ผลของแบคทีเรียที่ผลิตสาร Indole-3-Acetic Acid (IAA) ต่อการเจริญเติบโตและปริมาณธาตุอาหารของพริกขี้หนู

Effect of Bacteria-producing Indole-3-Acetic Acid (IAA) on Growth and Nutrient Contents of Bird Chili (*Capsicum annuum* L.)

จีราภรณ์ อินทสาร[1*] ฉัตรปวีณ์ เดชจิรรัตนสิริ[1] และ ประวิทย์ บุญมี[2]

Jiraporn Inthasan[1*], Chatprawee Dechjirarattanasiri[1] and Pravit Boonmee[2]

[1]สาขาวิชาทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อม คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่ 50290

[1]Division of Soil Resources and Environment, Faculty of Agricultural Production, Maejo University, Chiang Mai 50290, Thailand

[2]ศูนย์พัฒนาพันธุ์พืชจักรพันธ์เพ็ญศิริ ต.โป่งผา อ.แม่สาย จ.เชียงราย 57130

[2]Prince Chakraband Pensiri Center for Plant Development, Chiang Rai 57130, Thailand

**Corresponding author: Email: inthasan@mju.ac.th*

(Received: 7 December 2016; Accepted: 29 March 2017)

Abstract: Studying of effect of bacteria-producing indole-3-acetic acid (IAA) on growth and nutrient content of chili (*Capsium annuum* L.) by screening bacteria from rhizospheric soil in Prince Chakraband Pensiri center for Plant Development, Chiang Rai province was started in 2015. Fifty-seven isolates were found and only fifteen isolates that could provide indole-3-acetic acid (IAA), with the range of IAA production at 20-126 µg/ml. The 6 isolates (isolates 1-6) of IAA producing bacteria were selected to inoculate in chili seedlings. Seven treatments were laid out in a completely randomized design with four replications consisting of 1) control (without inoculation), treatment 2)-7) depending on bacteria-producing indole-3-acetic acid (IAA) isolate 1-6 respectively as *Bacillus* spp. The result showed that Isolate 1 (*Brevibacillus agri*) provided the highest IAA value at 126 µg/ml. Isolate 1 caused significantly number of leaves, shoot height, root length, fresh weight and dry weight of shoot and root parts higher than other treatments. Moreover, bacteria isolate 1 could rise the highest of nitrogen phosphorus potassium uptake in shoot (3.68 %N, 0.30 %P and 3.65 %K) and root (2.08 %N, 0.15 %P and 2.49 %K). Obviously, the bacteria that produced high level of IAA had an effect on all growth of physiology parameters than bacteria - producing low of IAA level.

Keywords: Bacteria-producing indole-3-acetic acid (IAA), plant nutrition, bird chili

Copyright @ Journal of Agriculture, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University. All rights reserved.

บทคัดย่อ: การศึกษาผลของแบคทีเรียที่สามารถผลิต indole-3-acetic acid (IAA) ต่อการเจริญเติบโตและปริมาณธาตุอาหารของพริก โดยทำการคัดเลือกเชื้อแบคทีเรียจากดินในพื้นที่ของศูนย์พัฒนาพันธุ์พืชจักรพันธ์เพ็ญศิริ จังหวัดเชียงราย ในปี พ.ศ. 2558 พบเชื้อแบคทีเรียทั้งหมด 57 ไอโซเลท โดยมีแบคทีเรีย 15 ไอโซเลท ที่มีความสามารถในการผลิต IAA อยู่ในช่วง 20 ถึง 126 µg/ml จากนั้นทำการคัดเลือก isolate ที่สามารถผลิตสาร indole-3-acetic acid (IAA) ได้สูงที่สุด 6 ไอโซเลท คือ ไอโซเลท 1-ไอโซเลท 6 นำไปทดสอบกับต้นกล้าพริก โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (CRD) ประกอบด้วยสิ่งทดลอง 7 ตำรับ จำนวน 4 ซ้ำ คือ 1. ตำรับควบคุม (control) ไม่ใส่เชื้อจุลินทรีย์, ตำรับที่ 2-ตำรับที่ 7 ใส่จุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการผลิตสาร IAA ไอโซเลท 1-6 ตามลำดับ ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ *Bacillus* spp. จากผลการทดลองพบว่าการใช้เชื้อแบคทีเรีย ไอโซเลท 1 (*Brevibacillus agri*) มีความสามารถในการผลิต IAA ได้สูงที่สุดคือ 126 µg/ml ส่งผลให้มีจำนวนใบต่อต้น ความสูง ความยาวราก น้ำหนักสด น้ำหนักแห้งทั้งในส่วนเหนือดินและส่วนของราก สูงกว่าตำรับอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้การดูดใช้ธาตุอาหารของพริกในตำรับที่มีการใช้เชื้อจุลินทรีย์ไอโซเลท 1 ทำให้ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ของส่วนเหนือดิน (3.68%N, 0.30%P และ 3.65%K) และส่วนรากมีค่าสูงที่สุด (2.08%N, 0.15%P และ 2.49%K) จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่าเชื้อ Isolate ที่สามารถผลิตฮอร์โมน IAA ได้ในปริมาณที่สูงช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตในด้านสรีระทุก ๆ ด้านของพริกขี้หนูสูงกว่าเชื้อกลุ่มที่สามารถผลิตฮอร์โมนได้ในปริมาณต่ำ

คำสำคัญ: แบคทีเรียผลิต indole-3-acetic acid (IAA) ธาตุอาหารพืช พริกขี้หนู

คำนำ

สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช (plant growth regulating chemicals) ที่จัดอยู่ในกลุ่มออกซินมีอยู่หลายชนิด แต่สารออกซินชนิดแรกที่ค้นพบคือ indole-3-acetic acid (IAA) ซึ่งเป็นสารที่พืชสร้างขึ้นเอง (ลิลลี่ และคณะ, 2549) การสกัดสาร IAA จากพืชเพื่อนำมาใช้ประโยชน์เป็นสิ่งที่กระทำได้ยากและสิ่งที่สำคัญคือ IAA สลายตัวได้ง่ายและ รวดเร็วมากจึงไม่สะดวกต่อการนำมาใช้ประโยชน์ (วันเพ็ญ, 2548) มีการสังเคราะห์สารต่าง ๆ ที่มีคุณสมบัติคล้ายออกซินเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร ได้แก่ NAA (1-naphthylacetic acid), IBA (4-(indol-3-yl)butyric acid), 2,4-D (2,4-dichlorophenoxyacetic acid) และ 4-CPA (4-chlorophenoxyacetic acid) (พันทวี, 2532; พีรเดช, 2529) ขณะเดียวกันจากการศึกษางานวิจัยหลายชิ้นพบว่ามีการสังเคราะห์ IAA โดยจุลินทรีย์ที่คัดแยกได้จากดิน โดยการสังเคราะห์ IAA นั้นมีกรดอะมิโน L-tryptophan เป็นสารตั้งต้น ซึ่งมีจุลินทรีย์หลายกลุ่มโดยเฉพาะ plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) (Lynch,1985) ซึ่ง PGPR เป็นแบคทีเรียที่อาศัยอยู่รอบ ๆ รากพืชและส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชด้วยกลไกต่าง ๆ (Arshad and Frankenberger, 1992) ยังรวมถึงจุลินทรีย์กลุ่มที่มีความสามารถในการย่อยละลายฟอสเฟตที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ร่วมกับหินฟอสเฟตหรือปูนโดโลไมท์ ทำให้ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดินโดยเฉพาะฟอสฟอรัสเพิ่มสูงขึ้น รวมทั้งปรับระดับค่าความเป็นกรดด่างในดินกรดให้อยู่ในระดับที่สูงขึ้นอีกด้วย (จีราภรณ์ และคณะ, 2559) นอกจากนี้จุลินทรีย์กลุ่ม PGPR ยังสามารถผลิตฮอร์โมนพืชได้อีกหลายชนิด เพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืช ปรับปรุงโครงสร้างดิน ยับยั้งการทำงานของเชื้อที่ก่อให้เกิดโรคพืช (ธนากร, 2557) ทั้งนี้จุลินทรีย์ที่แยกได้จากรอบ ๆ รากพืชที่มีความหลากหลายของพืชพันธุ์นั้น มีความสามารถในการสร้าง IAA ที่ต่างกัน โดย IAA เป็นตัวเหนี่ยวนำในการทำให้รากพืชยืดยาวขึ้น และยังเพิ่มจำนวนขนราก รวมทั้งทำให้พืชมีความสามารถในการดูดใช้ธาตุอาหารได้ดีอีกด้วย (Datta and Basu, 2000)

ปัญหาสำคัญของการเพาะปลูกพริกขี้หนูในพื้นที่ของศูนย์พัฒนาพันธุ์พืชจักรพันธ์เพ็ญศิริ จังหวัดเชียงรายนั้น มักประสบปัญหาเกี่ยวกับความไม่สม่ำเสมอของต้นกล้าพริกขี้หนูที่ไม่สมบูรณ์ จากสาเหตุต่าง ๆ หลาย

ด้านไม่ว่าจะเป็นการเกิดโรคของพืชโดยเกิดจากเชื้อแบคทีเรีย และเชื้อรา เนื่องจากในพื้นที่ของศูนย์มีความแปรปรวนของสภาพอากาศ โดยเฉพาะการเพาะปลูกพริกขี้หนูในช่วงฤดูฝน ซึ่งมักจะสังเกตอาการได้ตั้งแต่ระยะต้นกล้าหรือ 1 เดือนหลังย้ายปลูก ทั้งนี้พบว่าต้นกล้าที่มีระบบรากแข็งแรงจะมีโอกาสในการเกิดโรคพืชได้น้อยกว่า ดังนั้นจึงมีแนวคิดในการใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของระบบรากของพืชในงานทดลองครั้งนี้ ซึ่งพบว่ามีการศึกษาจุลินทรีย์ที่สามารถผลิต IAA ต่อความยาวรากของ sugar beet น้ำหนักแห้งของพืชส่วนเหนือดิน และระบบรากของต้นกล้า sugar beet ซึ่งจุลินทรีย์ดังกล่าวคือ *Pseudomonas syringae* pv. *savastanoi* หลายสายพันธุ์พบในสภาพไร่นาของเกษตรกรในเมือง Berkeley รัฐ แคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา (Loper and Schroth, 1986) ทั้งนี้จากการทดลองของ Pilet and Saugy (1985) ได้ศึกษาความเข้มข้นของ IAA กับความยาวของรากข้าวโพดพบว่ามีสหสัมพันธ์กันระหว่างความยาวของรากและปริมาณ IAA ที่ใช้ทดสอบอย่างมีนัยสำคัญ จะเห็นได้ว่ามีการนำจุลินทรีย์กลุ่มนี้มาใช้งานในทางการเกษตรมาเป็นระยะเวลาหนึ่งแล้ว ซึ่งการศึกษาเพิ่มเติมของงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการนำเชื้อแบคทีเรียที่มีความสามารถในการผลิต IAA ที่ตรวจสอบได้ในบริเวณพื้นที่ดังกล่าวมาทดสอบประสิทธิภาพต่อการเจริญเติบโตของต้นพริกขี้หนูและปริมาณธาตุอาหาร

อุปกรณ์และวิธีการ

ทำการศึกษาความสามารถในการผลิตสาร indole-3-acetic acid (IAA) ของแบคทีเรียในพื้นที่ของศูนย์พัฒนาพันธุ์พืชจักรพันธ์เพ็ญศิริ จังหวัดเชียงราย โดยทำการศึกษาและวิเคราะห์ทางเคมี ในห้องปฏิบัติการอาคารปฏิบัติการทางดินและปุ๋ยขั้นสูง คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ระหว่างเดือนมกราคม - ธันวาคม 2558 นำตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร บริเวณรอบ ๆ รากพืชของศูนย์ฯ มาทำการเจือจางเป็นลำดับส่วน (serial dilution) แล้วนำมาแยกเชื้อโดยเกลี่ยเชื้อบนอาหารแข็ง PDA บ่มไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 วัน พบเชื้อแบคทีเรียทั้งหมด 57 Isolates หลังจากนั้นนำเชื้อที่พบทั้งหมดมาทำการแยกเชื้อให้บริสุทธิ์ โดยวิธีการ streak plate method ลงบนอาหาร nutrient agar (NA) เพื่อนำไปศึกษาหาความสามารถในการผลิต IAA ต่อไป

การเลี้ยงเชื้อและการเก็บตัวอย่างแบคทีเรียที่สามารถผลิต IAA

เมื่อได้แบคทีเรียบริสุทธิที่แยกได้โคโลนีเดี่ยวบนอาหาร nutrient agar (NA) แล้ว จึงนำมาเลี้ยงในอาหาร nutrient broth (NB) ที่เติม tryptophan 0.102 g/l นำเชื้อที่ได้ไปบ่ม โดยเขย่าที่ความเร็ว 125 รอบ/นาที เป็นระยะเวลา 7 วัน จากนั้นนำเชื้อที่ได้มาแยกส่วนสารละลายใสโดยการนำมา centrifuge ที่ 50,000 rpm เป็นเวลา 5-10 นาที เพื่อแยกเซลล์ของเชื้อออกจากสารละลาย นำส่วนละลายใสเก็บไว้ไปวิเคราะห์หาปริมาณ indole-3-acetic acid (IAA)

เปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐาน IAA (IAA Standard) โดยใช้ indole-3-acetic acid (MW = 175.19) เป็น standard เตรียม IAA ให้มีความเข้มข้น 10 mM ก่อน โดยใช้เป็น stock solution (ละลายใน 50% Methanol) แล้วเจือจางสารละลาย IAA 10 mM ให้เป็น 1 mM ด้วย 50% methanol จากนั้นนำสารละลาย IAA ที่ความเข้มข้น 1 mM นี้ทำ standard ที่มีความเข้มข้น 0, 5, 10, 20, 50, 100, 150 μM โดยการเตรียมแต่ละความเข้มข้นจำนวน 1 ml ปรับปริมาตรด้วย 50% methanol (อรวรรณ, 2545) และดูดสารละลายส่วนใสของตัวอย่างแบคทีเรียมา 1 ml ใส่ในหลอดทดลองจากนั้นเติม van Urk-Salkowski reagent 2 ml โดยใช้วิธี Salkowski's method (Ehmann, 1977) เขย่าให้เข้ากัน นำไปบ่มในที่มืดนาน 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 530 nm ด้วยเครื่อง spectrophotometer

เมื่อได้ข้อมูลปริมาณสาร indole-3-acetic acid (IAA) ของแบคทีเรียทั้งหมด 57 ไอโซเลทข้างต้นแล้วพบว่ามีเพียง 15 ไอโซเลท ที่สามารถผลิต IAA ได้ จึงได้ทำการทำการคัดเลือกแบคทีเรียที่มีความสามารถ ในการผลิต IAA สูงที่สุด 6 ไอโซเลท เพื่อนำมาทดสอบกับต้นกล้าพริกขี้หนู โดยวางแผนทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (CRD)

จำนวน 4 ซ้ำ ประกอบด้วยสิ่งทดลอง 7 ตำรับ คือ 1. ตำรับควบคุม (control) ไม่ใส่เชื้อแบคทีเรีย ตำรับที่ 2-ตำรับที่ 7 ใส่แบคทีเรียที่มีความสามารถในการผลิตสาร IAA ไอโซเลท 1-6 ตามลำดับ ทำการศึกษาในต้นกล้าพริกที่มีอายุ 1 สัปดาห์ โดยทำการย้ายปลูกกล้าพริกลงในวัสดุปลูก (ขุยมะพร้าว) จากนั้นนำเชื้อแบคทีเรียทั้ง 6 ไอโซเลท จึงนำมาเลี้ยงในอาหาร nutrient broth (NB) จนเกิดความขุ่นและมีความเข้มข้นของเชื้อไม่น้อยกว่า 10^8 CFU/ml ใส่ลงบริเวณรอบต้นพริกขี้หนู 5 ml/ต้น หลังจากย้ายปลูกเสร็จ ทำการบันทึกผลอัตราการเจริญเติบโต ความสูง จำนวนใบ ทำการให้น้ำหลังย้ายปลูกวันละ 2 ครั้ง และให้สารละลายธาตุอาหาร Hogland solution วันเว้นวัน เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ (Lindsay,1979)

ขั้นตอนการจำแนกชนิดของจุลินทรีย์โดยใช้เทคนิค DNA Sequencing

นำแบคทีเรียที่สามารถผลิต IAA สูงที่สุด 6 ไอโซเลท มาเลี้ยงในอาหารเหลว nutrient agar (NA) ให้อยู่ในช่วง log phase แยกเก็บเซลล์ที่บริสุทธิ์ นำมาสกัด Genomic DNA จากชุดสกัด DNA (genomic DNA extraction kit) หลังจากนั้นทำ PCR เพื่อเพิ่มจำนวน 16S rDNA ที่สนใจ (ใช้ primer ที่จำเพาะต่อ 16S rDNA; โดยใช้ 27F และ 1522R) จนได้ purified PCR product ส่ง PCR product ที่ได้ไปหาลำดับเบสของ DNA ที่ 1st Base Laboratories ประเทศมาเลเซีย นำผลการวิเคราะห์หาลำดับเบสมาสร้าง contiq และ นำ contiq ที่สร้างได้ไปเปรียบเทียบกับฐานข้อมูล GenBank ด้วยโปรแกรม BLASTN การเปรียบเทียบจะดูค่า %similarity หากมากกว่า 95% ถือว่าเหมือนกับเชื้อชนิดที่มีในฐานข้อมูลทุกประการ แต่ถ้าต่ำกว่าอาจจะเป็นเชื้อสปีชีส์เดียวกัน แต่อาจจะเป็นคนละสายพันธุ์กับที่มีรายงานไว้ในฐานข้อมูล GenBank

การเก็บตัวอย่างพืชและการวิเคราะห์ธาตุอาหารในพืช

เมื่อครบระยะเวลาจากการเก็บข้อมูล (7 สัปดาห์หลังย้ายปลูก) ทำการเก็บตัวอย่างต้นพริกขี้หนู โดยแยกเก็บเป็นส่วนของต้น และส่วนของราก โดยนำตัวอย่างมาชั่งหาน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง ล้างต้นและรากของพริกอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เพื่อวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน โดยการย่อยตัวอย่างพืชตามวิธีการของ Jackson (1967) ตัวอย่างพืชจะถูกเผา (dry ashing) ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส ประมาณ 6-8 ชั่วโมง จากนั้นละลายตัวอย่างด้วยสารละลายผสม (2 N HCl : น้ำกลั่น ในอัตราส่วน 15:15 มิลลิลิตร) เพื่อวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัส โดยการพัฒนาสี อ่านค่าด้วยเครื่อง Spectrophotometer และปริมาณโพแทสเซียม อ่านค่าด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer (เนาวรัตน์, 2527)

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (analysis of variance) ตามแผนการทดลอง แบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (CRD) เมื่อพบความแตกต่ากันในทางสถิติจึงทำการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธีจัดกลุ่มของสิ่งทดลอง (least significant difference-LSD)

ผลการทดลองและวิจารณ์

ปริมาณ Indole-3-Acetic Acid (IAA) ที่แบคทีเรียผลิตได้

จากการคัดแยกเชื้อแบคทีเรียที่ได้จากตัวอย่างดินในระยะ 0-15 เซนติเมตร ของศูนย์จักรพันธ์เพ็ญศิริ จังหวัดเชียงราย พบแบคทีเรียทั้งหมด 57 ไอโซเลท โดยมีแบคทีเรียที่มีความสามารถในการผลิตสาร indole-3-acetic acid (IAA) จากการเลี้ยงในอาหาร nutrient broth (NB) ทั้งหมด 15 ไอโซเลท ซึ่งสามารถผลิต IAA ที่เป็นสารควบคุมการเติบโตของพืชในกลุ่มออกซินได้อยู่ในช่วง 20 ถึง 126 µg/ml ดังแสดงในภาพที่ 1 ไอโซเลท ที่สามารถผลิต IAA ได้สูงสุด ได้แก่ ไอโซเลท 1 ซึ่งสามารถที่ผลิต IAA ได้ 126 µg/ml รองลงมาคือ ไอโซเลท 3 ไอโซเลท 4 และ ไอโซเลท 5 ซึ่งสามารถที่ผลิต IAA ได้เท่ากับ 102, 101 และ 100 µg/ml ตามลำดับ ขณะที่ ไอโซเลท 12 สามารถที่ผลิต IAA ได้น้อยที่สุด คือ 20 µg/ml จึงคัดเลือกแบคทีเรียที่สามารถผลิต IAA สูงที่สุด 6 ลำดับแรกไปจำแนกชนิดเชื้อโดยการหาลำดับเบส 16S rRNA พบว่า

แบคทีเรียดังกล่าวเป็นชนิดของแบคทีเรีย *Brevibacillus agri, Brevibacillus borstelensis และ Bacillus megaterium* (ตารางที่ 1) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Shahab *et al.* (2009) ที่พบการผลิตสาร indole acetic acid ของแบคทีเรียชื่อ *Bacillus thuringiensis* และ *Pseudomonas aeruginosa* ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใส่ tryptophan โดยพบปริมาณ IAA อยู่ในช่วง 57-288 µg/ml และ การทดลองของ Mohite (2013) ที่พบแบคทีเรีย *B. megaterium*, *Lactobacillus casei*, *Bacillus subtilis*, *B. cereus* และ *Lactobacillus acidophilus* บริเวณรอบราก ข้าวโพด ข้าวสาลี ต้นกล้วย และฝ้าย มีความผันแปรของปริมาณการผลิต IAA ตั้งแต่ 15-65 µg/ml ขณะที่ธนากร (2557) ศึกษาการสังเคราะห์ IAA จากแบคทีเรียตรึงไนโตรเจนที่แยกได้จากดินและเปลือกของต้นยางพารา โดยทำการทดสอบในอาหารที่มี L-tryptophan เช่นกัน พบว่า ไอโซเลท NRRU-L11 สามารถสร้าง IAA ได้สูงถึง 608 µg/ml อย่างไรก็ตามจากงานทดลองของ วิลาวรรณ์ และดุสิต (2557) ที่ศึกษาเชื้อปฏิปักษ์ *Pseudomonas fluorescens* SP007S พบเชื้อดังกล่าวสามารถผลิต IAA อยู่ในระดับ 47.5 µg/ml เท่านั้น รวมทั้งงานทดลองของ Datta *et al.* (2011) ที่พบว่าแบคทีเรียทั้งหมด 15 ไอโซเลท มีความสามารถในการผลิต IAA อยู่ในช่วง 0-44 µg/ml และมีความสามารถในการย่อยสลายฟอสฟอรัสเช่นกัน ซึ่งเป็นแบคทีเรีย *Bacillus* spp. และ *Streptomyces* sp. ส่วนงานทดลองของ Acuña *et al.* (2011) คัดเลือกแบคทีเรียจากรอบ ๆ รากพืชพบแบคทีเรีย *Bacillus* spp. และ *Paenibacillus* sp. สามารถผลิต IAA อยู่ที่ 32-37 µg/ml เท่านั้น ทั้งนี้ยังพบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างและอาหารเลี้ยงเชื้อมีผลต่อการผลิต IAA ของแบคทีเรียอีกด้วย (Malhotra and Srivastava, 2009; Acuña *et al.*, 2011)

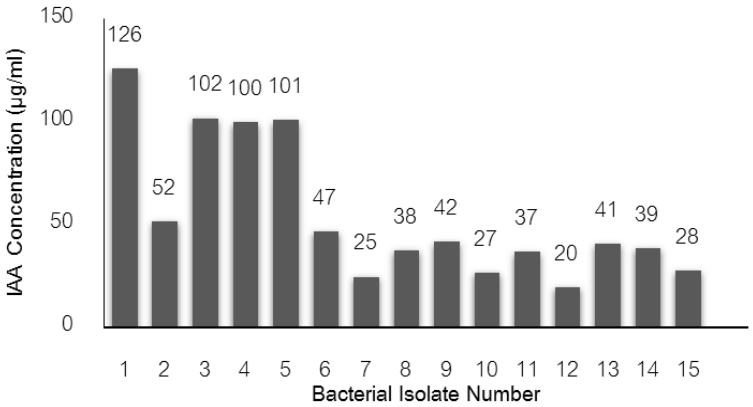

Figure 1. Comparison of Indole-3-acetic acid (IAA) production by the bacteria isolates in NB broth with tryptophan

Table 1. Identification of IAA producing bacteria by DNA sequencing 16S rDNA

Isolate Number	Identified bacteria	% Similarity
Isolate 1	*Brevibacillus agri*	96
Isolate 2	*Brevibacillus borstelensis*	96
Isolate 3	*Brevibacillus borstelensis*	95
Isolate 4	*Bacillus megaterium*	97
Isolate 5	*Brevibacillus borstelensis*	95
Isolate 6	*Brevibacillus borstelensis*	95

ข้อมูลทางด้านการเจริญเติบโตของต้นพริกขี้หนู

ประสิทธิภาพเชื้อแบคทีเรียที่มีความสามารถในการผลิตสาร IAA ต่อการเจริญเติบโตของต้นพริกขี้หนูจนถึงระยะติดดอก พบว่าในสัปดาห์ที่ 1 และ 2 การใส่เชื้อแบคทีเรีย ไอโซเลทต่าง ๆ ไม่มีความแตกต่างระหว่างตำรับทดลอง ขณะที่ในสัปดาห์ที่ 3 พบว่าเชื้อ ไอโซเลท 1 มีผลต่อการเพิ่มจำนวนใบของต้นพริกขี้หนูสูงที่สุดในสัปดาห์ที่ 3, 4 และ 7 คือ 29, 53 และ 230 ใบ/ต้น โดยในสัปดาห์ที่ 3 และ 4 การใช้เชื้อแบคทีเรีย ไอโซเลท1 ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับ ไอโซเลท 2, 3, 4 และ ไอโซเลท 5 ขณะที่การใช้เชื้อ ไอโซเลท 6 ซึ่งมีความสามารถในการผลิต IAA ต่ำกว่า ไอโซเลท อื่น ๆ มีปริมาณจำนวนใบใกล้เคียงกับตำรับควบคุม ทั้งนี้ตำรับควบคุมยังคงเป็นตำรับที่มีจำนวนใบต่อต้นพริกขี้หนูน้อยที่สุดในทุกสัปดาห์ โดยในสัปดาห์ที่ 7 มีจำนวนใบอยู่ที่ 151 ใบ/ต้น ซึ่งใกล้เคียงกับงานทดลองของ Khan *et al.* (2014) ที่ศึกษาผลของปุ๋ยไนโตรเจนและโพแทสเซียมต่อความสูงและจำนวนใบของพริกขี้หนู พบว่าจำนวนใบมีค่าอยู่ในช่วง 201-294 ใบ/ต้น โดยตำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ยพบจำนวนใบเพียง 201 ใบ/ต้น เท่านั้น (ตารางที่ 2) การตอบสนองในระดับเซลล์ของออกซิน ทำให้เกิดการขยายตัวของเซลล์ (cell enlargement) เช่น ทำให้เกิดการขยายตัวของใบ ทำให้ผลเจริญเติบโต การใช้สารสังเคราะห์ที่มีคุณสมบัติคล้าย ๆ ออกซิน เช่น 2,4-dichlorophenoxyacetic acid ป้องกันผลส้มไม่ให้ร่วง หรือ naphthalene acetic acid สามารถป้องกันการร่วงของใบ นอกจากนี้ในบางกรณีออกซินยังสามารถทำให้สัดส่วนของดอกเพศเมียและเพศผู้เปลี่ยนไป โดยออกซินจะกระตุ้นให้มีดอกเพศเมียมากขึ้นอีกด้วย (ดนัย, 2539)

สำหรับความสูงของต้นพริกขี้หนูในแต่ละสัปดาห์พบว่าการใช้เชื้อทุกไอโซเลท มีผลทำให้ความสูงของต้นพริกขี้หนูสูงกว่าตำรับควบคุมตั้งแต่สัปดาห์ที่ 1 จนถึงสัปดาห์ที่ 7 โดยในสัปดาห์ที่ 1 เชื้อไอโซเลท 1 ทำให้ความสูงของต้นพริกขี้หนูสูงที่สุดคือ 5.0 เซนติเมตร แต่ไม่มีความแตกต่างในทางสถิติกับ ไอโซเลท 2 ไอโซเลท 3 และ ไอโซเลท 4 ขณะที่สัปดาห์ที่ 2 พบความสูงของต้นพริกขี้หนูที่มีการใช้เชื้อทุกไอโซเลทอยู่ในช่วง 6.9-8.1 เซนติเมตร สำหรับความสูงของต้นพริกขี้หนูในสัปดาห์ที่ 3, 4, 5 และ 7 พบว่าการใช้เชื้อไอโซเลท1 ส่งผลให้ความสูงของต้นพริกขี้หนูสูงที่สุดคือ 13.6, 20.5, 27.8 และ 42.9 เซนติเมตรตามลำดับ (ตารางที่ 3) โดยเชื้อไอโซเลทดังกล่าวไม่มีความแตกต่างในทางสถิติกับ ไอโซเลท 2 ไอโซเลท 3 ไอโซเลท 4 และ ไอโซเลท 5 แต่พบความแตกต่างระหว่างใน ไอโซเลท 6 ที่ค่อนข้างมีแนวโน้มต่อการยืดตัวของต้นพริกน้อยกว่า Isolate อื่น ๆ โดยมีความสูงของต้นพริกขี้หนูใกล้เคียงกับตำรับควบคุมที่มีความสูงของต้น

Table 2. Effects of bacteria-producing indole-3-acetic acid (IAA) on number of bird chilli leaves in 7 weeks

Treatment	Number of chilli leaves (leaves/plant)						
	1	2	3	4	5	6	7
control	7.3	8.3	20 b	34 c	60 c	120	151 c
Isolate 1	8.0	9.5	29 a	53 a	104 ab	169	230 a
Isolate 2	7.8	9.8	23 ab	36 abc	86 abc	137	180 bc
Isolate 3	8.0	9.3	24 ab	43 abc	87 abc	144	174 bc
Isolate 4	8.0	9.3	25 ab	47 ab	111 a	157	209 ab
Isolate 5	7.8	9.3	28 a	42 abc	96 ab	141	195 abc
Isolate 6	7.5	9.0	20 b	35c	77 bc	135	194 abc
CV	8.56	7.80	18.56	18.81	22.04	17.01	16.61
F-test	ns	ns	*	*	*	ns	*
Grand mean	7.75	9.18	24.0	41.3	88.6	143.1	190.4

Note: Means in the same column followed by different letters were different significantly by LSD, *=0.05, and ns= Non significant

Table 3. Effect of bacteria-producing indole-3-acetic acid (IAA) on shoot height in 7 weeks

Treatment	Shoot height (cm/week)						
	1	2	3	4	5	6	7
Control	4.4 c	5.7 b	8.2 c	13.0 c	19.8 c	26.5	36.6 c
Isolate 1	5.0 a	8.1 a	13.6 a	20.5 a	27.8 a	32.5	42.9 a
Isolate 2	4.8 ab	7.1 ab	10.9 abc	16.5 abc	22.8 abc	28.9	37.2 bc
Isolate 3	4.7 abc	6.9 ab	11.1 abc	18.2 ab	25.0 ab	31.4	41.4 abc
Isolate 4	4.7 abc	8.1 a	11.5 abc	19.2 ab	25.3 ab	31.0	41.4 abc
Isolate 5	4.6 bc	7.9 a	12.0 ab	18.9 ab	25.1 ab	31.7	42.0 ab
Isolate 6	4.5 bc	7.5 a	9.6 bc	15.6 bc	21.2 bc	28.4	37.3 bc
CV	3.80	9.73	15.26	12.98	10.76	8.93	8.34
F-test	**	**	**	**	**	ns	*
Grand mean	4.66	7.31	10.99	17.40	23.86	30.06	39.83

Note: Means in the same column followed by different letters were different significantly by LSD, **=0.01, *=0.05, and ns= Non significant

พริกขี้หนูต่ำที่สุดอีกด้วย โดยความสูงของต้นพริกขี้หนูในงานทดลองครั้งนี้มีค่าใกล้เคียงกับงานทดลองของ Datta *et al*. (2011) ที่ทำการแช่ต้นกล้าพริกในแบคทีเรียที่มีความสามารถในการผลิต IAA แล้วทำการย้ายปลูกลงในดินละเอียดร่วมกับทราย โดยพบว่าต้นพริกมีความสูงเฉลี่ยอยู่ในช่วง 35.8-45.5 เซนติเมตร ขณะที่งานทดลองของ Khan *et al*. (2014) พบค่าความสูงของต้นพริกอยู่ในช่วง 44.5-68.3 เซนติเมตร ซึ่งมีค่าเฉลี่ยต่ำกว่างานทดลองในครั้งนี้ ร่วมทั้งงานทดลองของ Amaresan *et al*. (2012) โดยพบข้อสรุปว่าการใส่แบคทีเรียที่มีความสามารถในการผลิต IAA ได้สูง (*Bacillus pumilus* BETL13) ส่งผลให้ต้นกล้าพริกมีความสูง สูงกว่าในตำรับที่ใส่แบคทีเรียที่มีความสามารถในการสังเคราะห์ IAA ได้ต่ำ ขณะที่ Bhandari *et al.* (2009) พบว่าปริมาณ IAA ในอัตราต่าง ๆ มีผลต่อความยาวราก ความสูงของต้น *Verbascum thapsus* โดยที่ความเข้นข้น 50 ppm IAA ช่วยให้พืชมีความยาวราก ความสูง จำนวนใบ จำนวนข้อ จำนวนกิ่งสูงกว่า ความเข้นข้น 100 และ 200 ppm ขณะที่ความเข้มข้นที่ 200 ppm ส่งเสริมในด้านของพื้นที่ใบ จำนวนดอกและผล นอกจากนี้ Kasula *et al*. (2008) ได้ทำการทดลองใช้ thidiazuron (9 μM) ร่วมกับ IAA (2.8 μM) พบว่ามีผลทำให้ต้นกล้าพริกยืดยาวขึ้น 3-4 เซนติเมตรเมื่อเทียบกับตำรับอื่น ๆ ทั้งนี้จากงานทดลองการคลุกเชื้อ *Azospirillum* ในเมล็ดพริก ใส่ทางดินและใส่ในระยะต้นกล้า ร่วมกับการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน และฮอร์โมน NAA 5 ppm พบว่าช่วยส่งเสริมในด้านของความสูงและจำนวนกิ่งของต้นพริก (Amirthalingam, 1988; Paramaguru and Natarajan, 1993)

น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ความยาวราก

สำหรับอัตราส่วนของน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ความยาวรากในระยะ 7 สัปดาห์พบว่าน้ำหนักสดของส่วนเหนือดินจากการใส่เชื้อไอโซเลท 6 ให้ค่าน้ำหนักเท่ากับตำรับควบคุมคือ 46.8 กรัม/ต้น (P<0.05) ส่วนการใช้เชื้อไอโซเลท 1 ส่งผลให้น้ำหนักสดของต้นพริกสูงที่สุดคือ 68.3 กรัม/ต้น แต่ไม่มีความแตกต่างในทางสถิติกับการใช้เชื้อไอโซเลท 3 ไอโซเลท 4 และ ไอโซเลท 5 ขณะที่น้ำหนักสดของราก ไม่พบความแตกต่างในทางสถิติกับการใช้เชื้อชนิดต่าง ๆ โดยตำรับควบคุมทำให้น้ำหนักสดของรากน้อยที่สุดคือ 15.2 กรัม/ต้น และการใส่เชื้อไอโซเลท 1 ส่งผลให้น้ำหนักสดของรากสูงที่สุดคือ 27.2 กรัม/ต้น ในส่วนของน้ำหนักแห้งของส่วนเหนือดินของต้นพริกเป็นไปในทิศทางเช่นเดียวกันกับน้ำหนักสดคือการใช้เชื้อไอโซเลท 1 ส่งผลทำให้น้ำหนักแห้งของต้นพริกสูงที่สุด คือ 14.1 กรัม/ต้น แต่ไม่มีความแตกต่างกับการใช้เชื้อไอโซเลท 3 ไอโซเลท 4 และ ไอโซเลท 5 ขณะที่เชื้อไอโซเลท 2

และ ไอโซเลท 6 มีน้ำหนักแห้งเฉลี่ย 8.3 กรัม/ต้น แต่ไม่แตกต่างกับตำรับควบคุม และการใช้เชื้อชนิดอื่นยกเว้นการใส่เชื้อไอโซเลท 1 เท่านั้น ในส่วนของน้ำหนักแห้งของรากพบว่าการใส่เชื้อไอโซเลท 1 ไม่มีความแตกต่างในทางสถิติกับการใส่เชื้อ Isolate 3 ขณะที่การใส่เชื้อไอโซเลทอื่น ๆ มีค่าเฉลี่ยของน้ำหนักแห้งของราก อยู่ในช่วง 1.7-2.5 กรัม/ต้น (ตารางที่ 4) ทั้งนี้ตำรับควบคุมยังคงให้น้ำหนักแห้งของรากพริกต่ำที่สุดคือ 1.5 กรัม/ต้น จากงานทดลองในครั้งนี้มีความสอดคล้องกับ Egamberdiyeva (2007) ที่ศึกษาแบคทีเรียที่มีความสามารถในการผลิต IAA คือ *Pseudomonas alcaligenes* (PsA15), *Bacillus polymyxa* (BcP26) และ *M. phlei* (MbP18) พบว่าการใช้เชื้อแบคทีเรียเหล่านี้ส่งผลให้น้ำหนักแห้งของส่วนเหนือดินของข้าวโพดเพิ่มขึ้น 17-30% และน้ำหนักแห้งของรากเพิ่มขึ้น 19-52% ในดิน Calcisol เมื่อเทียบกับตำรับควบคุม สำหรับของความยาวรากของต้นพริกอายุ 7 สัปดาห์นั้นมีความผันแปรระหว่างตำรับทดลองน้อยมาก โดยเชื้อไอโซเลท 1 ไม่มีความแตกต่างกับการใช้เชื้อไอโซเลทอื่น ๆ ยกเว้นการใส่เชื้อไอโซเลท 2 เท่านั้น ที่มีผลทำให้ความยาวของรากพริกแตกต่างในทางสถิติ โดยตำรับควบคุมมีความยาวของรากพริกต่ำที่สุดคือ 25.7 เซนติเมตร แต่ไม่มีความแตกต่างกับการใส่เชื้อไอโซเลท 2 ไอโซเลท 4 ไอโซเลท 5 และ ไอโซเลท 6 (P<0.05) สอดคล้องกับงานทดลองของ Etesami *et al.* (2015) พบว่าความยาวของรากข้าวมีสหสัมพันธ์กับปริมาณ IAA โดยทำการวัดรากข้าวที่ระยะเวลา 20 วันหลังคลุกเชื้อแบคทีเรีย เมื่อไรก็ตามที่มีปริมาณ IAA สูงขึ้นความยาวของรากก็จะเพิ่มขึ้น โดยพบค่าสหสัมพันธ์อยู่ที่ R=0.89

ปริมาณธาตุอาหารพืช

ปริมาณธาตุอาหารที่วิเคราะห์ได้จากส่วนเหนือดินและรากของต้นพริกในระยะ 7 สัปดาห์ พบว่าส่วนเหนือดินของต้นพริกมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเฉลี่ยอยู่ที่ 3.19%N ปริมาณฟอสฟอรัส 0.28%P และปริมาณโพแทสเซียม 3.38%K ปริมาณธาตุอาหารหลักทั้ง 3 ธาตุอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าค่ามาตรฐานเล็กน้อยคือ 3.0%N, 0.3%P และ 5.0%K (Reuter and Robinson, 1986) โดยปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของส่วนเหนือดินสูงที่สุดเมื่อมีการใส่เชื้อไอโซเลท 1 คือ 3.68%N แต่ไม่มีความแตกต่างในทางสถิติกับการใส่เชื้อไอโซเลท 3 และ ไอโซเลท 5 โดยตำรับควบคุม ยังคงมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดต่ำที่สุดคือ 2.73%N (P<0.05) ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม ไม่มีความแตกต่างในทางสถิติระหว่างตำรับทดลอง โดยไอโซเลท 1 มีแนวโน้มของปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม สูงที่สุดใกล้เคียงกับไอโซเลท 5 มากกว่าการใช้เชื้อไอโซเลทอื่น ๆ อย่างเห็นได้ชัด (ตารางที่ 5)

Table 4. Effect of bacteria-producing indole-3-acetic acid (IAA) on fresh weight, dry weight and root lenght of bird chilli at 7 weeks

Treatment	Fresh weight (g/plant)		Dry weight (g/plant)		Root length
	Shoot	Root	Shoot	Root	cm
Control	46.8 c	15.2	7.9 b	1.5 d	25.7 b
Isolate 1	68.3 a	27.2	14.1 a	3.6 a	28.8 a
Isolate 2	51.6 bc	18.6	8.25 b	2.4 bcd	26.1 b
Isolate 3	58.8 abc	21.3	10.9 ab	2.9 ab	28.3 a
Isolate 4	60.7 ab	19.5	11.4 ab	2.0 bcd	27.2 ab
Isolate 5	60.5 abc	21.4	11.9 ab	2.5 bc	27.1 ab
Isolate 6	46.8 c	16.9	8.3 b	1.7 cd	26.2 ab
CV	16.68	29.57	20.60	21.72	5.22
F-test	*	ns	**	**	*
Grand mean	56.20	19.99	10.40	2.35	27.02

Note: Means in the same column followed by different letters were different significantly by LSD, **=0.01, *=0.05, and ns= Non significant

Table 5. Effect of bacteria-producing indole-3-acetic acid (IAA) on nutrition of bird chilli at 7 weeks

Treatment	Nitrogen(%)		Phosphorus(%)		Potassium(%)	
	Shoot	Root	Shoot	Root	Shoot	Root
control	2.73 c	1.75	0.27	0.084 d	2.76	1.81 c
Isolate 1	3.68 a	2.08	0.30	0.153 a	3.65	2.49 a
Isolate 2	3.15 bc	1.93	0.28	0.112 bcd	3.43	2.20 ab
Isolate 3	3.28 ab	1.88	0.29	0.133 ab	3.45	2.28 a
Isolate 4	3.18 bc	1.95	0.28	0.121 abc	3.48	2.22 ab
Isolate 5	3.25 ab	2.08	0.29	0.119 bc	3.64	2.24 ab
Isolate 6	3.04 bc	1.85	0.28	0.095 cd	3.27	1.92 bc
CV	9.88	11.54	6.84	14.31	14.20	11.15
F-test	*	ns	ns	**	ns	*
Grand mean	3.19	1.93	0.28	0.117	3.38	2.16

Note: Means in the same column followed by different letters were different significantly by LSD, **=0.01, *=0.05, and ns= Non significant

ขณะที่ปริมาณธาตุอาหารหลักทั้ง 3 ธาตุในตัวอย่างรากพืชพบว่าไอโซเลท 1 ส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงที่สุดเท่ากับไอโซเลท 5 คือ 2.08%N แต่ไม่มีความแตกต่างในทางสถิติกับทุกตำรับ ปริมาณฟอสฟอรัสในตัวอย่างรากพบว่าเชื้อไอโซเลท 1 ส่งผลให้มีปริมาณฟอสฟอรัสสูงที่สุดคือ 0.153%P แต่ไม่มีความแตกต่างกับไอโซเลท 3 และ ไอโซเลท 4 ทั้งนี้ตำรับควบคุมยังคงมีปริมาณฟอสฟอรัสในตัวอย่างรากต่ำที่สุดคือ 0.084%P สำหรับปริมาณโพแทสเซียม ในตัวอย่างรากนั้นพบว่าการใช้เชื้อไอโซเลท 1 ทำให้ปริมาณโพแทสเซียมสูงที่สุดคือ 2.49%K แต่ไม่มีความแตกต่าง จากการใส่เชื้อไอโซเลท 2 ไอโซเลท 3 ไอโซเลท 4 และ ไอโซเลท 5 ขณะที่เชื้อไอโซเลท 6 มีปริมาณโพแทสเซียมต่ำกว่าการใช้เชื้อไอโซเลทอื่น ๆ และไม่มีความแตกต่างกับตำรับควบคุม (P<0.05) จากงานทดลองของ Egamberdiyeva (2007) พบว่าแบคทีเรียที่มีความสามารถในการผลิต IAA ต่อการเจริญเติบโตและปริมาณธาตุอาหารในข้าวโพดในระยะ 4 สัปดาห์ พบว่าการใช้เชื้อแบคทีเรียส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในส่วนเหนือดินและรากของข้าวโพดเพิ่มขึ้น 16-85% ในดิน Calcisol เมื่อเทียบกับตำรับควบคุมและเทียบกับดินร่วนปนทราย

สรุป

การตอบสนองของเชื้อแบคทีเรียที่สามารถผลิต IAA ซึ่งคัดแยกได้จากพื้นที่ของศูนย์พัฒนาพันธุ์พืชจักรพันธ์เพ็ญศิริ จ.เชียงราย นั้นพบว่ามีแบคทีเรียที่สามารถผลิต IAA มีทั้งหมด 15 ไอโซเลท จากจำนวนทั้งหมด 57 ไอโซเลทโดยมี 6 ไอโซเลท ที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด ถูกนำมาศึกษากับการเจริญเติบโต และปริมาณธาตุอาหารของพริกขี้หนู พบว่า เชื้อทั้ง 6 ไอโซเลท มีผลทำให้จำนวนใบ ความสูงของต้นพริก น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และความยาวของรากของต้นกล้าพริกขี้หนู รวมทั้งปริมาณไนโตรเจนฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในตัวอย่างส่วนเหนือดิน และรากของต้นพริกขี้หนูสูงกว่าตำรับควบคุม โดย ไอโซเลท 1 (126 μg/ml) คือเชื้อ *Brevibacillus agri* มีประสิทธิภาพสูงกว่าไอโซเลทอื่น โดยเชื้อไอโซเลทใดที่สามารถผลิต ฮอร์โมน IAA ได้ในปริมาณที่สูงมักจะส่งผลทำให้การเจริญเติบโตในด้านสรีระทุก ๆ ด้านสูงกว่าเชื้อกลุ่มที่สามารถผลิตฮอร์โมนได้ในปริมาณต่ำ รวมทั้งการดูดใช้ธาตุอาหารพืชได้ดีอีกด้วย ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำแบคทีเรียกลุ่มนี้ไปต่อยอดโดยการนำไปใช้ประโยชน์กับการผลิตพริกขี้หนูในพื้นที่ของศูนย์ฯ เพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโต เพิ่มผลผลิต และลดโอกาสการเกิดโรคของพริกขี้หนู ทั้งนี้เนื่องจาก

แบคทีเรียที่คัดแยกได้นั้น เป็นแบคทีเรียที่ได้ในบริเวณพื้นที่ทำการเพาะปลูก จึงน่าจะมีความสามารถในการอยู่รอดและเหมาะกับ สภาพพื้นที่เพาะปลูกมากกว่าจุลินทรีย์ที่มาจากพื้นที่อื่น อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาเพิ่มเติมและเก็บข้อมูลจนถึงระยะเก็บเกี่ยว จากงานทดลองครั้งนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับพืชชนิดอื่น ๆ ได้ โดยเฉพาะพืชที่ต้องการสร้างความแข็งแรงของราก และการดูดใช้ธาตุอาหาร

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ศูนย์พัฒนาพันธุ์พืชจักรพันธ์เพ็ญศิริ ต.โป่งผา อ.แม่สาย จ.เชียงราย และ มูลนิธิชัยพัฒนา ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณวิจัย

เอกสารอ้างอิง

จีราภรณ์ อินทสาร ฉัตรปวีณ์ เดชจิรรัตนสิริ และ ประวิทย์ บุญมี. 2559. ผลของการใช้วัสดุปรับปรุงดินร่วมกับเชื้อแบคทีเรียที่สามารถย่อยสลายฟอสเฟตต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินใต้ทรงพุ่มมะรุม. วารสารเกษตร 32(3): 379-390.

ดนัย บุณยเกียรติ. 2539. สรีรวิทยาของพืช. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

ธนากร แสงสง่า. 2557. พีจีพีอาร์: บทบาทในการส่งเสริมและป้องกันพืชภายใต้สภาวะเครียด. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 22(4): 553-570.

เนาวรัตน์ ศิวะศิลป์. 2527. คู่มือวิเคราะห์ดิน พืช และปุ๋ย. ภาควิชาปฐพีศาสตร์และอนุรักษศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

พันทวี มาไพโรจน์. 2532. ฮอร์โมนและสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช: บทแนะนำความรู้พื้นฐาน. ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

พีรเดช ทองอำไพ. 2529. ฮอร์โมนพืชและสารสังเคราะห์. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ลิลลี่ กาวีต๊ะ มาลี ณ นคร ศรีสม สุวรรณวงศ์ และ สุรียา ตันติวิวัฒน์. 2549. สรีรวิทยาของพืช. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วันเพ็ญ ภูติจันทร์. 2548. สรีรวิทยาทั่วไป (General Physiology). โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

วิลาวรรณ์ เชื้อบุญ และ ดุสิต อธินุวัฒน์. 2557. ฮอร์โมนพืชผลิตจาก *Pseudomonas fluorescens* SP007s ในการส่งเสริมการเจริญเติบโต ของคะน้าอินทรีย์. Thai Journal of Science and Technology 3(3): 196-205.

อรวรรณ ฉัตรสีรุ้ง. 2545. การผลิตสาร Indole-3-acetic acid (IAA) และ Rhizobitoxine โดยเชื้อไรโซเบียม. ภาควิชาปฐพีศาสตร์และอนุรักษศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

Acuña, J.J., M.A. Jorquera, O.A. Martínez, D. Menezes_Blackburn, M.T. Fernández, P. Marschner, R. Greiner and M.L. Mora. 2011. Indole acetic acid and phytase activity produced by rhizosphere bacilli as affected by pH and metals. Journal of Soil Science and Plant Nutrition 11(3): 1-12.

Amaresan, N., V. Jayakumar, K. Kumar and N. Thajuddin. 2012. Isolation and characterization of plant growth promoting endophytic bacteria and their effect on tomato (*Lycopersicon esculentum*) and chilli (*Capsicum annuum*) seedling growth. Annals of Microbiology 62: 805-810.

Amirthalingam, S. 1988. Studies on effect of *Azospirillum*, nitrogen and NAA on growth and yield of chilli (*Capsicum annuum* L.) cv. K.1. South Indian Horticulture 36(4): 218.

Arshad, M. and W.T. Frankenberger. 1992. Microbial production of plant growth regulators. pp. 307-347. *In*: F.B. Metting, Jr. (ed.). Soil Microbial Ecology. Marcel Dekker Inc., New York.

Bhandari, S., M. Sajwan and N.S. Bisht. 2009. Physiological effect of auxins on growth characteristics and productive potential of *Verbascum thapsus* - a medicinal plant. Researcher 1(5): 47-51.

Datta, C. and P.S. Basu. 2000. Indole acetic acid production by a *Rhizobium* species from root nodules of a leguminous shrub *Cajanus* cajan. Microbiological Research 155(2): 123-127.

Datta, M., R. Palit, C. Sengupta, M.K. Pandit and S. Banerjee. 2011. Plant growth promoting rhizobacteria enhance growth and yield of chilli (*Capsicum annuum* L.) under field conditions. Australian Journal of Crop Science 5(5): 531-536.

Egamberdiyeva, D. 2007. The effect of plant growth promoting bacteria on growth and nutrient uptake of maize in two different soils. Applied Soil Ecology 36(2-3): 184-189.

Ehmann, A. 1977. The van Urk-Salkowski reagent - a sensitive and specific chromogenic reagent for silica gel thin-layer chromatographic detection and identification of indole derivatives. Journal of Chromatography 132(2): 267-276.

Etesami, H., H.A. Alikhani and H.M. Hosseini. 2015. Indole-3-acetic acid (IAA) production trait, a useful screening to select endophytic and rhizosphere competent bacteria for rice growth promoting agents. MethodsX 2: 72-78.

Jackson, M.L. 1967. Soil Chemical Analysis. Prentice Hall of India Pvt. Ltd., New Delhi.

Kasula, K., S. Prasad, P. Umate, K. Gadidasu and S. Abbagan. 2008. Efficient TDZ and IAA-assisted plant regeneration from cotyledon and leaf explants of *Capsicum annuum* L. one-step protocol for shoot bud differentiation and elongation. International Journal of Plant Developmental Biology 2(2): 114-117.

Khan, A., S.N.M. Shah, A. Rab, M. Sajid, K. Ali, A. Ahmed and S. Faisal. 2014. Influence of nitrogen and potassium levels on growth and yield of chillies (*Capsium annuum* L.). International Journal of Farming and Allied Sciences 3(3): 260-264.

Lindsay, W.L. 1979. Chemical Equilibria in Soil. John Wiley & Sons. New York. 449 p.

Loper J.E. and M.N. Schroth. 1986. Influence of bacterial sources of indole-3-acetic acid on root elongation of sugar beet. Phytopathology 76: 386-389.

Lynch, J.M. 1985. Origin, nature and biological activity of aliphatic substances and growth hormones found in soil. pp. 151-174. *In*: D. Vaughan and R.E. Malcom (eds). Soil Organic Matter and Biological Activity. Martinus Nijhoff /Dr. W. Junk Publishers, Dordrecht.

Malhotra, M. and S. Srivastava. 2009. Stress-responsive indole-3-acetic acid biosynthesis by *Azospirillum brasilense* SM and its ability to modulate plant growth. European Journal of Soil Biology 45: 73-80.

Mohite, B. 2013. Isolation and characterization of indole acetic acid (IAA) producing bacteria from rhizospheric soil and its effect on plant

growth. Journal of Soil Science and Plant Nutrition 13(3): 638-649.

Paramaguru, P. and S. Natarajan. 1993. Effect of *Azospirillum* on growth and yield of chilli (*Capsicum annuum* L.) grown under semi-dry condition. South Indian Horticulture 4(2): 80-83.

Pilet, P.E. and M. Saugy. 1985. Effect of applied and endogenous indol-3yl-acetic acid on maize root growth. Planta 164(2): 254-258.

Reuter, D.J. and J.B. Robinson. 1986. Plant Analysis: An Interpretation Manual. Inkata Press, Melbourne. 218 p.

Shahab, S., N. Ahmed and N. S. Khan. 2009. Indole acetic acid production and enhanced plant growth promotion by indigenous PSBs. African Journal of Agriculture Research. 4(11): 1312-1316.