

การพัฒนาวิธีการประเมินคุณภาพเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองและถั่วเขียวโดยการวัดค่าการนำไฟฟ้า
Development of Methods for Evaluating Seed Quality of Soybean and Mungbean
by Electrical Conductivity Test

นิภาภรณ์ พรรณรา^{1/} ภภััสสร วัฒนกุลภาคิน^{2/} สุมนา จำปา^{1/} กัณทิมา ทองศรี^{2/}

ศุภลักษณ์ สัตยสมิทสทธิ^{2/} สนอง บัวเกต^{2/}

Nipapon Punnara^{1/} Papassorn Wattanakulpakin^{2/} Sumana Jumpa^{1/} Kantima Thongsri^{2/}

Supalak Sattayasamitsathit^{2/} Sanong Bougate^{2/}

บทคัดย่อ

ทำการศึกษาเพื่อพัฒนาวิธีการประเมินคุณภาพเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองและถั่วเขียวโดยการวัดค่าการนำไฟฟ้า ดำเนินการที่ศูนย์วิจัยพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชพิษณุโลก ในปี 2559 - 2560 วางแผนการทดลองแบบ CRD จำนวน 4 ซ้ำ กรรมวิธีทดลองประกอบด้วยระดับความแข็งแรงที่ทดสอบด้วยความงอกภายหลังการเร่งอายุ ของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองและถั่วเขียว จำนวน 3 กรรมวิธี คือ 1. ความแข็งแรงต่ำ (ความงอกภายหลังการเร่งอายุ < 55%) 2. ความแข็งแรงปานกลาง (ความงอกภายหลังการเร่งอายุ 55 – 69%) 3. ความแข็งแรงสูง (ความงอกภายหลังการเร่งอายุ \geq 70%) ผลการทดลองพบว่า ค่าการนำไฟฟ้าของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง มีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกับความงอกภายหลังการเร่งอายุค่อนข้างสูงโดยให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) มากกว่า 0.7 ขึ้นไปทั้งสามฤดูปลูก ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้าและความงอกภายหลังการเร่งอายุของเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวให้ผลในทิศทางเดียวกันกับเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง ดังนั้น ค่าการนำไฟฟ้าเป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ประเมินความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองและถั่วเขียวได้

คำสำคัญ : เมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง, เมล็ดพันธุ์ถั่วเขียว, ความงอก, ความแข็งแรง, ค่าการนำไฟฟ้า

ABSTRACT

The development of method for soybean and mungbean seed quality evaluation by electrical conductivity (EC) test was studied at the Phitsanulok Seed Research and Development Center from 2016 to 2017. The completely randomized design with 4 replicates was used for this experiment. Soybean and mungbean seeds were divided into 3 groups by their vigor levels determined by germination after accelerated aging (GAA) test that were 1. high vigor (HV) (GAA \geq 70%) 2. medium vigor (MV) (GAA, 55 – 69%) and 3. low vigor (LV) (GAA < 55%). The negative correlation between EC value and GAA was found in soybean seeds that showed highly correlation coefficients (r) up to 0.7 for all 3 planting seasons. The same correlation between EC value and GAA also revealed in mungbean seeds. Therefore, this research suggests that the EC test is the useful method to evaluate the vigor of soybean and mungbean seeds.

Keywords: Soybean seed, mungbean seed, germination, vigor, electrical conductivity

¹ศูนย์วิจัยพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชเชียงใหม่ อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ 50290 โทรศัพท์ 053 - 498578

Chiangmai Seed Research and Development Center, Sansai district, Chiangmai province 50290 Tel. 053-498578

²ศูนย์วิจัยพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชพิษณุโลก อ.วังทอง จ.พิษณุโลก 65130 โทรศัพท์ 055 - 311368

Phitsanulok Seed Research and Development Center, Wangthong district, Phitsanulok province 65130 Tel. 055-311368

6. คำนำ

การปลูกพืชต้องอาศัยปัจจัยที่สำคัญ 3 ประการคือ ดินหรือพื้นที่ที่ใช้ปลูกพืช เมล็ดพันธุ์และสภาพภูมิอากาศที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืชแต่ละชนิด ปัจจัยทั้งสามประการนี้เป็นสิ่งจำเป็นพื้นฐานสำหรับการปลูกพืชทุกชนิดและการปลูกพืชจะประสบความสำเร็จมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับคุณภาพเมล็ดพันธุ์ที่ใช้ปลูกเป็นประการสำคัญ การตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดพันธุ์เป็นการควบคุมคุณภาพเมล็ดพันธุ์ให้ได้มาตรฐาน เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการวางแผนการปลูกพืชการจัดการระหว่างการผลิตและการควบคุมคุณภาพของผลผลิต

วัตถุประสงค์ของการตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ คือ

1. เพื่อให้ทราบว่าเมล็ดพันธุ์มีคุณภาพอยู่ในระดับใด ได้มาตรฐานตามที่กำหนดหรือไม่
2. เพื่อหาข้อเท็จจริงที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ เพื่อประโยชน์ในการควบคุมคุณภาพของเมล็ดพันธุ์

พันธุ์

3. เพื่อให้ทราบว่าเมล็ดพันธุ์จำเป็นต้องมีการตากหรือลดความชื้นลงมากน้อยเพียงใด ตลอดจนถึงความจำเป็นในการปรับปรุงสภาพของเมล็ดพันธุ์

4. เพื่อให้ทราบว่าเมล็ดพันธุ์มีคุณภาพตรงตามมาตรฐานที่กำหนดไว้หรือไม่ เนื่องจากในประเทศต่างๆที่มีกฎหมาย ได้กำหนดคุณภาพและมาตรฐานขั้นต่ำสุดของเมล็ดพันธุ์ชนิดต่างๆไว้ ถ้าเมล็ดพันธุ์มีคุณภาพต่ำกว่าที่กฎหมายกำหนด เมล็ดพันธุ์เหล่านั้นจะนำมาจำหน่ายแจกเพื่อใช้เป็นเมล็ดพันธุ์ไม่ได้

5. การประเมินคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการกำหนดราคาของเมล็ดพันธุ์โดยเมล็ดพันธุ์ที่มีคุณภาพสูงย่อมมีราคาแพงกว่าเมล็ดพันธุ์ที่มีคุณภาพต่ำ

ระบบการตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ที่ได้มาตรฐานและใช้กันอยู่ทั่วไปมี 2 ระบบ คือ

- 1) ระบบของสมาคมทดสอบเมล็ดพันธุ์นานาชาติ (International Seed Testing Association : ISTA) นิยมใช้กันทั่วโลก
- 2) ระบบของสมาคมวิเคราะห์เมล็ดพันธุ์พืช (Association of Official Seed Analysis : AOSA) ประเทศที่นิยมใช้คือ ประเทศสหรัฐอเมริกาและแคนาดา

ปัจจุบันประเทศไทยใช้กฎของทั้ง 2 สมาคม การเลือกใช้กฎขึ้นอยู่กับแต่ละหน่วยงาน (จวงจันทร์, 2529) ในส่วนของกรมวิชาการเกษตรใช้กฎของ ISTA ซึ่งกฎของ ISTA มีการปรับปรุงและเปลี่ยนแปลงทุกปีโดยคณะกรรมการสมาคมทดสอบเมล็ดพันธุ์นานาชาติที่เป็นสมาชิก ซึ่งวิธีการตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ของ ISTA มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ครอบคลุมชนิดพืชหลากหลาย ทั้งพืชอาหาร พืชอุตสาหกรรม และไม้ยืนต้น แต่วิธีการทดสอบบางวิธีการยังไม่ครอบคลุมพืชเศรษฐกิจของประเทศไทย และวิธีการทดสอบบางอย่างสามารถนำมาพัฒนาปรับใช้ในการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

การวัดความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่กำหนดโดย ISTA (2014) นิยมใช้วิธีการเร่งอายุในการตรวจสอบความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองแต่การทดสอบต้องใช้เวลา 11 วัน จึงจะทราบผลการวิเคราะห์ ซึ่งในบางครั้งไม่ทันต่อความต้องการระหว่างการปรับปรุงสภาพเมล็ดพันธุ์ และการคัดเลือกเมล็ดพันธุ์เพื่อการนำไปใช้ประโยชน์ โดยเฉพาะวิธีวัดค่าการนำไฟฟ้า เป็นวิธีการวัดค่าความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ที่ใช้ระยะเวลาการทดสอบ เพียง 2 วัน ก็สามารถทราบผลได้ ซึ่งทำให้ทันต่อการนำเมล็ดพันธุ์ไปใช้ประโยชน์หรือจัดการกับเมล็ดพันธุ์นั้นๆได้ แต่ค่าการนำไฟฟ้าที่วัดได้ในเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองยังไม่มีหลักเกณฑ์ถึงการจำแนกระดับความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ที่อาจจะแตกต่างกันในแต่ละระดับความแข็งแรง ส่วนวิธีการเร่งอายุเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองนั้น ISTA ไม่ได้ระบุวิธีการทดสอบความแข็งแรง การทดสอบความแข็งแรงที่ใช้ในปัจจุบันอ้างอิงจากวิธีการเร่งอายุในถั่วเหลืองที่อุณหภูมิ 41 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมง ดังนั้น จึงคาดว่าวิธีการวัดค่าการนำไฟฟ้าซึ่งเป็นวิธีแนะนำของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองสามารถพัฒนามาใช้กับถั่วเขียวได้เช่นเดียวกัน

7. วิธีดำเนินการ

- อุปกรณ์

- เมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60
- เมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวพันธุ์ชัยนาท 72
- เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า
- อุปกรณ์สำหรับเพาะความงอกในห้องปฏิบัติการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์

- วิธีการ

ขั้นตอนที่ 1 การพัฒนาวิธีการประเมินคุณภาพเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองโดยการวัดค่าการนำไฟฟ้าแบบและวิธีการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) จำนวน 3 กรรมวิธี 5 ซ้ำ ได้แก่

1. ความแข็งแรงต่ำ (Accelerated Aging Test < 55%)
2. ความแข็งแรงปานกลาง (Accelerated Aging Test 55 – 69%)
3. ความแข็งแรงสูง (Accelerated Aging Test ≥ 70%)

วิธีปฏิบัติการทดลอง

1. เตรียมเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ตามกรรมวิธีที่กำหนด
2. ตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ ดังนี้
 - การตรวจสอบความงอก โดยการเพาะทราย เก็บไว้ในห้องเพาะความงอกอุณหภูมิ 20<->30 องศาเซลเซียส ประเมินความงอกที่ อายุ 8 วัน
 - การเร่งอายุ นำเมล็ดไปเร่งอายุที่อุณหภูมิ 41 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมง ความชื้นสัมพัทธ์ 100% เมื่อครบกำหนด นำเมล็ดไปเพาะความงอกด้วยทราย เก็บไว้ในห้องเพาะความงอกอุณหภูมิ 20<->30 องศาเซลเซียส ประเมินความงอกที่ อายุ 8 วัน
 - ความงอกในสภาพไร่ นำเมล็ดไปปลูกในสภาพแปลง ประเมินความงอกที่อายุ 14 วัน
 - การวัดค่าการนำไฟฟ้า วิธีการดังนี้
 - 1) ควรวัดความชื้นของเมล็ดพันธุ์โดยวิธีของ ISTA (2014) หรือเครื่องวัดความชื้นอื่นๆ ก่อนปรับความชื้นของเมล็ดพันธุ์ให้อยู่ระหว่าง 10 – 14% (มาตรฐานน้ำหนักสด)
 - 2) ตวงน้ำกลั่น 250 มิลลิลิตร ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร ต้องเก็บน้ำที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสประมาณ 24 ชั่วโมงก่อนนำน้ำมาใช้ ขวดรูปชมพู่ที่ใช้ต้องมีขนาดเดียวกัน เพราะขนาดของก้านภาชนะจะมีผลทำให้ค่าที่ได้เปลี่ยนไป ภาชนะต้องสะอาด ควรล้างน้ำสุดท้ายด้วยน้ำกลั่นและอบให้แห้งก่อนนำมาใช้

- 3) นับเมล็ดข้าละ 50 เมล็ด จำนวน 4 ซ้ำ ชั่งน้ำหนักใช้ทศนิยม 2 ตำแหน่ง ใส่เมล็ดในขวดรูปชมพู่ที่บรรจุน้ำในปริมาณที่กำหนด แกว่งเบาๆ เพื่อให้เมล็ดทั้งหมดจมน้ำ ปิดฝาด้วยกระดาษฟอยล์ เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสประมาณ 24 ชั่วโมง จำนวนขวดรูปชมพู่ที่เตรียมในแต่ละครั้งต้องไม่มากกว่าที่จะวัดให้เสร็จภายใน 15 นาที
- 4) มีการทวนสอบเครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้าก่อนการใช้งาน
- 5) เปิดเครื่องวัดการนำไฟฟ้าก่อนใช้อย่างน้อย 15 นาที และควรเตรียมบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร ไว้สำหรับล้าง conductivity cell เมื่อเสร็จสิ้นแต่ละตัวอย่าง
- 6) เมื่อแช่น้ำครบ 24 ชั่วโมง ควรวัดค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายที่ได้จากการแช่เมล็ดทันที โดยวัดที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ควรแกว่งขวดรูปชมพู่ เบาๆ 10 – 15 วินาที ก่อนวัด แล้วจึงแกะฝาออก จุ่ม conductivity cell ของเครื่องวัดการนำไฟฟ้าลงในสารละลาย (ไม่ต้องกรองเมล็ดออก) ควรระวังอย่าให้ conductivity cell สัมผัสกับเมล็ด อาจต้องวัดหลายๆครั้งจนได้ค่าคงที่ เมื่อเสร็จการวัดแต่ละตัวอย่าง ต้องล้าง conductivity cell ด้วยน้ำกลั่น 2 ครั้ง ซับให้แห้งด้วยกระดาษซับ ก่อนที่จะวัดตัวอย่างต่อไป
- 7) วัดค่าการนำไฟฟ้าของน้ำกลั่น เพื่อใช้เป็น control และนำค่าที่อ่านได้ของแต่ละตัวอย่างลบด้วยค่าจาก control

วิธีการคำนวณค่าการนำไฟฟ้า

ค่าการนำไฟฟ้า = ค่าการนำไฟฟ้าของแต่ละตัวอย่าง/น้ำหนักเมล็ดของแต่ละตัวอย่าง(กรัม)

การรายงานผล: รายงานผลเป็นค่าเฉลี่ยจาก 4 ซ้ำ ใช้หน่วยเป็น $\mu\text{S}/\text{cm}/\text{g}$

3. นำค่าที่ได้มาหาความสัมพันธ์ระหว่างการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์วิธีการต่างๆของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60

การบันทึกข้อมูล

1. ความงอกของเมล็ดพันธุ์
2. ความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ ได้แก่ ค่าการนำไฟฟ้า ความงอกหลังจากเร่งอายุ และความงอกในสภาพไร่

ขั้นตอนที่ 2 การพัฒนาวิธีการประเมินคุณภาพเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวโดยการวัดค่าการนำไฟฟ้า

แบบและวิธีการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) จำนวน 3 กรรมวิธี 5 ซ้ำ ได้แก่

1. ความแข็งแรงต่ำ (Accelerated Aging Test < 55%)
2. ความแข็งแรงปานกลาง (Accelerated Aging Test 55 – 69%)
3. ความแข็งแรงสูง (Accelerated Aging Test ≥ 70%)

วิธีปฏิบัติการทดลอง

1. เตรียมเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวพันธุ์ชัยนาท 72 ตามกรรมวิธีที่กำหนด
2. ตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ ดังนี้
 - การตรวจสอบความงอก โดยการเพาะทราย เก็บไว้ในห้องเพาะความงอกอุณหภูมิ 20<->30 องศาเซลเซียส ประเมินความงอกที่ อายุ 7 วัน
 - การเร่งอายุ นำเมล็ดไปเร่งอายุที่อุณหภูมิ 41 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมง ความชื้นสัมพัทธ์ 100% เมื่อครบกำหนด นำเมล็ดไปเพาะความงอกด้วยทราย เก็บไว้ในห้องเพาะความงอกอุณหภูมิ 20<->30 องศาเซลเซียส ประเมินความงอกที่ อายุ 7 วัน
 - ความงอกในสภาพไร่ นำเมล็ดไปปลูกในสภาพแปลง ประเมินความงอกที่อายุ 14 วัน
 - การวัดค่าการนำไฟฟ้า ใช้วิธีเหมือนกับขั้นตอนที่ 1
3. นำค่าที่ได้มาหาความสัมพันธ์ระหว่างการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์วิธีการต่างๆของถั่วเขียวพันธุ์ชัยนาท 72

การบันทึกข้อมูล

1. ความงอกของเมล็ดพันธุ์
2. ความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ ได้แก่ ค่าการนำไฟฟ้า ความงอกหลังจากเร่งอายุ และความงอกในสภาพไร่

- เวลาและสถานที่

- เริ่มต้น ตุลาคม 2558 – สิ้นสุด กันยายน 2560

สถานที่ทำการทดลอง : ศูนย์วิจัยพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชพิษณุโลก

8. ผลการทดลองและวิจารณ์

การพัฒนาวิธีการประเมินคุณภาพเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองโดยการวัดค่าการนำไฟฟ้า

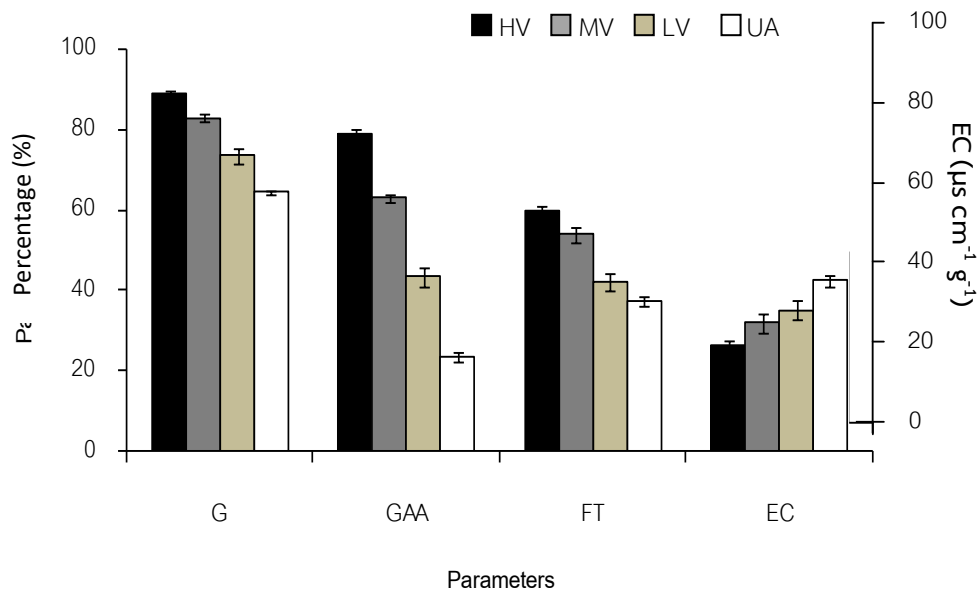
นำเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่เก็บเกี่ยวช่วงปลายฤดูฝน ตุลาคม-พฤศจิกายน 2558 ช่วงฤดูแล้ง ปลายฤดูฝนต้นมีนาคม 2559 และช่วงปลายฤดูฝน ตุลาคม-พฤศจิกายน 2559 มาทดสอบ ความงอก และความแข็งแรงโดยการเร่งอายุ (Germination after accelerated aging; GAA) จากนั้นนำเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่เก็บเกี่ยวในแต่ละช่วงฤดูปลูกมาจัดกลุ่มตามความแข็งแรงที่ทดสอบโดย GAA แบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม คือ ความแข็งแรงสูง (High vigor, HV; GAA>70%) ความแข็งแรงปานกลาง (Medium vigor, MV; GAA>55-69%) ความแข็งแรงต่ำ (Low vigor, LV; GAA>35-54%) และ ไม่ยอมรับ (Unacceptable, UA; GAA<35%) (ดัดแปลงจากมาตรฐานของ AOSA, 1983) แล้วนำเมล็ดพันธุ์แต่ละกลุ่มมาทดสอบคุณภาพ ได้แก่ ความงอก การเร่งอายุ ความงอกในสภาพไร่และค่าการนำไฟฟ้า แล้วคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation, r) ระหว่างค่าการนำไฟฟ้ากับความงอก ความงอกภายหลังการเร่งอายุ และความงอกในสภาพไร่

สำหรับช่วงปลายฤดูฝน ตุลาคม-พฤศจิกายน 2558 มีเมล็ดพันธุ์ที่นำมาทดสอบจำนวน 132 ตัวอย่าง พบเมล็ดพันธุ์ความแข็งแรงสูง จำนวน 38 ตัวอย่าง (คิดเป็นร้อยละ 28.8) ความแข็งแรงปานกลาง 33 ตัวอย่าง (คิดเป็นร้อยละ 25.0) ความแข็งแรงต่ำ 31 ตัวอย่าง (คิดเป็นร้อยละ 23.5) และ ไม่ยอมรับ 30 ตัวอย่าง (คิดเป็นร้อยละ 22.7) โดยร้อยละความงอก (G) ความงอกภายหลังการเร่งอายุ (GAA) ความงอกในสภาพไร่ (FT) และค่าการนำไฟฟ้า (EC) แสดงดังรูปที่ 1 และ ตารางที่ 1 เมล็ดพันธุ์กลุ่มความแข็งแรงสูง (HV) มีความงอก ความแข็งแรงซึ่งวัดโดย GAA และ FT สูงกว่าเมล็ดพันธุ์ที่มีความแข็งแรงต่ำ สำหรับค่าการนำไฟฟ้าจะให้ผลตรงกันข้ามคือเมล็ดพันธุ์ที่มีความแข็งแรงสูงจะมีค่าการนำไฟฟ้าต่ำ เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) พบว่าค่าความงอกมาตรฐานมีความสัมพันธ์แบบแปรผันตามกับความงอกภายหลังการเร่งอายุ ซึ่งมีค่า $r = 0.7625^{**}$ แต่ความงอกมาตรฐานและความงอกภายหลังการเร่งอายุมีความสัมพันธ์กับค่าการนำไฟฟ้าแบบผกผัน โดยมีค่า $r = -0.6948^{**}$ และ -0.7529^{**} ตามลำดับ (ตารางที่ 2)

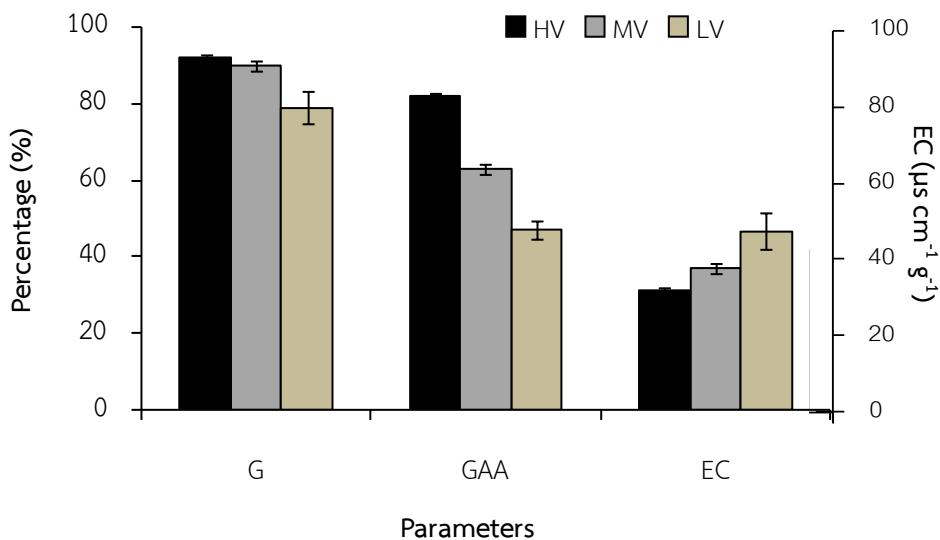
สำหรับเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่เก็บเกี่ยวช่วงฤดูแล้ง ปลายฤดูฝนต้นมีนาคม 2559 จำนวนทั้งหมด 46 ตัวอย่าง พบเมล็ดพันธุ์กลุ่มความแข็งแรงสูงจำนวน 29 ตัวอย่าง (คิดเป็นร้อยละ 63.0) ปานกลาง 13 ตัวอย่าง (คิดเป็นร้อยละ 28.3) ความแข็งแรงต่ำ 4 ตัวอย่าง (คิดเป็นร้อยละ 8.7) และไม่พบกลุ่มที่ไม่ยอมรับ (ความงอกภายหลังการเร่งอายุต่ำกว่าร้อยละ 35) ในฤดูการเพาะปลูกนี้ ร้อยละความงอก ความงอกภายหลังการเร่งอายุ และค่าการนำไฟฟ้า ให้ผลในทำนองเดียวกันกับช่วงฤดูปลายฝน 2558 (รูปที่ 2 และตารางที่ 1) นอกจากนี้พบว่าความงอกมาตรฐานมีความสัมพันธ์แบบแปรผันตามกับความงอกภายหลังการเร่งอายุ ค่า $r = 0.5578^{**}$ ส่วน

ความงอกมาตรฐานและความงอกภายหลังการเร่งอายุมีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกับค่าการนำไฟฟ้าโดยมีค่า $r = -0.6848^{**}$ และ -0.7405^{**} ตามลำดับ (ตารางที่ 2) สำหรับการทดสอบความงอกในสภาพไร่ไม่ได้แสดงในการศึกษาครั้งนี้เนื่องจากสภาพอากาศแปรปรวนในช่วงที่ทำการทดสอบในแปลง ทำให้ข้อมูลที่ได้มีความแปรปรวนค่อนข้างมาก

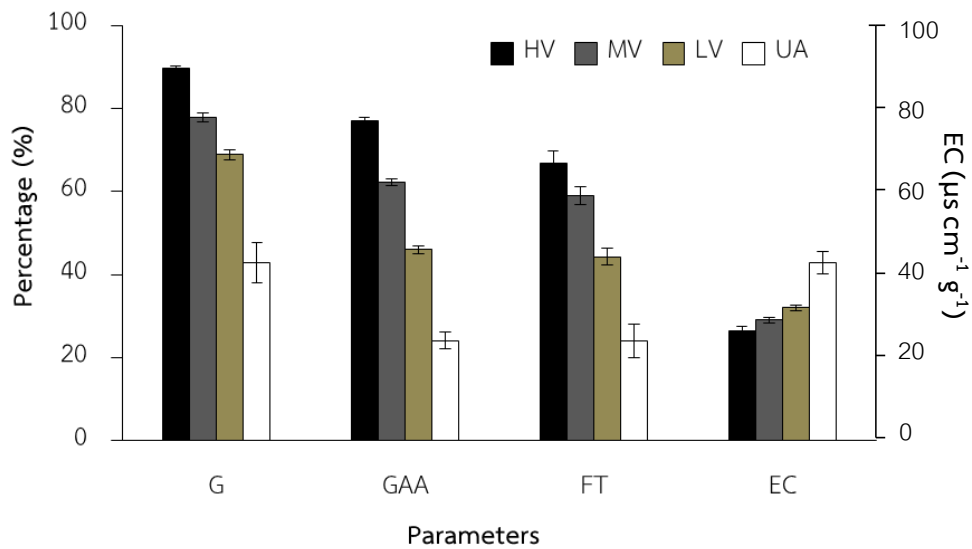
นอกจากนี้เมื่อทำการเก็บเกี่ยวเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่เก็บเกี่ยวช่วงปลายฤดูฝน ตุลาคม-พฤศจิกายน 2559 จำนวน 87 ตัวอย่าง พบเมล็ดพันธุ์กลุ่มความแข็งแรงสูงจำนวน 15 ตัวอย่าง (คิดเป็นร้อยละ 17.2) ปานกลาง 28 ตัวอย่าง (คิดเป็นร้อยละ 32.2) ความแข็งแรงต่ำ 34 ตัวอย่าง (คิดเป็นร้อยละ 39.1) และไม่ยอมรับ 10 ตัวอย่าง (คิดเป็นร้อยละ 11.5) เมื่อนำตัวอย่างมาทดสอบคุณภาพพบว่าให้ผลสอดคล้องกับทั้งสองช่วงปลูก (รูปที่ 3 และ ตารางที่ 1) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างความงอกกับความงอกภายหลังการเร่งอายุแบบแปรผันตามเท่ากับ 0.8732^{**} สำหรับค่าการนำไฟฟ้ามีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกับความงอก ความงอกภายหลังการเร่งอายุ และความงอกในสภาพไร่โดยมีค่า r เท่ากับ -0.8009^{**} -0.7005^{**} และ -0.7642^{**} ตามลำดับ (ตารางที่ 2) จากการรายงานของ Vieira *et al.* (2004) พบว่า ค่าการนำไฟฟ้ามีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกับความงอกในสภาพไร่ของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองโดยมีค่า $r = -0.5233$ และพบความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกับความงอกในห้องปฏิบัติการที่ระดับความชื้นในดิน -0.03 , -0.20 , -0.40 และ -0.60 MPa เท่ากับ -0.8040 , -0.8919 , -0.7553 และ -0.4545 ตามลำดับ



รูปที่ 1 ความงอกมาตรฐาน (%G), ความงอกภายหลังการเร่งอายุ (%GAA), ความงอกในสภาพไร่ (%FT) และ ค่าการนำไฟฟ้า (EC, $\mu\text{s cm}^{-1} \text{g}^{-1}$) ที่ระดับความแข็งแรงสูง (high vigor; HV), ปานกลาง (medium vigor; MV), ต่ำ (low vigor; LV) และ ไม่ยอมรับ (unacceptable; UA) ของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่เก็บเกี่ยวปลายฤดูฝน ตุลาคม-พฤศจิกายน 2558



รูปที่ 2 ความงอกมาตรฐาน (%G), ความงอกภายหลังการเร่งอายุ (%GAA) และค่าการนำไฟฟ้า (EC, $\mu\text{s cm}^{-1} \text{g}^{-1}$) ที่ระดับความแข็งแรงสูง (high vigor; HV), ปานกลาง (medium vigor; MV) และ ต่ำ (low vigor; LV) ของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่เก็บเกี่ยวฤดูแล้ง ปลายฤดูฝน-ต้นมีนาคม 2559



รูปที่ 3 ความงอกมาตรฐาน (%G), ความงอกภายหลังการเร่งอายุ (%GAA), ความงอกในสภาพไร่(%FT) และ ค่าการนำไฟฟ้า (EC, $\mu\text{s cm}^{-1} \text{g}^{-1}$) ที่ระดับความแข็งแรงสูง (high vigor; HV), ปานกลาง (medium vigor; MV) ต่ำ (low vigor; LV) และ ไม่ยอมรับ (unacceptable; UA) ของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่เก็บเกี่ยวปลายฤดูฝน ตุลาคม-พฤศจิกายน 2559

ตารางที่ 1 ความงอกมาตรฐาน (%G) ความงอกภายหลังการเร่งอายุ (%GAA) ความงอกในสภาพไร่ (%FT) และค่าการนำไฟฟ้า (EC, $\mu\text{s cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$) ที่ระดับความแข็งแรงสูง (High vigor, HV) ปานกลาง (Medium vigor, MV) ต่ำ (Low vigor, LV) และไม่ยอมรับ (Unacceptable, UA) ของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่เก็บเกี่ยวปลายฤดูฝน 2558 (ตุลาคม-พฤศจิกายน 2558) ฤดูแล้ง 2559 (ปลายฤดูฝน-ต้นมีนาคม 2559) และปลายฤดูฝน 2559 (ตุลาคม-พฤศจิกายน 2559)

ระดับความแข็งแรง	วิธีการตรวจสอบ คุณภาพ	ฤดูฝน 2558	ฤดูแล้ง 2559	ฤดูฝน 2559
HV	G	89	92	90
	GAA	79	82	77
	FT	60	nd	67
	EC	26.150	31.030	26.476
MV	G	83	90	78
	GAA	63	63	62
	FT	54	nd ^{1/}	59
	EC	31.976	37.000	29.088
LV	G	74	79	69
	GAA	43	47	46
	FT	42	nd	44
	EC	35.157	46.750	32.046
UA	G	64	nd	43
	GAA	24	nd	24
	FT	37	nd	24
	EC	42.455	nd	42.896

หมายเหตุ; ^{1/}nd = no data, ข้อมูลไม่ได้แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยทางสถิติเนื่องจากแต่ละช่วงฤดูปลูกมีจำนวนตัวอย่างไม่เท่ากัน

ตารางที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างความงอกภายหลังการเร่งอายุ (GAA) และ ความงอกมาตรฐาน (G), ความงอกในสภาพไร่(FT) และ ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่เก็บเกี่ยว ปลายฤดูฝน (ตุลาคม-พฤศจิกายน 2558) ฤดูแล้ง (ปลายฤดูฝน-ต้นมีนาคม 2559) และปลายฤดูฝน (ตุลาคม-พฤศจิกายน 2559)

ช่วงฤดูปลูก	วิธีการตรวจสอบ คุณภาพ	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ^{1/}			
		GAA	G	FT	EC
ฤดูปลาย ฝน/2558	GAA	1.0000	0.7625**	0.5718**	-0.7529**
	G		1.0000	0.5761**	-0.6948**
	FT			1.0000	-0.5149**
	EC				1.0000
ฤดูแล้ง/ 2559	GAA	1.0000	0.5578**	-	-0.7405**
	G		1.0000	-	-0.6848**
	FT			1.0000	-
	EC				1.0000
ฤดูปลาย ฝน/2559	GAA	1.0000	0.8732**	0.7740**	-0.7005**
	G		1.0000	0.7834**	-0.8009**
	FT			1.0000	-0.7642**
	EC				1.0000

หมายเหตุ; ^{1/}**Significant difference at the 1% level of probability

การพัฒนาวิธีการประเมินคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าวเขียวโดยการวัดค่าการนำไฟฟ้า

นำเมล็ดพันธุ์ข้าวพันธุ์ชัยนาท 72 ที่เก็บเกี่ยวฤดูแล้ง 2559 และฤดูฝน 2560 ในงานผลิตเมล็ดพันธุ์ของศูนย์วิจัยพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชพิษณุโลก มาทดสอบ ความงอก และความแข็งแรงโดยการเร่งอายุ (Germination after accelerated aging; GAA) จากนั้นนำเมล็ดพันธุ์ข้าวที่เก็บเกี่ยวในแต่ละช่วงฤดูปลูกมาจัดกลุ่มตามความแข็งแรงที่ทดสอบโดย GAA แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ ความแข็งแรงสูง (High vigor, HV; $GAA \geq 70\%$) ความแข็งแรงปานกลาง (Medium vigor, MV; $GAA 55-69\%$) ความแข็งแรงต่ำ (Low vigor, LV; $GAA < 55\%$) (ดัดแปลงจากมาตรฐานของ AOSA, 1983) แล้วนำเมล็ดพันธุ์แต่ละกลุ่มมาทดสอบคุณภาพ ได้แก่ ความงอก การเร่งอายุ ความงอกในสภาพไร่และค่าการนำไฟฟ้า แล้วคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation, r) ระหว่างค่าการนำไฟฟ้ากับความงอก ความงอกภายหลังการเร่งอายุ และความงอกในสภาพไร่

สำหรับเมล็ดพันธุ์ข้าวพันธุ์ชัยนาท 72 ที่เก็บเกี่ยวฤดูแล้ง 2559 มีเมล็ดพันธุ์ที่นำมาทดสอบ จำนวน 60 ตัวอย่าง หลังจากการทดสอบคุณภาพโดยวิธีการเร่งอายุ พบว่า เป็นเมล็ดพันธุ์ที่มีความแข็งแรงสูง (HV) ทั้งหมด (คิดเป็นร้อยละ 100) โดยร้อยละความงอก (G) ความงอกภายหลังการเร่งอายุ (GAA) ความงอกในสภาพไร่ (FT) และค่าการนำไฟฟ้า (EC) แสดงดังตารางที่ 3 โดยมีความงอกเฉลี่ย 91% ความงอกหลังจากเร่งอายุ 88% และค่าการนำไฟฟ้า $32.76 \mu\text{s cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) พบว่าค่าความงอกมาตรฐานมีความสัมพันธ์แบบแปรผันตามกับความงอกภายหลังการเร่งอายุ ซึ่งมีค่า $r = 0.0181$ แต่ความงอกมาตรฐานและความงอกภายหลังการเร่งอายุมีความสัมพันธ์กับค่าการนำไฟฟ้าแบบผกผัน โดยมีค่า $r = -0.0127$ และ -0.4572^{**} ตามลำดับ (ตารางที่ 4) ซึ่งในงานผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวเขียวจะมีแต่เมล็ดพันธุ์ข้าวที่มีความแข็งแรงสูงเป็นส่วนใหญ่ ส่วนงานผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวเหลืองจะมีเมล็ดพันธุ์ที่มีความแข็งแรงทุกระดับเนื่องจากเมล็ดพันธุ์ข้าวเหลืองเป็นพืชน้ำมัน ทำให้เมล็ดพันธุ์ข้าวเหลืองเสื่อมคุณภาพได้เร็วกว่าเมล็ดพันธุ์ข้าวเขียว

สำหรับเมล็ดพันธุ์ข้าวพันธุ์ชัยนาท 72 ที่เก็บเกี่ยวฤดูฝน 2560 มีเมล็ดพันธุ์ที่นำมาทดสอบ จำนวน 109 ตัวอย่าง หลังจากการทดสอบคุณภาพโดยวิธีการเร่งอายุ พบว่า เป็นเมล็ดพันธุ์ที่มีความแข็งแรงสูง (HV) จำนวน 76 ตัวอย่าง (คิดเป็นร้อยละ 69.7) ความแข็งแรงปานกลาง 24 ตัวอย่าง (คิดเป็นร้อยละ 22.0) และความแข็งแรงต่ำ 9 ตัวอย่าง (คิดเป็นร้อยละ 8.3) โดยร้อยละความงอก (G) ความงอกภายหลังการเร่งอายุ (GAA) ความงอกในสภาพไร่ (FT) และค่าการนำไฟฟ้า (EC) แสดงดังตารางที่ 3 เมล็ดพันธุ์กลุ่มความแข็งแรงสูง (HV) มีความงอก ความแข็งแรงซึ่งวัดโดย GAA และ FT สูงกว่าเมล็ดพันธุ์ที่มีความแข็งแรงต่ำ สำหรับค่าการนำไฟฟ้าจะให้ผลตรงกันข้ามคือเมล็ดพันธุ์ที่มีความแข็งแรงสูงจะมีค่าการนำไฟฟ้าต่ำ เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) พบว่าค่าความงอกมาตรฐานมีความสัมพันธ์แบบแปรผันตามกับความงอกภายหลังการเร่งอายุ ซึ่งมีค่า $r =$

0.7956** แต่ความงอกมาตรฐานและความงอกภายหลังการเร่งอายุมีความสัมพันธ์กับค่าการนำไฟฟ้าแบบผกผัน โดยมีค่า $r = -0.6504^{**}$ และ -0.7229^{**} ตามลำดับ (ตารางที่ 4)

การวัดความแข็งแรงด้วยวิธีการเร่งอายุเมล็ดพันธุ์เป็นวิธีที่ได้รับการยอมรับและใช้กันอย่างแพร่หลายในเมล็ดพันธุ์ เช่น ถั่วเหลือง, ข้าวโพด และข้าวสาลี เป็นต้น ซึ่งสภาวะที่ใช้ทดสอบจะแตกต่างกันไปตามชนิดเมล็ดพันธุ์ (Hampton and Tekrony, 1995; AOSA, 1983) ความแข็งแรงที่ทดสอบโดยความงอกภายหลังการเร่งอายุ นอกจากเป็นวิธีที่สามารถประเมินอายุการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์แล้ว (Delouche and Baskin, 1973; Milosevic *et al.*, 2010) ยังพบว่ามีความสัมพันธ์กับความงอกในสภาพไร่ (Lovato *et al.*, 2001; Milosevic *et al.*, 2010) สอดคล้องกับคำแนะนำของ Hampton and Tekrony (1995) ซึ่งกล่าวว่า ความงอกในสภาพไร่มีความสัมพันธ์กับค่าการนำไฟฟ้าและความงอกภายหลังการเร่งอายุ แต่อย่างไรก็ตามการวัดความแข็งแรงด้วยวิธีการเร่งอายุในเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองใช้เวลาค่อนข้างนานคือ 11 วัน สำหรับค่าการนำไฟฟ้าเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่สามารถบอกถึงความแข็งแรงในเมล็ดพันธุ์ได้โดยใช้เวลาเพียง 2 วัน ซึ่งค่าการนำไฟฟ้ามีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกับความงอกและความแข็งแรง จากงานวิจัยของ Kolasinska (2000) พบว่าการวัดค่าการนำไฟฟ้าเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงในการตรวจสอบความแข็งแรงในเมล็ด common bean ซึ่งพบความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้ากับการงอกในสภาพอากาศเย็น การวัดค่าการนำไฟฟ้าเป็นการบ่งชี้ถึงค่าของสารละลายที่รั่วไหลออกมาภายนอกเซลล์ โดยปกติเซลล์เมมเบรนมีโครงสร้างเป็นลิพิดไบเลเยอร์ (lipid bilayer) มีคุณสมบัติในการเป็นเยื่อเลือกผ่าน ทำหน้าที่ในการกักเก็บสารละลายต่างๆ ไม่ให้รั่วไหลออกมาภายนอกเซลล์ (วันชัย, 2537) ในเมล็ดพันธุ์ที่มีความแข็งแรงสูง เซลล์เมมเบรนยังสามารถทำหน้าที่ในการกักเก็บได้ดี แต่เมื่อความแข็งแรงในเมล็ดลดลงความสามารถในการกักเก็บสารละลายของเซลล์เมมเบรนจะลดลง เนื่องจากความเสียหายหรือการเสียรูปร่างของเซลล์เมมเบรน (Delouche and Baskin, 1973; Robert, 1973) ทำให้สารละลายภายในรั่วไหลออกสู่ภายนอกได้ง่ายขึ้น เมื่อวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้าจึงมีค่าสูงขึ้นตามความแข็งแรงที่ลดลง (ศานิต, 2552) ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่าค่าการนำไฟฟ้าของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 มีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกับความงอกภายหลังการเร่งอายุ และมีค่าค่อนข้างสูง (มากกว่า 0.7) เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความสัมพันธ์อื่นๆ ทั้งสามฤดูปลูก สำหรับค่าการนำไฟฟ้าของเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวก็เป็นไปในทิศทางเดียวกับเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง ดังนั้นการวัดค่าการนำไฟฟ้าอาจเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อประเมินความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 และเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวพันธุ์ชุนนาท72 แทนวิธีการเร่งอายุ ซึ่งใช้เวลาเพียงสองวันในขณะที่วิธีการเร่งอายุใช้เวลาถึง 11 วัน

ตารางที่ 3 ความงอกมาตรฐาน (%G) ความงอกภายหลังการเร่งอายุ (%GAA) ความงอกในสภาพไร่ (%FT) และ ค่าการนำไฟฟ้า (EC, $\mu\text{s cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$) ที่ระดับความแข็งแรงสูง (High vigor, HV) ปานกลาง (Medium vigor, MV) ต่ำ (Low vigor, LV) ของเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวพันธุ์ชัยนาท 72 ที่เก็บเกี่ยวฤดูแล้ง 2559 และฤดูฝน 2560

ระดับความแข็งแรง	วิธีการตรวจสอบคุณภาพ	ฤดูแล้ง 2559	ฤดูฝน 2560
HV	G	91	94
	GAA	88	85
	FT	58	58
	EC	32.76	28.44
MV	G	-	81
	GAA	-	63
	FT	-	59
	EC	-	38.39
LV	G	-	77
	GAA	-	48
	FT	-	40
	EC	-	41.85

ตารางที่ 4 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างความมอกภายหลังการเร่งอายุ (GAA) และ ความมอกมาตรฐาน (G), ความมอกในสภาพไร่(FT) และ ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวพันธุ์ชัยนาท72 ที่เก็บเกี่ยว ฤดูแล้ง 2559 และฤดูฝน 2560

ช่วงฤดูปลูก	วิธีการตรวจสอบ คุณภาพ	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ^{1/}			
		GAA	G	FT	EC
ฤดูแล้ง/2559	GAA	1.0000	0.0181	-0.0469	-0.4572**
	G		1.0000	0.0695	-0.0127
	FT			1.0000	0.0186
	EC				1.0000
ฤดูฝน/2560	GAA	1.0000	0.7956**	0.1965	-0.7229**
	G		1.0000	0.1222	-0.6504**
	FT			1.0000	-0.2482**
	EC				1.0000

หมายเหตุ; ^{1/}**Significant difference at the 1% level of probability

9. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

ค่าการนำไฟฟ้าของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองมีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกับความมอกภายหลังการเร่งอายุค่อนข้างสูงโดยให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) มากกว่า 0.7 ขึ้นไปทั้งสามฤดูปลูก สำหรับค่าการนำไฟฟ้าของเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวก็เป็นไปในทิศทางเดียวกับเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง ดังนั้น ค่าการนำไฟฟ้าเป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ประเมินความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองและถั่วเขียวได้

10. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

10.1 นำไปใช้ประโยชน์ในงานผลิตเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองและถั่วเขียว

11. คำขอบคุณ (ถ้ามี)

12. เอกสารอ้างอิง

- จวงจันท์ ดวงพัตรา. 2529. *การตรวจสอบและวิเคราะห์เมล็ดพันธุ์*. ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ. 194 หน้า
- วันชัย จันท์ประเสริฐ. 2537. *สรีรวิทยาเมล็ดพันธุ์*. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- ศานิต สวัสดิกาญจน. 2552. ความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์และวิธีประเมินความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์. *วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์* 8:107-118.
- AOSA. 1983. Seed Vigor Testing Handbook. Contribution No 32 to the Handbook of Seed Testing. Association of Official Seed Analysts. NE, USA.
- De Carvalho, L. F., C. S. Sedyama, M. S. Reis, D. C. F. S. Dias and M. A. Moreira. 2009. Influence of soaking temperature of soybean seeds in the electric conductivity test to evaluate physiological quality. *Rev. Bras. de Sementes*. 31: 9-17.
- Delouche, J. C. and C. C. Baskin. 1973. Accelerated aging techniques for predicting the relative storability of seed Lot. *Seed Sci. and Technol.*1: 427-452.
- Hampton, J.G. and D. M. TeKrony. 1995. Handbook of vigour test methods, 3rd Edition, The International Seed Testing Association, Zurich, Switzerland.
- ISTA. 2014. International rules for seed testing. International Seed Testing Association, Basesdorf, Switzerland.
- Kolasinska, K., J. Szyrmer and S. Dul. 2000. Relationship between laboratory seed quality tests and field emergence of common bean seed. *Crop Sci.* 40: 470-475.
- Lovata, A., E. Noli, A. F. S. Lovata, E. Beltrami and E. Grassi. 2001. Comparison between three cold tests low temperatures, accelerated ageing test and field emergence of maize seed. Seed symposium, ISTA congress, Angers, France.
- Matthews, S. and A. A. Powell. 1981. Electrical conductivity test. *p.* 37-42. *In:* D. A. Perry. Handbook of Vigour Test Methods. International Seed Testing Association. Zürich, Switzerland.
- Milosevic, M., M. Vujakovic and D. Karagic. 2010. Vigor tests as indicators of seed viability. *Genetika.* 42:103-118.
- Robert, E. H. 1973. Loss of seed viability: ultrastructure and physiological aspects. *Seed Sci. and Technol.* 1: 529-545.

- Szemruch, C., O. Del Longo, L. Ferrari, S. Renteria, M. Murcia, M. Cantamutto and D. Rondanini. 2015. Ranges of vigor based on the electrical conductivity test in dehulled sunflower seeds. *Res. J. Seed Sci.* 8: 12-21.
- Vieira, R. D., A. S. Neto, S. R. M. Bittencourt and M. Panobianco. 2004. Electrical conductivity of the seed soaking solution and soybean seedling emergence. *Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.)*. 61: 164-168.