วารสารแก่นเกษตร THAIJO

Content List Available at ThaiJo

Khon Kaen Agriculture Journal

Journal Home Page : https://li01.tci-thaijo.org/index.php/agkasetkaj

ผลของสารจิบเบอเรลลินและบราสสิโนสเตียรอยด์ต่อการสร้างปมไรโซเบียม การเจริญเติบโต และผลผลิตเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองสายพันธุ์ก้าวหน้าที่ปลูกในฤดูแล้งหลังนา

Effects of gibberellins and brassinosteroids on nodulation, growth and seed yield of elite soybean lines grown after rice in dry season

กัณทิมา ทองศรี[1], จวงจันทร์ ดวงพัตรา[2], กนกวรรณ เที่ยงธรรม[1] และ จุฑามาศ ร่มแก้ว[1]*

Kantima Thongsri[1], Juangjun Duangpatra[2], Kanokwan Teingtham[1] and Jutamas Romkaew[1]*

[1] *ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม 73140*
[1] *Department of Agronomy, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140, Thailand.*
[2] *ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900*
[2] *Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok 10900*

บทคัดย่อ: การคลุกเมล็ดและการพ่นสารจิบเบอเรลลิน (GA_3) และบราสสิโนสเตียรอยด์ (EBL) สามารถกระตุ้นความงอกและการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองภายใต้สภาพอุณหภูมิต่ำ การศึกษาในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลของสาร GA_3 และ EBL ต่อการสร้างปมไรโซเบียม การเจริญเติบโต และผลผลิตเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองสายพันธุ์ CM0701-24 พบว่า การคลุกเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองด้วยสาร GA_3 และ EBL ที่ใส่เชื้อไรโซเบียมชนิด *Bradyrhizobium japonicum* (USDA 110) ทำให้มีจำนวนและน้ำหนักสดของปมไรโซเบียมและปริมาณการดูดใช้ไนโตรเจนทั้งหมดของถั่วเหลืองเพิ่มขึ้น การคลุกเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองด้วยสาร GA_3 100 ppm สาร EBL 0.50 ppm และสาร GA_3 50 ppm ร่วมกับสาร EBL 0.25 ppm มีผลทำให้ความงอกในไร่เพิ่มขึ้นและเวลาเฉลี่ยในการงอกลดลงภายใต้สภาวะอุณหภูมิต่ำ การคลุกเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองด้วยสาร GA_3 50 ppm ร่วมกับสาร EBL 0.25 ppm ก่อนปลูก ตามด้วยการพ่นสาร GA_3 100 ppm ที่ระยะออกดอก (R1) ทำให้ผลผลิตเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับการคลุกและไม่คลุกสารทุกกรรมวิธีร่วมกับการพ่นสารด้วยน้ำกลั่น
คำสำคัญ: กรดจิบเบอเรลลิน; บราสสิโนสเตียรอยด์; ปมไรโซเบียม; ความงอก; ถั่วเหลือง

ABSTRACT: Application of Gibberellin (GA_3) and Brassinosteroids (EBL) as seed dressing and foliar application has been reported that it can stimulate seed germination and growth of soybean under low temperature. The objective of this study was to evaluate the effects of GA_3 and EBL application on nodulation, growth, seed yield of soybean CM0701-24. The results showed that soybean seed dressing with GA_3, EBL and inoculated by *Bradyrhizobium japonicum* (USDA 110) increased number of nodules, nodule fresh weight and nitrogen uptake. Soybean seed dressing with GA_3 100 ppm, EBL 0.50 ppm, and GA_3 50 ppm with EBL 0.25 ppm increased field emergence and decreased mean germination time under low temperature. Soybean seed dressing with GA_3 50 ppm with EBL 0.25 ppm prior to planting followed by foliar application with GA_3 100 ppm at flowering stage (R1) gave higher soybean seed yield than treated and non-treated seed with distilled water as foliar application.
Keywords: gibberellin acid; brassinosteroids; rhizobium nodule; seed germination; soybean

* Corresponding author: agrjur@ku.ac.th

Received: date; November 11, 2020 Accepted: date; April 27, 2021 Published: date; December 5, 2021

บทนำ

ประเทศไทยมีความต้องการใช้เมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง 145,063 ตัน แต่ผลิตได้เพียง 2,530 ตัน ซึ่งไม่เพียงพอกับความต้องการใช้ทั้งประเทศ (กองวิจัยพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืช, 2563) ปัญหาของการผลิตเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองเกิดจากผลผลิตและคุณภาพเมล็ดพันธุ์ต่ำ มีต้นทุนการผลิตสูง ทำให้เกษตรกรนิยมปลูกพืชอื่นที่มีรายได้ดีกว่า เมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่มีผลผลิตและคุณภาพดีส่วนใหญ่ได้จากการปลูกในฤดูแล้งหลังนาระหว่างเดือนธันวาคมถึงเดือนมกราคม แต่จะมีผลกระทบจากอุณหภูมิต่ำที่ลดลงเหลือ 10-15°C (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2561) อุณหภูมิมีผลต่อกระบวนการงอกของเมล็ดตั้งแต่ระยะดูดน้ำ (imbibition) จนกระทั่งเจริญเติบโตเป็นต้นกล้า (resumption of growth) (จวงจันทร์, 2529) อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการงอกและการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองอยู่ระหว่าง 25-30°C หากอุณหภูมิต่ำกว่า 10°C เมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองไม่งอก หรืองอกช้ากว่าปกติ (Jomol et al., 2000) เนื่องจากอุณหภูมิต่ำมีผลไปชะลอการดูดน้ำของเมล็ด กิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการหายใจและการย่อยอาหารในเมล็ดลดลง ทำให้การงอก การเจริญเติบโตของต้นกล้า วันออกดอก และวันเก็บเกี่ยวล่าช้าออกไป 5-10 วัน (Herner, 1990)

สำหรับถั่วเหลืองเชียงใหม่ 60 เป็นพันธุ์ที่เกษตรกรนิยมปลูกทางภาคเหนือแต่ไม่ทนต่ออุณหภูมิต่ำ ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่ กรมวิชาการเกษตร จึงได้พัฒนาสายพันธุ์ถั่วเหลือง CM0701-24 ที่เป็นสายพันธุ์ก้าวหน้า ให้ผลผลิตสูงและปรับตัวในฤดูแล้งได้ดีกว่าถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 (อ้อยทิน และคณะ, 2558) นอกจากมีสายพันธุ์ที่ทนทานต่ออุณหภูมิต่ำแล้ว การใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตกลุ่มจิบเบอเรลลิน (GA_3) และบราสสิโนสเตียรอยด์ (EBL) สามารถช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตทางยอดและราก ส่งเสริมการงอกและความแข็งแรงของต้นกล้า เพิ่มประสิทธิภาพการสร้างปมไรโซเบียม และช่วยให้พืชทนทานต่ออุณหภูมิต่ำได้ (Davies, 1995; Ferguson et al., 2005; Li et al., 2013) จะเห็นได้จาก Wang et al. (1996) พบว่า การคลุกเมล็ดด้วยสาร GA_3 0.10 mM สามารถเพิ่มความงอกในไร่ และการเจริญเติบโตของต้นกล้าถั่วเหลืองได้ดีในสภาวะอุณหภูมิต่ำในดิน เช่นเดียวกับ กัณทิมา และคณะ (2562ก) ที่พบว่า การคลุกเมล็ดถั่วเหลืองด้วยสาร GA_3 100 ppm และ EBL 0.50 ppm มีประสิทธิภาพเพิ่มความแข็งแรงของต้นกล้าภายใต้สภาวะอุณหภูมิต่ำ ส่วนการพ่นสาร GA_3 100 ppm ที่ระยะออกดอก (R1) สามารถเพิ่มการเจริญเติบโตทางลำต้น กิ่ง ใบ และดอก เพิ่มปริมาณการติดเมล็ด และผลผลิตเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง (Sarkar et al., 2002) และ Zhang et al. (2008) รายงานว่า การพ่นสาร EBL 0.10 ppm ที่ระยะออกดอก (R1) และระยะติดฝัก (R3) สามารถลดการสูญเสียผลผลิตของถั่วเหลืองและเพิ่มความทนทานต่อสภาพอากาศในฤดูแล้งได้

ถึงแม้การศึกษาที่ผ่านมาถึงผลของการคลุกเมล็ดถั่วเหลืองและการพ่นด้วยสาร GA_3 และ EBL สามารถช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตและเพิ่มผลผลิตถั่วเหลืองได้ แต่การศึกษาในถั่วเหลืองสายพันธุ์ CM0701-24 ที่เป็นสายพันธุ์ก้าวหน้าของประเทศไทยมีเพียงข้อมูลผลของ GA_3 และ EBL ที่มีต่อความงอกมาตรฐานและความแข็งแรงที่ทดสอบในห้องปฏิบัติการ แต่ไม่มีข้อมูลต่อการสร้างปมไรโซเบียม และผลผลิตภายใต้สภาวะอุณหภูมิต่ำ หากมีวิธีการที่สามารถจะช่วยบรรเทาผลกระทบของอุณหภูมิต่ำที่มีต่อความงอกในไร่ การสร้างปมไรโซเบียมและผลผลิตได้ ก็จะเป็นประโยชน์ในการส่งเสริมให้กับเกษตรกรผู้ผลิตเมล็ดพันธุ์ต่อไป ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลการใช้สารจิบเบอเรลลินและบราสสิโนสเตียรอยด์ต่อการสร้างปมไรโซเบียม การเจริญเติบโต และผลผลิตเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองสายพันธุ์ก้าวหน้าที่ปลูกในฤดูแล้งหลังนา

วิธีการศึกษา

1. การศึกษาผลของการคลุกเมล็ดพันธุ์ด้วยสาร GA_3 และ EBL ต่อการสร้างปมไรโซเบียมและปริมาณการดูดใช้ไนโตรเจนทั้งหมดของถั่วเหลือง

นำเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองสายพันธุ์ CM0701-24 ที่เก็บเกี่ยวปลายฤดูฝน ปี 2562 จากศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชพิษณุโลก มาตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์เบื้องต้น มีความชื้นเมล็ดพันธุ์ 8.9% ความงอกมาตรฐาน 91% และความแข็งแรงโดยวิธีการเร่งอายุ 73% ตรงตามมาตรฐานชั้นพันธุ์ขยายของกรมวิชาการเกษตร (สถาบันวิจัยพืชไร่, 2537) วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ มี 7 กรรมวิธี จำนวน 6 ซ้ำ นำเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองมาคลุกเมล็ดตามกรรมวิธีต่าง ๆ ดังนี้ 1) สาร GA_3 100 ppm 2) สาร EBL 0.50 ppm 3) สาร GA_3 50 ppm ผสมกับสาร EBL 0.25 ppm 4) น้ำกลั่น และ 5) การไม่คลุกเมล็ด (กรรมวิธีที่ 1-5 ปลูกในสารละลายที่ไม่มีธาตุไนโตรเจน (N-free plant nutrient) ตามสูตร Broughton and Dilworth (1971) และใส่เชื้อไรโซเบียม) 6) ไม่คลุกเมล็ดและปลูกในสารละลาย N-free plant nutrient และ 7) ไม่คลุกเมล็ดและปลูกในสารละลายมีธาตุไนโตรเจน (plus-Nitrogen control; 70 ppm N จากสารละลาย 0.05% KNO_3) (กรรมวิธีที่ 6 และ 7 ไม่ใส่เชื้อไรโซเบียม) จากนั้น นำเมล็ดพันธุ์ที่คลุกสารแต่ละกรรมวิธีเพาะระหว่าง

กระดาษเพาะ เมื่อถั่วเหลืองมีความยาวราก 1 ซม. ย้ายปลูกใน Leonard's jar ขวดละ 3 เมล็ด/ซ้ำ จำนวน 6 ซ้ำ ใช้เวอร์มิคูไลท์ (Vermiculite) เป็นวัสดุปลูก และใส่เชื้อไรโซเบียมชนิด *Bradyrhizobium japonicum* (USDA 110) ที่เลี้ยงเชื้อในอาหารเหลว Yeast mannitol broth medium (YMB) ลักษณะเชื้อเจริญอยู่ในระยะ last log phase มีค่า optical density (O.D.) เท่ากับ 1.07 (ความเข้มข้นเซลล์ ประมาณ 10^9 หน่วยโคโลนี/มล.) ที่ความยาวคลื่นแสง 610 nm จำนวน 1 มล./เมล็ด ตามกรรมวิธีที่กำหนด กลบเมล็ดด้วยเวอร์มิคูไลท์และเก็บไว้ในสภาพโรงเรือน

เมื่อถั่วเหลืองอายุ 30 วันหลังปลูก เก็บเกี่ยวถั่วเหลืองจำนวน 3 ต้น/ซ้ำ จากแต่ละกรรมวิธี บันทึกข้อมูล 1) ความยาวยอดและราก วัดความยาวยอดจากโคนต้นที่ติดกับพื้นผิววัสดุปลูกจนถึงปลายยอด และวัดความยาวรากจากโคนต้นจนถึงปลายราก 2) จำนวนและน้ำหนักสดปมไรโซเบียม เก็บปมไรโซเบียมจากบริเวณรากพืชเพื่อนับจำนวนและชั่งน้ำหนักสดปมไรโซเบียม และ 3) วิเคราะห์ปริมาณการดูดใช้ไนโตรเจนทั้งหมด โดยอบตัวอย่างต้นและรากที่อุณหภูมิ 80°C นาน 24 ชม. ชั่งน้ำหนักแห้งและบดตัวอย่างพืช ย่อยสลายตัวอย่างพืชด้วย Digestion mixture (H_2SO_4-Na_2SO_4-Semixture) และวิเคราะห์ปริมาณการดูดใช้ไนโตรเจนทั้งหมดของถั่วเหลืองด้วยวิธี Kjeldahl's method (Bremner, 1960)

2. การศึกษาผลของการคลุกเมล็ดพันธุ์และการพ่นสาร GA_3 และ EBL ที่มีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วเหลือง

วางแผนการทดลองแบบ Split plot in RCBD จำนวน 4 ซ้ำ Main plot คือ การคลุกเมล็ด 5 กรรมวิธี ได้แก่ 1) สาร GA_3 100 ppm 2) สาร EBL 0.50 ppm 3) สาร GA_3 50 ppm ร่วมกับสาร EBL 0.25 ppm 4) น้ำกลั่น และ 5) ไม่คลุกเมล็ด (ชุดควบคุม) และ Sub plot คือ การพ่นสาร 5 วิธี ได้แก่ 1) สาร GA_3 50 ppm 2) สาร GA_3 100 ppm 3) สาร EBL 0.25 ppm 4) สาร EBL 0.50 ppm และ 5) น้ำกลั่น (ชุดควบคุม)

นำเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองสายพันธุ์ CM0701-24 ที่ได้มาจากศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชพิษณุโลกเช่นเดียวกับข้อที่ 1 คลุกเมล็ดพันธุ์ด้วยสารตามกรรมวิธีที่กำหนดอัตรา 50 มล./เมล็ด 1 กก. พร้อมปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมถั่วเหลืองของกลุ่มวิจัยจุลินทรีย์ดิน สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร อัตรา 15 ก./เมล็ด 1 กก. ปลูกทดสอบ ณ แปลงเกษตรกร ตำบลสันโป่ง อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ พิกัด UTM Zone 47N (WGS84) ค่า X: 495622.6236 และ Y: 2097118.0495 ฤดูแล้ง 2563 (ธันวาคม 2562-เมษายน 2563) ขนาดแปลงย่อย 4x6 ตร.ม. จำนวน 8 แถว ๆ ยาว 6 ม. ระยะปลูก 50x20 ซม. ก่อนปลูก 3 วัน ให้น้ำในแปลงหลังเตรียมดินเสร็จ เมื่อปลูกเสร็จป้องกันกำจัดวัชพืชก่อนงอกด้วยสารอะลาคลอร์ 48% W/V EC อัตรา 200 มล./น้ำ 20 ล. ถอนแยกถั่วเหลืองเหลือ 3 ต้นต่อหลุม และใส่ปุ๋ยเคมี 12-24-12 อัตรา 25 กก./ไร่ ที่ 14 วันหลังปลูก ให้น้ำตามร่องทุก ๆ 15 วัน และพ่นสารไตรอะโซฟอส 40% W/V EC อัตรา 40 มล./น้ำ 20 ลิตร ป้องกันแมลงวันเจาะลำต้นถั่ว 2 ครั้ง ที่อายุ 7 และ 14 วันหลังปลูก เมื่อถั่วเหลืองเข้าสู่ระยะออกดอก (R1) พ่นสาร GA_3 EBL และน้ำกลั่น 40 ลิตร/ไร่ ตามกรรมวิธีที่กำหนด ผสมสาร Tween 20 อัตรา 60 มล. เพื่อลดแรงตึงผิวของใบ และพ่นสารคาร์เบนดาซิม 50% WP อัตรา 20 ก./น้ำ 20 ลิตร ป้องกันโรคเมล็ดสีม่วง 2 ครั้ง ที่ระยะติดฝัก (R3) และระยะติดเมล็ดเต็ม (R6) ตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร (2547) เก็บเกี่ยวถั่วเหลืองที่อายุ 96 วันหลังปลูก พื้นที่เก็บเกี่ยว 3x5 ตร.ม./แปลงย่อย

บันทึกข้อมูล

1. การเจริญเติบโต ได้แก่ 1) ความงอกในไร่ ตรวจนับความงอกในไร่ทุกวันเป็นเวลา 15 วันหลังปลูก ประเมินเมื่อต้นกล้าถั่วเหลืองโผล่พ้นดินมีใบเลี้ยงแผ่กาง 2) เวลาเฉลี่ยในการงอก ตรวจนับความงอกในไร่ทุกวันเป็นเวลา 15 วันหลังปลูก คำนวณเวลาเฉลี่ยในการงอกตามวิธี Ellis and Roberts (1981) และ 3) ความสูงข้อแรก ความสูงต้น จำนวนข้อต่อต้น จำนวนกิ่งต่อต้น สุ่มวัดความสูงข้อแรกของต้นโดยวัดความยาวจากโคนต้นถึงข้อแรกของต้นถั่วเหลือง และความสูงต้นจากโคนต้นถึงปลายยอด นับจำนวนข้อและจำนวนกิ่งจากต้นถั่วเหลือง 10 ต้น ก่อนเก็บเกี่ยวแต่ละแปลงย่อย

2. ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต เก็บเกี่ยวถั่วเหลืองเมื่อฝักเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล 95% บันทึกข้อมูล 1) จำนวนฝักต่อต้นและจำนวนเมล็ดต่อฝัก โดยสุ่มนับจำนวนฝักต่อต้นและจำนวนเมล็ดต่อฝักจากถั่วเหลือง 10 ต้น 2) น้ำหนักแห้งต้นและฝัก สุ่มตัวอย่างถั่วเหลือง 10 ต้น นำไปอบที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 24 ชม. ชั่งน้ำหนักแห้งต้นและฝัก 3) ผลผลิตเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง และน้ำหนัก 100 เมล็ด กะเทาะเมล็ดถั่วเหลือง ลดความชื้น และคัดแยกทำความสะอาดเมล็ดพันธุ์แล้วชั่งน้ำหนักผลผลิตเมล็ดพันธุ์ สุ่มเก็บตัวอย่างเมล็ด 100 เมล็ด เพื่อชั่งน้ำหนักเมล็ด

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลคุณภาพเมล็ดพันธุ์ที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (analysis of variance) เพื่อหาค่า F-test แปลงข้อมูลความงอกในไร่ที่มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์เพื่อวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้วิธี Arcsine transformation และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของลักษณะต่าง ๆ ด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรม R version 4.0.3 (Bunny-Wunnies Freak Out) ตามวิธีการของ R Core Team (2020)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

1. การศึกษาผลของการคลุกเมล็ดพันธุ์ด้วยสาร GA_3 และ EBL ต่อการสร้างปมไรโซเบียมและปริมาณการดูดใช้ไนโตรเจนทั้งหมดของถั่วเหลือง

เมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองสายพันธุ์ CM0701-24 ที่คลุกด้วยสาร GA_3 และ EBL ที่มีการใส่เชื้อไรโซเบียมทุกกรรมวิธี มีความยาวยอดและความยาวรากไม่แตกต่างกันทางสถิติกับเมล็ดที่คลุกน้ำกลั่นและไม่คลุกสาร แต่เมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่คลุกด้วยสาร EBL 0.50 ppm และสาร GA_3 50 ppm ร่วมกับสาร EBL 0.25 ppm ที่มีการใส่เชื้อไรโซเบียม สามารถสร้างปมไรโซเบียมบริเวณรากได้ 16 และ 12 ปม/ต้น ตามลำดับ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติกับเมล็ดที่ไม่คลุกสาร และเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่คลุกด้วยสาร GA_3 50 ppm ร่วมกับสาร EBL 0.25 ppm และสาร GA_3 100 ppm ที่มีการใส่เชื้อไรโซเบียม มีน้ำหนักสดของปมไรโซเบียมเฉลี่ยเท่ากับ 98 และ 95 มก./ต้น ตามลำดับ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติกับเมล็ดที่ไม่คลุกสาร เมื่อพิจารณาปริมาณการดูดใช้ไนโตรเจนทั้งหมดของถั่วเหลืองเพื่อประเมินประสิทธิภาพการตรึงไนโตรเจนร่วมกับถั่วเหลือง พบว่า เมล็ดถั่วเหลืองที่คลุกด้วยสาร GA_3 และ EBL ทุกระดับความเข้มข้นที่มีการใส่เชื้อไรโซเบียม มีปริมาณการดูดใช้ไนโตรเจนทั้งหมดของถั่วเหลืองอยู่ระหว่าง 9.01-10.05 มก. N/ต้น มากกว่าเมล็ดที่ไม่คลุกสารที่มีการใส่และไม่ใส่เชื้อไรโซเบียม (Table 1) ถั่วเหลืองที่มีการสร้างปมไรโซเบียมที่มีประสิทธิภาพจะมีลักษณะรูปร่างแบบทรงกลมและขนาดค่อนข้างสม่ำเสมอเกิดขึ้นกระจายบริเวณรากแก้ว (Agoyi et al., 2016) เมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่คลุกด้วยสาร GA_3 100 ppm ถึงแม้ว่าจะมีจำนวนปมไรโซเบียมน้อยกว่าเมล็ดที่คลุกด้วยสาร GA_3 และ EBL ในระดับความเข้มข้นอื่น ๆ แต่ปมมีขนาดใหญ่และน้ำหนักสดสูงกว่าเมล็ดที่คลุกด้วยสาร EBL 0.50 ppm ส่วนเมล็ดที่คลุกน้ำกลั่นและไม่คลุกสารที่มีการใส่เชื้อไรโซเบียม ปมไรโซเบียมมีรูปร่างแบบทรงกลมเช่นเดียวกันแต่ขนาดเล็กและน้ำหนักสดน้อยกว่าเมล็ดที่คลุกสาร GA_3 และ EBL และปมที่เกิดขึ้นกระจายตามรากแขนงมีประสิทธิภาพการตรึงไนโตรเจนน้อยกว่าปมที่เกิดขึ้นกระจายบริเวณรากแก้วทำให้มีปริมาณการดูดใช้ไนโตรเจนทั้งหมดของถั่วเหลืองต่ำ (**Figure 1**)

เมื่อคลุกเมล็ดถั่วเหลืองด้วยสาร GA_3 และ EBL พบว่า สาร GA_3 สามารถกระตุ้นการงอกของรากแรกเกิดและขยาย hypocotyls ให้ยืดยาวในระยะแรกของการเจริญเติบโตแต่ชะลอการเกิดรากแขนงใหม่ ส่วน EBL ส่งเสริมการยืดยาวของ epicotyls ในระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและเกิดรากแขนงจำนวนมาก (Leubner-Metzger; 2001) ทำให้ความยาวยอดและรากแต่ละกรรมวิธีไม่มีความแตกต่างกันในสภาพโรงเรือนเมื่อถั่วเหลืองอายุ 30 วันหลังปลูก แต่มีบทบาทต่อการสร้างปมไรโซเบียมระหว่างการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง บริเวณรากพืชจะมีการปลดปล่อยสารประกอบอินทรีย์ต่าง ๆ ที่เกิดจากการย่อยสลายของเอนไซม์ α-amylase ที่สาร GA_3 สังเคราะห์ขึ้น ทำให้ได้น้ำตาลเป็นแหล่งพลังงานและคาร์บอนของไรโซเบียม ภายหลังการยึดตัวกันระหว่างรากพืชกับไรโซเบียม (root colonization) จะมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของปลายรากอ่อนที่เจริญ เกิดการสังเคราะห์ GA_3 BRs และ IAA แล้วปล่อยบริเวณราก สามารถควบคุมกระบวนการสร้างปมไรโซเบียมโดยกระตุ้นการขยายตัวและการอ่อนตัวของผนังเซลล์รากอ่อนพืชทำให้เชื้อไรโซเบียมเข้าสู่รากพืชได้ (Ferguson and Mathesius, 2003) ซึ่งเมล็ดที่คลุกสาร GA_3 เกิดปมไรโซเบียมน้อยแต่มีการสะสมน้ำหนักมาก ส่วนเมล็ดคลุกสาร EBL เกิดปมไรโซเบียมมากแต่น้ำหนักไม่แตกต่างกับเมล็ดคลุกสารชนิดอื่น ๆ ทำให้เมล็ดที่คลุกสาร GA_3 ร่วมกับ EBL มีจำนวนและน้ำหนักปมไรโซเบียมสูงตามไปด้วย ทั้งนี้การสร้างปมไรโซเบียมขึ้นอยู่กับอายุของพืช ความเข้มข้นของฮอร์โมนพืชที่เหมาะสม และจำนวนรากแขนงของพืช (Ferguson et al., 2005) ซึ่งสอดคล้องกับ Méndez et al. (2014) ที่พบว่า การใช้สารดังกล่าวทำให้การเจริญของเชื้อไรโซเบียมในการยึดตัวกันกับเนื้อเยื่อรากพืชเพิ่มขึ้น อีกทั้งยังมีผลต่อกิจกรรมเอนไซด์ gibberellin oxidase ของเชื้อ *Bradyrhizobium japonicum* ที่ผลิตสารจิบเบอเรลลินและบราสสิโนสเตียรอยด์ภายใต้สภาวะพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน (symbiosis) นอกจากนี้ Zhang et al. (1997) พบว่า การใช้สารจิบเบอเรลลินและบราสสิโนสเตียรอยด์คลุกเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองก่อนปลูกช่วยเพิ่มจำนวนปมไรโซเบียม และส่งเสริมประสิทธิภาพการตรึงไนโตรเจนของถั่วเหลืองได้มากขึ้น

Table 1 Effects of gibberellins and brassinosteroids as seed dressing with rhizobium on seedling growth, nodulation and N uptake of soybean CM0701-24 under Leonard jars

Treatments	Shoot length (cm)	Root length (cm)	Number of nodules/plant	Nodule FW (mg/plant)	N uptake (mg/plant)
1. GA_3 100 ppm (+)	116.33	29.67	9 ab[1/]	95.00 a	9.01 a
2. EBL 0.50 ppm (+)	91.00	27.33	16 a	73.83 ab	10.05 a
3. GA_3 50 ppm + EBL 0.25 ppm (+)	88.50	24.17	12 a	98.00 a	9.51 a
4. Distilled water (+)	85.17	34.83	5 bc	50.77 b	7.85 ab
5. Non-treated (+)	94.67	37.00	3 c	39.17 b	7.54 bc
6. Non-treated (-)	90.00	26.50	0 d	0 c	5.61 c
7. Non-treated + N control (-)	87.00	27.50	0 d	0 c	7.12 bc
Mean	93.24	29.57	6	50.97	8.10
F-test	ns	ns	**	**	**
C.V. (%)	20.15	32.42	86.10	65.18	25.44

[1/] Means followed by a common lowercase letter within the same row are not significantly different at P<0.05 by DMRT

ns = not significant, ** = significant at P ≤ 0.01

(+) inoculated rhizobium, (-) non-inoculated rhizobium

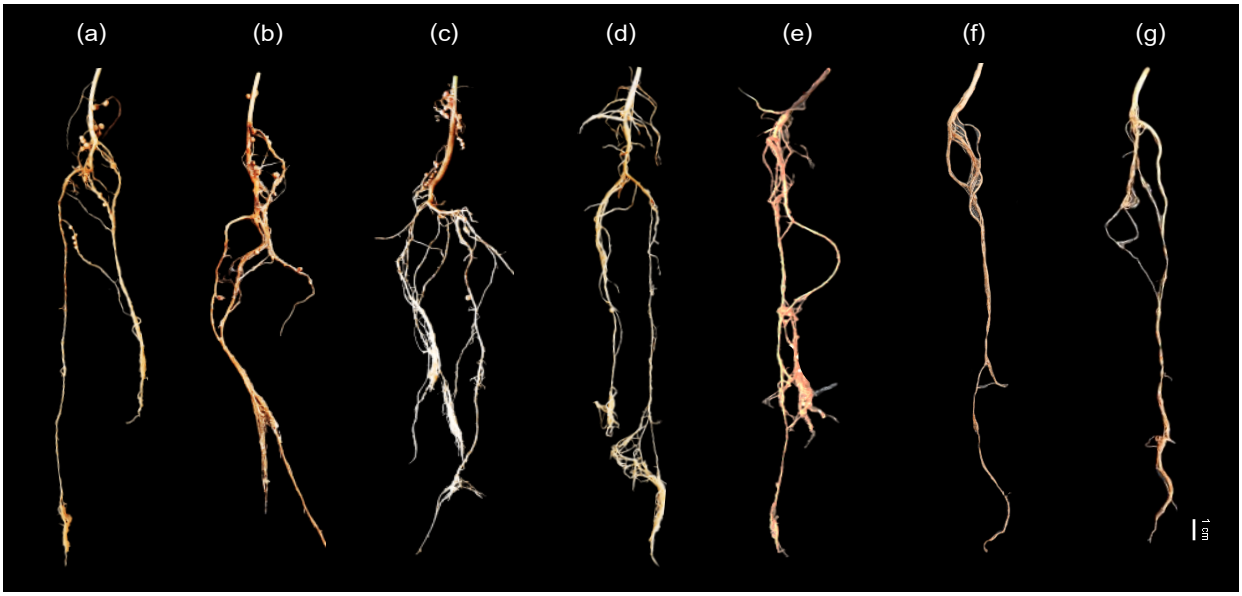

Figure 1 Roots and nodules of soybean CM0701-24 seed treated with (a) GA_3 100 ppm (+), (b) EBL 0.50 ppm (+), (c) GA_3 50 ppm + EBL 0.25 ppm (+), (d) distilled water (+), (e) non-treated (+), (f) non-treated (-) and (g) non-treated + N control (-) under Leonard's jars at 30 days after planting. (+) inoculated rhizobium, (-) non-inoculated rhizobium

2. การศึกษาผลของการคลุกเมล็ดพันธุ์และการพ่นสาร GA_3 และ EBL ที่มีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วเหลือง

การคลุกเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองด้วยสาร GA_3 100 ppm หรือสาร GA_3 50 ppm ร่วมกับสาร EBL 0.25 ppm หรือ EBL 0.50 ppm ทำให้เมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่ 4 วันหลังปลูก มีความงอกในไร่สูงกว่าเมล็ดที่คลุกด้วยน้ำกลั่นและไม่คลุกสาร ซึ่งมีความงอกในไร่ 25, 23 และ 13% ตามลำดับ ความงอกในไร่ของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองเพิ่มขึ้นและคงที่ที่ 10 วันหลังปลูก และทุกกรรมวิธีมีความงอกในไร่ไม่แตกต่างกันโดยมีค่าอยู่ระหว่าง 82-86% อย่างไรก็ตาม เมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่คลุกสาร GA_3 และ EBL ทุกระดับความเข้มข้น มีเวลาเฉลี่ยในงอก 6.02-6.50 วัน น้อยกว่าเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่คลุกด้วยน้ำกลั่นและไม่คลุกสาร (**Figure 2**) การที่ความงอกในไร่ของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่คลุกด้วย GA_3 และ EBL สูง เนื่องจาก GA_3 มีผลต่อการกระตุ้นความงอก โดยเพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์ต่าง ๆ เช่น α-amylase และ β-amylase เพื่อย่อยแป้งให้เปลี่ยนเป็นน้ำตาลซึ่งใช้ในกระบวนการเมแทบอลิซึม หรือเอนไซม์ proteases และ β-glucanases ช่วยย่อยโปรตีนให้เป็นกรดอะมิโนเพื่อใช้ในกระบวนการเจริญเติบโตของเอ็มบริโอ (Yamaguchi, 2008) และชักนำให้เซลล์พืชยืดยาวทางลำต้น ทำให้เมล็ดที่เริ่มงอกมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น (Gupta and Chakrabarty, 2013) สอดคล้องกับ Wang et al. (1996) ที่พบว่า การใช้สาร GA_3 0.10 mM คลุกเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองมีความงอกมาตรฐาน ความงอกในไร่ และการเจริญเติบโตของต้นกล้าเพิ่มขึ้นในสภาวะอุณหภูมิต่ำ สำหรับ EBL นั้น มีบทบาทส่งเสริมการงอก ช่วยในกระบวนการสังเคราะห์ GA biosynthetic และเป็นสารตั้งต้นของการส่งสัญญาณ GA insensitive mutants เป็นส่วนสำคัญในการพัฒนาและการเจริญเติบโตของพืชและยับยั้งกระบวนการสร้าง ABA ระหว่างการงอกของเมล็ด ทำให้เมล็ดมีความงอกและความแข็งแรงเพิ่มขึ้น (Zheng et al., 2009) โดยเฉพาะการเพิ่มขนาดของ meristem และการยืดขยายของรากตั้งแต่เริ่มแรกของการงอก การเจริญเติบโตของยอดและรากของพืช (Wei and Li, 2016)

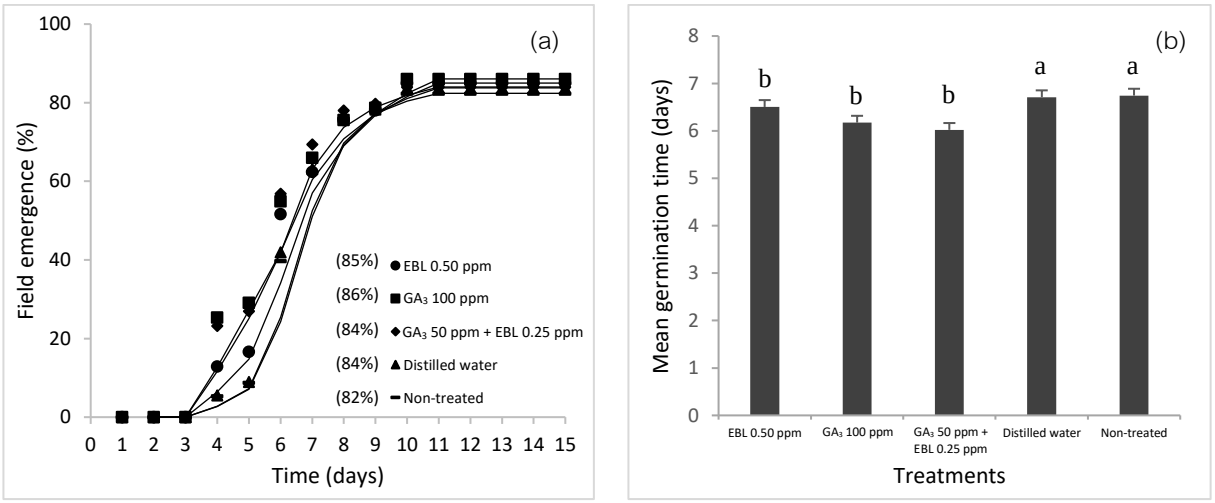

Figure 2 Effects of gibberellins and brassinosteroids as seed dressing on (a) field emergence (%) and (b) mean germination time (days) of soybean seed CM0701-24 at 15 days after planting

การคลุกเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองด้วยสาร GA_3 และ EBL ทุกความเข้มข้น น้ำกลั่น และไม่คลุกสาร ไม่มีผลทำให้ความสูงข้อแรก ความสูงต้น จำนวนข้อ/ต้น และน้ำหนักแห้ง/ต้น แตกต่างกันทางสถิติ แต่การคลุกเมล็ดด้วย GA_3 EBL และน้ำกลั่น มีจำนวนกิ่ง/ต้นสูงกว่าการไม่คลุกสาร เมื่อพิจารณาผลของการพ่นสาร GA_3 และ EBL ที่ระยะออกดอก (R1) พบว่า การพ่นสารมีผลทำให้ความสูงข้อแรกและความสูงต้นแตกต่างกันทางสถิติ กล่าวคือ การพ่นสาร GA_3 100 ppm มีความสูงข้อแรก 10.42 ซม. ไม่แตกต่างกับกรรมวิธีอื่น ๆ ยกเว้น GA_3 50 ppm ที่มีความสูงข้อแรก 9.42 ซม. นอกจากนี้ การพ่นสาร GA_3 50 และ 100 ppm มีความสูงต้น 49.55 และ 53.63 ซม. ตามลำดับ สูงกว่าการพ่นสาร EBL และน้ำกลั่น แต่การพ่นสาร GA_3 และ EBL มีจำนวนข้อ/ต้น จำนวนกิ่ง/ต้น และน้ำหนักแห้ง/ต้น ไม่แตกต่างทางสถิติกับการพ่นด้วยน้ำกลั่น โดยมีจำนวนข้อ 9 ข้อ/ต้น จำนวนกิ่ง 1.1-1.7 กิ่ง/ต้น และน้ำหนักแห้ง 3.39-3.64

ก./ต้น จากการศึกษาในครั้งนี้ ไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่างการคลุกเมล็ดและการพ่นสาร GA_3 และ EBL ที่มีต่อการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองสายพันธุ์ CM0701-24 (**Table 2** และ **Figure 3**)

Table 2 Effects of gibberellins and brassinosteroids as seed dressing and foliar application at R1 growth stage on growth of soybean CM0701-24 in dry season 2020

Treatments	Frist node height (cm)	Plant height (cm)	Number of nodes/plant	Number of branches/plant	Stem dry weight (g/plant)
Seed dressing (A)					
1. GA_3 100 ppm	10.05	47.56	9	1.5 a[2/]	3.69
2. EBL 0.50 ppm	9.76	49.85	9	1.6 a	3.91
3. GA_3 50 ppm + EBL 0.25 ppm	10.29	48.48	9	1.6 a	3.40
4. Distilled water	9.75	48.16	9	1.2 a	3.27
5. Non-treated	9.82	52.26	9	0.7 b	3.33
MEAN (A)	9.93	49.26	9	1.3	3.52
Foliar application (B)					
1. GA_3 50 ppm	9.42 b[1/]	49.55 a	9	1.7	3.39
2. GA_3 100 ppm	10.42 a	53.63 a	9	1.1	3.58
3. EBL 0.50 ppm	9.55 ab	47.75 b	9	1.3	3.61
4. EBL 1.00 ppm	10.33 ab	48.24 b	9	1.2	3.64
5. Distilled water	9.95 ab	47.15 b	9	1.2	3.40
MEAN (B)	9.93	49.26	9	1.3	3.52
F-test (A)	ns	ns	ns	**	ns
F-test (B)	*	**	ns	ns	ns
F-test (A x B)	ns	ns	ns	ns	ns
C.V.% (a)	12.90	18.30	7.05	34.28	29.87
C.V.% (b)	11.30	11.26	5.30	38.04	21.00

[1/, 2/] Means followed by a common lowercase letter within the same row are not significantly different at P<0.05 by DMRT

ns = not significant, * = significant at P ≤ 0.05, ** = significant at P ≤ 0.01

เมื่อศึกษาผลของการคลุกเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองด้วยสาร GA_3 EBL น้ำกลั่นและไม่คลุกสาร ไม่มีผลทำให้จำนวนฝัก/ต้น น้ำหนักแห้งของฝัก/ต้น จำนวนเมล็ด/ฝัก และน้ำหนัก 100 เมล็ด แตกต่างกันทางสถิติ ส่วนการพ่นสาร GA_3 และ EBL ทุกระดับความเข้มข้นเปรียบเทียบกับการไม่พ่นสารในระยะถั่วเหลืองออกดอก (R1) ไม่มีผลทำให้องค์ประกอบผลผลิตถั่วเหลืองแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีจำนวนฝัก 22-23 ฝัก/ต้น น้ำหนักฝักแห้ง 10.43-10.89 ก./ต้น จำนวนเมล็ด 3 เมล็ด/ฝัก และมีน้ำหนัก 100 เมล็ด 12.59-12.87 ก. จากการศึกษาผลของการคลุกเมล็ดร่วมกับการพ่นสาร GA_3 และ EBL ไม่มีผลทำให้องค์ประกอบผลผลิตถั่วเหลืองสายพันธุ์ CM0701-24 แตกต่างกันทางสถิติ (**Table 3** และ **Figure 3**)

Table 3 Effects of gibberellins and brassinosteroids as seed dressing and foliar application at R1 growth stage on yield components of soybean CM0701-24 in dry season 2020

Treatments	Number of pods/plant	Pod dry weight (g/plant)	Number of seeds/pod	100 seed weight (g)
Seed dressing (A)				
1. GA_3 100 ppm	25	11.68	3	12.74
2. EBL 0.50 ppm	24	11.73	3	12.75
3. GA_3 50 ppm + EBL 0.25 ppm	23	10.55	3	12.75
4. Distilled water	21	9.74	3	12.84
5. Non-treated	20	9.54	3	12.61
MEAN (A)	22	10.65	3	12.74
Foliar application				
1. GA_3 50 ppm	22	10.43	3	12.87
2. GA_3 100 ppm	22	10.61	3	12.59
3. EBL 0.50 ppm	22	10.75	3	12.70
4. EBL 1.00 ppm	23	10.89	3	12.69
5. Distilled water	23	10.56	3	12.85
MEAN (B)	22	10.65	3	12.74
F-test (A)	ns	ns	ns	ns
F-test (B)	ns	ns	ns	ns
F-test (A x B)	ns	ns	ns	ns
C.V.% (a)	24.41	23.23	4.53	3.13
C.V.% (b)	18.16	18.39	4.42	2.88

ns = not significant

Figure 3 Plants and pods at harvest of soybean CM0701-24 foliar application with EBL 0.50 ppm (a), EBL 1.00 ppm (b), GA_3 50 ppm (c), GA_3 100 ppm (d) and distilled water (e) in dry season 2020.

การคลุกเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองด้วยสาร GA_3 และ EBL ทุกระดับความเข้มข้น เปรียบเทียบกับการคลุกด้วยน้ำกลั่นและการไม่คลุกสาร ไม่มีผลให้ผลผลิตเฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีผลผลิตเฉลี่ย 303.4-330.2 กก./ไร่ เมื่อพิจารณาผลของการพ่นสาร GA_3 และ EBL ที่ระยะออกดอก (R1) ที่มีต่อผลผลิต พบว่า การพ่นสาร GA_3 100 ppm ทำให้ผลผลิตเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองสูงที่สุด คือ 361.7 กก./ไร่ รองลงมา คือ การพ่นสาร EBL 0.50 ppm และ GA_3 50 ppm ที่มีผลผลิตเฉลี่ย 324.0 และ 320.9 กก./ไร่ ตามลำดับ ในขณะที่การพ่นด้วยน้ำกลั่นมีผลผลิตต่ำกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ มีค่าเท่ากับ 284.5 กก./ไร่ นอกจากนี้ยังพบอิทธิพลร่วมระหว่างการคลุกเมล็ดถั่วเหลืองกับการพ่นสาร GA_3 และ EBL ที่มีต่อผลผลิต โดยการคลุกเมล็ดด้วยสาร GA_3 50 ppm ร่วมกับสาร EBL 0.25 ppm และพ่นสาร GA_3 100 ppm มีผลผลิตเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง 397.6 กก./ไร่ มากกว่าการคลุกเมล็ดและไม่คลุกเมล็ดทุกกรรมวิธีร่วมกับการพ่นด้วยน้ำกลั่น (**Table 4**) การที่ผลผลิตถั่วเหลืองเพิ่มขึ้น เนื่องจาก การพ่นสาร GA_3 สามารถกระตุ้นการเจริญเติบโต เพิ่มความยืดหยุ่นของผนังเซลล์ ทำให้เซลล์มีรูปร่างยืดยาวทางลำต้นและความสูงของพืช และเพิ่มปริมาณผลผลิต (Eiichi, 2005) อีกทั้งเพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์ proteases, glyoxysomal และ chlorophyll catabolism ทำให้ปริมาณโปรตีน RNA และคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้น ชะลอการชราภาพของพืชโดยการยับยั้งการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ เกิดการสะสมน้ำหนักแห้งของพืช (Zhang et al., 1997) ในถั่วเหลือง Yuan and Xu (2001) รายงานว่า GA_3 มีผลต่ออัตราการสังเคราะห์แสงโดยควบคุมปริมาณและกิจกรรม Ribulose-l,5-biphosphate carboxylase oxygenase และเป็นหนึ่งในสัญญาณในการควบคุมกิจกรรม sucrose phosphate synthase ของการสังเคราะห์แป้งและน้ำตาล สอดคล้องกับ Sarkar et al. (2002) ที่พบว่า การพ่นสาร GA_3 100 ppm กับถั่วเหลืองที่อายุ 42 วันหลังปลูก หรือที่ระยะเริ่มออกดอก (R1) ช่วยส่งเสริมความสูงของต้น ผลผลิตเมล็ดต่อต้น และน้ำหนัก 100 เมล็ด

ส่วนสาร EBL มีกลไกการออกฤทธิ์กระตุ้นการยืดยาวของลำต้นและการแบ่งเซลล์ของพืช โดยเฉพาะส่งเสริมเนื้อเยื่อ hyperpolarization และการยืดตัวของเซลล์อย่างรวดเร็วโดย BR-modulated เกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่าง BRI1 และ ATPase ในเยื่อหุ้มเซลล์ plasma (Morillon et al., 2001) และกระตุ้นการเคลื่อนย้ายน้ำตาลและเปลี่ยนเป็นแป้งสะสมในเมล็ด (Caesar et al., 2011) นอกจากนี้ EBL มีผลต่อการพัฒนาของละอองเกสรและช่วยให้ละอองเรณูงอกเข้าไปผสมกับไข่ในออวุลได้ (Szekeres et al., 1996) ดังนั้น EBL มีผลต่อการเพิ่มจำนวนการติดเมล็ด และผลผลิต และเมื่อพ่นทางใบทำให้พืชทนทานต่อความเครียดจากสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมได้มากขึ้น (Divi and Krishna, 2009) เช่นเดียวกับ Zhang et al. (2008) ที่พบว่า การพ่นสาร EBL 0.10 ppm ที่ระยะออกดอก (R1) และติดฝัก (R3) สามารถเพิ่มความทนแล้งและลดการสูญเสียผลผลิตของถั่วเหลือง เช่นเดียวกับ กัณทิมา และคณะ (2562ข) ศึกษาผลของการพ่นสาร EBL 1.00 ppm กับต้นถั่วเหลืองที่ระยะออกดอก (R1) มีผลต่อน้ำหนักฝักแห้ง น้ำหนักเมล็ดถั่วเหลือง/กระถาง และผลผลิตเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองสูง มีเปอร์เซ็นต์เมล็ดเสียและเมล็ดเขียวน้อยลง

Table 4 Effects of gibberellins and brassinosteroids as seed dressing (A) and foliar application at R1 growth stage (B) on seed yield of soybean CM0701-24 in dry season 2020

Treatments *Seed dressing (A)*	*Foliar application (B)* Seed yield (kg/rai)					
	EBL 0.50 ppm	EBL 1.00 ppm	GA_3 50 ppm	GA_3 100 ppm	Distilled water	MEAN (A)
1. GA_3 100 ppm	369.2 ab[2/]	314.5 b-g	253.4 gh	369.5 ab	282.0 efg	317.7
2. EBL 0.50 ppm	288.8 d-g	252.4 gh	332.2 b-f	339.9 a-f	324.3 b-f	307.5
3. EBL 0.25 ppm + -GA_3 50 ppm	289.0 d-g	292.9 d-g	361.1 abc	397.6 a	302.9 c-g	328.7
4. Distilled water	333.1 a-f	347.9 a-e	304.2 b-g	354.9 a-d	310.9 b-g	330.2
5. Non-treated	339.9 a-f	274.3 fg	353.7 a-d	346.8 a-e	202.5 h	303.4
MEAN (B)	324.0 B[1/]	296.4 CD	320.9 BC	361.7 A	284.5 D	317.5
F-test (A)	ns	F-test (B)	**	F-test (AxB)	**	
C.V.% (a)	15.71	C.V.% (b)	10.51			

[1/] In a row, means followed by a capital letter are not significantly different at P<0.05 by DMRT

[2/] In a column and row, means followed by a common lowercase letter are not significantly different at P<0.05 by DMRT

ns = not significantly, ** = significant at P ≤ 0.01

สรุป

1. การคลุกเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองสายพันธุ์ CM0701-24 ด้วยสาร GA_3 และ EBL ที่ใส่เชื้อไรโซเบียมชนิด *Bradyrhizobium japonicum* (USDA 110) ทำให้มีจำนวนและน้ำหนักสดของปมไรโซเบียม และปริมาณการดูดใช้ไนโตรเจนทั้งหมดของถั่วเหลืองเพิ่มขึ้น

2. การคลุกเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองด้วยสาร GA_3 100 ppm สาร EBL 0.50 ppm และสาร GA_3 50 ppm ร่วมกับสาร EBL 0.25 ppm มีผลทำให้ความงอกในไร่เพิ่มขึ้นและเวลาเฉลี่ยในการงอกลดลงภายใต้สภาวะอุณหภูมิต่ำ การคลุกเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองด้วยสาร GA_3 50 ppm ร่วมกับสาร EBL 0.25 ppm ก่อนปลูก ตามด้วยการพ่นสาร GA_3 100 ppm ที่ระยะออกดอก (R1) ทำให้ผลผลิตเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับการคลุกและไม่คลุกสารทุกกรรมวิธีร่วมกับการพ่นสารด้วยน้ำกลั่น

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) ที่สนับสนุนทุนการศึกษา โครงการทุนปริญญาเอกเฉลิมพระเกียรติทรงครองราชย์ 70 ปี ในการทำงานวิจัย ขอขอบคุณศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่สนับสนุนเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองสายพันธุ์ก้าวหน้ามาใช้ปลูกขยายและทดสอบในแปลงเกษตรกร และขอขอบคุณห้องปฏิบัติการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ ศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชพิษณุโลก กรมวิชาการเกษตร และห้องปฏิบัติการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์และสถานที่ในการดำเนินการทำงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2547. เอกสารวิชาการการปลูกพืชไร่. สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

กรมอุตุนิยมวิทยา. 2561. สถิติภูมิอากาศคาบ 30 ปี พ.ศ. 2524-2553. แหล่งข้อมูล: http://climate.tmd.go.th/statistic/stat30y. ค้นเมื่อ 13 กรกฎาคม 2562.

กองวิจัยพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืช. 2563. โครงการวิจัยและผลิตเมล็ดพันธุ์พืชตระกูลถั่ว (ถั่วเหลือง ถั่วเขียว และถั่วลิสง) คุณภาพดีเพื่อรองรับการผลิตพืชภายใต้วิกฤตภัยแล้ง. แหล่งข้อมูล: http://me.doa.go.th/research/researchview.php?showdetail=&id=154. ค้นเมื่อ 16 มีนาคม 2563.

กัณทิมา ทองศรี, จุฑามาศ ร่มแก้ว, จวงจันทร์ ดวงพัตรา และกนกวรรณ เที่ยงธรรม. 2562ก. ผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองภายใต้สภาวะอุณหภูมิต่ำ. น. 85-98. ใน: การประชุมทางวิชาการเมล็ดพันธุ์พืชแห่งชาติ ครั้งที่ 16 18-21 มิถุนายน 2562. สมาคมเมล็ดพันธุ์แห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

กัณทิมา ทองศรี, ภภัสสร วัฒนกุลภาคิน, ศุภลักษ์ สัตยสมิทสถิต และฉันทนา คงนคร. 2562ข. การใช้สารบราสสิโนสเตียรอยด์ต่อผลผลิตและคุณภาพเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองในสภาวะแห้งแล้ง. น. 200-210. ใน: การประชุมทางวิชาการพืชวงศ์ถั่วแห่งชาติ ครั้งที่ 7 6-8 สิงหาคม 2562. กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

จวงจันทร์ ดวงพัตรา. 2529. เทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์. พิมพ์ครั้งที่ 2. กลุ่มหนังหนังสือเกษตร, กรุงเทพฯ.

อ้อยทิน ผลพานิช, วิระศักดิ์ เทพจันทร์, รัชนี โสภา และสิทธิ์ แดงประดับ. 2558 การปรับปรุงพันธุ์ถั่วเหลืองเพื่อผลผลิตสูงในแต่ละพื้นที่ (ชุดที่ 2). แหล่งข้อมูล: http://www.doa.go.th/research/attachment.php?aid=2098. ค้นเมื่อ 13 กรกฎาคม 2562.

สถาบันวิจัยพืชไร่. 2537. การผลิตเมล็ดพันธุ์หลักพืชไร่. โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว, กรุงเทพฯ.

Bremner, J.M. 1960. Determination of nitrogen in soil by the Kjeldahl method. The Journal of Agricultural Science. 55(1): 11-33.

Broughton, W.J., and M.J. Dilworth. 1971. Control of leghemoglobin synthesis in snake beans. Biochemical Journal. 125(4): 1075-1080.

Caesar, K., K. Elgass, Z. Chen, P. Huppenberger, J. Witthoft, F. Schleifenbaum, M.R. Blatt, C. Oecking, and K. Harter. 2011. A fast brassinolide-regulated response pathway in the plasma membrane of *Arabidopsis thaliana*. The Plant Journal. 66(3): 528-540.

Davies, P.J. 1995. The plant hormone concept: concentration, sensitivity and transport. P. 13-38. In: P.J. Davies. Plant hormones physiology, biochemistry and molecular biology. Section of plant biology, Division of biological sciences, Cornell University, Ithaca, USA.

Divi, U.K., and P. Krishna. 2009. Brassinosteroid: a biotechnological target for enhancing crop yield and stress tolerance. New Biotechnology. 26(3-4): 131-136.

Eiichi, T. 2005. Regulation of root growth by plant hormones roles for auxin and gibberellin. Critical Reviews in Plant Sciences. 24(4): 249-265.

Ellis, R.H., and E.H. Roberts. 1981. The quantification of ageing and survival in orthodox seeds. Seed Science and Technology. 9(2): 373-409.

Ferguson, B., and U. Mathesius. 2003. Signaling interactions during nodule development. Journal of Plant Growth Regulation. 22: 47–72.

Ferguson, B.J., J.J. Ross, and J.B. Reid. 2005. Nodulation phenotypes of gibberellin and brassinosteroid mutants of *Pisum sativum*. Plant Physiology. 138: 2396-2405.

Gupta, R., and S.K. Chakrabarty. 2013. Gibberellic acid in plant: Still a mystery unresolved. Plant Signaling & Behavior. 8(9): e25504.

Herner, R.C. 1990. The effects of chilling temperatures during seed germination and early seedling growth. P.51-69. In: C.Y. Wang. Chilling Injury of Horticultural Crops. CRC Press.

Jomol, P.M., S.J. Herbert, S.Z. Andreas, A.F. Rautenkranz, and G.V. Litchfield. 2000. Differential response of soybean yield components to the timing of light enrichment. Agronomy Journal. 92(6): 1156-1161.

Leubner-Metzger G. 2001. Brassinosteroids and gibberellins promote tobacco seed germination by distinct pathways. Planta. 213(5): 758-763.

Li, X., J. Cai, D. Jiang, H. Jiang, T. Dai, F. Liu, and W. Cao. 2013. Induction of chilling tolerance in wheat during germination by pre-soaking seed with nitric oxide and gibberellin. Plant Growth Regulation. 71(1): 31-40.

Méndez, C., C. Baginsky, P. Hedden, F., Gong, M. Carú, and M.C. Rojas. 2014. Gibberellin oxidase activities in *Bradyrhizobium japonicum* bacteroids. Phytochemistry. 98: 101-109.

Morillon, R., M. Catterou, R.S. Sangwan, B.S. Sangwan, and J.P. Lassalles. 2001. Brassinolide may control aquaporin activities in *Arabidopsis thaliana*. Planta. 212(2): 199-204.

R Core Team. 2020. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

Sarkar, P.K., M.S. Haque, and M.A. Karim. 2002. Effects of GA_3 and IAA and their frequency of application on morphology, yield contributing characters and yield of soybean. Pakistan Journal of Agronomy. 1: 119-122.

Szekeres, M., K. Nemeth, Z. Koncz-Kalman, J. Mathur, A. Kauschmann, T. Altmann, G.P. Redei, F. Nagy, J. Schell, and C. Koncz. 1996. Brassinosteroids rescue the deficiency of CYP90, a cytochrome P450, controlling cell elongation and de-etiolation in *Arabidopsis*. Cell. 85(2): 171-182.

Wang, Q., Z. Feng, and D.L. Smith. 1996. Application of GA_3 and kinetin to improve corn and soybean seedling emergence at low temperature. Environmental and Experimental Botany. 36(4): 377-383.

Wei, Z., and J. Li. 2016. Brassinosteroids regulate root growth, development, and symbiosis. Molecular Plant. 9(1): 86-100.

Yamaguchi, S. 2008. Gibberellin metabolism and its regulation. Annual Review of Plant Biology. 59: 225-251.

Yuan, L., and D.Q. Xu. 2001. Stimulation effect of gibberellic acid short-term treatment on the photosynthesis related to the increase in rubisco content in broad bean and soybean. Photosynthesis Research. 68: 39-47.

Zhang, F., B. Pan, and D.L. Smith. 1997. Application of gibberellic acid to the surface of soybean seed (*Glycine max* (L.) Merr.) and symbiotic nodulation, plant development, final grain and protein yield under short season conditions. Plant and Soil. 188: 329-335.

Zhang, M.C., Z.X. Zhai, X.L. Tian, L.S. Duan, and Z.H. Li. 2008. Brassinolide alleviated the adverse effect of water deficits on photosynthesis and the antioxidant of soybean (*Glycine max* L.). Plant Growth Regulation. 56: 257-264.

Zheng, C., D. Jiang, F. Liub, T. Dai, W. Liu, Q. Jing, and W. Cao. 2009. Exogenous nitric oxide improves seed germination in wheat against mitochondrial oxidative damage induced by high salinity. Environmental and Experimental Botany. 67(1): 222-227.