

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

พฤติกรรมของการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนและการลดสภาพการปนเปื้อนของ
ไนเตรตด้วยสารยับยั้งไนตริฟิเคชันในดินและน้ำของสนามกอล์ฟ

BEHAVIORS OF N-FERTILIZERS USAGE AND REDUCING NITRATE
CONTAMINATION IN SOIL AND WATER OF GOLF COURSE WITH
NITRIFICATION INHIBITORS



ณัชชา สุตทิเพท
NUCHCHA SUTTIPATE

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเคมีประยุกต์
บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขหมู่..... 33113

พ.ศ. 2542

เลขทะเบียน..... 33113

ISBN 974-622-401-8

วัน, เดือน, ปี..... 5 ก.ค. 2542

สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**BEHAVIORS OF N-FERTILIZERS USAGE AND REDUCING
NITRATE CONTAMINATION IN SOIL AND WATER
OF GOLF COURSE WITH NITRIFICATION
INHIBITORS**

NUCHCHA SUTTIPATE

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN APPLIED CHEMISTRY
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES**

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

1999

ISBN 974-622-401-8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 1999

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์

พฤติกรรมของการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนและการลดสภาพการปนเปื้อน ของไนเตรตด้วยสารยับยั้งไนตริฟิเคชันในดิน และน้ำของสนามกอล์ฟ

นักศึกษา

นางสาวณัฏชา สุทธิเพท

รหัสประจำตัว

37064202

ปริญญา

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต

สาขาวิชา

เคมีประยุกต์ (เคมีสิ่งแวดล้อม)

พ.ศ.

2542

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

ผศ.ดร. สุนทรี พูนพิพัฒน์

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม

ดร. สุวรรณ ไชยสิทธิ์

รศ. สมภาพ จิตะวงษ์

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินพฤติกรรมและผลกระทบของการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินและน้ำในพื้นที่สนามกอล์ฟ รวมถึงศึกษาประสิทธิภาพของสารไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ที่มีผลต่อการยับยั้งการปนเปื้อนของไนเตรตในโตรเจนที่เกิดขึ้นจากการทดลองภายใต้รูปแบบจำลองของพื้นที่สนามกอล์ฟ การสุ่มเก็บตัวอย่างดินกระทำในลักษณะของพื้นที่สนามกอล์ฟจริงซึ่งแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ บริเวณพื้นที่สูง บริเวณพื้นที่ราบ และบริเวณพื้นที่ต่ำ ผลการศึกษาพบว่า pH ของสนามกอล์ฟโดยทั่วไปเป็นกรด และมีค่าเป็นกรดมากขึ้นเมื่อระดับพื้นที่ต่ำลง (pH 3.72) ส่วนปริมาณไนเตรตไนโตรเจนในตัวอย่างดินและน้ำนั้นมีค่า 16.02 ppm และ 17.60 ppm ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าการสะสมของปริมาณสารพิษอลูมิเนียมของดินล่างอยู่ในระดับที่สูง (47 ppm) ผลการศึกษาที่ได้ทำให้ทราบว่า การใช้ปุ๋ยไนโตรเจนและขบวนการชะล้างนั้นมีอิทธิพลอย่างยิ่งต่อการสะสมของปริมาณไนเตรตทั้งในแหล่งดินและแหล่งน้ำของพื้นที่สนามกอล์ฟ

ส่วนการศึกษาภายใต้รูปแบบจำลองสภาพของพื้นที่สนามกอล์ฟนั้น ต้องการทดสอบประสิทธิภาพของสารไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ (ไนตราไพรีน และไดไฮยาโนไดอาไมด์) ที่ใช้ประโยชน์ร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจน (ยูเรีย) พร้อมทั้งศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ที่เกิดขึ้นกับตัวอย่างดินและน้ำที่สุ่มเก็บขึ้นมาที่ระยะเวลา 0-42 วัน ตามลำดับ จากผลการศึกษาพบว่าที่ระยะเวลาสุดท้ายของการทดลอง ในตำรับของปุ๋ยยูเรียมีการสะสมไนเตรตไนโตรเจนในแหล่งดินและแหล่งน้ำสูงถึง 39.23 ppm และ 36.72 ppm ในขณะที่ตำรับของการใช้ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตริฟิเคชันอินฮิ

บิเตอร์นั้น จะพบปริมาณไนเตรตไนโตรเจนอยู่ภายในแหล่งดินและแหล่งน้ำเพียง 8.02 ppm และ 3.49 ppm ตามลำดับ นอกจากนี้ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนรูปไนเตรตไนโตรเจนในดิน และน้ำ (y) ยังสอดคล้องกับระยะเวลา (x) ซึ่งสามารถชี้บ่งประสิทธิภาพของสารไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ทั้งสองออกมาในรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบ $y = a + bx$ ได้ และให้ค่า R^2 ที่สูงตั้งแต่ 0.62-0.92 ดังนั้นการใส่สารไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ทั้ง 2 ชนิดลงไปร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจน จึงสามารถช่วยลดสภาพการปนเปื้อนและการสะสมไนเตรตไนโตรเจนได้ทั้งพื้นดินและแหล่งน้ำของสนามกอล์ฟ รวมถึงภายในบริเวณพื้นที่ใกล้เคียง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Behaviors of N-Fertilizers Usage and Reducing Nitrate Contamination Soil and Water of Golf Course with Nitrification Inhibitors
Student	Miss Nuchcha Suttipate
Student ID.	37064202
Degree	Master of Chemistry
Programme	Applied Chemistry (Environmental Chemistry)
Year	1999
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr.Sunthorn Pullpipatana
Thesis Co-Advisor	Dr. Suwan Chaiyasith Assoc.Prof. Sompop Titawasan

Abstract

The objective of this study was to evaluate the behavior and effects of N-fertilizer which had changed the chemical properties of soil and water in golf course. The efficiency of nitrification inhibitors that inhibited the contamination of NO_3^- -N was also be determined in the imitated conditions of golf course. Soil sampling had done on 3 levels (Green, Fairway and Catchbasin) in golf course areas. The result showed that pH is acidity, especially in the catchbasin area was more acidic (pH 3.72) than the green area (pH 6.09). The nitrate level in soil and water were 16.02 ppm and 17.60 ppm, respectively. In addition, the accumulation of toxic substances (Al^{3+}) in catchbasin was the high level (147 ppm). From the study found that used of N-fertilizer and leaching process affected to the accumulation of NO_3^- -N in soil and water in golf course.

In the case of imitated conditions of golf course want to test the efficiency of nitrification inhibitors (Nitrpyrin and Dicyanodiamide) used with N-fertilizer (urea), and also to study the changeable of parameter in soil and water were sampling on 0-42 days. The results showed that, in the last sampling date (42 days), urea treatment found the high level of NO_3^- -N is (39.23 ppm in soil, and 36.72 ppm in water). While in urea plus nitrification inhibitors treatment found that the NO_3^- -N in soil and water was 8.02 ppm and 3.49 ppm, respectively. And also, the relationship of NO_3^- -N (y) changed with time (x)

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ทั้งนี้ก็เนื่องจากความอนุเคราะห์และการให้คำแนะนำ คำปรึกษา และแนวความคิด ข้อชี้แนะ และมุมมอง จากอาจารย์ที่ปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์ของผู้เขียน คือ ท่าน ผศ.ดร.สุนทร พูนพิพัฒน์ รวมถึงอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมทั้ง 2 ท่าน คือ ดร.สุวรรณ ไชยสิทธิ์ และ ร.ศ.สมภพ ฐิตะवंสันต์ อาจารย์ทุกท่านได้เสียสละเวลาและให้กำลังใจอย่างดียิ่งตลอดระยะเวลาของการทำการทดลองและการจัดทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.ศักดิ์ดา ไตรศักดิ์ รศ.อรุณี คงศักดิ์ไพศาล และ ผศ.ดร.วิรัตน์ ญะวิวัฒน์ ที่เสียสละเวลาอันมีค่ายิ่งในการเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งให้คำแนะนำในการสอบวิทยานิพนธ์

ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.เมธิญชัย ไชยสิทธิ์ ดร.พัชนี สุขยิ่ง อาจารย์กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์ อาจารย์พิศมัย ชัยรัตน์อุทัย ที่กรุณาให้คำแนะนำและชี้แนะแนวทางในการทำงานวิจัยขึ้นนี้

ขอขอบคุณพี่ เพื่อน และน้องๆ ในภาควิชาเคมีและภาควิชาฟิสิกส์ ตลอดจนถึงเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมีทุกท่าน ที่ให้กำลังใจและความช่วยเหลือที่สำคัญในการดำเนินการทดลองในวิทยานิพนธ์

และสุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และน้องๆ ที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจที่ยิ่งใหญ่เสมอตลอดการดำเนินงานทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ณัฏชา สุทธิเทพ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	V
สารบัญ.....	VI
สารบัญตาราง.....	IX
สารบัญรูป.....	XIII
บทที่ 1 บทนำ.....	14
1.1 บทนำ.....	14
1.2 วัตถุประสงค์.....	16
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	16
1.4 ระเบียบวิธีวิจัย.....	17
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	17
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ.....	18
2.1 ความสำคัญของธาตุไนโตรเจนและการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ลงไปไนดิน.....	18
2.2 กระบวนการไนตริฟิเคชัน.....	20
2.3 การสูญหายของไนโตรเจนในดิน.....	22
2.4 ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนลงไปไนดิน.....	26
2.5 กระบวนการชะล้าง.....	27
2.6 โทษของไนเตรตต่อสิ่งมีชีวิต.....	29
2.7 การแก้ไขปัญหาการปนเปื้อนของไนเตรตในสิ่งแวดล้อม.....	30
2.7.1 วิธีการ Control Release.....	30
2.7.2 วิธี Protected Availability.....	31
2.8 ไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์.....	32
2.8.1 บทบาทของไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์.....	32
2.8.2 กลวิธีการแปรสภาพไนโตรเจนโดยกระบวนการไนตริฟิเคชัน.....	33

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.8.3 กลไกในการยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันโดยไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์	34
2.8.4 สารเคมีที่เป็น Nonspecific Inhibitor	35
2.8.5 สารเคมีที่เป็น Specific Inhibitor	37
2.8.6 ปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวและการทำงานของไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์	38
บทที่ 3 วิธีการทดลอง	43
บทที่ 4 ผลการทดลอง	50
4.1 คุณสมบัติทางเคมีโดยทั่วไปที่ได้รับอิทธิพลจากการสุมเก็บตัวอย่างดินและน้ำจากพื้นที่สนามกอล์ฟ	51
4.2 การวิเคราะห์ความเปลี่ยนแปลงของระดับสารพิษภายในสนามกอล์ฟ	60
4.3 การประเมินรูปแบบและกิจกรรมของสารพิษ Al^{3+} ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ SOIL SOLN Programe	63
4.4 แสดงผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำจากแหล่งน้ำทั่วไปภายในสนามกอล์ฟ	72
4.5 ลักษณะและผลการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ต่างๆ สำหรับตัวอย่างดินภายหลังจากการใช้สารยับยั้งไนตริฟิเคชันที่ระยะเวลาต่างๆ กัน	75
4.6 ลักษณะและผลการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ต่างๆ สำหรับตัวอย่างน้ำที่ถูกชะผ่านชั้นดินจากสนามกอล์ฟที่จำลองขึ้นมาภายหลังจากการใช้สารไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ที่ระยะเวลาต่างๆ กัน	115
4.7 การใช้รูปแบบจำลอง (Model) ทางคณิตศาสตร์เพื่อแสดงถึงความสัมพันธ์ร่วมของการเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียมและไนเตรดไนโตรเจนภายหลังจากการใช้ไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ที่ระยะเวลาต่างๆ	157
บทที่ 5 สรุปการทดลองและข้อเสนอแนะ	163
บรรณานุกรม	167

สารบัญ (ต่อ)

ภาคผนวก.....	172
ภาคผนวก ก วิธีทดลอง.....	173
ภาคผนวก ข ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ SOILSOLN.....	194
ประวัติผู้เขียน.....	198



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	ยาปราบศัตรูพืชที่แสดงคุณสมบัติเป็นไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ได้ภายในดิน.....36
2.2	สารเคมีและสิทธิบัตรของการเป็นไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์สำหรับผู้ผลิตทางการค้า.....37
4.1	ระดับ pH ของตัวอย่างดินจากสนามกอล์ฟปัญญา รามอินทรา.....51
4.2	สภาพการนำไฟฟ้าของตัวอย่างดินจากสนามกอล์ฟปัญญา รามอินทรา.....52
4.3	ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของตัวอย่างดินจากสนามกอล์ฟปัญญา รามอินทรา.....53
4.4	ปริมาณอินทรีย์วัตถุของตัวอย่างดินจากสนามกอล์ฟปัญญา รามอินทรา.....54
4.5	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของตัวอย่างดินจากสนามกอล์ฟปัญญา รามอินทรา.....55
4.6	ปริมาณไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชของตัวอย่างดินจากสนามกอล์ฟปัญญา รามอินทรา.....56
4.7	ปริมาณประจุบวกที่แลกเปลี่ยนได้ของตัวอย่างดินจากสนามกอล์ฟปัญญา รามอินทรา..58
4.8	ปริมาณอลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้ของตัวอย่างดินจากสนามกอล์ฟปัญญา รามอินทรา.. 60
4.9	ปริมาณแมงกานีสของตัวอย่างดินจากสนามกอล์ฟปัญญา รามอินทรา.....61
4.10	ปริมาณเหล็กของตัวอย่างดินจากสนามกอล์ฟปัญญา รามอินทรา.....62
4.11	ช่วงพิสัยและค่าเฉลี่ยของ pAI และ Al^{3+} activities ที่ได้รับจากการทำงานด้วยโปรแกรม คอมพิวเตอร์ SOILSOLN สำหรับดินชั้นบนของสนามกอล์ฟ.....64
4.12	ช่วงพิสัยและค่าเฉลี่ยของ pAI และ Al^{3+} activities ที่ได้รับจากการทำงานด้วยโปรแกรม คอมพิวเตอร์ SOILSOLN สำหรับดินชั้นล่างของสนามกอล์ฟ.....65
4.13	คุณสมบัติของตัวอย่างน้ำจากแหล่งน้ำทั่วไปภายในสนามกอล์ฟปัญญา รามอินทรา...72
4.14	ลักษณะที่สำคัญของดินที่นำมาใช้เป็นรูปแบบจำลองของสนามกอล์ฟในห้อง ปฏิบัติการ.....74
4.15	ระดับ pH ของตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 0 วัน.....75
4.16	สภาพการนำไฟฟ้าของตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 0 วัน.....76
4.17	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 0 วัน.....77
4.18	ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนของตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 0 วัน.....78

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.19 ปริมาณไนเตรตไนโตรเจนของตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 0 วัน.....	80
4.20 ระดับ pH ของตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 7 วัน.....	81
4.21 สภาพการนำไฟฟ้าของตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 7 วัน.....	83
4.22 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 7 วัน.....	84
4.23 ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนของตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 7 วัน.....	85
4.24 ปริมาณไนเตรตไนโตรเจนของตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 7 วัน.....	87
4.25 ระดับ pH ของตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 14 วัน.....	89
4.26 สภาพการนำไฟฟ้าของตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 14 วัน.....	90
4.27 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 14 วัน.....	91
4.28 ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนของตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 14 วัน.....	92
4.29 ปริมาณไนเตรตไนโตรเจนของตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 14 วัน.....	94
4.30 ระดับ pH ของตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 21 วัน.....	96
4.31 สภาพการนำไฟฟ้าของตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 21 วัน.....	97
4.32 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 21 วัน.....	98
4.33 ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนของตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 21 วัน.....	99
4.34 ปริมาณไนเตรตไนโตรเจนของตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 21 วัน.....	100
4.35 ระดับ pH ของตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 28 วัน.....	102
4.36 สภาพการนำไฟฟ้าของตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 28 วัน.....	103
4.37 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 28 วัน.....	104
4.38 ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนของตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 28 วัน.....	105
4.39 ปริมาณไนเตรตไนโตรเจนของตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 28 วัน.....	106
4.40 ระดับ pH ของตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 42 วัน.....	108
4.41 สภาพการนำไฟฟ้าของตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 42 วัน.....	109
4.42 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 42 วัน.....	111
4.43 ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนของตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 42 วัน.....	112

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.44 ปริมาณไนโตรเจนในโตรเจนของตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 42 วัน.....	113
4.45 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำที่ระยะเวลา 0 วัน (ตำรับ Control).....	115
4.46 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 0 วัน (ตำรับ Control).....	115
4.47 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำที่ระยะเวลา 7 วัน (ตำรับ Control).....	116
4.48 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 7 วัน (ตำรับ Control).....	117
4.49 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำที่ระยะเวลา 14 วัน (ตำรับ Control).....	118
4.50 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 14 วัน (ตำรับ Control).....	118
4.51 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำที่ระยะเวลา 21 วัน (ตำรับ Control).....	119
4.52 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 21 วัน (ตำรับ Control).....	119
4.53 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำที่ระยะเวลา 28 วัน (ตำรับ Control).....	120
4.54 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 28 วัน (ตำรับ Control).....	120
4.55 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำที่ระยะเวลา 42 วัน (ตำรับ Control).....	121
4.56 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 42 วัน (ตำรับ Control).....	121
4.57 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำที่ระยะเวลา 0 วัน (ตำรับ Urea).....	123
4.58 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 0 วัน (ตำรับ Urea).....	123
4.59 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำที่ระยะเวลา 7 วัน (ตำรับ Urea).....	124
4.60 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 7 วัน (ตำรับ Urea).....	124
4.61 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำที่ระยะเวลา 14 วัน (ตำรับ Urea).....	125
4.62 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 14 วัน (ตำรับ Urea).....	126
4.63 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำที่ระยะเวลา 21 วัน (ตำรับ Urea).....	127
4.64 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 21 วัน (ตำรับ Urea).....	127
4.65 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำที่ระยะเวลา 28 วัน (ตำรับ Urea).....	128
4.66 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 28 วัน (ตำรับ Urea).....	128
4.67 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำที่ระยะเวลา 42 วัน (ตำรับ Urea).....	129
4.68 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 42 วัน (ตำรับ Urea).....	129
4.69 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำที่ระยะเวลา 0 วัน (ตำรับ Urea+NP).....	131
4.70 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 0 วัน (ตำรับ Urea+NP).....	131

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.71 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำที่ระยะเวลา 7 วัน (ตำรับ Urea+NP).....	132
4.72 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 7 วัน (ตำรับ Urea+NP).....	132
4.73 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำที่ระยะเวลา 14 วัน (ตำรับ Urea+NP).....	133
4.74 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 14 วัน (ตำรับ Urea+NP).....	133
4.75 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำที่ระยะเวลา 21 วัน (ตำรับ Urea+NP).....	134
4.76 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 21 วัน (ตำรับ Urea+NP).....	135
4.77 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำที่ระยะเวลา 28 วัน (ตำรับ Urea+NP).....	136
4.78 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 28 วัน (ตำรับ Urea+NP).....	136
4.79 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำที่ระยะเวลา 42 วัน (ตำรับ Urea+NP).....	137
4.80 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 42 วัน (ตำรับ Urea+NP).....	137
4.81 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำที่ระยะเวลา 0 วัน (ตำรับ Urea+DCD).....	139
4.82 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 0 วัน (ตำรับ Urea+DCD).....	139
4.83 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำที่ระยะเวลา 7 วัน (ตำรับ Urea+DCD).....	140
4.84 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 7 วัน (ตำรับ Urea+DCD).....	140
4.85 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำที่ระยะเวลา 14 วัน (ตำรับ Urea+DCD).....	141
4.86 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 14 วัน (ตำรับ Urea+DCD).....	141
4.87 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำที่ระยะเวลา 21 วัน (ตำรับ Urea+DCD).....	142
4.88 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 21 วัน (ตำรับ Urea+DCD).....	143
4.89 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำที่ระยะเวลา 28 วัน (ตำรับ Urea+DCD).....	144
4.90 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 28 วัน (ตำรับ Urea+DCD).....	144
4.91 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำที่ระยะเวลา 42 วัน (ตำรับ Urea+DCD).....	145
4.92 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 42 วัน (ตำรับ Urea+DCD).....	145

ตารางภาคผนวกที่

1 ค่า pAI จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ SOILSOLN ของดินชั้นบนในพื้นที่สนามกอล์ฟ.....	194
2 ค่า pAI จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ SOILSOLN ของดินชั้นล่างในพื้นที่สนามกอล์ฟ.....	196

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 วงจรของไนโตรเจนที่เกิดขึ้นภายในดิน.....	19
2.2 ขั้นตอนของกระบวนการทางชีวภาพของไนโตรเจนรีดักชัน.....	23
3.1 แผนที่มีการเก็บตัวอย่างดินและน้ำในสนามกอล์ฟ.....	44
3.2 ภาพขณะบรรจุดินและปลูกหญ้า.....	45
3.3 การปลูกหญ้าในแบบจำลองสนามกอล์ฟ.....	46
3.4 ภาพขณะที่รองรับน้ำจากการชะล้าง.....	46
3.5 จำนวนชุดการทดลองทั้งหมด 12 ชุด.....	47
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับ pH ของตัวอย่างดินบนกับระยะเวลา 0-42 วัน.....	146
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับ pH ของตัวอย่างดินล่างกับระยะเวลา 0-42 วัน.....	147
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างสภาพการนำไฟฟ้าของตัวอย่างดินบนกับระยะเวลา 0-42 วัน.....	147
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างสภาพการนำไฟฟ้าของตัวอย่างดินล่างกับระยะเวลา 0-42 วัน.....	148
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของตัวอย่างดินบนกับระยะเวลา 0-42 วัน.....	149
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของตัวอย่างดินล่างกับระยะเวลา 0-42 วัน.....	149
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนของตัวอย่างดินบนกับระยะ เวลา 0-42 วัน.....	150
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนของตัวอย่างดินล่างกับระยะ เวลา 0-42 วัน.....	151
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนเตรตไนโตรเจนของตัวอย่างดินบนกับระยะเวลา 0-42 วัน.....	151
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนเตรตไนโตรเจนของตัวอย่างดินล่างกับระยะเวลา 0-42 วัน.....	152
4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับ pH ของตัวอย่างน้ำกับระยะเวลา 0-42 วัน.....	154
4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างสภาพการนำไฟฟ้าของตัวอย่างน้ำกับระยะเวลา 0-42 วัน.....	154
4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนของตัวอย่างน้ำกับระยะเวลา 0-42 วัน.....	155

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนเตรตไนโตรเจนของตัวอย่างน้ำกับระยะเวลา 0-42 วัน...	156
4.15 รูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจน (ตัวอย่างดินชั้นบน) กับระยะเวลา 0-42 วัน.....	157
4.16 รูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจน (ตัวอย่างดินชั้นล่าง) กับระยะเวลา 0-42 วัน.....	158
4.17 รูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปริมาณไนเตรตไนโตรเจน (ตัวอย่างดินชั้นบน) กับระยะเวลา 0-42 วัน.....	159
4.18 รูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปริมาณไนเตรตไนโตรเจน (ตัวอย่างดินชั้นล่าง) กับระยะเวลา 0-42 วัน.....	159
4.19 รูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจน (ตัวอย่างน้ำ) กับระยะเวลา 0-42 วัน.....	161
4.20 รูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปริมาณไนเตรตไนโตรเจน (ตัวอย่างดินน้ำ) กับระยะเวลา 0-42 วัน.....	162

บทที่ 1

บทนำ

1.1 แนวความคิดในการนำเสนอวิทยานิพนธ์

ในปัจจุบันปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมเป็นเรื่องที่สำคัญ และมีการวิพากษ์วิจารณ์กันอย่างแพร่หลาย แหล่งที่มาของปัญหานั้นปรากฏอยู่อย่างมากมาย รวมถึงสนามกอล์ฟก็เป็นแหล่งที่มาของปัญหาโดยตรง ดังจะพบได้ว่าในช่วง 2-3 ปีที่ผ่านมาสนามกอล์ฟจัดเป็นธุรกิจที่ขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างมาก โครงการสนามกอล์ฟแต่ละแห่งเป็นโครงการที่มีขนาดใหญ่และลงทุนค่อนข้างสูง ปัจจุบันเราพบว่า ประเทศไทยมีสนามกอล์ฟที่สร้างแล้วเสร็จทั้งหมดจำนวน 350 แห่ง เฉพาะในเขตกรุงเทพมหานครมีอยู่ประมาณ 166 แห่ง และสนามกอล์ฟแต่ละแห่งจะใช้พื้นที่ตั้งแต่ 600-1,000 ไร่ เป็นอย่างต่ำ ดังนั้นถ้าคิดเป็นพื้นที่ทั้งหมดจะมีอยู่ประมาณ 350,000-500,000 ไร่ และเนื่องจากการใช้พื้นที่มากเช่นนี้จึงก่อให้เกิดปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมติดตามมา ทั้งนี้ปัญหาล้วนใหญ่ที่เกี่ยวข้องกับสนามกอล์ฟจะเกี่ยวข้องกับการจัดการดินและน้ำ สาเหตุก็มาจากสนามกอล์ฟมีหญ้าเป็นองค์ประกอบที่สำคัญจึงมีความจำเป็นต้องดูแลรักษาต้นหญ้าให้สวยงามและหนาแน่นอย่างสม่ำเสมอ ในส่วนของการจัดการสนามกอล์ฟนั้นพบว่า สนามกอล์ฟเนื้อที่ประมาณ 1,000 ไร่ ถัดน้ำทุกวันจะใช้น้ำวันละประมาณ 3,000-4,000 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีปริมาณมากกว่ากิจกรรมการบริโภคน้ำตามปกติของมนุษย์ประมาณ 4-5 เท่า และยังสามารถส่งผลกระทบต่อการใช้ประโยชน์ของประชาชนที่พักอาศัยอยู่ใกล้เคียงกับบริเวณสนามกอล์ฟแห่งนั้นอีกด้วย (นวรรตน์ และ อัสภาพร. 2536)

ในส่วนของการจัดการที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่ดินสนามกอล์ฟนั้นจะมีการใช้สารเคมีและปุ๋ยเคมีเพื่อบำรุงรักษาต้นหญ้าในสนาม แต่เนื่องจากขณะนี้รัฐบาลยังไม่ได้มีการออกกฎหมายบังคับหรือกำหนดแนวทางปฏิบัติในการใช้ปุ๋ยและสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชในบริเวณสนามกอล์ฟอย่างเข้มงวด รวมถึงยังไม่ได้มีการป้องกันการปนเปื้อนของสารเคมีในดินและแหล่งน้ำที่อยู่ใกล้เคียงกับบริเวณโครงการ จึงส่งผลทำให้เกิดปัญหาของการใช้สารเคมีและปุ๋ยที่มากเกินไปติดตามมา โดยพบว่าการดูแลสนามหญ้านั้นต้องใช้ปุ๋ยไม่ต่ำกว่า 3-4 ตัน/ปี (พิทยา. 2537) ซึ่งถือว่าเป็นปริมาณที่มากพอสมควร ทั้งนี้ก็เกิดมาจากการที่จะใส่ปุ๋ยให้สนามหญ้านั้นจำเป็นต้องใส่ให้สูงมากกว่าความเป็นจริง เพราะว่าปริมาณธาตุอาหารที่ใส่ลงไปนั้นมีโอกาสที่เกิดการสูญเสียออกไปจากดินได้หลายทางโดยที่หญ้าไม่ได้รับประโยชน์ ลักษณะการสูญเสียของปุ๋ยดังกล่าวนั้นอาจติดไปพร้อมกับการถูกล้างของน้ำ อนุภาคดินมีความสามารถในการดูดซับปุ๋ยไว้ไม่ให้ปุ๋ยละลายน้ำ พืชก็ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ หรือตัวปุ๋ยเคมีอาจเกิดการสูญหายระเหยออกไปในอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และถูกวัชพืชแย่งไปใช้ประโยชน์ สิ่งเหล่านี้ล้วนเป็นสาเหตุที่ทำให้มีการใช้ปุ๋ยในปริมาณที่มากเกินไปทั้งสิ้น

ปุ๋ยเคมีที่สนามกอล์ฟส่วนใหญ่นิยมใช้กัน คือ ไนโตรเจน ทั้งนี้เนื่องจากปุ๋ยดังกล่าวมีราคาถูก และประกอบด้วยธาตุไนโตรเจนซึ่งเป็นธาตุอาหารชนิดที่สำคัญของต้นหญ้า ในการใช้ปุ๋ยนั้นถ้ามีการใช้ในปริมาณที่มากเกินไปอาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพดินและแหล่งน้ำในบริเวณสนามกอล์ฟ และบริเวณใกล้เคียงได้ สาเหตุสืบเนื่องมาจากปุ๋ยไนโตรเจนมีคุณสมบัติในการละลายน้ำและเคลื่อนตัวได้ดีในดิน เมื่อใส่ลงไปบนดินจึงมีโอกาสสูญเสียไปโดยอิทธิพลของกระบวนการชะล้างที่มากจากการรดน้ำหญ้าในสนามหรือจากการที่มีฝนตกลงมา และส่งผลทำให้เกิดการปนเปื้อนของปุ๋ยต่อพื้นดินและแหล่งน้ำตามลำดับ โดยเฉพาะลักษณะการปนเปื้อนของปุ๋ยไนโตรเจนส่วนใหญ่ นั้นจะอยู่ในรูปของไนเตรตไนโตรเจน โดยปกติในแหล่งน้ำตามธรรมชาติจะพบไนเตรตไนโตรเจน ในปริมาณที่น้อยและต่ำกว่า 1 mg/l N และอย่างสูงไม่เกิน 5 mg/l N แต่สำหรับน้ำใต้ดินอาจมีไนเตรตสะสมอยู่สูงตั้งแต่ 0-1,000 mg/l N และขึ้นอยู่กับสภาพภูมิประเทศที่น้ำนั้นไหลผ่าน (Ranney and Bartlett. 1972)

เพราะฉะนั้นในทางปฏิบัติจะพบว่าปัญหาที่น่าสนใจก็คือ การสะสมไนเตรตในชั้นน้ำใต้ดิน โดยเฉพาะในบริเวณที่มีระดับน้ำใต้ดินอยู่ตื้นและมีระดับที่ใกล้เคียงกันดังเช่นในสภาพของกรุงเทพมหานครปัจจุบัน เมื่อเกิดปัญหาของการสะสมไนเตรตจากบริเวณหนึ่ง จึงสามารถแพร่กระจายไปยังบริเวณใกล้เคียงกันได้ ลักษณะของการปนเปื้อนที่เกิดขึ้นเช่นนี้ จะส่งผลทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์ที่นำน้ำจากบริเวณแหล่งน้ำนั้นๆ ขึ้นมาใช้ประโยชน์เพื่อการอุปโภค และบริโภคโดยตรง นอกจากนี้ผลการศึกษาการปนเปื้อนของไนเตรตไนโตรเจน ในแหล่งน้ำจากบริเวณสนามกอล์ฟพบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 2.8-4.3 ppm และในดินที่ระดับความลึกต่างๆ จะพบอยู่ในช่วง 0.02-3.45 ppm ในขณะที่มีการกำหนดมาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำผิวดินสำหรับปริมาณไนเตรตไนโตรเจนที่ยอมรับได้ไม่เกิน 5.0 mg/l NO_3^- (ธรรมบุญ และคณะ. 2536)

จากปัญหาที่กล่าวมาทั้งหมดนี้เราพบว่า แนวทางประการหนึ่งสำหรับการแก้ไขปัญหาการปนเปื้อนของไนเตรตก็คือ การใช้เทคนิคการยับยั้งไม่ให้ปุ๋ยไนโตรเจนเปลี่ยนรูปจาก แอมโมเนียมไนโตรเจนไปเป็นไนเตรตไนโตรเจน วิธีการปฏิบัติเช่นนี้เรียกว่า Protected availability โดยใช้หลักการป้องกันไม่ให้เกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน ขึ้นกับปุ๋ยที่อยู่ในรูปแอมโมเนียมไนโตรเจน เนื่อง จากไนโตรเจนในรูปนี้ถ้าสามารถคงตัวอยู่ภายในดินโดยไม่ถูกออกซิไดซ์หรือเปลี่ยนแปลงไปเป็นไนเตรตไนโตรเจนแล้ว ก็จะถูกดูดซับยึดอยู่ในดินได้เป็นระยะเวลานาน และสูญเสียไปโดยอิทธิพลของการชะล้างได้ยาก ประกอบกับถ้ามีการห่อหุ้มปุ๋ยด้วยสารพอกไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ร่วมด้วยแล้ว จะเป็นการช่วยลดการสูญเสียไนโตรเจนในรูปของไนเตรตไนโตรเจนได้เป็นอย่างดี สารประเภทไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ ที่ได้ทำการศึกษาที่ผ่านมามีมากมายหลายชนิด เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Acetylenic compounds , Volatile sulfur compounds , Five-membered ring heterocyclic compounds เป็นต้น วิธีการปฏิบัติดังกล่าวนี้จึงช่วยไม่ให้เกิดปัญหาการสะสมของไนเตรตได้ในระดับหนึ่ง และนิยมใส่สารยับยั้งร่วมลงไปพร้อมกับปุ๋ย สำหรับวิธีการศึกษารั้วนี้จะเลือกใช้สาร Nitrification Inhibitors 2 ตัว คือ Nitrapyrin และ DCD ทั้งนี้เนื่องจากสารทั้งสองชนิดค่อนข้างมีประสิทธิภาพและนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ส่วนอีกแนวทางหนึ่งในการแก้ไขปัญหาคือการใช้รูปแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ (SOIL SOLN Computer) และสมการทางคณิตศาสตร์ เข้ามาเป็นตัวชี้บ่งเพื่อทำนายลักษณะการเปลี่ยนแปลงของไนเตรตไนโตรเจนที่อาจส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในดินและแหล่งน้ำต่อมนุษย์โดยผ่านทางห่วงโซ่อาหารได้

จากรายละเอียดที่กล่าวมาทั้งหมดนั้นจะพบว่า พฤติกรรมและการเปลี่ยนแปลงรูปของปุ๋ยไนโตรเจนในรูปแบบเช่นนี้ ควรต้องมีการทำการศึกษาในเรื่องของปัญหาและพฤติกรรมและการเปลี่ยนแปลงรูปของไนเตรตไนโตรเจนในพื้นที่ดินและแหล่งน้ำบริเวณสนามกอล์ฟเป็นประเด็นสำคัญ

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

1. เพื่อศึกษาพฤติกรรมและปริมาณการปนเปื้อนของสารต่างๆรวมถึงรูปไนโตรเจนที่พบอยู่ภายในพื้นที่ดินและแหล่งน้ำสำหรับพื้นที่สนามกอล์ฟและบริเวณพื้นที่ใกล้เคียง

2. เพื่อศึกษาลักษณะและปริมาณการปนเปื้อนของไนโตรเจนที่พบอยู่ในชั้นดินและน้ำที่ได้ รับอิทธิพลจากกระบวนการชะล้างของปุ๋ยไนโตรเจนจากสนามกอล์ฟจำลอง

3. เพื่อทดสอบอิทธิพลของสารไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ ว่ามีผลต่อการยับยั้งพฤติกรรมเปลี่ยนแปลงของปุ๋ยไนโตรเจนได้อย่างไร

4. เพื่อใช้คาดคะเนและทำนายถึงผลการเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจน และปริมาณของสารพิษที่ต่างๆสะสม โดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์และรูปแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ (SOILSOLN Computer)

5. สำหรับข้อมูลที่ได้จากผลของการวิเคราะห์ดินและน้ำโดยตรงรวมถึงข้อมูลที่ได้รับจากการใช้รูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และคอมพิวเตอร์ จะถูกนำมาใช้เป็นฐานข้อมูลเพื่อคาดคะเนว่าปริมาณของไนเตรตไนโตรเจนที่สะสมอยู่บนพื้นที่ดินและน้ำแห่งนั้นจะก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์และสัตว์ในบริเวณพื้นที่ทดลองหรือไม่

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ข้อมูลที่ได้จากปริมาณการปนเปื้อนของไนเตรตไนโตรเจนจากปุ๋ยเคมีที่ใช้ประโยชน์อยู่ในสนามกอล์ฟนั้นสามารถนำมาใช้เป็นแนวทางสำหรับการปรับปรุงวิธีการใช้ปุ๋ยให้อยู่ในปริมาณที่

เหมาะสม และมีวิธีการที่ถูกต้องโดยจะไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของพื้นที่สนามกอล์ฟ และบริเวณพื้นที่ใกล้เคียง

2. ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้สามารถชี้บ่งได้ว่าคุณภาพของดินและน้ำภายในสนามกอล์ฟ ในขณะนั้นเป็นอย่างไร และจะมีวิธีการป้องกันพฤติกรรมกรบปนเปื้อนหรือยับยั้งรูปของไนเตรต ไนโตรเจนได้อย่างไร

3. เพื่อเป็นประโยชน์สำหรับการบริหารธุรกิจสนามกอล์ฟ ทั้งนี้เนื่องจากสนามกอล์ฟนั้นเป็น ธุรกิจที่ทำรายได้ดีประเภทหนึ่ง จึงไม่ควรเป็นแหล่งที่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมหรือส่งผลกระทบต่อบริเวณพื้นที่ใกล้เคียง เพราะไม่เช่นนั้นแล้วจะมีการต่อต้านไม่ให้เกิดการขยายตัวของ ธุรกิจประเภทนี้ต่อไปในอนาคต

1.4 ระเบียบวิธีวิจัย

1. ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับปัญหาที่เกิดขึ้นจากการใช้ปุ๋ยเคมีในสนามกอล์ฟที่ก่อให้เกิด ลักษณะการปนเปื้อนและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (คุณภาพดินและน้ำ) โดยตรง

2. ทำการเก็บตัวอย่างดินและน้ำภายในสนามกอล์ฟและทำการจำลองรูปแบบของสนาม-กอล์ฟ ขึ้นมาภายในสนามทดลองหรือห้องปฏิบัติการ

3. ประเมินและสรุปผลการทดลอง

1.5 ขอบเขตการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้มุ่งเน้นถึงปัญหาการปนเปื้อนของไนเตรตไนโตรเจนในแหล่งดินและน้ำ ที่เกิดขึ้นมาจากอิทธิพลของการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในสนามกอล์ฟ โดยทำการเก็บตัวอย่างดินและน้ำ จากพื้นที่ดังกล่าวมาทดสอบหาปริมาณสารปนเปื้อนชนิดต่างๆ เพื่อดูแนวโน้มของปัญหาที่เกิดขึ้น ต่อจากนั้นจึงดำเนินการทดลองโดยใช้รูปแบบจำลองภาคสนามของสนามกอล์ฟ เพื่อศึกษา ลักษณะการปนเปื้อนของไนเตรตไนโตรเจนในดินและน้ำที่เกิดขึ้นจากการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนอีกครั้งหนึ่ง เมื่อ พบว่ามีการปนเปื้อนเกิดขึ้นแล้ว จึงใช้สารไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์เข้าไปช่วยแก้ไขปัญหการปน เปื้อนนั่นๆ ส่วนข้อมูลต่างๆที่ได้รับจากการทดลองจะถูกนำเข้าสูโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์เพื่อ ศึกษาถึงความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆที่มีอิทธิพลต่อลักษณะการปนเปื้อนและการยับยั้งพฤติ กรรมของไนเตรตไนโตรเจนต่อไป

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ความสำคัญของธาตุไนโตรเจนและการเปลี่ยนแปลงเมื่อใส่ปุ๋ยไนโตรเจนลงไปในดิน

ไนโตรเจนเป็นธาตุที่พืชนามต้องการปริมาณมากที่สุดในบรรดาธาตุอาหารที่จำเป็นทั้ง 13 ชนิด ธาตุ (N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Zn, Cu, Mo, B, Cl) ธาตุไนโตรเจนมีหน้าที่และความสำคัญต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของต้นพืชนานานในด้านต่างๆ คือ .

1. เป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ ซึ่งเป็นสารสำคัญชนิดหนึ่งในการสังเคราะห์แสงของพืชทุกชนิด และมีผลทำให้พืชนามมีสีเขียวเข้มขึ้น
2. เป็นองค์ประกอบของกรดอะมิโนและโปรตีนชนิดต่างๆ ซึ่งปรากฏเป็นสารส่วนใหญ่อยู่ในโปรตีนพลาสมาของเซลล์
3. เป็นองค์ประกอบของกรดนิวคลีอิก ซึ่งมีหน้าที่ควบคุมการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมทั้งหลาย
4. เป็นองค์ประกอบของเอนไซม์และวิตามินชนิดต่างๆ ซึ่งจำเป็นต่อการกระตุ้นปฏิกิริยาทางชีวเคมีของพืช
5. ปริมาณธาตุไนโตรเจนจะมีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตของส่วนยอดและราก ความหนาแน่นสี ลักษณะผิวสัมผัส ความสามารถในการฟื้นตัว ความสามารถในการทนทานต่อสภาพสิ่งแวดล้อม ความสามารถในการทนทานต่อโรค การเกิดช่อดอก ตลอดจนการแข่งขันระหว่างพืชนามกับพืชนาชนิดอื่นๆ (จิรรัตน์, 2530)

สำหรับแหล่งที่มาของไนโตรเจนในดินมาจาก 4 แหล่งใหญ่ๆ (Russell, 1973) คือ

1. มาจากผลของการตรึงไนโตรเจน (Nitrogen fixation) จากอากาศ โดยอาศัยแบคทีเรีย *Rhizobium* ที่อยู่ในปมของรากพืชตระกูลถั่วและสามารถตรึงก๊าซไนโตรเจน (N_2) จากอากาศมาใช้ประโยชน์ได้โดยตรง แต่ก็ต้องการอาหารพวกคาร์โบไฮเดรตซึ่งจำเป็นต้องได้รับจากพืชที่แบคทีเรียเหล่านี้อาศัยอยู่เป็นผู้จัดหามาให้ และในขณะเดียวกันก็จะแบ่งไนโตรเจนที่ตรึงได้บางส่วนให้แก่พืชเป็นการตอบแทน วิธีการตรึงไนโตรเจนจากอากาศเช่นนี้เรียกว่า Symbiotic Nitrogen Fixation เมื่อพืชและแบคทีเรียเหล่านี้ตายไป ไนโตรเจนที่ถูกตรึงจากอากาศซึ่งเปลี่ยนมาอยู่ในรูปของโปรตีนและสารประกอบไนโตรเจนประเภทอื่นๆ ในแบคทีเรียและพืชก็จะสะสมอยู่ในดิน
2. มาจากการตรึงไนโตรเจนจากอากาศโดยพวกจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่อย่างอิสระในดิน (Non-symbiotic nitrogen fixation) จุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการตรึงไนโตรเจนได้อย่างอิสระ ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

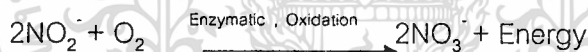
เป็นกระบวนการทางชีววิทยา (Biological process) ซึ่งจำเป็นต้องมีเอนไซม์หรือจุลินทรีย์เข้ามาเกี่ยวข้องจึงจะเกิดผลขึ้นมาได้ เพราะฉะนั้นลักษณะการแปรสภาพของไนโตรเจนในดินที่สำคัญกระบวนการหนึ่งก็คือ กระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification process) (Federer. 1983)

2.2 กระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification Process)

กระบวนการไนตริฟิเคชันจัดเป็นกระบวนการออกซิเดชันที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (Enzymatic Oxidation) ซึ่งเกิดขึ้นได้โดยแบคทีเรียพวกไนตริไฟอิง (Nitrifying bacteria) ที่อาศัยอยู่ภายในดิน ซึ่งจัดเป็นแบคทีเรียประเภทที่ต้องการอากาศ กระบวนการดังกล่าวประกอบด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชัน 2 ขั้น กล่าวคือ แอมโมเนีย (NH_3) หรือ แอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) จะถูกออกซิไดส์ให้เป็นไนไตรท์ (NO_2^-) ก่อนเป็นลำดับแรกโดยแบคทีเรียพวก *Nitrosomonas* และ *Nitrosococcus* ดังสมการ (Schmidt. 1982)



ต่อมาไนไตรท์ที่เกิดขึ้นจะถูกออกซิไดส์อีกครั้งหนึ่งในลำดับต่อมา เพื่อกลายสภาพไปเป็นไนเตรตโดยอาศัยแบคทีเรียพวก *Nitrobacter* ดังสมการ



ถ้าสภาพของดินเหมาะสมแล้วไนไตรท์ที่เกิดขึ้นในชั้นแรกนั้นจะไม่มีโอกาสสะสมอยู่ในดินได้นาน เมื่อเกิดขึ้นก็จะถูกเปลี่ยนแปลงไปเป็นไนเตรตทันทีซึ่งเป็นผลดีต่อพืช ทั้งนี้เพราะว่าถ้าไนไตรต์สะสมอยู่ในดินเป็นจำนวนมากจะแสดงความเป็นพิษต่อพืชได้โดยตรง

สำหรับรูปไนเตรตที่เกิดขึ้นจากกระบวนการนี้มีวิธีการที่จะถูกเปลี่ยนแปลงต่อไปได้ 4 ทาง (Smith and Chalk. 1979) คือ

1. จุลินทรีย์ชนิดต่างๆในดินนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป
2. พืชชั้นสูงนำไปใช้ประโยชน์โดยตรง
3. สูญหายออกไปจากดินโดยกระบวนการชะล้าง (Leaching) เนื่องจากรูปของไนเตรตละลายน้ำได้ง่าย ดังนั้นจึงเกิดการสูญหายไปได้ง่ายกับน้ำที่ซึมผ่านชั้นของดิน
4. สูญหายออกไปจากดินในรูปของก๊าซ (Volatilization)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการไนตริฟิเคชันจะดำเนินไปด้วยดีก็จำเป็นจะต้องมีสภาพต่างๆในดินที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของแบคทีเรียที่ควบคุมกระบวนการ เพราะฉะนั้นปัจจัยที่ควบคุมกระบวนการไนตริฟิเคชันที่สำคัญมีดังนี้ (Gilmour. 1984)

1. การถ่ายเทอากาศ กระบวนการไนตริฟิเคชันเป็นกระบวนการ Oxidation และจุลินทรีย์ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับกระบวนการนี้ก็เป็นพวก Aerobic กล่าวคือเป็นจุลินทรีย์ประเภทที่ต้องการออกซิเจนในการหายใจ ดังนั้นก๊าซออกซิเจนจึงถือเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับกระบวนการ เมื่อดินอยู่ในสภาพที่มีการถ่ายเทอากาศดี ก๊าซออกซิเจนก็จะมีอยู่เพียงพอต่อความต้องการของ Nitrifying bacteria และกระบวนการดังกล่าวก็จะดำเนินไปด้วยดีอย่างต่อเนื่อง

2. อุณหภูมิ เนื่องจากกระบวนการไนตริฟิเคชันเกิดขึ้นโดยอาศัยแบคทีเรียซึ่งเป็นสิ่งที่มีชีวิต ดังนั้นการทำงานที่มีประสิทธิภาพก็ย่อมจะต้องขึ้นกับอุณหภูมิร่วมด้วยเสมอ ช่วงของอุณหภูมิที่พอเหมาะก็คือ ระหว่าง $80-90^{\circ}\text{F}$ ถ้าอุณหภูมิสูงถึง 125°F กระบวนการไนตริฟิเคชันจะหยุดทำงานทันที และถ้าอุณหภูมิต่ำลงถึง 32°F หรือต่ำกว่านั้นแบคทีเรียก็จะไม่ทำงานอีกเช่นเดียวกัน และจะเริ่มทำงานต่อเมื่ออุณหภูมิอยู่ในช่วง $35-40^{\circ}\text{F}$ และอัตราการทำงานก็จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงช่วงอุณหภูมิที่พอเหมาะ แล้วก็ค่อยๆลดลงไปอีก ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจากระดับที่เหมาะสม

3. ความชื้นในดิน โดยทั่วไปความชื้นประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำทั้งหมดที่ดินสามารถดูดซับไว้ได้จะเหมาะสมที่สุดสำหรับการทำงานของแบคทีเรีย (Sabey. 1969a) ถ้าความชื้นในดินมากเกินไปก็จะทำให้การถ่ายเทอากาศไม่ดีพอ หรือถ้าความชื้นในดินน้อยเกินไปก็จะทำให้ดินมีสภาพแห้ง มีความไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและการทำงานของแบคทีเรีย

4. ปฏิกริยาในดิน ตามปกติปฏิกริยาของดินควรอยู่ในระดับที่พอเหมาะสมอีกด้วยเช่นเดียวกันกระบวนการไนตริฟิเคชันก็จะเกิดขึ้นได้ดี นอกจากนี้ระดับ pH ไม่ควรต่ำกว่า 4.5 ถ้าต่ำกว่าระดับดังกล่าวกระบวนการไนตริฟิเคชันจะหยุดชะงักทันที (Dommergues et.al. 1998) ทั้งนี้เพราะ จุลินทรีย์พวก Nitrifying bacteria มีลักษณะที่ค่อนข้างไว (Sensitive) ต่อความเป็นกรดมาก ค่า pH ที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วงระหว่าง 5.6-7.5 และถ้า pH เกิน 7.5 กระบวนการดังกล่าวก็จะเกิดขึ้นในอัตราที่ช้าลงหรือหยุดชะงักในที่สุด

5. ปริมาณไอออนบวกที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable cation) เนื่องจากกระบวนการไนตริฟิเคชันสามารถปลดปล่อยไฮโดรเจนไอออน (H^+) ออกมา และสะสมอยู่ในดินจนส่งเสริมทำให้ดินเป็นกรดยิ่งขึ้นหรืออาจก่อให้เกิดสภาพที่ไม่เหมาะสมสำหรับการทำงานของแบคทีเรีย ดังกล่าวยาวละเอียดไว้แล้วในเบื้องต้น ดังนั้น Exchangeable cation จึงทำหน้าที่เป็นตัวต้านทานการเพิ่มกรดของดิน (Buffer) และคงรักษาสภาพ pH ของดินให้เหมาะสมสำหรับการทำงานของแบคทีเรียไว้ต่อไป

6. ธาตุอาหารต่างๆ แบคทีเรียส่วนใหญ่ต้องการธาตุอาหารชนิดอื่นๆ เช่นเดียวกับพืชชั้นสูง ดังนั้นการใส่ปุ๋ยเพิ่มเติมลงไปไนดินเพื่อให้มีระดับธาตุอาหารที่สมดุล จึงมีส่วนช่วยให้กระบวนการไนตริฟิเคชันดำเนินไปได้ดียิ่งขึ้น การใส่ปุ๋ยเพื่อปรับระดับธาตุอาหารในดินนั้นก็ควรระวังให้มาก โดยเฉพาะถ้าดินนั้นเป็นดินที่มี pH ที่ค่อนข้างสูง การใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมจะทำให้เกิดการสะสมไนไตรท์ (NO_2^-) ขึ้นได้ ทั้งนี้เพราะกระบวนการออกซิเดชันในขั้นแรกของแอมโมเนีย (NH_3) หรือแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4^+) จะเกิดขึ้นเร็วเกินไป ส่วนออกซิเดชันในขั้นที่ 2 ที่เปลี่ยนแปลงจากไนไตรท์ (NO_2^-) เป็นไนเตรต (NO_3^-) นั้นจะเกิดได้ช้าลง ทั้งนี้เพราะไนไตรท์ (NO_2^-) มีลักษณะเป็นพิษต่อ *Nitrobacter* ภายใต้สภาพของดินที่เป็นต่างมากมาย (Dancer et.al. 1973)

7. อัตราส่วนของคาร์บอน : ไนโตรเจน (Carbon-Nitrogen Ratio ; C:N Ratio) C:N Ratio มีความสำคัญเป็นอย่างมากต่อกระบวนการไนตริฟิเคชัน ถ้า C:N Ratio กว้าง นั่นคือถ้ามีสารประกอบพวก Carbonaceous อยู่มากก็จะช่วยส่งเสริมให้มีการเพิ่มพูนปริมาณของจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ ที่มีอยู่ในดินนั้นให้มากขึ้นด้วยตามลำดับ เพราะฉะนั้นเมื่อมีจำนวนจุลินทรีย์ชนิดอื่นมากขึ้น ความต้องการไนโตรเจนสำหรับนำไปสร้างเซลล์ของจุลินทรีย์เหล่านั้นก็เพิ่มขึ้นด้วย จนในที่สุดไม่ว่าจะมีไนโตรเจนถูกปลดปล่อยออกมาในรูปใดก็ตาม จุลินทรีย์ก็จะแย่งนำไปใช้เพื่อการสังเคราะห์เซลล์หมด หรือในที่สุดทำให้กระบวนการไนตริฟิเคชันต้องหยุดชะงักลง เพราะขาดแอมโมเนีย (NH_3) หรือแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4^+) ซึ่งก็มีผลทำให้พืชที่ปลูกขาดธาตุอาหารไนโตรเจนชั่วคราวด้วย และต้องรอจนกว่าจุลินทรีย์จะตายและลดจำนวนลงไปใน ไนโตรเจนที่อยู่ภายในตัวของจุลินทรีย์จึงจะถูกปลดปล่อยออกมา และกระบวนการไนตริฟิเคชันจึงจะดำเนินต่อไปได้ตามปกติ

2.3 การสูญหายของไนโตรเจนในดิน

ไนโตรเจนในดินมีแนวทางที่จะเกิดสภาพสูญหายออกไปจากดินได้หลายรูปแบบ (Kurtz. 1991) ดังนี้

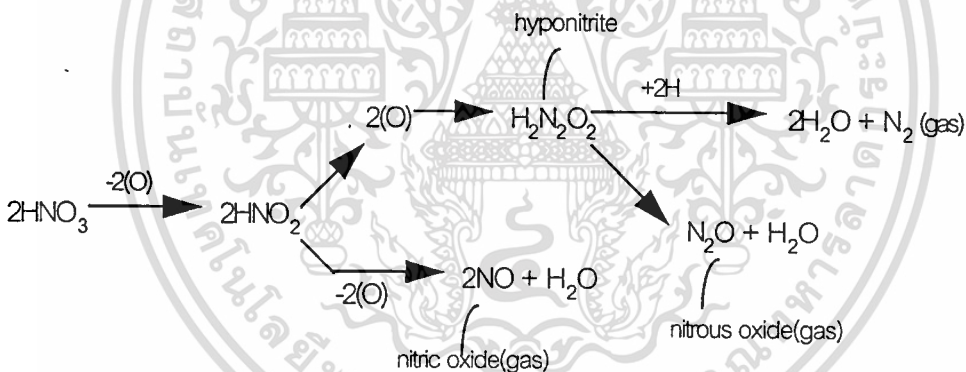
1. สูญหายออกไปจากดินเนื่องจากพืชและจุลินทรีย์ในดินนำไปใช้ประโยชน์โดยตรง ลักษณะการสูญหายของไนโตรเจนดังกล่าวอาจเป็นการสูญเสียชั่วคราวและจะกลับคืนสู่ดินอีกครั้งหนึ่งเมื่อพืชและจุลินทรีย์ชนิดนั้นเน่าเปื่อยและตายลง แต่ถ้ามีการขนย้ายผลิตภัณฑ์ออกไปจากพื้นที่ไร่นาก็ย่อมหมายถึงว่าเป็นการสูญเสียไนโตรเจนจากดินนั้นอย่างถาวรและแท้จริง

2. สูญหายออกไปโดยผ่านกระบวนการชะล้าง ปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาหรือน้ำชลประทานที่ซึมผ่านชั้นของดินมีส่วนชะล้างไนโตรเจนให้ติดตามลงไปด้วย โดยเฉพาะไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของไนไตรท์ (NO_2^-) หรือไนเตรต (NO_3^-) ถ้ารูปของไนโตรเจนที่ถูกชะลงไปยังชั้นล่างของดินที่มีระดับน้ำลึก รากของพืชก็จะดึงดูดกลับขึ้นมาใช้ประโยชน์ได้ใหม่ แต่ถ้าถูกชะไปยังดินชั้นล่างที่ลึกจนราก

หยั่งลงไปไม่ถึง การสูญเสียไนโตรเจนก็จะเกิดขึ้น ดังนั้นการสูญเสียไนโตรเจนโดยกระบวนการชะล้างจึงควรระวังให้มาก โดยเฉพาะในบริเวณที่มีดินเนื้อหยาบ

3. สูญหายออกไปจากดินในรูปของก๊าซ กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการสูญเสียไนโตรเจนในดินดังกล่าว จะเกิดขึ้นเมื่อดินอยู่ในสภาพที่มีอากาศถ่ายเทไม่ดี เช่น มีน้ำขัง ในสภาพเช่นนี้ดินจะขาดออกซิเจน และกระบวนการรีดักชันในดินก็จะเกิดขึ้น ซึ่งมีผลทำให้ไนไตรท์ (NO_2^-) และไนเตรต (NO_3^-) เปลี่ยนแปลงอยู่ในรูปของก๊าซได้ กระบวนการรีดักชันของไนไตรท์ (NO_2^-) และไนเตรต (NO_3^-) ในดินอาจเกิดขึ้นได้ทั้งกระบวนการทางชีวภาพ (Biological process) และกระบวนการทางเคมี (Chemical process)

3.1 กระบวนการทางชีวภาพ (Biological process) เป็นกระบวนการรีดักชันที่เนื่องมาจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่อยู่ในดิน เมื่อดินขาดออกซิเจน จุลินทรีย์ในดินบางชนิดก็ไม่อาจได้รับออกซิเจนจากอากาศ แต่จะกลับมาใช้อนุมูลต่างๆ ที่มีระดับ Oxidation สูงๆ เช่น ไนไตรท์ (NO_2^-) หรือไนเตรต (NO_3^-) เป็นลำดับแรก หรือเพื่อเป็นตัวรับอิเล็กตรอนในกระบวนการหายใจ นั่นคือ ไนไตรท์ (NO_2^-) หรือไนเตรต (NO_3^-) ในดินจะถูกรีดิวซ์ให้กลายเป็นก๊าซรูปต่างๆ และสูญเสียออกไปจากดินตามขั้นตอนดังรูป (Kurtz, 1991)



รูปที่ 2.2 ขั้นตอน (Pathway) ของกระบวนการทางชีวภาพของไนโตรเจนรีดักชัน (Nitrogen Reduction)

(ที่มา : "Nitrogen for Nitrogen Loss". Kurtz, 1991)

จุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดกระบวนการสูญเสียดังกล่าวพบอยู่หลายชนิด แต่ในดินโดยทั่วไปจะเป็นพวก *Pseudomonas* และ *Thiobacillus Denitrificans* ในกรณีของ *Pseudomonas* นั้น อาจก่อให้เกิดการสูญเสียไนโตรเจนได้แม้กระทั่งในดินที่มีการถ่ายเทอากาศดี (แต่อัตราการเกิดจะลดลง) ทั้งนี้เพราะว่าจุลินทรีย์ชนิดนี้สามารถใช้ประโยชน์ได้ทั้งจากรูปไนไตรท์ (NO_2^-) หรือไนเตรต (NO_3^-) และออกซิเจน (O_2) สำหรับการหายใจในขณะเดียวกัน

นอกจากนี้รูป (Form) ของก๊าซที่เกิดขึ้นอาจเป็นเพียงรูปใดรูปหนึ่งหรือหลายรูป (N_2 , N_2O , NO) อยู่รวมกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของจุลินทรีย์ที่มีส่วนเกี่ยวข้อง ตลอดจนสภาพสิ่งแวดล้อมของดิน เช่น ความเป็นกรดเป็นด่าง และการถ่ายเทอากาศของดิน เป็นต้น นอกจากนี้บางครั้งยังพบว่า มีไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) เกิดขึ้น (ในปริมาณที่ค่อนข้างต่ำ) ปะปนมากับก๊าซชนิดต่างๆ ที่กล่าวถึงมาแล้วด้วย สาเหตุที่เป็นเช่นนี้ก็สืบเนื่องมาจากผลของการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างไนตริกออกไซด์ (NO) ที่เกิดขึ้นในกระบวนการกับออกซิเจนในอากาศนั่นเอง

3.2 กระบวนการทางเคมี (Chemical process) จัดเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่ทำให้ไนโตรเจนในดินสูญหายออกไปในรูปของก๊าซ โดยปกติไนโตรที่ไอออน (NO_2^-) เมื่อปรากฏอยู่ในดินที่มีปฏิกิริยาเป็นกรด หรือเมื่อมีสารประกอบพวกเกลือแอมโมเนียม (Ammonium salt) หรือสารประกอบอะมีน (Amine) เช่น ยูเรีย หรือสารประกอบที่มีพวกคาร์โบไฮเดรตอยู่ด้วย ปฏิกิริยารีดักชันอาจเกิดขึ้นได้ ดังสมการต่อไปนี้ (Kurtz. 1991)



นอกจากนี้ไนโตรที่ (NO_2^-) อาจเปลี่ยนแปลงไปอยู่ในรูปของก๊าซได้ เมื่อมีโลหะทรานซิชัน (Transition Metal) เช่น Fe^{+2} , Cu^{+2} , Mn^{+2} และอื่นๆ ปรากฏอยู่ในดินนั้นร่วมด้วย ซึ่งกระบวนการที่เกิดขึ้นจะมีรายละเอียดดังสมการต่อไปนี้



M = Transition Metal

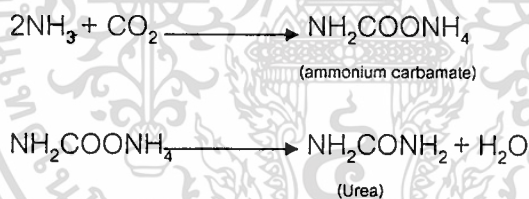
เราจะพบได้ว่าถ้ามีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนลงไปในดิน การสูญหายออกไปของไนโตรเจนในรูปก๊าซต่างๆ อาจเกิดขึ้นได้อย่างสม่ำเสมอ ถึงแม้ว่าในดินนั้นจะมีการถ่ายเทอากาศที่ค่อนข้างดีก็ตาม ดังนั้นเพื่อป้องกันไม่ให้ไนโตรเจนสูญหายไปโดยเปล่าประโยชน์ จึงควรระมัดระวังในการใช้ปุ๋ยโดยอย่าให้ปุ๋ยไนโตรเจนสะสมอยู่ในดินครั้งละมากๆ และในขณะเดียวกันต้องมีการปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของดินให้โปร่งและร่วนซุยอยู่เสมอ

จากรายละเอียดที่กล่าวมาแล้วในเบื้องต้นจะพบได้ว่า ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของธาตุไนโตรเจนในดินนั้นจัดเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา ดังนั้นในการประยุกต์ใช้ปุ๋ยไนโตรเจนให้เหมาะสมจึงต้องคำนึงถึงจังหวะ ระยะเวลา และปริมาณที่เหมาะสมในการใส่ปุ๋ย วิธีการใส่ปุ๋ยเพื่อให้พืชดูดไปใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพจะมีความสำคัญเป็นอย่างมาก (Sabey. 1969b) ทั้งนี้เนื่องจากทันทีที่ใส่ปุ๋ยลงไปในดิน ปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงและการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

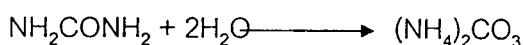
เคลื่อน-ย้ายของปุ๋ยจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ธาตุไนโตรเจนในปุ๋ยจะเคลื่อนที่ (Mobile) ได้รวดเร็ว เพราะละลายน้ำได้ง่าย ไนโตรเจนในรูปไนเตรตจะถูกน้ำพัดพาออกไปจากชั้นดินได้อย่างรวดเร็ว ถ้ารากพืชดึงดูดไว้ไม่ทันก็จะสูญเสียออกไปหมดและไม่เกิดประโยชน์แต่อย่างใด (Jackson, 1978) ปกติแล้วปุ๋ยไนโตรเจนในดินจะสูญเสียไปโดยอิทธิพลของกระบวนการชะล้างประมาณเกือบครึ่งหนึ่งของปุ๋ยที่ใส่ลงไป สำหรับไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียม ถึงแม้จะถูกดูดยึดที่อนุภาคดินเหนียวได้และถูกชะล้างได้ยากก็จริง แต่ถ้าดินมีสภาพการถ่ายเทอากาศดีก็จะถูกออกซิไดส์ให้กลายเป็นรูปไนเตรตไนโตรเจนได้ง่ายและรวดเร็วมากและเกิดการสูญเสียจากผลของการชะล้างโดยตรง

ปุ๋ยไนโตรเจนที่มีจำหน่ายอยู่ในท้องตลาดนั้นมีอยู่มากมายหลายชนิด ในการทดลองครั้งนี้ได้เลือกใช้ยูเรีย ทั้งนี้เนื่องจากเป็นปุ๋ยชนิดหนึ่งที่นิยมใช้ในสนามกอล์ฟ อีกทั้งยังมีราคาถูกอีกด้วย เมื่อกล่าวถึงยูเรีย (NH_2CONH_2) หรือบางทีเรียกว่า คาร์บาไมด์ (Carbamide) จัดเป็นวัสดุปุ๋ยไนโตรเจนที่ไม่มีไอออนเป็นองค์ประกอบ (Nonionic fertilizer nitrogen materials) ในสหรัฐอเมริกา ยูเรียเป็นปุ๋ยที่มีความสำคัญเพิ่มขึ้นนับตั้งแต่ได้ถูกนำมาใช้เป็นปุ๋ยเคมี โดยยูเรียเตรียมได้จากปฏิกิริยาระหว่างแอมโมเนียไร้ไฮเดรต (Anhydrous NH_3) กับคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ภายใต้ความดันที่สูงมากและมีคะตะลิสต์ที่เหมาะสม ดังสมการต่อไปนี้ (McInnes et.al. 1986)

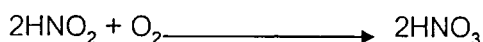
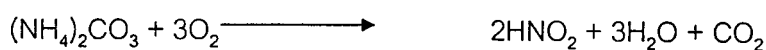


ยูเรียเป็นวัสดุปุ๋ยที่ละลายน้ำได้ดีและก่อให้เกิดสภาพของความเป็นกรด มีไนโตรเจนปรากฏอยู่ในปุ๋ยประมาณ 45 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากมีปริมาณไนโตรเจนที่สูง ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบราคาของไนโตรเจนต่อหน่วยแล้ว ยูเรียจึงจัดเป็นวัสดุปุ๋ยที่มีราคาถูกกว่าบรรดาวัสดุปุ๋ยไนโตรเจนประเภทอื่นๆ ที่เป็นของแข็ง นอกจากนี้ยูเรียมีคุณลักษณะที่ดูดความชื้นจากอากาศได้ดี แต่เมื่อนำปุ๋ยมาผสมกับพวกวัสดุเฉื่อยแล้ว จะทำให้ยูเรียไม่จับกันเป็นก้อนและมีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับการเก็บและการใช้ประโยชน์ได้ต่อไป

เมื่อใส่ปุ๋ยไนโตรเจนลงในดิน ยูเรียจะถูกไฮโดรไลซิสให้กลายเป็นแอมโมเนียมคาร์บอเนตโดยเร็ว ปฏิกิริยาเช่นนี้จะเกิดรวดเร็วขึ้นถ้ามีเอนไซม์ยูรีเอสอยู่ร่วมด้วย ดังสมการ



ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมและมีการถ่ายเทอากาศดี แอมโมเนียมไอออนจะถูกเปลี่ยนแปลงให้เป็นไนเตรตอีกครั้งหนึ่ง ดังสมการ



อิทธิพลของยูเรียเมื่อใส่ลงไปในดินระยะแรกๆ นั้นจะก่อให้เกิดสภาพต่างมีค่า pH ที่สูง แต่อย่างไรก็ตามเมื่อแอมโมเนียมไอออนถูกออกซิไดส์ก็จะเกิดผลตกค้างเป็นกรดในลำดับขั้นตอนสุดท้าย

การเปลี่ยนแปลงของยูเรียไปเป็นรูปแอมโมเนียมและไนเตรต จะใช้เวลาประมาณ 7-14 วัน โดยทั้งนี้ยูเรียอาจสูญหายออกไปโดยอิทธิพลของการชะล้างภายใน 3-4 วัน ภายหลังจากที่ใส่ลงไปในดิน การสูญเสียปุ๋ยไนโตรเจนโดยอิทธิพลของกระบวนการชะล้างนี้จึงมีส่วนก่อให้เกิดปัญหาต่างๆ หรืออาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมติดตามในลำดับต่อมา (McInnes et.al. 1986)

2.4 ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนลงไปในดิน

จากการที่กล่าวมาแล้วในเบื้องต้นว่า ปุ๋ยไนโตรเจนมีคุณสมบัติเป็นปุ๋ยที่ละลายน้ำได้ดี โดยเฉพาะเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยกระบวนการไนตริฟิเคชัน จะมีการเปลี่ยนรูปจากแอมโมเนียม (NH_4^+) ไปเป็นไนเตรต (NO_3^-) ประกอบกับคุณสมบัติของดินนั้นมีอนุภาคเป็นประจุลบจึงดูดยึดไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียม (NH_4^+) ซึ่งมีประจุบวกได้มากกว่า ในขณะที่รูปไนเตรต (NO_3^-) เป็นประจุลบจะถูกดูดยึดได้น้อย ไนเตรต (NO_3^-) จึงเคลื่อนตัวลงสู่ชั้นที่ลึกกว่าของดินและมีโอกาสเคลื่อนตัวลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินได้สูง จนก่อให้เกิดการปนเปื้อนของไนเตรต (NO_3^-) ในชั้นน้ำใต้ดิน ลักษณะการเคลื่อนตัวของไนเตรตในชั้นน้ำใต้ดินได้แสดงรายละเอียดไว้โดยการศึกษาของ Wetselaar et.al. (1972) และพบว่า บริเวณที่ได้รับผลกระทบจากการปนเปื้อนของไนเตรต (NO_3^-) ก็คือ บริเวณที่มีการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนเป็นจำนวนมาก บริเวณที่เป็นดินทราย บริเวณที่ดินมีการระบายน้ำได้ดีประกอบกับมีระดับน้ำใต้ดินอยู่ตื้น บริเวณที่มีระดับความเข้มข้นของของเสียจากสัตว์สะสมอยู่สูง บริเวณที่มีการชลประทาน และบริเวณที่มีความเข้มข้นของน้ำทิ้งจากชุมชนหรือโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น

สำหรับการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ต้องการเน้นถึงบริเวณที่มีระดับน้ำใต้ดินอยู่ตื้น ดังเช่น กรุงเทพมหานคร ซึ่งจากรายงานของ Hartemink et.al. (1996) พบว่าบริเวณที่มีระดับน้ำใต้ดินอยู่ตื้นและมีระดับที่ใกล้เคียงกันนั้น ไนเตรต (NO_3^-) ที่เกิดขึ้นจากผลของกระบวนการชะล้างสามารถแพร่กระจายออกไปจากบริเวณหนึ่งไปยังอีกบริเวณหนึ่งได้ง่าย และยังมีโอกาสแทรกซึมลงสู่แหล่งน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผิวดินที่อยู่บริเวณเดียวกันได้ โดยอาจติดปะปนไปกับน้ำที่ไหลรดต้นหญ้า หรือฝนที่ตกลงมาโดยตรง นอกจากนี้ยังพบว่าในน้ำใต้ดินนั้น การปนเปื้อนของไนเตรต (NO_3^-) ที่มีความเข้มข้นสูงๆ จนเกินขีดความสามารถที่จะยอมรับได้ จะต้องใช้ระยะเวลาไม่ต่ำกว่า 30 ปี ระดับความเข้มข้นของไนเตรต (NO_3^-) จึงจะเจือจางลงมาอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ (Hartemink et.al. 1996)

นอกจากอิทธิพลของการชะล้างแล้ว การเคลื่อนตัวของไนโตรเจนลงสู่แหล่งอื่นๆ ยังอาจเกิดขึ้นได้จากอิทธิพลของปัจจัยหลายประการ เช่น การกัดเซาะ (Erosion) หรือการพัดพา (Runoff) เป็นต้น (Chang, 1996)

โดยเฉพาะอิทธิพลของการกัดเซาะ หมายถึง การสูญเสียส่วนของดินออกจากพื้นที่เดิมโดยอาศัยปัจจัยของลมหรือน้ำ ส่วนการพัดพา หมายถึง การสูญเสียน้ำส่วนเกินออกไปจากทางผิวดิน เมื่อมีฝนตกและอัตราการเกิดฝนนั้นจะเกิดขึ้นมากกว่าอัตราการซบซึมน้ำลงสู่ผิวดิน ทั้ง 2 กระบวนการดังกล่าวนี้ จะก่อให้เกิดการเคลื่อนย้ายไนโตรเจนทั้งในรูปอนินทรีย์ไนโตรเจนที่ละลายน้ำได้ และอินทรีย์ไนโตรเจนไปสู่แหล่งน้ำผิวดิน และยังทำให้เกิดกระบวนการ Eutrophication หรือเกิดการปนเปื้อนในน้ำดื่มได้ นอกจากนี้ยังพบว่า รูปของอนินทรีย์ไนโตรเจนที่ละลายน้ำได้ (NH_4^+ , NO_3^-) จะสูญเสียไปโดยกระบวนการทั้งสองแบบนี้น้อยกว่ารูปของอินทรีย์ไนโตรเจน (โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต กรดนิวคลีอิก) โดยทั่วไปแล้วรูปของอนินทรีย์ไนโตรเจนที่ละลายน้ำได้ (NH_4^+ , NO_3^-) จะสูญเสียออกไปโดยอิทธิพลของกระบวนการชะล้างมากกว่า (Bergsstrom, 1995)

2.5 กระบวนการชะล้าง

กระบวนการชะล้าง (Leaching process) เป็นวิธีการหนึ่งที่ทำให้เกิดการสูญเสียไนเตรตไนโตรเจน (NO_3^- -N) ออกจากดิน ไนเตรต (NO_3^-) เป็นสารที่ละลายน้ำได้ดี จึงสามารถเคลื่อนที่ไปกับน้ำและซบซึมน้ำผ่านชั้นดิน นอกจากนี้ไนเตรต (NO_3^-) ยังแพร่กระจายในน้ำและทำให้ความเข้มข้นของไนเตรต (NO_3^-) แพร่กระจายอย่างทั่วถึง จากผลการศึกษาของ Okajima and Taniyama (1989) ที่ผ่านมามีพบว่า ถ้ามีการเพิ่มปริมาณไนเตรต (NO_3^-) ลงสู่ผิวดินและน้ำในรูปแบบเดียวกันอย่างสม่ำเสมอแล้ว ไนเตรต (NO_3^-) มีแนวโน้มที่จะเคลื่อนที่ลงสู่ด้านล่างของพื้นดินในอัตราเดียวกันกับการเคลื่อนที่ของน้ำ โดยเริ่มต้นนั้นลักษณะของการแพร่กระจายอาจมีลักษณะเป็นแนวแคบๆ หรืออาจมีรูปร่างเป็นแถบ หรือเป็นคลื่นก็ได้ น้ำที่เคลื่อนที่ลงสู่ด้านล่างอาจถูกดึงดูดขึ้นไปใช้ประโยชน์ หรือเคลื่อนที่ลงสู่ด้านล่างที่ลึกมากกว่าต่อไป ความเข้มข้นของไนเตรตที่มีลักษณะการแผ่เป็นคลื่นนั้น อาจแพร่กระจายลงไปในแนวตั้งตรงและเจือจางลงเมื่อผสมกับน้ำในดิน โดยปกติลักษณะการแพร่กระจายความเข้มข้นในดินนี้จะมีรูปแบบเป็นสมมาตร แต่ในสภาวะของดินกลับพบว่า คลื่นของความเข้มข้นของไนเตรตนั้นจะไม่อยู่ในลักษณะสมมาตรในขณะที่เกิดการชะล้างร่วมกับการเกิดกระบวนการต่อไปนี้ขึ้นเป็นพักๆ กล่าวคือ การมีฝนตก การระเหย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Evaporation) การกลายเป็นไอ (Transpiration) โดยจะเกิดการแพร่กระจายทั้งด้านล่างและด้านบนของคลื่น ถ้ามีการไหลซึมอย่างต่อเนื่องแล้วคลื่นของความเข้มข้น (Wave Concentration) จะมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปจนกลายเป็นคลื่นที่เยื้องลงสู่ด้านล่าง

นอกจากนี้จากรายงานของ Jordan et.al. (1994) ยังพบว่า ถ้าส่วนผสมของเนื้อดินไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (เช่น Clay Pan , Sand Layer หรือ Bedrock) รวมอยู่ด้วย การระบายน้ำในดินก็จะมีลักษณะที่แตกต่างไปจากเดิม ทั้งนี้จะมีสาเหตุมาจากการเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพของดินเป็นหลัก เนื่องจากชั้น B Horizon นั้นมีแนวโน้มการเกิดการสะสม Clay อยู่ภายในกระบวนการเกิดดิน เป็นต้น

ดังที่กล่าวถึงรายละเอียดไว้ในตอนต้นแล้วว่า ไนเตรต (NO_3^-) นั้นสามารถเคลื่อนที่โดยอาศัยกระบวนการชะล้างผ่านชั้นดินในอัตราเดียวกับน้ำที่ละลายตัวอยู่ แต่สำหรับดินในบางแห่งก็อาจมีการเบี่ยงเบนเกิดขึ้นได้ เช่น Kinjo and Pratt (1971) ได้ทำการศึกษาดินกรดบางตัวในประเทศเม็กซิโกและอเมริกาใต้กลับพบว่า ลักษณะการดูดซับไนเตรตในดินจะไปด้านการเคลื่อนที่ของไนเตรต (NO_3^-) ที่ติดไปกับน้ำที่ละลายนั้น แต่ผลจากคุณสมบัติของดินในแถบนี้พบว่า มีความเป็นไปได้ที่ไนเตรต (NO_3^-) จะเคลื่อนที่ได้รวดเร็วกว่าน้ำ เนื่องจากการเกิด Anion exclusion หรือ Negative adsorption โดยเฉพาะประจุลบของไนเตรตไอออน (NO_3^-) จะถูกผลักโดยประจุลบของดิน และถูกดันออกไปให้เกิดการเคลื่อนที่ไวดรวดเร็วกว่าชั้นน้ำ

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการสูญเสียโดยการชะล้าง

สิ่งที่มีอิทธิพลต่อการสูญเสียไนเตรตไนโตรเจน (NO_3^-) โดยกระบวนการชะล้าง คือ การจัดการของการใช้ปุ๋ย การปลูกพืชคลุมดิน ลักษณะของชั้นดิน และสภาพอากาศ เป็นต้น (Baht et al. 1983)

ในส่วนของการจัดการการใช้ปุ๋ยนั้น จะต้องมีการควบคุมการใช้ประโยชน์ให้อยู่ในอัตราที่เหมาะสม โดยไม่ใส่เป็นจำนวนมากหรือน้อยเกินไป และปุ๋ยที่ใช้นั้นจะต้องมีประสิทธิภาพ โดยพืชสามารถดึงดูดธาตุอาหารในปุ๋ยไปใช้ได้ ในอัตราส่วนที่สูงมากกว่าการสูญเสียธาตุอาหารเหล่านั้น

การปลูกพืชคลุมดินจะช่วยลดการสูญเสียไนเตรต (NO_3^-) ได้ดีกว่าสภาพพื้นที่ว่างเปล่า หรือไม่มีการเพาะปลูกใดๆ แต่ในขณะเดียวกันการมีพืชปลูกอยู่บนดินนั้น ก็จะเพิ่มหรือช่วยการเกิดกระบวนการ Denitrification ให้รวดเร็วยิ่งขึ้น

ในดินที่มีเนื้อละเอียด อัตราการเกิดกระบวนการชะล้างจะน้อยกว่าดินที่มีเนื้อหยาบ ทั้งนี้เนื่องจากสภาพของดินที่มีเนื้อละเอียดนั้นจะมีช่องว่างระหว่างอนุภาคปรากฏอยู่เล็กกว่าดินเนื้อหยาบ จึงส่งผลทำให้อัตราการซึมผ่านของน้ำเกิดขึ้นได้ช้ากว่า

สภาพอากาศเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการชะล้างของไนเตรต (NO_3^-) และการซึมของน้ำผ่านชั้นดิน กระบวนการชะล้างจะเกิดขึ้นได้มากที่สุดในช่วงหน้าฝน โดยเฉพาะในกรณีที่ฝนตกมามากจนเกินความสามารถของชั้นดินในการเก็บน้ำไว้ได้ กระบวนการชะล้างก็จะเกิดขึ้นรวดเร็ว และยิ่งถ้าดินนั้นเป็นดินทรายและมีฝนตกตลอดปี การชะล้างก็จะเกิดขึ้นได้ตลอดปี อีกเช่นเดียวกัน

2.6 โทษของไนเตรตที่มีต่อสิ่งมีชีวิต

จากรายงานของ Bauder et.al. (1993) พบว่าปัญหาที่เกิดขึ้นจากการปนเปื้อนของไนเตรต (NO_3^-) ลงสู่ชั้นน้ำใต้ดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าการปนเปื้อนนั่นลงสู่แหล่งน้ำบริโภคแล้ว จะก่อให้เกิดปัญหาต่อมนุษย์ที่ได้บริโภคน้ำ โดยเฉพาะถ้าน้ำที่ใช้บริโภคมีปริมาณของไนเตรต (NO_3^-) สะสมอยู่มากเกินไปก็จะก่อให้เกิดอาการของโรค Methemoglobinemia หรือที่เรียกอีกอย่างว่า "Blue Baby Syndrome" ปรากฏเป็นอาการตัวเขียวในเด็ก โดยที่อาการของโรคนี้ไม่ได้เกิดจากไนเตรตโดยตรง แต่เกิดขึ้นเมื่อไนเตรต (NO_3^-) ถูกรีดิวซ์ให้กลายเป็นไนไตรท์ (NO_2^-) โดยแบคทีเรียที่พบอยู่ในระบบย่อยอาหารของมนุษย์และสัตว์ ต่อจากนั้นไนไตรท์ (NO_2^-) จะไปทำหน้าที่ออกซิไดส์เหล็ก (Iron) ในโมเลกุลของฮีโมโกลบิน (Hemoglobin) จากคุณลักษณะของ $\text{Fe}[\text{II}]$ ให้กลายเป็น $\text{Fe}[\text{III}]$ ($\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$) และก่อให้เกิดเป็นสารที่เรียกว่า Methemoglobin ซึ่งจะไปขัดขวางการทำงานของขนส่งออกซิเจนของฮีโมโกลบิน (Hemoglobin) และเป็นผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีผิวของทารกเป็นสีน้ำเงิน โรค Methemoglobinemia ดังกล่าวเกิดกับทารกที่ได้รับปริมาณของไนเตรต (NO_3^-) มากเกินไปในช่วง 1-3 เดือนมากกว่าวัยอื่นๆ ทั้งนี้เพราะภายหลังจากเมื่อทารกมีอายุ 3-6 เดือนแล้ว ความเป็นกรดในกระเพาะอาหารของร่างกายจะเพิ่มขึ้นจนถึงระดับที่พอเพียงที่จะยับยั้งกิจกรรมของแบคทีเรียที่จะเปลี่ยนรูปไนเตรต (NO_3^-) ไปเป็นไนไตรท์ (NO_2^-) เพราะฉะนั้นกระทรวงสาธารณสุข (2535) จึงได้กำหนดมาตรฐานน้ำดื่มไว้อย่างชัดเจนว่าให้มีปริมาณของไนเตรตในน้ำไม่เกิน 5.0 มก./ลิตร จึงจะสามารถใช้ดื่มเพื่อการบริโภคได้

สำหรับผลกระทบด้านอื่นๆของไนเตรต (NO_3^-) ที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพของมนุษย์ คือ สามารถที่จะก่อให้เกิดเป็นไนโตรซามีน (Nitrosamine ; $\text{R}_2\text{N}-\text{N}=\text{O}$, R = Carbon group เช่น CH_3) ซึ่งถือได้ว่าเป็นสารก่อมะเร็ง โดยเฉพาะไนโตรซามีนนั้นเกิดขึ้นมาจากปฏิกิริยาระหว่าง 2° และ 3° อามีน (Amine) ($\text{R}_2\text{NHR}_3\text{N}$) กับ Nitrous Acid Anhydride (N_2O_3) ภายใต้สภาวะที่มีความเป็นกรดสูง ($\text{pH} < 4.0$) นอกจากนี้ไนโตรซามีนยังก่อให้เกิดสภาพเนื้องอกในสัตว์ทดลองได้โดยตรง (Robertson et.al. 1982)

2.7 การแก้ไขปัญหการปนเปื้อนของไนเตรตในสิ่งแวดล้อม

ปัญหาที่เกิดขึ้นจากผลการปนเปื้อนของไนเตรต (NO_3^-) ในชั้นน้ำใต้ดินนั้น สาเหตุหลักจะเกิดจากการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในปริมาณที่มากเกินไป ดังนั้นจึงควรมีการจัดการใช้ปุ๋ยในปริมาณที่เหมาะสม โดยไม่ใส่ให้น้อยเกินไปจนไม่เพียงพอต่อความต้องการของต้นหญ้า หรือมากเกินไปจนเกินความต้องการของหญ้า อีกทั้งยังเป็นการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายอีกด้วย แต่วิธีการหลีกเลี่ยงที่จะไม่ให้มีการใช้ปุ๋ยในปริมาณที่มากเกินไปนั้นค่อนข้างเป็นไปได้ยากลำบาก ซึ่งสืบเนื่องมาจากปุ๋ยไนโตรเจนละลายน้ำได้ดี เมื่อใส่ลงไปดินจึงมีโอกาสดูสูญหายไปโดยการชะล้างได้ง่าย โดยทั่วไปแล้วไม่ต่ำกว่าครึ่งหนึ่งของปุ๋ยที่ใส่ลงไปดินเกิดการสูญหายไปเปล่าๆ โดยกระบวนการเช่นนี้ ดังนั้นวิธีการปฏิบัติในยุคปัจจุบันจึงพยายามพัฒนาหาวิธีการที่ทำให้สารประกอบไนโตรเจนสามารถปลดปล่อยธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืชออกมาใช้ประโยชน์ได้อย่างช้าๆ ในขณะที่ปุ๋ยอยู่ในดิน ซึ่งจะเป็นวิธีที่ดีที่สุดวิธีหนึ่งที่จะช่วยป้องกันไม่ให้เกิดการสูญเสียดูไนโตรเจนเมื่ออยู่ในดินเร็วเกินไป การค้นหาวิธีที่จะชะลอการปลดปล่อยหรือละลายตัวออกมาของปุ๋ยไนโตรเจนนั้น ในสภาพปัจจุบันได้มีการศึกษากันอย่างกว้างขวาง และมีช่องทางที่จะนำมาใช้ให้เป็นประโยชน์ได้ดังนี้ (Bundy and Bremner, 1973)

2.7.1 วิธีการ Control Release

วิธีการเช่นนี้ ได้แก่ การแสวงหาสารประกอบของไนโตรเจนที่ละลายน้ำได้ยากหรือละลายได้น้อย (Slowly soluble compound) (ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารพวกอินทรีย์ไนโตรเจน เช่น Urea-Formaldehyde และ Urea Acetaldehyde เป็นต้น) หรือไม่ก็เคลือบสารประกอบไนโตรเจนที่ละลายง่ายด้วยสารเคลือบที่ไม่ละลายน้ำ หรือสารที่น้ำซึมผ่านเข้าไปไม่ได้ และต้องมีการรอจนกระทั่งสารเคลือบที่ห่อหุ้มนั้นแตกสลายตัวออกไปเสียก่อน ปุ๋ยที่อยู่ข้างในจึงจะสามารถละลายตัวออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืชได้ ถ้าสามารถควบคุมความหนาของสารเคลือบให้แตกต่างกันด้วยแล้ว ระยะเวลาที่ปลดปล่อยปุ๋ยออกมาให้เป็นประโยชน์ต่อพืช ก็จะเร็วหรือช้าบ้างแตกต่างกันออกไปซึ่งสามารถบังคับให้พอเหมาะกับระยะเวลาที่พืชต้องการได้ นอกจากนั้นยังมีวิธีการที่จะห่อหุ้มเม็ดปุ๋ยที่ละลายน้ำได้ง่าย ด้วยสารพวกที่ยอมให้น้ำซึมผ่านได้อย่างช้าๆ และน้ำจะซึมผ่านเข้าไปละลายปุ๋ยภายในเม็ดที่ห่อหุ้มอยู่นั้น ปุ๋ยที่ละลายเป็นน้ำก็ยังคงขังตัวอยู่ภายในเม็ดปุ๋ย แล้วจึงค่อยๆ ซึมผ่านผนังสารเคลือบนั้นออกมาครั้งละน้อยๆ เป็นอัตราที่เหมาะสมกับความต้องการของพืช สารเคลือบเหล่านี้ได้แก่ พวก Wax , Coating , Polymer coating และ Sulfur coating เป็นต้น (McLaughlin, 1994)

แต่อย่างไรก็ตามปุ๋ยที่เป็นประโยชน์อย่างช้าๆ เช่นนี้ ปัจจุบันยังคงมีราคาแพงมาก ทั้งนี้เนื่องจากมีค่าโซลูบิลิตี้ในการผลิตสูง ถ้าในอนาคตสามารถลดต้นทุนในการผลิตให้มีราคาที่ถูกลงกว่า

ในขณะที่เป็นอยู่ในตอนนี้ได้แล้ว การใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในประเภทนี้จะเป็นที่ยอมรับของเกษตรกรมากขึ้น การใช้ปุ๋ยย่อมมีประสิทธิภาพและช่วยประหยัดต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายอื่นๆ ได้อย่างแท้จริง

2.7.2 วิธี Protected Availability

วิธีนี้ใช้หลักการป้องกันเพื่อไม่ให้เกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันขึ้นกับปุ๋ยไนโตรเจน เนื่องจากเมื่อมีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนลงไปในดิน จะมีการเปลี่ยนแปลงจากรูปของแอมโมเนียมไนโตรเจน (NH_4^+) ไปเป็นไนเตรตไนโตรเจน (NO_3^-) เราพบว่าถ้ารูปของแอมโมเนียมไนโตรเจน (NH_4^+) ยังสามารถคงตัวอยู่ภายในดินได้โดยไม่ถูกออกซิไดส์ (Oxidized) หรือไนตริไฟด์ (Nitrified) ให้กลายเป็นไนเตรตไนโตรเจน (NO_3^-) แล้ว ก็จะถูกดูดซับอยู่ในดินได้เป็นระยะเวลาที่นาน และการสูญเสียออกไปโดยการชะล้างย่อมเกิดขึ้นได้ยาก ดังนั้นถ้าห่อหุ้มเม็ดปุ๋ยด้วยสารพวกไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์แล้ว (Nitrification Inhibitors) ก็จะเป็นการช่วยลดการสูญเสียไนโตรเจนในรูปของไนเตรตไนโตรเจน (NO_3^-) ได้เป็นอย่างดี สารพวกนี้ได้แก่ 2-Chloro-6-Trichloromethyl Pyridine (มีชื่อทางการค้าว่า N-Serve หรือ Nitrapyrin), Dicyanodiamine, Cyanoguanidine เป็นต้น (Ambenger, 1981 : Ashworth, 1986. : Davies and Williams, 1995)

จากการศึกษาที่ผ่านมาของ Ambenger (1981) พบว่าเมื่อมีการใช้ในตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ (Nitrification Inhibitors) ใส่ลงไปในดินร่วมกับปุ๋ยแล้ว เมื่อระยะเวลาผ่านไปสามารถเปรียบเทียบค่ารับของการทดลอง (Treatment) ระหว่างการใส่และไม่ใส่ไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ ได้ผลที่แตกต่างกันเป็นอย่างยิ่ง จากการศึกษาเรื่องดังกล่าวของ Bundy and Bremner, (1974) จะใช้ปุ๋ยที่แตกต่างกัน 2 ตัว คือ ปุ๋ยคอก และปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต (Ammonium sulfate ; $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) และจะสังเกตได้ว่า เมื่อระยะเวลาผ่านไปประมาณ 1 สัปดาห์ ค่ารับของการทดลองที่ใส่เฉพาะปุ๋ยอย่างเดียวโดยไม่เติมไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ จะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปของไนโตรเจนเป็นไนเตรตไนโตรเจน (NO_3^-) จนหมด ในขณะที่ค่ารับของการทดลอง (Treatment) ที่มีการใส่ร่วมกันระหว่างปุ๋ยไนโตรเจนและไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์นั้น จะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปของไนโตรเจนเป็นไนเตรตไนโตรเจน (NO_3^-) เมื่อระยะเวลาผ่านไปถึง 3 สัปดาห์ จึงส่งผลทำให้พืชสามารถดึงดูดปุ๋ยไนโตรเจนไปใช้ประโยชน์ได้ทัน และลดการสูญเสียไนเตรตไนโตรเจน (NO_3^-) โดยอิทธิพลของกระบวนการชะล้างได้ ลักษณะของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเช่นนี้สามารถยืนยันได้จากผลการศึกษาอีกเรื่องหนึ่งของ Pollpipatana (1992) โดยในครั้งนี้ทำการเปรียบเทียบระหว่างดิน 2 ชนิด คือ ดิน Wahiawa และดิน Paaloa และศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงรูปของแอมโมเนียมไนโตรเจน (NH_4^+) และไนเตรตไนโตรเจน (NO_3^-) กับระยะเวลา เมื่อมีค่ารับของการทดลองแตกต่างกันก็ให้ผลในทำนองเดียวกัน ซึ่งอาจสรุปได้ว่า เมื่อมีการใส่ปุ๋ยลงไปในดินเพียงอย่างเดียว พบว่าเมื่อระยะเวลาผ่านไปปริมาณของแอมโมเนียมไนโตรเจนมีแนวโน้มที่ลดลง ในขณะที่ปริมาณไนเตรตมีเพิ่มขึ้นจากเดิมหลายเท่าตัว แต่ถ้ามีการใส่ปุ๋ยร่วมกับสารยับยั้งไน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์แล้ว ปริมาณแอมโมเนียในไนโตรเจนจะลดลงไม่มากนัก ในขณะที่เดียวกัน ปริมาณไนเตรตไนโตรเจนก็ไม่ได้เพิ่มขึ้นมากอีกเช่นเดียวกัน

สำหรับวิธีการศึกษาการแก้ไขปัญหการปนเปื้อนของไนเตรตไนโตรเจน (NO_3^-) ที่เกิดขึ้นจาก ผลของการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในครั้งนี้ จะกระทำโดยใช้วิธี Protected Availability ซึ่งมีไนตริฟิเคชัน อินฮิบิเตอร์ (Nitrification Inhibitors) เป็นกุญแจที่สำคัญในการแก้ไขปัญหานั้น รายนละเอียดต่อไปนี้จะกล่าวถึงคุณสมบัติ และกลไกของไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ในการยับยั้งการเกิดกระบวนการ ไนตริฟิเคชันที่เกิดขึ้นภายในดินโดยตรง

2.8 ไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ (Nitrification Inhibitor ; NIs)

ไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ได้เริ่มต้นมีการค้นพบขึ้นมาโดย Goring (1962a) แต่ยังไม่ได้มีการนำ เข้ามาสู่การขยายทางตลาด จนกระทั่งเมื่อระยะเวลาผ่านไป 10 ปี ความสนใจในประสิทธิภาพของ การใช้ปุ๋ยไนโตรเจนมีมากขึ้น จึงมีการนำมาปรับปรุงคุณภาพอีกครั้งหนึ่ง โดยความสนใจดังกล่าวได้มุ่งเน้นถึงการลดผลการปนเปื้อนของไนเตรตที่เกิดขึ้นมาจากผลของการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนที่มี ต่อแหล่งน้ำหรือสิ่งแวดล้อมซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพและการเกิดกระบวนการ Eutrophication

ไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์เป็นสารเคมีที่มีหลายประเภท เช่น พวก Metal binding , Azide , Disulfide หรืออาจเป็นพวกยาปราบศัตรูพืชก็ได้ ไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์จึงถูกจัดเป็นพวก Bacteriostat กล่าวคือมีคุณสมบัติไปช่วยยับยั้งการเปลี่ยนแปลงรูปของไนโตรเจนจากแอมโมเนียใน ไนโตรเจน (NH_4^+) ไปเป็นไนเตรตไนโตรเจน (NO_3^-) โดยจะเข้ายับยั้ง (Suppress) การทำงานของ แบคทีเรีย (*Nitrosomonas*) ที่ช่วยในการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน (Nitrification) นอกจากนี้ใน สภาพของดินโดยทั่วไปนั้นพบว่าไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียในไนโตรเจน (NH_4^+) สามารถถูก ดูดซับโดยอนุภาคดินได้ดีโดยเฉพาะในบริเวณ Cation exchange ในขณะที่ไนเตรต (NO_3^-) นั้นจะ เกิดการเคลื่อนที่ได้สูงกว่าภายในคอลัมน์ดิน (Soil column) เพราะฉะนั้นไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ จึงสามารถช่วยลดสภาพการเกิดการชะล้างของไนเตรต (NO_3^-) โดยพยายามทำให้ไนเตรตอยู่ในรูป ที่เคลื่อนที่ได้น้อยที่สุด ซึ่งผลที่เกิดขึ้นติดตามมาก็คือ การปรากฏตัวและสะสมอยู่ในรูปของ แอมโมเนีย (NH_4^+) เป็นส่วนใหญ่ (Bremner and Yeomans, 1986)

2.8.1 บทบาทของ Nitrification Inhibitors

กระบวนการไนตริฟิเคชันจากแอมโมเนีย (NH_4^+) ไปเป็นไนเตรต (NO_3^-) นั้น เป็นกระบวนการ ที่ให้พลังงาน ในกระบวนการดังกล่าวจึงมีการขนส่งอิเล็กตรอนทั้งหมดจำนวน 8 ตัว โดยมีการเปลี่ยนแปลงวาเลนซ์ (Valence) จาก -3 เป็น +5 นอกจากนี้กระบวนการจะเกิดขึ้นได้จำเป็น จะต้องอาศัยแบคทีเรียซึ่งเป็นพวก Chemosynthetic Autotrophs แบคทีเรียพวกนี้จะได้รับพลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานจาก Metabolic activity ของตัวเอง โดยพลังงานจะถูกเก็บไว้อยู่ในรูปของสารพลังงานสูง ATP และใช้สำหรับการผลิต NAD ซึ่งแบคทีเรียจะใช้เป็นตัวตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) โดยตรง เพราะฉะนั้นสารเคมีที่มีคุณสมบัติที่จะไปยับยั้งกระบวนการดังกล่าวนี้จึงถูกเรียกว่าเป็น "Nitrification Inhibitors" (Hauck. 1980)

2.8.2 กลวิธีของการแปรสภาพไนโตรเจนโดยกระบวนการไนตริฟิเคชัน

ในการแปรสภาพจากแอมโมเนียม (NH_4^+) ไปเป็นไนไตรท์ (NO_2^-) นั้น ถ้าเกิดขึ้นในสภาวะที่เหมาะสมแล้ว แอมโมเนียม (NH_4^+) ทั้งหมดจะถูกเพิ่มออกซิเจนให้เป็นไนไตรท์ (NO_2^-) และไนเตรต (NO_3^-) ตามลำดับ ในขั้นตอนของการเพิ่มออกซิเจนเพื่อให้เป็นไนไตรท์ (NO_2^-) นั้น จะต้องมีการเพิ่มจำนวนอิเล็กตรอนถึง 6 ตัว ทั้งนี้เพราะออกซิเดชันสเตต (Oxidation state) ของแอมโมเนียม (NH_4^+) เท่ากับ -3 และของไนไตรท์ (NO_2^-) เท่ากับ +3 ในขั้นตอนระหว่างกลางจาก แอมโมเนียม (NH_4^+) ถึงไนไตรท์ (NO_2^-) นี้ เป็นที่คาดการณ์ว่าจะมีสารบางชนิดเกิดขึ้นก่อน และสารที่สงสัยกันมากที่สุด คือ Hydroxylamine (NH_2OH) ทั้งนี้ด้วยเหตุผล 2 ประการ กล่าวคือ

1) เอนไซม์หรือจุลินทรีย์สามารถเพิ่มออกซิเจนให้แก่ Hydroxylamine ได้ ทั้งๆ ที่สารตัวนี้มีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นมีสมการดังนี้



2) ในขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงจากแอมโมเนียม (NH_4^+) ไปเป็นไนไตรท์ (NO_2^-) นั้น ถ้าใช้ในตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ เพื่อให้ปฏิกิริยาหยุดลงจะสามารถทดสอบหา Hydroxylamine ได้

ด้วยเหตุผล 2 ประการดังกล่าว จึงมีผู้เสนอว่า สารเคมีตัวนี้ (Hydroxylamine) จัดเป็น "Intermediate product" ของกระบวนการในขั้นนี้ (Meisinger and Randall. 1980) แต่อย่างไรก็ตาม มีเหตุผลที่ต่อต้านข้อเสนอดังกล่าวนี้นี้ร่วมด้วย คือ

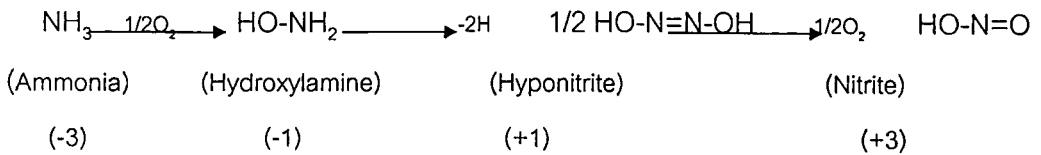
1) Hydroxylamine ถูกเพิ่มออกซิเจนขึ้นอย่างรวดเร็วจนกลายสภาพไปเป็นไนเตรตจนหมด เพราะฉะนั้นไม่ควรปรากฏอยู่ได้ถึงแม้ในช่วงระยะเวลานั้นๆ

2) Hydroxylamine เป็นแหล่งพลังงานชนิดหนึ่ง ซึ่งจุลินทรีย์ต้องใช้เอนไซม์ชนิดอื่นเพื่อกระตุ้นการเพิ่มออกซิเจนแก่แอมโมเนียม (NH_4^+)

3) เอนไซม์ดังกล่าวถูกสังเคราะห์ขึ้นมากภายในเซลล์ก่อนเป็นลำดับแรก

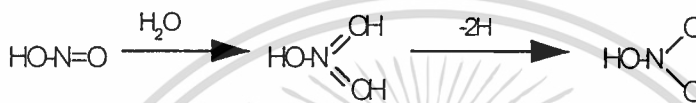
4) Hydroxylamine เกิดขึ้นภายในเซลล์ ไม่ได้เกิดขึ้นนอกเซลล์ และผลของการเกิดขึ้นเช่นนี้สามารถพิสูจน์ได้โดยใช้สารยับยั้งบางชนิดเท่านั้น

นอกจากนี้ยังมีผู้เสนอวิถี (Pathway) ของการแปรสภาพจากแอมโมเนียม (NH_4^+) ไปเป็นไนไตรท์ (NO_2^-) ดังนี้ (Frederick. 1956)



Hyponitrite เป็นสารที่ไม่คงทนจะแปรสภาพต่อเนื่องไปอย่างรวดเร็ว และไม่ปรากฏว่าจุลินทรีย์พวกนี้สามารถเพิ่มเติมออกซิเจนให้เป็นไนไตรท์ได้ ดังนั้นการใส่สารดังกล่าวซึ่งเปรียบเสมือนเป็น Intermediate ในที่นี้จึงอาจจะยังไม่สมควรเท่าใด และที่ใส่ไว้ก็เพื่อต้องการให้การลดอิเล็กตรอนเป็นไปตามขั้นตอนที่ 2 และตามที่คาดว่าจะควรจะเป็นเท่านั้น

ในระยะภายหลังจากที่เกิดไนไตรท์ขึ้นมาแล้ว *Nitrobacter* จะเพิ่มออกซิเจนต่อไปเป็นไนเตรตตามลำดับ ดังนี้



กระบวนการดังกล่าวเกิดขึ้นโดยอาศัยเอนไซม์ที่กระตุ้นกระบวนการ Dehydrogenation และอาจเกิดสารประกอบที่ปรากฏในขั้นตอนที่ 2 แต่ไม่คงทน ซึ่งจะถูกเปลี่ยนแปลงให้เป็นไนเตรตโดยทันที

จากการศึกษาที่ผ่านมาของ Ashworth et.al. (1980) พบว่าสารประกอบหลายๆ ตัวสามารถทำหน้าที่ในการยับยั้งการเจริญเติบโต หรือยับยั้งกิจกรรมของ Nitrifying organisms โดยก่อให้เกิดสภาวะอย่างใดอย่างหนึ่งดังต่อไปนี้ เกิดสภาพสิ่งแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ การกระตุ้นให้เกิดการเจริญเติบโตของ Competitive microorganism การเข้าทำลายเนื้อเยื่อและเปลี่ยนแปลงโครงสร้างต้นเซลล์ของจุลินทรีย์ (Ultrastructure) การเข้ารบกวนกระบวนการ Reductive assimilation ของคาร์บอนไดออกไซด์ การรบกวนการหายใจ หรือกระบวนการ Metabolic อื่นๆ ของจุลินทรีย์ เป็นต้น

2.8.3 กลไกในการยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชัน โดยไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์

กลไกในการยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันโดยไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์นั้น อาจแบ่งแยกออกได้อย่างกว้างๆ ดังต่อไปนี้

1) การยับยั้งกระบวนการ Ammonium Oxidation

การออกซิเดชันจาก Ammonium เพื่อกลายเป็น Hydroxylamine จะเกี่ยวข้องกับโลหะทองแดง (Cu^{2+}) ทั้งนี้เพราะทองแดง (Cu^{2+}) เป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ Cytochrome Oxidase และ Oxygenase ซึ่งถือว่าเป็นเอนไซม์ที่สำคัญสำหรับทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยา ไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ (Nitrification Inhibitors) บางตัว เช่น Allylthiourea, Diethyldithiocarbamate และ Ethylxanthate จะทำหน้าที่เป็นตัวยับยั้งทองแดงเอนไซม์ ดังนั้นจึงมีผลเข้ายับยั้งกระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การ Ammonium Oxidation ร่วมด้วย นอกจากนี้ยังพบว่า Thiourea และ Allylthiourea จะไปยับยั้งการขยายพันธุ์ของแบคทีเรีย *Nitrosomonas* โดย Allylthiourea จะยับยั้งในขั้นตอนของ Ammonium Oxidation เท่านั้น แต่ไม่ยับยั้งในขั้นตอนของ Hydroxylamine Oxidation (Meisinger and Randall, 1980) (ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดในหัวข้อต่อไป)

2) การยับยั้งกระบวนการ Hydroxylamine Oxidation

กระบวนการ Oxidation ของ Hydroxylamine จัดเป็นปฏิกิริยา Dehydrogenation ซึ่งมีการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนผ่านห่วงโซ่ Flavinprotein Cytochrome Electron Transport ดังนี้

Hydroxylamine $\longrightarrow$ Flavin $\longrightarrow$ cyt b $\longrightarrow$ cyt c $\longrightarrow$ cyt a $\longrightarrow$ O₂

ผลิตภัณฑ์ของกระบวนการนี้เชื่อว่าเป็น Nitroxy

โดยทั่วไปจุลินทรีย์ชนิด *Nitrosomonas* ประกอบไปด้วย Cytochrome P-450 และ Cytochrome P-460 คุณสมบัติของ Cytochrome 2 ตัวนี้ สามารถเชื่อมต่อเข้ากับคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ได้ ไนตริไฟเคชันอินฮิบิเตอร์บางตัว เช่น Hydrazine จึงสามารถยับยั้งกระบวนการ Oxidation ของ Hydroxylamine ได้ และจะออกซิไดส์ตัวเองเพื่อกลายสภาพมาเป็นผลิตภัณฑ์ (Product) ที่ไม่สามารถพิสูจน์ได้ (Meisinger and Randall, 1980)

3) การยับยั้งกระบวนการ Nitrite Oxidation

กระบวนการ Nitrite Oxidation เกิดขึ้นโดยแบคทีเรีย *Nitrobacter* และเกี่ยวข้องกับระบบ Cytochrome Electron Carrier ในกระบวนการดังกล่าวจะมีปฏิกิริยาออกซิเดทีฟฟอสฟอริเลชัน (Oxidative Phosphorylation) เกิดขึ้น ผลที่ได้ก็คือการเกิดพลังงาน 1 ATP/1 Nitrite ระบบนี้โดยทั่วไปเรียกกันว่า Nitrite Oxidase และจะเกี่ยวข้องกับกระบวนการหายใจของจุลินทรีย์โดยตรง ไนตริไฟเคชันอินฮิบิเตอร์บางตัว เช่น Chlorate จึงทำหน้าที่หลายๆ อย่าง เช่น ยับยั้งการทำงานของ Nitrite Oxidase ขัดขวางการขยายพันธุ์ของ *Nitrobacter* และส่งผลทำให้แบคทีเรียไม่สามารถจะออกซิไดส์ไนไตรท์ได้ต่อไป (Bartlett, 1981)

นอกจากกลไกต่างๆ ที่กล่าวถึงมาแล้ว ไนตริไฟเคชันอินฮิบิเตอร์ยังอาจทำหน้าที่อื่นๆ เพิ่มเติมอีก เช่น ทำให้เกิดสภาวะที่เป็นกรดมากเกินไปในดิน จึงไม่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของแบคทีเรีย เป็นต้น

นอกจากนี้ไนตริไฟเคชันอินฮิบิเตอร์ยังสามารถจำแนกออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

2.8.4 สารเคมีที่เป็น Nonspecific Inhibitors

สารเคมีประเภทนี้จะส่งผลต่อกระบวนการไนตริไฟเคชัน (Nitrification) ซึ่งอาจมีผลกระทบ

ต่อการเจริญเติบโตของ Nitrifiers และการแพร่ขยายพันธุ์ของจุลินทรีย์ โดยก่อให้เกิดสภาวะสิ่งแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของแบคทีเรีย เป็นต้น

นอกจากนี้ไนตริไฟเคชันอินฮิบิเตอร์ยังอาจทำหน้าที่อื่นๆ เพิ่มเติมอีก เช่น ทำให้เกิดสภาวะที่เป็นกรดมากเกินไปในดิน จึงไม่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของแบคทีเรีย เป็นต้น

นอกจากนี้ไนตริไฟเคชันอินฮิบิเตอร์ยังอาจทำหน้าที่อื่นๆ เพิ่มเติมอีก เช่น ทำให้เกิดสภาวะที่เป็นกรดมากเกินไปในดิน จึงไม่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของแบคทีเรีย เป็นต้น

แวดล้อมที่ไม่เหมาะสม ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อโครงสร้างต้นเซลล์ของจุลินทรีย์ หรือรบกวนกระบวนการหายใจและเมตาบอลิซึมต่างๆ จากกลไกการยับยั้งต่างๆ ที่กล่าวถึงมาแล้วนั้น ยังพบอีกว่า ยาปราบศัตรูพืชหลายๆตัวมีคุณสมบัติที่จะเป็นไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ได้ โดยส่งผลกระทบต่อกระบวนการไนตริฟิเคชันของจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ภายในดิน ซึ่งอาจจะเป็นพิษต่อหมู่ Nitro และ Nitroso ของจุลินทรีย์เหล่านั้น

ตารางที่ 2.1 แสดงรายละเอียดให้เห็นถึงยาปราบศัตรูพืชบางตัวที่สามารถแสดงคุณสมบัติเป็นไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ได้ จากตารางดังกล่าวจะทำให้ทราบถึงผล กระบวนการที่มีต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ ที่มีส่วนช่วยในการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน และจะส่งผลให้กระบวนการนั้นถูกยับยั้งได้โดยตรง

สารประกอบทางเคมีบางตัวที่มีโครงสร้างทางเคมีคล้ายคลึงกัน อาจส่งผลกระทบต่อกระบวนการไนตริฟิเคชันที่ไม่เหมือนกันได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของหมู่แทนที่ที่แตกต่างกันออกไป เช่น Dithiocarbamate , Dyrae (Triazine) , Maneb (Dithiocarbamate) , Terrazole (Thiadiazole) จะยับยั้งกระบวนการ Ammonium Oxidation แต่ไม่ยับยั้งกระบวนการ Nitrite Oxidation ในขณะที่ Eptum ซึ่งเป็นสารที่มีโครงสร้างคล้ายกันกลับแสดงความสามารถยับยั้งได้ทั้งกระบวนการ Ammonium Oxidation และ Nitrite Oxidation เป็นต้น

ตารางที่ 2.1 ยาปราบศัตรูพืชที่แสดงคุณสมบัติเป็น Nitrification Inhibitors ได้ภายในดิน

ชื่อสามัญและประเภท	ชื่อทางเคมี	ผลด้านความเป็นพิษ
Chlorodane (insecticide)	1,2,4,5,6,7,8,8-octachloro-2,3,3a,4,7,7a-hexahydro-4,7-methanoindane	NO ₂ ⁻ oxidation
DDD (insecticide)	1,1-dichloro-2,2-bis(p-chlorophenyl)	NO ₂ ⁻ oxidation
BHC (insecticide)	Benzene hexachloride or mixed isomers of hexachlorocyclohexane	NH ₄ ⁺ and NO ₂ ⁻ oxidation
Lindane (insecticide)	Gamma isomer 1,2,4,5,6-hexachlorocyclohexane	NO ₂ ⁻ oxidation
Dyrene (fungicide)	2,4-dichloro-(6-chloroanilino)-s-triazine	NH ₄ ⁺ oxidation
Terrazole (fungicide)	5-Ethoxy-3-trichloromethyl-1,2,4-triadiazole	NH ₄ ⁺ oxidation
Telone (fumigant)	1,2-Dichloropropane plus 1,-Dichloropropene	NH ₄ ⁺ and NO ₂ ⁻ oxidation
Vortex	Merthylisothiocyanate(20%) plus chlorinated C ₃ hydrocarbon	NH ₄ ⁺ and NO ₂ ⁻ oxidation

ที่มา : "Nitrification Inhibitors Potentials and Limitation". Meisinger and Randall. 1980)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.5 สารเคมีที่เป็น Specific Inhibitors

จากการศึกษาที่ผ่านมาของ Brigg (1975) พบว่าสารเคมีที่เป็นไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ในทางอุคมคติที่ใช้ประโยชน์ทางการเกษตรนั้น จะต้องมีความสมบัติในการยับยั้งเฉพาะกระบวนการ Ammonium Oxidation เท่านั้น โดยจะไม่ยับยั้งกระบวนการ Nitrite Oxidation นอกจากนั้นแล้วจะต้องมีความสมบัติอย่างอื่นเพิ่มเติมขึ้นมา เช่น ไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อจุลินทรีย์ ที่เป็นประโยชน์ชนิดอื่นๆในดิน หรือมีผลเสียต่อพืชชั้นสูง ปริมาณที่ใช้ในการยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์อย่างได้ผลนั้นจะต้องไม่เป็นพิษต่อมนุษย์และสัตว์ ประสิทธิภาพของไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ในดินเมื่อใส่ลงไปพร้อมๆ กับปุ๋ยจะต้องมีมากพอเป็นระยะเวลาติดต่อกันหลายสัปดาห์ และคุ้มค่าต่อการลงทุนทางเศรษฐกิจ สารเคมีที่เป็น Specific Inhibitors มีหลายประเภท เช่น พวก Bind Enzyme, Heme Protein, Chelate Metal สารเคมีพวกนี้จะส่งผลกระทบต่อทั้งกระบวนการ Oxidative Phosphorylation, Electron Transfer และเป็นตัวจับ Free Radical ด้วย นอกจากนี้ยังพบว่า มีสารเคมีหลายๆ ตัวที่มีความสมบัติตามที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 2.2 โดยที่สารเคมีเหล่านี้ใช้ประโยชน์กันมากในทางการค้าและมีการจดสิทธิบัตร (Patent) ของการเป็นไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์โดยตรง

ตารางที่ 2.2 สารเคมีและสิทธิบัตรของการเป็น Nitrification Inhibitors สำหรับบริษัทผู้ผลิตทางการค้าต่างๆ

ชื่อสามัญและสัญลักษณ์	ชื่อทางเคมี	บริษัทผู้ผลิต
Dd, DNDN, Dicyan	Dicyandiamide	Showa Denko
Thiourea, Tu	Thiourea	Nitto Ryuso
ASU	Guanylthiourea	Nitto Chemical Industries
DCS	N-2,5-Dichlorophenyl succinamide	Sumitomo Chemical Industries
Nitrapyrin; N-Serve	2-Chloro-6-(trichloromethyl)pyridine	Dow Chemical Company
AM	2-Amino-4-chloro-6-methyl	Mitsui Toatsu
ST	pyrimidine	Mitsui Toatsu
MBT	Sulfathiazole	Onodo Chemical Industries
KN, KNE	2-Mercapto-benzothiazole	Nissan Chemical Industries
MAST	2-Benzothiazole-sulfane-morpholine	Mitsubishi Chemical Industries
	2-Amino-4-methyl-6-trichloromethyl	
	triazine	American Cyanamid
ATC	2,4-Diamino-6-trichloromethyl triazine	Ishihara Industries
MT	4-Amino-1,2,4-triazole HCl	Nippon Gas Chemical Industries
	3-Mercapto-1,2,4-triazole	

ที่มา : "Nitrification Inhibitors Potentials and Limitation". Meisinger and Randall. 1980)

บทบาทของสารไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์บางตัวยังไม่เป็นที่เข้าใจในรายละเอียดอย่างแน่ชัด โดยภาพรวมแล้วสารเคมีเหล่านี้จะเข้าไปช่วยยับยั้งระบบของเอนไซม์บางตัวในกระบวนการไนตริฟิเคชัน และส่วนใหญ่จะต้องใช้สารเคมีเหล่านี้ในระดับของความเข้มข้นสูงๆ เท่านั้น

ในที่นี้จะขอยกตัวอย่างบทบาทของสารไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์บางตัวที่มีคุณสมบัติเป็น Specific Inhibitor (Goring. 1962 ; Moisie. 1986 ; Shimizu. 1986) กล่าวคือ

Thiourea เมื่อใช้เป็นไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์จะต้องใช้ความเข้มข้นอย่างน้อย 2 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของไนโตรเจน ที่ความเข้มข้นระดับดังกล่าวจะมีผลเข้าไปยับยั้งการเติบโตของแบคทีเรีย *Nitrosomonas* หรืออาจไปต่อต้านการขนย้าย Ammonia เข้าสู่เซลล์ ในที่สุดแบคทีเรียก็จะลดจำนวนลงและปลดปล่อยไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชลงสู่ดิน

Dicyandiamide เป็นสารที่ทำหน้าที่เป็นได้ทั้งไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์และเป็นแหล่งของการปลดปล่อยไนโตรเจนอย่างออกมาช้าๆ

Dicyandiamide Sulfate จะทำหน้าที่เป็นตัวยับยั้ง Cytochrome Oxidase ใน Intact cell หรือ Cell extract ของแบคทีเรีย *Nitrosomonas* แต่จะไม่มีผลต่อ Hydroxylamine Cytochrome c Reductase

Nitrapyrin เป็นไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์อีกตัวหนึ่งที่ช่วยยับยั้ง Cytochrome Oxidase นอกจากนี้ในปฏิกิริยา Ammonium Oxidation ของ *Nitrosomonas* นั้น กระบวนการยับยั้งที่เกิดขึ้นสามารถจะย้อนกลับได้เมื่อมีการเติม Cu^{2+} ลงไป การยับยั้งปฏิกิริยา Ammonium Oxidation ใน Cell suspension จึงจำเป็นต้องใช้ Nitrapyrin ที่มีความเข้มข้น 1 ppm ส่วนการยับยั้งการทำงานของ Cytochrome Oxidase และ Enzyme Reductase ส่วนใหญ่จะใช้ Nitrapyrin ที่มีความเข้มข้น 1.5 ppm และ 170 ppm ตามลำดับ และยังพบว่า Nitrapyrin ที่มีความเข้มข้นต่ำๆ จะทำหน้าที่เป็น Copper-Chelating Agent บน Cytochrome Oxidase

Triazine หลายตัวจะแสดงบทบาทของการเป็นไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์หน้าที่ของสารดังกล่าวจึงแตกต่างออกไป กล่าวคือ จะไม่เข้าไปทำลาย Nitrifying organism แต่จะไปช่วยยับยั้งกระบวนการ Ammonium Oxidation ในขอบเขตที่มากกว่า Nitrite Oxidation

2.8.6 ปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวและการทำงานของไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์

คุณสมบัติที่สำคัญของไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์คือ ความคงตัว (Persistence) และกิจกรรมทางชีวภาพ (Bioactivity) เป็นต้น ไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์บางตัวอาจคงตัวอยู่ได้เป็นระยะเวลานาน แต่ไม่มีกิจกรรมทางชีวภาพ เนื่องจากถูกดูดซับอยู่บนอนุภาคคอลลอยด์ของดิน ในขณะที่ไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์บางตัวอาจสูญหายออกไปจากระบบของดินอย่างรวดเร็ว แต่ยังคงมีกิจกรรมทางด้านชีวภาพปรากฏอยู่ในระดับที่สูงภายในดิน เป็นต้น ปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติทั้งสองจึงได้แก่ pH อุณหภูมิของดิน ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน เป็นต้น สำหรับการศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ในครั้งนี้ จะเลือกใช้ Nitrapyrin เป็นตัวแทนของไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ สำหรับการวิจัย ซึ่งสืบเนื่องมาจากสารประกอบชนิดนี้จัดเป็นไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ที่มีความสำคัญและมีประสิทธิภาพดีที่สุดในปัจจุบัน (Meisinger and Randall, 1980)

2.8.6.1. ปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์

1.1 การดูดซับ (Sorpton)

ลักษณะการดูดซับของไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ในดินนั้น พบว่าองค์ประกอบหลักในการดูดซับ คือ จำนวนอินทรีย์วัตถุภายในดิน จากการทดลองของ Goring (1962a) ซึ่งแบ่งตัวอย่างดินออกเป็น 10 ตัวอย่าง ในแต่ละตัวอย่างจะมีปริมาณอินทรีย์วัตถุ ประกอบอยู่ด้วยในช่วง 0.3 - 32% โดยน้ำหนัก เมื่อเติมน้ำลงไปตัวอย่างละ 2 ml และเติม Nitrapyrin ลงไปในสารละลายดิน เพื่อให้มีความเข้มข้นของ Nitrapyrin ปรากฏอยู่ในช่วง 0.33 - 3.65 $\mu\text{g/g}$ จากผลการทดลองพบว่า การดูดซับจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินอยู่ในระดับที่สูง จากการศึกษาลายๆ ครั้งก็ให้ผลการทดลองเช่นเดียวกับของ Goring โดยพบว่า ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินจัดเป็นปัจจัยประการสำคัญต่อการคงตัวและกิจกรรมทางชีวภาพของ Nitrapyrin โดยเมื่อปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพของ Nitrapyrin จะเพิ่มขึ้น

1.2 การระเหยและการชะล้าง (Volatilization and leaching)

เนื่องจากความดันไอของ Nitrapyrin มีค่า 2.8×10^{-3} และ 1.1×10^{-2} mmHg ที่ 35°C ดังนั้น การระเหยจึงเป็นกระบวนการหนึ่งที่ทำให้เกิดการสูญเสียกลไกการทำงานของ Nitrapyrin ถึงแม้ว่าในขณะดินนั้นจะมีปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินอยู่ต่ำก็ตาม การระเหยนี้อาจเกิดขึ้นได้อีกเมื่อมีการใส่ไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ที่ผิวดิน หรือเคลือบอยู่บนเมล็ดปุ๋ย

การศึกษาโดย Brigg (1975) พบว่า การสูญเสียของ Nitrapyrin ที่เติมลงไปปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$ ใน Rotary evaporator มีถึง 55% และเมื่อใช้ Nitrapyrin ใส่ลงไปกับปุ๋ยตั้งทิ้งไว้ค้างคืนจะสูญเสีย 25% แต่ลักษณะของการสูญเสียเช่นนี้จะเกิดขึ้นน้อยลงเมื่อใช้ Nitrapyrin ใส่ร่วมกับปุ๋ยตั้งเก็บไว้หลาย ๆ เดือนและเก็บรวมกันในภาชนะที่มีฝาปิดเป็นแก้ว การศึกษาของ Wetsetaar et.al. (1972) พบว่าการให้ปุ๋ยร่วมกับ Nitrapyrin โดยการหว่านที่ผิวดิน จะยิ่งทำให้เกิดการสูญเสีย Nitrapyrin มากขึ้น โดยอาจสูงถึง 40% ภายในระยะเวลา 4 ชั่วโมง ถึงแม้ว่าในสภาวะที่มีอากาศเย็น อัตราการสูญเสีย Nitrapyrin จะมากขึ้น เมื่อระดับความชื้น การถ่ายเทของอากาศ และอุณหภูมิมีค่าสูงขึ้น โดยในส่วนของอุณหภูมินั้นจะพบว่าการดูดซับกลับมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้มากขึ้น

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของ Nitrapyrin กับดินแล้ว พบว่า จะให้ผลที่ค่อนข้างตรงกันข้ามกับความสัมพันธ์กับปุ๋ย โดยลักษณะการเคลื่อนที่ของ Nitrapyrin ในดินนั้นค่อนข้างมีข้อจำกัด เนื่องจากถูกดูดซับโดยอินทรีย์วัตถุในดิน และถือว่าเป็นข้อดีประการหนึ่ง ทั้งนี้เนื่องจากจะทำให้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปุ๋ยนั้นแพร่กระจายได้รวดเร็วกว่า และถูกชะออกไปจากส่วนของไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ได้ยาก จากการศึกษาของ Briggs (1975) ยังพบว่า แอมโมเนียม (NH_4^+) สามารถเคลื่อนที่ได้รวดเร็วกว่า Nitrapyrin (ทั้งจากลักษณะของการกระจายตัวและการชะล้าง) ผลที่เกิดขึ้นเช่นนี้จึงทำให้ประสิทธิภาพของไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์นั้นลดลง และจากข้อจำกัดในการเคลื่อนที่ของ Nitrapyrin ดังกล่าวกลับพบว่าถ้าต้องการให้ Nitrapyrin มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น จำเป็นต้องใช้กับปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราที่ต่ำลง ทั้งนี้เพื่อลดการกระจายตัวของแอมโมเนียม (NH_4^+) ให้มีค่าน้อยลง และการเคลื่อนที่ของปุ๋ยออกจากไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์จะเป็นไปได้น้อยลงด้วย

1.3 การเสื่อมสภาพของไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์

การเสื่อมสภาพของไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์จะมีค่ามากขึ้น เมื่อระยะเวลาผ่านพ้นไปนานขึ้น โดยจากการศึกษาของ Hendrickson et.al. (1978) พบว่าผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากการแปรสภาพของ Nitrapyrin คือ 6-Chloropicolinic Acid (6-CIPA) และกลายสภาพเป็น 6-Hydroxypicolinic Acid ในที่สุด ดังนั้นอัตราการเสื่อมสภาพของไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์จึงขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ร่วมด้วย ดังนี้

- การเสื่อมสภาพจะเกิดขึ้นในสารละลายดินมากกว่าในอนุภาคดิน
- การเสื่อมสภาพจะลดลง เมื่อค่า Ionic Strength เพิ่มขึ้น
- การเสื่อมสภาพจะเพิ่มขึ้น เมื่อระดับอุณหภูมิเพิ่มขึ้น
- การเสื่อมสภาพจะลดลงหรือเพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน

ในส่วนของ pH นั้น พบว่าจะไม่มีผลต่ออัตราการเสื่อมสภาพ ทั้งนี้เนื่องจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า ในช่วงระยะเวลา 0-10 วันแรก pH จะไม่มีผลต่ออัตราการสูญเสีย Nitrapyrin แต่ภายหลังจากช่วงเวลาดังกล่าว อัตราการสูญเสีย Nitrapyrin ในดิน Silty Clay Loam และ Silt Loam ที่มี pH อยู่ในช่วง 6.4-6.8 จะเป็นไปได้รวดเร็วกว่าดินชนิดเดียวกันที่มีค่า pH ต่ำกว่า 6 (Hendrickson et.al. 1978)

นอกจากนี้การสูญเสีย Nitrapyrin ในดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturated soil) จะมีค่ามากกว่าดินที่มีความชื้นเท่ากับความจุความชื้นในสนาม (ทั้งนี้เป็นไปตามผลของปัจจัยในข้อที่ 1)

อุณหภูมิ จัดเป็นปัจจัยที่สำคัญอีกประการหนึ่งในการควบคุมการเสื่อมสภาพของไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ โดยพบว่าอัตราการเสื่อมสภาพจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

2.8.6.2. ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกิจกรรมทางชีวภาพของไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์

- อินทรีย์วัตถุ

กิจกรรมทางชีวภาพของ Nitrapyrin จะลดลง เมื่อมีปริมาณอินทรีย์วัตถุเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากอินทรีย์วัตถุนั้นจะไปดูดซับ Nitrapyrin ไว้ ทำให้ไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังผลการศึกษาของ Hendrickson and Keeney (1979) ได้ใช้ตัวอย่างดินที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุ 2%

และ 5% ตามลำดับ แล้วใส่ไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ร่วมกับปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$ พบว่า อัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันในตัวอย่างดินที่มี ปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงกว่าย่อมเกิดขึ้นช้ากว่าดินที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุที่ต่ำ

• อุณหภูมิ

ประสิทธิภาพของไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์จะดีขึ้น เมื่อทดลองภายในช่วงอุณหภูมิที่ต่ำกว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมของปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน ซึ่งผลเช่นนี้จะสัมพันธ์กับปัจจัยอื่นๆ รวมด้วย กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิต่ำลง ความคงตัวจะเพิ่มขึ้น ซึ่งสืบเนื่องมาจากการเกิดการเสื่อมสภาพได้ช้า และการระเหยตัวของไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ก็ย่อมลดลงตามลำดับ

• pH ของดิน

ผล pH ของดินที่มีต่อไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์นั้นมีน้อยมาก แต่จะมีผลเกี่ยวเนื่องต่อจำนวนประชากรของ Nitrifier และอัตราการได้กลับคืน (Recovery) ของประชากรของ Nitrifier ภายหลังจากทำปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันแล้วมากกว่า โดยพบว่าในสภาวะที่เป็นกรด ($\text{pH} < 5.6$) Nitrifier จะทำงานได้น้อยลง นั่นคือการยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันย่อมเกิดได้มากขึ้น ส่วนในสภาวะที่เป็นเบสหรือเป็นกลางนั้น ลักษณะของการยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันจะเกิดได้น้อยลง

• รูปของปุ๋ยไนโตรเจน

รูปของปุ๋ยไนโตรเจนจัดเป็นปัจจัยที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งที่มีผลต่อกิจกรรมทางชีวภาพของ ไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ โดยปุ๋ยไนโตรเจนบางชนิด เช่น ปุ๋ยแอมโมเนียม หรือปุ๋ยยูเรียจะทำให้ pH ของดินเพิ่มขึ้น ซึ่งการที่ pH เพิ่มขึ้นเช่นนี้ จะทำให้ Nitrifier ทำงานได้ดีขึ้นมากกว่าสภาวะที่เป็นกรด และมีเปอร์เซ็นต์การได้กลับคืนของ Nitrifier มากกว่าด้วย ซึ่งแตกต่างจากปุ๋ยที่ทำให้ pH ของดินลดลง (เช่น ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต) กระบวนการยับยั้งปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันโดยไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์จะลดลงเรื่อยๆ เมื่อปุ๋ยไนโตรเจนที่ใช้มีส่วนทำให้ pH ของดินเพิ่มขึ้นจนถึงสภาวะที่เป็นเบส

ตัวอย่างเช่น จากการศึกษาของ Goring (1962b) ที่พบว่าจะต้องใช้ Nitrapyrin เป็นจำนวนมากขึ้น จึงจะสามารถยับยั้งปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันของปุ๋ยยูเรียได้ ในขณะที่การยับยั้งปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันของปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$ แอมโมเนียมไนเตรต (NH_4NO_3) และแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟต $[(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4]$ นั้นต้องใช้ Nitrapyrin ในปริมาณที่น้อยกว่า

จากเหตุผลที่กล่าวมาแล้วทั้งหมดนี้พอจะสรุปได้ว่า ปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวและกิจกรรมทางชีวภาพของไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์นั้น มีอยู่หลายประการด้วยกัน นอกจากรูปของไนโตรเจน (ในรูปของปุ๋ย) ที่ใส่ลงไป在地แล้ว ระยะเวลาของการให้ปุ๋ย อุณหภูมิและระดับความชื้นก็มีความสำคัญไม่แพ้กัน โดยเฉพาะกิจกรรมทางชีวภาพของไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ จะเกิดขึ้นได้ดีกว่าที่ระดับอุณหภูมิต่ำ ส่วนวิธีการให้ปุ๋ยร่วมกับไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ก็เป็นอีกสิ่งหนึ่งที่ต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนึงถึง การให้ปุ๋ยร่วมกับไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์แบบการหว่าน หรือการให้เป็นแถบกว้าง จะช่วยให้การยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันเกิดได้ดียิ่งขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณเกลือที่อยู่ในปุ๋ยที่หว่านเป็นแถบจะช่วยให้การ Hydrolysis ของ Nitrapyrin เกิดได้ช้าลง ดังนั้นการเสื่อมสภาพของ Nitrapyrin จึงเกิดขึ้นได้น้อยลงด้วย แต่ถ้าใส่ไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ลงไปเฉพาะที่ผิวของดินพบว่าประสิทธิภาพจะลดลงเนื่องจากการเกิด Photolysis หรือเกิดการระเหยของไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์และการแทรกซึมของไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ลงสู่ดินจะมีค่าน้อยลง นอกจากนี้อัตราการให้ปุ๋ยควรคำนวณให้เหมาะสมอีกด้วย โดยเฉพาะในดินที่มีเนื้อหยาบ ทั้งนี้เนื่องจากแอมโมเนียมอาจเคลื่อนที่ออกจากจุดที่ใส่ปุ๋ยลงไปในระดับที่สูงกว่าการเกิดการยับยั้งปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน



บทที่ 3

วิธีการทดลอง

วิธีและแผนการทดลอง

แบ่งการดำเนินงานออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

- 1) การศึกษาเบื้องต้น (Preliminary study) สำหรับพื้นที่สนามกอล์ฟ
- 2) การศึกษาบ่มตัวอย่างดิน (Incubation study) ร่วมกับการทดลองใช้สารยับยั้ง Nitrification Inhibitor 2 ชนิดคือ DCD และ N-serve (Nitrapyrin) ตามลำดับ
- 3) การวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูล (Data analysis) โดยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ สำหรับรายละเอียดของการทดลองแต่ละขั้นเป็นดังนี้

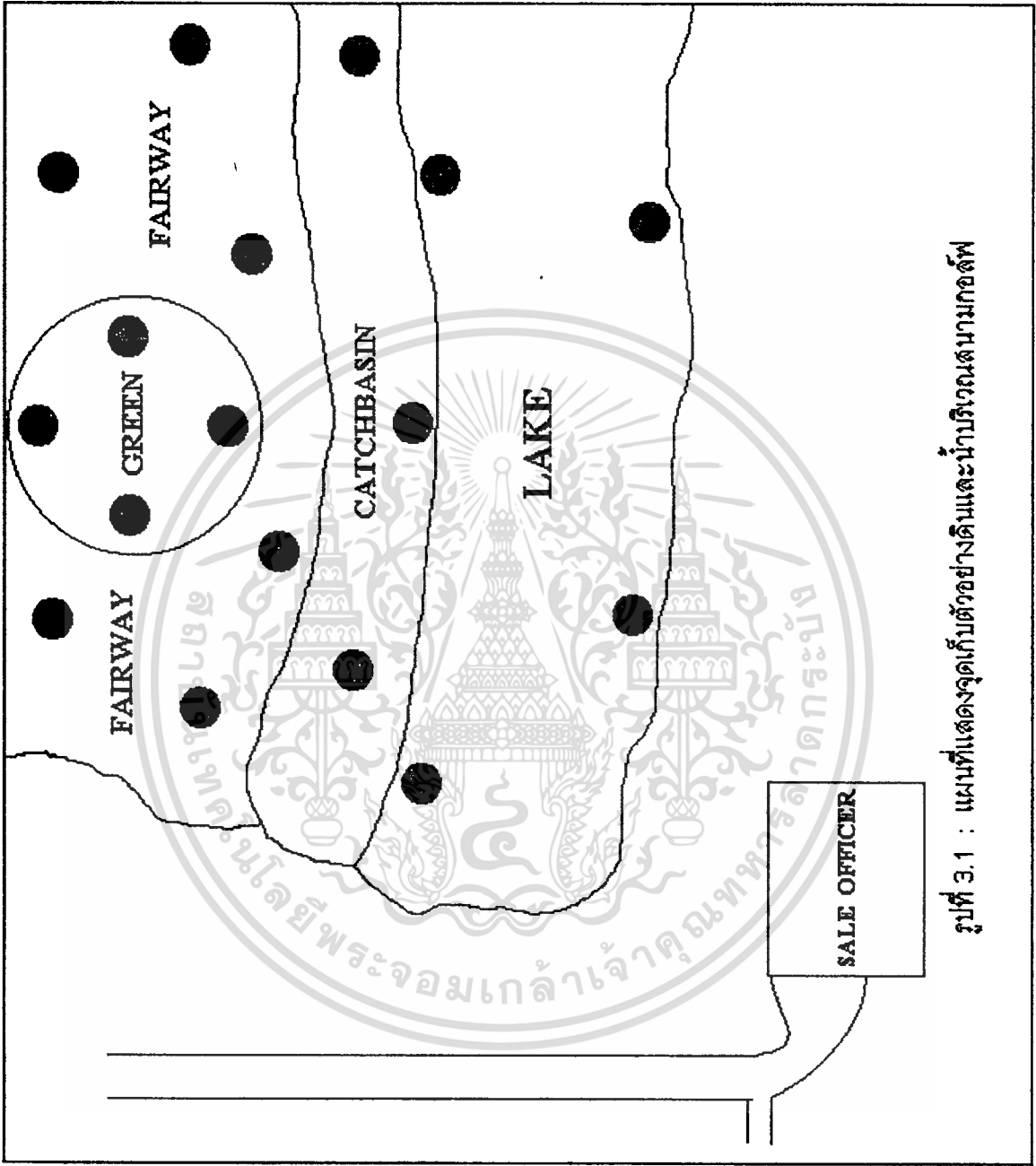
1. การศึกษาเบื้องต้น (Preliminary study) เป็นการศึกษาภายในพื้นที่ทั่วไปสำหรับบริเวณสนามกอล์ฟปัญญา งามอินทรา เขตกรุงเทพมหานคร โดยทำการสุ่มเก็บตัวอย่างดินและน้ำบริเวณพื้นที่แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ

- ที่สูง (Green)
- ที่ราบ (Fairway)
- ที่ต่ำ (Catch Basin)

โดยตัวอย่างดินดังกล่าวจะสุ่มเก็บที่ความลึก 2 ระดับ คือ

- ดินชั้นบน ที่ระดับความลึก 0-30 ซม.
- ดินชั้นล่าง ที่ระดับความลึก 30-60 ซม.

ส่วนตัวอย่างน้ำจะสุ่มเก็บจากบริเวณแหล่งน้ำสำคัญๆภายในสนามกอล์ฟ ทั้งนี้เพื่อต้องการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของธาตุต่างๆที่สะสมอยู่ในชั้นดินและแหล่งน้ำ ข้อมูลที่ได้รับจากการศึกษาในครั้งนี้จะบอกให้ทราบว่าสนามกอล์ฟนั้นมีปัญหาการปนเปื้อนจากการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในรูปของไนเตรตไนโตรเจนหรือไม่ และจะใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการศึกษาในห้องปฏิบัติการทดลอง (Incubation study) ต่อไป โดยเฉพาะในส่วนของทดลองประการหลังนี้จะเป็นขั้นตอนการจำลองสภาพธรรมชาติ เพื่อศึกษาถึงปัญหาการของสะสมไนเตรตไนโตรเจนในดินและน้ำร่วมกับการใช้สารไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ (Nitrification Inhibitors) สำหรับการยับยั้งและ แก้ไขปัญหาการสะสมของไนเตรตไนโตรเจนโดยตรง สำหรับแผนที่แสดงจุดเก็บตัวอย่างดินและน้ำแสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 : แผนที่แสดงจุดเก็บตัวอย่างดินและน้ำบริเวณสนามกอล์ฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

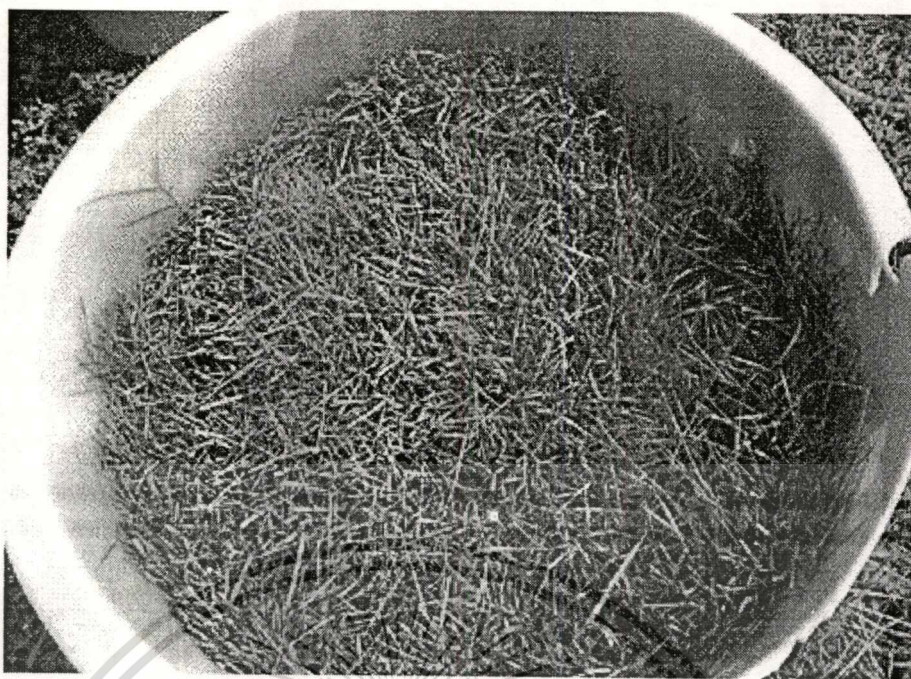
2) การศึกษามัดตัวอย่างดิน (Incubation study) โดยดำเนินการทดลองเลียนแบบสภาพของสนามกอล์ฟในธรรมชาติ เพื่อศึกษารูปแบบจำลองของการเกิดและเปลี่ยนแปลงรูปของ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ และ $\text{NO}_3^-\text{-N}$ ที่ปรากฏตัวอยู่ในสารละลายดินที่สืบเนื่องมาจากกระบวนการไนตริฟิเคชันและได้รับอิทธิพลมาจากกระบวนการชะล้างซึ่งมีพฤติกรรมคล้ายคลึงกับปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจริง ตามลักษณะของดินธรรมชาติ โดยตัวอย่างที่นำมาทดสอบจะเป็นลักษณะของดินชนิดเดียวกับดินในสนามกอล์ฟ ต่อจากนั้นจึงดำเนินการทดลองในขั้นตอนดังต่อไปนี้

- เตรียมภาชนะจำลอง เป็นถังพลาสติกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 60 ซม. สูง 1.00 เมตร ภายในภาชนะบรรจุดิน โดยชั้นบนของถังบรรจุดินทรายหนาประมาณ 20 ซม. ชั้นล่างเป็นดินเหนียวหนาประมาณ 80 ซม. ในส่วนบนสุดปลูกหญ้า โดยชนิดหญ้าที่นำมาปลูก คือ หญ้านวลน้อย (ซึ่งเป็นหญ้าชนิดเดียวกับที่ปลูกอยู่ในสนามกอล์ฟจริง) นอกจากนี้มีการให้น้ำตามสภาพความเหมาะสม กล่าวคือ ในอัตรา 4.5 ลิตร/วัน และจัดให้มีอุปกรณ์รองรับน้ำที่เกิดขึ้นจากการชะล้างนั้น เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณสารต่างๆ ต่อไป สำหรับรูปแบบจำลองของการชะล้างได้แสดงไว้ให้เห็นดังรูปที่ 3.2 , 3.3 และ 3.4 ตามลำดับ

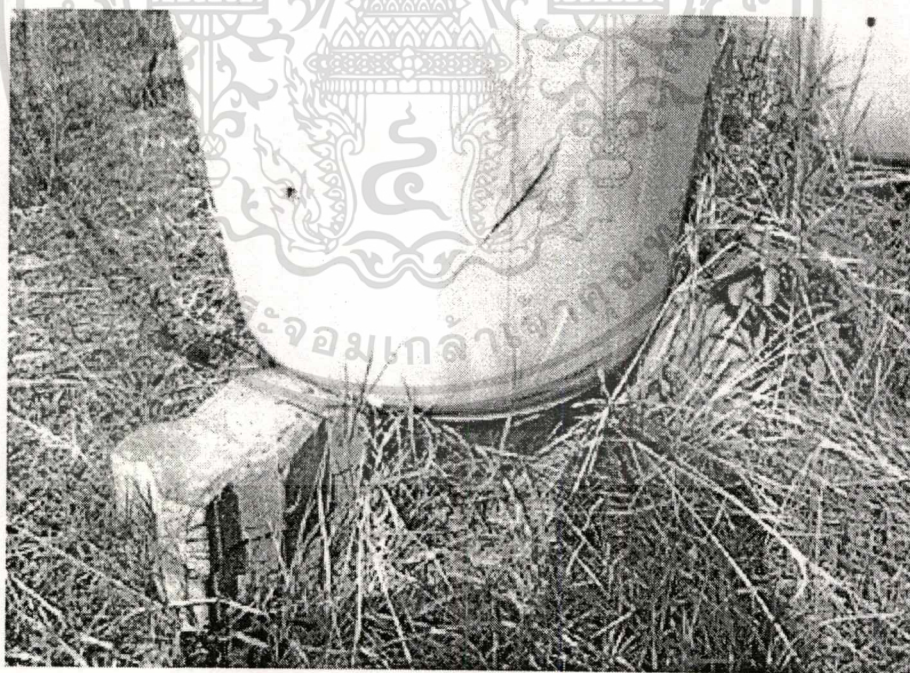


รูปที่ 3.2 : ภาชนะบรรจุดินและปลูกหญ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 : การปลูกหญ้าในแบบจำลองสนามกอล์ฟ



รูปที่ 3.4 : ภาชนะที่รองรับน้ำจากการชะล้าง

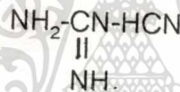
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

• สำหรับดำรับของการทดลองนั้น ประกอบด้วยรายละเอียดดังนี้

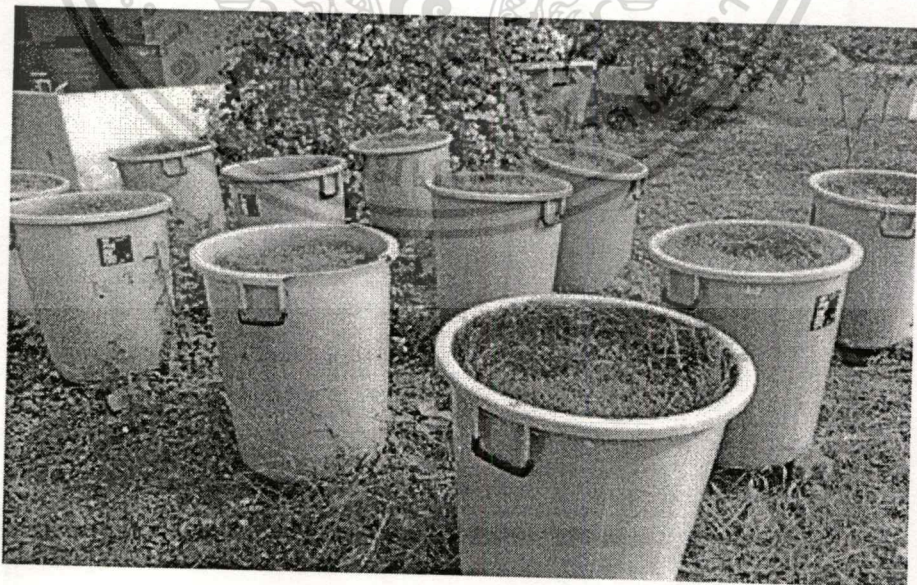
1. ดินที่อยู่ในสภาพปกติ (Control) จำนวน 3 ชุด
2. ดินที่มีการเติมปุ๋ยไนโตรเจน (ในรูปของปุ๋ยยูเรีย) จำนวน 3 ชุด แต่ละชุดเติมปุ๋ยไนโตรเจนจำนวน 36.67 กรัม/ชุด (เปรียบเทียบกับสภาพที่เป็นจริงในสนามกอล์ฟ)
3. ดินที่มีการเติมปุ๋ยไนโตรเจน (ในรูปของปุ๋ยยูเรีย) ร่วมกับการเติมสารยับยั้งการเกิดปฏิกิริยา Nitrification โดยเลือกใช้สาร Nitrapyrin (จาก Fluca) จำนวน 3 ชุด แต่ละชุดเติมปุ๋ยไนโตรเจนจำนวน 36.67 กรัม/ชุด และเติมสาร Nitrapyrin ในอัตรา 3.3 กรัม/ชุด สำหรับสูตรโครงสร้างของ Nitrapyrin คือ



4. ดินที่มีการเติมปุ๋ยไนโตรเจน (ในรูปของปุ๋ยยูเรีย) ร่วมกับการเติมสารยับยั้งการเกิดปฏิกิริยา Nitrification โดยเลือกใช้สาร Dicyanodiamide (จาก Fluca) จำนวน 3 ชุด แต่ละชุดเติมปุ๋ยไนโตรเจนจำนวน 36.67 กรัม/ชุด และเติมสาร Dicyanodiamide ในอัตรา 0.01 กรัม/ชุด สำหรับสูตรโครงสร้างของ Dicyanodiamide คือ



เพราะฉะนั้นจำนวนดำรับทดลองทั้งหมดที่ใช้ในสภาพของ Incubation จะประกอบด้วยชุดการทดลองทั้งหมด 12 ชุด ดังแสดงรายละเอียดไว้ในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 : จำนวนชุดการทดลองทั้งหมด 12 ชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ศึกษาและติดตามผลของการเปลี่ยนแปลงรูปของไนโตรเจนว่ามีความสัมพันธ์กับระยะเวลาหรือไม่ โดยกำหนดการสุ่มเก็บตัวอย่างดินและน้ำจากสภาพจำลอง เพื่อทำการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ประเภทต่างๆ และกำหนดทำซ้ำ 3 ครั้ง นอกจากนี้ยังอาศัยช่วงระยะเวลาทดลองของการเปลี่ยนแปลง 5 ช่วงเวลา กล่าวคือ ที่ระยะ 0, 7, 14, 28, 42 วัน ตามลำดับ ภายหลังจากนั้นจึงนำตัวอย่างดินมาวิเคราะห์หาค่าต่างๆ ดังนี้

- pH วัดโดยใช้ pH meter
- ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity; EC , dS/cm) ใช้ Conductivity meter .
- ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total-N; TN , %) ใช้วิธี Kjeldahl method
- ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจน (Exchangable NH_4^+ -N , ppm) ใช้วิธี Kjeldahl method
- ปริมาณไนเตรตไนโตรเจน (Exchangable NO_3^- -N , ppm) ใช้วิธี Kjeldahl method

ส่วนตัวอย่างน้ำที่สุ่มเก็บขึ้นมาได้จากแหล่งน้ำภายในสนามกอล์ฟและตัวอย่างน้ำที่ได้รับมาจากการชะล้างภายใต้การทดลองของ Incubation นั้น จะนำมาวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้

- pH วัดโดยใช้ pH meter
- ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity; EC , dS/cm) ใช้ Conductivity meter
- ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total-N; TN , %) ใช้วิธี Kjeldahl method
- ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจน (Exchangable NH_4^+ -N , ppm) ใช้วิธี Kjeldahl method
- ปริมาณไนเตรตไนโตรเจน (Exchangable NO_3^- -N , ppm) ใช้วิธี Kjeldahl method

3) การวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูล (Data analysis) ข้อมูลที่ได้รับทั้งหมดจะนำมาวิเคราะห์ผลโดยอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และสมการทางคณิตศาสตร์ต่างๆ เข้ามาร่วมอธิบายพฤติกรรมของการเปลี่ยนแปลงไนโตรเจน เช่น

- SOILSOLN Computer Program
- ความสัมพันธ์แบบง่าย เช่น Simple และ Linear Regression Model เป็นต้น

ทั้งนี้เพื่อคาดคะเนและทำนายถึงปริมาณสารที่วิเคราะห์ได้ และใช้เป็นฐานข้อมูลว่าปริมาณไนเตรตไนโตรเจนที่สะสมอยู่ในพื้นที่บริเวณสนามกอล์ฟจะก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมขึ้นได้หรือไม่ และจะมีวิธีการปฏิบัติเพื่อยับยั้งการเปลี่ยนแปลงรูปไนโตรเจนดังกล่าวได้อย่างไร โดยเฉพาะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ทางปฏิบัติที่เหมาะสมกับพื้นที่สนามกอล์ฟจริงต่อไปในอนาคต

การเก็บตัวอย่าง ในสภาพของ Incubation นั้นใช้วิธีการเก็บตัวอย่างใช้ท่อ PVC ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว กดลงไปใต้ผิวดิน ซึ่งจะได้ตัวอย่างดินชั้นบนและดินชั้นล่างแยกออกจากกัน

การเตรียมตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์

1. ตัวอย่างดินที่สุ่มเก็บมาจากชั้นบนและชั้นล่างจะแยกออกจากกัน ต่อจากนั้นจึงนำไปผึ่งให้แห้ง (Air-dried) แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มม. แล้วเก็บไว้ในขวดหรือถุงพลาสติกต่อไป
2. ตัวอย่างน้ำ สำหรับตัวอย่างน้ำที่เก็บได้จะเก็บไว้ในขวดพลาสติกในปริมาณเพียงพอที่จะวิเคราะห์ ต่อจากนั้นจึงนำไปวิเคราะห์ผล โดยค่า pH และสภาพการนำไฟฟ้า (EC) จะต้องวิเคราะห์อย่างทันที ส่วนปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (TN) ไนโตรเจนในรูปอนินทรีย์ ($\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$) นั้นจะทำการเก็บรักษาไว้ก่อน และเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4°C และนำมาวิเคราะห์ภายในระยะเวลา 7 วัน

สำหรับรายละเอียดของวิธีการวิเคราะห์ทางเคมีของตัวอย่างดินและน้ำทั้งหมด สามารถพิจารณาได้จากภาคผนวก

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิจารณ์ผล

ผลการทดลองที่ได้รับจากการศึกษาในครั้งนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ กล่าวคือ ส่วนที่ 1 แบ่งออกเป็น 2 หัวข้อ ได้แก่

1. คุณสมบัติทางเคมีโดยทั่วไป ที่ได้รับมาจากการสุ่มเก็บตัวอย่างดินและน้ำจากพื้นที่สนามกอล์ฟจริงโดยตรง

คุณสมบัติที่ตรวจสอบ ได้แก่

1.1 pH

1.2 สภาพการนำไฟฟ้า (Electrically Conductivity ; EC)

1.3 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน (Total Nitrogen ; TN)

1.4 ปริมาณไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Available Nitrogen ; $\text{NH}_4^+\text{-N}$ / $\text{NO}_3^-\text{-N}$)

1.5 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange Capacity ; CEC)

1.6 ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (Organic Matter ; OM)

1.7 ปริมาณประจุบวกที่แลกเปลี่ยนได้ (Na , K , Ca , Mg)

หมายเหตุ : ข้อ 1.1-1.4 ตรวจวัดทั้งในตัวอย่างดินและในตัวอย่างน้ำ

ข้อ 1.5-1.7 ตรวจวัดเฉพาะในตัวอย่างดิน

2. การเปลี่ยนแปลงของระดับสารพิษภายในสนามกอล์ฟ

2.1 คุณสมบัติที่ตรวจสอบ ได้แก่ ปริมาณ Al , Fe และ Mn เป็นต้น

2.2 การประเมินรูปแบบและกิจกรรมของสารพิษในดินด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Soil Solution Computer Program

ส่วนที่ 2 ผลการศึกษาการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนร่วมกับไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ ภายหลังจากการสร้างรูปแบบจำลองของสนามกอล์ฟขึ้นมา สำหรับข้อมูลของการศึกษาที่สนใจ ได้แก่

1.ผลการเปลี่ยนแปลงของ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ และ $\text{NO}_3^-\text{-N}$ ก่อนและภายหลังจากการใช้ไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ที่ระยะเวลาต่างๆกัน

2.อิทธิพลของการใช้ไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ที่มีต่อระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียมไนโตรเจน และไนเตรตไนโตรเจนในตัวอย่างดินและน้ำ

3.การใช้รูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อทำนายปริมาณของแอมโมเนียมไนโตรเจนและไนเตรตไนโตรเจนภายหลังจากการใช้ไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์

ผลการทดลองส่วนที่ 1

4.1 คุณสมบัติทางเคมีโดยทั่วไปที่ได้รับอิทธิพลมาจากการสู่มเก็บตัวอย่างดินและน้ำจากพื้นที่สนามกอล์ฟ
ตัวอย่างดิน

1.1) pH

ตารางที่ 4.1 ระดับ pH ของตัวอย่างดินจากสนามกอล์ฟปัญญา รามอินทรา

บริเวณพื้นที่เก็บตัวอย่าง	ช่วงพิสัย (Range)		ค่าเฉลี่ย (Mean±SD)	
	ดินบน (0-30 ซม.)	ดินล่าง (30-60 ซม.)	ดินบน (0-30 ซม.)	ดินล่าง (30-60 ซม.)
1. ที่สูง (Green)	6.07-6.36	5.52-6.60	6.20±0.63	6.09±0.78
2. ที่ราบ (Fairway)	5.44-6.20	5.35-6.09	5.87±0.75	5.48±0.84
3. ที่ต่ำ (Catch Basin)	4.11-5.15	3.40-4.38	4.67±0.36	3.72±0.56

ตารางที่ 4.1 แสดงระดับ pH ของตัวอย่างดินจากสนามกอล์ฟที่บริเวณพื้นที่ต่าง ๆ กัน ผลการทดลองพบว่าระดับ pH ของดินโดยทั่วไปค่อนข้างเป็นกรดและมีค่าเป็นกรดมากขึ้นเมื่อพื้นที่ต่ำลง โดยพบว่าตัวอย่างดินในที่สูงมีระดับ pH ของดินบนอยู่ในช่วง 6.07-6.36 ดินล่างพบอยู่ในช่วง 5.52-6.60 ในขณะที่ในพื้นที่ราบนั้นระดับ pH ในดินบนมีค่าที่ต่ำอยู่ในช่วง 5.44-6.20 และดินล่างจะมีค่า pH อยู่ในช่วง 5.35-6.09 ส่วนในที่ต่ำนั้นมีระดับ pH อยู่ในช่วง 4.11-5.15 สำหรับดินชั้นบน และ 3.40-4.38 สำหรับชั้นดินล่าง ตามลำดับ

จากผลการวิเคราะห์พบว่า ลักษณะของการเปลี่ยนแปลงระดับ pH ในดินบนและดินล่างมีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน กล่าวคือ มีค่าที่ค่อนข้างเป็นกรด (เช่น ในกรณีของดินในที่ต่ำ มีระดับ pH ในดินชั้นบนและชั้นล่างเฉลี่ย 4.67 และ 3.72 ตามลำดับ) การที่ระดับ pH ของตัวอย่างดินอยู่ในช่วงที่เป็นกรดนี้ สาเหตุที่สำคัญเนื่องจากการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน และมีกระบวนการชะล้างเกิดขึ้น กระบวนการชะล้างที่เกิดขึ้นจากฝนหรือน้ำที่ใช้ชะล้างต้นหญ้า เมื่อไหลซึมผ่านชั้นดินจะพัดพาเอาไอออนประจุบวกทั้งหลาย (Basic cations) ต่างๆ ที่อยู่ในดินให้สูญหายออกไป (ถวิล. 2538) ประกอบกับเมื่อน้ำไหลซึมผ่านดินจะละลายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ซึ่งมีอยู่จำนวนมากในดินและก่อให้เกิดเป็นกรดคาร์บอนิก (H₂CO₃) ซึ่งแตกตัวได้ง่าย (Ionized) รวมถึงไฮโดรเจนไอออน (H⁺) เพราะฉะนั้นน้ำที่ไหลซึมผ่านจึงมีปฏิกิริยาเป็นกรดอย่างชัดเจน นอกจากนี้ผลที่เกิดขึ้นในขณะที่น้ำไหลซึมผ่านชั้นดินลงไปในนั้น ไฮโดรเจนไอออน (H⁺) จะเข้าไปไล่ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Basic cations ที่ดูดยึดอยู่ที่ผิวของอนุภาคดินให้สูญหายไปโดยถูกพัดพาออกไปกับน้ำที่ไหลซึมผ่านชั้นดินและไฮโดรเจนไอออน (H^+) ในน้ำก็จะดูดยึดอยู่ที่ผิวของ Clay แทนที่ เมื่อกระบวนการดังกล่าวดำเนินไปอย่างต่อเนื่อง จนในที่สุดพื้นผิวของอนุภาคดินจะมีไฮโดรเจนไอออน (H^+) สะสมอยู่มากขึ้น และมีปริมาณที่สูงกว่า Basic Cation ก็จะมีผลทำให้ดินมีปฏิกิริยาเป็นกรด กระบวนการชะล้างที่เกิดขึ้นเป็นส่วนใหญ่สามารถยืนยันได้ดีจากการที่ระดับ pH ของดินมีค่าลดลงเรื่อยๆ เมื่อพื้นที่ลดต่ำลง นอกจากกระบวนการชะล้างที่เกิดขึ้นแล้ว การใช้ปุ๋ยไนโตรเจนก็เป็นปัจจัยเสริมประการหนึ่งที่ทำให้ความเป็นกรดของดินภายใต้พื้นที่สนามกอล์ฟแห่งนี้เพิ่มขึ้นอีกด้วย (Jolley and Pierre. 1977)

1.2) สภาพการนำไฟฟ้า (EC ; dS/cm)

ตารางที่ 4.2 สภาพการนำไฟฟ้าของตัวอย่างดินจากสนามกอล์ฟปัญญาธรรมอินทรา

บริเวณพื้นที่เก็บตัวอย่าง	ช่วงพิสัย (Range)		ค่าเฉลี่ย (Mean±SD)	
	ดินบน (0-30 ซม.)	ดินล่าง (30-60 ซม.)	ดินบน (0-30 ซม.)	ดินล่าง (30-60 ซม.)
1. ที่สูง (Green)	0.38-0.41	0.32-0.44	0.40±0.56	0.37±1.28
2. ที่ราบ (Fairway)	0.31-0.40	0.29-0.39	0.36±0.64	0.33±0.98
3. ที่ต่ำ (Catch Basin)	0.12-0.30	0.09-0.16	0.21±1.07	0.13±0.14

ตารางที่ 4.2 แสดงผลของค่าสภาพการนำไฟฟ้าจากตัวอย่างดินในสนามกอล์ฟ ที่ถูกสุ่มเก็บขึ้นมาจากพื้นที่ที่แตกต่างกัน พบว่า โดยทั่วไปแล้วสนามกอล์ฟมีการนำไฟฟ้าค่อนข้างต่ำ โดยในพื้นที่สูงค่าการนำไฟฟ้าในดินบนปรากฏอยู่ในช่วง 0.38-0.41 dS/cm ในดินล่างพบอยู่ในช่วง 0.32-0.44 dS/cm ในพื้นที่ราบค่าการนำไฟฟ้าของดินบนอยู่ในช่วง 0.31-0.40 dS/cm และในดินล่างประมาณ 0.29-0.39 dS/cm ส่วนในพื้นที่ต่ำค่าการนำไฟฟ้าของดินบนและดินล่างจะอยู่ในช่วง 0.12-0.30 dS/cm และ 0.09-0.16 dS/cm ตามลำดับ

จากผลการวิเคราะห์จะพบได้ว่า สภาพการนำไฟฟ้าของดินนั้นจะมีค่าลดลงเรื่อยๆ เมื่อพื้นที่ลดต่ำลง (โดยจะพบว่าในบริเวณที่ต่ำ สภาพการนำไฟฟ้าในดินบนและดินล่างลดลงถึง 0.21 และ 0.13 dS/cm ตามลำดับ) การที่ดินในสนามกอล์ฟมีสภาพการนำไฟฟ้าที่ต่ำสามารถอธิบายได้ว่า เกิดขึ้นจากการที่มีจำนวนประจุบวกต่างๆ สะสมอยู่ในดินน้อย และค่าประจุบวกต่างๆ นี้จะมีค่าลดลงเมื่อพื้นที่ต่ำลงอีกเช่นกัน (พิจารณารายละเอียดอื่นๆเพิ่มเติมจากผลของการทดลองในหัวข้อ

ต่อไป) เพราะฉะนั้นการที่ดินมีธาตุประจุบวกน้อยก็สืบเนื่องมาจาก อิทธิพลของกระบวนการชะล้างและสภาพความเป็นกรดของดินที่ต่ำเป็นประการสำคัญ (Bergsstrom. 1995)

1.3) ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC ; meq/100 g soil)

ตารางที่ 4.3 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของตัวอย่างดินจากสนามกอล์ฟปัญญา
รามอินทรา

บริเวณพื้นที่เก็บตัวอย่าง	ช่วงพิสัย (Range)		ค่าเฉลี่ย (Mean±SD)	
	ดินบน (0-30 ซม.)	ดินล่าง (30-60 ซม.)	ดินบน (0-30 ซม.)	ดินล่าง (30-60 ซม.)
1. ที่สูง (Green)	0.98-1.86	1.09-3.02	1.49±0.28	2.72±0.86
2. ที่ราบ (Fairway)	1.96-2.82	2.82-3.07	2.74±0.39	2.96±0.11
3. ที่ต่ำ (Catch Basin)	2.91-3.82	3.42-4.24	3.67±0.44	3.96±0.38

ตารางที่ 4.3 แสดงถึงระดับความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของตัวอย่างดินที่สุ่มเก็บขึ้นมาจากสนามกอล์ฟที่มีลักษณะของพื้นที่แตกต่างกัน โดยพบว่า ตัวอย่างดินทั่วไปจะมีปริมาณ CEC อยู่ค่อนข้างต่ำ โดยเฉพาะในพื้นที่สูงของสนามกอล์ฟจะมีปริมาณ CEC ของดินบนอยู่ในช่วง 0.98-1.86 meq/100 g soil ดินล่างมี CEC ปรากฏอยู่ในช่วง 1.09-3.02 meq/100 g soil ในขณะที่พื้นที่ราบนั้นจะมีปริมาณ CEC ของดินบนอยู่ในช่วง 1.96-2.82 meq/100 g soil และดินล่างอยู่ในช่วง 2.82-3.07 meq/100 g soil ส่วนพื้นที่ต่ำของสนามกอล์ฟนั้นจะมีปริมาณ CEC อยู่ในช่วง 2.91-3.82 meq/100 g soil ของสภาพดินบน และ 3.42-4.24 meq/100 g soil ของดินล่าง ตามลำดับ

สาเหตุที่ดินโดยทั่วไปมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกต่ำนี้ (เช่นในกรณีของดินในที่สูงพบว่า ในดินบนมีปริมาณ CEC 1.49 meq/100 g soil และดินล่างมีปริมาณ CEC 2.72 meq/100 g soil) ก็อาจสืบเนื่องมาจากในดินขณะนั้นมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสะสมอยู่ค่อนข้างน้อย โดยเฉพาะดินที่อยู่ในที่สูงของสนามกอล์ฟ ทั้งนี้เนื่องมาจากอิทธิพลของกระบวนการชะล้างก่อให้เกิดการพัดพาอินทรีย์วัตถุมาสะสมอยู่ในพื้นที่ที่ต่ำกว่า นอกจากนี้การที่ดินมีปริมาณอินทรีย์วัตถุค่อนข้างต่ำจึงมีผลทำให้ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกลดลงตามลำดับ (Bremner.1965) ประกอบกับเมื่อปริมาณฮิวมัสในดินมีค่าลดลง ชนิดของอินทรีย์วัตถุซึ่งมีความสามารถในการดูดซับไอออนบวกที่เนื่องมาจากประจุลบซึ่งเกิดขึ้นภายหลังจากการสลายตัว (Dissociation) ของสารประกอบบางกลุ่มในอินทรีย์วัตถุ (เช่น คาร์บอกซิล และฟีนอลิกกรุป) ก็จะมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าลดลงด้วย สำหรับในกรณีที่ดินชั้นบนและดินชั้นล่างที่สุ่มเก็บขึ้นมาจากตำแหน่งเดียวกันและมีปริมาณอินทรีย์วัตถุแตกต่างกันนั้น คงเนื่องมาจากดินชั้นบนซึ่งเป็นดินทรายจะมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสะสมอยู่น้อยกว่าดินชั้นล่างซึ่งเป็นดินเหนียวอยู่แล้ว เพราะฉะนั้นระดับความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกจึงลดลงตามไปด้วย

1.4) ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (OM ; %)

ตารางที่ 4.4 ปริมาณอินทรีย์วัตถุของตัวอย่างดินจากสนามกอล์ฟปัญญา งามอินทรา

บริเวณพื้นที่เก็บตัวอย่าง	ช่วงพิสัย (Range)		ค่าเฉลี่ย (Mean±SD)	
	ดินบน (0-30 ซม.)	ดินล่าง (30-60 ซม.)	ดินบน (0-30 ซม.)	ดินล่าง (30-60 ซม.)
1. ที่สูง (Green)	0.43-0.89	1.38-1.46	0.63±0.57	1.41±0.23
2. ที่ราบ (Fairway)	0.97-1.02	1.86-2.02	1.00±0.10	1.92±0.15
3. ที่ต่ำ (Catch Basin)	1.17-1.234	3.04-3.323	1.20±0.12	3.17±0.18

ตารางที่ 4.4 แสดงปริมาณอินทรีย์วัตถุในตัวอย่างดินที่สุ่มเก็บขึ้นมาจากสนามกอล์ฟในลักษณะพื้นที่ต่างๆกัน และพบว่าดินโดยทั่วไปจะมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสะสมอยู่ค่อนข้างต่ำ โดยเฉพาะในพื้นที่สูงปริมาณอินทรีย์วัตถุของดินบนอยู่ในช่วง 0.43-0.89% และดินล่างอยู่ในช่วง 1.38-1.46% สำหรับตัวอย่างดินของพื้นที่ราบจะมีเปอร์เซ็นต์อินทรีย์วัตถุของดินบนอยู่ในช่วง 0.97-1.02% และในดินล่างพบอยู่ในช่วง 1.86-2.02% ส่วนในพื้นที่ต่ำนั้นมีปริมาณอินทรีย์วัตถุของดินบนอยู่ในช่วง 1.17-1.23% และในดินล่างจะพบอยู่ในช่วง 3.04-3.32% ตามลำดับ

จากผลของการวิเคราะห์ดังกล่าวอาจประเมินได้ว่า สาเหตุที่พื้นที่สนามกอล์ฟมีปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำเช่นนี้ คงสืบเนื่องมาจากพื้นดินโดยส่วนใหญ่มีสภาพเป็นกรด ซึ่งสภาวะที่เป็นกรดจะไม่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียที่จะย่อยสลายเศษซากพืช ซากสัตว์ หรือของเสียประเภทต่างๆ ในดินให้กลายเป็นอินทรีย์วัตถุ จึงส่งผลทำให้มีปริมาณอินทรีย์วัตถุสะสมอยู่ในระดับที่ต่ำ (Dommergues et.al. 1998) ส่วนในกรณีของดินที่อยู่ในที่สูงนั้นมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสะสมอยู่ต่ำกว่าดินที่อยู่ในที่ต่ำ ก็มีสาเหตุมาจากอิทธิพลของกระบวนการชะล้างดังที่ได้กล่าวมาแล้วในเบื้องต้น

1.5) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน (TN ; %)

ตารางที่ 4.5 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของตัวอย่างดินจากสนามกอล์ฟปัญญา รามอินทรา

บริเวณพื้นที่เก็บตัวอย่าง	ช่วงพิสัย (Range)		ค่าเฉลี่ย (Mean±SD)	
	ดินบน (0-30 ซม.)	ดินล่าง (30-60 ซม.)	ดินบน (0-30 ซม.)	ดินล่าง (30-60 ซม.)
1. ที่สูง (Green)	0.04-0.16	0.15-0.24	0.10±0.09	0.20±0.08
2. ที่ราบ (Fairway)	0.03-0.08	0.08-0.30	0.05±0.06	0.21±0.12
3. ที่ต่ำ (Catch Basin)	0.02-0.09	0.08-0.14	0.05±0.04	0.11±0.07

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของตัวอย่างดินในสนามกอล์ฟที่สุ่มเก็บขึ้นมา จากลักษณะของพื้นที่ที่แตกต่างกัน และพบว่าตัวอย่างของดินในสนามกอล์ฟที่เก็บจากพื้นที่สูงมี ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสะสมอยู่ภายในดินบนประมาณ 0.04-0.16% และดินล่างพบอยู่ในช่วง 0.15-0.24% ส่วนในพื้นที่ราบนั้นเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนของดินบนอยู่ในช่วง 0.03-0.08 ในขณะที่ ดินล่างมีเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนอยู่ในช่วง 0.08-0.30 สำหรับตัวอย่างดินที่อยู่ในพื้นที่ต่ำนั้นเปอร์- เซนต์ไนโตรเจนของดินบนและดินล่างเป็น 0.02-0.09 และ 0.08-0.14 ตามลำดับ

การที่ดินบนและดินล่างของพื้นที่สนามกอล์ฟมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสะสมอยู่แตกต่างกัน และมีค่าลดลงเรื่อยๆ ตามลักษณะของพื้นที่นั้น มีสาเหตุมาจากรูปของไนโตรเจนในดินมีการแปร สภาพไปเป็นสารประกอบตัวอื่นๆ ผลของการแปรสภาพจะเป็นไปตามระยะเวลา ดังนั้นเมื่อเวลา ผ่านไปนานมากขึ้น ไนโตรเจนก็จะซึมลงสู่ดินชั้นล่างที่ลึกกว่าลงไปเรื่อยๆ ตามลักษณะของพื้นที่ดัง กล่าว (ดังจะพบว่า ในชั้น Catch Basin นั้นมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่มากกว่าดินชั้นอื่นๆ คือ มี ปริมาณ 0.05% ในดินบน และ 0.11% ในดินล่าง) ในขณะเดียวกันไนโตรเจนก็จะเกิดการแปร สภาพไปพร้อมๆกัน โดยอาศัยจุลินทรีย์ชนิดต่างๆภายในดินและส่งเสริมทำให้ปริมาณของ ไนโตรเจนในดินค่อยๆ ลดลงตามลำดับ (Federer, 1983) ส่วนกรณีของดินชั้นบนมีปริมาณ ไนโตรเจนแตกต่างออกไปจากดินชั้นล่างมากนั้น ก็คงสืบเนื่องมาจากดินชั้นบนของสนามกอล์ฟมี ลักษณะเป็นดินทราย ไนโตรเจนที่ใส่ลงไปในดินในรูปของปุ๋ยยูเรียจึงสามารถละลายน้ำได้ง่าย และถูกชะล้างลงสู่ดินชั้นล่างได้รวดเร็วกว่า ทำให้ไนโตรเจนปรากฏอยู่ในชั้นดินทรายได้ไม่นานนัก และมีปริมาณของการสะสมที่น้อยกว่าดินชั้นล่าง ถึงแม้ว่าจะมีการสุ่มเก็บตัวอย่างดินที่ตำแหน่ง เดียวกันก็ตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6) ปริมาณไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (NH_4^+-N และ NO_3^--N ; ppm)

ตารางที่ 4.6 ปริมาณไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชของตัวอย่างดินจากสนามกอล์ฟปัญญา
รวมอินทรา

บริเวณพื้นที่เก็บตัวอย่าง	ช่วงพิสัย (Range)		ค่าเฉลี่ย (Mean $\pm$ SD)	
	ดินบน (0-30 ซม.)	ดินล่าง (30-60 ซม.)	ดินบน (0-30 ซม.)	ดินล่าง (30-60 ซม.)
NH_4^+-N				
1. ที่สูง (Green)	2.81-3.32	7.02-14.05	3.30 $\pm$ 0.05	11.02 $\pm$ 1.61
2. ที่ราบ (Fairway)	1.92-2.56	3.15-7.82	2.23 $\pm$ 0.07	5.67 $\pm$ 1.32
3. ที่ต่ำ (Catch Basin)	0.83-1.06	3.32-5.09	0.98 $\pm$ 0.03	4.09 $\pm$ 1.12
NO_3^--N				
1. ที่สูง (Green)	1.72-3.45	4.38-5.60	2.67 $\pm$ 1.02	4.84 $\pm$ 0.86
2. ที่ราบ (Fairway)	1.85-3.25	7.89-10.06	2.48 $\pm$ 1.01	8.96 $\pm$ 0.98
3. ที่ต่ำ (Catch Basin)	2.80-4.28	15.59-17.85	3.61 $\pm$ 1.02	16.02 $\pm$ 0.88

ตารางที่ 4.6 แสดงปริมาณไนโตรเจนในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (NH_4^+-N , NO_3^--N) ของตัวอย่างดินจากสนามกอล์ฟที่เก็บตัวอย่างขึ้นมาจากลักษณะของพื้นที่ที่ต่างกัน โดยพบว่าในส่วน
ของปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนนั้น ในที่สูงมีระดับแอมโมเนียมไนโตรเจนในดินบนประมาณ
2.81-3.32 ppm ดินล่างพบอยู่ในช่วง 7.02-14.05 ppm ในพื้นที่ราบระดับแอมโมเนียม
ไนโตรเจนของดินบนอยู่ในช่วง 1.92-2.56 ppm และดินล่างปรากฏอยู่ในช่วง 3.15-7.82 ppm
ส่วนในที่ต่ำนั้นระดับแอมโมเนียมไนโตรเจนของดินบนและดินล่างจะอยู่ในช่วง 0.83-1.06 ppm
และ 3.32-5.09 ppm ตามลำดับ ในขณะที่ในส่วนองปริมาณไนเตรตไนโตรเจนนั้น พบว่าแนว
โน้มการเปลี่ยนแปลงของแต่ละพื้นที่นั้นมีลักษณะแตกต่างออกไปจากปริมาณแอมโมเนียม
ไนโตรเจน กล่าวคือ ในพื้นที่สูงจะมีปริมาณไนเตรตไนโตรเจนต่ำที่สุด ได้แก่ 1.72-3.45 ppm ใน
ดินบน และ 4.38-5.60 ppm ในดินล่าง สำหรับในพื้นที่ราบนั้นปริมาณไนเตรตไนโตรเจนของดิน
บนอยู่ในช่วง 1.85-3.25 ppm และในดินล่างพบอยู่ในช่วง 7.89-10.06 ppm นอกจากนี้ในพื้นที่
ต่ำของสนามกอล์ฟนั้นจะมีปริมาณไนเตรตไนโตรเจนสะสมอยู่ในดินบนและดินล่างเป็น 2.80-4.28
ppm และ 15.59-17.85 ppm ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลของการวิเคราะห์ดังกล่าวจะพบได้ว่า ดินในพื้นที่สูงของสนามกอล์ฟจะมีปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนสะสมอยู่มากกว่าตัวอย่างดินที่สุ่มเก็บขึ้นมาจากพื้นที่ที่ต่ำกว่า (โดยพบว่าในดินล่างบริเวณพื้นที่สูงมีปริมาณ NH_4^+-N สูงถึง 11.02 ppm ส่วนดินในที่ต่ำมีปริมาณ NH_4^+-N เพียง 4.09 ppm) แต่ในขณะเดียวกันก็พบอีกเช่นกันว่า ปริมาณไนเตรตไนโตรเจนที่พบในที่ต่ำนั้นมีปริมาณสูงกว่าดินในพื้นที่ด้านล่าง (กรณีของดินชั้นล่างบริเวณที่ต่ำมีปริมาณ NO_3^--N สูงถึง 16.02 ppm ส่วนดินในที่สูงมีปริมาณ NO_3^--N เพียง 4.84 ppm เท่านั้น) สาเหตุที่ดินในที่สูงมีปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนสะสมอยู่มากกว่าในที่ต่ำก็เนื่องมาจากเมื่อมีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนลงไปดิน และมีการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนไปเป็นแอมโมเนียมแล้ว แอมโมเนียมไนโตรเจนที่เกิดขึ้นก็จะเปลี่ยนแปลงรูปต่อไปเป็นไนเตรตไนโตรเจนซึ่งสัมพันธ์กับระยะเวลา (Federer, 1983) ดังนั้นเมื่อเวลาผ่านไปแอมโมเนียมจะเคลื่อนตัวลงสู่ดินชั้นล่างเรื่อยๆ เนื่องจากอิทธิพลของกระบวนการชะล้าง ในขณะเดียวกันก็จะมีกาเปลี่ยนรูปเป็นไนเตรตไนโตรเจน ซึ่งก็ส่งผลทำให้ดินในพื้นที่สูงของสนามกอล์ฟมีปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนสะสมอยู่สูงกว่าดินในที่ต่ำ ในกรณีของไนโตรเจนในรูปไนเตรตก็เช่นเดียวกัน พบว่าปริมาณไนเตรตของตัวอย่างดินในพื้นที่สูงจะมีค่าต่ำกว่าดินที่อยู่ในที่ต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากการแปรสภาพจากแอมโมเนียมไปเป็นไนเตรตแล้วนั่นเอง นอกจากนี้แล้วยังพบอีกว่าระหว่างดินชั้นบนและดินชั้นล่างที่เก็บจากตำแหน่งเดียวกัน จะมีปริมาณของแอมโมเนียมและไนเตรตที่แตกต่างกัน สาเหตุก็เนื่องจากดินชั้นบนในสนามกอล์ฟนั้นมีลักษณะเป็นดินทราย ซึ่งดินทรายส่วนใหญ่จะเป็นดินที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุและมีเนื้อที่ผิวจำเพาะน้อย การดูดซับไอออนต่างๆ จึงเกิดขึ้นได้ต่ำ (Chang and Entz, 1996) อีกทั้งยังมีอิทธิพลของกระบวนการชะล้างเกิดขึ้น จึงส่งเสริมให้ไอออนต่างๆ แพร่กระจายลงสู่ดินชั้นล่างได้รวดเร็วและมากกว่าความสามารถที่จะถูกดูดซับไอออนต่างๆ ไว้ได้ และมีผลทำให้ปริมาณของแอมโมเนียม และไนเตรตที่เก็บจากดินชั้นบนและชั้นล่างในตำแหน่งเดียวกันมีค่าที่แตกต่างกันมาก ผลการศึกษายังพบเพิ่มเติมอีกว่า ปริมาณไนเตรตไนโตรเจนที่พบในดินชั้นล่างที่เก็บขึ้นมาจากสนามกอล์ฟนั้นมีค่าค่อนข้างสูง โดยเฉพาะดินที่เก็บมาจากพื้นที่ต่ำจะมีค่าเฉลี่ยประมาณ 16.02 ppm การที่มีไนเตรตสะสมอยู่เป็นปริมาณสูงๆ เช่นนี้จึงมีโอกาที่จะแทรกซึมลงสู่แหล่งน้ำใต้ดินและน้ำผิวดินบริเวณนั้น และอาจจะส่งผลเสียต่อผู้ที่นำน้ำนั้นไปใช้อุปโภคและบริโภค ทั้งนี้เราพบว่าสนามกอล์ฟที่ทำการเก็บตัวอย่างนี้สร้างขึ้นมามีอายุเพียง 3 ปี ดังนั้นถ้าสนามกอล์ฟมีอายุมากขึ้น การสะสมไนเตรตย่อมมีปริมาณมากขึ้นตามไปด้วย

1.7) ปริมาณประจุบวกที่แลกเปลี่ยนได้ (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} ; ppm)

ตารางที่ 4.7 ปริมาณประจุบวกเป็นค่าที่แลกเปลี่ยนได้ (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) ของ
ตัวอย่างดินจากสนามกอล์ฟปัญญา งามอินทรา

บริเวณพื้นที่เก็บตัวอย่าง	ช่วงพิสัย (Range)		ค่าเฉลี่ย (Mean±SD)	
	ดินบน (0-30 ซม.)	ดินล่าง (30-60 ซม.)	ดินบน (0-30 ซม.)	ดินล่าง (30-60 ซม.)
Mg^{2+}				
1. ที่สูง (Green)	1.81-2.36	4.31-7.36	2.10±0.43	5.32±1.03
2. ที่ราบ (Fairway)	1.73-2.80	3.75-5.80	2.21±0.65	4.89±0.98
3. ที่ต่ำ (Catch Basin)	0.75-1.46	1.93-2.27	0.91±0.38	2.07±0.73
K^+				
1. ที่สูง (Green)	1.36-1.49	1.43-2.32	1.41±0.72	1.89±0.68
2. ที่ราบ (Fairway)	1.50-4.80	1.53-4.67	2.86±1.23	2.96±1.38
3. ที่ต่ำ (Catch Basin)	0.95-2.32	2.14-2.26	1.75±1.09	2.20±0.23
Ca^{2+}				
1. ที่สูง (Green)	0.23-0.32	6.88-7.26	0.28±0.58	7.10±0.78
2. ที่ราบ (Fairway)	0.09-0.31	6.00-6.33	0.26±1.34	6.15±0.52
3. ที่ต่ำ (Catch Basin)	0.14-0.243	4.56-5.99	0.19±0.73	5.28±1.07
Na^+				
1. ที่สูง (Green)	0.09-0.11	2.23-2.65	0.10±0.35	2.41±0.45
2. ที่ราบ (Fairway)	0.09-0.25	2.03-2.09	0.17±0.89	2.06±0.09
3. ที่ต่ำ (Catch Basin)	0.12-0.15	0.09-1.99	0.14±0.23	1.45±0.64

ตารางที่ 4.7 แสดงปริมาณประจุบวกที่แลกเปลี่ยนได้ (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) ของตัวอย่างดินในสนามกอล์ฟที่มีลักษณะพื้นที่แตกต่างกัน พบว่า ปริมาณแมกนีเซียมของตัวอย่างดินในพื้นที่สูงของดินบนอยู่ในช่วง 1.81-2.36 ppm ในดินล่างอยู่ในช่วง 4.31-7.36 ppm สำหรับตัวอย่างดินในที่ราบของดินบนอยู่ในช่วง 1.73-2.80 ppm และในดินล่างจะอยู่ในช่วง 3.75-5.80 ppm นอกจากนี้ตัวอย่างดินในพื้นที่ต่ำของสนามกอล์ฟจะมีปริมาณแมกนีเซียมอยู่ในช่วง 0.75-1.46 ppm และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในดินล่างอยู่ในช่วง 1.93-2.27 ppm ในขณะที่ปริมาณโพแทสเซียมของตัวอย่างดินในที่สูงในดินบนอยู่ในช่วง 1.36-1.49 ppm และดินล่างพบอยู่ในช่วง 1.43-2.32 ppm ในกรณีของพื้นที่ราบนั้น ปริมาณโพแทสเซียมของดินบนอยู่ในช่วง 1.50-4.80 ppm และในดินล่างปรากฏอยู่ในช่วง 1.53-4.67 ppm ส่วนพื้นที่ต่ำของดินบนจะพบโพแทสเซียมอยู่ในช่วง 0.95-2.32 ppm และดินล่างอยู่ในช่วงประมาณ 2.14-2.26 ppm สำหรับปริมาณแคลเซียมในตัวอย่างดินนั้นพบว่าดินในที่สูงจะมีปริมาณแคลเซียมสะสมอยู่ภายในดินบนเป็น 0.23-0.32 ppm และดินล่างเป็น 6.88-7.26 ppm ตามลำดับ ในพื้นที่ราบของดินบนจะพบแคลเซียมเป็น 0.09-0.31 ppm และในดินล่างเป็น 6.00-6.33 ppm ตามลำดับ ส่วนในพื้นที่ต่ำนั้นปริมาณแคลเซียมที่พบในดินบนเป็น 0.14-0.24 ppm และดินล่างเป็น 4.56-5.99 ppm ส่วนปริมาณของโซเดียมในดินบนพบว่า ในพื้นที่สูงจะมีปริมาณโซเดียมเป็น 0.09-0.11 ppm และดินล่างเป็น 2.23-2.65 ppm ในส่วนของที่ราบนั้นปริมาณโซเดียมในดินบนเป็น 0.09-0.25 ppm และดินล่างเป็น 2.03-2.09 ppm ส่วนในพื้นที่ต่ำนั้นปริมาณโซเดียมในดินบนและดินล่างเป็น 0.12-0.15 ppm และ 0.09-1.99 ppm ตามลำดับ

จากผลการศึกษาพบว่า โดยภาพรวมนั้นปริมาณของธาตุอาหารประจุบวกต่างๆ ที่สะสมอยู่ภายในพื้นที่สนามกอล์ฟแห่งนี้มีอยู่ค่อนข้างน้อย ซึ่งมีสาเหตุมาจากการที่ดินโดยทั่วไปมีสภาพเป็นกรด และการที่ดินเป็นกรดนั้นจะส่งเสริมทำให้ดินมีระดับของธาตุอาหารแคลเซียมและแมกนีเซียมอยู่ค่อนข้างต่ำ (ในดินชั้นล่างบริเวณที่ต่ำมีปริมาณ Ca^{2+} , Mg^{2+} และ K^+ เพียง 5.28, 2.07 และ 2.20 ppm) ทั้งนี้จะรวมถึงโซเดียมด้วย เพราะธาตุอาหารประจุบวกเหล่านี้จะถูกชะล้างออกไปจากดินได้ง่าย จึงพบว่ามีปริมาณโซเดียมอยู่น้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับธาตุอาหารตัวอื่นๆ เนื่องจากว่าเมื่อมีกระบวนการชะล้างเกิดขึ้น โซเดียมไอออนจะหลุดออกไปได้มากที่สุดเพราะแรงดูดซับที่ยึดอยู่กับคอลลอยด์ในดินน้อยที่สุด (Bergstrom, 1995) นอกจากนี้ยังพบว่าพื้นที่ดินที่อยู่ในที่สูงนั้นจะมีปริมาณประจุบวกสะสมอยู่มากกว่าพื้นดินที่อยู่ในที่ต่ำของสนามกอล์ฟ สาเหตุมาจากระดับ pH ในดินมีค่าต่ำมาก (เป็นกรดมาก) จึงส่งผลให้ปริมาณประจุบวกของธาตุต่างๆ ลดน้อยลงตามลำดับด้วย

4.2 การเปลี่ยนแปลงระดับสารพิษภายในสนามกอล์ฟ

2.1) ปริมาณอลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Al³⁺ ; ppm)

ตารางที่ 4.8 ปริมาณอลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Al³⁺) ของตัวอย่างดินจากสนามกอล์ฟปัญญา รามอินทรา

บริเวณพื้นที่เก็บตัวอย่าง	ช่วงพิสัย (Range)		ค่าเฉลี่ย (Mean±SD)	
	ดินบน (0-30 ซม.)	ดินล่าง (30-60 ซม.)	ดินบน (0-30 ซม.)	ดินล่าง (30-60 ซม.)
1. ที่สูง (Green)	12.67-14.00	12.44-20.22	13.37±1.96	16.99±3.44
2. ที่ราบ (Fairway)	12.00-15.33	10.44-30.22	13.9±1.01	20.22±4.43
3. ที่ต่ำ (Catch Basin)	16.33-17.226	40.66-55.67	16.72±1.66	47.00±5.64

ตารางที่ 4.8 แสดงปริมาณอลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้สำหรับตัวอย่างดินของพื้นที่สนามกอล์ฟในลักษณะต่างๆกัน และพบว่าโดยทั่วไปแล้วปริมาณอลูมิเนียมมีอยู่ในระดับค่อนข้างสูง โดยพื้นที่สูงมีค่าอยู่ในช่วง 12.67-14.00 ppm สำหรับตัวอย่างดินบน และ 12.44-20.22 ppm ในดินล่างตามลำดับ ส่วนพื้นที่ราบจะมีปริมาณอลูมิเนียมสะสมอยู่ในดินบนประมาณ 12.00-15.33 ppm และในดินล่างอยู่ในช่วง 10.44-30.22 ppm ส่วนในที่ต่ำนั้นจะมีปริมาณอลูมิเนียมของดินบนและดินล่างอยู่ในช่วง 16.33-17.22 ppm และ 40.66-55.67 ppm ตามลำดับ

โดยปกติแล้วจะพบว่า ปริมาณสารพิษอลูมิเนียมสามารถใช้เป็นดัชนีที่เป็นตัวบ่งชี้ถึงระดับความเป็นกรดทั้งหมดของดินได้อย่างแท้จริง (Bremner, 1965) โดยค่าความเป็นกรดทั้งหมดของดินนี้จะประกอบไปด้วยปริมาณอลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้เป็นส่วนใหญ่ รวมกับปริมาณส่วนน้อยของปริมาณไฮโดรเจนที่แลกเปลี่ยนได้ เพราะฉะนั้นในดินที่เป็นกรดจัด (pH < 5) อลูมิเนียมจะอยู่ในรูปของ Al(H₂O)₆³⁺ ซึ่งเป็นรูปที่ละลายได้อยู่ในสารละลายดิน (Soil solution) และจะละลายตัวได้ดีเมื่อดินเป็นกรดจัดๆ และจะละลายออกมามากเกินไปจนถึงระดับที่เป็นพิษแก่พืชได้ (ถวิล, 2538) ในการทดลองของพื้นที่สนามกอล์ฟครั้งนี้พบว่า ลักษณะของดินที่อยู่ในพื้นที่ต่ำจะมีปริมาณอลูมิเนียมสะสมอยู่สูงมาก ทั้งนี้ก็เนื่องจากดินนั้นมีสภาพเป็นกรดจัด (pH < 4.67 ในดินบน และ pH 3.73 ในดินล่าง) เพราะฉะนั้นการที่จะแก้ไขไม่ให้มีปริมาณอลูมิเนียมสะสมอยู่ในดินมากเกินไปจึงอาจปฏิบัติได้โดยการเติมสารพวกปูนขาวชนิดต่างๆลงไป เพื่อลดความเป็นกรดของดินโดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2) ปริมาณแมงกานีส (Mn ; ppm)

ตารางที่ 4.9 ปริมาณแมงกานีส (Mn) ของตัวอย่างดินจากสนามกอล์ฟปัญญา งามอินทรา

บริเวณพื้นที่เก็บตัวอย่าง	ช่วงพิสัย (Range)		ค่าเฉลี่ย (Mean±SD)	
	ดินบน (0-30 ซม.)	ดินล่าง (30-60 ซม.)	ดินบน (0-30 ซม.)	ดินล่าง (30-60 ซม.)
1. ที่สูง (Green)	8.92-9.28	13.69-21.38	9.08±0.76	17.12±3.33
2. ที่ราบ (Fairway)	7.66-8.91	14.66-30.77	8.23±0.43	24.12±5.56
3. ที่ต่ำ (Catch Basin)	10.47-15.28	40.92-52.67	12.28±1.15	47.02±4.74

ตารางที่ 4.9 แสดงปริมาณแมงกานีสของตัวอย่างดินที่สุ่มเก็บขึ้นมาจากสนามกอล์ฟบริเวณพื้นที่ต่างๆกัน พบว่าโดยทั่วไปปริมาณแมงกานีสมีค่าอยู่ในระดับค่อนข้างสูง โดยในพื้นที่สูงของสนามกอล์ฟจะมีปริมาณแมงกานีสของดินบนอยู่ในช่วง 8.92-9.28 ppm และดินล่างอยู่ในช่วง 13.69-21.38 ppm ในกรณีของพื้นที่ราบนั้นปริมาณแมงกานีสพบอยู่ในช่วง 7.66-8.91 ppm ของดินบน และ 14.66-30.77 ppm ในดินล่าง ส่วนในพื้นที่ต่ำนั้นปริมาณแมงกานีสปรากฏอยู่ในช่วง 10.47-15.28 ppm และ 40.92-52.67 ppm สำหรับดินบนและดินล่าง ตามลำดับ

สาเหตุที่ปริมาณแมงกานีสที่ตรวจพบโดยทั่วไปมีค่าค่อนข้างสูงนั้นก็มิใช่เหตุผลเช่นเดียวกับกรณีของอลูมิเนียม กล่าวคือ แมงกานีสจะละลายตัวอยู่ในสารละลายดินได้มากขึ้นเมื่อระดับความเป็นกรดของพื้นที่สนามกอล์ฟเพิ่มขึ้น (โดยพบว่าในกรณีของดินในบริเวณที่ต่ำซึ่งมีความเป็นกรดค่อนข้างสูงนั้น ปริมาณ Mn มีค่าสูงถึง 47.02 ppm ในดินล่าง) แต่ลักษณะความเป็นพิษนี้สามารถบรรเทาลงได้ถ้าดินกรดนั้นมีการถ่ายเทอากาศและระบายน้ำได้ดี ซึ่งสภาพการถ่ายเทอากาศและการระบายน้ำได้ดีเป็นคุณลักษณะของสนามกอล์ฟโดยทั่วไปอยู่แล้ว

2.3) ปริมาณเหล็ก (Fe ; ppm)

ตารางที่ 4.10 ปริมาณเหล็ก (Fe) ของตัวอย่างดินจากสนามกอล์ฟปัญญา รามอินทรา

บริเวณพื้นที่เก็บตัวอย่าง	ช่วงพิสัย (Range)		ค่าเฉลี่ย (Mean±SD)	
	ดินบน (0-30 ซม.)	ดินล่าง (30-60 ซม.)	ดินบน (0-30 ซม.)	ดินล่าง (30-60 ซม.)
1. ที่สูง (Green)	8.99-10.22	19.16-21.55	9.72±1.02	20.86±0.92
2. ที่ราบ (Fairway)	11.28-12.55	20.15-25.28	11.92±0.96	22.48±1.26
3. ที่ต่ำ (Catch Basin)	11.33-15.66	28.32-30.44	13.21±1.09	29.69±1.32

ตารางที่ 4.10 แสดงปริมาณเหล็กของตัวอย่างดินที่เก็บจากสนามกอล์ฟในพื้นที่ต่าง ๆ กัน และพบว่าปริมาณเหล็กที่ตรวจพบจะสัมพันธ์กับปริมาณอลูมิเนียมและแมงกานีสที่แสดงผลไปก่อนหน้านี้ โดยจะพบในปริมาณที่ค่อนข้างสูงเช่นเดียวกัน กล่าวคือ ในพื้นที่สูงนั้นปริมาณเหล็กของดินบนอยู่ในช่วง 8.99-10.22 ppm และดินล่างอยู่ในช่วง 19.16-21.55 ppm ส่วนในพื้นที่ราบปริมาณเหล็กของดินบนจะสะสมอยู่ในช่วง 11.28-12.55 ppm และดินล่างมีอยู่ในช่วง 20.15-25.28 ppm ในขณะที่ในพื้นที่ต่ำนั้นปริมาณเหล็กของดินบนและดินล่างจะพบอยู่ในช่วง 11.33-15.66 ppm และ 28.32-30.44 ppm ตามลำดับ

ผลของการวิเคราะห์เป็นไปเช่นเดียวกับในกรณีของอลูมิเนียมและแมงกานีส โดยพบว่าปริมาณเหล็กนั้นจะละลายตัวออกมาได้มากกว่าในสภาพของดินที่เป็นกรด และจะละลายตัวได้มากขึ้นเมื่อค่า pH ต่ำกว่า 5 (โดยพบว่าดินในบริเวณที่ต่ำซึ่งมีระดับ pH < 5 นั้น มีปริมาณ Fe สูงถึง 29.69 ppm) ดังนั้นจึงพบได้ว่าลักษณะของพื้นดินสนามกอล์ฟซึ่งอยู่ในที่ต่ำจะมีปริมาณของเหล็กสะสมอยู่สูงมาก ซึ่งสืบเนื่องมาจากมีระดับ pH ของดินเพียง 3.72-4.64 เท่านั้น

4.3 การประเมินรูปแบบและกิจกรรมของสารพิษ Al^{3+} ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ SOIL SOLN Program

จากรายละเอียดของข้อมูลทั้ง 2 หัวข้อที่ผ่านมาได้ระบุและชี้บ่งอย่างชัดเจนว่า ภายใต้อินทรีย์วัตถุของดินของสนามกอล์ฟแห่งนี้ โดยเฉพาะในสภาพของดินชั้นบนและชั้นล่างตามลักษณะของพื้นที่ต่างๆ ที่ศึกษา 3 พื้นที่ (ได้แก่ พื้นที่สูง พื้นที่ราบ และพื้นที่รองรับน้ำ) ล้วนเกี่ยวข้องและได้รับอิทธิพลจากกระบวนการชะล้างแทบทั้งสิ้น เพราะฉะนั้นความสนใจอีกประการหนึ่งที่ชี้บ่งออกมาอย่างเด่นชัดก็คือ ในตัวอย่างของดินชั้นล่างส่วนใหญ่มีการสะสมสารพิษประเภทต่างๆ เช่น Al, Fe และ Mn เป็นปริมาณที่สูงมาก แนวโน้มของการสะสมสารพิษเช่นนี้เป็นไปในภาพรวมของระดับความเข้มข้นที่สูง โดยเฉพาะปริมาณ Al^{3+} ที่พบตั้งแต่ 9.72-29.69 ppm

แต่อย่างไรก็ตามจากการศึกษาของ Poolpipatana (1994) รายงานว่า "ระดับความเข้มข้นของ Al^{3+} (Al concentration)" นั้นไม่ได้เป็นดัชนีหรือตัวบ่งชี้ที่ดีของความเป็นพิษที่จะแสดงออกมาให้เห็นได้อย่างชัดเจนต่อสภาพของพื้นที่ดินและคุณสมบัติของสิ่งแวดล้อมต่างๆ โดยเสนอให้ใช้ "ค่ากิจกรรมของ Al^{3+} (Al activity)" เป็นตัวประเมินถึงผลพฤติกรรมของ Al^{3+} อย่างแท้จริง พร้อมกันนี้ Poolpipatana (1994) ได้ทำการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ขึ้นมาเพื่อใช้ประเมินถึงค่ากิจกรรมของ Al^{3+} ดังกล่าว โดยเรียกชื่อโปรแกรมนี้อีกว่า "SOILSOLN Computer Program" (Wolt. 1987)

โปรแกรม SOILSOLN Computer Program ถูกออกแบบและพัฒนาขึ้นมาโดยอาศัยหลักการทางด้านภาษา GW BASIC โดยกำหนดให้พิมพ์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ (ในหน่วยความเข้มข้น mmol/l) ลงไปในโปรแกรม เช่น Problem Identification ที่ต้องการ ค่า pH, EC, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Mn^{3+} , Zn^{2+} , Al^{3+} (ที่ได้จากการวิเคราะห์ทั้งหมดในข้อ 2), Si, Cl, P, NO_3^- , SO_4^{2-} , F, DOC CO_2 เป็นต้น จะเห็นได้ว่าค่าพารามิเตอร์บางตัวเป็นงานที่ปฏิบัติหรือวิเคราะห์อยู่แล้วจากการศึกษาครั้งนี้ เพราะฉะนั้นเมื่อนำค่าที่วิเคราะห์ได้จากข้อ 1 และ 2 ของการศึกษาใส่ลงไปเป็นข้อมูลดิบของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ก็จะให้ค่า Al activities ออกมาอย่างรวดเร็ว และบ่งชี้ถึงพฤติกรรมของ Al^{3+} ได้อย่างชัดเจน

ตารางที่ 4.11 ช่วงพิสัยและค่าเฉลี่ยของ pAI และ Al^{3+} activities(μM) ที่ได้รับจากการทำงานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ SOILSOLN สำหรับดินชั้นบนของสนามกอล์ฟ

พื้นที่	pAI		Al^{3+} activities(μM)	
	ช่วงพิสัย	ค่าเฉลี่ย	ช่วงพิสัย	ค่าเฉลี่ย
1. Green	7.21-9.28	8.36	0.005-0.062	0.004
2. Fairway	6.45-7.20	6.77	0.063-0.355	0.170
3. Catch-basin	4.07-5.01	4.62	9.772-85.114	24.000

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.11 ช่วยยืนยันและบ่งชี้ถึงสภาพความเป็นพิษของระดับกิจกรรม Al^{3+} ที่พบอยู่ในชั้นดินบนของสนามกอล์ฟได้เป็นอย่างดี กล่าวคือ

1. เมื่อพิจารณาผลการทำงานด้วยคอมพิวเตอร์ โดยอาศัยค่า Al^{3+} หรือ "Negative logativity of the acidity of Al^{3+} " จะพบว่า สภาพโดยรวมของดินชั้นบนภายในสนามกอล์ฟในพื้นที่ต่าง ๆ นั้น จะให้ค่าพิสัย pAI อยู่ในช่วงตั้งแต่ 4.07-9.28 แต่เมื่อพิจารณาภาพรวมของค่าเฉลี่ยสำหรับ Al^{3+} ที่พบอยู่ภายในพื้นที่ทั้ง 3 ระดับ จะปรากฏค่าดังกล่าวอยู่ในช่วงตั้งแต่ 4.62-8.36

2. เมื่อพิจารณาผลจากการคิดคำนวณและแปลงเป็นค่า Al^{3+} activities ออกมาในหน่วยของ $\mu mol/L$ ก็พบได้อีกเช่นเดียวกันว่า พื้นที่ดินบนของสนามกอล์ฟนั้นประสบกับปัญหาระดับกิจกรรมความเป็นพิษของ Al^{3+} อย่างแท้จริง โดยพบว่าดินชั้นบนของสนามกอล์ฟมีช่วงพิสัยของ Al^{3+} activities ปรากฏอยู่ในระดับตั้งแต่ 0.005-85.114 $\mu mol/L$ ในกรณีเช่นนี้ถ้าพิจารณาลึกลงไปในรายละเอียดจะพบว่าในดินชั้นบนที่เก็บตัวอย่างขึ้นมาจากพื้นที่สูง (Green) นั้น จะมีระดับ Al^{3+} ในปริมาณที่ต่ำกว่าตัวอย่างดินที่เก็บมาจากพื้นที่ที่อยู่ในระดับต่ำกว่า และ Al^{3+} activities จะมีค่าต่ำที่สุดในพื้นที่ของ Catch basin ตามลำดับ ซึ่งผลที่ได้ออกมานี้มีความสอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้ทำในห้องปฏิบัติการ และยังสอดคล้องกับระดับ pH ที่ลดลงของพื้นที่ดินในแต่ละระดับด้วย โดยเราจะพบว่าในพื้นที่ต่ำ (Catch basin) นั้น เป็นบริเวณที่มีระดับ pH ต่ำที่สุด ซึ่งพบว่า AI จะปรากฏอยู่ในรูปที่ละลายได้ในดินนั้น และจะมีอัตราของการละลายได้ดีในสภาพของดินที่เป็นกรดจัดอย่างชัดเจน (พิจารณาตารางที่ 4.8 ประกอบด้วย)

ตารางที่ 4.12 ช่วงพิสัยและค่าเฉลี่ยของ pAl และ Al^{3+} activities(μM) ที่ได้รับการทำงานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ SOILSOLN สำหรับดินชั้นล่างของสนามกอล์ฟ

พื้นที่	pAl		Al^{3+} activities(μM)	
	ช่วงพิสัย	ค่าเฉลี่ย	ช่วงพิสัย	ค่าเฉลี่ย
1. Green	6.87-8.36	7.72	0.004-0.135	0.019
2. Fairway	5.48-8.68	6.92	0.002-3.311	0.120
3. Catch-basin	3.18-4.92	4.01	12.023-660.70	97.724

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.12 ก็ช่วยยืนยันและบ่งชี้ถึงสภาพความเป็นพิษของระดับกิจกรรม Al^{3+} ที่พบอยู่ในชั้นดินชั้นล่างของสนามกอล์ฟได้เช่นเดียวกับดินชั้นบน กล่าวคือ

1. เมื่อพิจารณาผลการทำงานด้วยคอมพิวเตอร์ โดยอาศัยค่า Al^{3+} หรือ "Negative logativity of the acidity of Al^{3+} " จะพบว่า สภาพโดยรวมของดินชั้นล่างภายในสนามกอล์ฟสำหรับพื้นที่ต่างๆกัน จะให้ค่าพิสัย pAlอยู่ในช่วงตั้งแต่ 3.18-8.68 โดยเฉพาะเมื่อพิจารณาภาพรวมสำหรับค่าเฉลี่ยสำหรับ pAlที่พบอยู่ภายในพื้นที่ทั้ง 3 ระดับ จะปรากฏค่าดังกล่าวอยู่ในช่วงตั้งแต่ 4.01-7.72

2. เมื่อพิจารณาผลจากการคิดคำนวณและแปลงออกมาเป็นค่า Al^{3+} activities ออกมาในหน่วยของ $\mu mol/L$ ก็พบได้อีกเช่นเดียวกันว่า พื้นที่ดินในสนามกอล์ฟนั้นประสบกับปัญหาของระดับกิจกรรมความเป็นพิษของ Al^{3+} อย่างแท้จริง โดยพบว่าดินชั้นล่างของสนามกอล์ฟมีช่วงพิสัยของ Al^{3+} activities ปรากฏอยู่ในระดับตั้งแต่ 0.004-660.70 $\mu mol/L$ ซึ่งจะพบว่าในดินชั้นล่างนั้นมีปริมาณ Al^{3+} activities อยู่ในระดับที่สูงมาก และพบว่าปริมาณของ Al^{3+} ที่สูงมากนี้จะอยู่ในพื้นดินระดับที่ต่ำที่สุด (Catch basin) ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์กับผลการทดลองของระดับ pH ที่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการแล้วพบว่า เป็นไปตามสภาพความเป็นจริง นั่นคือ ในพื้นที่ Catch basin ในดินชั้นล่างมีระดับ pH ที่ต่ำมาก (pH 3.73) และต่ำมากกว่าดินชั้นบน (pH 4.67) ทั้งนี้เพราะได้รับอิทธิพลมาจากกระบวนการชะล้าง และส่งผลให้ระดับกิจกรรมของ Al^{3+} ในดินบริเวณแห่งนี้มีปริมาณที่สูงมาก ดังนั้นระดับความเป็นพิษของ Al^{3+} ย่อมส่งผลกระทบบอกมาให้เห็นอย่างชัดเจนมากขึ้น

จากผลที่กล่าวมาทั้งหมดนี้ย่อมบ่งชี้ถึงรูปแบบ สถานภาพ และกิจกรรมของ Al^{3+} ที่ปรากฏภาพของความเป็นสารพิษออกมาให้เห็นได้เป็นอย่างดีสำหรับพื้นที่สนามกอล์ฟในการศึกษาครั้งนี้ และผลของข้อมูลที่พบส่วนใหญ่สอดคล้องเช่นเดียวกับรายงานของ Poolpipatana (1994)

ตัวอย่างการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ SOILSOLN เพื่อประเมินหา Al^{3+} activities ของ
ตัวอย่างดินชั้นบนของพื้นที่ Green

SOILSOLN

Problem Identification: Green-top
pH : 6.20
EC : 0.40

INPUT FORMAT

<=20 char
xx.xx
dS/cm

Ca²⁺ : 0.007 mmol/L
Mg²⁺ : 0.088
K⁺ : 0.036
Na⁺ : 0.004
NH₄⁺ : 0.183
Mn³⁺ : 0.165
Zn²⁺ : 0
Al³⁺ : 0.50

Si : 0 mmol/L
Cl⁻ : 0
P : 0
NO₃⁻ : 0.043
SO₄²⁻ : 0
F⁻ : 0
DOC : 0
CO₂ : 0.03 atm

SOIL SOLUTION--Output Data

Problem: Green-top
pH: 6.20 C: 0.402 dS/cm
Ion Difference: 49% Be Careful, exceeds 20%

Solved in NCOUNT = 5
I: 3.997547E-03

3.74

-log CONCENTRATION, mol/L

Free	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	HPO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻
		3.90				2.67	6.70
Free	Ca ²⁺					6.72	
	5.16						
Mg ²⁺						5.72	
	4.06						
K ⁺							
	4.44						
Na							
	5.39						
NH ₄ ⁺							
Mn ³⁺							
	3.78						
Al ³⁺							
	6.97		0.00	0.00			
AlOH	5.90	Al(OH) ₂	3.47	Al(OH) ₃	3.79	Al(OH) ₄	5.68

FREE ION, PERCENT

Ca ²⁺	97	Mg ²⁺	98	K ⁺	100	Na ⁺	100	NH ₄ ⁺	100	Mn ³⁺	100	Al ³⁺	0	Zn ²⁺	
Cl ⁻		NO ₃	100	SO ₄ ²⁻		H ₂ PO ₄		HPO ₄ ²⁻		HCO ₃	100	CO ₃ ²⁻	0	F ⁻	

-log ACTIVITY

Ca ²⁺	5.28	Mg ²⁺	4.17	K ⁺	4.47	Na ⁺	5.42	NH ₄ ⁺	3.77	Mn ³⁺	3.89	Al ³⁺	7.21	Zn ²⁺	
Cl ⁻		NO ₃	3.93	SO ₄ ²⁻		H ₂ PO ₄		HPO ₄ ²⁻		HCO ₃	2.70	CO ₃ ²⁻	6.82	F ⁻	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ SOILSOLN เพื่อประเมินหา Al^{3+} activities ของ
ตัวอย่างดินชั้นล่างของพื้นที่ Green

SOILSOLN

Problem Identification: Green-bottom

pH : 6.09

EC : 0.37

INPUT FORMAT

<=20 char

xx.xx

dS/cm

Ca ²⁺ : 0.178 mmol/L	Si : 0 mmol/L
Mg ²⁺ : 0.222	Cl ⁻ : 0
K ⁺ : 0.049	P : 0
Na ⁺ : 0.105	NO ₃ ⁻ : 0.078
NH ₄ ⁺ : 0.612	SO ₄ ²⁻ : 0
Mn ³⁺ : 0.311	F ⁻ : 0
Zn ²⁺ : 0	DOC : 0
Al ³⁺ : 0.63	CO ₂ : 0.03 atm

SOIL SOLUTION--Output Data

Problem: Green-bottom	Solved in NCOUNT = 5
pH: 6.09 C: 0.372 dS/cm	I: 6.647568E-03
Ion Difference: 73% Be Careful, exceeds 20%	

3.21

-log CONCENTRATION, mol/L															
Free	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	HPO ₄ ²⁻	HCO ₃	CO ₃ ²⁻								
Free		3.30				2.45	6.56								
Ca ²⁺	3.77					5.13									
Mg ²⁺	3.67					5.13									
K ⁺	4.31														
Na ⁺	3.98														
NH ₄ ⁺															
Mn ³⁺	3.50														
Al ³⁺	6.57		0.00	0.00											
AlOH	5.64	Al(OH) ₂	3.34	Al(OH) ₃	3.78	Al(OH) ₄	5.77								
FREE ION, PERCENT															
Ca ²⁺	96	Mg ²⁺	97	K ⁺	100	Na ⁺	100	NH ₄ ⁺	100	Mn ³⁺	100	Al ³⁺	0	Zn ²⁺	
Cl ⁻		NO ₃ ⁻	100	SO ₄ ²⁻		H ₂ PO ₄		HPO ₄ ²⁻		HCO ₃	100	CO ₃ ²⁻	0	F ⁻	
-log ACTIVITY															
Ca ²⁺	3.91	Mg ²⁺	3.80	K ⁺	4.35	Na ⁺	4.01	NH ₄ ⁺	3.25	Mn ³⁺	3.65	Al ³⁺	6.87	Zn ²⁺	
Cl ⁻		NO ₃ ⁻	3.34	SO ₄ ²⁻		H ₂ PO ₄		HPO ₄ ²⁻		HCO ₃ ⁻	2.48	CO ₃ ²⁻	6.71	F ⁻	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ SOILSOLN เพื่อประเมินหา Al^{3+} activities ของ
ตัวอย่างดินชั้นบนของพื้นที่ Fairway

SOILSOLN

Problem Identification: Fairway-top
pH : 5.87
EC : 0.36

INPUT FORMAT
≤20 char
xx.xx
dS/cm

Ca^{2+} : 0.007 mmol/L Si : 0 mmol/L
 Mg^{2+} : 0.092 Cl^- : 0
 K^+ : 0.073 P : 0
 Na^+ : 0.008 NO_3^- : 0.04
 NH_4^+ : 0.124 SO_4^{2-} : 0
 Mn^{3+} : 0.15 F^- : 0
 Zn^{2+} : 0 DOC : 0
 Al^{3+} : 0.518 CO_2 : 0.03 atm

SOIL SOLUTION--Output Data
Problem: Fairway-top Solved in NCOUNT = 5
pH: 5.87 C: 0.36 dS/cm I: 4.05526E-03
Ion Difference: 71% Be Careful, exceeds 20%

3.90	-log CONCENTRATION, mol/L						
Free	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	$H_2PO_4^-$	HPO_4^{2-}	HCO_3^-	CO_3^{2-}
Free		3.62				2.69	7.06
Ca^{2+}	5.16					6.74	
Mg^{2+}	4.04					5.72	
K^+	4.13						
Na^+	5.09						
NH_4^+							
Mn^{3+}	3.82						
Al^{3+}	6.20		0.00	0.00			
AlOH	5.47	Al(OH) ₂	3.37	Al(OH) ₃	4.03	Al(OH) ₄	6.26
FREE ION, PERCENT							
Ca^{2+}	97	Mg^{2+}	98	K^+	100	Na^+	100
Cl^-		NO_3^-	100	SO_4^{2-}		$H_2PO_4^-$	
-log ACTIVITY							
Ca^{2+}	5.28	Mg^{2+}	4.15	K^+	4.16	Na^+	5.12
Cl^-		NO_3^-	3.65	SO_4^{2-}		$H_2PO_4^-$	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ SOILSOLN เพื่อประเมินหา Al^{3+} activities ของ
ตัวอย่างดินชั้นล่างของพื้นที่ Fairway

SOILSOLN

Problem Identification: Fairway-bottom

pH : 5.48

EC : 0.33

INPUT FORMAT

<=20 char

xx.xx

dS/cm

Ca ²⁺ : 0.154 mmol/L	Si : 0 mmol/L
Mg ²⁺ : 0.204	Cl ⁻ : 0
K ⁺ : 0.036	P : 0
Na ⁺ : 0.002	NO ₃ ⁻ : 0.145
NH ₄ ⁺ : 0.315	SO ₄ ²⁻ : 0
Mn ³⁺ : 0.439	F ⁻ : 0
Zn ²⁺ : 0	DOC : 0
Al ³⁺ : 0.749	CO ₂ : 0.03 atm

SOIL SOLUTION--Output Data

Problem: Fairway-bottom

Solved in NCOUNT = 5

pH: 5.48 C: 0.33 dS/cm

I: 7.350224E-03

Ion Difference: 88% Be Careful, exceeds 20%

3.50	-log CONCENTRATION, mol/L														
Free	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	HPO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻								
Free		2.65				2.68	7.40								
Ca ²⁺	3.82					5.43									
Mg ²⁺	3.70					5.39									
K ⁺	4.12														
Na ⁺	4.04														
NH ₄ ⁺															
Mn ³⁺	3.36														
Al ³⁺	5.16		0.00	0.00											
AlOH	4.86	Al(OH) ₂	3.17	Al(OH) ₃	4.23	Al(OH) ₄	6.83								
FREE ION, PERCENT															
Ca ²⁺	98	Mg ²⁺	98	K ⁺	100	Na ⁺	100	NH ₄ ⁺	100	Mn ³⁺	100	Al ³⁺	0	Zn ²⁺	
Cl ⁻		NO ₃ ⁻	100	SO ₄ ²⁻		H ₂ PO ₄ ⁻		HPO ₄ ²⁻		HCO ₃ ⁻	100	CO ₃ ²⁻	0	F ⁻	
-log ACTIVITY															
Ca ²⁺	3.97	Mg ²⁺	3.84	K ⁺	4.16	Na ⁺	4.08	NH ₄ ⁺	3.54	Mn ³⁺	3.50	Al ³⁺	5.48	Zn ²⁺	
Cl ⁻		NO ₃	2.69	SO ₄ ²⁻		H ₂ PO ₄		HPO ₄ ²⁻		HCO ₃ ⁻	2.72	CO ₃ ²⁻	7.56	F ⁻	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ SOILSOLN เพื่อประเมินหา Al^{3+} activities ของ
ตัวอย่างดินชั้นบนของพื้นที่ Catch basin

SOILSOLN

Problem Identification: Catchbasin-top
pH : 4.67
EC : 0.21

INPUT FORMAT
≤20 char
xx.xx
dS/cm

Ca²⁺ : 0.005 mmol/L
Mg²⁺ : 0.038
K⁺ : 0.045
Na⁺ : 0.006
NH₄⁺ : 0.054
Mn³⁺ : 0.223
Zn²⁺ : 0
Al³⁺ : 0.619

Si : 0 mmol/L
Cl⁻ : 0
P : 0
NO₃⁻ : 0.058
SO₄²⁻ : 0
F⁻ : 0
DOC : 0
CO₂ : 0.03 atm

SOIL SOLUTION--Output Data

Problem: Catchbasin-top
pH: 4.67 C: 0.21 dS/cm
Ion Difference: 94% Be Careful, exceeds 20%

Solved in NCOUNT = 3
I: 4.616752E-03

4.26

-log CONCENTRATION, mol/L

Free	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	HPO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻
		2.74				3.17	8.73

Free							
Ca ²⁺	5.30					7.36	
Mg ²⁺	4.42					6.58	
K ⁺	4.34						
Na ⁺	5.22						
NH ₄ ⁺							
Mn ³⁺	3.65						
Al ³⁺	3.81		0.00	0.00			
AlOH	4.28	Al(OH) ₂	3.39	Al(OH) ₃	5.24	Al(OH) ₄	8.67

FREE ION, PERCENT

Ca ²⁺	100	Mg ²⁺	100	K ⁺	100	Na ⁺	100	NH ₄ ⁺	100	Mn ³⁺	100	Al ³⁺	25	Zn ²⁺
Cl ⁻		NO ₃ ⁻	100	SO ₄ ²⁻		H ₂ PO ₄		HPO ₄ ²⁻		HCO ₃	100	CO ₃ ²⁻	0	F ⁻

-log ACTIVITY

Ca ²⁺	5.42	Mg ²⁺	4.54	K ⁺	4.38	Na ⁺	5.25	NH ₄ ⁺	4.30	Mn ³⁺	3.77	Al ³⁺	4.07	Zn ²⁺
Cl ⁻		NO ₃ ⁻	2.77	SO ₄ ²⁻		H ₂ PO ₄ ⁻		HPO ₄ ²⁻		HCO ₃ ⁻	3.20	CO ₃ ²⁻	8.86	F ⁻

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ SOILSOLN เพื่อประเมินหา Al^{3+} activities ของ
ตัวอย่างดินชั้นล่างของพื้นที่ Catch basin

SOILSOLN

INPUT FORMAT

Problem Identification: Catchbasin-bottom

pH : 3.72

EC : 0.13

<=20 char

xx.xx

dS/cm

Ca²⁺ : 0.132 mmol/L

Mg²⁺ : 0.087

K⁺ : 0.057

Na⁺ : 0.063

NH₄⁺ : 0.227

Mn³⁺ : 0.885

Zn²⁺ : 0

Al³⁺ : 1.741

Si : 0 mmol/L

Cl⁻ : 0

P : 0

NO₃⁻ : 0.258

SO₄²⁻ : 0

F⁻ : 0

DOC : 0

CO₂ : 0.03 atm

SOIL SOLUTION--Output Data

Problem: Catchbasin-bottom

Solved in NCOUNT = 3

pH: 3.72 C: 0.13 dS/cm

I: 1.401489-02

Ion Difference: 93% Be Careful, exceeds 20%

3.64	-log CONCENTRATION, mol/L						
Free	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	H ₂ PO ₄	HPO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻
Free		2.12				4.15	10.59
Ca ²⁺	3.88					7.01	
Mg ²⁺	4.24					7.28	
K ⁺	4.24						
Na ⁺	4.20						
NH ₄ ⁺							
Mn ³⁺	3.07						
Al ³⁺	2.78		0.00	0.00			
AlOH	4.28	Al(OH) ₂	4.38	Al(OH) ₃	7.20	Al(OH) ₄	11.55

FREE ION, PERCENT

Ca ²⁺	100	Mg ²⁺	100	K ⁺	100	Na ⁺	100	NH ₄ ⁺	100	Mn ³⁺	100	Al ³⁺	95	Zn ²⁺
Cl ⁻		NO ₃	100	SO ₄ ²⁻		H ₂ PO ₄		HPO ₄ ²⁻		HCO ₃	100	CO ₃ ²⁻	0	F ⁻

-log ACTIVITY

Ca ²⁺	4.07	Mg ²⁺	4.24	K ⁺	4.30	Na ⁺	4.25	NH ₄ ⁺	3.70	Mn ³⁺	3.26	Al ³⁺	3.18	Zn ²⁺
Cl ⁻		NO ₃	2.17	SO ₄ ²⁻		H ₂ PO ₄		HPO ₄ ²⁻		HCO ₃	4.20	CO ₃ ²⁻	10.80	F ⁻

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 แสดงผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำจากแหล่งน้ำทั่วไปภายในพื้นที่สนามกอล์ฟ

ตารางที่ 4.13 คุณสมบัติของตัวอย่างน้ำจากแหล่งน้ำทั่วไปภายในสนามกอล์ฟปัญญา
รามอินทรา

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	ช่วงพิสัย (Range)	ค่าเฉลี่ย (Mean ±SD)
PH	5.59-7.03	6.40± 1.28
สภาพการนำไฟฟ้า (dS/cm)	5.89-1.028	7.38 ± 2.58
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (ppm)	2.98-5.06	3.96 ± 1.86
แอมโมเนียมไนโตรเจน (ppm)	3.22-6.28	4.84 ± 1.15
ไนเตรตไนโตรเจน (ppm)	10.69-25.68	17.61 ± 3.05

ตารางที่ 4.13 แสดงผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำจากแหล่งน้ำทั่วไปภายในพื้นที่บริเวณสนามกอล์ฟ และพบว่าโดยทั่วไปแล้วค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ตรวจพบในตัวอย่างน้ำแห่งนี้มีแนวโน้มและแสดงความสัมพันธ์เช่นเดียวค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ตรวจพบในตัวอย่างดิน กล่าวคือระดับ pH ของตัวอย่างน้ำจะอยู่ในช่วง 5.59-7.03 ค่าของสภาพการนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง 0.59-1.03 dS/cm ปริมาณไนโตรเจนมีค่าอยู่ในช่วง 2.98-5.06 ppm ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนสะสมอยู่ในช่วง 3.22-6.28 ppm และปริมาณไนเตรตไนโตรเจนอยู่ในช่วง 10.69-25.68 ppm ตามลำดับ

สาเหตุที่พารามิเตอร์ต่างๆ ในตัวอย่างน้ำมีความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ตรวจวัดในดิน ทั้งนี้คงสืบเนื่องมาจากอิทธิพลของกระบวนการชะล้างจากผิวดินลงสู่แหล่งน้ำใต้ดินและซาบซึมลงสู่แหล่งน้ำเหนือผิวดินตามลำดับ นอกจากนี้ยังเกิดขึ้นจากน้ำไหลบ่าออกจากสนามกอล์ฟโดยตรงและส่งผลทำให้มีปริมาณธาตุต่างๆ สะสมอยู่ในระดับใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณของไนเตรตที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำนั้นยังมีค่าปรากฏอยู่ในระดับสูง (เฉลี่ย 17.61 ppm)

ส่วนที่ 2 ผลการทดลองใช้ปุ๋ยไนโตรเจนร่วมกับการใช้สารยับยั้งไนตริฟิเคชัน ภายใต้การ
สร้างรูปแบบจำลองของสนามกอล์ฟขึ้นมา

รายละเอียดในส่วนที่ 2 นี้ เป็นการศึกษาแบบจำลองของสนามกอล์ฟภายใต้อิทธิพลของ
การสร้างขึ้นมาในห้องปฏิบัติการ และมีความเกี่ยวเนื่องมาจากผลของการทดลองในส่วนแรกร่วม
ด้วย กล่าวคือ ในส่วนที่ 1 นั้น ต้องการศึกษาดังคุณสมบัติทางเคมีทั่วไปของสนามกอล์ฟ เพื่อ
ตรวจสอบว่ามีปัจจัยใดบ้าง ที่มีอิทธิพลต่อสภาพการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ต่างๆ ในตัว
อย่างดินและน้ำที่เก็บขึ้นมาจากบริเวณพื้นที่ทำการศึกษา ผลการทดลองที่ได้พบว่า ปัจจัยที่มีอิทธิ
พลเป็นอย่างยิ่ง ได้แก่ ขบวนการชะล้าง และพบว่าค่าที่เปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ต่างๆ นั้น
ล้วนมีความสัมพันธ์กับขบวนการชะล้างที่เกิดขึ้น โดยพารามิเตอร์ที่พบว่าการเปลี่ยนแปลงเด่น
ชัดมากที่สุดคือ ปริมาณแอมโมเนียมและไนเตรตไนโตรเจนที่พบในดินและน้ำ ดังนั้นการศึกษาใน
ส่วนที่ 2 จึงมุ่งเน้นเฉพาะพารามิเตอร์ที่สำคัญซึ่งเกี่ยวเนื่องและสัมพันธ์กับขบวนการชะล้างที่เกิด
ขึ้นจากปุ๋ยไนโตรเจนโดยตรงเท่านั้น พารามิเตอร์ที่สนใจต่างๆ เหล่านี้ ได้แก่ pH สภาพการนำไฟ
ฟ้า ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจน ปริมาณไนเตรตไนโตรเจน และ
ทำการศึกษพารามิเตอร์ต่างๆ เหล่านี้ที่ระยะเวลาต่างๆ กันรวมด้วยคือ 0 , 7 , 14 , 21 , 28 และ
42 วัน ตามลำดับ โดยในขั้นแรกนี้จะขอแสดงถึงผลการศึกษาคุณสมบัติของดินโดยทั่วไปที่นำมา
ใช้ประโยชน์เพื่อเป็นแบบจำลองของสนามกอล์ฟเป็นเบื้องต้นก่อน

ตารางที่ 4.14 ลักษณะที่สำคัญของดินที่นำมาใช้เป็นแบบจำลองของสนามกอล์ฟภายในห้องปฏิบัติการ

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	ช่วงพิสัย (Range)		ค่าเฉลี่ย (Mean±SD)	
	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)
pH	6.13-6.27	6.27-6.40	6.19±0.56	6.30±0.28
สภาพการนำไฟฟ้า (dS/cm)	0.98-1.62	1.25-3.28	1.38±0.36	2.34±1.62
อินทรีย์วัตถุในดิน (%)	1.28-1.31	2.62-3.46	1.29±0.26	3.06±0.65
ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (meq/100 g soil)	2.68-3.22	4.05-6.22	2.92±0.38	5.78±1.23
ไนโตรเจนทั้งหมด (%)	0.01-0.03	0.04-0.07	0.024±0.12	0.052±0.21
แอมโมเนียมไนโตรเจน (ppm)	5.18-5.30	6.28-6.60	5.23±0.25	6.43±0.18
ไนเตรตไนโตรเจน (ppm)	1.02-1.19	3.18-3.60	1.10±0.18	3.46±0.22

คุณสมบัติของดินที่นำมาใช้ทดสอบเพื่อเป็นรูปแบบจำลองของสนามกอล์ฟครั้งนี้มีลักษณะของดินชั้นล่างเป็นดินเหนียวและดินชั้นบนเป็นดินทราย ในส่วนของดินชั้นล่างนั้นพบว่า ในตอนแรกที่นำดินมาวัด pH ของดินค่อนข้างเป็นกรดเล็กน้อย คือ อยู่ในช่วง 5.42-5.84 จึงได้มีการเติมปูนขาวเพื่อปรับสภาพของดินให้มีความเป็นกรดน้อยลง และเพื่อต้องการให้มีระดับ pH ใกล้เคียงกับตัวอย่างดินที่เก็บมาจากสนามกอล์ฟจริงที่ได้เก็บตัวอย่างมาแล้วและทำการวิเคราะห์ในเบื้องต้น พารามิเตอร์ต่างๆ ที่วัดได้ในขั้นตอนนี้จะนำไปเปรียบเทียบกับในระยะภายหลังที่มีการปรับสภาวะให้อยู่ในรูปแบบของตำรับการทดลอง (การใส่ปุ๋ยยูเรียและไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์) โดยจะพิจารณาว่ามีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นหรือไม่และมีความสัมพันธ์กันเป็นอย่างไร

ผลจากการศึกษาของตัวอย่างดินที่ใช้เป็นประโยชน์ครั้งนี้พบว่า ในดินล่างนั้น มีระดับ pH อยู่ในช่วง 6.27-6.40 ทั้งนี้จะถือว่าเป็นค่าที่ได้ผ่านการปรับ pH ด้วยปูนขาวแล้ว ส่วนค่าการนำไฟฟ้า (EC) ปรากฏอยู่ในช่วง 1.25-3.28 dS/cm ปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในช่วง 2.62-3.46 % ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกอยู่ในช่วง 4.05-6.22 (meq/100 g soil) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินพบอยู่ในช่วง 0.04-0.07 % ปริมาณแอมโมเนียมไนเตรตอยู่ในช่วง 6.28-6.60 ppm และปริมาณไนเตรตไนโตรเจนอยู่ในช่วง 3.18-3.60 ppm ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ลักษณะและผลการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ต่างๆ สำหรับตัวอย่างดิน
ภายหลังจากการใช้สารยับยั้งไนตริฟิเคชันที่ระยะเวลาต่างๆกัน
ตัวอย่างดิน

ระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง 0 วัน

1) pH

ตารางที่ 4.15 ระดับ pH ของตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 0 วัน

ดำรับการทดลอง	ช่วงพิสัย (Range)		ค่าเฉลี่ย (Mean±SD)	
	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)
Control	5.92-6.12	6.07-6.32	6.02±0.26	6.17±0.34
ปุ๋ยยูเรีย	6.02-6.19	6.13-6.26	6.11±0.23	6.20±0.54
ปุ๋ยยูเรีย + NP	6.12-6.26	6.09-6.32	6.20±0.48	6.17±0.46
ปุ๋ยยูเรีย + DCD	5.99-6.23	6.17-6.40	6.10±0.32	6.29±0.32

หมายเหตุ NP = Nitrification Inhibitors Nitrapyrin

DCD = Nitrification Inhibitors Dicyanodiamide

จากผลของตารางที่ 4.15 พบว่า ที่ระยะเวลาการสุ่มเก็บตัวอย่าง 0 วัน (กล่าวคือ เมื่อใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ แล้วเก็บตัวอย่างทันที) ปริมาณ pH ที่ตรวจวัดได้ในแต่ละดำรับการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกัน หรือแตกต่างออกไปจากสภาวะของดินเริ่มต้นมากนัก โดยพบว่าในดำรับ Control ซึ่งถือว่าเป็นสภาวะที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียและไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ลงไปนั้น ระดับ pH ของดินบนและดินล่างอยู่ในช่วง 5.92-6.12 และ 6.07-6.32 ตามลำดับ ในขณะที่ดำรับของการใส่ปุ๋ยยูเรียเพียงอย่างเดียวมีระดับ pH ของดินบนและดินล่างอยู่ในช่วง 6.02-6.19 และ 6.13-6.26 ตามลำดับ ส่วนดำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์นั้น มีระดับ pH อยู่ในช่วง 6.12-6.26 ในดินบน และมีค่า pH ในช่วง 6.09-6.32 สำหรับดินล่าง และในดำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไดไซยาโนไดอามิด จะมีระดับ pH เกิดขึ้นในดินบนและดินล่างอยู่ในช่วง 5.99-6.23 และ 6.17-6.40 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาโดยภาพรวมแล้วจะพบว่า ระดับ pH ดังกล่าว (pH เฉลี่ยตั้งแต่ 6.02-6.20 สำหรับดินบน) มีการเปลี่ยนแปลงไปจากสภาพเริ่มต้นเพียงเล็กน้อย ทั้งนี้สาเหตุเพราะเมื่อมีการใส่ปุ๋ยร่วมกับไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ลงในดินแล้วทำการเก็บตัวอย่างทันที ที่ระยะเวลาเช่นนี้จะพบว่าขบวนการเปลี่ยนแปลงรูปของปุ๋ยยูเรียและไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ จะยังไม่มีอิทธิพลต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับ pH ของดิน ในทุกๆ ตำรับของการทดลองจึงมีผลของการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นน้อยมาก แต่อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงระดับ pH ให้เป็นกรดเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในตำรับของปุ๋ยยูเรีย+NP สำหรับดินชั้นล่าง (pH 6.17) นั้น อาจมีสาเหตุมาจากอิทธิพลของขบวนการชะล้างที่เกิดขึ้นในช่วงที่ทำการรดน้ำเพื่อเพิ่มความชุ่มชื้นให้กับต้นหญ้า แต่ก็พบว่าอิทธิพลของขบวนการชะล้างในช่วงแรกนี้ยังเกิดขึ้นน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับระดับ pH ที่ลดลงจากเดิม

2) สภาพการนำไฟฟ้า (EC ; dS/cm)

ตารางที่ 4.16 แสดงสภาพการนำไฟฟ้าของตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 0 วัน

ตำรับการทดลอง	ช่วงพิสัย (Range)		ค่าเฉลี่ย (Mean±SD)	
	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)
Control	0.62-1.74	1.62-2.98	1.26±0.72	2.36±0.84
ปุ๋ยยูเรีย	1.01-1.66	1.56-2.62	1.32±0.62	2.12±0.92
ปุ๋ยยูเรีย + NP	1.21-1.42	1.36-3.08	1.37±0.41	2.31±1.61
ปุ๋ยยูเรีย + DCD	1.18-1.71	1.42-3.14	1.46±0.29	2.54±1.48

หมายเหตุ NP = Nitrification Inhibitors Nitrapyrin
DCD = Nitrification Inhibitors Dicyanodiamide

จากผลของตารางที่ 4.16 พบว่าที่ระยะเวลาก่อนเก็บตัวอย่าง 0 วันนั้น สภาพการนำไฟฟ้าของดินโดยทั่วไปในทุกตำรับการทดลอง มีค่าไม่แตกต่างออกไปจากดินเมื่อเริ่มต้นที่นำมาใช้ประโยชน์ภายในสนามกอล์ฟจำลองเท่าใดนัก ในตำรับ Control ดินบนมีสภาพการนำไฟฟ้าอยู่ในช่วงพิสัย 0.62-1.74 dS/cm ส่วนดินล่างอยู่ในช่วง 1.62-2.98 dS/cm ในตำรับการทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียเพียงอย่างเดียว จะให้ค่าของสภาพการนำไฟฟ้าปรากฏใกล้เคียงกัน กล่าวคือ ดินบนอยู่ในช่วง 1.01-1.66 dS/cm และสภาพดินล่างอยู่ในช่วง 1.56-2.62 dS/cm ในตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ทั้ง 2 ตัว ก็ให้ค่าของสภาพการนำไฟฟ้าไม่แตกต่างกันเท่าใด กล่าวคือ อยู่ในช่วง 1.21-1.42 dS/cm ในดินบน และ 1.36-2.08 dS/cm ในดินล่าง สำหรับไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ที่ใช้เป็นไนตราไพรีน ส่วนไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ไดไซยาโนไดอะไมด์นั้นจะมีสภาพการนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง 1.18-1.71 dSs/cm ในดินบน และ 1.42-2.14 dS/cm ในดินล่าง ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองดังกล่าวจะสังเกตได้ว่า สภาพการนำไฟฟ้าโดยทั่วไปมีค่าไม่สูงมากนัก (โดยเฉลี่ยอยู่ในช่วง 2.12-2.54 dS/cm ในดินชั้นล่าง) ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากการสะสมตัวของธาตุประจุบวกในดินมีจำนวนไม่มากเพียงพอ (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) ซึ่งอาจสันนิษฐานได้ว่าตัวอย่างดินที่ถูกนำมาใช้ในการทดลองครั้งนี้อาจสะสมเก็บขึ้นมาจากพื้นที่ดินที่ไม่ได้ใช้ทำการเพาะปลูกเป็นระยะเวลานาน ดินที่ถูกปล่อยทิ้งไว้จึงเป็นดินตามธรรมชาติ ไม่มีธาตุอาหารจากปุ๋ยอื่นๆ เพิ่มเติมลงไป และอาจส่งผลทำให้สภาพการนำไฟฟ้าจากธาตุประจุบวกของดินมีค่าลดน้อยลงตามลำดับด้วย

3) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน (TN ; %)

ตารางที่ 4.17 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 0 วัน

ดำรับการทดลอง	ช่วงพิสัย (Range)		ค่าเฉลี่ย (Mean $\pm$ SD)	
	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)
Control	0.04-0.07	0.06-0.09	0.05 $\pm$ 0.18	0.07 $\pm$ 0.16
ปุ๋ยยูเรีย	1.32-1.96	1.12-1.64	1.59 $\pm$ 0.21	1.37 $\pm$ 0.26
ปุ๋ยยูเรีย + NP	1.02-2.01	2.02-2.41	1.62 $\pm$ 0.32	2.26 $\pm$ 0.48
ปุ๋ยยูเรีย + DCD	1.68-2.26	1.92-2.43	1.96 $\pm$ 0.28	2.26 $\pm$ 0.32

หมายเหตุ NP = Nitrification Inhibitors Nitrapyrin

DCD = Nitrification Inhibitors Dicyanodiamide

จากผลของตารางที่ 4.17 จะพบได้ว่าโดยทั่วไปแล้วปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินนั้นมีค่าไม่แตกต่างไปจากสภาพดินดั้งเดิม หรือแตกต่างออกไปในแต่ละดำรับของการทดลองมากนัก กล่าวคือ ในดำรับ Control มีเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนทั้งหมดในดินอยู่ในช่วง 0.04-0.07 ในดินบน และ 0.06-0.09 ในดินล่าง ในดำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียเพียงอย่างเดียวจะมีเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนของดินบนอยู่ในช่วง 1.32-1.96 และในดินล่างอยู่ในช่วง 1.12-1.64 ในขณะเดียวกันปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินก็มีค่าไม่แตกต่างไปมากในดำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ โดยพบว่า ดินที่ใช้ไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ จะมีเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในดินบนอยู่ในช่วง 1.02-2.01 และในดินล่างอยู่ในช่วง 2.02-2.41 ส่วนตัวอย่างดินที่ใช้ไดไฮโดรไนโดอไมด์เป็นไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์นั้น จะมีเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในดินบนและดินล่างอยู่ในช่วง 1.68-2.26 และ 1.92-2.43 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากปริมาณของไนโตรเจนทั้งหมดที่ปรากฏในตัวอย่างดิน ถึงแม้ว่าโดยทั่วไปแล้วในสภาพของดินบนและดินล่างจะมีค่าที่สูงขึ้น (เมื่อเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดกับตัวอย่างดินดั้งเดิม) ยกเว้นในตำรับ Control สาเหตุก็เนื่องมาจากการที่ยังไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปของปุ๋ยไนโตรเจนที่ใส่ลงไปดินที่ระยะเวลาเริ่มต้น ทั้งนี้เป็นเพราะการเก็บตัวอย่างนั้นทำทันทีที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนลงไปดิน ดังนั้นที่ระยะเวลาดังกล่าวจึงพบว่าในทุกตำรับของการทดลองต่าง ๆ นั้นยังคงมีปริมาณของไนโตรเจนทั้งหมดสะสมอยู่ในระดับที่สูงเพียงพอ ส่วนความแตกต่างที่พบได้ก็คือระดับของไนโตรเจนทั้งหมดในดินบนและดินล่างนั้นมีความแตกต่างกัน ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากในดินบนนั้นเป็นดินทราย การสะสมตัวของธาตุอาหารชนิดต่างๆ จึงมีน้อยและน้อยกว่าในดินล่าง จึงส่งผลทำให้ในดินชั้นบนของแต่ละตำรับของการทดลองนั้นมีปริมาณไนโตรเจนเกิดขึ้นน้อยกว่าในดินล่างที่อยู่ในสภาวะของการทดลองเดียวกัน ส่วนในตำรับ Control จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนจากสภาพดินดั้งเดิมมากนัก ทั้งนี้ก็เพราะในสภาพเช่นนี้จะไม่มีการเติมปุ๋ยไนโตรเจนหรือสารชนิดใดๆ ลงไปในดิน จึงไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนในดินมากเช่นเดียวกับสภาวะอื่นๆ

4) ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจน (NH₄⁺-N ; ppm)

ตารางที่ 4.18 ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนในตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 0 วัน

ตำรับการทดลอง	ช่วงพิสัย (Range)		ค่าเฉลี่ย (Mean±SD)	
	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)
Control	6.16-6.32	6.30-6.56	6.24±0.34	6.06±0.32
ปุ๋ยยูเรีย	18.09-20.61	22.26-30.48	19.36±1.09	26.32±3.35
ปุ๋ยยูเรีย + NP	15.22-18.54	23.32-29.64	17.402±1.11	26.49±1.07
ปุ๋ยยูเรีย + DCD	16.18-21.39	26.29-32.72	18.26±2.56	29.48±3.28

หมายเหตุ NP = Nitrification Inhibitors Nitrapyrin

DCD = Nitrification Inhibitors Dicyanodiamide

จากตารางที่ 4.18 พบว่า ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนในดินเฉลี่ยแล้วโดยทั่วๆไปมีค่าสูงขึ้น ยกเว้นในตำรับ Control ซึ่งถือเป็นสภาวะที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนหรือสารใดๆลงไปในดิน นอกจากนี้ยังพบว่าในสภาวะ Control นั้น ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนในดินบนและดินล่างจะพบอยู่ในช่วง 6.16-6.32 ppm และ 6.30-6.56 ppm ตามลำดับ ในขณะที่ตำรับทดลองที่เหลืออีก 3

สภาวะ ซึ่งเป็นสภาวะที่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนและสารยับยั้งไนตริฟิเคชันลงไปดินนั้น จะให้ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนที่สูงขึ้นจากสภาวะดินดั้งเดิมมาก กล่าวคือ ตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียเพียงอย่างเดียวมีปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนอยู่ในช่วง 18.09-20.61 ppm ในดินบน และช่วง 22.26-30.48 ppm ในดินล่าง ในขณะที่ตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตราไพรีนนั้นจะพบปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนอยู่ในช่วง 15.22-18.54 ppm ในดินชั้นบน และ 23.32-29.64 ppm ในดินชั้นล่าง ส่วนในสภาวะที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไดไฮยาโนไดอาไมด์นั้นก็มีปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนในดินบนอยู่ในช่วง 16.18-21.39 ppm ในขณะที่ในดินล่างพบอยู่ในช่วง 26.29-32.72 ppm

เมื่อพิจารณาถึงผลการทดลองโดยภาพรวมแล้วพบว่า นอกเหนือจากตำรับ Control แล้ว อีก 3 สภาวะที่เหลือจะมีระดับแอมโมเนียมไนโตรเจนโดยเฉลี่ยแล้วมีค่าสูงขึ้นจากสภาวะของดินดั้งเดิมมาก (เฉลี่ย 29.48 ppm ในดินล่าง) ทั้งนี้เนื่องจากในระยะแรกที่เริ่มใส่ปุ๋ยไนโตรเจนลงไปดินนั้น การเปลี่ยนแปลงรูปของปุ๋ยไนโตรเจนในตอนแรกจะเริ่มการเปลี่ยนแปลงมาอยู่ในรูปของแอมโมเนียมไนโตรเจนก่อน ดังนั้นจึงตรวจพบปริมาณของแอมโมเนียมไนโตรเจนในดินที่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเป็นปริมาณที่มากพอสมควร และมากกว่าปริมาณของดินเริ่มต้น ในส่วนของตำรับ Control ที่พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนจากดินเดิมมีค่าลดลงเพียงเล็กน้อย หรือมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก ทั้งนี้เพราะในตำรับดังกล่าวนี้ไม่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนหรือสารใดๆ ลงไปดิน ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนที่วัดได้จึงเป็นปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนที่มีอยู่ก่อนแล้วในดิน และปริมาณที่ลดลงเพียงเล็กน้อยก็เกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงรูปตามธรรมชาติของแอมโมเนียมไนโตรเจน นอกจากนี้ยังพบว่าในแต่ละตำรับการทดลองนั้น ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนในดินชั้นบนและชั้นล่างมีปริมาณที่แตกต่างกัน โดยพบว่าในดินชั้นบนนั้นมีปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนที่ต่ำกว่า ทั้งนี้เพราะดินชั้นบนมีลักษณะเป็นดินทรายส่วนใหญ่ ความสามารถในการดูดยึดอิออนบวกต่างๆ จึงเกิดได้ต่ำกว่าดินชั้นล่างซึ่งเป็นดินเหนียว โดยเฉพาะในกรณีที่มีน้ำชะผ่านชั้นดินลงไปจะส่งผลทำให้ดินชั้นล่างมีปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนโดยเฉลี่ยแล้วมีค่าสูงกว่าดินชั้นบนที่อยู่ในสภาวะของการทดลองเดียวกัน

5) ปริมาณไนเตรตไนโตรเจน (NO₃⁻-N ; ppm)

ตารางที่ 4.19 ปริมาณไนเตรตไนโตรเจนในตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 0 วัน

ดำรับการทดลอง	ช่วงพิสัย (Range)		ค่าเฉลี่ย (Mean±SD)	
	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)
Control	1.02-1.20	3.26-3.56	1.14±0.36	3.37±0.27
ปุ๋ยยูเรีย	1.08-1.36	3.33-3.48	1.21±0.42	3.39±0.33
ปุ๋ยยูเรีย + NP	1.06-1.42	3.19-3.32	1.28±0.56	3.26±0.25
ปุ๋ยยูเรีย + DCD	1.07-1.38	3.26-3.64	1.22±0.38	3.38±0.32

หมายเหตุ NP = Nitrification Inhibitors Nitrapyrin
DCD = Nitrification Inhibitors Dicyanodiamide

จากตารางที่ 4.19 พบว่า ปริมาณไนเตรตไนโตรเจนโดยทั่วไปไม่มีค่าแตกต่างออกไปจากตัวอย่างดินในสภาพดั้งเดิม (Control) หรือแตกต่างกันเองในแต่ละดำรับของการทดลองเท่าใด โดยเฉพาะในดำรับ Control จะมีปริมาณไนเตรตไนโตรเจนในดินบนอยู่ในช่วง 1.02-1.20 ppm และในดินล่างพบอยู่ในช่วง 3.26-3.56 ppm และมีค่าใกล้เคียงกันกับในดำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียเพียงอย่างเดียว กล่าวคือ ในดินบนอยู่ในช่วง 1.08-1.36 ppm และดินล่างอยู่ในช่วง 3.33-3.48 ppm ในขณะที่ในดำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ทั้ง 2 ตัว ก็มีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก กล่าวคือ อยู่ในช่วง 1.06-1.42 ppm ในดินบน และ 3.19-3.32 ppm ในดินล่างสำหรับดินที่ใช้ไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์เป็นไนตราไพรีน ส่วนดินที่ใช้ไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์เป็นไดไซยาโนไดอะไมด์นั้นให้ค่าในระดับใกล้เคียงกันอีกกล่าวคือ มีปริมาณไนเตรตไนโตรเจนอยู่ในช่วง 1.07-1.38 ppm ในดินบน และ 3.26-3.64 ppm ในดินล่าง ตามลำดับ

ดังนั้นเมื่อพิจารณาในภาพรวมจะพบว่า ระดับของไนเตรตไนโตรเจนนั้นไม่ได้มีค่าแตกต่างออกไปจากสภาพดั้งเดิมในทุกสภาวะการทดลอง (เฉลี่ยอยู่ในช่วง 3.26-3.39 ppm ในขณะที่ระดับไนเตรตไนโตรเจนของตัวอย่างดินดั้งเดิมมีค่า 3.46 ppm) ทั้งนี้สาเหตุก็เนื่องมาจากยังไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปของไนโตรเจนจากปุ๋ยไนโตรเจนที่ใส่ลงไป在地ให้มาอยู่ในรูปของไนเตรตไนโตรเจน ดังนั้นในระยะแรกนี้จึงสามารถตรวจวัดปริมาณไนเตรตไนโตรเจนในตัวอย่างดินได้น้อยมาก ส่วนดินชั้นบนในทุกดำรับการทดลองได้ตรวจพบว่ามีปริมาณไนเตรตไนโตรเจนต่ำกว่าดินชั้นล่างนั้น ก็เนื่องมาจากความสามารถในการดูดซับประจุลบ (NO₃⁻-N) ที่ต่ำกว่าของดินทราย จึงส่งเสริมทำให้ดินชั้นบนมีระดับไนเตรตไนโตรเจนต่ำกว่าดินชั้นล่างเป็นอย่างมาก

ตัวอย่างดิน

ระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง 7 วัน

1) pH

ตารางที่ 4.20 ระดับ pH ของตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 7 วัน

ดำรับการทดลอง	ช่วงพิสัย (Range)		ค่าเฉลี่ย (Mean±SD)	
	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)
Control	5.92-6.07	5.82-6.02	5.99±0.27	6.20±0.23
ปุ๋ยยูเรีย	5.52-5.67	5.72-5.92	5.59±0.27	5.82±0.24
ปุ๋ยยูเรีย + NP	5.22-5.82	5.12-5.56	5.54±0.18	5.32±0.36
ปุ๋ยยูเรีย + DCD	5.37-5.62	5.02-5.32	5.42±0.17	5.19±0.27

หมายเหตุ NP = Nitrification Inhibitors Nitrapyrim
DCD = Nitrification Inhibitors Dicyanodiamide

จากผลของตารางที่ 4.20 พบว่า ระดับ pH ของดินในแต่ละดำรับการทดลองนั้นมีลักษณะของการเปลี่ยนแปลงแตกต่างออกไปจากระดับ pH ของตัวอย่างดินที่เก็บตัวอย่างที่ระยะเวลาเริ่มต้น (0 วัน) โดยดำรับ Control มีการเปลี่ยนแปลงระดับ pH ที่น้อย เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะอื่นๆ กล่าวคือ อยู่ในช่วง 5.92-6.07 ในดินบน และ 5.82-6.02 ในดินล่าง ส่วนดำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียนั้นมีการลดลงของ pH ลงไปในระดับหนึ่ง คือ อยู่ในช่วง 5.52-5.67 ในดินบน และมีค่า pH 5.72-5.92 ในดินล่าง สำหรับสภาวะที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ทั้ง 2 ดำรับนั้น ก็มีการลดระดับของค่า pH เกิดขึ้นในทำนองเดียวกับดำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียเพียงอย่างเดียว แต่ถ้าเปรียบเทียบกันแล้ว ระดับการลดลงของ pH จะมีมากกว่า โดยดำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ไนตราไพริมมีระดับ pH ในช่วงดินบนเป็น 5.22-5.82 ในช่วงดินล่างมีค่า pH เป็น 5.12-5.56 และดำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ไดไซยาโนไดอาไมด์นั้นจะมีระดับ pH อยู่ในช่วง 5.37-5.62 และ 5.02-5.32 ในดินบนและดินล่างตามลำดับ

จากผลการทดลองที่ได้นี้ โดยภาพรวมจะพบได้ว่า โดยทั่วไปแล้วระดับ pH ของตัวอย่างดินจะลดลงจากสภาวะเริ่มต้น โดยมีค่าเปลี่ยนแปลงไปมากบ้างหรือน้อยบ้างแตกต่างกันออกไป ส่วนในดำรับของ Control การที่ระดับ pH ของดินมีค่าลดลงนั้นอาจมีสาเหตุมาจากการได้รับอิทธิพลมาจากการชะล้างของน้ำที่ใช้รดต้นหญ้าในสนาม ซึ่งได้จากการรดน้ำทุกวัน และส่งผลทำให้มีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การชะล้าง Basic cations (Na^+ , K^+ , Ca^{2+}) ต่างๆ ที่อยู่ในดินให้สูญหายออกไป และมีการแทนที่ Basic cations เหล่านี้ด้วย H^+ และในที่สุดทำให้ดินเหล่านั้นมีสภาพความเป็นกรดเพิ่มขึ้น ในขณะที่อีก 3 ตำรับการทดลองจะมีระดับ pH ของดินลดลงมากกว่าตำรับ Control ซึ่งสามารถแยกอธิบายสาเหตุออกได้เป็น 2 ส่วน คือ

1. ตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียเพียงอย่างเดียว นั้น ระดับความเป็นกรดที่เกิดขึ้นมีสาเหตุโดยตรงเกิดขึ้นจากตัวปุ๋ยยูเรียเอง เนื่องจากที่ระยะเวลานี้ (7 วัน) มีการเปลี่ยนแปลงรูปของปุ๋ยยูเรียเกิดขึ้นแล้ว การใช้ปุ๋ยยูเรียติดต่อกันเป็นเวลานานจึงส่งเสริมให้เกิดปริมาณกรดขึ้นกับดินในบริเวณนั้น นอกจากนี้ยังมีปัจจัยเสริมอื่นๆ ที่เนื่องมาจากอิทธิพลของการชะล้างของดินอีก และส่งผลทำให้ระดับ pH ของดินยิ่งลดลงมากขึ้น โดยเฉพาะในทุกตำรับการทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียนี้จะเป็นกรดเกิดขึ้นมากกว่าตัวอย่างดินในตำรับ Control (Bergstrom, L. 1995)

2. ตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียรวมกับการใช้ไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ ความเป็นกรดที่เกิดขึ้นนั้นสืบเนื่องมาจาก 3 สาเหตุ คือ เกิดจากอิทธิพลของการชะล้าง การใช้ปุ๋ยยูเรีย การใช้ไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ โดยเฉพาะการใช้ไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์นั้นมีส่วนที่ทำให้ดินเกิดสภาพเป็นกรดได้เช่นเดียวกัน ทั้งนี้เนื่องจากคุณสมบัติไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ย่อมก่อให้เกิดสภาพที่เป็นกรดขึ้นกับดิน จนถึงระดับที่ไม่เหมาะสมต่อกิจกรรมของแบคทีเรียในดินที่ก่อให้เกิดขบวนการไนตริฟิเคชัน และทำให้ขบวนการนี้ต้องหยุดชะงักหรือเกิดขึ้นช้าลง (Hauck, 1980) จาก 3 สาเหตุดังกล่าวส่งผลทำให้สภาวะที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ มีความเป็นกรดมากกว่าตำรับอื่นๆ (Control และปุ๋ยยูเรีย) แต่ถ้าเปรียบเทียบระหว่างตำรับที่ใช้ไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ด้วยกันเองแล้ว พบว่าการใช้ไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ชนิดต่างกัน (ไนตราไพริน ไดไฮยาโนไดอาไมด์) จะมีระดับ pH ไม่แตกต่างกัน โดยความแตกต่างนั้นเป็นไปอย่างไม่มีนัยสำคัญ ดังนั้นจึงไม่ถือว่าเกิดความแตกต่างขึ้นระหว่างตำรับที่มีการใช้ไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์คนละชนิดกันดังกล่าว

2) สภาพการนำไฟฟ้า (EC ; dS/cm)

ตารางที่ 4.21 สภาพการนำไฟฟ้าของตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 7 วัน

ดำรับการทดลอง	ช่วงพิสัย (Range)		ค่าเฉลี่ย (Mean±SD)	
	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)
Control	0.36-1.68	1.43-3.02	1.02±0.72	2.41±1.02
ปุ๋ยยูเรีย	0.98-1.43	1.02-1.48	1.20±0.74	1.26±0.65
ปุ๋ยยูเรีย + NP	0.66-1.63	0.98-1.46	1.14±0.82	1.19±0.56
ปุ๋ยยูเรีย + DCD	0.96-1.41	1.02-2.96	1.20±0.68	1.89±0.86

หมายเหตุ NP = Nitrification Inhibitors Nitrapyrin

DCD = Nitrification Inhibitors Dicyanodiamide

จากผลของตารางที่ 4.21 พบว่า สภาพการนำไฟฟ้าของตัวอย่างดินที่สุ่มเก็บขึ้นมาที่ระยะเวลา 7 วันนั้น มีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับสภาพการนำไฟฟ้าของตัวอย่างดินที่เก็บที่ระยะเวลา 0 วัน โดยในตำรับ Control มีสภาพของค่าการนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง 0.36-1.68 dS/cm ในดินบน และมีค่า 1.43-3.02 dS/cm ในดินล่าง นอกจากนี้จะพบว่าในตำรับ Control ดังกล่าวยังมีการเปลี่ยนแปลงของค่าการนำไฟฟ้าในช่วงที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อยทั้งในดินบนและดินล่าง แต่เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยแล้วพบว่า สภาพการนำไฟฟ้ามีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก ในส่วนของตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียเพียงอย่างเดียวพบว่า มีการลดลงของสภาพการนำไฟฟ้าในช่วงดินบนคือ สภาพการนำไฟฟ้ามีค่าประมาณ 0.98-1.43 dS/cm และดินล่างมีค่า 1.02-1.48 dS/cm แต่อย่างไรก็ตามการลดลงของสภาพการนำไฟฟ้าในตัวอย่างดินที่สุ่มเก็บได้ในตำรับครั้งนี้มีค่าน้อยและความแตกต่างที่เกิดขึ้นเป็นไปอย่างไม่มีนัยสำคัญ ในส่วนของอีก 2 สภาวะที่เหลือ คือ ตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์นั้น พบว่าการเปลี่ยนแปลงสภาพการนำไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียเพียงอย่างเดียว กล่าวคือ มีการลดลงของค่าสภาพการนำไฟฟ้า แต่การลดลงที่เกิดขึ้นจะมีความแตกต่างกันมากกว่าทั้งในดินบนและดินล่าง โดยพบว่าตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์นั้นค่าการนำไฟฟ้าของดินบนอยู่ในช่วง 0.66-1.62 dS/cm และดินล่างอยู่ในช่วง 0.98-1.46 dS/cm ตามลำดับ

จากผลการทดลองที่ได้รับในครั้งนี้จะพบว่าค่าของสภาพการนำไฟฟ้านั้นมีความสัมพันธ์กับระดับ pH ของตัวอย่างดิน ทั้งนี้เนื่องจากระดับ pH ในดินโดยเฉลี่ยของตัวอย่างที่เก็บที่ระยะเวลา 7 วัน มีค่าลดลง และจะมีค่าลดลงมากขึ้นแตกต่างกันแล้วแต่การทดลองตามที่ได้อธิบายไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แล้ว ผลการลดลงของ pH สาเหตุหนึ่งเกิดขึ้นมาจากอิทธิพลของการชะล้างนำธาตุอาหารประจุบวกที่อยู่ในดินออกไป การที่ดินมีธาตุอาหารประจุบวกลดลงก็จะส่งผลให้สภาพการนำไฟฟ้าของดินลดน้อยลงตามไปด้วย ส่วนผลของการทดลองวัดสภาพการนำไฟฟ้าที่ออกมาในแต่ละดำรับจะมีค่าลดลงมากหรือน้อยแตกต่างกัน ทั้งนี้ก็เพราะเมื่อสภาวะใดมีการลดลงของระดับ pH มากกว่า สภาพการนำไฟฟ้าก็จะลดต่ำลงมากอีกเช่นกัน (เช่น ในดำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ทั้ง 2 ตัว) เพราะจะเกิดการแทนที่ของไฮโดรเจนไอออน (H^+) ต่อธาตุประจุบวกที่อยู่ในดิน การสะสมตัวของธาตุประจุบวกในดินจึงมีค่าลดน้อยลงตามลำดับ

3) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (TN ; %)

ตารางที่ 4.22 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 7 วัน

ดำรับการทดลอง	ช่วงพิสัย (Range)		ค่าเฉลี่ย (Mean±SD)	
	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)
Control	0.02-0.09	0.07-0.09	0.03±0.56	0.08±0.24
ปุ๋ยยูเรีย	1.22-1.78	1.42-1.73	1.50±0.42	1.58±0.32
ปุ๋ยยูเรีย + NP	1.09-1.66	2.03-2.06	1.36±0.38	2.04±0.32
ปุ๋ยยูเรีย + DCD	1.02-1.12	2.05-2.07	1.80±0.26	2.06±0.20

หมายเหตุ NP = Nitrification Inhibitors Nitrapyrin
DCD = Nitrification Inhibitors Dicyanodiamide

จากผลของตารางที่ 4.22 พบว่า สภาพโดยทั่วไปแล้วปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในทุกดำรับการทดลองนั้นมีปริมาณลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลา 0 วัน แต่อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงของปริมาณที่ลดลงจากสภาพดินดั้งเดิมมีค่าไม่มากนัก โดยในดำรับ Control มีค่าอยู่ในช่วง 0.02-0.09 เปอร์เซ็นต์ในดินบน และอยู่ในช่วง 0.07-0.09 เปอร์เซ็นต์ สำหรับดินล่าง ส่วนในดำรับของปุ๋ยยูเรียนั้นมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของดินบนประมาณ 1.22-1.78 เปอร์เซ็นต์ และในดินล่างประมาณ 1.42-1.73 เปอร์เซ็นต์ ในดำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ไนตราไพรีน มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดอยู่ในช่วง 1.09-1.66 เปอร์เซ็นต์ของดินบน และ 2.03-2.06 เปอร์เซ็นต์ ในดินล่าง ส่วนดำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ไดไซยาโนไดอะไมด์ ก็มีการลดลงของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินอีกเช่นเดียวกัน กล่าวคือ อยู่ในช่วง 1.02-1.12 เปอร์เซ็นต์ในดินบน และ 2.05-2.04 เปอร์เซ็นต์ในดินล่าง ตามลำดับ

จากผลการทดลองที่ได้เช่นนี้จะบ่งชี้ชัดเจนว่า การที่ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินโดยทั่วไปมีค่าลดลง (เมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลา 0 วัน) ก็สืบเนื่องมาจากที่ระยะเวลา 7 วันดังกล่าวจัดเป็นช่วงเวลาที่เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปของปุ๋ยไนโตรเจนที่ใส่ลงไปในดิน การเปลี่ยนแปลงรูปของปุ๋ยนั้นจะเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงของแอมโมเนียมไนโตรเจน ไปเป็นไนไตรต์ไน-โตรเจน และไนเตรตไนโตรเจนในที่สุด (Frederick. 1956) นอกจากนี้การลดลงของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในตัวอย่างดินอีกสาเหตุหนึ่งก็คือการดึงดูดนำธาตุไนโตรเจนไปจากดินหรือปุ๋ยไปใช้ประโยชน์โดยต้นหญ้า ทั้งนี้เพราะไนโตรเจนเป็นธาตุที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของต้นหญ้า พืชจึงจำเป็นต้องดึงดูดนำธาตุอาหารตัวนี้ไปใช้ประโยชน์อย่างสม่ำเสมอ เพื่อสร้างกิจกรรมต่างๆ ของช่วงการเจริญเติบโต (วิรัตน์ . 2530)

4) ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจน ($\text{NH}_4^+\text{-N}$; ppm)

ตารางที่ 4.23 ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนของตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 7 วัน

ดำรับการทดลอง	ช่วงพิสัย (Range)		ค่าเฉลี่ย (Mean $\pm$ SD)	
	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)
Control	7.14-7.30	6.28-7.39	7.28 $\pm$ 0.18	6.83 $\pm$ 0.73
ปุ๋ยยูเรีย	8.02-10.23	10.68-14.22	9.30 $\pm$ 0.86	12.66 $\pm$ 1.15
ปุ๋ยยูเรีย + NP	16.36-17.98	23.68-30.32	17.09 $\pm$ 0.58	26.98 $\pm$ 3.68
ปุ๋ยยูเรีย + DCD	20.32-23.02	28.64-31.68	22.01 $\pm$ 0.92	29.98 $\pm$ 1.07

หมายเหตุ NP = Nitrification Inhibitors Nitrapyrin

DCD = Nitrification Inhibitors Dicyanodiamide

จากตารางที่ 4.23 นั้น ผลการทดลองที่ได้พบว่า ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนมีการเปลี่ยนแปลงแตกต่างออกไปจากระดับเดิมที่เก็บตัวอย่างที่ระยะเวลา 0 วัน โดยพบว่าในส่วนของการดำรับ Control การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแอมโมเนียมไนโตรเจนในดินมีค่าไม่มากนัก และมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย กล่าวคือ อยู่ในช่วง 7.14-7.30 ppm ในดินบน และมีค่า 6.28-7.39 ppm ในดินล่าง การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยนี้เป็นการเปลี่ยนแปลงตามสภาพธรรมชาติของไนโตรเจนในดิน ส่วนในการดำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียนั้น ปริมาณแอมโมเนียมที่พบกลับมีค่าลดลงจากสภาพของดินดั้งเดิม (ที่ระยะเวลา 0 วัน) มาก กล่าวคือ มีค่า 8.02-10.23 ppm ในดินบน และ 10.68-14.22 ppm ในดินล่าง ในขณะที่การดำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ทั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2 ตัวนั้น ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนมีค่าเพิ่มขึ้นจากระยะเวลาดั้งเดิม (0 วัน) เพียงเล็กน้อย โดยในตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตราฟอริน มีปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนของดินบน 16.36-17.98 ppm และในดินล่าง 23.68-30.32 ppm ส่วนในตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไดไฮยาโนไดอาไมด์นั้น มีระดับแอมโมเนียมไนโตรเจนปรากฏอยู่ในดินบน 20.32-23.02 ppm และมีค่า 28.64-31.68 ppm ในดินล่าง

ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของแอมโมเนียมไนโตรเจนที่เกิดขึ้นนี้มีค่าแตกต่างกันออกไปในแต่ละตำรับของการทดลอง และจะเห็นได้ชัดเจนเมื่อมีการเปรียบเทียบระหว่างตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียเพียงอย่างเดียว กับตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ ซึ่งตามสภาพปกติเมื่อมีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน (ในรูปของปุ๋ยยูเรีย) ลงไปในดิน ที่ระยะเวลาดังกล่าวจะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปของไนโตรเจนจากแอมโมเนียมไนโตรเจน ไปเป็นไนไตรต์และไนเตรตไนโตรเจน ตามลำดับ โดยผ่านขบวนการไนตริฟิเคชันของจุลินทรีย์ในดิน เพราะฉะนั้นในสถานะที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียเพียงอย่างเดียว ลักษณะของการเปลี่ยนแปลงจะเป็นไปตามปกติและเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วมาก ดังจะเห็นได้จากปริมาณของแอมโมเนียมไนโตรเจนที่ลดลงมาเกือบเท่าตัว (พิจารณาข้อมูลจากตารางที่ 4.18 ประกอบด้วย) ทั้งนี้เพราะเริ่มมีการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนจากแอมโมเนียมไนโตรเจน ไปเป็นไนโตรเจนรูปอื่นแล้ว ในขณะที่ตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์นั้น ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนมีค่าแตกต่างไปจากตัวอย่างดินดั้งเดิม ที่เก็บตัวอย่างที่ระยะเวลา 0 วัน ไม่มากนัก ทั้งนี้มีสาเหตุมาจากอิทธิพลการทำงานของไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ร่วมกับปุ๋ยยูเรีย โดยพบว่าในขณะที่ปุ๋ยยูเรียเริ่มมีการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนในดินโดยจุลินทรีย์นั้น ตัวไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์จะทำหน้าที่ในการขัดขวางการทำงานของจุลินทรีย์ในดิน โดยก่อให้เกิดสภาวะที่เป็นกรดขึ้นจนจุลินทรีย์ไม่สามารถทำงานได้ หรือทำงานได้ช้าลง (Bremner and Yeomans. 1986) ดังนั้นการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนจากแอมโมเนียมไนโตรเจนไปเป็นไนโตรเจนในรูปอื่นจึงเกิดช้าลงด้วย นอกจากนี้การที่ดินมีรูปของแอมโมเนียมไนโตรเจนสะสมอยู่มากเช่นนี้จะส่งผลดีต่อต้นหญ้าและพืชที่ต้องดึงดูดน้ำไนโตรเจนไปใช้ประโยชน์ ในขณะที่รูปของไนเตรตไนโตรเจนที่เกิดขึ้นจากผลการเปลี่ยนรูปของแอมโมเนียม ไนโตรเจนนั้น ส่วนใหญ่เป็นรูปที่ดินไม่สามารถดูดยึดได้ดีเท่ากับแอมโมเนียมไนโตรเจน พืชจึงไม่สามารถดึงดูดไปใช้ประโยชน์ได้ทัน และอาจเกิดการสูญเสียไปกับขบวนการชะล้างได้ง่ายกว่า เป็นต้น (Carley and Mavricic. 1991)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) ปริมาณไนเตรตไนโตรเจน (NO_3^- -N ; ppm)

ตารางที่ 4.24 ปริมาณไนเตรตไนโตรเจนของตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 7 วัน

ดำรับการทดลอง	ช่วงพิสัย (Range)		ค่าเฉลี่ย (Mean $\pm$ SD)	
	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)
Control	1.26-2.28	3.32-4.36	1.73 $\pm$ 0.65	3.81 $\pm$ 0.66
ปุ๋ยยูเรีย	5.66-7.32	14.62-18.36	6.76 $\pm$ 0.78	16.27 $\pm$ 0.72
ปุ๋ยยูเรีย + NP	2.09-2.26	4.08-4.14	2.13 $\pm$ 0.36	4.102 $\pm$ 0.12
ปุ๋ยยูเรีย + DCD	3.12-3.46	5.18-5.52	3.31 $\pm$ 0.34	5.32 $\pm$ 0.26

หมายเหตุ NP = Nitrification Inhibitors Nitrapyrin

DCD = Nitrification Inhibitors Dicyanodiamide

จากตารางที่ 4.24 พบว่า ปริมาณไนเตรตไนโตรเจนโดยทั่วไปมีค่าสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างดินที่สุ่มเก็บตัวอย่างขึ้นมาที่ระยะเวลา 0 วัน ลักษณะของผลการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนี้จะมีค่าแตกต่างกันไปตามแต่ละภาวะการทดลอง โดยในตำรับ Control พบว่าการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นมีค่าไม่มากนักและให้ค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนในสภาพธรรมชาติ โดยไม่มีการเติมสารใดๆ ที่เป็นธาตุไนโตรเจนลงไปในดินโดยตรง สำหรับในดินบนของตำรับ Control นั้นจะมีปริมาณไนเตรตไนโตรเจนสะสมอยู่ในช่วง 1.26-2.28 ppm และดินล่างมีปริมาณไนเตรตไนโตรเจนปรากฏอยู่ในช่วง 3.32-4.36 ppm ในขณะที่ตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียเพียงอย่างเดียว การเปลี่ยนแปลงปริมาณของไนเตรตไนโตรเจนมีทิศทางที่เพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก โดยมีค่าสูงกว่าตัวอย่างดินที่เก็บขึ้นมาที่ระยะเวลาเริ่มต้น (0 วัน) หลายเท่าตัว เช่น มีค่าสูงถึง 5.66-7.32 ppm ในดินบน และ 14.62-18.36 ppm ในดินล่าง ส่วนอีก 2 ตำรับการทดลองซึ่งเป็นสภาวะที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์นั้น พบว่ามีการเพิ่มขึ้นของระดับไนเตรตไนโตรเจนด้วย แต่การเพิ่มขึ้นนั้นเป็นปริมาณที่ไม่มากนักเมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียเพียงอย่างเดียว โดยในตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตราไพรีนนั้น มีระดับไนเตรตไนโตรเจนในดินบน 2.09-2.26 ppm และ 4.08-4.14 ppm ในดินล่าง ส่วนตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไดไซยาโนไดอะไมด์นั้น มีระดับไนเตรตไนโตรเจน 3.12-3.46 ppm ในดินบน และ 5.18-5.52 ppm ในดินล่าง

จากผลการทดลองดังกล่าวสามารถประเมินได้ว่า ที่ระยะเวลา 7 วันนี้ เริ่มต้นมีการเปลี่ยนแปลงรูปของไนโตรเจนจากแอมโมเนียมไนโตรเจนไปเป็นไนเตรตไนโตรเจนแล้ว ทั้งนี้ทราบได้จากเอกสารเป็นเอกสารทงส่วนวิสาหรับการเชิงานเพื่อการคึกษา ให้เห็น ไม้มีอยู่ ให้เห็นไปใช้บ่งชี้เชิงานค่าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณของแอมโมเนียมไนโตรเจนที่ลดลง และปริมาณของไนเตรตไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นตามลำดับ ลักษณะของการเพิ่มขึ้นจะเห็นได้ชัดเจนในตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียเพียงอย่างเดียวลงในดิน (เฉลี่ย 16.27 ppm ในดินล่าง) ทั้งนี้เพราะการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนลงในดินย่อมเกิดการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนโดยจุลินทรีย์ในดิน เมื่อจุลินทรีย์ทำงานได้ตามปกติที่ระยะเวลาที่เหมาะสมก็จะเกิดการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนไปตามลำดับ ดังนั้นที่ระยะเวลา 7 วันดังกล่าวจึงพบว่าปริมาณไนเตรตไนโตรเจนของตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียจึงเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ทั้ง 2 ชนิด พบว่าปริมาณไนเตรตไนโตรเจนของสภาวะทั้งสองเพิ่มขึ้นจากระยะเวลาเริ่มต้น (0 วัน) น้อยมาก (เฉลี่ย 4.10-5.52 ppm สำหรับดินล่าง) ทั้งนี้เนื่องจากอิทธิพลของไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ที่ใส่ลงไปในดินพร้อมกับปุ๋ยยูเรียจะไปช่วยยับยั้งไม่ให้จุลินทรีย์ในดินทำงานได้ตามปกติ โดยเข้าไปด้านทานให้ทำงานได้ช้าลง การเปลี่ยนรูปของแอมโมเนียมไนโตรเจนไปเป็นไนเตรตไนโตรเจนจึงเกิดขึ้นได้ช้าลงด้วย และส่งผลให้สภาวะการทดลองทั้งสองนี้มีปริมาณแอมโมเนียม ไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่เดียวกันปริมาณไนเตรตไนโตรเจนก็เพิ่มขึ้นน้อยมาก และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ทั้ง 2 ชนิดแล้วพบว่าไนตริไฟรินสามารถลดระดับการเกิดไนเตรตไนโตรเจนได้มากกว่าไดไฮยาโนไดอาไมด์ แต่แตกต่างกันเป็นปริมาณที่ไม่มากเท่าใดนัก (Ashworth, 1986)

นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อเปรียบเทียบปริมาณไนเตรตไนโตรเจนในดินบนและดินล่างที่อยู่ในตำรับการทดลองเดียวกันของทุกสภาวะการทดลองแล้ว พบว่าในดินบนมีปริมาณไนเตรตไนโตรเจนสะสมอยู่ต่ำกว่าในดินล่าง สาเหตุที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะในดินบนมีลักษณะเป็นดินทรายซึ่งมีปริมาณอนุภาคดินเหนียวสะสมอยู่น้อยกว่าในดินล่าง การที่ดินนั้นมีคุณสมบัติเช่นนี้ทำให้สภาพของการดูดยึดธาตุอาหารชนิดต่างๆ เกิดขึ้นได้ไม่ดี และยังไนเตรตไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่มีประจุลบ ยิ่งทำให้การดูดยึดไม่ดีมากขึ้น ไนเตรตจึงเคลื่อนตัวลงสู่ดินชั้นล่างโดยติดมากับน้ำที่ไหลรดต้นหญ้า และส่งผลทำให้ดินชั้นบนมีปริมาณไนเตรตไนโตรเจนสะสมอยู่น้อยกว่าดินชั้นล่าง (Bhat et.al. 1983)

ตัวอย่างดิน

ระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง 14 วัน

1) pH

ตารางที่ 4.25 ระดับ pH ของตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 14 วัน

ดำรับการทดลอง	ช่วงพิสัย (Range)		ค่าเฉลี่ย (Mean±SD)	
	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)
Control	5.92-6.03	6.00-6.10	5.89±0.17	6.05±0.12
ปุ๋ยยูเรีย	5.16-5.52	5.17-5.98	5.32±0.22	5.60±0.38
ปุ๋ยยูเรีย + NP	4.32-5.18	4.97-5.09	4.80±0.47	5.03±0.21
ปุ๋ยยูเรีย + DCD	4.12-4.93	5.12-5.25	4.56±0.39	5.19±0.18

หมายเหตุ NP = Nitrification Inhibitors Nitrapyrin

DCD = Nitrification Inhibitors Dicyanodiamide

เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 4.25 โดยภาพรวมแล้วพบว่า ระดับ pH ของดินที่ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างขึ้นมาที่ระยะเวลา 14 วันนั้น มีค่าลดลง แต่ระดับการลดลงของ pH เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างดินที่เก็บที่ระยะเวลา 7 วันแล้ว มีค่าไม่แตกต่างกันมากเท่าใด แต่ถ้าเปรียบเทียบกับระดับ pH ที่ระยะเวลาเริ่มต้น (0 วัน) แล้ว พบว่าค่อนข้างแตกต่างกันพอสมควร ยกเว้นในดำรับ Control เท่านั้น ที่ระดับ pH ไม่เปลี่ยนแปลงไปจาก pH เริ่มต้น กล่าวคือ ระดับ pH ในดินบนมีค่า 5.92-6.03 และในดินล่างมีค่า pH 6.00-6.10 ตามลำดับ ส่วนในดำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียนั้น ระดับ pH ก็ลดลงเพียงเล็กน้อยอีกเช่นกัน กล่าวคือ อยู่ในช่วง 5.16-5.52 สำหรับดินบน และ 5.17-5.98 สำหรับดินล่าง ในขณะที่ดำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ทั้ง 2 ชนิดนั้น ระดับ pH ลดลงจากเดิมค่อนข้างมาก โดยในดำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตราไพรีน มีระดับ pH ของดินบนอยู่ในช่วง 4.32-5.18 และค่า pH ของดินล่างอยู่ในช่วง 4.97-5.09 ในขณะที่ดำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไดไซยาโนไดอะไมด์นั้น ระดับ pH ในดินบนเป็น 4.12-4.93 และดินล่างมีค่า pH เป็น 5.12-5.25 ตามลำดับ

จากผลการทดลองที่ได้ดังกล่าว แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าอิทธิพลของการใช้ปุ๋ยยูเรียใส่ลงไปในดินนั้นเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดความเป็นกรดขึ้นมาในดิน ทั้งนี้สามารถพิจารณาได้จากสถานะที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียลงไปในดินทุกดำรับนั้น พบว่าระดับ pH ของดินล้วนลดลงทั้งสิ้น (เมื่อเปรียบเทียบกับตัวรับ Control) นอกจากนี้ปริมาณ pH จะลดลงมากขึ้น เมื่อมีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ลงไปในดิน ทั้งนี้เพราะตัวไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์เองก็ก่อให้เกิด ความเป็นกรดขึ้นในดินได้อีกเช่นเดียวกัน การที่ไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ทำให้ดินมีสภาพเป็นกรด ซึ่งสืบเนื่องมาจากอิทธิพลของตัวสารไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์เช่นนี้จึงทำหน้าที่ในการยับยั้งการ ทำงานของจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดขบวนการไนตริฟิเคชัน โดยก่อให้เกิดสภาวะที่เป็นกรดขึ้นในดิน จนกระทั่งจุลินทรีย์ไม่สามารถทำงานได้ตามปกติ และจากสาเหตุเช่นนี้ที่ส่งผลให้ตำรับที่มีการใส่ ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ มีการลดระดับลงมาของ pH มากกว่าทุกตำรับที่มีการใส่ ปุ๋ยยูเรียเพียงอย่างเดียว (Ashworth et.al. 1980) ส่วนสาเหตุอีกประการหนึ่งที่ทำให้ระดับ pH ของดินในทุกสภาวะการทดลองมีค่าลดลง นั่นก็คือ อิทธิพลที่สืบเนื่องมาจากขบวนการชะล้างของ น้ำที่ใส่รดต้นหญ้า ขบวนการชะล้างที่เกิดขึ้นจะส่งผลให้เกิดการแทนที่ของไฮโดรเจนไอออน (H^+) กับธาตุอาหารประจุบวกที่อยู่ในดิน และส่งผลให้ดินนั้นมีความเป็นกรดเพิ่มมากขึ้น แต่ อย่างไรก็ตามอิทธิพลของขบวนการชะล้างเพียงอย่างเดียวนี้คงส่งผลทำให้ดินเป็นกรดเกิดขึ้นได้ช้า กว่า โดยสามารถพิจารณาได้จากในตำรับ Control ที่มีการเปลี่ยนแปลงระดับ pH เนื่องมาจาก อิทธิพลของขบวนการชะล้างมีไม่ค่อยมาก แต่ถ้ามีปัจจัยเสริมเหมือนกับอีก 3 ตำรับที่เหลือ จะพบ ว่าระดับ pH ของตัวอย่างดินจะลดลงมากขึ้นเป็นไปตามลำดับ

2) สภาพการนำไฟฟ้า (EC ; dS/cm)

ตารางที่ 4.26 สภาพการนำไฟฟ้าของตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 14 วัน

ตำรับการทดลอง	ช่วงพิสัย (Range)		ค่าเฉลี่ย (Mean±SD)	
	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)
Control	0.21-1.28	1.62-3.92	0.74±0.78	2.78±0.76
ปุ๋ยยูเรีย	0.56-1.02	1.08-1.26	0.81±0.32	1.15±0.23
ปุ๋ยยูเรีย + NP	0.23-1.16	0.67-1.21	0.83±0.29	0.89±0.55
ปุ๋ยยูเรีย + DCD	0.12-1.54	1.17-1.96	0.78±0.64	1.61±0.36

หมายเหตุ NP = Nitrification Inhibitors Nitrapyrin
DCD = Nitrification Inhibitors Dicyanodiamide

จากผลของตารางที่ 4.26 พบว่า สภาพการนำไฟฟ้าของตัวอย่างดินที่ถูกสุ่มเก็บตัวอย่างขึ้นมา ที่ระยะเวลา 14 วัน โดยทั่วไปมีค่าลดลง แต่ก็ลดลงจากสภาพดั้งเดิมที่ระยะเวลา 0 และ 7 วันไม่ มาก กล่าวคือ ในตำรับ Control การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นมีน้อยมาก และให้ค่าอยู่ในช่วง 0.21-1.28 อย่างไรก็ตามนี่เป็นเอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.28 dS/cm ในดินบน และ 1.62-3.92 dS/cm ในดินล่าง ส่วนอีก 3 ดำรับที่เหลือนั้นลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสภาพการนำไฟฟ้าที่เกิดขึ้นก็น้อยมากอีกเช่นเดียวกัน แต่ถ้าเปรียบเทียบกับ ดำรับ Control แล้วพบว่า การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นมีค่ามากกว่า โดยในดำรับของปุ๋ยยูเรียจะมีสภาพการนำไฟฟ้าของดินบนอยู่ในช่วง 0.56-1.02 dS/cm และดินล่างมีสภาพการนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง 1.08-1.26 dS/cm ในดำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ ก็มีการลดระดับลงมาของสภาพการนำไฟฟ้าอีกเช่นเดียวกัน โดยในดำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ มีค่าสภาพการนำไฟฟ้าของดินบนอยู่ในช่วง 0.23-1.16 dS/cm และค่าสภาพการนำไฟฟ้าของดินล่างอยู่ในช่วง 0.67-1.21 dS/cm ส่วนดำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไดไฮยาโนไดอาไมด์นั้น มีค่าสภาพการนำไฟฟ้าของดินบนอยู่ในช่วง 0.12-1.54 dS/cm และดินล่างปรากฏอยู่ในช่วง 1.71-1.96 dS/cm ตามลำดับ

จากผลการทดลองดังกล่าวเมื่อพิจารณาในภาพรวมจะพบได้ว่า ค่าการนำไฟฟ้าหรือสภาพการนำไฟฟ้าที่ลดลงนี้มีความสัมพันธ์กับธาตุอาหารประจุบวกในดินที่ลดลง และการที่ธาตุอาหารประจุบวกในดินลดลงนั้น ก็สามารถตรวจสอบได้จากระดับ pH ที่ลดลงได้ด้วย เพราะการที่ระดับ pH ลดลง สาเหตุประการหนึ่งคงสืบเนื่องมาจากอิทธิพลของขบวนการชะล้าง โดยก่อให้เกิดการพัดพาธาตุอาหารประจุบวกที่สะสมอยู่ในดินออกไปจากดินมากขึ้น โดยเฉพาะธาตุอาหารประจุบวกที่มีความสามารถในการดูดซับยึดอยู่ในดินได้ต่ำ (เช่น Na^+) และส่งผลทำให้สภาพการนำไฟฟ้าของดินในแต่ละดำรับการทดลองมีค่าลดลงจากระดับเดิม (0 และ 7 วัน) แทบทั้งสิ้น

3) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (TN ; ppm)

ตารางที่ 4.27 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 14 วัน

ดำรับการทดลอง	ช่วงพิสัย (Range)		ค่าเฉลี่ย (Mean±SD)	
	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)
Control	0.02-0.07	0.05-0.07	0.04±0.17	0.06±0.09
ปุ๋ยยูเรีย	1.09-1.26	1.32-1.54	1.16±0.19	1.41±0.12
ปุ๋ยยูเรีย + NP	0.99-1.92	2.00-2.23	1.56±0.35	2.19±0.21
ปุ๋ยยูเรีย + DCD	1.43-1.98	1.64-2.26	1.62±0.28	2.01±0.46

หมายเหตุ NP = Nitrification Inhibitors Nitrapyrin
DCD = Nitrification Inhibitors Dicyanodiamide

จากผลของตารางที่ 4.27 พบว่า นอกจากตำรับ Control แล้ว อีก 3 สภาวะของตำรับการทดลองที่เหลือนั้น ระบุถึงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของตัวอย่างดินมีค่าลดลงจากระดับดั้งเดิมเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างดินที่สุ่มเก็บขึ้นมาที่ระยะเวลา 7 วัน แต่การลดลงที่เกิดขึ้นมีค่าไม่มากเท่าใด และผลของการเปลี่ยนแปลงจะเกิดขึ้นน้อยมากในตำรับ Control กล่าวคือ มีเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนทั้งหมดในดินบนเป็น 0.02-0.07 และดินล่าง 0.05-0.07 ส่วนในตำรับปุ๋ยยูเรียนั้น ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดลดลงไปอยู่ในช่วง 1.09-1.26 เปอร์เซ็นต์ ในดินบน และ 1.32-1.54 เปอร์เซ็นต์ ในดินล่าง ส่วนตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตราไพรีนนั้นมีเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในดินบน 0.99-1.92 ในขณะที่ดินล่างมีเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนเพียง 2.00-2.23 นอกจากนี้ผลการลดลงของเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนที่เกิดขึ้นก็มีลักษณะเช่นเดียวกับในตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไดไฮยาโนไดอาไมด์เช่นเดียวกัน โดยมีเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนลดลงไปอยู่ในช่วง 1.43-1.98 ในดินบน และ 1.64-2.26 ในดินล่าง ตามลำดับ

จากผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นว่า เมื่อระยะเวลาผ่านไป (14 วัน) นั้น ย่อมเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปของไนโตรเจนไปเรื่อยๆ ตามอิทธิพลของขบวนการไนตริฟิเคชัน นอกจากนี้การเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนดังกล่าว จะส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนทั้งหมดในดินค่อยๆ ลดลง (เฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.06-2.19 เปอร์เซ็นต์ สำหรับดินล่าง) ทั้งนี้เพราะถูกนำไปใช้ประโยชน์โดยพืช และบางส่วนก็สูญเสียออกไปโดยขบวนการชะล้าง ดังนั้นจึงพบว่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของดินในทุกตำรับของการทดลองมีค่าลดลงจากระดับดั้งเดิมก่อนเริ่มต้นการทดลอง (0 วัน) และจะมีค่าลดลงเรื่อยๆ เมื่อระยะเวลาของการทดลองยาวนานขึ้นติดต่อกันไปตามลำดับ

4) ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจน (NH₄⁺-N ; ppm)

ตารางที่ 4.28 ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนของตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 14 วัน

ตำรับการทดลอง	ช่วงพิสัย (Range)		ค่าเฉลี่ย (Mean±SD)	
	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)
Control	7.02-7.32	6.06-7.27	7.20±0.21	6.82±0.74
ปุ๋ยยูเรีย	4.03-8.64	8.26-10.74	6.72±1.14	9.66±0.48
ปุ๋ยยูเรีย + NP	18.26-20.07	23.23-30.05	19.46±0.76	28.02±3.23
ปุ๋ยยูเรีย + DCD	19.32-25.06	27.11-32.67	21.96±1.86	29.67±1.96

หมายเหตุ NP = Nitrification Inhibitors Nitrapyrin

DCD = Nitrification Inhibitors Dicyanodiamide

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลของตารางที่ 4.28 พบว่า ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนในตัวอย่างดิน มีการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกันไปในแต่ละตำรับของการทดลอง โดยเฉพาะในตำรับ Control นั้น อิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนนั้นยังคงมีไม่มาก เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะดั้งเดิม (0 และ 7 วัน) กล่าวคือ มีค่าอยู่ในช่วง 7.02-7.32 ppm ในดินบน และ 6.06-7.27 ppm ในดินล่าง ส่วนในตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียนั้นพบว่า ปริมาณของแอมโมเนียมไนโตรเจนลดระดับลงอย่างมากจนถึงเกือบครึ่งหนึ่งของระดับดั้งเดิม กล่าวคือ มีค่าอยู่ในช่วง 4.03-8.64 ppm ในดินบน และ 8.26-10.74 ppm ในดินล่าง ส่วนในตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ทั้ง 2 ชนิดนั้น พบว่า ระดับของแอมโมเนียมไนโตรเจนไม่เปลี่ยนแปลงไปจากสภาวะดั้งเดิมที่ระยะเวลา 0 และ 7 วันเท่าใด สำหรับตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตริไฟรินมีปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนสะสมอยู่ในช่วง 18.26-20.07 ppm ในดินบน และ 23.23-30.05 ppm ในดินล่าง ส่วนในตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไคไฮยาโนไดอะไมด์นั้นพบว่า มีปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนปรากฏอยู่ในดินบน 19.32-25.00 ppm และ 27.11-32.67 ppm ในดินล่างตามลำดับ

จากผลการทดลองที่ได้นี้สามารถระบุได้อย่างชัดเจนว่า ที่ระยะเวลา 14 วัน ดังกล่าวจัดเป็นช่วงที่อยู่ในสภาพการเปลี่ยนแปลงรูปของไนโตรเจน เมื่อถึงระยะเวลาก่อนผ่านไปนานมากขึ้นเท่าใด การเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนก็ยิ่งเกิดมากขึ้นเท่านั้น ดังนั้นจึงพบว่าในตำรับของปุ๋ยยูเรียจะมีการลดระดับลงมาของปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนจากสภาวะดั้งเดิมเป็นอย่างมาก (เฉลี่ย 9.66 ppm สำหรับดินล่าง)) ทั้งนี้คงมีสาเหตุเนื่องมาจากกิจกรรมการเปลี่ยนแปลงของจุลินทรีย์ในดิน ในขณะที่ตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์นั้น ระดับการเปลี่ยนแปลงของแอมโมเนียมไนโตรเจนจะเกิดขึ้นน้อยมาก สิ่งนี้เป็นเพราะการใส่ไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ลงไปพร้อมกับปุ๋ย จะสามารถตรึงปุ๋ยไนโตรเจนให้อยู่ในรูปของแอมโมเนียมไนโตรเจนได้นานกว่า ดังนั้นจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงไปสู่รูปอื่นได้ช้าลง (NO_2^- -N, NO_3^- -N) (Bundy and Bremner, 1973) นอกจากนั้นการที่ปุ๋ยอยู่ในรูปของแอมโมเนียมไนโตรเจนได้เป็นระยะเวลาที่นานมากเช่นนี้ย่อมส่งผลทำให้สภาวะที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ มีการเปลี่ยนแปลงระดับแอมโมเนียมไนโตรเจนเกิดขึ้นไม่มาก และยังคงมีค่าที่สูงอยู่เช่นระดับดั้งเดิมภายในดิน

5) ปริมาณไนเตรตไนโตรเจน (NO₃⁻-N ; ppm)

ตารางที่ 4.29 ปริมาณไนเตรตไนโตรเจนของตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 14 วัน

ดำรับการทดลอง	ช่วงพิสัย (Range)		ค่าเฉลี่ย (Mean±SD)	
	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)
Control	2.02-3.06	3.16-4.42	3.62±0.56	3.86±0.65
ปุ๋ยยูเรีย	7.26-12.31	18.62-25.64	9.62±1.21	21.96±2.23
ปุ๋ยยูเรีย + NP	3.11-3.48	4.23-4.36	3.28±0.16	4.30±0.12
ปุ๋ยยูเรีย + DCD	2.98-3.56	4.29-4.48	3.28±0.48	4.33±0.17

หมายเหตุ NP = Nitrification Inhibitors Nitrapyrin
DCD = Nitrification Inhibitors Dicyanodiamide

จากตารางที่ 4.29 พบว่าการเปลี่ยนแปลงระดับของไนเตรตไนโตรเจนของแต่ละดำรับการทดลองนั้นมีค่าแตกต่างกัน โดยอาจมีค่าลดลงหรือเพิ่มขึ้นแล้วแต่สถานะของการทดลอง เช่น ดำรับ Control ยังคงเป็นสภาพที่เกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างดินดั้งเดิมที่ระยะ 0 และ 7 วัน กล่าวคือ มีค่าไนเตรตไนโตรเจนอยู่ในช่วง 2.02-3.06 ppm ในดินบน และ 3.16-4.42 ppm ในดินล่าง ในดำรับปุ๋ยยูเรียมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณไนเตรตไนโตรเจน คือ เพิ่มขึ้นไปอยู่ที่ 7.26-12.31 ppm ในดินบน และ 18.62-25.64 ppm ในดินล่างตามลำดับ ส่วนดำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ทั้ง 2 ชนิดจะมีการเปลี่ยนแปลงไปจากตัวอย่างดินดั้งเดิมที่เก็บในระยะก่อนหน้านี้นี้ไม่มาก โดยในดำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตริ-ฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ไนตราไพรีน มีระดับไนเตรตเกิดขึ้นในช่วง 3.11-3.48 ppm ในดินบน และดินล่างจะอยู่ในช่วง 4.23-4.36 ppm ในขณะที่ดำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตริฟิเคชันอินฮิบิ-เตอร์ไดไซยาโนไดอะไมด์นั้น มีระดับไนเตรตไนโตรเจนปรากฏอยู่ในช่วง 2.98-3.56 ppm ในดินบน และ 4.29-4.48 ppm ในดินล่าง ตามลำดับ

จากผลการทดลองที่ได้ดังกล่าวสามารถระบุในภาพรวมได้อย่างชัดเจนว่า ที่ระยะเวลา 14 วัน นั้น มีการเปลี่ยนแปลงรูปของไนโตรเจนมาเป็นไนเตรตไนโตรเจนได้มากขึ้น ทั้งนี้ปริมาณไนเตรตไนโตรเจนที่วัดได้ของแต่ละดำรับการทดลอง จะแสดงความสัมพันธ์กับปริมาณแอมโม-เนียมไนโตรเจนที่วัดได้ในระยะเวลาก่อนหน้านี้ (0 และ 7 วัน) นั่นคือ ถ้ายังมีปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนสะสมอยู่มากปริมาณไนเตรตที่เกิดขึ้นก็ย่อมน้อยลง ในทำนองเดียวกันถ้าสถานะการทดลองใดมีปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนสะสมอยู่น้อย นั่นคือ มีการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากแอมโมเนียมไนโตรเจนไปเป็นไนโตรเจนในรูปอื่นๆ แล้ว การเกิดไนเตรตไนโตรเจนย่อมมากเพิ่มขึ้นตามไปด้วย จึงสามารถเห็นผลได้อย่างเด่นชัดว่า อิทธิพลของไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์นั้นมีผลช่วยให้เกิดไนเตรตไนโตรเจนต่ำลง และเป็นปริมาณที่น้อยลง (Davies. and William. 1995) นอกจากนี้การเกิดไนเตรตไนโตรเจนที่ต่ำลงย่อมส่งผลประโยชน์ต่อต้นหญ้า เพราะหญ้าสามารถดึงดูดรูปของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมไนโตรเจนไปใช้ประโยชน์ได้มากกว่า ไนเตรตไนโตรเจนที่เกิดขึ้นจึงสูญเสียออกไปโดยขบวนการชะล้างได้ง่าย ดังนั้นถ้าเกิดไนเตรตไนโตรเจนที่ต่ำลงมากเท่าใด โอกาสที่ชั้นดินจะเหลือรูปของไนโตรเจนที่จะเกิดเป็นไนเตรตไนโตรเจนได้น้อยลงก็เพิ่มมากขึ้นเท่านั้น (เนื่องจากพืชสามารถดึงดูดไปใช้ประโยชน์ได้หมด) ไนเตรตที่ถูกชะล้างไปโดยขบวนการชะล้างจึงน้อยลงจนถึงระดับที่ไม่เป็นอันตราย แต่ในสภาวะที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียเพียงอย่างเดียว โดยไม่มีการใส่ไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ร่วมลงไปด้วยแล้ว การเปลี่ยนแปลงรูปของไนโตรเจนที่เกิดขึ้นจะเป็นไปตามขบวนการไนตริฟิเคชันของจุลินทรีย์ในดิน ที่ระยะเวลาเช่นนี้จะมีการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนไปอยู่ในรูปไนเตรตได้มาก ลักษณะของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นมากๆ เช่นนี้ย่อมส่งผลทำให้ต้นหญ้าไม่สามารถดึงดูดธาตุไนโตรเจนไปใช้ประโยชน์ได้ทัน ทั้งนี้เพราะขบวนการชะล้างที่เกิดขึ้นเนื่องจากการรดน้ำต้นหญ้า ทำให้ไนเตรตไนโตรเจนที่เกิดขึ้นสูญหายไปกับน้ำที่ชะออกมานั้น (Chang and Entz. 1996)

ตัวอย่างดิน

ระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง 21 วัน

1) pH

ตารางที่ 4.30 ระดับ pH ของตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 21 วัน

ตัวรับการทดลอง	ช่วงพิสัย (Range)		ค่าเฉลี่ย (Mean±SD)	
	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)
Control	5.42-5.62	5.88-5.90	5.58±0.19	5.89±0.08
ปุ๋ยยูเรีย	4.90-5.00	4.82-5.56	4.96±0.09	5.12±0.42
ปุ๋ยยูเรีย + NP	4.12-4.92	4.46-4.90	4.62±0.36	4.60±0.21
ปุ๋ยยูเรีย + DCD	3.97-5.01	4.96-4.99	4.63±0.65	4.98±0.06

หมายเหตุ NP = Nitrification Inhibitors Nitrapyrin

DCD = Nitrification Inhibitors Dicyanodiamide

จากตารางที่ 4.30 พบว่าระดับ pH ในดิน โดยภาพรวมนั้นมีค่าลดลงจากระดับดั้งเดิมที่ระยะเวลา 0-14 วัน โดยลักษณะการลดระดับลงของ pH เช่นนี้ จะมีค่ามากขึ้นในตัวอย่างที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนโตรฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ กล่าวคือ ในตัวอย่างที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนโตรไพรีนนั้น ระดับ pH ลดลงเป็น 4.12-4.92 ในดินบน และ 4.46-4.90 ในดินล่าง ในขณะที่ตัวอย่างที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไดไฮยาโนไดอามีด์นั้น ระดับ pH ในดินบนลดลงเป็น 3.97-5.01 และในดินล่างลดลงเป็น 4.96-4.99 ตามลำดับ ส่วนในตัวอย่างที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียนั้นก็มีการลดลงของระดับ pH เช่นเดียวกัน แต่มีค่าเปลี่ยนแปลงไม่มากเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนโตรฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ทั้ง 2 โดยพบว่า สภาวะที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียดังกล่าว ระดับ pH จะลดลงมาอยู่ในช่วง 4.90-5.00 ในดินบน และ 4.82-5.56 ในดินล่าง ส่วนตัวอย่าง Control ระดับ pH ที่พบไม่แตกต่างออกไปจากสภาพของตัวอย่างดินดั้งเดิมมากเท่าใด โดยมีค่า pH 5.42-5.62 ในดินบน และ 5.88-5.90 ในดินล่าง ตามลำดับ

จากผลการทดลองที่ได้สามารถชี้บ่งออกมาอย่างชัดเจนว่า การเปลี่ยนแปลงระดับ pH ของตัวอย่างดินที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรีย 3 สภาวะ (ปุ๋ยยูเรีย ปุ๋ยยูเรีย+ไนโตรไพรีน ปุ๋ยยูเรีย+ไดไฮยาโนไดอามีด์) นั้น เป็นการเปลี่ยนแปลงที่มีการลดระดับของ pH อย่างต่อเนื่องมาจากระยะเวลาของการเก็บตัวอย่างดินเริ่มแรก (0-14 วัน) โดยระดับ pH ที่ลดลงนี้มีสาเหตุมาจากอิทธิพลของขบวนการชะล้างและการใส่ปุ๋ยยูเรีย รวมถึงการใส่ไนโตรฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ลงไปในดินโดยตรง เมื่อระยะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลาเพิ่มมากขึ้นเป็น 21 วัน อิทธิพลเหล่านี้ยังคงปรากฏอยู่และส่งผลรุนแรงมากขึ้น จนทำให้ระดับ pH ในทั้ง 3 สภาะดังกล่าวมีค่าลดลง แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับ Control แล้ว การเปลี่ยนแปลงของระดับ pH มีไม่มาก ทั้งนี้เป็นเพราะได้รับอิทธิพลจากขบวนการชะล้างเพียงอย่างเดียวเท่านั้น

2) สภาพการนำไฟฟ้า (EC ; dS/cm)

ตารางที่ 4.31 สภาพการนำไฟฟ้าของตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 21 วัน

ตำรับการทดลอง	ช่วงพิสัย (Range)		ค่าเฉลี่ย (Mean $\pm$ SD)	
	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)
Control	0.09-1.18	0.38-1.92	0.72 $\pm$ 0.55	1.27 $\pm$ 0.64
ปุ๋ยยูเรีย	0.26-0.92	1.12-1.16	0.68 $\pm$ 0.32	1.13 $\pm$ 0.04
ปุ๋ยยูเรีย + NP	0.98-1.98	0.33-1.09	1.46 $\pm$ 0.45	0.74 $\pm$ 0.33
ปุ๋ยยูเรีย + DCD	0.33-1.12	0.92-1.54	0.86 $\pm$ 0.52	1.34 $\pm$ 0.28

หมายเหตุ NP = Nitrification Inhibitors Nitrapyrin

DCD = Nitrification Inhibitors Dicyanodiamide

จากตารางที่ 4.31 พบว่าโดยภาพรวมแล้วค่าการนำไฟฟ้าหรือสภาพการนำไฟฟ้าของตัวอย่างดินที่เก็บตัวอย่างขึ้นมาในช่วงระยะเวลา 21 วันมีค่าลดลงจากสภาพดั้งเดิมที่ระยะเวลา 0-14 วัน โดยจะมีค่าลดลงเล็กน้อยในตำรับ Control กล่าวคือ อยู่ในช่วง 0.09-1.18 dS/cm ในดินบน และ 0.38-1.92 dS/cm ในดินล่าง ส่วนระดับการลดลงของสภาพการนำไฟฟ้านี้เกิดขึ้นในอีก 3 ตำรับการทดลองที่เหลือซึ่งก็มีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน แต่ปริมาณการลดลงก็ไม่ได้มากเท่าใด โดยพบว่าในตำรับปุ๋ยยูเรียมีสภาพการนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง 0.26-0.92 dS/cm ในดินบน และ 1.12-1.16 dS/cm ในดินล่าง ส่วนในตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนโตรไพรีนนั้น ค่าการนำไฟฟ้าหรือสภาพการนำไฟฟ้าของดินบนจะพบอยู่ในช่วง 0.98-1.98 dS/cm และดินล่าง 0.33-1.09 dS/cm ในขณะที่ตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไดไซยาโนไดอะไมด์นั้น มีค่าสภาพการนำไฟฟ้าของดินบนปรากฏอยู่ในช่วง 0.33-1.12 dS/cm และดินล่างอยู่ในช่วง 0.92-1.54 dS/cm ตามลำดับ

การลดลงของค่าการนำไฟฟ้าหรือสภาพการนำไฟฟ้าก็เป็นผลที่เกิดต่อเนื่องมาจากในระยะแรกๆ ตั้งแต่ 0-14 วัน ทั้งนี้เพราะเมื่อระดับ pH ของตัวอย่างดินมีแนวโน้มที่ลดลงเรื่อยๆ ตามระยะเวลาที่ผ่านมา ขบวนการชะล้างที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องย่อมส่งผลต่อสภาพการนำไฟฟ้าของตัว

อย่างดินอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ และทำให้สภาพการนำไฟฟ้าของตัวอย่างดินในแต่ละสภาวะการทดลองโดยภาพรวมมีค่าลดลงตามลำดับ นอกจากนี้ปริมาณของค่าการนำไฟฟ้าที่ลดลงนี้จะเกิดขึ้นมากๆ เมื่อ pH ของดินลดลงมาเป็นจำนวนมากอีกด้วย

3) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (TN ; %)

ตารางที่ 4.32 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 21 วัน

ดำรับการทดลอง	ช่วงพิสัย (Range)		ค่าเฉลี่ย (Mean±SD)	
	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (0-20 ซม.)	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (0-20 ซม.)
Control	0.04-0.09	0.06-1.09	0.06±0.08	0.61±0.48
ปุ๋ยยูเรีย	0.84-0.96	0.92-1.24	0.91±0.11	1.02±0.24
ปุ๋ยยูเรีย + NP	1.02-1.66	1.64-1.73	1.38±0.28	1.701±0.18
ปุ๋ยยูเรีย + DCD	0.96-1.28	1.12-1.67	1.09±0.32	1.36±0.26

หมายเหตุ NP = Nitrification Inhibitors Nitrapyrin
DCD = Nitrification Inhibitors Dicyanodiamide

จากผลของตารางที่ 4.32 พบว่า ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของตัวอย่างดินในดำรับ Control มีการเปลี่ยนแปลงไม่มาก (มีค่าสูงขึ้นเล็กน้อย) กล่าวคือ มีเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนของตัวอย่างดินบนอยู่ในช่วง 0.04-0.09 และดินล่างอยู่ในช่วง 0.06-1.09 นอกจากนี้อัตราการลดลงของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดจะพบได้ในอีก 3 สภาวะของดำรับการทดลองที่เหลือ คือ ปุ๋ยยูเรีย ปุ๋ยยูเรีย+ไนตราไพรีน และปุ๋ยยูเรีย+ไดไซยาโนไดอะไมด์ โดยในดำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียเพียงอย่างเดียววันนั้นเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนลดลงไปอยู่ในช่วง 0.84-0.96 ในดินบน และ 0.92-1.24 ในดินล่าง ในขณะที่ดำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตราไพรีนนั้น การลดลงของเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนไปอยู่ที่ระดับ 1.02-1.66 ในดินบน และ 1.64-1.73 ในดินล่าง ตามลำดับ นอกจากนี้การลดลงของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดก็ปรากฏในดำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไดไซยาโนไดอะไมด์อีกเช่นเดียวกัน โดยเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนลดลงไปอยู่ที่ระดับ 0.96-1.28 ในดินบน และ 1.12-1.67 ในดินล่าง

ผลการทดลองที่ได้สามารถชี้บ่งออกมาอย่างชัดเจนว่า การลดลงของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดนั้นล้วนแสดงความสัมพันธ์กับระยะเวลาที่ผ่านพ้นไป ตั้งแต่ 0-14 วัน เมื่อเวลาผ่านไปนานมากขึ้น (ที่ 21 วัน) รูปของไนโตรเจนทั้งหมดจะค่อยๆ เปลี่ยนแปลงไปอยู่ในรูปอื่นๆ นอกจากนี้บางส่วนของรูปไนโตรเจนจะถูกดึงดูดไปใช้ประโยชน์โดยต้นหญ้าและบางส่วนจะสูญหายออกไป

จากดินเนื่องมาจากอิทธิพลของขบวนการชะล้าง และส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินนั้นค่อนข้างลดลงตามลำดับ ปริมาณการลดลงของไนโตรเจนจะเกิดได้มากขึ้น ถ้ามีการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนเร็วเกินไป จึงส่งผลทำให้ไนโตรเจนสูญหายออกไปจากดินในรูปของไนเตรตได้มากขึ้น สภาพเช่นนี้จะเกิดขึ้นในตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียเพียงอย่างเดียวเท่านั้น

4) ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจน (NH_4^+-N ; ppm)

ตารางที่ 4.33 แสดงปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนของตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 21 วัน

ตำรับการทดลอง	ช่วงพิสัย (Range)		ค่าเฉลี่ย (Mean $\pm$ SD)	
	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)
Control	6.98-7.28	6.23-7.08	7.02 $\pm$ 0.43	6.84 $\pm$ 0.78
ปุ๋ยยูเรีย	2.06-4.32	3.63-4.28	3.84 $\pm$ 0.78	3.92 $\pm$ 0.46
ปุ๋ยยูเรีย + NP	17.02-21.67	19.62-28.62	16.23 $\pm$ 1.07	23.64 $\pm$ 4.45
ปุ๋ยยูเรีย + DCD	16.30-27.63	26.64-30.75	21.02 $\pm$ 4.65	27.96 $\pm$ 1.12

หมายเหตุ NP = Nitrification Inhibitors Nitrapyrin

DCD = Nitrification Inhibitors Dicyanodiamide

จากผลของตารางที่ 4.33 พบว่าโดยภาพรวมแล้วปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนในตัวอย่างดินมีค่าลดลงจากระยะเวลาดังเดิมที่ 0-14 วัน โดยปริมาณที่ลดลงนั้นจะมีค่ามากหรือน้อยแตกต่างกันไปตามแต่ละสภาวะของการทดลอง โดยในตำรับ Control ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนมีการลดลงค่อนข้างน้อย กล่าวคือ ในดินบนจะพบอยู่ในช่วง 6.98-7.28 ppm และดินล่างอยู่ในช่วง 6.23-7.08 ppm ในขณะที่ตำรับปุ๋ยยูเรียนั้นการลดระดับลงของแอมโมเนียมไนโตรเจนมีค่อนข้างมาก โดยมีค่าอยู่ในช่วง 2.06-4.32 ppm ในดินบน และ 3.63-4.28 ppm ในดินล่าง ส่วนในตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ทั้ง 2 ชนิดนั้น การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นพบว่า มีการลดระดับลงของแอมโมเนียมไนโตรเจนค่อนข้างน้อย โดยในตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตราไพรินนั้น ระดับของแอมโมเนียมไนโตรเจนลดลงไปอยู่ที่ 17.02-21.67 ppm ในดินบน และลดลงไปอยู่ที่ 19.62-28.62 ppm ในดินล่าง ส่วนตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไดไซยาโนไดอะไมด์นั้น ระดับของแอมโมเนียมไนโตรเจนลดลงไปอยู่ที่ระดับ 16.30-27.63 ppm ในดินบน และ 26.64-30.75 ppm ในดินล่าง ตามลำดับ

จากผลของการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนถึงลักษณะการลดปริมาณลงของแอมโมเนียมไนโตรเจน โดยจะพบว่าปริมาณของแอมโมเนียมไนโตรเจนที่ลดลงจะมีความสัมพันธ์กับระยะเวลา ตั้งแต่ 0-14 วัน และเมื่อระยะเวลาผ่านพ้นไปมากขึ้น (ตั้งแต่ 21 วัน) ลักษณะการเปลี่ยนรูปของแอมโมเนียมไนโตรเจนไปสู่ไนโตรเจนรูปอื่นจะเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้จากปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนที่ลดลงในทุกสภาวะของการทดลอง (เฉลี่ย 23.64 ppm ในดินล่าง) แต่อย่างไรก็ตามปริมาณการลดลงของแอมโมเนียมไนโตรเจนจะเกิดขึ้นมากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ ประกอบด้วย เช่น ในตำรับ Control การเปลี่ยนแปลงรูปของไนโตรเจนเป็นไปตามขบวนการของธรรมชาติ ไม่มีสิ่งใดมาเพิ่มเติมปริมาณไนโตรเจนที่อยู่ในดินนั้น ทำให้การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนเกิดขึ้นไม่มาก ในขณะที่อีก 3 ตำรับที่เหลือล้วนเป็นสภาวะที่มีการเติมไนโตรเจนให้แก่ดินในรูปของปุ๋ยยูเรีย ซึ่งพบว่าเมื่อมีปริมาณไนโตรเจนในดินเพิ่มมากขึ้น ลักษณะการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนย่อมเกิดขึ้นมากและรวดเร็วตามไปด้วย แต่ในขณะเดียวกันถ้ามีการเติมสารยับยั้งไนตริฟิเคชันบางตัวลงไป เพื่อขัดขวางไม่ให้เกิดขบวนการเปลี่ยนรูปไนโตรเจนขึ้นในดินหรือเกิดได้ช้าลง การลดระดับของไนโตรเจนก็จะเกิดขึ้นได้น้อยลงตามไปด้วย ทั้งนี้จะสามารถเปรียบเทียบได้จากตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียลงไปในดินเพียงอย่างเดียว กับตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ (Meisinger and Randall, 1980)

5) ปริมาณไนเตรตไนโตรเจน (NO₃⁻-N ; ppm)

ตารางที่ 4.34 ปริมาณไนเตรตไนโตรเจนของตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 21 วัน

ตำรับการทดลอง	ช่วงพิสัย (Range)		ค่าเฉลี่ย (Mean±SD)	
	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)
Control	4.22-5.64	4.92-6.24	4.96±0.86	5.64±0.89
ปุ๋ยยูเรีย	9.22-12.62	24.68-29.03	11.06±0.98	26.74±1.45
ปุ๋ยยูเรีย + NP	4.02-4.44	3.98-4.37	4.24±0.36	4.12±0.78
ปุ๋ยยูเรีย + DCD	3.09-3.46	4.56-4.64	3.26±0.28	4.60±0.18

หมายเหตุ NP = Nitrification Inhibitors Nitrapyrin

DCD = Nitrification Inhibitors Dicyanodiamide

จากตารางที่ 4.34 พบว่า ปริมาณไนเตรตไนโตรเจนในดินโดยทั่วไปมีค่าสูงขึ้น โดยเฉพาะในตำรับปุ๋ยยูเรียนั้นมีค่าสูงขึ้นจากการเก็บตัวอย่างในช่วงระยะเวลา 14 วันเป็นอย่างมาก กล่าวคือจะพบอยู่ในช่วง 9.22-12.62 ppm ในดินบน และ 24.68-29.03 ppm ในดินล่าง ตามลำดับ ในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขณะที่ตำรับ Control และตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์นั้นพบลักษณะของการเปลี่ยนแปลงไนเตรตไนโตรเจนที่เกิดขึ้นค่อนข้างน้อย นอกจากนี้ในตำรับ Control ปริมาณไนเตรตไนโตรเจนเปลี่ยนแปลงไปอยู่ที่ระดับ 4.22-5.64 ppm ในดินบน และ 4.92-6.24 ppm ในดินล่างตามลำดับ ส่วนตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตริไฟรินนั้น ปริมาณไนเตรตไนโตรเจนจะลดลงไปอยู่ที่ 4.02-4.44 ppm ในดินบน และ 3.98-4.37 ppm ในดินล่าง ในขณะที่ในตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไดไฮยาโนไดอาไมด์นั้น มีปริมาณไนเตรตไนโตรเจนในดินบนเป็น 3.09-3.46 ppm และดินล่างเพียง 4.56-4.64 ppm ตามลำดับ

การเปลี่ยนแปลงปริมาณของไนเตรตที่เกิดขึ้นเช่นนี้ ย่อมแสดงให้เห็นถึงปริมาณไนเตรตไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาผ่านไปนานตั้งแต่ระยะเวลา 0-21 วัน ทั้งนี้ไนเตรตไนโตรเจนที่เกิดขึ้นอาจได้รับอิทธิพลมาจากผลของการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนในรูปอื่น ($\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_2^-\text{-N}$) โดยจะพบได้อย่างชัดเจนจากผลของการทดลองในตารางที่ผ่านมาว่า ปริมาณไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมไนโตรเจนนั้นมีค่าลดลง ส่วนปริมาณไนเตรตไนโตรเจนจะเพิ่มมากขึ้นในตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียเพียงอย่างเดียว (เฉลี่ย 26.74 ppm ในดินล่าง) ทั้งนี้เพราะการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนจากปุ๋ยยูเรียนั้นเป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจากจุลินทรีย์ในดินที่ทำงานได้ตามปกติเมื่ออยู่ในสภาพที่เหมาะสม ในขณะที่ตำรับที่มีการใส่ไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ลงไปร่วมกับปุ๋ยยูเรียนั้น พบว่า บทบาทของไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์จะไปขัดขวางการทำงานของจุลินทรีย์ในดินและส่งผลทำให้การเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนโดยจุลินทรีย์ในดินถูกยับยั้งหรือเกิดได้น้อยลง เมื่อเป็นเช่นนี้แล้วปริมาณไนเตรตไนโตรเจนที่เกิดขึ้นย่อมลดน้อยลงตามไปด้วย (Hauck, 1980)

ตัวอย่างดิน

ระยะเวลาเก็บการตัวอย่าง 28 วัน

1) pH

ตารางที่ 4.35 ระดับ pH ของตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 28 วัน

ตำรับการทดลอง	ช่วงพิสัย (Range)		ค่าเฉลี่ย (Mean±SD)	
	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)
Control	5.02-5.32	5.46-5.82	5.19±0.56	5.67±0.36
ปุ๋ยยูเรีย	4.68-4.99	4.92-5.02	4.78±0.32	4.99±0.12
ปุ๋ยยูเรีย + NP	4.02-4.45	4.12-4.60	4.26±0.22	4.32±0.18
ปุ๋ยยูเรีย + DCD	4.02-4.92	4.86-5.09	4.61±0.28	4.91±0.33

หมายเหตุ NP = Nitrification Inhibitors Nitrapyrin

DCD = Nitrification Inhibitors Dicyanodiamide

จากตารางที่ 4.35 พบว่า ที่ช่วงระยะเวลาการเก็บตัวอย่างที่ระยะเวลา 28 วันนั้น โดยทั่วไปแล้วระดับ pH ยังมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากเท่าใด และมีค่าลดลงเล็กน้อยในทุกตำรับของการทดลอง นอกจากนี้ในตำรับการทดลองที่พบว่า มีระดับ pH ไม่เปลี่ยนแปลงแตกต่างออกไปจากในช่วง 0-21 วันที่ผ่านมา หรือจากระดับ pH เริ่มต้นของดินมากเท่าใดก็คือ ตำรับ Control โดยมีค่า pH ปรากฏอยู่ในช่วง 5.02-5.32 ในดินบน และ 5.46-5.82 ในดินล่าง ในตำรับปุ๋ยยูเรียค่า pH ลดลงไปอยู่ที่ระดับ 4.68-4.99 ในดินบน และ 4.92-5.02 ในดินล่าง ส่วนตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ ก็มีการลดระดับลงของ pH ในปริมาณที่ไม่มากอีกเช่นเดียวกัน กล่าวคือ ในตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตริไฟรินนั้น ระดับ pH ในดินบนจะอยู่ที่ 4.02-4.45 และในดินล่างอยู่ที่ 4.12-4.60 ในขณะที่ตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไดไซยาโนได-อาไมด์นั้น ระดับ pH ในดินบนและดินล่างอยู่ที่ 4.02-4.92 และ 4.86-5.09 ตามลำดับ

ผลการทดลองที่ได้ดังกล่าวระบุว่า ค่า pH ที่ลดลงนั้นมีแนวโน้มสัมพันธ์กับพารามิเตอร์หลักๆ หลายปัจจัย เช่น ระยะเวลา อิทธิพลจากขบวนการชะล้าง รวมถึงการใช้ปุ๋ยยูเรียและการใช้ในไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์เป็นประการสำคัญ โดยพบว่าเมื่อระยะเวลาผ่านไปนานมากขึ้น (ตั้งแต่ 28 วัน) ระดับ pH โดยทั่วไปของทุกตำรับการทดลองมีค่าลดลง (เฉลี่ยอยู่ในช่วง 4.32-5.67 ในดินล่าง) ทั้งนี้เนื่องจากอิทธิพลของการชะล้างที่เกิดขึ้นติดต่อกันเป็นระยะเวลานาน รวมถึงปัจจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสริมจากการใส่ปุ๋ยยูเรียและไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ นอกจากนี้ยังพบว่าที่ระยะเวลา 28 วันดังกล่าว ระดับ pH ที่ลดลงเกิดขึ้นไม่บ่อยรุนแรงและมีค่าไม่แตกต่างออกไปจากตัวอย่างดินที่ช่วงระยะเวลา 14 วันมากเท่าใด ทั้งนี้เพราะเมื่อใส่ปุ๋ยยูเรียหรือไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ลงไปในดินเมื่อระยะเวลาผ่านไปจะเกิดการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนไปเรื่อยๆ จนหมด (ในกรณีที่ไม่มีกรใส่ปุ๋ยยูเรียเพิ่มเติม) นั่นคือ ปัจจัยที่เกิดจากอิทธิพลของปุ๋ยยูเรียและไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ที่ส่งเสริมทำให้ระดับ pH ของดินลดลงต้องลดน้อยลงด้วย แต่สิ่งที่ยังคงมีอิทธิพลต่อระดับ pH อย่างต่อเนื่องในปัจจัยสำคัญต่อมาก็คือ ขบวนการชะล้างที่เกิดขึ้น (ทั้งนี้เพราะการรดน้ำต้นหญ้าต้องกระทำอย่างต่อเนื่องทุกวัน) แต่อย่างไรก็ตามอิทธิพลของขบวนการชะล้างดังกล่าวต่อระดับ pH มีไม่มาก เพราะฉะนั้นจึงพบว่าระดับ pH ไม่แตกต่างหรือลดลงไปจากตัวอย่างดินที่ถูกสุ่มเก็บขึ้นมาที่ระยะก่อนหน้านี้ (ประมาณ 14 วัน) มากเท่าใด

2) สภาพการนำไฟฟ้า (EC) ; dS/cm

ตารางที่ 4.36 สภาพการนำไฟฟ้าของตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 28 วัน

ดำรับการทดลอง	ช่วงพิสัย (Range)		ค่าเฉลี่ย (Mean±SD)	
	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (0-20 ซม.)	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (0-20 ซม.)
Control	0.98-1.09	0.45-1.84	1.01±0.10	1.16±0.23
ปุ๋ยยูเรีย	0.96-1.33	1.09-1.18	1.17±0.65	1.11±0.09
ปุ๋ยยูเรีย + NP	0.76-0.98	1.06-1.64	0.84±0.34	1.42±0.11
ปุ๋ยยูเรีย + DCD	0.84-1.64	0.84-1.07	1.33±0.72	0.89±0.21

หมายเหตุ NP = Nitrification Inhibitors Nitrapyrin

DCD = Nitrification Inhibitors Dicyanodiamide

จากตารางที่ 4.36 พบว่า ค่าการนำไฟฟ้าหรือสภาพการนำไฟฟ้าของตัวอย่างดินที่ถูกสุ่มเก็บตัวอย่างขึ้นมาที่ระยะเวลา 28 วันนั้น โดยทั่วไปแล้วมีค่าไม่แตกต่างออกไปจากตัวอย่างดินที่เก็บที่ระยะเวลา 21 วันมากเท่าใด โดยพบว่าในดำรับ Control ค่าการนำไฟฟ้าของตัวอย่างดินบนปรากฏอยู่ในช่วง 0.98-1.09 dS/cm ในขณะที่ดินล่างค่าการนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง 0.45-1.84 dS/cm ในดำรับปุ๋ยยูเรียมีสภาพการนำไฟฟ้าในดินบน 0.96-1.33 dS/cm และในดินล่างอยู่ในช่วง 1.09-1.18 dS/cm ในขณะเดียวกันดำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ทั้ง 2 ชนิดนั้นก็ให้ค่าการนำไฟฟ้าที่แตกต่างออกไปจากสภาพดั้งเดิมที่ระยะเวลา 0-21 วันอีกเช่นกัน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กล่าวคือ ในสภาวะปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนโตรไฟรินนั้น ค่าสภาพการนำไฟฟ้าในดินบนและดินล่างเป็น 0.76-0.98 dS/cm และ 1.06-1.64 dS/cm ส่วนในตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไดไซยาโนได-อาไมด์ จะมีสภาพการนำไฟฟ้าในดินบนและดินล่างอยู่ในช่วง 0.84-1.64 dS/cm และ 0.84-1.07 dS/cm ตามลำดับ

ผลการทดลองที่ได้สามารถระบุได้อย่างชัดเจนว่า ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสภาพการนำไฟฟ้าที่เกิดขึ้น (EC) นั้น จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการเปลี่ยนแปลงระดับ pH ของตัวอย่างดิน (จากตาราง 4:32) ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าจากสภาพการนำไฟฟ้าโดยทั่วไปมีค่าที่ไม่แตกต่างกันออกไปจากที่ระดับดั้งเดิม (ตั้งแต่ 0-21 วัน) มากเท่าใด การที่ระดับ pH ลดลงเช่นนี้ย่อมเป็นสาเหตุหนึ่งที่เป็นผลสืบเนื่องมาจากอิทธิพลของการชะล้าง และขบวนการชะล้างที่เกิดขึ้นดังกล่าวจะส่งผลทำให้สภาพการนำไฟฟ้าในตัวอย่างดินลดลง เนื่องจากมีธาตุอาหารประจุบวกสะสมอยู่ในดินลดน้อยลงด้วย

3) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (TN ; %)

ตารางที่ 4.37 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 28 วัน

ตำรับการทดลอง	ช่วงพิสัย (Range)		ค่าเฉลี่ย (Mean±SD)	
	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (0-20 ซม.)	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (0-20 ซม.)
Control	0.07-0.09	0.04-0.07	0.08±0.05	0.05±0.07
ปุ๋ยยูเรีย	0.56-0.63	0.82-0.96	0.59±0.09	0.88±0.09
ปุ๋ยยูเรีย + NP	0.84-0.99	1.02-1.12	0.91±0.11	1.08±0.10
ปุ๋ยยูเรีย + DCD	0.64-0.96	1.09-1.16	0.76±0.09	1.12±0.09

หมายเหตุ NP = Nitrification Inhibitors Nitrapyrin
DCD = Nitrification Inhibitors Dicyanodiamide

จากผลของตารางที่ 4.37 พบว่า ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินในทุกตำรับการทดลองนั้น มีแนวโน้มที่ลดลง แต่เมื่อเปรียบเทียบกับช่วงค่าเฉลี่ยของแต่ละสภาวะการทดลองแล้ว กลับพบว่าระดับของเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนที่ลดลงมีค่าไม่มาก โดยในตำรับ Control นั้นไม่มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น และกลับมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่เพิ่มขึ้นในดินบนเพียงเล็กน้อย กล่าวคือ มีเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน 0.07-0.09 ในขณะที่ดินล่างก็มีค่าลดลงเล็กน้อยอีกเช่นเดียวกัน กล่าวคือ มีเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน 0.04-0.07 ส่วนอีก 3 สภาวะของการทดลองที่เหลืออยู่พบว่าล้วนแต่มี

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่ลดน้อยลง โดยในตำรับปุ๋ยยูเรียมีเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนปรากฏอยู่ในช่วง 0.56-0.63 ในดินบน และ 0.82-0.96 ในดินล่าง ส่วนในตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนโตรราไฟรินมีเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนลดลงไปอยู่ที่ 0.84-0.99 ในดินบน และ 1.02-1.12 ในดินล่าง ส่วนตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไคไฮยาโนไดอาไมด์นั้น ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินบนและดินล่างเป็น 0.64-0.96 และ 1.09-1.16 เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน ตามลำดับ

จากผลการทดลองที่ได้ดังกล่าวสามารถบรรยายละเอียดออกมาอย่างชัดเจนได้ว่า ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดก็เป็นพารามิเตอร์อีกตัวหนึ่งที่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับระยะเวลาอีกเช่นกัน โดยเมื่อระยะเวลาผ่านพ้นไปมากขึ้น (ตั้งแต่ 28 วัน) ลักษณะการเปลี่ยนแปลงรูปของไนโตรเจนจะเกิดขึ้นและสูญหายออกไปจากดินได้มากขึ้น นอกจากนั้นอิทธิพลของขบวนการชะล้างที่เกิดขึ้นก็ย่อมส่งผลต่อปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่ลดลงอีกเช่นกัน โดยเมื่อขบวนการชะล้างเกิดขึ้นการสูญหายของไนโตรเจนไปจากดินก็จะเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ (Chang and Entz. 1996)

4) ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจน (NH₄⁺-N ; ppm)

ตารางที่ 4.38 ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนของตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 28 วัน

ตำรับการทดลอง	ช่วงพิสัย (Range)		ค่าเฉลี่ย (Mean±SD)	
	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (0-20 ซม.)	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (0-20 ซม.)
Control	5.28-6.09	5.64-6.02	5.56±0.62	5.78±0.72
ปุ๋ยยูเรีย	3.06-4.02	3.42-3.96	3.61±0.56	3.63±0.68
ปุ๋ยยูเรีย + NP	14.26-18.02	16.22-19.82	15.92±0.64	17.64±0.56
ปุ๋ยยูเรีย + DCD	12.32-16.74	20.44-22.66	14.22±1.12	21.34±0.48

หมายเหตุ NP = Nitrification Inhibitors Nitrapyrin

DCD = Nitrification Inhibitors Dicyanodiamide

จากตารางที่ 4.38 พบว่า โดยภาพรวมแล้วทุกตำรับการทดลองมีปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนที่ลดลงจากเดิม กล่าวคือ ระดับการลดลงจะมีค่ามากที่สุด ในตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียเพียงอย่างเดียว ซึ่งค่าลดลงมาอยู่ในช่วง 3.06-4.02 ppm ในดินบน และ 3.42-3.96 ppm ในดินล่าง ส่วนอีก 3 สภาวะที่เหลือ คือ ตำรับ Control และตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนโตรฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ทั้ง 2 ชนิดนั้น การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นมีไม่มาก โดยพบว่าในตำรับ Control ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนในดินบนเป็น 5.28-6.09 ppm และดินล่างเป็น 5.64-6.02 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในขณะที่ดำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนโตรไพรีนนั้น ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนลดลงมาอยู่ที่ 14.26-18.02 ppm ในดินบน และ 16.22-19.82 ppm ในดินล่าง ส่วนดำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไดไซยาโนไดอะไมด์นั้น ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนในดินบนและดินล่างเป็น 12.32-16.74 ppm และ 20.64-22.66 ppm ตามลำดับ

จากผลการทดลองที่ได้ครั้งนี้สามารถระบุได้อย่างชัดเจนว่า อิทธิพลของไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ที่มีต่อการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนในดินนั้นมีชัดเจนมากขึ้นเรื่อยๆ ทั้งนี้สามารถเปรียบเทียบได้โดยตรงกับดำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียเพียงอย่างเดียว กับสภาวะที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ ในดำรับของปุ๋ยยูเรีย การที่มีปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนที่ลดลงเป็นอย่างมากในช่วงระยะเวลาดังกล่าว (ตั้งแต่ 28 วัน) จะทำให้พืชไม่สามารถดึงดูดธาตุไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมไนโตรเจนไปใช้ประโยชน์ได้ทัน เนื่องจากไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมไนโตรเจนส่วนใหญ่ถูกเปลี่ยนแปลงไปอยู่ในรูปของไนโตรเจนรูปอื่นๆ แล้ว และเกิดการสูญเสียออกไปจากชั้นดินโดยติดไปกับน้ำที่ชะผ่านชั้นดินนั้น ในขณะที่เปรียบเทียบกับดำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์นั้น ปริมาณไนโตรเจนในดินยังคงถูกตรึงอยู่ในรูปของแอมโมเนียมไนโตรเจน ซึ่งเป็นรูปของอาหารที่มีประจุบวก จึงสามารถยึดติดกับชั้นดินได้ดีกว่า และยืดระยะเวลาให้พืชสามารถดึงดูดธาตุไนโตรเจนในรูปนี้ไปใช้ประโยชน์ได้ทัน ก่อนที่จะมีการเปลี่ยนรูปและสูญเสียออกไปจากชั้นดินโดยขบวนการชะล้างต่อไป (Laskowski, and Bidlack, 1977)

5) ปริมาณไนเตรตไนโตรเจน (NO₃⁻-N ; ppm)

ตารางที่ 4.39 ปริมาณไนเตรตไนโตรเจนของตัวอย่างดินที่เก็บตัวอย่างที่ระยะเวลา 28 วัน

ดำรับการทดลอง	ช่วงพิสัย (Range)		ค่าเฉลี่ย (Mean±SD)	
	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)
Control	5.03-5.78	5.12-6.18	5.41±0.36	5.74±0.73
ปุ๋ยยูเรีย	12.78-18.54	29.76-44.06	16.92±1.21	35.46±5.26
ปุ๋ยยูเรีย + NP	5.68-7.02	6.74-8.23	6.34±0.96	7.73±0.66
ปุ๋ยยูเรีย + DCD	4.22-5.02	5.02-5.33	4.73±0.33	5.21±0.07

หมายเหตุ NP = Nitrification Inhibitors Nitrapyrin

DCD = Nitrification Inhibitors Dicyanodiamide

จากผลของตารางที่ 4.39 นั้นระบุอย่างชัดเจนว่าการเก็บตัวอย่างที่ระยะเวลา 28 วันนี้ ปริมาณไนเตรตไนโตรเจนโดยทั่วไปมีค่าสูงขึ้น โดยในสภาวะที่มีค่าสูงขึ้นมาก คือ ดำรับของปุ๋ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรีย โดยพบว่ามีความเพิ่มขึ้นมาอยู่ในช่วง 12.78-18.54 ppm ในดินบน และ 29.76-44.06 ppm ในดินล่าง ส่วนตัวรับ Control นั้นปริมาณไนเตรตไนโตรเจนมีค่าเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างดินที่เก็บที่ระยะเวลา 21 วัน กล่าวคือ มีค่าอยู่ในช่วง 5.03-5.78 ppm ในดินบน และ 5.12-6.18 ppm ในดินล่าง ในขณะที่สภาวะที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ทั้ง 2 ตัวนั้น แนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงก็เป็นไปในลักษณะเช่นเดียวกัน แต่ระดับการเพิ่มขึ้นของไนเตรตไนโตรเจนนั้นมีมากกว่าในตัวรับ Control โดยพบว่าในตัวรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตราไพรีนนั้น ปริมาณไนเตรตไนโตรเจนเพิ่มขึ้นมาอยู่ที่ 5.68-7.02 ppm ในดินบน และ 6.74-8.23 ppm ในดินล่าง ส่วนตัวรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไดไฮยาโนไดอาไมด์นั้น ปริมาณไนเตรตไนโตรเจนในดินบนและดินล่างเป็น 4.22-5.02 ppm และ 5.02-5.33 ppm ตามลำดับ

ผลการทดลองที่ได้สามารถชี้บ่งได้อย่างชัดเจนว่า ปริมาณไนเตรตไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นในตัวรับของปุ๋ยยูเรียนั้นมีค่าสูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ (เฉลี่ย 35.46 ppm ในดินล่าง) ทั้งๆที่มีการใส่ปุ๋ยในปริมาณเริ่มต้นที่เท่ากัน เพราะฉะนั้นการที่มีระดับไนเตรตไนโตรเจนปรากฏอยู่สูงมากในสภาวะที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียเพียงอย่างเดียว นั้น จึงมีสาเหตุมาจากการที่ไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมไนโตรเจน เปลี่ยนแปลงมาอยู่ในรูปของไนเตรตไนโตรเจนได้อย่างรวดเร็ว ในขณะที่สภาวะที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์นั้น การเปลี่ยนรูปของแอมโมเนียมไนโตรเจนมาเป็นไนเตรตไนโตรเจนจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ และเนื่องจากอิทธิพลของไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์เป็นประการสำคัญ (Ambenger, 1981)

ตัวอย่างดิน

ระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง 42 วัน

1) pH

ตารางที่ 4.40 ระดับ pH ของตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 42 วัน

ดำรับการทดลอง	ช่วงพิสัย (Range)		ค่าเฉลี่ย (Mean±SD)	
	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (0-20 ซม.)	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (0-20 ซม.)
Control	4.86-5.19	5.02-5.62	5.00±0.36	5.32±0.22
ปุ๋ยยูเรีย	4.32-4.56	5.02-5.12	4.42±0.28	5.09±0.16
ปุ๋ยยูเรีย + NP	4.02-4.22	3.92-4.21	4.12±0.19	4.02±0.21
ปุ๋ยยูเรีย + DCD	3.62-4.44	3.96-4.32	4.00±0.84	4.12±0.22

หมายเหตุ NP = Nitrification Inhibitors Nitrapyrin

DCD = Nitrification Inhibitors Dicyanodiamide

จากผลของตารางที่ 4.40 พบว่า ระดับ pH ของตัวอย่างดินโดยทั่วไปมีค่าลดลงจากการเก็บตัวอย่างครั้งล่าสุด (เมื่อระยะเวลา 28 วัน) นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบระดับ pH ที่ระยะเวลา 42 วัน กับครั้งแรกที่สุ่มเก็บตัวอย่าง (ระยะเวลา 0 วัน) พบว่าค่า pH โดยทั่วไปลดลงจากระดับดั้งเดิมค่อนข้างมาก โดยเฉพาะดำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์นั้น ระดับ pH ลดลงถึงเกือบครึ่งหนึ่ง และยังพบเพิ่มเติมอีกว่าในสภาวะที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตรา-ไพรีนนั้น ระดับ pH ลดลงไปอยู่ที่ 4.02-4.22 ในดินบน และ 3.92-4.21 ในดินล่าง ส่วนดำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไดไซยาโนไดอะไมด์นั้น ระดับ pH ก็ลดลงไปจากตัวอย่างที่เก็บที่ระยะเวลาเริ่มต้นมากอีกเช่นกัน กล่าวคือ อยู่ในช่วง 3.62-4.44 ในดินบน และ 3.92-4.32 ในดินล่าง ส่วนในดำรับที่พบว่าการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด คือ สภาวะ Control ถึงจะมีระดับ pH ที่ลดลงบ้าง แต่ก็ไม่มากนักเมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะการทดลองอื่น โดยระดับ pH ในดินบนจะมีค่าอยู่ในช่วง 4.86-5.19 และในดินล่างมีค่าอยู่ในช่วง 5.02-5.62 ส่วนดำรับของปุ๋ยยูเรียนั้นระดับ pH ในดินบนและดินล่างจะลดลงมาอยู่ในช่วง 4.32-4.56 และ 5.02-5.12 ตามลำดับ

จากผลการทดลองที่ได้จะยืนยันภาพรวมให้เห็นอย่างชัดเจนว่า ตั้งแต่ช่วงระยะเวลาเริ่มต้นในการสุ่มเก็บตัวอย่างขึ้นมาเพื่อทำการทดลอง (0 วัน) จนถึงระยะเวลาดำเนินการทดลองที่ระยะเวลา 42 วันนั้น ระดับ pH ของตัวอย่างดินมีแนวโน้มที่ลดลงตามลำดับ (เฉลี่ย 4.02-5.32 ในดินล่าง) โดยพบว่าในดำรับ Control การเปลี่ยนแปลงของ pH จะเกิดขึ้นน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาวะการทดลองอื่น ทั้งนี้เพราะอิทธิพลหลักๆ ที่มีผลต่อการลดระดับ pH ในตำรับ Control ก็คือ ผลมาจากอิทธิพลของขบวนการชะล้าง ในขณะที่อีก 3 สภาวะที่เหลือยังมีปัจจัยอื่นๆ เสริมร่วมด้วย เช่น ในตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรีย ระดับ pH ก็ลดลงมาถึงอีกระดับหนึ่ง ทั้งนี้เพราะปุ๋ยยูเรียเป็นวัสดุที่ละลายน้ำได้ดีและก่อให้เกิดสภาพกรด (เนื่องจากการปลดปล่อย H⁺ ออกมา) (Jolley. and Pierre. 1977) และในส่วนของตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์นั้น นอกจากอิทธิพลของปุ๋ยยูเรียที่ใส่ลงไปให้โดยตรงแล้ว ตัวไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ที่ใส่ลงไปก็ส่งผลให้เกิดความเป็นกรดขึ้นมากับดินอีกด้วย (Goring. 1962b) นอกจากนี้ผลการทำงานของไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์นั้นจะต้องทำให้เกิดสภาพที่เป็นกรดขึ้นมากับจุลินทรีย์ในดิน เพื่อก่อให้เกิดสภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ ขบวนการไนตริฟิเคชันจึงเกิดได้ช้าลง สิ่งเหล่านี้ล้วนส่งผลทำให้สภาวะที่มีการใส่ไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ลงไปร่วมกับปุ๋ยมีระดับ pH ที่ลดลงมาก และเมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ทั้ง 2 ชนิดแล้ว พบว่าระดับการลดลงของ pH นั้นมีค่าไม่แตกต่างกันเท่าใด

2) สภาพการนำไฟฟ้า (EC : dS/cm)

ตารางที่ 4.41 สภาพการนำไฟฟ้าของตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 42 วัน

ตำรับการทดลอง	ช่วงพิสัย (Range)		ค่าเฉลี่ย (Mean±SD)	
	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)
Control	0.84-1.01	1.01-1.08	0.92±0.18	1.04±0.08
ปุ๋ยยูเรีย	0.64-1.02	0.73-1.06	0.91±0.21	0.93±0.13
ปุ๋ยยูเรีย + NP	0.12-0.46	0.83-1.34	0.26±0.11	1.01±0.11
ปุ๋ยยูเรีย + DCD	0.33-0.86	0.62-1.06	0.58±0.09	0.74±0.10

หมายเหตุ NP = Nitrification Inhibitors Nitrapyrin

DCD = Nitrification Inhibitors Dicyanodiamide

จากผลของตารางที่ 4.41 พบว่า โดยทั่วไปแล้วค่าการนำไฟฟ้าหรือสภาพการนำไฟฟ้านั้นมีค่าลดลง (เฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.74-1.04 dS/cm ในดินล่าง) โดยถ้าเปรียบเทียบค่าที่ลดลงกับตัวอย่างที่ถูกสุ่มเก็บขึ้นมาที่ระยะเวลา 21 วันแล้ว ความแตกต่างดังกล่าวจะยังไม่เห็นผลที่เด่นชัด แต่ถ้าเปรียบเทียบความแตกต่างกับตัวอย่างที่เก็บที่ระยะเวลาเริ่มต้น (0 วัน) จะพบว่ามีความที่ลดลงเป็นอย่างมากโดยมากกว่าครึ่งหนึ่งของค่าสภาพการนำไฟฟ้าที่วัดได้ในระยะเวลาดอนแรก นอกจากนี้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั้นในตำรับ Control สภาพการนำไฟฟ้าที่ตรวจวัดได้ในดินบนจะมีค่าอยู่ในช่วง 0.84-1.01 dS/cm ในขณะที่ดินล่างของค่าการนำไฟฟ้าจะพบอยู่ในช่วง 1.01-1.08 dS/cm ในตำรับของปุ๋ยยูเรีย การลดลงของสภาพการนำไฟฟ้าจะไปอยู่ที่ระดับ 0.64-1.02 dS/cm ในดินบน และ 0.73-1.06 dS/cm ในดินล่าง และที่น่าสังเกตเป็นอย่างมากก็คือ ในดินบนของตำรับการทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ทั้ง 2 ชนิดนั้น การลดลงของสภาพการนำไฟฟ้าเมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลาเริ่มต้น (0 วัน) มีค่าลดลงเป็นอย่างมาก รวมถึงเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับการทดลองอื่นๆ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะในดินบนนั้นมีคุณสมบัติเป็นดินทราย การสะสมตัวของธาตุอาหารประจุบวกย่อมเกิดขึ้นน้อยกว่าดินชั้นล่างซึ่งเป็นดินเหนียวอยู่แล้ว ประกอบกับระดับ pH ของตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ทั้ง 2 ชนิดจะมีค่าลดลง (แสดงถึงระดับความเป็นกรดมาก) เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะอื่นๆ จึงส่งผลทำให้สภาพการนำไฟฟ้าของดินบนทั้ง 2 ตำรับ มีค่าลดลงมากด้วย กล่าวคือ ในตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตริไฟรินนั้น ในดินบนค่าการนำไฟฟ้าหรือสภาพการนำไฟฟ้าจะอยู่ที่ 0.12-0.46 dS/cm ในขณะที่ดินล่างค่าการนำไฟฟ้าอยู่ที่ 0.83-1.34 dS/cm ส่วนในตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไดไฮยาโนไดอาไมด์นั้นก็เช่นเดียวกัน โดยค่าสภาพการนำไฟฟ้าในดินบนและดินล่างจะพบอยู่ที่ 0.33-0.86 dS/cm และ 0.62-1.06 dS/cm ตามลำดับ

จากผลการทดลองที่ได้สามารถชี้บ่งออกมาอย่างชัดเจนว่า ค่าสภาพการนำไฟฟ้าที่ได้ของตำรับการทดลองต่างๆ นั้น มีความสัมพันธ์กับระดับ pH ที่ลดลง กล่าวคือ เมื่อดินมีระดับเป็นกรดมากขึ้น ก็หมายถึงการที่ไฮโดรเจนไอออนในดินก็เพิ่มมากขึ้นด้วย ตัวไฮโดรเจนไอออนนี้จะไปแทนที่ธาตุอาหารประจุบวกที่สะสมตัวอยู่ในดิน ซึ่งเป็นตัวบ่งบอกถึงสภาพการนำไฟฟ้าในดิน เมื่อธาตุประจุบวกเหล่านี้ถูกแทนที่ด้วยไฮโดรเจนไอออน ก็ย่อมสูญเสียออกไปจากดินโดยขบวนการชะล้างต่อมา และถ้ายิ่งในกรณีที่ขบวนการชะล้างเกิดมากขึ้นเท่าใด การสูญเสียออกไปจากดินของธาตุอาหารประจุบวกก็จะยิ่งเพิ่มมากขึ้นอีกด้วยเช่นกัน

3) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (TN ; %)

ตารางที่ 4.42 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 42 วัน

ดำรับการทดลอง	ช่วงพิสัย (Range)		ค่าเฉลี่ย (Mean±SD)	
	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)
Control	0.02-0.07	0.03-0.07	0.04±0.04	0.05±0.03
ปุ๋ยยูเรีย	0.21-0.32	0.32-0.46	0.27±0.06	0.39±0.07
ปุ๋ยยูเรีย + NP	0.44-0.62	0.66-0.84	0.53±0.07	0.72±0.06
ปุ๋ยยูเรีย + DCD	0.32-0.56	0.42-0.72	0.43±0.05	0.61±0.05

หมายเหตุ NP = Nitrification Inhibitors Nitrapyrin
DCD = Nitrification Inhibitors Dicyanodiamide

จากผลของตารางที่ 4.42 พบว่า ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดโดยทั่วไปมีค่าลดลง โดยเฉพาะเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างดินที่เก็บที่ระยะเวลา 28 วัน แต่ปริมาณที่ลดลงมีไม่มากนัก นอกจากนี้ถ้าเปรียบเทียบกับตัวอย่างดินที่เก็บที่ระยะเวลาเริ่มต้น (0 วัน) แล้ว พบว่า ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดลดลงไปจากปริมาณดั้งเดิมเป็นจำนวนมากเกินครึ่งหนึ่งของปริมาณทั้งหมด โดยดำรับที่มีการลดลงของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมากที่สุด คือ ดำรับปุ๋ยยูเรีย ซึ่งมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินบนคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ประมาณ 0.21-0.32 และในดินล่างประมาณ 0.32-0.46 ส่วนดำรับที่มีการลดระดับลงของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเรียงในอันดับรองลงมาก็คือ ดำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ โดยพบว่า ดำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตราไพรีนนั้นจะมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 0.44-0.62 เปอร์เซ็นต์ ในดินบน และ 0.66-0.84 เปอร์เซ็นต์ ในดินล่าง ส่วนการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไดไฮยาโนไดมาไมด์ มีเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในดินบนและดินล่างเป็น 0.32-0.56 และ 0.42-0.72 ตามลำดับ

ผลการทดลองที่ได้สามารถระบุออกมาได้อย่างชัดเจนว่า ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่ลดลงนั้นล้วนแสดงความสัมพันธ์กับช่วงระยะเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป นั่นคือ เมื่อระยะเวลามากขึ้น (ตั้งแต่ 42 วัน) การเปลี่ยนรูปและการสูญเสียไนโตรเจนออกไปจากดินจะเป็นไปในปริมาณที่มากขึ้น ทั้งนี้จะเห็นผลได้อย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในช่วงระยะเวลาเริ่มต้น (0 วัน) และที่ระยะเวลาสุดท้าย (42 วัน) จึงพบว่าในดำรับของปุ๋ยยูเรียจะมีการลดระดับลงของไนโตรเจนทั้งหมดมากกว่าดำรับของการทดลองอื่นๆ (เฉลี่ยในระยะเริ่มต้น 1.37 เปอร์เซ็นต์ และในระยะสุดท้าย 0.39 เปอร์เซ็นต์) ส่วนสาเหตุก็คงสืบเนื่องมาจากการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนใน

สภาวะดังกล่าวเกิดขึ้นได้รวดเร็วหรืออาจสูญเสี้ออกไปจากดินได้เร็วกว่าในตำรับ Control และ สภาวะที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนและไนเตรตไนโตร- เจน (โดยจะนำเสนอ ผลของการทดลองในหัวข้อต่อไป)

4) ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจน ($\text{NH}_4^+ \text{-N}$; ppm)

ตารางที่ 4.43 ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนของตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 42 วัน

ตำรับการทดลอง	ช่วงพิสัย (Range)		ค่าเฉลี่ย (Mean±SD)	
	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)
Control	4.22-5.18	4.36-5.09	4.76±0.65	4.86±0.58
ปุ๋ยยูเรีย	2.98-4.03	2.64-3.06	3.44±0.72	2.78±0.38
ปุ๋ยยูเรีย + NP	12.23-14.06	13.23-16.52	13.61±0.84	15.02±1.05
ปุ๋ยยูเรีย + DCD	11.31-17.62	14.34-18.54	14.28±1.14	15.68±1.12

หมายเหตุ NP = Nitrification Inhibitors Nitrapyrin

DCD = Nitrification Inhibitors Dicyanodiamide

จากผลของตารางที่ 4.43 พบว่า ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนโดยทั่วไปมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างดินที่เก็บที่ระยะเวลา 28 วัน แต่ถ้าเปรียบเทียบกับสภาวะของดินเริ่มต้น (0 วัน) แล้วพบว่า ในตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์นั้น ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนที่วัดได้มีปริมาณที่เพิ่มขึ้น โดยในตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตรา-ไพริน จะให้ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนในดินบนอยู่สูงถึง 12.23-14.06 ppm ในขณะที่ดินล่างจะมีปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนที่ 13.23-16.52 ppm ส่วนตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับ ไโดไซยาโนไดอามีด์ ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนในดินบนและดินล่างจะพบอยู่ในช่วง 11.31-17.62 และ 14.34-18.54 ppm ตามลำดับ ในทางตรงกันข้ามถ้าเปรียบเทียบกับระยะเวลาเมื่อเริ่มต้น (0 วัน) แล้วพบว่า ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนในตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียเพียงอย่างเดียวมีค่าลดลง กล่าวคือ ลดลงมาอยู่ในช่วง 2.98-4.03 ppm ในดินบน และ 2.64-3.06 ppm ในดินล่าง ส่วนตำรับ Control ผลของการเปลี่ยนแปลงแอมโมเนียมไนโตรเจนที่เกิดขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างทั้งที่เก็บที่ระยะเริ่มต้น (0 วัน) และระยะเวลา 28 วัน พบว่ามีค่าเปลี่ยนแปลงไม่มาก โดยปรากฏอยู่ในช่วง 4.22-5.18 ppm ในดินบน และ 4.36-5.09 ppm ในดินล่างตามลำดับ

ผลการทดลองที่ได้ดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงลักษณะการเปลี่ยนแปลงรูปของไนโตรเจนที่เป็นไปตามระยะเวลา (ตั้งแต่ 0-42 วัน) ซึ่งพบว่าในตำรับ Control ที่ถือว่าเป็นสภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ทั้งนี้เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของแอมโมเนียมไนโตรเจนที่เกิดขึ้นเป็นไปตามสภาพธรรมชาติไม่มีธาตุอาหารชนิดใดที่เพิ่มเติมลงไปในดินที่จะช่วยให้การเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนเกิดได้เร็วขึ้นหรือช้าลง ในส่วนของตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์นั้น พบว่าปริมาณของไนโตรเจนที่เติมลงไปในรูปแบบปุ๋ยยูเรียตอนแรก จะช่วยเพิ่มปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนจากระดับดั้งเดิมให้สูงขึ้น ปริมาณแอมโมเนียมที่เกิดขึ้นนี้จะเกิดการเปลี่ยนรูปต่อไปเรื่อยๆ เพื่อเป็นไนเตรตไนโตรเจน และไนเตรตไนโตรเจนในที่สุด ลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจะเกิดในช่วงระยะเวลานั้นๆ เท่านั้น และถ้าไม่มีการเพิ่มเติมสารชนิดใดๆลงไปเพื่อยับยั้งให้ปฏิกิริยาได้ช้าลง รูปแอมโมเนียมไนโตรเจนที่อยู่ในดินก็จะลดลงไปจากเดิมได้อย่างรวดเร็ว (Meisinger and Randall, 1980) ในขณะเดียวกันถ้ามีการใช้สารยับยั้งขบวนการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนในดิน (ขบวนการไนตริฟิเคชัน) ลงไปร่วมกับปุ๋ยเคมีที่ใช้ประโยชน์แล้ว รูปแอมโมเนียมไนโตรเจนก็จะอยู่ในดินได้เป็นระยะเวลาที่นานขึ้น ดังจะเห็นผลได้จากในตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียเพียงอย่างเดียว และสภาวะที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์เป็นสำคัญ

5) ปริมาณไนเตรตไนโตรเจน ($\text{NO}_3^- \text{-N}$; ppm)

ตารางที่ 4.44 ปริมาณไนเตรตไนโตรเจนของตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 42 วัน

ตำรับการทดลอง	ช่วงพิสัย (Range)		ค่าเฉลี่ย (Mean $\pm$ SD)	
	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (0-20 ซม.)	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (0-20 ซม.)
Control	6.26-6.33	5.27-6.06	6.30 $\pm$ 0.22	5.72 $\pm$ 0.47
ปุ๋ยยูเรีย	27.64-30.34	35.66-43.26	28.34 $\pm$ 1.08	39.23 $\pm$ 3.83
ปุ๋ยยูเรีย + NP	5.09-7.12	7.66-8.34	6.74 $\pm$ 0.76	8.021 $\pm$ 0.44
ปุ๋ยยูเรีย + DCD	6.22-6.55	6.59-8.64	6.33 $\pm$ 0.11	7.29 $\pm$ 0.58

หมายเหตุ NP = Nitrification Inhibitors Nitrapyrin

DCD = Nitrification Inhibitors Dicyanodiamide

จากผลของตารางที่ 4.44 พบว่า สภาพโดยทั่วไปนั้น ปริมาณไนเตรตไนโตรเจนมีค่าเพิ่มขึ้น และพบว่ามีอัตราสูงขึ้นมากในตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียเพียงอย่างเดียว กล่าวคือ เพิ่มขึ้นมาอยู่ในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วง 27.64-30.34 ppm ในดินบน และ 35.66-43.26 ppm ในขณะที่อีก 3 ดำรับการทดลองที่เหลือนั้นลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นมีค่าไม่แตกต่าง กล่าวคือ ในดำรับ Control ระดับไนเตรตไนโตรเจนเปลี่ยนแปลงมาอยู่ที่ 6.26-6.33 ppm ในดินบน และ 5.27-6.06 ppm ในดินล่าง ในดำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์นั้น ปริมาณไนเตรตที่เพิ่มขึ้นก็ไม่เปลี่ยนแปลงมากอีกเช่นกัน โดยในดำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตราไพรีน ปริมาณไนเตรตไนโตรเจนลดลงมาอยู่ที่ระดับ 5.09-7.12 ppm ในดินบน และ 7.66-8.34 ppm ในดินล่าง ส่วนดำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไดไฮยาโนไดอามีดนั้นระดับไนเตรตไนโตรเจนทั้งในดินบนและดินล่างเป็น 6.22-6.55 ppm และ 6.59-8.64 ppm ตามลำดับ

ผลการทดลองที่ได้ระบุออกมาอย่างชัดเจนว่า ปริมาณไนเตรตไนโตรเจนมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาของการทดลองผ่านไปนานขึ้น (ตั้งแต่ 42 วัน) ลักษณะการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะเห็นได้ชัดในสภาวะที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียลงไปดินเพียงอย่างเดียว ทั้งนี้เพราะปริมาณไนเตรตไนโตรเจนที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนมีค่าที่สูง (เฉลี่ย 39.23 ppm ในดินล่าง) และปริมาณที่สูงมากเช่นนี้อาจสูญเสียออกไปจากชั้นดิน เนื่องจากอิทธิพลของขบวนการชะล้างลงไปยังชั้นน้ำใต้ดิน และมีโอกาสแพร่กระจายตัวไปถึงแหล่งน้ำผิวดินที่อยู่ในพื้นที่บริเวณใกล้เคียงกันได้อีกด้วย ถ้าพบว่าในแหล่งน้ำนั้นมีปริมาณไนเตรตไนโตรเจนที่มากเกินไป ก็อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้นำน้ำไปใช้ประโยชน์เพื่อการบริโภคหรืออุปโภค ในขณะที่ในดำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์นั้น ปริมาณไนเตรตไนโตรเจนที่เกิดขึ้นจากขบวนการเปลี่ยนรูปไนโตรเจนมีไม่มากนัก เนื่องจากไนโตรเจนส่วนใหญ่ยังคงอยู่ในรูปของแอมโมเนียมไนโตรเจน และรูปแอมโมเนียมไนโตรเจนก็จัดเป็นรูปหนึ่งที่ดินสามารถดูดยึดได้ดี รวมถึงหญ้าสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทันทีเมื่อหญ้าใช้ไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมไนโตรเจนมากขึ้น ปริมาณที่จะเหลือมาเปลี่ยนให้อยู่ในรูปไนเตรตไนโตรเจนจึงน้อยลง ทำให้ไนเตรตไนโตรเจนที่เกิดขึ้นในสภาวะเช่นนี้มีค่าน้อยลงตามไปด้วย การที่ไนเตรตมีปริมาณน้อยๆ ดังกล่าว โอกาสที่จะเกิดการแพร่กระจายลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินย่อมน้อยลง และปริมาณไนเตรตที่มีในน้ำก็ย่อมน้อยลงอีกด้วยเช่นกัน ---นอกจากนี้ที่ระดับ ความเข้มข้นที่ต่ำเช่นนี้ ไนเตรตไนโตรเจนย่อมไม่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์และสัตว์ที่ ใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำนั้นโดยตรง (Bauder. et.al. 1993)

4.6 ลักษณะและผลการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ต่างๆ สำหรับตัวอย่างน้ำที่ถูกชะผ่านชั้นดินจากสนามกอล์ฟที่จำลองขึ้นมาภายหลังการใช้สารไนตริฟิเคชันอินสิปีเตอร์ที่ระยะเวลาต่างๆกัน

ตัวอย่างน้ำ แสดงผลการวิเคราะห์น้ำที่ชะผ่านชั้นดินจากสนามกอล์ฟจำลอง

1. ดำรับ Control

ตารางที่ 4.45 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำที่ระยะเวลา 0 วัน

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	ช่วงพิสัย (Range)	ค่าเฉลี่ย (Mean ±SD)
pH	6.02-6.92	6.05 ± 0.41
สภาพการนำไฟฟ้า (dS/cm)	2.67-5.96	4.89 ± 1.16
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (ppm)	2.67-2.92	2.86 ± 0.02
แอมโมเนียมไนโตรเจน (ppm)	0.09-0.36	0.21 ± 0.04
ไนเตรตไนโตรเจน (ppm)	0.16-0.38	0.27 ± 0.02

ตารางที่ 4.46 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 0 วัน

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	ช่วงพิสัย (Range)		ค่าเฉลี่ย (Mean±SD)	
	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)
pH	5.92-6.12	6.07-6.32	6.02±0.26	6.17±0.34
สภาพการนำไฟฟ้า (dS/cm)	0.62-1.74	1.62-2.98	1.26±0.72	2.36±0.84
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด(%)	0.04-0.07	0.06-0.09	0.054±0.18	0.07±0.16
แอมโมเนียมไนโตรเจน (ppm)	6.16-6.32	6.30-6.56	6.24±0.34	6.06±0.32
ไนเตรตไนโตรเจน (ppm)	1.02-1.20	3.26-3.56	1.14±0.36	3.37±0.27

จากตารางที่ 4.45 แสดงผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำที่ชะผ่านชั้นดินในดำรับ Control ที่ระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง 0 วัน พบว่าระดับ pH มีค่าอยู่ในช่วง 6.02-6.92 ซึ่งค่า pH เช่นนี้จัดเป็นระดับ pH ที่ใกล้เคียงกับน้ำประปาที่นำมารดต้นหญ้า (ระดับ pH ในน้ำประปามีค่าประมาณ 6.42-7.02) และสาเหตุของการที่ระดับ pH มีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกันนั้น ก็สืบเนื่องมาจากที่ระยะเวลาการเก็บตัวอย่างน้ำเป็นเอกสารที่ส่งวันไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0 วัน เป็นการเก็บตัวอย่างน้ำทันที น้ำที่ชะผ่านชั้นดินจึงมีสภาพเป็นน้ำที่สะสมอยู่ก่อนที่จะใส่ปุ๋ยยูเรียหรือไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ลงไป นอกจากนี้จะพบได้เพิ่มเติมว่า พารามิเตอร์ตัวอื่นๆก็จะมีค่าใกล้เคียงกับน้ำประปา และแหล่งน้ำตามธรรมชาติอีกเช่นเดียวกัน เช่น ค่าการนำไฟฟ้าหรือสภาพการนำไฟฟ้าในตัวอย่างน้ำมีค่าอยู่ในช่วง 2.67-5.96 dS/cm ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมีค่าอยู่ในช่วง 2.67-2.92 ppm ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนมีค่าอยู่ในช่วง 0.09-0.36 ppm และปริมาณไนเตรตไนโตรเจนก็มีค่าอยู่ในช่วง 0.16-0.38 ppm

ถ้าเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่างๆ ของตัวอย่างน้ำ ที่สุ่มเก็บที่ระยะเวลา 0 วัน ในสภาพของตำรับ Control กับตัวอย่างดินที่เก็บที่ระยะเวลาเดียวกันแล้ว ปรากฏว่าระดับ pH มีค่าที่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย โดยในดินมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 6.02-6.17 ในขณะที่ระดับ pH ในน้ำมีค่ามากกว่า ทั้งนี้เพราะในน้ำนั้นมี OH⁻ ปรากฏอยู่เป็นปริมาณที่มาก สาเหตุการที่ในน้ำมี OH⁻ อยู่มากเช่นนี้ ย่อมส่งเสริมทำให้ระดับ pH มีค่าค่อนข้างไปทางเป็นเบสมากขึ้น ในส่วนของการเปรียบเทียบกับสภาพการนำไฟฟ้าก็พบว่า ค่าการนำไฟฟ้าในดินมีค่าต่ำกว่าในน้ำ ทั้งนี้เพราะในน้ำนั้นการแตกตัวเป็นไอออนของธาตุต่างๆ มีอยู่มากกว่า สภาพการนำไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจึงดีกว่าด้วย แต่เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจน และปริมาณไนเตรตไนโตรเจน กลับพบว่าในดินมีค่าสูงมากกว่าในน้ำ สาเหตุก็เนื่องจากโดยปกติแล้วรูปต่างๆ ของไนโตรเจนที่เกิดขึ้นในน้ำนั้น ส่วนมากจะได้รับอิทธิพลมาจากกระบวนการชะล้างที่แทรกซึมผ่านออกมาจากดิน แต่อย่างไรก็ตามไนโตรเจนบางส่วนยังคงถูกดูดซับอยู่ในอนุภาคดิน ในขณะที่บางส่วนอาจถูกชะล้างติดมากับน้ำที่ชะผ่านดิน และส่งผลทำให้ปริมาณไนโตรเจนในน้ำมีค่าต่ำกว่าในดิน

ตารางที่ 4.47 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำที่ระยะเวลา 7 วัน

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	ช่วงพิสัย (Range)	ค่าเฉลี่ย (Mean ±SD)
pH	5.92-6.23	6.06 ± 0.04
สภาพการนำไฟฟ้า (dS/cm)	2.96-6.27	4.70 ± 1.46
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (ppm)	2.28-3.06	2.67 ± 0.07
แอมโมเนียมไนโตรเจน (ppm)	0.08-0.41	0.26 ± 2.23
ไนเตรตไนโตรเจน (ppm)	0.09-0.29	0.36 ± 1.17

ตารางที่ 4.48 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 7 วัน

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	ช่วงพิสัย (Range)		ค่าเฉลี่ย (Mean±SD)	
	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)
pH	5.92-6.07	5.82-6.02	5.99±0.27	6.20±0.23
สภาพการนำไฟฟ้า (dS/cm)	0.36-1.68	1.43-3.02	1.02±0.72	2.41±1.02
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด(%)	0.02-0.09	0.07-0.09	0.03±0.56	0.08±0.24
แอมโมเนียมไนโตรเจน (ppm)	7.14-7.30	6.28-7.39	7.28±0.18	6.83±0.73
ไนเตรตไนโตรเจน (ppm)	1.26-2.28	3.32-4.36	1.73±0.65	3.81±0.66

จากตารางที่ 4.47 แสดงถึงลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับพารามิเตอร์ต่างๆ ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกับระยะเวลา 0 วัน โดยเฉพาะผลของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นและเห็นได้อย่างชัดเจนมากที่สุดคือ ระดับ pH โดยพบว่าลดลงจากระดับ 0 วัน และมาอยู่ที่ pH 5.92-6.23 ในขณะที่พารามิเตอร์อื่นๆ มีการเปลี่ยนแปลงที่น้อยมาก เช่น ค่าการนำไฟฟ้าหรือสภาพการนำไฟฟ้ามีช่วงพิสัยที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อย คือ 2.96-6.27 dS/cm ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 2.28-3.06 ppm ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจน 0.08-0.41 ppm และปริมาณไนเตรตไนโตรเจน 0.09-0.29 ppm ตามลำดับ

จากผลการทดลองที่ได้สามารถชี้บ่งได้ว่าที่ระยะเวลา 7 วันดังกล่าว ผลการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับน้ำที่ชะผ่านตัวอย่างดินมีค่าไม่มาก และเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างดินที่สุ่มเก็บที่ระยะเวลาเดียวกัน พบว่านอกเหนือจากระดับ pH และสภาพการนำไฟฟ้าแล้ว พารามิเตอร์อื่นๆ ที่อยู่ในรูปไนโตรเจนล้วนแต่มีค่าต่ำกว่าดินอย่างเห็นได้ชัดเจน เหตุผลเป็นเพราะในตำรับ Control นั้นไม่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียหรือเพิ่มเติมสารใดๆ ลงไปในดิน ปริมาณไนโตรเจนที่เกิดขึ้นในดินจึงย่อมมีน้อย และรูปไนโตรเจนที่ปรากฏอยู่ในดินนั้นยังไม่ถูกน้ำชะลงมายังภาชนะที่รองรับอยู่ จึงส่งผลทำให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจน และปริมาณไนเตรตไนโตรเจนมีค่าค่อนข้างน้อยที่ระยะเวลาดังกล่าว

ตารางที่ 4.49 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำที่ระยะเวลา 14 วัน

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	ช่วงพิสัย (Range)	ค่าเฉลี่ย (Mean $\pm$ SD)
pH	5.84-6.55	6.09 $\pm$ 0.10
สภาพการนำไฟฟ้า (dS/cm)	3.48-5.62	4.67 $\pm$ 0.78
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (ppm)	2.89-3.86	3.41 $\pm$ 0.09
แอมโมเนียมไนโตรเจน (ppm)	0.06-0.32	0.20 $\pm$ 1.92
ไนเตรตไนโตรเจน (ppm)	0.11-0.38	0.26 $\pm$ 0.02

ตารางที่ 4.50 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 14 วัน

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	ช่วงพิสัย (Range)		ค่าเฉลี่ย (Mean $\pm$ SD)	
	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)
pH	5.92-6.03	6.00-6.10	5.89 $\pm$ 0.17	6.05 $\pm$ 0.12
สภาพการนำไฟฟ้า (dS/cm)	0.21-1.28	1.62-3.92	0.74 $\pm$ 0.78	2.78 $\pm$ 0.76
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด(%)	0.02-0.07	0.05-0.07	0.04 $\pm$ 0.17	0.06 $\pm$ 0.09
แอมโมเนียมไนโตรเจน (ppm)	7.02-7.32	6.06-7.27	7.20 $\pm$ 0.21	6.82 $\pm$ 0.74
ไนเตรตไนโตรเจน (ppm)	2.02-3.06	3.16-4.42	3.62 $\pm$ 0.56	3.86 $\pm$ 0.65

จากตารางที่ 4.49 พบว่าพารามิเตอร์ต่างๆ มีการเปลี่ยนแปลงไปจากตัวอย่างน้ำที่สุ่มเก็บขึ้นมาที่ระยะเวลา 14 วัน แต่ให้ค่าที่ไม่แตกต่างกันเท่าใด เช่น ระดับ pH มีค่าลดลงเล็กน้อย โดยลดระดับลงมาอยู่ในช่วง pH 5.84-6.55 สภาพการนำไฟฟ้าพบอยู่ที่ระดับ 3.48-5.02 dS/cm ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสะสมอยู่ในช่วง 2.89-3.86 ppm ในขณะที่ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจน และปริมาณไนเตรตไนโตรเจนจะพบอยู่ที่ 0.06-0.32 ppm และ 0.11-0.38 ppm ตามลำดับ

จากผลการทดลองสามารถระบุได้ว่า ผลการเปลี่ยนแปลงของตัวอย่างน้ำในตำรับ Control มีค่าน้อยมาก ไม่ว่าจะเก็บตัวอย่างที่ระยะเวลาเท่าใด (ตั้งแต่ 0-14 วัน) และผลของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นน้อยๆ เช่นนี้คงมาจากสาเหตุที่ไม่มีการเพิ่มเติมสารชนิดใดๆ ลงไปในดิน ปริมาณธาตุต่างๆ จึงปรากฏอยู่น้อยในระดับเช่นเดียวกับสภาพดินตามธรรมชาติโดยทั่วไป นอกจากนี้ การที่ดินมีธาตุต่างๆ ปรากฏอยู่น้อย กิจกรรมของการเปลี่ยนแปลงโดยอาศัยจุลินทรีย์และสิ่งมีชีวิต

ในดินก็ย่อมน้อยลงด้วย ดังนั้นน้ำที่ชะผ่านชั้นดินจึงไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลงใดๆเกิดขึ้น หรือเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อย

ตารางที่ 4.51 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำที่ระยะเวลา 21 วัน

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	ช่วงพิสัย (Range)	ค่าเฉลี่ย (Mean $\pm$ SD)
pH	6.02-6.32	6.19 $\pm$ 0.04
สภาพการนำไฟฟ้า (dS/cm)	3.26-4.98	4.19 $\pm$ 0.82
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (ppm)	1.92-2.96	2.52 $\pm$ 0.10
แอมโมเนียมไนโตรเจน (ppm)	0.03-0.28	0.17 $\pm$ 1.84
ไนเตรตไนโตรเจน (ppm)	0.26-0.58	0.44 $\pm$ 0.04

ตารางที่ 4.52 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 21 วัน

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	ช่วงพิสัย (Range)		ค่าเฉลี่ย (Mean $\pm$ SD)	
	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)
pH	5.42-5.62	5.88-5.90	5.89 $\pm$ 0.19	5.89 $\pm$ 0.08
สภาพการนำไฟฟ้า (dS/cm)	0.09-1.18	0.38-1.92	0.72 $\pm$ 0.55	1.27 $\pm$ 0.64
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด(%)	0.04-0.09	0.06-1.09	0.06 $\pm$ 0.08	0.61 $\pm$ 0.48
แอมโมเนียมไนโตรเจน (ppm)	6.98-7.28	6.23-7.08	7.02 $\pm$ 0.43	6.84 $\pm$ 0.78
ไนเตรตไนโตรเจน (ppm)	4.22-5.64	4.92-6.24	4.96 $\pm$ 0.86	5.64 $\pm$ 0.89

จากตารางที่ 4.51 พบว่าค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของตัวอย่างน้ำที่สุ่มเก็บที่ระยะเวลา 21 วันของตำรับ Control นั้น ยังคงไม่เปลี่ยนแปลงไปหรือแตกต่างออกไปจากสภาพดั้งเดิมที่ระยะเวลา 0-14 วัน เช่น ระดับ pH ยังพบอยู่ในช่วง 6.02-6.32 ค่าการนำไฟฟ้าหรือสภาพการนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง 3.26-4.98 dS/cm ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดอยู่ในช่วง 1.92-2.96 ppm ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนอยู่ในช่วง 0.03-0.28 ppm และปริมาณไนเตรตไนโตรเจนอยู่ในช่วง 0.26-0.58 ppm เพราะฉะนั้นผลการทดลองที่ได้สามารถชี้บ่งได้ว่า การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของตัวอย่างน้ำ เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่เก็บที่ระยะเวลา 21 วัน มีค่าน้อยมาก ถึงแม้อิทธิพลของ

กระบวนการชะล้างในชั้นดินจะเกิดขึ้นน้อยมาก และที่ระยะเวลาดังกล่าวย่อมส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของตัวอย่างน้ำยังมีไม่เพียงพอ

ตารางที่ 4.53 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำที่ระยะเวลา 28 วัน

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	ช่วงพิสัย (Range)	ค่าเฉลี่ย (Mean $\pm$ SD)
pH	6.89-7.20	7.06 $\pm$ 0.05
สภาพการนำไฟฟ้า (dS/cm)	4.92-5.62	5.32 $\pm$ 0.09
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (ppm)	1.54-3.01	2.31 $\pm$ 0.84
แอมโมเนียมไนโตรเจน (ppm)	0.02-0.19	0.10 $\pm$ 0.03
ไนเตรตไนโตรเจน (ppm)	0.34-0.61	0.48 $\pm$ 0.04

ตารางที่ 4.54 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 28 วัน

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	ช่วงพิสัย (Range)		ค่าเฉลี่ย (Mean $\pm$ SD)	
	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)
pH	5.02-5.32	5.46-5.82	5.19 $\pm$ 0.56	5.67 $\pm$ 0.36
สภาพการนำไฟฟ้า (dS/cm)	0.98-1.09	0.45-1.84	1.01 $\pm$ 0.10	1.16 $\pm$ 0.23
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด(%)	0.07-0.09	0.04-0.07	0.08 $\pm$ 0.05	0.05 $\pm$ 0.07
แอมโมเนียมไนโตรเจน (ppm)	5.28-6.09	5.64-6.02	5.56 $\pm$ 0.62	5.78 $\pm$ 0.72
ไนเตรตไนโตรเจน (ppm)	5.03-5.78	5.12-6.18	5.41 $\pm$ 0.36	5.74 $\pm$ 0.73

จากผลของตารางที่ 4.53 พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของตัวอย่างน้ำที่ถูกสุ่มเก็บขึ้นมาที่ระยะเวลา 28 วัน ค่าพารามิเตอร์ที่มีการเปลี่ยนแปลง (pH และสภาพการนำไฟฟ้า) มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น เช่น ระดับ pH เพิ่มขึ้นไปอยู่ที่ 6.89-7.20 สภาพการนำไฟฟ้าปรากฏอยู่ที่ 4.92-6.62 dS/cm ส่วนรูปของไนโตรเจนต่างๆ ในตัวอย่างน้ำนั้นยังคงไม่มีการเปลี่ยนแปลงเท่าใด เช่น ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินอยู่ที่ระดับ 1.54-3.01 ppm ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนยังคงพบอยู่ที่ระดับ 0.02-0.19 ppm และปริมาณไนเตรตไนโตรเจนอยู่ที่ 0.34-0.61 ppm ตามลำดับ

ผลการทดลองที่ได้จะแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า ปริมาณ pH ที่เพิ่มขึ้นของตัวอย่างน้ำที่ระยะเวลา 28 วันของตำรับ Control นั้น มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างดินที่เก็บที่ระยะเวลา

เดียวกัน และสรุปได้ว่ามีความแตกต่างกันค่อนข้างมาก โดยระดับ pH ของตัวอย่างดินที่เก็บที่ระยะเวลา 28 วัน มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 5.19-5.67 การที่ระดับ pH ในดินมีค่าลดลง ก็เนื่องมาจากอิทธิพลของกระบวนการชะล้างที่เกิดขึ้นในชั้นดิน กระบวนการชะล้างที่เกิดขึ้นย่อมส่งผลทำให้ดินมีระดับ pH ที่ลดลง ทั้งนี้เนื่องจากเกิดการแทนที่ของ H^+ ในชั้นดินกับธาตุประจุบวกทั้งหลาย นอกจากนี้ Na^+ , K^+ , Ca^{2+} ต่างๆ ที่ถูกแทนที่โดย H^+ นั้น ยังสามารถไหลแทรกซึมลงมากับน้ำที่ชะผ่านชั้นดินและลงสู่ตัวอย่างน้ำในที่สุด และเนื่องจากธาตุเหล่านี้ส่วนใหญ่เป็นไอออนประจุบวกที่เป็นด่าง ระดับ pH ของน้ำจึงเพิ่มขึ้น และการที่มีไอออนประจุบวกสะสมอยู่ในน้ำมากขึ้น ก็ย่อมส่งผลทำให้สภาพการนำไฟฟ้าของตัวอย่างน้ำเพิ่มขึ้นด้วยเช่นเดียวกัน (Bremner and Yeomans. 1986)

ตารางที่ 4.55 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำที่ระยะเวลา 42 วัน

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	ช่วงพิสัย (Range)	ค่าเฉลี่ย (Mean $\pm$ SD)
pH	6.79-7.09	6.89 $\pm$ 0.04
สภาพการนำไฟฟ้า (dS/cm)	4.86-6.01	5.51 $\pm$ 0.96
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (ppm)	1.21-2.86	2.08 $\pm$ 0.84
แอมโมเนียมไนโตรเจน (ppm)	0.07-0.23	0.18 $\pm$ 2.26
ไนเตรตไนโตรเจน (ppm)	0.42-0.58	0.51 $\pm$ 0.01

ตารางที่ 4.56 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 42 วัน

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	ช่วงพิสัย (Range)		ค่าเฉลี่ย (Mean $\pm$ SD)	
	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)
pH	4.86-5.19	5.02-5.62	5.00 $\pm$ 0.36	5.32 $\pm$ 0.21
สภาพการนำไฟฟ้า (dS/cm)	0.84-1.01	1.01-1.08	0.92 $\pm$ 0.18	1.04 $\pm$ 0.08
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด(%)	0.02-0.07	0.03-0.07	0.04 $\pm$ 0.04	0.05 $\pm$ 0.03
แอมโมเนียมไนโตรเจน (ppm)	4.22-5.18	4.36-5.09	4.76 $\pm$ 0.65	4.86 $\pm$ 0.58
ไนเตรตไนโตรเจน (ppm)	6.26-6.33	5.27-6.06	6.30 $\pm$ 0.22	5.72 $\pm$ 0.47

จากผลของตารางที่ 4.55 พบว่า ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นโดยทั่วไป มีแนวโน้มเป็นไปเช่นเดียวกับตัวอย่างน้ำที่สุ่มเก็บที่ระยะเวลา 28 วัน กล่าวคือ ระดับ pH ยังคงอยู่ในช่วง 6.79-7.09 และสภาพการนำไฟฟ้าปรากฏอยู่ในช่วง 4.86-6.01 dS/cm และพารามิเตอร์อีก 3 ตัวที่เกี่ยวข้องกับไนโตรเจนก็ไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงมากเท่าใด เช่น ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินยังมีค่าอยู่ในช่วง 1.21-2.86 ppm ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนมีค่าอยู่ในช่วง 0.07-0.23 ppm และปริมาณไนเตรตไนโตรเจนมีค่าอยู่ในช่วง 0.42-0.58 ppm ตามลำดับ

จากผลการทดลองย่อมระบุได้อย่างชัดเจนว่า เมื่อเปรียบเทียบตัวอย่างน้ำที่เก็บขึ้นมาที่ระยะเวลาเริ่มต้น (0 วัน) กับตัวอย่างน้ำที่เก็บที่ระยะเวลาดำท้าย (42 วัน) นั้น ผลของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นยังคงมีไม่มาก โดยเฉพาะพารามิเตอร์ที่วัดในรูปของไนโตรเจน สำหรับพารามิเตอร์อื่นๆ ที่มีการเปลี่ยนแปลงให้เห็นได้อย่างเด่นชัดบ้างก็คือ ระดับ pH และสภาพการนำไฟฟ้า ซึ่งสัมพันธ์กับกระบวนการชะล้างโดยตรง และสามารถจะเห็นความแตกต่างได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างดินและตัวอย่างน้ำที่สุ่มเก็บที่ระยะเวลาเดียวกัน



2. ดำรับปุ๋ยยูเรีย

ตารางที่ 4.57 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำที่ระยะเวลา 0 วัน

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	ช่วงพิสัย (Range)	ค่าเฉลี่ย (Mean ±SD)
pH	6.44-6.96	6.76 ± 0.05
สภาพการนำไฟฟ้า (dS/cm)	2.46-4.98	3.80 ± 0.89
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (ppm)	3.01-3.33	3.20 ± 0.03
แอมโมเนียมไนโตรเจน (ppm)	0.11-0.28	0.20 ± 0.02
ไนเตรตไนโตรเจน (ppm)	0.23-0.41	0.34 ± 0.02

ตารางที่ 4.58 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 0 วัน

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	ช่วงพิสัย (Range)		ค่าเฉลี่ย (Mean±SD)	
	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)
pH	6.02-6.19	6.13-6.26	6.11±0.23	6.20±0.54
สภาพการนำไฟฟ้า (dS/cm)	1.01-1.66	1.56-2.62	1.32±0.62	2.12±0.92
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด(%)	1.32-1.96	1.12-1.64	1.59±0.21	1.37±0.26
แอมโมเนียมไนโตรเจน (ppm)	18.09-20.61	22.26-30.48	19.36±1.09	26.32±3.35
ไนเตรตไนโตรเจน (ppm)	1.08-1.36	3.33-3.48	1.21±0.42	3.39±0.33

จากตารางที่ 4.57 แสดงว่าสภาพโดยทั่วไปของตัวอย่างน้ำในดำรับปุ๋ยยูเรีย และทำการเก็บตัวอย่างที่ระยะเวลา 0 วันนั้น จะให้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ค่อนข้างใกล้เคียงกับตัวอย่างน้ำในดำรับ Control และถูกเก็บตัวอย่างขึ้นมาที่ระยะเวลาเดียวกัน กล่าวคือ pH มีค่าอยู่ในช่วง 6.44-6.96 ค่าการนำไฟฟ้าหรือสภาพการนำไฟฟ้าปรากฏอยู่ในช่วง 2.46-4.98 dS/cm ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดพบอยู่ในช่วง 3.01-3.33 ppm ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนอยู่ในช่วง 0.11-0.28 ppm และปริมาณไนเตรตไนโตรเจนอยู่ในช่วง 0.23-0.41 ppm ตามลำดับ

ผลการทดลองดังกล่าวย่อมชี้บ่งให้เห็นได้เพิ่มเติมว่า ที่ระยะเวลากการเก็บตัวอย่างเริ่มต้น (0 วัน) นั้น ถึงแม้จะมีการใส่ปุ๋ยยูเรียลงไปในดินโดยตรง แต่ที่ระยะเวลาเช่นนี้ยังคงไม่มีการเปลี่ยน

แปลงใดๆ เกิดขึ้น ดังนั้นจึงพบว่าค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่สนใจ ไม่ได้มีปริมาณที่แตกต่างออกไปจากตัวอย่างน้ำในตำรับ Control ที่เก็บตัวอย่างขึ้นมาในระยะเวลาเดียวกันเท่าใด

ตารางที่ 4.59 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำที่ระยะเวลา 7 วัน

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	ช่วงพิสัย (Range)	ค่าเฉลี่ย (Mean $\pm$ SD)
pH	6.32-6.82	6.60 $\pm$ 0.09
สภาพการนำไฟฟ้า (dS/cm)	3.21-4.66	4.01 $\pm$ 1.02
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (ppm)	3.22-3.54	3.39 $\pm$ 0.07
แอมโมเนียมไนโตรเจน (ppm)	0.22-0.56	0.46 $\pm$ 0.03
ไนเตรตไนโตรเจน (ppm)	2.89-4.22	3.60 $\pm$ 0.96

ตารางที่ 4.60 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 7 วัน

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	ช่วงพิสัย (Range)		ค่าเฉลี่ย (Mean $\pm$ SD)	
	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)
pH	5.52-5.67	5.72-5.92	5.59 $\pm$ 0.27	5.82 $\pm$ 0.24
สภาพการนำไฟฟ้า (dS/cm)	0.98-1.43	1.02-1.48	1.20 $\pm$ 0.74	1.26 $\pm$ 0.65
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด(%)	1.22-1.78	1.42-1.73	1.50 $\pm$ 0.42	1.58 $\pm$ 0.32
แอมโมเนียมไนโตรเจน (ppm)	8.02-10.23	10.68-14.22	9.30 $\pm$ 0.86	12.66 $\pm$ 1.15
ไนเตรตไนโตรเจน (ppm)	5.66-7.32	14.62-18.36	6.76 $\pm$ 0.78	16.27 $\pm$ 0.72

จากผลของตารางที่ 4.59 พบว่า ตัวอย่างน้ำในตำรับของปุ๋ยยูเรีย และถูกสุ่มเก็บตัวอย่างขึ้นมาที่ระยะเวลา 7 วัน จะมีการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เกิดขึ้น โดยผลของการเปลี่ยนแปลงจะเกิดขึ้นและเห็นได้อย่างชัดเจนในส่วนของปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนและไนเตรตไนโตรเจนเป็นประการสำคัญ และพบว่าปริมาณของพารามิเตอร์ทั้ง 2 ตัวนี้มีค่าเพิ่มขึ้นโดยปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนเพิ่มขึ้นมาอยู่ในช่วง 0.22-0.56 ppm ในขณะที่ปริมาณไนเตรตไนโตรเจนเพิ่มระดับมาอยู่ที่ 2.89-4.22 ppm ส่วนค่าพารามิเตอร์อื่นๆ อีก 3 ตัว มีการเปลี่ยนแปลงไม่มาก เช่น ระดับ pH ปรากฏอยู่ในช่วง 6.32-6.82 ค่าการนำไฟฟ้าหรือสภาพการนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง 3.21-4.66 dS/cm และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดอยู่ในช่วง 3.22-3.54 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการใช้งานภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองที่ได้เช่นนี้ เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับตัวอย่างดินที่ถูกสูมเก็บขึ้นมาที่ระยะเวลาเดียวกัน (7 วัน) พบว่าระดับ pH ของตัวอย่างน้ำ (6.32-6.82) มีค่าสูงกว่าตัวอย่างดิน (5.59-5.82) ทั้งนี้เนื่องมาจากอิทธิพลของกระบวนการชะล้างที่เกิดขึ้นกับชั้นดิน ย่อมส่งผลทำให้ตัวอย่างดินมีระดับ pH ที่ลดลง นอกจากนี้กระบวนการปลดปล่อยธาตุอาหารประจุบวกลงสู่ตัวอย่างน้ำย่อมมีมากขึ้น และทำให้น้ำมีระดับ pH ที่สูงขึ้น และเท่าที่สังเกตได้เพิ่มเติมก็คือกระบวนการชะล้างนี้ยังคงส่งผลต่อสภาพการนำไฟฟ้า และค่าพารามิเตอร์อื่นๆ ที่เหลืออีกด้วย โดยพบว่าในตำรับของปุ๋ยยูเรียนั้นจัดเป็นสภาวะที่มีการเพิ่มเติมปุ๋ยไนโตรเจนให้แก่ดิน เมื่อมีปริมาณไนโตรเจนในดินเพิ่มมากขึ้น ก็จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปของไนโตรเจน ทั้งนี้จะเห็นได้อย่างเด่นชัดว่าที่ระยะเวลา 7 วันดังกล่าว ตัวอย่างดินมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณแอมโมเนียม ไนโตรเจน และปริมาณไนเตรตไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก ปริมาณไนโตรเจนที่เพิ่มมากในดินจึงส่งผลทำให้น้ำมีปริมาณไนโตรเจนที่มากขึ้นด้วย แต่ถ้าเปรียบเทียบระหว่างรูปแอมโมเนียมไนโตรเจนและไนเตรตไนโตรเจนแล้ว กลับพบว่าปริมาณไนเตรตไนโตรเจนในน้ำค่อนข้างมีระดับที่สูงมากกว่า ทั้งนี้เพราะแอมโมเนียมไนโตรเจนเป็นรูปที่ดินส่วนใหญ่สามารถดูดยึดไว้ได้ จึงสูญเสียติดออกมากับน้ำจากอิทธิพลของกระบวนการชะล้างเป็นปริมาณที่ค่อนข้างน้อย ในขณะที่รูปไนเตรตไนโตรเจนนั้น ดินไม่สามารถดูดยึดได้ดี จึงสูญเสียติดมากับน้ำที่เกิดจากขบวนการชะล้างได้มาก และส่งผลทำให้ตัวอย่างน้ำนั้นมีปริมาณไนเตรตไนโตรเจนที่สะสมเพิ่มขึ้นด้วย ((Bergsstrom, 1995)

ตารางที่ 4.61 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำที่ระยะเวลา 14 วัน

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	ช่วงพิสัย Range)	ค่าเฉลี่ย (Mean ±SD)
pH	6.56-6.90	6.76 ± 0.07
สภาพการนำไฟฟ้า (dS/cm)	5.26-6.34	6.01 ± 0.98
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (ppm)	4.28-6.78	5.63 ± 0.98
แอมโมเนียมไนโตรเจน (ppm)	0.12-0.72	0.48 ± 0.56
ไนเตรตไนโตรเจน (ppm)	7.66-9.62	8.58 ± 1.02

ตารางที่ 4.62 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 14 วัน

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	ช่วงพิสัย (Range)		ค่าเฉลี่ย (Mean±SD)	
	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)
pH	5.16-5.52	5.17-5.98	5.32±0.22	5.60±0.38
สภาพการนำไฟฟ้า (dS/cm)	0.56-1.02	1.08-1.26	0.81±0.32	1.15±0.23
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด(%)	1.09-1.26	1.32-1.54	1.16±0.19	1.41±0.12
แอมโมเนียมไนโตรเจน (ppm)	4.03-8.64	8.26-10.74	6.72±1.14	9.66±0.48
ไนเตรตไนโตรเจน (ppm)	7.26-12.31	18.62-25.64	9.62±1.21	21.96±2.23

จากผลของตารางที่ 4.61 พบว่า เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เห็นได้อย่างชัดเจนขึ้นสำหรับตัวอย่างน้ำในตำรับปุ๋ยยูเรีย ซึ่งถูกสุ่มเก็บตัวอย่างขึ้นมาที่ระยะเวลา 14 วัน นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างน้ำที่เก็บขึ้นมาที่ระยะเวลา 7 วันแล้ว ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น เช่น ระดับ pH เพิ่มขึ้นมาเล็กน้อยและพบอยู่ในช่วง 6.56-6.90 ค่าการนำไฟฟ้าหรือสภาพการนำไฟฟ้าปรากฏอยู่ในช่วง 5.26-6.34 dS/cm และในส่วนของพารามิเตอร์ที่อยู่ในรูปต่างๆ ของไนโตรเจนนั้น มีค่าเพิ่มขึ้นค่อนข้างมาก โดยปริมาณไนเตรตไนโตรเจนทั้งหมดเพิ่มมาอยู่ที่ระดับ 4.28-6.78 ppm ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนเพิ่มขึ้นมาอยู่ที่ระดับ 0.12-0.72 ppm และปริมาณไนเตรตไนโตรเจน เพิ่มมาอยู่ที่ระดับ 7.66-9.02 ppm ตามลำดับ

จากผลการทดลองดังกล่าวเมื่อเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ต่างๆของตัวอย่างน้ำและตัว- อย่างดินภายใต้ตำรับทดลองของปุ๋ยยูเรียที่สุ่มเก็บขึ้นมาที่ระยะเวลาเดียวกัน (14 วัน) แล้วพบว่ามีความสัมพันธ์กันโดยตรง กล่าวคือ ระดับ pH และสภาพการนำไฟฟ้าของตัวอย่างดินที่ระยะเวลานี้มีค่าลดลงที่เนื่องมาจากอิทธิพลของกระบวนการชะล้าง ในขณะที่ระดับ pH และสภาพการนำไฟฟ้าของตัวอย่างน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น ก็เพราะได้รับอิทธิพลจากกระบวนการชะล้างของชั้นดินอีกเช่นเดียวกัน นอกจากนี้แล้วอิทธิพลของกระบวนการชะล้างจากชั้นดิน ยังส่งผลต่อรูปไนโตรเจนในตัวอย่างน้ำอีกด้วย สาเหตุเพราะเมื่อปริมาณไนโตรเจนในรูปต่างๆ ในดินมีค่าเพิ่มมากขึ้น ไนโตร- เจนที่ถูกชะล้างลงมายังตัวอย่างน้ำย่อมมีมากขึ้นอีกด้วยเช่นเดียวกัน ซึ่งจะพบได้ว่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจน และปริมาณไนเตรตไนโตรเจน ในตัวอย่างน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นทุกระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.63 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำที่ระยะเวลา 21 วัน

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	ช่วงพิสัย (Range)	ค่าเฉลี่ย (Mean $\pm$ SD)
pH	7.06-7.42	7.31 $\pm$ 0.06
สภาพการนำไฟฟ้า (dS/cm)	6.28-7.92	6.92 $\pm$ 0.84
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (ppm)	5.23-7.06	6.21 $\pm$ 1.01
แอมโมเนียมไนโตรเจน (ppm)	0.22-0.36	0.29 $\pm$ 0.02
ไนเตรตไนโตรเจน (ppm)	15.26-18.21	16.98 $\pm$ 1.12

ตารางที่ 4.64 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 21 วัน

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	ช่วงพิสัย (Range)		ค่าเฉลี่ย (Mean $\pm$ SD)	
	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)
pH	4.90-5.00	4.82-5.56	4.96 $\pm$ 0.09	5.12 $\pm$ 0.42
สภาพการนำไฟฟ้า (dS/cm)	0.26-0.92	1.12-1.16	0.68 $\pm$ 0.32	1.13 $\pm$ 0.04
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด(%)	0.84-0.96	0.92-1.24	0.91 $\pm$ 0.11	1.02 $\pm$ 0.24
แอมโมเนียมไนโตรเจน (ppm)	2.06-4.32	3.63-4.28	3.84 $\pm$ 0.78	3.92 $\pm$ 0.46
ไนเตรตไนโตรเจน (ppm)	9.22-12.62	24.68-29.03	11.06 $\pm$ 0.98	26.74 $\pm$ 1.45

จากผลของตารางที่ 4.63 ระบุว่าค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ตรวจพบในน้ำตัวอย่างที่ระยะเวลา 21 วันนั้น มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างน้ำที่สุ่มเก็บขึ้นมาที่ระยะเวลา 14 วัน โดยระดับ pH เพิ่มขึ้นมาถึงช่วง 7.06-7.42 ค่าการนำไฟฟ้าหรือสภาพการนำไฟฟ้าเพิ่มมาอยู่ในช่วง 6.28-7.92 dS/cm ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเพิ่มขึ้นมาอยู่ในช่วง 5.23-7.06 ppm ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนเพิ่มมาอยู่ในช่วง 0.22-0.36 ppm และปริมาณไนเตรตไนโตรเจนเพิ่มสูงถึง 15.26-18.26 ppm

จากผลการทดลองที่ได้ย่อมแสดงให้เห็นว่า อิทธิพลของกระบวนการชะล้างจากชั้นดินได้ส่งผลกระทบรุนแรงมากขึ้น และมีผลกระทบต่อตัวอย่างน้ำโดยตรง พารามิเตอร์ที่เพิ่มมากขึ้นจนน่าเป็นห่วงคือ ปริมาณไนเตรตไนโตรเจนของตัวอย่างน้ำมีค่าสูงถึง 15.26-18.21 ppm ซึ่งในตามสภาพความจริงแล้ว คุณภาพน้ำที่สามารถจะใช้บริโภคได้นั้นจะต้องมีปริมาณไนเตรตไนโตรเจนไม่เกิน 5.0 ppm (กระทรวงสาธารณสุข, 2535) การที่มีปริมาณไนเตรตไนโตรเจนเกินระดับค่ามาตรฐานเช่น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นี้ อาจส่งผลเสียหายต่อสุขภาพของผู้ใช้น้ำนั้นไปให้ประโยชน์เพื่อการอุปโภคและบริโภค โดยอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสภาพชีวิตหรือสุขอนามัยของมนุษย์โดยตรง

ตารางที่ 4.65 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำที่ระยะเวลา 28 วัน

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	ช่วงพิสัย (Range)	ค่าเฉลี่ย (Mean $\pm$ SD)
pH	7.12-7.33	7.23 $\pm$ 0.03
สภาพการนำไฟฟ้า (dS/cm)	6.12-7.32	6.84 $\pm$ 0.78
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (ppm)	4.08-6.92	5.67 $\pm$ 1.16
แอมโมเนียมไนโตรเจน (ppm)	0.24-0.31	0.28 $\pm$ 0.05
ไนเตรตไนโตรเจน (ppm)	20.55-32.66	28.02 $\pm$ 3.36

ตารางที่ 4.66 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 28 วัน

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	ช่วงพิสัย (Range)		ค่าเฉลี่ย (Mean $\pm$ SD)	
	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)
pH	4.68-4.99	4.92-5.02	4.78 $\pm$ 0.32	4.99 $\pm$ 0.12
สภาพการนำไฟฟ้า (dS/cm)	0.96-1.33	1.09-1.18	1.17 $\pm$ 0.65	1.11 $\pm$ 0.09
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด(%)	0.56-0.63	0.82-0.96	0.59 $\pm$ 0.09	0.88 $\pm$ 0.09
แอมโมเนียมไนโตรเจน (ppm)	3.06-4.02	3.42-3.96	3.61 $\pm$ 0.56	3.63 $\pm$ 0.68
ไนเตรตไนโตรเจน (ppm)	12.78-18.54	29.76-44.06	16.92 $\pm$ 1.21	35.46 $\pm$ 5.26

จากผลของตารางที่ 4.65 แสดงว่า ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของตัวอย่างน้ำ ที่สุ่มเก็บขึ้นมาที่ระยะเวลา 28 วันนั้น มีปริมาณที่มากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างน้ำที่เก็บที่ระยะเวลา 21 วัน โดยพบว่าระดับ pH มีการเปลี่ยนแปลงที่ไม่มาก โดยปรากฏอยู่ในช่วง 7.12-7.33 ค่าการนำไฟฟ้าหรือสภาพการนำไฟฟ้าก็ไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลงอีกเช่นกัน และพบอยู่ในช่วง 6.12-7.32 dS/cm ส่วนปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมีค่าอยู่ในช่วง 4.08-6.92 ppm ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนยังพบอยู่ในช่วง 0.24-0.31 ppm ส่วนปริมาณไนเตรตไนโตรเจนนั้นมีการเปลี่ยนแปลงที่มาก โดยมีค่าเพิ่มขึ้นถึง 20.55-32.66 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองดังกล่าวย่อมยืนยันได้ว่าตำรับของการใส่ปุ๋ยยูเรียนั้นจะส่งเสริมให้ตัวอย่างน้ำมีปริมาณไนเตรตไนโตรเจนสูงขึ้นและเกินค่ามาตรฐานหลายเท่าตัว การที่มีปริมาณไนเตรตไนโตรเจนที่เพิ่มสูงมากในตำรับของการทดลองเช่นนี้ ก็เพราะในสภาวะดังกล่าวมีการใส่ปุ๋ยยูเรียลงไปดินเพิ่มเติมเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นโดยอาศัยกิจกรรมของจุลินทรีย์ภายในดินจะเปลี่ยนแปลงรูปของไนโตรเจนจากปุ๋ยยูเรียให้กลายมาเป็นไนเตรตได้ในระยะเวลาสั้น และถ้ายิ่งใส่ปุ๋ยไนโตรเจนให้ดินเพิ่มมากขึ้นเท่าใด รูปไนเตรตไนโตรเจนที่จะเกิดขึ้นก็จะมากขึ้นเท่านั้น ซึ่งจะเห็นผลได้จากตัวอย่างดินที่สุ่มเก็บขึ้นมาที่ระยะเวลาเดียวกัน (28 วัน) จะมีไนเตรตสะสมอยู่มากด้วย และการที่ดินมีรูปไนเตรตมากก็ย่อมส่งผลให้ตัวอย่างน้ำมีปริมาณไนเตรตไนโตรเจนที่เพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย ทั้งนี้เพราะได้รับอิทธิพลจากกระบวนการชะล้างของชั้นดิน (Chang and Entz, 1996)

ตารางที่ 4.67 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำที่ระยะเวลา 42 วัน

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	ช่วงพิสัย (Range)	ค่าเฉลี่ย (Mean ±SD)
pH	6.92-7.21	7.10 ± 0.04
สภาพการนำไฟฟ้า (dS/cm)	5.98-7.53	6.802 ± 0.99
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (ppm)	5.01-6.82	6.01 ± 1.02
แอมโมเนียมไนโตรเจน (ppm)	0.19-0.36	0.27 ± 0.62
ไนเตรตไนโตรเจน (ppm)	30.65-40.88	36.72 ± 3.02

ตารางที่ 4.68 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 42 วัน

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	ช่วงพิสัย (Range)		ค่าเฉลี่ย (Mean±SD)	
	ดินบน	ดินล่าง	ดินบน	ดินล่าง
	(0-20 ซม.)	(20-60 ซม.)	(0-20 ซม.)	(20-60 ซม.)
pH	4.32-4.56	5.02-5.12	4.42±0.28	5.09±0.16
สภาพการนำไฟฟ้า (dS/cm)	0.64-1.02	0.73-1.06	0.91±0.21	0.93±0.13
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด(%)	0.21-0.32	0.32-0.46	0.27±0.66	0.39±0.07
แอมโมเนียมไนโตรเจน (ppm)	2.98-4.03	2.64-3.06	3.44±0.72	2.78±0.38
ไนเตรตไนโตรเจน (ppm)	27.64-30.34	35.66-43.26	28.34±1.08	39.23±3.83

จากผลของตารางที่ 4.67 แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงของตัวอย่างน้ำในตำรับของปุ๋ยยูเรีย ที่ถูกสุ่มเก็บตัวอย่างขึ้นมาที่ระยะเวลา 42 วันนั้น ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เห็นได้อย่างชัดเจน คือ ปริมาณไนเตรตไนโตรเจน โดยมีค่าเพิ่มขึ้นและสูงมากถึง 30.65-40.88 ppm ส่วนพารามิเตอร์อื่นๆ นั้นมีการเปลี่ยนแปลงไม่มาก กล่าวคือ ระดับ pH ยังคงอยู่ในช่วง 6.92-7.21 ค่าการนำไฟฟ้า หรือสภาพการนำไฟฟ้าพบอยู่ในช่วง 5.98-7.53 dS/cm ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดอยู่ในช่วง 5.01-6.82 ppm และปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจน มีค่าลดระดับลงมาเล็กน้อยและอยู่ในช่วง 0.19-0.36 ppm

จากผลการทดลองย่อมระบุได้อย่างชัดเจนว่า ถ้าเปรียบเทียบระหว่างการเก็บตัวอย่างครั้งแรก (0 วัน) และครั้งสุดท้าย (42 วัน) แล้ว จะพบว่าโดยทั่วไปค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของตัวอย่างน้ำในตำรับของปุ๋ยยูเรียมีปริมาณที่เพิ่มขึ้น และการเพิ่มขึ้นนั้นสัมพันธ์กับช่วงระยะเวลาที่ผ่านไป ทั้งนี้มีสาเหตุมาจากอิทธิพลของกระบวนการชะล้างที่เกิดขึ้นและสูงขึ้น กระบวนการชะล้างที่เกิดขึ้นจะส่งผลทำให้ธาตุอาหารชนิดต่างๆ สูญเสียออกไปจากชั้นดินได้รวดเร็ว และธาตุอาหารเหล่านั้นจะเคลื่อนตัวลงสู่ตัวอย่างน้ำและส่งผลให้ที่ระยะเวลามากขึ้นการสะสมตัวของธาตุอาหารชนิดต่างๆ ในตัวอย่างน้ำก็ยิ่งสูงขึ้นด้วย การสะสมตัวของธาตุอาหารในตัวอย่างน้ำนั้นถ้าอยู่ในระดับหนึ่งที่ไม่เป็นอันตรายต่อผู้นำน้านั้นไปใช้บริโภค แล้วก็ไม่ส่งผลเสียหายแต่อย่างใด แต่ถ้านการสะสมตัวของธาตุอาหารบางตัว (เช่น ไนเตรต) มีปริมาณที่สูงเกินระดับมาตรฐาน ก็ย่อมเกิดผลเสียต่อผู้นำน้านั้นไปใช้บริโภคได้เป็นอย่างดี (McLaughlin, 1994)

3. ดำรับปุ๋ยยูเรีย+ไนโตรไฟริน

ตารางที่ 4.69 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำที่ระยะเวลา 0 วัน

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	ช่วงพิสัย (Range)	ค่าเฉลี่ย (Mean $\pm$ SD)
PH	6.02-6.18	6.10 $\pm$ 0.01
สภาพการนำไฟฟ้า (dS/cm)	3.31-4.64	4.01 $\pm$ 0.96
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (ppm)	2.72-2.86	2.80 $\pm$ 0.08
แอมโมเนียมไนโตรเจน (ppm)	0.34-0.56	0.50 $\pm$ 0.02
ไนเตรตไนโตรเจน (ppm)	0.56-0.89	0.74 $\pm$ 0.04

ตารางที่ 4.70 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 0 วัน

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	ช่วงพิสัย (Range)		ค่าเฉลี่ย (Mean $\pm$ SD)	
	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)
pH	6.12-6.26	6.09-6.32	6.20 $\pm$ 0.48	6.17 $\pm$ 0.46
สภาพการนำไฟฟ้า (dS/cm)	1.21-1.42	1.36-3.08	1.37 $\pm$ 0.41	2.31 $\pm$ 1.61
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด(%)	1.02-2.01	2.02-2.41	1.62 $\pm$ 0.32	2.26 $\pm$ 0.48
แอมโมเนียมไนโตรเจน (ppm)	15.22-18.54	23.32-29.64	17.40 $\pm$ 1.11	26.49 $\pm$ 1.07
ไนเตรตไนโตรเจน (ppm)	1.06-1.42	3.19-3.32	1.28 $\pm$ 0.56	3.26 $\pm$ 0.25

จากผลของตารางที่ 4.69 พบว่าค่าพารามิเตอร์ต่างๆของตัวอย่างน้ำในดำรับยูเรีย+ไนโตรไฟริน ที่ระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง 0 วันนั้น มีปริมาณที่ไม่แตกต่างออกไปจากสภาวะอื่นๆ ที่ระยะเวลาเดียวกันเท่าใด โดยคงมีค่า pH อยู่ในช่วง 6.02-6.18 ค่าการนำไฟฟ้าหรือสภาพการนำไฟฟ้าพบอยู่ในช่วง 3.31-4.64 dS/cm ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดอยู่ในช่วง 2.72-2.86 ppm ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจน และไนเตรตไนโตรเจนพบอยู่ในช่วง 0.34-0.56 ppm และ 0.56-0.89 ppm ตามลำดับ

จากผลการทดลองที่ได้สามารถชี้บ่งได้ว่า ที่ระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง 0 วันนั้นจัดเป็นช่วงที่ยังไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงใดๆ ของตัวอย่างน้ำ และเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างดินที่เก็บขึ้นมาที่ระยะเวลาเดียวกัน ก็พบว่าตัวอย่างดินเองก็ยังไม่มีการเปลี่ยนแปลงเท่าใด ยกเว้นปริมาณของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอมโมเนียมไนโตรเจนในตัวอย่างดินที่มีค่าสูงมากกว่าในตัวอย่างน้ำ แต่ปริมาณที่มากกว่าในตัวอย่างดินนั้นก็ยังคงไม่ได้ส่งผลกระทบทำให้ในตัวอย่างน้ำมีปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย ทั้งนี้เพราะปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนที่อยู่ในดินจะถูกดูดซับได้ดีในชั้นดิน และพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทันที หรือไม่แอมโมเนียมไนโตรเจนอาจเปลี่ยนแปลงไปอยู่ในรูปของไนเตรตไนโตรเจน และส่งผลทำให้ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนที่มีอยู่มากในชั้นดินไม่ถูกชะล้างลงมาถึงตัวอย่างน้ำ

ตารางที่ 4.71 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำที่ระยะเวลา 7 วัน

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	ช่วงพิสัย Range)	ค่าเฉลี่ย (Mean ±SD)
pH	6.92-7.26	7.10 ± 0.04
สภาพการนำไฟฟ้า (dS/cm)	3.92-5.66	4.84 ± 1.21
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (ppm)	2.22-2.33	2.26 ± 0.01
แอมโมเนียมไนโตรเจน (ppm)	0.22-0.48	0.36 ± 0.02
ไนเตรตไนโตรเจน (ppm)	0.98-1.23	1.11 ± 0.03

ตารางที่ 4.72 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 7 วัน

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	ช่วงพิสัย (Range)		ค่าเฉลี่ย (Mean±SD)	
	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)
pH	5.22-5.82	5.12-5.56	5.54±0.18	5.32±0.36
สภาพการนำไฟฟ้า (dS/cm)	0.66-1.63	0.98-1.46	1.14±0.82	1.19±0.56
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด(%)	1.09-1.66	2.03-2.06	1.36±0.38	2.04±0.32
แอมโมเนียมไนโตรเจน (ppm)	16.36-17.98	23.68-30.32	17.09±0.58	26.98±3.68
ไนเตรตไนโตรเจน (ppm)	2.09-2.26	4.08-4.14	2.13±0.36	4.10±0.12

จากผลของตารางที่ 4.71 พบว่า ที่ระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง 7 วันนั้น ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของตัวอย่างน้ำในตำรับปุ๋ยยูเรีย+ไนตราไพรีน จะมีการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างน้ำที่เก็บที่ระยะเวลา 0 วัน ในระดับที่ไม่มากเท่าใด ผลการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวมีค่าอยู่ในช่วงแคบๆ เช่น pH มีค่าอยู่ในช่วง 5.92-6.26 ค่าการนำไฟฟ้าหรือสภาพการนำไฟฟ้าปรากฏอยู่ในช่วง 3.92-5.66 dS/cm ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดพบอยู่ในช่วง 2.22-2.33 ppm ปริมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอมโมเนียมไนโตรเจนอยู่ในช่วง 0.22-0.48 ppm และปริมาณไนเตรตไนโตรเจนอยู่ในช่วง 0.98-1.23 ppm ตามลำดับ

จากผลการทดลองที่ได้ดังกล่าวย่อมชี้บ่งว่า ถ้าเปรียบเทียบตัวอย่างน้ำในตำรับของปุ๋ยยูเรียกับตัวอย่างน้ำในตำรับปุ๋ยยูเรีย+ไนตราไพรีน ที่ระยะเวลาการเก็บตัวอย่างเดียวกัน (7 วัน) แล้ว พบว่า ระดับ pH ของตัวอย่างน้ำในตำรับปุ๋ยยูเรีย+ไนตราไพรีนมีค่าที่สูงกว่า ทั้งนี้สืบเนื่องมาจากดินที่ใช้ไนตราไพรีนเป็นไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์นั้น มีระดับ pH ที่ลดต่ำลงมากกว่าและเป็นผลสืบเนื่องมาจากบทบาทของไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ในการยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันในดิน การที่ดินมีระดับ pH ที่ลดลงมากเช่นนี้ รวมถึงอิทธิพลของกระบวนการชะล้าง ย่อมก่อให้เกิดการแทนที่ของธาตุอาหารประจุบวกในดินที่เพิ่มมากขึ้น ธาตุประจุบวกจึงลงแพร่กระจายมาสู่ตัวอย่างน้ำได้มากกว่า และส่งเสริมทำให้ระดับ pH ของตัวอย่างน้ำในสภาวะเช่นนี้มีค่าที่สูง นอกจากนี้ระดับ pH แล้ว กระบวนการชะล้างยังส่งผลกระทบต่อสภาพการนำไฟฟ้าและค่าพารามิเตอร์ตัวอื่นๆอีกด้วย (Jordan et.al. 1994)

ตารางที่ 4.73 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำที่ระยะเวลา 14 วัน

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	ช่วงพิสัย Range)	ค่าเฉลี่ย (Mean ±SD)
pH	6.82-7.01	6.89 ± 0.03
สภาพการนำไฟฟ้า (dS/cm)	4.88-6.02	5.51 ± 1.03
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (ppm)	1.89-2.23	2.03 ± 0.06
แอมโมเนียมไนโตรเจน (ppm)	0.34-0.76	0.57 ± 0.67
ไนเตรตไนโตรเจน (ppm)	1.26-3.48	2.42 ± 1.06

ตารางที่ 4.74 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 14 วัน

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	ช่วงพิสัย (Range)		ค่าเฉลี่ย (Mean±SD)	
	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)
pH	4.32-5.18	4.97-5.09	4.80±0.47	5.03±0.21
สภาพการนำไฟฟ้า (dS/cm)	0.23-1.16	0.67-1.21	0.83±0.29	0.89±0.55
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด(%)	0.99-1.92	2.00-2.23	1.56±0.35	2.19±0.21
แอมโมเนียมไนโตรเจน (ppm)	18.26-20.07	23.23-30.05	19.46±0.76	28.02±3.23
ไนเตรตไนโตรเจน (ppm)	3.11-3.48	4.23-4.36	3.28±0.16	4.30±0.12

จากผลของตารางที่ 4.73 พบว่า ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ สำหรับการเปลี่ยนแปลงของตัวอย่างน้ำในตำรับของปุ๋ยยูเรีย+ไนตราไพรีนนั้น ยังมีปริมาณที่ไม่มาก เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างน้ำที่ระยะเวลา 7 วัน โดยพบว่าการเปลี่ยนแปลงส่วนใหญ่ยังคงปรากฏอยู่ในช่วงแคบๆ เช่น ระดับ pH อยู่ที่ 6.82-7.01 ค่าการนำไฟฟ้าหรือสภาพการนำไฟฟ้าอยู่ที่ระดับ 4.88-6.02 dS/cm ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดพบอยู่ที่ระดับ 1.89-2.23 ppm ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนและไนเตรตไนโตรเจนปรากฏอยู่ที่ระดับ 0.34-0.76 ppm และ 1.26-3.48 ppm ตามลำดับ

จากผลการทดลองดังกล่าวสามารถระบุออกมาได้อย่างชัดเจนว่า เมื่อทำการเปรียบเทียบตัวอย่างน้ำในสภาพของการใช้ปุ๋ยยูเรียกับตัวอย่างน้ำในตำรับปุ๋ยยูเรีย+ไนตราไพรีน ที่ระยะเวลาเดียวกัน (7 วัน) จะเห็นว่าความแตกต่างที่พบได้อย่างชัดเจน คือ ปริมาณไนเตรตไนโตรเจนของตัวอย่างน้ำในตำรับของปุ๋ยยูเรียมีค่ามากกว่าตำรับปุ๋ยยูเรีย+ไนตราไพรีนเป็นจำนวน 2-3 เท่าตัว สาเหตุที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะอิทธิพลของไนตริฟิเคชันอินอิมิตอร์ ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงรูปของไนโตรเจนในดิน จะช่วยให้เกิดการสะสมไนเตรตไนโตรเจนในดินได้น้อยลง การที่เกิดไนเตรตไนโตรเจนได้น้อยลงนั้น ถึงแม้ว่าดินจะไม่สามารถดูดซับไนโตรเจนรูปนี้ไว้ได้ดีและอาจสูญเสียออกมากับกระบวนการชะล้างก็ตาม แต่ปริมาณที่เกิดขึ้นน้อยๆ เช่นนี้ก็ยังไม่ส่งผลเสียต่อคุณภาพของตัวอย่างน้ำแต่อย่างใด (McLaughlin, 1994)

ตารางที่ 4.75 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำที่ระยะเวลา 21 วัน

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	ช่วงพิสัย (Range)	ค่าเฉลี่ย (Mean ±SD)
pH	6.82-7.12	6.95 ± 0.04
สภาพการนำไฟฟ้า (dS/cm)	3.98-6.26	5.21 ± 1.34
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (ppm)	1.76-2.34	2.08 ± 0.07
แอมโมเนียมไนโตรเจน (ppm)	0.26-0.92	0.62 ± 0.08
ไนเตรตไนโตรเจน (ppm)	2.99-3.62	3.40 ± 0.09

ตารางที่ 4.76 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 21 วัน

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	ช่วงพิสัย (Range)		ค่าเฉลี่ย (Mean±SD)	
	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)
pH	4.12-4.92	4.46-4.90	4.62±0.36	4.60±0.21
สภาพการนำไฟฟ้า (dS/cm)	0.98-1.98	0.33-1.09	1.46±0.45	0.74±0.33
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด(%)	1.02-1.66	1.64-1.73	1.38±0.28	1.70±0.18
แอมโมเนียมไนโตรเจน (ppm)	17.02-21.67	19.62-28.62	19.23±1.07	23.64±4.45
ไนเตรตไนโตรเจน (ppm)	4.02-4.44	3.98-4.37	4.24±0.36	4.12±0.78

จากตารางที่ 4.75 พบว่า ตัวอย่างน้ำในตำรับของปุ๋ยยูเรีย+ไนตราไพรีน ที่ระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง 21 วัน ก็ยังคงไม่มีสภาพของการเปลี่ยนแปลงเท่าใด โดยเฉพาะเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างน้ำที่สุ่มเก็บขึ้นมาที่ระยะเวลา 14 วันนั้น ระดับ pH ยังคงปรากฏอยู่ในช่วง 6.82-7.12 ค่าสภาพการนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง 3.98-6.26 dS/cm ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดอยู่ในช่วง 1.76-2.34 ppm ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนอยู่ในช่วง 0.26-0.92 ppm และปริมาณไนเตรตไนโตรเจนอยู่ในช่วง 2.99-3.62 ppm

จากผลการทดลองดังกล่าวจะพบว่า ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เหล่านี้ไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงใดๆ ที่ระยะเวลา 21 วัน และถ้าเปรียบเทียบกับตัวอย่างน้ำในตำรับของปุ๋ยยูเรียที่ระยะเวลาเดียวกัน ก็จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า ในส่วนของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจน และปริมาณไนเตรตไนโตรเจนในตัวอย่างน้ำนั้นมีค่าสูงกว่าตัวอย่างน้ำในตำรับปุ๋ยยูเรีย+ไนตราไพรีน สาเหตุที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะรูปของไนโตรเจนส่วนใหญ่ของตัวอย่างดินในตำรับปุ๋ยยูเรีย+ไนตราไพรีน .. ที่เก็บที่ระยะเวลาเดียวกันยังคงปรากฏตัวอยู่ในรูปของแอมโมเนียมไนโตรเจนเป็นปริมาณมาก รูปไนเตรตไนโตรเจนที่เกิดขึ้นยังคงพบน้อย ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนที่มีอยู่มากเช่นนี้อุณหภูมิดินจึงสามารถดูดยึดได้ดีและไม่ค่อยสูญเสียติดออกมากับน้ำจากกระบวนการชะล้าง ดังนั้นในตัวอย่างน้ำจึงมีปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนสะสมอยู่น้อยมาก ในขณะที่เดียวกันเมื่ออุณหภูมิดินดูดยึดแอมโมเนียมไนโตรเจนได้ดีกว่าแล้ว พืชจะสามารถดึงดูดรูปแอมโมเนียมไนโตรเจนจากดินไปใช้ประโยชน์ได้ทันระยะเวลา และทำให้เหลือปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนที่จะเปลี่ยนมาอยู่ในรูปไนเตรตไนโตรเจนได้น้อยลง รวมถึงทำให้ไนเตรตไนโตรเจนที่จะสูญเสียติดมากับกระบวนการชะล้าง และลงสู่ชั้นน้ำมีน้อยลงตามลำดับด้วย

ตารางที่ 4.77 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำที่ระยะเวลา 28 วัน

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	ช่วงพิสัย (Range)	ค่าเฉลี่ย (Mean $\pm$ SD)
pH	6.72-7.02	6.90 $\pm$ 0.03
สภาพการนำไฟฟ้า (dS/cm)	4.98-6.33	5.70 $\pm$ 1.09
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (ppm)	1.89-2.02	1.98 $\pm$ 0.02
แอมโมเนียมไนโตรเจน (ppm)	0.33-0.68	0.51 $\pm$ 0.03
ไนเตรตไนโตรเจน (ppm).	2.62-3.52	3.00 $\pm$ 0.09

ตารางที่ 4.78 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 28 วัน

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	ช่วงพิสัย (Range)		ค่าเฉลี่ย (Mean $\pm$ SD)	
	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)
pH	4.02-4.45	4.12-4.60	4.26 $\pm$ 0.22	4.32 $\pm$ 0.18
สภาพการนำไฟฟ้า (dS/cm)	0.76-0.98	1.06-1.64	0.84 $\pm$ 0.34	1.42 $\pm$ 0.11
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด(%)	0.84-0.99	1.02-1.12	0.91 $\pm$ 0.11	1.08 $\pm$ 0.10
แอมโมเนียมไนโตรเจน (ppm)	14.26-18.02	16.22-19.82	15.92 $\pm$ 0.64	17.64 $\pm$ 0.56
ไนเตรตไนโตรเจน (ppm)	5.68-7.02	6.74-8.23	4.73 $\pm$ 0.33	5.21 $\pm$ 0.07

จากตารางที่ 4.77 พบว่า ตัวอย่างน้ำในตำรับปุ๋ยยูเรีย+ไนตราไฟริน ที่สุ่มเก็บตัวอย่างที่ระยะเวลา 28 วัน มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างน้ำที่เก็บที่ระยะเวลา 21 วัน โดยระดับ pH ยังคงอยู่ในช่วง 6.72-7.02 ค่าของสภาพการนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง 4.98-6.33 dS/cm ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดอยู่ในช่วง 1.89-2.02 ppm ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนอยู่ในช่วง 0.33-0.68 ppm และปริมาณไนเตรตไนโตรเจนอยู่ในช่วง 2.62-3.52 ppm

จากผลการทดลองที่ได้ย่อมชี้บ่งอย่างชัดเจนว่า เมื่อเปรียบเทียบตัวอย่างน้ำที่ระยะเวลา 28 วัน กับตัวอย่างดินที่เก็บที่ระยะเวลาเดียวกัน จะพบว่าระดับ pH ในตัวอย่างดินมีค่าค่อนข้างต่ำ (เฉลี่ย 4.26-4.32) ในขณะที่ระดับ pH ในตัวอย่างน้ำค่อนข้างสูง ทั้งนี้อาจเป็นผลเกี่ยวเนื่องมาจากการใช้ไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ร่วมกับปุ๋ย และจากอิทธิพลของกระบวนการชะล้างร่วมกัน โดยที่ระดับ pH ที่ต่ำลงจะทำให้เกิดการแทนที่ของ H⁺ ในชั้นดินเพิ่มมากขึ้น ธาตุอาหารประจุบวกต่างๆก็จะไหลลงมาพร้อมๆ กับน้ำที่ชะผ่านชั้นดินลงมายังชั้นน้ำ การที่มีธาตุประจุบวกที่เป็นด่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในชั้นน้ำมากขึ้น ย่อมส่งผลให้น้ำมีระดับ pH และสภาพการนำไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย ส่วนพารามิเตอร์อื่นๆ พบว่าลักษณะการเปลี่ยนแปลงมีปริมาณน้อย ทั้งนี้เพราะอิทธิพลของไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ที่ใส่ลงไปร่วมกับปุ๋ยยูเรีย ช่วยให้ปริมาณสารต่างๆ ที่จะสูญหายออกไปจากกระบวนการชะล้างลงสู่ชั้นน้ำมีน้อยลง

ตารางที่ 4.79 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำที่ระยะเวลา 42 วัน

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	ช่วงพิสัย (Range)	ค่าเฉลี่ย (Mean ±SD)
pH	6.52-6.92	6.75 ± 0.03
สภาพการนำไฟฟ้า (dS/cm)	3.92-5.24	4.60 ± 0.83
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (ppm)	1.26-1.87	1.65 ± 0.07
แอมโมเนียมไนโตรเจน (ppm)	0.33-0.52	0.47 ± 0.03
ไนเตรตไนโตรเจน (ppm)	3.01-3.98	3.48 ± 0.10

ตารางที่ 4.80 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 42 วัน

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	ช่วงพิสัย (Range)		ค่าเฉลี่ย (Mean±SD)	
	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)
pH	4.02-4.22	3.92-4.21	4.12±0.19	4.02±0.21
สภาพการนำไฟฟ้า (dS/cm)	0.12-0.46	0.83-1.34	0.26±0.11	1.01±0.11
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด(%)	0.44-0.62	0.66-0.84	0.53±0.07	0.72±0.06
แอมโมเนียมไนโตรเจน (ppm)	12.23-14.06	13.23-16.52	13.61±0.84	15.02±1.05
ไนเตรตไนโตรเจน (ppm)	5.09-7.12	7.66-8.34	6.74±0.76	8.02±0.44

จากตารางที่ 4.79 พบว่า ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของตัวอย่างน้ำในตำรับของปุ๋ยยูเรีย+ไนตราไพรีน มีปริมาณที่ไม่เปลี่ยนแปลงไปจากตัวอย่างน้ำที่เก็บที่ระยะเวลา 28 วัน โดยระดับ pH มีค่าลดลงเล็กน้อย และอยู่ในช่วง 6.52-6.92 ค่าของสภาพการนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง 3.92-5.24 dS/cm ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดอยู่ในช่วง 0.53-0.72 ppm ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนอยู่ในช่วง 0.33-0.52 ppm และปริมาณไนเตรตไนโตรเจนอยู่ในช่วง 3.01-3.98 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองดังกล่าวย่อมแสดงผลให้เห็นได้อย่างชัดเจนว่า ถ้าเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของตัวอย่างน้ำที่ระยะเวลาเริ่มต้น (0 วัน) กับระยะสุดท้าย (42 วัน) โดยภาพรวมแล้วพารามิเตอร์ต่างๆ มีปริมาณที่เพิ่มมากขึ้น นั่นคือ มีสาเหตุมาจากอิทธิพลของกระบวนการชะล้างการใส่ปุ๋ยยูเรีย และการใช้ในไตรฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ซึ่งส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำเช่นเดียวกับดิน แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างน้ำในตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียเพียงอย่างเดียวแล้วการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับปริมาณไนเตรตไนโตรเจนนั้นมีค่าค่อนข้างน้อย ทั้งนี้เนื่องจากประสิทธิภาพของไนไตรฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ที่ใส่ลงไปพร้อมกับปุ๋ยภายในดินย่อมทำให้ปริมาณไนเตรตไนโตรเจนในตัวอย่างน้ำที่พบอยู่ในระดับนี้ไม่ส่งผลเสียหายต่อสุขภาพของผู้ใช้น้ำนั้นไปใช้ประโยชน์โดยตรง (Hauck. 1980)



4. ดำรับปุ๋ยยูเรีย+ไดไฮยาโนไดอาไมด์

ตารางที่ 4.81 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำที่ระยะเวลา 0 วัน

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	ช่วงพิสัย (Range)	ค่าเฉลี่ย (Mean $\pm$ SD)
pH	6.12-7.02	6.58 ± 0.11
สภาพการนำไฟฟ้า (dS/cm)	3.26-3.92	3.61 ± 0.08
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (ppm)	1.24-1.99	1.67 ± 0.07
แอมโมเนียมไนโตรเจน (ppm)	0.28-0.72	0.53 ± 0.04
ไนเตรตไนโตรเจน (ppm)	0.62-1.08	0.78 ± 0.05

ตารางที่ 4.82 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 0 วัน

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	ช่วงพิสัย (Range)		ค่าเฉลี่ย (Mean $\pm$ SD)	
	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)
pH	5.99-6.23	6.17-6.40	6.10 ± 0.32	6.29 ± 0.32
สภาพการนำไฟฟ้า (dS/cm)	1.18-1.71	1.42-3.14	1.46 ± 0.29	2.54 ± 1.48
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด(%)	1.68-2.26	1.92-2.43	1.96 ± 0.28	2.26 ± 0.32
แอมโมเนียมไนโตรเจน (ppm)	16.18-21.39	26.29-32.72	18.26 ± 2.56	29.48 ± 3.28
ไนเตรตไนโตรเจน (ppm)	1.07-1.38	3.26-3.64	1.22 ± 0.38	3.38 ± 0.32

จากตารางที่ 4.81 พบว่า ตัวอย่างน้ำในดำรับปุ๋ยยูเรีย+ไดไฮยาโนไดอาไมด์ ที่ระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง 0 วันนั้น มีค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ไม่แตกต่างออกไปจากตัวอย่างน้ำในดำรับอื่นๆ ที่เก็บตัวอย่างที่ระยะเวลาเดียวกันเท่าใด โดยที่ระดับ pH ยังคงอยู่ในช่วง 6.12-7.02 ค่าของสภาพการนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง 3.26-3.92 dS/cm ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดอยู่ในช่วง 1.24-1.99 ppm ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนอยู่ในช่วง 0.28-0.72 ppm และปริมาณไนเตรตไนโตรเจนอยู่ในช่วง 0.62-1.08 ppm

จากผลการทดลองดังกล่าวย่อมชี้บ่งให้เห็นได้ว่า ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของตัวอย่างน้ำที่สุ่มเก็บขึ้นมาที่ระยะเวลา 0 วัน มีปริมาณที่ใกล้เคียงกับน้ำในสภาพธรรมชาติ ทั้งนี้เนื่องจากที่ระยะเวลาเช่นนี้ การใส่ปุ๋ยหรือไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ลงไปในดินจะก่อให้เกิดปฏิกิริยาขึ้นในดินก่อนเป็นลำดับแรก ส่วนอิทธิพลของกระบวนการชะล้างที่จะส่งผลมายังชั้นน้ำยังมีไม่มากในระยะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลาดังกล่าว และย่อมจะพบได้ว่าค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ไม่มีความแตกต่างออกไปจากตัวอย่างน้ำในตำรับอื่นๆ ที่เก็บที่ระยะเวลาเริ่มต้นเท่าใด

ตารางที่ 4.83 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำที่ระยะเวลา 7 วัน

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	ช่วงพิสัย (Range)	ค่าเฉลี่ย (Mean $\pm$ SD)
pH	6.02-6.98	6.50 $\pm$ 0.09
สภาพการนำไฟฟ้า (dS/cm)	4.01-4.44	4.26 $\pm$ 0.02
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (ppm)	1.19-1.68	1.39 $\pm$ 0.06
แอมโมเนียมไนโตรเจน (ppm)	0.34-0.86	0.63 $\pm$ 0.04
ไนเตรตไนโตรเจน (ppm)	0.92-1.62	1.32 $\pm$ 0.08

ตารางที่ 4.84 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 7 วัน

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	ช่วงพิสัย (Range)		ค่าเฉลี่ย (Mean $\pm$ SD)	
	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)
pH	5.37-5.62	5.02-5.32	5.42 $\pm$ 0.17	5.19 $\pm$ 0.27
สภาพการนำไฟฟ้า (dS/cm)	0.96-1.41	1.02-2.96	1.20 $\pm$ 0.68	1.89 $\pm$ 0.86
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด(%)	1.02-1.12	2.05-2.07	1.08 $\pm$ 0.26	2.06 $\pm$ 0.20
แอมโมเนียมไนโตรเจน (ppm)	20.32-23.02	28.64-31.68	22.01 $\pm$ 0.92	29.98 $\pm$ 1.07
ไนเตรตไนโตรเจน (ppm)	3.12-3.46	5.18-5.52	3.31 $\pm$ 0.34	5.32 $\pm$ 0.26

จากตารางที่ 4.83 พบว่า ตัวอย่างน้ำของตำรับปุ๋ยยูเรีย+ไดไฮยาโนไดอาไมด์ ที่สุ่มเก็บที่ระยะเวลา 7 วันนั้น มีค่าไม่แตกต่างออกไปจากตัวอย่างน้ำที่เก็บที่ระยะเวลา 0 วัน โดยระดับ pH ยังคงอยู่ในช่วง 6.02-6.98 ค่าสภาพการนำไฟฟ้ามีการเพิ่มขึ้นเล็กน้อยไปอยู่ที่ระดับ 4.01-4.44 dS/cm ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดอยู่ในช่วง 1.19-1.68 ppm ปริมาณแอมโมเนียม ไนโตรเจนอยู่ในช่วง 0.34-0.86 ppm และปริมาณไนเตรตไนโตรเจนอยู่ในช่วง 0.92-1.62 ppm ตามลำดับ

จากผลการทดลองที่ได้จะพบได้ว่า เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียลงไปในดินเพียงอย่างเดียว นั้น ตัวอย่างน้ำในตำรับของปุ๋ยยูเรียมีปริมาณไนเตรตไนโตรเจนที่สูงกว่าในตำรับของปุ๋ยยูเรีย+ไดไฮยาโนไดอาไมด์ ประมาณ 3-4 เท่า ทั้งนี้เป็นเพราะอิทธิพลของไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ที่มีต่อกระบวนการไนตริฟิเคชันในดิน และส่งผลต่อชั้นน้ำโดยตรง แต่ถ้าเปรียบเทียบกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างน้ำที่ได้จากการใช้ในตราไพรินใส่ลงไปในดินร่วมกับปุ๋ยยูเรียแล้ว พบว่าค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นในตัวอย่างน้ำมีค่าใกล้เคียงกัน (ยกเว้นปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของตำรับ ปุ๋ยยูเรีย+ไนโตรไพริน มีค่าสูงกว่า) หมายถึง ประสิทธิภาพของการใช้ในตรฟีคันอินฮิปี-เตอร์ทั้ง 2 ตัวนี้มีผลใกล้เคียงกันในการยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันในดิน (Meisinger and Randall. 1980)

ตารางที่ 4.85 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำที่ระยะเวลา 14 วัน

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	ช่วงพิสัย (Range)	ค่าเฉลี่ย (Mean $\pm$ SD)
pH	6.92-7.32	7.16 $\pm$ 0.05
สภาพการนำไฟฟ้า (dS/cm)	4.62-4.96	4.80 $\pm$ 0.07
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (ppm)	1.26-1.93	1.64 $\pm$ 0.08
แอมโมเนียมไนโตรเจน (ppm)	0.46-0.92	0.70 $\pm$ 0.05
ไนเตรตไนโตรเจน (ppm)	1.82-2.03	1.94 $\pm$ 0.02

ตารางที่ 4.86 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 14 วัน

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	ช่วงพิสัย (Range)		ค่าเฉลี่ย (Mean $\pm$ SD)	
	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)
pH	4.12-4.93	5.12-5.25	4.56 $\pm$ 0.39	5.19 $\pm$ 0.18
สภาพการนำไฟฟ้า (dS/cm)	0.12-1.54	1.17-1.96	0.78 $\pm$ 0.64	1.61 $\pm$ 0.36
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด(%)	1.43-1.98	1.64-2.26	1.62 $\pm$ 0.28	2.041 $\pm$ 0.46
แอมโมเนียมไนโตรเจน (ppm)	19.32-25.06	27.11-32.67	21.96 $\pm$ 1.86	29.67 $\pm$ 1.96
ไนเตรตไนโตรเจน (ppm)	2.98-3.56	4.29-4.48	3.28 $\pm$ 0.48	4.33 $\pm$ 0.47

จากตารางที่ 4.85 พบว่า ตัวอย่างน้ำในตำรับของปุ๋ยยูเรีย+ไตรยาโนไดอาไมด์ ที่ผสมกับตัวอย่างที่ระยะเวลา 14 วัน มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างน้ำที่เก็บที่ระยะเวลา 7 วัน โดยระดับ pH เพิ่มขึ้นมาอยู่ในช่วง 6.92-7.32 ค่าของสภาพการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นมาอยู่ในช่วง 4.62-4.96 dS/cm ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเพิ่มขึ้นมาเล็กน้อย โดยอยู่ในช่วง 1.26-1.93 ppm ส่วนปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจน และปริมาณไนเตรตไนโตรเจน ก็เพิ่มขึ้นมาเช่นกัน โดยอยู่ในช่วง 0.46-0.92 ppm และ 1.82-2.03 ppm ตามลำดับ

จากผลการทดลองดังกล่าวพบว่า การที่ระดับ pH ของตัวอย่างน้ำเพิ่มขึ้นมาจากระดับดั้งเดิมนั้น มีสาเหตุเกี่ยวเนื่องมาจากอิทธิพลของกระบวนการชะล้าง และการใช้ไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ที่เริ่มส่งผลกระทบมาถึงชั้นน้ำโดยตรง ทั้งนี้อาจพิจารณาได้จากระดับ pH ของตัวอย่างดินที่สุ่มเก็บขึ้นมาที่ระยะเวลาเดียวกัน โดยพบว่าระดับ pH ของตัวอย่างดินลดลงมาก (เฉลี่ย 4.56-5.19) นอกจากนี้การสะสมตัวของธาตุอาหารประจุบวกที่ลงมาจากชั้นดินพร้อมกับน้ำจากผลของกระบวนการชะล้างนั้นก็ทำให้ระดับ pH ของตัวอย่างน้ำสูงขึ้นจากเดิม และค่าสภาพการนำไฟฟ้าเมื่อมีธาตุอาหารมีประจุสะสมตัวอยู่ในน้ำมากขึ้นก็ย่อมเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ส่วนปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนที่พบในตัวอย่างน้ำมีค่าน้อยกว่าตัวอย่างที่สุ่มเก็บที่ระยะเวลาเดียวกัน (14 วัน) เป็นเพราะอนุภาคดินสามารถดูดซับธาตุไนโตรเจนไว้ได้ดี จึงสูญเสียติดออกมากับน้ำจากกระบวนการชะล้างได้ค่อนข้างยาก ดังนั้นจึงพบว่าปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนในตัวอย่างน้ำมีระดับที่น้อยลงกว่าปริมาณที่ตรวจพบในดิน

ตารางที่ 4.87 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำที่ระยะเวลา 21 วัน

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	ช่วงพิสัย Range)	ค่าเฉลี่ย (Mean ±SD)
pH	6.82-7.00	6.91 ± 0.02
สภาพการนำไฟฟ้า (dS/cm)	4.89-5.72	5.28 ± 0.10
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (ppm)	2.66-3.33	3.01 ± 0.08
แอมโมเนียมไนโตรเจน(ppm)	0.38-0.98	0.70 ± 0.05
ไนเตรตไนโตรเจน (ppm)	2.66-3.82	3.21 ± 0.65

ตารางที่ 4.88 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 21 วัน

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	ช่วงพิสัย (Range)		ค่าเฉลี่ย (Mean±SD)	
	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)
pH	3.97-5.01	4.96-4.99	4.63±0.65	4.98±0.06
สภาพการนำไฟฟ้า (dS/cm)	0.03-1.12	0.92-1.54	1.74±0.52	1.34±0.28
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด(%)	0.96-1.28	1.12-1.67	1.09±0.32	1.36±0.26
แอมโมเนียมไนโตรเจน (ppm)	16.30-27.63	26.64-30.75	21.02±4.65	27.96±1.12
ไนเตรตไนโตรเจน (ppm)	3.09-3.46	4.56-4.64	3.26±0.28	4.60±0.18

จากตารางที่ 4.87 พบว่า ตัวอย่างน้ำในตำรับของปุ๋ยยูเรีย+ไดไฮยาโนไดอาไมด์ ที่สุ่มเก็บที่ระยะเวลา 21 วัน ไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรือแสดงความแตกต่างออกไปจากตัวอย่างน้ำที่เก็บที่ระยะเวลา 14 วันเท่าใด โดยระดับ pH ของตัวอย่างน้ำยังคงอยู่ที่ 6.82-7.00 ค่าสภาพการนำไฟฟ้าและปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเพิ่มขึ้นมาเล็กน้อยอยู่ในช่วง 4.89-5.72 dS/cm และ 2.66-3.33 ppm ส่วนปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนอยู่ในช่วง 0.38-0.98 ppm และปริมาณไนเตรตไนโตรเจนเพิ่มขึ้นมาอยู่ที่ 2.66-3.82 ppm ตามลำดับ

จากผลการทดลองที่ได้พบว่า ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น โดยปริมาณที่เพิ่มขึ้นนั้นล้วนแสดงความสัมพันธ์กับช่วงระยะเวลาที่ผ่านมา นั่นก็หมายความว่า อิทธิพลของกระบวนการชะล้างเริ่มส่งผลกระทบต่อชั้นน้ำเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ แต่อย่างไรก็ตามผลดีของการใส่ไนตริ-พีเคชั้นอินฮิเตอร์ลงไปพร้อมกับปุ๋ยก็คือ การช่วยให้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เพิ่มขึ้นในปริมาณที่ไม่มาก โดยเฉพาะรูปของไนเตรตไนโตรเจนซึ่งเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ นับว่าเป็นสิ่งที่ดี เพราะถ้ามีปริมาณมากเกินไปอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมอื่นๆ หรือมนุษย์ผู้บริโภคน้ำนั้นโดยตรง (McLaughlin. 1994)

ตารางที่ 4.89 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำที่ระยะเวลา 28 วัน

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	ช่วงพิสัย (Range)	ค่าเฉลี่ย (Mean ±SD)
pH	6.62-6.92	6.69 ± 0.04
สภาพการนำไฟฟ้า (dS/cm)	3.26-6.02	4.59 ± 1.58
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (ppm)	2.63-3.02	2.83 ± 0.05
แอมโมเนียมไนโตรเจน(ppm)	0.29-0.86	0.61 ± 0.06
ไนเตรตไนโตรเจน (ppm)	2.98-3.66	3.31 ± 0.08

ตารางที่ 4.90 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 28 วัน

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	ช่วงพิสัย (Range)		ค่าเฉลี่ย (Mean±SD)	
	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)
pH	4.02-4.92	4.86-5.09	4.61±0.28	4.91±0.33
สภาพการนำไฟฟ้า (dS/cm)	0.84-1.64	0.84-1.07	1.33±0.72	0.89±0.21
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด(%)	0.64-0.96	1.09-1.10	0.76±0.09	1.12±0.09
แอมโมเนียมไนโตรเจน (ppm)	12.32-16.74	20.44-22.66	14.22±1.12	21.34±0.48
ไนเตรตไนโตรเจน (ppm)	4.22-5.02	5.02-5.33	4.73±0.33	5.21±0.07

จากตารางที่ 4.89 พบว่า ตัวอย่างน้ำในตำรับของปุ๋ยยูเรีย+โดไฮยาโนไดอาไมด์ ที่สุ่มเก็บตัวอย่างที่ระยะเวลา 28 วัน มีการเปลี่ยนแปลงไม่มาก โดยลักษณะของการเปลี่ยนแปลงปรากฏอยู่ในช่วงแคบๆ เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างน้ำที่เก็บที่ระยะเวลา 21 วัน โดยพบว่า ระดับ pH อยู่ในช่วง 6.62-6.92 ค่าสภาพการนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง 3.26-6.02 dS/cm ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดอยู่ในช่วง 2.63-3.02 ppm ส่วนปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนและไนเตรตไนโตรเจนอยู่ในช่วง 0.29-0.86 ppm และ 2.98-3.66 ppm ตามลำดับ

จากผลการทดลองที่ได้ระบุอย่างชัดเจนว่า เมื่อเปรียบเทียบตัวอย่างน้ำที่เก็บที่ระยะเวลาดังกล่าวกับตัวอย่างดินที่เก็บที่ระยะเวลาเดียวกันจะพบว่า ระดับ pH ของตัวอย่างน้ำมีค่าสูงกว่าตัวอย่างดินค่อนข้างมาก (เฉลี่ย 4.61-4.91) นั่นคือ อิทธิพลของกระบวนการชะล้างและผลของการใช้ปุ๋ยยูเรีย รวมถึงไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ต่างมีผลต่อสภาพของดินเป็นอย่างมาก และผลที่เกิดขึ้นต่อสภาพดินเช่นนี้จะส่งต่อไปยังชั้นน้ำเมื่อผ่านกระบวนการชะล้าง และทำให้พารามิเตอร์อื่นๆ นอกจากระดับ pH มีค่าเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย

ตารางที่ 4.91 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำที่ระยะเวลา 42 วัน

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	ช่วงพิสัย (Range)	ค่าเฉลี่ย (Mean ±SD)
pH	6.55-6.82	6.68 ± 0.03
สภาพการนำไฟฟ้า (dS/cm)	4.98-6.36	5.62 ± 1.32
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (ppm)	2.23-2.92	2.69 ± 0.07
แอมโมเนียมไนโตรเจน (ppm)	0.36-0.63	0.53 ± 0.03
ไนเตรตไนโตรเจน (ppm)	3.22-3.84	3.49 ± 0.06

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.92 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 42 วัน

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	ช่วงพิสัย (Range)		ค่าเฉลี่ย (Mean±SD)	
	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)	ดินบน (0-20 ซม.)	ดินล่าง (20-60 ซม.)
pH	3.62-4.44	3.96-4.32	4.00±0.84	4.12±0.22
สภาพการนำไฟฟ้า (dS/cm)	0.33-0.86	0.62-1.06	0.58±0.09	0.74±0.10
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด(%)	0.32-0.56	0.42-0.72	0.43±0.05	0.61±0.05
แอมโมเนียมไนโตรเจน (ppm)	11.31-17.62	14.34-18.54	14.28±1.14	15.68±1.12
ไนเตรตไนโตรเจน (ppm)	6.22-6.55	6.59-8.64	6.33±0.11	7.29±0.58

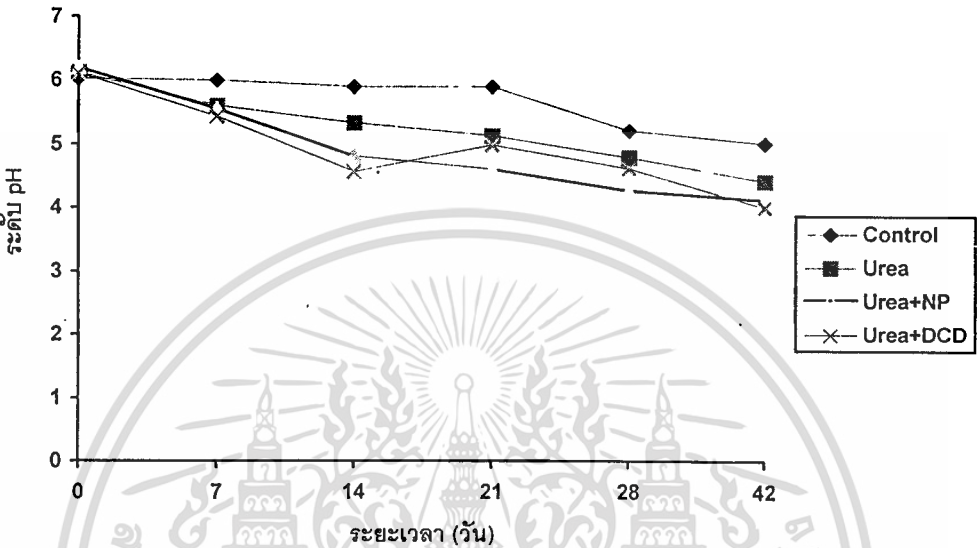
ตารางที่ 4.91 พบว่า ตัวอย่างน้ำในตำรับของปุ๋ยยูเรีย+ไดไฮยาโนไดอาไมด์ ที่สุ่มเก็บที่ระยะเวลา 42 วันนั้น ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ มีความแตกต่างออกไปจากตัวอย่างน้ำที่เก็บที่ระยะเวลา 28 วันไม่มากเท่าใด กล่าวคือ ระดับ pH อยู่ในช่วง 6.55-6.82 ค่าของสภาพการนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง 4.98-6.36 dS/cm ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดอยู่ในช่วง 2.23-2.92 ppm ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนอยู่ในช่วง 0.36-0.63 ppm และปริมาณไนเตรตไนโตรเจนอยู่ในช่วง 3.32-3.84 ppm ตามลำดับ

จากผลการทดลองที่ได้พบว่า ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของตัวอย่างน้ำที่เก็บที่ระยะเวลาดสุดท้าย (42 วัน) มีค่าไม่มาก ถึงแม้จะเปรียบเทียบกับตัวอย่างน้ำที่เก็บที่ระยะเวลาเริ่มต้น (0 วัน) ซึ่งตรงกันข้ามกับตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียลงไปในดินเพียงอย่างเดียว ซึ่งจะพบได้อย่างชัดเจนว่าตัวอย่างน้ำที่สุ่มเก็บที่ระยะเวลาเริ่มต้นกับระยะสุดท้ายนั้นมีค่าพารามิเตอร์ที่แตกต่างกันค่อนข้างมาก โดยเฉพาะในส่วนของปริมาณไนเตรตไนโตรเจน นั่นคือ ผลเสียที่เกิดขึ้นจากการใส่ปุ๋ยยูเรีย ลงไปในดินเพียงอย่างเดียว แต่ในขณะที่ตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ลงไปด้วย ปริมาณไนเตรตไนโตรเจนที่เกิดขึ้นที่ระยะสุดท้ายมีค่าน้อยกว่า และอยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต และสิ่งนี้ก็ถือเป็นเหตุผลประการสำคัญ ซึ่งเป็นข้อดีของการใส่ไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ลงไปพร้อมกับปุ๋ยยูเรียในดินโดยตรง (Davies and Williams. 1995)

2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของคุณสมบัติตัวอย่างดินและน้ำ กับระยะเวลา (0-42 วัน) ภายหลังการใช้สารไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์

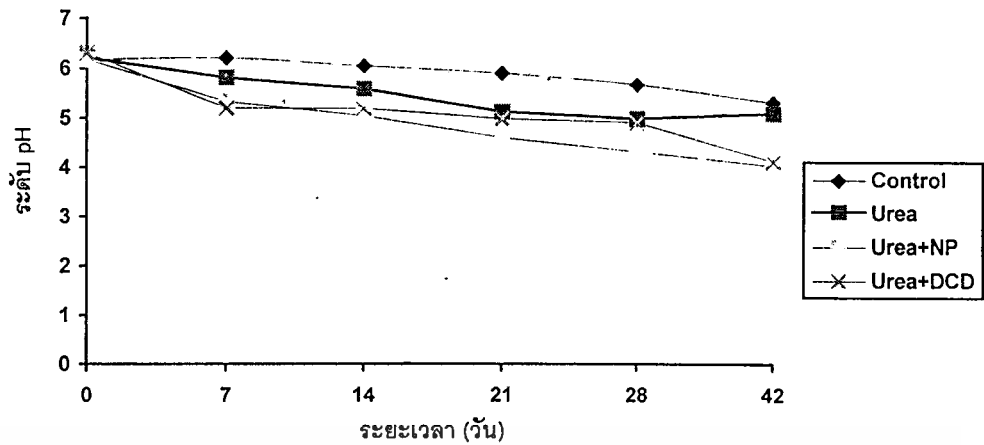
2.3.1 ตัวอย่างดิน

● ค่า pH



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับ pH ของตัวอย่างดินชั้นบนกับระยะเวลา 0-42 วัน

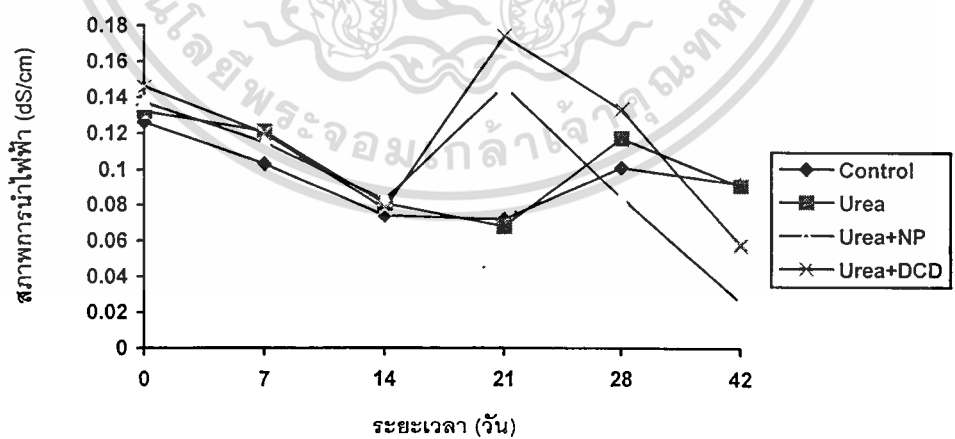
ข้อมูลจากตารางในหัวข้อ 2.2 เมื่อนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ร่วมกันระหว่าง pH ของตัวอย่างดินชั้นบนที่ระยะเวลาต่างๆ พบว่าในตำรับ Control นั้น การเปลี่ยนแปลง pH ที่ระยะเวลาเริ่มต้น (0 วัน) กับระยะเวลาสุดท้าย (42 วัน) มีค่าไม่แตกต่างกันมาก ในขณะที่ตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียและตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ ระดับ pH ลดลงจากเดิม ซึ่งแสดงให้เห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับ Control และพบว่าตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์จะมี pH ที่ลดลงมากกว่าการใส่ปุ๋ยยูเรียเพียงอย่างเดียว ระดับ pH ของดินในทุกตำรับที่ลดลงเช่นนี้มีสาเหตุมาจากการได้รับอิทธิพลของกระบวนการชะล้างที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาการทดลอง ส่วนอีกสาเหตุหนึ่ง คือ การใช้ปุ๋ยยูเรียหรือใส่ไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ลงไปในดินตั้งแต่ 0-42 วัน จะทำให้ดินนั้นมีสภาพเป็นกรด โดยในตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์จะมีค่า pH ที่ลดลงมากกว่า



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับ pH ของตัวอย่างดินชั้นล่างกับระยะเวลา 0-42 วัน

ข้อมูลจากตารางในหัวข้อ 2.2 เมื่อนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง pH ของตัวอย่างดินชั้นล่างที่ระยะเวลาดังกล่าว พบว่าแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงมีลักษณะเช่นเดียวกับดินชั้นบน กล่าวคือ pH ของดินในตำรับ Control ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ในขณะที่ในตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียและตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์นั้น มีระดับ pH ที่ลดลง ชัดเจนมากกว่า และค่า pH จะลดลงมากขึ้นเมื่อมีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์เป็นสำคัญ

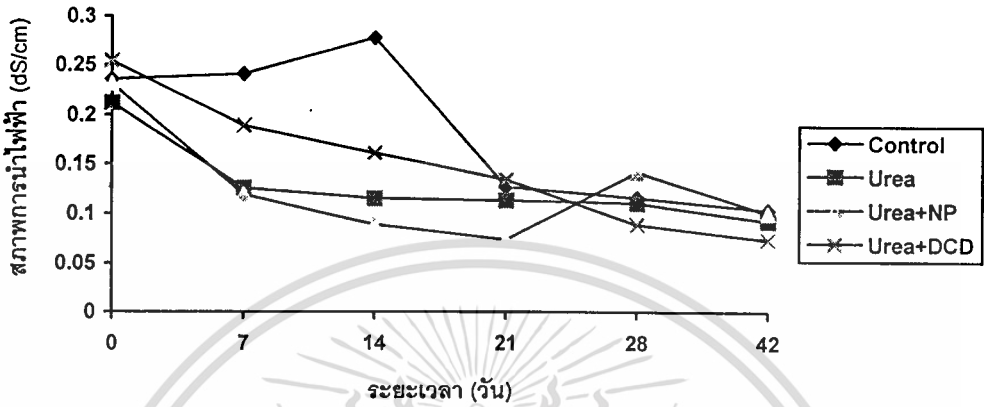
● สภาพการนำไฟฟ้า (dS/cm)



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างสภาพการนำไฟฟ้าของตัวอย่างดินชั้นบนกับระยะเวลา 0-42 วัน

ข้อมูลจากตารางในหัวข้อ 2.2 เมื่อนำมาเขียนกราฟเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพการนำไฟฟ้าของตัวอย่างดินชั้นบนที่ระยะเวลาดังกล่าว นั้น พบว่า ตลอดช่วงการทดลองดังกล่าวแนวโน้มเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

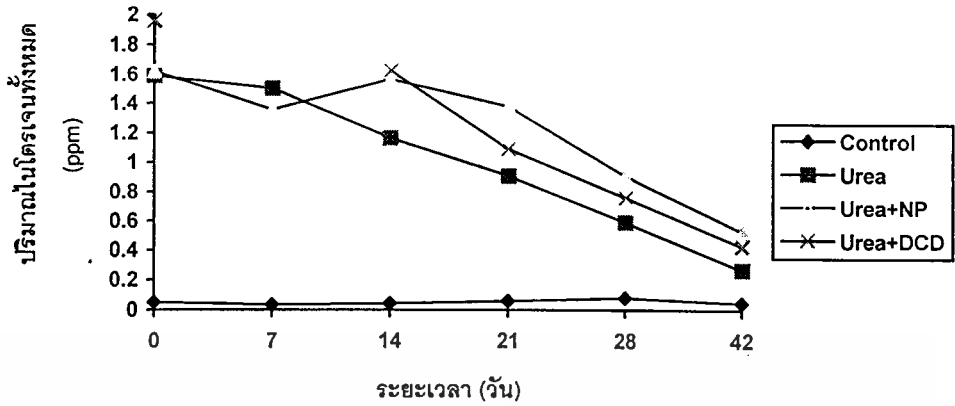
ของสภาพการนำไฟฟ้าในทุกๆ ดำรับการทดลองโดยทั่วไปมีค่าลดลง ทั้งนี้มีสาเหตุมาจากกระบวนการชะล้างที่เกิดขึ้นจะพัดพาธาตุอาหารประจุบวกออกไปจากดิน และส่งผลทำให้ดินมีธาตุอาหารประจุบวกน้อยลงและมีสภาพการนำไฟฟ้าลดลงในขั้นตอนสุดท้าย



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างสภาพการนำไฟฟ้าของตัวอย่างดินชั้นล่างกับระยะเวลา 0-42 วัน

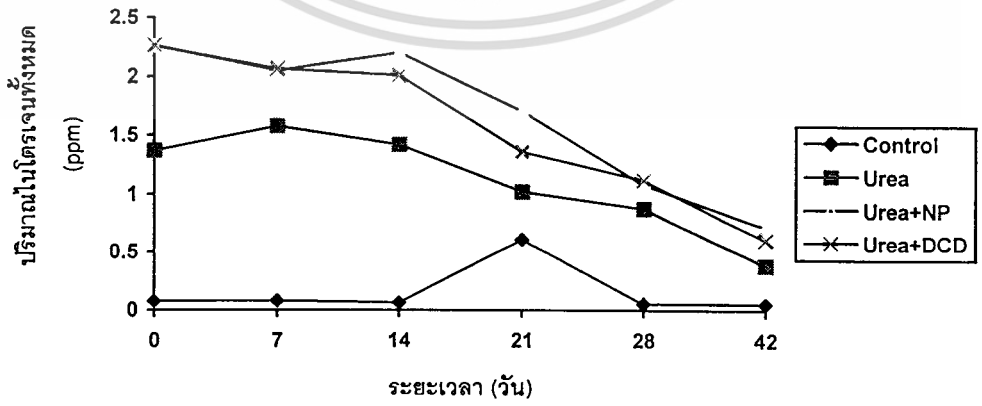
ข้อมูลจากตารางในหัวข้อ 2.2 เมื่อนำมาเขียนกราฟเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพการนำไฟฟ้าของตัวอย่างดินชั้นล่างที่ระยะเวลาต่างๆ พบว่า แนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงเป็นไปเช่นเดียวกับดินชั้นบน กล่าวคือ เมื่อเปรียบเทียบที่ระยะเวลาเริ่มต้นจนถึงสิ้นสุดการทดลอง (0-42 วัน) พบว่าสภาพการนำไฟฟ้าโดยทั่วไปมีค่าลดลง ซึ่งสาเหตุก็เกิดเนื่องมาจากกระบวนการชะล้างที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและยังสัมพันธ์กับระดับ pH ที่ลดลงอีกด้วยเช่นเดียวกัน

●ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (ppm)



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของตัวอย่างดินชั้นบนกับระยะเวลา 0-42 วัน

ข้อมูลจากตารางในหัวข้อ 2.2 เมื่อนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ร่วมกันระหว่างปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของตัวอย่างดินชั้นบนที่ระยะเวลาต่าง ๆ กัน พบว่า ในตำรับ Control นั้นลักษณะการเปลี่ยนแปลงระดับไนโตรเจนทั้งหมดในดินมีไม่มากนัก ทั้งนี้เนื่องจากในสภาพดินเดิมตามธรรมชาติทั่วไปปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดปรากฏอยู่ค่อนข้างน้อย ในขณะที่ในตำรับของปุ๋ยยูเรีย และตำรับปุ๋ยยูเรีย+ไนตริไฟเคชันอินฮิบิเตอร์นั้นกลับมีระดับไนโตรเจนทั้งหมดในดินค่อนข้างสูง ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มเติมธาตุไนโตรเจนในรูปปุ๋ยลงไปให้เกิดขึ้น เมื่อระยะเวลาผ่านไปปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดจะแปรสภาพไปอยู่ในรูปอื่นๆ ตลอดเวลา และมีค่าต่ำลงเมื่อสิ้นสุดการทดลอง ในกรณีดังกล่าวจะพบเพิ่มเติมว่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในตำรับปุ๋ยยูเรียมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว และมีค่าต่ำกว่าในตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตริไฟเคชันอินฮิบิเตอร์ทั้ง 2 ชนิด

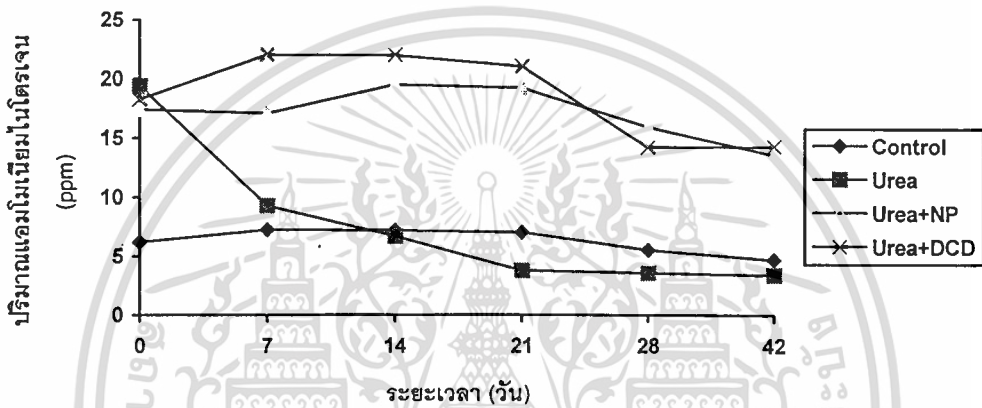


รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของตัวอย่างดินชั้นล่างกับระยะเวลา 0-42 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

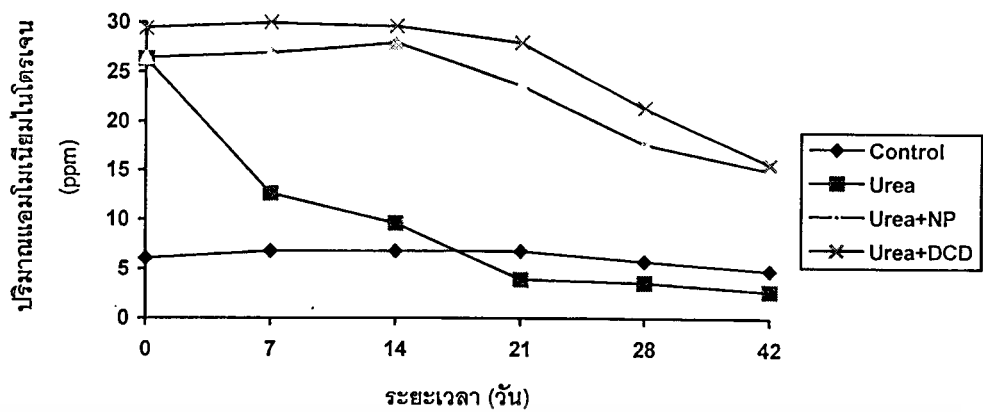
ข้อมูลจากตารางในหัวข้อ 2.2 เมื่อนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของตัวอย่างดินชั้นล่างกับระยะเวลาต่างๆ พบว่าแนวโน้มของความสัมพันธ์เป็นไปในรูปแบบเช่นเดียวกับดินชั้นบน กล่าวคือ ระดับไนโตรเจนทั้งหมดของตัวอย่างดินในตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียและตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์นั้นมีแนวโน้มที่ลดลง ในขณะที่ในตำรับ Control มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นไม่มากเท่าใด

●ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจน (ppm)



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนของตัวอย่างดินชั้นบนกับระยะเวลา 0-42 วัน

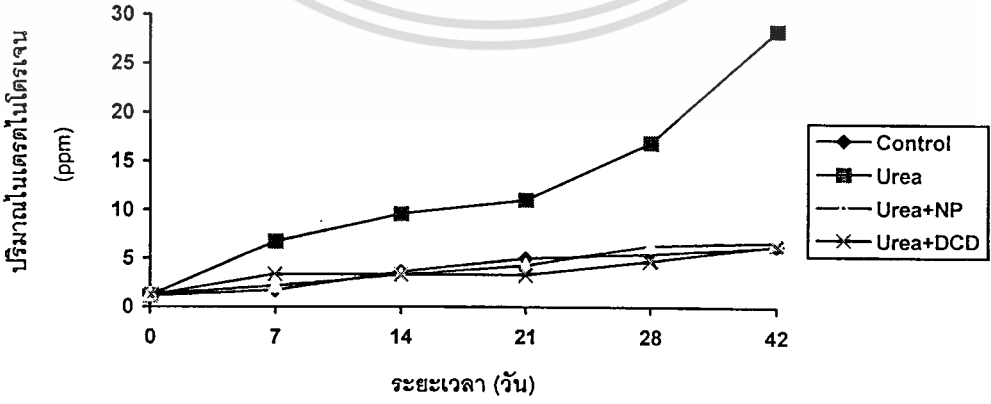
ข้อมูลจากตารางในหัวข้อ 2.2 เมื่อนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนของตัวอย่างดินชั้นบนที่ระยะเวลาต่างๆ พบว่า ในตำรับ Control นั้น ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนมีไม่มากเท่าใด ในขณะที่ตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียลงไปนั้นมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วมาก โดยพบว่า ระดับแอมโมเนียมไนโตรเจนลดลงไปอย่างรวดเร็วในช่วง 7 วันแรกของการทดลอง และค่อยๆ ลดลงเรื่อยๆ จนถึงสิ้นสุดระยะเวลาการทดลอง (42 วัน) ในขณะที่ตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์นั้น ระดับการลดลงของแอมโมเนียมไนโตรเจนเป็นไปอย่างช้าๆ และในช่วงสิ้นสุดการทดลองที่ระยะเวลา 42 วัน ปริมาณของแอมโมเนียมไนโตรเจนลดลงเหลือประมาณครึ่งหนึ่งของปริมาณที่วัดได้ในตอนต้น ซึ่งแสดงถึงความแตกต่างให้เห็นได้อย่างชัดเจนในตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียลงไปนั้นเพียงอย่างเดียว



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนของตัวอย่างดินชั้นล่างกับระยะเวลา 0-42 วัน

ข้อมูลจากตารางในหัวข้อ 2.2 เมื่อนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ร่วมกันระหว่างปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนของตัวอย่างดินชั้นล่างที่ระยะเวลาต่างๆ พบว่า แนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงระดับแอมโมเนียมไนโตรเจนมีลักษณะเช่นเดียวกับดินชั้นบนที่เก็บตัวอย่างที่ระยะเวลาเดียวกัน กล่าวคือ ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนมีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาผ่านไปนานมากขึ้น และผลของการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะมีค่าน้อยมากในตำรับ Control และมีค่ามากที่สุดในการใส่ปุ๋ยยูเรียลงไปดินเพียงอย่างเดียว ส่วนในการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์นั้น ระดับแอมโมเนียมไนโตรเจนที่ลดลงจะมีปริมาณที่น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรีย ลงไปในดินเพียงอย่างเดียว

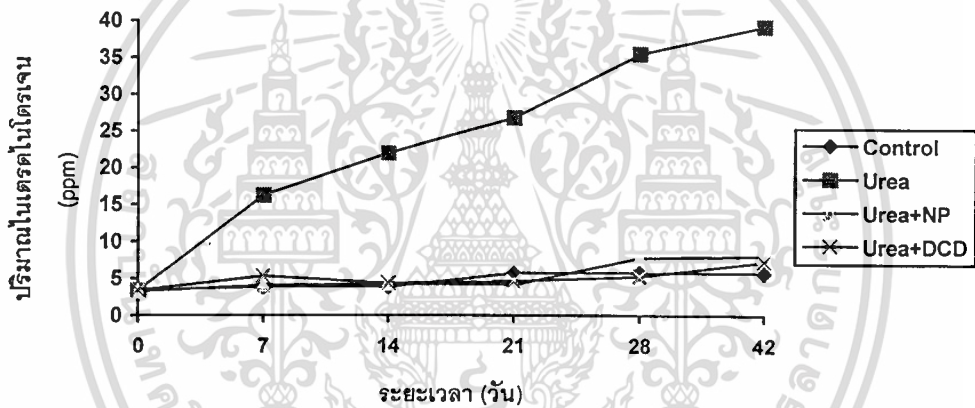
●ปริมาณไนเตรตไนโตรเจน (ppm)



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนเตรตไนโตรเจนของตัวอย่างดินชั้นบนกับระยะเวลา 0-42 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลจากตารางในหัวข้อ 2.2 เมื่อนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนเตรตในโตรเจนของตัวอย่างดินชั้นบนกับระยะเวลาต่างๆ พบว่า แนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงระดับไนเตรตในโตรเจนในตัวอย่างดินมีค่ามากขึ้นเมื่อระยะเวลาผ่านไปนานมากขึ้น (ตั้งแต่ 0-42 วัน) ลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจะเห็นได้อย่างชัดเจนในคำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียลงไปดินเพียงอย่างเดียว โดยพบว่า ในระยะสุดท้ายของการทดลอง (42 วัน) นั้นปริมาณไนเตรตในโตรเจนเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าเดิมหลายเท่าตัว ในขณะที่คำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตริไฟเคชันอินฮิบิเตอร์นั้นมีค่าน้อยกว่ามาก หรือเมื่อเปรียบเทียบกับคำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียเพียงอย่างเดียว ระดับการเปลี่ยนแปลงของไนเตรตในโตรเจนที่เกิดขึ้นก็มีค่าไม่แตกต่างไปจากคำรับ Control เท่าใด



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนเตรตในโตรเจนของตัวอย่างดินชั้นล่างกับระยะเวลา 0-42 วัน

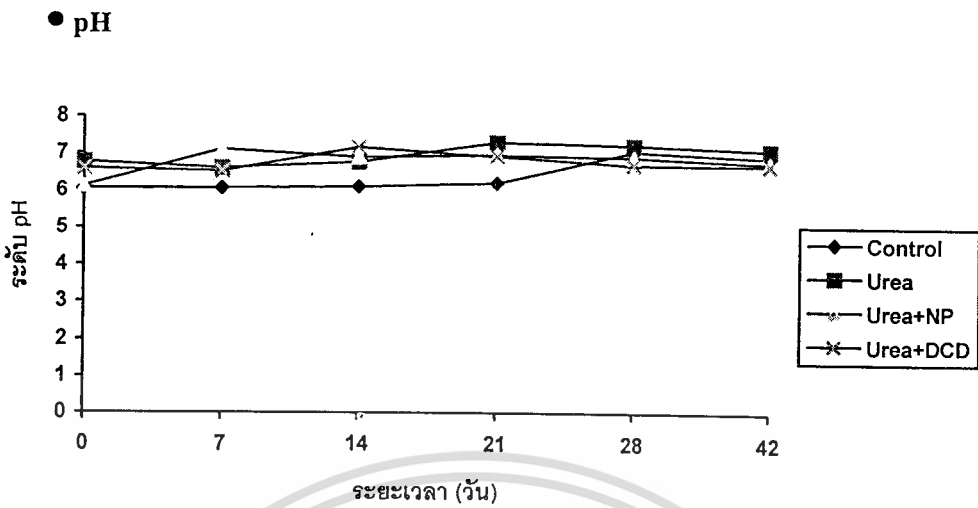
ข้อมูลจากตารางในหัวข้อ 2.2 เมื่อนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนเตรตในโตรเจนของตัวอย่างดินชั้นล่างกับระยะเวลาต่างๆ พบว่า แนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงระดับไนเตรตในโตรเจนเป็นไปในลักษณะเช่นเดียวกับตัวอย่างดินชั้นบนที่สุ่มเก็บขึ้นมาที่ระยะเวลาเดียวกัน กล่าวคือ ปริมาณไนเตรตในโตรเจนที่เพิ่มขึ้นตามระยะเวลานั้นมีความสัมพันธ์กับปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนในตัวอย่างดินที่ลดลง ทั้งนี้เนื่องมาจากการแปรสภาพรูปของไนโตรเจนจากแอมโมเนียมไนโตรเจนไปเป็นไนเตรตไนโตรเจน ดังนั้นจึงพบว่าในคำรับของปุ๋ยยูเรีย ที่ช่วงระยะเวลาเดียวกันจะมีการลดลงของระดับแอมโมเนียมไนโตรเจนเป็นอย่างมาก และพบว่า การเพิ่มขึ้นของระดับไนเตรตในโตรเจนย่อมมากขึ้นด้วยอีกเช่นเดียวกัน ในขณะที่คำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตริไฟเคชันอินฮิบิเตอร์นั้น การเปลี่ยนแปลงของระดับแอมโมเนียมไนโตรเจน

เป็นไปอย่างช้าๆ และไม่ลดลงมาก จึงส่งผลทำให้ปริมาณไนเตรตในโตรเจนที่เกิดขึ้นมีค่าเพิ่มขึ้นไม่มาก และการเพิ่มขึ้นของปริมาณไนเตรตในโตรเจนก็เป็นไปอย่างช้าๆ อีกเช่นเดียวกัน



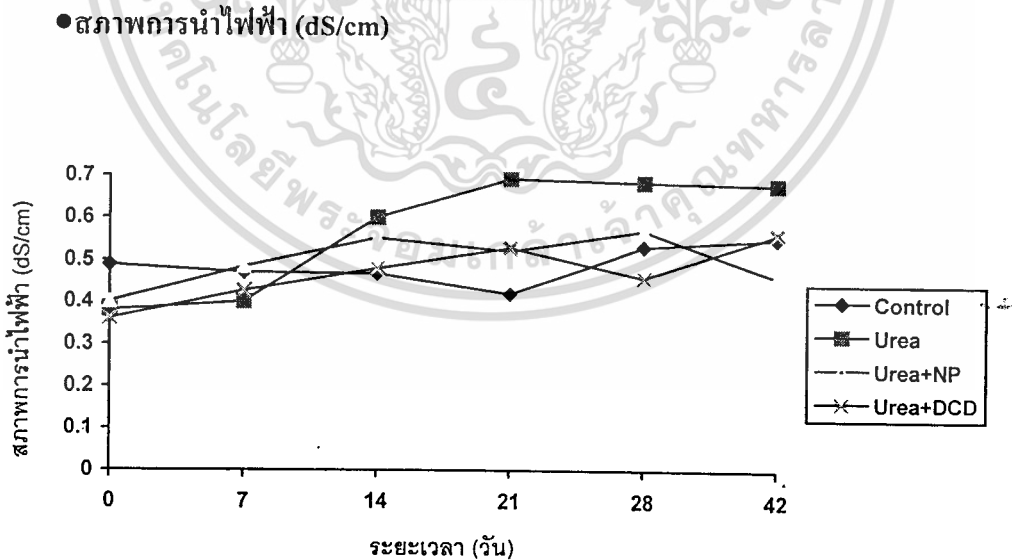
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 ตัวอย่างน้ำ



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับ pH ของตัวอย่างน้ำกับระยะเวลา 0-42 วัน

ข้อมูลจากตารางในหัวข้อ 2.2 เมื่อนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับ pH ของตัวอย่างน้ำที่ระยะเวลาต่างๆ พบว่าค่า pH ในตัวอย่างน้ำมีการเปลี่ยนแปลงไม่มาก โดยในทุกๆ ดำรับการทดลองมีระดับที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน และส่วนใหญ่มีค่า pH อยู่ในช่วงที่เป็นกรดอ่อนๆ จนถึงเป็นกลาง

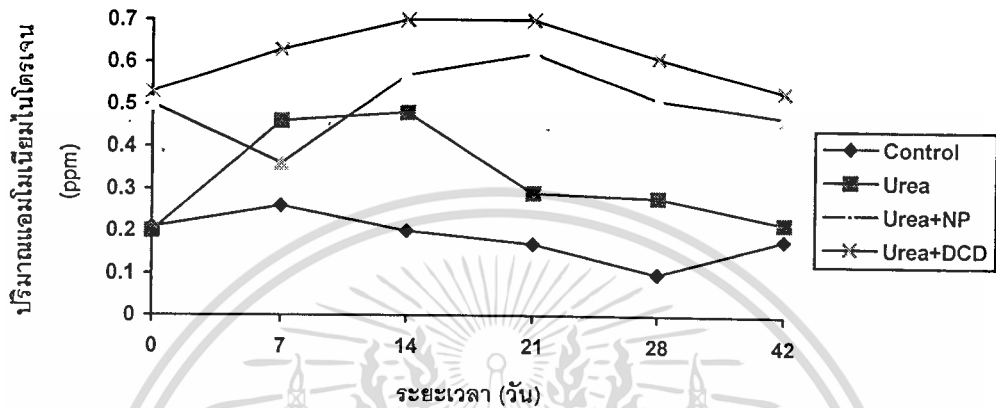


รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างสภาพการนำไฟฟ้าของตัวอย่างน้ำกับระยะเวลา 0-42 วัน

ข้อมูลจากตารางในหัวข้อ 2.2 เมื่อนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าสภาพการนำไฟฟ้าของตัวอย่างน้ำที่ระยะเวลาต่างๆ พบว่า ในดำรับที่มีการใส่
เอกสารเป็นเอกสารทงวนเวลาหรับการเขงานเพื่การศกษาเพนนี้ ไม่นอยู่ให้เนไปเชยระเบงนี้ค่า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปุ๋ยยูเรียลงไปดินเพียงอย่างเดียว มีค่าสภาพการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจากระยะเริ่มต้นที่สูงมากกว่าตัวรับอื่นๆ ในขณะที่อีก 3 ตัวรับการทดลองที่เหลือนั้น สภาพการนำไฟฟ้าที่ระยะสุดท้าย (42 วัน) ของการเก็บตัวอย่างมีค่าไม่แตกต่างออกไปจากที่ระยะเริ่มต้น (0 วัน) เท่าใด

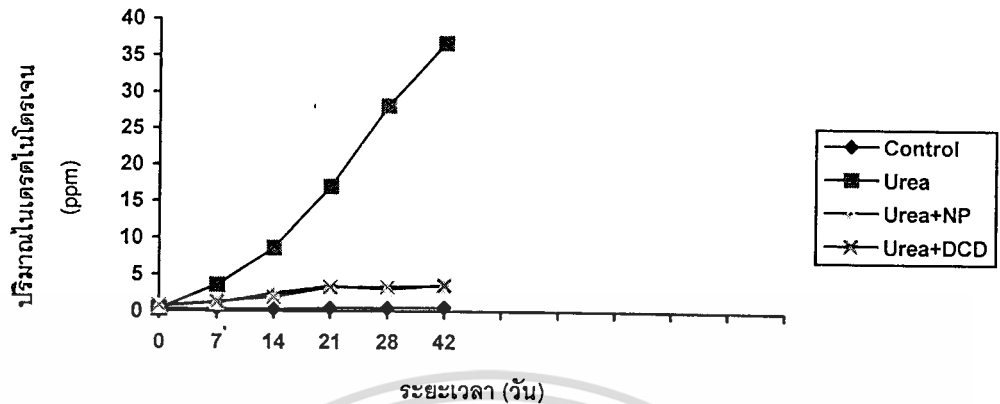
● ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจน (ppm)



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนของตัวอย่างน้ำกับระยะเวลา 0-42 วัน

ข้อมูลจากตารางในหัวข้อ 2.2 เมื่อนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนของตัวอย่างน้ำที่ระยะเวลาต่างๆ พบว่า ในทุกตัวรับการทดลองมีปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนอยู่ค่อนข้างต่ำ โดยเฉพาะในตัวรับ Control ที่ไม่มีการเพิ่มเติมสารใดๆ ลงไปดิน สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะรูปแอมโมเนียมไนโตรเจนในดินนั้นได้ถูกเปลี่ยนแปลงไปอยู่ในรูปของไนเตรตไนโตรเจนจนหมดแล้ว โอกาสที่จะพบอยู่ในชั้นน้ำที่ถูกชะลงมาจากดินจึงเกิดขึ้นได้น้อยมาก

●ปริมาณไนเตรตไนโตรเจน (ppm)



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนเตรตไนโตรเจนของตัวอย่างน้ำกับระยะเวลา 0-42 วัน

ข้อมูลจากตารางในหัวข้อ 2.2 เมื่อนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนเตรตไนโตรเจนของตัวอย่างน้ำที่ระยะเวลาดังกล่าว พบว่า ในตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียลงไปดินเพียงอย่างเดียวมีปริมาณไนเตรตไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นสูงมาก เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับ Control และตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์แล้วพบว่า มีค่าแตกต่างกันมาก สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะในตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียนั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปของแอมโมเนียมไนโตรเจนไปเป็นไนเตรตไนโตรเจนอย่างรวดเร็ว จนต้นหญ้าไม่สามารถดึงดูนำไปใช้ประโยชน์ได้ทัน ประกอบกับไนเตรตไนโตรเจนมีประจุลบจึงถูกดูดซับกับอนุภาคดินได้ไม่ดี เมื่อมีการรดน้ำต้นหญ้าจึงเกิดการสูญเสียติดมากับชั้นน้ำได้ง่ายมากกว่า และอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้

4.7 การใช้รูปแบบจำลอง (Model) ทางคณิตศาสตร์เพื่อแสดงถึงความสัมพันธ์ร่วมของการเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียมและไนเตรตในโตรเจนภายหลังการใช้ในตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ที่ระยะเวลาต่างๆ

จากผลการทดลองทั้งหมดที่ผ่านมา สามารถบ่งชี้ถึงความสัมพันธ์โดยตรงของการเปลี่ยนแปลงระดับแอมโมเนียมและไนเตรตในโตรเจนของตัวอย่างดินและน้ำที่ได้รับอิทธิพลจากการใช้สารในตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ที่ระยะเวลาต่างๆ ตั้งแต่ 0-42 วัน ได้เป็นอย่างดี เพราะฉะนั้นความสัมพันธ์ดังกล่าวจึงสามารถประเมินหรือคาดคะเนออกมาได้ในรูปแบบจำลอง (Model) ทางคณิตศาสตร์แบบง่าย ๆ ที่เรียกว่า “Simple Linear Regression Model” ซึ่งจะอธิบายถึงค่าตัวแปรที่สนใจในการทดลองครั้งนี้ ได้แก่

$$y = a + bx$$

y = ค่าพารามิเตอร์ที่สนใจ (เช่น ปริมาณแอมโมเนียม หรือไนเตรตในโตรเจน ฯลฯ)

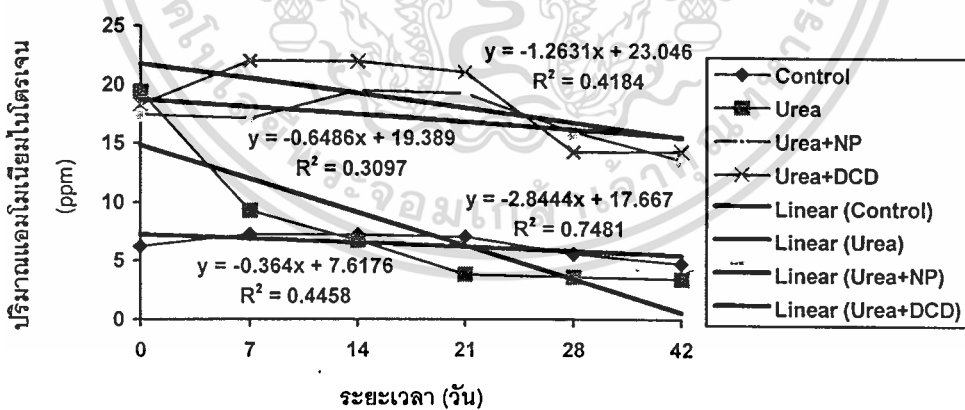
X = ระยะเวลาของการเริ่มลุ่มเก็บตัวอย่าง (0-42 วัน)

a = Intercept (เมื่อ $x = 0$)

b = ค่า Slope ($\Delta y / \Delta x$) ของการเปลี่ยนแปลง

2.4.1 ตัวอย่างดิน

● ปริมาณแอมโมเนียมในโตรเจน (ppm)

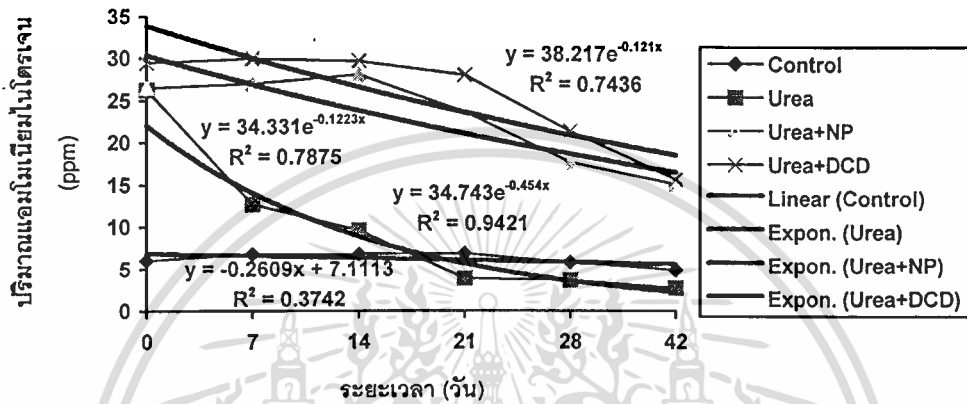


รูปที่ 4.15 รูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปริมาณแอมโมเนียมในโตรเจน (ตัวอย่างดินชั้นบน) กับระยะเวลา 0-42 วัน

ข้อมูลจากกราฟที่ 4.6 เมื่อนำมาประเมินผลตามรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแอมโมเนียมในโตรเจนของตัวอย่างดินชั้นบนที่ระยะเวลา 42 วัน พบว่าเป็นไปตามสมการ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำรับ Control	: $y = -0.364x + 7.6176$	(Linear); $R^2 = 0.4458$
ตำรับ Urea	: $y = -2.8444x + 17.667$	(Linear); $R^2 = 0.7481$
ตำรับ Urea + NP	: $y = -0.6486x + 19.389$	(Linear); $R^2 = 0.3097$
ตำรับ Urea + DCD	: $y = -1.2631x + 23.046$	(Linear); $R^2 = 0.4184$

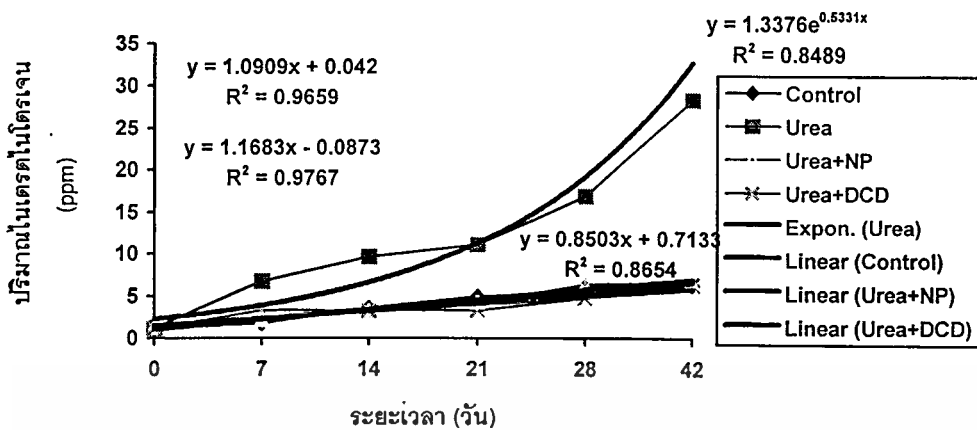


รูปที่ 4.16 รูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจน (ตัวอย่างดินชั้นล่าง) กับระยะเวลา 0-42 วัน

ข้อมูลจากกราฟที่ 4.8 เมื่อนำมาประเมินผลหรือคาดคะเนตามรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนของตัวอย่างดินชั้นล่างที่ระยะเวลา 0-42 วัน พบว่ามีลักษณะที่เป็นไปตามสมการ ดังนี้

ตำรับ Control	: $y = -0.2609x + 7.113$	(Linear)	; $R^2 = 0.3742$
ตำรับ Urea	: $y = 34.743e^{-0.454x}$	(Exponential)	; $R^2 = 0.9421$
ตำรับ Urea + NP	: $y = 34.331e^{-0.1223x}$	(Exponential)	; $R^2 = 0.7875$
ตำรับ Urea + DCD	: $y = 38.217e^{-0.121x}$	(Exponential)	; $R^2 = 0.7436$

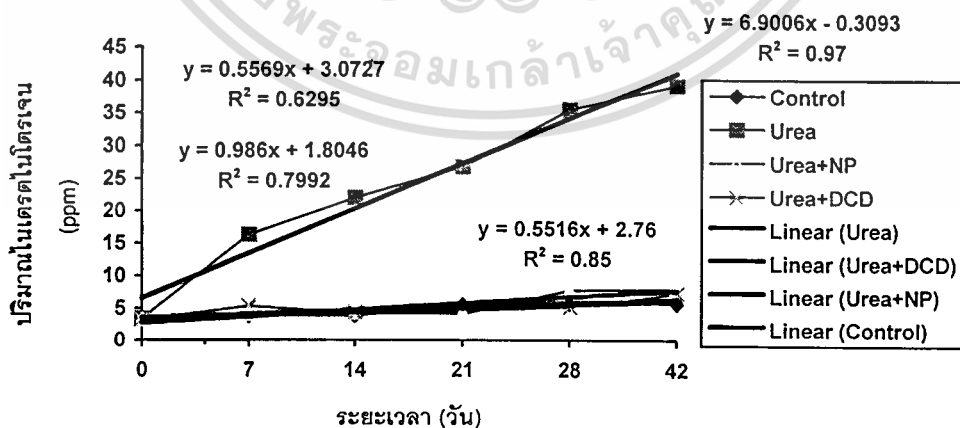
●ปริมาณไนเตรดไนโตรเจน (ppm)



รูปที่ 4.17 รูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปริมาณไนเตรดไนโตรเจน (ตัวอย่างดินชั้นบน) กับระยะเวลา 0-42 วัน

ข้อมูลจากกราฟที่ 4.9 เมื่อนำมาประเมินหรือต้องการคาดคะเนเป็นรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนเตรดไนโตรเจนของตัวอย่างดินชั้นบนที่ระยะเวลา 0-42 วัน พบว่าเป็นไปตามสมการ ดังต่อไปนี้

คำรับ Control	: $y = 1.0909x + 0.042$	(Linear)	; $R^2 = 0.9659$
คำรับ Urea	: $y = 1.3376e^{0.5331x}$	(Exponential)	; $R^2 = 0.8489$
คำรับ Urea + NP	: $y = 1.1683x - 0.0873$	(Linear)	; $R^2 = 0.9767$
คำรับ Urea + DCD	: $y = 0.8503x + 0.7133$	(Linear)	; $R^2 = 0.8654$



รูปที่ 4.18 รูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปริมาณไนเตรดไนโตรเจน (ตัวอย่างดินชั้นล่าง) กับระยะเวลา 0-42 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลจากกราฟที่ 4.10 เมื่อนำมาประเมินผลหรือต้องการสร้างเป็นรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนโตรเจนของตัวอย่างดินชั้นล่างที่ระยะเวลา 0-42 วัน พบว่าเป็นไปตามสมการ ดังนี้

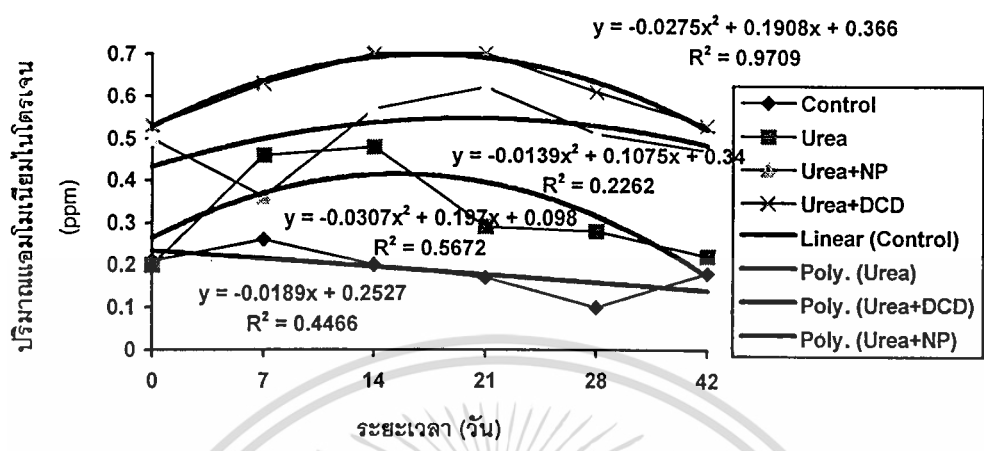
ตำรับ Control	: $y = 0.5516x + 2.76$	(Linear); $R^2 = 0.85$
ตำรับ Urea	: $y = 6.9006x - 0.3093$	(Linear); $R^2 = 0.97$
ตำรับ Urea + NP	: $y = 0.986x + 1.8046$	(Linear); $R^2 = 0.7992$
ตำรับ Urea + DCD	: $y = 0.8503x + 0.7133$	(Linear); $R^2 = 0.6295$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 ตัวอย่างน้ำ

●ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจน (ppm)

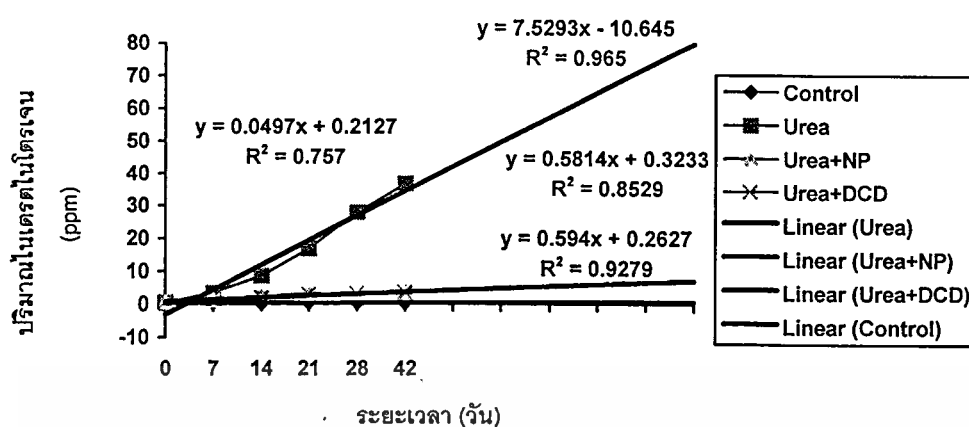


รูปที่ 4.19 รูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจน (ตัวอย่างน้ำ)กับระยะเวลา 0-42 วัน

ข้อมูลจากกราฟที่ 4.13 เมื่อนำมาประเมินผลหรือคาดคะเนตามรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนของตัวอย่างน้ำที่ระยะเวลา 0-42 วัน พบว่าเป็นไปตามสมการ ดังนี้

- ค่ารับ Control : $y = -0.0189x + 0.2527$ (Linear) ; $R^2 = 0.4466$
- ค่ารับ Urea : $y = -0.0307x^2 + 0.197x + 0.098$ (Polynomial) ; $R^2 = 0.5672$
- ค่ารับ Urea + NP : $y = -0.0139x^2 + 0.1075x + 0.34$ (Polynomial) ; $R^2 = 0.2262$
- ค่ารับ Urea + DCD : $y = -0.0275x^2 + 0.1908x + 0.366$ (Polynomial) ; $R^2 = 0.9709$

●ปริมาณไนเตรตไนโตรเจน (ppm)



รูปที่ 4.20 รูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปริมาณไนเตรตไนโตรเจน(ตัวอย่างน้ำ) กับระยะเวลา 0-42 วัน

ข้อมูลจากกราฟที่ 4.14 เมื่อนำมาประเมินผลหรือต้องการคาดคะเนออกมาเป็นรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่แสดงถึงความสัมพันธ์ร่วมกันระหว่างปริมาณไนเตรตไนโตรเจนของตัวอย่างน้ำที่ระยะเวลา 42 วัน พบว่าเป็นไปตามสมการ ดังนี้

ตำรับ Control	: $y = 0.0497x + 0.2127$	(Linear)	; $R^2 = 0.457$
ตำรับ Urea	: $y = 7.5293x - 10.645$	(Linear)	; $R^2 = 0.965$
ตำรับ Urea + NP	: $y = 0.5814x + 0.3233$	(Linear)	; $R^2 = 0.8529$
ตำรับ Urea + DCD	: $y = 0.594x + 0.2627$	(Linear)	; $R^2 = 0.9279$

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีทั่วไปของดินและน้ำที่ซึมเก็บตัวอย่างขึ้นมาจากสนามกอล์ฟ และจากรูปแบบจำลองสนามกอล์ฟที่ได้จัดทำขึ้นในภาคสนาม (เปรียบเสมือนเป็นห้องปฏิบัติการ) มีรายละเอียดดังนี้

1. การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของตัวอย่างดินในพื้นที่สนามกอล์ฟจริง พบว่าค่า pH ของดินโดยทั่วไปค่อนข้างเป็นกรด และเป็นมีสภาพกรดมากขึ้นเมื่อพื้นที่ต่ำลง ในบริเวณ Catch Basin (pH 3.72-4.67) สาเหตุหนึ่งที่ดินเป็นกรดนั้นสืบเนื่องมาจากการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน และอิทธิพลของกระบวนการชะล้างเป็นประการสำคัญ โดยเฉพาะกระบวนการชะล้างที่เกิดขึ้นจะส่งผลทำให้ธาตุอาหารประจุบวกพวก K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} และ Na^+ มีปริมาณสะสมอยู่ค่อนข้างต่ำ เพราะธาตุอาหารเหล่านี้จะถูกชะล้างออกไปจากดินได้ง่ายมาก ในขณะที่เดียวกันปริมาณ Al^{3+} และ Fe^{3+} จะละลายน้ำได้ยากและก่อให้เกิดการสะสมอยู่ในดินได้มากขึ้น การสะสมตัวของสารพิษ Al^{3+} และ Fe^{3+} ถ้าเกิดขึ้นในปริมาณที่มากเกินไปจะแสดงความเป็นพิษหรืออันตรายต่อพืชได้ นอกจากปริมาณการสะสมของธาตุอาหารประเภทต่างๆที่กล่าวมาแล้วนี้ เรายังพบว่าอิทธิพลของกระบวนการชะล้างมีผลกระทบต่อปริมาณของแอมโมเนียมไนโตรเจนและไนเตรตไนโตรเจน ซึ่งจัดเป็นประเด็นสำคัญในการศึกษาครั้งนี้ โดยพบว่า บริเวณพื้นที่เก็บตัวอย่างซึ่งเป็นที่สูง (Green) จะมีปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนสะสมอยู่สูง (เฉลี่ย 11.02 ppm) มากกว่าพื้นที่ราบ Fairway (5.67 ppm) และพื้นที่ต่ำ Catch Basin (4.09 ppm) ตามลำดับ ในขณะที่ปริมาณไนเตรตไนโตรเจนกลับมีปริมาณมากที่สุดในพื้นที่ต่ำ Catch Basin (6.02 ppm) สาเหตุที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะรูปแอมโมเนียม ไนโตรเจนนั้น สามารถถูกดูดซับโดยอนุภาคดินที่มีประจุลบได้มากกว่าไนเตรตไนโตรเจนซึ่งอยู่ในรูปประจุลบ และจากสาเหตุเช่นนี้ร่วมกับอิทธิพลของกระบวนการชะล้างจึงส่งผลทำให้ไนเตรต ไนโตรเจนสามารถแทรกซึมลงไปสู่ระดับชั้นดินที่ลึกกว่า และมีโอกาสจะลงไปสู่ระดับน้ำใต้ดินได้ง่าย นอกจากนี้ยังมีโอกาสแทรกซึมไปยังแหล่งน้ำผิวดินในบริเวณพื้นที่ใกล้เคียงได้อีกด้วย ในขณะเดียวกันก็พบว่า การศึกษาปริมาณไนเตรตไนโตรเจนและ pH ในแหล่งน้ำที่สำคัญๆ ภายในพื้นที่สนามกอล์ฟนั้น พบว่าค่า pH มีค่าเป็นกรดเล็กน้อย (pH 6.40) ส่วนปริมาณไนเตรตไนโตรเจนในน้ำนั้นมีค่าอยู่ในช่วง 9.93-40.27 ppm ทั้งนี้สาเหตุอาจเกิดจากการที่มีการรดน้ำต้นหญ้า แล้วมีการชะล้างปุ๋ยบางส่วนลงสู่แหล่งน้ำโดยตรง หรือเกิดขึ้นจากการแทรกซึมลงสู่แหล่งน้ำผิวดินโดยอิทธิพลของกระบวนการชะล้างตามที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น และส่งผลทำให้แหล่งน้ำนั้นมีปริมาณไนเตรตไนโตรเจน เกินค่ามาตรฐานแหล่งน้ำผิวดิน ซึ่งกำหนดโดยกระทรวง

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คือ 5 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารทงส่วนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของตัวอย่างดินและน้ำที่รองรับออกมาจากกระบวนการชะล้าง ภายใต้การทดลองในสภาพของรูปแบบจำลองพื้นที่สนามกอล์ฟ โดยอาศัยการสุ่มเก็บตัวอย่างที่ระยะเวลา 0, 7, 14, 21, 28 และ 42 วัน ตามลำดับ พร้อมกับกำหนดการทดลองที่ต่างกัน 4 ลักษณะ คือ ดำรับ Control ดำรับปุ๋ยยูเรีย ดำรับปุ๋ยยูเรีย+ไนโตรไฟริน และดำรับปุ๋ยยูเรีย+โดไฮซานโดอาไมด์ พบว่าที่ระยะเวลาการเก็บตัวอย่างสุดท้าย (42 วัน) นั้น ปริมาณไนเตรตไนโตรเจนของตัวอย่างดินและน้ำในดำรับของปุ๋ยยูเรียมีค่ามากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 39.23 และ 36.72 ppm ตามลำดับ ในขณะที่ในดำรับของการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับไนโตรฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ไนโตรไฟรินนั้น ปริมาณไนเตรตไนโตรเจนที่วัดได้ที่ระยะเวลา 42 วัน มีระดับที่ต่ำกว่ามาก ประมาณ 8.021 และ 3.48 ppm ของตัวอย่างดินและน้ำ ตามลำดับ ส่วนในดำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรีย ร่วมกับไนโตรฟิเคชันอินฮิบิเตอร์โดไฮซานโดอาไมด์ จะมีปริมาณไนเตรตไนโตรเจนสะสมอยู่เฉลี่ยประมาณ 7.29 และ 3.49 ppm ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำอีกเช่นกัน (สำหรับตัวอย่างดินและน้ำ ตามลำดับ) ส่วนในดำรับ Control นั้น การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เกิดขึ้นไม่มาก

จากผลการศึกษาดังกล่าวจะระบุได้อย่างชัดเจนว่า การใส่ไนโตรฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ลงไปร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจนในดิน สามารถช่วยยับยั้งไม่ให้เกิดไนเตรตไนโตรเจนจากกระบวนการชะล้าง ซึ่งอาจแทรกซึมลงสู่ชั้นน้ำในปริมาณที่มากเกินไป บทบาทของไนโตรฟิเคชันอินฮิบิเตอร์จะเข้าไปขัดขวางการทำงานของจุลินทรีย์ภายในดิน โดยทำให้เกิดสภาพที่เป็นกรดขึ้นกับจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดกระบวนการไนโตรฟิเคชัน และทำให้รูปของไนโตรเจนยังคงอยู่ในรูปแอมโมเนียมไนโตรเจน ซึ่งดูดยึดอยู่ในดินได้ดีกว่ารูปไนเตรตไนโตรเจน โดยพบว่าในสภาพการทดลองดังกล่าวจะเริ่มมีการเปลี่ยนรูปของแอมโมเนียมไนโตรเจนไปเป็นไนเตรตไนโตรเจนในช่วงระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง 28 วัน ดังนั้นต้นหญ้าภายในพื้นที่สนามกอล์ฟจึงสามารถดึงดูดธาตุอาหารไนโตรเจนในดินจากรูปแอมโมเนียมไนโตรเจนนี้ไปใช้ประโยชน์ได้ทัน และรูปแอมโมเนียมไนโตรเจนจะเหลือตกค้างหรือเปลี่ยนเป็นไนเตรตไนโตรเจนได้น้อยกว่า จึงเกิดการสูญหายออกไปจากดินโดยกระบวนการชะล้างที่ต่ำกว่า โดยถ้าเปรียบเทียบกับดำรับที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียเพียงอย่างเดียวแล้ว กลับพบว่าการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนโดยกระบวนการไนโตรฟิเคชัน จากแอมโมเนียมไนโตรเจนไปเป็นไนเตรตไนโตรเจนจะเกิดขึ้นในช่วงระยะเวลาการเก็บตัวอย่างเพียง 7 วันเท่านั้น และเมื่อเวลามากขึ้นปริมาณไนเตรตไนโตรเจนจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และสูญหายออกไปจากดินโดยกระบวนการชะล้างลงสู่ชั้นน้ำ และส่งผลทำให้ชั้นน้ำมีปริมาณไนเตรตไนโตรเจนที่เกินค่ามาตรฐานแหล่งน้ำผิวดิน

3. ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงรูปของแอมโมเนียมไนโตรเจน และไนเตรตไนโตรเจนของตัวอย่างดินและน้ำสัมพันธ์โดยตรงกับระยะเวลา นอกจากนี้ยังสามารถชี้บ่งหรือคาดคะเนความสัมพันธ์ดังกล่าว ออกมาในรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Model) ได้ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ตัวอย่างดิน ดำรับ Urea + NP ; สมการ $y = 0.986x + 1.8046$; $R^2 = 0.7992$
 ดำรับ Urea + DCD ; สมการ $y = 0.8503x + 0.7133$; $R^2 = 0.6295$
- ตัวอย่างน้ำ ดำรับ Urea + NP ; สมการ $y = 0.05814x + 0.3233$; $R^2 = 0.8529$
 ดำรับ Urea + DCD ; สมการ $y = 0.594x + 0.2627$; $R^2 = 0.9279$

เมื่อกล่าวสรุปถึงอิทธิพลของไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ทั้ง 2 ตัว คือ ไนตราไพรีน และไดไฮยา-ไนโดอาไมด์ ที่มีผลต่อกระบวนการไนตริฟิเคชันภายในดิน พบว่ามีประสิทธิภาพไม่แตกต่างกัน เนื่องจากพารามิเตอร์ที่ตรวจวัดได้ในแต่ละดำรับการทดลอง ที่ช่วงระยะเวลาการเก็บตัวอย่างตั้งแต่ 0-42 วันนั้น มีค่าที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน ในการศึกษาครั้งนี้จึงถือว่าประสิทธิภาพของไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ทั้ง 2 ตัว เท่าเทียมกัน



ข้อเสนอแนะ

1. ผลการทดลองที่ได้จากรูปแบบจำลองสนามกอล์ฟในครั้งนี้ ยังเป็นข้อมูลที่ไม่สามารถยืนยันได้กับสภาพธรรมชาติโดยตรง ทั้งนี้เนื่องจากในสภาพธรรมชาติจริงๆ นั้น น้ำที่ไช่รดต้นหญ้า นอกจากจะไหลลงผ่านชั้นดินแล้ว ยังอาจไหลบ่าไปตามผิวดินและลงสู่แหล่งน้ำโดยตรง รวมถึงยังมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปริมาณฝนที่ตก ซึ่งมีผลต่อการเจือจางปริมาณธาตุอาหารต่างๆ ในแหล่งน้ำ ในขณะที่ตามรูปแบบจำลองสนามกอล์ฟนั้นไม่ได้ปฏิบัติในช่วงฤดูฝน และน้ำที่ไช่รดต้นหญ้าส่วนใหญ่จะไหลลงผ่านชั้นดินเพียงอย่างเดียวเพื่อไปสู่ภาชนะรองรับที่ด้านล่าง ดังนั้นพารามิเตอร์ต่างๆ อาจมีค่าที่สูงหรือต่ำกว่าในสภาพธรรมชาติ แต่ความแตกต่างนั้นคงเกิดขึ้นไม่มาก และแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ที่วัดได้จากสภาพทั้งสองจึงควรเป็นไปในลักษณะเดียวกัน

2. การใส่สารไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ลงไปในดินนั้น จะทำให้ pH ของดินเป็นกรดมากขึ้น ดังนั้นจึงควรมีการปรับปรุงสภาพดินอยู่เสมอ โดยการเติมปูนขาวลงไปในดิน เพื่อไม่ให้ระดับ pH ลดต่ำลงไป

3. สารยับยั้งไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์นั้นมีราคาที่สูง การที่จะใส่ลงไปด้วยกับปุ๋ยในพื้นที่กว้างๆ ของสนามกอล์ฟ ต้องเสียค่าใช้จ่ายที่สูง ดังนั้นจึงควรมีการพัฒนาสารตัวอื่นๆ ที่มีคุณสมบัติเป็นไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ที่มีราคาถูกกว่า เพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่าย และยังเป็นการช่วยกันรักษาสภาพสิ่งแวดล้อมของคุณภาพดินและน้ำในสนามกอล์ฟ และพื้นที่บริเวณข้างเคียงอีกด้วย

บรรณานุกรม

- [1.] กระทรวงสาธารณสุข. 2535. คู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : สมาคมวิศวกร
สิ่งแวดล้อมไทย
- [2.] กองวิเคราะห์ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน. 2535. ปฏิบัติการวิเคราะห์ดินของกลุ่มเคมีดินที่ 2.
กรุงเทพฯ: กองวิเคราะห์ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน.
- [3.] ถวิล ครุฑกุล. 2538. ดิน ปุ๋ย เพื่อการเพาะปลูก. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : ภาควิชาปฐพี
วิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [4.] ธรรมนูญ โรจนะบุรานนท์ และคณะ. 2536. "การศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับการตกค้างของสารเคมี
ในหญ้า ดิน น้ำ และตะกอน บริเวณสนามกอล์ฟ." วารสารสวสท.2536. 77-88.
- [5.] นวรัตน์ ไกรพานนท์ และ อัญญาพร ไกรพานนท์. 2536. สนามกอล์ฟกับสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ
: กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.
- [6.] พิตยา ว่องกุล. 2537. สถานการณ์สิ่งแวดล้อมไทย 2537. กรุงเทพฯ : อมรินทร์พริ้นติ้งพับลิชชิ่ง
จำกัด.
- [7.] วิรัตน์ ภูวิวัฒน์. 2530. หญ้าสนามและสนามหญ้า. กรุงเทพฯ : คณะเทคโนโลยีการเกษตร
เจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง.
- [8.] Ambenger, A. 1981. "Dicyandiamide as Nitrification Inhibitor." In Proceedings of the
Technical Workshop on Dicyandiamide (R.D.Hauck and H.Behnke , eds). 3-17.
- [9.] Ashworth, J. 1986. "Nitrification Inhibitor by Nitrapyrin and Volatile Sulfur Compounds." *Soil Sci. Soc. Am. J.* vol.50:268-269.
- [10.] Ashworth, J., Akerboom, M. Helen and Cropin, J.M. 1980. "Inhibition by Xanthates of
Nitrification and Urea Hydrolysis in Soil." *Soil Sci. Soc. Am. J.* vol. 44:1247-
1249.
- [11.] Bartlett, J. 1981. "Nonmicrobial Nitrite-to-Nitrate Transformation in Soil." *Soil Sci.*
Soc. Am. J. vol.45 : 1054-1058.
- [12.] Bauder, J.W. , Sinclair, K.N. and Lund, R.E. 1993. "Physiographic and Land Use
Characteristics Associated with Nitrate Nitrogen in Montana Groundwater." *J. Environ. Qual.* vol.22:255-262.
- [13.] Bergstrom, L. 1995. "Leaching of Dichlorprop and Nitrate in Structured Soil." *Environmental Pollution.* vol. 87 : 189-195.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [14.] Bhat, K.K.S. , Flower, T.H. and O'Callaghan, J.R. 1983. "A Model for the Simulation of the Fate of Nitrogen in Farm Wastes on Land Application." J. Agric. Sci. vol. 94 : 183-193.
- [15.] Bremner, J.M. 1965. "Nitrogen ed. in Black , C.A.". Method of Soil Analysis Part 2. Chemical and Microbiological Properties. American of Agronomy Monograph No. 9 Madision, Wisconsin. 699-799.
- [16.] Bremner, J.M. and Yeomans, J.C. 1986. "Effects of Nitrification Inhibitors on Denitrification of Nitrate in Soil." Biology and Fertility of Soils. vol.2 : 173-179.
- [17.] Briggs, G.C. 1975. "The Behavior of the Nitrification Inhibitors "N-Serve" in Broadcast and Incorporated Application to Soil." J. Sci. Food Agric. vol.26 : 1083-1092.
- [18.] Bundy, L.G. and Bremner, J.M. 1973. "Inhibitor of Nitrification in Soils." Soil Sci. Soc. Am. Proc. vol. 37 : 396-398.
- [19.] Bundy, L.G. and Bremner, J.K. 1974. "Effect of Nitrification Inhibitors on Transformation of Nitrogen in Soils." Soil Biology and Biochemistry. vol. 6 : 369-376.
- [20.] Carley, B.N. and Mavicnic, D.S. 1991. "The Effects of External Carbon Loading on Nitrification and Denitrification of a High-Ammonia Landfill Leachate." Res. J. Water Pollut. Control Fed. vol. 63 January/February : 51-59.
- [21.] Chang, C. and Entz, T. 1996. "Nitrate Leaching Losses Under Repeated Cattle Feedlot Manure Applications in Southern Alberta." J. Environ. Qual.vol. 25 : 145-153.
- [22.] Coleman, N.T. and Thomas, G.W. 1967. "The basic chemistry of soil acidity". In R.W. Pearson and F. Adams(ed.). Soil acidity and liming. Am. Soc. of Agron., Inc, Madision. Wis. no. 12 : 131-141.
- [23.] Dancer, W.S., Peterson, L.A. and Chester, G. 1973. "Ammonification and Nitrification of N as Influenced by Soil pH and Previos N Treatments." Soil Sci. Soc. Am. Proc. vol. 37 : 67-69.

- [24.] Davies, D.M. and Williams, D.M. 1995. "The Effect of the Nitrification Inhibitor Dicyandiamide on Nitrate Leaching and Ammonia Volatilization : A U.K. Nitrate Sensitive Areas Perspective." *Journal of Environmental Management*. vol. 45 : 263-272.
- [25.] Dommergues, Y.R., Belser, L.W. and Schmidt, E.I. 1998. "Limiting Factors for Microbial Growth and Activity in Soil." *Adv. Microb. Eco.* vol.2 : 49-105.
- [26.] Federer, C.A. 1983. "Nitrogen Mineralization and Nitrification : Depth Variation in Four New England Forest Soils." *Soil Sci. Soc. Am. J.* vol. 47 : 1008-1014.
- [27.] Frederick, L.R. 1956. "The Formation of Nitrate from Ammonium Nitrogen in Soils : I Effect of Temperature." *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* vol. 20 : 496-500.
- [28.] Gilmour, J.T. 1984. "The Effect of Soil Properties on Nitrification and Nitrification Inhibition" *Soil Sci. Soc. Am. J.* vol.48 : 1262-1266.
- [29.] Goring, C.A. 1962a. "Control of Nitrification by 2-chloro-6-trichloro-(trichloromethyl) pyridine." *Soil Sci.* vol. 93 : 211-218.
- [30.] Goring, C.A. 1962b. "Control of Nitrification of Ammonium Fertilizers and Urea by 2-Chloro-6-(trichloromethyl)-pyridine." *Soil.Sci.* vol. 93 : 431-439.
- [31.] Hartemink Alfred, E., Buresh, R.J., Bashir, J.M. and Janssen, B.H. 1996. "Soil Nitrate and Water Dynamics in Sesbania Fallows, Weed Fallow and Maize." *Soil Science Society American Journal*. vol. 60 : 568-574.
- [32.] Hauck, R.D. 1980. "Mode of Action of Nitrification Inhibitors." In *Nitrification Inhibitors-Potential and Limitation* (R.D. Hauck, ed.) *Am. Soc. Agron. Pub.* Madision, WI, U.S.A. no. 38 : 19-32.
- [33.] Hendrickson, L.L., Keeney, D.R., Walsh, L.M. and Liegel, F.A. 1978. "Evaluation of Nitrapyrin as Means of Improving Nitrogen Efficiency in Irrigated Sands." *Agron. J.* vol. 70 : 699-704.
- [34.] Hendrickson, L.L. and Keeney, D.R. 1979. "Effect of some physical and chemical factors on the rate of hydrolysis of nitrapyrin (N-SERVE)." *Soil Biol. Biochem.* vol. 11 : 47-50.
- [35.] Jackson W.A. 1978. "Critique of Factors Influencing Nitrate Acquisition by Plants : Assimilation and Fate of Reduced Nitrogen." In D.R. Nielson and J.G. McDonald (ed.). *Nitrogen in the Environment*, vol. 2 : 45-88.

- [36.] Jolley, V.D. and Pierre, W.H. 1977. "Soil Acidity from Long-Term Use of Nitrogen Fertilizer and Its Relationship to Recovery of Nitrogen." *Soil Sci. Soc. Am. J.* vol. 41 : 368-393.
- [37.] Jordán, C., Mihalyfalvyt, E., Garrett, M.K. and Smith, R.V. 1994. "Modelling of Nitrate Leaching on a Regional Scale Using a GIS." *Journal of Environmental Management*. vol. 42 : 279-298.
- [38.] Kinjo, T. and Pratt, P.F. 1971. "Nitrate Adsorption : I. In Some Acid Soils of Mexico and South America." *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* vol. 350 : 722-725.
- [39.] Kurtz, L.T. 1991. "Potential for Nitrogen Loss." In *Nitrification Inhibitors - Potential and Limitation* (R.D. Hauck, ed.) *Am. Soc. Agron. Pub.* *Soil Sci. Soc. Am.*, Madision, WI, U.S.A. no. 38 : 1-17.
- [40.] Laskowski, D.A. and Bidlack, H.D. 1977. "Nitrification Recovery in Soil After Inhibition with Nitrapyrin." *Dow Earth.* vol.33 : 12-17.
- [41.] McInnes, K.J., Ferguson, R.B., Kissel, D.E. and Kanemasu, E.T. 1986. "Ammonia Loss from Applications of Urea-Ammonium Nitrate Solution to Straw Residue." *Soil Sci. Soc. Am. J.* vol. 50 : 569-574.
- [42.] McLaughlin, R. 1994. "Are Golf Courses Handicapping Coastal Water Quality?" *Water Environment and Technology*, July : 21.
- [43.] Meisinger, J.J. and Randall, G.W. 1980. *Nitrification Inhibitors Potentials and Limitation*. Chicago : Madision, Wisconsin.
- [44.] Mosier, A.R., Guenzi, W.D. and Schweizer, E.E. 1986. "Field Denitrification Estimation by Nitrogen-15 and Acetylene Inhibition Techniques." *Soil Sci. Soc. Am. J.* vol. 50 : 831-833.
- [45.] Okajima, H. and Taniyama, I. 1980. "Significance of Mass Flow in Nitrate Nitrogen Supply to Plant Roots." *Soil Sci. Plant Nutr.* vol. 26 : 363-374.
- [46.] Poolpipatana, S. 1994. "SOILSOLN : A Computer Program for Modelling Speciation of Soil Solution." Paper. Faculty of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology, Ladkrabang, Bangkok. 1-14.
- [47.] Poolpipatana, S. 1992. "The Effectiveness and Subsequent Impacts of Nitrification Inhibitor on I : Nitrification Pattern in Acid Soils." *Songklanakarin J. Sci. Technol*, vol.14, no. 3, September : 271-277.

- [48.] Ranney, T.A. and Bartlett, R.J. 1972. "Rapid Field Determination of Nitrate in Natural Waters." *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* vol. 3 : 183-186.
- [49.] Robertson, G.P. et.al. 1982. *Nitrogen Cycling in Ecosystems of Latin America and the Caribbean*. Netherlands : Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk.
- [50.] Russell, E.W. 1973. "The Nitrogen Cycle in the Soil." In *Soil Condition and Plant Growth*. Longman, London. 328-342.
- [51.] Sabey, B.R. 1969a. "Influence of Soil Moisture on Nitrate Accumulation in Soils." *Soil Sci.Soc. Am. Proc.*vol. 33 : 263-266.
- [52.] Sabey, B.R. 1969b. "Formation of Nitrate from Ammonium Nitrogen in Soils : IV Use of the Delay and Maximum Rate Phases for Making Quantitative Predictions." *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* vol. 33 : 276-278.
- [53.] Schmidt, E.L. 1982. "Nitrification in Soil." In F.J. Stevenson et al.(ed.) *Nitrogen in Agricultural Soils. Agronomy*. vol. 22 : 253-288.
- [54.] Shimizu, T.1986. "Five-Membered Ring Heterocyclic Compounds as Nitrification Inhibitions" *Soil Sci. Plant Nutr.* vol.32, no.2, October : 255-264.
- [55.] Smith, C.J.and Chalk, P.M. 1979. "Gaseous Nitrogen Evolution During Nitrification of Ammonium Fertilizer and Nitrite Transformation in Soils." *Soil Sci. Soc. Am. J.* vol. 44 : 277-282.
- [56.] Tanji, K.K. 1982. "Modelling of Soil Nitrogen Cycle." In F.J. Stevenson et al. (ed.) *Nitrogen in Agricultural Soils. Agronomy*. vol. 22 : 721-772.
- [57.] Walkley, A. and Black, I.A. 1934. "Anion Examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method." *Soil.Sci.* 37 : 29-38.
- [58.] Wetselaar, R., Passioura, J.B.and Singn, B.R. 1972. "Consequences of Banding Nitrogen Fertilizers in Soil." *Plant Soil.* vol. 36 : 159-175.
- [59.] Wolt,J. 1987. " Soil solution, documentation, source code and program key version 4.1.University of Tennessee Research Report, University of Tennessee. Knoxville. TN. 32.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

วิธีทดลอง

ตัวอย่างดิน

1. ค่า pH

pH ของดินเป็นค่าของไฮโดรเจน $[H^+]$ ที่แตกตัวได้ในสารละลายดิน (Soil solution) ซึ่งจะอยู่ในรูปที่ไม่สมดุลกับ H^+ ที่ไม่แตกตัว (Nonionized) ที่ถูกดูดซับอยู่กับอนุภาคของดิน ค่า pH ของดินจึงเป็น Intensity factor กล่าวคือ บ่งบอกถึงระดับความรุนแรงของกรด แต่จะมีฤทธิ์กรดอยู่ได้นานมากหรือน้อยเท่าใดเมื่อถูกทำให้เป็นกลาง ก็ขึ้นอยู่กับปริมาณความเป็นกรดทั้งหมด หรือ Total Acidity ซึ่งคำนวณได้โดยอาศัยจากค่าของ Lime requirement

pH ของดินเป็นการวัดคุณสมบัติทางเคมีของดินที่มีประโยชน์และให้ข้อมูลโดยตรง เช่น ถ้าดินมี pH น้อยกว่า 4 แสดงว่า ดินนั้นมีกรดอิสระที่เกิดขึ้นจากการออกซิเดชันของสารประกอบที่เป็นกรดภายในดิน ถ้า pH น้อยกว่า 5.5 แสดงว่าดินนั้นควรมี Exchangeable Al อยู่ด้วย แต่ถ้ามี pH ระหว่าง 7.8-8.2 แสดงว่ามีปริมาณ $CaCO_3$ สะสมอยู่ภายในดิน นอกจากนี้การวัดค่า pH ไม่ได้ต้องการที่จะทราบว่าดินเป็นกรดหรือเป็นด่างอย่างเดียว แต่ตัวเลขที่ได้จะชี้ไปถึงสภาพของดินอื่นๆ ของดินร่วมด้วย เช่น ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัส สถานะของธาตุอาหารประจุบวกที่เป็นต่างภายในดิน เป็นต้น

ดินยังมีความเป็นกรดเท่าใด ธาตุอาหารต่างๆ เหล่านี้ก็จะละลายตัวได้มากขึ้นตามลำดับ เช่น Fe, Al, Mn, Zn, Cu และจุลินทรีย์อื่นๆ ดังนั้นพื้นดินที่มีค่า pH ต่ำๆ ก็จะมีธาตุอาหารเหล่านี้มากจนเป็นพิษต่อพืชได้ ในทางตรงกันข้าม ดินที่มี pH สูงก็อาจขาดแคลนธาตุอาหารบางตัวได้ นอกจากนี้ยังพบว่ากิจกรรมของจุลินทรีย์ต่างๆ ก็ขึ้นอยู่กับ pH ของดินอีกด้วย โดยเฉพาะจุลินทรีย์พวก Nitrifier จะถูกยับยั้งกิจกรรมเมื่อ pH ในดินมีค่าปรากฏอยู่ในระดับต่ำ

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ปีกเกอร์ ขนาด 50 มล.
2. แท่งแก้ว
3. กระบอกตวง ขนาด 10 มล.
4. เครื่องวัด pH

สารเคมีและวิธีเตรียม

1. สารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) 1 N

ละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) 74.56 กรัม ในน้ำกลั่น และปรับให้มีปริมาตร 1 ลิตร

2. สารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐาน

ใช้สำหรับเครื่องวัด pH มีน้ำยาบัฟเฟอร์มาตรฐาน pH 4 และน้ำยาบัฟเฟอร์มาตรฐาน pH 7
วิธีวิเคราะห์

ดินต่อสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) อัตราส่วน 1:1

ชั่งตัวอย่างดิน 10 กรัม ใส่ลงในปิកเกอร์ขนาด 50 มล. เติมสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) ลงไป 10 มล. คนให้เข้ากันหลายๆ ครั้งโดยใช้แท่งแก้ว แล้วตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง ภายหลังจากนั้นจึงนำสารละลายดินไปวัดค่า pH โดยใช้เครื่องวัด pH ก่อนวัดค่าใช้น้ำยาบัฟเฟอร์มาตรฐาน pH 7 และ pH 4 ปรับเครื่องวัด pH เสียก่อน (กองวิเคราะห์ที่ดิน. 2535)

2. ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity ; EC)

สภาพการนำไฟฟ้าเป็นตัวเลขที่ระบุถึงความสามารถของตัวอย่างดินในการนำกระแสไฟฟ้า โดยจะมีค่ามากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นทั้งหมดของสารละลายที่มีธาตุอาหารประจุที่ละลายตัวอยู่ในตัวอย่างดินและอุณหภูมิในขณะที่ทำการวัด นอกจากนี้ ชนิด ความเข้มข้น และจำนวนประจุของสารละลายก็จะมีผลต่อความสามารถในการนำไฟฟ้าของตัวอย่างด้วย โดยเฉพาะสารประกอบที่มีคุณสมบัติในการนำไฟฟ้าได้ดีก็คือ สารประกอบอนินทรีย์ของกรด ต่าง และเกลือตามลำดับ

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ปิកเกอร์
2. เทอร์โมมิเตอร์
3. เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity meter)

วิธีวิเคราะห์

1. อุณหภูมิเครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้าเป็นระยะเวลา 15 นาที
2. วัดอุณหภูมิของสารละลายดินที่สกัดได้จากตัวอย่างดินที่อิมด้วยน้ำ
3. ตั้งอุณหภูมิที่เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้าให้เท่ากับอุณหภูมิของสารละลายดินที่วัดได้
4. นำสารละลายดินมาวัดค่าการนำไฟฟ้าด้วยเครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า
5. ค่าการนำไฟฟ้าที่อ่านได้จากเครื่อง มีหน่วยเป็นมิลลิโมห์/เซนติเมตร ที่ 25°C (กองวิเคราะห์ที่ดิน. 2535)

3. ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen ;TN)

การวิเคราะห์หาไนโตรเจนทั้งหมดในดินมีปัญหามาก เพราะขาดความรู้อย่างต้องแท้เกี่ยวกับรูปของไนโตรเจนที่อยู่ในดิน และเนื่องจากปริมาณที่พบมีอยู่น้อยตั้งแต่ 0.02% ในดินชั้นล่าง จน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถึงมากกว่า 2.5% ในดินอินทรีย์วัตถุ สำหรับดินชั้นบนที่ใช้ทำการเกษตรนั้นจะมีไนโตรเจนทั้งหมดปรากฏอยู่ในช่วง 0.06-0.55%

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. หลอดแก้วทวนไฟ (Micro-Kjeldahl tube) ขนาด 250 มล.
2. เครื่องกลั่น (Kjeldahl system)
3. เตาย่อย (Digestion system) ที่ปรับอุณหภูมิได้ 100-450°C
4. ขวดแกว่งกันแบน (Erlenmeyer flask) ขนาด 250 มล.
5. บิวเรต (Buret) ขนาด 10 มล.
6. ปิเปต (Pipet)

สารเคมีและวิธีเตรียม

1. กรดซัลฟูริกเข้มข้น (conc. H_2SO_4)
2. โซเดียมไฮดรอกไซด์ 40% (NaOH)
3. ค่ะตะลิสต์ระหว่าง K_2SO_4 และ CuSO_4
4. กรดบอริก 4% (H_3BO_3)
5. อินดิเคเตอร์ผสม (Mixed indicator)

ละลายโบรโมกรีน (Bromocresol Green) 0.3 กรัม และเมทิลเรด (Methyl Red) 0.2 กรัม ในเอทิลแอลกอฮอล์ ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) 90% สีของอินดิเคเตอร์จะเปลี่ยนเป็นสีแดงในสภาพของสารละลายกรด และจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินในสภาพสารละลายด่าง

6. กรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน (HCl) 0.1 N

ชั่งโซเดียมเตตราโบเรต ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) 0.2000 กรัมอย่างละเอียด เติมน้ำกลั่นประมาณ 25 มล. นำสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) A มล. มาเปรียบเทียบกับมาตรฐานโดยวิธีไตเตรชัน โดยมีเมทิลเรด (Methyl Red) เป็นอินดิเคเตอร์และนำมาคำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน

$$\begin{aligned} \text{ความเข้มข้นของกรด HCl มาตรฐาน} &= \frac{\text{น้ำหนัก } \text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O} (\text{กรัม})}{\text{A มล. กรด HCl} \times 0.1907} \\ &= \frac{0.2}{A} \times 0.1907 \end{aligned}$$

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งดิน 0.5-1 กรัม ใส่ลงในหลอดแก้วทอนไฟ (Micro-Kjeldahl tube) ขนาด 250 มล. เติมคตะลิสต์ผสมลงไปประมาณ 7 กรัม เติมกรดซัลฟริกเข้มข้น (conc. H_2SO_4) 10 มล. นำไปย่อยในเตาย่อยที่ปรับอุณหภูมิขึ้นมาอยู่ที่ 450°C แล้วประมาณ 20-30 นาที จนได้สารละลายมีสีขาวขุ่น
2. นำตัวอย่างข้อ 1 มาเข้าเครื่องกลั่น กำหนดให้เติมน้ำกลั่น 75 มล. และโซเดียมไฮดรอกไซด์ 40% 50 มล. กลั่นในระยะเวลาประมาณ 4 นาที
3. เติมกรดบอริก 4% 25 มล. ลงในขวดแก้วกันแบนขนาด 250 มล. โดยหยดสารละลายอินดิเคเตอร์ผสมลงไปด้วยประมาณ 6-7 หยด สารละลายจะมีสีม่วงแดง นำไปรองรับการกลั่นจากข้อ 2 สารละลายนี้จะเปลี่ยนจากสีม่วงแดงเป็นสีเขียว และรองรับจนได้สารละลายในขวดประมาณ 150 มล.
4. นำสารละลายที่ได้จากการกลั่นในข้อ 3 ไปไทเทรตกับกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน จนสีของสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วงแดง
5. กลั่นแบลงค์และไทเทรตเช่นเดียวกับตัวอย่างดินอย่างน้อยจำนวน 3 ตัวอย่าง

การคำนวณ

ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน

จำนวนปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐานที่ใช้

ดิน A กรัม มีปริมาณไนโตรเจน

ดิน 100 กรัม มีปริมาณไนโตรเจน

$$XY \times \frac{100}{A} \times 0.014$$

$$= 14 \frac{XY}{A}$$

X นอร์มอล

Y มล.

XY มิลลิกรัมสมมูลย์

กรัม

เปอร์เซ็นต์

4. ปริมาณไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (NH_4^+-N , NO_3^--N)

ส่วนใหญ่ไนโตรเจนในดินจะอยู่ในรูปของอินทรีย์วัตถุ มีส่วนน้อยมากที่ปรากฏอยู่ในรูปของแอมโมเนียม ไนเตรต และไนไตรท์ โดยพืชทั่วไปไม่สามารถดึงดูดไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของสารอินทรีย์ไปใช้ประโยชน์ได้ แต่ส่วนที่พืชจะดึงดูดไปใช้ได้ทันที ได้แก่ แอมโมเนียม และไนเตรต ซึ่งถูกปล่อยออกมาจากการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุโดยอาศัยกระบวนการต่างๆ เช่น แอมโมนิฟิเคชัน (Ammonification) และไนตริฟิเคชัน (Nitrification) โดยจุลินทรีย์ เพราะฉะนั้นไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของแอมโมเนียมและไนเตรตจึงแสดงความเป็นประโยชน์ต่อพืชโดยตรง แต่ปริมาณที่พบอยู่ในดินจะเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ซึ่งสืบเนื่องมาจากการชะล้าง พืชดึงดูดไปใช้ อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ระดับความชื้นและการถ่ายเทอากาศในดินดังนั้นปริมาณของแอมโมเนียมและไนเตรต จึงเป็นสิ่งที่ไม่น่าเชื่อถือได้สำหรับการบ่งบอกถึงสถานะของไนโตรเจนในดิน เนื่องจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไนโตรเจนในดินส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของอินทรีย์วัตถุ ดังนั้นปริมาณของอินทรีย์วัตถุและปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด จึงถูกใช้เป็นตัวชี้วัดที่จะบอกถึง “ความสามารถในการปลดปล่อย (Supplying power)” ของไนโตรเจนที่จะเป็นประโยชน์ต่อพืช แต่ก็มีข้อจำกัดว่าอัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนจากอินทรีย์วัตถุ ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยสิ่งแวดล้อมหลายอย่างแต่อย่างไรก็ตามปริมาณแอมโมเนียมและไนเตรต ในดิน ภายหลังจาก Incubation จึงควรจะใช้เป็นค่าที่บ่งบอกถึงอัตราการสลายตัวของสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนได้ นอกจากนั้นการวิเคราะห์หาแอมโมเนียมและไนโตรเจนในดินก็จะระบุถึงปริมาณไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ในขณะนั้นได้เป็นประการสำคัญ

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. หลอดแก้ว (Distillation tube) ขนาด 250 มล.
2. เครื่องกลั่น (Kjeltec system)
3. ขวดแก้วกันแบน (Erlenmeyer flask) ขนาด 100 และ 250 มล.
4. บิวเรต (Buret) ขนาด 10 มล.
5. ปิเปต (Pipet)

6. กระดาษกรองเบอร์ 5

สารเคมีและวิธีเตรียม

1. โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) เข้มข้น 2 N

ละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) จำนวน 149.00 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตร ตามลำดับ

2. แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) เข้มข้น 12%

ละลายแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) จำนวน 12.00 กรัม ใส่ลงในขวดแก้วกันแบน ขนาด 125 มล. แล้วเขย่าให้เข้ากัน

3. เดวาดาอัลลอย (Dervada Alloy)

สารเดวาดาอัลลอยชนิดละเอียด ซึ่งสามารถร่อนผ่านตะแกรงขนาด 300 เมช (Mesh) ได้อย่างน้อย 75%

4. อินดิเคเตอร์ผสม (Mixed indicator)

ละลายโบรมอครีซอลกรีน (Bromocresol Green) 0.330 กรัม และเมทิลเรด (Methyl Red) 0.165 กรัม ในเอทิลแอลกอฮอล์ (C_2H_5OH) จำนวน 500 มล.

5. กรดบอริกอินดิเคเตอร์ (Boric acid indicator solution)

ละลายกรดบอริก (H_3BO_3) จำนวน 40.00 กรัม ในน้ำร้อน 700 มล. เมื่อสารละลายเย็นจึงถ่ายลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1 ลิตร ซึ่งบรรจุ 200 มล. ของเอทิลแอลกอฮอล์ และ 20 มล. ของอินดิเคเตอร์ผสม แล้วเขย่าสารละลายในขวดให้เข้ากัน ค่อยๆ เติมน้ำโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.05 N ลงไปจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระทั่งพบว่า เมื่อนำสารละลายนี้จำนวน 1 มล. มาผสมกับน้ำ 1 มล. แล้วสารละลายจะเปลี่ยนจากสีชมพูม่วงเป็นสีเขียว ปริมาตรของสารละลายด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 ลิตร เขย่าสารละลายในขวดให้เข้ากัน นำสารละลายทั้งหมดนี้เก็บไว้ในขวดสีชาและรีบใช้ประโยชน์ทันที (ไม่ควรเก็บไว้เกินระยะเวลา 1 อาทิตย์)

6. กรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน (HCl) 0.05

ชั่งโซเดียมเตตราโบเรต ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) 0.1000 กรัม อย่างละเอียด เติมน้ำกลั่นประมาณ 25 มล. นำสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) A มล. มาเปรียบเทียบกับมาตรฐานโดยวิธีไตเตรชันโดยอาศัยเมทิลเรด (Methyl Red) เป็นอินดิเคเตอร์ และนำมาคำนวณ เพื่อคำนวณหาระดับความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน

$$\begin{aligned} \text{ความเข้มข้นของกรด HCl มาตรฐาน} &= \frac{\text{น้ำหนัก } \text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O} (\text{กรัม})}{\text{A มล. กรด HCl} \times 0.1907} \\ &= \frac{0.1}{A} \times 0.1907 \end{aligned}$$

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งดินมา 10 กรัม ใส่ลงในขวดแก้วกันแบนขนาด 100 มล. เติมโพแทสเซียมคลอไรด์ 2 N ลงไป 50 มล. นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าเป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง แล้วกรอง
2. ดูดสิ่งกรอง 20 มล. ใส่ลงในหลอดแก้ว (Distillation tube) เติม 12% แมกนีเซียมออกไซด์ลงไป 5 มล. ทำการกลั่นโดยเก็บสารที่กลั่นได้ในขวดแก้วกันแบนที่มีสารละลายกรดบอริกอินดิเคเตอร์บรรจุอยู่จำนวน 5 มล. กลั่นจนได้สารละลายในขวดแก้วมีปริมาตร 30 มล. จึงหยุดกลั่น เก็บสารละลายที่กลั่นไว้ได้นี้เพื่อหาปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนต่อไป
3. เติมเดวตาอัลลอย 0.2 กรัม ลงในหลอดแก้วแล้วทำการกลั่นต่อไป โดยสารที่ได้ในขวดแก้วจะมีสารละลายกรดบอริกอินดิเคเตอร์ 5 มล. บรรจุอยู่ กลั่นจนได้สารละลายในขวดแก้วมีปริมาตรทั้งหมดประมาณ 30 มล.
4. นำสารละลายที่ได้จากการกลั่นทั้ง 2 ครั้ง ไปไตเตรตกับกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน 0.05 N จนสีของสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วงแดง สารละลายที่ได้จากการกลั่นครั้งแรก คือ ปริมาณของแอมโมเนียมไนโตรเจน ส่วนครึ่งหลัง คือ ไนเตรตไนโตรเจน
5. กลั่นแบบลงคิโดยใช้สารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ 2 N และทำเช่นเดียวกับตัวอย่างดินในจำนวนอย่างน้อย 3 ตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณ

ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน	N	นอร์มอล
ปริมาณของสารละลายที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับกรดไฮโดรคลอริก	A	มล.
ปริมาณของเบสที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับกรดไฮโดรคลอริก	B	มล.
ปริมาณของสารละลายที่ดูดจากสารละลายที่สกัดได้	C	มล.
ปริมาณของสารละลายที่สกัดได้	D	มล.
น้ำหนักของตัวอย่างดิน	E	กรัม

$$\text{ปริมาณแอมโมเนียมหรือไนเตรตในดิน} = \frac{N(A - B) \times D \times 0.014 \times 10^6}{C \times E}$$

5. ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (Organic Matter)

อินทรีย์วัตถุในดินจะประกอบด้วยซากพืชและสัตว์ที่อยู่ระหว่างการสลายตัวระยะต่างๆ รวมทั้งฮิวมัสหรือเซลล์ของจุลินทรีย์และสารประกอบอินทรีย์ต่างๆ ที่จุลินทรีย์สังเคราะห์ขึ้นมาโดยตรง รวมถึงสารประกอบคาร์บอนประเภทต่างๆ เช่น ถ่านหิน และแกรไฟต์ เป็นต้น โดยทั่วไปแล้วอินทรีย์วัตถุจะมีอินทรีย์คาร์บอน (Organic carbon) อยู่ระหว่าง 45-58 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ดังนั้นในการเปลี่ยนค่า Organic carbon ให้มาเป็นอินทรีย์วัตถุในดิน จึงจำเป็นต้องใช้ค่า 1.724 นำมาคูณรวมด้วย ซึ่งได้มาจากการยอมรับว่าอินทรีย์วัตถุโดยทั่วไปจะมีคาร์บอนอยู่ประมาณ 58 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก นอกจากนั้นยังได้มีการศึกษาพบว่า สัดส่วนของอินทรีย์คาร์บอนในอินทรีย์วัตถุนั้นจะแตกต่างกันไปในดินแต่ละชนิด และถึงแม้ดินชนิดเดียวกันที่อยู่ในระดับความลึกต่างกันยังให้ค่าของอินทรีย์คาร์บอนที่แตกต่างกัน ดังนั้นในปัจจุบันจึงนิยมรายงานผลออกมาเป็นอินทรีย์คาร์บอนมากกว่าที่จะเป็นปริมาณอินทรีย์วัตถุ สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนนิยมปฏิบัติกันอยู่ 2 วิธี คือ

1. Dry combustion โดยต้องการเผาดินคาร์บอนให้เปลี่ยนแปลงมาเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และทำการวัดหาค่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น

2. Wet oxidation โดยใช้โพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) ออกซิไดส์คาร์บอนให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และวัดปริมาณโพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) ที่หลงเหลืออยู่ภายหลังโดยอาศัยการไตเตรต วิธีการปฏิบัติเช่นนี้นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน สำหรับการทดลองครั้งนี้จะได้นำวิธีของ Walkley and Black (1934) มาใช้ ซึ่งมีขั้นตอนของการวิเคราะห์ดังนี้

2.1) ใช้ Oxidizing agent ($K_2Cr_2O_7$) ที่มากเกินไปพอ เข้ามาทำปฏิกิริยากับ Reducing agent ที่พบอยู่ในดินจนหมด

2.2) ใช้ Reducing agent ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$ หรือ $FeSO_4(NH_4)_2SO_4 \cdot 6H_2O$) ทำปฏิกิริยากับ $K_2Cr_2O_7$ ที่เหลืออยู่ในภายหลัง

2.3) ทำแบบลองอีกครั้งหนึ่งโดยไม่รวมเข้ากับดินตัวอย่าง

2.4) ปริมาณของ $FeSO_4$ ที่ทำปฏิกิริยากับ $K_2Cr_2O_7$ ในแบบลอง จะนำมาคำนวณหาปริมาณของ $FeSO_4$ ที่แท้จริงของ $FeSO_4$

2.5) เนื่องจากปริมาณของ Easily oxidizable material ที่วิเคราะห์ได้นั้นเป็นเพียงการวัดค่า Reducing power ของดินเท่านั้น ดังนั้นก่อนที่จะเปลี่ยนให้มาเป็นปริมาณของอินทรีย์วัตถุ ก็จำเป็นต้องผ่านสมมติฐานหลายข้อ คือ

2.5.1) ถือว่าไม่มี Reducing agent ชนิดอื่นที่เป็นอินทรีย์วัตถุปรากฏอยู่ในดิน คงมีแต่อินทรีย์คาร์บอนเท่านั้นที่ถูกออกซิไดส์ในการทำปฏิกิริยาค้างนี้

2.5.2) ถือว่า Equivalent weight ของคาร์บอนซึ่งถูกออกซิไดส์นั้นเท่ากับ 3



2.5.3) ให้ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ Recovery ของคาร์บอนในดินเท่ากับ 74-76 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่านี้ได้มาจากการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับวิธี Dry Combustion ซึ่งถูกสมมติว่าเป็นวิธีการที่ให้ 100 เปอร์เซ็นต์ Recovery

2.5.4) จำนวนเปอร์เซ็นต์อินทรีย์วัตถุจากค่าที่สมมติให้อินทรีย์วัตถุในดินมีคาร์บอน 58 เปอร์เซ็นต์ (เป็นอินทรีย์วัตถุที่อยู่ในรูปของคาร์โบไฮเดรต เช่น กลูโคส เป็นต้น)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ขวดแก้ว ขนาด 250 มล.
2. ปิเปต (Pipet) ขนาด 10 มล.
3. กระบอกตวง ขนาด 25 และ 50 มล.
4. บิวเรต (Buret) ขนาด 50 มล.

สารเคมีและวิธีเตรียม

1. สารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) 1 N

ละลายโพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) ที่อบที่ $105^\circ C$ จำนวน 98.0 กรัม ลงไปในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 2 ลิตรตามลำดับ

2. สารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต ($FeSO_4(NH_4)_2SO_4 \cdot 6H_2O$) 0.5 N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต ($\text{FeSO}_4(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) จำนวน 400 กรัม ลงไปในน้ำกลั่นพอสมควร แล้วเติมกรดซัลฟริกเข้มข้น ($\text{conc. H}_2\text{SO}_4$) ลงไป 50 มล. ปรับและทำให้ปริมาตรเป็น 2 ลิตร

3. สารละลายออร์โทฟีแนนโทรลีนอินดิเคเตอร์ 0.025 M

ละลายเฟอร์รัสซัลเฟต ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) จำนวน 0.7 กรัม และออร์โทฟีแนนโทรลีน (o-Phenanthroline) 1.48 กรัม ในน้ำกลั่น และทำให้มีปริมาตรเป็น 100 มล.

4. กรดซัลฟริก ($\text{conc. H}_2\text{SO}_4$)

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างดิน 1 กรัม ใส่ลงไปในขวดแก้วก้นแบนขนาด 250 มล.
2. เติมน้ำยาโพแทสเซียมไดโครเมต 1 N ลงไป 10 มล. โดยใช้ปิเปต
3. เติมกรดซัลฟริกเข้มข้นลงไป 15 มล. เขย่าขวดแก้วเบาๆ เป็นระยะเวลา 1-2 นาที ต่อจากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้ดินและน้ำทำปฏิกิริยากันเป็นระยะเวลา 30 นาที
4. เติมน้ำกลั่นลงไปประมาณ 50 มล. ทิ้งไว้ให้เย็น
5. หยดออร์โทฟีแนนโทรลีนอินดิเคเตอร์ลงไป 5 หยด
6. ไตเตรตสารละลายด้วยน้ำยาเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต 0.5 N เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณโพแทสเซียมไดโครเมตที่หลงเหลืออยู่จากปฏิกิริยา จนกระทั่งสีของสารละลายดินเปลี่ยนสีจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลแดงที่จุดยุติ
7. จดปริมาณโพแทสเซียมไดโครเมต และเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้ในการไตเตรต
8. ทำแปลงค์เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน
9. คำนวณหาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและอินทรีย์วัตถุ

การคำนวณ

$$\text{เปอร์เซ็นต์ Organic Matter} = \frac{(B - T)}{B} \times N \times \frac{100}{77} \times \frac{3}{10^3} \times \frac{100}{X} \times 10$$

N คือ ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไดโครเมต

B คือ จำนวนมล. ของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ไตเตรตกับแปลงค์

T คือ จำนวนมล. ของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ไตเตรตกับตัวอย่างดิน

X คือ น้ำหนักดิน (กรัม)

6. ปริมาณความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC)

Cation Exchange Capacity (CEC) หมายถึง ผลรวมของปริมาณไอออนประจุบวก (Cation) ที่แลกเปลี่ยนได้ จึงนิยมบอกในรูปของ milliequivalent ต่อดิน 100 กรัม วิธีการวิเคราะห์หา CEC ของดินนั้นสามารถกระทำได้หลายวิธี ค่าที่วิเคราะห์ได้จึงมีสภาพที่แตกต่างกันออกไปในแต่ละวิธีที่วิเคราะห์ ดังนั้นจึงต้องระบุวิธีวิเคราะห์ด้วยตอนรายงานผล สำหรับรายละเอียดของวิธีวิเคราะห์ CEC เหล่านี้ สามารถจัดแบ่งกลุ่มออกได้ดังนี้คือ

1. ดินจะถูกชะล้างด้วยกรดเจือจาง เช่น กรดไฮโดรคลอริก ภายหลังจากนั้นก็จะไต่เตลดินด้วยแบเรียมไฮดรอกไซด์ Ba(OH)_2 จนกระทั่งได้ pH 7.0 หรือเมื่อใช้ NaOH ก็จะต้องได้ pH ประมาณ 8.5

2. วิเคราะห์หาผลรวมของไฮโดรเจนไอออน (H^+) และ Basic cation ประเภทต่างๆ

3. วิเคราะห์หา Exchangeable cations ที่ถูกไล่ที่ด้วย NH_4OAc , Ba(OAc)_2 , Ca(OAc)_2 หรือ NaOAc

ในสหรัฐอเมริกานิยมใช้ 1 N NH_4OAc pH 7.0 เป็นสารละลายที่จะไล่ที่ Cation ประเภทต่างๆ ในการวิเคราะห์ CEC ก็เพราะว่าดินส่วนใหญ่จะมี pH ใกล้เคียง 7.0 และคอลลอยด์ในดินส่วนใหญ่จะเป็น Layer silicate

ในดินเขตร้อน สารคอลลอยด์ส่วนใหญ่ในดินจะเป็นออกไซด์ของเหล็ก หรือดินในบริเวณภูเขาไฟ สารคอลลอยด์ก็จะเป็น Allophane เพราะฉะนั้นค่า CEC ของดินที่วิเคราะห์ได้จึงแตกต่างกันมาก โดยเฉพาะเมื่อนำมาที่วิเคราะห์แตกต่างกันออกไป และถ้าวิเคราะห์โดยใช้ NH_4OAc pH 7.0 ค่า CEC ที่วิเคราะห์ได้จะมีค่าเกินความเป็นจริง

สำหรับวิธีวิเคราะห์ในดินเขตร้อนที่ถูกต้องมากกว่าก็คือ การชะด้วยเกลือที่เป็นกลางและไม่เป็นบัฟเฟอร์ เช่น KCl หรือ CaCl_2 วิธีนี้ Coleman and Thomas (1967) เรียกว่า "Effective CEC" ค่า Effective CEC จึงมีลักษณะเป็นค่าต่ำกว่าค่า CEC ที่วัดได้โดยวิธีการอื่นๆ ดังนั้นการวัดค่า Effective CEC เช่นนี้ จึงทำได้ง่ายๆ โดยใช้ 1 N KCl สกัดจากดิน ต่อจากนั้น Leachate ที่ได้ก็นำไปหาค่า Total exchangeable base โดยเลือกวิธีการที่เหมาะสมสำหรับเครื่องมือที่มีอยู่ภายในห้องปฏิบัติการ

แต่อย่างไรก็ตามวิธีที่ใช้ NH_4OAc pH 7.0 ในการสกัดก็ยังเป็นวิธีที่ถูกต้องและเชื่อถือได้ ในกรณีที่คอลลอยด์ในดินส่วนใหญ่เป็นพวก Layer silicate เช่น Montmorillonite และมีอินทรีย์วัตถุอยู่ด้วยในระดับที่ต่ำ เป็นต้น

การใช้น้ำยา 1 N NH_4OAc pH 7.0 มีข้อดี คือ

1. เป็นน้ำยาที่มีคุณสมบัติเป็นบัฟเฟอร์อย่างดี
2. การวิเคราะห์แอมโมเนียมทำได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ก็มีข้อเสียเช่นกัน คือ

1. NH_4OAc ไล่ที่ Adsorbed hydrogen และ Al ได้ไม่สมบูรณ์ ในกรณีที่ดินมีพวก 1:1 Type Clay mineral เป็นส่วนใหญ่ หรือดินที่มีอินทรีย์วัตถุอยู่สูง
2. ดินที่มี Clay พวก Vermiculite Ammonium สามารถจะไปไล่ที่พวก Interlayer cation ออกมาได้ แต่ตอนไล่ NH_4 ออกไปนั้นไม่สามารถไล่ส่วนที่อยู่ใน Interlayer ได้ จึงส่งผลทำให้ CEC ที่วิเคราะห์ได้ในกรณีนี้มีค่าต่ำ แต่ถ้าใช้ NaOAc ไอออน Na สามารถที่จะถูกไล่ที่ออกมาได้เป็นอย่างดี และทำให้ CEC ที่วิเคราะห์ได้โดย NaOAc มีค่าที่สูงกว่าการใช้ NH_4OAc

เนื่องจากความแตกต่างกันในแต่ละวิธีที่ใช้ ดังนั้นค่า CEC ของดินที่วิเคราะห์ได้จึงควรระบุ pH และชนิดของเกลือที่ใช้เป็นตัวไล่ที่ร่วมด้วย

นอกจากนั้นการใช้ NH_4OAc จะมีปัญหากับดิน Calcareous เพราะ CaCO_3 จะละลายใน NH_4OAc และทำให้การไล่ที่ของ NH_4^+ ไม่สมบูรณ์ วิธีแก้ไขก็คือ ใช้ NaOAc เพราะ CaCO_3 ละลายได้น้อยมาก และพบว่า CaCO_3 ไม่มีผลต่อค่า CEC ของดินโดยใช้ NaOAc

การวิเคราะห์ Cation Exchange Capacity โดยใช้ NH_4OAc pH 7.0

การวิเคราะห์ CEC แบ่งออกได้เป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

1. Lechate step ชะดินด้วย Neutral NH_4OAc เพื่อที่จะให้ NH_4^+ เข้าไปแทนที่ Cation ประเภทต่างๆที่ดูดซับอยู่ในดินให้หมด
2. Washing step ล้างดินด้วย NH_4Cl ที่มากเกินไป แล้วล้างเพิ่มเติมด้วย Isopropyl alcohol
3. Replacing step แทนที่ Adsorbed NH_4^+ ด้วย Acidified NaCl solution
4. Analysis step วิเคราะห์หา NH_4^+ ที่ถูกแทนที่ออกมาด้วยวิธีการที่เหมาะสม

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ขวดแก้ว ขนาด 125 และ 500 มล.
2. ภาวยกรอง (Buchner funnel)
3. ขวดแก้วกรอง (Filtering flask)
4. กระดาษกรอง
5. ขวดปริมาตร ขนาด 100 มล.
6. ขวดกลั่น (Kjeldahl flask)
7. บิวเรต (Buret) ขนาด 50 มล.

สารเคมีและวิธีเตรียม

1. สารละลายแอมโมเนียมอะซิเตต (NH_4OAc) 1 N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดวงกรดอะซิติก (CH_3COOH) 99.5% จำนวน 114 มล. ใส่ลงในน้ำกลั่นปริมาตร 1 ลิตร เติมแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น ($\text{conc. NH}_4\text{OH}$) ลงไป 136 มล. เติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตรประมาณ 1,980 มล. วัด pH ของสารละลายแล้วปรับให้ได้ pH 7 ด้วยกรดอะซิติกหรือแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ เติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 2 ลิตร

2. สารละลายแอมโมเนียมออกซาลาเลท $[(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}]$ 10%

ละลายแอมโมเนียมออกซาลาเลท $[(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}]$ จำนวน 10 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรให้มี 100 มล.

3. สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) 50%

ดวงแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) เข้มข้น มา 50 มล. แล้วเติมน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 100 มล.

4. สารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) 1 N

ละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) จำนวน 53.5020 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วทำให้มีปริมาตร 1 ลิตร พร้อมทั้งปรับให้ได้ pH 7 ด้วยแอมโมเนียมคลอไรด์

5. สารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) 0.25 N

ละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) จำนวน 13.3755 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วทำให้มีปริมาตร 1 ลิตร พร้อมทั้งปรับให้ได้ pH 7 ด้วยแอมโมเนียมคลอไรด์

6. สารละลายซิลเวอร์ไนเตรต (AgNO_3) 1 N

ละลายซิลเวอร์ไนเตรต (AgNO_3) จำนวน 16.9910 กรัม ในน้ำกลั่น และทำให้มีปริมาตร 1 ลิตร ตามลำดับ

7. เอทิลแอลกอฮอล์ 95%

8. สารละลายโซเดียมคลอไรด์ (Acidified NaCl) 10%

ละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) จำนวน 2.000 กรัม ในน้ำกลั่น เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 8.7 มล. เพื่อให้สารละลายเป็นกรด แล้วปรับให้มีปริมาตร 20 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น

9. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 40%

ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) จำนวน 400 กรัม ในน้ำกลั่น และทำให้มีปริมาตร 1 ลิตร

10. สารละลายกรดบอริก (H_3BO_3) 3%

ละลายกรดบอริก (H_3BO_3) จำนวน 30 กรัม ในน้ำกลั่น และทำให้มีปริมาตร 1 ลิตร

11. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) 0.1 N

ดวงกรดไฮโดรคลอริก (HCl) เข้มข้น 9 มล. และเติมน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 1 ลิตร ต่อจากนั้น

นำไปเทียบมาตรฐาน (Standardized) กับโซเดียมเตตราโบเรต ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) โดยซังโซเดียมเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เต-ตราบอเรตมา 2 กรัม เติมน้ำกลั่น 10 มล. นำไปไตเตรตกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริก โดยมีเมทิลเรดเป็นอินดิเคเตอร์ก็จะทราบระดับความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก มาตรฐานจากสูตร ดังนี้

$$\text{ความเข้มข้นของกรด HCl มาตรฐาน} = \frac{\text{น้ำหนักเป็นกรัมของโซเดียมเตตราบอเรต}}{\text{ปริมาตรของกรด HCl มาตรฐานที่ใช้} \times 0.1907}$$

12. อินดิเคเตอร์ผสม (Mixed Indicator)

ละลายโบโรโมกรีนจำนวน 0.22 กรัม และเมทิลเรด 0.075 กรัม ในเอทิลแอลกอฮอล์ 95% จำนวน 96 มล. และเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 N ลงไป 3.5 มล.

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างดินจำนวน 5-10 กรัม ใส่ลงในขวดแก้วกันแบนขนาด 125 มล. เติมสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตต 1 N ลงไปประมาณ 60 มล. ปิดจุกเขย่าให้เข้ากัน แล้วตั้งทิ้งไว้ค้างคืน
2. เขย่าสารละลายดิน 30 นาที กรองด้วยระบบสุญญากาศ ล้างตัวอย่างดินด้วยแอมโมเนียมอะซิเตต 1 N จนกระทั่งไม่มีแคลเซียมหลงเหลืออยู่ (ทดสอบได้โดยนำสารละลายส่วนที่ล้างดินแล้วมาจำนวน 10 มล. ใส่ในหลอดทดลอง หยดแอมโมเนียมคลอไรด์ 1 N 2-3 หยด แอมโมเนียมออกซาลาต 10% และแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ 50% นำไปทำให้เดือด ถ้ามีแคลเซียมหลงเหลืออยู่จะเกิดการตกตะกอนหรือสารละลายจะมีความขุ่นเกิดขึ้น
3. สารละลายดินที่ได้จากการสกัดด้วยแอมโมเนียมอะซิเตต 1 N นำไปใส่ในขวดวัดปริมาตร 100 มล. ทำให้มีปริมาตร 100 มล. ด้วยน้ำกลั่น นำสารละลายที่ได้ไปวัดหาปริมาณของแคลเซียมแมกนีเซียม โพแทสเซียม และโซเดียม ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer
4. ตัวอย่างดินที่เหลืออยู่ทำการล้างต่อด้วยสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ 1 N จำนวน 4 ครั้ง และล้างต่อด้วยสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ 0.25 N อีก .1 ครั้ง ต่อจากนั้นล้างด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ 95% ประมาณ 150-200 มล. จนไม่มีคลอไรด์เหลืออยู่ (ทดสอบได้โดยใช้สารซิลเวอร์ไนเตรต 0.1 N)
5. ส่วนของสารละลายดินที่ได้จากข้อ 4 ทิ้งไป นำตัวอย่างดินมาล้างต่อด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 10% เพื่อไล่ที่ NH_4^+ ในดิน จนได้สารละลายดินประมาณ 225 มล.
6. เทส่วนของสารละลายดินที่กรองได้จากข้อ 5 ลงในขวดกลั่น ล้างขวดกลั่นด้วยน้ำกลั่น
7. นำสารละลายดินที่ได้ไปกลั่นเพื่อไล่แอมโมเนียมออกมา โดยเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 40% ลงไป 25 มล. เพื่อให้สารละลายเป็นด่าง แอมโมเนียมที่ได้จะถูกจับไว้โดยสารละลาย

กรดบอริก 3% จำนวน 50 มล. ซึ่งใส่อินดิเคเตอร์ไวต์ด้วย 5 หยด ทำให้สีของสารละลายเปลี่ยนจากสีม่วงเป็นสีเขียว

8. นำสารละลายที่ได้จากการกลั่นไปไตเตรตกับกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน 0.1 N จนสีของสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นม่วง

9. กลั่นแบลงค์และไตเตรตเช่นเดียวกับตัวอย่างดิน

การคำนวณ

$$\text{CEC} = \frac{(A - B)N \times 100}{X} \quad \text{มิลลิกรัมสมมูลย์ต่อดิน 100 กรัม}$$

A คือ ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐานที่ใช้ไตเตรตกับตัวอย่างดิน (มล.)

B คือ ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐานที่ใช้ไตเตรตกับแบลงค์ (มล.)

N คือ ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน

X คือ น้ำหนักเป็นกรัมของตัวอย่างดิน

ตัวอย่างน้ำ

1. ค่า pH

pH เป็นค่าที่แสดงปริมาณความเข้มข้นของอนุภาคไฮโดรเจน $[H^+]$ ในน้ำ โดยคำนวณได้จากสูตร

$$pH = -\log[H^+]$$

เมื่อ $[H^+]$ คือค่าความเข้มข้นของ H^+ มีหน่วยเป็น โมล/ลบ.ชม.

ในทางปฏิบัติค่า pH เป็นค่าที่แสดงถึงความเป็นกรดหรือด่างของน้ำ น้ำที่มีสมบัติเป็นกรดจะมีค่า pH น้อยกว่า 7 ถ้าเป็นด่างจะมีค่า pH มากกว่า 7 และจะมี pH เท่ากับ 7 ในกรณีที่เป็นกลาง อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. บีกเกอร์ ขนาด 50 มล.
2. แท่งแก้ว
3. กระบอกตวง ขนาด 10 มล.
4. เครื่องวัด pH

สารเคมีและวิธีเตรียม

1. สารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) 1 N

ละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) 74.56 กรัม ในน้ำกลั่น และปรับให้มีปริมาตร 1 ลิตร

2. สารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐาน

ใช้สำหรับเครื่องวัด pH มีน้ำยาบัฟเฟอร์มาตรฐาน pH 4 และน้ำยาบัฟเฟอร์มาตรฐาน pH 7

วิธีวิเคราะห์

น้ำตัวอย่างต่อสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) อัตราส่วน 1:1

ชั่งตัวอย่างน้ำ 10 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 50 มล. เติมสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) ลงไป 10 มล. คนให้เข้ากันหลายๆครั้งโดยใช้แท่งแก้ว แล้วตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง ภายหลังจากนั้นจึงนำสารละลายน้ำไปวัดค่า pH โดยใช้เครื่องวัด pH ก่อนวัดค่าใช้น้ำยาบัฟเฟอร์มาตรฐาน pH 7 และ pH 4 ปรับเครื่องวัด pH เสียก่อน (กองวิเคราะห์ดิน. 2535)

2. ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity ; ECe)

สภาพการนำไฟฟ้าเป็นตัวเลขที่ระบุถึงความสามารถของตัวอย่างน้ำในการนำกระแสไฟฟ้า โดยจะมีค่ามากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นทั้งหมดของสารละลายที่มีประจุที่ละลายอยู่ในตัวอย่างน้ำและอุณหภูมิที่ขณะทำการวัด นอกจากนี้ ชนิด ความเข้มข้น และจำนวนประจุของสารละลายที่มีประจุก็จะมีผลต่อความสามารถในการนำไฟฟ้าของตัวอย่างด้วย โดยเฉพาะสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประกอบที่มีคุณสมบัติในการนำไฟฟ้าได้ดีก็คือ สารประกอบอนินทรีย์ของกรด ต่าง และเกลือตามลำดับ

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. บีกเกอร์
2. เทอร์โมมิเตอร์
3. เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity meter)

วิธีวิเคราะห์

1. ช้อนเครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้าเป็นระยะเวลา 15 นาที
2. วัดอุณหภูมิของตัวอย่างน้ำ
3. ตั้งอุณหภูมิที่เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้าให้เท่ากับอุณหภูมิของตัวอย่างน้ำที่วัดได้
4. นำตัวอย่างน้ำมาวัดค่าการนำไฟฟ้าด้วยเครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า
5. ค่าการนำไฟฟ้าที่อ่านได้จากเครื่อง มีหน่วยเป็นมิลลิโมห์/เซนติเมตร ที่ 25°C (กองวิเคราะห์ดิน. 2535)

3. ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen ;TN)

ไนโตรเจนที่มีอยู่ในน้ำจะอยู่ในรูปของแอมโมเนียม ไนไตรท์ และไนเตรต โดยไนโตรเจนทั้งหมดจะประกอบด้วยสารไนโตรเจนที่มีอยู่ในรูปของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์เป็นลำดับ

การวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่ยอมรับกันมีอยู่ 2 วิธี คือ

1. Dumas Method ซึ่งเป็นวิธี Dry Oxidation

ตัวอย่างจะถูกนำมาเผากับ CuO ที่อุณหภูมิสูงกว่า 600°C ในสภาพที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) สารประกอบไนโตรเจนส่วนใหญ่จะกลายสภาพไปเป็นก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ปนอยู่กับคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และผ่านไปยังโลหะทองแดงที่ร้อน เพื่อที่จะรีดิวซ์ออกไซด์ของไนโตรเจนให้กลายเป็นก๊าซไนโตรเจน และผ่านไปที่ CuO อีกครั้งหนึ่ง เพื่อทำการเปลี่ยนแปลงคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ตามลำดับ นอกจากนี้ก๊าซผสมระหว่าง $\text{N}_2\text{-CO}_2$ จะถูกนำไปผ่านด่างซึ่งดูดซับ CO_2 เอาไว้ คงเหลือแต่เพียงก๊าซไนโตรเจนที่สามารถวัดปริมาตรได้โดยตรง

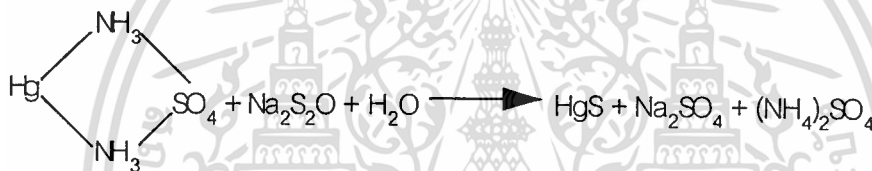
วิธีของ Dumas ต้องเสียเวลามากและยุ่งยาก ดังนั้นจึงมีผู้นิยมใช้วิธีของ Kjeldahl อย่างแพร่หลายมากกว่า ซึ่งสืบเนื่องมาจากการปฏิบัติง่าย

2. Kjeldahl Method ซึ่งเป็นวิธี Wet Oxidation

วิธีนี้มีหลักการดังนี้

1. Digestion คือ การเปลี่ยนไนโตรเจนในตัวอย่างให้เป็นแอมโมเนียม การ Digest นิยมย่อยตัวอย่างกับกรดซัลฟิวริกที่เข้มข้น และมีตะกั่วคลอไรด์ซึ่งอาจเป็น K_2SO_4 หรือ Na_2SO_4 ซึ่งช่วยทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น และมี Hg, Cu หรือ Se ซึ่งจะช่วยให้อินทรีย์วัตถุย่อยสลายได้รวดเร็วขึ้น

การสูญเสียไนโตรเจนจะเกิดขึ้นได้ในขณะที่ Digest ที่อุณหภูมิสูงกว่า $400^{\circ}C$ และการที่จะมีอุณหภูมิที่สูงขนาดนี้ก็ต่อเมื่อใช้ K_2SO_4 1.3 หรือ 1.4 กรัม/1 มล. ของ H_2SO_4 (ปกติจะใช้ K_2SO_4 0.2-0.3 กรัม/1 มล. ของ H_2SO_4) ประสิทธิภาพของตะกั่วคลอไรด์ต่างๆในการที่จะทำให้ Digestion Mixture ใสได้ ก็คือ $Se > Hg > Cu$ การใช้ Hg เป็นตะกั่วคลอไรด์มีข้อเสีย คือ ป่อกจะทำปฏิกิริยากับ $(NH_4)_2SO_4$ เกิด Mercury Ammonium Complex และ NH_4^+ ส่วนนี้จะไม่หลุดออกมาตอนที่ไล่ต่างลงไปทำปฏิกิริยา ดังนั้นถ้า Digest ตัวอย่างโดยใช้ Hg เป็นตะกั่วคลอไรด์ ก็จะต้องเติม Sodium Thiosulfate หรือ Sodium Sulfide เพื่อจะตกตะกอน Hg^{2+} ให้เป็น HgS ดังสมการ



2. Distillation เป็นการหาปริมาณแอมโมเนียมโดยให้ทำปฏิกิริยากับด่างและกลั่น NH_3 ออกมา โดยเก็บไว้ในกรด (มักใช้ H_2SO_4)

3. Titration ปริมาณของ NH_3 ที่ละลายในกรด สามารถวิเคราะห์ได้โดยอาศัยการไทเทรตกับกรดที่รู้ความเข้มข้นที่แน่นอน ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นคือ



อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. หลอดแก้วทนไฟ (Micro-Kjeldahl tube) ขนาด 250 มล.
2. เครื่องกลั่น (Kjeldahl system)
3. เตาย่อย (Digestion system) ที่ปรับอุณหภูมิได้ $100-450^{\circ}C$
4. ขวดแก้วกันแบน (Erlenmeyer flask) ขนาด 250 มล.
5. บิวเรต (Buret) ขนาด 10 มล.
6. ปิเปต (Pipet)

สารเคมีและวิธีเตรียม

1. กรดซัลฟริกเข้มข้น (conc.H₂SO₄)
2. โซเดียมไฮดรอกไซด์ 40% (NaOH)
3. คะตะลิสต์ระหว่าง K₂SO₄ และ CuSO₄
4. กรดบอริก 4% (H₃BO₃)
5. อินดิเคเตอร์ผสม (Mixed indicator)

ละลายโบรมอครีซอลกรีน (Bromocresol Green) 0.3 กรัม และเมทิลเรด (Methyl Red) 0.2 กรัม ในเอทิลแอลกอฮอล์ (C₂H₅OH) 90% สีของอินดิเคเตอร์จะเปลี่ยนเป็นสีแดงในสภาพของสารละลายกรด และจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินในสภาพสารละลายด่าง

6. กรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน (HCl) 0.1 N

ชั่งโซเดียมเตตราโบเรต (Na₂B₄O₇·10H₂O) 0.2000 กรัมอย่างละเอียด เติมน้ำกลั่นประมาณ 25 มล. นำสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) A มล. มาเปรียบเทียบกับมาตรฐานโดยวิธีไตเตรชัน โดยมีเมทิลเรด (Methyl Red) เป็นอินดิเคเตอร์และนำมาคำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน

$$\begin{aligned} \text{ความเข้มข้นของกรดHClมาตรฐาน} &= \frac{\text{น้ำหนักNa}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O (กรัม)}}{\text{A มล.กรดHCl} \times 0.1907} \\ &= \frac{0.2}{A} \times 0.1907 \end{aligned}$$

วิธีวิเคราะห์

1. ปิเปตตัวอย่างน้ำมา 10 มล. ใส่ลงในหลอดแก้วทวนไฟ (Micro-Kjeldahl tube) ขนาด 250 มล. เติมกะตะลิสต์ผสมลงไปประมาณ 7 กรัม เติมกรดซัลฟริกเข้มข้น (conc.H₂SO₄) 10 มล. นำไปย่อยในเตาย่อยที่ปรับอุณหภูมิขึ้นมาอยู่ที่ 450°C แล้วประมาณ 20-30 นาที จนได้สารละลายมีสีขาวขุ่น
2. นำตัวอย่างข้อ 1 มาเข้าเครื่องกลั่น กำหนดให้เติมน้ำกลั่น 75 มล. และโซเดียมไฮดรอกไซด์ 40% 50 มล. กลั่นในระยะเวลาประมาณ 4 นาที
3. เติมกรดบอริก 4% 25 มล. ลงในขวดแก้วกันแบนขนาด 250 มล. โดยหยดสารละลายอินดิเคเตอร์ผสมลงไปด้วยประมาณ 6-7 หยด สารละลายจะมีสีม่วงแดง นำไปรองรับการกลั่นจากข้อ 2 สารละลายนี้จะเปลี่ยนจากสีม่วงแดงเป็นสีเขียว และรองรับจนได้สารละลายในขวดประมาณ 150 มล.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. นำสารละลายที่ได้จากการกลั่นในข้อ 3 ไปไทเทรตกับกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน จนสีของสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วงแดง
5. กลั่นแบลงค์และไทเทรตเช่นเดียวกับตัวอย่างน้ำอย่างน้อยจำนวน 3 ตัวอย่าง

4. ปริมาณไนโตรเจนในโตรเจน ($\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$)

แอมโมเนียมเป็นสารที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ไนโตรเจนด้วยแบคทีเรียจนกลายเป็นแอมโมเนียม ส่วนไนเตรตเป็นสารที่เกิดจากการย่อยสลายสารไนโตรเจนซึ่งเกิดมาจากสารแอมโมเนียม ถ้าพบไนเตรตในน้ำแสดงว่าสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำได้ถูกย่อยสลายจนเสร็จสิ้นสมบูรณ์ นอกจากนี้แหล่งกำเนิดของไนเตรตและไนโตรเจนในน้ำยังอาจเกิดจากกระบวนการชะล้างปุ๋ยจากแหล่งน้ำใต้ดินที่ซาบซึมแหล่งน้ำผิวดินที่ใกล้เคียงกัน หรือเกิดจากการพัดพาของน้ำที่ชะรดต้นไม้อหรือฝนที่ชะล้างปุ๋ยลงสู่แหล่งน้ำโดยตรง

สำหรับวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนียมและไนเตรต คือ Kjeldahl Method

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. หลอดแก้ว (Distillation tube) ขนาด 250 มล.
2. เครื่องกลั่น (Kjeltec system)
3. ขวดแก้วกันเบบ (Erlenmeyer flask) ขนาด 100 และ 250 มล.
4. บิวเรต (Buret) ขนาด 10 มล.
5. ปิเปต (Pipet)
6. กระจกครอบบอร์ 5

สารเคมีและวิธีเตรียม

1. โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) เข้มข้น 2 N

ละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) จำนวน 149.00 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตร ตามลำดับ

2. แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) เข้มข้น 12%

ละลายแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) จำนวน 12.00 กรัม ใส่ลงในขวดแก้วกันเบบ ขนาด 125 มล. แล้วเขย่าให้เข้ากัน

3. เดวาดาอัลลอย (Dervada Alloy)

สารเดวาดาอัลลอยชนิดละเอียด ซึ่งสามารถร่อนผ่านตะแกรงขนาด 300 เมช (Mesh) ได้อย่างน้อย 75%

4. อินดิเคเตอร์ผสม (Mixed indicator)

ละลายโบรโมกรีน (Bromocresol Green) 0.330 กรัม และเมทิลเรด (Methyl Red) 0.165 กรัม ในเอทิลแอลกอฮอล์ (C_2H_5OH) จำนวน 500 มล.

5. กรดบอริกอินดิเคเตอร์ (Boric acid indicator solution)

ละลายกรดบอริก (H_3BO_3) จำนวน 40.00 กรัม ในน้ำร้อน 700 มล. เมื่อสารละลายเย็นจึงถ่ายลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1 ลิตร ซึ่งบรรจุ 200 มล. ของเอทิลแอลกอฮอล์ และ 20 มล. ของอินดิเคเตอร์ผสม แล้วเขย่าสารละลายในขวดให้เข้ากัน ค่อยๆเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.05 N ลงไปจนกระทั่งพบว่า เมื่อนำสารละลายนี้จำนวน 1 มล. มาผสมกับน้ำ 1 มล. แล้วสารละลายจะเปลี่ยนจากสีชมพูม่วงเป็นสีเขียว ปรับปริมาตรของสารละลายด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 ลิตร เขย่าสารละลายในขวดให้เข้ากัน นำสารละลายทั้งหมดนี้เก็บไว้ในขวดสีชาและรีบใช้ประโยชน์ทันที (ไม่ควรเก็บไว้เกินระยะเวลา 1 อาทิตย์)

6. กรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน (HCl) 0.05

ซิงค์ไดไฮดรอกซีเตตราโบเรต ($Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$) 0.1000 กรัม อย่างละเอียด เติมน้ำกลั่นประมาณ 25 มล. นำสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) A มล. มาเปรียบเทียบกับมาตรฐานโดยวิธีไทเทรชันโดยอาศัยเมทิลเรด (Methyl Red) เป็นอินดิเคเตอร์ และนำมาคำนวณ เพื่อคำนวณหาระดับความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน

$$\begin{aligned} \text{ความเข้มข้นของกรด HCl มาตรฐาน} &= \frac{\text{น้ำหนัก } Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O (\text{กรัม})}{A \text{ มล. กรด HCl} \times 0.1907} \\ &= \frac{0.1}{A} \times 0.1907 \end{aligned}$$

วิธีวิเคราะห์

1. ปิเปตน้ำตัวอย่างมา 50 มล. ใส่ลงในขวดแก้วกันแบนขนาด 100 มล. เติมน้ำกลั่นเติมฟอสเฟตซีมคลอไรด์ 2 N ลงไป 50 มล. นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าเป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง แล้วกรอง
2. ดูดสิ่งกรอง 20 มล. ใส่ลงในหลอดแก้ว (Distillation tube) เติมน้ำกลั่น 12% แมกนีเซียออกไซด์ลงไป 5 มล. ทำการกลั่นโดยเก็บสารที่กลั่นได้ในขวดแก้วกันแบนที่มีสารละลายกรดบอริกอินดิเคเตอร์บรรจุอยู่จำนวน 5 มล. กลั่นจนได้สารละลายในขวดแก้วมีปริมาตร 30 มล. จึงหยุดกลั่น เก็บสารละลายที่กลั่นไว้ได้นี้เพื่อหาปริมาณแอมโมเนียในโตรเจนต่อไป
3. เติมน้ำกลั่น 0.2 กรัม ลงในหลอดแก้วแล้วทำการกลั่นต่อไป โดยสารที่ได้ในขวดแก้วจะมีสารละลายกรดบอริกอินดิเคเตอร์ 5 มล. บรรจุอยู่ กลั่นจนได้สารละลายในขวดแก้วมีปริมาตรทั้งหมดประมาณ 30 มล.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. นำสารละลายที่ได้จากการกลั่นทั้ง 2 ครั้ง ไปไทเตรตกับกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน 0.05 N จนสีของสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วงแดง สารละลายที่ได้จากการกลั่นครั้งแรก คือ ปริมาณของแอมโมเนียมไนโตรเจน ส่วนครึ่งหลังคือ ไนเตรตไนโตรเจน
5. กลั่นแบลงค์โดยใช้สารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ 2 N และทำเช่นเดียวกับตัวอย่างน้ำในจำนวนอย่างน้อย 3 ตัวอย่าง

การคำนวณ

ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน	N	นอร์มอล
ปริมาณของสารละลายที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับกรดไฮโดรคลอริก	A	มล.
ปริมาณของแบลงค์ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับกรดไฮโดรคลอริก	B	มล.
ปริมาณของสารละลายที่ดูดจากสารละลายที่สกัดได้	C	มล.
ปริมาณของสารละลายที่สกัดได้	D	มล.
ปริมาตรของน้ำตัวอย่างที่ใช้	E	มล.

ปริมาณแอมโมเนียมหรือไนเตรตในน้ำ =
$$\frac{N(A - B) \times D \times 0.014 \times 10^6}{C \times E}$$

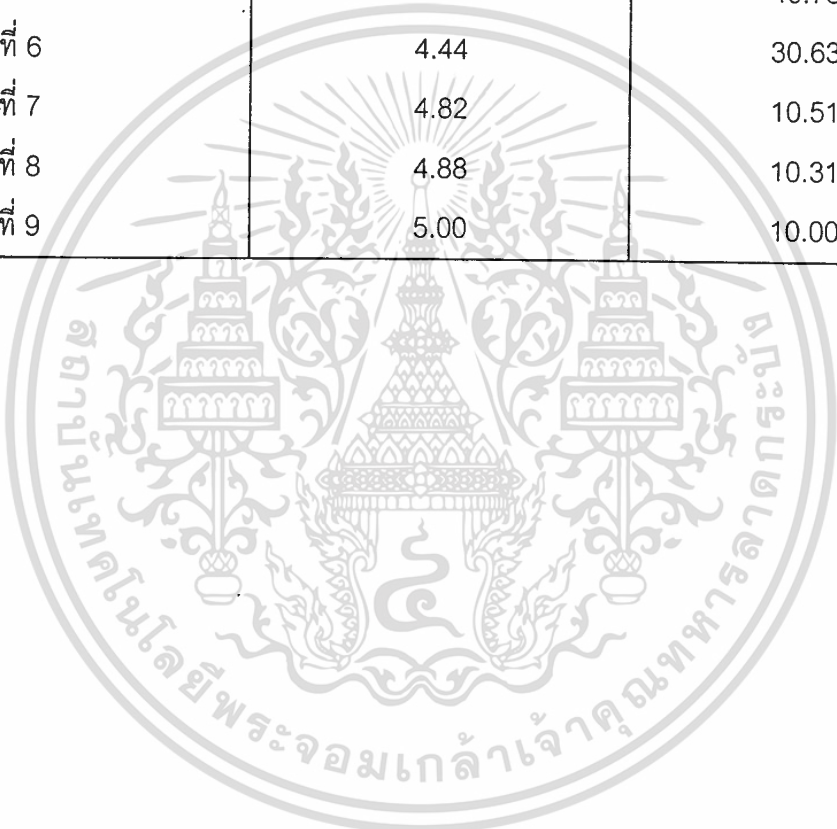
ภาคผนวก ข.
ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ SOILSOLN

ตารางภาคผนวกที่ 1 ค่า pAI ที่ได้รับการทำงานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ SOILSOLN ของ
ตัวอย่างดินชั้นบนในพื้นที่สนามกอล์ฟ

บริเวณพื้นที่	pAI	Al ³⁺ activities(μM)
1. บริเวณที่สูง (Green)		
ตัวอย่างที่ 1	7.21	0.0617
ตัวอย่างที่ 2	8.32	0.0048
ตัวอย่างที่ 3	7.65	0.0224
ตัวอย่างที่ 4	9.28	0.0005
ตัวอย่างที่ 5	8.37	0.0043
ตัวอย่างที่ 6	8.42	0.0038
ตัวอย่างที่ 7	9.02	0.0009
ตัวอย่างที่ 8	7.82	0.0010
ตัวอย่างที่ 9	9.11	0.0151
2. บริเวณพื้นที่ราบ (Fairway)		
ตัวอย่างที่ 1	6.52	0.302
ตัวอย่างที่ 2	7.01	0.0977
ตัวอย่างที่ 3	6.45	0.3548
ตัวอย่างที่ 4	6.82	0.1514
ตัวอย่างที่ 5	7.18	0.0661
ตัวอย่างที่ 6	7.20	0.0631
ตัวอย่างที่ 7	6.67	0.2138
ตัวอย่างที่ 8	6.53	0.2951
ตัวอย่างที่ 9	7.19	0.0646

ตารางภาคผนวกที่ 1 (ต่อ) ค่า pAI ที่ได้รับจากการทำงานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ SOILSOLN
ของตัวอย่างดินชั้นบนในพื้นที่สนามกอล์ฟ

บริเวณพื้นที่	pAI	Al ³⁺ activities(μM)
3. บริเวณพื้นที่ต่ำ		
ตัวอย่างที่ 1	4.92	10.2022
ตัวอย่างที่ 2	5.01	9.7724
ตัวอย่างที่ 3	4.86	10.3803
ตัวอย่างที่ 4	4.07	80.5114
ตัวอย่างที่ 5	4.32	40.7863
ตัวอย่างที่ 6	4.44	30.6308
ตัวอย่างที่ 7	4.82	10.5136
ตัวอย่างที่ 8	4.88	10.3183
ตัวอย่างที่ 9	5.00	10.0000

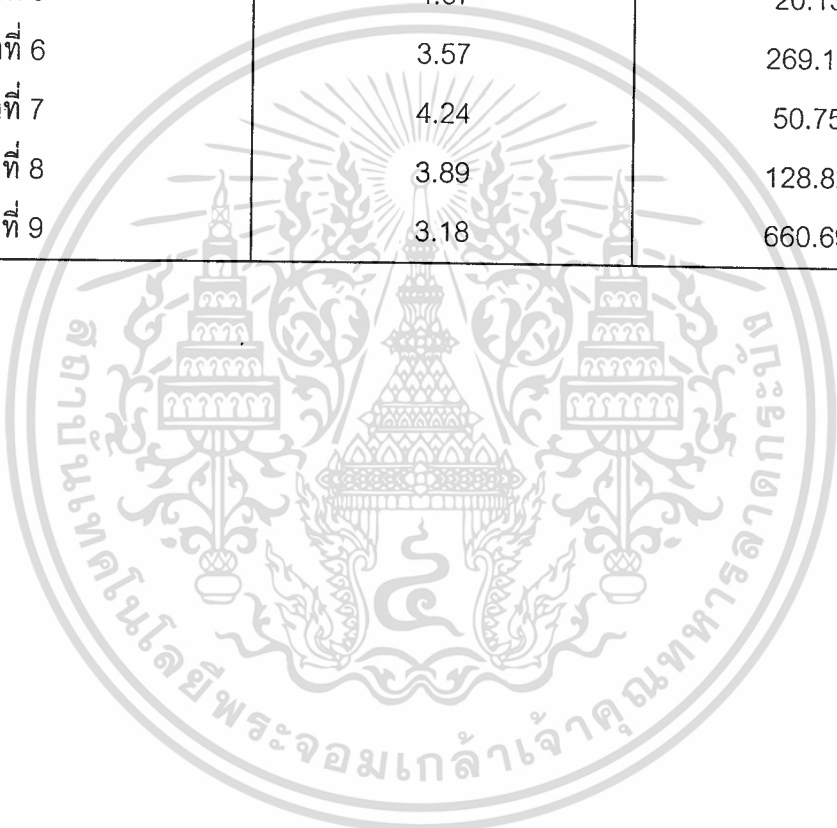


ตารางภาคผนวกที่ 2 ค่า pAl ที่ได้รับจากการทำงานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ SOILSOLN ของ
ตัวอย่างดินชั้นล่างในพื้นที่สนามกอล์ฟ

บริเวณพื้นที่	pAl	Al ³⁺ activities(μM)
1. บริเวณที่สูง (Green)		
ตัวอย่างที่ 1	6.92	0.1202
ตัวอย่างที่ 2	7.43	0.0372
ตัวอย่างที่ 3	7.64	0.0291
ตัวอย่างที่ 4	8.36	0.0044
ตัวอย่างที่ 5	8.23	0.0059
ตัวอย่างที่ 6	7.56	0.0275
ตัวอย่างที่ 7	7.72	0.0191
ตัวอย่างที่ 8	6.87	0.1349
ตัวอย่างที่ 9	8.34	0.0046
2. บริเวณพื้นที่ราบ (Fairway)		
ตัวอย่างที่ 1	8.68	0.0002
ตัวอย่างที่ 2	6.02	0.955
ตัวอย่างที่ 3	5.48	3.3113
ตัวอย่างที่ 4	5.67	2.138
ตัวอย่างที่ 5	7.34	0.0457
ตัวอย่างที่ 6	8.43	0.0037
ตัวอย่างที่ 7	7.21	0.0617
ตัวอย่างที่ 8	8.52	0.003
ตัวอย่างที่ 9	5.96	1.0965

ตารางภาคผนวกที่ 2 (ต่อ) ค่า pAI ที่ได้รับจากการทำงานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ SOILSOLN
ของตัวอย่างดินชั้นล่างในพื้นที่สนามกอล์ฟ

บริเวณพื้นที่	pAI	Al ³⁺ activities(μM)
3. บริเวณพื้นที่ต่ำ		
ตัวอย่างที่ 1	3.26	549.5409
ตัวอย่างที่ 2	4.92	10.2589
ตัวอย่างที่ 3	3.48	33.1311
ตัวอย่างที่ 4	4.02	90.5499
ตัวอย่างที่ 5	4.67	20.1379
ตัวอย่างที่ 6	3.57	269.1535
ตัวอย่างที่ 7	4.24	50.7544
ตัวอย่างที่ 8	3.89	128.8249
ตัวอย่างที่ 9	3.18	660.6934



ประวัติผู้เขียน

นางสาวณัฏฐา สุทธิเพท เกิดเมื่อวันที่ 3 ตุลาคม พ.ศ.2514 ที่จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษาลัทธิสุตรวินัยศาสตรบัณฑิต สาขาเคมี จากสถาบันราชภัฏอุบลราชธานี เมื่อปีการศึกษา 2536 และได้เข้าทำการศึกษาต่อลัทธิสุตรวินัยศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีประยุกต์ ที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เมื่อปีพ.ศ.2537



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้