวของเม็ดแป้ง ในขณะที่การตัดก้านสาขาอะไมโลเพคตินในน้ำฟลาวร์ข้าวโพดข้าวเหนียวด้วยการทำงานของเอนไซม์อะไมเลส พบว่า มีความสัมพันธ์ทางบวกกับปริมาณอะไมโลเพคติน การแตกตัวของเม็ดแป้ง แต่มีความสัมพันธ์ทางลบกับการคั่นตัวของแป้ง

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับงบประมาณสนับสนุนการดำเนินงานวิจัยจาก สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.)

เอกสารอ้างอิง

- กิตติ บุญเลิศนิรันดร์ และ ชูศักดิ์ จอมพุก. 2556. การจัดกลุ่มพันธุ์ข้าวโพดข้าวเหนียวด้วยการวิเคราะห์ข้อมูลหลายตัวแปร. ว. มทร. สุวรรณภูมิ 1(1): 41-50.
- จารุวรรณ จันทร์โนนแสง สุจินต์ เจนวิวัฒน์ เฉลิมพล ภูมิไชย์ และน้องนุช ศิริวงศ์. 2560. การประเมินเบื้องต้นของค่าความหนืดฟลาร์และเนื้อสัมผัสของเมล็ดข้าวโพดข้าวเหนียว. ใน: การประชุมวิชาการข้าวโพดข้าวฟ่างแห่งชาติ ครั้งที่ 38 วันที่ 25-27 กรกฎาคม 2560. 328 หน้า.
- วิจิตรา เหลียวตระกูล และ วชิรญา เหลียวตระกูล. 2563. ผลของวิธีการตัดแปรแบ่งด้วยกรดและพีเอชเจลาตินในเขชันต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งกระจุบ. JFTSU. 15(2): 82-95.
- AOAC. 2005. Official Method of Analysis, 18th ed. Association of Official Analytical Chemists, Maryland 20877-2417, USA.
- Azanza, F., B.P. Klein and J.A. Juvik. 1996. Sensory characterization of sweet corn lines differing in physical and chemical composition. *J. Food Sci.* 61: 253-257.
- Jian, M., Q.T. Jiang, X.W. Zhang, L. Wei, G.Y. Chen, P.F. Qi, Y.M. Wei, X.J. Lan, Z.X. Lu and Y.L. Zheng. 2014. Effect of lipids on starch determination through various methods. *Pak. J. Agri. Sci.* 51(3): 749-755.
- Ketthaisong, D., B. Suriham, R. Tangwongchai, J.L. Jane and K. Lertrat. 2015. Physicochemical and morphological properties of starch from fresh waxy corn kernels. *J. Food Sci. Technol.* 52(10): 6529-6537.
- Li, L., H. Jiang, M. Campbell, M. Blanco and J. Jane. 2008. Characterization of maize amylose-extender (ae) mutant starches. Part I: Relationship between resistant starch contents and molecular structures. *Carbo hydr. Polym.* 74: 396-404.
- Newport Scientific. 1997. Operation Manual for the Series 4 Rapid Visco Analyzer. Newport Scientific Pty, Ltd., Australia. 93 p.
- Prez, S. and E. Bertoft. 2010. The molecular structure of starch component and their contribution to the architecture of starch granules. *Starch/ Sttke* 62: 389-420.
- Pster, B. and S.C. Zeeman. 2016. Formation of starch in plant cells. *Cell. Mol. Life Sci.* 73(14): 2781-2807.
- Roos, Y., and M. Karel. 1991. Water and molecular weight effects on glass transitions in amorphous carbohydrates and carbohydrate solutions. *J. Food Sci.* 56(6): 1676-1681.
- Simla, S., K. Lertrat and B. Suriham. 2010. Carbohydrate characters of six vegetable waxy corn varieties as affected by harvest time and storage duration. *Asian J. Plant Sci.* 9(8): 1-8.
- Stevenson, D.G., J. Jane and G.E. Inglett. 2007. Structures and physicochemical properties of starch from immature seeds of soybean varieties (*Glycine max* (L.) Merr.) exhibiting normal, low-linolenic or low-saturated fatty acid oil profiles at maturity. *Carbohydr. Polym.* 70: 149-159.
- Subaric, D., D. Ackar, J. Babic, N. Sakac, and A. Jozinovic. 2014. Modification of wheat starch with succinic acid/acetic acid anhydride and azelaic acid/acetic mixture I. thermophysical and pasting properties. *J. Food Sci. Technol.* 51(10): 2616-2623.
- Tsakama, M., A.M. Mwangwela, T.A. Mamani and N.M. Mahungu. 2010. Physicochemical and pasting properties of starch extracted from eleven sweetpotato varieties. *Afr. J. Food Sci.* 1(4): 90-98.
- Yadav, D. and P.E. Patki. 2015. Effect to acetyl esterification on physicochemical properties of chick pea (*Cicer arietinum* L.) starch. *J. Food Sci. Technol.* 52(7): 4176-4185.
- Zady, M.F. 2000. Correlation and simple least squares regression. In: Basic statistics, Clinical Laboratory Science Program, University of Louisville, Louisville, Kentucky. Available at: <https://www.westgard.com/lesson42.htm>. Accessed: August 21, 2022.
- Zhang, X., L. Fu, Y. Tu, H. Zhao, L. Kuang and G. Zhang. 2020. The influence of nitrogen application level on eating quality of the two indica-japonica hybrid rice cultivars. *Plants*. 9(1663): 1-13.