ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ปฐพีวิทยา)

ปริญญา

ปฐพีวิทยา	ปฐพีวิทยา
สาขา	**ภาควิชา**

เรื่อง การตรึงไนโตรเจนของจุลินทรีย์อิสระในดินในระบบการปลูกข้าวโพดแบบไม่ไถพรวน

Nitrogen Fixation of Free living Microorganism in No Tillage Sweet Corn Cultivation System

นามผู้วิจัย นางสาวศิวาพร ทูปคันโธ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

(รองศาสตราจารย์ธงชัย มาลา, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(อาจารย์ศุภชัย อำคา, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์, วท.ม.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... **เดือน** ..... **พ.ศ.** .....

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การตรึงไนโตรเจนของจุลินทรีย์อิสระในดินในระบบการปลูกข้าวโพดแบบไม่ไถพรวน

Nitrogen Fixation of Free Living Microorganism in No Tillage Sweet Corn Cultivation System

โดย

นางสาวศิวาพร ทูปคันโธ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ปฐพีวิทยา)
พ.ศ. 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ศิวาพร ทูปคันโธ 2553: การตรึงไนโตรเจนของจุลินทรีย์อิสระในดินในระบบการปลูกข้าวโพดแบบไม่ไถพรวน ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ปฐพีวิทยา) สาขาปฐพีวิทยา ภาควิชาปฐพีวิทยา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์ ธงชัย มาลา, Ph.D. 74 หน้า

การวิจัยเรื่องการตรึงไนโตรเจนของจุลินทรีย์อิสระในดินในระบบการปลูกข้าวโพดแบบไม่ไถพรวน มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ อัตราการตรึงไนโตรเจนและผลกระทบของระบบการไถพรวนและแหล่งที่มาของธาตุอาหารพืชที่มีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดหวาน โดยวางแผนการทดลองแบบ split plot in randomized complete block design จำนวน 4 ซ้ำ ประกอบด้วย main plot เป็นระบบการไถพรวนมี 2 ปัจจัย ได้แก่ การไถพรวนแบบปกติ และการไม่ไถพรวน และ sub plot เป็นแหล่งที่มาของธาตุอาหารพืช 7 ตำรับ ได้แก่ 1) ไม่ใช้ปุ๋ยและเชื้อจุลินทรีย์ 2) ปุ๋ยเคมีอัตรา 19 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ (อัตราปรกติ) 3) ปุ๋ยเคมีอัตรา 9.5 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ (อัตราครึ่งหนึ่งของปรกติ) 4) เชื้ออะโซโตแบคเตอร์ 5) เชื้ออะโซสไปริลลัม 6) ปุ๋ยพืชสดถั่วเหลือง และ 7) ปุ๋ยพืชสดถั่วเขียว ผลการวิจัยพบว่า ระบบการไถพรวนที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อปริมาณเชื้ออะโซโตแบคเตอร์และเชื้ออะโซสไปริลลัม อัตราการตรึงไนโตรเจน ปริมาณผลผลิตของข้าวโพดหวาน และปริมาณธาตุอาหารหลักในพืช แต่แหล่งที่มาของธาตุอาหารพืชที่แตกต่างกันมีผลต่อลักษณะดังกล่าว คือ การใส่เชื้ออะโซโตแบคเตอร์และเชื้ออะโซสไปริลลัมส่งผลให้มีปริมาณเชื้ออะโซโตแบคเตอร์ และเชื้ออะโซสไปริลลัมในดินเพิ่มมากขึ้น อีกทั้งการใช้เชื้ออะโซโตแบคเตอร์มีอัตราการตรึงไนโตรเจนในดินสูงที่สุด (6.694 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร) รองลงมาเป็นการใช้เชื้ออะโซสไปริลลัม และการใช้ปุ๋ยพืชสดถั่วเหลืองและถั่วเขียว สำหรับการตรึงไนโตรเจนบริเวณราก พบว่าการใช้เชื้ออะโซสไปริลลัมส่งผลให้มีอัตราการตรึงไนโตรเจนบริเวณรากพืชสูงที่สุด (0.125 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร) เมื่อพิจารณาถึงปริมาณผลผลิตของข้าวโพด พบว่าการใช้เชื้ออะโซโตแบคเตอร์ เชื้ออะโซสไปริลลัมและใช้ปุ๋ยพืชสดถั่วเขียวมีน้ำหนักฝักดีของข้าวโพดไม่แตกต่างกับการใช้ปุ๋ยเคมีอัตราครึ่งหนึ่งของปรกติ ขณะที่การใช้ปุ๋ยเคมีอัตราปรกติจะมีน้ำหนักฝักดีสูงที่สุด (1,538.61 กิโลกรัมต่อไร่) และพบว่าแหล่งที่มาของธาตุอาหารพืชที่แตกต่างกันส่งผลให้พืชมีปริมาณไนโตรเจนแตกต่างกันทางสถิติ แต่ไม่ส่งผลต่อปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในพืช และคุณสมบัติบางประการของดินหลังการเก็บเกี่ยว

/ /

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Siwaporn Toopakuntho 2010: Nitrogen Fixation of Free Living Microorganism in No Tillage Sweet Corn Cultivation System. Master of Science (Soil Science), Major Field: Soil Science, Department of Soil Science. Thesis Advisor: Associate Professor Thongchai Mala, Ph.D. 74 pages.

The research on the nitrogen fixation of free living microorganism and their effects on sweet corn yield in no tillage system aimed to monitor the population of nitrogen fixing microorganisms, rate of nitrogen fixation and their effects on sweet corn yield in no tillage system. The experimental set up was split plot in randomized complete block design with 4 replications. Main plots (tillage systems) consisted of conventional tillage and no tillage, while sub plots (sources of plant mineral) consisted of 1) control 2) chemical fertilizer 19 kg N /rai (normal rate) 3) chemical fertilizer 9.5 kg N /rai (half rate) 4) azotobacter inoculation 5) azospirillum inoculation 6) soybean green manure and 7) mungbean green manure. The results showed no significant of nitrogen fixing microorganisms population, rate of nitrogen fixation, yield, nitrogen, phosphorus and potassium content of plant under various tillage systems, but various sources of plant mineral had significant effect on them. The population of azotobacter and azospirillum were increased in azotobacter and azospirillum application treatments. Azotobacter treatment had the highest nitrogen fixation in soil (6.694 mg N / hr / m^2), while those of azospirillum, soybean green manure and mungbean green manure treatments were lower, successively. Nitrogen fixation in root from azospirillum treatment was the highest (0.125 mg N / hr / m^2). Yield of the standard ears from azotobacter, azospirillum and mungbean green manure treatments appeared in the same level as that from the treatment of half rate of chemical fertilizer, while those from normal rate of chemical fertilizer treatment was the highest (1,538.61 kg / rai). Sources of plant mineral influenced to nitrogen content of plant. However, various sources of plant mineral have no effect to phosphorus and potassium content of plant and some properties of soil after harvest.

/ /

Student's signature Thesis Advisor's signature

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้ากราบขอบพระคุณ รศ.ดร. ธงชัย มาลา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ดร. ศุภชัย อำคา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ รวมถึงอบรมสั่งสอนระหว่างการดำเนินงานวิจัย ตลอดจนการตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์ กราบขอบพระคุณ ดร. วิสุทธิ์ วีรสาร ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก และ รศ.ดร. กุมุท สังขศิลา ประธานการสอบ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาและคำแนะนำเพิ่มเติมทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณบุคลากรของภาควิชาปฐพีวิทยาที่ปฏิบัติงาน ณ แปลงทดลอง ห้องปฏิบัติการทางฟิสิกส์ของดิน ห้องปฏิบัติการเคมีและความอุดมสมบูรณ์ของดิน และห้องปฏิบัติการทางจุลชีววิทยาทางดิน ที่ได้ช่วยเหลือในการทำงานต่างๆให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบคุณสำหรับพี่ ๆ เพื่อนๆ และน้อง ๆ ในภาควิชาปฐพีวิทยา ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจแก่ข้าพเจ้าด้วยดีตลอดมา

กราบขอบพระคุณ คุณพ่อนริศวร์ ทูปคันโธ และทุกคนในครอบครัว ที่ให้การเลี้ยงดู อบรมสั่งสอน สนับสนุนและเป็นกำลังใจในการศึกษา ข้าพเจ้าขอมอบคุณประโยชน์และความดีของวิทยานิพนธ์นี้แก่ บิดา-มารดา ครอบครัว ครู อาจารย์ทุกท่าน ที่เคยอบรมสั่งสอนข้าพเจ้า

ศิวาพร ทูปคันโธ

พฤษภาคม 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	26
อุปกรณ์	26
วิธีการ	27
ผลและวิจารณ์	37
สรุป	62
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	63
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	73

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	กลุ่มของจุลินทรีย์ที่พบในดินและบริเวณรากพืชที่สามารถตรึงไนโตรเจนได้	10
2	ปริมาณน้ำที่ข้าวโพดต้องการในเดือน มกราคม ถึง ธันวาคม	21
3	ค่าวิเคราะห์ดินก่อนปลูก	31
4	ผลของระบบการไถพรวนและแหล่งที่มาของธาตุอาหารพืชที่แตกต่างกันที่มีต่ออัตราการตรึงไนโตรเจนในดิน (NFS) หลังการปลูกข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2 ที่อายุ 4 และ 8 สัปดาห์	43
5	ผลของระบบการไถพรวนและแหล่งที่มาของธาตุอาหารพืชที่แตกต่างกันที่มีต่ออัตราการตรึงไนโตรเจนบริเวณราก (NFR) หลังการปลูกข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2 ที่อายุ 4 และ 8 สัปดาห์	44
6	ผลของระบบการไถพรวนและแหล่งที่มาของธาตุอาหารพืชที่แตกต่างกันที่มีต่อความสูงของข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2 ที่อายุ 4, 6 และ 8 สัปดาห์	48
7	ผลของระบบการไถพรวนและแหล่งที่มาของธาตุอาหารพืชที่แตกต่างกันที่มีต่อน้ำหนักแห้งของส่วนต่างๆของข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2 ที่ระยะเก็บเกี่ยว	49
8	ผลของระบบการไถพรวนและแหล่งที่มาของธาตุอาหารพืชที่แตกต่างกันที่มีต่อน้ำหนักฝักของข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2	50
9	ผลของระบบการไถพรวนและแหล่งที่มาของธาตุอาหารพืชที่แตกต่างกันที่มีต่อน้ำหนักฝักดีและฝักเสียของข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2	51
10	ผลของระบบการไถพรวนและแหล่งที่มาของธาตุอาหารพืชที่แตกต่างกันที่มีต่อจำนวนฝักขนาดต่างๆของข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2	52
11	ผลของระบบการไถพรวนและแหล่งที่มาของธาตุอาหารพืชที่แตกต่างกันที่มีต่อค่าความหวานของข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2	53
12	ผลของระบบการไถพรวนและแหล่งที่มาของธาตุอาหารพืชที่แตกต่างกันที่มีต่อปริมาณธาตุอาหารหลักในข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2	56

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
13	ผลของระบบการไถพรวนและแหล่งที่มาของธาตุอาหารพืชที่แตกต่างกันที่มีต่อปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในข้าวโพดหวาน และปริมาณไนโตรเจนที่ตรึงได้	57
14	ผลของระบบการไถพรวนและแหล่งที่มาของธาตุอาหารพืชที่แตกต่างกันที่มีต่อปริมาณธาตุอาหารหลักในดินหลังเก็บเกี่ยว	59
15	ผลของระบบการไถพรวนและแหล่งที่มาของธาตุอาหารพืชที่แตกต่างกันที่มีต่อปริมาณอินทรียวัตถุ (OM) ปฏิกิริยาดิน (pH) และค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของดินหลังเก็บเกี่ยว	60
16	ผลของระบบการไถพรวนและแหล่งที่มาของธาตุอาหารพืชที่แตกต่างกันที่มีต่อคุณสมบัติทางฟิสิกส์บางประการของดินหลังเก็บเกี่ยว	61

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	การเก็บตัวอย่างดิน (ก) และรากข้าวโพด (ข) เพื่อศึกษาอัตราการตรึงไนโตรเจน	33
2	ผลของระบบการไถพรวนที่แตกต่างกันต่อปริมาณเชื้ออะโซโตแบคเตอร์ระหว่างการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2	39
3	ผลของระบบการไถพรวนที่แตกต่างกันต่อปริมาณเชื้ออะโซสไปริลลัมระหว่างการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2	39
4	ผลของแหล่งที่มาของธาตุอาหารพืชที่แตกต่างกันต่อปริมาณเชื้ออะโซโตแบคเตอร์ระหว่างการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2	40
5	ผลของแหล่งที่มาของธาตุอาหารพืชที่แตกต่างกันต่อปริมาณเชื้ออะโซสไปริลลัมระหว่างการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2	40
6	การเจริญเติบโตของข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2 ที่ระยะ 4 สัปดาห์ (ก), 6 สัปดาห์ (ข) และ 8 สัปดาห์ (ค)	47
7	ฝักข้าวโพดขนาดใหญ่ (ก) ขนาดกลาง (ข) และขนาดเล็ก (ค)	47

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การตรึงไนโตรเจนของจุลินทรีย์อิสระในดินในระบบการปลูกข้าวโพดแบบไม่ไถพรวน

Nitrogen Fixation of Free Living Microorganism in No Tillage Sweet Corn Cultivation System

คำนำ

ไนโตรเจนเป็นหนึ่งในธาตุอาหารพืชที่มีความสำคัญที่พืชต้องการในปริมาณมาก เนื่องจากเป็นองค์ประกอบของโปรตีน กรดอะมิโน ฮอร์โมนพืช กรดนิวคลีอิก สารประกอบไนโตรเจนอื่นๆ เช่น อะดีโนซีนไตรฟอสเฟต (adenosine triphosphate) และสารประกอบไนโตรเจนที่พืชสะสมไว้หรือทำหน้าที่ป้องกัน เช่น แอลคาลอยด์ (alkaloids) (ยงยุทธ, 2546) ถ้าพืชได้รับไนโตรเจนอย่างเพียงพอจะทำให้พืชสามารถเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็วรวมถึงช่วยส่งเสริมคุณภาพและปริมาณของผลผลิตอีกด้วย ในการปลูกพืชโดยทั่วไปดินมักมีปริมาณไนโตรเจนไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช ประกอบกับการทำการเกษตรส่วนใหญ่เป็นการทำแบบเข้มข้นที่ต้องการผลผลิตสูงที่สุด จึงต้องมีการเพิ่มไนโตรเจนให้แก่ดิน ส่วนใหญ่มักใช้ปุ๋ยเคมีเนื่องจากมีปริมาณไนโตรเจนสูงจึงเพิ่มไนโตรเจนในดินได้รวดเร็ว แต่ปุ๋ยเคมีเป็นปุ๋ยที่ละลายน้ำได้ดี หากมีฝนตกหรือมีการให้น้ำมากเกินไปจะทำให้เกิดการสูญเสียไนโตรเจนไปกับการไหลบ่าของน้ำได้ และที่สำคัญการผลิตปุ๋ยไนโตรเจนด้วยวิธีทางเคมีจำเป็นต้องใช้พลังงานสูง จึงทำให้ปุ๋ยเคมีมีราคาสูงขึ้นด้วย ดังนั้นการใช้ปุ๋ยเคมีที่มากเกินไปจึงส่งผลโดยตรงต่อต้นทุนการผลิตให้สูงขึ้น การได้ไนโตรเจนจากจุลินทรีย์ที่สามารถตรึงไนโตรเจนได้จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่ช่วยลดต้นทุนการผลิต แต่ปริมาณไนโตรเจนที่ตรึงได้อาจแตกต่างกันไปตามชนิดของจุลินทรีย์และสภาพแวดล้อมของดิน ดังนั้นหากทราบปริมาณไนโตรเจนที่จุลินทรีย์ตรึงได้จะมีประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับการปลูกพืชเพื่อลดการใช้ปุ๋ยเคมี มีการศึกษาพบว่าจุลินทรีย์อิสระที่มีอยู่ในดิน สามารถตรึงไนโตรเจนได้ 10-20 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อเฮกแตร์ต่อฤดูปลูก (Esmaeil *et. al.*, 2008) การได้ไนโตรเจนจากจุลินทรีย์เป็นการลงทุนที่น้อยแต่ต้องจัดการดินให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

ระบบการปลูกพืชที่ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในดินรวมถึงจุลินทรีย์ที่สามารถตรึงไนโตรเจน ได้แก่ระบบการปลูกแบบไม่ไถพรวน (Martinez *et. al.*, 1988) ซึ่งเป็นการปลูกพืชลงบนพื้นที่ที่มีเศษซากพืชที่แห้งตายแล้วปกคลุมอยู่ ระบบการปลูกเช่นนี้มีการรบกวนดินน้อย จึงช่วยรักษาระดับของอินทรียวัตถุในดินไว้ ซึ่งอินทรียวัตถุเหล่านี้สามารถเป็นแหล่งอาหารให้จุลินทรีย์ในดินได้ อีกทั้งยังช่วยรักษาสภาพทางเคมีและกายภาพของดินให้ดีอีกด้วย นอกจากนี้การปลูกพืชแบบไม่ไถพรวนยังช่วยลดการระเหยของน้ำจากผิวดิน ลดการกร่อนดิน ประหยัดเวลาในการเตรียมดินเพื่อปลูกครั้งต่อไป

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

รวมถึงประหยัดค่าใช้จ่ายได้ (ธวัชชัย, 2538) งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะนำระบบการปลูกแบบไม่ไถพรวนมาใช้ร่วมกับจุลินทรีย์ที่สามารถตรึงไนโตรเจนได้ เพื่อช่วยลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมี และช่วยให้ดินมีคุณสมบัติต่างๆที่ดีขึ้น สามารถใช้ที่ดินได้อย่างยั่งยืน ดังนั้นการวิจัยนี้จึงน่าจะเป็นประโยชน์และเกษตรกรสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาชนิด ปริมาณ และการเปลี่ยนแปลงของเชื้ออะโซโตแบคเตอร์และเชื้ออะโซสไปริลลัมที่มีบทบาทในการตรึงไนโตรเจนในดิน

2. ศึกษาปริมาณไนโตรเจนที่ตรึงได้โดยจุลินทรีย์อิสระในดินโดยวิธี acetylene reduction

3. ศึกษาผลกระทบของระบบการไถพรวนและชนิดของแหล่งธาตุอาหารพืชที่มีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าวโพดหวาน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การตรวจเอกสาร

1. สภาพการใช้ดินและปัญหาในปัจจุบัน

ที่ดิน (land) หมายถึง พื้นที่ที่มีอยู่ตามธรรมชาติ อาจใช้ประโยชน์สนองความต้องการของมนุษย์ในทางต่างๆ โดยคำนึงถึงผลตอบแทนจากการใช้ประโยชน์ที่ดินนั้นเป็นประการสำคัญ (กรมพัฒนาที่ดิน, มปป)

การใช้ที่ดิน (landuse) หมายถึง การนำดินมาใช้ประโยชน์ในด้านการผลิต เพื่อสนองความต้องการของมนุษย์ในด้านต่าง ๆ เช่น เกษตรกรรม อุตสาหกรรม พาณิชยกรรม ที่อยู่อาศัย (สิทธิชัย, 2549)

การใช้ประโยชน์จากที่ดินเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่งต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ เนื่องจากดินจะปกคลุมผิวโลกอยู่เป็นชั้นบางๆ อีกทั้งเป็นวัตถุที่ค้ำจุนการเจริญเติบโตและการทรงตัวของพืช จึงมีการจำแนกที่ดินตามความเหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์

1.1 การใช้ประโยชน์ของที่ดินในประเทศไทยแตกต่างกันไปตามสภาพพื้นที่ วัฒนธรรมและสิ่งแวดล้อมต่างๆ สิทธิชัย (2549) ได้จำแนกประเภทที่ดินตามความเหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์ ได้ดังนี้

1.1.1 ที่ดินเพื่อการเกษตรกรรม จำแนกเป็นที่ดินที่เหมาะสมต่อการปลูกข้าว เหมาะสมต่อการปลูกข้าวและพืชไร่ เหมาะสมสำหรับปลูกพืชไร่และพืชยืนต้น และดินที่ไม่เหมาะต่อการปลูกพืช เช่น ดินเกลือ ดินพรุ ดินเปรี้ยว และดินในเขตที่สูงชัน เป็นต้น

1.1.2 ที่ดินเพื่อเป็นป่าไม้ มี 2 กลุ่ม คือ ป่าไม้ต้นน้ำลำธาร และป่าเพื่อการผลิตไม้ โดยป่าต้นน้ำมักเป็นภูเขาที่สูงชัน มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ส่วนป่าที่ใช้ผลิตไม้พื้นที่จะลาดชันน้อยกว่าและมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำเช่นเดียวกัน

1.1.3 ที่ดินเพื่อการอุตสาหกรรม เป็นดินที่เหมาะสมต่อการก่อสร้างโรงงานหรือนิคมอุตสาหกรรม ดินจะมีลักษณะเรียบ แข็ง ไม่จำเป็นต้องมีความอุดมสมบูรณ์ หรือเป็นที่ดินที่ไม่เหมาะสมต่อการเพาะปลูก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.1.4 ที่ดินเพื่อเป็นที่อยู่อาศัย ควรเป็นดินที่ระบายน้ำดี สามารถสร้างเส้นทางคมนาคมขนส่งเชื่อมโยงกับชุมชนอื่นได้สะดวก

1.1.5 ที่ดินเพื่อการพักผ่อนหย่อนใจ เป็นที่ที่มีความสวยงามตามธรรมชาติและมีอากาศบริสุทธิ์ เช่น ชายทะเล แม่น้ำ ลำธาร เกาะ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่ต้องใช้ที่ดินเป็นปัจจัยหลัก โดยทรัพยากรที่ดินของประเทศไทยมีอยู่จำกัดเพียง 320.7 ล้านไร่เท่านั้น (สิทธิชัย, 2549) ดังนั้นจึงต้องแบ่งที่ดินเพื่อการใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ประกอบกับประชากรมีจำนวนเพิ่มขึ้นจึงต้องการใช้ที่ดินในกิจกรรมทางเศรษฐกิจและสังคมเพิ่มขึ้นด้วย จึงอาจทำให้เกิดปัญหาขึ้นกับทรัพยากรดิน

1.2 สภาพปัญหาของทรัพยากรดินในประเทศไทย

1.2.1 ดินไม่เหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์ กล่าวคือ ใช้ปลูกพืชได้ไม่ดีหรือปลูกพืชไม่ได้เลย เช่น ดินทรายจัด ดินตื้น ดินเค็ม

1.2.2 การขาดแคลนพื้นที่เพื่ออยู่อาศัยและประกอบอาชีพ ส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากประชากรที่เพิ่มมากขึ้น การขยายตัวทางด้านธุรกิจ เกษตรกรรม และอุตสาหกรรม รวมไปถึงนโยบายการพัฒนาประเทศ ที่ทำให้ความต้องการที่ดินมีมากขึ้นในขณะที่ที่ดินมีปริมาณจำกัด

1.2.3 ความเสื่อมโทรมเนื่องจากการกร่อนดิน (soil erosion) และการเสียหน้าดิน มีสาเหตุหลัก 2 สาเหตุ คือ สาเหตุทางธรรมชาติและสาเหตุจากมนุษย์ โดยสาเหตุทางธรรมชาติที่สำคัญได้แก่ ฝนและลม โดยจะก่อให้เกิดปัญหาอย่างต่อเนื่องในหน้าดินที่ไม่มีพืชขึ้นปกคลุมและเนื้อดินเกาะกันไม่แน่น โดยเฉพาะในพื้นที่ลาดชัน สำหรับสาเหตุทางธรรมชาติอื่นๆ ได้แก่ ธารน้ำแข็ง ภัยธรรมชาติและน้ำใต้ดิน รวมถึงแรงโน้มถ่วงของโลก ส่วนสาเหตุจากมนุษย์ก็เป็นสาเหตุใหญ่ในการเกิดความเสื่อมโทรมด้านนี้ เช่น การตัดไม้ทำลายป่า การเพาะปลูกไม่ถูกวิธี เช่น การทำแปลงปลูกยาวตามแนวลาดเทของพื้นที่ จะทำให้หน้าดินถูกน้ำฝนชะล้างได้ง่าย

1.2.4 ความเสื่อมโทรมของดินเนื่องจากการสูญเสียความอุดมสมบูรณ์ ซึ่งการกร่อนดิน (soil erosion) รวมถึงการเสียหน้าดิน ก็ทำให้ดินสูญเสียความอุดมสมบูรณ์ได้เช่นกัน นอกจากนี้ยังเกิดจากสาเหตุอื่นๆอีก เช่น การปลูกพืชติดต่อกันเป็นเวลานานโดยไม่บำรุงดิน จะทำให้ธาตุอาหาร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ถูกนำขึ้นมาใช้มากจนดินเสื่อมความอุดมสมบูรณ์ หรือในกรณีธาตุอาหารพืชถูกทำลายหรืออยู่ในสภาพที่พืชใช้ประโยชน์ได้น้อยลง เช่น การเผาตอซัง หรือการเขตกรรมที่มากเกินไปก็จะส่งผลให้อินทรียวัตถุในดินลดลง ทำให้ดินเสื่อมคุณค่าลงเป็นผลทำให้ผลผลิตทางการเกษตรลดลงด้วย ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อเกษตรกร

2. การปลูกแบบไม่ไถพรวน

การเตรียมดินโดยลดการไถพรวนหรือไม่ไถพรวน (minimum tillage หรือ no tillage) เป็นการปลูกพืชโดยที่มีการเตรียมดินเพียงเล็กน้อยจนถึงไม่มีการเตรียมดินเลย ซึ่งจะทำให้วัชพืชที่ถูกกำจัดหรือเศษซากพืชที่ตกค้างอยู่กลายเป็นวัสดุคลุมดิน ช่วยป้องกันการระเหยของน้ำในดิน ลดแรงกระแทกของเม็ดฝนต่อผิวหน้าดิน ลดการอัดแน่นของดินอันเนื่องมาจากการใช้เครื่องจักรกลหนักและป้องกันการชะล้างผิวหน้าดิน เป็นวิธีอนุรักษ์ความชื้นในดิน และอนุรักษ์ความอุดมสมบรูณ์ของดิน รวมทั้งส่งเสริมกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินอีกด้วย

2.1 จุดประสงค์ที่สำคัญในการปลูกพืชด้วยวิธีลดการไถพรวน มีหลายประการดังนี้

2.1.1 ลดการอัดแน่นของดินและความหนาแน่นรวมของดิน เนื่องจากการปลูกพืชแบบไม่ไถพรวนไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องจักรกลขนาดใหญ่ เช่น รถไถ ในการเตรียมดินจึงสามารถลดการอัดแน่นของดินอันเนื่องมาจากเครื่องจักรกลขนาดใหญ่ได้ รวมถึงรากของพืชหลักและวัชพืชที่แห้งตายแล้วจะสลายตัวทำให้เกิดช่องว่างใต้ผิวดินเป็นจำนวนมากซึ่งช่องเหล่านี้จะมีมากและคงทนมากกว่าช่องที่เกิดจากการไถพรวน ดังนั้นการปลูกพืชแบบไม่ไถพรวนจึงส่งผลให้ผิวหน้าดินไม่เกิดการอัดแน่น (ธวัชชัย, 2538) และช่องที่เกิดจากการสลายตัวของรากพืชหลักและวัชพืชที่แห้งตายจะส่งผลให้ดินที่มีการปลูกแบบไม่ไถพรวนมีค่าความหนาแน่นรวมลดลงด้วย Logsdon and Karlen (2004) ได้ศึกษาผลของไม่ไถพรวนต่อความหนาแน่นรวมของดิน พบว่าการไม่ไถพรวนติดต่อกันเป็นระยะเวลา 5 ปี ตั้งแต่ปี 1996 ถึง ปี 2000 ทำให้ความหนาแน่นรวมของดินที่ระยะ 10 เซนติเมตรลดลงจาก 1.18 เป็น 0.84 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

2.1.2 เพื่ออนุรักษ์ดินและน้ำ การปลูกพืชแบบไม่ไถพรวนช่วยลดการพังทลายของผิวดินโดยเฉพาะในบริเวณที่มีความลาดชัน เนื่องจากการปลูกแบบไม่ไถพรวนจะมีเศษพืชคลุมดินอยู่จึงช่วยลดแรงกระแทกของเม็ดฝนที่จะถูกผิวดิน และยังช่วยสงวนความชื้นในดินไว้ได้นานทำให้น้ำสามารถซึมลึกลงดินได้มากขึ้น กล่าวคือ พืชสามารถใช้น้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าการปลูก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พืชแบบไถพรวนปกติ สอดคล้องกับ Doran (1980) ที่รายงานว่า ระบบการปลูกพืชแบบไม่ไถพรวนช่วยลดความเสี่ยงจากการกร่อนของดินจากลมและน้ำ ซึ่งช่วยลดการสูญเสียธาตุอาหารที่ติดไปกับดิน รวมถึงช่วยลดการระเหยของน้ำในดินและทำให้น้ำที่พืชใช้ประโยชน์ได้มีมากขึ้น กิตติพร และคณะ (2540) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของการเตรียมดินแบบไถพรวนและไม่ไถพรวนร่วมกับมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำในการปลูกข้าวไร่บนที่สูง พบว่าการปลูกข้าวไร่โดยวิธีไถพรวน และไม่มีระบบอนุรักษ์ดินและน้ำ มีการสูญเสียดินสูงที่สุดเท่ากับ 600 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี ในขณะที่การปลูกข้าวไร่โดยไม่ไถพรวนร่วมกับระบบอนุรักษ์แถบหญ้าคองโกมีปริมาณการสูญเสียดินต่ำที่สุดเท่ากับ 208 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี

2.1.3 ชะลอการย่อยสลายและเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุ การปลูกพืชแบบไม่ไถพรวนเป็นการปลูกพืชโดยที่ไม่ได้นำเศษพืชออกจากสถานที่ปลูกจึงทำให้มีอินทรีวัตถุเพิ่มมากขึ้น Duiker *et. al.* (2003) รายงานว่าการปลูกแบบไม่ไถพรวนทำให้ดินมีเศษซากพืชปกคลุมอยู่ 43 เปอร์เซ็นต์ มากกว่าการปลูกแบบไม่ไถพรวนที่มีเศษซากพืชปกคลุมอยู่ 27 เปอร์เซ็นต์ เศษซากพืชนี้เป็นประโยชน์ต่อแมลงและสัตว์ขนาดเล็กที่อาศัยอยู่ในดิน รวมไปถึงมีจุลินทรีย์ให้มีปริมาณมากขึ้นด้วย (Chan, 2001) นอกจากนี้การปลูกแบบไม่ไถพรวนจะช่วยเก็บอินทรียวัตถุในดินไว้ได้มากกว่าการปลูกแบบไถพรวนปกติ Rhoton (2000) ศึกษาผลของการไม่ไถพรวนต่อปริมาณอินทรียวัตถุในการปลูกข้าวโพดในปี 1988, 1992 และ 1996 พบว่าในปี 1992 และ 1996 ดินมีปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้นจาก 19.1 กรัมต่อกิโลกรัม (ปี 1988) เป็น 32.0 และ 31.7 กรัมต่อกิโลกรัม ในปี 1992 และ 1996 ตามลำดับ สำหรับการไถพรวนแบบปกตินั้นเป็นการเพิ่มอากาศเข้าไปในดินเป็นผลให้จุลินทรีย์มีกิจกรรมการย่อยสลายอินทรียวัตถุมากขึ้นจึงทำให้อินทรียวัตถุในดินลดลงอย่างรวดเร็ว (Balesdent *et. al.*, 1990) นอกจากนี้การปลูกพืชที่มีการไถพรวนยังเป็นการทำลายความเสถียรของเม็ดดิน (soil aggregate) อีกด้วย ส่วนการปลูกพืชแบบไม่ไถพรวน ลดการไถพรวน และการทิ้งเศษเหลือของพืชปกคลุมดินเอาไว้จะช่วยลดการสูญเสียอินทรียวัตถุในดิน โดยพบว่าชั้นผิวดินภายใต้สภาพไม่มีการไถพรวนหรือลดการไถพรวนเป็นเวลานานจะมีอินทรีย์คาร์บอนสูงกว่าภายใต้สภาพที่มีการไถพรวนอย่างต่อเนื่อง (Franzluebbers, 1995)

2.1.4 ส่งเสริมเชื้อราไมคอร์ไรซาและจุลินทรีย์พวกที่ใช้สารอินทรีย์เป็นแหล่งพลังงาน เนื่องจากการปลูกพืชแบบไม่ไถพรวนเป็นการปลูกพืชที่ไม่ค่อยรบกวนดินและปล่อยให้ดินมีเศษพืชคลุม จึงส่งผลให้ดินมีปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นประโยชน์ต่อจุลินทรีย์พวกที่ใช้สารอินทรีย์เป็นแหล่งพลังงาน ที่สามารถใช้อินทรียวัตถุที่เพิ่มขึ้นนี้เป็นอาหารได้ ทำให้ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตและกิจกรรมของจุลินทรีย์ดังกล่าว สำหรับเชื้อราไมคอร์ไรซาเป็นเชื้อราที่ใช้เส้นใยใน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การช่วยดูดซับน้ำและธาตุอาหารให้แก่พืช เมื่อไม่มีการรบกวนดินเส้นใยของเชื้อราไมคอร์ไรซาจะไม่เสียหาย และสามารถขยายอาณาเขตการหาอาหารและน้ำได้มากขึ้น Kabir *et. al.* (1998) พบว่าการปลูกข้าวโพดแบบไม่ไถพรวน เชื้อราไมคอร์ไรซาจะมีความหนาแน่นของจำนวนเส้นใยทั้งหมด (total hypha density) และความหนาแน่นของจำนวนเส้นใยที่ทำงานได้ (active hypha density) ที่ความลึกของดิน 0-5 เซนติเมตร เท่ากับ 178.6±21.0 และ 102.3±10.2 เซนติเมตรต่อมิลลิลิตร มากกว่าการปลูกแบบไถพรวนที่มีค่า 99.1±12.3 และ 63.8±6.5 เซนติเมตรต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ

2.1.5 ลดต้นทุนการผลิต ในสมัยก่อนเกษตรกรทำการเกษตรเพียงเพื่อบริโภคภายในครัวเรือนแต่ในปัจจุบันการเกษตรถือเป็นกิจกรรมทางธุรกิจซึ่งต้องอาศัยการจัดการอย่างมีประสิทธิภาพและลดต้นทุนการผลิตให้มากที่สุดโดยเฉพาะในประเทศที่กำลังพัฒนา ซึ่งเกษตรกรส่วนใหญ่ยังมีฐานะยากจน การปลูกแบบไม่ไถพรวนจึงเป็นทางเลือกอีกหนึ่งทางเลือกที่ช่วยลดต้นทุนการผลิตได้ เนื่องจากการไถพรวนต้องมีการไถและพรวนดินเพื่อให้ดินละเอียด ทำให้เกษตรกรเสียค่าใช้จ่ายกับการไถพรวนหลายครั้ง หากเปลี่ยนมาเป็นการปลูกพืชแบบไม่ไถพรวนก็จะประหยัดค่าใช้จ่ายและพลังงานที่จะใช้ในส่วนนี้ไปได้ นุชนารถ (2541) ศึกษาวิธีการเขตกรรมปลูกยางในสวนยางปลูกแทนรอบสอง พบว่าการปลูกยางโดยวิธีการไม่ไถพรวนดิน และเผาเศษกิ่งไม้สามารถลดค่าใช้จ่ายในการเตรียมพื้นที่ได้ประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับการไถพรวนและเผาเศษกิ่งไม้ นอกจากจะช่วยลดต้นทุนการผลิตแล้วยังประหยัดแรงงานและเวลาอีกด้วย Six *et. al.* (2004) ได้กล่าวไว้ว่าการปลูกแบบไม่ไถพรวนมักถูกเรียกว่าเป็นการทำการเกษตรแบบ ชนะ-ชนะ (win-win) เนื่องจากนอกจากจะช่วยลดการกร่อนดินแล้วยังช่วยประหยัดพลังงาน ซึ่งสามารถทำให้เกิดการเกษตรอย่างยั่งยืนได้อีกด้วย

อย่างไรก็ตามการนำวิธีการนี้ไปใช้จำเป็นต้อง คำนึงถึงสภาพของพื้นที่ ลักษณะของภูมิอากาศ ชนิดของพืชที่ปลูก ตลอดจนปัญหาเรื่องวัชพืช

3. จุลินทรีย์อิสระในดินที่มีบทบาทในการตรึงไนโตรเจน

ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารพืชที่มีความสำคัญโดยปริมาณไนโตรเจนในดินจะถูกรักษาไว้โดยจุลินทรีย์ประจำถิ่นที่สามารถตรึงไนโตรเจนได้ (Lakshmanan, 2000) และไนโตรเจนยังเป็นธาตุอาหารพืชที่จำกัดการเจริญเติบโตของพืชในเขตแห้งแล้งและกึ่งแห้งแล้ง (Scholes, 1990; Hooper and Johnson, 1999) มีการทดสอบแล้วพบว่ามีจุลินทรีย์ในดินที่สามารถตรึงแก๊สไนโตรเจนที่มีมากในอากาศมาเปลี่ยนให้อยู่ในรูปสารประกอบไนโตรเจนโดยใช้เอนไซม์ไนโตรจีเนส ที่จุลินทรีย์เหล่านั้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สามารถผลิตขึ้นมาได้เอง ทำให้มันมีคุณสมบัติพิเศษที่สามารถเพิ่มไนโตรเจนให้แก่ดินได้เพื่อทดแทนการสูญเสียไนโตรเจนจากการเก็บเกี่ยวผลผลิต การชะละลาย การกร่อนดิน และกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน จากการศึกษาพบว่าการตรึงไนโตรเจนจากจุลินทรีย์อิสระสามารถเพิ่มไนโตรเจนให้แก่ดินได้ส่วนหนึ่ง Mulonoy *et. al.* (1992) พบว่าแบคทีเรียอิสระในดินสามารถตรึงไนโตรเจนได้เล็กน้อยถึง 15 กิโลกรัมต่อเฮกแตร์ต่อปี และ Esmaeil *et. al.* (2008) พบว่าจุลินทรีย์อิสระในดินสามารถตรึงไนโตรเจนได้ 10-20 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อเฮกแตร์ต่อฤดูปลูก ไม่เพียงแต่ปริมาณไนโตรเจนเท่านั้นที่จะได้จากจุลินทรีย์เหล่านี้ ยังมีการค้นพบว่าแบคทีเรียอิสระในดิน แบคทีเรียที่อาศัยบริเวณรากพืช และแบคทีเรียพวกเอนโดไฟติครวมถึงแบคทีเรียบริเวณผิวใบของพืช สามารถสร้างสารส่งเสริมการเจริญเติบโต (plant growth-promoting) ซึ่งจะส่งเสริมให้พืชเจริญเติบโตและมีผลผลิตเพิ่มขึ้น (Bashan and de-Bashan, 2005) เช่นเดียวกับ Dobbelaere *et. al.* (2003) ที่รายงานว่าแบคทีเรียอิสระที่สามารถตรึงไนโตรเจนได้ในดินสามารถผลิตและปลดปล่อยสารฮอร์โมนพืช ได้แก่ ไซโตไคนิน จิบเบอริริน ออกซินและเอทธิลีน รวมถึงช่วยละลายฟอสเฟต เพิ่มการดูดกินธาตุอาหาร กระตุ้นสภาพทนเครียด สร้างวิตามินและสารควบคุมโรคพืชได้อีกด้วย สำหรับตัวอย่างของจุลินทรีย์ที่สามารถตรึงไนโตรเจนได้ ที่มักพบในดินและบริเวณเขตรากพืช แบ่งตามสถานที่อยู่และการจัดกลุ่มตามเมแทบอลิซึม แสดงไว้ดังตารางที่ 1

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 1 กลุ่มของจุลินทรีย์ที่พบในดินและบริเวณรากพืชที่สามารถตรึงไนโตรเจนได้

สถานที่อยู่และการจัดกลุ่มตามเมแทบอริซึม	ชนิดของจุลินทรีย์
1. Non associated, aerobes, heterotrophs	*Azotobacter* sp.
	Bacillus sp.
	Beijerinckia sp.
	Derxia sp.
2. Non associated, aerobes, lithotrophs	*Thiobacillus* sp.
3. Non associated, anaerobes, heterotrophs	*Clostridium* sp.
	Desulfovibrio sp.
4. Rhizosphere (loosely associated), facultative aerobes, heterotrophs	*Enterrobacter* sp.
5. Rhizosphere (loosely associated), aerobes, heterotrophs	*Azospirillum* sp.
	Pseudomonas sp.

ดัดแปลงจาก Tate (2000)

แบคทีเรียอิสระในดินที่สามารถตรึงไนโตรเจนได้ที่มักพบอาศัยอยู่บริเวณเขตรากพืช (rhizosphere) ได้แก่พวก *Azotobacter* sp*, Azospirillum* sp*., Beijerinckia* sp. และ *Bacillus* sp. ซึ่งนอกจากจะช่วยเพิ่มไนโตรเจนให้กับดินแล้วจุลินทรีย์เหล่ายังสามารถช่วยเพิ่มปริมาณผลผลิตให้กับพืชไร่บางชนิดได้อีกด้วย (Dobereiner, 1997; Vance, 1997)

โดยทั่วไปแล้วสภาพของการปลูกพืชไร่นั้นเป็นสภาพดินที่มีอากาศ จุลินทรีย์อิสระในดินที่มีความสามารถในการตรึงไนโตรเจน ที่มักพบในสภาพการปลูกเช่นนี้มี *Azotobacter chroococcum*, *Azotobacter beijerinckia* (*Beijerinkia* sp.) และ *Derxia gumosa* (Tate, 2000) อะโซโตแบคเตอร์เป็นแบคทีเรียที่สามารถพบได้ทั่วไปในดินบริเวณเขตรากพืช มีรูปร่างเป็นแท่งที่สามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้ มีการจัดอะโซโตแบคเตอร์ อยู่ในวงศ์ Azotobacteraceae โดยมีลักษณะเซลล์เป็นรูปไข่ขนาดใหญ่ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.5-2.0 ไมโครเมตรหรือใหญ่กว่า รูปร่างอาจเปลี่ยนแปลงได้ตั้งแต่เป็นแท่งถึงกลมรี อยู่เซลล์เดี่ยว เป็นคู่ หรือเป็นกลุ่ม บางครั้งอาจพบว่าเกาะกันเป็นเส้นยาวแตกต่างกันไป ไม่สร้างเอนโดสปอร์ (endospore) แต่สร้างโครงสร้างพิเศษที่เรียกว่า ซีสท์ (cyst) ติดสีแกรมลบ เคลื่อนที่ได้โดยแส้รอบเซลล์ (peritrichous flagella) หรือบางชนิดไม่เคลื่อนที่ ต้องการ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ออกซิเจนในการเติบโต มีทั้งสายพันธุ์ที่สร้างเม็ดสีที่ละลายน้ำได้ บางสายพันธุ์สร้างเม็ดสีที่ไม่ละลายน้ำ จัดเป็นพวกเคโมออกาโนโทรพ (chemoorganothroph) ใช้น้ำตาล แอลกอฮอล์ และเกลือของกรดอินทรีย์ในการเจริญเติบโตได้ ต้องการโมลิบดีนัมในการตรึงไนโตรเจน แต่อาจใช้วานาเดียมแทนที่บางส่วนได้ด้วย ไม่ย่อยโปรตีน สามารถใช้ไนเตรต แอมโมเนียม และกรดอะมิโนบางชนิดเป็นแหล่งของไนโตรเจนได้ มีปฏิกิริยา catalase เป็นบวก pH ที่เหมาะสมต่อการเติบโตที่มีเกลืออยู่ด้วยอยู่ในช่วง 4.8-8.5 แต่ pH ที่เหมาะสมต่อการตรึงไนโตรเจนอยู่ระหว่าง 7.0-7.5 พบในดินและน้ำ และมีอยู่หนึ่งชนิดที่อาศัยอยู่ที่รากของพืช (ธงชัย, 2550) เชื้ออะโซโตแบคเตอร์สามารถสร้างสารส่งเสริมการเจริญเติบโต วิตามิน สารป้องกันเชื้อราและสารยับยั้งเชื้อสาเหตุโรคพืชที่สร้าง siderophores ได้ (Kapoor and Kar, 1989; Neilands and Leong, 1986; Sharma *et. al.,* 1986) นอกจากนี้เชื้ออะโซโตแบคเตอร์ยังสามารถเพิ่มผลผลิตให้แก่พืชไร่บางชนิดได้ (Lakshminarayana, 1993) เช่น ข้าวโพด (Gill *et. al.*, 1993) อีกทั้งยังช่วยเพิ่มไนโตรเจนให้กับดินได้อีกด้วย (Shabaev, 1991)

Dobereiner *et. al.* (1972) รายงานว่า การปลูกหญ้า *Paspalum notatum* โดยใช้เชื้อ *Azotobacter paspali* มีการตรึงไนโตรเจนประมาณ 90 กิโลกรัมต่อแฮกแตร์ต่อปี

Pandey *et. al.* (1998) พบว่าการใช้เชื้อ *Azotobacter chroococcum* strain W5 สามารถเพิ่มผลผลิตเมล็ดจาก 53±07 กรัมต่อตารางเมตร เป็น 62±10 กรัมต่อตารางเมตร

Biari *et. al.* (2008) ศึกษาผลของแบคทีเรียที่สามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ *Azotobacter* sp. strain 5, *Azotobacter chroococcum* strain DSM 2286 และ *Azospirillum* sp. strain 21, *Azospirillum lipoferum* strain DSM 1691 ที่มีต่อการสร้างสารส่งเสริมการเจริญเติบโตและช่วยกระตุ้นการดูดกินธาตุอาหารในข้าวโพด พบว่าการใช้แบคทีเรียดังกล่าวช่วยเพิ่มมวลแห้งฝักได้ 141 เปอร์เซ็นต์ และเพิ่มปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ในเมล็ดได้ 130, 113 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

เชื้ออะโซโตแบคเตอร์จัดเป็นปุ๋ยชีวภาพอีกชนิดหนึ่งสำหรับการเกษตรปัจจุบัน ผลจากการตรึงไนโตรเจนในข้าวโพดของจุลินทรีย์ดังกล่าวไม่เพียงแต่เพิ่มผลผลิตเท่านั้น ยังช่วยให้ข้าวโพดมีความสูง มวล และมีปริมาณไนโตรเจนในพืชเพิ่มมากขึ้นด้วย ซึ่งจะมากหรือน้อยขึ้นกับชนิดของจุลินทรีย์และพืชอาศัย (Govedarica, *et. al.*, 1993)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Beijerinckia sp. เป็นแบคทีเรียที่พบได้ทั่วไปในเขตร้อนแต่จะไม่พบหรือพบได้น้อยในเขตอบอุ่น (Alexander, 1997) เป็นพวกที่ไม่สามารถสร้างอาหารได้เอง จัดเป็นพวกต้องการอากาศ เจริญได้ดีในสภาพกรดบางครั้งเจริญที่ pH เท่ากับ 3 มีขนาดเล็กกว่าเซลล์ของเชื้ออะโซโตแบคเตอร์ มักพบบริเวณเขตรากพืช (rhizosphere) หรือบางครั้งพบในบริเวณที่ที่มีน้ำขัง (Havelka *et. al.*, 1982) และยังสามารถอาศัยอยู่ที่บริเวณผิวใบของพืช (phyllosphere) ได้อีกด้วย ในส่วนของรูปร่างลักษณะของเชื้อ *Beijerinckia* sp. บางชนิดที่อยู่ในเขตร้อน จะมีรูปร่างลักษณะเป็น straight หรือ slightly curved rod ขนาดประมาณ 0.5-1.5 x 7-4.5 ไมโครเมตร ไม่สามารถเคลื่อนที่เองได้ ติดสีแกรมลบ โดยทั่วไปจะมีขนาดประมาณ 0.7-2.2 ไมโครเมตร ไม่พบซีสท์ หรือ fluorescent pigment ทุกสายพันธุ์สามารถใช้ประโยชน์ได้จากน้ำตาลแลคโตสและโพรพานอล (propanol) แต่มีบางสายพันธุ์เท่านั้นที่สามารถใช้ประโยชน์จากเบนโซเอท (benzoate) ได้ (Becking, 1974)

การปลูกพืชไร่จำพวกข้าวโพดนั้นมักพบเชื้ออะโซสไปริลลัมซึ่งเป็นจุลินทรีย์อิสระที่ตรึงไนโตรเจนได้ที่มักอาศัยอยู่อย่างใกล้ชิดกับพืชจำพวกพืชไร่ มีศักยภาพในการเพิ่มผลผลิตให้กับธัญพืชที่สำคัญและหญ้าภายใต้สภาพอากาศที่แตกต่างกันได้ (Osmar *et. al.*, 2004) ส่วนใหญ่มักพบอะโซสไปริลลัมในดินเขตร้อน (Baldani, 1987) และในเขตอบอุ่น (Germida, 1986) โดยอาศัยอยู่บริเวณเขตรอบรากพืช (rhizosphere) และพบว่าอะโซสไปริลลัมมีอัตราการมีชีวิตรอดต่ำในดินและเป็นไปได้ยากที่จะมีชีวิตอยู่ข้ามไปถึงฤดูถัดไป (Harris, 1989) มีการจัดอะโซสไปริล ลัมอยู่ในอันดับ Pseudomonodales วงศ์ Spirillaceae ลักษณะทั่วไปของแบคทีเรียสกุลนี้คือ เซลล์มีลักษณะอวบอ้วนโค้งเล็กน้อย และเป็นแท่งตรง เส้นผ่านศูนย์กลางกว้างประมาณ 1.0 ไมโครเมตร ยาว 2.1-3.8 ไมโครเมตร ภายในเซลล์มีเม็ด poly-ß-hydroxybutyate บรรจุอยู่ เชื้อที่อายุมากที่อยู่ในอาหารที่เป็นด่างหรือสภาพที่มีออกซิเจนมาก ๆ เซลล์จะมีรูปร่างหลายแบบ และใหญ่ขึ้น ติดสีแกรมลบ บางครั้งการติดสีอาจแปรปรวนได้ เคลื่อนที่ได้ในอาหารเหลวโดยแส้เส้นเดียวที่ขั้วเซลล์ ในอาหารแข็งที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จะสร้างแส้ด้านข้างเซลล์จำนวนมากที่มีความยาวของคลื่นน้อยกว่าขึ้นมาตรึงไนโตรเจนได้ในสภาพที่มีออกซิเจนเล็กน้อย (microaerobic condition) เจริญได้ดีในบรรยากาศปกติเมื่อมีเกลือของไนโตรเจน เช่น เกลือแอมโมเนียมอยู่ด้วย ต้องการออกซิเจนในการเติบโตหรืออาจใช้ไนเตรตเป็นตัวรับอิเล็กตรอนได้ แต่อาจเฟอร์เม็นต์ (ferment) ได้เล็กน้อย เมื่อออกซิเจนจำกัดอย่างรุนแรง ไนเตรตจะเปลี่ยนเป็นไนไตรต์ หรือ ไนตรัสออกไซด์ หรือแก๊สไนโตรเจน อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตอยู่ระหว่าง 35-37 องศาเซลเซียส โคโลนีบนอาหารวุ้นมันฝรั่ง (potato agar) จะมีสีชมพูสว่างหรือสีชมพูทึบ ปฏิกิริยาออกซิเดสเป็นบวก จัดเป็นพวกเคโมออกาโนโทรพ (chemoorganothroph) แต่บางสายพันธุ์เป็นแฟคคัลเททีฟไฮโดรเจนออโตโทรพ เจริญได้ดีบนอาหารที่มีเกลือของกรดอินทรีย์ต่างๆ เช่น มาเลต ซักซิเนต แลกเตต และไพรูเวต สามารถใช้น้ำตาลฟรุคโตส

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

และน้ำตาลอื่นบางชนิดเป็นแหล่งคาร์บอนได้ ไม่สามารถใช้ ไดแซคคาไรด์ได้ บางสายพันธุ์ต้องการไบโอติน ส่วนใหญ่อาศัยอยู่อย่างอิสระในดินหรืออาศัยอยู่ที่รากของธัญพืช หญ้า และพืชหัว โดยไม่ชักนำให้เกิดปม (ธงชัย, 2550)

Albrecht *et. al.* (1981) และ Patriquin *et. al.* (1983) รายงานว่า เชื้ออะโซสไปริลลัมสามารถเพิ่มผลผลิตให้แก่พืชจำพวกธัญพืชได้ โดยผลผลิตที่เพิ่มขึ้นนั้นไม่ได้มาจากการตรึงไนโตรเจนเพียงอย่างเดียว เชื้ออะโซสไปริลลัมยังสามารถรีดิวซ์ไนเตรต ละลายฟอสเฟต สังเคราะห์สารปฏิชีวนะ และสารตั้งต้นในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช (growth-promoting substances) รวมถึง phytohormones และ siderophores ซึ่งรวมไปถึงการพัฒนาของรากซึ่งจะทำให้พืชหาน้ำและดูดธาตุอาหารได้ดีขึ้น (Pandey, 1998; Jofre, 1998; Olubayi, 1998; Fallik, 1996; Steenhoudt, 2000) นอกจากนี้ยังพบว่าอะโซสไปริลลัมสามารถสร้างฮอร์โมนพวกออกซิน (Lambrecht *et. al.*, 2000) และในบางครั้งสร้างไซโตไคนินและจิบเบอเรลลินด้วย (Bottini *et. al.*, 1989) นอกจากนี้ Fallik *et. al.* (1994) รายงานว่าการใส่เชื้ออะโซสไปริลลัมในการปลูกพืชจะช่วยทำให้พืชมีความหนาแน่นและความยาวของขนรากมากขึ้นเป็นผลให้รากมีพื้นที่ผิวสัมผัสเพิ่มมากขึ้น

Fulchieri and Frion (1994) ศึกษาผลของการใช้เชื้ออะโซสไปริลลัมที่มีต่อผลผลิตข้าวโพด โดยใช้ *Azospirillum brasilense* (AZ 39) และ *A. lipoferum* (AZ 30*)* พบว่าเชื้อ *Azospirillum brasilense* สามารถเพิ่มมวลแห้งของต้นข้าวโพดที่ปลูกใน chamber เป็นระยะเวลา 50 วันได้ จาก 380 มิลลิกรัมต่อกระถาง เป็น 523 มิลลิกรัมต่อกระถาง จากนั้นทำการทดลองในสภาพแปลงโดยใช้เชื้ออะโซสไปริลลัม *Azospirillum brasilense* (AZ 39), *A. brasilense* ATCC 29745 strain Sp 7 และ *A. lipoferum* (AZ 30*)* พบว่าเชื้ออะโซสไปริลลัมสามารถเพิ่มมวลเมล็ดข้าวโพดจาก 2,792 กิโลกรัมต่อเฮกแตร์ (ไม่ใส่เชื้อและปุ๋ย) เป็น 4,447 กิโลกรัมต่อเฮกแตร์ ซึ่งมีค่าเทียบเท่ากับผลผลิตที่ได้จากการใส่ปุ๋ยยูเรีย 60 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อเฮกแตร์ ที่มีผลผลิตเท่ากับ 4,122 กิโลกรัมต่อเฮกแตร์

Maria (2002) ได้ทดสอบผลของการใส่เชื้อ *A. brasilense* ในการปลูกข้าวสาลี พบว่า เชื้อ *A. brasilense* ทำให้มวลชีวภาพ ผลผลิต และความเข้มข้นของไนโตรเจนในข้าวสาลี สูงกว่าการไม่ใส่เชื้อ แสดงให้เห็นว่า *A. brasilense* สามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของข้าวสาลีได้โดยการกระตุ้นการดูดใช้ไนโตรเจนทางราก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Osmar *et. al.* (2004) ศึกษาผลของเชื้ออะโซสไปริลลัมที่มีต่อข้าวโพดในสภาพแปลง โดยใช้ *Azospirillum* sp. RAM-7 และ *Azospirillum* sp. RAM-5 พบว่า เชื้อดังกล่าวสามารถช่วยลดการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนได้ 40 เปอร์เซ็นต์

4. วิธีการวัดปริมาณการตรึงไนโตรเจน

การศึกษาเรื่องการตรึงไนโตรเจนนั้น สิ่งสำคัญอีกประการหนึ่งคือ การวัดปริมาณการตรึงไนโตรเจนซึ่งทำให้ทราบถึงปริมาณไนโตรเจนที่จุลินทรีย์สามารถตรึงได้จากอากาศ แต่หนทางในการประเมินปริมาณการตรึงไนโตรเจนของจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่บริเวณเขตรากพืชนั้นไม่ได้เป็นสิ่งที่ทำได้โดยง่าย ซึ่ง Boddey และคณะ ได้รวบรวมวิธีการในการประเมินไว้ดังนี้ (Bodddey *et. al.*, 1995; Bodddey *et. al.*, 1998)

4.1 Nitrogen balance

วิธีนี้เป็นการวัดปริมาณการตรึงไนโตรเจนทางตรง ซึ่งเป็นการวัดความเข้มข้นของไนโตรเจนในดินที่ได้จากการตรึงไนโตรเจน โดยใช้วิธีการสกัดแอมโมเนียจากดิน จากนั้นทำการกลั่นและไตเตรท โดยต้องทำให้ไนโตรเจนอินทรีย์ในดินเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียเสียก่อน โดยใช้วิธีการของ Kjeldahl digestion จากนั้นวัดปริมาณแอมโมเนียที่มีในดิน การประเมินปริมาณการตรึงไนโตรเจนโดยวิธีนี้อาจมีข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการการประเมินปริมาณไนโตรเจนที่ตรึงได้เนื่องจากไนโตรเจนในดินบางส่วนจะสูญเสียไปกับกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน และการกร่อนดิน สำหรับการได้มาของไนโตรเจนจากบรรยากาศอาจไม่ได้มาจากการตรึงไนโตรเจนเพียงอย่างเดียว นอกจากความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นได้จากดังที่กล่าวมาข้างต้น ยังพบว่าการใช้วิธีการนี้อาจเกิดข้อผิดพลาดได้จากการประมาณค่าข้อมูลที่เกิดจากการเก็บตัวอย่างที่ไม่ได้มาตรฐาน อีกทั้งระบบของการวัดปริมาณการตรึงไนโตรเจนด้วยวิธีนี้ต้องเป็นระบบปิดเท่านั้น (Tate, 2000)

4.2 การใช้ $^{15}N_2$

มีการใช้ $^{15}N_2$ ในการวัดปริมาณการตรึงไนโตรเจนของแบคทีเรียในดินที่ปลูกอ้อย (Ruschel *et. al.*, 1975) ข้าว (Yoshida and Yoneyama, 1980) หญ้าเขตร้อน (De Polli *et. al.*, 1977) ข้าวฟ่างและลูกเดือย (Giller *et. al.*, 1988) โดยการทดลองในพืชที่กล่าวมานั้นมีวิธีการเช่นเดียวกัน คือ การบ่มดินหรือรากพืชใน chamber ที่ปิดสนิทโดยใช้ระยะเวลาสั้นๆภายใต้สภาวะที่ถูกควบคุมให้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มี $^{15}N_2$ แล้วตรวจหาปริมาณ $^{15}N_2$ ในเซลล์ของแบคทีเรียที่สามารถตรึงไนโตรเจน ด้วยเครื่อง mass spectrometer ผลที่เกิดขึ้นสามารถสรุปได้ว่ามีการเปลี่ยนรูปและมีการตรึงไนโตรเจนในราก บริเวณเขตรากพืชหรือในดินที่อยู่ใกล้ชิดกับรากพืช อย่างไรก็ตามมีการศึกษา พบว่ามีการตรึง $^{15}N_2$ โดยแบคทีเรียที่อาศัยอยู่บนหรือในรากข้าวโพด (Ela *et. al.*, 1982) วิธีนี้มีความไวกว่าวิธี Kjeldahl ถึง 1,000 เท่า ให้ผลแม่นยำเที่ยงตรง แต่มีข้อเสีย คือ ต้องใช้เทคนิคค่อนข้างสูง และมีค่าใช้จ่ายมาก

4.3 การใช้ ^{15}N isotope dilution experiments

วิธีการ ^{15}N dilution technique คือ การใช้ประโยชน์จากสัดส่วนของ ^{15}N : ^{14}N ที่มีไม่เท่ากันในธรรมชาติซึ่งมีสัดส่วนเท่ากับ 0.3663 : 99.6337 เป็นตัวประมาณค่าการตรึงไนโตรเจนการวัดการตรึงไนโตรเจนนี้แบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ ทางตรงและทางอ้อม โดยทางตรงเป็นการแทนที่ ^{14}N ในอากาศด้วย ^{15}N บางส่วนหรือทั้งหมดในห้องปลูกพืชหลังจากเก็บเกี่ยวพืชแล้วทำการหาสัดส่วนของ ^{14}N : ^{15}N ที่หายไปจากบรรยากาศในห้องปลูก แก๊สไนโตรเจนที่หายไปทั้งหมด คือปริมาณไนโตรเจนที่พืชตรึงได้ ส่วนวิธีอ้อมนั้นมีข้อสันนิษฐานว่าพืชจะดูด ^{15}N และ ^{14}N จากดินในสัดส่วนเดียวกันกับสัดส่วนที่มีอยู่ในดิน จึงแทนที่ ^{14}N ในปุ๋ยด้วย ^{15}N (^{15}N labeled fertilizer) จากนั้นปลูกพืชจนถึงระยะเก็บเกี่ยว นำเนื้อเยื่อพืชมาวิเคราะห์ปริมาณ ^{15}N สำหรับพืชที่ตรึงไนโตรเจนได้นั้นจะมีปริมาณ ^{14}N ซึ่งมาจากบรรยากาศ มากกว่า ^{15}N ที่พืชได้มาจากปุ๋ย จึงทำให้สัดส่วน ^{15}N : ^{14}N ในพืชมีค่าน้อยกว่าสัดส่วนเดิมที่มีในบรรยากาศ (Eldor, 2007) ปริมาณการตรึงไนโตรเจนหาได้จาก

เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนที่ตรึงได้ =

$$\left(1- \frac{\text{เปอร์เซ็นต์ } ^{15}\text{N atom excess ในพืชที่ตรึงไนโตรเจน}}{\text{เปอร์เซ็นต์ } ^{15}\text{N atom excess ในพืชที่ไม่ตรึง}}\right) \text{ X } 100$$

วิธีการนี้มีความไวและให้ผลแม่นยำมีความเที่ยงตรงมาก แต่วิธีนี้มีเทคนิคค่อนข้างสูง การเตรียมการต้องใช้เวลานาน ค่าใช้จ่ายสูง โดยเฉพาะแหล่งที่มาของ ^{15}N ส่วนการวัดปริมาณ ^{15}N สามารถวัดได้ด้วยเครื่อง mass spectrometer (Tate, 2000)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4.4 Acetylene reduction assay

เป็นวิธีการวัดปริมาณการตรึงไนโตรเจนทางอ้อม โดยใช้การวัดกิจกรรมของเอนไซม์ไนโตรจีเนส ที่สามารถรีดิวซ์แก๊สไนโตรเจนให้เปลี่ยนเป็นแอมโมเนีย (การตรึงไนโตรเจน) ซึ่งคล้ายกับการเปลี่ยนแก๊สอะเซทิลีนไปเป็นแก๊สเอทธิลีน (Bergersen, 1980) และสามารถตรวจสอบได้โดยใช้เครื่อง gas chromatography วิธีนี้ถือเป็นวิธีที่เร็วมากที่สุดในปัจจุบัน

การรีดิวซ์แก๊สอะเซทิลีนโดยเอนไซม์ไนโตรจีเนสมีความคล้ายคลึงกับการรีดิวซ์แก๊สไนโตรเจนไปเป็นสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนเป็นอย่างมาก โดยเอนไซม์ไนโตรจีเนสจะจับแก๊สอะเซทิลีนที่ active site เดียวกันกับการรีดิวซ์แก๊สไนโตรเจน แต่การที่เอนไซม์ไนโตรจีเนสรีดิวซ์แก๊สอะเซทิลีน 1 โมล ไปปืนแก๊สเอทธิลีนต้องใช้อิเลคตรอนในการเปลี่ยนแปลง (electron transfer) 2 ตัว ในขณะที่การรีดิวซ์แก๊สไนโตรเจน 1 โมลไปปืนแอมโมเนียจะใช้อิเลคตรอนในการเปลี่ยนแปลง 6 ตัว (Hardy *et. al.*, 1973)

การแปลค่าปริมาณแก๊สอะเซทิลีนที่ถูกรีดิวซ์ไปเป็นค่าปริมาณการตรึงไนโตรเจนนั้นควรจะมีค่า C_2H_2 / N_2 conversion factor ซึ่งตามทฤษฎีเป็น 3:1 เนื่องจากการเปลี่ยนแก๊สอะเซทิลีน 3 โมเลกุลให้เป็นแก๊สเอทธิลีน 3 โมเลกุลนั้นจะสมมูลกับการเปลี่ยนแก๊สไนโตรเจน 1 โมเลกุลเป็นแอมโมเนีย 2 โมเลกุล แต่ในความเป็นจริงแล้วค่าดังกล่าวอาจอยู่ในช่วง 0.75-4.5 หรืออาจมากกว่านี้ก็ได้ อย่างไรก็ตามการใช้วิธีการวัดปริมาณการตรึงไนโตรเจนด้วยวิธี acetylene reduction ในแปลงสามารถใช้ผลจากการสร้างเอทธิลีนด้วยเอนไซม์ไนโตรจีเนสได้ เนื่องจากมีการตรวจสอบแล้ว พบว่าการวัดกิจกรรมของเอนไซม์ไนโตรจีเนสในการรีดิวซ์แก๊สอะเซทิลีนเป็นแก๊สเอทธิลีนนั้นมีความแม่นยำสูง สำหรับข้อดีของการใช้แก๊สอะเซทิลีนคือในภาวะปกติจะไม่พบแก๊สอะเซทิลีนในบรรยากาศ และแก๊สอะเซทิลีนมีราคาไม่แพง สามารถวิเคราะห์ได้ด้วยเครื่อง gas chromatography ซึ่งสามารถตรวจสอบแก๊สทั้งสองชนิดได้ แม้ในปริมาณต่ำ ๆ ข้อดีของวิธีนี้คือ มีความไวสูง ไวกว่าวิธี ^{15}N ถึง 10^3-10^4 เท่า เป็นวิธีที่สะดวก รวดเร็วใช้เทคนิคง่าย ๆ ใช้เครื่องมือไม่ยาก และราคาไม่แพง

5. เอนไซม์ไนโตรจีเนส

ไนโตรจีเนสเป็นเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการตรึงไนโตรเจน โดยเอนไซม์นี้ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาการลดออกซิเจนของแก๊สไนโตรเจนไปเป็นแอมโมเนีย เอนไซม์ไนโตรจีเนสประกอบด้วยโปรตีนที่ต่างกัน 2 ส่วน คือ dinitrogenase (MoFe protein หรือ protein I) และ dinitrogenase reductase (Fe

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

protine หรือ protein ll dinitrogenase ซึ่งมีหน้าที่จับและรีดิวซ์แก๊สไนโตรเจน ขณะที่ dinitrogenase reductase จะเป็นตัวส่งผ่านอิเลคตรอนให้กับเอนไซม์ dinitrogenase (Tate, 2000)

ปฏิกิริยาการลดแก๊สออกซิเจนของไนโตรเจน ถูกกระตุ้นโดยเอนไซม์ไนโตรจีเนส จะต้องอาศัย

1.ตัวให้อิเลคตรอน (electron doner) ได้แก่ α-hydrtoxy-butyrate, glyceraldehyde-3-phosphate, isocitrate, glucose-6-phohphate, H_2, NADPH และ ascorbate เป็นต้น

2. ตัวรับอิเลคตรอน (electron acceptor) ในปฏิกิริยานี้ตัวรับอิเลคตรอน คือ N_2

3. แหล่งพลังงาน ได้แก่ ATP (adenosine triphosphate)

4. divalent metal ion เช่น Mg^{2+}, Mn^{2+}, Co^{2+}, Fe^{2+} และ Ni^{2+} เป็นต้น ซึ่งช่วยให้ ATP ทำปฏิกิริยาได้ตามปกติ

ปฏิกิริยาการตรึงไนโตรเจนโดยทั่วไปอาจเขียนได้ดังนี้

$$N_2+8H^{+}+8e^{-}+16MgATP \longrightarrow 2NH_3+H_2+16MgADP+16P_i$$

เอนไซม์ไนโตรจีเนสมีความไวต่อออกซิเจนเป็นอย่างมาก (oxygen sensitive) จะไม่ทำงานเมื่อมีออกซิเจน กระบวนการตรึงไนโตรเจนจึงไม่ต้องการออกซิเจน การตรึงไนโตรเจนจะเกิดขึ้นได้ในตำแหน่งที่ไม่มีออกซิเจน แบคทีเรียที่สามารถรีดิวซ์แก๊สไนโตรเจนส่วนใหญ่มีกลไกในการหลีกเลี่ยงหรือจำกัดออกซิเจน เพื่อป้องกันเอนไซม์ไนโตรจีเนส ซึ่งวิธีที่จะป้องกันเอนไซม์ไนโตรจีเนสที่จะสัมผัสกับออกซิเจนมีดังนี้ (Giller and Wilson, 1991; Tate, 2000)

1. การหลีกเลี่ยงที่จะสัมผัสกับออกซิเจน (avoidance of oxygen contact)

ในแบคทีเรียพวกที่ไม่ต้องการออกซิเจนในการเจริญ เช่น *Clostridium pasteurianum* พวกที่ต้องการออกซิเจนเพียงเล็กน้อย (facultative anaerobes) เช่น *Klebsiella pneumonia* มีลักษณะทาง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พันธุกรรมเป็นตัวควบคุมให้สังเคราะห์เอนไซม์ไนโตรจีเนส ภายใต้สภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำเท่านั้น

2. การป้องกันโดยการหายใจ (respiratory protection)

การเพิ่มอัตราการหายใจ ทำให้ปริมาณออกซิเจนลดลง เช่น *Azotobacter* sp. ในสภาพที่มีออกซิเจนจะออกซิไดซ์แหล่งคาร์บอนเพิ่มขึ้น การป้องกันออกซิเจนวิธีนี้พบได้ในแบคทีเรียที่อยู่อย่างอิสระทั้งหลายและไซยาโนแบคทีเรีย

3. การป้องกันโดยการเปลี่ยนรูปแบบ (conformational protection)

พบใน *Azotobacter* spp. โดยจับกับโปรตีนขนาดเล็ก (protective protein) ซึ่งมีมวลโมเลกุลประมาณ 24,000 ดาลตัน การจับกับ protective protein ทำให้รูปแบบของเอนไซม์ เปลี่ยนไปอยู่ในรูปที่ไม่ทำงานแต่สามารถทนทานต่อออกซิเจนได้ เมื่อปริมาณออกซิเจนลดลงอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ เอนไซม์ไนโตรจีเนสก็จะมีกิจกรรมได้เหมือนเดิม

4. การสร้างเมือก (gum or slime production)

เมือกหรือสารโพลีแซคคาร์ไรด์ที่สะสมอยู่รอบนอกผนังเซลล์ของแบคทีเรีย ทำให้เซลล์ใหญ่ขึ้น และช่วยเป็นผนังกั้นลดอัตราการแพร่ของออกซิเจนเข้าสู่เซลล์ พบในพวก *Azotobacter* spp. และ *Derxia gummosa*

5. การสร้างเซลล์ที่มีผนังหนา (heterocyst production)

พบในแบคทีเรียที่สังเคราะห์แสงและไซยาโนแบคทีเรียที่ตรึงไนโตรเจน เอนไซม์ไนโตรจีเนสจะแยกไปอยู่ในโครงสร้างที่มีผนังหนา (heterocyst) เพื่อลดการสัมผัสกับออกซิเจน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

6. การสร้างเล็กเฮโมโกลบิน (leghemoglobin production)

ในปมรากพืชตระกูลถั่ว จะมีโมเลกุลที่คล้ายกับฮีโมโกลบิน เรียกว่า เลกฮีโมโกลบินอยู่ในปมราก เลกฮีโมโกลบินมีความสามารถในการจับออกซิเจนได้สูง ช่วยลดปริมาณออกซิเจนที่จะสัมผัสกับเอนไซม์ไนโตรจีเนส

7. การย้ายไปอยู่ในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม (migration to suitable environment)

แบคทีเรียที่เคลื่อนที่ได้ จะหลีกเลี่ยงออกซิเจนโดยการย้ายไปอยู่ในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการตรึงไนโตรเจน อยู่รวมกันเป็นกลุ่ม หรืออยู่ร่วมกับพวกที่ต้องการออกซิเจน(aerobic heterotroph) ซึ่งสามารถหลีกเลี่ยงการถูกทำลายจากออกซิเจนได้ เช่น *Azospirillum Brasilens* จะหลีกเลี่ยงออกซิเจนโดยการการเคลื่อนตัวไปอยู่ในบริเวณที่มีแรงดันออกซิเจนต่ำ และพบในไซยาโนแบคทีเรียที่อยู่เป็นเซลล์เดี่ยว และ *Derxia gummosa*

6. ข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2

ข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2 เป็นข้าวโพดหวานลูกผสมเดี่ยวที่เกิดจากการผสมระหว่างสายพันธุ์แท้ SSWI 114 กับ KSei 14004 หรือ [(sh2 Syn 29 x KS 1) x Suwan 3 (S) C4] -F4-S8-24-2-4-2-2 จากผลการทดสอบพันธุ์ จำนวน 7 ฤดู เป็นเวลา 6 ปี (พ.ศ. 2537-2542) ที่ไร่สุวรรณ พบว่า ข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2 ให้มวลฝักสดทั้งเปลือก (2,430 กิโลกรัมต่อไร่) และมวลฝักสดปอกเปลือกที่ดี (1,371 กิโลกรัมต่อไร่) สูงกว่าข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 1 ที่ 5.7 และ 9.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ให้เปอร์เซ็นต์เมล็ดที่ตัด 34.17 เปอร์เซ็นต์ และความหวาน 15.0 เปอร์เซ็นต์บริกซ์ ซึ่งสูงกว่าข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 1 โดยมีความนุ่ม และรสชาติใกล้เคียงกัน แต่มีขนาดฝักใหญ่กว่า และมีลักษณะทางการเกษตรบางอย่างดีกว่า จากผลการทดสอบพันธุ์ในสถานีทดลองต่าง ๆ รวม 4 แห่ง ในฤดูแล้ง ปี 2542 พบว่า ข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2 ให้มวลฝักสดทั้งเปลือก 2,330 กิโลกรัมต่อไร่ และมวลฝักสดปอกเปลือกที่ดี 1,540 กิโลกรัมต่อไร่ สูงกว่าข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 1 เท่ากับ 3.6 และ 3.4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ผลการปลูกทดสอบ ข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2 สำหรับโรงงานแปรรูป ในต้นฤดูฝน ปี 2541 พบว่า ข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2 ให้มวลฝักสดทั้งเปลือก 2,097 กิโลกรัมต่อไร่ มวลฝักสดปอกเปลือกที่ดี 1,422 กิโลกรัมต่อไร่ ผลผลิตบรรจุกระป๋อง 766 กิโลกรัมต่อไร่ ความหวาน 15 เปอร์เซ็นต์บริกซ์ เนื้อสัมผัสอ่อนนุ่ม เมล็ดไม่ยุบตัวอยู่ได้ 2-3 วัน ฝักสีเหลือง ทรงกระบอกแถวเมล็ดเรียงตัวสม่ำเสมอ ไหมมีสีอ่อน ฝักยาว 17 เซนติเมตร กว้าง 4.5 เซนติเมตร มี 14-16 แถว มีอายุ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วันออกไหม 50 เปอร์เซ็นต์ 48 วัน และมีความสูงต้นและฝักปานกลาง (198 และ 106 เซนติเมตร ตามลำดับ) ศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติได้เผยแพร่ข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2 สู่เกษตรกร และโรงงานแปรรูปในปี พ.ศ. 2542 (โชคชัย, มปป.)

6.1 ความต้องการธาตุอาหารของข้าวโพด

ข้าวโพดมีความต้องการธาตุอาหารหลัก คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในปริมาณมาก โดยไนโตรเจนจะมีบทบาทต่อข้าวโพดตลอดอายุการเจริญเติบโต ซึ่งระยะที่ข้าวโพดฝักสดต้องการไนโตรเจนมากที่สุด คือ ระยะออกดอกตัวผู้และตัวเมีย จากการวิเคราะห์เนื้อเยื่อข้าวโพดในช่วง 18-30 วันและ 39-65 วัน พบว่า ปริมาณการใช้ไนโตรเจนสูงถึง 7 และ 50 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ ส่วนฟอสฟอรัสนั้นข้าวโพดตอบสนองตลอดระยะเวลาปลูกแต่ต้องการมากในระยะ 2 สัปดาห์แรกหลังงอก ซึ่งเป็นระยะที่ข้าวโพดมีระบบรากค่อนข้างเล็กและสามารถดูดฟอสฟอรัสจากปุ๋ยได้มากกว่าจากดิน แต่ในระยะ 3-4 สัปดาห์หลังงอกก็จำเป็นเช่นเดียวกันเนื่องจากฟอสฟอรัสมีบทบาทสำคัญในการช่วยเสริมสร้างความสมบูรณ์ให้กับต้นและเมล็ด สำหรับโพแทสเซียมนั่นมีบทบาทในการสร้างความเจริญเติบโตและความแข็งแรงของลำต้น และการสร้างเมล็ด แต่ในสภาพดินปลูกข้าวโพดในประเทศไทยมีธาตุโพแทสเซียมสูง จึงไม่ค่อยพบปัญหาการขาดโพแทสเซียมของข้าวโพด โดยทั่วไปดินที่เหมาะสมสำหรับปลูกข้าวโพดฝักสด ควรมีคุณสมบัติ ดังนี้ ปฏิกิริยาดิน 6.5-7.5 อินทรียวัตถุมากกว่า 3 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ มากกว่า 20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ มากกว่า 60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก มากกว่า 25 me ต่อดิน 100 กรัม (กรมวิชาการเกษตร, 2546)

6.2 ความต้องการน้ำของข้าวโพด

ข้าวโพดมีความต้องการน้ำในระยะต่างๆไม่เท่ากัน โดยในระยะแรกของการเจริญเติบโตนั้นข้าวโพดต้องการน้ำไม่มากนัก และต้องการมากขึ้นตามอายุ โดยมีความต้องการน้ำสูงสุดในช่วงออกดอกและช่วงต้นของการสร้างเมล็ด หลังจากนั้นการใช้น้ำจะค่อยๆลดลง ดังนั้นถ้าข้าวโพดขาดน้ำในช่วงออกดอกจะทำให้ผลผลิตลดลงอย่างมาก สมาน (2537) ได้ศึกษาความต้องการน้ำของข้าวโพดโดยใช้ข้อมูลจากสถานีอากาศเกษตร กำแพงแสน จังหวัดนครปฐม พบว่า ปริมาณน้ำที่ข้าวโพดต้องการในเดือน มกราคม ถึง ธันวาคม ดังตารางที่ 2

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 2 ปริมาณน้ำที่ข้าวโพดต้องการในเดือน มกราคม ถึง ธันวาคม

เดือน	**ม.ค.**	**ก.พ.**	**มี.ค.**	**เม.ย.**	**พ.ค.**	**มิ.ย.**
ปริมาณน้ำที่ต้องการ (มล.)	415.83	444.33	403.03	347.63	324.17	311.50
เดือน	**ก.ค.**	**ส.ค.**	**ก.ย.**	**ต.ค.**	**พ.ย.**	**ธ.ค.**
ปริมาณน้ำที่ต้องการ (มล.)	269.60	243.33	239.53	252.10	274.40	322.47

6.3 การปลูกและการดูแลรักษา

6.3.1 การเตรียมแปลง เมล็ดพันธุ์ และการปลูก

การเตรียมแปลงปลูก ไถดินให้ลึกประมาณ 20-30 เซนติเมตร เก็บเศษวัชพืช และตากดินไว้ 7-10 วัน เพื่อกำจัดศัตรูพืชและเพื่อให้ดินร่วนซุย ใส่ปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอกอัตรา 500-1,000 กิโลกรัมต่อไร่ แล้วไถพรวนอีกครั้งเพื่อปรับระดับดินให้เสมอ หากพบว่าดินมี pH ต่ำกว่า 5.5 ให้หว่านปูนขาว อัตรา 100-200 กิโลกรัมต่อไร่ แล้วพรวนกลบ (กรมวิชาการเกษตร, 2550)

การเตรียมเมล็ดพันธุ์ เลือกพันธุ์ปลูกที่ตรงกับความต้องการของตลาด เมล็ดพันธุ์ที่จะใช้ปลูกต้องมาจากแหล่งพันธุ์ที่เชื่อถือได้ เพื่อให้ได้ฝักข้าวโพดหวานที่มีคุณภาพตรงตามพันธุ์ สอดคล้องกับความต้องการของตลาด ก่อนปลูกควรคลุกเมล็ดด้วยสารเมตาแลกซิล 35 เปอร์เซ็นต์ ดีเอส อัตรา 7 กรัมต่อเมล็ดพันธุ์ 1 กิโลกรัม เพื่อป้องกันกำจัดโรคราน้ำค้างที่อาจติดมากับเมล็ด (กรมวิชาการเกษตร, 2550)

การปลูก หากปลูกในนาหรือสภาพไร่ ปลูกเป็นแถวคู่ยกร่องสูง 30-40 เซนติเมตร ระยะระหว่างสันร่อง 100-125 เซนติเมตร หยอดเมล็ดข้างร่องทั้งสองข้างแบบสลับฟันปลา ระยะระหว่างหลุม 25-30 เซนติเมตร จำนวน 2-3 เมล็ดต่อหลุม แล้วถอนแยกเมื่อต้นกล้าอายุ 14 วัน ให้เหลือ 2 ต้นต่อหลุม หากปลูกบนร่องสวน ใช้ระยะปลูก 50 x 50 เซนติเมตร จำนวน 3-4 เมล็ดต่อหลุม แล้วถอนแยกเมื่อต้นกล้าอายุ 14 วัน ให้เหลือ 3 ต้นต่อหลุม ใช้เมล็ดพันธุ์ 4.5-6.0 กิโลกรัมต่อไร่ จะทำให้ได้จำนวนต้นที่เหมาะสมเท่ากับ 18,000-20,000 ต้นต่อไร่ (กรมวิชาการเกษตร, 2550)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

6.3.2 การจัดการเพื่อเสริมความสมบูรณ์ต้น

การใส่ปุ๋ย หลังจากถอนแยกแล้ว หรือเมื่อต้นข้าวโพดอายุ 20 วัน ใส่ปุ๋ยเคมีทางดิน สูตร 46-0-0 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ หรือสูตร 21-0-0 อัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ โดยโรยข้างต้นหรือข้างแถวแล้วพรวนดินกลบ (กรมวิชาการเกษตร, 2550)

การให้น้ำ ควรให้น้ำทันทีหลังปลูกและหลังให้ปุ๋ยทุกครั้ง โดยให้จนเต็มสันร่อง เพื่อให้เมล็ดข้าวโพดงอกได้ สม่ำเสมอ และเพื่อให้ปุ๋ยละลายได้หมด จากนั้นให้น้ำอย่างสม่ำเสมอ สูงระดับ 3 ใน 4 ส่วนของความลึกร่อง ไม่ปล่อยให้น้ำท่วมขังในแปลงนานเกิน 24 ชั่วโมงเพราะจะทำให้ต้นข้าวโพดชะงักการเจริญเติบโตหรือตายได้ (กรมวิชาการเกษตร, 2550)

6.4 การป้องกันกำจัดศัตรูข้าวโพดหวาน

6.4.1 หนอนกระทู้หอม ตัวเต็มวัยเป็นผีเสื้อกลางคืน สีน้ำตาลเข้มปนเทา วางไข่เป็นกลุ่มสีขาว บริเวณใต้ใบ มีขนสีครีมปกคลุม หนอนกัดกินทุกส่วนของพืชในระยะต้นอ่อน เมื่อพบการทำลายเก็บกลุ่มไข่และตัวหนอนทำลาย ในแหล่งที่มีการระบาดเป็นประจำพ่นด้วยเชื้อไวรัสนิวเคลียโพลีฮีโดรซีส อัตรา 20-30 มิลลิลิตรต่อน้ำ 20 ลิตร จำนวน 1-2 ครั้ง ห่างกัน 5 วัน หยุดพ่น ก่อนเก็บเกี่ยว 1 วัน หรือสารเบต้าไซฟลูทริน 2.5 เปอร์เซ็นต์ อีซี อัตรา 40 มิลลิลิตร ต่อน้ำ 20 ลิตร หยุดพ่นสารก่อนเก็บเกี่ยว 14 วัน ในแหล่งที่พบแตนเบียนบราโคนิด ไม่จำเป็นต้องพ่นสาร (กรมวิชาการเกษตร, 2550)

6.4.2 หนอนเจาะสมอฝ้าย ตัวเต็มวัยเป็นผีเสื้อกลางคืน ขนาดกลาง วางไข่ฟองเดี่ยวๆที่ช่อ ดอกตัวผู้และเส้นไหมบริเวณปลายฝัก หนอนกัดกินเส้นไหมและเจาะเข้าไปอาศัยกัดกินปลายฝักทำให้คุณภาพฝักเสียหาย มักพบการทำลายระยะข้าวโพดหวานเริ่มออกช่อดอกตัวผู้ ควรสำรวจหนอนที่ปลายฝักข้าวโพดหวานในระยะผสมเกสร เมื่อพบหนอนเจาะสมอฝ้ายมากกว่าหรือเท่ากับ 10 ตัวต่อ100 ต้น พ่นด้วยเชื้อไวรัสนิวเคลียโพลีฮีโดรซีสของหนอนเจาะสมอฝ้าย อัตรา 30 มิลลิลิตรต่อน้ำ 20 ลิตร หยุดพ่นเชื้อก่อนเก็บเกี่ยว 1 วัน หรือ สารฟลูเฟนนอกซูรอน 5 เปอร์เซ็นต์ อีซี อัตรา 20 มิลลิลิตรต่อน้ำ 20 ลิตร เฉพาะฝักที่พบไหมถูกทำลาย หยุดพ่นสารก่อนเก็บเกี่ยว 7 วัน (กรมวิชาการเกษตร, 2550)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

6.4.3 เพลี้ยอ่อนข้าวโพด เป็นแมลงขนาดเล็กสีเขียวอ่อน กลมป้อมคล้ายผลฝรั่ง มีทั้งชนิดมีปีกและไม่มีปีก ตัวอ่อนและตัวเต็มวัยดูดกินน้ำเลี้ยงจากยอด ใบอ่อน ช่อดอกตัวผู้ ปลายไหม และ ฝักทำให้ติดเมล็ดไม่สมบูรณ์ ฝักลีบ เมื่อพบการทำลายพ่นด้วยสารคาร์บาริล 85เปอร์เซ็นต์ ดับลิวพี อัตรา 50 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร หรือสารไบเฟนทริน 10 เปอร์เซ็นต์ อีซี อัตรา 20 มิลลิลิตรต่อน้ำ 20 ลิตร หยุดพ่นสารก่อนเก็บเกี่ยว 14 วัน (กรมวิชาการเกษตร, 2550)

6.4.4 หนอนเจาะลำต้นข้าวโพด ตัวเต็มวัยเป็นผีเสื้อกลางคืน สีทองแดง วางไข่เป็นกลุ่มซ้อนกันคล้ายเกล็ดปลา หนอนเริ่มทำลายต้นข้าวโพดตั้งแต่อายุประมาณ 20 วันหลังเมล็ดงอกจนถึงเก็บเกี่ยว ทำลายส่วนยอด ช่อดอกตัวผู้และลำต้นหรือฝัก ทำให้ต้นชะงักการเจริญเติบโต หักล้มง่าย เมื่อพบการทำลายพ่นด้วยสารไซเปอร์เมทริน 15 เปอร์เซ็นต์ อีซี อัตรา 10 มิลลิลิตรต่อน้ำ 20 ลิตร หยุดพ่นสารก่อนเก็บเกี่ยว 10 วัน หรือสารไตรฟลูมูรอน 25 เปอร์เซ็นต์ ดับลิวพี อัตรา 30 กรัม ต่อน้ำ 20 ลิตร หยุดพ่นสารก่อนเก็บเกี่ยว 14 วัน (กรมวิชาการเกษตร, 2550)

6.4.5 มอดดิน ตัวเต็มวัยเป็นด้วงงวงสีเทาดำ กัดกินใบตั้งแต่เมล็ดเริ่มงอกจนถึงต้นข้าวโพดอายุ 14 วันหลังเมล็ดงอก ทำให้ต้นอ่อนตาย หรือชะงักการเจริญเติบโต ก่อนปลูกคลุกเมล็ดด้วยสารอิมิดาโคลพริด 70 เปอร์เซ็นต์ ดับลิวเอส อัตรา 5 กรัมต่อเมล็ด 1 กิโลกรัม (กรมวิชาการเกษตร, 2550)

6.4.6 โรคราน้ำค้างหรือโรคใบลาย ระบาดรุนแรงในระยะต้นอ่อนอายุประมาณ 1 เดือนหลังเมล็ดงอกทำให้ยอดถี่ ต้นแคระแกรน ใบเป็นทางสีขาว หรือสีเขียวอ่อน หรือสีเหลืองอ่อน ตามความยาวของใบ พบผงสปอร์สีขาวใต้ใบในเวลาเช้ามืดที่มีความชื้นสูง อาการรุนแรงต้นจะไม่ออกฝักหรือติดฝักแต่ไม่มีเมล็ด หรือต้นแห้งตาย เชื้อราสาเหตุติดไปกับเมล็ดได้ ดังนั้นไม่ควรใช้เมล็ดพันธุ์จากแหล่งหรือแปลงที่มีโรคระบาด เมล็ดพันธุ์ต้องมีความชื้นน้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์มิฉะนั้นอาจมีความเสี่ยงเนื่องจากเชื้อรา ก่อนปลูกคลุกเมล็ดด้วยสารเมตาแลกซิล 35 เปอร์เซ็นต์ เอสดี อัตรา 7 กรัมต่อเมล็ด 1 กิโลกรัม เมื่อพบต้นเป็นโรค ถอนต้นและเผาทำลายนอกแปลง กรณีโรคดื้อสารเมตาแลกซิล ใช้สารไดเมโทมอร์ฟ 50 เปอร์เซ็นต์ ดับลิวพี อัตรา 20 กรัมต่อเมล็ด 1 กิโลกรัม คลุกเมล็ดก่อนปลูก (ควรใส่สารจับใบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของสารเคมี) และฉีดพ่นเมื่ออายุ 10 วันหลังงอก อัตรา 20 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร (กรมวิชาการเกษตร, 2550)

6.4.7 โรคใบไหม้แผลใหญ่ จุดเล็กสีเขียวอ่อนฉ่ำน้ำ แผลขยายยาวตามเส้นใบมีขนาดใหญ่ 2.5-20 เซนติเมตร กลางแผลมีสีเทาขอบสีน้ำตาล เชื้อราสาเหตุติดไปกับเมล็ดได้ ดังนั้นไม่ควร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ใช้เมล็ดพันธุ์จากแหล่งหรือแปลงที่มีโรคระบาด เมื่อต้นข้าวโพดหวานอายุ 7 วันหลังงอก พ่นด้วยเชื้อแบคทีเรียบาซิลลัสซับทิลิส อัตรา 100 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร ทุก 5 วัน จำนวน 3 ครั้ง หรือสารไตรโฟรีน 20 เปอร์เซ็นต์ อีซีอัตรา 60 มิลลิลิตรต่อน้ำ 20 ลิตร บริเวณที่เป็นโรคเก็บซากพืชที่เป็นโรคเผาทำลายนอกแปลง ทำลายพืชอาศัยของโรค เช่น หญ้า เดือย (กรมวิชาการเกษตร, 2550)

6.4.8 โรคใบไหม้แผลเล็ก ระยะแรกเป็นจุดแผลเล็กสีเขียวอ่อน ฉ่ำน้ำ ต่อมาแผลขยายตามเส้นใบเป็นแผลไหม้ กลางแผลเป็นสีเทา ขอบแผลสีน้ำตาล ขนาดแผล 6-12 x 6-22 ตารางมิลลิเมตร มักเกิดกับใบล่าง เชื้อราสาเหตุติดไปกับเมล็ดได้ การป้องกันกำจัดเหมือนโรคใบไหม้แผลใหญ่ (กรมวิชาการเกษตร, 2550)

6.4.9 โรคราสนิม เป็นแผลจุดนูนสีน้ำตาล มีผงสีสนิมกลางแผล เกิดได้ทุกส่วนของต้น การป้องกันกำจัดโรคเริ่มจากการตรวจแปลงในระยะกล้า ถ้าพบโรคมีจุดสนิม 3-4 จุดต่อใบให้พ่นด้วยสารไดฟีโนโคนาโซล 25 เปอร์เซ็นต์ อีซี อัตรา 20 มิลลิลิตรต่อน้ำ 20 ลิตร พ่นทุกสัปดาห์ จำนวน 2-4 ครั้ง เก็บซากพืชที่เป็นโรคเผาทำลายนอกแปลง (กรมวิชาการเกษตร, 2550)

6.4.10 โรคไวรัส ใบมีจุดสีซีดที่ฐานของใบอ่อนขยายออกเป็นขีดสีเขียวอ่อนสั้นๆ ไปตามแนวใบ ต้นแคระแกรน เมื่อแก่ใบเปลี่ยนเป็นม่วงแดง อาการคล้ายโรคราน้ำค้างแต่เวลาเช้ามืดไม่มีผงสปอร์สีขาว การป้องกันโรคโดยกำจัดเพลี้ยอ่อน แมลงพาหะนำโรค กำจัดพืชอาศัย เช่น อ้อย ข้าวฟ่าง หญ้าจอนท์สัน และปลูกพืชหมุนเวียน (กรมวิชาการเกษตร, 2550)

6.5 การเก็บเกี่ยวและการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวในแปลง

เก็บเกี่ยวเมื่อ 18-20 วันหลังออกไหมแล้ว 50 เปอร์เซ็นต์ หรือสีของไหมเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเข้ม หรือ เมื่อทดลองบีบบริเวณปลายฝักจะยุบตัวลง หรือสุ่มฉีกเปลือกฝักข้าวโพดที่อยู่บนสุดของต้น แล้วใช้เล็บกดที่เมล็ดปลายฝักจะมีน้ำนมไหลออกมา แสดงว่าอีก 2 วันจะสามารถเก็บเกี่ยวได้ เก็บเกี่ยวด้วยความระมัดระวัง โดยใช้มือสะอาดหักฝักสดให้ถึงบริเวณก้าน ฝักที่ติดลำต้น และต้องเก็บเกี่ยวทุกวันให้แล้วเสร็จภายใน 5-7 วัน รวบรวมข้าวโพดหวานที่เก็บเกี่ยวแล้วใส่ภาชนะบรรจุที่สะอาด แล้วขนย้ายไปยังโรงเรือนภายในแปลง หรือในที่ร่มที่มีอากาศถ่ายเททันที การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว คัดแยกฝักที่เสียหายจากการเก็บเกี่ยว หรือมีตำหนิจากศัตรูพืชแยกไว้ และนำไปใช้ประโยชน์ คัดขนาดตามความต้องการของแต่ละตลาดอย่างระมัดระวังมิให้ ฝักช้ำ ฝักต้องตรง ยาว รูปทรงกระบอก ขนาดโคนและปลายฝักแตกต่างไม่น้อยกว่า 0.5 เซนติเมตร ฝักต้องมีก้านฝักติดอยู่ มี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เมล็ดสมบูรณ์เรียงเป็นระเบียบ สีเมล็ดสม่ำเสมอทั้งฝัก บรรจุข้าวโพดหวานที่คัดแยกและคัดขนาดแล้วในภาชนะบรรจุตามความต้องการของตลาด รอการขนส่งไปยังแหล่ง รวบรวมหรือผู้รับซื้อทันที (กรมวิชาการเกษตร, 2550)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เมล็ดพันธุ์

   1.1 เมล็ดข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2

   1.2. เมล็ดถั่วเขียวและถั่วเหลือง

2. ปุ๋ยเคมี

   2.1 ปุ๋ยเคมี สูตร 15-15-15

   2.2 ปุ๋ยยูเรีย (46 % N)

   2.3 ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (60% K_2O)

   2.4 หินฟอสเฟต (25 % P_2O_5)

3. เชื้อไรโซเบียมสำหรับถั่วเขียวและถั่วเหลือง จากกรมวิชาการเกษตร

4. ผงเชื้ออะโซโตแบคเตอร์ และเชื้ออะโซสไปริลลัม จากภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตรกำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

5. อุปกรณ์ที่ใช้ในการปลูกข้าวโพด

   5.1 อุปกรณ์ในการเตรียมดิน

   5.2 เครื่องปลูกด้วยมือ (jab)

6. เครื่อง hand refractometer

7. เครื่อง gas chromatrography (GC)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

8. อุปกรณ์และเครื่องมือในการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน และพืชในห้องปฏิบัติการ

8.1 ตู้อบลมร้อน (hot air oven)

8.2 pH meter

8.3 Electric conductivity meter

8.4 Fume hood

8.5 Spectrophotometer

8.6 Atomic absorption spectrophotometer

8.7 Micro Kjeldahl distillation apparatus

8.8 Digestion apparatus

8.9 เครื่องชั่งทศนิยม 3 และ 4 ตำแหน่ง

8.10 เครื่องบดตัวอย่างดิน และตะแกรงร่อนดิน ขนาด 2 และ 0.5 มิลลิเมตร

8.11 เครื่องบดตัวอย่างพืช

8.12 อุปกรณ์อื่นๆและสารเคมีที่จำเป็นในการวิเคราะห์คุณสมบัติของตัวอย่างดิน และตัวอย่างพืช

วิธีการ

1. การวางแผนการทดลอง

ใช้แผนการทดลองแบบ split plot in randomized complete block design มี 4 ซ้ำ ประกอบด้วยปัจจัยที่ศึกษาดังนี้ คือ

1.1 ปัจจัยหลัก (main plot) ประกอบด้วยวิธีการไถพรวนมี 2 ระบบ ได้แก่

1.1.1 การไถพรวนแบบปกติ (conventional tillage; CT)

1.1.2 การปลูกแบบไม่ไถพรวน (no tillage; NT)

1.2 ปัจจัยรอง (sub plot) ประกอบด้วยแหล่งที่มาของธาตุอาหารพืช 7 ตำรับ ได้แก่

1.2.1 ไม่ใส่ปุ๋ยและเชื้อจุลินทรีย์ (control; C)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.2.2 ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 19 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ ฟอสฟอรัสอัตรา 7.5 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ และ โพแทสเซียมอัตรา 7.5 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่, (F1) (กรมวิชาการเกษตร, 2546)

1.2.3 ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 9.5 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ ฟอสฟอรัสอัตรา 3.75 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ และ โพแทสเซียมอัตรา 3.75 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่ (F2)

1.2.4 ใช้เชื้ออะโซโตแบคเตอร์ร่วมกับหินฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมคลอร์ไรด์ (*Azotobacter chroococcum*; A)

1.2.5 ใช้เชื้ออะโซสไปริลลัมร่วมกับหินฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมคลอร์ไรด์ *(Azospirillum lipoferum*, S)

1.2.6 ปลูกถั่วเหลืองเป็นปุ๋ยพืชสดร่วมกับหินฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมคลอร์ไรด์ (soybean; SB)

1.2.7 ปลูกถั่วเขียวเป็นปุ๋ยพืชสดร่วมกับหินฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมคลอร์ไรด์ (mungbean; MB)

2. การเตรียมผงเชื้อ *Azotobacter chroococcum* และ *Azospirillum lipoferum*

การทดลองครั้งนี้ใช้ผงเชื้ออะโซโตแบคเตอร์และผงเชื้ออะโซสไปริลลัม จากภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน โดยมีวิธีการทำดังนี้

ใช้เชื้อบริสุทธิ์ของ *Azotobacter chroococcum* จากภาควิชาปฐพีวิทยา จากนั้นเลี้ยงเชื้ออะโซโตแบคเตอร์ ในอาหารเหลวที่บรรจุอยู่ใน flask ขนาด 250 มิลลิลิตร ที่บรรจุ Modified Ashby's Medium (อาหารเหลว 1 ลิตร ประกอบด้วย Mannitol 20 กรัม, K_2HPO_4 0.2 กรัม, NH_4Cl 1.0 กรัม, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.2 กรัม, NaCl 0.2 กรัม, K_2SO_4 0.1 กรัม, $CaCO_3$ 5.0 กรัม, $Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$ 0.002 กรัม, น้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร) จำนวน 100 มิลลิลิตร เป็นเวลา 7 วัน ให้อากาศโดยเขย่าบนเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที นำเชื้อที่ได้ผสมลงสารผสม ในการทดลองนี้ใช้พีทบดละเอียดที่ฆ่าเชื้อแล้วเป็นสารผสม โดยผสมในอัตราส่วน เชื้อในอาหารเหลว 100 มิลลิลิตรต่อพีท 250 กรัม แล้วนำมาบ่มไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 สัปดาห์ หลังจากนั้นนำมาผสมกับพีทที่บดละเอียดและฆ่าเชื้อแล้วอีกจำนวน 250 กรัม เข้าด้วยกัน รวมเป็น 500 กรัม และบ่มต่ออีก 1 สัปดาห์ เมื่อได้เวลา

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตามที่กำหนด นับปริมาณเชื้อในสารผสม โดยวิธี spread plating method บนอาหารวุ้น Modified Ashby's Medium แล้วนำผงเชื้อมาบรรจุไว้ในถุงพลาสติกอ่อนสีดำ แล้วปิดปากถุง เขียนฉลากกำกับ จากนั้นเก็บไว้ในตู้เย็นอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อรอการนำไปทดสอบต่อไป

การเตรียมผงเชื้ออะโซสไปริลลัม ใช้เชื้อ *Azospirillum lipoferum* บริสุทธิ์ จากภาควิชาปฐพีวิทยา การเลี้ยงและการผลิตผงเชื้อ ใช้วิธีการเช่นเดียวกับการเลี้ยงเชื้ออะโซโตแบคเตอร์ แต่ใช้อาหารเหลวสูตร Okon *et. al.*, (1977) โดยในอาหารเหลว 1 ลิตร ประกอบด้วย 1) สารละลาย (A) K_2HPO_4 6 กรัม, KH_2PO_4 4 กรัม, น้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร 2)สารละลาย (B) $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.2 กรัม, NaCl 0.1 กรัม, $CaCl_2$ 0.02 กรัม, NH_4Cl 1.0 กรัม, Malic acid 5.0 กรัม, NaOH 3.0 กรัม, yeast extract 0.05 กรัม, $Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$ 0.002 กรัม, $MnSO_4 \cdot 2H_2O$ 0.001 กรัม, H_3BO_3 0.0014 กรัม, $Cu(NO_3)_2$ 0.0004 กรัม, $ZnSO_4$ 0.0021 กรัม, $FeCl_3$ 0.002 กรัม, Bromothymol blue 2 มิลลิลิตร (0.5 % alcoholic solution) และน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร นึ่งฆ่าเชื้อสารละลาย A และ B แยกกัน และผสมกันในขณะที่ยังร้อนอยู่ เลี้ยงเชื้ออะโซสไปริลลัมในอาหารเหลวจำนวน 100 มิลลิลิตร ที่บรรจุอยู่ใน flask ขนาด 250 มิลลิลิตร เป็นเวลา 7 วัน ให้อากาศโดยเขย่าบนเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที นำเชื้อที่ได้ผสมลงสารผสมที่เป็นพีทแห้ง บดละเอียด และฆ่าเชื้อแล้ว ผสมในอัตราส่วน เชื้อในอาหารเหลว 100 มิลลิลิตรต่อพีท 250 กรัม แล้วบ่มไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 สัปดาห์ หลังจากนั้นนำมาผสมกับพีทที่บดละเอียดและนึ่งฆ่าเชื้อแล้วอีกจำนวน 250 กรัมเข้าด้วยกัน รวม เป็น 500 กรัม แล้วนำมาบ่มต่ออีก 1 สัปดาห์ เมื่อได้เวลาตามที่กำหนด นับปริมาณเชื้อในสารผสม โดยวิธี spread plating method บนอาหารวุ้น ตามสูตรของ Okon *et. al.*, (1977) หลังจากนั้นนำผงเชื้อมาบรรจุไว้ในถุงพลาสติกอ่อนสีดำ ปิดปากถุง เขียนฉลากกำกับ แล้วเก็บไว้ในตู้เย็นอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อรอการนำไปทดสอบต่อไป

3. แปลงทดลองและการศึกษาสมบัติดินก่อนปลูก

บริเวณที่ใช้ทดลอง คือแปลงทดลองภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม โดยมีพิกัดแปลง คือ $14^{\circ}\ 01'\ 56.02''$ เหนือ และ $99^{\circ}\ 57'\ 41.35''$ ตะวันออก

การเตรียมตัวอย่างดิน เก็บตัวอย่างดินจากพื้นที่แปลงทดลองในช่วงระดับความลึก 0–15 เซนติเมตรจากผิวดิน โดยการสุ่มเก็บตัวอย่างให้ทั่วแปลง จากนั้นนำตัวอย่างดินนำมาผึ่งให้แห้งในที่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ร่ม เลือกก้อนหินและเศษซากพืชขนาดใหญ่ออก บดให้ละเอียด แล้วร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานขนาด 2.0 และ 0.5 มิลลิเมตร เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆของดิน

3.1 วิเคราะห์เนื้อดินโดยวิธี hydrometer method

3.2 ปฏิกิริยาดิน (pH) วัดโดยใช้ pH meter โดยใช้อัตราส่วนระหว่างดินต่อน้ำ เท่ากับ 1:1 (ทัศนีย์ และจงรักษ์, 2542)

3.3 ค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity, EC) โดยวัดค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายดินที่สกัดจากดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (saturation extract) วัดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่อง electrical conductivity meter (ทัศนีย์ และจงรักษ์, 2542)

3.4 ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน โดยวิธี Walkley และ Black titration (ทัศนีย์ และจงรักษ์, 2542)

3.5 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen) ย่อยสลายด้วย H_2SO_4-Na_2So_4-Se mixture และวัดปริมาณโดยวิธี Kjeldahl method (ทัศนีย์ และจงรักษ์, 2542)

3.6 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available phosphorus) สกัดโดยวิธี Bray II (Bray and Kurt, 1945) และวิเคราะห์ปริมาณโดยวิธี colorimetric (ทัศนีย์ และจงรักษ์, 2542)

3.7 ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable potassium) โดยการสกัดดินด้วยสารละลาย 1 N แอมโมเนียมอะซิเตต (NH_4OAc) ที่เป็นกลาง (pH 7.0) แล้วนำไปวัดหาปริมาณโพแทสเซียมด้วย atomic absorption spectrophotometer (ทัศนีย์ และจงรักษ์, 2542)

3.8 วิเคราะห์ความหนาแน่นรวม (bulk density) โดยเก็บตัวอย่างดินแบบคงสภาพก่อนปลูกและหลังเก็บเกี่ยว โดยใช้กระบอกสแตนเลส (core) ภายในความลึก 0-5 เซนติเมตร จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนดินมีน้ำหนักคงที่ จากนั้นนำมาชั่งมวลดินแห้งแล้วนำมาหารด้วยปริมาตรบรรจุของกระบอกสแตนเลส

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.9 วิเคราะห์ค่าสภาพการนำน้ำ (K_s) เก็บตัวอย่างดินแบบคงสภาพก่อนปลูก และหลังเก็บเกี่ยวเช่นเดียวกับการเก็บตัวอย่างดินเพื่อวิเคราะห์ความหนาแน่นรวม จากนั้นวัดสภาพการนำน้ำด้วยวิธี constant-head

ตารางที่ 3 ค่าวิเคราะห์ดินก่อนปลูก

คุณสมบัติของดินที่ศึกษา	ค่าการวิเคราะห์
Texture	Sandy clay loam
pH (ดิน:น้ำ = 1:1)	6.56
EC, dS/m	0.07
Organic matter, % (Walkley and Black)	0.91
Total N, % (Kjeldahl method)	0.05
Available P, mg/kg (Bray II)	65.27
Exchangeable K, mg/kg (NH_4OAc pH 7.0)	96.56
Bulk density, g/cm^3	1.51
K_s, m/day	0.27

4. การเตรียมพื้นที่และการปลูกข้าวโพด

เตรียมพื้นที่โดยแบ่งแปลงออกเป็นแปลงย่อยขนาด 4.5 x 4.0 ตารางเมตร จำนวนทั้งสิ้น 56 แปลง แบ่งเป็นไถพรวนแบบปกติ 28 แปลงและไม่ไถพรวนอีก 28 แปลง สำหรับที่มีการใช้ปุ๋ยพืชสดจะทำการปลูกถั่วเหลืองและถั่วเขียวที่คลุกเชื้อไรโซเบียม โดยใช้เมล็ดถั่วเหลืองและถั่วเขียว อัตรา 8 และ 5 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ ไถกลบถั่วเมื่ออายุ 42 วัน โดยการปลูกแบบไถพรวนใช้รถไถเดินตาม ส่วนการปลูกแบบไม่ไถพรวนใช้จอบสับ หลังจากกลบถั่ว 14 วัน ปลูกข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2 โดยใช้ระยะปลูก 0.25 x 0.75 ตารางเมตร หยอดเมล็ดข้าวโพด 2-3 เมล็ดต่อหลุม แล้วถอนแยกให้เหลือ 1 ต้นต่อ 1 หลุมหลังปลูก 14 วัน ให้น้ำชลประทานโดยใช้สปริงเกอร์

5. การใส่ปุ๋ยและเชื้อ *Azotobacter chroococcum* และ *Azospirillum lipoferu*

5.1 การใส่ปุ๋ย F1: ใส่ปุ๋ย สูตร 15-15-15 รองพื้นในอัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ หลังจากนั้น 20 วัน ใส่ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) ในอัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่ โดยโรยข้างแถวแล้วพรวนดินกลบ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5.2 การใส่ปุ๋ย F2: ใส่ปุ๋ย สูตร 15-15-15 รองพื้นในอัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่ หลังจากนั้น 20 วัน ใส่ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) ในอัตรา 12.5 กิโลกรัมต่อไร่ โดยโรยข้างแถวแล้วพรวนดินกลบ

5.3 การใช้เชื้อ A: ใช้ผงเชื้อ *Azotobacter chroococcum* คลุกเมล็ด และใส่หินฟอสเฟตอัตรา 3.75 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ และปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์อัตรา 3.75 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่ หลังจากปลูกข้าวโพด 20 วัน โดยโรยข้างแถวแล้วพรวนดินกลบ

5.4 การใช้เชื้อ S: ใช้ผงเชื้อ *Azospirillum lipoferum* คลุกเมล็ด และใส่หินฟอสเฟตอัตรา 3.75 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ และปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์อัตรา 3.75 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่ หลังจากปลูกข้าวโพด 20 วัน โดยโรยข้างแถวแล้วพรวนดินกลบ

5.5 การใช้ปุ๋ยพืชสด SB: ปลูกถั่วเหลืองเป็นปุ๋ยพืชสด และใส่หินฟอสเฟตอัตรา 3.75 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ และปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์อัตรา 3.75 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่ หลังจากปลูกข้าวโพด 20 วัน โดยโรยข้างแถวแล้วพรวนดินกลบ

5.6 การใช้ปุ๋ยพืชสด MB: ปลูกถั่วเขียวเป็นปุ๋ยพืชสด และใส่หินฟอสเฟตอัตรา 3.75 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ และปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์อัตรา 3.75 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่ หลังจากปลูกข้าวโพด 20 วัน โดยโรยข้างแถวแล้วพรวนดินกลบ

6. การเก็บข้อมูล

6.1 ปริมาณเชื้ออะโซโตแบคเตอร์และเชื้ออะโซสไปริลลัม ทุก 2 สัปดาห์โดยเก็บดินที่ระดับความลึก 0-10 เซนติเมตร แล้วนำตัวอย่างดินแช่น้ำแข็งในถังน้ำแข็งทันที การหาปริมาณเชื้ออะโซโตแบคเตอร์ใช้อาหาร Ashby's Medium และเชื้ออะโซสไปริลลัมใช้อาหาร Nitrogen Free Bromothymol Blue (NFB) Medium (Dobereiner *et. al.*, 1976) นับปริมาณเชื้อทั้งสองชนิดด้วยวิธี dilution plate count

6.2 อัตราการตรึงไนโตรเจนโดยใช้วิธี acetylene reduction (Hardy *et. al.*, 1968; Hardy *et. al.*, 1973) โดยเก็บผลทุกแปลงทดลอง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

6.2.1 วัดอัตราการตรึงไนโตรเจนของจุลินทรีย์อิสระในดิน จำนวน 2 ครั้ง คือ หลังปลูกข้าวโพด 4 สัปดาห์ และหลังปลูกข้าวโพด 8 สัปดาห์ เก็บตัวอย่างดินรอบรากพืช ปริมาณ 150 กรัม โดยใช้พลั่วตักดินใส่ขวดแก้วขนาด 24 ออนซ์ (682 มิลลิลิตร) ปิดด้วยฝาที่มีแผ่นยางกันรั่ว ใช้เข็มฉีดยา (syringe) ดูดอากาศออกจากขวดแก้วผ่านทางจุกยางที่ติดอยู่ที่ฝาขวด 50 มิลลิลิตร จากนั้นฉีดแก๊สอะเซทีลีน 50 มิลลิลิตร เข้าไปในขวดโดยเข็มฉีดยา (ภาพที่ 1ก) บ่มขวดแก้วไว้ใต้ดินในแปลงทดลองนาน 3 ชั่วโมง จากนั้นใช้เข็มฉีดยาขนาด 10 มิลลิลิตร ดูดแก๊สในขวดแก้วแล้วนำมาเก็บในหลอดเก็บแก๊ส จากนั้นนำมาวัดปริมาณแก๊สเอทธิลีนที่เกิดขึ้นด้วยเครื่อง gas chromatography

6.2.2 วัดอัตราการตรึงไนโตรเจนของจุลินทรีย์อิสระบริเวณรากข้าวโพดสำหรับ ใช้วิธีการเดียวกันกับการเก็บตัวอย่างดินแต่เปลี่ยนจากดินในข้อ 6.1 มาเป็นรากข้าวโพด (ภาพที่ 1ข)

ภาพที่ 1 การเก็บตัวอย่างดิน (ก) และรากข้าวโพด (ข) เพื่อศึกษาอัตราการตรึงไนโตรเจน

จากนั้นคำนวณอัตราการตรึงไนโตรเจนโดย

อัตราการตรึงไนโตรเจนในดิน (กรัมไนโตรเจน ต่อตารางเมตร ต่อชั่วโมง) =

$$\frac{n\ C_2H_4 \times MWN_2 \times ms}{c}$$

อัตราการตรึงไนโตรเจนในพืช (กรัมไนโตรเจน ต่อตารางเมตร ต่อชั่วโมง) =

$$\frac{n\ C_2H_4 \times MWN_2 \times Np}{c}$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

หมายเหตุ

n C_2H_4 = จำนวนโมลเอทธิลีนที่เกิดขึ้น (โมลต่อกรัมดินแห้งต่อชั่วโมง)

MWN_2 = มวลโมเลกุลของแก๊สไนโตรเจน (28)

ms = มวลของดินพื้นที่ 1 ตารางเมตร ความลึก 15 เซนติเมตร (195,000 กรัมต่อตารางเมตร)

Np = จำนวนต้นพืชบนพื้นที่ 1 ตารางเมตร (5.33 ต้น ต่อตารางเมตร)

c = ค่าที่ใช้ในการเปลี่ยนจำนวนโมลของเอทธิลีนที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมของเอนไซม์ไนโตรจีเนสไปเป็นจำนวนโมลของไนโตรเจนที่ตรึงได้ตามทฤษฎี (3)

6.3 การเจริญเติบโตของข้าวโพด วัดความสูงของต้นข้าวโพด จากข้อล่างสุดของลำต้นเหนือดินถึงคอใบ (leaf collar) ที่อยู่บนสุดของลำต้น โดยวัดที่ข้าวโพดอายุ 4, 6 และ 8 สัปดาห์

6.4 ผลผลิตข้าวโพด เก็บเกี่ยวข้าวโพดที่ระยะ 62 วัน พื้นที่เก็บเกี่ยว 9 ตารางเมตร

6.4.1 มวลผลผลิตและคัดขนาดฝักผลผลิต โดยฝักขนาดใหญ่มีความยาว 17 เซนติเมตรขึ้นไป ขนาดกลางมีความยาว 15-17 เซนติเมตร ขนาดเล็กมีความยาว 13-15 เซนติเมตร ฝักเสียมีความยาวต่ำกว่า 13 เซนติเมตรและติดเมล็ดไม่เต็มฝัก (กรมวิชาการเกษตร, 2546)

6.4.2 ค่าความหวานของข้าวโพด ด้วยเครื่องมือ hand refractometer

6.4.3 มวลแห้งของต้น ราก ฝัก

6.5 ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในพืช

สุ่มตัวอย่างต้นข้าวโพดจำนวน 8 ต้น ในแต่ละแปลงทดลอง นำตัวอย่างพืชไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จนกระทั่งมวลคงที่ แล้วนำตัวอย่างของพืชมาบด จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหารในพืช คือ การหาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด โพแทสเซียมทั้งหมด โดยย่อยตัวอย่างพืชด้วย digestion mixture (H_2SO_4 – Na_2SO_4 – Se mixture) แล้วนำไปวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด โดยการกลั่น วิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสโดยวิธี colorimetric method (vanado – molybdate yellow color) และวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมโดยวิธี atomic

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

emission spectrophotometry (ทัศนีย์และจงรักษ์, 2542) เมื่อได้เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนทั้งหมดในพืช นำมาคำนวณปริมาณไนโตรเจนที่มีทั้งหมดในพืชในหน่วยกรัมต่อตารางเมตร โดยใช้สมการ

ปริมาณไนโตรเจนที่มีทั้งหมดในพืช (กรัม ต่อตารางเมตร) $= \frac{c}{100} \times W$

หมายเหตุ

c = ความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมดในข้าวโพด (%)

W = น้ำหนักแห้งของข้าวโพด (กรัมต่อตารางเมตร)

จากนั้นคำนวณปริมาณไนโตรเจนที่ตรึงได้จากปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในพืชโดยใช้สมการ

ปริมาณไนโตรเจนที่ตรึงได้ (กรัม ต่อตารางเมตร) $= [NP + NS_2] - [NS_1 + NF + NR]$

หมายเหตุ

NP = ปริมาณไนโตรเจนในพืช (กรัม ต่อตารางเมตร)

NS_1 = ปริมาณไนโตรเจนในดินก่อนปลูก (กรัม ต่อตารางเมตร)

NS_2 = ปริมาณไนโตรเจนในดินหลังเก็บเกี่ยว (กรัม ต่อตารางเมตร)

NF = ปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ย (กรัม ต่อตารางเมตร)

NR = ปริมาณไนโตรเจนจากฝน (กรัม ต่อตารางเมตร)

NR = ปริมาณไนโตรเจนจากฝน เท่ากับ 10 ปอนด์ / เอเคอร์ / ปี (Barbarick, มปป) หรือ 0.1926 กรัมต่อตารางเมตรต่อฤดูปลูก

7. การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของข้อมูลเพื่อหาค่า F – value พร้อมทั้งค่าสถิติสำหรับเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแต่ละตำรับทดลอง ตามวิธีของ DMRT (Duncan's multiple range test)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

8. สถานที่ทำการทดลอง

ห้องปฏิบัติการทางจุลชีววิทยาทางดิน ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

ห้องปฏิบัติการเคมีและความอุดมสมบูรณ์ของดิน ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

ห้องปฏิบัติการทางฟิสิกส์ของดิน ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

แปลงทดลองภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

9. ระยะเวลาทำการทดลอง

ดำเนินการทดลองในช่วงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2552 ถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ.2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลและวิจารณ์

1. ปริมาณเชื้ออะโซโตแบคเตอร์และอะโซสไปริลลัมในดินที่ปลูกข้าวโพดหวาน

จากการศึกษาปริมาณเชื้ออะโซโตแบคเตอร์และเชื้ออะโซสไปริลลัมในระบบการปลูกข้าวโพดแบบไถพรวนและไม่ไถพรวน โดยเก็บตัวอย่างดินบริเวณรอบเขตรากพืช (rhizosphere) ทุก 2 สัปดาห์ เพื่อศึกษาปริมาณเชื้อ ตั้งแต่เริ่มปลูกจนถึงระยะเก็บเกี่ยว รวม 8 สัปดาห์ พบว่าระบบการปลูกแบบไถพรวนและไม่ไถพรวนมีปริมาณเชื้ออะโซโตแบคเตอร์และเชื้ออะโซสไปริลลัมไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ภาพที่ 2 และ 3) แต่พบว่าการปลูกแบบไม่ไถพรวนมีแนวโน้มปริมาณเชื้ออะโซโตแบคเตอร์และเชื้ออะโซสไปริลลัมมากกว่าการปลูกแบบไถพรวน เนื่องจากการปลูกพืชแบบไม่ไถพรวนเป็นการปลูกลงบนพื้นที่ที่มีเศษซากพืชที่แห้งตายแล้วปกคลุมอยู่โดยไม่รบกวนดินมากจึงทำให้ดินสามารถรักษาอินทรียวัตถุซึ่งเป็นแหล่งอาหารสำหรับจุลินทรีย์อิสระไว้ได้มากกว่าการปลูกแบบไถพรวน ซึ่งสอดคล้องกับ Linn and Doran (1984) ที่พบว่าการปลูกแบบไม่ไถพรวนมีจำนวนประชากรของแบคทีเรียที่ต้องการอากาศ (aerobe) มากกว่าการปลูกแบบไถพรวนโดยมีสัดส่วนของจำนวนแบคทีเรียในระบบการปลูกแบบไม่ไถพรวน ต่อ ไถพรวน เท่ากับ 1.41 (ที่ความลึก 0-75 เซนติเมตร)

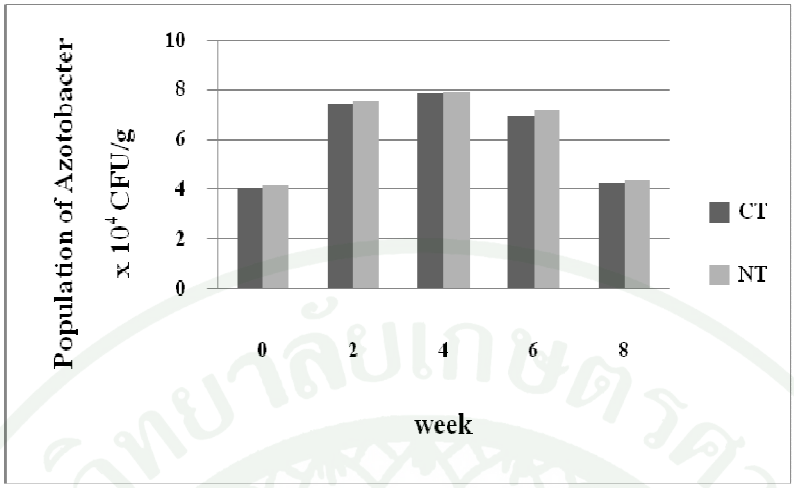
ในกรณีของแหล่งธาตุอาหารพืชที่แตกต่างกัน พบว่าตำรับที่มีการใช้เชื้ออะโซโตแบคเตอร์ส่งผลให้มีปริมาณของเชื้ออะโซโตแบคเตอร์สูงที่สุด โดยระยะก่อนปลูก หลังปลูก 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์ มีปริมาณเท่ากับ 3.75×10^4, 10.50×10^4, 11.38×10^4, 10.94×10^4 และ 7.75×10^4 CFU/g ตามลำดับ (ภาพที่ 4) สำหรับการใส่เชื้ออะโซสไปริลลัมส่งผลให้มีปริมาณของเชื้ออะโซสไปริลลัมสูงที่สุดเช่นกัน โดยระยะก่อนปลูก หลังปลูก 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์ มีปริมาณเท่ากับ 2.50×10^4, 9.50×10^4, 10.88×10^4, 6.75×10^4 และ 4.63×10^4 CFU/g ตามลำดับ (ภาพที่ 5)

สังเกตได้ว่าปริมาณของเชื้ออะโซโตแบคเตอร์เพิ่มขึ้นหลังจากการปลูกข้าวโพด 2 สัปดาห์ หลังจากนั้นจะมีปริมาณค่อนข้างคงที่จนถึงสัปดาห์ที่ 6 และลดลงในสัปดาห์ที่ 8 ส่วนเชื้ออะโซสไปริลลัมมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในสัปดาห์ที่ 2 และ 4 หลังปลูกข้าวโพด และมีจำนวนลดลงอย่างรวดเร็วจนมีปริมาณใกล้เคียงกับก่อนปลูก ในสัปดาห์ที่ 8 แสดงว่าปริมาณของเชื้ออะโซโตแบคเตอร์และอะโซสไปริลลัมเพิ่มขึ้นในระยะแรกของการเจริญเติบโตของข้าวโพด และเริ่มลดลงในช่วงสัปดาห์ที่ 6 ซึ่งเป็นระยะที่ข้าวโพดมีการเจริญเติบโตทางลำต้นเต็มที่แล้วและใกล้ถึงระยะเก็บเกี่ยว อิทธิพลของพืชที่มีต่อปริมาณของเชื้อจุลินทรีย์บริเวณเขตรากพืช ได้แก่ สารที่รากพืชปลดปล่อย

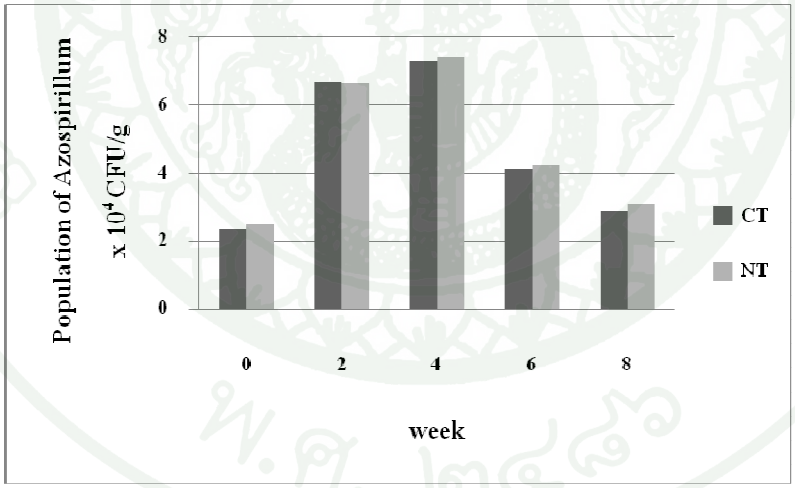
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ออกมา (root exudates) และเนื้อเยื่อพืชที่ตายรวมถึงคราบรากพืชที่พืชสลัดออกมา สำหรับในระยะแรกของการเจริญเติบโตของพืชนั้นจุลินทรีย์ได้ประโยชน์จากสารที่รากพืชปลดปล่อยออกมามากกว่าเนื้อเยื่อพืชที่ตายรวมถึงคราบรากพืชที่พืชสลัดออกมาโดยในระยะแรกของการเจริญเติบโตของพืชนั้นพืชจะปลดปล่อยสารทางรากในปริมาณมาก โดยสารที่ปลดปล่อยออกมานั้นประกอบด้วย exudates (น้ำตาลและกรดอะมิโน) secretions เมือกเหลว (plant mucilage) เมือกเจล (mucigel) และ lysate (Bolton *et al*, 1992) ซึ่งสารอินทรีย์ที่พืชปลดปล่อยออกมานี้จุลินทรีย์พวกที่ใช้สารอินทรีย์เป็นแหล่งพลังงาน เช่น อะโซโตแบคเตอร์และอะโซสไปริลลัมสามารถใช้เป็นแหล่งอาหารและพลังงานได้ อีกทั้งยังช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตและกิจกรรมของจุลินทรีย์ได้อีกด้วย (Liste and Alexander, 2000) ส่วนในสัปดาห์ที่ 6 และ 8 เป็นระยะที่พืชเริ่มแก่และใกล้เก็บเกี่ยวผลผลิต การปลดปล่อยสารออกมาทางรากจะเปลี่ยนแปลงไปทั้งชนิดและปริมาณโดยมีการปลดปล่อยสารในปริมาณที่ลดลง จุลินทรีย์ที่อาศัยบริเวณรากพืชจะได้รับประโยชน์จากเนื้อเยื่อพืชที่ตายและคราบรากพืชที่พืชสลัดออกมามากกว่าได้ประโยชน์จากสารที่รากพืชปลดปล่อยออกมา โดยเนื้อเยื่อพืชที่ตายและคราบรากพืชที่พืชสลัดออกมานั้นจะถูกจุลินทรีย์ใช้หมดอย่างรวดเร็ว เป็นผลให้ช่วงสัปดาห์ที่ 6 และ 8 ปริมาณของจุลินทรีย์ในเขตรากพืชลดลงอย่างรวดเร็ว (วารุณี, 2544) สอดคล้องกับ Hegazi *et. al.* (1979) ที่ศึกษาปริมาณเชื้ออะโซโตแบคเตอร์ในดิน Egyptian ที่มีการปลูกข้าวโพดร่วมกับการใช้เชื้ออะโซโตแบคเตอร์ พบว่าปริมาณของเชื้ออะโซโตแบคเตอร์บริเวณเขตรากพืชหลังการปลูกข้าวโพด 6, 9 และ 12 สัปดาห์ มีปริมาณเท่ากับ 58.50 x 10^4 CFU/g, 19.70 x 10^4 CFU/g และ 13.30 x 10^4 CFU/g ตามลำดับ ซึ่งระยะ 6 สัปดาห์เป็นระยะของการเจริญเติบโต ส่วนสัปดาห์ที่ 9 และ 12 เป็นระยะที่ข้าวโพดเริ่มแก่ สำหรับเชื้ออะโซสไปริลลัมมีจำนวนลดลงรวดเร็วกว่าเชื้ออะโซโตแบคเตอร์เนื่องจากอะโซสไปริลลัมมักอาศัยอยู่ใกล้ชิดกับรากข้าวโพด (Osmar *et. al.*, 2004) จึงน่าจะได้รับอิทธิพลจากสารที่พืชปลดปล่อยออกมาและเนื้อเยื่อพืชที่ตายรวมถึงคราบรากพืชที่พืชสลัดออกมามากกว่า ดังนั้นเมื่อพืชแก่ตัวลงและใกล้ตายเชื้ออะโซสไปริลลัมจึงลดลงอย่างรวดเร็วมากกว่าเชื้ออะโซโตแบคเตอร์ที่อยู่ห่างไกลรากพืชมากกว่า

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

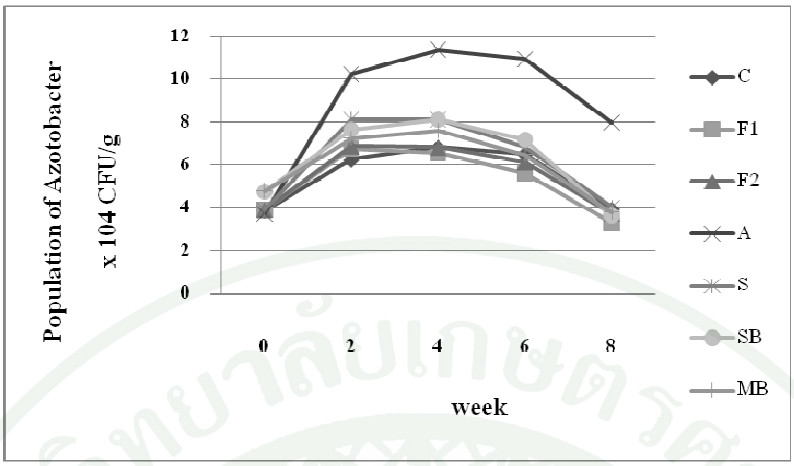


ภาพที่ 2 ผลของระบบการไถพรวนที่แตกต่างกันต่อปริมาณเชื้ออะโซโตแบคเตอร์ระหว่างการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2

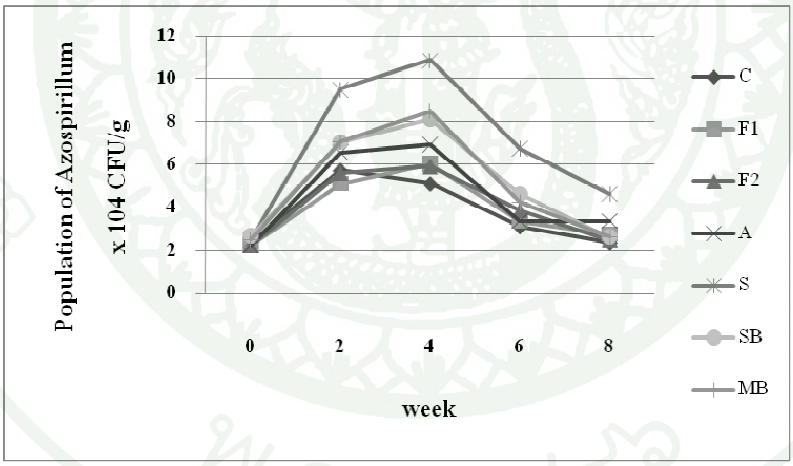


ภาพที่ 3 ผลของระบบการไถพรวนที่แตกต่างกันต่อปริมาณเชื้ออะโซสไปริลลัมระหว่างการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 4 ผลของแหล่งที่มาของธาตุอาหารพืชที่แตกต่างกันต่อปริมาณเชื้ออะโซโตแบคเตอร์ระหว่างการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2



ภาพที่ 5 ผลของแหล่งที่มาของธาตุอาหารพืชที่แตกต่างกันต่อปริมาณเชื้ออะโซสไปริลลัมระหว่างการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. อัตราการตรึงไนโตรเจนของจุลินทรีย์อิสระในดินที่ปลูกข้าวโพดหวาน

การศึกษาอัตราการตรึงไนโตรเจนของจุลินทรีย์อิสระในดินที่มีการปลูกข้าวโพดหวาน เก็บข้อมูลในสัปดาห์ที่ 4 หลังการปลูกข้าวโพด ซึ่งเป็นช่วงที่ข้าวโพดหวานกำลังเจริญเติบโตและอยู่ในระยะสร้างช่อดอก และ สัปดาห์ที่ 8 ซึ่งเป็นระยะเก็บเกี่ยว เปรียบเทียบอัตราการตรึงไนโตรเจนในดินและบริเวณรากพืชระหว่างระบบการไถพรวนและแหล่งที่มาของธาตุอาหารพืชที่แตกต่างกัน พบว่าระบบการไถพรวนไม่มีผลต่ออัตราการตรึงไนโตรเจนในดินและบริเวณรากพืช ทั้งในสัปดาห์ที่ 4 และ 8 โดยอัตราการตรึงไนโตรเจนในดินมีค่าอยู่ระหว่าง 4.397 – 6.694 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร (ตารางที่ 4) ส่วนการตรึงไนโตรเจนบริเวณรากที่ค่าอยู่ในช่วง 0.031 – 0.125 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร (ตารางที่ 5)

สำหรับแหล่งที่มาของธาตุอาหารพืชที่ต่างกันส่งผลให้อัตราการตรึงไนโตรเจนทั้งในดินและบริเวณรากพืชแตกต่างกันทางสถิติ โดยตำรับที่ใช้เชื้ออะโซโตแบคเตอร์มีอัตราการตรึงไนโตรเจนในดินสูงที่สุด ทั้งในสัปดาห์ที่ 4 และ 8 โดยมีค่าเท่ากับ 6.594 และ 6.694 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร ตามลำดับ ส่วนตำรับที่ใช้เชื้ออะโซสไปริลลัม ใช้ถั่วเหลืองเป็นปุ๋ยพืชสด ใช้ถั่วเขียวเป็นปุ๋ยพืชสด ใช้ปุ๋ยเคมีอัตรา 19 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ และใช้ปุ๋ยเคมีอัตรา 9.5 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ มีอัตราการตรึงไนโตรเจนรองลงมา เห็นได้ว่าตำรับที่ใช้เชื้ออะโซโตแบคเตอร์มีผลให้ดินมีอัตราการตรึงไนโตรเจนมากกว่าตำรับที่ไม่ใช้เชื้ออะโซโตแบคเตอร์ สอดคล้องกับผลการทดลองในส่วนของปริมาณของเชื้ออะโซโตแบคเตอร์ ที่พบว่าตำรับที่มีการใช้เชื้ออะโซโตแบคเตอร์มีปริมาณของเชื้ออะโซโตแบคเตอร์สูงที่สุด ปริมาณเชื้ออะโซโตแบคเตอร์ที่เพิ่มขึ้นนี้จึงเป็นสาเหตุหนึ่งที่ส่งผลให้มีอัตราการตรึงไนโตรเจนสูงไปด้วยเนื่องจากเชื้ออะโซโตแบคเตอร์เป็นจุลินทรีย์ที่มีศักยภาพสูงในการตรึงไนโตรเจน มีการศึกษาพบว่าเชื้ออะโซโตแบคเตอร์ที่แยกได้จากอ้อยมีอัตราการตรึงไนโตรเจนในช่วง 60.01 – 34.56 ไมโครกรัมไนโตรเจนต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร (Varmai and Rao, 1982)

สำหรับการตรึงไนโตรเจนบริเวณรากพืช พบว่าตำรับที่มีการใช้เชื้ออะโซสไปริลลัมมีการตรึงไนโตรเจนบริเวณรากพืชมากที่สุด เนื่องจากเชื้ออะโซสไปริลลัมส่วนใหญ่มักอาศัยอยู่ใกล้ชิดกับรากข้าวโพด (Osmar *et. al.*, 2004) โดยในสัปดาห์ที่ 4 และ 8 การใช้เชื้ออะโซสไปริลลัมมีอัตราการตรึงไนโตรเจนบริเวณรากมากที่สุด เท่ากับ 0.0125 และ 0.046 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร (ตารางที่ 5) แต่มีข้อสังเกตว่าอัตราการตรึงไนโตรเจนในสัปดาห์ที่ 8 จะมีค่าน้อยกว่าในสัปดาห์ที่ 4 เนื่องจากเชื้ออะโซสไปริลลัมมีจำนวนลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อพืชเริ่มแก่ตัวลง (ภาพที่ 6)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประกอบกับจุลินทรีย์อิสระส่วนใหญ่มักอาศัยอยู่ในดินบริเวณรากพืชมากกว่าอาศัยอยู่ที่บริเวณผิวราก พืช การที่เชื้ออะโซสไปริลลัมส่งผลให้มีอัตราการตรึงไนโตรเจนบริเวณรากมากที่สุด สอดคล้องกับ Barber *et. al.* (1976) ที่ศึกษาพบว่าข้าวโพดที่ปลูกโดยใช้เชื้ออะโซสไปริลลัม 16 สายพันธุ์จะมีปริมาณการตรึงไนโตรเจนมากกว่าการไม่ใช้เชื้อดังกล่าว คือมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 16 กรัมไนโตรเจนต่อเฮกแตร์ต่อวัน (0.067 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร) ขณะที่การไม่ใช้เชื้ออะโซสไปริลลัมมีการตรึงไนโตรเจน 3 กรัมไนโตรเจนต่อวันต่อเฮกแตร์ (0.013 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)

การใช้เชื้ออะโซโตแบคเตอร์และเชื้ออะโซสไปริลลัมนั้นส่งผลให้มีการตรึงไนโตรเจนทั้งในดินและบริเวณรากพืชเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้ดินมีปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้นตามไปด้วย (Shabaev, 1991) ซึ่งไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นนี้พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เช่นเดียวกันกับไนโตรเจนที่ได้จากปุ๋ยเคมี โดยไนโตรเจนที่ได้เพิ่มมานี้สามารถช่วยให้พืชเจริญเติบโตและมีผลผลิตเพิ่มมากขึ้นได้ ดังนั้นการใช้เชื้ออะโซโตแบคเตอร์และเชื้ออะโซสไปริลลัมจึงสามารถช่วยลดการใช้ปุ๋ยเคมีไนโตรเจนลงได้ (ธงชัย, 2550; Osmar, 2004) สอดคล้องกับ Osmar (2004) ที่รายงานว่าการใช้เชื้ออะโซสไปริลลัมสามารช่วยลดการใช้ปุ๋ยเคมีได้ 40 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการใช้ถั่วเหลืองและถั่วเขียวเป็นปุ๋ยพืชสดนั้นมีแนวโน้มว่าสามารถส่งเสริมให้จุลินทรีย์อิสระในดินตรึงไนโตรเจนได้มากขึ้นกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีและการไม่ใช้ปุ๋ย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 4 ผลของระบบการไถพรวนและแหล่งที่มาของธาตุอาหารพืชที่แตกต่างกันที่มีต่ออัตราการตรึงไนโตรเจนในดิน (NFS) หลังการปลูกข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2 ที่อายุ 4 และ 8 สัปดาห์

Plant mineral	NFS 4 week (mg N / hr / m^2)			NFS 8 week (mg N / hr / m^2)		
	CT	NT	average	CT	NT	average
C	4.623	4.170	4.397 d	4.683	4.775	4.729 c
F1	4.874	4.910	4.892 c	4.782	4.890	4.836 bc
F2	4.936	5.062	4.999 c	4.978	5.100	5.039 bc
A	6.619	6.569	6.594 a	6.452	6.936	6.694 a
S	5.475	5.369	5.422 b	5.515	5.393	5.454 b
SB	5.161	5.221	5.191 bc	5.105	5.020	5.062 bc
MB	5.107	5.097	5.102 bc	5.125	5.235	5.180 bc
average	5.257	5.200		5.234	5.335	
CV(%)						
Main plot			4.110			2.757
Sub plot			7.056			10.140
F-test						
Tillage(T)			ns (0.722)			ns (0.153)
Plant mineral(P)			** (0.000)			** (0.000)
TxP			ns (0.953)			ns (0.973)

หมายเหตุ NFS nitrogen fixation in soil

ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 %โดยวิธี DMRT

** แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % โดยวิธี DMRT

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กที่เหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %โดยการใช้ DMRT

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 5 ผลของระบบการไถพรวนและแหล่งที่มาของธาตุอาหารพืชที่แตกต่างกันที่มีต่ออัตราการตรึงไนโตรเจนบริเวณราก (NFR) หลังการปลูกข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2 ที่อายุ 4 และ 8 สัปดาห์

Plant mineral	NFR 4 week (mg N / hr / m^2)			NFR 8 week (mg N / hr / m^2)		
	CT	NT	average	CT	NT	average
C	0.055	0.047	0.051 c	0.031	0.038	0.034 b
F1	0.066	0.062	0.064 c	0.038	0.042	0.040 ab
F2	0.064	0.063	0.064 c	0.038	0.042	0.040 ab
A	0.087	0.075	0.081 b	0.040	0.040	0.040 ab
S	0.121	0.129	0.125 a	0.044	0.048	0.046 a
SB	0.051	0.068	0.060 c	0.038	0.037	0.038 b
MB	0.069	0.051	0.060 c	0.040	0.040	0.040 b
average	0.073	0.071		0.038	0.042	
CV(%)						
Main plot			8.084			24.848
Sub plot			20.985			13.706
F-test						
Tillage(T)			ns (0.070)			ns (0.521)
Plant mineral(P)			** (0.000)			* (0.048)
TxP			ns (0.342)			ns (0.841)

หมายเหตุ NFR nitrogen fixation in root

ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 %โดยวิธี DMRT

** แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % โดยวิธี DMRT

* แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กที่เหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %โดยการใช้ DMRT

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. การเจริญเติบโตของพืชและผลผลิตของข้าวโพด

ศึกษาการปลูกข้าวโพดหวานโดยการไม่ไถพรวน เปรียบเทียบกับการไถพรวนร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมี เชื้ออะโซโตแบคเตอร์ เชื้ออะโซสไปริลลัม และใช้ปุ๋ยพืชสด ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวาน (ภาพที่ 6) และผลผลิตของข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2 พบว่า ระบบการไถพรวนที่แตกต่างกันไม่มีผลทำให้ความสูงของข้าวโพดหวานแตกต่างกันทางสถิติ ทั้งในระยะ 4, 6 และ 8 สัปดาห์ และไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างระบบการไถพรวนร่วมกับแหล่งที่มาของธาตุอาหารพืชในทุกระยะการเจริญเติบโต (ตารางที่ 6) แต่มีแนวโน้มว่าการปลูกแบบไม่ไถพรวนจะส่งผลให้ข้าวโพดหวานมีความสูงมากกว่าการปลูกแบบไถพรวน ในกรณีของแหล่งมี่มาของธาตุอาหารพืช พบว่ามีผลให้ความสูงของข้าวโพดหวานแตกต่างกันทางสถิติ โดยตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 19 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ ทำให้ความสูงของต้นมากที่สุด อาจเนื่องมาจากปุ๋ยเคมีนั้นสามารถปลดปล่อยธาตุอาหารให้แก่พืชได้เร็วและมีปริมาณธาตุอาหารสูงจึงเป็นผลให้ข้าวโพดมีความสูงต้นมากกว่าการใช้จุลินทรีย์หรือปุ๋ยพืชสด เนื่องจากการได้ธาตุอาหารพืชจากจุลินทรีย์หรือปุ๋ยพืชสดนั้นต้องใช้เวลาเพราะจุลินทรีย์หรือปุ๋ยพืชสดจะค่อยๆปลดปล่อยธาตุอาหารอย่างช้าๆแต่พืชจะได้ธาตุอาหารอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตามตำรับที่มีการใช้เชื้ออะโซโตแบคเตอร์ ใช้เชื้ออะโซสไปริลลัม ใช้ถั่วเหลืองและถั่วเขียวเป็นปุ๋ยพืชสด ส่งผลให้ต้นข้าวโพดมีความสูงมากกว่าตำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ยและเชื้อจุลินทรีย์

สำหรับมวลแห้งราก และมวลแห้งส่วนเหนือดินซึ่งประกอบด้วย ต้น ใบ และฝัก พบว่าระบบการปลูกแบบไถพรวนและไม่ไถพรวนมีมวลแห้งราก และมวลแห้งส่วนเหนือดินไม่แตกต่างกันทางสถิติ และไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างระบบการไถพรวนร่วมกับแหล่งที่มาของธาตุอาหารพืชในทุกระยะการเจริญเติบโต แต่แหล่งที่มาของธาตุอาหารพืชที่ต่างกันส่งผลต่อมวลแห้งของส่วนเหนือดิน โดยตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 19 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ ส่งผลให้มวลแห้งของส่วนเหนือดินมีค่ามากที่สุด คือ 1,873.63 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนตำรับที่มีการใช้เชื้ออะโซโตแบคเตอร์ การใช้เชื้ออะโซสไปริลลัม และถั่วเขียวเป็นปุ๋ยพืชสดมีน้ำหนักแห้งของส่วนเหนือดินไม่แตกต่างกับตำรับที่มีการใช้ปุ๋ยเคมีอัตรา 9.5 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ ส่วนมวลแห้งของรากไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติเมื่อใช้แหล่งที่มาของธาตุอาหารพืชที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม ตำรับที่มีการใช้เชื้ออะโซโตแบคเตอร์ การใช้เชื้ออะโซสไปริลลัม การใช้ถั่วเหลืองและถั่วเขียวเป็นปุ๋ยพืชสดส่งผลให้มีมวลแห้งของข้าวโพดไม่แตกต่างกับการใช้ปุ๋ยเคมีอัตรา 9.5 กิโลกรัมต่อไร่

มวลฝักทั้งเปลือก มวลฝักปอกเปลือก และมวลฝักดีของข้าวโพดหวาน พบว่ามีปริมาณไม่แตกต่างกันทางสถิติในระบบการไถพรวนที่ต่างกัน แต่แหล่งของธาตุอาหารพืชที่ต่างกันมีผลให้มวล

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ฝักทั้งเปลือก มวลฝักปอกเปลือก และมวลฝักดีของข้าวโพดหวานแตกต่างกันทางสถิติ โดยตำรับที่มีการใช้ปุ๋ยเคมีอัตรา 19 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ ส่งผลให้มวลฝักทั้งเปลือก มวลฝักปอกเปลือก และมวลฝักดี มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 2,380.00, 1,649.17 และ 1,539.61 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ (ตารางที่ 8 และ 9) ส่วนตำรับที่มีการใช้เชื้ออะโซโตแบคเตอร์ เชื้ออะโซสไปริลัม และใช้ถั่วเขียวเป็นปุ๋ยพืชสด มีมวลฝักทั้งเปลือก มวลฝักปอกเปลือก และมวลฝักดีของข้าวโพดหวาน ไม่แตกต่างกับการใช้ปุ๋ยเคมีอัตรา 9.5 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ จากนั้นนำฝักดีทั้งหมดมาคัดแยกและนับจำนวนฝักขนาดต่างๆ (ภาพที่ 7) พบว่าตำรับที่มีการใช้ปุ๋ยเคมีอัตรา 19 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ มีจำนวนฝักใหญ่มากที่สุด ส่วนตำรับที่มีการใช้เชื้ออะโซโตแบคเตอร์ ใช้เชื้ออะโซสไปริลัม และใช้ถั่วเขียวเป็นปุ๋ยพืชสดมีจำนวนฝักใหญ่และฝักกลางไม่แตกต่างกันทางสถิติกับการใช้ปุ๋ยเคมีอัตรา 9.5 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการใช้เชื้ออะโซโตแบคเตอร์ การใช้เชื้ออะโซสไปริลลัม และการใช้ถั่วเขียวเป็นปุ๋ยพืชสดมีปริมาณผลผลิตของข้าวโพดหวานเทียบเท่ากับการใช้ปุ๋ยเคมีอัตราครึ่งหนึ่งของปรกติ และมีความหวานของข้าวโพดไม่แตกต่างกันทางสถิต (ตารางที่ 10 และ 11)

สาเหตุที่ทำให้การเจริญเติบโตและปริมาณผลผลิตในตำรับที่ใส่เชื้ออะโซโตแบคเตอร์และอะโซสไปริลลัมอยู่ในระดับค่อนข้างสูงนั้นอาจเนื่องมาจากปริมาณไนโตรเจนที่ข้าวโพดได้รับมีปริมาณค่อนข้างสูง เพราะเชื้ออะโซโตแบคเตอร์และเชื้ออะโซสไปริลลัมเป็นจุลินทรีย์ที่สามารถเพิ่มไนโตรเจนให้แก่ดินได้ (Shabaev *et. al.*, 1991) แต่การเจริญเติบโตและผลผลิตที่เพิ่มขึ้นนั้นอาจไม่ได้เป็นผลมาจากปริมาณไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นเพียงอย่างเดียว เนื่องจากเชื้ออะโซโตแบคเตอร์และเชื้ออะโซสไปริลลัมสามารถสร้างสารส่งเสริมการเจริญเติบโต ได้แก่ ออกซิน ไซโตไคนิน และจิบเบอริลิน (Martinez *et. al.,* 1989; Bottini *et. al.*, 1989; Lambrecht *et. al.*, 2000) นอกจากนี้ยังพบว่าเชื้ออะโซสไปริลลัมสามารถช่วยให้รากพืชสามารถหาน้ำและดูดธาตุอาหารได้ดีขึ้น และยังสามารถรีดิวซ์ไนเตรต และละลายฟอสเฟตได้ (Pandey, 1998; Jofre, 1998; Olubayi, 1998; Fallik, 1996; Steenhoudt, 2000) อย่างไรก็ตามผลการทดลองในครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่าการใช้เชื้ออะโซโตแบคเตอร์เชื้ออะโซสไปริลลัมสามารถลดการใช้ปุ๋ยเคมีลงได้ (ธงชัย, 2550; Osmar *et. al.*, 2004) โดยเฉพาะปุ๋ยเคมีไนโตรเจน

สำหรับการใช้ถั่วเขียวเป็นปุ๋ยพืชสดนั้นถือเป็นการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดหนึ่งที่ได้จากการไถกลบพืชที่ยังสดอยู่ลงไปในดิน ถ้าดินอยู่ในสภาพที่มีความชื้นเหมาะสมแก่การดำรงชีพของจุลินทรีย์ก็สามารถช่วยย่อยสลายซากพืชที่ไถกลบนั้นให้เป็นอินทรียวัตถุต่อไป อีกทั้งการปลูกถั่วได้คลุกเชื้อไรโซเบียมลงในเมล็ดถั่วก่อนปลูกโดยไรโซเบียมจะช่วยตรึงไนโตรเจนซึ่งไนโตรเจนที่ตรึงไว้จะเป็นประโยชน์ต่อพืชที่ปลูกตาม (Jordan *et al*, 1993) ส่วนการใช้ถั่วเหลืองเป็นปุ๋ยพืชสดนั้นมีมวลฝักทั้งเปลือก มวลฝักปอกเปลือก และมวลฝักดีน้อยกว่า เนื่องจากถั่วเหลืองมีการกระจายในด้านจำนวนต้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

น้อยกว่าถั่วเขียว และถั่วเหลืองจะมีปริมาณการตรึงไนโตรเจนน้อยกว่าถั่วเขียวด้วย (ยงยุทธ และคณะ , 2551) โดยถั่วเขียวสามารถตรึงไนโตรเจนได้ 10-55 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี ในขณะที่ถั่วเหลืองตรึงไนโตรเจนได้ 10-27 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี (FAO, 1984) อย่างไรก็ตามการใช้ถั่วเหลืองเป็นปุ๋ยพืชสดส่งผลให้มีผลผลิตมากกว่าตำรับควบคุมที่มีมวลฝักทั้งเปลือก มวลฝักปอกเปลือก และมวลฝักดี ประมาณ 1,400, 1,100 และ 940 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ

ภาพที่ 6 การเจริญเติบโตของข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2 ที่ระยะ 4 สัปดาห์ (ก), 6 สัปดาห์ (ข) และ 8 สัปดาห์ (ค)

ภาพที่ 7 ฝักข้าวโพดขนาดใหญ่ (ก) ขนาดกลาง (ข) และขนาดเล็ก (ค)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 6 ผลของระบบการไถพรวนและแหล่งที่มาของธาตุอาหารพืชที่แตกต่างกันที่มีต่อความสูงของข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2 ที่อายุ 4, 6 และ 8 สัปดาห์

Plant	4 week (cm.)			6 week (cm.)			8 week (cm.)		
mineral	CT	NT	average	CT	NT	average	CT	NT	average
C	23.63	24.00	23.81 c	74.11	78.01	76.06 c	131.88	135.31	133.59 c
F1	35.25	36.69	35.97 a	117.28	121.06	119.17 a	156.33	164.88	160.60 a
F2	32.25	34.13	33.19 a	100.34	106.04	103.19 b	154.63	159.81	157.22 a
A	28.94	28.94	28.94 b	85.34	96.79	91.06 b	149.56	154.00	151.78 ab
S	27.50	25.38	26.44 bc	101.91	99.63	100.77 b	148.94	144.75	146.84 b
SB	25.50	29.94	27.72 b	89.64	87.64	88.644 b	140.19	137.56	138.88 bc
MB	26.38	27.94	27.16 b	90.03	97.54	93.78 b	147.31	139.56	143.40 bc
average	28.49	29.57		94.09	98.10		146.98	147.98	
CV(%)									
Main plot		10.96			12.45			14.03	
Sub plot		10.30			10.48			5.89	
F-test									
Tillage(T)		ns (0.24)			ns (0.74)			ns (0.82)	
Plant mineral(P)		** (0.00)			** (0.00)			** (0.00)	
TxP		ns (0.59)			ns (0.52)			ns (0.39)	

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 %โดยวิธี DMRT

** แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % โดยวิธี DMRT

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กที่เหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %โดยการใช้ DMRT

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 7 ผลของระบบการไถพรวนและแหล่งที่มาของธาตุอาหารพืชที่แตกต่างกันที่มีต่อมวลแห้งของส่วนต่างๆของข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2 ที่ระยะเก็บเกี่ยว

Plant	Shoot dry matter (kg/rai)			Root dry matter (kg/rai)			Total dry matter (kg/rai)		
mineral	CT	NT	average	CT	NT	average	CT	NT	average
C	1561.49	1557.19	1559.34 c	249.84	261.52	255.68	1811.33	1818.71	1815.02 c
F1	1876.42	1870.84	1873.63 a	297.12	301.45	299.28	2173.53	2172.29	2172.91 a
F2	1742.01	1730.47	1736.24 b	289.98	299.15	294.56	2031.98	2029.62	2030.80 bc
A	1753.98	1744.44	1749.21 b	283.86	286.64	285.25	2037.85	2031.08	2034.46 bc
S	1746.43	1725.99	1736.21 b	277.89	286.87	282.38	2024.31	2012.85	2018.58 bc
SB	1650.35	1647.62	1648.98 c	264.69	275.92	270.31	1915.04	1923.54	1919.29 cd
MB	1768.79	1733.81	1751.30 b	311.71	285.65	298.68	2080.50	2019.46	2049.98 ab
average	1728.49	1715.76		282.16	285.31		2010.65	2001.08	
CV(%)									
Main plot			2.75			8.00			3.09
Sub plot			6.69			14.76			6.12
F-test									
Tillage(T)			ns (0.65)			ns (0.38)			ns (0.16)
Plant mineral(P)			** (0.00)			ns (0.32)			** (0.00)
TxP			ns (0.10)			ns (0.95)			ns (1.00)

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 %โดยวิธี DMRT

** แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % โดยวิธี DMRT

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กที่เหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %โดยการใช้ DMRT

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 8 ผลของระบบการไถพรวนและแหล่งที่มาของธาตุอาหารพืชที่แตกต่างกันที่มีต่อมวลฝักของข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2

Plant mineral	Ear with husk (kg/rai)			Ear without husk (kg/rai)		
	CT	NT	average	CT	NT	average
C	1537.78	1377.78	1457.78 d	1196.18	1009.72	1102.95 d
F1	2448.89	2311.11	2380.00 a	1676.11	1622.22	1649.17 a
F2	2231.11	2146.67	2188.89 ab	1403.33	1395.56	1399.44 b
A	2022.22	1933.33	1977.78 bc	1390.00	1353.33	1371.67 b
S	2017.78	1906.67	1962.22 bc	1350.00	1322.78	1336.39 bc
SB	1920.00	1670.56	1795.28 c	1257.22	1211.11	1234.17 c
MB	2164.44	1830.00	1997.22 bc	1413.33	1347.78	1380.56 b
average	2048.89	1882.30		1383.74	1323.21	
CV(%)						
Main plot			27.20			5.62
Sub plot			11.78			8.04
F-test						
Tillage(T)			ns (0.46)			ns (0.28)
Plant mineral(P)			** (0.00)			** (0.00)
TxP			ns (0.92)			ns (0.94)

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 %โดยวิธี DMRT

** แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % โดยวิธี DMRT

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กที่เหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %โดยการใช้ DMRT

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 9 ผลของระบบการไถพรวนและแหล่งที่มาของธาตุอาหารพืชที่แตกต่างกันที่มีต่อมวลฝักดีและฝักเสีย ของข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2

plant mineral	Standard ear (kg/rai)			Under standard ear (kg/rai)		
	CT	NT	average	CT	NT	average
C	986.67	907.78	947.22 d	209.51	101.94	155.73
F1	1575.00	1502.22	1538.61 a	101.11	120.00	110.56
F2	1272.78	1213.33	1243.05 b	130.56	182.22	156.39
A	1250.56	1206.11	1228.33 b	139.44	147.22	143.33
S	1213.33	1171.11	1192.22 b	136.67	151.67	144.17
SB	1053.33	1080.00	1066.67 c	203.89	131.11	167.50
MB	1229.44	1248.89	1239.17 b	183.89	98.89	141.39
average	1225.87	1189.92		157.87	133.29	
CV(%)						
Main plot			3.60			22.18
Sub plot			7.15			43.11
F-test						
Tillage(T)			ns (0.96)			ns (0.14)
Plant mineral(P)			** (0.00)			ns (0.67)
TxP			ns (0.86)			ns (0.16)

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 %โดยวิธี DMRT

** แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % โดยวิธี DMRT

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กที่เหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %โดยการใช้ DMRT

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 10 ผลของระบบการไถพรวนและแหล่งที่มาของธาตุอาหารพืชที่แตกต่างกันที่มีต่อจำนวนฝักขนาดต่างๆของข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2

Plant	Large ear (ear/rai)			Medium ear (ear/rai)			Small ear(ear/rai)		
mineral	CT	NT	average	CT	NT	average	CT	NT	average
C	1956	1778	1867 d	1778	1778	1778 d	1244	1867	1556 b
F1	3689	3600	3644 a	3378	3644	3511 a	1289	1244	1267 c
F2	3289	3156	3222 b	3156	3378	3267 ab	1556	1511	1533 b
A	3111	3111	3111 bc	3289	3289	3289 ab	1556	1600	1578 b
S	3156	3156	3156 bc	3200	3244	3222 ab	1644	1689	1667 ab
SB	2889	2800	2844 c	2400	2489	2444 c	2044	1733	1889 a
MB	3289	3022	3156 bc	3067	3244	3156 b	1822	1867	1844 a
average	3054	2946		2895	3010		1593	1644	
CV(%)									
Main plot		9.63			8.10			13.87	
Sub plot		11.61			9.99			17.70	
F-test									
Tillage(T)		ns (0.70)			ns (0.10)			ns (0.67)	
Plant mineral(P)		** (0.00)			** (0.00)			** (0.00)	
TxP		ns (0.98)			ns (0.92)			ns (0.12)	

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 %โดยวิธี DMRT

** แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % โดยวิธี DMRT

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กที่เหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %โดยการใช้ DMRT

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 11 ผลของระบบการไถพรวนและแหล่งที่มาของธาตุอาหารพืชที่แตกต่างกันที่มีต่อค่าความหวานของข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2

Plant mineral	Sweetness (% Brix)		
	CT	NT	average
C	15.00	15.00	15.00
F1	15.25	15.75	15.50
F2	16.25	15.75	16.00
A	15.50	15.75	15.63
S	15.50	16.25	15.88
SB	16.00	16.50	16.25
MB	15.75	15.75	15.75
average	15.61	15.82	
CV(%)			
Main plot		2.60	
Sub plot		2.75	
F-test			
Tillage(T)		ns (0.15)	
Plant mineral(P)		ns (0.44)	
TxP		ns (0.92)	

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 %โดยวิธี DMRT

5. ปริมาณธาตุอาหารหลักในพืช ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในพืชและปริมาณไนโตรเจนที่ตรึงได้

การปลูกข้าวโพดหวานในระบบการไถพรวนที่แตกต่างกันไม่มีผลทำให้ปริมาณธาตุอาหารหลักในพืชแตกต่างกันทางสถิติ และไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่างระบบการไถพรวนร่วมกับแหล่งที่มาของธาตุอาหารพืชที่ต่างกัน (ตารางที่ 12) แต่แหล่งที่มาของธาตุอาหารพืชที่ต่างกันมีผลให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในพืชแตกต่างกันทางสถิติ โดยตำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ยและเชื้อจุลินทรีย์มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในพืชน้อยที่สุด เท่ากับ 3.64 เปอร์เซ็นต์ สำหรับตำรับที่ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 19 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ ใส่ปุ๋ยเคมีอัตราอัตรา 9.5 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ ใส่เชื้ออะโซโตแบคเตอร์ ใส่เชื้ออะโซสไปริลลัม และใช้ถั่วเขียวเป็นปุ๋ยพืชสด มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในพืชไม่แตกต่างกันทางสถิติ คือ 3.88, 3.84, 3.82, 3.82 และ 3.78 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตำรับที่ใช้ถั่วเหลืองเป็นปุ๋ยพืชสด (3.71 เปอร์เซ็นต์) ในส่วนของปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมทั้งหมดในพืชนั้นมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบระหว่างแหล่งที่มาของธาตุอาหารพืชที่แตกต่างกัน

ปริมาณไนโตรเจนที่มีทั้งหมดในพืช พบว่าระบบการปลูกแบบไถพรวนและไม่ไถพรวนไม่มีผลให้ปริมาณไนโตรเจนที่มีทั้งหมดในพืชแตกต่างกันทางสถิติ แต่แหล่งที่มาของธาตุอาหารพืชที่ต่างกันทำให้ไนโตรเจนที่มีทั้งหมดในพืชแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 13) โดยตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 19 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ มีปริมาณไนโตรเจนที่มีทั้งหมดในพืชสูงที่สุด เท่ากับ 52.67 กรัมไนโตรเจนต่อตารางเมตร ส่วนตำรับที่มีการใช้เชื้ออะโซโตแบคเตอร์ ใช้เชื้ออะโซสไปริลลัม และใช้ถั่วเขียวเป็นปุ๋ยพืชสด มีปริมาณของไนโตรเจนที่มีทั้งหมดในพืชไม่แตกต่างกันทางสถิติกับการใช้ปุ๋ยเคมีอัตรา 9.5 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ (48.60 กรัมไนโตรเจนต่อตารางเมตร) โดยมีค่าเท่ากับ 48.60, 48.11 และ 48.38 กรัมไนโตรเจนต่อตารางเมตร ตามลำดับ แต่การใช้ถั่วเหลืองเป็นปุ๋ยพืชสดมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดน้อยกว่า คือ มีค่าเท่ากับ 44.77 กรัมไนโตรเจนต่อตารางเมตร อย่างไรก็ตามการใช้ถั่วเหลืองเป็นปุ๋ยพืชสดก็ยังมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมากกว่าชุดควบคุมที่มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเท่ากับ 40.66 กรัมไนโตรเจนต่อตารางเมตร

ปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมทั้งหมดในพืชชี้ให้เห็นถึงการดูดใช้ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ที่มีอยู่ในดิน (Prasad and Power, 1997) ถ้าพืชดูดใช้ธาตุอาหารได้มากแสดงว่าดินมีปริมาณธาตุอาหารมากด้วย ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าตำรับที่มีการใช้เชื้ออะโซโตแบคเตอร์ ใช้เชื้ออะโซสไปริลลัม และใช้ถั่วเขียวเป็นปุ๋ยพืชสดมีการดูดใช้ไนโตรเจนได้เทียบเท่ากับการใช้ปุ๋ยเคมีอัตรา 9.5 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ (ตารางที่12) นั่นคือตำรับที่มีการใช้เชื้ออะโซโตแบคเตอร์ ใช้เชื้ออะโซสไปริลลัม และใช้ถั่วเขียวเป็นปุ๋ยพืชมีปริมาณไนโตรเจนในดินเทียบเท่ากับการใช้ปุ๋ยเคมีอัตรา 9.5 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ เนื่องจากเชื้ออะโซโตแบคเตอร์และเชื้ออะโซสไปริลลัมสามารถตรึงไนโตรเจนจึงสามารถเพิ่มไนโตรเจนให้แก่ดินได้ (Shabaev, 1991) ซึ่งส่งผลให้พืชมีปริมาณไนโตรเจนเพิ่มมากขึ้น Pandey *et. al.* (1998) พบว่า การปลูกข้าวโพดร่วมกับเชื้ออะโซโตแบคเตอร์และอะโซสไปริลลัมทำให้ข้าวโพดมีปริมาณไนโตรเจนเท่ากับ 33.68 และ 16.98 กรัมต่อตารางเมตร ตามลำดับ สูงกว่าการไม่ใช้เชื้ออะโซโตแบคเตอร์และอะโซสไปริลลัมที่มีปริมาณไนโตรเจนในข้าวโพดเพียง 15.86 กรัมต่อตารางเมตร ส่วนการใช้ถั่วเขียวเป็นปุ๋ยพืชสด ถั่วเขียวจะถูกย่อยสลายให้เป็นอินทรียวัตถุ โดยแบ่งองค์ประกอบปุ๋ยพืชสดได้เป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่ย่อยสลายได้รวดเร็วและส่วนที่ย่อยสลายได้อย่างช้าๆ โดยส่วนที่ย่อยสลายได้รวดเร็วจะเป็นแหล่งไนโตรเจนสำหรับพืชที่จะปลูกตามมา (Jordan *et al*, 1993) ส่วนที่ย่อยสลายอย่างช้าๆ เช่น พวกเซลลูโลส, เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งมีประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ ของพืชจะเป็นส่วนที่เพิ่ม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อินทรียวัตถุให้แก่ดิน (Alexander, 1997) อีกทั้งการคลุกเชื้อไรโซเบียมลงในเมล็ดถั่วเขียวไรโซเบียมจะช่วยตรึงไนโตรเจนได้ 10-55 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี (FAO, 1984) โดยไนโตรเจนที่ตรึงได้จะถูกเก็บไว้ในดินซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อพืชที่ปลูกตาม

เมื่อนำปริมาณไนโตรเจนที่มีทั้งหมดในพืชและปริมาณไนโตรเจนที่มีในดินทั้งก่อนปลูกและหลังเก็บเกี่ยว มาคำนวณหาปริมาณไนโตรเจนที่ตรึงได้ พบว่าระบบการไถพรวนที่ต่างกันไม่มีผลทำให้ปริมาณไนโตรเจนที่ตรึงได้แตกต่างกันทางสถิติ แต่แหล่งที่มาของธาตุอาหารพืชที่ต่างกันทำให้ปริมาณไนโตรเจนที่ตรึงได้ต่างกัน (ตารางที่ 13) คือตำรับที่มีการใช้เชื้ออะโซโตแบคเตอร์ ใช้เชื้ออะโซสไปริลลัม ใช้ถั่วเหลืองและถั่วเขียวเป็นปุ๋ยพืชสด มีปริมาณไนโตรเจนที่ตรึงได้สูงกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีทั้ง 2 อัตารวมถึงการไม่ใส่ปุ๋ยและเชื้อจุลินทรีย์ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนที่ตรึงได้ระหว่างการไม่ใส่ปุ๋ยและเชื้อจุลินทรีย์กับการใส่ปุ๋ยเคมีทั้ง 2 อัตรา มีแนวโน้มว่าการใช้ปุ๋ยเคมีอัตรา 19 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ มีปริมาณไนโตรเจนที่ตรึงได้ต่ำที่สุด เท่ากับ 6.61 กรัมไนโตรเจนต่อตารางเมตร เนื่องจากเมื่อใส่ปุ๋ยเคมีไนโตรเจนลงไปในดินแล้วปุ๋ยเคมีไนโตรเจนจะกลายเป็นไนโตรเจนรูปแอมโมเนียมและไนเตรตซึ่งเป็นรูปที่พืชสามารถดูดไปใช้ได้ แต่มีรายงานว่าแอมโมเนียมที่ได้นั้นสามารถยับยั้งการตรึงไนโตรเจนของแบคทีเรียอิสระได้ (Deasch and Mortenson, 1972; Tubb and Postgate, 1973) โดยเฉพาะกับเชื้ออะโซโตแบคเตอร์ที่แสดงผลอย่างเด่นชัด โดยผลในระยะสั้น คือแอมโมเนียมจะทำให้ปฏิกิริยาการสร้างเอนไซม์ไนโตรจีเนสหยุดลงอย่างรวดเร็ว (Brontonegoro, 1974) และผลในระยะยาวทำให้การสังเคราะห์และกิจกรรมของเอนไซม์ไนโตรจีเนสเสื่อมลง (Tubb and Postgate, 1973; Drozd, 1972) อย่างไรก็ตามตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีไม่ได้ทำให้การตรึงไนโตรเจนแตกต่างจากการไม่ใส่ปุ๋ยและเชื้อจุลินทรีย์ ส่วนตำรับที่มีการใช้ถั่วเหลืองและถั่วเขียวเป็นปุ๋ยพืชสดมีปริมาณไนโตรเจนที่ตรึงได้เทียบเท่ากับตำรับที่มีการใช้เชื้ออะโซโตแบคเตอร์และเชื้ออะโซสไปริลลัม เนื่องจากถั่วที่ถูกย่อยสลายแล้วจุลินทรีย์สามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานเพื่อกระตุ้นการเจริญเติบโตและช่วยเพิ่มกิจกรรมของจุลินทรีย์ได้จึงส่งผลต่อปริมาณไนโตรเจนที่ตรึงได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 12 ผลของระบบการไถพรวนและแหล่งที่มาของธาตุอาหารพืชที่แตกต่างกันที่มีต่อปริมาณธาตุอาหารหลักในข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2

Plant mineral	Total nitrogen (%)			Total phosphorus (%)			Total potassium (%)		
	CT	NT	average	CT	NT	average	CT	NT	average
C	3.63	3.66	3.64 c	0.67	0.66	0.66	4.03	4.06	4.04
F1	3.90	3.86	3.88 a	0.69	0.71	0.70	4.34	4.15	4.24
F2	3.84	3.83	3.84 a	0.67	0.71	0.69	4.28	4.04	4.16
A	3.81	3.83	3.82 a	0.67	0.68	0.67	4.24	4.03	4.13
S	3.82	3.81	3.82 a	0.67	0.69	0.68	4.27	4.18	4.22
SB	3.70	3.72	3.71 bc	0.71	0.69	0.70	4.23	4.15	4.19
MB	3.76	3.80	3.78 ab	0.69	0.73	0.71	3.85	4.20	4.02
average	3.78	3.79		0.68	0.69		4.18	4.11	
CV(%)									
Main plot		2.60			7.13			15.86	
Sub plot		2.75			8.03			5.86	
F-test									
Tillage(T)		ns (0.48)			ns (0.36)			ns (0.86)	
Plant mineral(P)		** (0.00)			ns (0.66)			ns (0.44)	
TxP		ns (0.95)			ns (0.96)			ns (0.15)	

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 %โดยวิธี DMRT

** แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % โดยวิธี DMRT

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กที่เหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %โดยการใช้ DMRT

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 13 ผลของระบบการไถพรวนและแหล่งที่มาของธาตุอาหารพืชที่แตกต่างกันที่มีต่อปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในข้าวโพดหวาน และปริมาณไนโตรเจนที่ตรึงได้

Plant mineral	Total nitrogen (g N / m^2)			Fixed nitrogen (g N / m^2)		
	CT	NT	average	CT	NT	average
C	40.21	41.10	40.66 d	8.23	7.11	7.67 b
F1	52.92	52.43	52.67 a	7.05	6.18	6.61 b
F2	48.77	48.43	48.60 b	8.31	8.69	8.50 b
A	48.56	48.65	48.60 b	19.11	20.96	20.04 a
S	48.27	47.95	48.11 b	17.27	16.48	16.88 a
SB	44.82	44.72	44.77 c	18.04	15.61	16.83 a
MB	48.92	47.84	48.38 b	19.34	20.71	20.02 a
average	47.50	47.30		13.91	13.68	
CV(%)						
Main plot		7.86			51.48	
Sub plot		5.86			54.09	
F-test						
Tillage(T)		ns (0.87)			ns (0.94)	
Plant mineral(P)		** (0.00)			** (0.00)	
TxP		ns (0.10)			ns (1.00)	

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 %โดยวิธี DMRT

** แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % โดยวิธี DMRT

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กที่เหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %โดยการใช้ DMRT

6. คุณสมบัติบางประการของดินหลังเก็บเกี่ยว

หลังจากการเก็บเกี่ยวข้าวโพดแล้วได้เก็บตัวอย่างดินมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ พบว่าปริมาณธาตุอาหารหลัก ปริมาณอินทรียวัตถุ ปฏิกิริยาดิน ค่าการนำไฟฟ้า และคุณสมบัติทางฟิสิกส์บางประการ ซึ่งได้แก่ สภาพการนำน้ำ และความหนาแน่นรวม ของดินหลังเก็บเกี่ยวไม่แตกต่างกันทางสถิติในระบบการไถพรวนที่แตกต่างกัน แต่มีแนวโน้มว่าการปลูกแบบไม่ไถพรวน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ส่งผลให้ดินหลังการเก็บเกี่ยวมีปริมาณอินทรียวัตถุ และสภาพการนำน้ำสูงกว่าการปลูกแบบไม่ไถพรวน

การใช้แหล่งที่มาของธาตุอาหารพืชที่ต่างกันนั้นส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์แตกต่างกันทางสถิติ แต่ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ปริมาณอินทรียวัตถุ ปฏิกิริยาดิน ค่าการนำไฟฟ้า สภาพการนำน้ำ และความหนาแน่นรวม ของดินหลังเก็บเกี่ยวไม่แตกต่างกันทางสถิติ อย่างไรก็ตามตำรับที่มีการใช้เชื้ออะโซโตแบคเตอร์ ใช้เชื้ออะโซสไปริลลัม ใช้ถั่วเขียวและถั่วเหลืองเป็นปุ๋ยพืชสดก็ยังมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินมากว่าตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีและการไม่ใส่ปุ๋ยและเชื้อจุลินทรีย์ ส่วนปริมาณอินทรียวัตถุ พบว่าการปลูกถั่วเขียวและถั่วเหลืองเป็นปุ๋ยพืชสดส่งผลให้มีปริมาณอินทรียวัตถุสูงกว่าการได้ธาตุอาหารพืชจากแหล่งอื่น (ตารางที่ 14, 15 และ 16)

การที่ระบบการปลูกแบบไถพรวนและไม่ไถพรวนมีคุณสมบัติของดินหลังเก็บเกี่ยวไม่แตกต่างกันทางสถิตินั้น อาจเนื่องมาจากการศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาในระยะสั้นประกอบกับพื้นที่ที่ทำงานวิจัยมีการใช้อยู่อย่างต่อเนื่อง จึงทำให้ความแตกต่างระหว่างการปลูกแบบไถพรวนและไม่ไถพรวนมีไม่มากพอที่จะส่งผลต่อคุณสมบัติด้านต่างๆของดินให้มีความแตกต่างกันได้ โดยเฉพาะคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของดินภายใต้การจัดการดินเชิงอนุรักษ์ที่เกิดขึ้นค่อนข้างช้าถึงช้ามาก (ธรรมนูญ, 2540) และพบแนวโน้มว่าตำรับที่มีการใช้เชื้ออะโซโตแบคเตอร์ ใช้เชื้ออะโซสไปริลลัม ใช้ถั่วเขียวและถั่วเหลืองเป็นปุ๋ยพืชสดนั้น มีปริมาณไนโตรเจนในดินหลังเก็บเกี่ยวมากกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีและการไม่ใช้ปุ๋ยและเชื้อจุลินทรีย์ Shabaev (1991) ได้ศึกษาพบว่าเชื้ออะโซโตแบคเตอร์สามารถช่วยเพิ่มไนโตรเจนให้กับดินได้ ส่วนการใช้ถั่วเขียวและถั่วเหลืองเป็นปุ๋ยพืชสด จุลินทรีย์จะย่อยสลายเศษซากของถั่วจนกลายเป็นอินทรียวัตถุเก็บสะสมไว้ในดิน กระบวนการตรึงไนโตรเจนและย่อยสลายอินทรียวัตถุนั้นเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นอย่างช้าๆจึงทำให้การใช้เชื้อจุลินทรีย์และปุ๋ยพืชสดถั่วเหลืองและถั่วเขียวมีปริมาณอินทรียวัตถุและปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินหลังเก็บเกี่ยวมากกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีที่สามารถสามารถละลายน้ำได้ดีจึงทำให้สูญเสียไปจากดินได้โดยการชะลาย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 14 ผลของระบบการไถพรวนและแหล่งที่มาของธาตุอาหารพืชที่แตกต่างกันที่มีต่อปริมาณธาตุอาหารหลักในดินหลังเก็บเกี่ยว

Plant	Total N (%)			Available-P (mg / kg)			exchangeable-K (mg / kg)		
mineral	CT	NT	average	CT	NT	average	CT	NT	average
C	0.029	0.028	0.028	69.17	64.33	66.75 b	92.43	91.03	91.73
F1	0.028	0.027	0.028	79.60	81.94	80.77 a	109.88	103.90	106.89
F2	0.027	0.028	0.028	68.02	70.39	69.20 b	97.47	100.22	98.84
A	0.030	0.031	0.030	65.98	73.95	69.97 b	96.76	96.72	96.74
S	0.029	0.029	0.029	70.51	68.54	69.53 b	93.04	97.05	95.04
SB	0.031	0.030	0.031	65.96	66.06	66.01 b	93.27	96.87	95.07
MB	0.030	0.031	0.031	72.79	72.74	72.77 b	92.42	97.57	94.99
average	0.029	0.029		64.33	71.14		96.46	97.62	
CV(%)									
Main plot		11.44			17.96			6.42	
Sub plot		17.06			8.44			8.07	
F-test									
Tillage(T)		ns (0.83)			ns (0.85)			ns (0.61)	
Plant mineral(P)		ns (0.77)			** (0.01)			ns (0.07)	
TxP		ns (0.95)			ns (0.67)			ns (0.89)	

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 %โดยวิธี DMRT

** แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % โดยวิธี DMRT

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กที่เหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %โดยการใช้ DMRT

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 15 ผลของระบบการไถพรวนและแหล่งที่มาของธาตุอาหารพืชที่แตกต่างกันที่มีต่อปริมาณอินทรียวัตถุ (OM) ปฏิกิริยาดิน (pH) และค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของดินหลังเก็บเกี่ยว

Plant	OM (%)			pH (1:1)			EC (dS/m)		
mineral	CT	NT	average	CT	NT	average	CT	NT	average
C	0.84	0.82	0.83	6.83	6.80	6.80	0.052	0.054	0.053
F1	0.83	0.84	0.83	6.07	6.64	6.64	0.054	0.053	0.054
F2	0.82	0.83	0.82	6.11	6.67	6.69	0.054	0.052	0.053
A	0.82	0.84	0.83	6.91	6.69	6.71	0.052	0.056	0.054
S	0.83	0.83	0.83	6.12	6.76	6.75	0.053	0.051	0.052
SB	0.85	0.86	0.86	6.27	6.78	6.71	0.052	0.051	0.052
MB	0.89	0.90	0.89	7.09	6.72	6.79	0.054	0.053	0.054
average	0.84	0.85		6.49	6.72		0.053	0.053	
CV(%)									
Main plot		3.97			1.80			7.76	
Sub plot		8.75			1.77			3.90	
F-test									
Tillage(T)		ns (0.64)			ns (0.68)			ns (0.90)	
Plant mineral(P)		ns (0.66)			ns (0.28)			ns (0.73)	
TxP		ns (1.00)			ns (0.55)			ns (0.77)	

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 %โดยวิธี DMRT

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 16 ผลของระบบการไถพรวนและแหล่งที่มาของธาตุอาหารพืชที่แตกต่างกันที่มีต่อคุณสมบัติทางฟิสิกส์บางประการของดินหลังเก็บเกี่ยว

Plant mineral	K_s (m/day)			Bulk density (g/cm^3)		
	CT	NT	average	CT	NT	average
C	0.21	0.27	0.24	1.51	1.52	1.52
F1	0.27	0.29	0.28	1.59	1.60	1.59
F2	0.27	0.28	0.28	1.63	1.57	1.60
A	0.28	0.29	0.29	1.60	1.56	1.58
S	0.28	0.26	0.27	1.52	1.51	1.52
SB	0.24	0.25	0.24	1.53	1.58	1.55
MB	0.29	0.28	0.28	1.56	1.57	1.57
average	0.26	0.27		1.56	1.56	
CV(%)						
Main plot		19.26			9.72	
Sub plot		12.78			1.26	
F-test						
Tillage(T)		ns (0.26)			ns (0.72)	
plant mineral(P)		ns (0.27)			ns (0.17)	
TxP		ns (0.57)			ns (0.96)	

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 %โดยวิธี DMRT

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สรุป

การปลูกแบบไถพรวนมีปริมาณของเชื้ออะโซโตแบคเตอร์และเชื้ออะโซสไปริลลัมไม่แตกต่างกับการปลูกแบบไม่ไถพรวน และการใช้เชื้ออะโซโตแบคเตอร์และเชื้ออะโซสไปริลลัมส่งผลให้ดินมีปริมาณเชื้อดังกล่าวเพิ่มมากขึ้น โดยเชื้ออะโซโตแบคเตอร์และเชื้ออะโซสไปริลลัมมีปริมาณเพิ่มขึ้นในระยะแรกของการปลูกข้าวโพดและลดลงเมื่อใกล้ถึงระยะเก็บเกี่ยว เชื้ออะโซโตแบคเตอร์มีปริมาณสูงที่สุดในสัปดาห์ที่ 6 หลังการปลูกข้าวโพด ส่วนเชื้ออะโซสไปริลลัมมีปริมาณสูงที่สุดในสัปดาห์ที่ 4 จากนั้นจะค่อยๆลดปริมาณลง อย่างไรก็ตามในระยะเก็บเกี่ยวการใช้เชื้ออะโซโตแบคเตอร์และเชื้ออะโซสไปริลลัมยังส่งผลให้ปริมาณของเชื้อทั้ง 2 ชนิดนี้มีมากกว่าในระยะก่อนปลูก

อัตราการตรึงไนโตรเจนในดินและบริเวณรากข้าวโพดไม่มีความแตกต่างกันระหว่างการปลูกแบบไถพรวนและไม่ไถพรวน แต่การใช้เชื้ออะโซโตแบคเตอร์ส่งผลให้มีอัตราการตรึงไนโตรเจนในดินสูงที่สุด ส่วนการใช้เชื้ออะโซสไปริลลัมส่งผลให้มีอัตราการตรึงไนโตรเจนบริเวณรากข้าวโพดสูงที่สุด

การปลูกแบบไถพรวนและไม่ไถพรวนทำให้ข้าวโพดมีการเจริญเติบโตและปริมาณผลผลิตไม่แตกต่างกัน การใส่เชื้ออะโซโตแบคเตอร์ เชื้ออะโซสไปริลลัมและการใช้ถั่วเขียวเป็นปุ๋ยพืชสดสามารถส่งเสริมให้ข้าวโพดมีการเจริญเติบโตและปริมาณผลผลิตเทียบเท่ากับการใช้ปุ๋ยเคมีอัตราครึ่งหนึ่งของปรกติ (9.5 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่) ส่วนการใช้ถั่วเหลืองเป็นปุ๋ยพืชสดนั้นจะมีการเจริญเติบโตและผลผลิตรองลงมาแต่ก็ยังมีปริมาณมากกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยและเชื้อจุลินทรีย์

คุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์บางประการของดินหลังการเก็บเกี่ยวไม่มีความแตกต่างกันในระบบการปลูกแบบไถพรวนและไม่ไถพรวน แต่มีแนวโน้มว่าการไม่ไถพรวนจะมีสภาพการนำน้ำสูงกว่าการปลูกแบบไถพรวน สำหรับแหล่งที่มาของธาตุอาหารพืชที่ต่างกันมีแนวโน้มว่าการใช้ถั่วเหลืองและถั่วเขียวเป็นปุ๋ยพืชสดจะมีปริมาณอินทรียวัตถุในดินหลังเก็บเกี่ยวสูงกว่าการใช้ปุ๋ยแบบอื่น ๆ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2546. **ข้าวโพดฝักสด.** กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

กรมวิชาการเกษตร. 2550. **ข้าวโพดหวาน.** แหล่งที่มา: http://www.doae.go.th/library/html/2549/0709/Sweet_corn/U1.htm, 1 กรกฎาคม 2552.

กรมพัฒนาที่ดิน. มปป.. **รอบรู้เรื่องดิน.** แหล่งที่มา: http://www.ldd.go.th/ofsweb/thaisoil/n02.html, 1 กรกฎาคม 2552.

กิตติพร ศรีสวัสดิ์, สำราญ สมบัติพานิช และ นิพนธ์ อุดปวง. 2540. **ศึกษาประสิทธิภาพของการเตรียมดินแบบไถพรวนและไม่ไถพรวนร่วมกับมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำในการปลูกข้าวไร่บนที่สูง.** กรมพัฒนาที่ดิน, กรุงเทพฯ.

โชคชัย เอกทัศนาวรรณ. มปป. **ข้าวโพดหวานลูกผสมเดี่ยวพันธุ์อินทรี 2.** แหล่งที่มา: http://www.iicrd.ku.ac.th/output/ncsrc_insee2.htm, 1 กรกฎาคม 2552.

ทัศนีย์ อัตตะนันท์ และ จงรักษ์ จันทร์เจริญสุข. 2542. **แบบฝึกหัดและคู่มือปฏิบัติการวิเคราะห์ดินและพืช**. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ธงชัย มาลา. 2550. **ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ: เทคนิคการผลิตและการใช้ประโยชน์.** พิมพ์ครั้งที่2. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 300 น.

ธรรมนูญ แก้วคงคา. 2543. **สมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของดินปากช่องที่มีการปลูกข้าวโพดโดยมีการไถและไม่ไถพรวน และใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราต่างๆ ปีที่ 14.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 76 น.

ธวัชชัย ณ นคร. 2538. การวิจัยและพัฒนาการปลูกพืชโดยลดการไถพรวน. *ใน* **เอกสารประกอบการบรรยายการสัมมนาวิชาการ เรื่อง การพัฒนาระบบการปลูกพืชโดยลดการไถพรวนระหว่างวันที่ 18-20 ตุลาคม 2538**. เมืองพัทยา, ชลบุรี**.**

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นุชนารถ กังพิศดา, ชำนาญ บุญเลิศ และ สุทธาชีพ ศุภเกษร. 2541. **ศึกษาวิธีการเขตกรรมปลูกยางในสวนยางปลูกแทนรอบสอง.** ศูนย์วิจัยยางสงขลา สถาบันวิจัยยาง, สงขลา.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2546. **ธาตุอาหารพืช**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ยงยุทธ โอสถสภา, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และ ชวลิต ฮงประยูร. 2551. **ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 519 น.

วารุณี ภู่สัจจพงษ์. 2544**. การศึกษาชนิดและปริมาณของน้ำตาลและกรดอินทรีย์บางชนิดในสารที่หลั่งจากราก (root exudates) ของข้าว 5 พันธุ์.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี.

สมาน ปราการรัตน์. 2537. **ความต้องการน้ำข้าวโพด ถั่วเหลือง และถั่วลิสง.** กรมอุตุนิยมวิทยา, กรุงเทพฯ.

สิทธิชัย ตันธนะสฤษดิ์. 2549. **ทรัพยากรดินและการอนุรักษ์**. ภาควิชาอนุรักษวิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 32 น.

Albrecht, S.L., Y. Okon, L. Lonnquist and R. H. Burris. 1981. Nitrogen fixation by corn-*Azospirillum* association in a temperate climate. **Crop Sci**. 21: 301-306.

Alexander, M. 1997. **Introduction to Soil Microbiology.** John Wiley and Sons, New York 467 p.

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.

Balesdent, J., A. Mariotti and D. Boisgontier. 1990. Effect of tillage on soil organic carbon mineralization estimated from ^{13}C abundance in maize fields. **J. Soil Sci**. 41: 584-596.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Barbarick, K.A. 2009. **Nitrogen Sources and Transformations.** Available Source**:** http://www.ext.colostate.edu, March 27, 2009.

Barber L.E., J.D. Tjepkema, S.A. Russell and H.J. Evans. 1976. Acetylene reduction (nitrogen fixation) associated with corn inoculated with *Spirillum*. **Appl. Environ. Microbiol**. 3(2): 108-113.

Bashan, Y. and L.E. De-Bashan. 2005. Bacteria Plant growth-promotion. *In* **Encyclopedia of Soils in the Environment**. eds. D. Hillel, Elsevier, Oxford, U.K.

Becking, J.H. 1974. Family II. Azotobacteriaceae p.256-260. *In* R. E. Buchanan and N. E. Gibbons ,eds. **Bergey's Manual of Determinative Bacteriology**. The Williams and Wilkins Co., Baltimore.

Bergersen, F.J. 1970. The quantitative relationship between nitrogen fixation and the acetylene-reduction assay. **Biol. Sci**. 23: 1015-1025.

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(6): 1015-1020.

Bodddey, R.M., B.J.R. Alves and S. Urquiaga. 1998. Evaluation of biological nitrogen fixation associated with non-legumes. pp. 287-305. *In* K. A Malik, M. S. Mirza and J. K. Ladha, eds. **Nitrogen Fixation with Non-Legumes**. Kluwer Dordrechr, The Netherlands.

Bodddey, R.M., O.C. De Oliveira, S. Urquiaga, V.M. Reis, F.L. Olivares, V.L.D. Baldani and J. Dobereiner. 1995. Biological nitrogen fixation associated with sugar cane and rice: contributions and prospects for improvement. **Plant and Soil** 174: 195-209

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Bolton, H., J.K. Fredrickson and L.E. Elliot. 1992. Microbial ecology of the rhizosphere. p. 27-63. *In* F. Blaine Metting, Jr. (Ed.), **Soil Microbial Ecology** Marcel Dekker, New York, NY,USA.

Bottini, R., M. Fulchieri, D. Pearce and R.P. Pharis. 1989. Identification of gibberellins A1, A3 and iso-A3 in culture of *Azospirillum lipoferum*. **Plant Physiol.** 89: 1-3.

Chan, K.Y. 2001. An overview of some tillage impacts on earthworm population abundance and diversity implications for functioning in soils. **Soil and Tillage Rev.** 57: 179-191.

Deasch, G. and L.E. Mortenson. 1972. Effect of ammonia on the synthesis and function of the nitrogen-fixing enzyme system in *Clostridium pasteurianum*. **Bacteriol**. 110: 103-109.

De Polli, H., E. matsui, J. Dobereiner and E. Salati. 1977. Confirmation of nitrogen fixation in two tropical grasses by $^{15}N_2$ incorporation. **Soil Biol. Biochem.** 9: 119-123.

Dobereiner, J., J.M. Day and P.J. Dart. 1972. Nitrogenase activity and oxygen sensitivity of the *Paspalum notatum-Azotobacter paspali* association. **General Microbiol**. 71: 103-116.

Dobereiner, J., J.E. Marriel and M. Nery. 1976. Ecological distribution of *Spirillum beijerinck.* **Can. J. Microbiol**. 22:.1464-1473.

Dobereiner, J. 1997. Biological nitrogen fixation in the tropics: social and economic contributions. **Soil Biol. Biochem.** 29: 771-774.

Dobbelaere, S., J. Vanderleyden and Y. Okon. 2003. Plant growth-promoting effects of diazotrophs in the rhizosphere. **Plant Sci.** 22: 107–149.

Doran, J.W. 1980. Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage. **Soil Sci. Soc. Amer. J.** 44: 765–771.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Drozd, J.W., R.S. Tubb and J.R. Postgate. 1972. A chemostat study of the effect of fixed nitrogen sources on nitrogen fixation, membranes and free amino acids in *Azotobacter chroococcum*. **General Microbiol**. 73: 221-232.

Duiker, S., B. Macaffee, R. Hoover, J. Moeny and M. Lobadio. 2003. **Soil Management Research Report** Penn State University.

Ela, S.W., M.A. Anderson and W.J. Brill. 1982. Screening and selection of maize to enhance associative bacterial nitrogen fixation. **Plant Physiol**. 70: 1564-1567.

Eldor, A.P. 2007. **Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry**. 3rd ed. Charon Tec Ltd., Canada.

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

Fallik, E. and Y. Okon. 1996. The response of maize (*Zea mays*) to *Azospirillum* inoculation in various types of soils in the field. **World J. Microbiol. Biotechnol.** 12**:** 511-515.

Fallik, E., S. Sarig and Y. Okon. 1994. Morphology and physiology of plant roots associated with *Azospirillum*. *In* ***Azospirillum*/plant associations**. ed. Y. Okon, pp. 77-86. CRC Press: Boca Raton, FL.

FAO. 1984. Legume inoculants and their use. *In* **A Pocket Manual Jointly Prepared by Niftal and FAO Crop and Grassland Production Service**. J.C. Burton. 64 p.

Franzluebbers, A.J., F.M. Hons and D.A. Zeberer. 1995. Soil organic carbon, microbial biomass and mineralizable carbon and nitrogen in sorghum. **Soil Sci. Soc. Amer. J.** 47: 102-107.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

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.

Gill, M.S., D.S. Rana and R.S. Narang. 1993. Response of maize(*Zea mays*), Wheat(*Triticum aestivum*) and gobhi, sarson(*Brassica napus* subsp. *Oliefera* var. *annua*) to balanced fertilization and *Azotobacter* inoculation in subhumid Punjab. **Indian J. Agron.** 38(3): 463-465.

Giller, K.E. and K.F. Wilson. 1991. **Nitrogen Fixation in Tropical Cropping Systems.** UK:CAB international.

Giller, K.E., S.P. Wani, J.M. Day and P.J. Dart. 1988. Short term measurement of up take of nitrogen fixed in the rhizospheres of sorghum and millert using $^{15}N_2$. **Biol. Fertil. of Soils** 7: 11-15.

Govedarica, M. 1993. *Azotobacter* frequency and its effect on some maize hybrids. **Microbiologiya Yugoslavia** 29(2): 129-138.

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.

Hardy, R.W.F., R.S. Holsten, E.K. Johnson and R.C. Burns. 1968. The acetylene-ethylene assay for N_2 fixation laboratory and field evaluation. **Plant Physiol**. 43: 1185-1270.

Harris, J.M., J.A. Lucas, M.R. Davey, G. Lethbridge and K.A. Powel. 1989. Establishment of *Azospirillum* inoculant in the rhizosphere of winter wheat. **Soil Biol. Biochem**. 21: 59-64.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Havelka, U.D., M.G. Boyle and R.W.F. Hardy. 1982. Biological nitrogen fixation. *In* Nitrogen in agricultural soils. **Agronomy Monograph No. 22, ASA-CSSA-SSSA**, Madison, Wisconsin. 365-422.

Heagazin, N.A., M. Monib and K. Vlassak. 1979. Effect of Inoculation with N_2-Fixing *Spirilla* and *Azotobacter* on Nitrogenase Activity on Roots of Maize Grown Under Subtropical Conditions. **Appl. Environ. Microbiol**. 38(4): 621-625.

Hopper, D.U. and L. Johnson. 1999. Nitrogen limitation in dryland ecosystems responses to geographical and temporal variation in precipitation. **Biogeochem.** 46: 247-293.

Jofre, E., S. Fischer, V. Rivarola, H. Balengo and G. Mori. 1998. Saline stress affects the attachment of *Azospirillum brasilense* to maize and wheat roots. **Can. J. Microbiol.** 44: 416-422.

Jordan, D., C.W. Rice and J.M. Tiedji. 1993. The effect of suppression treatments on the uptake of ^{15}N by intercropped corn from labeled alfalfa (*Medicage sativa*). **Biol. Fertil. Soils** 16: 221-226.

Kabir, Z., I.P.O. Halloran, P. Widden and C. Hamel. 1998. Vertical distribution of arbuscular mycorrhizal fungi under corn (*Zea mays* L.) in no-till and conventional tillage systems. **Mycorrhiza** 8 :53–55.

Kapoor, I.J. and B. Kar. 1989. Antagonism of *Azotobacter* and *Bacillus* to *Fusarium Oxysporumlycopersici*. **Indian Phytopathol**. 42(3): 401-404.

Lakshmanan, M. 2000. ***Azotobacter* in Sustainable Agriculture**. Etd. Neeru Narula. New Delhi : CBS.

Lakshminarayana, K. 1993. Influence of *Azotobacter* on nitrogen nutrition of plants and crop productivity. **Proc. Indian Nat. Sci**. 303-308.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

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:** 298–300.

Linn, D.M. and J.W. Doran. 1984. Aerobic and anaerobic microbial populations in no-till and plowed soils. **Soil Sci. Soc. Amer**. **J.** 48: 794-799.

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

Logsdon S.D. and L.D. Karlen. 2004. Bulk density as a soil quality indicator during conversion to no-tillage. **Soil and Tillage Res.** 78: 143–149.

Maria, I.S., N. Fatta 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.

Martinez Toledo, M.V., L. Gonzalez, T. De la Rubia and J. Moreno. 1988. Grain yield response of *Zea mays* (Hbid AE703) to *Azotobacter Chroococcum* H. 23. **Biol. Fertil. Soils** 6: 352-353.

Martinez Toledo, M.V., J. Moreno, T. De la Rubia and J. Gozalezlopez. 1989. Root exudates of *Zea mays* and production of auxins, gibberellins and cytokinins by *Azotobacter chroococcum*. **Plant and Soil** 110: 149-152.

Mulder, E.G. and S. Brotonegro. 1974. Free living heterotrophic nitrogen fixation bacteria. pp. 33-85. *In* A. Quispel. **The Biology of Nitrogen Fixation**. North-Holland Publishing Co., Amsterdam.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Mulonoy, K., M. Gueye and D.S.C. Spencer. 1992. **Biological Nitrogen Fixation and Sustainability of Tropical Agriculture.** John Wiley and Sons, nited Kingdom. 488p.

Neilands, B. and S. A. Leong. 1986. Siderophores in relation to plant growth and disease. **Plant Physiol**. 37: 187-208.

Okon, Y., S. L. Albrecht and R. H. Burris. 1977. Methods for growing *Sprillum lipoferum* for counting it in pure cultures and in association with plants. **Appl. Environ**. **Microbiol.** 35: 85p.

Olubayi, I., R. Caudales, A. Atkinson and C.A. Neyra, 1998. Differences in chemical composition between nonflocculated and flocculated *Azospirillum brasilense* Cd. **Can. J. Microbiol**. 44: 386-390.

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(1): 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.

Patriquin, D.G., J. Dobereiner and D.K. Jain. 1983. Sites and process of association between diazotrophs and grasses. **Can. J. Microbiol**. 29: 900-915.

Prasad, R. and J.F. Power. 1997. **Soil Fertility Management for Sustainable Agriculture**. CRC Lewis Publishers, Boca raton, New York.

Rhoton, F.E. 2000. Influence of time on soil response to no-till practices. **Soil Sci. Soc. Amer. J.** 64: 700-709.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Ruschel, A.P., Y. Henis and E. Salati. 1975. Nitrogen-15 tracing of N-fixation with soil grown sugar cane seedling. **Soil Biol. Biochem.** 7: 181-182.

Scholes, R.J. 1990. The influence of soil fertility on the ecology of southern African savannas. **Biogeograp.** 17: 417-419.

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

Sharma, P.K., S.K. Dey and V.P.S Chahal. 1986. In vitro interaction between phytophatogens and two *Azotobacter* species. **Indian Phytopathol**. 39(1): 117-119.

Six, J., S.M. Ogle, F.J. Breidt, R.T. Conant, A.R. Mosier and K. Paustian. 2004. The potential to mitigate global warming with no tillage management is only realized when practiced in the long term. **Global Change Biol**. 10: 155-160.

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

Tate, R.L. 2000. **Soil Microbiology**. 2 nd ed. 346-372. New York:John Wiley & Sons.

Tubb, R.S. and J.R. Postgate. 1973. Control of nitrogenase synthesis in *Klebsiella pneumonia*. **General Microbiol**. 79: 103-117.

Vance, C.P. 1997. Enhanced agricultural sustainability though biological fixation. *In* **Biological of Nitrogen for Economic and Sustainable Agriculture**. Proceedings NATO Advanced Research Workshop. Poznan, Poland. 10-14 sept. 1996:179-185.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Varmai, A.K. and D.L.N. Rao. 1982. Dinitrogen fixation by *Azotobacter Chroococcum* and its isocitrate dehydrogenase activity: a quick method for screening nitrogen fixing strains. **J. Gen. Appl. Microbiol.** 29: 243-256.

Yoshida, T. and T. Yoneyama. 1980. Atmospheric dinitrogen fixation in the flooded rice rhizosphere as determined by the N-15 isotope technique. **Soil Sci. Plant Nutr.** 26: 551-559.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวศิวาพร ทูปคันโธ
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 12 กรกฎาคม 2527
สถานที่เกิด	จังหวัดสิงห์บุรี
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (เทคโนโลยีชีวภาพทางการเกษตร) เกียรตินิยมอันดับหนึ่ง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนผู้ช่วยสอนประจำภาคต้น ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์