



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (เทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

เทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม

วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง ผลของสารยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันที่มีต่อการเปลี่ยนรูปของปุ๋ยไนโตรเจนและการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์ในพื้นที่ปลูกข้าวโพด

Effect of Nitrification Inhibitors on Nitrogen Fertilizer Transformation and Nitrous Oxide Emission in Corn Field

นางผู้วิจัย นายอภิชาติ โหมคตาด

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ภัทรา เพ็งธรรมกิติ, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์ทรงศนีย์ พุกขาสีทธิ, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์จักรกฤษณ์ มหัจฉริยวงศ์, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

สิงสิงห์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลของสารยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันที่มีต่อการเปลี่ยนรูปของปุ๋ยไนโตรเจน
และการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์ในพื้นที่ปลูกข้าวโพด

Effect of Nitrification Inhibitors on Nitrogen Fertilizer Transformation
and Nitrous Oxide Emission in Corn Field

โดย

นายอภิชาติ โหมดตาด

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม)

พ.ศ. 2555

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อภิชาติ โหมคตาด 2555: ผลของสารยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันที่มีต่อการเปลี่ยนรูปของปุ๋ยไนโตรเจนและการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์ในพื้นที่ปลูกข้าวโพด ปรินญา วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (เทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม) สาขาเทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์ภัทรา เฟงธรรมกิติ, Ph.D. 95 หน้า

การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในพื้นที่เกษตรทำได้โดยชะลอการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจน เพื่อให้ไนโตรเจนคงค้างอยู่ในดินนานขึ้น การศึกษานี้ทดลองในระดับห้องปฏิบัติการและแปลงทดลอง โดยเปรียบเทียบผลการยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันของสาร dicyandiamide (DCD) และน้ำมันสะเดา (*Azadirachta indica*) ที่ใช้ในอัตราส่วนร้อยละ 5 และ 10 (w/w หรือ v/w ของปุ๋ย) ที่มีต่อรูปไนโตรเจนในดิน (NH_4^+ และ NO_3^-) และการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์ ผลการศึกษาภายใต้การควบคุมความชื้นดินที่ร้อยละ 60 ของความพรุนดินที่อุณหภูมิ 25 และ 35°C พบว่าสาร DCD และน้ำมันสะเดาสามารถชะลอการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนได้ดี โดยทำให้ NH_4^+ คงค้างในดินได้นานขึ้น และลดการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์สำหรับอุณหภูมิบ่มดินและอัตราการใส่ปุ๋ยทั้งสองที่ศึกษา และการใช้สารยับยั้งในอัตราส่วนร้อยละ 10 มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด สาร DCD มีแนวโน้มให้ประสิทธิภาพในการชะลอกระบวนการไนตริฟิเคชันได้ดีกว่าน้ำมันสะเดา ส่วนการศึกษาในแปลงทดลองเป็นการทดสอบผลการใช้สารยับยั้งต่อการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนในดินและผลผลิตข้าวโพด (พันธุ์สุวรรณ 4452) ที่สถานีวิจัยเขาคิน ชئون จ.ฉะเชิงเทรา แผนการทดลองเป็นแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก (Randomized Complete Block Design, RCBD) จำนวน 4 ซ้ำ ผลที่ได้แสดงว่าสารยับยั้งไนตริฟิเคชันทั้ง 2 ชนิด สามารถชะลอการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนในดินได้ดี และลดการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์จากแปลงสารยับยั้งชนิด DCD ที่อัตราส่วนร้อยละ 10 ให้ผลดีที่สุดในการชะลอการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจน ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับที่พบในการบ่มดิน แม้ว่าสารยับยั้งจะช่วยเพิ่มผลผลิตข้าวโพดเมื่อเทียบกับแปลงควบคุมที่ใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว แต่ผลที่ได้ไม่แตกต่างทางสถิติยกเว้นการดูใช้นิโตรเจนในเมล็ด ดังนั้น งานศึกษานี้สนับสนุนว่าการใช้สารยับยั้งไนตริฟิเคชันช่วยชะลอการเปลี่ยนรูปของปุ๋ยไนโตรเจน ลดการปล่อยแก๊สเรือนกระจก และเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรอีกด้วย

Apichat Modtad 2012: Effect of Nitrification Inhibitors on Nitrogen Fertilizer Transformation and Nitrous Oxide Emission in Corn Field. Master of Science (Environmental Technology and Management), Major Field: Environmental Technology and Management, Department of Environmental Science. Thesis Advisor: Associate Professor Patthra Pengthamkeerati, Ph.D. 95 pages.

Enhancing efficiency of nitrogen fertilizer can be done by slowing nitrogen (N) transformation rate for maintaining N in soil. The laboratory and field trial experiments were conducted to compare the effect of nitrification inhibitors (NIs) (dicyandiamide [DCD] and neem [*Azadirachta indica*] oil) at two rates of 5 and 10% w/w or v/w fertilizer on soil N fate (NH_4^+ and NO_3^-) and nitrous oxide emission. Under controlled moisture at 60% of pore space and temperature at 25 and 35°C, DCD and neem oil can reduce N transformation rate by prolonging NH_4^+ in soil and minimizing nitrous oxide emission for both studied temperatures and rates fertilizer. The application of DCD and neem oil at a ratio of 10 % (w/w) gave a maximum efficiency for slowing soil N transformation. DCD application tended to have a better efficiency in slowing nitrification process than neem oil. Field trial was also conducted to investigate the effects of NIs applied on soil N fates and corn yields (Suwan 4452) at the Khon Hin Son Research Center, Chacheongsao province. The experimental design was RCBD with 4 replications. Result from the field study showed that NIs reduced rate of soil N transformation and decreased nitrous oxide emission from the field. The application of DCD at a ratio of 10 % also had a maximum efficiency for retarding N transformation, as was observed in the laboratory incubation. Despite NIs had a tendency to increase corn yield in comparison with the control plot (applied only fertilizer), there were not significantly different except for grain N uptake. Hence, the finding in this study supports that NIs application retards N fertilizer transformation, minimizes greenhouse gas emission and increases crop productivity.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้เสร็จสมบูรณ์ได้โดยการอุปการะและช่วยเหลือจากผู้มีพระคุณหลายท่าน ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ภัทรา เพ็งธรรมกิริติ ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลักและอาจารย์ทรศนีย์ พุกยาสีทธิ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้กรุณาให้ความรู้ คำปรึกษา และช่วยเหลือในเรื่องการเรียน การค้นคว้าวิจัย รวมถึงคำแนะนำด้านต่างๆ ตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนวิจัยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จากสถาบันวิจัยและพัฒนา แห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และทุนอุดหนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ภายใต้โครงการทุนวิจัยมหัศจรรย์ สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี รหัสโครงการ WI525S026 และความเห็นในรายงานผลการวิจัยเป็นของผู้รับทุน สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป ขอขอบพระคุณ โรงดินก้านน้จิม ในฐานะผู้ประกอบการที่สนับสนุน การดำเนินการวิจัย รวมถึงการอนุเคราะห์อุปกรณ์ที่จำเป็นต่อการวิจัย

ขอขอบพระคุณภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่อนุเคราะห์ การใช้เครื่องมือวิเคราะห์ และขอขอบพระคุณสถานีวิจัยเขานินซ้อณ จ.ฉะเชิงเทรา และเจ้าหน้าที่ทุกท่าน รวมถึงพี่เกษตรกร ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลรวมถึงการช่วยเหลือในการศึกษาระดับแปลง ทดลอง

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ตลอดจนเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ที่ให้การ สนับสนุน คำชี้แนะและเป็นกำลังใจให้ผู้วิจัย และขอขอบพระคุณผู้ที่ให้ความช่วยเหลือในการทำ วิทยานิพนธ์เล่มนี้ซึ่งมิได้เอ่ยนามในที่นี้ทุกๆท่าน

อภิชาติ โหมคตาด

มีนาคม 2555

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	28
อุปกรณ์	28
วิธีการ	29
ผลและวิจารณ์	38
สรุปและข้อเสนอแนะ	65
สรุป	65
ข้อเสนอแนะ	66
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	67
ภาคผนวก	76
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	95

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	คำนิยาม การคำนวณ การแปลผลการประเมินประสิทธิภาพการใช้น้ำ ในโตรเจน	13
2	ชื่อทางเคมีและชื่อสามัญของสารยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันบางชนิด	15
3	คุณลักษณะของดินที่ใช้ในการศึกษา	30
4	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์จาก ระบบบ่มดินที่ทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ	39
5	ปริมาณการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์ทั้งหมดระหว่างการบ่มดินในตำรับ การทดลองต่างๆ	42
6	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณแอมโมเนียมในดินจากระบบบ่มดิน ที่ทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ	43
7	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณไนเตรทในดินจากระบบบ่มดินที่ ทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ	46
8	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์จาก แปลงทดลอง	52
9	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ของอัตราการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์จาก แปลงทดลองที่มีต่ออุณหภูมิและความชื้นดิน	54
10	ปริมาณการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์ทั้งหมดระหว่างการปลูกข้าวโพดใน แปลงทดลอง	55
11	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณแอมโมเนียมในดินจากแปลงทดลอง	57
12	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณไนเตรทในดินจากแปลงทดลอง	59
13	ผลของการใช้น้ำร่วมกับสารยับยั้งที่มีต่อความเข้มข้นและปริมาณการดูดน้ำ ในโตรเจนของข้าวโพด	64

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
1	ผลของสารยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันต่อการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์ ในระดับห้องปฏิบัติการที่อัตราการใส่ปุ๋ย 30 กก./ไร่ อุณหภูมิ 25°C	78
2	ผลของสารยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันต่อการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์ ในระดับห้องปฏิบัติการที่อัตราการใส่ปุ๋ย 50 กก./ไร่ อุณหภูมิ 25°C	79
3	ผลของสารยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันต่อการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์ ในระดับห้องปฏิบัติการที่อัตราการใส่ปุ๋ย 30 กก./ไร่ อุณหภูมิ 35°C	80
4	ผลของสารยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันต่อการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์ (N ₂ O) ในระดับห้องปฏิบัติการที่อัตราการใส่ปุ๋ย 50 กก./ไร่ อุณหภูมิ 35°C	81
5	ผลของสารยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันต่อปริมาณแอมโมเนียมในดิน ในระดับห้องปฏิบัติการที่อัตราการใส่ปุ๋ย 30 กก./ไร่ อุณหภูมิ 25°C	82
6	ผลของสารยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันต่อปริมาณแอมโมเนียมในดิน ในระดับห้องปฏิบัติการที่อัตราการใส่ปุ๋ย 50 กก./ไร่ อุณหภูมิ 25°C	83
7	ผลของสารยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันต่อปริมาณแอมโมเนียมในดิน ในระดับห้องปฏิบัติการที่อัตราการใส่ปุ๋ย 30 กก./ไร่ อุณหภูมิ 35°C	84
8	ผลของสารยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันต่อปริมาณแอมโมเนียมในดิน ในระดับห้องปฏิบัติการที่อัตราการใส่ปุ๋ย 50 กก./ไร่ อุณหภูมิ 35°C	85
9	ผลของสารยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันต่อปริมาณไนเตรทในดิน ในระดับห้องปฏิบัติการที่อัตราการใส่ปุ๋ย 30 กก./ไร่ อุณหภูมิ 25°C	86
10	ผลของสารยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันต่อปริมาณไนเตรทในดิน ในระดับห้องปฏิบัติการที่อัตราการใส่ปุ๋ย 50 กก./ไร่ อุณหภูมิ 25°C	87
11	ผลของสารยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันต่อปริมาณไนเตรทในดิน ในระดับห้องปฏิบัติการที่อัตราการใส่ปุ๋ย 30 กก./ไร่ อุณหภูมิ 35°C	88
12	ผลของสารยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันต่อปริมาณไนเตรทในดิน ในระดับห้องปฏิบัติการที่อัตราการใส่ปุ๋ย 50 กก./ไร่ อุณหภูมิ 35°C	89
13	ผลของสารยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันต่อการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์ จากผิวดินในระดับแปลงทดลอง	90

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
14	ผลของสารยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันต่อปริมาณแอมโมเนียมในดินในระดับแปลงทดลอง	91
15	ผลของสารยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันต่อปริมาณไนเตรทในดินในระดับแปลงทดลอง	91
16	ผลของการใส่สารยับยั้งปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันต่อน้ำหนักต้นแห้งของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์สุวรรณ 4452	92
17	ผลของการใส่สารยับยั้งปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันต่อน้ำหนักฝักของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์สุวรรณ 4452	93
18	ผลของการใส่สารยับยั้งปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันต่อน้ำหนักเมล็ดที่ความชื้นร้อยละ 15 ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์สุวรรณ 4452	94

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1	17
2	18
3	30
4	31
5	33
6	34
7	41
8	45
9	48
10	50
11	50
12	51
13	53
14	53
15	57
16	59
17	67
18	62

ผลของสารยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันที่มีต่อการเปลี่ยนรูปของปุ๋ยไนโตรเจน และการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์ในพื้นที่ปลูกข้าวโพด

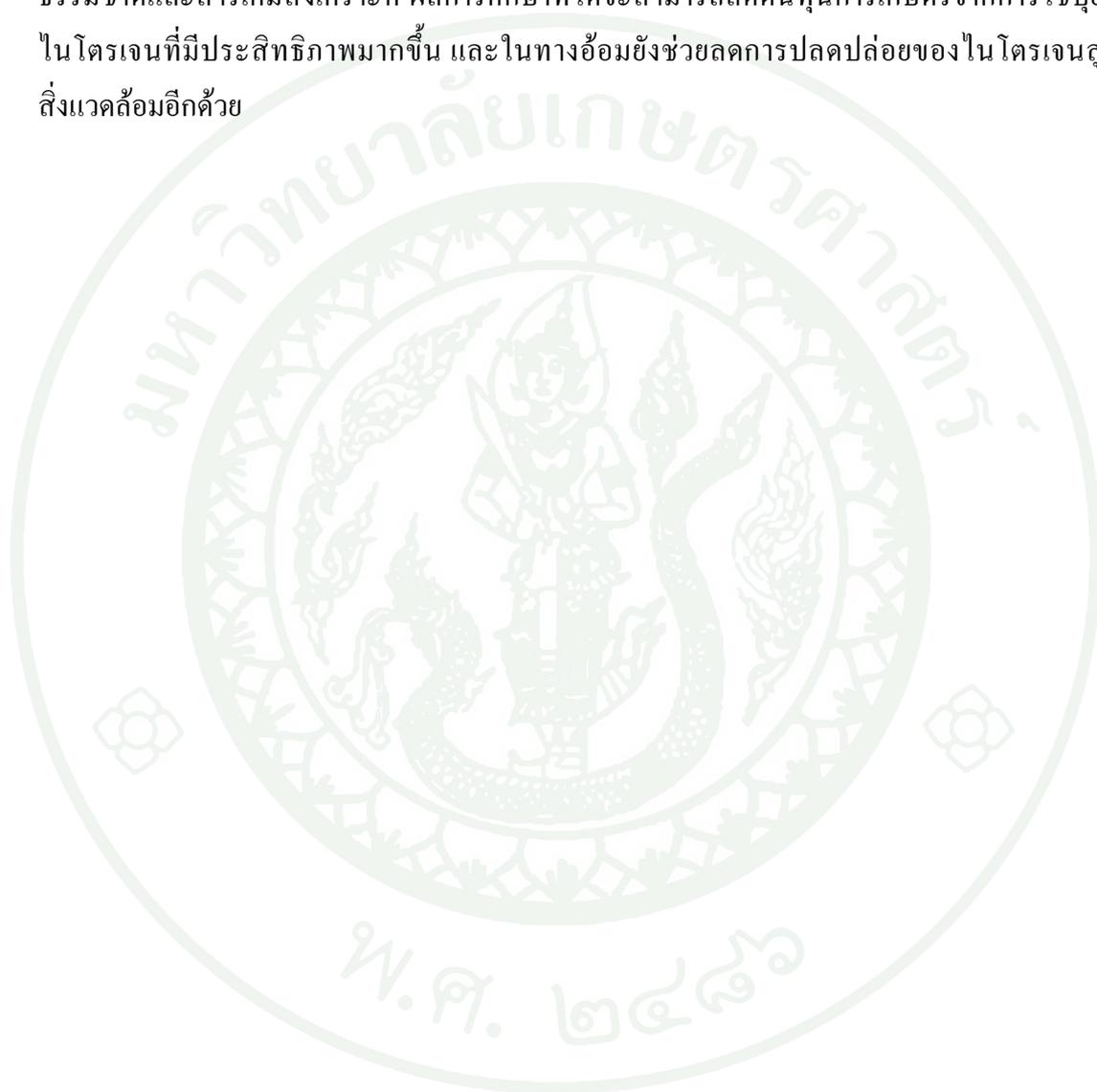
Effect of Nitrification Inhibitors on Nitrogen Fertilizer Transformation and Nitrous Oxide Emission in Corn Field

คำนำ

การพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศในปัจจุบัน จำเป็นต้องอาศัยผลผลิตทางการเกษตรเป็นหลัก ในการทำการเกษตรนั้นจำเป็นต้องอย่างยิ่งที่จะต้องมีการใช้วัสดุปรับปรุงดินหรือปุ๋ยเพื่อเพิ่มผลผลิต และเป็นการปรับสภาพพื้นดินที่ใช้ในการเพาะปลูก โดยเฉพาะปุ๋ยที่มีธาตุอาหารหลักอย่างไนโตรเจน ซึ่งช่วยให้พืชเจริญเติบโตได้ดี มีลำต้นและใบแข็งแรง ปกติประสิทธิภาพของปุ๋ยไนโตรเจนนั้นสามารถนำมาใช้ได้เพียงบางส่วนเพียง โดยส่วนที่เหลือจะถูกปลดปล่อยสู่ธรรมชาติ ซึ่งจะก่อให้เกิดปัญหาทางสิ่งแวดล้อมตามมา เช่น การปนเปื้อนในแหล่งน้ำผิวดิน จะก่อให้เกิดปัญหาธาตุอาหารในแหล่งน้ำมากเกินไป (eutrophication) หรือแม้การปลดปล่อยสู่บรรยากาศในรูปของไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของปัญหาภาวะเรือนกระจกที่ส่งผลต่อภาวะโลกร้อน การรวบรวมข้อมูลของ Chen *et al.* (2008) พบว่าแก๊สไนโตรเจนที่ถูกปลดปล่อยสู่บรรยากาศกว่าร้อยละ 41 มาจากการเกษตรกรรม โดยเกิดผ่านกระบวนการไนตริฟิเคชัน (nitrification) ร่วมกับกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (denitrification) และจากปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการศึกษาหาสารยับยั้งกระบวนการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนเพื่อให้คงอยู่ได้นานขึ้นและมีการปลดปล่อยสู่ธรรมชาติ น้อยลง โดยเฉพาะสารยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชัน เช่น nitrapyrin (N-Serve) โดยการศึกษาของ Abbasi *et al.* (2000) พบว่าสามารถช่วยชะลอการเปลี่ยนรูปของปุ๋ยไนโตรเจนและมีการคงค้างของแอมโมเนียมในดินสูงกว่าร้อยละ 36 หรือ DMPP (3,4-dimethylpyrazole phosphate) สามารถช่วยชะลอการสูญเสียไนโตรเจนในดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังมีสารในธรรมชาติอีกหลายชนิดที่สามารถยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันได้ เช่น สารสกัดจากสะเดา (Majumdar *et al.*, 2002) น้ำมันสกัดจากต้นมินท์ (Kiran and Patra, 2003) เป็นต้น

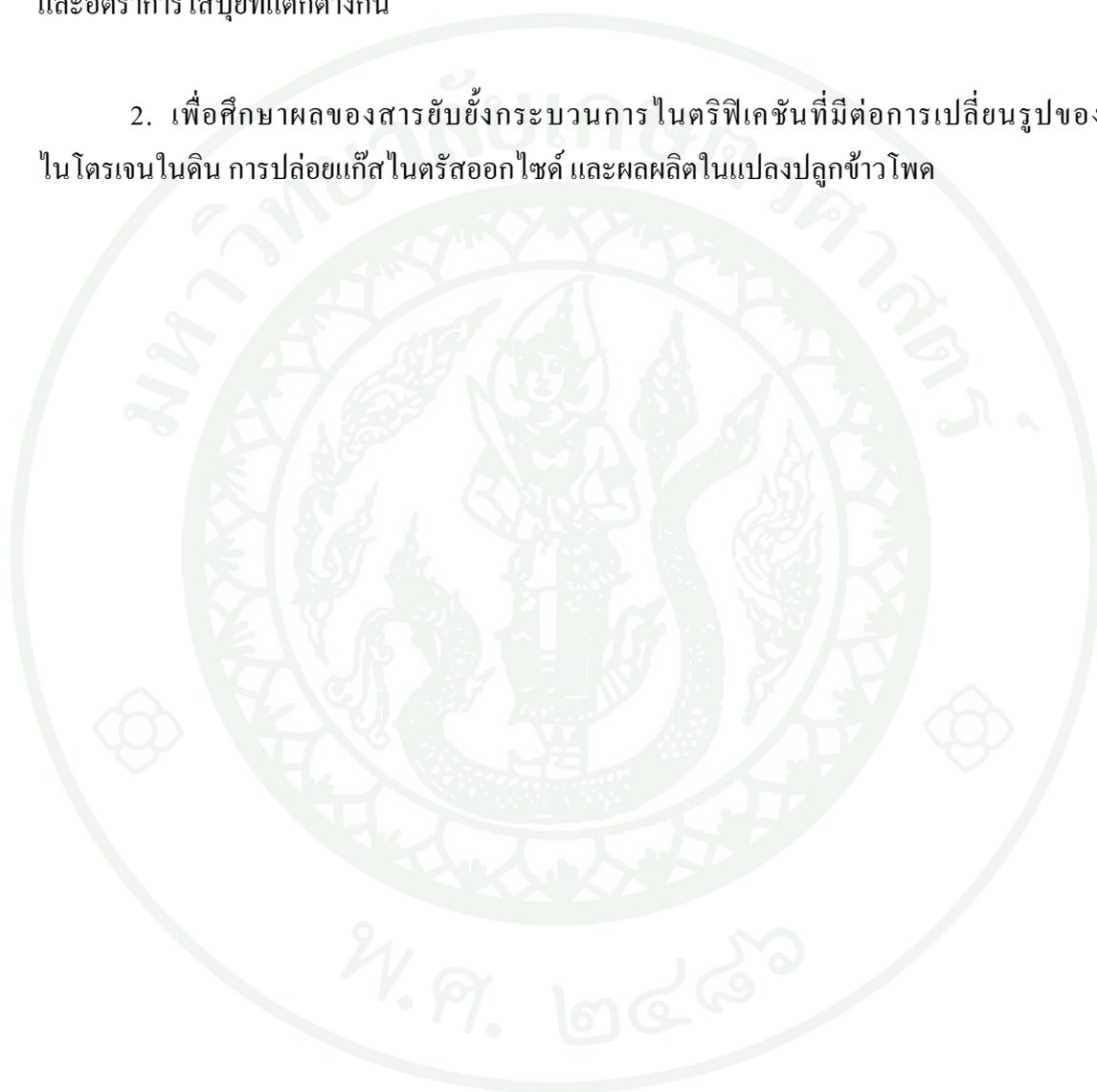
ข้อมูลจากฝ่ายปุ๋ยเคมี สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร ปี 2554 (สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร, 2550) พบว่าการนำเข้าปุ๋ยจากต่างประเทศมีปริมาณสูงถึง 5.6 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่า

กว่า 78,899 ล้านบาท ปัญหาการนำเข้าปุ๋ยในปริมาณมากและราคาปุ๋ยที่สูงขึ้นทำให้ต้องปรับปรุงประสิทธิภาพการให้ปุ๋ยให้ดีขึ้น การศึกษานี้จึงเสนอแนวทางการใช้ปุ๋ยร่วมกับสารยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการให้ปุ๋ยในโตรเจนและลดปัญหาการปล่อยแก๊สเรือนกระจกในระดับห้องปฏิบัติการและแปลงทดลอง โดยศึกษาเปรียบเทียบสารยับยั้งจากสารธรรมชาติและสารเคมีสังเคราะห์ ผลการศึกษาที่ได้จะสามารถลดต้นทุนการเกษตรจากการใช้ปุ๋ยในโตรเจนที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น และในทางอ้อมยังช่วยลดการปลดปล่อยของไนโตรเจนสู่สิ่งแวดล้อมอีกด้วย



วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลของสารยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันที่มีต่อการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนในดินและการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์ในระดับห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิการบ่มดินและอัตราการไถนุ้ยที่แตกต่างกัน
2. เพื่อศึกษาผลของสารยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันที่มีต่อการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนในดิน การปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์ และผลผลิตในแปลงปลูกข้าวโพด



การตรวจเอกสาร

วัฏจักรของไนโตรเจน

ไนโตรเจนเป็นธาตุที่มีความสำคัญ และมีบทบาทในการเจริญเติบโตของพืชเป็นอย่างมาก ไนโตรเจนในดินจะมีการแปรสภาพตลอดเวลาผ่านทางกระบวนการทางชีวเคมี โดยอาศัยเอนไซม์หรือจุลินทรีย์ดินเข้าไปเกี่ยวข้อง แหล่งที่มาของธาตุไนโตรเจนในดินนั้นมาจากอากาศที่มีไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบมากที่สุดโดยสัดส่วน ไนโตรเจนในอากาศจะถูกออกซิไดซ์ให้กลายเป็นไนตริกออกไซด์ และไนโตรเจนไดออกไซด์ ผ่านปรากฏการณ์ฟ้าผ่าและฟ้าแลบ ซึ่งจะละลายตกลงมายังผิวดินผ่านทางน้ำฝน หรือผ่านทางตรึงไนโตรเจนจากอากาศ (nitrogen fixation) โดยอาศัยจุลินทรีย์ที่มีภาวะอยู่ร่วมกันกับพืชบางชนิด เช่น การตรึงไนโตรเจนของไรโซเบียมที่อาศัยที่ปมรากของพืชตระกูลถั่ว และการตรึงไนโตรเจนจากอากาศโดยจุลินทรีย์ที่อยู่อย่างอิสระในดิน ได้แก่ แบคทีเรียพวก azobacter หรือสาหร่ายบางชนิด และการได้มาซึ่งไนโตรเจนในดินจากการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในการเกษตรกรรม ไนโตรเจนในดินจากแหล่งต่างๆมีการเปลี่ยนรูปเพื่อเข้าสู่สิ่งแวดล้อม โดยการเปลี่ยนรูปจากสารอินทรีย์ไนโตรเจนเป็นสารอนินทรีย์ไนโตรเจน เรียกว่ากระบวนการ mineralization อนินทรีย์ไนโตรเจนที่ได้จะอยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ โดยเริ่มจากการย่อยสลายสารประกอบโปรตีนในซากพืชซากสัตว์ให้เปลี่ยนไปเป็นอะมีนและกรดอะมิโน ก่อนถูกเปลี่ยนสภาพไปเป็นแอมโมเนียต่อไป แอมโมเนียที่มีอยู่จะถูกแบคทีเรียจำพวก nitrosomonas และ nitrobacter เปลี่ยนไปเป็นไนไตรท์และไนเตรทตามลำดับ โดยกระบวนการนี้เกิดในสภาวะที่มีออกซิเจนเรียกว่า ไนตริฟิเคชัน (nitrification) และภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน (anaerobic) ไนเตรทจะถูกแบคทีเรีย heterotrophic bacteria ใช้ออกซิเจนจากไนเตรทแล้วปล่อยแก๊สไนโตรเจนสู่บรรยากาศ เรียกกระบวนการนี้ว่า ดีไนตริฟิเคชัน (denitrification)

กระบวนการไนตริฟิเคชัน

กระบวนการไนตริฟิเคชัน เป็นกระบวนการ enzymatic oxidation ซึ่งเกิดขึ้นโดยเอนไซม์ของแบคทีเรียกลุ่ม nitrifying bacteria ในดิน ซึ่งเป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจน กระบวนการนี้ประกอบด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันสองขั้น คือ แบคทีเรียจะได้พลังงานจากการออกซิเดชันแอมโมเนียเป็นไนไตรท์ (NO_2^-) และไนเตรท (NO_3^-) ตามลำดับ ตัวอย่างแสดงดังสมการต่อไปนี้

สมการปฏิกิริยาของ nitrosomonas



สมการปฏิกิริยาของ nitrobacter



ปฏิกิริยารวม



ปกติไนไตรท์ที่เกิดขึ้นจะไม่สะสมอยู่ในดินเป็นเวลานาน คือ เกิดแล้วจะถูกเปลี่ยนให้เป็นไนเตรททันที และหากว่ามีการสะสมของไนไตรท์เป็นจำนวนมากจะเป็นพิษต่อพืชได้ โดยไนเตรทที่เกิดขึ้นจะอยู่ในรูปสารละลายดิน ถูกพืชและจุลินทรีย์นำไปใช้ ส่วนที่เหลือจะสูญเสียไปโดยการชะละลายผ่านชั้นดินลงสู่ชั้นล่างและสูญเสียไปในรูปของแก๊ส (มุกดา, 2544)

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการไนตริฟิเคชัน

กระบวนการไนตริฟิเคชันเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญต่อการแปรรูปไนโตรเจนในดิน โดยจำเป็นจะต้องมีสภาพสิ่งแวดล้อมต่างๆในดินที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของจุลินทรีย์ที่ควบคุมกระบวนการนี้

1. กลุ่มแบคทีเรียไนตริฟลายอิงค์

กลุ่มแบคทีเรียไนตริฟลายอิงค์เป็นปัจจัยหลักของการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน โดยจำนวนและความหลากหลายของกลุ่มจุลินทรีย์ขึ้นกับสภาพแวดล้อมที่ทำการศึกษา โดยเฉพาะชนิดของดิน Belser (1979) และ Jha *et al.* (1996) พบว่าจำนวนของจุลินทรีย์ไนตริฟลายอิงค์มีผลอัตราการออกซิเดชันของแอมโมเนียมและไนไตรท์ และส่งผลต่ออัตราการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันอย่างมีนัยสำคัญ

2. การถ่ายเทอากาศ (soil aeration)

กระบวนการไนตริฟิเคชันเป็นกระบวนการออกซิเดชันของไนโตรเจน โดยเกี่ยวข้องกับแบคทีเรียไนตริฟลายอิงค์ ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ชนิดแอโรบิกที่ต้องการออกซิเจนในการหายใจ ดังนั้นออกซิเจนจึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับกระบวนการนี้ อากาศที่ไหลผ่านในดินอาศัยช่องว่างของเม็ดดินเป็นสำคัญ โดย Prasad and Power (1997) พบว่าดินที่มีโครงสร้างร่วนและเม็ดดินขนาดใหญ่มีอัตราการแลกเปลี่ยนแก๊สได้ดี และส่งเสริมการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่มไนตริฟลายอิงค์ ซึ่งสอดคล้องกับงานศึกษาของ Wahhab and Alam (1957) ที่รายงานถึงลักษณะของเนื้อดินต่อระดับของไนโตรเจนไว้ดังนี้คือ ดินที่มีเนื้อละเอียดจะมีระดับไนโตรเจนสูงกว่าดินที่มีเนื้อหยาบ ในดินที่มีแร่ดินเหนียวมากจะเกิดไนตริฟิเคชันได้ช้าแต่จะเกิดได้นาน ดินร่วนจะเกิดไนตริฟิเคชันของแอมโมเนียมซัลเฟตได้เร็วกว่าดินทรายในระยะ 14 วันแรก ซึ่งปริมาณออกซิเจนในดินที่เหมาะสมต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 2.1 จึงจะทำให้กระบวนการไนตริฟิเคชันดำเนินไปตามปกติ ดินที่อยู่ในสภาพที่มีการถ่ายเทอากาศดีจะมีปริมาณออกซิเจนพอสำหรับกระบวนการนี้ ไนตริฟิเคชันจะเกิดเฉพาะดินชั้น A แต่ถ้ามีการไถพรวนจะเกิดในชั้น B ด้วย (Amer *et al.*, 1951)

3. อุณหภูมิดิน (soil temperature)

กระบวนการไนตริฟิเคชันเป็นกระบวนการที่เกิดจากจุลินทรีย์ซึ่งเป็นสิ่งมีชีวิต ดังนั้นจึงต้องการอุณหภูมิที่พอเหมาะเพื่อการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งการเกิดออกซิเดชันของแอมโมเนียเกิดขึ้นได้ตั้งแต่ 0–60°C และการเกิดออกซิเดชันของไนไตรท์จะหยุดเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 40°C (Tate, 2000) โดยช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเกิดกระบวนการดังกล่าว คือระหว่าง 26–32°C ถ้าอุณหภูมิสูงถึง 51.5°C กระบวนการไนตริฟิเคชันจะหยุดทันที และถ้าอุณหภูมิต่ำลงถึง 4°C หรือต่ำกว่านั้นจุลินทรีย์ก็จะไม่ทำงานเช่นเดียวกัน สำหรับการศึกษานในห้องปฏิบัติการพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่ออัตราการเกิดไนตริฟิเคชันได้ดีอยู่ที่ 25°C (Schimidt and Belser, 1994)

4. ความชื้นในดิน (soil moisture)

โดยทั่วไปความชื้นที่เหมาะสมที่จุลินทรีย์ทำงานจะประมาณร้อยละ 50-75 ของความสามารถในการอุ้มน้ำ งานศึกษาของ Morill and Dawson (1967) พบว่ากระบวนการไนตริฟิเคชันจะเพิ่มขึ้นเมื่อความชื้นในดินเพิ่มขึ้น แต่หากมีปริมาณน้ำในช่องว่างดินมากเกินไปจะส่งผลให้ปริมาณอากาศไม่เพียงพอต่อการทำงานของจุลินทรีย์ดิน (Tate, 2000) และหากมีมากเกินไปจะส่งผลให้เกิดดินไนตริฟิเคชัน ดังนั้น ความชื้นในดินจึงมีผลต่อถ่ายเทอากาศในดิน ถ้าความชื้นในดินน้อยเกินไปก็จะทำให้ดินมีสภาพแห้งเกินไปไม่เหมาะแก่การเจริญและการทำงานของจุลินทรีย์

5. ความเป็นกรดด่างของดิน (soil pH)

ความเป็นกรดด่างมีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยความเป็นกรดด่างของดินไม่ควรต่ำกว่า 4.5 และระดับที่เหมาะสมคือ 6.5-7 งานศึกษาของ Glimour (1984) พบว่าการเกิดไนตริฟิเคชันจะเกิดได้ดี เมื่อดินมีค่าความเป็นกรด-ด่างในช่วง 4.0-7.7 สภาพที่ดินเป็นกรดจะเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันได้น้อยมาก เนื่องจากความเป็นพิษของอะลูมิเนียมและกรดไนตริกที่มีผลต่อจุลินทรีย์ ในขณะที่ดินด่างจะมีความเป็นพิษของแอมโมเนียต่อจุลินทรีย์ดินเช่นกัน ซึ่งค่าความเป็นกรดด่างที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเจริญของ nitrobacter คือ 6.2-7.0 และ nitrosomonas คือ ประมาณ 7 (Amer *et al.*, 1951)

6. อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนกับไนโตรเจนของอินทรีย์วัตถุ และธาตุอาหารต่างๆ (C/N ratio and nutrient)

อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนกับไนโตรเจนของอินทรีย์วัตถุมีความสำคัญต่อกระบวนการไนตริฟิเคชัน คือ ถ้าอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนกับไนโตรเจนของอินทรีย์วัตถุสูงหรือกว้าง แสดงว่ามีสัดส่วนคาร์บอนที่สูงกว่าไนโตรเจนมาก และไม่เหมาะสมต่อการเพิ่มขึ้นของจำนวนจุลินทรีย์ เพราะเมื่อจำนวนจุลินทรีย์มากขึ้นความต้องการไนโตรเจนสำหรับการสร้างเซลล์จะมากขึ้นด้วย แต่มีปริมาณไนโตรเจนจำกัด และอาจส่งผลให้กระบวนการไนตริฟิเคชันชะงักลง เนื่องจากขาดแอมโมเนียมที่ใช้เป็นสารตั้งต้นของกระบวนการ ส่วนธาตุอาหารอื่นๆ เป็นปัจจัยที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เช่นกัน โดยจุลินทรีย์ต้องการธาตุอาหารเหล่านั้นเดียวกับพืชชั้นสูง ดังนั้นการใส่ปุ๋ยลงไปดินเพื่อให้มีระดับธาตุอาหารที่สมดุลจะช่วยทำให้กระบวนการไนตริฟิเคชันดำเนินไปได้ดียิ่งขึ้น

การสูญหายของไนโตรเจนในดิน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

1. พืชและจุลินทรีย์ในดินนำไปใช้

พืชและจุลินทรีย์ในดินสามารถนำไนโตรเจนไปใช้ได้ในรูปแบบของไนเตรตและแอมโมเนียมเป็นส่วนใหญ่ โดยจะไปสะสมเป็นโครงสร้างและผลผลิต การสูญเสียไนโตรเจนดังกล่าวอาจจะเป็นการสูญเสียชั่วคราวและจะกลับคืนสู่ดินเมื่อพืชและจุลินทรีย์นั้นตายและเน่าเปื่อยลง แต่หากมีการขนย้ายผลผลิตออกไปหมายถึงการสูญเสียไนโตรเจนจากดินนั้นอย่างถาวร

2. การชะละลาย (leaching)

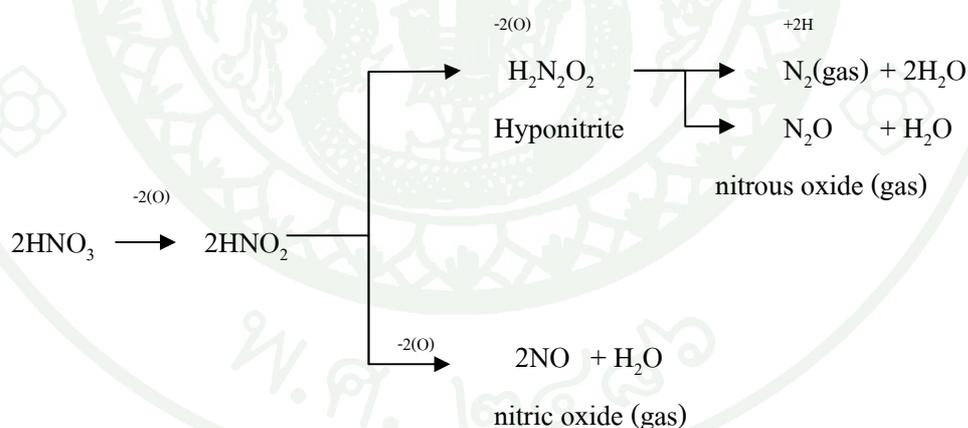
ฝนที่ตกลงมาหรือน้ำชลประทานที่ซึมผ่านชั้นดินจะชะเอาไนโตรเจนตามลงไปด้วย โดยเฉพาะไนโตรเจนในรูปไนเตรตหรือไนเตรต ถ้าหากไนโตรเจนที่ถูกชะลงไปยังชั้นล่างของดินไม่ลึกเกินบริเวณรากของพืชจะถูกดูดกลับขึ้นมาใช้ใหม่ แต่ถ้าถูกชะลงไปยังดินชั้นล่างที่ลึกจนรากหยั่งไม่ถึงแล้วจะเกิดการสูญเสียไนโตรเจนเกิดขึ้น

3. การสูญเสียในรูปแก๊ส (volatilization)

ไนโตรเจนอาจสูญเสียไปจากดินในรูปของแก๊สได้ กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการสูญเสียของไนโตรเจนในดินนี้ จะเกิดขึ้นเมื่อดินอยู่ในสภาวะที่ไม่เหมาะสม คือ อากาศถ่ายเทไม่ดี มีสภาพน้ำขัง ในสภาวะเช่นนี้ดินจะขาดออกซิเจน และกระบวนการรีดักชันจะเกิดขึ้น ซึ่งมีผลทำให้ไนโตรตและไนเตรทเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของแก๊สได้ โดยกระบวนการรีดักชันอาจเกิดขึ้นได้ทั้งกระบวนการทางชีวภาพและกระบวนการทางเคมี

3.1 กระบวนการทางชีวภาพ

เป็นกระบวนการรีดักชันอันเนื่องมาจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่อยู่ในดิน เมื่อดินขาดออกซิเจน จุลินทรีย์บางชนิดจะใช้อนุมูลต่างๆ ที่มีระดับออกซิเดชันสูงๆ เช่น ไนโตรตหรือไนเตรท เป็นตัวรับอิเล็กตรอนในกระบวนการหายใจโดยไม่ใช้ออกซิเจน นั่นคือ ไนโตรตหรือไนเตรทในดินจะถูกรีดิวซ์ให้กลายเป็นแก๊สในรูปต่างๆ เช่น แก๊สไนโตรเจน แก๊สไนตรัสออกไซด์ แก๊สไนตริกออกไซด์ และสูญเสียออกไปจากดินผ่านกระบวนการดีไนตริฟิเคชันดังสมการต่อไปนี้



3.2 กระบวนการทางเคมี

ไนโตรที่จะสูญเสียไปจากดินได้ เมื่ออยู่ในดินที่มีปฏิกิริยาเป็นกรดและมีเกลือแอมโมเนียมหรือสารประกอบอะมีน เช่น ยูเรีย หรือสารประกอบพวกคาร์โบไฮเดรตอยู่ด้วย โดยปฏิกิริยารีดักชันอาจเกิดขึ้นดังสมการต่อไปนี้



นอกจากนี้ไนโตรที่อาจจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของแก๊สได้ เมื่อมีโลหะทรานซิชัน เช่น Fe^{2+} Cu^{2+} Mn^{2+} ในดิน และกระบวนการนี้เกิดขึ้นได้ดังสมการต่อไปนี้



ไนโตรเจนในดินมีการสูญหายได้ง่ายทั้งในสภาพอากาศถ่ายเทดีหรือไม่ดี และการสูญหายมักอยู่ในรูปของการถูกชะละลายหรือแปรรูปเป็นแก๊สสูญหายไป ดังนั้นการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนจึงควรระมัดระวัง มีการแบ่งใส่ตามระยะการเจริญเติบโตของพืช และปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดินให้คืออยู่เสมอ

ปุ๋ยไนโตรเจน

การผลิตปุ๋ยไนโตรเจนเริ่มขึ้นในปี 1890 โดยอาจอยู่ในรูปที่เป็นของแข็งหรือของเหลว และอาจมีองค์ประกอบของธาตุอาหารอื่นๆร่วมด้วย จุดประสงค์หลักของการใส่ปุ๋ยเพื่อเป็นการเพิ่มปริมาณผลผลิตของพืช นอกจากนี้ยังเป็นเพิ่มคุณภาพของผลผลิต เช่น เพิ่มปริมาณโปรตีน ธาตุไนโตรเจนจึงมีความสำคัญและเป็นที่ต้องการในปริมาณมาก ดังนั้นการจัดการธาตุไนโตรเจนให้มีประสิทธิภาพจึงเป็นผลดีสำหรับการเกษตร ตลอดจนการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม

การจัดการที่เหมาะสมสำหรับเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ย

เมื่อมีการใส่ปุ๋ยลงในพื้นที่และมีสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสม ปุ๋ยที่ใส่ลงไปดินจะละลายเกิดการเปลี่ยนรูปและเคลื่อนที่ไปในดิน ปุ๋ยแต่ละชนิดจะเกิดการเปลี่ยนแปลงและเคลื่อนที่ไปในดินได้แตกต่างกัน โดยปุ๋ยไนโตรเจนเกือบทุกชนิดละลายน้ำได้ดีและจะเปลี่ยนไปในรูปไนเตรท ซึ่งสูญเสียไปจากดินได้ง่ายและรวดเร็ว ทำให้พืชไม่สามารถนำไปใช้ได้เต็มที่ โดยประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆต่อไปนี้

1. ปัจจัยด้านภูมิอากาศ

ปัจจัยด้านภูมิอากาศเป็นปัจจัยที่มีองค์ประกอบของปริมาณและการกระจายของฝน อุณหภูมิ ฤดูกาล ปริมาณของแสงแดด ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญและควบคุมได้ยาก เนื่องจากน้ำฝนเป็นที่มาของน้ำในดินที่พืชต้องการนำไปใช้ในกระบวนการต่างๆ และยังเป็นตัวทำละลายธาตุอาหารจากดินและปุ๋ย จึงมีผลต่อประสิทธิภาพการดูดใช้ในไนโตรเจน (N uptake efficiency) อย่างมาก

2. ปัจจัยเกี่ยวกับปุ๋ย

ปุ๋ยไนโตรเจนในภาคการเกษตรมีสัดส่วนหรือปริมาณของธาตุอาหารที่แตกต่างกัน ดังนั้นจำเป็นต้องพิจารณาถึงความต้องการของพืชและช่วงเวลาที่ใช้ให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโต ทั้งนี้ปุ๋ยแต่ละชนิดมีลักษณะการแพร่ของธาตุอาหารที่ต่างกัน ดังนั้นการเลือกจุดและวิธีที่ใส่จะช่วยให้สามารถใช้ธาตุอาหารดังกล่าวได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

3. อัตราที่เหมาะสมและคุณค่าทางเศรษฐศาสตร์

การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในการเพิ่มผลผลิต ต้องพิจารณาความคุ้มค่าเศรษฐศาสตร์ด้วย โดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนกับผลผลิตที่เพิ่มขึ้น จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มไนโตรเจนจนถึงระดับหนึ่งแล้ว ผลผลิตจะไม่มี的增加ขึ้นแต่จะลดลง ซึ่งหมายถึงถ้ามีการใส่ปุ๋ยเกินระดับนี้ไปแล้วจะทำให้ผลผลิตลดลงและยังเป็นการเสียค่าใช้จ่ายโดยเปล่าประโยชน์ เพราะฉะนั้นต้องเลือกอัตราการใส่ที่เหมาะสมทั้งในเชิงผลผลิตทางการเกษตรควบคู่กับความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

การประเมินประสิทธิภาพของการใช้ปุ๋ย (ศุภธิดา, 2552)

ประสิทธิภาพ หมายถึงความสามารถที่ทำให้เกิดผลในการทำงาน หากพิจารณาในแง่การผลิต ประสิทธิภาพในการผลิตคือผลผลิต (product) ที่ได้ต่อหน่วยของทรัพยากร หรือวัตถุดิบที่ใช้ สำหรับการใส่ปุ๋ยเพื่อบำรุงให้พืชเจริญเติบโตนั้น เนื่องจากปุ๋ยมีธาตุอาหารเป็นองค์ประกอบจึงถือว่าปุ๋ยเป็นวัตถุดิบอย่างหนึ่ง ซึ่งพืชดูดไปใช้แล้วก่อให้เกิดผลผลิต โดยประโยชน์ที่พืชได้รับจากปุ๋ยอยู่ที่ธาตุอาหารซึ่งเป็นองค์ประกอบของปุ๋ยนั้น การศึกษาจึงเน้นไปที่ประสิทธิภาพการใช้ธาตุอาหาร (nutrient use efficiency) ส่วนวิธีวัดประสิทธิภาพการใช้ธาตุอาหารในปุ๋ย มี 3 วิธี คือ 1) ประสิทธิภาพการผลิตพืช (agronomic efficiency) หรือประสิทธิภาพผลผลิต (yield efficiency) 2) ประสิทธิภาพการดูดธาตุอาหารจากปุ๋ย (apparent recovery efficiency) และ 3) ประสิทธิภาพเชิงสรีระ (physiological efficiency) ซึ่งรายละเอียดเป็นไปตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คำนิยาม การคำนวณ การแปลผลการประเมินประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยในโตรเจน

ประสิทธิภาพ	การคำนวณ	ค่ามาตรฐานและการแปลผล
1.ประสิทธิภาพการผลิตพืช (agronomic efficiency, AE_N)	ประสิทธิภาพการผลิต พืช = $(Y_f - Y_0) / F_n$ กก.ผลผลิต/กก.N	10-30 kg ของผลผลิตทางเศรษฐศาสตร์ ถ้า > 30 กก./ กก.ไนโตรเจน จัดได้ว่ามีการ จัดการที่ดีหรือมีการให้ไนโตรเจนที่ระดับต่ำ ค่านี้ขึ้นอยู่กับวิธีการจัดการ เช่น วิธีการใส่ปุ๋ย ระบบการปลูก
2.ประสิทธิภาพการดูดธาตุ อาหารจากปุ๋ย (recovery efficiency, RE)	ประสิทธิภาพการดูดธาตุ อาหารจากปุ๋ย (ร้อยละ) = $(U_f - U_0) \times 100 / F_n$	ร้อยละ 30 - 50 สำหรับธัญพืชทั่ว ๆ ไป ร้อยละ 50 - 80 สำหรับธัญพืชที่มีการจัดการที่ดี ร้อยละ 10 - 30 สำหรับปุ๋ยฟอสฟอรัสในปีแรก ร้อยละ 50 - 90 สำหรับปุ๋ยฟอสฟอรัสในระยะ ยาว ค่านี้ขึ้นอยู่กับวิธีการใส่ปุ๋ย ระบบการปลูก และปัจจัยทางภูมิอากาศ
3.ประสิทธิภาพเชิงสรีระ (physiological efficiency, PE_N)	ประสิทธิภาพเชิงสรีระ = $(Y_f - Y_0) / (N_f - N_0)$ กก.ผลผลิต/กก.N	30-60 กก./กก. ไนโตรเจน >60 กก./กก.ไนโตรเจน จัดได้ว่ามีการจัดการที่ ดีหรือมีการให้ไนโตรเจนที่ระดับต่ำ ค่าเหล่านี้ ขึ้นอยู่กับพันธุ์พืช สิ่งแวดล้อม และการจัดการ ถ้ามีค่าต่ำอาจเกิดจากธาตุอาหารไม่เพียงพอ ภาวะแห้งแล้ง มลพิษทางดิน

ที่มา: สุภิชิตา (2552)

ปุ๋ยและแก๊สเรือนกระจก

โดยธรรมชาติชั้นบรรยากาศรอบโลกทำหน้าที่เหมือนฉนวนกักความร้อน ทำนองเดียวกันกับเรือนเพาะชำต้นไม้ (greenhouse) ที่ทำหน้าที่พรางแสงและลดความร้อนของแสงแดดก่อนผ่านไปยังต้นไม้ที่อยู่ด้านใน เมื่อพลังงานกระทบกับผิวโลกและถ่ายเทพลังงานสู่โลกทำให้โลกอบอุ่น พลังงานส่วนหนึ่งถูกดูดไว้ที่ผิวโลก ส่วนหนึ่งสะท้อนกลับออกไปนอกชั้นบรรยากาศ (re-radiated) ขณะที่ส่วนหนึ่งถูกจับไว้ในชั้นบรรยากาศ พลังงานที่ถูกกักในชั้นบรรยากาศจับไว้นี้ ก่อให้เกิดสภาวะเรือนกระจก (greenhouse effect) ซึ่งเป็นต้นเหตุที่จะทำให้ผิวนอกของโลกมีความอบอุ่นมากขึ้น แก๊สเรือนกระจกแต่ละชนิดมีความสามารถในการจับพลังงานความร้อน สะท้อนพลังงานออกมาใหม่ และมีระยะเวลาอยู่ในชั้นบรรยากาศที่แตกต่างกัน ซึ่งความสามารถที่แตกต่างกันนี้คือ ศักยภาพแก๊สเรือนกระจกของแก๊สแต่ละชนิด ศักยภาพของแก๊สเรือนกระจกแต่ละชนิดจึงถูกกำหนดโดยยึดเอาศักยภาพของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มีค่าเท่ากับ 1 และเทียบศักยภาพของแก๊สอื่นๆกับคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 equivalent) คือ มีเทน (methane - CH_4) มีค่า 21 เท่า และไนตรัสออกไซด์มีค่า 310 เท่าของคาร์บอนไดออกไซด์ (চারنگค์, 2551)

ภาคเกษตรกรรมมีการปลดปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์ประมาณ 2.8 พันล้านตันต่อปี ซึ่งแก๊สไนตรัสออกไซด์ส่วนใหญ่เกิดจากการใช้ปุ๋ยในโตรเจนในการเพาะปลูก โดยเฉพาะการทำเกษตรอุตสาหกรรมที่ใช้ปุ๋ยในปริมาณมากเกินกว่าความจำเป็นที่พืชต้องนำไปใช้จริง ทำให้ปุ๋ยส่วนเกินบางส่วนกลายเป็นแก๊สไนตรัสออกไซด์ และประเทศที่ปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์มากที่สุดขณะนี้คือประเทศจีน โดยมีการปล่อยแก๊สดังกล่าวกว่า 2,000 ล้านตันต่อปี และคาดว่าภายใน 20 ปีข้างหน้า การปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์จะเพิ่มขึ้นมากถึงร้อยละ 35-60 โดยเกิดจากการบุกรุกพื้นที่ป่าธรรมชาติเพื่อใช้ทำการเกษตรอุตสาหกรรม (ปลูกพืชอาหารสัตว์) (ไทยโพสท์, 2551) รายงานของ Hickman *et al.* (2011) กล่าวถึงแนวโน้มการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์ในพื้นที่การเกษตรแถบแอฟริกาว่าในปี 2050 จะมีแนวโน้มการใช้ปุ๋ยในโตรเจนเพื่อการเกษตรเพิ่มขึ้น 1.5 – 6 เท่า เมื่อเทียบกับปี 2000 ซึ่งจะส่งผลให้อัตราการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์สูงขึ้นจากในปี 2000 เป็นเท่าตัว โดยสาเหตุที่สำคัญ คือ การทำการเกษตรในแอฟริกาที่มีแนวโน้มการถางป่ามาเพื่อทำการเกษตรมากขึ้น

สารยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification Inhibitors)

สารเคมีหลายชนิดมีศักยภาพเพื่อใช้ในการยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชัน เช่น 2-chloro-6 (trichloromethyl) pyridine (nitrapyrin) dicyandiamide sulfathiazole เป็นต้น ทั้งนี้เนื่องจากปุ๋ยไนโตรเจนมีองค์ประกอบของแอมโมเนียม ซึ่งแอมโมเนียมไอออนเป็นส่วนที่พืชดูดไปใช้ได้ดี และสูญหายไปกับการชะล้างน้อย เพราะแอมโมเนียมเป็นแคตไอออนจึงดูดซับอยู่กับประจุลบของคอลลอยด์ดิน อย่างไรก็ตามเมื่อดินมีอุณหภูมิและความชื้นเหมาะสม แอมโมเนียมไอออนจะถูกจุลินทรีย์ดินออกซิไดซ์เป็นไนไตรท์และไนเตรทไอออนตามลำดับ หรือที่เรียกกันโดยทั่วไปว่ากระบวนการไนตริฟิเคชัน แม้ว่ารากพืชจะดูดไนเตรทไปใช้ได้ง่าย แต่เนื่องจากเป็นแอนไอออน จึงถูกน้ำชะล้างได้ง่ายด้วย นอกจากนี้เมื่อดินขาดออกซิเจน เช่น ขณะน้ำท่วมขัง ไนเตรทไอออนจะถูกจุลินทรีย์ดินรีดิวซ์ให้กลายเป็นแก๊สไนโตรเจน หรือออกไซด์ของไนโตรเจน แล้วระเหยไปในอากาศ กระบวนการดังกล่าวเรียกว่าดีไนตริฟิเคชัน ด้วยเหตุนี้การยับยั้งไนตริฟิเคชัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในขั้นตอนที่แอมโมเนียมไอออนถูกออกซิไดซ์มาเป็นไนไตรท์ได้ จะช่วยยืดเวลาให้แอมโมเนียมไอออนคงอยู่ในดินได้นานกว่าเดิม และเป็นประโยชน์ต่อพืชมากขึ้น (Prasad and Power, 1995; Singh *et al.*, 2008)

ตารางที่ 2 ชื่อทางเคมีและชื่อสามัญของสารยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันบางชนิด

ชื่อทางเคมี	ชื่อสามัญหรือชื่อทางการค้า
ไทโอยูเรีย	ไทโอยูเรีย หรือ TU
1-Cyanoguanidine	Dicyandiamide หรือ DCD
2-mercapto-benzothiazole	MBT
2-chloro-6-(trichloromethyl)pyridine	Nitrapyrin หรือ N-Serve
2-amino-4-chloro-6-methyl pyrimidine	AM
4-amino-N-2-thiazolyl	Sulfathiazole หรือ ST
5-ethoxy-3-trichloromethyl-1, 2, 4-thiadiazol	Dwell หรือ Terrazole

ที่มา: คัดแปลงจาก Nelson and Huber (2001)

การทำงานของสารยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันบางชนิด

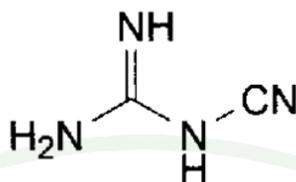
ไทโอยูเรีย (H_2NCSNH_2)

Hays and Forbes (1974) พบว่าไทโอยูเรียเป็นสารประกอบพวกกำมะถันในยูเรีย สามารถใช้เป็นสารยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันได้ ซึ่งไทโอยูเรียจะขัดขวางการเจริญเติบโตของ Nitrosomonas โดยการหน่วงเหนี่ยวให้การเคลื่อนที่ของแอมโมเนียมเข้าสู่เซลล์ช้าลง โดยจากการศึกษาภายใต้การบ่มดินที่ความเข้มข้น 4-8 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน (ไทโอยูเรีย) ต่อน้ำหนักดิน 100 กรัมสามารถช่วยชะลอกระบวนการไนตริฟิเคชันได้ในระยะเวลา 3-6 สัปดาห์ นอกจากนี้ไทโอยูเรียยังเป็นแหล่งที่ปลดปล่อยไนโตรเจนสู่ดิน ซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ได้อีกทางหนึ่ง

Sulfathiazole ($C_9H_9N_3O_2S_2$)

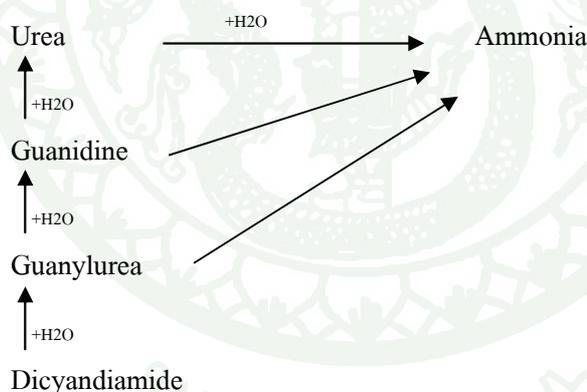
Prasad *et al.* (1971) รายงานว่าสารอินทรีย์ที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบหลายชนิดสามารถยับยั้งการสร้างไนเตรตได้ เช่น ไทโอยูเรีย thiosulfate และ sulfathiazole เป็นต้น Sexton (1963) รายงานว่า sulfathiazole ซึ่ง thiazole ถูกแทนที่ด้วย sulfonamide จะยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของแอมโมเนีย Hauck (1980) พบว่า sulfathiazole ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของ nitrosomonas ในอาหารเลี้ยงเชื้อ แต่จะยับยั้งกิจกรรมของจุลินทรีย์เมื่ออยู่ในดินหลังจากช่วงเริ่มต้นของ lag phase และพบว่าผลการยับยั้งไม่ได้มาจากสารเคมีที่เป็นสารเริ่มต้น แต่มาจากอนุพันธ์ที่เกิดตามมาทีหลัง เช่น การปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จากสารประกอบพวกกำมะถันนั่นเอง

Dicyandiamide (DCD) ($\text{H}_2\text{NC(=NH)NHCN}$)



ภาพที่ 1 สูตรโครงสร้างของ dicyandiamide (DCD)

Dicyandiamide หรือ 1-CYANO GUANIDINE เป็นสารเคมีสังเคราะห์ที่มีลักษณะเป็นผงสีขาว สามารถละลายน้ำที่อุณหภูมิ 20°C ได้ 34.6 กรัมต่อลิตร จากข้อมูลพิษวิทยาพบว่า $\text{LD}_{50} > 5000$ มิลลิกรัม/กิโลกรัมในหนู และเมื่อพิจารณาถึงข้อชี้บ่งสำหรับอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมพบว่าสารดังกล่าวไม่เป็นอันตรายตามข้อกำหนด 67/548/EC เมื่อสาร DCD ลงสู่ดินจะมีการสลายตัวดังสมการต่อไปนี้ (ดัดแปลงจาก Rathsack (1987))

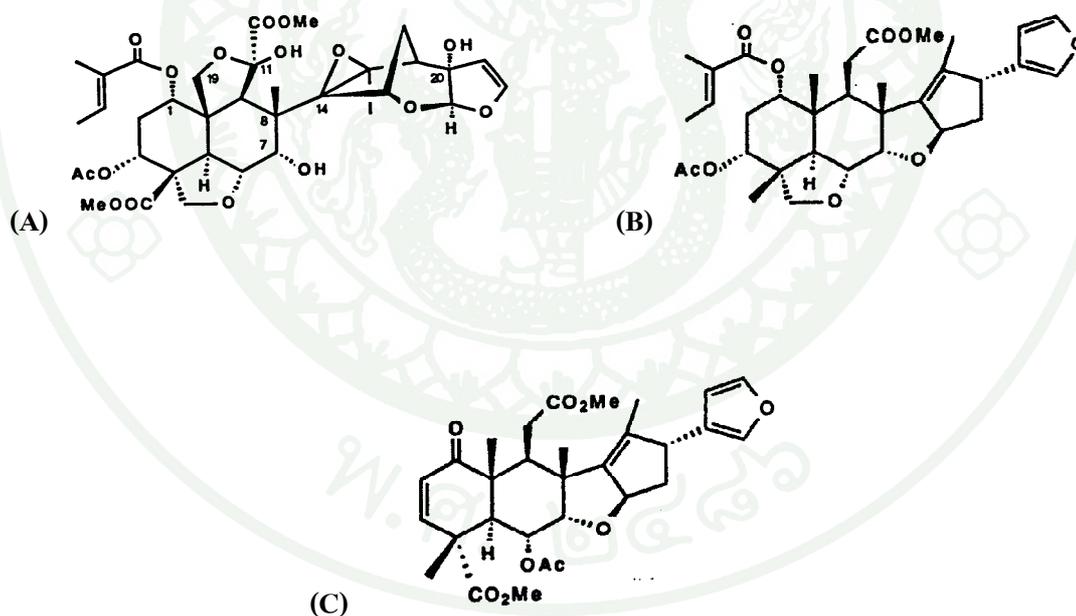


DCD ไม่ถือเป็นสารออกฤทธิ์โดยตรงต่อจุลินทรีย์ แต่เป็นเพียงสารที่ออกฤทธิ์โดยตรงต่อเอนไซม์ และขัดขวางการเปลี่ยนรูปของแอมโมเนียไปเป็นไนโตรัสไนไตรท์ Hauck (1972) พบว่า DCD สามารถยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันได้ โดยจะไปยับยั้งเอนไซม์ cytochrome oxidase ในเซลล์ที่มีชีวิต และยังเป็นสารชะลอการปลดปล่อยไนโตรเจนสู่ดินอย่างช้าๆ ซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อีกด้วย ประสิทธิภาพของ DCD จะลดลงเมื่อปัจจัยต่างๆต่อไปนี้สูงขึ้น คือ อุณหภูมิในดิน ค่าความเป็นกรดค่า และความชื้นในดิน

สะเดา (*Azadirachta indica*)

สะเดามีสารยับยั้งไนตริฟิเคชัน ซึ่งเป็นสารในกลุ่มเมเลียซิน (meliacins) ได้แก่ 1) epinimbin 2) nimbin 3) desacetyl nimbin 4) salanin 5) desacetyl salanin และ 6) azadirachtin ผลการทดสอบกากสะเดามีดังนี้

Reddy and Prasad (1975) พบว่าการผสมกากสะเดาร้อยละ 10 กับยูเรียจะช่วยยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันร้อยละ 70 40 และ 5 เมื่อสิ้นสุดสัปดาห์ที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ ในขณะที่การผสม nitrapyrin ร้อยละ 1 สามารถยับยั้งได้ร้อยละ 85 93 และ 90 ตามลำดับ การรวบรวมข้อมูลของ Singh *et al.* (2008) พบว่าการใช้กากสะเดาและสารสกัดจากสะเดาร่วมกับปุ๋ยยูเรียในการทำการเพาะปลูกพืช ได้แก่ ข้าว ข้าวสาลี ฝ้าย และข้าวโพด พบว่าผลผลิตโดยเฉลี่ยมีอัตราสูงขึ้น ร้อยละ 9.6 6.9 10.3 และ 7 ตามลำดับ

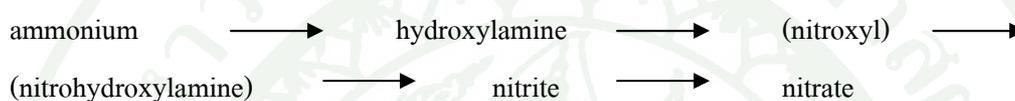


ภาพที่ 2 สูตรโครงสร้างทางเคมีของสารออกฤทธิ์ในสะเดาบางชนิด (A) azadirachtin (B) salannin (C) nimbin

ที่มา: Jones *et al.* (1989)

กลไกการทำงานของสารยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชัน

กระบวนการไนตริฟิเคชันเป็นกระบวนการออกซิไดซ์ไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมไปเป็นไนโตรเจนในรูปไนเตรท ซึ่งเป็นกระบวนการสร้างพลังงานและเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอน ซึ่งกระบวนการนี้จะเกิดขึ้นโดยจุลินทรีย์พวก chemosynthetic autotrophs (nitrobacteriaceae) ซึ่งต้องการพลังงานไปใช้ในกระบวนการเมแทบอลิซึม การออกซิไดซ์แอมโมเนียมไปเป็นไนไตรท์จะเกิดขึ้นโดยจุลินทรีย์พวก nitrosomonas และการออกซิไดซ์ไนไตรท์ไปเป็นไนเตรทจะเกิดขึ้นโดยจุลินทรีย์พวก nitrobacter โดยจะเป็นไปตามลำดับดังนี้



nitroxyl และ nitrohydroxylamine $[\text{NO}_2(\text{NH}_2\text{OH})]$ เป็นสารมัธยันตร์ (intermediate substance) ที่ถูกสมมติขึ้นมา สารเหล่านี้ไม่ได้ถูกค้นพบโดยตรง เพียงแต่ในขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาของสารเหล่านี้จะเกี่ยวข้องกับการใช้อิเล็กตรอน 2 ตัว โดยในแต่ละขั้นตอนของปฏิกิริยาออกซิเดชันแอมโมเนียมไปเป็นไนไตรท์จะใช้อิเล็กตรอน 1 ตัว (ชาติชาย, 2536)

การยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชัน

การยับยั้งปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันนั้นแบ่งออกเป็นการยับยั้งปฏิกิริยาที่ไม่เฉพาะเจาะจงและการยับยั้งปฏิกิริยาที่เฉพาะเจาะจงได้ดังนี้

1. การยับยั้งปฏิกิริยาที่ไม่เฉพาะเจาะจง

Lees (1963) และ Quastel (1965) ได้พบว่าสารประกอบหลายชนิดสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตและกิจกรรมของจุลินทรีย์พวก nitrifying โดยการสร้างสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม ทำให้ผนังเซลล์ของจุลินทรีย์แตก และเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเซลล์ ระบบกระบวนการหายใจหรือระบบกระบวนการเมแทบอลิซึม ซึ่งสารประกอบเหล่านี้ ได้แก่ phenol sulfide sulfones sulfoxides dithiol mercapto derivative azides guanines urethanes และกรดอะมิโน เช่น cysteine methionine และ histidine เป็นต้น

2. การยับยั้งปฏิกิริยาที่เฉพาะเจาะจง

แบ่งออกเป็นการยับยั้งในแต่ละขั้นของปฏิกิริยา ดังนี้

- การยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของแอมโมเนีย

Lees (1946) พบว่าสารอัลลิไทโอยูเรีย diethyldithiocarbamate และ ethyl xanthate เป็นตัวยับยั้งปฏิกิริยาของเอนไซม์ที่มีทองแดงเป็นองค์ประกอบ ทำให้ยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของแอมโมเนียด้วย โดยไทโอยูเรียและอัลลิไทโอยูเรียจะยับยั้งการเกิด proliferation ของ nitrosomonas นอกจากนี้ Quastel and Scholefield (1951) ยังพบอีกว่าอัลลิไทโอยูเรียยับยั้งปฏิกิริยาของแอมโมเนีย แต่ไม่ยับยั้งปฏิกิริยาของ hydroxylamine ปฏิกิริยาการยับยั้งโดยอัลลิไทโอยูเรียสามารถย้อนกลับได้โดยการเติม cupric ion แต่ไม่สามารถเกิดกับ ไทโอยูเรีย เพราะ ไทโอยูเรียไม่ได้เกิดคีเลตกับโลหะ แต่จะยับยั้งปฏิกิริยาโดยทำให้การเคลื่อนย้ายของแอมโมเนียหรือแอมโมเนียไปยังเซลล์ช้าลง

- การยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของ hydroxylamine

Suzuki (1974) รายงานว่าปฏิกิริยาออกซิเดชันของ hydroxylamine จะเกี่ยวข้องกับการสูญเสียไฮโดรเจนและการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนผ่าน flavoprotein และ cytochrome cycle ซึ่งผลผลิตสุดท้ายของการสูญเสียไฮโดรเจนและการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนคือ nitoxyl Hofman and Lees (1963) พบว่าสาร hydrazine สามารถยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของ hydroxylamine ได้อย่างสมบูรณ์ แต่ไม่สามารถป้องกันการสะสม hydroxylamine ในขณะที่มีแอมโมเนียได้ และสาร hydrazine จะถูกออกซิไดซ์ไปเป็นสารที่ไม่สามารถจำแนกได้

- การยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไนไตรท์

Lees and Simpson (1957) รายงานว่าปฏิกิริยาออกซิเดชันของไนไตรท์โดยจุลินทรีย์พวก Nitrobacter จะเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนผ่าน cytochrome ซึ่งการส่งอิเล็กตรอนผ่าน cytochrome นี้ทำให้ได้พลังงาน 1 ATP ต่อ 1 โมเลกุลของไนไตรท์ ปฏิกิริยานี้เอนไซม์ nitrate oxidase จะทำหน้าที่เป็นสารประกอบเชิงซ้อนในกระบวนการหายใจ นอกจากนี้เอนไซม์ formate

dehydrogenase และ nitrate reductase ใน Nitrobacter จะใช้วงจรในการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนของ nitrite oxidase ซึ่งจะอยู่ในองค์ประกอบเซลล์เดียวกับที่มี nitrite oxidase อยู่แต่ต่างตำแหน่งกัน นอกจากนี้ยังพบอีกว่า chlorate และตัวยับยั้งปฏิกิริยาอื่นๆของเอนไซม์ nitrate reductase สามารถที่จะยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไนไตรท์ได้เหมือนกัน โดย chlorate จะยับยั้งการ proliferation ของ Nitrobacter ทำให้ไม่สามารถออกซิไดซ์ไนไตรท์ได้ นอกจากนี้เอนไซม์ nitrate reductase อาจจะมีรีดิวซ์ chlorate ให้เป็น chlorite ion ซึ่งเป็นพิษมากกว่า จึงทำให้การเจริญเติบโตของ Nitrobacter ช้าลง ขณะเดียวกันสารพวก cyanate mono หรือ dichlorophenyl isothiocyanate และ mercuric chloride จะเป็นพิษอย่างมากต่อเอนไซม์ nitrite oxidase

สารยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันกับการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน (ยงยุทธ, 2528)

สารหลายชนิดมีศักยภาพในการยับยั้งกระบวนการสร้างไนเตรทได้ ซึ่งสารยับยั้งกระบวนการสร้างไนเตรทหรือการยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันที่เหมาะสมในการเกษตรควรมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1. ยับยั้งอย่างเฉพาะเจาะจงต่อขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงจากแอมโมเนียมไปเป็นไนไตรท์
2. เมื่อใช้ในความเข้มข้นที่เพียงพอสำหรับยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชัน จะไม่ทำลายจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในดิน พืชชั้นสูง สัตว์เลี้ยง และมนุษย์
3. เมื่อใส่ลงไปดินร่วมกับปุ๋ยแล้วจะต้องอยู่ในดิน และมีประสิทธิภาพต่อไปอีกหลายสัปดาห์
4. สามารถเคลื่อนย้ายไปกับปุ๋ยในสารละลายดิน เพื่อให้พืชสามารถดูดใช้ประโยชน์จากปุ๋ยได้มากที่สุด
5. มีราคาพอประมาณ ไม่แพงเกินไป

ลักษณะบางประการของข้าวโพดลูกผสมเดี่ยวพันธุ์สุวรรณ 4452 (ศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ, 2549)

ข้าวโพดลูกผสมเดี่ยวพันธุ์สุวรรณ 4452 (*Zea mays* L.) เกิดจากการผสมระหว่างสายพันธุ์แท้ Ki 47 กับ Kei 0102 ในปี 2543 ทำการทดสอบพันธุ์ในแหล่งปลูกข้าวโพดต่างๆ จนกระทั่งในปี 2546 ศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติได้แนะนำพันธุ์นี้สู่เกษตรกรภาครัฐและเอกชนต่างๆ

ลักษณะประจำพันธุ์

สุวรรณ 4452 เป็นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมเดี่ยวพันธุ์ใหม่ที่พัฒนาขึ้นโดยนักวิชาการของศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ สถาบันอินทรีจันทร์สถิตย์เพื่อการค้นคว้าและพัฒนาพืชศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ให้ผลผลิตสูงเฉลี่ย 1,187-1,454 กก./ไร่ สามารถปลูกได้ในสภาพแวดล้อมที่กว้างขวาง ทั้งที่เป็นช่วงต้นฝนและปลายฤดูฝน

สุวรรณ 4452 เกิดจากการนำสายพันธุ์แท้ “เกษตรศาสตร์ 47 (Ki 47)” ผสมกับสายพันธุ์แท้ “Kei 0102” ผลจากการทดสอบพันธุ์ในแหล่งปลูกข้าวโพดในพื้นที่ต่างๆ ช่วง 3 ปี (พ.ศ. 2543-2545) พบว่ามีผลผลิตสูงกว่าพันธุ์เปรียบเทียบอย่างน้อยร้อยละ 10 มีเสถียรภาพสูงในการให้ผลผลิตในสภาพแวดล้อมต่างๆ สามารถปรับตัวได้ดีในสภาพแวดล้อมที่เลวถึงดี มีลักษณะทางการเกษตรส่วนใหญ่ดีกว่าพันธุ์เปรียบเทียบ มีอายุวันสลัดละอองเกสรร้อยละ 50 ในวันที่ 53 วันออกไหมร้อยละ 50 ในวันที่ 54 มีความสูงของต้นและความสูงที่ออกฝักอยู่ระดับ 214 และ 128 ซม. ตามลำดับ มีความต้านทานโรคราน้ำค้างและต้านทานโรคทางใบได้ดี โดยเฉพาะโรคราสนิม มีร้อยละการกะเทาะเมล็ด 81.9 และน้ำหนัก 1,000 เมล็ด เท่ากับ 310.14 กรัม ลักษณะใบของข้าวโพดพันธุ์นี้คือใบตั้ง สีเขียวเข้ม ลำต้นและช่อดอกตัวผู้มีสีม่วง มีระบบรากและลำต้นแข็งแรง มีเปลือกหุ้มฝักปิดมิดชิด เมล็ดสีส้มเหลืองหัวแข็ง ตรงความต้องการของตลาด ปลูกได้ทั้งในต้นและปลายฤดูฝน รวมถึงดินดำและดินแดง

การปลูกและการดูแลรักษา (กรมวิชาการเกษตร, 2547)

การเตรียมดินสำหรับปลูก

การเตรียมดินปลูกข้าวโพดที่ดีควรมีการปฏิบัติเมื่อดินมีความชื้นเพียงพอ กล่าวคือ หลังจากที่มีฝนตกจนกระทั่งดินมีความชื้นพอเหมาะ การเตรียมดินสำหรับปลูกข้าวโพดสามารถปฏิบัติได้ดังนี้

การไถดะ (primary tillage) เป็นการไถครั้งแรกเพื่อเปิดหน้าดิน ส่วนใหญ่ใช้พาน 3 พาน 4 หรือไถหัวหมู ดัดท้ายรถแทรกเตอร์ เพื่อพลิกหน้าดินและเก็บวัชพืช โดยกำหนดให้ความลึกในการไถประมาณ 30 ซม. ตากดินไว้ 7-10 วัน

การไถแปรและการพรวน (secondary tillage and harrowing) เป็นการไถขวางแนวการไถดะเพื่อย่อยดินให้แตกและคลุกเคล้าเศษซากพืชและอินทรีย์วัตถุได้อย่างสม่ำเสมอ หากการไถแปรยังทำให้ดินละเอียดไม่เพียงพอ กำหนดให้มีการไถอีก 1-2 ครั้ง ในกรณีที่การไถดะแล้วดินร่วนพอลควร อาจยกเว้นการไถแปร คงเหลือแต่การไถพรวนอย่างเดียวได้ การไถแปรมักจะใช้พาน 3 หรือพาน 4 ส่วนการพรวนมักจะใช้พาน 7 ดัดท้ายรถแทรกเตอร์

การซักร่องระหว่างแถวข้าวโพด เป็นการปฏิบัติกันดินหลังข้าวโพดงอกแล้ว ประมาณ 4-6 สัปดาห์ (post emergence cultivation) มีวัตถุประสงค์เพื่อการกำจัดวัชพืชและเป็นการกลบปุ๋ยเสริมที่ใส่ให้กับข้าวโพดในขณะเดียวกัน รวมทั้งเป็นการพูนโคนให้กับข้าวโพดเสริมสร้างความแข็งแรงไม่ให้มีการหักล้มได้ง่ายอีกด้วย

อัตราปลูกที่เหมาะสมสำหรับข้าวโพด

นักปรับปรุงพันธุ์ได้มีการพัฒนาพันธุ์ข้าวโพดที่มีอายุเก็บเกี่ยวปานกลาง (100-110 วัน) คำแนะนำสำหรับการปลูกข้าวโพดพันธุ์ส่งเสริม รวมทั้งการปลูกเพื่อทดสอบพันธุ์จะแนะนำให้ใช้อัตราปลูก 8,500 ต้น/ไร่ โดยใช้ระยะระหว่างแถวมาตรฐาน 75 ซม. ส่วนระยะระหว่างหลุมและจำนวนต้นต่อหลุม จะผันแปรตามความสะดวกในการปลูกของเกษตรกร ดังนี้

- 1) ระยะระหว่างหลุม 75 ซม. จะใช้จำนวนต้นต่อหลุม 3 ต้น
- 2) ระยะระหว่างหลุม 50 ซม. จะใช้จำนวนต้นต่อหลุม 2 ต้น
- 3) ระยะระหว่างหลุม 25 ซม. จะใช้จำนวนต้นต่อหลุม 1 ต้น

การใส่ปุ๋ย

ชนิดของปุ๋ย เลือกใช้ปุ๋ยอินทรีย์หรือชนิดของปุ๋ยเคมีให้มีความเหมาะสมกับสมบัติของดิน รวมทั้งระยะการเจริญเติบโตของข้าวโพด โดยทั่วไปปุ๋ยเคมีที่เหมาะสมกับข้าวโพด เช่น ปุ๋ยสูตร 46-0-0 16-20-0 20-20-0 15-15-15 12-12-6 และ 16-16-8 เป็นต้น ส่วนปุ๋ยอินทรีย์ ได้แก่ ปุ๋ยคอก และปุ๋ยพืชสด แม้ว่าจะมีปริมาณธาตุอาหารไม่สูงเท่ากับปุ๋ยเคมี แต่จะช่วยปรับปรุงสมบัติดินทั้งทางกายภาพ และเคมี

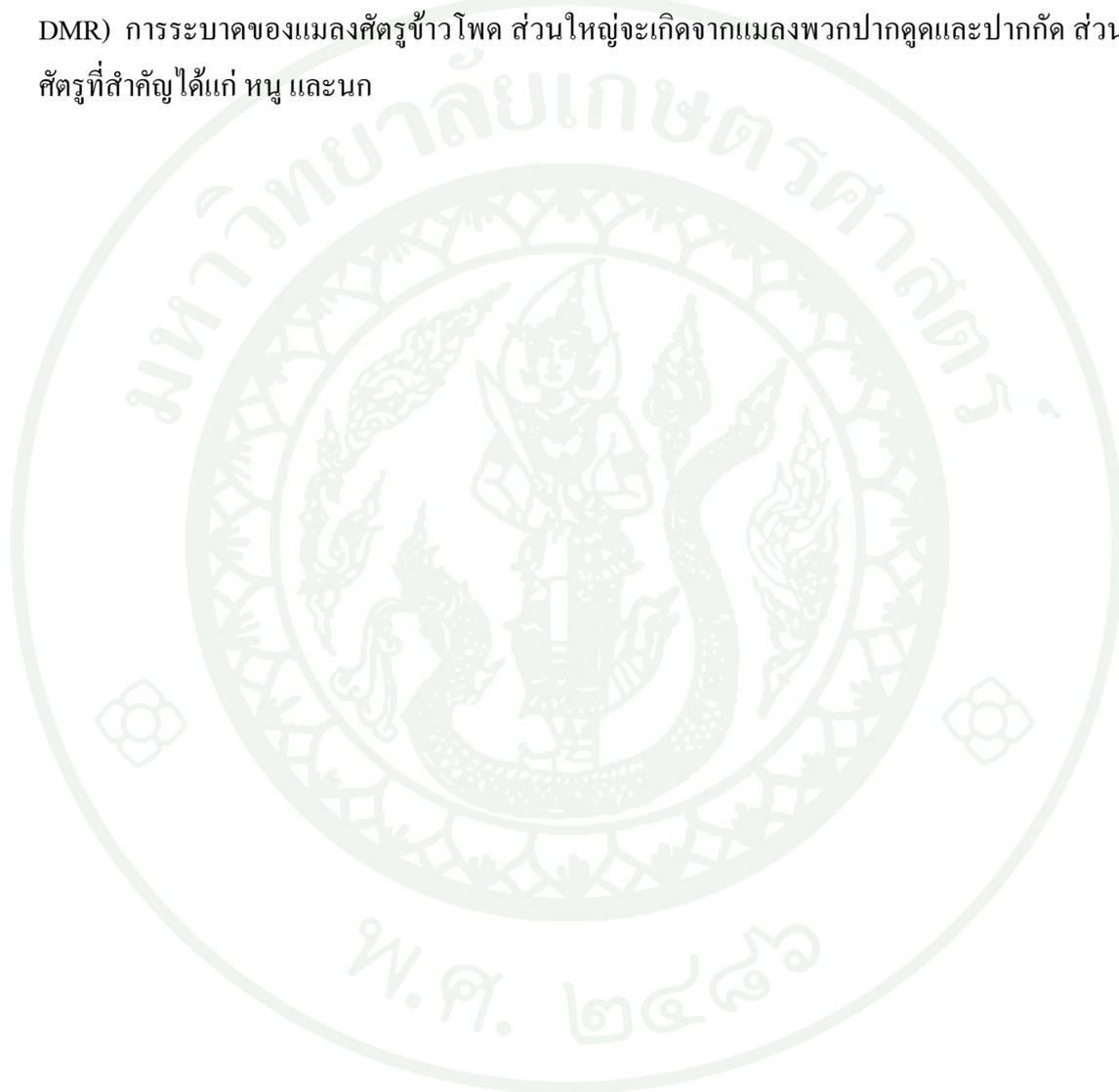
อัตราปุ๋ย ได้แก่ ปริมาณของปุ๋ยที่จะใส่ต่อพื้นที่ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความอุดมสมบูรณ์ของดิน สมบัติของดิน ฤดูกาล และระยะการเจริญเติบโตของข้าวโพด

เวลาการใส่ปุ๋ย ระยะวิกฤตที่ข้าวโพดต้องการปุ๋ยเพื่อใช้ในการสร้างเสริมการเจริญเติบโต และผลผลิต ได้แก่ ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น และระยะการสร้างเมล็ด ดังนั้น การใส่ปุ๋ยที่เหมาะสมควรมีการใส่ในระยะที่ข้าวโพดต้องการมากที่สุด

วิธีใส่ปุ๋ย การใส่ปุ๋ยครั้งแรกมักจะใส่พร้อมการเตรียมดิน อาจหว่านก่อนการพรวนครั้งสุดท้ายหรือใส่พร้อมปลูกเมื่อมีการโดยใช้เครื่องปลูก ส่วนการใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 ซึ่งเป็นการใส่ปุ๋ยเสริม (top dressing) ควรใส่ในระยะที่ข้าวโพดมีอายุ 4-6 สัปดาห์ ซึ่งเป็นระยะที่ข้าวโพดกำลังสร้างช่อดอก โดยการใส่บริเวณโคนต้น (side dressing) หรือโรยเป็นแถว (banding) นอกจากนี้ ในสภาพที่ดินมีธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ในปริมาณที่ต่ำ หรือดินชั้นบนแข็งจัดเนื่องจากการขาดน้ำหรือระบบรากข้าวโพดไม่สมบูรณ์ การให้ปุ๋ยทางใบ (foliar application) จะเป็นแนวทางในการเพิ่มผลผลิตให้กับข้าวโพดได้

การป้องกันกำจัดโรค และแมลงศัตรูข้าวโพด

โรคที่สำคัญของข้าวโพดในประเทศไทยคือ โรคราน้ำค้าง (downy mildew) หรือโรคใบลาย โรคนี้สามารถป้องกันกำจัดได้โดยการใช้สารเคมีคลุกเมล็ด และที่ดีที่สุดคือการสร้างพันธุ์ให้ต้านทาน โดยให้ข้าวโพดมีพันธุกรรมที่ต้านทานต่อโรคหรือที่เรียกว่า (downy mildew resistant, DMR) การระบาดของแมลงศัตรูข้าวโพด ส่วนใหญ่จะเกิดจากแมลงพวกปากคูดและปากกัด ส่วนศัตรูที่สำคัญได้แก่ หนอน และนก



งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชาติชาย (2536) ศึกษาอิทธิพลของสารยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชัน 3 ชนิด ได้แก่ dicyandiamine ไทโอยูเรีย และ sulfathiazole ที่มีต่อการดูดใช้ในโตรเจนของข้าวในดินนาทราย โดยใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับสารยับยั้ง แหล่งไนโตรเจนใช้ปุ๋ยยูเรียไอโซโทปร้อยละ 10.3 อะตอม อัตรา 6 กก./ไนโตรเจน/ไร่ อัตราสารยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันต่อปุ๋ยไนโตรเจนเท่ากับ 1:10 โดยผลการทดลองพบว่าเมื่อใช้สารยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันจะทำให้ประสิทธิภาพการดูดใช้ในโตรเจนของข้าวเพิ่มสูงขึ้น ทั้งปริมาณไนโตรเจนจากดินและจากปุ๋ย โดยสารยับยั้งที่ใส่จะไปควบคุมกิจกรรมการสร้างไนโตรเจนของจุลินทรีย์พวก nitrifiers ทำให้ไนโตรเจนจากดินและปุ๋ยคงอยู่ในรูปแอมโมเนียมได้นานขึ้น ทำให้ข้าวสามารถดูดใช้ในโตรเจนได้มากขึ้น และลดการสูญเสียไนโตรเจนไปจากดินอันเนื่องมาจากกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน ซึ่งส่งผลให้การเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของข้าวสูงขึ้นตามไปด้วย

Wilson *et al.* (1990) ศึกษาถึงอิทธิพลของ dicyandiamine (DCD) ที่มีต่อประสิทธิภาพการดูดใช้ในโตรเจนของข้าวหลังการใส่ปุ๋ย โดยทำการทดลองในกระถาง ใส่ปุ๋ยยูเรียไอโซโทป ^{15}N ในอัตรา 20 กรัมไนโตรเจน/ตารางเมตร และใส่ DCD ในอัตรา 2 กรัมของ DCD/ตารางเมตร ปลูกข้าวในสภาพน้ำขัง หลังจากใส่ปุ๋ยไนโตรเจนลงไปแล้ว นำดินมาวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนียมและไนเตรท พบว่าเมื่อมีการเติมสาร DCD ลงไปจะทำให้ปุ๋ยไนโตรเจนที่ใส่ลงไปคงอยู่ในรูปแอมโมเนียมได้มากกว่า เป็นระยะเวลานานกว่า และมีปริมาณไนเตรทน้อยกว่าที่ไม่ใส่สาร DCD เนื่องจากสาร DCD จะไปยับยั้งกระบวนการเปลี่ยนแปลงแอมโมเนียมไปเป็นไนเตรท

Freney *et al.* (1995) พบว่าสารที่สามารถยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันได้ดี คือ cyclohexylphosphorictriamide (CHPT) และ N-(n-butyl) phosphorictriamide (NBPT) ที่มีความสามารถในการลดการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนได้กว่าร้อยละ 90 ซึ่งช่วยชะลอการสูญเสียไนโตรเจนในดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Majumdar *et al.* (2002) ศึกษาผลของสารยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันที่มีผลต่อการปลดปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์จากข้าวสาลี โดยทำการเปรียบเทียบสารยับยั้ง 3 ชนิด คือ dicyandiamide thiosulphate และน้ำมันสะเดาที่ผสมร่วมกับปุ๋ยยูเรีย พบว่าสารสกัดจากสะเดามีผลต่อการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน โดยสาร azadirachtin ในสะเดาสามารถชะลอกิจกรรม

ของจุลินทรีย์ดิน สามารถลดการปลดปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์โดยรวมได้ร้อยละ 9 ของการทดลอง 95 วัน

Shao-fu *et al.* (2007) ศึกษาผลของสารยับยั้งปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันโดยใช้สาร DMPP (3,4-dimethylpyrazole phosphate) พบว่าการใช้สารยับยั้งร่วมกับปุ๋ยยูเรียสามารถช่วยลดอัตราการเกิดไนเตรทเมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยยูเรียเพียงอย่างเดียวที่ร้อยละ 50 ซึ่งคุณลักษณะของดินเป็นอีกปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของสารยับยั้ง จากการเปรียบเทียบดิน 2 ชนิด ผลการวิจัยพบว่าสารยับยั้งให้ประสิทธิภาพในดินทรายร่วนสูงกว่าในดินเหนียวร่วน

Chen *et al.* (2010) เปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันของ 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP) และ 2-Chloro-6-(trichloromethyl)-pyridine (N-serve) ในการยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชัน และการปลดปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์ โดยกำหนดอุณหภูมิระหว่าง 5 และ 25°C เป็นระยะเวลา 42 วัน พบว่า สารยับยั้ง DMPP มีประสิทธิภาพการยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันได้ดีที่อุณหภูมิ 25°C เมื่อความชื้นดินอยู่ที่ร้อยละ 40 แต่เมื่อที่ความชื้นดินสูงขึ้นประสิทธิภาพจะลดต่ำลง เมื่อพิจารณาการยับยั้งของสาร N-serve การปลดปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์จากคาร์บที่ไม่มีใครใส่สารยับยั้งมีความสัมพันธ์กับการเพิ่มอุณหภูมิและความชื้น สาร DMPP และ N-serve สามารถช่วยลดการปลดปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์ได้มากกว่าร้อยละ 65 ภายใต้สภาวะการทดลอง

Abbasi *et al.* (2010) ศึกษาผลของสารยับยั้งปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน โดยเปรียบเทียบกากสะเดา sodium thiosulphate และ calcium chloride ภายใต้การควบคุมอุณหภูมิที่ 22°C เวลา 50 วัน โดยใส่ยูเรียที่ 200 มิลลิกรัมในโตรเจน/กิโลกรัม ผลการศึกษาพบว่า ยูเรียที่ร้อยละมากกว่า 58 จะถูกเปลี่ยนรูปโดยไนโตรเจนจะถูกสะสมในรูปไนเตรท การที่เติมสารยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันลงไปในนั้นช่วยลดอัตราการเปลี่ยนรูปของแอมโมเนียมได้ โดยชะลอได้กว่าร้อยละ 30 ในทุกๆคาร์บการทดลอง และเมื่อพิจารณาในส่วนของไนโตรเจนที่คงค้างในดินพบว่ามีค่าสูงกว่าชุดควบคุมในทุกคาร์บการทดลอง

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องมือ

- 1.1 เครื่อง UV/Vis spectrophotometer บริษัท SHIMADZU รุ่น UV-1700 PharmaSpec
- 1.2 เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ (GC) ที่มี Electron Capture Detector บริษัท Agilent รุ่น Technologies 6890 N
- 1.3 เครื่องกลั่นไนโตรเจน บริษัท VELP Scientifica รุ่น UDK 132 Semi Automatic Distillation Unit
- 1.4 ตู้ควบคุมอุณหภูมิ บริษัท Yamato Scientific รุ่น IJ100
- 1.5 ถังพลาสติกสำหรับบรรจุดิน

2. อุปกรณ์เครื่องแก้ว

- 2.1 บีกเกอร์ (beaker)
- 2.2 ปิเปต (measuring pipet)
- 2.3 หลอดทดลอง (test tube)
- 2.4 ขวดรูปชมพู่ (flask)
- 2.5 บิวเรต (buret)

3. สารเคมี

- 3.1 นี้อยเคมี (15-15-15) ตรา กระต่าย
- 3.2 น้ำมันจากสะเดา บริษัท ผลิตภัณฑ์สะเดาไทย จำกัด
- 3.3 dicyandiamide (DCD) บริษัท ฟูลี่ อุตสาหกรรม จำกัด
- 3.4 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
- 3.5 โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl)
- 3.6 กรดซัลฟูริกเข้มข้น (H_2SO_4)
- 3.7 โพแทสเซียมไนเตรท (KNO_3)
- 3.8 สารละลายซัลฟานิลาไมด์ (sulfanilamide)
- 3.9 สารละลายบรูซัน-กรดซัลฟานิลิก

- 3.10 โซเดียมคลอไรด์ (NaCl)
- 3.13 กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (HCl)
- 3.14 กรดบอริก
- 3.15 สารละลายเมธิลเรด (methyl red)
- 3.16 สารละลายโบรโมกรีน (bromocresol green)

วิธีการ

1. การเตรียมการทดลอง

1.1 รวบรวมข้อมูลการใช้สารยับยั้งปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันในภาคการเกษตรทั้งในรูปแบบสารเคมีและสารธรรมชาติ

1.2 เตรียมสารเคมี วัสดุ และอุปกรณ์

1.2.1 ปุ๋ยที่ใช้ในการทดลอง เลือกชนิดของปุ๋ยที่นิยมใช้ในพื้นที่ปลูกข้าวโพด

1.2.2 สารยับยั้งปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน ในการศึกษานี้เลือกสาร dicyandiamide (DCD) เป็นตัวแทนของสารกลุ่มสารเคมีที่ผลิตขึ้น และเลือกน้ำมันจากสะเดา (*Azadirachta indica*) เป็นตัวแทนของสารจากธรรมชาติ

1.2.3 ดินที่ใช้ในการศึกษา

ดินที่ใช้ในการศึกษามาจากพื้นที่สถานีวิจัยเขาหินซ้อน อ.พนมสารคาม จ. ฉะเชิงเทรา ทำการเก็บตัวอย่างดินชุดความลึกที่ 0-10 ซม. ผึ่งแห้ง และร่อนให้มีขนาดน้อยกว่า 2 มม. โดยศึกษาคุณลักษณะของดินวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน โดยคุณลักษณะของดินที่วิเคราะห์ได้เป็นดังนี้

ตารางที่ 3 คุณลักษณะของดินที่ใช้ในการศึกษา

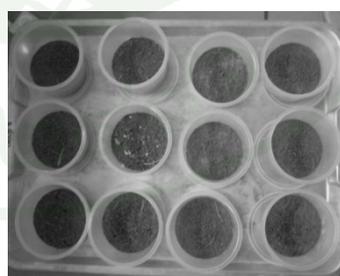
pH	อินทรีย์วัตถุ (ร้อยละ)	ฟอสฟอรัส (ppm)	โพแทสเซียม (ppm)	เนื้อดิน	ทราย (ร้อยละ)	ทรายแป้ง (ร้อยละ)	ดินเหนียว (ร้อยละ)
5.5	0.69	4	60	ดินทรายร่วน	80.0	14.0	6.0

1.3 การป่มตัวอย่างดิน

นำตัวอย่างดินใส่ในกระปุกภาชนะทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลาง 6.3 ซม. และใส่ดินสูง 2 ซม. (50.15 กรัมดินฝั่งลมแห้ง) จากนั้นปรับความชื้นที่ร้อยละ 60 ของความพรุนดิน ใส่ปุ๋ยและสารยับยั้งตามตำรับทดลองที่ผิวหน้า โดยใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 และ สารยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันที่ใช้ได้แก่ (1) dicyandiamide (DCD) และ (2) น้ำมันสะเดา (*Azadirachta indica*) เป็นสารสกัดธรรมชาติ จากบริษัท ผลิตภัณฑ์สะเดาไทย จำกัด ตำรับการทดลองแบ่งได้ตามปัจจัย ดังนี้คือ ปริมาณปุ๋ยเริ่มต้นที่อัตรา 30 และ 50 กก./ไร่ และอุณหภูมิการป่มที่อุณหภูมิ 25 และ 35°C โดยในแต่ละชุดการทดลองมีตำรับการทดลองดังนี้ (1) ใส่ปุ๋ยเพียงอย่างเดียว (2) ใส่ปุ๋ยร่วมกับสารยับยั้งชนิด DCD ร้อยละ 5 ต่อน้ำหนักปุ๋ย (3) ใส่ปุ๋ยร่วมกับสารยับยั้งชนิด DCD ร้อยละ 10 ต่อน้ำหนักปุ๋ย (4) ใส่ปุ๋ยร่วมกับสารยับยั้งชนิดน้ำมันสะเดาร้อยละ 5 ต่อน้ำหนักปุ๋ย และ (5) ใส่ปุ๋ยร่วมกับสารยับยั้งชนิดน้ำมันสะเดาร้อยละ 10 ต่อน้ำหนักปุ๋ย นำไปป่มในตู้ควบคุมอุณหภูมิ ควบคุมความชื้นดินโดยการเติมน้ำกลั่นทุก 3 วัน ทำการเก็บตัวอย่างดินทุก 7 วัน คือ วันที่ 7 14 21 และ 28 เก็บตัวอย่างแกล่สในวันที่ 1 4 7 10 14 21 และ 28 ของการป่มดิน ทำการทดลอง 3 ซ้ำ



(ก)



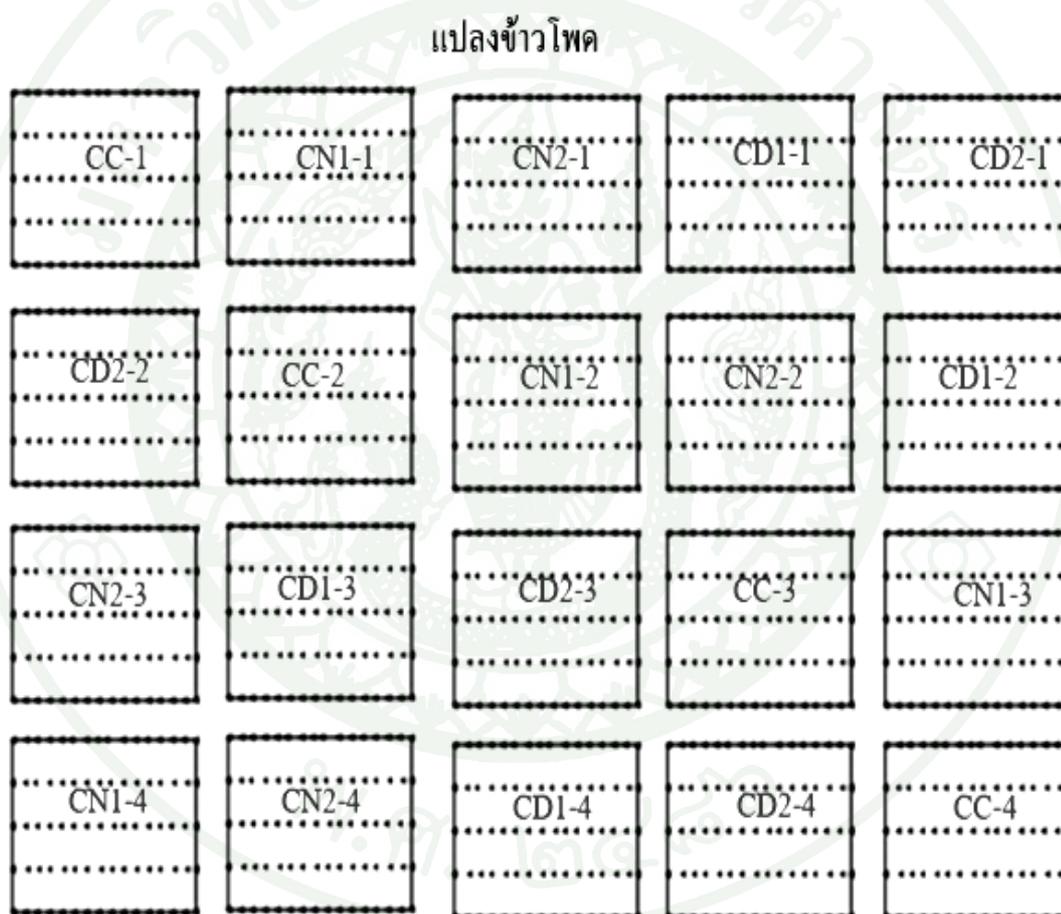
(ข)

ภาพที่ 3 (ก) กล่องพลาสติกที่ใช้ในการทดลอง (ข) ดินที่เติมปุ๋ยและสารยับยั้งชนิดต่างๆ บรรจุในกล่องพลาสติก

2. การทดลองในแปลงทดลอง

2.1 กำหนดพื้นที่และขนาดของแปลงทดลอง

ทำการกำหนดพื้นที่ ในพื้นที่ของสถานีวิจัยเขาคันทรง จ.ระยอง โดยกำหนดพื้นที่ปลูก แบ่งพื้นที่ออกเป็น 4 ซ้ำ ในแต่ละซ้ำมี 5 แปลงย่อย รวมทั้งสิ้น 20 แปลงย่อย แต่ละแปลงย่อยมีขนาด 4 x 3 ตร.ม. แต่ละแปลงมีทางเดินห่าง 1 เมตร



ภาพที่ 4 แบบแปลงทดลอง

2.2 แผนการทดลอง

ทำการทดลองปลูกข้าวโพด โดยใช้ข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ 4452 วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) จำนวน 4 ซ้ำ มี 5 ดำรับการทดลอง ดังนี้

CC คือ ใส่ปุ๋ยอัตรา 30 กก./ไร่

CN1 คือ ใส่ปุ๋ยอัตรา 30 กก./ไร่และสารยับยั้งชนิดน้ำมันสะเดาร้อยละ 5 ต่อน้ำหนักปุ๋ย

CN2 คือ ใส่ปุ๋ยอัตรา 30 กก./ไร่และสารยับยั้งชนิดน้ำมันสะเดาร้อยละ 10 ต่อน้ำหนักปุ๋ย

CD1 คือ ใส่ปุ๋ยอัตรา 30 กก./ไร่และสารยับยั้งชนิด DCD ร้อยละ 5 ต่อน้ำหนักปุ๋ย

CD2 คือ ใส่ปุ๋ยอัตรา 30 กก./ไร่และสารยับยั้งชนิด DCD ร้อยละ 10 ต่อน้ำหนักปุ๋ย

2.3 การเตรียมดิน การปลูก และการปฏิบัติบำรุงรักษาข้าวโพด

การเตรียมพื้นที่ในแปลงทดลองเริ่มโดยทำการไถและพรวน มีการใส่ปุ๋ยชี้ไก่เพื่อปรับสภาพพื้นที่ก่อนทำการปลูก ขอร่องโดยแต่ละร่องมีระยะห่างกัน 1 เมตร ในแต่ละแปลงย่อยมีข้าวโพดจำนวน 5 แถว จำนวนต้นเฉลี่ยแถวละ 15 ต้น ปักป้ายบอกหมายเลขประจำแปลง และดำรับการทดลอง ตามแผนผังที่ทำการสุ่มเอาไว้ เริ่มปลูกข้าวโพดในเดือนเมษายน โดยใส่ปุ๋ยและสารยับยั้งตามดำรับการทดลองต่างๆในสัปดาห์ที่ 4 หลังจากการปลูก และใส่สารยับยั้งครั้งที่ 2 ในสัปดาห์ที่ 6 หมั่นตรวจดูและกำจัดวัชพืชตามความเหมาะสม ทำการเก็บเกี่ยวเมื่อข้าวโพดโตเต็มที่ในเดือนกรกฎาคม

2.4 การเก็บตัวอย่างแก๊สและดิน

ตัวอย่างแก๊สเก็บโดยใช้ท่อเก็บแก๊สที่ทำมาจากท่อพีวีซี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 11.5 ซม. สูง 25 ซม. ที่ฝักกลี 5 ซม. ในแต่ละแปลง และใช้เทคนิค closed chamber เพื่อเก็บตัวอย่างตลอดระยะเวลาในการปลูก ตัวอย่างดินทำการเก็บโดยสุ่มตัวอย่างดินในแต่ละแปลงที่ความลึก

0-10 และ 10-20 ซม. นำมาผึ่งในที่ร่ม และนำมาผ่านตะแกรงขนาด 2 มม. เพื่อเตรียมนำไปวิเคราะห์ต่อไป



(ก)



(ข)

ภาพที่ 5 แปลงทดลอง (ก) ต้นข้าวโพดในแปลงทดลอง (ข) ท่อเก็บแก๊สในแปลงทดลอง

3. การวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจน

3.1 การวิเคราะห์ไนโตรเจนในดิน

สกัดสารละลายดินด้วยสารละลาย 2M KCl ในอัตราส่วนดินต่อสารละลาย 1:5 และกรองส่วนสารละลายเพื่อนำไปวิเคราะห์ การวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนียมวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน (Arnold *et al.*, 1992) ด้วยเครื่องกลั่น UDK 132 Semi Automatic Distillation Unit และการวิเคราะห์หาปริมาณไนเตรตด้วยวิธี Brucine colorimetric (Arnold *et al.*, 1992) ด้วยเครื่อง UV-vis spectrophotometer รุ่น UV-1700 PharmaSpec

3.2 การวิเคราะห์หาแก๊สไนตรัสออกไซด์

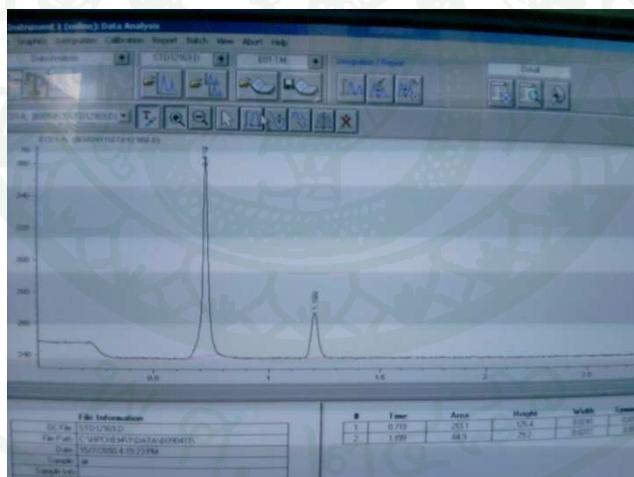
วิเคราะห์หาปริมาณไนตรัสออกไซด์ โดยการเก็บตัวอย่างแก๊สทำโดยดูดตัวอย่างแก๊ส 18 มล. จากภาชนะบ่มตัวอย่างดิน และท่อเก็บแก๊ส แล้วเก็บในขวดแก้วสุญญากาศ ปริมาตร 12 มล. ทำการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ (GC) ที่มี Electron Capture Detector รุ่น Agilent Technologies 6890 N คอลัมน์แคปิลารี ชนิด Capillary colume GS-Q 15 เมตร สภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์แก๊สมืออุณหภูมิของ oven 40°C อุณหภูมิของ Inlet 50°C อุณหภูมิของเครื่อง

ตรวจวัด 300°C ใช้แก๊สมาตรฐานไนตรัสออกไซด์ เข้มข้น 1 ppmv โดยนำค่าที่อ่านได้มาคำนวณโดยใช้สูตร (Zaman, 2009)

$$F = \rho \frac{V \Delta C}{A \Delta T} \frac{273}{(T + 273)}$$

เมื่อ	F	คือ อัตราการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์ (N ₂ O flux (mg/m ² /h))
	ρ	คือ ความหนาแน่นของแก๊สไนตรัสออกไซด์ (mg/m ³)
	V	คือ ปริมาตรของท่อเก็บแก๊ส (m ³)
	A	คือ พื้นที่หน้าตัดของท่อเก็บแก๊ส (m ²)
	$\frac{\Delta C}{\Delta T}$	คือ ความเข้มข้นของแก๊สไนตรัสออกไซด์ที่เปลี่ยนตามเวลา (ppmv/h)
	T	คือ อุณหภูมิในท่อเก็บแก๊ส (°C)

การหาปริมาณไนตรัสออกไซด์ทั้งหมดได้จากการคำนวณพื้นที่ใต้กราฟของอัตราการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์ตามเวลาที่ศึกษา



ภาพที่ 6 โครมาโตกราฟของแก๊สไนตรัสออกไซด์ที่ได้จากการแปลผลจากเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ

4. การเก็บและวิเคราะห์ผลผลิตข้าวโพด

เมื่อข้าวโพดมีอายุได้ประมาณ 115 วัน (เดือนกรกฎาคม) ทำการเก็บเกี่ยวข้าวโพด 3 แถว กลางของแต่ละแปลงย่อย โดยต้นข้าวโพดที่อยู่บริเวณหัวและท้ายของทั้ง 3 แถวถูกตัดออกไปข้างละ 2 ต้น ทำการเก็บเกี่ยวฝักข้าวโพดเพื่อเก็บข้อมูลน้ำหนักฝักสดของแต่ละแปลงย่อยแล้วนำมาชั่งน้ำหนัก จากนั้นสุ่มเก็บตัวอย่างเมล็ดข้าวโพดที่ได้ของแต่ละแปลงย่อยออกมาจำนวนหนึ่ง นำไปบปให้แห้ง เพื่อใช้ในการหาน้ำหนักเมล็ดที่ความชื้นร้อยละ 15 และวิเคราะห์ธาตุอาหารในพืชด้วยวิธี Kjeldahl method (Total Kjeldahl Nitrogen; TKN) การเก็บเกี่ยวต้นแห้งของข้าวโพดในแต่ละแปลงย่อยทำโดยตัดที่โคนต้น แล้วทำการชั่งน้ำหนัก จากนั้นทำการสุ่มเก็บตัวอย่างต่อซึ่งข้าวโพดของแต่ละแปลงย่อยออกมาจำนวน 5 ต้น และนำไปบปให้แห้ง เพื่อใช้ในการคำนวณน้ำหนักต้นแห้งและวิเคราะห์ธาตุอาหารในพืช

4.1 น้ำหนักของเมล็ดข้าวโพดที่ความชื้นร้อยละ 15 สามารถคำนวณหาได้โดยใช้สูตร

$$\text{น้ำหนักเมล็ดที่ความชื้นร้อยละ 15 (กก./ไร่)} = \frac{a \times (100 - b) \times 1600}{(100 - 15) \times c}$$

เมื่อ a = น้ำหนักของเมล็ดข้าวโพดที่ความชื้น b (กก.)

b = ร้อยละความชื้นระดับต่างๆของเมล็ดข้าวโพดที่หาได้จากเครื่องวัดความชื้น

c = พื้นที่เก็บเกี่ยวผลผลิต (ตร.ม.)

4.2 การวิเคราะห์ความเข้มข้นของไนโตรเจนในพืช

นำตัวอย่างลำต้นและเมล็ดไปบปให้แห้งที่อุณหภูมิ 70°C จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ บดตัวอย่าง แล้วนำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของไนโตรเจน โดยการย่อยลำต้นและเมล็ดด้วยสารละลาย digestion mixture ก่อนนำไปวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนด้วยวิธี Kjeldahl method (Total Kjeldahl Nitrogen; TKN)

4.4 การดูดใช้ใน ไตรเจนของข้าวโพด (nitrogen uptake) สามารถคำนวณได้โดยใช้สูตร

$$\text{ปริมาณการดูดใช้ใน ไตรเจน} = \frac{\text{ร้อยละของไนโตรเจนในเมล็ด} \times \text{น้ำหนักเมล็ดที่ความชื้นร้อยละ 15}}{100}$$

ในส่วนของเมล็ด (กก./ไร่)

$$\text{ปริมาณการดูดใช้ใน ไตรเจน} = \frac{\text{ร้อยละของไนโตรเจนในต้นแห้ง} \times \text{น้ำหนักต้นแห้ง}}{100}$$

ในส่วนของต้นแห้ง (กก./ไร่)

$$\text{ปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารทั้งหมด} = \text{ปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารในส่วนของเมล็ดแห้ง} + \text{ปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารในส่วนของต้นแห้ง}$$

5. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

จากข้อมูลที่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ และการทดลองปลูกพืชในแปลงทดลอง นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (analysis of variance) เพื่อหาค่า F-value ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 หรือตามแต่กำหนดด้วยวิธี Duncan multirange test (DMRT)

ผลและวิจารณ์

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาผลของสารยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันที่มีต่อการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์และการเปลี่ยนรูปของปุ๋ยไนโตรเจนในการบ่มดินระดับห้องปฏิบัติการและแปลงทดลองที่ปลูกข้าวโพด โดยผลที่ได้มีรายละเอียดดังนี้

ผลการศึกษการบ่มดินในห้องปฏิบัติการ

การทดสอบผลของสารยับยั้งต่อการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์และการเปลี่ยนรูปของปุ๋ยไนโตรเจนด้วยการบ่มดินระดับห้องปฏิบัติการ เลือกศึกษาสารยับยั้ง 2 ชนิด คือ สาร DCD และน้ำมันสะเดา โดยใช้ในอัตราร้อยละ 5 และ 10 ของน้ำหนักดิน ใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 ในอัตรา 30 และ 50 กก./ไร่ และศึกษาอุณหภูมิที่ใช้บ่มดิน 2 ระดับ คือ 25 และ 35°C โดยผลการศึกษาแสดงได้ดังนี้

1. ผลของสารยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันต่อการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์ (N₂O)

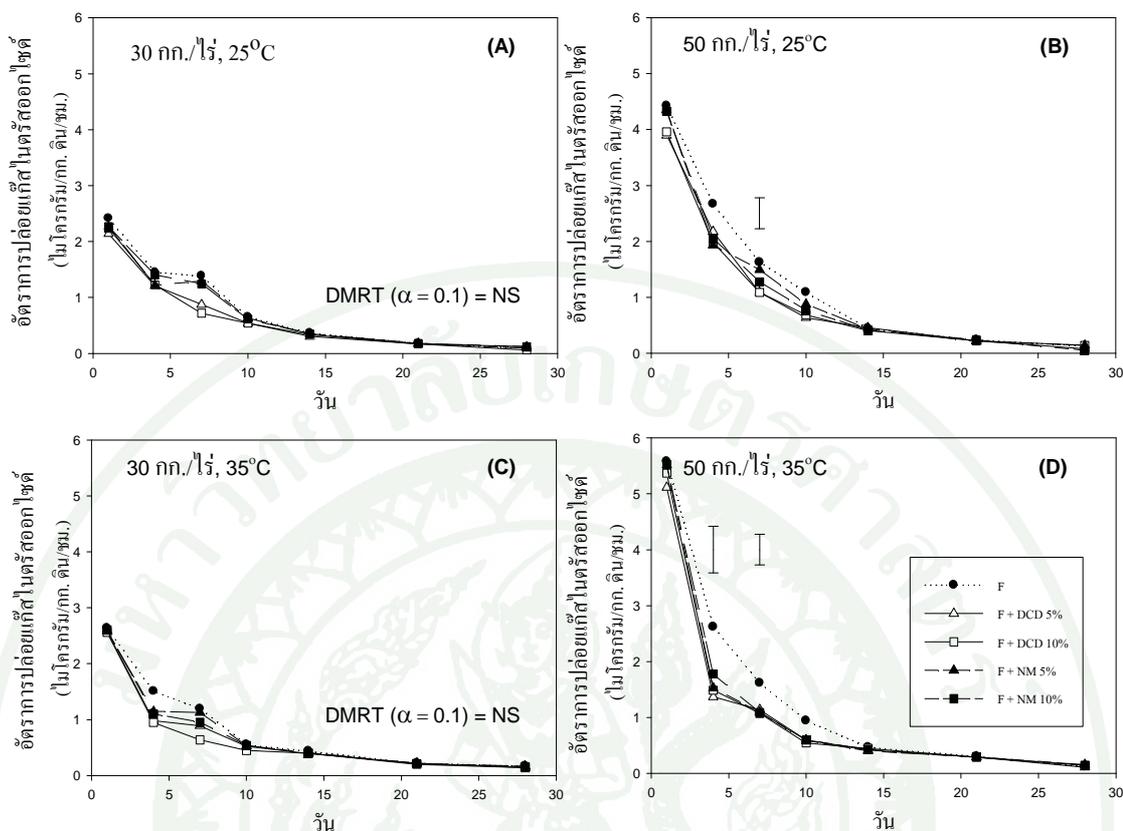
ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์จากระบบบ่มดินในตำรับทดลองต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4 ผลของปัจจัยหลักที่ทดสอบพบว่าตำรับทดลองการใช้สารยับยั้งและอัตราการใส่ปุ๋ยมีผลต่อการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์อย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) และเมื่อพิจารณาถึงปฏิสัมพันธ์ของตำรับทดลองการใช้สารยับยั้งกับปัจจัยหลักอื่นๆ ไม่พบว่ามีนัยสำคัญในงานศึกษานี้

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์จากระบบบ่มดิน
ที่ทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ เมื่อมีการวัดซ้ำของปัจจัยหลักและปฏิสัมพันธ์ (n =
420)

Sources of variation	Df	F	P > F
Treatments (TRT)	4	4.31	0.0278
Temperature (T)	1	0.18	0.1939
Fertilizer rate (R)	1	179.16	<0.0001
Day (D)	6	567.33	<0.0001
TRT x T	4	0.09	0.9844
TRT x R	4	0.68	0.6202
TRT x D	24	1.01	0.4660
T x R	1	0.99	0.3441
T x D	6	11.08	<0.0001
R x D	6	69.21	<0.0001
TRT x T x R	4	0.14	0.9625
TRT x T x D	24	0.19	1.0000
TRT x R x D	24	0.28	0.9994
T x R x D	6	3.32	0.0068
TRT x T x R x D	24	0.06	1.0000

ผลของสารยับยั้งที่มีต่อการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์จากสภาวะทดลองแสดงดังภาพที่ 7 รูปแบบของการปล่อยแก๊สมีลักษณะเดียวกันทุกคำรับทดลองที่ทุกอัตราการใช้ปุ๋ยเคมีและอุณหภูมิที่ใช้บ่มดินที่ศึกษา โดยที่ค่ามีแนวโน้มลดลงตามเวลาการบ่มที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งเป็นเพราะการใช้ปุ๋ยเคมีในการบ่มดินเป็นการเพิ่มปริมาณไนโตรเจนในดินที่ส่งเสริมกิจกรรมจุลินทรีย์ รวมถึงกลุ่มไนตริไฟเออร์ (nitrifier) และทำให้แก๊สไนตรัสออกไซด์ถูกปล่อยออกมาเพิ่มขึ้นหลังจากใส่ปุ๋ย ปริมาณแก๊สไนตรัสออกไซด์ของคำรับควบคุม (ที่มีดินและปุ๋ยเท่านั้น) มีค่าที่สูงกว่าคำรับที่มีการใส่ปุ๋ยร่วมกับสารยับยั้งทั้ง 2 ชนิด โดยมีความแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$) สำหรับการใช้ปุ๋ยในอัตรา 50 กก./ไร่ เท่านั้น และสารยับยั้งชนิด DCD มีการปลดปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์ที่ต่ำกว่าน้ำมันสะเดา (ภาพที่ 7B และ 7D) โดยการที่สารยับยั้งแต่ละชนิดสามารถลดการเกิดแก๊สไนตรัสออกไซด์ได้นั้นสามารถอธิบายได้ดังนี้ (1) สารยับยั้งชนิด DCD มีบทบาทโดยตรงในการลดกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการไนตริฟิเคชัน โดยเข้ายับยั้งและป้องกันการเปลี่ยนรูปของแอมโมเนียมไปเป็นไนเตรต ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการเกิดดีไนตริฟิเคชัน (Amberger, 1981; 1989) และ (2) สารสกัดจากสะเดามีผลต่อการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันเนื่องจากสารในกลุ่ม meliacins (ได้แก่ epinimbic acid, nimbin, salannin และ azadirachtin เป็นต้น) ในสะเดาสามารถชะลอกิจกรรมของจุลินทรีย์ดินในการเปลี่ยนรูปไนโตรเจนได้ (Santhi *et al.*, 1986; Majumdar *et al.*, 2001; Usha and patra, 2003) ผลการศึกษาที่พบความแตกต่างของปริมาณแก๊สไนตรัสออกไซด์ได้ชัดเจนในช่วง 14 วันแรกหลังการใช้สารยับยั้ง ซึ่งระยะเวลาของการออกฤทธิ์ของสารยับยั้งที่พบอยู่ในช่วงระยะเวลาที่ใกล้เคียงกับงานศึกษาของ Sangita *et al.* (2007) ที่พบว่าสารยับยั้งที่มาจากสะเดามีประสิทธิภาพอยู่ในช่วง 7-21 วันของการทดลอง

เมื่อพิจารณาผลของปริมาณปุ๋ยที่ใช้พบว่าอัตราการใช้ปุ๋ยที่มากขึ้นส่งเสริมการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์ ($P < 0.0001$; ตารางที่ 4) โดยที่การใช้ปุ๋ยที่ 50 กก./ไร่ ปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์ที่สูงกว่าการใช้ในอัตรา 30 กก./ไร่ โดยเฉพาะ 14 วันแรกของการบ่มดิน (ภาพที่ 7) ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณปุ๋ยที่ใส่มีผลต่อปริมาณไนโตรเจนในระบบ คือ ปุ๋ยเคมีที่ทำการทดลอง (สูตร 15-15-15) มีอัตราส่วนของแอมโมเนียมและไนเตรตในปุ๋ยประมาณร้อยละ 9:6 การเพิ่มปริมาณปุ๋ยจึงเป็นการเพิ่มปริมาณแอมโมเนียมและไนเตรตในดินให้มากขึ้นด้วย และเป็นเหตุให้สารตั้งต้นในการเกิดแก๊สไนตรัสออกไซด์มีปริมาณมากขึ้นเช่นกัน อย่างไรก็ตาม งานศึกษานี้ไม่พบว่าอุณหภูมิการบ่มดินมีผลต่อการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.10$) แม้ว่าที่อุณหภูมิการบ่มดิน 35°C มีแนวโน้มการปล่อยแก๊สที่สูงกว่าที่อุณหภูมิ 25°C ก็ตาม



ภาพที่ 7 การปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์จากผิวดินที่ใส่ปุ๋ยร่วมกับสารยับยั้งตามเวลาบ่มดินต่างๆ แบ่งเป็นตำรับควบคุมใส่ปุ๋ยอย่างเดียว (F) และตำรับที่มีการใส่สารยับยั้งร่วมแบ่งเป็นสารชนิด DCD และน้ำมันสะเดา (NM) ในอัตราส่วนต่างๆ; (A) ปริมาณปุ๋ย 30 กก./ไร่ ที่อุณหภูมิ 25°C (B) ปริมาณปุ๋ย 50 กก./ไร่ ที่อุณหภูมิ 25°C (C) ปริมาณปุ๋ย 30 กก./ไร่ ที่อุณหภูมิ 35°C (D) ปริมาณปุ๋ย 50 กก./ไร่ ที่อุณหภูมิ 35°C เส้นบอกความคลาดเคลื่อนโดยแสดงค่า $LSD_{(0.1)}$; NS หมายถึง ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ปริมาณการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์จากผิวดินทั้งหมดตลอดเวลาการบ่มดิน 28 วัน แสดงดังตารางที่ 5 โดยสาร DCD และน้ำมันสะเดามีแนวโน้มที่ช่วยลดปริมาณแก๊สไนตรัสออกไซด์ได้ในทุกตำรับการทดลอง โดยเฉพาะการใส่ปุ๋ยในอัตรา 50 กก./ไร่ และประสิทธิภาพในการลดการปล่อยแก๊สสูงสุดมีค่าเท่ากับร้อยละ 21.3 และ 16.4 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ใส่สารยับยั้ง ทั้งนี้พบว่าสาร DCD มีประสิทธิภาพที่สูงกว่าน้ำมันสะเดาในการลดปริมาณการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์ทั้งหมด ผลที่ได้มีค่าอยู่ในช่วงเดียวกับงานศึกษาอื่นที่สาร DCD สามารถลดปริมาณแก๊สไนตรัสออกไซด์ได้ร้อยละ 9-42 และมีแนวโน้มว่าประสิทธิภาพจะสูงขึ้น

เมื่ออุณหภูมิที่ใช้บ่มดินลดลง (Majumdar *et al.*, 2001; Suter *et al.*, 2010) แต่งานศึกษาของ Méndez-Bautista *et al.* (2009) พบว่าสารสกัดจากสะเดามีประสิทธิภาพในการลดแก๊สไนตรัสออกไซด์จากระบบการบ่มดินในห้องปฏิบัติการได้ร้อยละ 40 ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่าในการทดลองนี้ ทั้งนี้อาจเป็นจากงานศึกษาดังกล่าวใช้สารสกัดสะเดาในอัตราส่วนร้อยละ 20 ต่อน้ำหนักปุ๋ย ส่งผลให้มีความเข้มข้นและปริมาณของสารออกฤทธิ์มีปริมาณที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับการศึกษานี้

ตารางที่ 5 ปริมาณการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์ทั้งหมดระหว่างการบ่มดินในตำรับการทดลองต่างๆ

ตำรับ	ปริมาณแก๊สไนตรัสออกไซด์ทั้งหมด (มิลลิกรัม/กิโลกรัม ดิน)	
	30 กก./ไร่	50 กก./ไร่
F ¹	0.469 ± 0.032 ^{A+}	0.750 ± 0.037 ^A
F + DCD 5%	0.392 ± 0.042 ^{BC}	0.589 ± 0.060 ^B
F + DCD 10%	0.373 ± 0.088 ^C	0.591 ± 0.061 ^B
F + NM 5%	0.433 ± 0.070 ^{BA}	0.628 ± 0.042 ^B
F + NM 10%	0.430 ± 0.042 ^{BAC}	0.627 ± 0.074 ^B
CV %	14.04	8.85
P > F	0.0723	0.0002

หมายเหตุ ¹ ตำรับควบคุมใส่ปุ๋ยอย่างเดียว (F) และตำรับที่มีการใส่สารยับยั้งร่วมแบ่งเป็นสารชนิด DCD และน้ำมันสะเดา (NM) ในอัตราส่วนต่างๆ + ตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติโดยวิธี DMRT

2. ผลของสารยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันต่อปริมาณแอมโมเนียม (NH_4^+) ในดิน

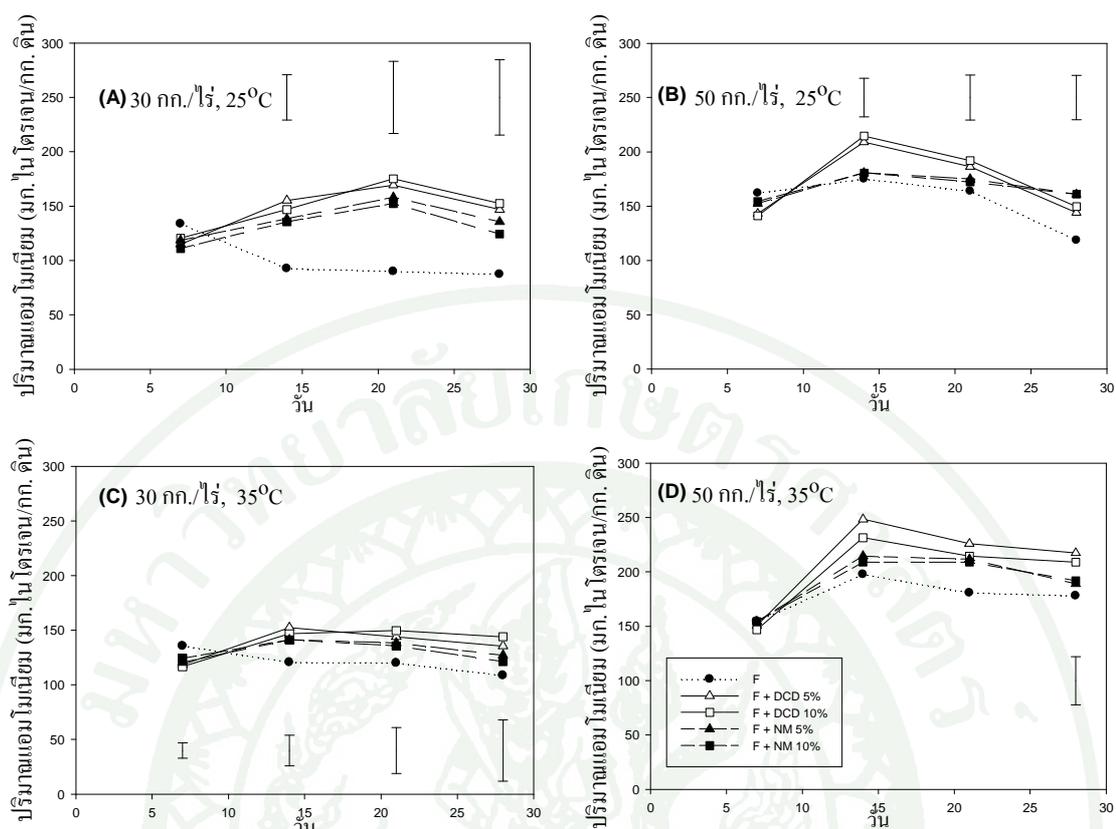
ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณแอมโมเนียมจากระบบบ่มดินในตำรับทดลองต่างๆ แสดงดังตารางที่ 6 โดยพิจารณาปัจจัยหลักพบว่าทุกปัจจัย (ตำรับทดลองการใส่สารยับยั้ง อัตราการใส่ปุ๋ย และอุณหภูมิ) มีผลต่อปริมาณแอมโมเนียมอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) และเมื่อพิจารณาถึงปฏิสัมพันธ์ของตำรับทดลองการใส่สารยับยั้งกับปัจจัยหลักอื่นๆ พบว่ามีปฏิสัมพันธ์ 2 ทาง (2-way interaction) กับเวลาบ่มดิน และมีปฏิสัมพันธ์ 3 ทาง (3-way interaction) กับอัตราการใส่ปุ๋ยและอุณหภูมิอย่างมีนัยสำคัญที่ ($P < 0.05$)

ตารางที่ 6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณแอมโมเนียมจากระบบบ่มดินที่ทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ เมื่อมีการวัดซ้ำของปัจจัยหลักและปฏิสัมพันธ์ ($n = 240$)

Sources of variation	df	F	P > F
Treatments (TRT)	4	9.32	0.0021
Temperature (T)	1	50.17	<0.0001
Fertilizer rate (R)	1	647.95	<0.0001
Day (D)	3	75.46	<0.0001
TRT x T	4	1.58	0.2534
TRT x R	4	1.15	0.3872
TRT x D	12	7.82	<0.0001
T x R	1	56.59	<0.0001
T x D	3	6.23	0.0020
R x D	3	18.45	<0.0001
TRT x T x R	4	4.08	0.0325
TRT x T x D	12	0.80	0.6479
TRT x R x D	12	1.19	0.3352
T x R x D	3	9.99	0.0001
TRT x T x R x D	12	0.87	0.5873

ผลของสารยับยั้งที่มีต่อปริมาณแอมโมเนียในดินภายใต้การควบคุมสภาวะการบ่ม แสดงดังภาพที่ 8 ผลที่ได้พบว่าสารยับยั้งสามารถชะลอการเปลี่ยนรูปของแอมโมเนียได้ โดยปริมาณแอมโมเนียในดินที่ใส่สารยับยั้งมีค่าสูงกว่าในตำรับการทดลองที่ไม่ใส่สารยับยั้งที่ทุก อัตราการใส่ปุ๋ยเคมีและอุณหภูมิที่ใช้บ่มดินที่ศึกษา และผลที่ได้ส่วนใหญ่สนับสนุนว่าสาร DCD มีปริมาณแอมโมเนียที่คงค้างในดินสูงกว่าน้ำมันสะเดา ซึ่งคาดว่าเป็นเพราะสาร DCD มีปริมาณสาร ออกฤทธิ์ที่มากกว่าหรือมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าน้ำมันสะเดาในการชะลอกระบวนการไนตริฟิเคชัน ของจุลินทรีย์ดิน ทั้งนี้พบว่าผลของสารยับยั้งพบได้ชัดเจนหลังการบ่มดินนาน 14 วันขึ้นไป แนวโน้มที่พบในงานศึกษานี้มีลักษณะคล้ายกับงานศึกษาของ Chen *et al.* (2010) ที่ทำการศึกษาผล ของสารยับยั้งต่อปริมาณแอมโมเนียในดินเหนียวร่วนภายใต้ระบบบ่มดินในห้องปฏิบัติการ โดย ปริมาณแอมโมเนียในตำรับทดลองที่มีการใส่สารยับยั้งมีค่าสูงกว่าตำรับควบคุม และ ประสิทธิภาพของสารยับยั้งพบได้ชัดเจนหลังจากการบ่มดินเป็นเวลา 7 วัน ปริมาณแอมโมเนียใน ดินเกิดขึ้นเนื่องจากการสลายตัวหรือการละลายของปุ๋ยเคมี และแอมโมเนียจะเปลี่ยนรูปไปเป็นไน ไตรท์และไนเตรทผ่านกระบวนการไนตริฟิเคชันในสภาวะแอโรบิคต่อไป ซึ่งทำให้ปริมาณ แอมโมเนียในดินลดลงดังที่พบได้ในตำรับควบคุมของงานศึกษานี้ ยกเว้นชุดที่ใส่ปุ๋ย 50 กก./ไร่ และบ่มที่ 35°C (ภาพที่ 8D) หากแต่การใส่สารยับยั้งชะลอกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการ เปลี่ยนรูปของแอมโมเนียในดิน ส่งผลให้อัตราการออกซิไดซ์แอมโมเนียไปเป็นไนไตรท์ช้าลง และทำให้มีปริมาณแอมโมเนียคงค้างหรือสะสมในดินได้ดีขึ้นดังที่พบในตำรับทดลองที่มีการใส่ สารยับยั้งของงานศึกษานี้ (Prasad and Power, 1995; Abbasi and Adam, 2000)

ปริมาณปุ๋ยที่ใส่และอุณหภูมิมีผลต่อปริมาณแอมโมเนียในดิน (ตารางที่ 6) เนื่องจา กการใส่ปุ๋ยที่มากขึ้นทำให้เพิ่มแอมโมเนียให้แก่ดินที่มากขึ้นด้วย ด้วยเหตุนี้ จึงทำให้การใส่ปุ๋ยที่ 50 กก./ไร่ มีปริมาณแอมโมเนียสูงกว่าการใส่ปุ๋ย 30 กก./ไร่ อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.0001$; ภาพที่ 8) ส่วนอุณหภูมิการบ่มที่ต่างกันพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.0001$) ทั้งนี้เนื่องจากจุลินทรีย์ กลุ่ม ammonia oxidizing bacteria มีการเจริญเติบโตได้ดีกว่าจุลินทรีย์กลุ่ม nitrite oxidizing bacteria ที่อุณหภูมิ 35°C ส่งผลให้มีแอมโมเนียในระบบมีค่าสูงกว่า (Hellinga *et al.*, 1998; Ding *et al.*, 2007) ดังที่พบในอัตราการใส่ปุ๋ยเคมีที่ 50 กก./ไร่ ของงานศึกษานี้ (ภาพที่ 6B และ 6D)



ภาพที่ 8 ปริมาณแอมโมเนียในดินที่ใส่ปุ๋ยร่วมกับสารยับยั้งตามเวลาบ่มดินต่างๆ; คำรับทดลองแบ่งเป็นคำรับควบคุมใส่ปุ๋ยอย่างเดียว (F) และคำรับที่มีการใส่สารยับยั้งร่วมแบ่งเป็นสารชนิด DCD และน้ำมันสะเดา (NM) ในอัตราส่วนต่างๆ (A) ปริมาณปุ๋ย 30 กก./ไร่ ที่อุณหภูมิ 25°C (B) ปริมาณปุ๋ย 50 กก./ไร่ ที่อุณหภูมิ 25°C (C) ปริมาณปุ๋ย 30 กก./ไร่ ที่อุณหภูมิ 35°C (D) ปริมาณปุ๋ย 50 กก./ไร่ ที่อุณหภูมิ 35°C เส้นบอกความคลาดเคลื่อนโดยแสดงค่า LSD_(0.1); NS หมายถึง ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการบ่มดินพบว่าสาร DCD มีปริมาณแอมโมเนียคงค้างในดินที่สูงกว่าน้ำมันสะเดา โดยมีประสิทธิภาพสูงสุดที่ร้อยละ 24.9 และ 19.7 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับคำรับควบคุมที่ไม่ใส่สารยับยั้ง ประสิทธิภาพของสารสกัดจากสะเดาที่พบในงานศึกษานี้มีค่าใกล้เคียงกับ Abbasi *et al.* (2010) ที่พบว่าแก่นเมล็ดสะเดาสามารถคงค้างปริมาณแอมโมเนียในระบบบ่มดินในห้องปฏิบัติการได้ร้อยละ 23 และงานศึกษาดังกล่าวได้ทำการทดลองสารยับยั้งชนิดโซเดียมไทโอซัลเฟตและแคลเซียมคลอไรด์ โดยพบว่าประสิทธิภาพที่ร้อยละ 14 และ 29 ตามลำดับ

3. ผลของสารยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันต่อปริมาณไนเตรท (NO_3^-) ในดิน

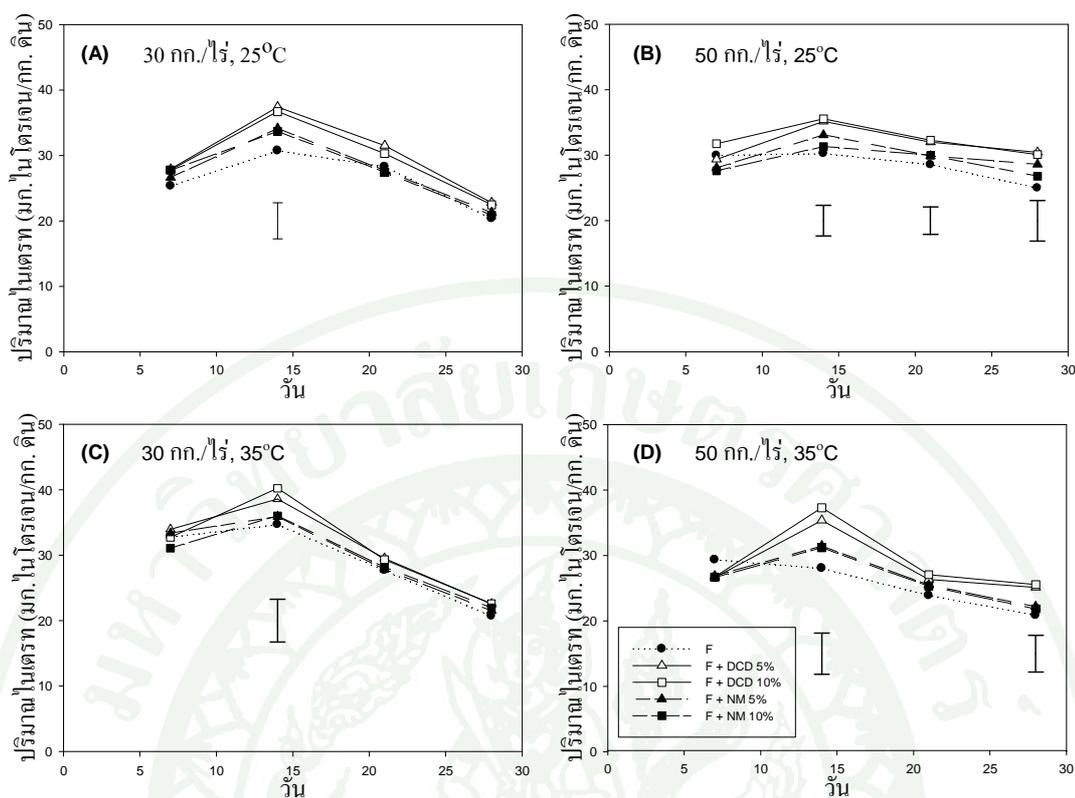
ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณไนเตรทจากระบบบ่มดินในตำรับทดลองต่างๆ แสดงดังตารางที่ 7 โดยพิจารณาปัจจัยหลักพบว่าตำรับทดลองการใส่สารยับยั้งและอุณหภูมิที่บ่มดินมีผลต่อปริมาณไนเตรทอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) และเมื่อพิจารณาถึงปฏิสัมพันธ์ของตำรับทดลองการใส่สารยับยั้งกับปัจจัยหลักอื่นๆ พบเฉพาะปฏิสัมพันธ์ 2 ทาง กับเวลาบ่มดิน

ตารางที่ 7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณไนเตรทจากระบบบ่มดินที่ทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ เมื่อมีการวัดซ้ำของปัจจัยหลักและปฏิสัมพันธ์ ($n = 240$)

Sources of variation	Df	F	P > F
Treatments (TRT)	4	30.03	<0.0001
Temperature (T)	1	5.77	0.0174
Fertilizer rate (R)	1	1.78	0.1838
Day (D)	3	341.26	<0.0001
TRT x T	4	0.48	0.7482
TRT x R	4	0.91	0.4569
TRT x D	12	3.69	<0.0001
T x R	1	119.57	<0.0001
T x D	3	24.12	<0.0001
R x D	3	40.16	<0.0001
TRT x T x R	4	0.26	0.9048
TRT x T x D	12	0.91	0.5427
TRT x R x D	12	1.171	0.3534
T x R x D	3	4.67	0.0037
TRT x T x R x D	12	0.65	0.7987

ผลของสารยับยั้งที่มีต่อปริมาณไนเตรทในดินระหว่างบ่มดินแสดงดังภาพที่ 9 ผลที่ได้พบว่าหลังการบ่มดินนาน 14 วัน ปริมาณไนเตรทในตำรับที่ใส่สารยับยั้งมีค่าสูงกว่าตำรับควบคุมเล็กน้อย แต่เป็นที่น่าสนใจว่าอัตราการใส่ปุ๋ยไม่มีผลต่อปริมาณไนเตรทในดิน ประสิทธิภาพของสารยับยั้งในการสะสมไนเตรทในดินของงานศึกษานี้สอดคล้องกับงานศึกษาของ Abbasi *et al.* (2010) ที่พบว่าแกนเมล็ดสะเดาช่วยสะสมไนเตรทในดินได้ และในงานศึกษาของ Suter *et al.* (2010) ที่พบว่าสารยับยั้งสะสมปริมาณไนเตรทได้ดีกว่าดินควบคุมที่ใส่เฉพาะปุ๋ย การที่สารยับยั้งมีประสิทธิภาพในการสะสมไนเตรทในดินได้ไม่ชัดเจนนักอาจเป็นเพราะดินที่ใช้ในงานศึกษานี้มีความอุดมสมบูรณ์ดินและอินทรีย์วัตถุในดินที่ต่ำ จึงส่งผลให้กระบวนการไนตริฟิเคชันเกิดในอัตราที่ต่ำ และทำให้ประสิทธิภาพของสารยับยั้งที่มีต่อไนเตรทในดินอาจเห็นผลได้ไม่ชัดเจนนัก (Nelson and Huber, 2001)

เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการบ่มดินพบว่าสาร DCD มีปริมาณไนเตรทคงค้างในดินที่สูงกว่าน้ำมันสะเดา โดยช่วยคงค้างปริมาณไนเตรทในดินได้สูงสุดร้อยละ 10.7 และ 3.9 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับตำรับควบคุม ทั้งนี้สอดคล้องกับงานศึกษาของ Abbasi *et al.* (2010) ที่พบว่าการใช้แกนเมล็ดสะเดาสามารถคงค้างไนเตรทในดินระหว่างการบ่มดินได้กว่าร้อยละ 50 ซึ่งความแตกต่างของประสิทธิภาพของสารยับยั้งจากสะเดาที่พบนี้อาจเนื่องมาจากการใช้ปุ๋ยที่แตกต่างกัน โดยงานศึกษานี้ใช้ปุ๋ยที่มีไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมและไนเตรทเป็นองค์ประกอบ จึงทำให้เพิ่มปริมาณไนเตรทในระบบจากปุ๋ยที่ใส่โดยตรง และอาจส่งผลให้ไม่เห็นความแตกต่างที่ชัดเจนของสารยับยั้ง



ภาพที่ 9 ปริมาณไนโตรเจนในดินที่ใส่ปุ๋ยร่วมกับสารยับยั้งตามเวลาบ่มดินต่างๆ ; ดำรับทดลอง แบ่งเป็นดำรับควบคุมใส่ปุ๋ยอย่างเดียว (F) และดำรับที่มีการใส่สารยับยั้งร่วมแบ่งเป็นสาร ชนิด DCD และน้ำมันสะเดา (NM) ในอัตราส่วนต่างๆ (A) ปริมาณปุ๋ย 30 กก./ไร่ ที่ อุณหภูมิ 25°C (B) ปริมาณปุ๋ย 50 กก./ไร่ ที่อุณหภูมิ 25°C (C) ปริมาณปุ๋ย 30 กก./ไร่ ที่ อุณหภูมิ 35°C (D) ปริมาณปุ๋ย 50 กก./ไร่ ที่อุณหภูมิ 35°C เส้นบอกความคลาดเคลื่อน โดยแสดงค่า LSD_(0.1); NS หมายถึง ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ผลการศึกษาในแปลงปลูกข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ 4452

การทดสอบประสิทธิภาพของสารยับยั้งต่อการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์และการเปลี่ยนรูปของปุ๋ยไนโตรเจนในแปลงทดลองที่มีการปลูกข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ 4452 ที่ปลูกช่วงเดือนเมษายนถึงกรกฎาคม ปี 2554 ผลของการศึกษาแสดงได้ดังนี้

1. สมบัติบางประการของดินในแปลงทดลองก่อนการปลูกข้าวโพด

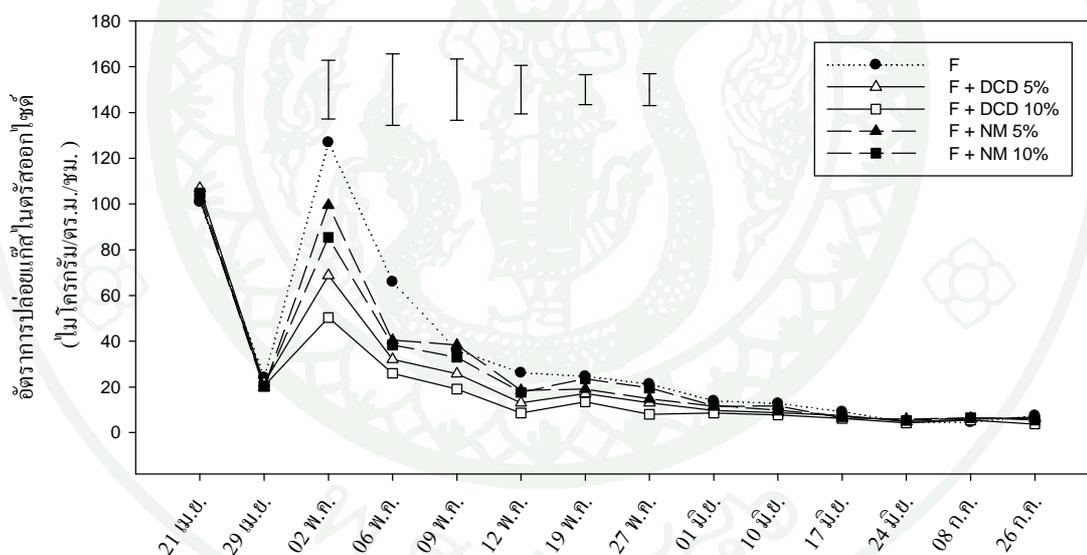
สมบัติบางประการของชุดดินจันทิก กลุ่มชุดดินที่ 44 ในพื้นที่สถานีวิจัยเขาคินซ้อน ก่อนปลูกข้าวโพด พบว่าชุดดินมีเนื้อดินเป็นดินทรายร่วน เก็บความชื้นได้ไม่นาน ดินแห้งเร็ว มีปฏิกิริยาดิน (pH) เป็นกรดเท่ากับ 5.5 มีปริมาณอินทรีย์วัตถุในระดับต่ำที่ร้อยละ 0.69 ปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำคือ 4 และ 60 มก./กก. ตามลำดับ ซึ่งจากสมบัติดังกล่าวเมื่อเปรียบเทียบกับรายงานของสำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน (2548) ชี้ให้เห็นว่าดินที่ศึกษามีความอุดมสมบูรณ์ค่อนข้างต่ำ ความสามารถในการแลกเปลี่ยนธาตุอาหารต่ำมาก เป็นเหตุให้การใช้ปุ๋ยเคมีให้ผลตอบแทนต่อพืชต่ำ และส่งผลต่อปริมาณผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่ไม่ดีเท่าที่ควร

2. ปริมาณฝนและอุณหภูมิอากาศในพื้นที่ทดลอง

ปริมาณฝนรายวันและปริมาณฝนสะสมในพื้นที่ศึกษาระหว่างการปลูกข้าวโพด คือ เดือนเมษายนถึงกรกฎาคม แสดงดังภาพที่ 10 โดยมีฝนกระจายตลอดช่วงการปลูกและมีปริมาณฝนทั้งหมด คือ 797 มิลลิเมตร และภาพที่ 11 แสดงปริมาณฝนสะสมเปรียบเทียบระหว่างปี 2553 และ 2554 โดยพบว่าปริมาณฝนในปี 2554 มีค่าสูงกว่าปี 2553 โดยเฉพาะในช่วง 2 เดือนแรกที่ทำให้การทดลอง (เมษายนและพฤษภาคม) ซึ่งทำให้มีปริมาณฝนที่เอื้อยิ่งขึ้นต่อการปลูกพืชในงานศึกษานี้ ส่วนอุณหภูมิในพื้นที่ศึกษาในช่วงที่ปลูกพืชมีค่าระหว่าง 29–46°C โดยผันแปรตามฤดูกาล (ฤดูร้อนถึงฤดูฝน) (ข้อมูลไม่แสดง)

3. ผลของสารยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันต่อการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์ (N_2O)

ผลของสารยับยั้งที่มีต่อการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์จากแปลงข้าวโพดแสดงดังภาพที่ 12 และตารางที่ 8 โดยพบว่ารูปแบบของการปล่อยแก๊สมีลักษณะเดียวกันในทุกตำรับทดลอง คือ มีค่าลดลงตามระยะเวลาที่ปลูกพืช ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ โดยที่แปลงควบคุมที่ใส่เฉพาะปุ๋ยมีอัตราการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์จากดินที่สูงกว่าแปลงที่ใส่ปุ๋ยร่วมกับสารยับยั้งทั้งสองชนิด ($P < 0.0001$) และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารยับยั้งพบว่าสารยับยั้งชนิด DCD มีการปลดปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์ที่ต่ำกว่าน้ำมันสะเดา โดยผลการศึกษพบความแตกต่างได้ชัดเจนในช่วงเวลา 2-3 สัปดาห์หลังจากใส่สารยับยั้ง ทั้งนี้ยังพบว่าการใส่สารยับยั้งที่อัตราร้อยละ 10 มีแนวโน้มในการลดการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์ต่ำกว่าที่ร้อยละ 5 สำหรับสารยับยั้งทั้ง 2 ชนิดที่ศึกษา

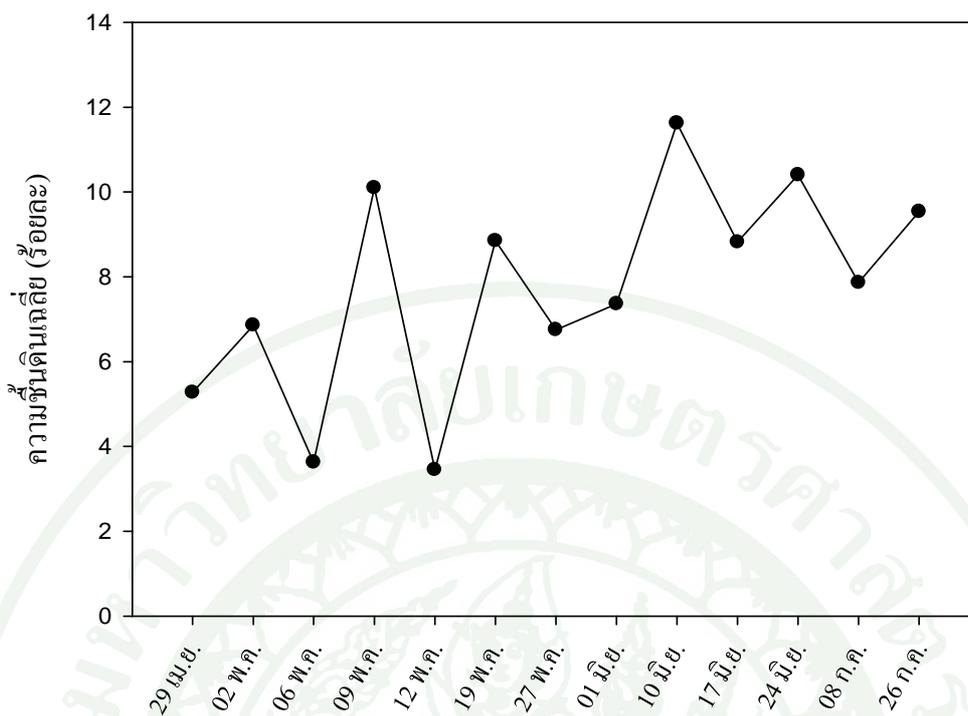


ภาพที่ 12 การปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์จากผิวดินตามตำรับการทดลองต่างๆ ในแปลงปลูกข้าวโพด; ตำรับทดลอง แบ่งเป็นตำรับควบคุมใส่ปุ๋ยอย่างเดียว (F) และตำรับที่มีการใส่สารยับยั้งร่วมแบ่งเป็นสารชนิด DCD และน้ำมันสะเดา (NM) ในอัตราส่วนต่างๆ เส้นบอกความคลาดเคลื่อน โดยแสดงค่า $LSD_{(0.1)}$

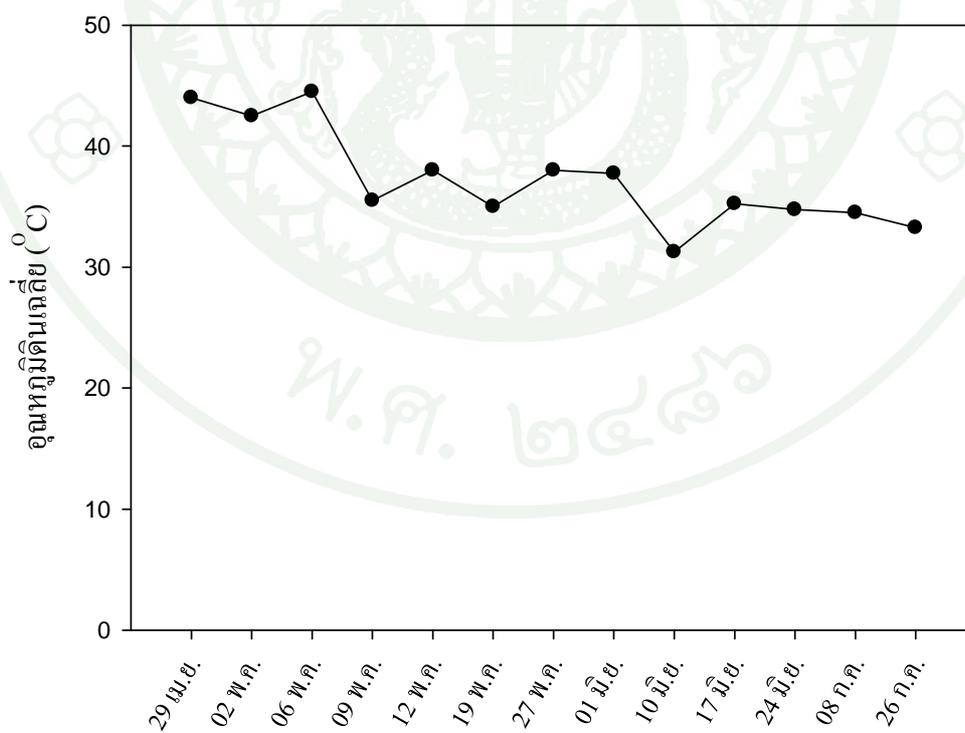
ตารางที่ 8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์จากแปลงทดลองที่มีการวัดซ้ำของปัจจัยหลักและปฏิสัมพันธ์ (n = 280)

Sources of variation	df	F	P > F
Treatments (TRT)	4	55.32	<0.0001
day (D)	13	426.65	<0.0001
TRT x D	52	6.39	<0.0001

ความชื้นในดินและอุณหภูมิดินของแปลงทดลองที่ศึกษาแสดงดังภาพที่ 13 และ 14 และการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์และความชื้นในดินหรืออุณหภูมิดินแสดงดังตารางที่ 9 โดยพบว่าอัตราการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์มีความสัมพันธ์อย่างยิ่งต่ออุณหภูมิ ($r = 0.57$) และความชื้นดิน ($r = -0.27$) ทั้งนี้เป็นผลมาจากความชื้นในดินมีผลต่อปริมาณน้ำ อากาศ และการเคลื่อนที่ของแก๊สในช่องว่างของเม็ดดิน ซึ่งเป็นปัจจัยที่เอื้อต่อการเกิดดินในตรีฟิเคชันและการเกิดแก๊สไนตรัสออกไซด์ รวมถึงอุณหภูมิในช่วงระหว่างทำการทดลองนั้นอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อภารกิจกรรมของจุลินทรีย์ (Lutz *et al.*, 2000) แต่ความแตกต่างดังกล่าวอาจไม่ชัดเจนนักในการทดลองนี้เนื่องจากลักษณะของดินในแปลงทดลองเป็นดินทรายร่วนทำให้มีช่องว่างของเม็ดดินค่อนข้างมาก



ภาพที่ 13 ความชื้นดินเฉลี่ยที่ 0-5 ซม. ระหว่างการปลูกข้าวโพดในแปลงทดลอง



ภาพที่ 14 อุณหภูมิดินเฉลี่ยที่ระดับ 0-5 ซม. จากผิวดินระหว่างการปลูกข้าวโพดในแปลงทดลอง

ตารางที่ 9 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ของอัตราการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์จากแปลงทดลองที่มีต่ออุณหภูมิและความชื้นดิน

	อัตราการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์	
	r	P > F
ความชื้นดิน	-0.27	< 0.0001
อุณหภูมิดิน	0.57	< 0.0001

ปริมาณการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์จากผิวดินทั้งหมดแสดงดังตารางที่ 10 ผลของสารยับยั้งทั้ง 2 ชนิด ช่วยลดปริมาณการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์ได้ในทุกคำรับการทดลอง (P=0.0001) โดยสารยับยั้งชนิด DCD มีประสิทธิภาพที่สูงกว่าสารยับยั้งชนิดน้ำมันสะเดา ผลของการอัตราการใช้สารยับยั้งพบว่าสารยับยั้งชนิด DCD ที่อัตราร้อยละ 10 มีแนวโน้มการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์ต่ำกว่าที่ร้อยละ 5 ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับในน้ำมันสะเดา คือ ที่อัตราร้อยละ 10 มีแนวโน้มการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์ที่ต่ำกว่าร้อยละ 5 แต่ค่าที่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเฉพาะการใช้สาร DCD การประเมินประสิทธิภาพการลดปริมาณการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์พบว่าสาร DCD มีประสิทธิภาพในการลดสูงสุดที่ร้อยละ 25.5 ซึ่งสูงกว่าการใช้น้ำมันสะเดาที่ลดได้สูงสุดที่ร้อยละ 10.1 เมื่อเทียบกับคำรับควบคุมที่ไม่ใส่สารยับยั้ง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับงานศึกษาของ Oslan *et al.* (2007) ที่ศึกษาผลของสารยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันในการปลูกข้าวโพดพบว่าสาร DCD สามารถช่วยลดการเกิดไนตรัสออกไซด์ได้ร้อยละ 43.31 ซึ่งปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นนั้นมีอิทธิพลมาจากชนิดของปุ๋ยและปริมาณของปุ๋ยที่ใช้ โดยในงานศึกษาดังกล่าวได้ทำการศึกษาโดยใช้ปุ๋ยยูเรียจึงทำให้มีปริมาณแก๊สไนตรัสออกไซด์รวมตลอดการปลูกสูงกว่าในงานศึกษาของ Zaman *et al.* (2009) พบว่าประสิทธิภาพของสาร DCD ในการลดการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์จากทุ่งหญ้าได้ในช่วงร้อยละ 16-52 และ Majumdar *et al.* (2002) ศึกษาผลของสารยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันที่มีผลต่อการปลดปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์จากข้าวสาลี โดยทำการเปรียบเทียบสารยับยั้งจากสะเดาที่ผสมร่วมกับปุ๋ยยูเรีย พบว่าสารสกัดสะเดาเชิงพาณิชย์สามารถลดการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์ได้ถึงร้อยละ 63 ซึ่งสูงกว่าการใช้แก่นเมล็ดจากสะเดาที่สามารถลดการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์โดยรวมได้ร้อยละ 9 ทั้งนี้เป็นเพราะความเข้มข้นของสารออกฤทธิ์ที่มีความแตกต่างกัน

ตารางที่ 10 ปริมาณการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์ทั้งหมดระหว่างการปลูกข้าวโพดในแปลงทดลอง

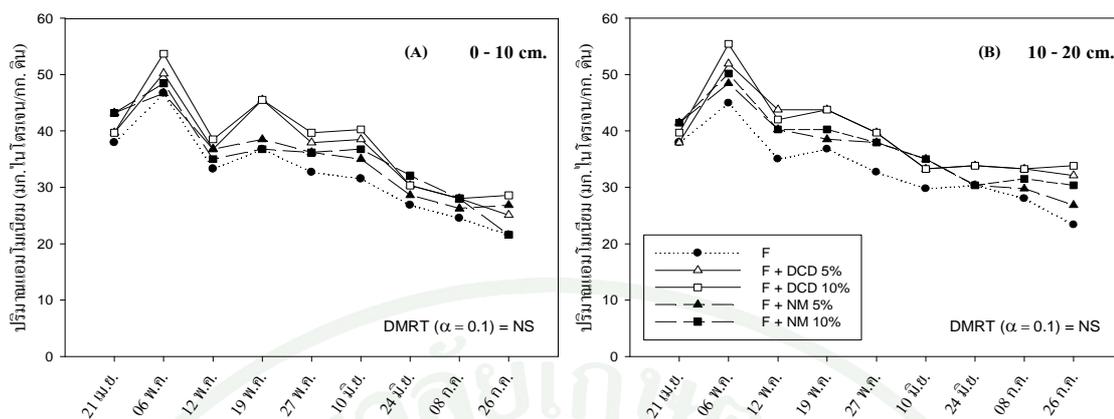
Treatment	Emissions (mg/m ²)
F ¹	76.3 ± 2.5 ^{A+}
F + DCD 5%	63.7 ± 4.0 ^C
F + DCD 10%	56.9 ± 5.8 ^D
F + NM 5%	68.6 ± 4.3 ^B
F + NM 10%	68.9 ± 2.5 ^B
CV %	6.02
P > F	0.0001

หมายเหตุ ¹ ดำรับควบคุมใส่ปุ๋ยอย่างเดียว (F) และดำรับที่มีการใส่สารยับยั้งร่วมแบ่งเป็นสารชนิด DCD และน้ำมันสะเดา (NM) ในอัตราส่วนต่างๆ + ตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่แตกต่างกันทางสถิติโดยวิธี DMRT

4. ผลของสารยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันต่อปริมาณแอมโมเนียม (NH_4^+)

ผลของสารยับยั้งที่มีต่อการปริมาณแอมโมเนียมในดินจากแปลงข้าวโพดแสดงดังภาพที่ 15 และตารางที่ 11 โดยรูปแบบของปริมาณแอมโมเนียมในดินที่ความลึก 0-10 และ 10-20 ซม. มีลักษณะคล้ายคลึงกัน คือ มีการเพิ่มขึ้นของแอมโมเนียมในดินในสัปดาห์ที่ 2 หลังการใส่ปุ๋ย และมีแนวโน้มค่าที่ลดลงตามเวลาที่ปลูกข้าวโพด โดยการลดลงของแอมโมเนียมในดินเกิดจากการเปลี่ยนรูปไปเป็นไนไตรท์และไนเตรทผ่านกระบวนการไนตริฟิเคชันและแอมโมเนียมยังอาจถูกพืชและจุลินทรีย์ดินใช้ในระหว่างการเจริญเติบโตด้วย (Nelson and Huber, 2001; Majumdar *et al.*, 2002) สาร DCD และน้ำมันสะเดาในงานศึกษานี้สามารถชะลอการเปลี่ยนรูปของแอมโมเนียมในดินได้ตลอดระยะเวลาการปลูกพืช ($P=0.0020$) โดยสาร DCD มีประสิทธิภาพสูงสุดอยู่ที่ร้อยละ 20.2 ซึ่งสูงกว่าน้ำมันสะเดาที่มีประสิทธิภาพสูงสุดอยู่ที่ร้อยละ 12.9 (คิดจากค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพตลอดระยะเวลาการทดลอง)

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแอมโมเนียมในดินที่ความลึกแตกต่างกัน พบว่าที่ความลึก 10-20 ซม. มีปริมาณสูงกว่าที่ความลึก 0-10 ซม. แม้ว่าไม่มีผลทางสถิติ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากลักษณะดินที่ศึกษาเป็นดินเนื้อหยาบ (ดินทราย) ทำให้มีช่องว่างในดินสูงและดูดซับแอมโมเนียมบนผิวอนุภาคดินไม่คืนกลับ ทำให้เกิดการชะแอมโมเนียมลงสู่ดินที่อยู่ลึกลงไปได้ (Mancino and Troll, 1990) อีกทั้งความถี่ของฝนที่สูงหลังการใส่ปุ๋ยของงานศึกษานี้ช่วยส่งเสริมการชะแอมโมเนียมได้มากยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตาม การสังเกตนี้แตกต่างจากงานศึกษาของ Zaman *et al.* (2009) ที่พบว่าปริมาณแอมโมเนียมมีค่าต่ำลงตามความลึกดินที่เพิ่มขึ้น เพราะแอมโมเนียมไอออนมีการเคลื่อนที่ในดินช้า โดยอาจเป็นผลจากเนื้อดิน ชนิดปุ๋ยที่ใส่ และภูมิอากาศที่แตกต่างของงานศึกษาทั้งสอง



ภาพที่ 15 ผลของสารยับยั้งที่มีต่อปริมาณแอมโมเนียมในดินในแปลงปลูกข้าวโพดตามเวลาต่างๆ; ดำรับทดลอง แบ่งเป็นดำรับควบคุมใส่ปุ๋ยอย่างเดียว (F) และดำรับที่มีการใส่สารยับยั้งร่วมแบ่งเป็นสารชนิด DCD และน้ำมันสะเดา (NM) ในอัตราส่วนต่างๆ (A) ที่ความลึก 0-10 ซม. (B) ที่ความลึก 10-20 ซม., NS หมายถึง ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

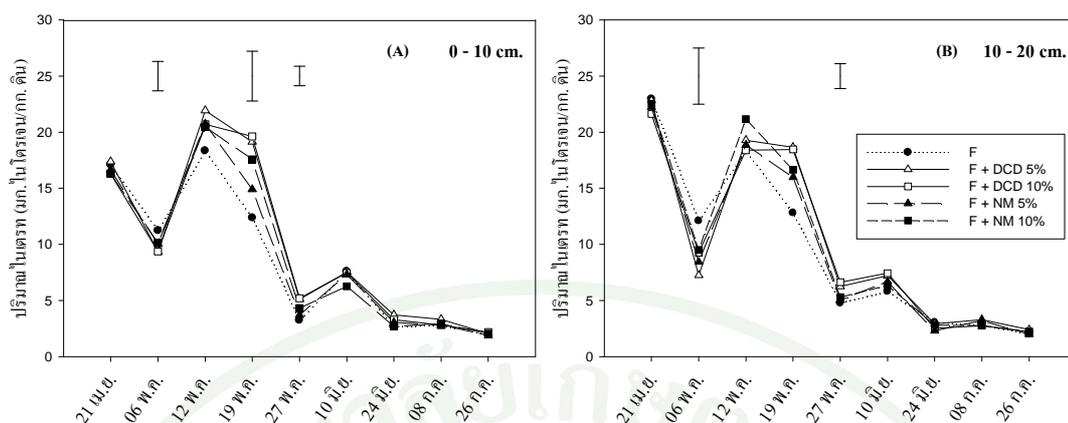
ตารางที่ 11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณแอมโมเนียมจากแปลงทดลองที่มีการวัดซ้ำของปัจจัยหลักและปฏิสัมพันธ์ (n = 360)

Sources of variation	Df	F	P > F
Treatments (TRT)	4	7.11	0.0020
Depth (Dp)	1	2.39	0.1426
day (D)	8	24.95	<0.0001
TRT X Dp	4	0.066	0.9928
TRT X D	32	0.22	1.0000
DP X D	8	0.88	0.5327
TRT x Dp X D	32	0.11	1.0000

5. ผลของสารยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันต่อปริมาณไนเตรท (NO_3^-)

ผลของสารยับยั้งที่มีต่อปริมาณไนเตรทในดินในแปลงทดลองแสดงดังภาพที่ 16 และตารางที่ 12 ผลที่ได้สอดคล้องกับผลจากการบ่มดิน คือ ปริมาณไนเตรทในดินของดาร์บที่ใส่สารยับยั้งมีค่าสูงกว่าในดาร์บควบคุม โดยพบผลที่ชัดเจนเฉพาะในสัปดาห์ที่ 3-5 หลังการใส่ปุ๋ย ($P=0.0618$) และที่ความลึก 10-20 ซม. มีปริมาณไนเตรทสูงกว่าที่ความลึก 0-10 ซม. เล็กน้อย ($P=0.0521$) ซึ่งอาจเป็นเพราะไนเตรทสามารถละลายน้ำได้ดีและการมีประจุลบทำให้เกิดเคลื่อนที่ลึกลงไปในดินด้วยการพาของน้ำและการเป็นดินเนื้อหยาบได้ดี ทั้งนี้ แม้วางานศึกษาที่เกี่ยวข้องพบว่าสารยับยั้งทำให้ไนเตรทในดินมีปริมาณที่สูงกว่าดาร์บควบคุมอย่างชัดเจน (Parkin and Hatfield, 2009; Zaman *et al.*, 2009) แต่การที่ไม่พบผลที่ชัดเจนนักของสารยับยั้งที่มีต่อปริมาณไนเตรทในดินของงานศึกษานี้ อาจเป็นเพราะการดูแลใช้ของข้าวโพดในการเจริญเติบโต การดูแลใช้ของวัชพืชในแปลง และการเกิดคิไนตริฟิเคชันในดินในช่วงที่มีฝนตก (Staver and Brinsfield, 1990)

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพของสารยับยั้งในการคงค้างปริมาณไนเตรทในดิน พบว่าสาร DCD มีประสิทธิภาพสูงกว่าน้ำมันสะเดา โดยมีค่าสูงสุดที่ร้อยละ 20.0 และ 9.2 ตามลำดับ (คิดจากค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพตลอดระยะเวลาการทดลอง) โดยมีประสิทธิภาพที่ชัดเจนกว่าในระดับความลึกดินที่ 0-10 ซม. ผลที่พบสอดคล้องกับงานศึกษาของ Zaman *et al.* (2009) ที่กล่าวถึงการเคลื่อนที่ของไนเตรทและประสิทธิภาพของสารยับยั้งที่ความลึกของดินระดับต่างๆ โดยพบว่าการที่ปริมาณไนเตรทในดินชั้นบนมีค่าสูงกว่า ทั้งนี้เป็นผลมาจากการชะลอกการเกิดไนตริฟิเคชัน และการดูแลใช้ไนเตรทของพืชในบริเวณรากส่งผลต่อปริมาณของไนเตรทที่อยู่ในดินชั้นล่างมีค่าน้อยกว่าที่ดินชั้นบน



ภาพที่ 16 ผลของสารยับยั้งที่มีต่อปริมาณไนโตรเจนในดินในแปลงปลูกข้าวโพดตามเวลาต่างๆ; ดำรับทดลอง แบ่งเป็นดำรับควบคุมใส่ปุ๋ยอย่างเดียว (F) และดำรับที่มีการใส่สารยับยั้งร่วม แบ่งเป็นสารชนิด DCD และน้ำมันสะเดา (NM) ในอัตราส่วนต่างๆ (A) ที่ความลึก 0-10 ซม. (B) ที่ความลึก 10-20 ซม. เส้นบอกความคลาดเคลื่อน โดยแสดงค่า LSD_(0.1)

ตารางที่ 12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณไนเตรทจากแปลงทดลองที่มีการวัดซ้ำของปัจจัยหลักและปฏิสัมพันธ์ (n = 360)

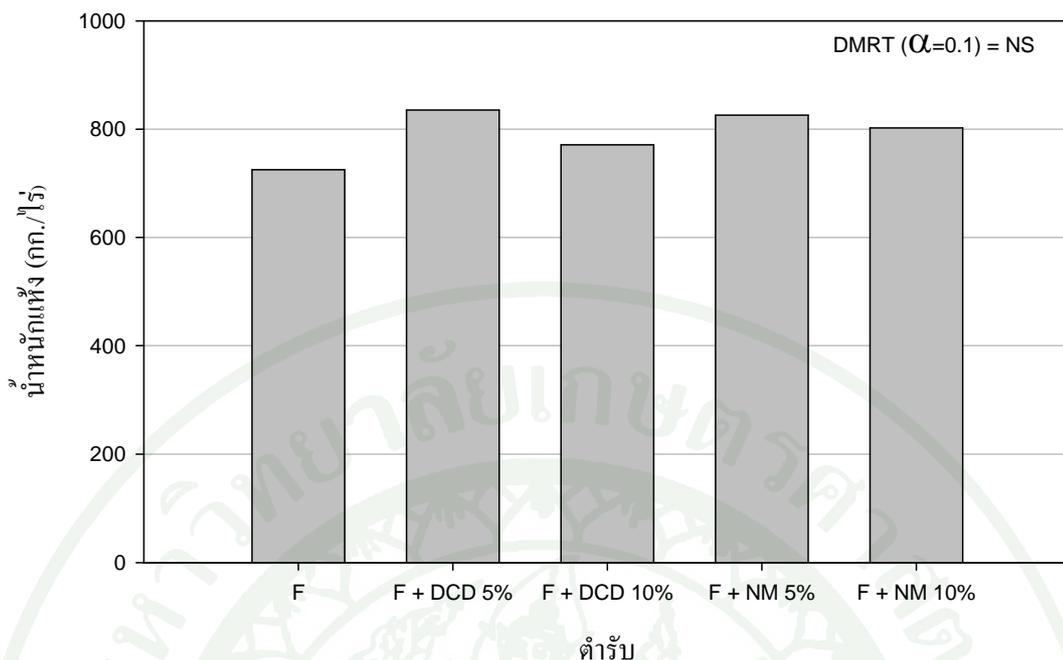
Sources of variation	Df	F	P > F
Treatments (TRT)	4	2.84	0.0618
Depth (Dp)	1	4.45	0.0521
day (D)	8	513.66	<0.0001
TRT X Dp	4	0.42	0.7903
TRT X D	32	2.30	0.0006
DP X D	8	10.45	<0.0001
TRT x Dp X D	32	0.28	0.9999

ผลของการใส่สารยับยั้งปฏิกริยาไนตริฟิเคชันต่อผลผลิตและการดูใช้ในโตรเจนของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์สุวรรณ 4452

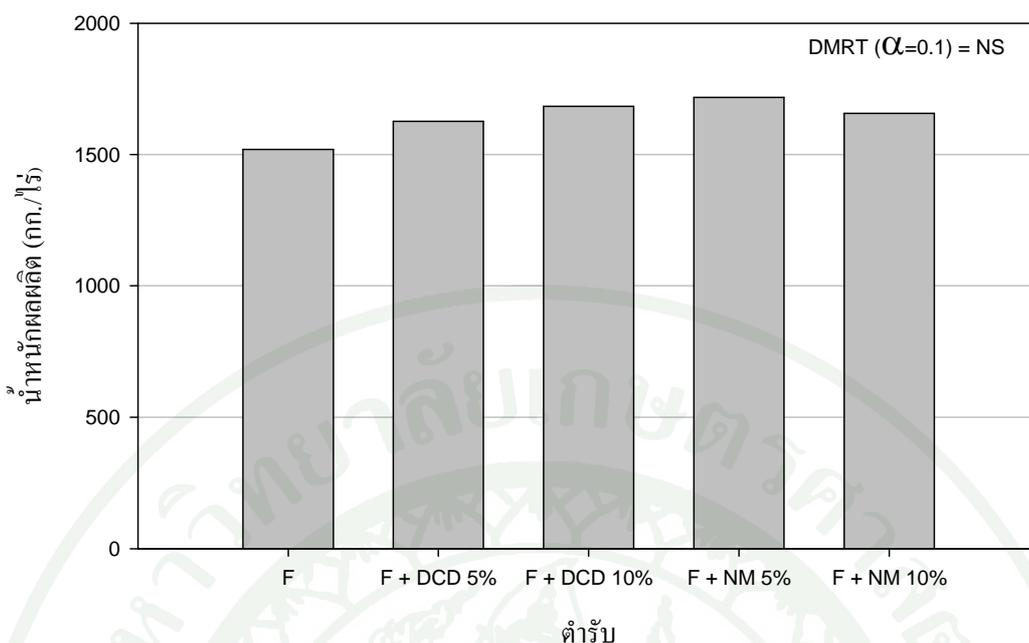
น้ำหนักแห้งและผลผลิตฝักข้าวโพด

ผลของดำรับการทดลองการใส่สารยับยั้งต่อน้ำหนักแห้งของต้นข้าวโพดและผลผลิตฝักข้าวโพดดังภาพที่ 17 และ 18 โดยน้ำหนักแห้งของต้นข้าวโพดและผลผลิตฝักข้าวโพดมีค่าอยู่ในช่วง 725-835 และ 1,520-1,716 กก./ไร่ ตามลำดับ ดำรับที่ให้น้ำหนักแห้งของต้นข้าวโพดและผลผลิตฝักข้าวโพดต่ำที่สุด คือ ดำรับควบคุม ส่วนดำรับที่มีการใส่สารยับยั้งปฏิกริยาไนตริฟิเคชันนั้นมีแนวโน้มที่ค่าของผลผลิตทั้งสองสูงกว่า แต่ผลที่ได้ไม่แตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) สำหรับทั้งสองอัตราการใส่สารยับยั้ง (ร้อยละ 5 และ 10) ที่ศึกษา

แม้ว่าแปลงทดลองที่ใช้ในงานศึกษานี้มีเนื้อดินหยาบ มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ปริมาณธาตุและการตอบสนองของปุ๋ยเคมีต่ำ แต่น้ำหนักต้นแห้งและน้ำหนักผลผลิตฝักข้าวโพดที่ได้มีค่าใกล้เคียงหรือต่ำกว่าเล็กน้อย เมื่อเทียบกับการศึกษาของกริช (2552) ที่ทำการปลูกข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ 4452 ในดินร่วนเหนียวปนทรายที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินและธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ในระดับปานกลาง ร่วมกับการใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 ในอัตรา 50 กก./ไร่ โดยน้ำหนักผลผลิตฝักข้าวโพดเท่ากับ 1,826 กิโลกรัม/ไร่ ผลที่ได้นี้อาจเป็นเพราะนอกจากปัจจัยเรื่องคุณลักษณะของดินที่มีต่อผลผลิตแล้ว ปัจจัยที่เกิดจากสภาพแวดล้อมในการปลูกยังส่งผลต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าวโพดด้วย โดยช่วงเริ่มการปลูกข้าวโพดของงานศึกษานี้มีปริมาณน้ำฝนมากและเพียงพอต่อการงอกของเมล็ดและส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นข้าวโพดได้ดี



ภาพที่ 17 น้ำหนักแห้งของต้นข้าวโพดที่ได้รับปุ๋ยร่วมกับสารยับยั้งในอัตราต่างๆ ตามตำรับการทดลอง (NS หมายถึง ไม่แตกต่างกันทางสถิติ; F คือ ใส่ปุ๋ยเพียงอย่างเดียว; F + DCD 5% คือ ใส่ปุ๋ยร่วมกับสารยับยั้งชนิด DCD ร้อยละ 5 ต่อน้ำหนักปุ๋ย; F + DCD 10% คือ ใส่ปุ๋ยร่วมกับสารยับยั้งชนิด DCD ร้อยละ 10 ต่อน้ำหนักปุ๋ย; F + NM 5% คือ ใส่ปุ๋ยร่วมกับสารยับยั้งชนิดน้ำมันสะเคาร์้อยละ 5 ต่อน้ำหนักปุ๋ย; F + NM 10% คือ ใส่ปุ๋ยร่วมกับสารยับยั้งชนิดน้ำมันสะเคาร์้อยละ 10 ต่อน้ำหนักปุ๋ย)



ภาพที่ 18 ผลผลิตฝักข้าวโพดของต้นข้าวโพดที่ได้รับปุ๋ยร่วมกับสารยับยั้งในอัตราต่างๆ ตามตำรับ การทดลอง (NS หมายถึง ไม่แตกต่างกันทางสถิติ; F คือ ใส่ปุ๋ยเพียงอย่างเดียว; F + DCD 5% คือ ใส่ปุ๋ยร่วมกับสารยับยั้งชนิด DCD ร้อยละ 5 ต่อน้ำหนักปุ๋ย; F + DCD 10% คือ ใส่ปุ๋ยร่วมกับสารยับยั้งชนิด DCD ร้อยละ 10 ต่อน้ำหนักปุ๋ย; F + NM 5% คือ ใส่ปุ๋ยร่วมกับสารยับยั้งชนิดน้ำมันสะเดาร้อยละ 5 ต่อน้ำหนักปุ๋ย; F + NM 10% คือ ใส่ปุ๋ยร่วมกับสารยับยั้งชนิดน้ำมันสะเดาร้อยละ 10 ต่อน้ำหนักปุ๋ย)

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการช่วยเพิ่มผลผลิตพบว่าสาร DCD และน้ำมันสะเดา สามารถเพิ่มผลผลิตข้าวโพดได้ร้อยละ 10.0 และ 12.9 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับงานศึกษาของ Parkin and Hatfield (2009) ทำการศึกษาผลของ nitrapyrin ที่มีต่อผลผลิตข้าวโพดในประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่าสารยับยั้งปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันที่ใช้สามารถช่วยเพิ่มผลผลิตข้าวโพดได้ร้อยละ 9.3 และจากการรวบรวมข้อมูลของ Nelson and Huber (2001) พบว่าสารยับยั้งไนตริฟิเคชันสามารถเพิ่มผลผลิตข้าวโพดได้สูงสุดร้อยละ 14 ซึ่งมีความแตกต่างในฤดูกาล สถานที่ และวิธีการปลูก ซึ่งจากรายงานดังกล่าวสนับสนุนการปลูกแบบไม่ไถพรวนร่วมกับการใช้สารยับยั้งเพื่อให้ผล ประสิทธิภาพที่ดีขึ้น

ความเข้มข้นและปริมาณการดูดใช้ในโตรเจนของข้าวโพด

ผลการศึกษากการใช้ปุ๋ยร่วมกับสารยับยั้งไนตริฟิเคชันต่อความเข้มข้นและปริมาณการดูดใช้ของไนโตรเจนในส่วนของลำต้นและในส่วนของเมล็ดแสดงดังตารางที่ 13 โดยพบว่าการใช้สารยับยั้งทั้งสองชนิดมีแนวโน้มเพิ่มความเข้มข้นและปริมาณการดูดใช้ในโตรเจนของข้าวโพดที่สูงกว่าการใช้ปุ๋ยอย่างเดียว แต่ผลที่ได้มีนัยสำคัญทางสถิติเฉพาะการดูดใช้ในโตรเจนในส่วนของเมล็ดข้าวโพดเท่านั้น ($P=0.0602$) การดูดใช้ในโตรเจนของข้าวโพดจากการทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นสูงสุดร้อยละ 22.5 ในแปลงที่ใช้สารยับยั้ง ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการที่สารยับยั้งมีผลต่อการชะลอการเปลี่ยนแปลงของแอมโมเนียม ส่งผลให้ปริมาณไนเตรทในระบบมีอัตราการเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ที่น่าจะสอดคล้องกับการเจริญเติบโตและความต้องการธาตุอาหาร (ไนโตรเจน) ของพืช ซึ่งช่วยให้พืชสามารถดูดใช้ในโตรเจนได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น โดยไนเตรทเป็นรูปของไนโตรเจนที่พืชสามารถดูดใช้ได้ดี (Tsidale *et al.*, 1985) อย่างไรก็ตาม การที่พื้นที่ศึกษามีลักษณะเป็นดินทรายและความอุดมสมบูรณ์ดินที่ต่ำและการที่ฝนตกถี่ในช่วงที่ใส่ปุ๋ยเป็นสภาวะที่เอื้อต่อการชะละลายของธาตุอาหาร (Nelson and Huber, 2001) อาจทำให้ประสิทธิภาพของสารยับยั้งในการเพิ่มการดูดใช้ในโตรเจนมีค่าต่ำกว่าที่ควรและเป็นเหตุให้ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในงานศึกษานี้ นั่นเอง ทั้งนี้ เมื่อเปรียบเทียบกับรายงาน Zaman *et al.* (2009) ที่มีการใช้สารยับยั้งในทุ่งหญ้าพบว่ามีการเพิ่มขึ้นของการดูดใช้ในโตรเจนในช่วงร้อยละ 10-30 ขึ้นอยู่กับฤดูกาล

ตารางที่ 13 ผลของการใช้ปุ๋ยร่วมกับสารยับยั้งที่มีต่อความเข้มข้นและปริมาณการดูดใช้ในโตรเจน

ตำรับการทดลอง	ความเข้มข้นไนโตรเจน (ร้อยละ)		ปริมาณการดูดใช้ในโตรเจน (กก./ไร่)		
	ลำต้น	เมล็ด	ลำต้น	เมล็ด	ทั้งหมด ²
F ¹	0.61	1.21	4.47	11.07 ^{B+}	14.25
F + DCD 5%	0.62	1.39	5.15	14.47 ^A	17.44
F + DCD 10%	0.66	1.37	5.03	14.29 ^A	17.18
F + NM 5%	0.65	1.33	5.34	13.04 ^A	16.42
F + NM 10%	0.67	1.28	5.33	13.01 ^A	16.39
F-test	NS	NS	NS	*	NS
CV (%)	11.03	7.73	19.37	11.02	12.35

หมายเหตุ

- ¹ ตำรับควบคุมใส่ปุ๋ยอย่างเดี่ยว (F) และตำรับที่มีการใส่สารยับยั้งร่วม แบ่งเป็นสารชนิด DCD และน้ำมันสะเดา (NM) ในอัตราส่วนต่างๆ
- ² ปริมาณการดูดใช้ในโตรเจนคิดจากน้ำหนักแห้งของผลผลิต (กก./ไร่)
- NS หมายถึง ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 90
- * หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 90
- + ตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติโดยวิธี DMRT

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การศึกษาผลของสารยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันที่มีต่อการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์ และการเปลี่ยนรูปของปุ๋ยไนโตรเจนในดินภายใต้การบ่มดินในห้องปฏิบัติการและแปลงทดลองที่ปลูกข้าวโพดที่สถานีวิจัยเขาคันทรง จ.ฉะเชิงเทรา สามารถสรุปได้ดังนี้

1. สารยับยั้งที่ใช้ทั้ง dicyandiamide (DCD) และน้ำมันสะเดามีประสิทธิภาพในการชะลอกระบวนการไนตริฟิเคชัน โดยส่งเสริมการสะสมของแอมโมเนียมและไนเตรทในดิน และลดการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์จากดิน เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ใส่เฉพาะปุ๋ยเคมีทั้งในการบ่มดินที่อัตราการใส่ปุ๋ยและอุณหภูมิบ่มดินต่างๆกันและในแปลงทดลอง และผลของสารยับยั้งมีประสิทธิภาพชัดเจนในช่วงเวลา 7-21 วันหลังจากการใส่สารยับยั้ง
2. ผลการศึกษาในระบบการบ่มดินพบว่าสาร DCD มีประสิทธิภาพในการลดการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์จากดิน (สูงสุดร้อยละ 21.3) เพิ่มปริมาณแอมโมเนียมและส่งผลต่อปริมาณไนเตรทคงค้างในดิน (สูงสุดร้อยละ 24.9 และ 10.7) ที่สูงกว่าน้ำมันสะเดา (สูงสุดร้อยละ 16.4 19.7 และ 3.9 ตามลำดับ) โดยการใส่สารยับยั้งในอัตราร้อยละ 10 (w/w และ v/w) ของปุ๋ย ให้ประสิทธิภาพที่สูงกว่าที่อัตราร้อยละ 5
3. ผลการศึกษาในแปลงทดลองพบว่าสาร DCD มีประสิทธิภาพในการลดการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์จากดิน (สูงสุดร้อยละ 25.5) เพิ่มปริมาณแอมโมเนียมและส่งผลต่อปริมาณไนเตรทคงค้างในดิน (สูงสุดร้อยละ 20.2 และ 20.0) ที่สูงกว่าน้ำมันสะเดา (สูงสุดร้อยละ 10.1 12.9 และ 9.2 ตามลำดับ) โดยการใส่สารยับยั้งในอัตราร้อยละ 10 (w/w และ v/w) ของปุ๋ย ให้ประสิทธิภาพที่สูงกว่าที่อัตราร้อยละ 5
4. สารยับยั้งส่งเสริมการเพิ่มผลผลิตข้าวโพดและการดูดใช้ในโตรเจนของข้าวโพดได้สูงสุดร้อยละ 12.9 และ 22.5 แต่ไม่แตกต่างทางสถิติ ยกเว้นการดูดใช้ในโตรเจนในเมล็ดข้าวโพด

ผลการศึกษานี้ชี้ว่าสารยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันมีประสิทธิภาพที่ดีในการลดการสูญเสียปุ๋ยในโตรเจน ลดการปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากพื้นที่ปลูกพืชไร่เศรษฐกิจ และเพิ่มการใช้ประโยชน์ปุ๋ยในโตรเจนของพืชได้ ดังนั้น การใส่สารยับยั้งในพื้นที่เกษตรจึงเป็น win-win situation ในเชิงเศรษฐกิจควบคู่กับการรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมด้วย

ข้อเสนอแนะ

ผลการศึกษาพบว่าการใช้สารยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงของปุ๋ยในโตรเจน ลดการปล่อยแก๊สเรือนกระจก และส่งเสริมผลผลิตทางการเกษตรอีกทางหนึ่ง แต่อย่างไรก็ตามจำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงผลกระทบของการใช้สารยับยั้งปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันในพื้นที่เดิมเป็นเวลานานหรือการพัฒนาสารจากธรรมชาติให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น เพื่อลดการใช้สารเคมีในการเกษตร

การศึกษาพบว่าพื้นที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำและปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมไม่เอื้ออำนวยกับการปลูกพืชส่งผลให้สารยับยั้งมีประสิทธิภาพต่ำลง ดังนั้นการศึกษาเพื่อต่อยอดงานวิจัยควรเลือกพื้นที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์มากขึ้น หรือเลือกพันธุ์พืชที่มีความเหมาะสมต่อพื้นที่ยิ่งขึ้น เช่น มันสำปะหลัง เป็นต้น

เมื่อพิจารณาถึงความเหมาะสมของสารยับยั้งสำหรับการนำมาปรับใช้ในภาคเกษตร พบว่าสาร DCD มีประสิทธิภาพสูงกว่า และมีต้นทุนทางด้านราคาต่ำกว่าน้ำมันสะเดา ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันสะเดาที่เลือกใช้มีความบริสุทธิ์และความเข้มข้นสูง ดังนั้นหากต้องการลดต้นทุนดังกล่าวอาจเลือกใช้ผลิตภัณฑ์จากสะเดาที่มีกระบวนการผลิตน้อยกว่า เช่น เมล็ดสะเดาบด หรือการใช้ส่วนต่างๆของสะเดาแทน ซึ่งประสิทธิภาพที่ได้อาจต่ำลง แต่จะช่วยเพิ่มสารอินทรีย์ให้แก่ดินอีกทางหนึ่ง

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กริช สิทธีโชชธรรม. 2552. ผลของการใส่มูลสัตว์ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์สุวรรณ 4452. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2548. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 10. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ชาติชาย ไชยช่วย. 2536. การศึกษาอิทธิพลของสารยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันที่มีต่อการดูดใช้ไนโตรเจนของข้าวในนาดินทราย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ไทยโพสต์. 2551. กรุงเทพฯ: 28 มกราคม 2551. หน้า 4.

ธีรศักดิ์ พลบำรุง. 2552. การลดแก๊สเรือนกระจกในระบบการผลิตสัตว์. เอกสารประกอบการบรรยาย โครงการอบรม การลดการปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากการปศุสัตว์ในประเทศไทย. กรุงเทพฯ.

มุกดา สุขสวัสดิ์. 2544. ความอุดมสมบูรณ์ของดิน. พิมพ์ครั้งที่ 1. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

ขงยุทธ โอสลดสภา. 2528. หลักการผลิตและการใช้ปุ๋ย. ไทยวัฒนาพานิช, กรุงเทพฯ.

ศุภธิดา อ้าทอง. 2554. เอกสารประกอบการสอนวิชาเทคโนโลยีการใช้ปุ๋ย. ระบบบริการเอกสารประกอบการเรียน คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้, เชียงใหม่.

ศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ. 2549. ข้าวโพดลูกผสมเดี่ยวพันธุ์สุวรรณ 4452. แหล่งที่มา: http://www.iicrd.ku.ac.th/output/ncsrc_4452.htm., 28 มกราคม 2554.

สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร. 2554. ปุ๋ย : มูลค่าและปริมาณการนำเข้า. แหล่งที่มา: http://m.doa.go.th/ard/stat/stat_405.pdf., 1 มีนาคม 2555.

- สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน. 2548. **มหัศจรรย์พืชน้ำดิน**. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- อุคค พร้อมจรรยากุล. 2510. **อิทธิพลของปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตและยูเรียต่อปริมาณไนเตรทในระยะเวลาต่างๆในดินชนิดต่างๆ**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Abbasi, M.K. and W.A. Adams. 2000. Influence of nitrification inhibitor on transformations and recovery of N in grassland soil. **Pakistan Journal of Biological Sciences** 3: 812-815.
- Abbasi, M.K., M. Hina and M.M. Tahir. 2010. Effect of *Azadirachta indica* (neem), sodium thiosulphate and calcium chloride on changes in nitrogen transformations and inhibition of nitrification in soil incubated under laboratory conditions. **Chemosphere** 82: 1629-1635.
- Amberger, A. 1981. Dicyandiamide as a nitrification inhibitor, pp. 3–17. In R.D. Hauck, H. Behnke, eds. **Proceedings of the Technical Workshop on Dicyandiamide Muscle Shoals**. AlabamaSKW Trostberg AG, Germany.
- Amberger, A. 1989. Research on dicyandiamide as a nitrification inhibitor and future outlook communications. **Soil Science and Plant Analysis** 20: 1933–1955.
- Amer, F.M. and W.V. Bartholomew. 1951. Influence of oxygen concentration in soil air on nitrification. **Soil Science** 71: 215-219.
- Arnold, E.G., L.S. Clescei and A.D. Eaton. 1992. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. Washington, DC
- Belser, L.W. 1979. Population ecology of nitrifying bacteria. **Annual Review of Microbiology** 33: 309-333.

- Chen,D., H. Suter, A. Islam, R. Edis, J. R. Freney and C. N. Walker. 2008. Prospects of improving efficiency of fertiliser nitrogen in Australian agriculture: a review of enhanced efficiency fertilizers. **Australian Journal of Soil Research** 46: 289-301.
- Chen, D. H.C. Suter, A. Islam and R.urea 2010. Influence of nitrification inhibitors on nitrification and nitrous oxide (N₂O) emission from a clay loam soil fertilized with urea. **Soil Biology & Biochemistry** 42: 660-664.
- Ding, W. Y. Cai, Z. Cai, K. Yagi and X. Zheng. 2007. Nitrous oxide emissions from an intensively cultivated maize–wheat rotation soil in the North China Plain. **Science of The Total Environment** 373: 501-511.
- Freney, J.R., D. G. Keerthisinghe, S. Phongpan, P. Chaiwanakupt and K. J. Harrington. 1995. Effect of urease, nitrification and algal inhibitors on ammonia loss and grain yield of flooded rice in Thailand. **Nutrient Cycling in Agroecosystems** 40: 225-233.
- Gilmour, J.T. 1984. The effect of soil properties on nitrification and nitrification inhibition. **Soil Science Society of America Journal** 48 :1262-1266.
- Hauck, R.D. 1972. Synthetic slow-release fertilizers and fertilizer amendments, pp. 633-690. *In* C.A.I. Goring and J.W. Hamaker, eds. **Organic chemical in the soil environment**, 2. Marcel Dekker, New York.
- Hauck, R. D. 1980. Mode of action of nitrification inhibitors, pp. 19–32. *In* Stelly M., Meisinger J.J., Randall G.W., Vitosh M.L., eds. Nitrification inhibitors – potentials and limitations. Special publication no. 38. **American Society of Agronomy**. Madison, Wis.
- Hays J. T., D. J. Forbes. 1974. ไทโอยูเรีย solutions as nitrification inhibitors. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 22: 468–470.

- Hellinga, C., A. A. J. C. Schellen, J. W. Mulder, M. C. M. van Loosdrecht and J. J. Heijnen. 1998. The sharon process: An innovative method for nitrogen removal from ammonium-rich waste water. **Water Science and Technology** 37: 135-142.
- Hickman, J. E., M. Havlikova, C. Kroeze and C. A. Palm. 2011. Current and future nitrous oxide emissions from African agriculture. **Current Opinion in Environmental Sustainability** 3: 370-37.
- Hooper, A.B. and K.R. Terry. 1973. Specific inhibitors of ammonia oxidation in *Nitrosomonas*. **Journal of Bacteriology** 115: 480-485.
- Rathsack, K. 1987. The nitrification inhibiting effect of dicyandiamide. **Landwirtschaftliche Forschung** 31: 347-358.
- Jha, P. B., J. S. Singh and A. K. Kashyap. 1996. Dynamics of viable nitrifier community and nutrient availability in dry tropical forest habitat as affected by cultivation and soil texture. **Plant and Soil** 180: 277-285.
- Jewitt, T.N. 1942. Loss of ammonia from ammonium sulfate applied to alkaline soil. **Soil Science** 54: 401-409.
- Jones, P. S., S. V. Ley, E. D. Morgan and D. Santafianos. 1989. **The Chemistry of the Neem Tree in Focus on Phytochemical Pesticides.**
- Kelly, W.P. 1916. Nitrification in semiarid soils. **Journal Agricultural Research** 7: 417-437.
- Kiran, U. and D.D Patra. 2003. Medicinal and aromatic plant materials as nitrification inhibitors for augmenting yield and nitrogen uptake of Japanese mint (*Mentha arvensis* L. Var. Piperascens). **Bioresource Technology** 86: 267-276.

- Lees, H. 1946. Effect of copper enzyme poisons on soil nitrification. **Nature** 158: 97.
- Lees, H. 1963. Inhibitors of nitrification, pp. 615-629. *In* R.H. Hochester and J.H. Quastel., eds. **Metabolic inhibitors. 2.** Academic Press, New York.
- Lees, H. and J.R. Simpson. 1957. Biochemistry of the nitrifying organisms. V. Nitrite oxidation by *Nitrobacter*. **Biochemical Journal** 65: 197-305.
- Lutz, B., R. Kiese and K. Butterbach-bahl. 2000. Temperature and Moisture Effects on Nitrification Rates in Tropical Rain-Forest Soils. **Soil Science Society of America Journal** 66: 834-844.
- Majumdar, D., S. Kumar, H. Pathak, M. C. Jain and U. Kumar. 2000. Reducing nitrous oxide emission from an irrigated rice field of North India with nitrification inhibitors. **Agriculture, Ecosystems & Environment** 81: 163-169.
- Majumdar, D., A. Dutta, S. Kumar, H. Pathak and M. Jain. 2001. Mitigation of N₂O emission from an alluvial soil by application of karanjin. **Biology and Fertility of Soils** 33: 438-442.
- Majumdar, D. 2002. Suppression of nitrification and N₂O emission by karanjin—a nitrification inhibitor prepared from karanja (*Pongamia glabra* Vent.). **Chemosphere** 47: 845-850.
- Majumdar, D., H. Pathak, S. Kumar and M. C. Jain. 2002. Nitrous oxide emission from a sandy loam Inceptisol under irrigated wheat in India as influenced by different nitrification inhibitors. **Agriculture, Ecosystems & Environment** 91: 283-293.
- Mancino, C.F. and J. Troll. 1990. Nitrate and Ammonium Leaching Losses from N Fertilizers Applied to 'Penncross' Creeping Bentgrass. **Hortscience** 25: 194-196.

- Martin, E.D. et al. 1942. Determination of optimum pH for the development of nitrifying bacteria of soils. **Soil Science Society of America Proceedings** 7: 223.
- Méndez-Bautista J., F. Fernández-Luqueño, F. López-Valdez, R. Mendoza-Cristino, J. A. Montes-Molina, F.A. Gutierrez-Miceli and L. Dendooven. 2009. Effect of pest controlling neem (*Azadirachta indica* A. Juss) and mata-raton (*Gliricidia sepium* Jacquin) leaf extracts on emission of green house gases and inorganic-N content in urea-amended soil. **Chemosphere** 76: 293-299.
- Mohanty, S., A. K. Patra and P. K. Chhonkar. 2008. Neem (*Azadirachta indica*) seed kernel powder retards urease and nitrification activities in different soils at contrasting moisture and temperature regimes. **Bioresource Technology** 99: 894-899.
- Morrill, L. G., and J. E. Dawson. 1967. Patterns observed for the oxidation of ammonium to nitrate by soil organisms. **Soil Science Society of America Proceedings** 31: 757-760.
- Nelson, D. W. and D. Hubner. 2001. **Nitrification inhibitors for corn production**. National Corn Handbook. Iowa State University.
- Oslan, J., Y. Hala, A. Muis, A. Ali, M. Palennari, K. Yagi and K. Inubushi. 2008. Influences of Chemical Fertilizers and a Nitrification Inhibitor on Greenhouse Gas Fluxes in a Corn (*Zea mays* L.) Field in Indonesia. **Microbes and Environments** 23: 29-34.
- Prasad, R.G., B. Rajale and B.A. Lakhadive. 1971. Nitrification retarders a slow release nitrogen fertilizer. **Advances in Agronomy** 22: 337-383.
- Prasad, R. and J.F. Power. 1997. **Soil fertility management for sustainable agriculture**. CRC/Lewis Publishers, Boca Raton (USA).

- Prasad, R. and J.F. Power. 1995. Nitrification Inhibitors for Agriculture, Health, and the Environment. **Advances in Agronomy** 54:233-281.
- Quastel, J.H. 1965. Soil metabolism. Ann. Rev. **Plant Physiology** 16: 217-240.
- Quastel, J.H. and P.G. Scholefield. 1951. Biochemistry of nitrification in soil. **Bacteriological Reviews** 15: 1-53.
- Reddy, R.N.S. and R. Prasad. 1975. Studies on mineralization of urea, coated urea, and nitrification inhibitor treated urea in soil. **Soil Science**. 26: 304-312.
- Sabey, B.R. 1956. Influence of temperature on nitrification in soil. **Soil Science Society of America Proceedings** 20: 357-360.
- Santhi, S. R., S. P. Palaniappan and D. Purushothaman. 1986. Influence of neem leaf on nitrification in a lowland rice soil. **Plant and soil** 93: 133-135.
- Schmidt, E. L. and L. W. Belser. 1994. Authotrophic nitrifying bacteria, pp. 159-177. *In* R. W. weaver, S. Angle, P. Bottomley, D. Bezdiicek, S. Smith, A Tabatabia and A. Wollun, eds. **Methods of Soil Analysis, Part 2 Microbiology and Biochemical Properties. SSSA Book series**. 5. Madison, WI.
- Sexton, W.A. 1963. **Chemical constitution and biological activity**. Van Nostrand Company, Princeton, New Jersey.
- Singh, J., S. Sagggar, N.S. Bolan and M. Zaman. 2008. The role of inhibitors in the bioavailability and mitigation of nitrogen losses in grassland ecosystems. **Soil Science**. 32: 329-362.
- Singh, K.K., S. Phogat, R.S. Dhillon and T. Alka. 2008. **Neem : A Treatise**. P 439. I K International Publishing House Pvt. Ltd., New delhi.

- Shao-fu, W., W. Liang-huan, S. Qi-wei and W. Zhong-qiang. 2007. Effects of a new nitrification inhibitor 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP) on nitrate and potassium leaching in two soils. **Environmental Sciences** 19: 841-847.
- Stark, J. M. and M. K. Firestone. 1995. Mechanisms for soil moisture effects on activity of nitrifying bacteria. **Applied and Environmental Microbiology** 61: 218-221.
- Staver, K.W., and R.B. Brinsfield. 1990. Patterns of soil nitrate availability in corn production systems: implications for reducing groundwater contamination. **Journal of Soil and Water Conservation** 45: 318-325.
- Suter, H., D. Chen, H. Li, R. Edis and W. Charlie. 2010. Comparison of the ability of the nitrification inhibitors DCD and DMPP to reduce nitrification and N₂O emissions from nitrogen fertilizers. **19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World**: 24-27.
- Suzuki, I. 1974. Mechanisms of inorganic oxidation and energy coupling. **Annual Review of Microbiology** 28: 85-101.
- Suzuki, I., U. Dular and S.C. Kwok. 1974. Ammonia or ammonium ion as substrate for oxidation by *Nitrosomonas europaea* cells and extracts. **Journal of Bacteriology** 120: 556-558.
- Tate, R.L. 2000. **Soil Microbiology**. 2. John Wiley & Sons, New York.
- Tisdale, S. T., W. L. Nelson and J. D. Beaton. 1985. **Soil Fertility and Fertilizers**. 4. Macmillan Publishing Company, New York.
- Tsine, H.C., R. Lambert and H. Laudelout. 1968. Fine structure and location of the nitrate oxidizing system in *Nitrobacter winogradskyi*. **Antonie van Leeuwenkoek** 34: 483-494.

Wahhab, A. and Q. Alam. 1957. Nitrification of ammonium sulfate in some West Pakistan soils.

Pakistan Journal of Science and Industrial Research 9: 41-44.

Wilson, C.E. Jr., J.R. Norman and B.R. wells. 1990. Dicyandiamine influence on uptake of

preplant-applied fertilizer nitrogen by rice. **Soil Science Society of America Journal** 54:
1157-1161.

Zaman. M., S. Sagar, J.D. Blennerhassett and J. Singh. 2009. Effect of urease and nitrification inhibitors on N transformation, gaseous emissions of ammonia and nitrous oxide, pasture yield and N uptake in grazed pasture system. **Soil Biology and Biochemistry** 41: 1270–1280.



ภาคผนวก



ตารางผนวกที่ 1 ผลของสารยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันต่อการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ในระดับห้องปฏิบัติการที่อัตราการใส่ปุ๋ย 30 กก./ไร่ อุณหภูมิ 25°C

ตำรับ	อัตราการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์ (ไมโครกรัม/กก. ดิน/ชม.)							
	เริ่มต้น	วันที่						
		1	4	7	10	14	21	28
F ¹		2.41	1.45	1.38	0.65	0.36	0.17	0.14
F + DCD 5%		2.14	1.20	0.87	0.54	0.31	0.17	0.12
F + DCD 10%	0.17	2.24	1.22	0.72	0.54	0.34	0.17	0.18
F + NM 5%		2.27	1.22	1.29	0.63	0.35	0.18	0.09
F + NM 10%		2.27	1.40	1.24	0.61	0.35	0.18	0.18

หมายเหตุ ¹ ตำรับควบคุมใส่ปุ๋ยอย่างเดี่ยว (F) และตำรับที่มีการใส่สารยับยั้งร่วม แบ่งเป็นสารชนิด DCD และน้ำมันสะเดา (NM) ในอัตราส่วนต่างๆ

ตารางผนวกที่ 2 ผลของสารยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันต่อการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ในระดับห้องปฏิบัติการที่อัตราการใส่ปุ๋ย 50 กก./ไร่ อุณหภูมิ 25°C

ตำรับ	อัตราการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์ (ไมโครกรัม/กก. ดิน/ชม.)							
	เริ่มต้น	วันที่						
		1	4	7	10	14	21	28
F ¹		4.42	2.67	1.62	1.09	0.44	0.24	0.13
F + DCD 5%		3.90	2.17	1.09	0.63	0.46	0.22	0.08
F + DCD 10%	0.17	3.96	1.98	1.09	0.69	0.40	0.22	0.14
F + NM 5%		4.35	1.93	1.49	0.88	0.43	0.21	0.14
F + NM 10%		4.32	2.05	1.28	0.77	0.41	0.24	0.05

หมายเหตุ ¹ ตำรับควบคุมใส่ปุ๋ยอย่างเดียว (F) และตำรับที่มีการใส่สารยับยั้งร่วม แบ่งเป็นสารชนิด DCD และน้ำมันสะเดา (NM) ในอัตราส่วนต่างๆ

ตารางผนวกที่ 3 ผลของสารยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันต่อการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ในระดับห้องปฏิบัติการที่อัตราการใส่ปุ๋ย 30 กก./ไร่ อุณหภูมิ 35°C

ตำรับ	อัตราการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์ (ไมโครกรัม/กก. ดิน/ชม.)							
	เริ่มต้น	วันที่						
		1	4	7	10	14	21	28
F ¹		2.63	1.51	1.19	0.55	0.43	0.22	0.17
F + DCD 5%		2.58	0.98	0.89	0.53	0.39	0.22	0.14
F + DCD 10%	0.17	2.56	0.95	0.64	0.45	0.40	0.20	0.14
F + NM 5%		2.59	1.15	1.12	0.53	0.41	0.21	0.16
F + NM 10%		2.60	1.10	0.95	0.54	0.40	0.21	0.16

หมายเหตุ ¹ ตำรับควบคุมใส่ปุ๋ยอย่างเดี่ยว (F) และตำรับที่มีการใส่สารยับยั้งร่วม แบ่งเป็นสารชนิด DCD และน้ำมันสะเดา (NM) ในอัตราส่วนต่างๆ

ตารางผนวกที่ 4 ผลของสารยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันต่อการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ในระดับห้องปฏิบัติการที่อัตราการใส่ปุ๋ย 50 กก./ไร่ อุณหภูมิ 35°C

ตำรับ	อัตราการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์ (ไมโครกรัม/กก. ดิน/ชม.)							
	เริ่มต้น	วันที่						
		1	4	7	10	14	21	28
F ¹		5.58	2.62	1.62	0.94	0.47	0.30	0.12
F + DCD 5%		5.11	1.37	1.14	0.60	0.42	0.29	0.11
F + DCD 10%	0.17	5.37	1.49	1.07	0.54	0.45	0.29	0.14
F + NM 5%		5.52	1.53	1.09	0.58	0.40	0.29	0.16
F + NM 10%		5.52	1.78	1.09	0.60	0.43	0.30	0.14

หมายเหตุ ¹ ตำรับควบคุมใส่ปุ๋ยอย่างเดียว (F) และตำรับที่มีการใส่สารยับยั้งร่วม แบ่งเป็นสารชนิด DCD และน้ำมันสะเดา (NM) ในอัตราส่วนต่างๆ

ตารางผนวกที่ 5 ผลของสารยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันต่อปริมาณแอมโมเนียม ในระดับห้องปฏิบัติการที่อัตราการใส่ปุ๋ย 30 กก./ไร่ อุณหภูมิ 25°C

ตำรับ	ปริมาณแอมโมเนียม (มก. ไนโตรเจน/กก. ดิน)				
	เริ่มต้น	วันที่			
		7	14	21	28
F ¹		133.62	92.53	89.71	87.20
F + DCD 5%		114.80	155.27	169.38	146.80
F + DCD 10%	20.70	120.45	146.80	175.03	152.45
F + NM 5%		118.57	138.33	158.09	135.51
F + NM 10%		111.04	135.51	152.45	124.21

หมายเหตุ ¹ ตำรับควบคุมใส่ปุ๋ยอย่างเดียว (F) และตำรับที่มีการใส่สารยับยั้งร่วมแบ่งเป็นสารชนิด DCD และน้ำมันสะเดา (NM) ในอัตราส่วนต่างๆ

ตารางผนวกที่ 6 ผลของสารยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันต่อปริมาณแอมโมเนียม ในระดับ
ห้องปฏิบัติการที่อัตราการใส่ปุ๋ย 50 กก./ไร่ อุณหภูมิ 25°C

คำรับ	ปริมาณแอมโมเนียม (มก. ไนโตรเจน/กก. ดิน)				
	เริ่มต้น	วันที่			
		7	14	21	28
F ¹		161.86	175.03	163.74	118.57
F + DCD 5%		143.04	208.91	186.32	143.98
F + DCD 10%	20.70	141.15	214.55	191.97	149.62
F + NM 5%		152.45	180.67	175.03	160.92
F + NM 10%		154.33	180.67	172.21	160.92

หมายเหตุ ¹ คำรับควบคุมใส่ปุ๋ยอย่างเดี่ยว (F) และคำรับที่มีการใส่สารยับยั้งร่วม
แบ่งเป็นสารชนิด DCD และน้ำมันสะเดา (NM) ในอัตราส่วนต่างๆ

ตารางผนวกที่ 7 ผลของสารยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันต่อปริมาณแอมโมเนียม ในระดับ
ห้องปฏิบัติการที่อัตราการใส่ปุ๋ย 30 กก./ไร่ อุณหภูมิ 35°C

ตำรับ	ปริมาณแอมโมเนียม (มก. ไนโตรเจน/กก. ดิน)				
	เริ่มต้น	วันที่			
		7	14	21	28
F ¹		135.51	120.45	119.82	108.53
F + DCD 5%		118.57	152.45	143.97	135.50
F + DCD 10%	26.35	116.69	146.80	149.62	143.97
F + NM 5%		120.45	141.16	138.33	127.04
F + NM 10%		124.22	141.16	135.50	121.39

หมายเหตุ ¹ ตำรับควบคุมใส่ปุ๋ยอย่างเดี่ยว (F) และตำรับที่มีการใส่สารยับยั้งร่วม
แบ่งเป็นสารชนิด DCD และน้ำมันสะเดา (NM) ในอัตราส่วนต่างๆ

ตารางผนวกที่ 8 ผลของสารยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันต่อปริมาณแอมโมเนียม ในระดับห้องปฏิบัติการที่อัตราการใส่ปุ๋ย 50 กก./ไร่ อุณหภูมิ 35°C

ตำรับ	ปริมาณแอมโมเนียม (มก. ไนโตรเจน/กก. ดิน)				
	เริ่มต้น	วันที่			
		7	14	21	28
F ¹		154.33	197.61	180.68	177.86
F + DCD 5%		150.56	248.43	225.85	217.37
F + DCD 10%	26.35	146.80	231.49	214.55	208.90
F + NM 5%		154.33	214.55	211.73	189.15
F + NM 10%		154.33	208.91	208.91	191.97

หมายเหตุ ¹ ตำรับควบคุมใส่ปุ๋ยอย่างเดี่ยว (F) และตำรับที่มีการใส่สารยับยั้งร่วมแบ่งเป็นสารชนิด DCD และน้ำมันสะเดา (NM) ในอัตราส่วนต่างๆ

ตารางผนวกที่ 9 ผลของสารยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันต่อปริมาณไนเตรท ในระดับ
ห้องปฏิบัติการที่อัตราการใส่ปุ๋ย 30 กก./ไร่ อุณหภูมิ 25°C

ตำรับ	ปริมาณไนเตรท (มก. ไนโตรเจน/กก. ดิน)				
	เริ่มต้น	วันที่			
		7	14	21	28
F ¹		25.31	30.70	28.25	20.32
F + DCD 5%		27.89	37.39	31.47	22.77
F + DCD 10%	11.30	27.77	36.68	30.27	22.44
F + NM 5%		26.64	34.09	27.68	21.23
F + NM 10%		27.73	33.66	27.41	20.86

หมายเหตุ ¹ ตำรับควบคุมใส่ปุ๋ยอย่างเดี่ยว (F) และตำรับที่มีการใส่สารยับยั้งร่วม
แบ่งเป็นสารชนิด DCD และน้ำมันสะเดา (NM) ในอัตราส่วนต่างๆ

ตารางผนวกที่ 10 ผลของสารยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันต่อปริมาณไนเตรท ในระดับห้องปฏิบัติการที่อัตราการใส่ปุ๋ย 50 กก./ไร่ อุณหภูมิ 25°C

ตำรับ	ปริมาณไนเตรท (มก. ไนโตรเจน/กก. ดิน)				
	เริ่มต้น	วันที่			
		7	14	21	28
F ¹		29.96	30.26	28.56	24.99
F + DCD 5%		29.38	35.18	31.99	30.47
F + DCD 10%	11.30	31.78	35.56	32.28	30.10
F + NM 5%		28.09	33.11	29.89	28.62
F + NM 10%		27.62	31.33	29.97	26.81

หมายเหตุ ¹ ตำรับควบคุมใส่ปุ๋ยอย่างเดียว (F) และตำรับที่มีการใส่สารยับยั้งร่วมแบ่งเป็นสารชนิด DCD และน้ำมันสะเดา (NM) ในอัตราส่วนต่างๆ

ตารางผนวกที่ 11 ผลของสารยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันต่อปริมาณไนเตรท ในระดับห้องปฏิบัติการที่อัตราการใส่ปุ๋ย 30 กก./ไร่ อุณหภูมิ 35°C

ตำรับ	ปริมาณไนเตรท (มก. ไนโตรเจน/กก. ดิน)				
	เริ่มต้น	วันที่			
		7	14	21	28
F ¹		32.77	34.67	27.63	20.67
F + DCD 5%		31.95	39.67	28.59	23.23
F + DCD 10%	10.18	32.89	40.11	28.65	22.87
F + NM 5%		33.94	38.56	29.52	22.54
F + NM 10%		32.73	40.21	29.33	22.57

หมายเหตุ ¹ ตำรับควบคุมใส่ปุ๋ยอย่างเดี่ยว (F) และตำรับที่มีการใส่สารยับยั้งร่วมแบ่งเป็นสารชนิด DCD และน้ำมันสะเดา (NM) ในอัตราส่วนต่างๆ

ตารางผนวกที่ 12 ผลของสารยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันต่อปริมาณไนเตรท ในระดับห้องปฏิบัติการที่อัตราการใส่ปุ๋ย 50 กก./ไร่ อุณหภูมิ 35°C

ตำรับ	ปริมาณไนเตรท (มก. ไนโตรเจน/กก. ดิน)				
	เริ่มต้น	วันที่			
		7	14	21	28
F ¹		29.32	28.03	23.88	20.84
F + DCD 5%		29.17	33.51	25.67	23.60
F + DCD 10%	10.18	26.99	34.61	25.22	24.15
F + NM 5%		26.63	35.34	26.35	25.12
F + NM 10%		26.71	37.27	27.06	25.55

หมายเหตุ ¹ ตำรับควบคุมใส่ปุ๋ยอย่างเดียว (F) และตำรับที่มีการใส่สารยับยั้งร่วมแบ่งเป็นสารชนิด DCD และน้ำมันสะเดา (NM) ในอัตราส่วนต่างๆ

ตารางผนวกที่ 13 ผลของสารยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันต่อการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์ (N₂O) จากผิวดินในระดับแปลงทดลอง

ตำรับ	อัตราการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์ (ไมโครกรัม/ตร.ม./ชม.)													
	21 เม.ย.	29 เม.ย.	2 พ.ค.	6 พ.ค.	9 พ.ค.	12 พ.ค.	19 พ.ค.	27 พ.ค.	1 มิ.ย.	10 มิ.ย.	17 มิ.ย.	24 มิ.ย.	8 ก.ค.	26 ก.ค.
F ¹	100.85	21.67	126.93	76.56	42.10	26.15	27.77	21.18	16.77	16.90	13.16	5.51	5.53	7.39
F + DCD 5%	106.96	21.66	68.75	31.97	26.27	16.58	17.14	15.32	9.72	9.85	7.53	4.78	5.80	6.73
F + DCD 10%	102.56	22.52	50.30	29.69	25.81	12.03	11.78	10.79	8.56	7.79	6.22	4.20	7.92	5.75
F + NM 5%	102.29	19.66	99.42	40.36	38.36	17.63	17.58	17.21	14.01	13.32	9.24	4.81	6.41	6.17
F + NM 10%	104.83	20.31	85.34	38.36	32.94	24.14	23.57	19.53	14.71	12.48	7.22	5.33	6.53	5.57

หมายเหตุ ¹ ตำรับควบคุมใส่ปุ๋ยอย่างเดียว (F) และตำรับที่มีการใส่สารยับยั้งร่วมแบ่งเป็นสารชนิด DCD และน้ำมันสะเดา (NM) ในอัตราส่วนต่างๆ

ตารางผนวกที่ 14 ผลของสารยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันต่อปริมาณแอมโมเนียมในดินใน
ระดับแปลงทดลอง

คำรับ	ปริมาณแอมโมเนียม (มก. ไนโตรเจน/กก. ดิน)								
	21	6	9	12	27	10	24	8	26
	เม.ย.	พ.ค.	พ.ค.	พ.ค.	พ.ค.	มิ.ย.	มิ.ย.	ก.ค.	ก.ค.
F ¹	37.94	46.69	33.27	36.77	32.68	31.52	26.85	24.51	21.59
F + DCD 5%	39.69	50.19	36.77	45.52	37.94	38.52	30.35	28.01	25.10
F + DCD 10%	39.69	53.69	38.52	45.52	39.69	40.27	30.35	28.01	28.60
F + NM 5%	43.19	46.69	36.77	38.52	36.18	35.02	28.60	26.26	26.85
F + NM 10%	43.19	48.44	35.02	36.77	36.18	36.77	32.10	28.01	21.59

หมายเหตุ ¹ คำรับควบคุมใส่ปุ๋ยอย่างเดี่ยว (F) และคำรับที่มีการใส่สารยับยั้งร่วม
แบ่งเป็นสารชนิด DCD และน้ำมันสะเดา (NM) ในอัตราส่วนต่างๆ

ตารางผนวกที่ 15 ผลของสารยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันต่อปริมาณไนเตรทในดินในระดับ
แปลงทดลอง

คำรับ	ปริมาณไนเตรท (มก. ไนโตรเจน/กก. ดิน)								
	21	6	9	12	27	10	24	8	26
	เม.ย.	พ.ค.	พ.ค.	พ.ค.	พ.ค.	มิ.ย.	มิ.ย.	ก.ค.	ก.ค.
F ¹	17.09	11.23	18.34	12.37	2.949	7.60	2.65	2.77	1.96
F + DCD 5%	17.38	9.34	21.93	19.14	9.336	7.54	3.71	3.32	2.04
F + DCD 10%	16.27	9.36	22.76	19.63	8.402	7.46	3.28	2.80	2.18
F + NM 5%	16.63	10.03	23.02	14.90	2.973	7.31	3.04	2.80	1.89
F + NM 10%	16.30	10.14	23.54	17.57	4.685	6.26	2.69	2.91	2.05

หมายเหตุ ¹ คำรับควบคุมใส่ปุ๋ยอย่างเดี่ยว (F) และคำรับที่มีการใส่สารยับยั้งร่วม
แบ่งเป็นสารชนิด DCD และน้ำมันสะเดา (NM) ในอัตราส่วนต่างๆ

ตารางผนวกที่ 16 ผลของการใส่สารยับยั้งปฏิกริยาในตรีฟิเคชันต่อน้ำหนักต้นแห้งของข้าวโพด
เลี้ยงสัตว์พันธุ์สุวรรณ 4452

ตำรับการทดลอง	น้ำหนักต้นแห้ง (กก./ไร่)
F ¹	725.1±176.8
F + DCD 5%	835.0±124.1
F + DCD 10%	771.3±118.9
F + NM 5%	825.8±69.7
F + NM 10%	802.0±160.1
F-test	NS
CV (%)	17.18

หมายเหตุ ¹ ตำรับควบคุมใส่ปุ๋ยอย่างเดียว (F) และตำรับที่มีการใส่สารยับยั้งร่วม
แบ่งเป็นสารชนิด DCD และน้ำมันสะเดา (NM) ในอัตราส่วนต่างๆ
NS ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 90 ($P \leq 0.1$)

ตารางผนวกที่ 17 ผลของการใส่สารยับยั้งปฏิกิริยาในตรีฟิเคชันต่อน้ำหนักฝักของข้าวโพดเลี้ยง
สัตว์พันธุ์สุวรรณ 4452

ตำรับการทดลอง	ผลผลิตฝักข้าวโพด (กก./ไร่)
F ¹	1,520.0±195.9
F + DCD 5%	1,716.7±110.7
F + DCD 10%	1,656.7±169.5
F + NM 5%	1,626.7± 82.2
F + NM 10%	1,683.3±212.9
F-test	NS
CV (%)	9.88

หมายเหตุ ¹ ตำรับควบคุมใส่ปุ๋ยอย่างเดียว (F) และตำรับที่มีการใส่สารยับยั้งร่วม
แบ่งเป็นสารชนิด DCD และน้ำมันสะเดา (NM) ในอัตราส่วนต่างๆ
NS ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 90 ($P \leq 0.1$)

ตารางผนวกที่ 18 ผลของการใส่สารยับยั้งปฏิกิริยาในตรีฟิเคชันต่อน้ำหนักเมล็ดที่ความชื้นร้อยละ 15 ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์สุวรรณ 4452

ตำรับการทดลอง	น้ำหนักเมล็ดที่ความชื้นร้อยละ 15 (กก./ไร่)
F ¹	916.7±98.1
F + DCD 5%	1,041.9±76.9
F + DCD 10%	998.0±73.4
F + NM 5%	982.3±83.0
F + NM 10%	1,019.3±125.5
F-test	NS
CV (%)	9.41

หมายเหตุ ¹ ตำรับควบคุมใส่ปุ๋ยอย่างเดียว (F) และตำรับที่มีการใส่สารยับยั้งร่วม แบ่งเป็นสารชนิด DCD และน้ำมันสะเดา (NM) ในอัตราส่วนต่างๆ NS ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 90 (P≤0.1)

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นายอภิชาติ โหมคตาด
วัน เดือน ปี ที่เกิด	12 เมษายน 2530
สถานที่เกิด	จ.กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	วท.บ. วิทยาศาสตร์บัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ภายใต้โครงการทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี