ผลกระทบของอาทราซีนต่อราดินในแปลงปลูกอ้อย จังหวัดสุพรรณบุรีและขอนแก่น

Effects of Atrazine on Soil Fungi in Sugarcane Fields, Suphan Buri and Khon Kaen Provinces

จิตรา เกาะแก้ว[1*] สนธยา ขำติ๊บ[1] บุณฑริก ฉิมชาติ[1] อำนาจ เอี่ยมวิจารณ์[1]
กนกอร บุญพา[1] มนต์ชัย มนัสสิลา[1] ปภัสรา คุณเลิศ[2] และธวัชชัย อินทร์บุญช่วย[3]

Jitra kokaew[1*], Sontaya Khamtib[1], Boontarik Chimchart[1], Amnat Eamvijarn[1], Kanokon Bunpha[1], Monchai Manassila[1], Paphatsara Khunlert [2] and Tawatchai Inboonchuay[3]

Received: February 17, 2025
Revised: May 23, 2025
Accepted: May 23, 2025

Abstract: The study of the effects of atrazine on soil fungi in sugarcane fields at Khon Kaen and Suphan Buri provinces aimed to investigate the physical and chemical properties of the soil and the diversity of soil fungi using metagenomics. The soil properties analyzed included particle size distribution, pH, organic matter, available phosphorus, exchangeable potassium, and cation exchange capacity. The study also measured the residual atrazine in the soil and analyzed the structure of fungal population before and after application of atrazine, at 2 hours and 30 days, by extracting and amplifying the DNA from soil samples. The findings showed that the soil in sugarcane fields of Khon Kaen had a sandy texture, slightly acidic pH, and low levels of organic matter, available phosphorus, exchangeable potassium, and cation exchange capacity. In contrast, the soil in the sugarcane fields of Suphan Buri was loamy, with a neutral pH, moderate organic matter, high levels of available phosphorus and potassium, and a moderate cation exchange capacity. In terms of atrazine residues, no traces of atrazine were found in the soil before its application in both areas. However, atrazine was detected in the soil after its application, and the concentration decreased over time. The metagenomic analysis of soil fungi revealed that, in the Khon Kaen sugarcane fields, the fungal diversity was higher in soils treated with atrazine at 2 hours after application compared to before the application and 30 days after application. The five most abundant fungal genera in this area were *Ruhlandiella, Penicillium*, Thielavia, Calvatia and Alfaria. In the Suphan Buri sugarcane fields, the highest fungal diversity was observed in soils before the application of atrazine. Two hours after the application, the fungal diversity decreased, but it increased again 30 days after the application. The five most abundant fungal genera in this area were *Scytalidium, Gyrodontium, Aspergillus, Gymnascella* and *Humicola*.

Keywords: Atrazine, Metagenomics, Soil fungi, Sugarcane

---

[1]กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ 10900
[1]Soil Science Research Group, Agricultural Production Science Research and Development Division, Department of Agriculture, Bangkok 10900
[2]กลุ่มวิจัยวัตถุมีพิษการเกษตร กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ 10900
[2]Agricultural toxic substances research group, Agricultural Production Science Research and Development Division, Department of Agriculture, Bangkok 10900
[3]ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จ.นครปฐม 73140
[3]Department of Soil Science, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140
*Corresponding author: jeabjitra@gmail.com

วิทยาศาสตร์เกษตรและการจัดการ 9 (3) : 73-84 (2569)

บทคัดย่อ: การศึกษาผลกระทบของอาทราซีนต่อราดินในแปลงปลูกอ้อยจังหวัดขอนแก่น และสุพรรณบุรี มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน และศึกษาความหลากหลายของราดินด้วยวิธีเมตาจีโนมิกส์ วิเคราะห์คุณสมบัติของดินได้แก่ การกระจายขนาดอนุภาค ค่าความเป็นกรด-ด่าง อินทรียวัตถุ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน วัดปริมาณอาทราซีนที่ตกค้างในดิน และวิเคราะห์โครงสร้างของกลุ่มประชากรราดินที่ระยะเวลาก่อนพ่นอาทราซีน และหลังพ่นอาทราซีน 2 ชั่วโมง และ 30 วัน โดยการสกัดดีเอ็นเอจากตัวอย่างดินรวมทั้งการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอของรา พบว่า ดินในแปลงปลูกอ้อยจังหวัดขอนแก่นมีเนื้อดินเป็นดินทราย pH เป็นกรดอ่อน ปริมาณอินทรียวัตถุ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนอยู่ในระดับต่ำ ดินในแปลงปลูกอ้อยจังหวัดสุพรรณบุรี เป็นดินร่วน มี pH เป็นกลาง ปริมาณอินทรียวัตถุปานกลาง ฟอสฟอรัสที่ และโพแทสเซียมอยู่ในระดับสูง ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนอยู่ในระดับปานกลาง การวัดปริมาณอาทราซีนที่ตกค้างในดินพบว่า ก่อนพ่นอาทราซีนในดินทั้ง 2 พื้นที่ตรวจไม่พบสารอาทราซีน และหลังพ่นอาทราซีนตรวจพบสารอาทราซีนในดินและปริมาณสารจะลดลงเมื่อระยะเวลานานขึ้น การวิเคราะห์สารพันธุกรรมของราดินด้วยวิธีเมตาจีโนมิกส์ พบว่า ในพื้นที่ปลูกอ้อยจังหวัดขอนแก่น ความหลากหลายของราในดินที่ระยะเวลาหลังพ่นอาทราซีน 2 ชั่วโมง มีความหลากหลายสูงกว่าก่อนพ่นอาทราซีน และหลังพ่นอาทราซีน 30 วัน โดยมีราดินชนิดหลักที่พบมาก 5 อันดับแรก ได้แก่ *Ruhlandiella, Penicillium, Thielavia, Calvatia* และ *Alfaria* ในขณะที่พื้นที่ปลูกอ้อยจังหวัดสุพรรณบุรี พบว่า ที่ระยะเวลาก่อนพ่นอาทราซีนมีความหลากหลายของประชากรราดินสูงที่สุดเมื่อเวลาผ่านไป 2 ชั่วโมงความหลากหลายของราดินลดลงและจะมีความหลากหลายของราดินเพิ่มมากขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป 30 วันหลังพ่นอาทราซีน ในพื้นที่ปลูกอ้อย มีราดินชนิดหลักที่พบมาก 5 อันดับแรก ได้แก่ *Scytalidium, Gyrodontium, Aspergillus, Gymnascella* และ *Humicola*

คำสำคัญ: อาทราซีน, เมตาจีโนมิกส์, ราดิน, อ้อย

คำนำ

อาทราซีน (atrazine) เป็นสารกำจัดวัชพืชกลุ่ม triazine ประเภทเลือกทำลาย มีการใช้กันอย่างแพร่หลายทั่วโลก เนื่องจากใช้ง่ายและราคาถูก นิยมใช้เป็นยาคุมก่อนวัชพืชงอก อาทราซีนมีความคงทนในดินสูงเคลื่อนย้ายในดินได้ปานกลางถึงมาก ทำให้เกิดการตกค้างในดินสูง ความคงทนของอาทราซีนเมื่อลงสู่ดินจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของสาร และปัจจัยอื่น ๆ ได้แก่ เนื้อดิน ปริมาณอินทรียวัตถุ ปริมาณน้ำ จำนวนจุลินทรีย์ และค่า pH ของดิน (Wang *et al*., 1999) ดินเป็นระบบนิเวศที่มีความซับซ้อนเป็นที่อยู่ของสิ่งมีชีวิตหลากหลายประเภท ชุมชนจุลินทรีย์ดินจัดเป็นความเชื่อมโยงที่ซับซ้อนในระบบนิเวศเนื่องจากทำหน้าที่สำคัญในวัฏจักรคาร์บอนและไนโตรเจน ราถือเป็นจุลินทรีย์ดินกลุ่มหนึ่งที่ประสบความสำเร็จในการอาศัยในดิน เนื่องจากความสามารถในการปรับตัวเพื่อตอบสนองต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เอื้ออำนวยในการดำรงชีวิตได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ชุมชนราในดินทำหน้าที่เป็นตัวดูดซับสารพิษได้อย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยในการย่อยสลายสารอินทรีย์และย่อยสลายส่วนประกอบของดิน และรายังทำหน้าที่เป็นตัวช่วยในการควบคุมทางชีวภาพได้ เช่น สามารถควบคุมโรค แมลงศัตรูพืช และการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ นอกจากนี้รายังมีบทบาทสำคัญในการตรึงไนโตรเจน การย่อยสลายซากพืช การย่อยสลายโพลีเมอร์ การควบคุมทางชีวภาพกับโรคทางราก และการป้องกันความแห้งแล้ง (Jayne and Quigley, 2014; Thomas *et al*., 2015) การศึกษาความหลากหลายของราในอดีตมักใช้ลักษณะทางสัณฐานวิทยา (phenotypic characteristics) ซึ่งเป็นมาตรฐานหลักในการจำแนกรามานานหลายปี (Bartnicki-Garcia, 1987) ในปัจจุบันการศึกษาชุมชนจุลินทรีย์มีการพัฒนาวิธีที่รวดเร็ว แม่นยำ ไม่ต้องเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์บนอาหารเลี้ยงเชื้อ ทำให้สามารถศึกษาทั้งโครงสร้างและหน้าที่ของชุมชนจุลินทรีย์ดินได้ในสภาพที่อยู่ในสิ่งแวดล้อม การศึกษาชุมชนจุลินทรีย์

ดินโดยไม่มีการเพาะเลี้ยง ทำให้ลดข้อจำกัดในกลุ่มของจุลินทรีย์ดินที่ไม่สามารถทำการเพาะเลี้ยงได้โดยเฉพาะจุลินทรีย์ดินกลุ่มที่ไม่ต้องการออกซิเจนในการเจริญ (anaerobic microbes) รวมไปถึงประชากรจุลินทรีย์ดินที่มีความซับซ้อนก็สามารถทำการศึกษาได้เช่นกัน (Bastone and Tyson, 2014) การพัฒนาเมตาจีโนมิกส์ (metagenomics) เป็นตัวช่วยในการศึกษาจีโนมิกส์ของราที่สามารถใช้เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการประเมินชุมชนราในดินได้อย่างครอบคลุมมากขึ้น เทคโนโลยี Next Generation Sequencing (NGS) ได้ถูกนำมาใช้ในการศึกษาทางด้านเมตาจีโนมิกส์ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา เนื่องจากมีต้นทุนต่ำ รวดเร็ว และมีข้อได้เปรียบทางเทคนิคที่สำคัญ การศึกษาผลกระทบของสารกำจัดวัชพืชอาทราซีนต่อชนิดและจำนวนประชากรของราดินถือเป็นเรื่องจำเป็น เนื่องจากสามารถใช้เป็นแนวทางในการเฝ้าระวัง ฟื้นฟู และรักษาสิ่งแวดล้อมเกษตรที่ยั่งยืนในพื้นที่เสี่ยงที่มีการใช้สารกำจัดวัชพืช

อุปกรณ์และวิธีการ

การพ่นสารอาทราซีนในแปลงปลูกอ้อย และการเก็บตัวอย่างดิน

ทำการศึกษาในพื้นที่แปลงปลูกอ้อย 2 พื้นที่ ได้แก่ แปลงทดลองภายในศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี ซึ่งเป็นแปลงขยายพันธุ์อ้อย ตั้งอยู่ที่ ต.จรเข้สามพัน อ.อู่ทอง จ.สุพรรณบุรี ปลูกอ้อยวันที่ 14 กุมภาพันธ์ 2566 ภายในแปลงทดลองมีอุณหภูมิเฉลี่ย 32 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70 เปอร์เซ็นต์ มีการจัดการแปลง โดยใส่ปุ๋ยเคมีเกรด 15-15-15 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ แบ่งใส่ 2 ครั้ง ครั้งแรกใส่รองก้นหลุมก่อนวางท่อนพันธุ์ อัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่ เมื่ออ้อยอายุได้ 3-4 เดือน ใส่ปุ๋ยอัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่ จัดการวัชพืชโดยพ่นอาทราซีน อัตรา 400 กรัมสารออกฤทธิ์ ผสมน้ำ 60 ลิตร ต่อพื้นที่ 1 ไร่ โดยพ่นคลุมดินก่อนวัชพืชงอก และแปลงทดลองจังหวัดขอนแก่นใช้แปลงเกษตรกรในพื้นที่บ้านหนองไฮ ต.นาเพียง อ.ชุมแพ จ.ขอนแก่น ปลูกอ้อยวันที่ 21 กุมภาพันธ์ 2566 ภายในแปลงทดลองมีอุณหภูมิเฉลี่ย 28 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 51 เปอร์เซ็นต์ มีการจัดการแปลงโดยใส่ปุ๋ยเคมีเกรด 15-15-15 อัตรา 40 กิโลกรัมต่อไร่ แบ่งใส่ 2 ครั้ง ครั้งที่ 1 ต้นเดือนมิถุนายน อัตรา 20 กิโลกรัมต่อไร่ ครั้งที่ 2 ต้นเดือนกันยายน อัตรา 20 กิโลกรัมต่อไร่ จัดการวัชพืชโดยพ่นสารอาทราซีน อัตรา 400 กรัมสารออกฤทธิ์ ผสมน้ำ 60 ลิตร ต่อพื้นที่ 1 ไร่ โดยพ่นคลุมดินก่อนวัชพืชงอก ตลอดระยะเวลาการทดลองไม่มีการพ่นสารกำจัดศัตรูพืชชนิดอื่น การเก็บตัวอย่างดินเก็บแบบ composite sample ที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตร เนื่องจากเป็นระดับความลึกที่รากพืชเจริญและเป็นบริเวณที่มีจุลินทรีย์ดินอยู่หนาแน่น เก็บดินก่อนพ่นสารอาทราซีน หลังพ่นสาร 2 ชั่วโมง และหลังพ่นสาร 30 วัน โดยสุ่มเก็บตัวอย่างดินกระจายให้ทั่วแปลง ๆ ละ 30 จุด (เอิบ, 2548) เพื่อนำมาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน ได้แก่ การกระจายขนาดอนุภาค (particle size distribution) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อินทรียวัตถุ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน ตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารอาทราซีนที่ตกค้างในดิน และสกัดดีเอ็นเอจากตัวอย่างดินรวมทั้งการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอของรา

การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน

การกระจายขนาดอนุภาค (particle size distribution) โดยวิธี Pipette (Gee and Bauder, 1986) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) (National Soil Survey Center, 1996) อินทรียวัตถุ (Organic matter) โดยวิธี Walkley-Black (Nelson and Sommers, 1996) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available phosphorus) โดยวิธี Bray II (Bray and Kurtz, 1945) และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable potassium) (Thomas, 1982) และค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (cation exchange capacity; CEC) โดยใช้การชะละลายแคตไอออนด้วยสารละลาย 1M NH_4OAc ที่เป็นกลาง (pH 7.0) (Chapman, 1965)

การตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารอาทราซีนตกค้างในดิน

วิเคราะห์อาทราซีนในดินโดยประยุกต์ใช้วิธี ultrasonic (Babic *et al*., 1998) ชั่งดิน 20 กรัม เติม

ethyl acetate 75 มิลลิลิตรในตัวอย่างดิน เขย่าให้เข้ากัน นำไปวางใน ultrasonic bath นาน 25 นาที จากนั้นนำไปกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 ยี่ห้อ WhatmanTM ของบริษัท GE Healthcare UK Limited ที่มี sodium sulfate อยู่ด้านบน และล้างด้วย ethyl acetate (AR) 2 ครั้ง และนำไปทำให้ระเหยจนเกือบแห้งด้วยเครื่อง rotary evaporator ที่อุณหภมิ 40 องศาเซลเซียส ปรับปริมาตรด้วย ethyl acetate (PR) จนได้ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ใส่ในขวด vial นำไปวิเคราะห์สารอาทราซีนด้วยเครื่อง Gas Chromatography (GC) รุ่น 7890B ยี่ห้อ Agilent ชนิดตัวตรวจวัด Nitrogen-Phosphorus Detector (GC-NPD) โดยกำหนดสภาวะการทำงานของเครื่องดังนี้ ใช้คอลัมน์ DB-35 ความยาว 30 เมตร กว้าง 0.25 มิลลิเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.25 มิลลิเมตร เคลือบด้วยฟิล์ม thickness ใช้โหมดฉีดตัวอย่างแบบ spitless ตั้งอุณหภูมิคอลัมน์ injector 230 องศาเซลเซียล อุณหภูมิ detector 300 องศาเซลเซียล ใช้แก๊สฮีเลียมที่มีอัตราการไหล 1.4 มิลลิลิตรต่อนาที เป็นตัวพา ฉีดตัวอย่าง 1 โมโครลิตร ใช้ระยะเวลาในการฉีดตัวอย่าง 25 นาทีต่อตัวอย่าง

การสกัดดีเอ็นเอจากตัวอย่างดิน และการเพิ่มปริมาณดิเอ็นเอของรา

สกัดดีเอ็นเอจากตัวอย่างดิน 0.25 กรัม โดยใช้ชุดสกัดดีเอ็นเอของ Qiagen Dneasy Power Soil Kit (QIAGEN, Germany) จากนั้นนำไปเพิ่มปริมาณโดยใช้ universal primers ศึกษายีนบริเวณ ITS region ซึ่งใช้สำหรับศึกษารา ได้แก่ ITS-1 region (ITS5-1737F : GGAAGTAAAAGTCGTAACAAGG, ITS2-2043R : GCTGCGTTCTTCATCGATGC) และ ITS-2 region (ITS3-2024F : GCATCGATGAAGAACGCAGC, ITS4-2409R : TCCTCCGCTTATTGATATGC) วิเคราะห์ผลโดยใช้เทคโนโลยี next-generation sequencing (NGS) โดย แพลตฟอร์ม Illumina NovaSeq 6000 ซึ่งลำดับดีเอ็นเอที่ได้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลของจุลชีพต่าง ๆ (microbial database)

การประมวลผลข้อมูล

ใช้โปรแกรม QIIME ในการวิเคราะห์ ทำการจำแนกชนิดใช้ RDP classifier กับฐานข้อมูล Fungal OTUs จากนั้นทำการระบุ Phylum, Class, Order, Family, Genus และ Species ตาม Operational taxonomic unit (OTU) และลำดับที่อ่านได้ ชนิดของราที่อยู่นอกเหนือจาก 10 อันดับแรกจะถูกจัดอยู่ในกลุ่ม "อื่นๆ" (Others) และลำดับที่ไม่มีการจัดเรียงกับฐานข้อมูลจะถูกจัดอยู่ในกลุ่ม "ไม่ทราบ" (Unknown) วิเคราะห์ข้อมูลดัชนีความหลากหลายของราในดินโดยใช้ Shannon–Wiener index

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. สมบัติทางเคมีและกายภาพของดิน

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างดินในแปลงปลูกอ้อยในจังหวัดขอนแก่นมีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย มีค่า pH เป็นกรดอ่อน ปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ในระดับต่ำ (3.41 กรัมต่อกิโลกรัม) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำ (3.80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในระดับต่ำ (11.28 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนอยู่ในระดับต่ำ และตัวอย่างดินในแปลงปลูกอ้อย จังหวัดสุพรรณบุรี มีเนื้อดินเป็นดินร่วน มีค่า pH เป็นกลาง ปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ในระดับปานกลาง (15.80 กรัมต่อกิโลกรัม) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับสูง (123.30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในระดับสูง (147.63 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนอยู่ในระดับปานกลาง (Table 1)

Table 1 General characteristics of soils in the experiment.

Treatments	pH (1:1)	OM ($g\ kg^{-1}$)	Avail. P (----- $mg\ kg^{-1}$ -----)	Exch. K	CEC ($cmol\ kg^{-1}$)	Particle size distribution (%)			Textural class
						Sand	Silt	Clay	
Chum Phae, Khon Kaen	6.01	3.41	3.80	11.28	3.22	63.66	32.09	4.25	Sandy loam
Uthong, Suphan Buri	7.02	15.80	123.30	147.63	13.28	33.79	45.18	21.03	loam

2. การตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารอาทราซีนตกค้างในดิน

ผลการตรวจวัดปริมาณอาทราซีนที่ตกค้างในดินของแปลงปลูกอ้อยในพื้นที่จังหวัดขอนแก่น และสุพรรณบุรี พบว่า ก่อนทำการพ่นสารอาทราซีน ตรวจไม่พบสารอาทราซีนตกค้างในดิน ทั้ง 2 พื้นที่ หลังพ่นสารพ่นสารอาทราซีน 2 ชั่วโมง พบว่า แปลงทดลองในพื้นที่จังหวัดขอนแก่นมีปริมาณสารอาทราซีน 2.02 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม เมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง ตรวจพบอาทราซีนเพิ่มขึ้นเป็น 2.13 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม เมื่อระยะเวลาหลังพ่นสารนานขึ้นจนที่ระยะเวลาหลังพ่น 30 วัน ตรวจไม่พบอาทราซีนตกค้างในดิน ส่วนแปลงทดลองในพื้นที่จังหวัดสุพรรณบุรี พบว่า ปริมาณอาทราซีนที่ตรวจพบในดินเป็นไปในทิศทางเดียวกับในพื้นที่จังหวัดขอนแก่น คือหลังพ่นสาร 2 ชั่วโมงตรวจพบอาทราซีน 0.57 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม และปริมาณสารจะเพิ่มขึ้นหลังพ่นสาร 24 ชั่วโมง พบอาทราซีน 1.49 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม จากนั้นปริมาณอาทราซีนจะลดลงเมื่อระยะเวลาหลังพ่นสารนานขึ้น (Table 2) ดินทั้งสองพื้นที่มีเนื้อดินแตกต่างกัน มีความสามารถในการดูดซับอาทราซีนที่แตกต่างกัน โดยพบว่าเนื้อดินในจังหวัดขอนแก่นซึ่งเป็นดินทรายสามารถดูดซับอาทราซีนได้ในระยะเวลาที่สั้นกว่าดินในพื้นที่จังหวัดสุพรรณบุรี ที่ระยะเวลาหลังพ่นสารอาทราซีน 30 วัน ยังสามารถตรวจพบสารอาทราซีนได้ในดิน นอกจากนี้ยังพบว่า แปลงทดลองในจังหวัดสุพรรณบุรีมีปริมาณอินทรียวัตถุสูงกว่าดินในแปลงทดลองจังหวัดขอนแก่น ซึ่งทำให้ความคงทนของอาทราซีนยาวนานกว่าดินในพื้นที่จังหวัดขอนแก่น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยหลายงาน เช่น Wang *et al.* (1999) รายงานว่าความคงทนอาทราซีนเมื่อลงสู่ดินจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของสาร และปัจจัยอื่น ๆ ที่มีอิทธิพลต่อความคงทนของอาทราซีน ในดิน ได้แก่ เนื้อดิน ปริมาณอินทรียวัตถุ ปริมาณน้ำ จำนวนจุลินทรีย์ และค่า pH ของดิน Farruggia *et al.* (2016) รายงานว่าการเคลื่อนที่ของอาทราซีนในดินจะเกี่ยวข้องกับการดูดซับของคอลลอยด์ในดิน ถ้าปริมาณอินทรียวัตถุและอนุภาคดินเหนียวมีค่าสูงจะดูดซับอาทราซีนไว้ได้มาก อาทราซีนสามารถสลายตัวจากกระบวนการทางกายภาพ เช่นการสลายตัวด้วยแสงจากธรรมชาติ ที่ค่าความคงทนในดินปานกลาง ทำให้โครงสร้างของสารเปลี่ยนแปลงไป และสามารถเกิดการระเหยได้ตามธรรมชาติ ซึ่งเกิดในปริมาณน้อยมาก

Table 2 Amount of atrazine (mg/kg) in soil.

Sampling time after spraying atrazine	Location	
	Chum Phae, Khon Kaen	Uthong, Suphan Buri
before spray	ND	ND
after spray 2 hours	2.02	0.57
after spray 24 hours	2.13	1.49
after spray 30 days	ND	0.12

ND=Not detected

3. โครงสร้างกลุ่มประชากรและความหลากหลายของกลุ่มประชากรราในพื้นที่ทำการทดลอง

การวิเคราะห์ลำดับเบสของ ITS ยีน บริเวณ ITS1-ITS2 ของประชากรรา ในพื้นที่ปลูกอ้อยที่มีการใช้สารอาทราซีนใน 3 ช่วงเวลา ได้แก่ ก่อนพ่นอาทราซีน หลังพ่นอาทราซีน 2 ชั่วโมง และหลังพ่นอาทราซีน 30 วัน พบว่า ในตัวอย่างดินที่เก็บจากแปลงปลูกอ้อยที่ในพื้นที่จังหวัดขอนแก่น และจังหวัดสุพรรณบุรี สามารถอ่านลำดับเบสที่มีคุณภาพสูงได้ 293,858 และ 276,223 read ตามลำดับ สามารถระบุ operational taxonomic unit (OTUs) ในทุก ๆ ตัวอย่างดินได้ 5,915 OTUs ซึ่งพบว่าในพื้นที่ปลูกอ้อย

จังหวัดขอนแก่น มี 273 OTUs ของราดินที่พบร่วมกันในทั้ง 3 ตัวอย่างดิน โดยมี 107 OTUs ที่พบร่วมกันระหว่างตัวอย่างดินก่อนพ่นอาทราซีน และหลังพ่นอาทราซีน 2 ชั่วโมง 50 OTUs ที่พบร่วมกันระหว่างตัวอย่างดินก่อนพ่นอาทราซีน และหลังพ่นอาทราซีน 30 วัน 196 OTUs ที่พบร่วมกันระหว่าง ตัวอย่างดินหลังพ่นอาทราซีน 2 ชั่วโมง และหลังพ่นอาทราซีน 30 วัน (Figure 1A) ในพื้นที่ปลูกอ้อยจังหวัดสุพรรณบุรี มี 372 OTUs ของราดินที่พบร่วมกันในทั้ง 3 ตัวอย่างดิน โดยมี 66 OTUs ที่พบร่วมกันระหว่างตัวอย่างดินก่อนพ่นอาทราซีน และหลังพ่นอาทราซีน 2 ชั่วโมง, 93 OTUs ที่พบร่วมกันระหว่าง ตัวอย่างดินก่อนพ่นอาทราซีน และหลังพ่นอาทราซีน 30 วัน, 106 OTUs ที่พบร่วมกันระหว่าง ตัวอย่างดินหลังพ่นอาทราซีน 2 ชั่วโมง และหลังพ่นอาทราซีน 30 วัน (Figure 1B)

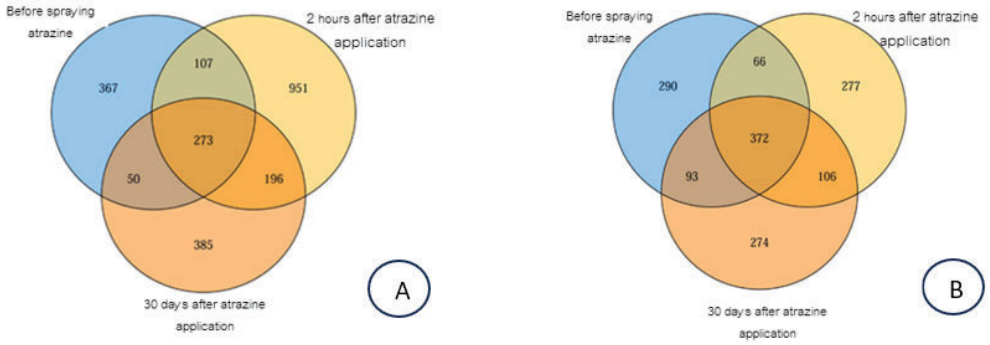


Figure 1 Venn analysis of the OTUs. Different groups are shown in different colors, and the numbers in the overlapping portions represent the number of species common to all the groups (A=Khon Kaen, B=Suphanburi).

ลำดับเบสที่อ่านได้ส่วนใหญ่จัดจำแนกอยู่ในไฟลัม Ascomycota พบว่า ตัวอย่างดินในพื้นที่ปลูกอ้อยจังหวัดขอนแก่นที่ระยะเวลาก่อนพ่นอาทราซีนมี Ascomycota ทั้งหมด 28 เปอร์เซ็นต์ หลังพ่นอาทราซีน 2 ชั่วโมง พบ 39 เปอร์เซ็นต์ หลังพ่นอาทราซีน 30 วัน พบ 61 เปอร์เซ็นต์ และพื้นที่ปลูกอ้อยจังหวัดสุพรรณบุรี พบว่า ก่อนพ่นอาทราซีนมี Ascomycota ทั้งหมด 44 เปอร์เซ็นต์ หลังพ่นอาทราซีน 2 ชั่วโมง พบ 36 เปอร์เซ็นต์ หลังพ่นอาทราซีน 30 วัน พบ 49 เปอร์เซ็นต์ การทดลองครั้งนี้สอดคล้องกับรายงานของ Prober *et al.*(2014) ที่ระบุถึงความอุดมสมบูรณ์และการแพร่กระจายของรา Ascomycetes ในดินทั่วโลก ก่อนหน้านี้ Phylum Ascomycota เป็นชุมชนราดินที่มีความโดดเด่นและพบได้มากที่สุด (Sterflinger *et al.*, 2012; Abed *et al.*, 2013; Bastida *et al.*, 2013) ในกลุ่มของ Ascomata ส่วนใหญ่ตรวจพบ Class Sordariomycetes, Dothideomycetes, Eurotiomycetes และ Class ที่ตรวจพบได้ในปริมาณน้อย ได้แก่ Orbiliomycetes, Lecanolomycetes และ Leotiomycetes Class Sordariomycetes และ Eurotiomycetes ในอดีตพบเป็น Class ที่มีความหลากหลายสูงและสามารถพบได้ในทุก ๆ ตัวอย่างดิน บ่งบอกว่ารากลุ่มนี้มีความคงทนสูงในระบบนิเวศ สมาชิกของราใน Class Sordariomycetes มีรายงานว่าเป็นเชื้อก่อโรคกับพืชและสัตว์ นอกจากนี้ยังพบว่าเป็นราเอนโดไฟท์ในพืชและเป็นราที่ช่วยย่อยสลายเศษซากพืชซากสัตว์ ซึ่งเกี่ยวข้องกับการหมุนเวียนของธาตุอาหารในดิน (Qin *et al.*, 2014) นอกจากนี้ยังพบว่ามีลำดับเบสที่ไม่สามารถจับคู่กับลำดับเบสในฐานข้อมูล NCBI ได้ ซึ่งพบในตัวอย่างดินของพื้นที่ปลูกอ้อยจังหวัดขอนแก่น ที่ระยะเวลาก่อนพ่นอาทราซีน พบ 29 เปอร์เซ็นต์ หลังพ่นอาทราซีน 2 ชั่วโมง พบ 30 เปอร์เซ็นต์ และหลังพ่นอาทราซีน

30 วัน พบ 20 เปอร์เซ็นต์ ในพื้นที่ปลูกอ้อยจังหวัดสุพรรณบุรี ระยะเวลาก่อนพ่นอาทราซีน พบ 32 เปอร์เซ็นต์ หลังพ่นอาทราซีน 2 ชั่วโมง พบ 45 เปอร์เซ็นต์ หลังพ่นอาทราซีน 30 วัน พบ 33 เปอร์เซ็นต์ โดยลำดับเบสเหล่านี้ส่วนใหญ่ตรงกับสมาชิกของ Fungi incertae sedis ซึ่งพบมากเป็นอันดับสองในการศึกษาครั้งนี้ (Figure 2)

Phylum Basidiomycota ถูกรายงานว่ามีความหลากหลายและตรวจพบได้ทั่วไปในระบบนิเวศของดิน (Buée *et al*., 2009) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษานี้ที่แสดงให้เห็นว่ามีการอ่านลำดับเบสของราในไฟลัมนี้อยู่ 10 เปอร์เซ็นต์ โดยลำดับเบสส่วนใหญ่ตรงกับสกุล Calvatia, Rhizoctonia, Thelephora, Gyrodontium และ Ganoderma สกุลเหล่านี้เป็นที่ทราบกันดีว่าประกอบด้วยสายพันธุ์ที่เกี่ยวข้องกับมนุษย์หลายชนิด (de Hoog *et al*., 2000) เช่น ราที่ทำให้เกิดโรคกับพืชได้แก่ Rhizoctonia และ Ganoderma เป็นต้น

Phylum Chytridiomycota, Mucoromycota และ Glomeromycota ตรวจพบได้น้อยมากในการทดลองครั้งนี้ โดยในแปลงอ้อยจังหวัดขอนแก่นพบ Phylum Chytridiomycota 0.4, 0.8 และ 1.0 เปอร์เซ็นต์ Mucoromycota 0.2, 0.1 และ 0.03 เปอร์เซ็นต์ ที่ระยะเวลาก่อนพ่นอาทราซีน หลังพ่น 2 ชั่วโมง และหลังพ่น 30 วัน ตามลำดับ Phylum Glomeromycota พบ 0.1 เปอร์เซ็นต์ที่ระยะเวลาหลังพ่นอาทราซีน 2 ชั่วโมง และหลังพ่นอาทราซีน 30 วัน แปลงอ้อยจังหวัดสุพรรณบุรี พบ Chytridiomycota 0.2, 0.09 และ 0.03 เปอร์เซ็นต์ Mucoromycota พบ 0.6, 0.9 และ 1 เปอร์เซ็นต์ ที่ระยะเวลาก่อนพ่นอาทราซีนหลังพ่นอาทราซีน 2 ชั่วโมง และหลังพ่น 30 วันตามลำดับ ลำดับเบสของ Mucoromycota และ Chytridiomycota ส่วนใหญ่จัดอยู่ในสกุล Mortierella และ Pizellomyces ตามลำดับ ซึ่งมีรายงานว่าเป็นกลุ่มราที่พบบ่อยในดิน (Zhang *et al*., 2014) มีรายงานว่าสมาชิกของราในสกุลนี้ทำให้สารอินทรีย์ที่อยู่ในดินกลายเป็นธาตุอาหารที่มีประโยชน์กับพืชมากกว่าที่จะทำให้เกิดการย่อยสลายเศษซากในดิน (Brown and Jumpponen, 2014) ในขณะเดียวกันยังพบว่ารากลุ่มนี้สามารถเข้าไปอาศัยภายในสปอร์ของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาได้ (Daniels, 1981) การศึกษาครั้งนี้สามารถตรวจพบลำดับเบสของราเหล่านี้ได้แม้ว่าจะมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ (<1% ของลำดับเบสที่อ่านได้ทั้งหมด)

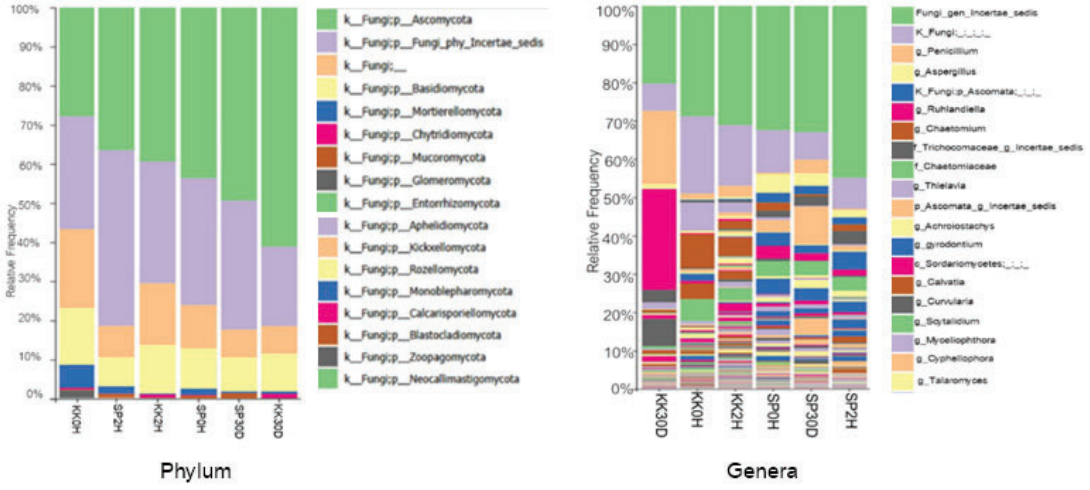


Figure 2 Relative abundance of fugal communities across all Phylum level and Genera level; KK= Khon Kaen, SP=Suphan Buri, 0H = before spray, 2H = after spray 2 hours, 30D = after spray 30 days.

ความหลากหลายของราดินด้วยวิธีเมตาจีโนมิกส์

ผลการศึกษาความหลากหลายของราดิน พบว่า แต่ละตัวอย่างดินมีจำนวนชนิดของราดินแตกต่างกันไป เมื่อพิจารณาจากจำนวนการอ่าน (read count) ซึ่งเป็นตัวแทนของปริมาณราดินแต่ละชนิด พบราดินชนิดเด่นของแต่ละตัวอย่างดินดังนี้ พื้นที่ปลูกอ้อยจังหวัดขอนแก่น ตัวอย่างดินก่อนพ่นอาทราซีน พบราดินที่มีจำนวนการอ่านสูงสุด ได้แก่ *Calvitia, Thielavia, Mortierella, Alfaria,* และ *Penicillium* ซึ่งมีจำนวนการอ่านเท่ากับ 7,515 6,290 4,932 3,543 และ1,229 ตามลำดับ ตัวอย่างดินหลังพ่นอาทราซีน 2 ชั่วโมง พบราดินที่มีจำนวนการอ่านสูงสุด ได้แก่ *Alfaria, Rhizoctonia, Penicillium, Thielavia, Sorocladium, Calvitia* และ *Ascotricha* ซึ่งมีจำนวนการอ่านเท่ากับ 4,630 3,178 2,840 2,520 2,044 2,041 และ 2,008 ตามลำดับ ตัวอย่างดินหลังพ่นอาทราซีน 30 วัน พบราดินที่มีจำนวนการอ่านสูงสุด ได้แก่ *Ruhlandiella, Penicillium, Thelephora, Thielavia, Aspergillus* และ *Fusarium* ซึ่งมีจำนวนการอ่านเท่ากับ 29,493 21,459 8,025 1,923 1,346 และ 1,031 ตามลำดับ

พื้นที่ปลูกอ้อยจังหวัดสุพรรณบุรี ตัวอย่างดินก่อนพ่นอาทราซีน พบราดินที่มีจำนวนการอ่านสูงสุด ได้แก่ *Aspergillus, Scytalidium, Gyrodontium, Chaetomium, Marasmiellus* และ *Spiromastigoides* ซึ่งมีจำนวนการอ่านเท่ากับ 4,775 3,884 3,476 2,000 1,390 และ 1,108 ตามลำดับ ตัวอย่างดินหลังพ่นอาทราซีน 2 ชั่วโมง พบราดินที่มีจำนวนการอ่านสูงสุด ได้แก่ *Gyrodontium, Scytalidium, Gymnascella, Aspergillus, Chaetomium, Cladophialophora* และ *Talaromyces* ซึ่งมีจำนวนการอ่านเท่ากับ 4,065 3,062 2,455 1,557 1,424 1,326 และ 1,304 ตามลำดับ ตัวอย่างดินหลังพ่นอาทราซีน 30 วัน พบราดินที่มีจำนวนการอ่านสูงสุด ได้แก่ *Humicola, Scytalidium, Penicillium, Gymnascella, Aspergillus, Gyrodontium* และ *Umbelopsis* ซึ่งมีจำนวนการอ่านเท่ากับ 3,828 3,361 3,283 3,001 2,877 1,896 และ 1,151 ตามลำดับ

ในการประเมินความหลากหลายของสายพันธุ์หรือจำนวนรวมของสายพันธุ์ราในแต่ละตัวอย่างดินใช้ผลจากการหาลำดับดีเอ็นเอและวิเคราะห์โดยใช้ค่าดัชนี ACE และ Chao 1 (Chernov *et al*., 2015; Wang *et al*., 2017) ซึ่งพบว่าในพื้นที่จังหวัดขอนแก่นตัวอย่างที่มีระดับความอุดมสมบูรณ์สูงที่สุดตามค่าของ ACE และ Chao1 อยู่ที่ 1533.93 และ 1529.33 ตามลำดับ ซึ่งพบในตัวอย่างดินที่เก็บหลังพ่นอาทราซีน 2 ชั่วโมง ในทางตรงกันข้ามตัวอย่างที่มีระดับความอุดมสมบูรณ์ต่ำที่สุดตามค่า ACE และ Chao1 อยู่ที่ 804.53 และ 803.66 ตามลำดับพบในตัวอย่างดินที่เก็บก่อนพ่นอาทราซีน ความอุดมสมบูรณ์โดยรวมของสายพันธุ์ราในตัวอย่างดินที่ทดสอบมีลำดับจากมากไปน้อยดังนี้: หลังพ่นอาทราซีน 2 ชั่วโมง > หลังพ่นอาทราซีน 30 วัน > ก่อนพ่นอาทราซีน ซึ่งต่างจากตัวอย่างดินที่เก็บจากพื้นที่ปลูกอ้อยในจังหวัดสุพรรณบุรี ที่พบว่าตัวอย่างที่มีระดับความอุดมสมบูรณ์สูงที่สุดตามค่าของ ACE และ Chao1 อยู่ที่ 857.03 และ 851.96 ตามลำดับ พบในตัวอย่างดินที่เก็บหลังพ่นอาทราซีน 30 วัน ตัวอย่างที่มีระดับความอุดมสมบูรณ์ต่ำที่สุดตามค่า ACE และ Chao1 ของพื้นที่นี้ อยู่ที่ 827.12 และ 823.92 ตามลำดับ พบในตัวอย่างดินที่เก็บหลังพ่นอาทราซีน 2 ชั่วโมง มีความอุดมสมบูรณ์โดยรวมของสายพันธุ์ราลำดับจากมากไปน้อยคือหลังพ่นอาทราซีน 30 วัน > ก่อนพ่นอาทราซีน > หลังพ่นอาทราซีน 2 ชั่วโมง (Table 3)

ค่าดัชนี Shannon เป็นตัวชี้วัดสัดส่วนของสายพันธุ์ที่แตกต่างกันในชุมชนที่มีความหลากหลาย (Chernov *et al*., 2015; Wang *et al*., 2017) โดยดัชนี Shannon-Weiner จะมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความหลากหลายและความอุดมสมบูรณ์ของประชากรในชุมชน ค่า Shannon-Weiner ที่สูงขึ้นบ่งชี้ถึงความหลากหลายของสายพันธุ์ที่สูงขึ้นในชุมชนจุลินทรีย์ ค่า Shannon-Weiner ของตัวอย่างดินในพื้นที่จังหวัดขอนแก่นในลำดับจากมากไปน้อย คือ หลังพ่นอาทราซีน 2 ชั่วโมง (8.15) > ก่อนพ่นอาทราซีน (7.08) > หลังพ่นอาทราซีน 30 วัน (5.99) ค่า Shannon-Weiner ที่สูงที่สุดในตัวอย่างดินหลังพ่น

อาทราซีน 2 ชั่วโมง แสดงให้เห็นถึงความหลากหลายและความอุดมสมบูรณ์ของราที่สูง ในตัวอย่างดินหลังพ่นอาทราซีน 2 ชั่วโมง เมื่อเวลาผ่านไป 30 วัน พบว่าความหลากหลายของราลดลง ในขณะที่แปลงปลูกอ้อยในจังหวัดสุพรรณบุรี มีค่า Shannon-Weiner ในลำดับจากมากไปน้อยดังนี้ ก่อนพ่นอาทราซีน (7.17)> หลังพ่นอาทราซีน 30 วัน (6.92) >หลังพ่นอาทราซีน 2 ชั่วโมง (6.79) แสดงให้เห็นถึงความหลากหลายและความอุดมสมบูรณ์ของราที่สูงในตัวอย่างดินก่อนพ่นอาทราซีน เมื่อเวลาผ่านไป 2 ชั่วโมง ความหลากหลายและความอุดมสมบูรณ์ของราดินลดลง และเมื่อเวลาผ่านไป 30 วันหลังพ่นอาทราซีน พบว่าความหลากหลายของราดินเพิ่มมากขึ้น (Table 3) จากการทดลองชี้ให้เห็นว่าสารอาทราซีนอาจมีผลในการยับยั้งราบางชนิดเพราะความเป็นพิษ และอาจกระตุ้นกลุ่มราบางชนิดได้ เนื่องจากราบางชนิดมีความสามารถในการใช้สารอาทราซีนเป็นแหล่งอาหารในการเจริญเติบโต (Bonfleur *et al*., 2015) มีรายงานพบราดินหลายชนิดสามารถย่อยสลายอาทราซีนได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น *Aspergillus niger* และ *Trichoderma* spp. เมื่อศึกษาขบวนการย่อยสลายในระดับอณูชีววิทยาพบว่าถูกควบคุมโดยยีน *atzA, atzB, atzC* และ *trzN* (Krutz *et.al.,* 2008) Moreno *et al*. (2007) รายงานว่ามีการเพิ่มขึ้นของจุลินทรีย์หลังจากการใช้อาทราซีน และได้เสนอว่าการเปลี่ยนแปลงในชุมชนดินสะท้อนถึงความสามารถของจุลินทรีย์ในการตอบสนองและสามารถปรับตัวให้ทนต่ออาทราซีนได้

Table 3 Indices of fungal community richness and diversity of soil collected from sugarcane field at Khon Kaen and Suphan Buri province.

Sample	Shannon	ACE	Chao1
Khon Kaen before spray	7.08	804.53	803.66
Khon Kaen after spray 2 hours	8.15	1533.93	1529.33
Khon Kaen after spray 30 days	5.99	913.45	910.12
Suphan Buri before spray	7.17	831.53	826.48
Suphan Buri after spray 2 hours	6.79	827.12	823.92
Suphan Buri after spray 30 days	6.92	857.03	851.96

สรุป

การใช้สารกำจัดวัชพืชมีความจำเป็นในการควบคุมวัชพืชในแปลงปลูกพืชไร่ การทดลองครั้งนี้ใช้สารกำจัดวัชพืชอาทราซีนในแปลงปลูกอ้อย เพื่อศึกษาถึงผลกระทบของสารอาทราซีนต่อราดินที่ระยะเวลาก่อนพ่นอาทราซีน หลังพ่นอาทราซีน 2 ชั่วโมง และ 30 วัน พบว่าไม่มีอาทราซีนตกค้างในดินก่อนทำการพ่นสาร และสามารถตรวจพบอาทราซีนหลังพ่นสาร 2 ชั่วโมงเมื่อเวลาผ่านไปอาทราซีนในดินจะค่อยๆ ลดลงจนไม่สามารถตรวจพบได้ ความคงทนของอาทราซีนในดินขึ้นอยู่กับปัจจัยทางดินและสภาพภูมิอากาศด้วยเช่นกัน ซึ่งดินในพื้นที่ปลูกอ้อยจังหวัดสุพรรณบุรี ที่เป็นดินร่วนสามารถดูดซับอาทราซีนไว้ได้เป็นระยะเวลานานกว่าดินในพื้นที่ปลูกอ้อยจังหวัดขอนแก่นที่เป็นดินทราย ส่วนผลกระทบของการใช้สารอาทราซีนต่อราดินในการทดลองครั้งนี้พบว่า แปลงปลูกอ้อยในจังหวัดขอนแก่นหลังพ่นอาทราซีน 2 ชั่วโมง มีความหลากหลายและความอุดมสมบูรณ์ของราดินเพิ่มมากขึ้นแสดงให้เห็นว่าอาทราซีนอาจไม่มีผลต่อราดิน หรืออาจมีราดินบางชนิดสามารถใช้อาทราซีนในการเจริญเติบโตได้ ในขณะที่แปลงปลูกอ้อยในจังหวัดสุพรรณบุรีพบว่า ก่อนพ่นอาทราซีนมีความหลากหลายของราดินสูงที่สุด และประชากรราดินจะเปลี่ยนแปลงไปหลังการพ่นอาทราซีน 2 ชั่วโมง และประชากรราดินจะเพิ่มขึ้นหลังพ่นอาทาซีน 30 วัน อาทราซีนอาจไม่ส่งผลกระทบต่อ

ราดินในพื้นที่ปลูกอ้อยทั้ง 2 พื้นที่ ปัจจัยในดินอาจช่วยลดผลกระทบจากอาทราซีนได้ การตอบสนองของจุลินทรีย์อาจถูกควบคุมโดยปัจจัยอื่น ๆ แม้จะมีการพ่นอาทราซีน แต่ปัจจัยเช่นอุณหภูมิ ความชื้น และพืชที่ปลูก อาจมีบทบาทสำคัญกว่าที่ทำให้โครงสร้างประชากรราดินไม่เปลี่ยนแปลงการใช้อาทราซีนในปริมาณต่ำ ทำให้ไม่ส่งผลต่อจุลินทรีย์อย่างมีนัยสำคัญ ความรู้ที่ได้จากหาลำดับเบสด้วยเทคนิค next generation sequencing (NGS) โดยอาศัยพื้นฐานทางชีวโมเลกุลเพื่อศึกษาความหลากหลายของชุมชนราดินโดยการระบุลักษณะของชุมชนราดินในพื้นปลูกอ้อยที่ใช้อาทราซีนในจังหวัดขอนแก่นและสุพรรณบุรี แสดงให้เห็นถึงความหลากหลายของราดินที่สูงมาก phylotypes ของราที่ถูกระบุมากที่สุดคือ Phylum Ascomycota ลำดับเบสของราที่ตรวจพบหลายตัวส่วนใหญ่เป็นราที่ไม่สามารถเพาะเลี้ยงได้จากสภาพแวดล้อมซึ่งจัดเป็นสมาชิกของ Fungi incertae sedis จึงควรมีการวิเคราะห์เพิ่มเติมเพื่อสำรวจลักษณะการทำงานของราเหล่านี้เพื่อการจัดจำแนกในระดับสกุลต่อไป ข้อมูลทางอนุกรมวิธานที่ละเอียดเป็นสิ่งจำเป็นในการเปรียบเทียบเชิงปริมาณของ phylotype สัมพัทธ์ของข้อมูล อย่างไรก็ตามการวิจัยนี้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการวิจัยในอนาคตและอาจเป็นประโยชน์ในการกำหนดแนวทางการศึกษาความหลากหลายของราดินที่มีการตอบสนองต่อสารกำจัดวัชพืชอาทราซีน

เอกสารอ้างอิง

เอิบ เขียวรื่นรมณ์. 2548. การสำรวจดิน. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร. 733 หน้า.

Abed, R.M.M., A.M. Al-Sadi, M. Al-Shehi, S. Al-Hinai and M.D. Robinson. 2013. Diversity of free-living and lichenized fungal communities in biological soil crusts of the Sultanate of Oman and the irrolein improving soil properties. Soil Biology and Biochemistry 57: 695–705.

Babic, S., M. Petrovic and K. Kastelan-Macan. 1998. Ultrasonic solvent extraction of pesticides from soil. Journal of Chromatography A 823: 1-2.

Bartnicki-Garcia, S. 1987. The cell wall in fungal evolution. pp. 764-775. In: Evolutionary Biology of The Fungi, Eds., Rayner, A.D.M., C.M. Brasier, D. Moore, Cambridge University Press, New York, USA.

Bastone, J.D. and W.G. Tyson. 2014. Linking microbial community structure, interactions and function in aerobic digesters using new molecular techniques. Current Opinion in Biotechnology 27: 55–64.

Bastida, F., T. Hernández, J. Albaladejo and C. García. 2013. Phylogenetic and functional changes in the microbial community of long-term restored soils under semiarid climate. Soil Biology and Biochemistry 65: 12–21.

Bonfleur, E.J., V.L. Tornisielo, J.B. Regitano and A. Lavorenti. 2015. The effects of glyphosate and atrazine mixture on soil microbial population and subsequent impacts on their fate in a tropical soil. Water, Air and Soil Pollution 226: 21.

Buée, M., M. Reich, C. Murat, E. Morin, R.H. Nilsson, S. Uroz and F. Martin. 2009. Pyrosequencing analyses of forest soils reveal an unexpectedly high fungal diversity. New Phytologist 184: 449–456.

Brown, S.P. and A. Jumpponen. 2014. Contrasting primary successional trajectories of fungi and bacteria in retreating glacier soils. Molecular Ecology 23: 481–497.

Chapman, H.D. 1965. Cation exchange capacity, pp. 891- 901. *In*: C.A. Black, ed. Methods of Soil Analysis. Part II. Agronomy No. 9. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.

Chapman, H.D. 1965. Cation exchange capacity, pp. 891901. *In* C.A. Black, ed. Methods of Soil Analysis. Part II. Agronomy No. 9. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.

Chernov, T.I., A.K. Tkhakakhova and O.V. Kutovaya. 2015. Assessment of diversity indices for the characterization of the soil prokaryotic community by metagenomic analysis. Eurasian Soil Science 48: 410–415.

Daniels, B.A. 1981. The influence of hyperparasites of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on growth of citrus. Phytopathology 71: 212–213.

de Hoog, G.S., J. Guarro, J. Gené and M.J. Figueras. 2000. Atlas of Clinical Fungi, 2nd ed. Centraalbureau voor Schimmelcultures, Utrecht, The Netherlands and Universitat Rovira i Virgili, Reus. Spain. 1126 p.

Farruggia, F., C. Rossmeisl, J. Hetrick and M. Biscoe. 2016. Refined ecological risk assessment for atrazine. United States Environmental Protection Agency, Washington D.C. USA. 518 p.

Gee, G.W. and J.W. Bauder. 1986. Particle Size Analysis. pp.383-411. In: Klute, A., Ed., Methods of Soil Analysis, Part 1. Klute (ed.). 2 Ed., Vol. 9 nd. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.

Hedeler, C., H.M. Wong, M.J. Cornell, I. Alam, D.M. Soanes, M. Rattray, S.J. Hubbard, N.J. Talbot, S.G. Oliver and N.W. Paton. 2007. e-Fungi: a data resource for comparative analysis of fungal genomes. BMC Genomics 8: 426.

Jayne, B. and M. Quigley. 2014. Influence of arbuscular mycorrhiza on growth and reproductive response of plants under water deficit: a metaanalysis. Mycorrhiza 24: 109-119.

Krutz, L.J., D.L. Shaner, C. Accinelli, R.M. Zablotowicz and W.B. Henry. 2008. Atrazine dissipation in-triazine adapted and nonadapted soil from Colorado and Mississippi: implications of enhanced degradation on Atrazine fate and transport parameters. Journal of Environmental Quality 37 (3): 848–857.

Moreno, J.L., A. Aliaga, S. Navarro, T. Hernàndez and C. García. 2007. Effects of atrazine on microbial activity in semiarid soil. Applied Soil Ecology 35: 120–127.

National Soil Survey Center. 1996. Soil Survey Laboratory Method Manual. Soil Survey Investigation. Report No. 42, Version 3.0 Natural Resources Conservation Service, United States Department of Agriculture, Lincoln, Nebraska.

Nelson, D.W. and L.E. Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. pp. 961-1010. In: D.L. Sparks, A.L. Page, P.A. Helmke and R.H. Loeppert (Eds.). Methods of Soil Analysis. Part 3: Chemical Method. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.

Prober, S.M., J.W. Leff, S.T. Bates, E.T. Borer, J. Firn, W.S. Harpole, E.M. Lind, E.W.

Seabloom, P.B. Adler, J.D. Bakker, E.E. Cleland, N.M. DeCrappeo, E. DeLorenze, N. Hagenah, Y. Hautier, K.S. Hofmockel, K.P. Kirkman, J.M.H. Knops, K.J. La Pierre, A.S. MacDougall, R.L. McCulley, C.E. Mitchell, A.C. Risch, M. Schuetz, C.J. Stevens, R.J. Williams and N. Fierer. 2015. Plant diversity predicts beta but not alpha diversity of soil microbes across grasslands worldwide. Ecology Letters 18: 85–95.

Qin, H., H. Wang, P.J. Strong, Y. Li, Q. Xu and Q. Wu. 2014. Rapid soil fungal community response to intensive management in a bamboo forest developed from rice paddies. Soil Biology and Biochemistry 68: 177–184.

Sterflinger, K., D. Tesei and K. Zakharova. 2012. Fungi in hot and cold deserts with particular reference to microcolonial fungi. Fungal Ecology 5: 453–462.

Thomas, G.W. 1982. Exchangeable cations. pp. 159-165. *In:* A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney, eds. Methods of Soil Analysis Part 2: Chemical and Microbiological Properties. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin

Thomas, B.T., D.S.K. Olanrewaju-Kehinde, O.D. Popoola and E.S. James. 2015. Degradation of plastic and polythene materials by some selected microorganisms isolated from soil. World Applied Sciences Journal 33: 1888-1891.

Wang, D., J.Y. Shin, M.A. Cheney, G. Sposito and T.G. Spiro. 1999. Manganese dioxide as a catalyst for oxygen-independent atrazine dealkylation. Environmental Science and Technology 33: 3160–3165.

Wang, J., Y. Ji, Z. Yuan, J. Guan, C. Liu and L. Lv. 2017. Analysis of bacterial community structure and diversity in different restoration methods in Qixing River Wetland. Advanced Journal of Toxicology: Current Research 1: 49–55.

Zhang, X., S. Xu, C. Li, L. Zhao, H. Feng, G. Yue, Z. Ran and G. Cheng. 2014. The soil carbon/nitrogen ratio and moisture affect microbial community structures in alkaline permafrost-affected soils with different vegetation types on the Tibetan Plateau. Research in Microbiology 165: 128–139.