

ประสิทธิภาพของแบคทีเรียตรึงไนโตรเจนแบบอิสระต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 ในสภาพเรือนทดลอง

Effectiveness of free-living nitrogen fixing bacteria on growth and yield of Phitsanulok 2 rice cultivar in greenhouse condition

ธนภุต เลิศจันทรางกูร^{1*}, อัจฉรา เพ็งหนู², วันวิสาข์ ปั่นศักดิ์³, วิภา หอมหวล⁴ และ Khat Sotheara⁴

Tanakit Lertjantarangkool^{1*}, Ashara Pengnoo², Wanwisa Punsak³, Wipa Homhaul⁴ and Khat Sotheara⁴

¹ กลุ่มวิชาการ ศูนย์วิจัยข้าวฉะเชิงเทรา จังหวัดฉะเชิงเทรา 24171

¹ Academic Group, Chachoengsao Rice Research Center, Chachoengsao, 24171

² สาขาวิชานวัตกรรมเกษตรและการจัดการ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จังหวัดสงขลา 90110

² Department of Agricultural Innovation and Management, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkhla University, Songkhla, 90110

³ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล จังหวัดนครปฐม 73170

³ Department of Environmental Science and Technology, Faculty of Environment and Resource Studies, Mahidol University, Nakhon Pathom, 73170

⁴ ภาควิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก 65000

⁴ Department of Agricultural Science, Faculty of Agriculture, Natural Resources and Environment, Naresuan University, Phitsanulok, 65000

บทคัดย่อ: ธาตุไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารหลักที่มีความสำคัญสำหรับการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของข้าว งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของแบคทีเรียที่ตรึงไนโตรเจนแบบอิสระจำนวน 5 ไอโซเลต ที่มีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 ทดลองในกระถางโดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (CRD) จำนวน 4 ซ้ำ ทั้งหมด 8 กรรมวิธี ระหว่างการทดลองทำการเก็บข้อมูลความสูงต้น จำนวนต้นต่อกระถาง จำนวนรวงต่อกระถาง น้ำหนัก 100 เมล็ด น้ำหนักเมล็ดต่อกระถาง ร้อยละเมล็ดดี และน้ำหนักแห้งต้น ผลการศึกษาพบว่า ก่อนการใส่ปุ๋ยยูเรียที่อายุ 7 สัปดาห์หลังการย้ายปลูก การใช้ NK3-1 และ NK5-5 เพียงอย่างเดียวทำให้ความสูงข้าวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับกรรมวิธีควบคุม การใช้ NK12-1 ร่วมกับปุ๋ยยูเรีย มีผลทำให้น้ำหนัก 100 เมล็ดน้ำหนักทั้งหมดต่อกระถาง เพิ่มขึ้นและแตกต่างกันกับกรรมวิธีควบคุม และการใช้แบคทีเรียแต่ละไอโซเลตร่วมกับปุ๋ยยูเรีย ไม่มีผลทำให้จำนวนต้น/กอ ร้อยละเมล็ดดี รวมทั้งน้ำหนักแห้งต้น/กระถาง ของข้าวแตกต่างกัน การใช้ NK3-1 และ NK5-5 ร่วมกับปุ๋ยยูเรียมีแนวโน้มทำให้ร้อยละเมล็ดดีเพิ่มขึ้น และการใช้ NK3-1 และ NK12-1 ร่วมกับปุ๋ยยูเรีย มีแนวโน้มทำให้น้ำหนักแห้งต้นเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับกรรมวิธีควบคุม สรุปได้ว่าการใช้ NK3-1 และ NK5-5 สามารถส่งเสริมการเพิ่มการเจริญเติบโตของข้าวได้ และการใช้ NK12-1 ร่วมกับปุ๋ยยูเรียส่งเสริมการเพิ่มผลผลิตข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2

คำสำคัญ: แบคทีเรียตรึงไนโตรเจนแบบอิสระ; การเจริญเติบโต; ผลผลิต; ข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2

ABSTRACT: Nitrogen is a macronutrient for rice growth and yield. This research aimed to study 5 isolates of free-living nitrogen fixing bacteria on growth and yield of Phitsanulok 2 rice cultivar under greenhouse conditions. The pot's experimental design was completely randomized design 4 replications of 8 treatments. During the experiment, the plants height, number of tillers/pot, number of panicle/pot, 100 filled grains weight, total filled grains weight, percentage of filled grain and shoot dry weight were examined. It was found that before

* Corresponding author: Tanakitlert6565@gmail.com

application of urea at 7 weeks after transplanting, NK3-1 and NK5-5 significantly enhanced the plant height when compared to the control. Application of NK12-1 together with urea resulted in the increased 100 filled grains weight and dry weight of shoot and significantly different from the control. Using each of the isolates with urea showed no different effects on shoot dry weight, filled grains percentage and number of tillers/pot. Isolates NK3-1 and NK12-1 used in combination with urea tended to increase shoot dry weight when compared to the control. In conclusion, NK3-1 and NK5-5 could improve plant growth and using NK12-1 combined with urea could promote the yield production of rice cultivar Phitsanulok 2.

Keywords: free living nitrogen fixing bacteria; growth; yield; Phitsanulok 2 rice cultivar

บทนำ

เกษตรกรรมเขตภาคกลางนิยมปลูกข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 เป็นข้าวไม่ไวแสง มีผลผลิตค่อนข้างสูง (714-1,004 ตันต่อไร่) อายุสั้น (87-110 วัน) ต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล (ปรางค์นิตดา และคณะ, 2563) เกษตรกรมีแนวโน้มการใช้ปุ๋ยยูเรียในนาข้าวเพิ่มสูงขึ้น ปุ๋ยยูเรียช่วยให้ต้นข้าวเจริญเติบโตด้านความสูงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่มีผลทำให้ความหนาของผนังลำต้น ความอวบของต้นและปล้องลดลง แมลงศัตรูพืชและโรคพืชเข้าทำลายได้ง่าย (Zhang et al., 2014) การใช้ปุ๋ยยูเรียจะเร่งการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุในดิน ทำให้ดินเกิดการสูญเสียธาตุอาหาร โดยการชะล้าง การเปลี่ยนรูปที่ทำให้พืชใช้ประโยชน์ไม่ได้ และการระเหยหายไปสู่อากาศ ทำให้พืชได้รับธาตุอาหารไม่เพียงพอ และเป็นเหตุให้เกษตรกรต้องใช้ปุ๋ยยูเรียมากขึ้น ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น (นิษฐา และ สายันต์, 2560) แต่ถึงอย่างไรข้าวจำเป็นต้องการธาตุไนโตรเจนเพื่อการเจริญเติบโตและสร้างผลผลิตในปริมาณมากเพราะไนโตรเจน (N) เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของกรดอะมิโน กรดนิวคลีอิก นิวคลีโอไทด์ และคลอโรฟิลล์ (ยงยุทธ, 2543) การศึกษาการเจริญเติบโตของข้าวทางลำต้นและใบ น้ำหนักแห้ง เพิ่มขึ้นตามปริมาณไนโตรเจนในดินและระดับของการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน (อารีรัตน์, 2542) ปัจจุบันมีการส่งเสริมการใช้ปุ๋ยชีวภาพ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดูดธาตุอาหารของข้าว ส่งเสริมการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวให้สูงขึ้น และลดต้นทุนการผลิต โดยการใช้แบคทีเรียที่สามารถตรึงไนโตรเจนและผลิต Indole-3-acetic acid ได้อย่างมีประสิทธิภาพร่วมกับการปลูกข้าว ซึ่งมีการใช้แบคทีเรียหลายกลุ่ม เช่น *Azotobacter* *Azospirillum* *Bacillus Burkholderia* *Herbaspirillum* และ *Pseudomonas* เป็นต้น คณะผู้วิจัยได้ศึกษาแบคทีเรีย 5 ไอโซเลต ได้แก่ NK3-1 NK5-5 NK8-4 NK12-1 และ NS17-3 ที่คัดแยกได้จากกาบใบของข้าวพันธุ์จำปา กาบใบของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 กาบใบของข้าวพันธุ์เมล กาบใบของพันธุ์ข้าวผี และคัดแยกได้จากดินบริเวณรอบรากของข้าวพันธุ์สังข์หยด ตามลำดับ ภายในพื้นที่ 2 จังหวัด คือ จังหวัดสงขลาและจังหวัดนครศรีธรรมราช แบคทีเรียมีประสิทธิภาพการตรึงไนโตรเจน 0.2166 0.1858 0.1580 0.1675 และ 0.1201 นาโนโมลของเอทิลีน/ชั่วโมง/มิลลิลิตร ตามลำดับ และมีประสิทธิภาพการผลิตฮอร์โมน IAA 77.50 52.10 109.60 216.50 และ 99.00 ไมโครโมล/มิลลิลิตร ตามลำดับ (ชนกฤต และคณะ, 2560) เพื่อเป็นอีกแนวทางเลือกในการลดปริมาณการใช้ปุ๋ยยูเรียและการใช้แบคทีเรียได้อย่างมีประสิทธิภาพในการส่งเสริมการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว ดังนั้นการศึกษานี้จึงมุ่งศึกษาประสิทธิภาพของการตรึงไนโตรเจนของแบคทีเรียที่สามารถผลิตฮอร์โมน IAA เพื่อเป็นแนวทางในการใช้ประโยชน์จากแบคทีเรียให้มีประสิทธิภาพสูงและเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมของพืชที่ปลูก

วัตถุประสงค์ของการวิจัย: เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการใช้แบคทีเรียตรึงไนโตรเจนแบบอิสระต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 ภายใต้สภาพโรงเรือนทดลอง

วิธีการศึกษา

การเตรียมสารละลายแบคทีเรีย: นำแบคทีเรีย 5 ไอโซเลต ได้แก่ NK3-1 NK5-5 NK8-4 NK12-1 และ NS17-3 เพาะเลี้ยงในอาหารเหลว Modified Winogradsky Broth เขย่าด้วยความเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 3 วัน เมื่อครบกำหนด นำมาตรวจวัดค่าความขุ่นของสารละลายแบคทีเรียและปรับด้วยอาหารเหลวให้มีความขุ่น (OD_{600}) เท่ากับ 0.5 เพื่อให้ได้ความเข้มข้นเท่ากับ 10^8 เซลล์/มิลลิลิตร

การจำแนกชนิดแบคทีเรียเอนโดไฟต์: นำแบคทีเรีย 5 ไอโซเลต จำแนกชนิดโดยการเปรียบเทียบลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีน 16S rRNA พบว่า สามารถระบุชนิดของแบคทีเรียได้ดังนี้ คือ *Bacillus megaterium* NK3-1, *Bacillus megaterium* NK5-5, *Bacillus cereus* NK8-4, *Bacillus megaterium* NK12-1, และ *Bacillus* sp. NS17-3 ด้วยระบบฐานข้อมูลโปรแกรม EzBioCloud

การเตรียมเมล็ดข้าว: นำเมล็ดข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 มาทำการฆ่าเชื้อที่ผิวเมล็ดด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 3 เป็นเวลา 10 นาที ล้างด้วยน้ำกลั่นที่ผ่านการฆ่าเชื้ออย่างน้อย 5 ครั้ง แล้วนำเมล็ดข้าวมาแช่ด้วยสารละลายแบคทีเรีย อัตรา 10^8 เซลล์/กรัม เก็บไว้ในที่มืด อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำเมล็ดข้าวปลูกลงถาดเพาะกล้า โดยใช้วัสดุเพาะเป็นดินเหนียวละเอียดซึ่งเป็นดินที่ใช้ปลูกข้าวในกระถาง รดน้ำให้ชุ่ม เป็นเวลา 18 วัน

การเตรียมดินสำหรับปลูกข้าว: เก็บตัวอย่างดินเหนียว ใช้ชุดดินทางดง จากแปลงวิจัยและฝึกงานนิสิต คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร นำดินมาร่อนผ่านตะแกรงร่อนดินขนาด 2 มิลลิเมตร ชั่งดินใส่กระถางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร จำนวน 5 กิโลกรัมดิน/กระถาง จากนั้นใส่น้ำลงในกระถางที่บรรจุดิน กวนดินให้เป็นเนื้อเดียวกันทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างดินในกระถางก่อนปลูกวิเคราะห์สมบัติทางเคมีดิน ได้แก่ ความเป็นกรดต่างด้วยวิธี pH meter (Peech, 1965) ดินต่อน้ำ 1 : 1 อินทรีย์วัตถุโดยวิธี Walkley-Black ไนโตรเจนทั้งหมดโดยวิธี Kjeldahl method ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โดยวิธี Bray II (จำเริญ, 2555) และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้โดยการสกัดด้วย NH_4OAc วัดด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีดินก่อนปลูกข้าว: ปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจนทั้งหมดในดิน อยู่ในช่วง 8.00 ถึง 13.00 มก./กก. ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินจัดอยู่ในปริมาณระดับสูงในช่วง 32.00 ถึง 101.00 มก./กก. ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินจัดอยู่ในปริมาณระดับสูงในช่วง 95.00 ถึง 122.00 มก./กก. ปริมาณ ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินจัดอยู่ในปริมาณระดับต่ำถึงปานกลาง ในช่วง 1.30 ถึง 1.80 เปอร์เซ็นต์ และความเป็นกรด-ด่างในดินจัดอยู่ระดับปฏิกิริยาเป็นกรดเล็กน้อย อยู่ในช่วง 6.10 ถึง 6.40

การใส่ปุ๋ยเคมี: ใส่ปุ๋ยยูเรีย สูตร 46-0-0 จำนวน 1 ครั้ง ในสัปดาห์ที่ 7 เมื่ออายุข้าวได้ 67 วันหลังเพาะเมล็ด ปุ๋ยยูเรียครั้งอัตรา คือ การใส่ในอัตรา 25 กิโลกรัม/ไร่ (ยูเรีย 3 กรัม/กระถาง) และใส่ปุ๋ยยูเรียเต็มอัตรา คือ การใส่ในอัตรา 50 กิโลกรัม/ไร่ (ยูเรีย 6 กรัม/กระถาง)

การปลูกข้าว: เมื่อเตรียมดินใส่กระถางเรียบร้อยแล้ว ใส่น้ำขังไว้ในกระถางเพื่อให้ดินอืดตัว หลังจากนั้นทำการปลูกข้าวด้วยวิธีนาดำ ทำการย้ายต้นกล้าไปปักดำลงในกระถาง จำนวน 2 ต้น/กระถาง โดยใช้ต้นกล้าที่มีอายุ 18 วัน

การวางแผนการทดลอง: วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (completely randomized design, CRD) มีจำนวน 4 ซ้ำ มี 8 กรรมวิธีการทดลอง (treatment) ดังนี้ กรรมวิธีที่ 1 ใส่ปุ๋ยยูเรียอัตรา 25 กิโลกรัม/ไร่ (ควบคุม) กรรมวิธีที่ 2 อาหารเหลวร่วมกับปุ๋ยยูเรียอัตรา 25 กิโลกรัม/ไร่ กรรมวิธีที่ 3 ใส่ปุ๋ยยูเรียอัตรา 50 กิโลกรัม/ไร่ (ไม่ใส่เชื้อแบคทีเรีย) กรรมวิธีที่ 4 ใส่เชื้อแบคทีเรียตรึงไนโตรเจน NK 3-1 ร่วมกับปุ๋ยยูเรียอัตรา 25 กิโลกรัม/ไร่ กรรมวิธีที่ 5 ใส่เชื้อแบคทีเรียตรึงไนโตรเจน NK 5-5 ร่วมกับปุ๋ยยูเรียอัตรา 25 กิโลกรัม/ไร่ กรรมวิธีที่ 6 ใส่เชื้อแบคทีเรียตรึงไนโตรเจน NK 8-4 ร่วมกับปุ๋ยยูเรียอัตรา 25 กิโลกรัม/ไร่ กรรมวิธีที่ 7 ใส่เชื้อแบคทีเรียตรึงไนโตรเจน NK 12-1 ร่วมกับปุ๋ยยูเรียอัตรา 25 กิโลกรัม/ไร่ กรรมวิธีที่ 8 ใส่เชื้อแบคทีเรียตรึงไนโตรเจน NS 17-3 ร่วมกับปุ๋ยยูเรียอัตรา 25 กิโลกรัม/ไร่

การเก็บข้อมูลและการบันทึกผลการทดลอง: หลังจากปักดำข้าวแล้ว ทำการเก็บข้อมูลองค์ประกอบผลผลิตดังนี้

วัดการเจริญเติบโตด้วยการวัดความสูงของต้นข้าวส่วนเหนือดิน วัดครั้งแรกเมื่อทำการปักดำต้นกล้าลงในกระถาง และทุกๆ 7 วันหลังปลูก

ที่ระยะเก็บเกี่ยว (อายุ วันหลังการเพาะเมล็ด) บันทึกข้อมูลน้ำหนักแห้งของต้นข้าว จำนวนรวงต่อกระถาง จำนวนต้นต่อกระถางร้อยละเมล็ดดี ร้อยละเมล็ดลีบ น้ำหนัก 100 เมล็ด และน้ำหนักเมล็ดทั้งหมดต่อกระถาง และวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินหลังการเก็บเกี่ยวข้าว

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ: นำข้อมูลมาวิเคราะห์หาค่าแปรปรวนโดยใช้ F-test และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ SPSS for Windows เวอร์ชัน 17.0

สถานที่ทำการทดลอง: แปลงวิจัยและฝึกงานนิสิต คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก

ผลการศึกษา

การเจริญเติบโตของข้าวด้านความสูงต้นข้าว

ในระยะเวลา 12 สัปดาห์ หลังการปักดำต้นกล้าลงในกระถาง พบว่าความสูงต้นข้าวอยู่ในช่วง 20.00 ถึง 90.00 เซนติเมตร โดยความสูงของต้นข้าวอายุข้าวในระยะ 25 32 46 และ 95 วัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ข้อมูลความสูงของต้นข้าวในช่วงอายุข้าวไม่เกิน 46 วัน ก่อนการใส่ปุ๋ยยูเรีย พบว่ากรรมวิธีที่มีการใส่เชื้อแบคทีเรียตรึงไนโตรเจนมีการตอบสนองต่อต้นข้าวดี มีแนวโน้มช่วยส่งเสริมความสูงของต้นข้าวสูงขึ้น โดยเฉพาะการใส่เชื้อแบคทีเรียตรึงไนโตรเจน NK3-1 และที่อายุข้าว 39 53 60 67 74 81 88 และ 102 วัน มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่าในช่วงสัปดาห์ที่ 5 (53) และ 6 (60) ก่อนการใส่ปุ๋ยยูเรีย พบว่าการใส่เชื้อแบคทีเรียตรึงไนโตรเจน NK3-1 สามารถช่วยส่งเสริมความสูงของต้นข้าวได้สูงที่สุด และเมื่อมีการใส่ปุ๋ยยูเรียในสัปดาห์ที่ 7 (67) พบว่ากรรมวิธีที่ 4 ใส่เชื้อแบคทีเรียตรึงไนโตรเจน NK3-1 ร่วมกับปุ๋ยยูเรียอัตรา 25 กก./ไร่ ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับกรรมวิธีที่ 3 ใส่ปุ๋ยยูเรียอัตรา 50 กก./ไร่ เพียงอย่างเดียว แต่พบว่ากรรมวิธีที่ 4 ใส่เชื้อแบคทีเรียตรึงไนโตรเจน NK3-1 ร่วมกับปุ๋ยยูเรียอัตรา 25 กก./ไร่ มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับกรรมวิธีที่ 1 ใส่ปุ๋ยยูเรียอัตรา 25 กก./ไร่ เพียงอย่างเดียว และสัปดาห์ที่ 8 (74) 9 (81) และ 10 (88) พบว่ากรรมวิธีที่ 2 การใส่อาหารเหลวร่วมกับปุ๋ยยูเรียอัตรา 25 กก./ไร่ มีความสูงของต้นข้าวสูงที่สุด แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติเมื่อเทียบกับกรรมวิธีที่ 4 5 และ 6 ที่ใส่เชื้อแบคทีเรียตรึงไนโตรเจน NK3-1 NK5-5 NK8-4 ตามลำดับ ร่วมกับปุ๋ยยูเรียอัตรา 25 กก./ไร่ และยังพบว่าการใส่เชื้อแบคทีเรียตรึงไนโตรเจน NK3-1 NK5-5 NK8-4 ร่วมกับปุ๋ยยูเรียอัตรา 25 กก./ไร่ ช่วยส่งเสริมความสูงของต้นข้าวได้ ไม่แตกต่างกันทางสถิติเมื่อเทียบกับกรรมวิธีที่ 4 ที่ใส่ปุ๋ยยูเรียอัตรา 50 กก./ไร่ (Table 1)

Table 1 Effect of free-living nitrogen fixing bacteria on shoot height of Phitsanulok 2 rice

Treatment	Shoot height (cm)												
	Week (day)												
	0(18)	1(25)	2(32)	3(39)	4(46)	5(53)	6(60)	7(67)	8(74)	9(81)	10(88)	11(95)	12(102)
T1	20.50	33.25	46.25	53.50a	58.50	60.00abc	61.50abc	62.00bc	65.50bc	72.75abc	77.00ab	81.25	82.25c
T2	20.75	34.75	44.75	54.25a	57.50	59.75bc	61.75ab	64.25ab	69.25a	75.75a	80.25a	84.00	87.25ab
T3	20.00	29.25	42.00	50.25b	55.25	61.00ab	62.50ab	63.50abc	67.25ab	72.00abc	77.75ab	83.00	89.75a
T4	22.25	34.00	48.25	55.25a	58.00	62.25a	63.50a	65.00a	68.25ab	73.25abc	78.75ab	82.75	85.75abc
T5	21.00	36.75	47.25	54.50a	57.50	60.00abc	61.50abc	63.25abc	67.75ab	74.50ab	79.25ab	82.50	84.75bc
T6	20.50	33.75	47.00	54.25a	58.50	60.25abc	60.00abc	62.25bc	66.25bc	71.50abc	77.00ab	81.75	84.00bc
T7	21.00	35.50	46.00	52.50ab	55.75	57.00d	59.75bc	61.75c	64.25c	69.50c	75.75b	80.25	82.75bc
T8	22.50	34.50	46.25	53.75a	55.75	58.00cd	58.75bc	61.50c	64.00c	69.75bc	77.25ab	81.25	86.25abc
F-test	ns	ns	ns	*	ns	*	*	*	*	*	*	ns	*
CV (%)	8.94	11.60	6.87	4.16	3.94	3.34	3.37	2.79	3.64	4.57	3.46	3.88	4.00

Means in a same column followed by the different letters are significantly different by DMRT ($P>0.05$, *)

Ns; not significantly different ($P>0.05$)

องค์ประกอบผลผลิตของข้าว

จำนวนต้น/กระถาง: จำนวนต้นต่อกระถางของข้าวในแต่ละกรรมวิธี พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ อยู่ในช่วง 8.00 ถึง 11.00 ต้นต่อกระถาง พบว่ากรรมวิธีที่ 2 อาหารเหลวร่วมกับปุ๋ยยูเรียอัตรา 25 กก./ไร่ กรรมวิธีที่ 3 ใส่ปุ๋ยยูเรียอัตรา 50 กก./ไร่ เพียงอย่างเดียวและกรรมวิธีที่ 4 ใส่เชื้อแบคทีเรียตรึงไนโตรเจน NK3-1 ร่วมกับปุ๋ยยูเรียอัตรา 25 กก./ไร่ มีจำนวนต้นต่อกระถางมากที่สุดเท่ากับ 10.67 ต้นต่อกระถาง และกรรมวิธีที่ 6 ใส่เชื้อแบคทีเรียตรึงไนโตรเจน NK8-4 ร่วมกับปุ๋ยยูเรียอัตรา 25 กก./ไร่ มีจำนวนต้นต่อกระถางน้อยที่สุด 8.00 ต้นต่อกระถาง (Table 2)

จำนวนรวง/กระถาง: พบว่ามีความแตกต่างทางสถิติที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จำนวนรวงข้าว/กระถาง อยู่ช่วงจำนวน 7.00 ถึง 10.00 รวง/กระถาง พบว่ากรรมวิธีที่ 2 อาหารเหลวร่วมกับปุ๋ยยูเรียอัตรา 25 กก./ไร่ มีจำนวนรวง/กระถาง เฉลี่ยมากที่สุดเท่ากับ 9.33 รวง/กระถาง และพบว่ากรรมวิธีที่ 5 และ 7 ใส่เชื้อแบคทีเรียตรึงไนโตรเจน NK5-5 และ NK12-1 ตามลำดับ ร่วมกับปุ๋ยยูเรียอัตรา 25 กก./ไร่ มีความแตกต่างทางสถิติที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับกรรมวิธี 1 ใส่ปุ๋ยยูเรียอัตรา 25 กก./ไร่ เพียงอย่างเดียว ซึ่งการใส่เชื้อแบคทีเรียตรึงไนโตรเจน NK5-5 และ NK12-1 ช่วยส่งเสริมการเพิ่มของจำนวนรวงข้าวต่อกระถางได้ (Table 2)

น้ำหนักแห้งต้น/กระถาง: พบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ปริมาณน้ำหนักแห้งต้นต่อกระถางอยู่ในช่วงปริมาณ 32.00 ถึง 39.00 กรัม/กระถาง พบว่ากรรมวิธีที่ 3 ใส่ปุ๋ยยูเรียอัตรา 50 กก./ไร่ เพียงอย่างเดียว มีปริมาณน้ำหนักแห้ง/ต้นมากที่สุดเท่ากับ 38.18 กรัม/กระถาง และกรรมวิธีที่ 6 ใส่เชื้อแบคทีเรียตรึงไนโตรเจน NK8-4 ร่วมกับปุ๋ยยูเรียอัตรา 25 กก./ไร่ มีปริมาณน้ำหนักแห้งต้น/กระถางน้อยที่สุดเท่ากับ 32.91 กรัม/กระถาง (Table 2)

น้ำหนักเมล็ดข้าว 100 เมล็ด: พบว่ามีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 น้ำหนักเมล็ดข้าว 100 เมล็ด อยู่ในช่วงปริมาณ 2.00-3.00 กรัม พบว่ากรรมวิธีที่ 7 ใส่เชื้อแบคทีเรียตรึงไนโตรเจน NK12-1 ร่วมกับปุ๋ยยูเรียอัตรา 25 กก./ไร่ มีปริมาณน้ำหนักเมล็ดข้าว 100 เมล็ดมากที่สุดเท่ากับ 2.51 กรัม ซึ่งมีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับกรรมวิธีที่ 1 ใส่ปุ๋ยยูเรียอัตรา 25 กก./ไร่ เพียงอย่างเดียว และกรรมวิธีที่ 3 ใส่ปุ๋ยยูเรียอัตรา 50 กก./ไร่ เพียงอย่างเดียว การใส่เชื้อแบคทีเรียตรึงไนโตรเจน NK12-1 สามารถช่วยส่งเสริมการเพิ่มน้ำหนักเมล็ดข้าว 100 เมล็ด มากขึ้น และกรรมวิธี 8 ใส่เชื้อแบคทีเรียตรึงไนโตรเจน NS17-3 ร่วมกับปุ๋ยยูเรียอัตรา 25 กก./ไร่ มีปริมาณน้ำหนักข้าว 100 เมล็ด น้อยที่สุดเท่ากับ 2.36 กรัม (Table 2)

น้ำหนักเมล็ดดี/กระถาง: พบว่ามีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ปริมาณน้ำหนักเมล็ดดีต่อกระถางอยู่ในช่วง 12.00 ถึง 22.00 กรัมต่อกระถาง พบว่ากรรมวิธีที่ 7 ใส่เชื้อแบคทีเรียตรึงไนโตรเจน NK12-1 ร่วมกับปุ๋ยยูเรียอัตรา 25 กก./ไร่ มีปริมาณน้ำหนักเมล็ดดีต่อกระถาง มากที่สุดเท่ากับ 21.17 กรัมต่อกระถาง ซึ่งมีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับกรรมวิธีที่ 1 ใส่ปุ๋ยยูเรียอัตรา 25 กก./ไร่ เพียงอย่างเดียว และกรรมวิธีที่ 3 ใส่ปุ๋ยยูเรียอัตรา 50 กก./ไร่ เพียงอย่างเดียว การใส่เชื้อแบคทีเรียตรึงไนโตรเจน NK12-1 สามารถช่วยส่งเสริมการเพิ่มน้ำหนักเมล็ดดีต่อกระถางมากขึ้น และพบว่ากรรมวิธี 1 ใส่ปุ๋ยยูเรียอัตรา 25 กก./ไร่ เพียงอย่างเดียว มีปริมาณน้ำหนักเมล็ดดีต่อกระถางน้อยที่สุดเท่ากับ 12.05 กรัมต่อกระถาง (Table 2)

ร้อยละเมล็ดดีและร้อยละเมล็ดลีบ: พบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ร้อยละเมล็ดดีอยู่ในช่วงร้อยละ 53.00-68.00 และร้อยละเมล็ดลีบอยู่ในช่วงร้อยละ 32.00 ถึง 47.00 พบว่ากรรมวิธีที่ 5 ใส่เชื้อแบคทีเรียตรึงไนโตรเจน NK5-5 ร่วมกับปุ๋ยยูเรียอัตรา 25 กก./ไร่ มีเมล็ดดีมากที่สุดร้อยละ 67.93 และเมล็ดลีบน้อยที่สุดร้อยละ 32.07 และกรรมวิธีที่ 7 ใส่เชื้อแบคทีเรียตรึงไนโตรเจน NK12-1 ร่วมกับปุ๋ยยูเรียอัตรา 25 กก./ไร่ มีเมล็ดดีน้อยที่สุดร้อยละ 53.16 และเมล็ดลีบมากที่สุดร้อยละ 46.84 (Table 2)

Table 2 Effect of free-living nitrogen fixing bacteria on yield components of Phitsanulok 2 rice cultivar

Treatment	yield components of Phitsanulok 2 rice						
	shoot	100 filled	total filled	percentage		number	
	dry	grains weight	grains weight				
	weight (gram)	(gram)	(gram/pot)	Whole kernels	Undeveloped kernels	tillers/pot	panicle/pot
T1	33.55	2.41c	12.05b	64.50	35.50	8.67	6.67c
T2	36.04	2.50ab	17.57ab	60.61	39.39	10.67	9.33a
T3	38.18	2.38c	14.39b	55.25	44.75	10.67	7.33bc
T4	36.63	2.40c	14.79b	67.15	32.85	10.67	8.00abc
T5	34.40	2.43bc	15.22b	67.93	32.07	9.00	8.33ab
T6	32.91	2.40c	15.78ab	66.98	33.02	8.00	8.00abc
T7	36.38	2.51a	21.17a	53.16	46.84	9.00	8.33ab
T8	34.36	2.36c	12.20b	56.80	43.20	8.67	7.00bc
F-test	ns	*	*	ns	ns	ns	*
CV (%)	11.67	2.59	24.65	14.63	23.42	14.99	13.14

Means in a same column followed by the different letters are significantly different by DMRT ($P>0.05$, *)

Ns; not significantly different ($P>0.05$)

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีดินหลังปลูกข้าว: พบว่าปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจนทั้งหมดในดิน มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ปริมาณธาตุไนโตรเจนทั้งหมดในดินอยู่ในช่วง 7.00 ถึง 11.00 มก./กก. พบว่าการใส่เชื้อแบคทีเรียตรึงไนโตรเจน NK3-1 NK5-5 NK12-1 และ NS17-3 ตามลำดับ ร่วมกับปุ๋ยยูเรียอัตรา 25 กก./ไร่ ปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจนทั้งหมดในดินหลังปลูก ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับกรรมวิธีที่ 3 ใส่ปุ๋ยยูเรียอัตรา 50 กก./ไร่ เพียงอย่างเดียว ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน อยู่ในระดับสูงช่วง 31.00 ถึง 63.00 มก./กก. ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ จัดอยู่ในปริมาณระดับสูงช่วง 61.00 ถึง 77.00 มก./กก. ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ทุกกรรมวิธีจัดอยู่ในปริมาณระดับต่ำถึงปานกลางในช่วง 1.40-1.60 เปอร์เซ็นต์ และความเป็นกรด-ด่างในดินหลังปลูกข้าว พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ความเป็นกรด-ด่าง ในทุกกรรมวิธีจัดอยู่ระดับปฏิกิริยาเป็นกรดเล็กน้อยอยู่ในช่วง 5.80 ถึง 6.30 (Table 3)

ผลการวิเคราะห์ธาตุอาหารหลักในส่วนเหนือดินของข้าว: พบว่าปริมาณธาตุไนโตรเจนทั้งหมดในส่วนเหนือดินของข้าว มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ปริมาณธาตุไนโตรเจนทั้งหมดในส่วนเหนือดินของข้าวอยู่ในช่วง 89.00 ถึง 163.00 มก./กก. ผลการวิเคราะห์ธาตุอาหารหลักในส่วนเหนือดินของข้าวพบว่ากรรมวิธี 3 มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในส่วนเหนือดินของข้าวเฉลี่ยมากที่สุด 163.40 มก./กก. แต่พบว่าการใส่เชื้อแบคทีเรียตรึงไนโตรเจน NK5-5 NK12-1 และ NS17-3 ร่วมกับปุ๋ยยูเรียอัตรา 25 กก./ไร่ ปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจนทั้งหมดในส่วนเหนือดินของข้าวไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับกรรมวิธีที่ 3 ใส่ปุ๋ยยูเรียอัตรา 50 กก./ไร่ เพียงอย่างเดียว

ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในส่วนเหนือดินของข้าวทุกกรรมวิธีอยู่ในปริมาณระดับสูงในช่วง 38.00 ถึง 97.00 มก./กก. ผลการวิเคราะห์ต้นข้าวพบว่ากรรมวิธี 5 ใส่เชื้อแบคทีเรียตรึงไนโตรเจน NK5-5 ร่วมกับปุ๋ยยูเรียอัตรา 25 กก./ไร่ มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในส่วนเหนือดินของข้าวมากที่สุดเท่ากับ 96.28 มก./กก.

ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในส่วนเหนือดินของข้าว พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในส่วนเหนือดินของข้าวทุกกรรมวิธีจัดอยู่ในปริมาณระดับต่ำมากในช่วง 0.40 ถึง 0.80 มก./กก. ผลการวิเคราะห์ในส่วนเหนือดินของข้าวพบว่ากรรมวิธี 2 อาหารเหลวร่วมกับปุ๋ยยูเรียอัตรา 25 กก./ไร่ มีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในส่วนเหนือดินของข้าวเฉลี่ยมากที่สุดเท่ากับ 0.78 มก./กก. (Table 4)

Table 3 Nutrient contents in soil before and after transplanting of Phitsanulok 2 rice cultivar

Treatment	The amount of nutrients in the soil									
	Total N		Available P		Exchangeable K		OM		pH	
	(mg/kg)		(mg/kg)		(mg/kg)		(%)			
	Before	after	Before	after	Before	after	Before	after	Before	after
T1	8.40	9.52a	49.41	31.29	100.98	76.72	1.68	1.49	6.23c	6.21
T2	9.33	7.19b	100.46	51.47	108.98	72.26	1.75	1.48	6.35bc	5.92
T3	8.40	10.36a	72.05	56.82	95.95	61.18	1.70	1.41	6.38abc	5.82
T4	9.33	9.15a	32.94	44.88	100.10	75.93	1.63	1.46	6.22c	6.00
T5	12.13	8.77ab	68.35	33.76	110.36	72.95	1.61	1.45	6.39abc	6.08
T6	9.33	7.47b	39.53	36.65	113.05	67.56	1.71	1.37	6.56a	6.30
T7	12.13	9.71a	34.59	63.00	122.00	73.14	1.75	1.51	6.54ab	6.11
T8	11.20	9.43a	89.34	44.88	115.88	67.96	1.39	1.43	6.21c	6.09
F-test	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns
CV (%)	24.57	14.57	82.30	47.77	12.43	15.50	7.54	5.93	3.24	3.78

Means in a same column followed by the different letters are significantly different by DMRT ($P > 0.05$, *)

Ns; not significantly different ($P > 0.05$)

Table 4 Nutrient concentrations in shoot of Phitsanulok 2 rice

Treatment	The amount of nutrients in the rice		
	Total N (mg/kg)	Total P (mg/kg)	Total K (mg/kg)
T1	111.69bc	52.96	0.47
T2	89.60c	43.33	0.78
T3	162.40a	81.84	0.53
T4	100.49bc	67.40	0.50
T5	138.76ab	96.28	0.59
T6	141.87ab	91.47	0.55
T7	104.22bc	38.51	0.59
T8	141.56ab	86.66	0.50
F-test	*	ns	ns
C.V (%).	25.43	53.42	22.73

Means in a same column followed by the different letters are significantly different by DMRT ($P>0.05$, *)

Ns; not significantly different ($P>0.05$)

วิจารณ์

ด้านการเจริญเติบโตของข้าวด้านความสูงต้นข้าว

การเจริญเติบโตด้านความสูงของข้าว ช่วงอายุข้าวไม่เกิน 46 วัน ก่อนการใส่ปุ๋ยยูเรีย จะเห็นถึงการตอบสนองการเจริญเติบโตด้านความสูงของข้าวที่มีการใช้แบคทีเรียตรึงไนโตรเจน NK3-1 และ NK5-5 เพียงอย่างเดียว ในระยะแรกก่อนการใส่ปุ๋ยยูเรีย พบว่าใน สัปดาห์ที่ 1, 2 และ 3 กรรมวิธีที่ใช้แบคทีเรียตรึงไนโตรเจน NK3-1 และ NK5-5 มีการพัฒนาความสูงเพิ่มขึ้นมากกว่ากรรมวิธีควบคุมที่ไม่ได้ใส่ปุ๋ยยูเรีย ซึ่งจากการศึกษาสอดคล้องกับงานวิจัยของ Park (2005) ที่กล่าวถึงแบคทีเรีย *Bacillus fasiformis* (PM-24) ที่มีประสิทธิภาพการตรึงไนโตรเจนเท่ากับ 3,677.81 นาโนโมล/ชั่วโมง/โปรตีน และการผลิตฮอร์โมน IAA เท่ากับ 255 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร มีแนวโน้มในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช และหลังจากใส่ปุ๋ยยูเรียครั้งที่ 1 ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 7 การใส่เชื้อแบคทีเรียตรึงไนโตรเจน NK3-1 NK5-5 NK8-4 ร่วมกับปุ๋ยยูเรียอัตรา 25 กก./ไร่ การเจริญเติบโตทางด้านความสูงของต้นข้าว ไม่แตกต่างกันทางสถิติเมื่อเทียบกับกรรมวิธีที่ 3 ใส่ปุ๋ยยูเรียอัตรา 50 กก./ไร่ เพียงอย่างเดียว และจะเห็นได้ว่ากรรมวิธีที่ใช้แบคทีเรียตรึงไนโตรเจน NK3-1 และ NK5-5 ร่วมกับปุ๋ยยูเรียอัตรา 25 กก./ไร่ มีแนวโน้มด้านความสูงข้าว ด้านจำนวนต้น และจำนวนรวงของข้าวเพิ่มขึ้น จากการทดลองในกระถางยังสอดคล้องกับการศึกษาของ อาทิตย์ (2548) ที่พบว่าเมื่อใส่ *Azospirillum* sp. ร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 0.647 กรัม/กระถาง การเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 มีความสูงที่สุดเฉลี่ย 83.45 เซนติเมตร และมีการแตกกอมากที่สุดเฉลี่ย 11.38 ต้น/กอ ที่ข้าวอายุ 60 วัน

ด้านองค์ประกอบผลผลิตของข้าว

การใส่เชื้อแบคทีเรียตรึงไนโตรเจน NK12-1 ร่วมกับปุ๋ยยูเรียอัตรา 25 กก./ไร่ มีผลทำให้น้ำหนัก 100 เมล็ด น้ำหนักทั้งหมด/กระถาง เพิ่มขึ้นและแตกต่างกันกับกรรมวิธีที่ 3 ใส่ปุ๋ยยูเรียอัตรา 50 กก./ไร่ เพียงอย่างเดียว และการใช้แบคทีเรียแต่ละไอโซเลตร่วมกับปุ๋ยยูเรียอัตรา 25 กก./ไร่ ไม่มีผลทำให้จำนวนต้นตอก ร้อยละเมล็ดดี รวมถึงน้ำหนักแห้งต้นตอกกระถางของข้าวแตกต่างกัน การใส่เชื้อแบคทีเรียตรึงไนโตรเจน NK3-1 และ NK5-5 ร่วมกับปุ๋ยยูเรียอัตรา 25 กก./ไร่ มีแนวโน้มทำให้ร้อยละเมล็ดดีเพิ่มขึ้น และการใส่เชื้อแบคทีเรียตรึงไนโตรเจน NK3-1 และ NK12-1 ร่วมกับปุ๋ยยูเรียอัตรา 25 กก./ไร่ มีแนวโน้มทำให้น้ำหนักแห้งต้นเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับกรรมวิธีที่ 1 ใส่ปุ๋ยยูเรียอัตรา 25 กก./ไร่ เพียงอย่างเดียว และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ji et al. (2014) ที่ทดสอบการใช้ *Bacillus* sp. ที่ผลิตฮอโมน IAA ได้ ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของรากและจำนวนต้นของข้าวได้ และผลการใส่แบคทีเรียร่วมกับปุ๋ยยูเรีย ช่วยส่งเสริมการเพิ่มจำนวนต้นและรวงของข้าวแต่ละพันธุ์ข้าว รวมถึงสอดคล้องกับงานวิจัย สุจิตตรา และคณะ (2556) ศึกษาการใช้ *Bacillus safensis* (KJHSB-9) คัดแยกได้จากรากข้าวเจ้าหอมสุพรรณบุรี สามารถผลิตฮอโมน IAA ได้ 8.00-21.90 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร มีผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 และพันธุ์ข้าวเจ้าหอมสุพรรณบุรี ทำให้ความสูง ปริมาณการแตกกอ จำนวนรวงตอก และผลผลิตเฉลี่ยเพิ่มสูงขึ้นร้อยละ 3.15 22.56 2.55 และ 9.94 ตามลำดับ แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเทียบกับข้าวที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีไนโตรเจนและปุ๋ยฟอสฟอรัสเพียงอย่างเดียว

ด้านผลผลิตของข้าว การใช้แบคทีเรียไอโซเลต NK5-5 ร่วมกับปุ๋ยยูเรียอัตรา 25 กก./ไร่ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่ปริมาณผลผลิตต่อกระถางเพิ่มขึ้นมากกว่าการใส่ปุ๋ยยูเรียอัตรา 25 กก./ไร่ เพียงอย่างเดียว สอดคล้องกับ Malik et al. (2002) การใส่แบคทีเรียไอโซเลต *Azospirillum* ร่วมกับการปลูกข้าว ทำให้ผลผลิตข้าวภายใต้สภาพเรือนทดลองและสภาพแปลงเพิ่มขึ้น 32 เปอร์เซ็นต์ และ 22 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และการศึกษาการใช้แบคทีเรียไอโซเลต *Azotobacter* ร่วมกับการแช่เมล็ดข้าว ทำให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้น 0.4-0.9 ตัน/เฮกตาร์ คิดเป็น ร้อยละ 7-20 (Yanai and El-Fattah, 1999) รวมถึงการวิจัยของ Araujo et al. (2013) การใส่แบคทีเรียไอโซเลต *Burkholderia vietnamiensis* (AR 1122) ต่อการส่งเสริมด้านผลผลิตของข้าว 2 พันธุ์ ได้แก่ Arroz 70 กับ Bonanca พบว่าแบคทีเรียตรึงไนโตรเจน *Burkholderia vietnamiensis* (AR 1122) มีผลผลิตของข้าวเพิ่มขึ้นร้อยละ 10 และร้อยละ 29 เมื่อเทียบกับกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน 100 กิโลกรัม/เฮกตาร์

ด้านการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีดิน

การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีดินก่อนปลูกและหลังปลูก ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3 จากการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินก่อนปลูก ความอุดมสมบูรณ์ของดินจัดอยู่ระดับปานกลาง และความอุดมสมบูรณ์ต่ำ เมื่อประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินหลังปลูกข้าว เนื่องจากข้าวมีการดูดดึงธาตุอาหารในดินไปใช้ประโยชน์ และจากการทดลองมีการใส่ปุ๋ยยูเรียเพียงอย่างเดียว ทำให้ดินไม่ได้มีการบำรุงธาตุอาหารอื่นๆ เพิ่มขึ้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าดินหลังปลูกข้าวมีแนวโน้มธาตุอาหารในดินลดลง ทำให้ดินหลังปลูกข้าว การประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินจัดอยู่ในระดับต่ำ

ปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจนทั้งหมดในดินหลังปลูกข้าว มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กรรมวิธีที่มีการใส่เชื้อแบคทีเรียร่วมกับปุ๋ยยูเรีย ดินหลังปลูกข้าวมีปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจนทั้งหมดในดินลดลง เนื่องจากกิจกรรมของแบคทีเรียสามารถเปลี่ยนรูปไนโตรเจนในดิน ให้อยู่ในรูปที่ข้าวสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้สูงขึ้น ส่งผลให้ปริมาณธาตุไนโตรเจนในดินหลังปลูกข้าวลดลง ส่วนกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยยูเรียเพียงอย่างเดียว ปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจนในดินเพิ่มขึ้น เนื่องจากกระบวนการเปลี่ยนรูปไนโตรเจนในดิน มีการเปลี่ยนรูปที่ข้าวนำไปใช้ประโยชน์ได้น้อย ส่งผลให้ข้าวไม่สามารถใช้ปุ๋ยยูเรียในดินได้อย่างเต็มที่ และจากการทดลองเป็นการศึกษาในกระถาง กระบวนการชะล้างในดินน้อย ทำให้ปุ๋ยยูเรียสะสมในดินเพิ่มขึ้น

ปริมาณธาตุอาหารฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ปริมาณธาตุฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินหลังปลูกข้าวมีแนวโน้มลดลง เมื่อเทียบกับดินก่อนปลูกข้าว เนื่องจากการทดลองไม่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในดินปลูกข้าว แต่จากการทดลองพบว่ากรรมวิธี 4 การใส่แบคทีเรีย NK3-1 และกรรมวิธี 7 การใส่แบคทีเรีย NK12-1 ปริมาณธาตุอาหารฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากแบคทีเรียสามารถปลดปล่อยเอนไซม์ในกลุ่มแอซิดฟอสฟาเทส ออกมาเร่งปฏิกิริยาในการแปรสภาพอินทรีย์ฟอสฟอรัสในดิน ให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์แก่พืชได้ ซึ่งสอดคล้องกับ Sharma et al. (2013) ศึกษาความหลากหลาย

ของแบคทีเรียละลายฟอสเฟต พบว่า *B. subtilis* และ *B. megaterium* สามารถผลิตกรดแลคติก กรดมาลิก ทำให้ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้น

ปริมาณธาตุอาหารโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ จากการวิเคราะห์ดินหลังปลูกข้าว ทุกกรรมวิธีมีปริมาณธาตุอาหารโพแทสเซียมลดลง เมื่อเทียบกับดินก่อนปลูกข้าว เนื่องจากการทดลองไม่มีการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมในดิน สอดคล้องกับ ภัทธานาวรรณ และคณะ (2563) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และปริมาณโพแทสเซียมที่ละลายน้ำมีค่าลดลง เมื่อใช้ปุ๋ยเคมี และมีค่าสูงที่สุด เมื่อใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับการฉีดพ่นจุลินทรีย์ *Bacillus megaterium*

ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน จากการวิเคราะห์ดินหลังปลูกข้าว ทุกกรรมวิธีมีปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินลดลง เมื่อเทียบกับดินก่อนปลูกข้าว สอดคล้องกับ อนุรักษ (2563) อินทรีย์วัตถุในดินมีแนวโน้มลดลง เมื่อข้าวมีอายุมากขึ้น เนื่องจากจุลินทรีย์ในดินได้รับธาตุอาหารจากปุ๋ยเคมีโดยเฉพาะไนโตรเจน ซึ่งเป็นส่วนช่วยในการเจริญเติบโตเพิ่มมากขึ้น จุลินทรีย์จะช่วยย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในดิน ทำให้อินทรีย์วัตถุในดินมีค่าลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับระยะก่อนปลูกข้าว

สรุป

การใช้แบคทีเรียตรึงไนโตรเจน NK12-1 ทำให้จำนวนรวงต่อกระถาง น้ำหนักเมล็ด 100 เมล็ด น้ำหนักเมล็ดต่อกระถาง และน้ำหนักแห้งต้นข้าวเพิ่มขึ้น การใช้แบคทีเรียตรึงไนโตรเจน NK3-1 และ NK5-5 ร่วมกับปุ๋ยยูเรียอัตรา 25 กก./ไร่ มีอัตราการพัฒนาความสูงของข้าวจำนวนต้น จำนวนรวง และผลผลิตของข้าวเฉลี่ยเพิ่มสูงขึ้น เมื่อเทียบกับกรรมวิธีควบคุมที่ใส่ปุ๋ยยูเรียอัตรา 25 กก./ไร่ เพียงอย่างเดียว ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์และประสิทธิภาพของแบคทีเรีย ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตและผลผลิตร่วมกับข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 ได้

เอกสารอ้างอิง

- จำเป็น อ่อนทอง. 2555. คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช. คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา.
- ธนกฤต เลิศจันทร์ทรงกุล, อัจฉรา เพ็ญหนู, วันวิสาข์ ปันศักดิ์ และวิภา หอมหวล. 2560. ประสิทธิภาพของแบคทีเรียตรึงไนโตรเจนแบบอิสระต่ออัตราการงอกเมล็ดของข้าว. น. 359-367. ใน: การประชุมวิชาการระดับชาติ “นเรศวรวิจัย” ครั้งที่ 13: วิจัยและนวัตกรรม ขับเคลื่อนเศรษฐกิจและสังคม ระหว่างวันที่ 20 – 21 กรกฎาคม 2560. อาคารเอกาทศรถ มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.
- นิษฐา คูหะธรรมคุณ และสายันต์ แสงสุวรรณ. 2560. ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยยูเรียเพื่อประยุกต์ใช้ในทางเกษตรกรรม. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 19(3): 32-44.
- ปรารงค์ดาดา ประกอบนา, ปภพ สีนชยกุล, วิชัย สรพงษ์ไพศาล, คณิดา เกิดสุข และอารยา บุญศักดิ์. 2563. พันธุ์ข้าวที่นิยมปลูกข้าวของเกษตรกรในเขตภาคกลาง และความสัมพันธ์ต่อคุณสมบัติประจำพันธุ์. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตรและการจัดการ. 3(1): 29-38.
- ภัทธานาวรรณ ฉันทรัตนโยธิน, พันธลพ สีนธยา, เบญจมาศ สันต์สวัสดิ์ และทิศา สุนทรวิภาต. 2563. ผลของปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับจุลินทรีย์ *Bacillus megaterium* ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวขาวดอกมะลิ 105. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์. 15(2): 81-96.
- ยงยุทธ โอสดสภา. 2543. ธาตุอาหารพืช (พิมพ์ครั้งที่ 3). สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- สุจิตตรา ปะนันโต, ภาคภูมิ ต้นเดชสาธิต, ศิริลักษณ์ จิตรอักษร, รัชฎษย์ กาวีตะ และกรรณิการ์ สัจจาพันธ์. 2556. เอนโดไฟติกแบคทีเรียและผลในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของข้าว. แก่นเกษตร. 41(4): 457-468.
- อนุรักษ เครือคำ. 2563. ผลของกรรมวิธีการใช้ปุ๋ยเคมีต่อคุณภาพดินในนาข้าวและผลผลิตข้าว พื้นที่หนองหาร จังหวัดสกลนคร. วารสารผลิตกรรมการเกษตร. 2(2): 1-14.
- อาทิตย์ คนสนิธ. 2548. อิทธิพลของ *Azospirillum sp. (TS29)* และอัตราปุ๋ยไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1. วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตร มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม. กรุงเทพฯ.

- อารีรัตน์ น้อยสินธุ. 2542. อิทธิพลของระดับปุ๋ยไนโตรเจนที่มีต่อการสะสมและการถ่ายเทไนโตรเจนในต้นข้าว. วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตร มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่.
- Araújo, A. E. d. S., V. L. D. Baldani, P. d. S. Galisa, J. A. Pereira, and J. I. Baldani. 2013. Response of traditional upland rice varieties to inoculation with selected diazotrophic bacteria isolated from rice cropped at the Northeast region of Brazil. *Applied Soil Ecology*. 64: 49-55.
- Ji, S. H., M. A. Gururani, and S. C. Chun. 2014. Isolation and characterization of plant growth promoting endophytic diazotrophic bacteria from Korean rice cultivars. *Microbiological research*. 169(1): 83-98.
- Malik, K. A., M. S. Mirza, U. Hassan, S. Mehnaz, G. Rasul, J. Haurat, R. Bally, and P. Normand. 2002. The role of plant-associated beneficial bacteria in rice-wheat cropping system. *Biofertilisers in action*. 2: 73-83.
- Park, M., C. Kim J. Yang, H. Lee, W. Shin, S. Kim, and T. Sa. 2005. Isolation and characterization of diazotrophic growth promoting bacteria from rhizosphere of agricultural crops of Korea. *Microbiological Research*. 160: 127-133.
- Peech, M. 1965. Hydrogen ion activity. In C.A. Black (Ed.). *Methods of soil analysis part2*. Society of Agronomy Madison Wisconsin American.
- Sharma, S.B., R.Z. Sayyed, M.H. Trivedi, and T.A. Gobi. 2013. Phosphate solubilizing microbes: sustainable spproach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils. *SpringerPlus*. 2: 587.
- Yanai, Y.G., and F.K.A. El-Fattah. 1999. Toward integrated biofertilization management with free living and associative dinitrogen fixers for enhancing rice performance in the Nile Delta. *Symbiosis*. 27: 319-331.
- Zhang, W.-j., G.-h. Li, Y.-m. Yang, Q. Li, J. Zhang, J.-y. Liu, S. Wang, S. Tang, and Y.-f. Ding. 2014. Effects of nitrogen application rate and ratio on lodging resistance of super rice with different genotypes. *Journal of Integrative Agriculture*. 13: 63-72.