ผลของพันธุ์ข้าวโพด ชั้นเปลือกข้าวโพดและวิธีการแยกเส้นใยต่อสมบัติทางเคมีและสมบัติทางเชิงกลของเส้นใยเปลือกข้าวโพด

THE EFFECTS OF CORN VARIETIES, LAYERS OF CORN HUSKS AND FIBER EXTRACTION METHODS ON CHEMICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF CORN HUSK FIBERS

วัลภา แต้มทอง สุธีลักษณ์ ไกรสุวรรณ ขจีจรัส ภิรมย์ธรรมศิริ*

Walapa Tamthong*, *Suteeluk Kraisuwan, Kajijarus Piromthamsiri*

ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Department of Home Economics, Faculty of Agriculture, Kasetsart University.

**Corresponding author, e-mail: agrwpt@ku.ac.th*

Received: *11 March 2020;* ***Revised:*** *9 July 2020;* ***Accepted:*** *31 July 2020*

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของพันธุ์ข้าวโพด ชั้นเปลือกข้าวโพดและวิธีการแยกเส้นใยต่อสมบัติทางเคมีและสมบัติทางเชิงกลของเส้นใยจากเปลือกข้าวโพด จัดสิ่งทดลองแบบ 3 × 2 × 6 แฟคทอเรียล ในแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ปัจจัยที่ 1 คือพันธุ์ข้าวโพด 3 พันธุ์ คือ พันธุ์อินทรี 2 พันธุ์ไฮ-บริกซ์ 3 และพันธุ์เอทีเอส 12 ปัจจัยที่ 2 คือชั้นเปลือกข้าวโพด 2 ชั้น คือ เปลือกชั้นนอกและเปลือกชั้นใน และปัจจัยที่ 3 คือวิธีการแยกเส้นใย 6 วิธี คือ วิธีที่ 1 ใช้สารละลาย NaOH ความเข้มข้น 2.5 กรัมต่อลิตร วิธีที่ 2 ใช้สารละลาย NaOH ความเข้มข้น 5.0 กรัมต่อลิตร วิธีที่ 3 ใช้สารละลาย NaOH ความเข้มข้น 2.5 กรัมต่อลิตร และสารละลายเอนไซม์ Cellulase 0.5% วิธีที่ 4 ใช้สารละลาย NaOH ความเข้มข้น 2.5 กรัมต่อลิตร และสารละลายเอนไซม์ Cellulase 1.0% วิธีที่ 5 ใช้สารละลาย NaOH ความเข้มข้น 5.0 กรัมต่อลิตร และสารละลายเอนไซม์ Cellulase 0.5% และวิธีที่ 6 ใช้สารละลาย NaOH ความเข้มข้น 5.0 กรัมต่อลิตร และสารละลายเอนไซม์ Cellulase 1.0% ผลการวิจัย พบว่า พันธุ์ข้าวโพด มีผลต่อความแข็งแรงของเส้นใย ($p \leq 0.01$) ชั้นเปลือกข้าวโพดและวิธีการแยกเส้นใย มีผลต่อการดูดความชื้น ความแข็งแรงและการยืดตัวของเส้นใย ($p \leq 0.01$) ปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์ข้าวโพดกับชั้นเปลือกข้าวโพด มีผลต่อการดูดความชื้น ความแข็งแรงและการยืดตัวของเส้นใย ($p \leq 0.01$) ปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์ข้าวโพดกับวิธีการแยกเส้นใย ปฏิสัมพันธ์ระหว่างชั้นเปลือกข้าวโพดกับวิธีการแยกเส้นใย มีผลต่อการดูดความชื้นและความแข็งแรงของเส้นใย ($p \leq 0.01$) และปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์ข้าวโพด ชั้นเปลือกข้าวโพดกับวิธีการแยกเส้นใย มีผลต่อความแข็งแรงของเส้นใย ($p \leq 0.01$)

คำสำคัญ: พันธุ์ข้าวโพด ชั้นเปลือกข้าวโพด วิธีการแยกเส้นใย สมบัติทางเคมีของเส้นใย สมบัติทางเชิงกลของเส้นใย

Abstract

The objective of this research was to study the effects of corn varieties, layers of corn husks, and fiber extraction methods on chemical and mechanical properties of corn husk fibers. A $3 \times 2 \times 6$ factorial experiment was established in a randomized complete block design with three replication. The factors were three corn varieties: Insee 2, Hi-brix-3, and ATS 12, two layers of corn husks: outer and inner corn husks and six fiber extraction methods: method 1 using 2.5 g/l NaOH solution, method 2 using 5.0 g/l NaOH solution, method 3 using 2.5 g/l NaOH and 0.5% Cellulase enzyme solution, method 4 using 2.5 g/l NaOH and 1.0% Cellulase enzyme solution, method 5 using 5.0 g/l NaOH and 0.5% Cellulase enzyme solution, and method 6 using 5.0 g/l NaOH and 1.0% Cellulase enzyme solution were utilized. The results showed that corn varieties significantly affected fiber strength ($p \leq 0.01$). The layers of corn husks and fiber extraction methods significantly affected moisture regain, fiber strength, and fiber elongation ($p \leq 0.01$). The interaction between the corn varieties and layers of corn husks significantly affected moisture regain, fiber strength, and fiber elongation ($p \leq 0.01$). The interaction between the corn varieties and fiber extraction methods, and the interaction between the layers of corn husks and fiber extraction methods significantly affected moisture regain, and fiber strength ($p \leq 0.01$). Moreover the interaction between corn varieties, layers of corn husks, and fiber extraction methods significantly affected fiber strength ($p \leq 0.01$).

Keywords: Corn Varieties, Layers of Corn Husks, Fiber Extraction Methods, Chemical Properties of Fibers, Mechanical Properties of Fibers

บทนำ

ข้าวโพดหวาน (Sweet Corn) ชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Zea Mays* L. Var. Saccharata วงศ์ Poaceae เป็นสินค้าเกษตรที่ประเทศไทยมีศักยภาพในการผลิตเพื่อจำหน่ายทั้งในประเทศและต่างประเทศ เนื่องจากมีสภาพพื้นที่และสภาพแวดล้อมเหมาะสม สามารถปลูกได้ตลอดปีและปลูกได้ดีทุกภาค [1] ในเดือนมกราคมถึงพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 ประเทศไทยมีปริมาณการส่งออกข้าวโพดหวานกระป๋องร้อยละ 9.35 ของปริมาณผักผลไม้กระป๋องและแปรรูปทั้งหมด คิดเป็นเงินจำนวน 544.83 ล้านบาท [2]

ข้าวโพดหวานเป็นที่นิยมของผู้บริโภคจำนวนมาก มีทั้งรับประทานแบบฝักสดและแบบแปรรูป ทำให้มีเปลือกข้าวโพดเหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก เป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่ปัจจุบันมีการนำไปใช้ประโยชน์หลายอย่าง เช่น ทำเชื้อเพลิงอัดแท่ง ปุ๋ยหมัก กระดาษและงานหัตถกรรมต่าง ๆ ในขณะที่มีความพยายามในการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำวัตถุดิบทางการเกษตรมาพัฒนาเป็นเส้นใยธรรมชาติ เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอและผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ได้แก่ การพัฒนาเส้นใยบัว เส้นใยกล้วยและเส้นใยข่า เป็นต้น เปลือกข้าวโพดหวานมีลักษณะเป็นแผ่นยาวรี ขนาดค่อนข้างใหญ่ ประกอบด้วยเส้นใยที่เกาะกลุ่มกัน มีส่วนที่เป็นเส้นหนาเรียงห่างกัน (long thick stands) และคั่นด้วยส่วนที่เป็นแผ่นบาง (weak fibrous parts) [3] ซึ่งจะแตกต่างกันตามพันธุกรรมของข้าวโพดหวานแต่ละพันธุ์ และการเจริญเติบโตของเปลือกข้าวโพดที่อยู่ชั้นในและชั้นนอก โดยเปลือกข้าวโพดชั้นนอกจะมีผนังเซลล์หนากว่าเปลือกชั้นใน ส่วนของเส้นหนาสามารถแยกเป็นเส้นใยกลุ่มเล็ก ๆ และเส้นใยเดี่ยวได้ จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำเปลือกข้าวโพดมาผลิตเป็นเส้นใยธรรมชาติ

การแยกเส้นใยธรรมชาติจากพืชทำได้หลายวิธี แต่ละวิธีมีผลต่อสมบัติของเส้นใยแตกต่างกัน การเลือกใช้วิธีการแยกเส้นใยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของวัตถุดิบและสมบัติของเส้นใยที่ต้องการ การแยกเส้นใยจากใบพืชนิยม

ใช้วิธีการหมักในน้ำ การใช้สารเคมี และการใช้เอนไซม์ การแยกเส้นใยด้วยการหมักในน้ำเป็นการกำจัดเพกทินออกจากผนังเซลล์ มักทำร่วมกับกระบวนการทางเชิงกล เช่น การขัดเส้นใย การทุบเส้นใย เพื่อแยกเนื้อเยื่อพืชที่เปื่อยยุ่ยออกจากเส้นใย เป็นวิธีที่ทำได้ง่ายแต่ใช้เวลานาน เส้นใยที่ได้จะมีลักษณะหยาบ [4-5] การแยกเส้นใยด้วยสารเคมี เช่น การใช้สารละลายด่าง ต้องเลือกใช้ระดับความเข้มข้นและอุณหภูมิในการแยกเส้นใยให้เหมาะสม เส้นใยที่ได้จะละเอียดกว่าการหมักในน้ำ แต่จะมีลักษณะแข็ง กระด้างและเปราะ [6-7] การแยกเส้นใยด้วยการใช้เอนไซม์ เป็นวิธีการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เพราะเอนไซม์สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ในน้ำทิ้ง [8] แต่ต้องใช้วิธีแยกเส้นใยแบบอื่นร่วมด้วย เอนไซม์ที่ใช้มีหลายกลุ่ม เช่น เซลลูเลส เพกทิเนส เฮมิเซลลูเลส ขึ้นอยู่กับลักษณะและสมบัติของเส้นใยที่ต้องการ และต้องควบคุมสภาวะให้เหมาะสมสำหรับการทำงานของเอนไซม์อย่างมีประสิทธิภาพ จึงจะทำให้ได้เส้นใยที่มีคุณภาพดี [3, 9-10]

ดังนั้น การศึกษาสมบัติทางเคมีและสมบัติทางเชิงกลของเส้นใยจากเปลือกข้าวโพด โดยศึกษาพันธุ์ข้าวโพด ชั้นเปลือกข้าวโพด และวิธีการแยกเส้นใยเปลือกข้าวโพด จะทำให้ได้แนวทางการพัฒนาเส้นใยเปลือกข้าวโพดที่มีคุณภาพดีและเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ประโยชน์ด้านสิ่งทอ และเป็นทางเลือกการผลิตเส้นใยธรรมชาติให้หลากหลายขึ้น อีกทั้งเป็นการเพิ่มมูลค่าให้แก่วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร และช่วยลดปริมาณขยะที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วย นอกจากนี้ผลการวิจัยจะเป็นข้อมูลในการพัฒนาเส้นใยธรรมชาติอื่น ๆ เพื่อใช้ประโยชน์ด้านสิ่งทอต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาผลของพันธุ์ข้าวโพด ชั้นเปลือกข้าวโพดและวิธีการแยกเส้นใย ต่อสมบัติทางเคมีด้านการดูดความชื้น และสมบัติทางเชิงกลด้านความแข็งแรงและการยืดตัวของเส้นใยเปลือกข้าวโพด

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้จัดสิ่งทดลองแบบ 3 × 2 × 6 แฟคทอเรียล ในแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (3 × 2 × 6 Factorial Experiment in Randomized Complete Block Design) รวมทั้งสิ้น 36 สิ่งทดลอง ทำการทดลอง 3 ซ้ำ โดยปัจจัยที่ 1 คือเปลือกของฝักข้าวโพดหวาน 3 พันธุ์ คือ พันธุ์อินทรี 2 พันธุ์ไฮ-บริกซ์ 3 และพันธุ์เอทีเอส 12 ปัจจัยที่ 2 คือชั้นเปลือกข้าวโพดแบ่งเป็น 2 ชั้น คือ เปลือกชั้นนอกและเปลือกชั้นใน และปัจจัยที่ 3 คือวิธีการแยกเส้นใย 6 วิธี คือ วิธีที่ 1 ใช้สารละลายด่างความเข้มข้น 2.5 กรัมต่อลิตร วิธีที่ 2 ใช้สารละลายด่างความเข้มข้น 5.0 กรัมต่อลิตร วิธีที่ 3 ใช้สารละลายด่างความเข้มข้น 2.5 กรัมต่อลิตร และสารละลายเอนไซม์ 0.5% วิธีที่ 4 ใช้สารละลายด่างความเข้มข้น 2.5 กรัมต่อลิตร และสารละลายเอนไซม์ 1.0% วิธีที่ 5 ใช้สารละลายด่างความเข้มข้น 5.0 กรัมต่อลิตร และสารละลายเอนไซม์ 0.5% และวิธีที่ 6 ใช้สารละลายด่างความเข้มข้น 5.0 กรัมต่อลิตร และสารละลายเอนไซม์ 1.0%

วัสดุและอุปกรณ์

1. เปลือกของฝักข้าวโพดหวานจำนวน 3 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์อินทรี 2 จากศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา พันธุ์ไฮ-บริกซ์ 3 และพันธุ์เอทีเอส 12 จากตลาดสี่มุมเมือง อำเภอลำลูกกา จังหวัดปทุมธานี โดยคัดเลือกจากข้าวโพดหวานฝักสดที่มีน้ำหนักทั้งฝักประมาณ 300 ถึง 400 กรัม

2. สารเคมีที่ใช้ คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide; *NaOH*) ชนิดเม็ด น้ำหนักเม็ดละ 0.1 กรัม ผลิตโดย Ajax Finechem Pty Limited ประเทศออสเตรเลีย เอนไซม์เซลลูเลส (Cellulase) ค่ากิจกรรม (Activity) ของเอนไซม์ประมาณ 31,000 หน่วยต่อกรัม ผลิตโดย Tokyo Chemical Industry Limited ประเทศญี่ปุ่น และกรดแอซิติก (Acetic Acid) ความเข้มข้น 100% ผลิตโดย Merck KGaA ประเทศเยอรมนี

3. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ คือ เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล METTLER TOLEDO รุ่น PL 403 น้ำหนักสูงสุด 140 กรัม ความละเอียด 0.001 กรัม เครื่องอบลมร้อน BINDER รุ่น FD 260 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ Memmert รุ่น WNE 29 และเครื่องทดสอบแรงดึงชนิดอัตราการยืดตัวคงที่ (constant-rate-of-extension type tensile testing machine) INSTRON รุ่น 5569 อุปกรณ์วัดแรง (load cell) ขนาด 10 นิวตัน

วิธีการ

1. การเตรียมเปลือกข้าวโพด ทำโดยแยกเปลือกข้าวโพด 2 ชั้นในสุดและ 2 ชั้นนอกสุดออก แบ่งเปลือกข้าวโพดที่เหลือออกเป็น 2 กลุ่มเท่า ๆ กัน กลุ่มที่อยู่ด้านในจัดเป็นเปลือกชั้นใน และกลุ่มที่อยู่ด้านนอกจัดเป็นเปลือกชั้นนอก นำเปลือกข้าวโพดตากแห้งในสภาพแวดล้อมปกติเป็นเวลา 72 ชั่วโมง และอบแห้งด้วยเครื่องอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 $\pm$ 2°C ระยะเวลา 90 นาที แล้วผึ่งในโถดูดความชื้น และชั่งน้ำหนัก ทำซ้ำขั้นตอนการอบแห้งและการผึ่งในโถดูดความชื้น จนกระทั่งน้ำหนักของเปลือกข้าวโพดคงที่ ตัดส่วนล่าง (ส่วนที่ติดกับก้านฝัก) และส่วนบนของเปลือกข้าวโพดแต่ละใบออกข้างละ 1 นิ้ว

2. การแยกส่วนที่เป็นเส้นหนาของเปลือกข้าวโพด (ที่ได้จากข้อ 1) ทำโดยแช่เปลือกข้าวโพดในน้ำที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้อัตราส่วนเปลือกข้าวโพดต่อน้ำเท่ากับ 1 : 50 แช่เป็นเวลา 30 วัน นำเปลือกข้าวโพดขึ้นจากน้ำ ใช้มือสางแผ่นบางที่เปื่อยยุ่ยออก เพื่อเอาเฉพาะส่วนที่เป็นเส้นหนามาใช้ในการทดลองต่อไป แล้วล้างกลุ่มเส้นหนาด้วยน้ำประปาและตากแห้งในสภาพแวดล้อมปกติเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นอบแห้งด้วยเครื่องอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 $\pm$ 2°C ระยะเวลา 90 นาที แล้วผึ่งในโถดูดความชื้นและชั่งน้ำหนัก ทำซ้ำขั้นตอนการอบแห้งและการผึ่งในโถดูดความชื้น จนกระทั่งน้ำหนักของกลุ่มเส้นหนาคงที่

3. การแยกเส้นใยเปลือกข้าวโพดจากส่วนที่เป็นเส้นหนา (ที่ได้จากข้อ 2)

3.1 การแยกเส้นใยโดยการใช้สารละลายด่าง (วิธีที่ 1 - 2) เตรียมสารละลายด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2.5 กรัมต่อลิตร และ 5.0 กรัมต่อลิตร และใช้อัตราส่วนกลุ่มเส้นหนาของเปลือกข้าวโพดต่อสารละลายเท่ากับ 1 : 100 ต้มกลุ่มเส้นหนาของเปลือกข้าวโพดในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่อุณหภูมิ 100°C ระยะเวลา 60 นาที กรองแยกเส้นใยออกจากสารละลาย แล้วล้างเส้นใยด้วยน้ำประปา จนน้ำใสไม่มีสี และมีค่า pH 6 - 7 นำเส้นใยตากแห้งและอบแห้งตามขั้นตอนในข้อ 2

3.2 การแยกเส้นใยโดยการใช้สารละลายด่างและสารละลายเอนไซม์ (วิธีที่ 3 - 6) เตรียมสารละลายด่าง ต้มกลุ่มเส้นหนาของเปลือกข้าวโพด ทำความสะอาดเส้นใย ตากแห้งและอบแห้งเส้นใยตามขั้นตอนในข้อ 3.1 เตรียมสารละลายเอนไซม์โดยใช้ปริมาณเอนไซม์เซลลูเลส 0.5% และ 1.0% ของน้ำหนักเส้นใยแห้งที่ได้จากการแยกเบื้องต้นด้วยสารละลายด่าง และใช้อัตราส่วนเส้นใยเปลือกข้าวโพดต่อสารละลายเท่ากับ 1 : 30 จากนั้นแช่เส้นใยในสารละลายเอนไซม์ที่อุณหภูมิ 55°C เวลา 60 นาที กรองแยกเส้นใยออกจากสารละลาย แล้วล้างเส้นใยด้วยน้ำประปา จนน้ำใส ไม่มีสีและมีค่า pH 6 - 7 นำเส้นใยตากและอบแห้งตามขั้นตอนในข้อ 2

4. การทดสอบเส้นใย ทดสอบการดูดความชื้นของเส้นใยตามมาตรฐาน ASTM designation: D 629-99 standard test methods for quantitative analysis of textiles: moisture content or moisture regain ทดสอบความแข็งแรงและการยืดตัวของเส้นใยตามมาตรฐาน ASTM designation: D 3822/ D3822M-14 standard test method for tensile properties of single textile fibers

5. การวิเคราะห์ข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูลการดูดความชื้น ความแข็งแรงและการยืดตัวของเส้นใย โดยใช้ค่าเฉลี่ย ($\overline{\mathbf{X}}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยแบบจำแนกสามทาง (Three - Way ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยเป็นรายคู่โดยใช้ Bonferroni

ผลการวิจัย

ผลของพันธุ์ข้าวโพด ชั้นเปลือกข้าวโพดและวิธีการแยกเส้นใยต่อการดูดความชื้นของเส้นใย

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยการดูดความชื้นของเส้นใยเปลือกข้าวโพดที่ได้จากพันธุ์ข้าวโพด ชั้นเปลือกข้าวโพดและวิธีการแยกเส้นใยที่แตกต่างกัน

ปัจจัยการทดลอง			การดูดความชื้น (ร้อยละ)	
พันธุ์ข้าวโพด	ชั้นเปลือกข้าวโพด	วิธีการแยกเส้นใย	$\bar{X}$	S.D.
พันธุ์อินทรี 2	เปลือกชั้นนอก	วิธีที่ 1	8.77[a]	0.12
		วิธีที่ 2	8.36[ac]	0.22
		วิธีที่ 3	8.33[ad]	0.09
		วิธีที่ 4	7.50[bd]	0.30
		วิธีที่ 5	7.40[b]	0.16
		วิธีที่ 6	7.82[bcd]	0.33
	เปลือกชั้นใน	วิธีที่ 1	9.12[a]	0.05
		วิธีที่ 2	8.99[a]	0.42
		วิธีที่ 3	7.43[b]	0.43
		วิธีที่ 4	7.28[b]	0.48
		วิธีที่ 5	8.08[b]	0.14
		วิธีที่ 6	7.83[b]	0.51
พันธุ์ไฮ-บริกซ์ 3	เปลือกชั้นนอก	วิธีที่ 1	9.25[a]	0.12
		วิธีที่ 2	8.48[ac]	0.14
		วิธีที่ 3	7.58[b]	0.43
		วิธีที่ 4	7.95[bc]	0.44
		วิธีที่ 5	7.41[b]	0.59
		วิธีที่ 6	8.58[ac]	0.36
	เปลือกชั้นใน	วิธีที่ 1	8.30[a]	0.13
		วิธีที่ 2	8.28[a]	0.05
		วิธีที่ 3	6.72[b]	0.64
		วิธีที่ 4	6.75[b]	0.39
		วิธีที่ 5	8.08[a]	0.08
		วิธีที่ 6	7.53[ab]	0.41
พันธุ์เอทีเอส 12	เปลือกชั้นนอก[ns]	วิธีที่ 1	8.59	0.55
		วิธีที่ 2	8.16	0.00
		วิธีที่ 3	8.24	0.62
		วิธีที่ 4	8.36	0.10
		วิธีที่ 5	8.28	0.20
		วิธีที่ 6	8.57	0.14
	เปลือกชั้นใน	วิธีที่ 1	8.33[a]	0.00
		วิธีที่ 2	8.30[a]	0.13
		วิธีที่ 3	7.12[b]	0.11

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ปัจจัยการทดลอง			การดูดความชื้น (ร้อยละ)	
พันธุ์ข้าวโพด	**ชั้นเปลือกข้าวโพด**	**วิธีการแยกเส้นใย**	$\bar{X}$	**S.D.**
		วิธีที่ 4	7.09^{b}	0.62
		วิธีที่ 5	7.90^{ab}	0.39
		วิธีที่ 6	7.61^{ab}	0.42

หมายเหตุ: ตัวอักษรแต่ละการทดลองที่แตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
^{ns} ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากตารางที่ 1 พบว่า ค่าเฉลี่ยการดูดความชื้นของเส้นใยเปลือกข้าวโพดอยู่ระหว่างร้อยละ 6.72 ถึง 9.25 โดยเส้นใยจากเปลือกข้าวโพดพันธุ์ไฮ-บริกซ์ 3 ชั้นนอก ที่แยกด้วยวิธีที่ 1 มีค่าเฉลี่ยการดูดความชื้นมากที่สุด และเส้นใยจากเปลือกข้าวโพดพันธุ์ไฮ-บริกซ์ 3 ชั้นใน ที่แยกด้วยวิธีที่ 3 มีค่าเฉลี่ยการดูดความชื้นน้อยที่สุด

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ยการดูดความชื้นของเส้นใยเปลือกข้าวโพด

แหล่งความแปรปรวน	df	SS	MS	p
บล็อก	2	0.19	0.10	.457
พันธุ์ข้าวโพด	2	0.57	0.29	.101
ชั้นเปลือกข้าวโพด	1	3.98	3.98	.000
วิธีการแยกเส้นใย	5	21.18	4.24	.000
พันธุ์ข้าวโพด × ชั้นเปลือกข้าวโพด	2	3.05	1.52	.000
พันธุ์ข้าวโพด × วิธีการแยกเส้นใย	10	3.74	0.37	.003
ชั้นเปลือกข้าวโพด × วิธีการแยกเส้นใย	5	6.86	1.37	.000
พันธุ์ข้าวโพด × ชั้นเปลือกข้าวโพด × วิธีการแยกเส้นใย	10	1.99	0.20	.109
ความคลาดเคลื่อน	70	8.44	0.12	
รวม	107	49.99		

ตารางที่ 2 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ยการดูดความชื้นของเส้นใยเปลือกข้าวโพด พบว่า ชั้นเปลือกข้าวโพด มีผลต่อการดูดความชื้นของเส้นใย อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.01$) โดยเส้นใยจากเปลือกชั้นนอกดูดความชื้นมากกว่าเส้นใยจากเปลือกชั้นใน (ค่าเฉลี่ยร้อยละ 8.20 และ 7.82 ตามลำดับ)

วิธีการแยกเส้นใย มีผลต่อการดูดความชื้นของเส้นใย อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.01$) เส้นใยที่แยกด้วยวิธีที่ 1 2 3 4 5 และ 6 ดูดความชื้นร้อยละ 8.37 8.43 7.57 7.49 7.86 และ 7.99 ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ Bonferroni พบว่า เส้นใยที่แยกด้วยวิธีที่ 1 และ 2 ดูดความชื้นมากกว่าเส้นใยที่แยกด้วยวิธีอื่นทุกวิธี ($p \leq 0.01$) เส้นใยที่แยกด้วยวิธีที่ 3 ดูดความชื้นน้อยกว่าเส้นใยที่แยกด้วยวิธีที่ 6 ($p \leq 0.01$) และเส้นใยที่แยกด้วยวิธีที่ 4 ดูดความชื้นน้อยกว่าเส้นใยที่แยกด้วยวิธีที่ 5 และ 6 ($p \leq 0.05$ และ 0.01 ตามลำดับ)

ปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์ข้าวโพดกับชั้นเปลือกข้าวโพด มีผลต่อการดูดความชื้นของเส้นใย อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.01$) ดังนี้ 1) เส้นใยจากเปลือกข้าวโพดพันธุ์อินทรี 2 ชั้นนอกและชั้นใน ดูดความชื้นร้อยละ 8.03 และ 8.12 ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ Bonferroni พบว่า เส้นใยจากเปลือกชั้นนอกและชั้นในดูดความชื้นไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) 2) เส้นใยจากเปลือกข้าวโพดพันธุ์ไฮ-บริกซ์ 3 ชั้นนอกและชั้นใน ดูดความชื้นร้อยละ 8.21 และ 7.61 ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์ Bonferroni พบว่า เส้นใยจากเปลือกชั้นนอกดูดความชื้นมากกว่าเส้นใยจากเปลือกชั้นใน ($p \leq 0.01$) และ 3) เส้นใยจากเปลือกข้าวโพดพันธุ์เอทีเอส 12 ชั้นนอกและชั้นใน ดูดความชื้นร้อยละ 8.37 และ 7.73 ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ Bonferroni พบว่า เส้นใยจากเปลือกชั้นนอกดูดความชื้นมากกว่าเส้นใยจากเปลือกชั้นใน ($p \leq 0.01$) ทั้งนี้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยเปลือกข้าวโพด พบว่า เส้นใยจากเปลือกข้าวโพดพันธุ์ไฮ-บริกซ์ 3 และพันธุ์เอทีเอส 12 ชั้นนอก มีปริมาณเฮมิเซลลูโลสมากกว่าเส้นใยจากเปลือกชั้นใน (เส้นใยจากเปลือกข้าวโพดพันธุ์ไฮ-บริกซ์ 3 ชั้นนอกและชั้นใน มีปริมาณเฮมิเซลลูโลสร้อยละ 22.73 และ 18.92 ตามลำดับ และเส้นใยจากเปลือกข้าวโพดพันธุ์เอทีเอส 12 ชั้นนอกและชั้นใน มีปริมาณเฮมิเซลลูโลสร้อยละ 19.75 และ 17.98 ตามลำดับ) จึงส่งผลให้ดูดความชื้นได้ดีกว่า

ปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์ข้าวโพดกับวิธีการแยกเส้นใย มีผลต่อการดูดความชื้นของเส้นใย อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.01$) ดังนี้ 1) เส้นใยจากเปลือกข้าวโพดพันธุ์อินทรี 2 ที่แยกด้วยวิธีที่ 1 2 3 4 5 และ 6 ดูดความชื้นร้อยละ 8.95 8.68 7.88 7.39 7.74 และ 7.82 ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ Bonferroni พบว่า เส้นใยที่แยกด้วยวิธีที่ 1 และ 2 ดูดความชื้นมากกว่าเส้นใยที่แยกด้วยวิธีอื่นทุกวิธี ($p \leq 0.01$) 2) เส้นใยจากเปลือกข้าวโพดพันธุ์ไฮ-บริกซ์ 3 ที่แยกด้วยวิธีที่ 1 2 3 4 5 และ 6 ดูดความชื้นร้อยละ 8.78 8.38 7.15 7.35 7.74 และ 8.06 ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ Bonferroni พบว่า เส้นใยที่แยกด้วยวิธีที่ 1 ดูดความชื้นมากกว่าที่แยกด้วยวิธีที่ 3 4 5 และ 6 ($p \leq 0.01$) เส้นใยที่แยกด้วยวิธีที่ 2 ดูดความชื้นมากกว่าเส้นใยที่แยกด้วยวิธีที่ 3 4 และ 5 ($p \leq 0.01$ 0.01 และ 0.05 ตามลำดับ) และเส้นใยที่แยกด้วยวิธีที่ 3 และ 4 ดูดความชื้นน้อยกว่าเส้นใยที่แยกด้วยวิธีที่ 6 ($p \leq 0.01$ และ 0.05 ตามลำดับ) และ 3) เส้นใยจากเปลือกข้าวโพดพันธุ์เอทีเอส 12 ที่แยกด้วยวิธีที่ 1 2 3 4 5 และ 6 มีการดูดความชื้นร้อยละ 8.46 8.23 7.68 7.73 8.09 และ 8.09 ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ Bonferroni พบว่า เส้นใยที่แยกด้วยวิธีที่ 1 ดูดความชื้นมากกว่าเส้นใยที่แยกด้วยวิธีที่ 3 และ 4 ($p \leq 0.01$)

ปฏิสัมพันธ์ระหว่างชั้นเปลือกข้าวโพดกับวิธีการแยกเส้นใย มีผลต่อการดูดความชื้นของเส้นใยอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.01$) ดังนี้ 1) เส้นใยจากเปลือกชั้นนอกที่แยกด้วยวิธีที่ 1 2 3 4 5 และ 6 ดูดความชื้นร้อยละ 8.87 8.33 80.05 7.94 7.69 และ 8.32 ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ Bonferroni พบว่า เส้นใยที่แยกด้วยวิธีที่ 1 ดูดความชื้นมากกว่าเส้นใยที่แยกด้วยวิธีที่ 2 3 4 5 และ 6 ($p \leq 0.05$ 0.01 0.01 0.01 และ 0.05 ตามลำดับ) เส้นใยที่แยกด้วยวิธีที่ 2 ดูดความชื้นมากกว่าเส้นใยที่แยกด้วยวิธีที่ 5 ($p \leq 0.01$) และเส้นใยที่แยกด้วยวิธีที่ 5 ดูดความชื้นน้อยกว่าเส้นใยที่แยกด้วยวิธีที่ 6 ($p \leq 0.01$) และ 2) เส้นใยจากเปลือกชั้นในที่แยกด้วยวิธีที่ 1 2 3 4 5 และ 6 ดูดความชื้นร้อยละ 8.58 8.52 7.09 7.04 8.02 และ 7.65 ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ Bonferroni พบว่า เส้นใยที่แยกด้วยวิธีที่ 1 และ 2 ดูดความชื้นมากกว่าเส้นใยที่แยกด้วยวิธีที่ 3 4 5 และ 6 ($p \leq 0.01$ 0.01 0.05 และ 0.01 ตามลำดับ) เส้นใยที่แยกด้วยวิธีที่ 3 ดูดความชื้นน้อยกว่าเส้นใยที่แยกด้วยวิธีที่ 5 และ 6 ($p \leq 0.01$ และ 0.05 ตามลำดับ) และเส้นใยที่แยกด้วยวิธีที่ 4 ดูดความชื้นน้อยกว่าเส้นใยที่แยกด้วยวิธีที่ 5 และ 6 ($p \leq 0.01$)

ผลของพันธุ์ข้าวโพด ชั้นเปลือกข้าวโพดและวิธีการแยกเส้นใยต่อความแข็งแรงของเส้นใย

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของเส้นใยเปลือกข้าวโพดที่ได้จากพันธุ์ข้าวโพด ชั้นเปลือกข้าวโพดและวิธีการแยกเส้นใยที่แตกต่างกัน

ปัจจัยการทดลอง			ความแข็งแรง (เซนตินิวตันต่อเท็กซ์)	
พันธุ์ข้าวโพด	ชั้นเปลือกข้าวโพด	วิธีการแยกเส้นใย	$\bar{X}$	S.D.
พันธุ์อินทรี 2	เปลือกชั้นนอก	วิธีที่ 1	9.21^{ad}	1.12
		วิธีที่ 2	7.86^{ab}	0.31
		วิธีที่ 3	10.91^{c}	1.17

ตารางที่ 3 (ต่อ)

ปัจจัยการทดลอง			ความแข็งแรง (เซนตินิวตันต่อเท็กซ์)	
พันธุ์ข้าวโพด	**ชั้นเปลือกข้าวโพด**	**วิธีการแยกเส้นใย**	$\bar{X}$	**S.D.**
		วิธีที่ 4	9.31^{d}	1.42
		วิธีที่ 5	7.32^{b}	0.50
		วิธีที่ 6	8.32^{abd}	1.19
	เปลือกชั้นใน	วิธีที่ 1	6.16^{a}	0.20
		วิธีที่ 2	5.35^{ab}	0.04
		วิธีที่ 3	5.04^{ab}	0.78
		วิธีที่ 4	3.52^{c}	0.52
		วิธีที่ 5	4.28^{bc}	0.08
		วิธีที่ 6	4.26^{bc}	0.58
พันธุ์ไฮ-บริกซ์ 3	เปลือกชั้นนอก	วิธีที่ 1	9.36^{ab}	0.43
		วิธีที่ 2	8.35^{a}	0.41
		วิธีที่ 3	9.55^{ab}	1.06
		วิธีที่ 4	9.59^{ab}	0.63
		วิธีที่ 5	10.04^{b}	0.65
		วิธีที่ 6	9.00^{ab}	0.70
	เปลือกชั้นใน	วิธีที่ 1	7.62^{a}	0.34
		วิธีที่ 2	8.91^{a}	0.41
		วิธีที่ 3	7.79^{a}	0.21
		วิธีที่ 4	8.01^{a}	1.32
		วิธีที่ 5	5.33^{b}	0.42
		วิธีที่ 6	4.48^{b}	0.15
พันธุ์เอทีเอส 12	เปลือกชั้นนอก	วิธีที่ 1	8.60^{abc}	1.39
		วิธีที่ 2	8.61^{abc}	0.76
		วิธีที่ 3	7.55^{a}	1.63
		วิธีที่ 4	7.75^{c}	1.31
		วิธีที่ 5	8.28^{abc}	1.65
		วิธีที่ 6	9.16^{b}	10.01
	เปลือกชั้นใน	วิธีที่ 1	6.91^{ab}	1.03
		วิธีที่ 2	7.45^{a}	0.15
		วิธีที่ 3	7.07^{ab}	0.42
		วิธีที่ 4	6.51^{ab}	0.34
		วิธีที่ 5	6.19^{ab}	0.87
		วิธีที่ 6	5.92^{b}	0.25

หมายเหตุ: ตัวอักษรแต่ละการทดลองที่แตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 3 พบว่า ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของเส้นใยเปลือกข้าวโพดอยู่ระหว่าง 3.52 ถึง 10.91 เซนตินิวตันต่อเท็กซ์ โดยเส้นใยจากเปลือกข้าวโพดพันธุ์อินทรี 2 ชั้นนอก ที่แยกด้วยวิธีที่ 3 มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงมากที่สุด และเส้นใยจากเปลือกข้าวโพดพันธุ์อินทรี 2 ชั้นใน ที่แยกด้วยวิธีที่ 4 มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงน้อยที่สุด

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ยปริมาณเซลลูโลสของเส้นใยเปลือกข้าวโพด

แหล่งความแปรปรวน	df	SS	MS	p
บล็อก	2	0.26	0.13	.612
พันธุ์ข้าวโพด	2	61.95	30.98	.000
ชั้นเปลือกข้าวโพด	1	315.32	315.32	.000
วิธีการแยกเส้นใย	5	464.98	93.00	.000
พันธุ์ข้าวโพด × ชั้นเปลือกข้าวโพด	2	1.92	0.96	.030
พันธุ์ข้าวโพด × วิธีการแยกเส้นใย	10	73.85	7.38	.000
ชั้นเปลือกข้าวโพด × วิธีการแยกเส้นใย	5	40.69	8.14	.000
พันธุ์ข้าวโพด × ชั้นเปลือกข้าวโพด × วิธีการแยกเส้นใย	10	96.36	9.64	.000
ความคลาดเคลื่อน	70	18.15	0.26	
รวม	107	1073.47		

ตารางที่ 4 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของเส้นใยเปลือกข้าวโพด พบว่า พันธุ์ข้าวโพด มีผลต่อความแข็งแรงของเส้นใย อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.01$) เส้นใยจากเปลือกข้าวโพดพันธุ์ไฮ-บริกซ์ 3 พันธุ์เอทีเอส 12 และพันธุ์อินทรี 2 มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรง 8.17 7.50 และ 6.80 เซนตินิวตันต่อเท็กซ์ ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ Bonferroni พบว่า เส้นใยจากเปลือกข้าวโพดพันธุ์ไฮ-บริกซ์ 3 มีความแข็งแรงมากกว่าเส้นใยจากเปลือกข้าวโพดพันธุ์เอทีเอส 12 และพันธุ์อินทรี 2 ($p \leq 0.01$) และเส้นใยจากเปลือกข้าวโพดพันธุ์เอทีเอส 12 มีความแข็งแรงมากกว่าเส้นใยจากเปลือกข้าวโพดพันธุ์อินทรี 2 ($p \leq 0.01$)

ชั้นเปลือกข้าวโพด มีผลต่อความแข็งแรงของเส้นใย อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.01$) พบว่า เส้นใยจากเปลือกชั้นนอก มีความแข็งแรงมากกว่าเส้นใยจากเปลือกชั้นใน (ค่าเฉลี่ย 8.82 และ 6.16 เซนตินิวตันต่อเท็กซ์ ตามลำดับ)

วิธีการแยกเส้นใย มีผลต่อความแข็งแรงของเส้นใย อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.01$) เส้นใยเปลือกข้าวโพดที่แยกด้วยวิธีที่ 1 2 3 4 5 และ 6 มีความแข็งแรง 7.98 7.76 7.99 7.45 6.91 และ 6.86 เซนตินิวตันต่อเท็กซ์ ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ Bonferroni พบว่า เส้นใยที่แยกด้วยวิธีที่ 1 และ 3 มีความแข็งแรงมากกว่าเส้นใยที่แยกด้วยวิธีที่ 5 และ 6 ($p \leq 0.01$) และเส้นใยที่แยกด้วยวิธีที่ 2 มีความแข็งแรงมากกว่าเส้นใยที่แยกด้วยวิธีที่ 5 และ 6 ($p \leq 0.05$)

ปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์ข้าวโพดกับชั้นเปลือกข้าวโพด มีผลต่อความแข็งแรงของเส้นใย อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.01$) ดังนี้ 1) เส้นใยจากเปลือกข้าวโพดพันธุ์อินทรี 2 ชั้นนอกและชั้นใน มีความแข็งแรง 8.82 และ 4.77 เซนตินิวตันต่อเท็กซ์ ตามลำดับ 2) เส้นใยจากเปลือกข้าวโพดพันธุ์ไฮ-บริกซ์ 3 ชั้นนอกและชั้นใน มีความแข็งแรง 9.32 และ 7.03 เซนตินิวตันต่อเท็กซ์ ตามลำดับ และ 3) เส้นใยจากเปลือกข้าวโพดพันธุ์เอทีเอส 12 ชั้นนอกและชั้นใน มีความแข็งแรง 8.32 และ 6.68 เซนตินิวตันต่อเท็กซ์ ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ Bonferroni พบว่า เส้นใยจาก

เปลือกข้าวโพดชั้นนอกทุกพันธุ์ มีความแข็งแรงมากกว่าเส้นใยจากเปลือกชั้นใน ($p \leq 0.01$) ทั้งนี้เพราะเปลือกชั้นนอกมีความแก่และหนามากกว่าเปลือกชั้นใน จึงส่งผลต่อความแข็งแรงของเส้นใย

ปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์ข้าวโพดกับวิธีการแยกเส้นใย มีผลต่อความแข็งแรงของเส้นใย อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.01$) ดังนี้ 1) เส้นใยจากเปลือกข้าวโพดพันธุ์อินทรี 2 ที่แยกด้วยวิธีที่ 1 2 3 4 5 และ 6 มีความแข็งแรง 7.69 6.61 7.98 6.42 5.80 และ 6.29 เซนตินิวตันต่อเท็กซ์ ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ Bonferroni พบว่า เส้นใยจากเปลือกข้าวโพดพันธุ์อินทรี 2 ที่แยกด้วยวิธีที่ 1 มีความแข็งแรงมากกว่าเส้นใยที่แยกด้วยวิธีที่ 5 ($p \leq 0.01$) และเส้นใยที่แยกด้วยวิธีที่ 3 มีความแข็งแรงมากกว่าเส้นใยที่แยกด้วยวิธีที่ 4 5 และ 6 ($p \leq 0.05$ 0.01 และ 0.05 ตามลำดับ) 2) เส้นใยจากเปลือกข้าวโพดพันธุ์ไฮ-บริกซ์ 3 ที่แยกด้วยวิธีที่ 1 2 3 4 5 และ 6 มีความแข็งแรง 8.49 8.63 8.67 8.80 7.68 และ 6.74 เซนตินิวตันต่อเท็กซ์ ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ Bonferroni พบว่า เส้นใยจากเปลือกข้าวโพดพันธุ์ไฮ-บริกซ์ 3 ที่แยกด้วยวิธีที่ 1 2 3 และ 4 มีความแข็งแรงมากกว่าเส้นใยที่แยกด้วยวิธีที่ 6 ($p \leq 0.01$) และ 3) เส้นใยจากเปลือกข้าวโพดพันธุ์เอทีเอส 12 ที่แยกด้วยวิธีที่ 1 2 3 4 5 และ 6 มีความแข็งแรง 7.75 8.03 7.31 7.13 7.24 และ 7.54 เซนตินิวตันต่อเท็กซ์ ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ Bonferroni พบว่า เส้นใยมีความแข็งแรงไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$)

ปฏิสัมพันธ์ระหว่างชั้นเปลือกข้าวโพดกับวิธีการแยกเส้นใย มีผลต่อความแข็งแรงของเส้นใยอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.01$) ดังนี้ 1) เส้นใยจากเปลือกชั้นนอกที่แยกด้วยวิธีที่ 1 2 3 4 5 และ 6 มีความแข็งแรง 9.06 8.27 9.34 8.89 8.55 และ 8.83 เซนตินิวตันต่อเท็กซ์ ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ Bonferroni พบว่า เส้นใยจากเปลือกชั้นนอก ที่แยกด้วยวิธีการต่างกัน มีความแข็งแรงไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) 2) เส้นใยจากเปลือกชั้นในที่แยกด้วยวิธีที่ 1 2 3 4 5 และ 6 มีความแข็งแรง 6.90 7.24 6.64 60.01 5.27 และ 4.89 เซนตินิวตันต่อเท็กซ์ ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ Bonferroni พบว่า เส้นใยจากเปลือกชั้นใน ที่แยกด้วยวิธีที่ 1 มีความแข็งแรงมากกว่าเส้นใยที่แยกด้วยวิธีที่ 5 และ 6 ($p \leq 0.01$) เส้นใยที่แยกด้วยวิธีที่ 2 มีความแข็งแรงมากกว่าเส้นใยที่แยกด้วยวิธีที่ 4 5 และ 6 ($p \leq 0.05$ 0.01 และ 0.01 ตามลำดับ) และเส้นใยที่แยกด้วยวิธีที่ 3 มีความแข็งแรงมากกว่าเส้นใยที่แยกด้วยวิธีที่ 5 และ 6 ($p \leq 0.05$ และ 0.01 ตามลำดับ)

ปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์ข้าวโพด ชั้นเปลือกข้าวโพดกับวิธีการแยกเส้นใย มีผลต่อความแข็งแรงของเส้นใยอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.01$) ซึ่งค่าเฉลี่ยความแข็งแรงแสดงในตารางที่ 6 และผลการวิเคราะห์ Bonferroni มีดังนี้ 1) เส้นใยจากเปลือกข้าวโพดพันธุ์อินทรี 2 ชั้นนอก ที่แยกด้วยวิธีที่ 1 มีความแข็งแรงน้อยกว่าเส้นใยที่แยกด้วยวิธีที่ 3 ($p \leq 0.05$) แต่มากกว่าเส้นใยที่แยกด้วยวิธีที่ 5 ($p \leq 0.01$) เส้นใยที่แยกด้วยวิธีที่ 2 มีความแข็งแรงน้อยกว่าเส้นใยที่แยกด้วยวิธีที่ 3 และ 4 ($p \leq 0.01$ และ 0.05 ตามลำดับ) เส้นใยที่แยกด้วยวิธีที่ 3 มีความแข็งแรงมากกว่าเส้นใยที่แยกด้วยวิธีที่ 4 5 และ 6 ($p \leq 0.05$ 0.01 และ 0.01 ตามลำดับ) และเส้นใยที่แยกด้วยวิธีที่ 4 มีความแข็งแรงมากกว่าเส้นใยที่แยกด้วยวิธีที่ 5 ($p \leq 0.01$) สำหรับเส้นใยจากเปลือกข้าวโพดพันธุ์อินทรี 2 ชั้นใน ที่แยกด้วยวิธีที่ 1 มีความแข็งแรงมากกว่าเส้นใยที่แยกด้วยวิธีที่ 4 5 และ 6 ($p \leq 0.01$) และเส้นใยที่แยกด้วยวิธีที่ 2 และ 3 มีความแข็งแรงมากกว่าเส้นใยที่แยกด้วยวิธีที่ 4 ($p \leq 0.01$ และ 0.05 ตามลำดับ) 2) เส้นใยจากเปลือกข้าวโพดพันธุ์ไฮ-บริกซ์ 3 ชั้นนอกที่แยกด้วยทุกวิธี มีความแข็งแรงไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) นอกจากเส้นใยที่แยกด้วยวิธีที่ 2 มีความแข็งแรงน้อยกว่าเส้นใยที่แยกด้วยวิธีที่ 5 ($p \leq 0.05$) และเส้นใยจากเปลือกชั้นในที่แยกด้วยวิธีที่ 1 2 3 และ 4 มีความแข็งแรงมากกว่าเส้นใยที่แยกด้วยวิธีที่ 5 และ 6 ($p \leq 0.01$) ดังนั้น การแยกเส้นใยจากเปลือกข้าวโพดพันธุ์ไฮ-บริกซ์ 3 ชั้นใน ด้วยสารละลายด่างและสารละลายเอนไซม์ที่มีความเข้มข้นมากขึ้น จะทำให้เส้นใยมีความแข็งแรงน้อยลง และ 3) เส้นใยจากเปลือกข้าวโพดพันธุ์เอทีเอส 12 ชั้นนอก ที่แยกด้วยวิธีที่ 3 และ 4 มีความแข็งแรงน้อยกว่าเส้นใยที่แยกด้วยวิธีที่ 6 ($p \leq 0.05$) และเส้นใยจากเปลือกข้าวโพดพันธุ์เอทีเอส 12 ชั้นใน ที่แยกด้วยวิธีที่ 2 มีความแข็งแรงมากกว่าเส้นใยที่แยกด้วยวิธีที่ 6 ($p \leq 0.05$)

ผลของพันธุ์ข้าวโพด ชั้นเปลือกข้าวโพดและวิธีการแยกเส้นใยต่อการยืดตัวของเส้นใย

ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ยการยืดตัวของเส้นใยเปลือกข้าวโพดที่ได้จากพันธุ์ข้าวโพด ชั้นเปลือกข้าวโพดและวิธีการแยกเส้นใยที่แตกต่างกัน

ปัจจัยการทดลอง			การยืดตัว (ร้อยละ)	
พันธุ์ข้าวโพด	**ชั้นเปลือกข้าวโพด**	**วิธีการแยกเส้นใย**	$\bar{X}$	**S.D.**
พันธุ์อินทรี 2	เปลือกชั้นนอก	วิธีที่ 1	23.01^{ab}	2.54
		วิธีที่ 2	19.37^{ab}	4.64
		วิธีที่ 3	25.84^{a}	1.92
		วิธีที่ 4	21.49^{ab}	3.79
		วิธีที่ 5	15.46^{b}	10.05
		วิธีที่ 6	18.13^{b}	0.92
	เปลือกชั้นใน	วิธีที่ 1	23.73^{a}	0.52
		วิธีที่ 2	14.91^{b}	2.72
		วิธีที่ 3	22.77^{a}	3.47
		วิธีที่ 4	18.59^{ab}	6.56
		วิธีที่ 5	17.57^{ab}	7.79
		วิธีที่ 6	14.60^{b}	3.64
พันธุ์ไฮ-บริกซ์ 3	เปลือกชั้นนอก^{ns}	วิธีที่ 1	23.23	4.16
		วิธีที่ 2	20.57	0.53
		วิธีที่ 3	22.15	1.07
		วิธีที่ 4	18.55	0.74
		วิธีที่ 5	22.44	4.34
		วิธีที่ 6	17.19	10.05
	เปลือกชั้นใน^{ns}	วิธีที่ 1	17.65	1.26
		วิธีที่ 2	17.44	2.03
		วิธีที่ 3	19.20	3.60
		วิธีที่ 4	16.72	3.25
		วิธีที่ 5	11.62	0.70
		วิธีที่ 6	11.95	3.24
พันธุ์เอทีเอส 12	เปลือกชั้นนอก^{ns}	วิธีที่ 1	19.81	1.51
		วิธีที่ 2	16.41	1.19
		วิธีที่ 3	20.13	1.92
		วิธีที่ 4	18.91	0.93
		วิธีที่ 5	16.43	1.70
		วิธีที่ 6	16.63	2.63

ตารางที่ 5 (ต่อ)

ปัจจัยการทดลอง			การยืดตัว (ร้อยละ)	
พันธุ์ข้าวโพด	**ชั้นเปลือกข้าวโพด**	**วิธีการแยกเส้นใย**	$\bar{X}$	**S.D.**
	เปลือกชั้นใน^{ns}	วิธีที่ 1	19.76	0.99
		วิธีที่ 2	16.47	3.84
		วิธีที่ 3	20.32	3.36
		วิธีที่ 4	16.79	2.21
		วิธีที่ 5	19.43	1.39
		วิธีที่ 6	14.72	4.75

หมายเหตุ: ตัวอักษรแต่ละการทดลองที่แตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
^{ns} ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากตารางที่ 5 พบว่า ค่าเฉลี่ยการยืดตัวของเส้นใยเปลือกข้าวโพดอยู่ระหว่างร้อยละ 11.62 ถึง 25.84 โดยเส้นใยจากเปลือกข้าวโพดพันธุ์อินทรี 2 ชั้นนอก ที่แยกด้วยวิธีที่ 3 มีค่าเฉลี่ยการยืดตัวมากที่สุด และเส้นใยจากเปลือกข้าวโพดพันธุ์ไฮ-บริกซ์ 3 ชั้นใน ที่แยกด้วยวิธีที่ 5 มีค่าเฉลี่ยการยืดตัวน้อยที่สุด

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ยการยืดตัวของเส้นใยเปลือกข้าวโพด

แหล่งความแปรปรวน	df	SS	MS	p
บล็อก	2	27.10	13.55	.239
พันธุ์ข้าวโพด	2	56.20	28.10	.055
ชั้นเปลือกข้าวโพด	1	143.43	143.43	.000
วิธีการแยกเส้นใย	5	525.90	105.18	.000
พันธุ์ข้าวโพด × ชั้นเปลือกข้าวโพด	2	105.95	52.98	.005
พันธุ์ข้าวโพด × วิธีการแยกเส้นใย	10	105.74	10.57	.347
ชั้นเปลือกข้าวโพด × วิธีการแยกเส้นใย	5	10.65	2.13	.948
พันธุ์ข้าวโพด × ชั้นเปลือกข้าวโพด × วิธีการแยกเส้นใย	10	144.80	14.48	.137
ความคลาดเคลื่อน	70	649.78	9.28	
รวม	107	1769.54		

ตารางที่ 6 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ยการยืดตัวของเส้นใยเปลือกข้าวโพด พบว่า ชั้นเปลือกข้าวโพด มีผลต่อการยืดตัวของเส้นใย อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.01$) โดยเส้นใยจากเปลือกชั้นนอก ยืดตัวมากกว่าเส้นใยจากเปลือกชั้นใน (ค่าเฉลี่ยร้อยละ 19.76 และ 17.46 ตามลำดับ)

วิธีการแยกเส้นใย มีผลต่อการยืดตัวของเส้นใย อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.01$) เส้นใยที่แยกด้วยวิธีที่ 1 2 3 4 5 และ 6 ยืดตัวร้อยละ 21.20 17.53 21.74 18.51 17.16 และ 15.54 ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ Bonferroni พบว่า เส้นใยที่แยกด้วยวิธีที่ 1 และวิธีที่ 3 ยืดตัวมากกว่าเส้นใยที่แยกด้วยวิธีที่ 2 5 และ 6 ($p \leq 0.01$)

ปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์ข้าวโพดกับชั้นเปลือกข้าวโพด มีผลต่อการยืดตัวของเส้นใย อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.01$) ดังนี้ 1) เส้นใยจากเปลือกข้าวโพดพันธุ์อินทรี 2 ชั้นนอกและชั้นใน ยืดตัวร้อยละ 20.55 และ 18.70 ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ Bonferroni พบว่า เส้นใยจากเปลือกชั้นนอกและชั้นในยืดตัวไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) 2) เส้นใยจากเปลือกข้าวโพดพันธุ์ไฮ-บริกซ์ 3 ชั้นนอกและชั้นใน ยืดตัวร้อยละ 20.69 และ 15.77 ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ Bonferroni พบว่า เส้นใยจากเปลือกชั้นนอกยืดตัวมากกว่าเส้นใยจากเปลือกชั้นใน ($p \leq 0.01$) ทั้งนี้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยเปลือกข้าวโพด พบว่า เส้นใยจากเปลือกชั้นนอก มีปริมาณเซลลูโลสน้อยกว่าเส้นใยจากเปลือกชั้นในค่อนข้างมาก (ร้อยละ 66.30 และ 70.09 ตามลำดับ) จึงทำให้เส้นใยยืดตัวแตกต่างกัน และ 3) เส้นใยจากเปลือกข้าวโพดพันธุ์เอทีเอส 12 ชั้นนอกและชั้นใน ยืดตัวร้อยละ 180.05 และ 17.92 ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ Bonferroni พบว่า เส้นใยจากเปลือกชั้นนอกและชั้นใน ยืดตัวไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$)

สรุปและอภิปรายผล

จากการศึกษาผลของพันธุ์ข้าวโพด ชั้นเปลือกข้าวโพดและวิธีการแยกเส้นใย ต่อสมบัติทางเคมีและสมบัติทางเชิงกลของเส้นใยเปลือกข้าวโพด พบว่าเส้นใยที่ได้จากพันธุ์ข้าวโพด ชั้นเปลือกข้าวโพดและวิธีการแยกเส้นใยที่แตกต่างกัน มีการดูดความชื้น ความแข็งแรงและการยืดตัวต่างกัน ซึ่งเป็นผลจากองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใย ดังที่ Veerasak [11] กล่าวว่า องค์ประกอบทางเคมีเป็นปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของเส้นใย สรุปผลได้ดังนี้ 1) ผลต่อการดูดความชื้น พบว่า เส้นใยจากเปลือกข้าวโพดทั้ง 3 พันธุ์ มีการดูดความชื้นไม่ต่างกัน เส้นใยจากเปลือกชั้นนอกดูดความชื้นมากกว่าเส้นใยจากเปลือกชั้นใน ทั้งนี้จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยเปลือกข้าวโพด พบว่า เส้นใยจากเปลือกชั้นนอกมีปริมาณเฮมิเซลลูโลสมากกว่าเส้นใยจากเปลือกชั้นใน (ร้อยละ 20.45 และ 18.50 ตามลำดับ) จึงมีผลต่อการดูดความชื้นของเส้นใย ดังที่ Wiroje and Sasipim [12] กล่าวว่า เฮมิเซลลูโลสเป็นโพลิเมอร์ที่ชอบน้ำ จึงช่วยให้เส้นใยดูดความชื้นได้ดี และเส้นใยที่แยกด้วยวิธีที่ 1 (2.5 g/L NaOH) และ 2 (5.0 g/L NaOH) มีการดูดความชื้นมากที่สุด ทั้งนี้จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยเปลือกข้าวโพด พบว่า เส้นใยที่แยกด้วยวิธีที่ 1 (2.5 g/L NaOH) และ 2 (5.0 g/L NaOH) มีปริมาณเฮมิเซลลูโลสมากกว่าเส้นใยที่แยกด้วยวิธีอื่น (เส้นใยที่แยกด้วยวิธีที่ 1 (2.5 g/L NaOH) 2 (5.0 g/L NaOH) 3 (2.5 g/L NaOH + 0.5% Cellulase) 4 (2.5 g/L NaOH + 1.0% Cellulase) 5 (5.0 g/L NaOH + 0.5% Cellulase) และ 6 (5.0 g/L NaOH + 1.0% Cellulase) มีปริมาณเฮมิเซลลูโลสร้อยละ 23.12 19.91 19.53 18.92 17.95 และ 17.44 ตามลำดับ) จึงส่งผลให้สามารถดูดความชื้นได้ดีกว่า 2) ผลต่อความแข็งแรง พบว่า เส้นใยจากเปลือกข้าวโพดทั้ง 3 พันธุ์ มีความแข็งแรงต่างกัน โดยเส้นใยจากเปลือกข้าวโพดพันธุ์ไฮ-บริกซ์ 3 มีความแข็งแรงมากที่สุด Narendra and Yiqi [3] กล่าวว่า ความแข็งแรงของเส้นใยขึ้นอยู่กับการจัดเรียงตัวและปริมาณของโครงสร้างส่วนผลึกและส่วนอสัณฐาน ดังนั้นเปลือกข้าวโพดพันธุ์ไฮ-บริกซ์ 3 มีแนวโน้มมีปริมาณโครงสร้างส่วนผลึกมากกว่าและมีการจัดเรียงตัวเป็นระเบียบกว่าจึงมีความแข็งแรงมากกว่า เส้นใยจากเปลือกชั้นนอกมีความแข็งแรงมากกว่าเส้นใยจากเปลือกชั้นใน ทั้งนี้เพราะเปลือกข้าวโพดชั้นนอกมีความแก่กว่าเปลือกชั้นในจึงมีผนังเซลล์ที่หนากว่า เนื่องจากเมื่อเซลล์พืชแก่จะมีเซลล์ตายสะสม ทำให้ผนังเซลล์หนาขึ้น มีปริมาณลิกนินและเซลลูโลสสูงประมาณร้อยละ 60 ถึง 80 [13] จึงส่งผลต่อความแข็งแรงของเส้นใย เส้นใยที่แยกด้วยวิธีที่ 1 (2.5 g/L NaOH) 2 (5.0 g/L NaOH) และ 3 (2.5 g/L NaOH + 0.5% Cellulase) มีความแข็งแรงมากที่สุด แสดงว่าการแยกเส้นใยด้วยสารละลายด่างและสารละลายเอนไซม์ที่มีความเข้มข้นมากขึ้น เส้นใยมีแนวโน้มความแข็งแรงลดลง เพราะถูกย่อยสลายลิกนิน เพกทิน ขี้ผึ้ง สารอื่น ๆ ที่ปกคลุมเส้นใยและเซลลูโลสที่ผนังเซลล์ชั้นนอกออกได้มากกว่า และ 3) ผลต่อการยืดตัว พบว่า เส้นใยจากเปลือกข้าวโพดทั้ง 3 พันธุ์ มีการยืดตัวไม่แตกต่างกัน เส้นใยจากเปลือกชั้นนอกยืดตัวมากกว่าเส้นใยจากเปลือกชั้นใน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเส้นใยจากเปลือกข้าวโพดชั้นนอกมีอายุมากกว่าเส้นใยจากเปลือกชั้นใน จึงมีสายโซ่พอลิเมอร์

ยาวกว่า ทำให้เส้นใยยึดตัวได้มากกว่า สอดคล้องกับ Nazire Deniz *et al.* [5] พบว่า เส้นใยจากเปลือกข้าวโพดชั้นนอกยืดตัวได้มากกว่าเส้นใยจากเปลือกข้าวโพดชั้นใน และเส้นใยที่แยกด้วยวิธีที่ 1 (2.5 g/L NaOH) และ 3 (2.5 g/L NaOH + 0.5% Cellulase) ยืดตัวมากกว่าเส้นใยที่แยกด้วยวิธีที่ 2 (5.0 g/L NaOH) 5 (5.0 g/L NaOH + 0.5% Cellulase) และ 6 (5.0 g/L NaOH + 1.0% Cellulase) อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.01$) ทั้งนี้การใช้สารละลายด่างและสารละลายเอนไซม์ที่มีความเข้มข้นน้อยกว่า จะย่อยสลายเฮมิเซลลูโลสได้น้อย ทำให้เส้นใยยังมีปริมาณ เฮมิเซลลูโลสอยู่มาก ส่งผลให้เส้นใยยืดตัวได้มากกว่า

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนการวิจัยภายใต้แผนงานเสริมสร้างศักยภาพและพัฒนานักวิจัยรุ่นใหม่ตามทิศทางยุทธศาสตร์การวิจัยและนวัตกรรม ประเภทบัณฑิตศึกษา จากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ ประจำปี 2562

เอกสารอ้างอิง

[1] Somsri Boonrueang; and Amnaj Chankroot. (2008). *Handbook of agricultural extensionist: corn (animal feed corn and sweet corn)*. Bangkok: Bureau of Agricultural Commodities Promotion and Management, Department of Agricultural Extension.

[2] Kanchiya Petchlam. (2019). *Vegetables, Processed and canned fruits: Export in January-November 2019*. Retrieved January 17, 2020, from https://www.ditp.go.th/contents_attach/578817/578817.pdf.

[3] Narendra Reddy; and Yiqi Yang. (2005). Properties and potential applications of natural cellulose fibers from cornhusks. *Green Chemistry.* 7: 190-195.

[4] Rita Kant; and Preeti Alagh. (2013). Extraction of Fiber from Sansevieria Trifasciata plant and its properties. *International Journal of Science and Research*. 4 (7): 2547-2549.

[5] Nazire Deniz Yilmaz; Mine Sulak; Kenan Yilmaz; and Fatih Kalin. (2016). Physical and chemical properties of water-retted fibers extracted from different locations in corn husks. *Journal of Natural Fibers.* 13 (4): 397-409.

[6] Wimonrat Sricharassin. (2009). Story of pineapple fabric (not pineapple). *Colourway*. 15 (85): 21-25.

[7] Nishant Kambli; Shantanu Basak; Kartick K. Samanta; and Rajendra R. Deshmukh. (2016). Extraction of natural cellulosic fibers from cornhusk and its physico-chemical properties. *Fibers and Polymers.* 17 (5): 687-694.

[8] Wtodzimierz Konczewicz; and Ryszard M. Kozlowski. (2012). *Handbook of Natural Fibres Volume 2: Processing and Applications.* Cornwall, UK, TJ International Ltd, Padstow.

[9] Shah Huda; Yiqi Yang. (2008). Chemically extracted cornhusk fibers as reinforcement in light-weight poly (propylene) composites. *Macromolecular materials and Engineering.* 293: 235-243.

[10] Nazire Deniz Yilmaz; Ebru Çaliskan; and Kenan Yilmaz. (2014). Effect of xylanase enzyme on mechanical properties of fibres extracted from undried and dried corn husks. *Indian Journal of Fibre & Textile Research*. 39: 60-64.

[11] Veerasak Udomkijdecha. (1999). *Fiber Science.* Chulalongkorn. Bangkok: University Printing House.

[12] Wiroje Kaewruang; and Sasipim Limmanee. (2013). Lotus: Fibers from stream to green textile innovation. *Colorway.* 18 (105): 4-52.

[13] Armando Carrillo-López; and Elhadi M. Yahia. (2019). Morphology and anatomy, pp. 113-130. *In* Elhadi M. Yahia, eds. *Postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables.* Cambridge: Woodhead publishing.