การใส่เชื้ออะโซสไปริลลัมลงในดินเพื่อเป็นแหล่งไนโตรเจนทางเลือกในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวานในชุดดินกำแพงแสน

The Effects of Azospirillum Inoculation as Alternative Nitrogen Source for Sweet Corn Growth Promotion in Kamphaengsaen Soil Series

ชัชฎาภร แก้วเมือง[1], ศุภชัย อำคา[1] และธงชัย มาลา[1]*

Chatchadaporn Kaewmueng,[1*] Suphachai Amkha[1] and Thongchai Mala[1]

ABSTRACT

This study aimed to investigate the effect activities of seed inoculation of 4 *Azosprillum lipoferum* strains; LB_5, LB_8, LB_9 and LB_{10} on sweet corn growth promotion in Kanphaengsaem soil series. The experimental design was 4x5 Factorial in Randomized Complete Block Design with 4 replications. The first factor was the rate of nitrogen fertilizer which consisted of 4 levels; 0, 25, 50 and 100 percent of recommendation rates based on soil analysis. The second factor was the variation of the 4 *Azosprillum lipoferum* strains and control. The test plant was Insee 2 sweet corn. The inoculation into the soil (in a field) of the bacterial inocula by seed transfer at the rate of about $1x10^8$ CFU/plant. The increase of rhizosphere azosprilli in terms of tue log number of CFU/g of soil and nitrogenase activities in both corn rhizosphere and corn root during the plant growth were determined. The results showed that seed inoculation of the 4 Azosprilli increased the population of soil Azosprilli and nitrogenase activities in soil and corn roots. Strain LB_9 and LB_{10} best increased the number of rhizosphere azosprilli; the log numbers of CFU/g of soil were 8.99 and 8.68, respectively. LB_9 also best stimulated soil and root nitrogenase activities of, respectively, 0.60 µmol C_2H_4/100 g soil/hr 101.49 µmol C_2H_4/plant/hr. In addition, azosprillum inoculation in combination with nitrogen fertilizer of 25-50 % of recommended rate stimulated the sweet corn to produce complete ear weight complete ear percentage of the same levels as those produced by nitrogen fertilizer of 100 % of recommended rate. Seed inoculation of LB9 in combination with nitrogen fertilizer of 50 % nitrogen fertilizer created the complete ear weight of 1,570.20 kg/rai. Also, seed inoculation of LB9 in combination with nitrogen fertilizer of 25 and 50 % of recommended rate rendered the highest complete ear percentage of 72.75 and 86.67 percent, respectively.

Key words: Azosprillum, corn, nitrogen fixation

[1*] ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม 73140

Department of Soil Science, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140, Thailand.

*Corresponding author: Tel.08-9928-3123, E-mail address: jane_zt@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาผลของอะโซสไปริลลัมที่มีต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวานในชุดดินกำแพงแสน วางแผนการทดลองแบบ 4x5 Factorial in Randomized Completely Block Design จำนวน 4 ซ้ำ ปัจจัยแรกเป็นอัตราปุ๋ยไนโตรเจน มี 4 ระดับ ได้แก่ 0, 25, 50 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ตามคำแนะนำของผลค่าวิเคราะห์ดิน ของกรมวิชาการเกษตร ปัจจัยที่สองเป็นสายพันธุ์ของ *Azosprillum lipoferum* สี่สายพันธุ์คือ LB_5, LB_8, LB_9, LB_{10}และไม่ใส่เชื้อ การใส่เชื้อกระทำโดยวิธีคลุกเมล็ด ใช้ข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2 เป็นพืชทดสอบ ผลการทดลองพบว่า การใช้อะโซสไปริลลัม ทำให้ปริมาณประชากรอะโซสไปริลลัมในดินเพิ่มขึ้น โดยสายพันธุ์ LB_9 มีปริมาณประชากรอะโซสไปริลลัมสูงสุด รองลงมาเป็น LB_{10} โดยมีค่า log จำนวนประชากรเฉลี่ย 8.99 และ 8.68 ตามลำดับ สายพันธุ์ LB_9 สามารถส่งเสริมให้มีกิจกรรมไนโตรจีเนสในดิน (0.60 µmo lC_2H_4/100gsoil/hr) และในราก (101.49 µmol C_2H_4/plant/hr) มากที่สุด การใช้อะโซสไปริลลัมร่วมกับอัตราปุ๋ยไนโตรเจน 25-50 เปอร์เซ็นต์ของค่าวิเคราะห์ดิน ทำให้น้ำหนักฝักดีและเปอร์เซ็นต์ฝักดีใกล้เคียงกับอัตราปุ๋ยไนโตรเจน 100 เปอร์เซ็นต์ โดยสายพันธุ์ LB_9 ร่วมกับอัตราปุ๋ยไนโตรเจน 50 เปอร์เซ็นต์ของค่าวิเคราะห์ดิน ให้น้ำหนักฝักดี 1,570.20 กิโลกรัมต่อไร่ และการใช้สายพันธุ์ LB_9 ร่วมกับอัตราปุ๋ยไนโตรเจน 25 และ 50 เปอร์เซ็นต์ของค่าวิเคราะห์ดิน ให้เปอร์เซ็นต์ฝักดี 72.75 และ 86.67 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

คำสำคัญ: การตรึงไนโตรเจน ข้าวโพด อะโซสไปริลลัม

คำนำ

ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่มีความสำคัญต่อพืชและพืชต้องการในปริมาณมาก เมื่อพืชได้รับอย่างเพียงพอจะทำให้สามารถเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็วรวมถึงช่วยส่งเสริมคุณภาพ และปริมาณของผลผลิตด้วยโดยทั่วไปดินมักมีปริมาณไนโตรเจนไม่เพียงพอกับความต้องการของพืช ประกอบกับการทำการเกษตรส่วนใหญ่ในปัจจุบันเป็นแบบเข้มข้นที่ต้องการผลผลิตสูง จึงต้องมีการเพิ่มไนโตรเจนแก่ดินในรูปของปุ๋ยชนิดต่างๆ ส่วนใหญ่มักใช้ปุ๋ยเคมีเพราะมีปริมาณไนโตรเจนสูง แต่พบปัญหาหลายประการ เช่น ไนโตรเจนในปุ๋ยมักอยู่ในรูปที่สูญเสียจากดินได้ง่าย ทั้งการชะล้างไนโตรเจนบริเวณหน้าดิน และการระเหยสู่บรรยากาศในรูปของก๊าซ ปัญหาอีกประการหนึ่งคือมีราคาแพงและส่วนใหญ่นำเข้าจากต่างประเทศ ในปี พ.ศ. 2554 มีปริมาณการนำเข้าปุ๋ยไนโตรเจน 2,180,517 ตัน คิดเป็นมูลค่า 27,132 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2554) การใช้ปุ๋ยเคมีที่มากเกินไปจึงส่งผลโดยตรงต่อต้นทุนการผลิตให้สูงขึ้น ไนโตรเจนจากการตรึงทางชีวภาพ (biological nitrogen fixation) เป็นทางเลือกหนึ่งที่ช่วยลดต้นทุนการผลิต โดยไนโตรเจนที่ตรึงได้นั้นสามารถช่วยลดการใช้ปุ๋ยเคมีลงได้ (ธงชัย, 2550) ปริมาณไนโตรเจนที่ตรึงได้อาจแตกต่างกันไปตามชนิดของจุลินทรีย์และสภาพแวดล้อมของดิน Esmaeil *et al*. (2008) พบว่า จุลินทรีย์อิสระในดินสามารถตรึงไนโตรเจนได้ 10-20 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ ไนโตรเจนที่ได้จากจุลินทรีย์เป็นการลงทุนที่น้อยแต่ต้องจัดการดินให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ธงชัย (2550) กล่าวว่าจุลินทรีย์ตรึงไนโตรเจนอิสระมีหลายสกุล ที่มีบทบาทเด่นในการตรึงไนโตรเจนในดินไร่ที่มีอากาศถ่ายเทดี ได้แก่ อะโซโตแบคเตอร์ และอะโซสไปริลลัม

อะโซสไปริลลัม เป็นแบคทีเรียที่สามารถตรึงไนโตรเจนได้อย่างอิสระและส่งไนโตรเจนที่ตรึงได้ให้แก่พืช มักอาศัยอยู่อย่างใกล้ชิดกับพืชตระกูลหญ้า รวมทั้งสามารถสร้างและปลดปล่อยฮอร์โมนพืชบางชนิดได้ (ธงชัย, 2550; Mala *et al*., 1997; Osmar *et al*., 2004) Akbari *et al*. (2007) พบว่าฮอร์โมนออกซินที่ผลิตโดย *Azospirillum* spp.

สามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของรากข้าวสาลีที่ปลูกด้วยเมล็ด โดยการใส่เชื้อทำให้มีความยาวราก น้ำหนักแห้งของราก และขนรากเพิ่มขึ้น ส่วนใหญ่พบอะโซสไปริลลัมในดินเขตร้อน (Baldani,1987) และในเขตอบอุ่น (Germida,1986) โดยอาศัยอยู่ในเขตอิทธิพลรากพืช (rhizosphere) จึงก่อให้เกิดศักยภาพในการเพิ่มผลผลิตให้กับธัญพืชที่สำคัญและหญ้าภายใต้สภาพอากาศที่แตกต่างกันได้ ธงชัย(2550) รายงานว่าอะโซไปริลลัมมีความสามารถในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชได้เป็นอย่างดี อาทิเช่น ข้าวโพด ข้าวฟ่าง โดยเฉพาะในช่วงระยะแรกของการเจริญเติบโต ส่วนใหญ่จะตรึงไนโตรเจนได้ในปริมาณน้อยในดินที่มีปริมาณไนโตรเจนอนินทรีย์อยู่มาก ชนิดของพืชและสภาพแวดล้อมในแต่ละพื้นที่ก็มีผลต่อการตรึงไนโตรเจนของอะโซสไปริลลัม โดยทั่วไปแล้วจะพบอะโซสไปริลลัมในดินค่อนข้างน้อยและมักเป็นสายพันธุ์ที่มีประสิทธิภาพต่ำ รวมทั้งเอนไซม์ไนโตรจีเนสถูกทำลายได้ง่าย โดยออกซิเจนบริเวณรอบรากพืช Maria *et al*. (2002) พบว่าการใส่ *A. brasilense* ในข้าวสาลี ทำให้มวลชีวภาพ ผลผลิต และความเข้มข้นของไนโตรเจนสูงกว่าการไม่ใส่เชื้อ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า *A. brasilense* ส่งเสริมการเจริญเติบโตของข้าวสาลีโดยรากสามารถดูดใช้ไนโตรเจนได้มากขึ้น ส่วน Fulchieri and Frion (1994) ศึกษาผลของการใช้อะโซสไปริลลัมที่มีต่อผลผลิตข้าวโพด โดยใช้ *A. brasilense* (AZ 39), *A. lipoferum* (AZ 30*)* และ *A. brasilense* ATCC 29745 strain Sp 7 พบว่า *A. brasilense* สามารถเพิ่มน้ำหนักแห้งของต้นข้าวโพดที่ปลูกในภาชนะปลูก จาก 380 มิลลิกรัม เป็น 523 มิลลิกรัมที่ระยะ 50 วัน และสามารถเพิ่มน้ำหนักเมล็ดข้าวโพดจาก 2,792 กิโลกรัมต่อไร่ เป็น 4,447 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งมีค่าเทียบเท่ากับผลผลิตที่ได้จากการใส่ปุ๋ยยูเรีย 60 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ ที่มีผลผลิตเท่ากับ 4,122 กิโลกรัมต่อไร่ Osmar *et al*. (2004) ศึกษาผลของอะโซสไปริลลัมที่มีต่อข้าวโพดในแปลงทดลอง โดยใช้ *Azospirillum* sp. RAM-7 และ *Azospirillum* RAM-5 พบว่า เชื้อดังกล่าวสามารถช่วยลดการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนได้ 40 เปอร์เซ็นต์ ส่วน Biari *et al*. (2008) ศึกษาผลของแบคทีเรียที่สามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ *Azotobacter* sp. strain 5, *Azotobacter chroococcum* strain DSM 2286, *Azospirillum* sp. strain 21 และ *A. lipoferum* strain DSM 1691 ที่มีต่อการสร้างสารส่งเสริมการเจริญเติบโตและช่วยกระตุ้นการใช้ธาตุอาหารในข้าวโพด พบว่าการใช้แบคทีเรียดังกล่าวช่วยเพิ่มน้ำหนักแห้งฝักได้ 141เปอร์เซ็นต์ และเพิ่มปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ในเมล็ด ได้ 130, 113 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่ ศิวาพร (2553) ให้ข้อสรุปไว้ว่าการใช้อะโซสไปริลลัมเป็นปุ๋ยชีวภาพในการปลูกข้าวโพดหวาน ส่งผลให้มีประสิทธิภาพในการตรึงไนโตรเจนบริเวณรากข้าวโพดหวานมากที่สุดและจะมีประสิทธิภาพในการตรึงไนโตรเจนบริเวณรากสูงที่สุดในสัปดาห์ที่ 4 เท่ากับ 0.20 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร

การนำเชื้ออะโซสไปริลลัมมาใช้ร่วมกับข้าวโพดเพื่อเป็นแหล่งสำคัญของไนโตรเจน โดยต้องการให้ อะโซสไปริลลัมมีปริมาณมากในบริเวณใกล้รากพืช และดำเนินกิจกรรมที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตให้แก่พืชอย่างพอเพียง ร่วมทั้งรักษาระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินให้ยั่งยืน จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถลดต้นทุนการผลิตลงได้ส่วนหนึ่งและนำไปสู่การจัดการเกษตรแบบยั่งยืนต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

วางแผนการทดลองแบบ 4x5 Factorial in Randomized Complete Block Design มี 4 ซ้ำ ประกอบด้วย ปัจจัยที่หนึ่งคืออัตราปุ๋ยไนโตรเจน มี 4 ระดับ ได้แก่ 0, 25, 50 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ตามคำแนะนำของผลค่าวิเคราะห์ดิน ของกรมวิชาการเกษตร (0, 5, 10, 20 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่) ปัจจัยที่สองคือสายพันธุ์ของ *Azospirillum lipoferum* ประกอบด้วย LB_5, LB_8, LB_9, LB_{10} และ

ไม่ใส่เชื้อ ใช้ข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2 เป็นพืชทดสอบ ในชุดดินกำแพงแสน เตรียมตัวอย่างดินเพื่อนำไปวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ของดิน ดังTable 1 และคำนวณการใส่ปุ๋ยตามคำแนะนำใน Table 2

Table 1 Some of characteristics of soil used in the Experiment

Properties	Analysis value	interpretation*
pH (soil:H_2O; 1:1) [1/]	6.50	moderate
Electrical conductivity (dS/m)[2/]	0.03	non saline
Oraganic matter (%) [3/]	0.46	Very low
Total nitrogen (%) [4/]	0.03	Very low
Available phosphorus (mg/kg) [5/]	35.40	hight
Exchangeable potassium (mg/kg)[6/]	63.37	moderate

[1/] 1:1 water/soil measurement by pH meter; [2/]saturation extract [3/] Walkley and Black method; [4/] Kjeldahl method; [5/] Bray II extraction; [6/] extract with 1N ammonium acetate pH 7.0; *FAO (1973)

Table 2 Recommendation rate based on soil analysis with corn

Properties	Rate fertilizer
Oraganic matter (%)	
<1	N 20 kg/rai
1-2	N 15-20 kg/rai
>2	N 5-10 kg/rai
Available phosphorus (mg/kg)	
<10	P_2O_5 10 kg/rai
10-15	P_2O_5 10-5 kg/rai
>15	P_2O_5 5-0 kg/rai
Exchangeable potassium (mg/kg)	
<60	K_2O 10 kg/rai
60-100	K_2O 10-5 kg/rai
>100	K_2O 5-0 kg/rai

Source: Department of Agriculture, 2548.

การผลิตผงเชื้อ

ผลิตผงเชื้อ 4 สายพันธุ์ ชนิดผง ซึ่งได้รับจาก ภาควิชาปฐพีวิทยามหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน โดยใช้พีตเป็นวัสดุรองรับตามวิธีการที่ระบุไว้ใน ชรินทร์ (2554) ผงเชื้ออะโซสไปริลลัมแต่ละสายพันธุ์มีปริมาณเชื้ออะโซสไปริลลัมไม่น้อยกว่า 10^8 cfu/กรัม

การเตรียมพื้นที่และการคลุกเมล็ด

เตรียมเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดอินทรี 2 โดยล้างเมล็ดข้าวโพดด้วยน้ำ แล้วแช่ในสารละลาย $HgCl_2$ 5 เปอร์เซ็นต์ นาน 10 นาที หลังจากนั้นล้างด้วยน้ำประปาให้สะอาด ผึ่งให้แห้ง นำเมล็ดข้าวโพดที่สะอาดคลุกกับผงเชื้อที่เตรียมไว้ โดยใช้วิธีการใส่แบบการคลุกเมล็ด (seed inoculation) ตามวิธีการที่ระบุไว้ใน ธงชัย (2550) ใช้ gum acacia เป็นสารเหนียว แต่ละเมล็ดจะมีผงเชื้อเฉลี่ย 0.05 กรัม = $4x10^7$ CFU/เมล็ด

การใส่ปุ๋ยไนโตรเจน

ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนตามตำรับการทดลองในรูปของยูเรีย (46-0-0) จำนวน 2 ครั้ง ครั้งที่ 1 ใส่เมื่อต้นข้าวโพดอายุได้ 20 วัน และเมื่อข้าวโพดอายุ 40 วัน ใส่ครั้งที่ 2 โดยโรยปุ๋ยเป็นเส้นข้างต้น (side dressing) ห่างจากโคนต้น 30 เซนติเมตร และมีการพรวนดินกลบปุ๋ยทุกครั้ง (ใส่ปุ๋ยฟอตเฟตและปุ๋ยโพแทช จากปุ๋ย ทริปเปิ้ลซุปเปอร์ฟอสเฟตและปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ ในปริมาณ P_2O_5 5 kg. และ K_2O 5 kg. ตามลำดับ เท่ากันทุกตำรับการทดลอง)

การปลูกและการดูแลรักษา

เตรียมพื้นที่โดยแบ่งแปลงออกเป็นแปลงย่อยขนาด 3×4 ตารางเมตร ปลูกข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2 โดยใช้ระยะปลูก 0.75×0.25 ตารางเมตร หยอดเมล็ดข้าวโพด 3 เมล็ดต่อหลุม แล้วถอนแยกให้เหลือ 1 ต้น หลังปลูกได้ 14 วัน ให้น้ำด้วย วิธีให้ไปตามร่อง สัปดาห์ ละ 1 ครั้ง

การเก็บข้อมูล

1. ปริมาณอะโซสไปริลลัมในดินเมื่อข้าวโพดมีอายุ 4, 6 และ 8 สัปดาห์ โดยวิธี dilution plate count ตามวิธีที่ระบุไว้ใน (ธงชัยและคณะ, 2551)

2. กิจกรรมไนโตรจีเนสในดินและในรากข้าวโพด ที่ระยะ 4, 6 และ 8 สัปดาห์ โดยใช้วิธี acetylene reduction (Hardy *et al*., 1973)

3. ความสูงข้าวโพดอายุ 4, 6 และ 8 สัปดาห์

4. น้ำหนักแห้งของต้น ราก และผลผลิตที่ระยะเก็บเกี่ยว (70 วัน หลังการปลูก)

วิเคราะห์ความแปรปรวน และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยตามวิธีของ Duncan's new Multiple Range Test

ผลการทดลองและวิจารณ์

ปริมาณอะโซสไปริลลัมในดินที่ปลูกข้าวโพดหวาน

สายพันธุ์อะโซสไปริลลัม (Figure 1) และอัตราปุ๋ยไนโตรเจน (Figure 2) ส่งผลให้ปริมาณประชากร อะโซสไปริลลัมในดินแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระยะ 4, 6 และ 8 สัปดาห์ ปริมาณประชากรอะโซสไปริลลัมจะเพิ่มขึ้นหลังจากปลูกข้าวโพด 4 ถึง 6 สัปดาห์ และลดลงอย่างรวดเร็วในสัปดาห์ที่ 8 ที่ระยะ 4 สัปดาห์ สายพันธุ์ LB_9 มีค่า log ปริมาณประชากรอะโซสไปริลลัมเฉลี่ยสูงสุด (8.29) รองลงมาเป็น สายพันธุ์ LB_{10}, LB_5 และ LB_8 ซึ่งมีค่า log ปริมาณเชื้อเท่ากับ 8.20,

[1*] ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม 73140
Department of Soil Science, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140, Thailand.
*Corresponding author: Tel.08-9928-3123, E-mail address: jane_zt@hotmail.com

6.95 และ 5.33 ตามลำดับ การไม่ใส่เชื้อมีค่า log ปริมาณอะโซสไปริลลัมเฉลี่ยต่ำสุด (4.48) สายพันธุ์ LB_9 ส่งผลให้ค่า log ปริมาณของประชากรอะโซสไปริลลัม ในสัปดาห์ที่ 6 มีค่าสูงสุด (8.99) ส่วนการใช้สายพันธุ์ LB_{10}, LB_8 และ LB_5 ทำให้มีปริมาณอะโซสไปริลลัมใกล้เคียงกัน แต่สูงกว่าการไม่ใส่เชื้อที่มีปริมาณน้อยที่สุด (4.67) เมื่อถึงสัปดาห์ที่ 8 ปริมาณประชากร อะโซสไปริลลัมจะลดลงจากเดิม โดยสายพันธุ์ LB_9 มีค่า log ปริมาณเชื้อเฉลี่ยสูงสุด (7.93) ส่วนสายพันธุ์ LB_{10}, LB_5, LB_8 และการไม่ใส่เชื้อ มีค่า log ปริมาณเชื้อ 6.85, 5.69, 4.19 และ 3.16 ตามลำดับ

อัตราปุ๋ยไนโตรเจน 50 เปอร์เซ็นต์ของค่าวิเคราะห์ดิน ที่ระยะ 4 สัปดาห์ ทำให้ปริมาณประชากร อะโซสไปริลลัมเฉลี่ยสูงที่สุด โดยมีค่า log ปริมาณเชื้อเฉลี่ยเท่ากับ 7.19 ขณะที่อัตราปุ๋ยไนโตรเจน 100 และ 25 เปอร์เซ็นต์ของค่าวิเคราะห์ดิน มีประชากรต่ำกว่านี้ (6.68 และ 6.37) แต่ก็สูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยซึ่งมีค่า log ปริมาณประชากรอะโซสไปริลลัมเฉลี่ย 6.38 อย่างไรก็ตาม ประชากรอะโซสไปริลลัมในสัปดาห์ที่ 6 เมื่อใส่ปุ๋ยอัตราต่างๆ กันนั้น พบว่าอัตราปุ๋ยไนโตรเจน 50 และ 100 เปอร์เซ็นต์ของค่าวิเคราะห์ดิน มีประชากรเฉลี่ยสูงสุด โดยมีค่า log ของจำนวนประชากร 8.57 และ 7.82 ส่วนอัตราปุ๋ยไนโตรเจน 25 เปอร์เซ็นต์ของค่าวิเคราะห์ดิน มีค่า log ของประชากรน้อยกว่า (7.74) แต่มากกว่าการไม่ใส่ปุ๋ย (5.86) อย่างไรก็ตามจำนวนประชากรอะโซสไปริลลัมในสัปดาห์ที่ 8 คล้ายกันกับในสัปดาห์ที่ 4 และ 6 กล่าวคือ อัตราปุ๋ยไนโตรเจน 50 และ100 เปอร์เซ็นต์ของค่าวิเคราะห์ดิน มีผลทำให้ค่า log ปริมาณประชากรอะโซสไปริลลัมเฉลี่ยใกล้เคียงกัน (6.29 และ 5.80) แต่ก็สูงกว่าค่า log ปริมาณประชากรที่ใช้ปุ๋ยไนโตรเจน 25 เปอร์เซ็นต์ของค่าวิเคราะห์ดิน และการไม่ใส่ปุ๋ย (5.18 และ 4.98) สายพันธุ์อะโซสไปริลลัมและอัตราปุ๋ยไนโตรเจนไม่มีปฏิสัมพันธ์กันทุกระยะของการศึกษา

ปริมาณประชากรอะโซสไปริลลัม เพิ่มขึ้นในระยะแรกของการเจริญเติบโตของข้าวโพด และเริ่มลดลงในช่วงสัปดาห์ที่ 8 ซึ่งเป็นระยะที่ข้าวโพดมีการเจริญเติบโตทางลำต้นเต็มที่ จนถึงระยะเก็บเกี่ยว ระยะนี้พืชจะปลดปล่อยสารออกมาทางราก (root exudates) ซึ่งประกอบด้วย สารประกอบคาร์บอนหลายชนิด (Bais *et al*., 2006) สารอินทรีย์ที่ปลดปล่อยออกมานี้ อะโซสไปริลลัมสามารถใช้เป็นแหล่งอาหารได้ อีกทั้งยังช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตและกิจกรรมของจุลินทรีย์ได้อีกด้วย (Liste and Alexander, 2000) ในสัปดาห์ที่ 8 เป็นระยะที่พืชเริ่มแก่และใกล้ถึงระยะเก็บเกี่ยว การปลดปล่อยสารออกมาทางรากจะเปลี่ยนแปลงไปทั้งชนิดและปริมาณ โดยมีการปลดปล่อยสารในปริมาณที่ลดลง เนื่องจากอะโซสไปริลลัมมักอาศัยอยู่ใกล้ชิดกับรากข้าวโพด (Osmar *et al*., 2004) จึงได้รับอิทธิพลจากสารที่พืชปลดปล่อยออกมาและเนื้อเยื่อพืชที่ตายรวมถึงคราบรากพืช ดังนั้นเมื่อพืชแก่ตัวลงปริมาณอะโซสไปริลลัมจึงลดลงอย่างรวดเร็ว

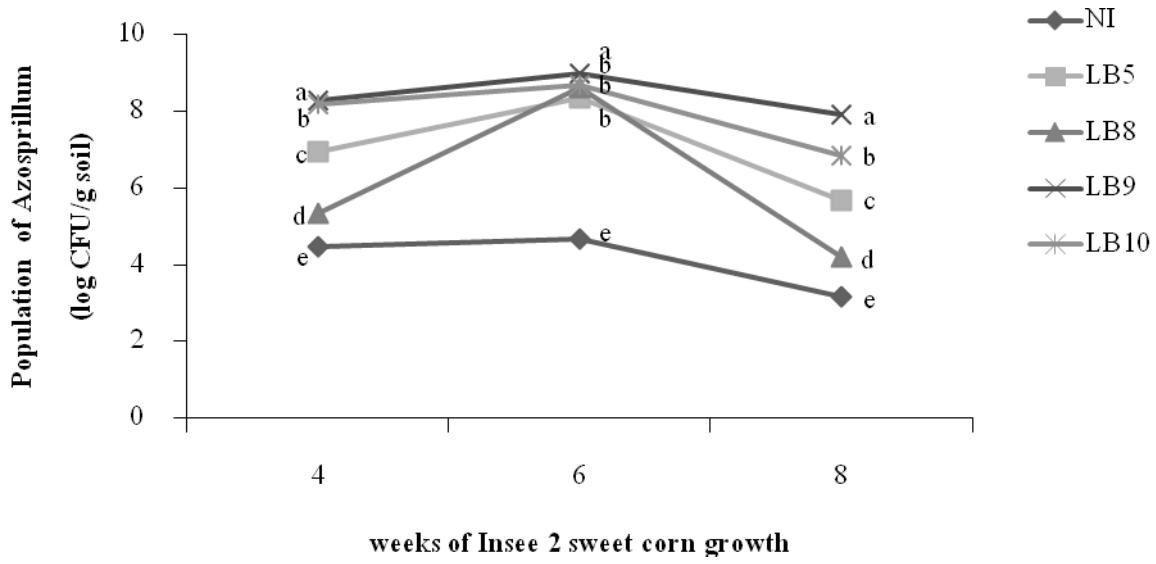


Figure 1 Soil populations of *A. lipoferum* on affected by the inoculation of strain LB5, LB8, LB9 and LN10 in Kamphaengsaen soil series during the growth of Insee 2 sweet corn ($P \leq 0.01$).

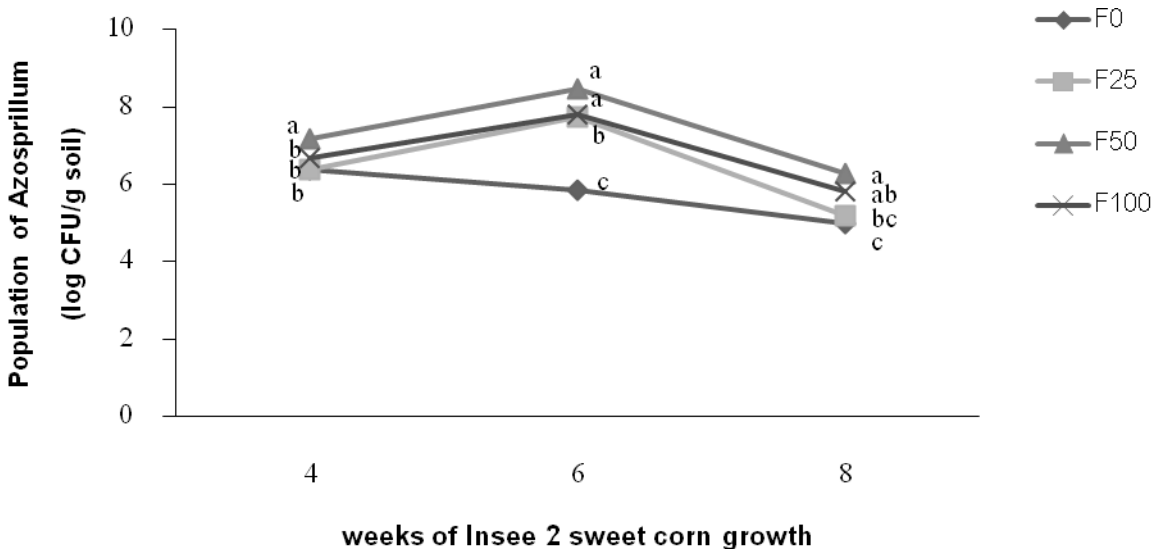


Figure 2 Soil populations of *A. lipoferum* on affected by the nitrogen fertilizer consisted 0, 25, 50 and 100 percent in Kamphaengsaen soil series during the growth of Insee 2 sweet corn ($P \leq 0.01$).

กิจกรรมไนโตรจีเนสของอะโซสไปริลลัมในดินและรากข้าวโพดหวาน

จากการศึกษานี้พบว่า สายพันธุ์อะโซสไปริลลัม (Figure 3) และอัตราปุ๋ยไนโตรเจน (Figure 4) ไม่มีผลต่อกิจกรรมไนโตรจีเนสทุกระยะการศึกษา โดยสายพันธุ์อะโซสไปริลลัมทำให้กิจกรรมไนโตรจีเนสเฉลี่ยอยู่ที่ 0.48-0.62, 0.48-0.58 และ 0.47-0.62 μ molC_2H_4/100 g soil/hr ที่ระยะ 4, 6 และ 8 สัปดาห์ ตามลำดับ ขณะที่อัตราปุ๋ยไนโตรเจนมีผลทำให้ค่าเฉลี่ยกิจกรรมไนโตรจีเนส 0.53-0.59, 0.52-0.57 และ 0.54-0.57 μmol C_2H_4/100 g soil/hr ที่ระยะ 4, 6 และ 8 สัปดาห์

ตามลำดับ สายพันธุ์อะโซสไปริลลัมและอัตราปุ๋ยไนโตรเจน มีปฏิสัมพันธ์ในสัปดาห์ที่ 6 หลังปลูกข้าวโพด ทำให้กิจกรรมไนโตรจีเนสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Figure 5) การใส่เชื้อร่วมกับปุ๋ยมีผลทำให้กิจกรรมไนโตรจีเนสมากกว่าการใส่ปุ๋ยเพียงอย่างเดียว โดยตำรับการทดลองที่ใช้สายพันธุ์ LB_9 ร่วมกับอัตราปุ๋ยไนโตรเจน 100 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้กิจกรรมไนโตรจีเนสสูงสุด 0.62 µmol C_2H_4/100 g soil/hr รองลงมาเป็นตำรับการทดลองที่ใช้สายพันธุ์ LB_9 ร่วมกับอัตราปุ๋ยไนโตรเจน 50 และ 100 เปอร์เซ็นต์ (0.61, 0.60 µmol C_2H_4/100 g soil/hr) ขณะที่ตำรับควบคุมมีกิจกรรมไนโตรจีเนสน้อยที่สุด 0.40 µmolC_2H_4/100 g soil/hr

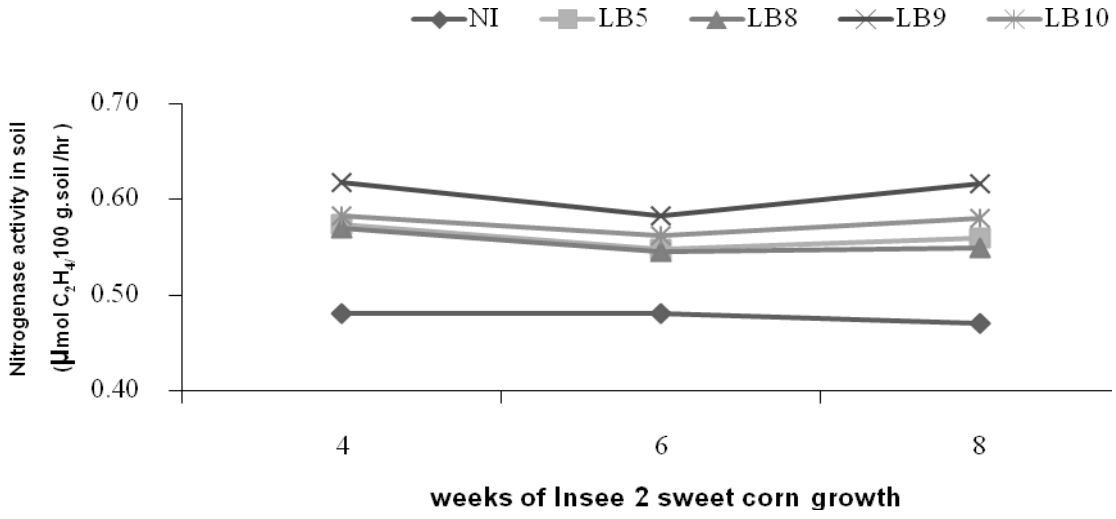


Figure 3 Nitrogenase activities in Kamphaengsaen soil series during the growth of Insee 2 sweet corn as affected by various strains of *A. lipoferum* (*P* >0.05).

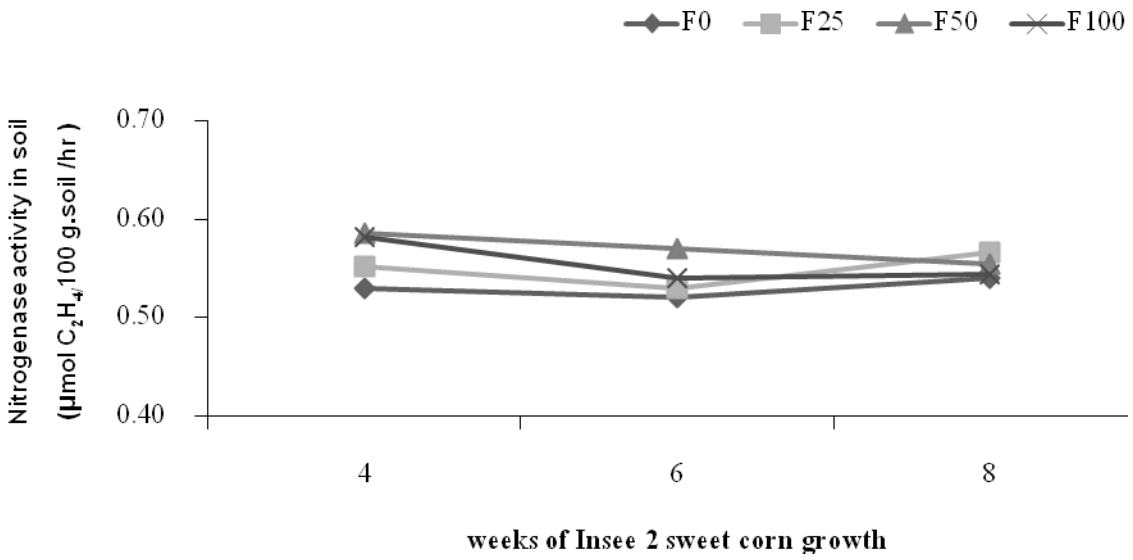


Figure 4 Nitrogenase activities in Kamphaengsaen soil series during the growth of Insee 2 sweet corn as affected by various rates of nitrogen fertilizer (P >0.05).

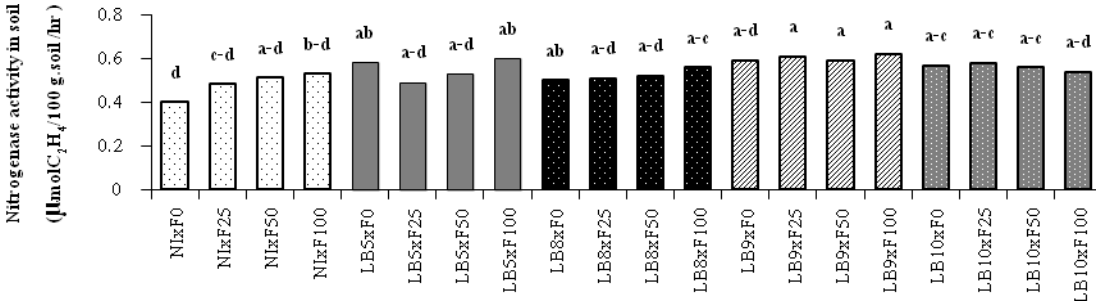


Figure 5 Nitrogenase activities in week 6 in Kamphaengsaen Soil Series during the growth of Insee 2 sweet corn as affected by interaction between strains of *A. lipoferum* and rates of nitrogen fertilizer (P ≤0.01)**.**

สายพันธุ์อะโซสไปริลลัมมีผลต่อกิจกรรมไนโตรจีเนสในรากข้าวโพดหวาน (Figure 6) โดยทำให้กิจกรรมไนโตรจีเนสในรากแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระยะ 4, 6 และ 8 สัปดาห์ ที่ระยะ 4 สัปดาห์ สายพันธุ์ LB_9, LB_{10} และ LB_5 มีกิจกรรมไนโตรจีเนสเฉลี่ยในรากใกล้เคียงกัน (33.36, 32.33 และ 30.89 µmolC_2H_4/plant/hr) ซึ่งสูงกว่ากิจกรรมไนโตรจีเนสเฉลี่ยในรากที่พบจาก LB_8 (24.52 µmol C_2H_4/plant/hr) ขณะที่การไม่ใส่เชื้อทำให้มีกิจกรรมไนโตรจีเนสเฉลี่ยในรากต่ำที่สุด (13.95 µmol C_2H_4/plant/hr) ในสัปดาห์ที่ 6 กิจกรรมไนโตรจีเนสในรากสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดจากการใส่เชื้อ ส่วนการไม่ใส่เชื้อมีกิจกรรมไนโตรจีเนสในรากไม่เพิ่มขึ้น โดยสายพันธุ์ LB_9 ทำให้เกิดกิจกรรมไนโตรจีเนสเฉลี่ยในรากสูงสุด (101.49 µmo lC_2H_4/plant/hr) รองลงมาเป็นสายพันธุ์ LB_{10}, LB_8 และ LB_5 ซึ่งมีกิจกรรมไนโตรจีเนสเฉลี่ยในราก 76.04, 67.73, 49.37 µmolC_2H_4/plant/hr ใน

สัปดาห์ที่ 8 กิจกรรมไนโตรจีเนสเฉลี่ยในรากของข้าวโพดหวานลดลงจากสัปดาห์ที่ 6 โดยสายพันธุ์ LB_9 มีกิจกรรมไนโตรจีเนสเฉลี่ยสูงสุด 44.87 µmo lC_2H_4/plant/hr รองลงมาเป็นสายพันธุ์ LB_8, LB_{10} และ LB_5 มีกิจกรรมไนโตรจีเนสเฉลี่ย 42.10, 41.72, 39.81 และ 34.05 µmol C_2H_4/plant/hr ตามลำดับ การไม่ใส่เชื้อมีกิจกรรมไนโตรจีเนสเฉลี่ยต่ำที่สุด (34.05 µmo lC_2H_4/plant/hr) สายพันธุ์ LB_9 มีกิจกรรมเอนไซม์ไนโตรจีเนสสูงทั้งที่ 4, 6 และ 8 สัปดาห์ อย่างไรก็ตามอัตราปุ๋ยไนโตรเจน (figure 7) ไม่มีผลทำให้กิจกรรมไนโตรจีเนสในรากแตกต่างกันทางสถิติทุกระยะการศึกษา มีค่าเฉลี่ยอยู่ 23.80-32.51,42.85-62.83 และ 36.85-37.69 µmol C_2H_4/plant/hr ตามลำดับ สายพันธุ์อะโซสไปริลลัมและอัตราปุ๋ยไนโตรเจน ไม่มีปฏิสัมพันธ์ต่อกันที่ระยะ 4, 6 และ 8 สัปดาห์ โดยทำให้กิจกรรมไนโตรจีเนสไม่แตกต่างกันทางสถิติ อยู่ระหว่าง 6.01-40.60, 10.41-130.89 และ14.16-45.74 µmol C_2H_4/plant/hr ที่ระยะ 4, 6 และ 8 สัปดาห์ ตามลำดับ (Figure 8)

ในรากมีปริมาณการตรึงไนโตรเจนสูงกว่าในดิน เนื่องจากอะโซสไปริลลัมส่วนใหญ่มักอาศัยอยู่ใกล้ชิดกับรากข้าวโพด โดยเข้าไปอาศัยอยู่ในชั้นคอร์เท็กซ์ของรากพืช (Osmar *et al*., 2004) จึงทำให้อัตราการตรึงไนโตรเจนในบริเวณรากสูงกว่าในดิน และสอดคล้องกับ ศิวาพร (2553) พบว่าอะโซสไปริลลัมจะส่งผลให้มีประสิทธิภาพในการตรึงไนโตรเจนบริเวณรากข้าวโพดหวานมากที่สุด ประสิทธิภาพการตรึงไนโตรเจนบริเวณรากสูงที่สุดในสัปดาห์ที่ 4 และลดลงในสัปดาห์ที่ 8 การใช้อะโซสไปริลลัมนั้นส่งผลให้มีการตรึงไนโตรเจนทั้งในดินและบริเวณรากพืชเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้ดินมีปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้นตามไปด้วย (Shabaev *et al*., 1991)

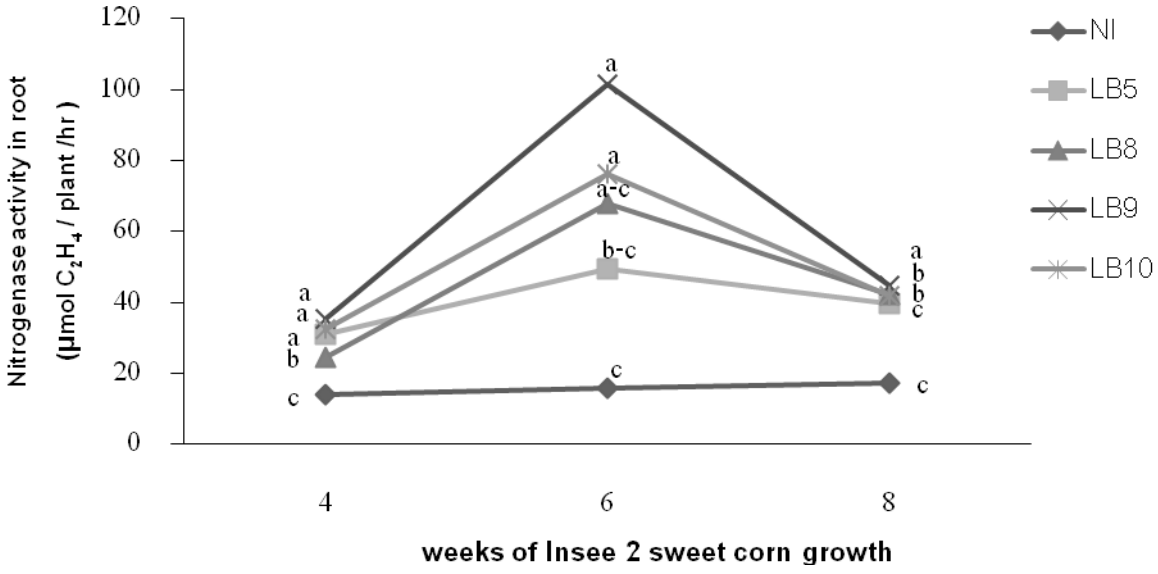


Figure 6 The effect of various strains of *A. lipoferum* on nitrogenase activities in the roots of Insee 2 sweet corn ($P \leq 0.01$).

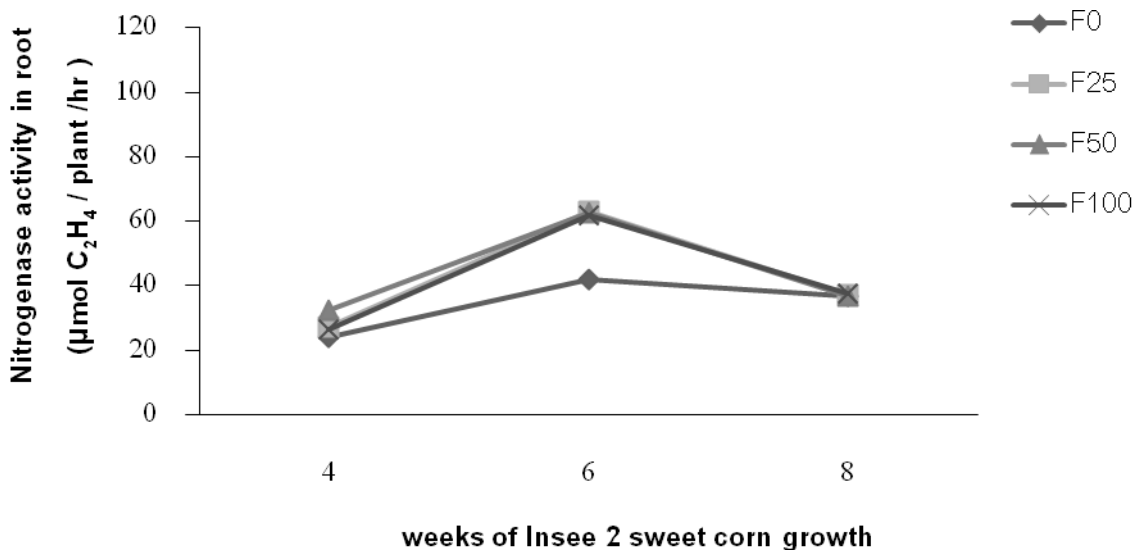


Figure 7 The effect of the rates of nitrogen fertilizer on nitrogenase activities in the roots of Insee 2 sweet corn (P >0.05).

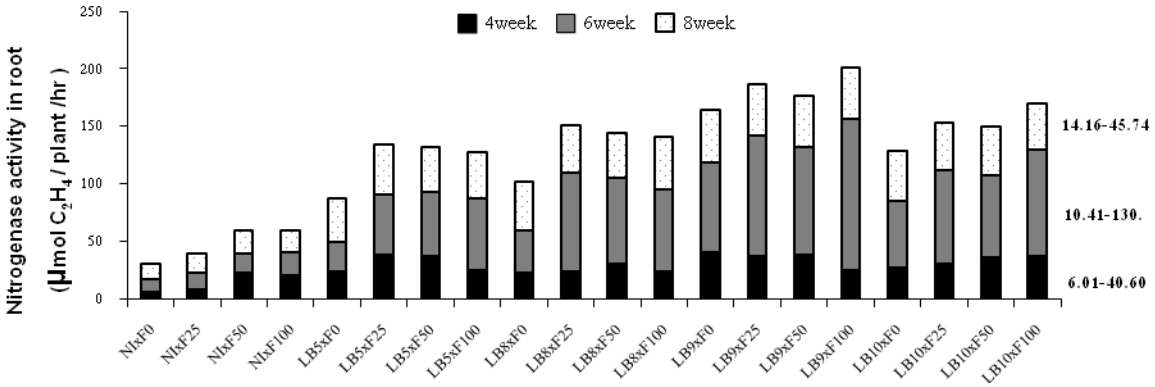


Figure 8 Nitrogenase activities in roots of Insee 2 sweet corn as affected by interaction between strains of *A. lipoferum* and rates of nitrogen fertilizer (P >0.05).

การเจริญเติบโตของพืช

สายพันธุ์อะโซสไปริลลัมไม่สามารถทำให้ความสูงของต้นข้าวโพดแตกต่างกันทางสถิติทุกระยะการศึกษา (Figure 9) โดยมีค่าเฉลี่ย 17.10-20.82,89.90-100.40 และ 121.00-129.48 เซนติเมตร ที่ระยะ 4, 6 และ 8 สัปดาห์ ตามลำดับ การใช้อะโซสไปริลลัมเพียงอย่างเดียวให้ความสูงใกล้เคียงกับอัตราปุ๋ยไนโตรเจน 25 เปอร์เซ็นต์ของค่าวิเคราะห์ดิน โดยที่ในสัปดาห์ที่ 8 หลังปลูกข้าวโพด สายพันธุ์ LB_9 ทำให้ต้นข้าวโพดมีความสูงที่สุดใกล้เคียงกับอัตราปุ๋ย 100 เปอร์เซ็นต์ (135.52 เซนติเมตร)

อัตราปุ๋ยไนโตรเจนไม่มีผลทำให้ความสูงแตกต่างกันทางสถิติในสัปดาห์ที่ 4 โดยมีค่าเฉลี่ย 17.20-19.98 เซนติเมตร แต่มีผลต่อความสูงของต้นข้าวโพดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติทั้งในสัปดาห์ที่

6 และ 8 (Figure 10) โดยอัตราปุ๋ยไนโตรเจน 25, 50 และ 100 เปอร์เซ็นต์ของค่าวิเคราะห์ดิน มีผลให้ความสูงเฉลี่ยของต้นข้าวโพดในสัปดาห์ที่ 6 และ 8 สูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนทั้ง 3 ระดับ ที่ 97.69,104.19 และ 104.27 เซนติเมตร ในสัปดาห์ที่ 6 และ 128.33, 131.37 และ 135.52 เซนติเมตร ในสัปดาห์ที่ 8 ตามลำดับ แต่ไม่พบปฏิสัมพันธ์ของสายพันธุ์อะโซสไปริลลัมและอัตราปุ๋ยไนโตรเจน (Figure 11) โดยมีความสูงเฉลี่ยที่ 13.47-25.57, 71.77-113.38 และ 94.79-137.79 เซนติเมตร ที่ระยะ 4, 6 และ 8 สัปดาห์ ตามลำดับ การใส่เชื้อร่วมกับการใส่ปุ๋ยมีผลทำให้ข้าวโพดสูงกว่าการใส่ปุ๋ยเพียงอย่างเดียว อาจเนื่องมาจากปุ๋ยเคมีนั้นสามารถปลดปล่อยธาตุอาหารให้แก่พืชได้รวดเร็วและมีปริมาณธาตุอาหารสูง จึงเป็นผลให้ข้าวโพดสูงกว่าการใช้จุลินทรีย์ ส่วนธาตุอาหารพืชจากจุลินทรีย์นั้นต้องใช้เวลา เพราะจุลินทรีย์จะค่อยๆ ปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาอย่างช้า แต่เป็นไปอย่างต่อเนื่อง (ศิวาพร, 2553)

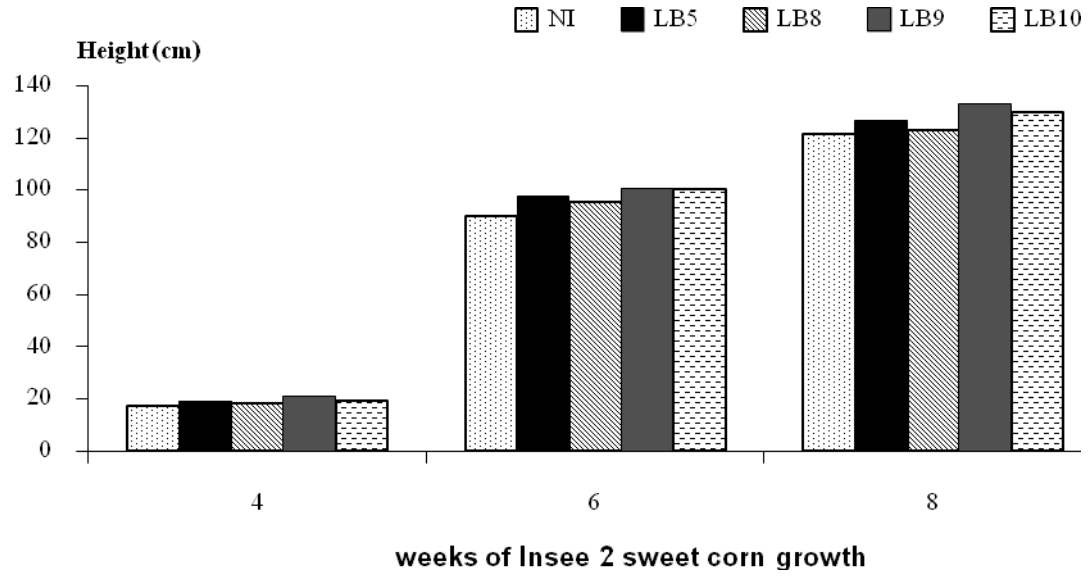


Figure 9 The height of Insee 2 sweet corn as affected by various strains of *A. lipoferum* (*P* >0.05).

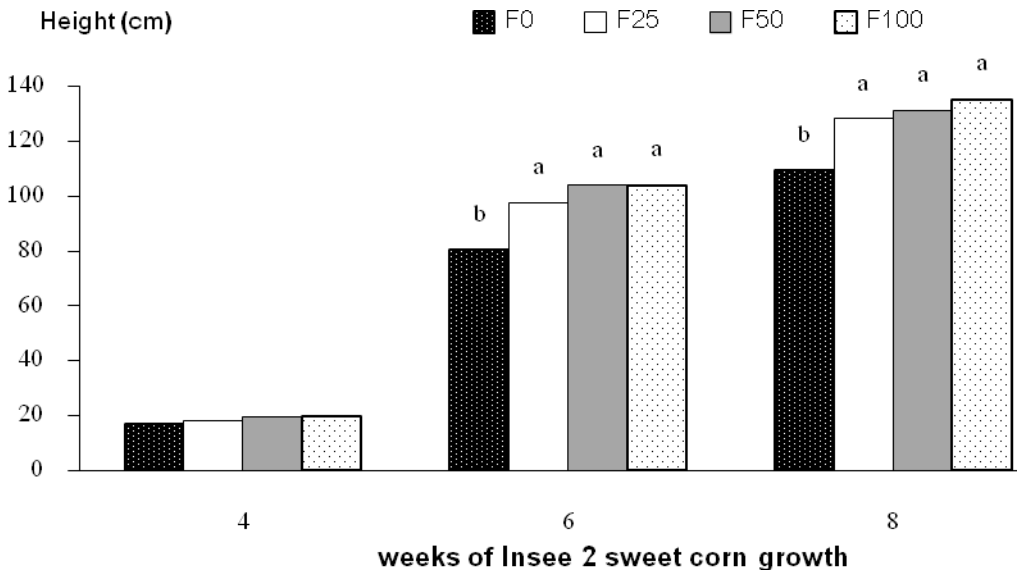


Figure 10 The height of Insee 2 sweet corn as affected by various rates of nitrogen fertilizer ($P \leq 0.01$).

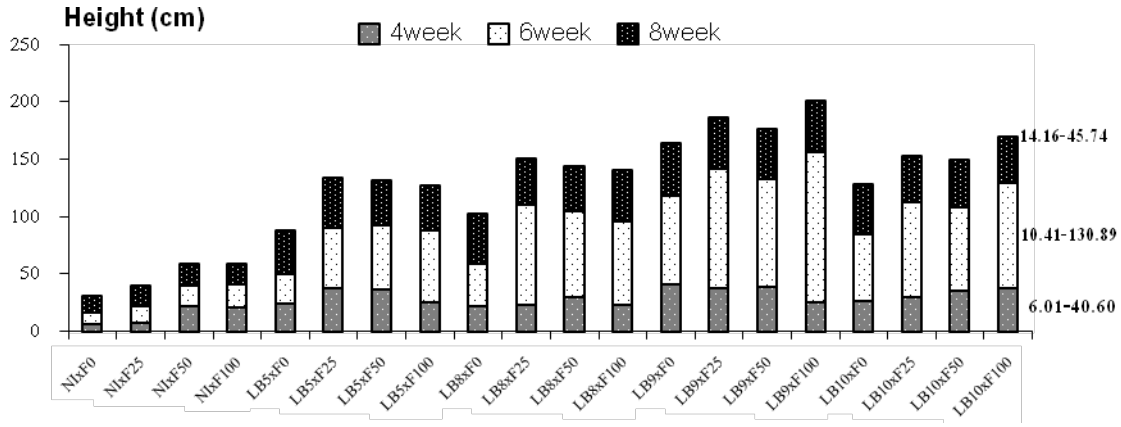


Figure 11 The height of Insee 2 sweet corn as affected by interaction between strains of *A. lipoferum* and rates of nitrogen fertilizer ($P > 0.05$).

สายพันธุ์อะโซสไปริลลัมไม่สามารถทำให้น้ำหนักแห้งราก (Figure 12) และน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน (Figure 13) แตกต่างกันทางสถิติ ตำรับที่มีการใช้อะโซสไปริลลัมส่งผลให้น้ำหนักแห้งรากและน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินใกล้เคียงกับอัตราปุ๋ยไนโตรเจน 25-50 เปอร์เซ็นต์ของค่าวิเคราะห์ดิน โดยสายพันธุ์ LB_9 มีผลให้น้ำหนักแห้งราก และน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินเฉลี่ย 188.50 และ 1,020.17 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ สอดคล้องกับผลการทดลองของ Fulchieri and Frion (1994) สรุปไว้ว่า การใช้อะโซสไปริลลัม สามารถเพิ่มน้ำหนักของต้นข้าวโพด สาเหตุอาจเนื่องมาจากสายพันธุ์ที่ตรึงไนโตรเจนได้มากก็ปลดปล่อยไนโตรเจนให้แก่พืชได้มากกว่า ทำให้เจริญเติบโตได้ดีมากทั้งส่วนเหนือดินและราก

อัตราปุ๋ยไนโตรเจนมีผลทำให้น้ำหนักแห้งราก และน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (Figure 14,15) โดยอัตรา

ปุ๋ยไนโตรเจน 100 เปอร์เซ็นต์ของค่าวิเคราะห์ดิน ทำให้น้ำหนักแห้งเฉลี่ยส่วนเหนือดินและรากมากที่สุด (1,065.10 และ 217.89 กิโลกรัมต่อไร่) ไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างสายพันธุ์อะโซสไปริลลัมและอัตราปุ๋ยไนโตรเจน มีน้ำหนักแห้งที่ 55.96-277.25 และ 375.89- 1,520.40 กิโลกรัมต่อไร่ จากน้ำหนักแห้งรากและน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน ตามลำดับ

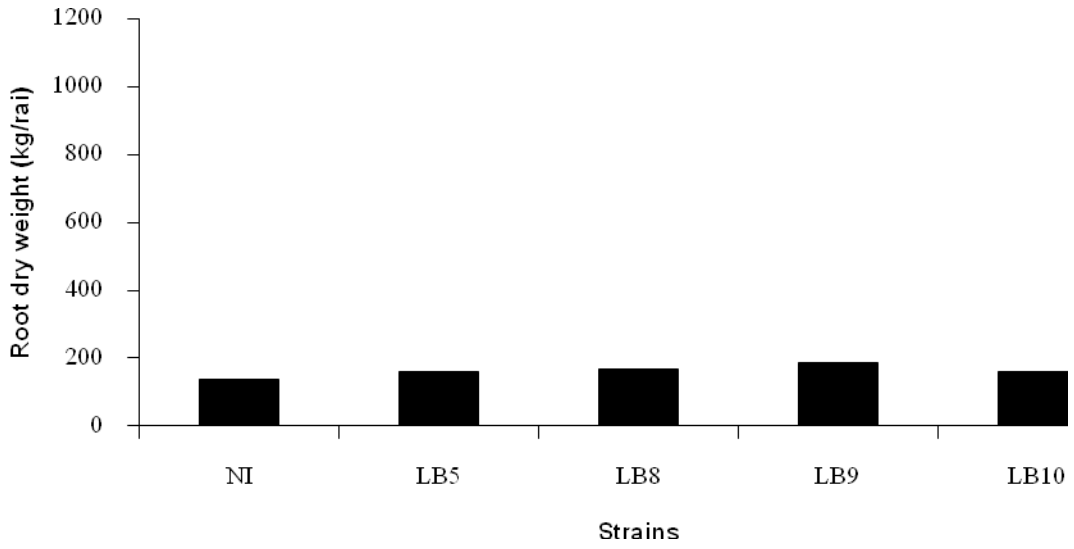


Figure 12 Dried weight of root Insee 2 sweet corn as affected by various strains of *A. lipoferum* (*P*>0.05).

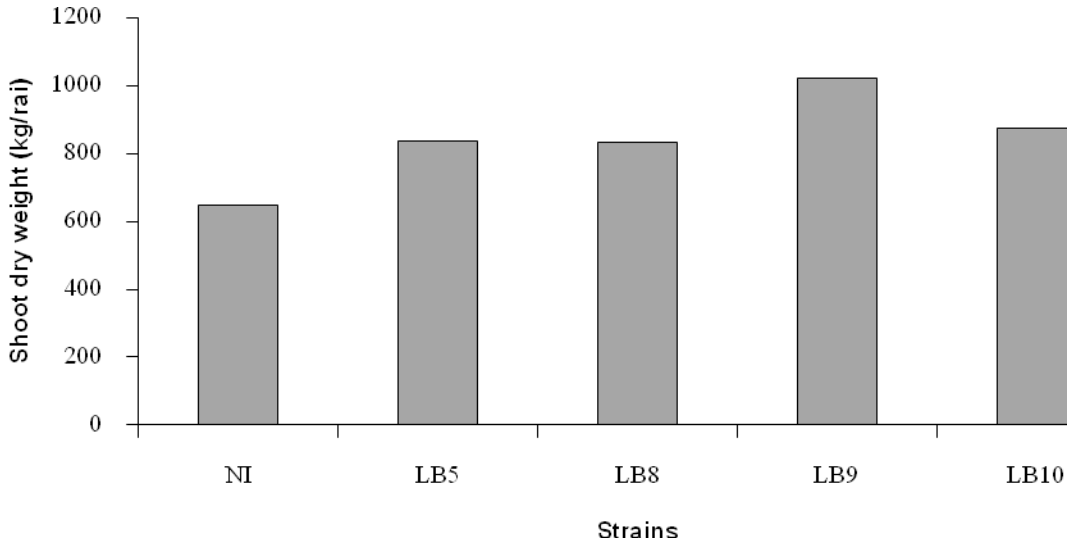
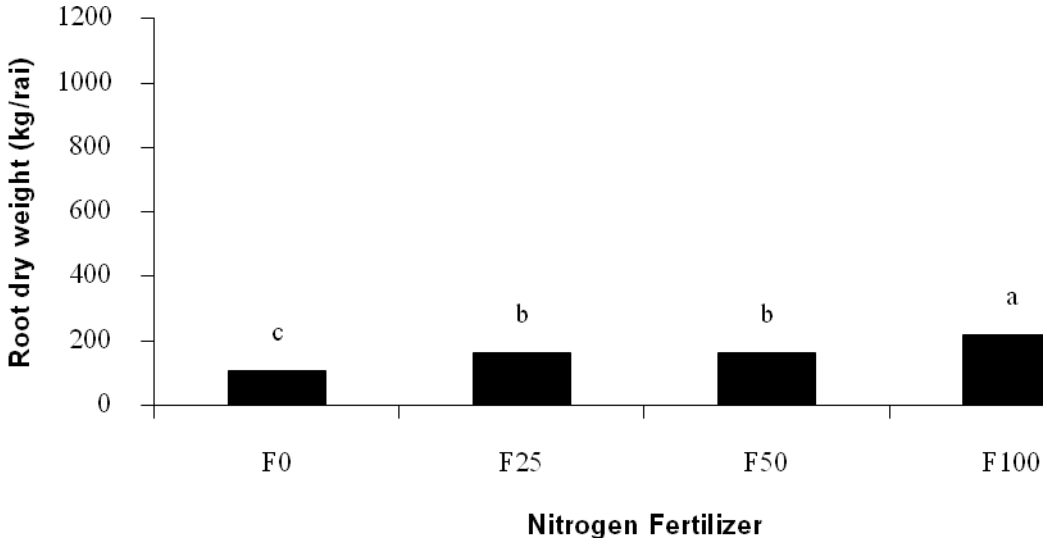


Figure 13 Dried weight of shoot Insee 2 sweet corn as affected by various strains of *A. lipoferum* (*P*>0.05).



Fi

Figure 14 Dried weight of root Insee 2 sweet corn as affected by various rates of nitrogen fertilizer ($P \leq 0.01$).

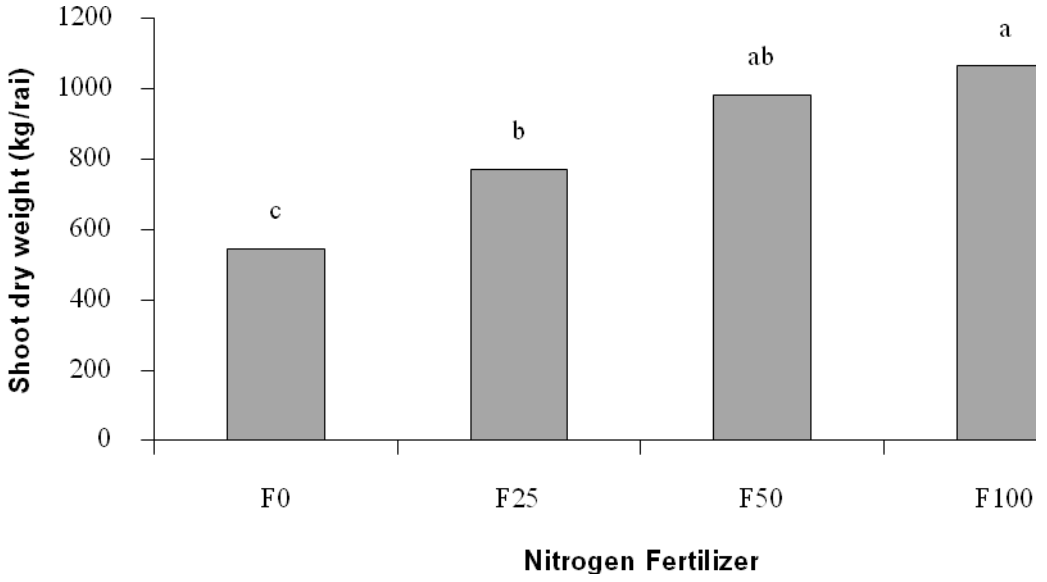


Figure 15 Dried weight of shoot Insee 2 sweet corn as affected by various rates of nitrogen fertilizer ($P \leq 0.01$).

ผลผลิตของข้าวโพดหวาน

น้ำหนักฝักดีของข้าวโพดไม่แตกต่างกันเมื่อใช้สายพันธุ์อะโซสไปริลรัลที่แตกต่างกัน (Figure 16) แต่อัตราปุ๋ยไนโตรเจนมีผลให้น้ำหนักฝักดีข้าวโพดแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (Figure 17) โดยอัตราปุ๋ยไนโตรเจน 100 เปอร์เซ็นต์ของค่าวิเคราะห์ดิน ให้น้ำหนักฝักดีเฉลี่ยสูงที่สุด 1,679.10 กิโลกรัมต่อไร่ เมื่อพิจารณาถึงน้ำหนักฝักดีเฉลี่ยเนื่องจากสายพันธุ์อะโซสไปริลลัมแล้ว เห็นได้ว่าน้ำหนักฝักดีเฉลี่ยใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยจากอัตราปุ๋ย 50 เปอร์เซ็นต์ อัตราปุ๋ยไนโตรเจนและสายพันธุ์อะโซสไปริลลัมมีปฏิสัมพันธ์ (Figure 18) การใช้อะโซสไปริลลัมร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจน สามารถส่งเสริมให้น้ำหนักฝักดีสูงกว่าการใช้ปุ๋ยแต่เพียง

อย่างเดียว แม้ว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติก็ตาม จาก Figure 16 จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยของน้ำหนักฝักดี เนื่องจากสายพันธุ์ อะโซสไปริลลัม สายพันธุ์ต่างๆ อยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกับอัตราปุ๋ยไนโตรเจน 50 เปอร์เซ็นต์ การใช้ *A. lipoferum* LB_9 ร่วมกับอัตราการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน 25-50 เปอร์เซ็นต์ ทำให้น้ำหนักฝักดีใกล้เคียงกับการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน 50-100 เปอร์เซ็นต์

จำนวนฝักทั้งหมด (Figure 19) และเปอร์เซ็นต์ฝักดี (Figure 21) ไม่แตกต่างกันทางสถิติจากสายพันธุ์อะโซสไปริลลัม แต่อัตราปุ๋ยไนโตรเจนทำให้จำนวนฝักทั้งหมดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Figure 20) โดยอัตราปุ๋ยไนโตรเจน 100 เปอร์เซ็นต์ ทำให้จำนวนฝักทั้งหมดมีปริมาณมากที่สุด (9,216 กิโลกรัมต่อไร่) รองลงมาอัตราปุ๋ยไนโตรเจน 50 เปอร์เซ็นต์ (9,045 กิโลกรัมต่อไร่) แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ส่วนกรณีของเปอร์เซ็นต์ฝักดีนั้นพบว่าอัตราปุ๋ยทำให้เปอร์เซ็นต์ฝักดีแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Figure 22) อัตราปุ๋ยที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ฝักดีเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจน

เปอร์เซ็นต์ฝักดีได้รับผลจากปฏิสัมพันธ์ของสายพันธุ์อะโซสไปริลลัมและอัตราปุ๋ยไนโตรเจน (Figure 23) โดยการใส่เชื้อร่วมกับการใส่ปุ๋ยส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ฝักดีมากกว่าการใส่ปุ๋ยเพียงอย่างเดียว โดยสายพันธุ์ LB_9 ร่วมกับอัตราปุ๋ยไนโตรเจนทั้ง 3 ระดับ (25, 50 และ 100 เปอร์เซ็นต์ของค่าวิเคราะห์ดิน) มีเปอร์เซ็นต์ฝักดี 75.50, 80.00 และ 85.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ขณะที่การใช้ปุ๋ยไนโตรเจนเพียงอย่างเดียวมีเปอร์เซ็นต์ฝักดี 55.00, 68.33 และ 79.17 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ การใส่เชื้อทำให้ปริมาณฝักดีสูงขึ้นเมื่อไม่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน โดยสายพันธุ์ LB_9 และ LB_{10} มีเปอร์เซ็นต์ฝักดีสูงสุดจาก 5.00 เปอร์เซ็นต์ เป็น 35.00 และ 31.25 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

การเจริญเติบโตและปริมาณผลผลิต ในตำรับที่ใส่อะโซสไปริลลัมอยู่ในระดับค่อนข้างสูงหรือแม้แต่ในตำรับที่ใส่อะโซสไปริลลัมร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจน 25-50 เปอร์เซ็นต์ ก็สามารถให้ผลผลิตได้ใกล้เคียงกับการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว 100 เปอร์เซ็นต์ กรณีเช่นนี้เกิดขึ้นได้จากการสนับสนุนการเจริญเติบโตของอะโซสไปริลลัม ซึ่งส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชตั้งแต่ระยะแรกของการเจริญเติบโต โดยปลดปล่อยฮอร์โมนพืชออกมาส่งเสริมการแผ่ขยายของรากให้ สอดคล้องกับ Lambrecht *et al*. (2000) ที่สรุปว่า อะโซสไปริลลัมสามารถสร้างสารส่งเสริมการเจริญเติบโต ได้แก่ ออกซิน ไซโตไคนิน รวมถึงจิบเบอริลิน และปลดปล่อยออกมาให้แก่พืช จากนั้นก็เริ่มมีกิจกรรมไนโตรจีเนส เพิ่มไนโตรเจนให้แก่พืชตลอดช่วงอายุ ซึ่งพืชได้รับโดยตรงไม่ต้องรอให้อะโซสไปริลลัมตายเสียก่อน เพราะส่วนใหญ่อะโซสไปริลลัมเจริญอยู่ในชั้นคอร์เท็กซ์ของรากพืช (Shabaev *et al*., 1991) นอกจากนี้ยังพบว่าอะโซสไปริลลัมช่วยให้รากพืชสามารถหาน้ำและดูดธาตุอาหารได้ดีขึ้น รวมทั้งสามารถรีดิวซ์ไนเตรต และละลายฟอตเฟตได้ (Pandey,1998; Steenhoudt, 2000)

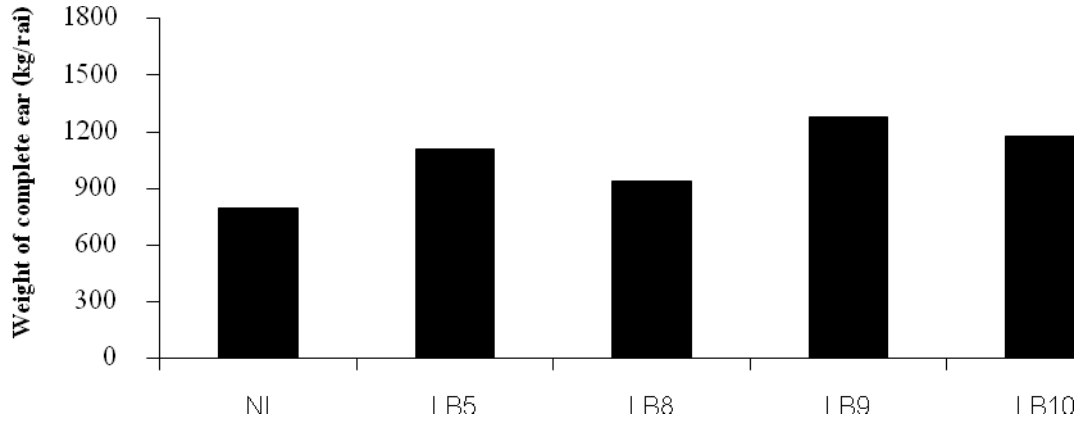


Figure 16 The complete ear weight of Insee 2 sweet corn as affected by various strains of *A. lipoferum* (*P*>0.05).

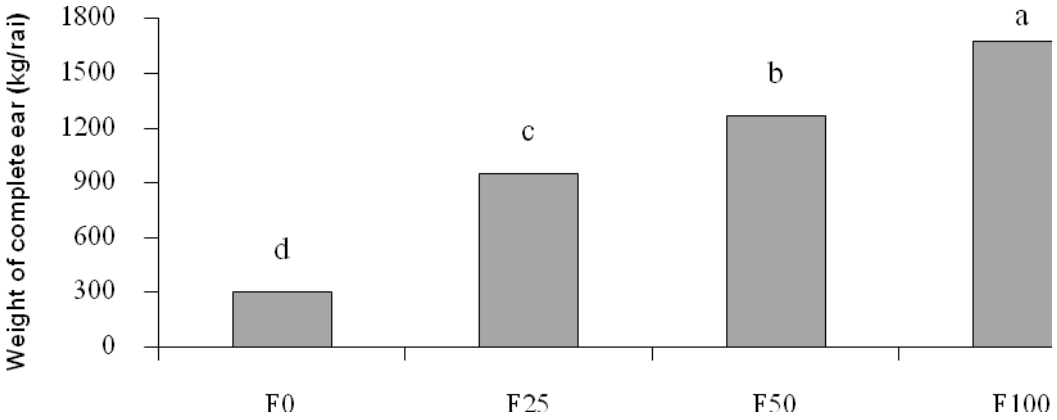


Figure 17 The complete ear weight of Insee 2 sweet corn as affected by various rates of nitrogen fertilizer (*P* ≤0.01).

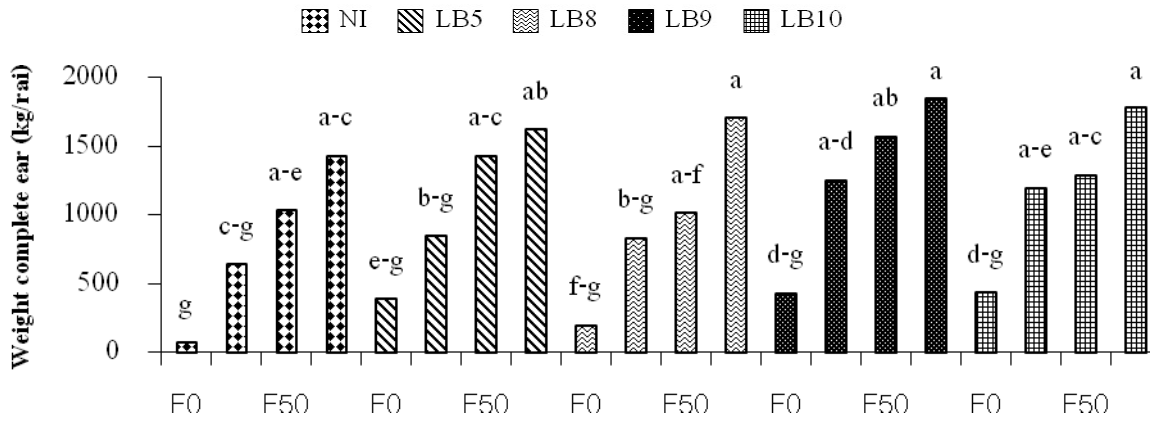


Figure 18 The complete ear weight as affected by interaction between strains of *A. lipoferum* and rates of nitrogen fertilizer (*P* ≤0.01).

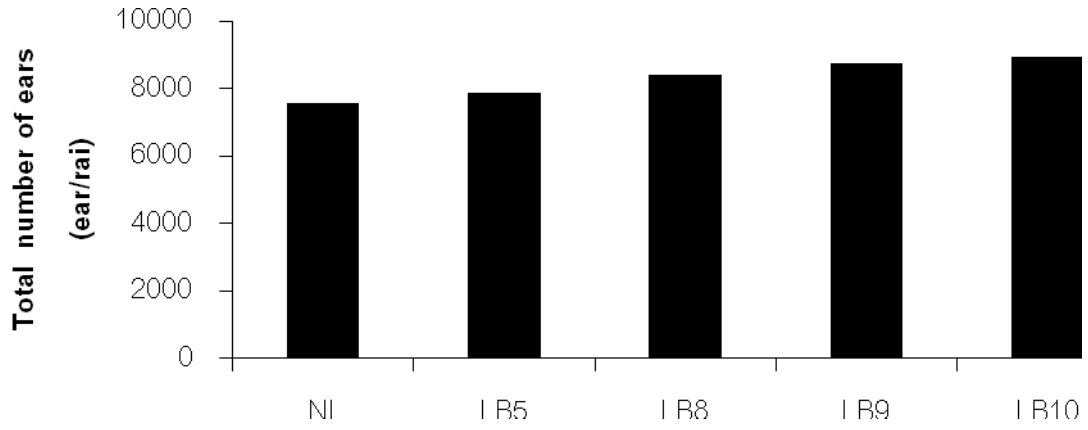


Figure 19 The number of Insee 2 sweet corn ears as affected by various strains of *A. lipoferum* (*P*>0.05).

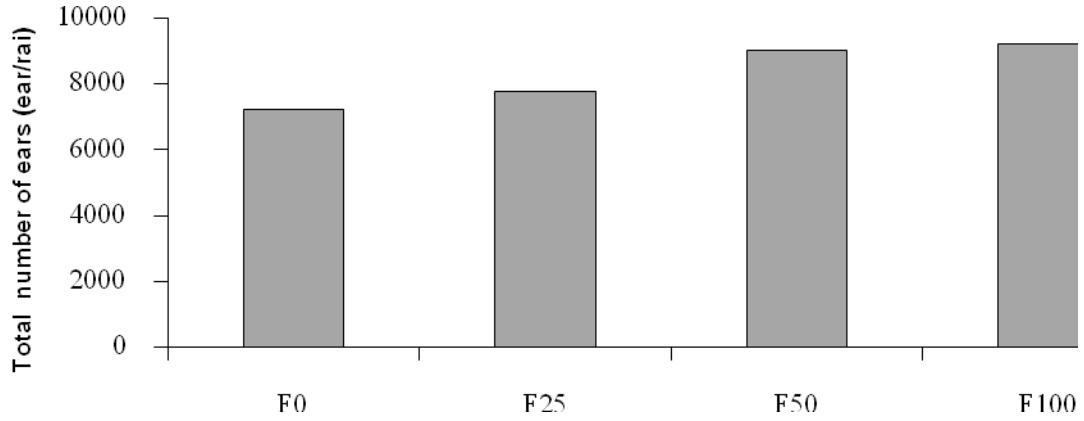


Figure 20 The number of Insee 2 sweet corn ears as affected by various rates of nitrogen fertilizer (*P*≤0.01).

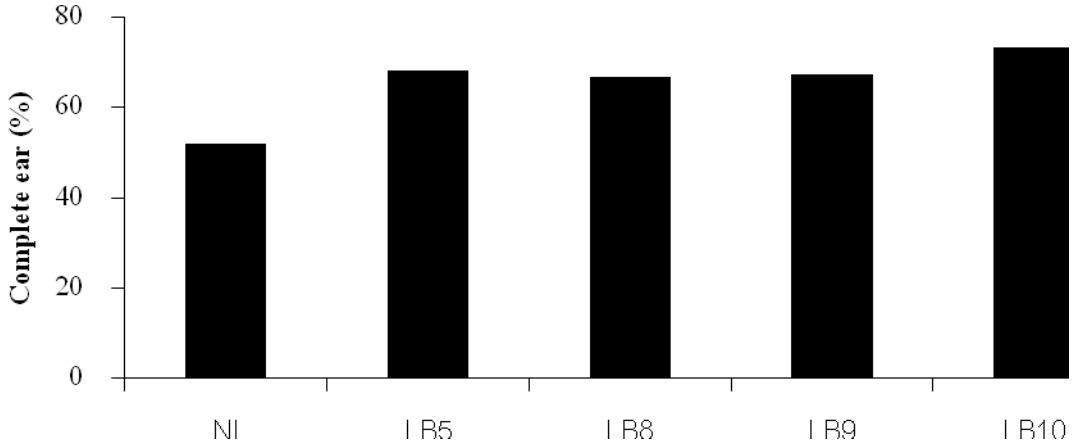


Figure 21 The percentage of Insee 2 complete ears as affected by various strains of *A. lipoferum* (*P*>0.05).

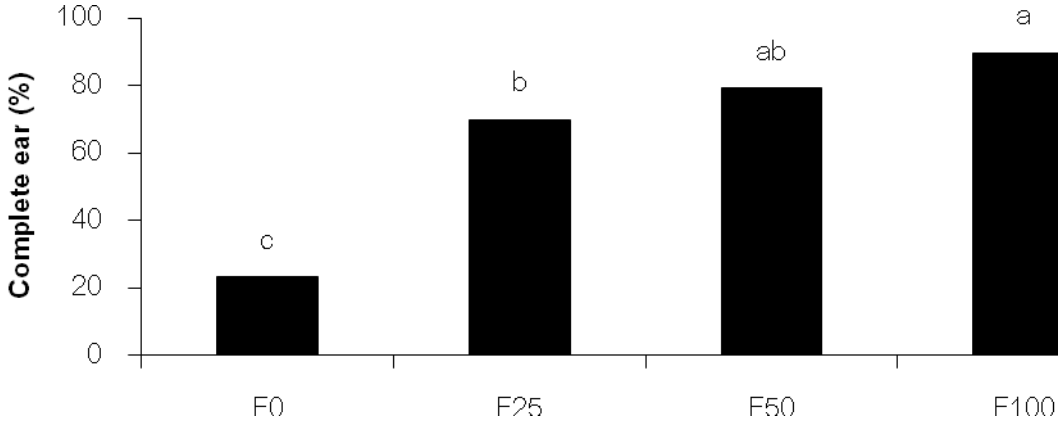


Figure 22 The percentage of Insee 2 complete ears as affected by various rates nitrogen fertilizer ($P \leq 0.01$).

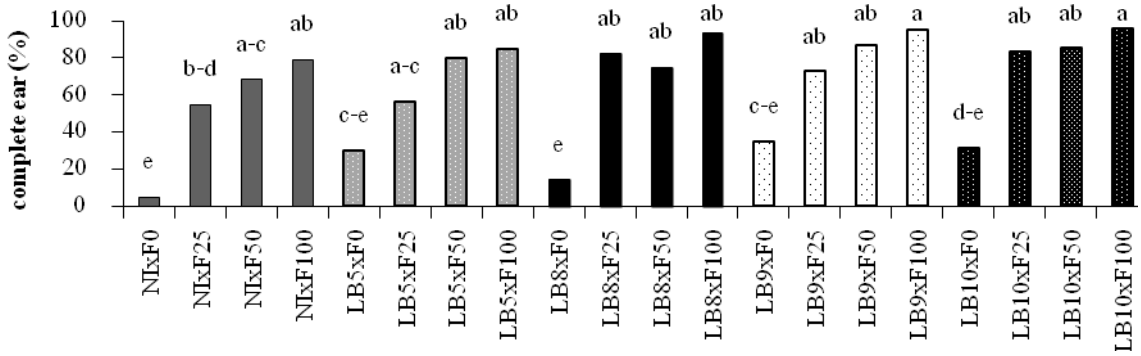


Figure 23 The percentage of Insee 2 complete ears as affected by interaction between strains of *A. lipoferum* and rates nitrogen fertilizer ($P \leq 0.01$).

สรุป

การใส่เชื้ออะโซสไปริลลัมสามารถทำให้ปริมาณประชากรในดินที่ปลูกข้าวโพดหวานเพิ่มขึ้นในระยะแรกของการเจริญเติบโต และลดลงเมื่อใกล้ถึงระยะเก็บเกี่ยว โดย *Azosprillum lipoferum* LB_9 มีปริมาณเชื้อในดินสูงที่สุดรองลงมาเป็น *Azosprillum lipoferum* LB_{10} และยังส่งเสริมให้มีกิจกรรมไนโตรจีเนสทั้งในดินและในรากข้าวโพดสูงขึ้น โดยทำให้ในดินและในพืชได้รับไนโตรเจนมากขึ้นด้วย ซึ่งส่งผลให้พืชเจริญเติบโตสูงขึ้น การใช้ อะโซสไปริลลัมร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจนทำให้ข้าวโพดหวานมีผลผลิตมากกว่าการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนเพียงอย่างเดียว *Azosprillum lipoferum* LB_9 ร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจน 25-50 เปอร์เซ็นต์ของค่าวิเคราะห์ดินสามารถ ส่งเสริมให้ข้าวโพดมีปริมาณผลผลิตใกล้เคียงกับอัตราไนโตรเจนอัตราปุ๋ยไนโตรเจน 100 เปอร์เซ็นต์ของค่าวิเคราะห์ดิน

เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2548. คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชเศรษฐกิจ. เอกสารวิชาการ กรม

วิชาการเกษตร ฉบับที่ 8/2548, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพฯ.

ธงชัย มาลา. 2550. ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ: เทคนิคการผลิตและการใช้ประโยชน์. พิมพ์ครั้งที่ 1.มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

ธงชัย มาลา, สิรินภา ช่วงโอภาส, ชวลิต ฮงประยูร และวันทนีย์ พึ่งแสง. 2551. ปฏิบัติการจุลินทรีย์ทางดิน. ภาควิชาปฐพีวิทยา, คณะเกษตร กำแพงแสน, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, กรุงเทพฯ.

ชรินทร์ พุกเกษม. 2554. การคัดเลือกเชื้ออะโซสไปริลลัมที่มีประสิทธิภาพในการตรึงไนโตรเจน การสร้างออกซิน และละลายฟอสเฟต. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ทัศนีย์ อัตตะนันทน์ และ จงรักษ์ จันทร์เจริญสุข. 2542. แบบฝึกหัดและคู่มือปฏิบัติการ การวิเคราะห์ดินและพืช. ภาควิชาปฐพีวิทยา, คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2554. ปัจจัยการผลิต. แหล่งที่มา : http://www.oae.go.th/download/FactorOfProduct/Fertilizer_value49-54.html, 1 เมษายน 2556.

ศิวาพร ทูปคัณโท. 2553. การตรึงไนโตรเจนของจุลินทรีย์อิสระในดินในระบบการปลูกข้าวโพดแบบไม่ไถพรวน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

Akbari, A. G., S. M. Arab, H. A. Alikhani, I. Allahdadi and M.H. Arzanesh. 2007. Isolation and selection of indigenous *Azospirillum* spp. and the IAA of superior strains effects on wheat roots. World J. Agri. Sci. 3: 523-529.

Bais, H. P., T. L. Weir, L .G. Perry, S. Gilroy and J. M. Vivanco. 2006. The role of rootexudates in rhizosphere interactions with plants and other organisms. Ann. Rev. Plant Biol. 57: 233–266.

Baldani, V. L. D., J. I. Baldani and J. Dobereiner. 1987. Inoculation of field-grown wheat (*Triticum aestivum*) with *Azospirillum* spp. in Brazil. Biol. Fertil. Soils 4: 37-40.

Biari A., A. Glolami and H. Ruhmani. 2008. Growth promoting and enhanced nutrient up take
of maize (Zea mays L.) by application of plant growth promoting rhizobacteria in arid
region of Iran. Biol. Sci. 8: 1015-1020.

Esmaeil,Y., A. M. E. Azadgoleh, H. Pirdashti and S. Mozafari. 2008. Azotobacter and Azospirillum inoculation as biofertilizer in canola (*Brassica napus* L.) cultivation. Asian Plant Sci. 7(5): 490-494.

FAO Project Staff and Land Classification Division. 1973. Soil Interpretation Handbook for Thailand. Land Classification Division, Department of Land Development, Ministry of Agriculture and Cooperatives, Bangkok.

Fulchieri, M and L. Frion. 1994. *Azospirillum* UA4 inoculation on maize (*Zea mays*): effect on yield in a field experiment in central Argentina. Soil Biol. Biochem. 26(7): 921-923.

Germida, J. J. 1986. Population dynamics of *Azospirillum brasilense* and its bacteriophage in soil. Plant and Soil 90: 117-128.

Hardy, R. W. F., R. C. Burns and R. S. Holsten. 1973. Application of acetylene-ethylene assay for measurement of nitrogen fixation. Soil Biol. Biochem. 5: 47-48.

Lambrecht, M., Y. Okon, A.V. Broek and J. Vanderleyden. 2000. Indole-3-acetic acid: a reciprocal signaling molecule in bacteria-plant interactions. Trends in Microbiol. 8: 298-3-300.

Liste, H. H. and M. Alexander. 2000. Plant-promoted pyrene degradation in soil. Chemosphere 40(1): 7–10.

Mala, T., W. Phuengsaeng, J. Phumpetch. and M. Jiumjirachart. 1997. The selection of high effective VAM enhancing growth and phosphorus uptake of maize and soybean. Final report submitted to KURDI. Kasetsart University. 16 p.

Maria, I. S, N. F. and A. J. Barneix. 2002. The effect of inoculation with *Azospirillum brasilense* on growth and nitrogen utilization by wheat plants. Plant and Soil 245: 215-222.

Osmar R., S Dalla, R. P. Ronzelli, H. Ramona, L. Georgina, and P. Ashok. 2004. Effects of inoculation of *Azospirillum* sp. in maize seeds under field conditions. Food Agri. Environ. 2: 238-242.

Pandey, A., E. Sharma and L.M.S. Palni. 1998. Influence of bacterial inoculation on maize in upland farming systems of the Sikkim Himalaya. Soil Biol. Biochem. 30: 379-384.

Shabaev, V. P., V. S. Yu and V. D. Strekozova. 1991. Effect of *Azospirillum brasilense* and *Azotobacter chroococum* on nitrogen balance in soil under cropping with oats (*Avena sativa* L.). Biol. Fertil. Soils 10: 290-292.

Steenhoudt, O. and J. Vanderleyden. 2000. Azospirillum, a free-living nitrogen fixation bacterium closely associated with grasses: genetic, biochemical and ecological aspects. FEMS Microbiol. Rev.24: 487-506.

Received 23 April 2013

Accepted 23 August 2013