

การประยุกต์ใช้เครื่องวัดความหนืดแบบยิ่งยวดในการประเมินสายพันธุ์ เพื่อสำหรับสร้างพันธุ์ข้าวโพดข้าวเหนียวลูกผสมเดี่ยว

Application of a rapid visco analyzer in inbred line evaluation for producing single cross waxy corn hybrid variety

ดนุพล เกษโรสง^{1,2*} และ กมล เลิศรัตน์^{1,2}

Danupol Ketthaisong^{1,2*} and Kamol Lertrat^{1,2}

บทคัดย่อ: การพัฒนาพันธุ์ข้าวโพดข้าวเหนียวให้มีคุณภาพการบริโภคสูงนั้น สิ่งสำคัญที่นักปรับปรุงพันธุ์พืชควรมีความรู้และความเข้าใจในพื้นฐานทางพันธุกรรมของลักษณะดังกล่าว ใช้สายพันธุ์แท้ จำนวน 6 สายพันธุ์ สร้างแผนการผสมแบบพบกันหมด (6x6 diallel cross) ได้ลูกผสม จำนวน 30 คู่ผสม เพื่อประเมินคุณสมบัติด้านความหนืดของสสารด้วยเครื่องวัดความหนืดแบบยิ่งยวด (Rapid Visco Analyzer) ปลูกประเมินตามแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block (RCD) จำนวน 3 ซ้ำ ณ แปลงทดลองหมวดพืชผัก คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ในระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคม 2555 จากการศึกษา พบว่า สายพันธุ์ KKU-JP และ KKU-UB มีความเหมาะสมเป็นสายพันธุ์พ่อแม่ และมีความสามารถในการรวมตัวทั่วไปในลักษณะความหนืดสูงด้วย จากการวิเคราะห์ความสามารถในการรวมตัวเฉพาะ พบว่า คู่ผสมที่มีศักยภาพในการใช้เป็นพันธุ์ลูกผสมที่มีคุณภาพการบริโภคสูง คือ 'KKU-JP x KKU-N7' 'KKU-BK x KKU-JD' และ 'KKU-JD x KKU-UB' ตามลำดับ

คำสำคัญ: สมรรถนะในการรวมตัว สสาร คุณภาพการบริโภค การปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพด

ABSTRACT: Improvement of waxy corn quality is among the most important aims in current breeding programs. To facilitate the development of new varieties with high eating quality, it is necessary to understand the genetic basis of such traits. A complete diallel cross study of six inbred lines of waxy corn (6x6 diallel cross) was carried out with 30 F₁ progenies, to determine the combining ability of starch pasting viscosity by a Rapid Visco Analyzer (RVA). The parental lines and their crosses were evaluated using Randomized Complete Block (RCB) with three replications during January to March, 2013 at the Vegetable Research Farm, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Thailand. Therefore, the parents KKU-JP and KKU-UB inbred lines are suitable for using as parental lines, and also have high positive GCA values for peak viscosity. For specific combining ability analysis, the crosses appear to be the best potential F1 hybrid varieties as 'KKU-JP x KKU-N7' 'KKU-BK x KKU-JD' and 'KKU-JD x KKU-UB', respectively.

Keywords: combining ability, starch, eating quality, corn improvement

¹ สาขาพืชสวน ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 40002
Division of Horticulture, Department of Plant Science and Agricultural Resources, Khon Kaen University 40002

² ศูนย์วิจัยปรับปรุงพันธุ์พืชเพื่อการเกษตรที่ยั่งยืน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 40002
Plant Breeding Research Center for Sustainable Agriculture, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University 40002

* Corresponding author: danuket@kku.ac.th

บทนำ

ข้าวโพดข้าวเหนียวมีการปลูกอย่างแพร่หลายในแถบทวีปเอเชียตะวันออกเฉียงใต้โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศไทย ผู้บริโภคส่วนใหญ่นิยมรับประทานในรูปแบบผักสดต้มสุกคล้ายกับข้าวโพดหวาน และมีการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น ผักสดแช่แข็ง และเมล็ดสุกแช่กระป๋อง เป็นต้น เกษตรกรในประเทศไทยนิยมปลูกข้าวโพดชนิดนี้หลังฤดูกาลทำนา เนื่องจากเป็นพืชที่ปลูกง่าย อายุการเก็บเกี่ยวเร็ว จึงเหมาะเป็นพืชทำรายได้เสริมให้กับเกษตรกรอีกทางหนึ่ง รวมทั้งข้าวโพดข้าวเหนียวยังมีรสชาติที่จำเพาะ คือ มีเนื้อสัมผัสที่เหนียวนุ่ม บางพันธุ์มีรสชาติหวานแทรกในเนื้อเมล็ด ข้าวโพดชนิดนี้จึงเป็นที่นิยมของผู้บริโภคเพิ่มมากขึ้น สตาร์ชเป็นองค์ประกอบหลักในเมล็ดมีหน่วยย่อยพื้นฐาน คือ อะไมโลสและอะไมโลเพคติน ในเมล็ดข้าวโพดข้าวเหนียวมีอะไมโลเพคตินประมาณ ร้อยละ 99 โดยปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชที่สำคัญ คือ ปริมาณอะไมโลส ปริมาณสตาร์ช อุณหภูมิที่เกิดเจลลาติไนซ์ และคุณสมบัติด้านความหนืด เป็นต้น ปัจจัยดังกล่าวสามารถใช้เป็นเครื่องมือในการประเมินคุณภาพการบริโภคของพืชหลายชนิด เช่น ข้าว ข้าวฟ่าง มันฝรั่ง และมันเทศ เป็นต้น (Bao and Xia, 1999; Kang et al., 2006; Lin et al., 2005) นอกจากการปรับปรุงพันธุ์เพื่อเพิ่มผลผลิตแล้วคุณภาพการบริโภคในข้าวโพดข้าวเหนียวถือเป็นหัวใจหลักของแผนการปรับปรุงพันธุ์ในปัจจุบัน เนื่องด้วยลักษณะดังกล่าวต้องอาศัยผู้มีความชำนาญในการคัดเลือก ประกอบกับต้องใช้ตัวอย่างเพื่อการชิมจำนวนมาก จึงทำให้การคัดเลือกพันธุ์ที่มีคุณภาพการบริโภคได้นั้นทำได้ยาก

เครื่องวัดความหนืดแบบอิงยวด (Rapid Visco Analyzer; RVA) เป็นเครื่องติดตามการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมความหนืดของตัวอย่างตลอดช่วงการให้ความร้อนและความเย็น รวมทั้งสามารถควบคุมอุณหภูมิในระหว่างการศึกษาได้ โดยแสดงผลในรูปแบบ

ของความหนืดที่เปลี่ยนไปเทียบกับเวลา มีการใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหารและการแปรรูปผลิตภัณฑ์ที่มีสตาร์ชเป็นองค์ประกอบ ซึ่งสามารถประเมินคุณภาพการบริโภคเบื้องต้นของอาหารได้ มีรายงานการใช้เครื่อง RVA ในการประเมินคุณภาพข้าวในระหว่างการค้าเลือกพันธุ์พบว่า สามารถลดขั้นตอนการชิมและการทดสอบกับผู้บริโภคในระหว่างการค้าปรับปรุงพันธุ์ได้ ทั้งนี้ยังใช้ตัวอย่างปริมาณน้อยและมีความแม่นยำสูง การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติด้านความหนืดของสตาร์ชถูกควบคุมด้วยยีนแบบผลบวก (Bao et al., 2006; Kang et al., 2006) รวมทั้งยีนที่ควบคุมการทำงานของเอนไซม์ Pullulanase ยังสัมพันธ์ต่อคุณสมบัติด้านความหนืดของสตาร์ช (Yan et al., 2011) ซึ่งความสำเร็จของการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดลูกผสมนั้นขึ้นกับการคัดเลือกสายพันธุ์พ่อแม่ที่เหมาะสม และการคัดเลือกสายพันธุ์พ่อแม่ที่ให้ลูกผสมที่ดีมาจากการประเมินสายพันธุ์ที่มีค่าสมรรถนะการรวมตัวทั่วไปสูงที่สุดในลักษณะนั้นๆ รวมทั้งมีค่าสมรรถนะของลูกผสมที่สูงด้วย (Griffing, 1965; Hallauer et al., 2010) ดังนั้น การทดลองในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินสายพันธุ์พ่อแม่ที่เหมาะสมสำหรับสร้างพันธุ์ข้าวโพดข้าวเหนียวลูกผสมเดี่ยวที่มีคุณภาพการบริโภคดีด้วยเครื่องวัดความหนืดแบบอิงยวด

วิธีการศึกษา

นำข้าวโพดข้าวเหนียวสายพันธุ์แท้ จำนวน 6 สายพันธุ์ ประกอบด้วย กลุ่มที่มีคุณภาพการบริโภคดี คือ มีเนื้อเมล็ดเหนียวนุ่มภายหลังการต้มสุก จำนวน 3 สายพันธุ์ ได้แก่ KKU-BK KKU-JP และ KKU-UB และกลุ่มที่มีคุณภาพการบริโภคไม่ดี คือ มีเนื้อเมล็ดแข็งและไม่เหนียวนุ่มภายหลังการต้มสุก จำนวน 3 สายพันธุ์ ได้แก่ KKU-JD KKU-G2 และ KKU-N7 สร้างคู่ผสมตามแผนการผสมแบบพบกันหมด (Diallel cross) ได้ลูกผสมเดี่ยวทั้งหมด 30 คู่ผสม ปลูกทดสอบร่วมกับพันธุ์การค้า จำนวน 2 พันธุ์ ในระหว่างเดือนมกราคมถึงมีนาคม 2555 ณ แปลงทดลองหมวดพืชผักคณะ

เกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น วางแผนการทดลองแบบ randomize complete block จำนวน 3 ซ้ำ ดูแลตามวิธีมาตรฐานจนกระทั่งต้นข้าวโพดถึงระยะผสมเกสร ควบคุมการผสมเกสรด้วยวิธีการผสมในกลุ่มประชากร (sib-pollination) เก็บเกี่ยวข้าวโพดในระยะฝักสดที่อายุ 20 วัน หลังผสมเกสร คัดเลือกฝักที่มีความสม่ำเสมอ จำนวน 5 ฝักต่อกลุ่มผสม คัดแยกเฉพาะเมล็ดรวมกัน จากนั้นสกัดสารจากตัวอย่างตามวิธีการของ Jiranuntakul et al. (2011) ประเมินคุณภาพการบริโภคจากการเปลี่ยนแปลงความหนืดด้วยเครื่องวิเคราะห์ความหนืดแบบยิ่งยวด (Rapid Visco Analyzer; RVA) (Newport Scientific Pty. Ltd., Warriewood, NSW, Australia) โดยใช้ความเข้มข้นของสตาร์ช 6 เปอร์เซ็นต์ วิเคราะห์ความแปรปรวนของ (analysis of variance) ของข้อมูลในลักษณะที่ศึกษาและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแต่ละลักษณะด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ประเมินสมรรถนะการรวมตัวทั่วไป (general combining ability; GCA) และสมรรถนะการรวมตัวเฉพาะ (specific combining ability; SCA) ด้วยวิธีวิเคราะห์ตาม method 1 model 1 (Griffing, 1956)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การวิเคราะห์ความแปรปรวน

การวิเคราะห์ความแปรปรวนของลักษณะการเปลี่ยนแปลงความหนืดของสตาร์ชข้าวโพดข้าวเหนียวพบว่า เกือบทุกลักษณะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นลักษณะการคืนตัวของสตาร์ช (setback viscosity) รวมทั้งผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมรรถนะการรวมตัวในลักษณะดังกล่าวพบว่า สมรรถนะการรวมตัวทั่วไปและสมรรถนะการรวมตัวเฉพาะทั้งในคุณสมบัติตรงและคุณสมบัติกลับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในเกือบทุกลักษณะที่ศึกษา (Table 1) นั่นคือ การเลือกสายพันธุ์ข้าวโพดข้าวเหนียวเพื่อใช้เป็นสายพันธุ์พ่อหรือแม่

ขึ้นอยู่กับลักษณะของกลุ่มผสมที่ต้องการ รวมทั้งลักษณะการเปลี่ยนแปลงความหนืดของสตาร์ชมีผลต่อคุณภาพการบริโภคของข้าวโพดด้วย (Hallauer et al., 2010; Ketthaisong et al., 2014) นอกจากนี้ อัตราส่วนระหว่างสมรรถนะการรวมตัวทั่วไป และสมรรถนะการรวมตัวเฉพาะของลักษณะค่าความหนืดสูงสุด มีค่ามากกว่า 1 แสดงให้เห็นว่า อิทธิพลของยีนแบบผลบวก (additive gene action) มีผลต่อการแสดงออกรวมทั้งสามารถถ่ายทอดไปยังรุ่นลูกได้ (Griffing, 1956) ค่าความหนืดสูงสุดจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดความหนืดแบบยิ่งยวดมีความสัมพันธ์กับลักษณะคุณภาพการบริโภคและเนื้อสัมผัสต่างๆ ของข้าวโพดข้าวเหนียว เช่น ความเหนียวนุ่มของเนื้อเมล็ด และการแข็งตัวของเมล็ดข้าลงภายหลังการต้มสุก เป็นต้น (Ketthaisong et al., 2014) การใช้เครื่องวัดความหนืดแบบยิ่งยวดในการประเมินคุณภาพการบริโภคร่วมกับการคัดเลือกพันธุ์ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการคัดเลือกพันธุ์ข้าวเหนียวได้ ซึ่งลักษณะความหนืดของสตาร์ชควบคุมด้วยยีนแบบผลบวก และสามารถถ่ายทอดไปยังรุ่นลูกได้ (Bao et al., 2004; Gravois and Webb, 1997)

สมรรถนะในการรวมตัวของลักษณะคุณภาพการบริโภค

พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความหนืดของสตาร์ชที่วัดได้จากเครื่องวัดความหนืดแบบยิ่งยวด (RVA) สามารถใช้อธิบายคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชในลักษณะต่างๆ คือ ความหนืดสูงสุด (peak viscosity) การแตกตัวของสตาร์ช (breakdown viscosity) ความหนืดสุดท้าย (final viscosity) การคืนตัวของสตาร์ช (setback viscosity) และอุณหภูมิที่เกิดการเจลลาติไนซ์ (pasting temperature) ซึ่งค่าเหล่านี้สามารถบ่งบอกคุณภาพของสตาร์ชของพืชแต่ละชนิดได้ ข้าวโพดข้าวเหนียวมีองค์ประกอบหลัก คือ อะไมโลแพคติน ประกอบกับมีเม็ดกรานูลสตาร์ชขนาดเล็กเมื่อวัดด้วยเครื่องมือดังกล่าว พบว่า ค่าความหนืดสูงสุดมีความสัมพันธ์กับปริมาณอะไมโลเพคติน รวมทั้งมีการคืนตัวของสตาร์ชในระดับต่ำเมื่อได้รับความเย็น (Jane

et al., 1999) ดังนั้น ค่าความหนืดสูงสุด จึงเป็นค่าที่มีความสำคัญยิ่งสำหรับใช้เป็นเกณฑ์ในการประเมินสายพันธุ์ข้าวโพดข้าวเหนียวในระหว่างการปรับปรุงพันธุ์ และมีสัมพันธ์กับคุณภาพการบริโภคด้วย (Ketthaisong et al., 2014) การประเมินสมรรถนะในการรวมตัวของสายพันธุ์ต่างๆ ในระหว่างการค้าเลือกพันธุ์สามารถลดระยะเวลาและเพิ่มโอกาสในการตัดสินใจคัดเลือกสายพันธุ์ให้กับนักปรับปรุงพันธุ์ได้ (Falconer and Mackay, 1996; Hallauer et al., 2010) สายพันธุ์ข้าวโพดข้าวเหนียวที่มีความสามารถในการรวมตัวทั่วไปสูงที่สุด คือ KKU-JP โดยมีค่าความหนืดสูงสุดคือ 164.3 RVU รองลงมา คือ สายพันธุ์ KKU-UB และ KKU-BK ตามลำดับ (Table 2) ทั้งนี้ค่าสมรรถนะในการรวมตัวทั่วไปสามารถบ่งบอกความสามารถของสายพันธุ์ในการเป็นพ่อแม่ที่ดี (Griffing, 1956) ในการสร้างสายพันธุ์ลูกผสมนั้น นอกจากพิจารณาค่าความสามารถในการรวมตัวแล้ว ต้องประเมินค่าสมรรถนะการรวมตัวเฉพาะร่วมด้วย เนื่องจากค่าดังกล่าว เป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถของแต่ละกลุ่มผสมในการให้ลูกผสมที่ดีหรือเลวกว่าค่าเฉลี่ยของสายพันธุ์พ่อแม่ค่าที่ได้เป็นการประเมินปฏิกริยาของยีนแบบไม่เป็นผลบวก (non-additive gene action) (Hallauer et al., 2010) กลุ่มผสมที่มีค่าความสามารถในการรวมตัวเฉพาะในด้านค่าความหนืดสูงสุด มีค่าสูงที่สุด คือ 'KKU-JP x KKU-N7' 'KKU-JD x KKU-N7' และ 'KKU-BK x KKU-JD' มีค่าเท่ากับ 8.6 8.0 และ 6.8 ตามลำดับ โดยมีความหนืดสูงสุด คือ 175.9 163. และ 166.2 RVU

ตามลำดับ (Table 2) สำหรับการสลับสายพันธุ์พ่อแม่มีผลต่อค่าความหนืดสูงสุดของแต่ละกลุ่มผสม จากการศึกษ พบว่า ค่าสมรรถนะการรวมตัวของกลุ่มผสมสลับสูงที่สุด คือ 'KKU-JP x 'KKU-JD' 'KKU-JP x KKU-UB' 'KKU-UB' x KKU-JD' มีค่าเท่ากับ 9.9 7.2 และ 6.5 ตามลำดับ โดยมีค่าความหนืดสูงสุด คือ 167.8 167.7 และ 169.2 RVU ตามลำดับ โดยทั้งกลุ่มผสมตรงและกลุ่มผสมสลับทั้ง 6 กลุ่มผสมข้างต้น มีค่าความหนืดสูงสุด สูงกว่าพันธุ์การค้าทั้ง 2 พันธุ์ คือ 'Commercial 1' และ 'Commercial 2' ซึ่งมีค่าเท่ากับ 140.2 และ 161.0 RVU ตามลำดับ

การคัดเลือกสายพันธุ์แท้ข้าวโพดข้าวเหนียวเพื่อสร้างพันธุ์ลูกผสมที่มีคุณภาพการบริโภคดี โดยพิจารณาจากค่าความหนืดสูงสุด ลูกผสมที่ดีควรมาจากสายพันธุ์พ่อแม่ที่มีค่าความสามารถในการรวมตัวทั่วไปสูง ประกอบกับสายพันธุ์เหล่านั้นให้ลูกผสมที่มีค่าความสามารถในการรวมตัวเฉพาะสูงด้วย ดังนั้นสายพันธุ์ที่มีความเหมาะสมในการสร้างพันธุ์ข้าวโพดข้าวเหนียวลูกผสมที่มีคุณภาพการบริโภคดี คือ KKU-JP และ KKU-UB นอกจากนี้ ควรมีการพิจารณาลักษณะผลผลิต องค์ประกอบผลผลิต และลักษณะทางการเกษตรอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องด้วย เนื่องจากการประเมินคุณภาพในการบริโภคเป็นเพียงหนึ่งปัจจัยของการคัดเลือกพันธุ์รวมทั้งควรมีการทดสอบปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กรรมและสภาพแวดล้อมในระหว่างการศึกษาเพื่อให้ได้พันธุ์ข้าวโพดข้าวเหนียวที่มีคุณภาพในการบริโภคต่อไป

Table 1 Mean squares of analysis of variance for pasting properties of starches in diallel cross of the parents and their F_1 progeny of waxy corn during January to March, 2012.

Source of variation	df	PV	BV	FV	SV	PT
Replications	2	0.73	1.10	0.96	0.51	0.18
Genotype	35	300.68**	467.54**	813.79**	46.69	4.90**
GCA	5	127.88**	126.87**	87.60**	11.75**	2.08
SCA	15	119.56**	196.62**	431.68**	13.27**	3.05*
Reciprocal	15	63.58**	117.51**	175.25**	18.00**	0.33
GCA/SCA		1.07	0.65	0.20	0.89	0.68
Error	70	0.67	0.88	1.86	0.56	0.19

*, ** Significant difference at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.

PV = peak viscosity, BV = breakdown viscosity, FV = final viscosity, SV = setback viscosity and PT = pasting temperature.

GCA = general combining ability, SCA = specific combining ability.

Table 2 Mean performance, general combining ability (GCA), specific combining ability (SCA) and reciprocal combining ability (RCA) of parental lines and their F_1 waxy corn hybrids for peak viscosity characteristic.

Line	1. K KU-BK	2. K KU-JP	3. K KU-UB	4. K KU-JD	5. K KU-G2	6. K KU-N7
1. K KU-BK	0.8 (145.5) ^{1/}	0.2** (162.4)	-4.7** (155.2)	6.8** (166.2)	3.9** (155.1)	6.7** (161.3)
2. K KU-JP	-0.8 (160.9)	3.9** (164.3)	-1.6** (153.4)	-4.3** (148.1)	-1.1** (161.0)	8.6** (175.9)
3. K KU-UB	-0.9 (153.5)	7.2** (167.7)	1.5 (161.0)	-2.9* (163.5)	0.4** (154.1)	-1.9** (162.7)
4. K KU-JD	-0.2 (165.8)	9.9** (167.8)	6.5** (169.2)	1.6 (136.6)	6.2** (156.1)	8.0** (163.7)
5. K KU-G2	2.7** (160.4)	-5.2** (150.5)	0.8 (155.6)	4.7** (165.5)	-3.8** (139.3)	0.4** (152.5)
6. K KU-N7	-0.9 (159.6)	-12.1** (151.7)	-10.2** (142.4)	-1.2 (161.4)	-3.0** (146.4)	-3.9** (128.9)
'Commercial 1'	140.2					
'Commercial 2'	161.0					
Grand mean	156.5					
LSD (0.05)	0.8					
CV (%)	0.6					

*, ** Significant difference at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.

^{1/} Rapid visco unit (RVU) measured from waxy corn starch by a Rapid Visco Analyzer (RVA).

สรุป

จากการประยุกต์ใช้เครื่องวัดความหนืดแบบยิงยวดในการประเมินสายพันธุ์ข้าวโพดข้าวเหนียวพบว่า สายพันธุ์ KKU-JP และ KKU-UB มีความเหมาะสมเป็นสายพันธุ์พ่อแม่ และมีค่าความสามารถในการรวมตัวทั่วไปในลักษณะความหนืดสูงสุดสูงด้วย จากการวิเคราะห์ความสามารถในการรวมตัวเฉพาะพบว่า คู่ผสมที่มีศักยภาพในการใช้เป็นพันธุ์ลูกผสมที่มีคุณภาพการบริโภคสูง คือ 'KKU-JP x KKU-N7' 'KKU-BK x KKU-JD' และ 'KKU-JD x KKU-UB' ตามลำดับ ดังนั้น เครื่องวัดความหนืดแบบยิงยวดสามารถใช้ในการคัดเลือกพันธุ์ข้าวโพดเหนียวได้

เอกสารอ้างอิง

- Bao, J. S., and Y. W. Xia. 1999. Genetic control of paste viscosity characteristics in indica rice (*Oryza sativa* L.). Theor. Appl. Genet. 98: 1120–1124.
- Bao, J., X. Kong, J. Xie, and L. Xu. 2004. Analysis of genotypic and environmental effectson rice starch 1. Apparent amylose content, pasting viscosity, and gel texture. J. Agric. Food Chem. 52:6010–6016.
- Falconer, S. D., and T. F. C. Mackay. 1996. Introduction to Quantitative Genetics, 4th Edition. Longman, England.
- Gravois, K. A. and B. D. Webb. 1997. Inheritance of long grain rice amylograph viscosity characteristics. Euphytica. 97:25–29.
- Griffing, B. 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. Aust. J. Biol. Sci. 9:463–493.
- Hallauer, R. A., M. J. Carena, and J. B. Miranda. 2010. Handbook of Plant Breeding. Quantitative Genetics in Maize Breeding. 1st Edition. Springer, New York, NY.
- Jane, J., Y. Y. Chen, L. F. Lee, A. E. McPherson, K. S. Wong, M. Radosavljevic, and T. Kasemsuwan. 1999. Effects of amylopectin branch chain length and amylose content on the gelatinization and pasting properties of starch. Cereal Chem. 76:629–637.
- Jiranuntakul, W., C. Puttanlek, V. Rungsardthong, S. Pancha-arnon, and D. Uttapap. 2011. Microstructural and physicochemical properties of heat-moisture treated waxy and normal starches. J. Food Eng. 104:246–258.
- Kang, H. J., I. K. Hwang, K. S. Kim, and H. C. Choi. 2006. Comparison of the physicochemical properties and ultrastructure of japonica and indica rice grains. J. Agric. Food Chem. 54: 4833–4838.
- Ketthaisong, D., B. Suriharn R. Tangwongchai, and K. Lertrat. 2014. Changes in physicochemical properties of waxy corn starches after harvest, and in textural properties of fresh cooked kernels during storage. Food Chem. 151:561-567.
- Ketthaisong, D., B. Suriharn, R. Tangwongchai, and K. Lertrat. 2014. Combining ability analysis in complete diallel cross of waxy corn (*Zea mays* var. *ceratina*) for starch pasting viscosity characteristics. Sci. Hortic. 175:229–235.
- Lin, J., C. Shi, M. Wu, and J. Wu. 2005. Analysis of genetic effects for cooking quality traits of *japonica* rice across environments. Plant Sci. 168: 1501–1506.
- Yan, C., Z. Tian, Y. Fang, Y. Yang, J. Li, S. Zeng, S. Gu, C. Xu, S. Tang and M. Gu. 2011. Genetic analysis of starch paste viscosity parameters in glutinous rice (*Oryza sativa* L.). Theor. Appl. Genet. 122: 63–76