



## รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

ผลของการเปลี่ยนแปลงฤดูกาลที่มีต่อสังคมราเอ็กโทไมคอร์ไรซาใต้ดินและแอกทิวิตีของ  
เอนไซม์ในดินในป่าเต็งรัง

Effects of seasonal variation on below-ground ectomycorrhizal fungal  
communities and soil enzyme activities in dry dipterocarp forests

โดย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จิตรตรา เพ็ญเขียว

ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทุนอุดหนุนการวิจัยจากเงินอุดหนุนการวิจัยจากรัฐบาล

ประจำปีงบประมาณ 2561



## รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

ผลของการเปลี่ยนแปลงฤดูกาลที่มีต่อสังคมราเอ็กโทไมคอร์ไรซาใต้ดินและแอกทิวิตีของ  
เอนไซม์ในดินในป่าเต็งรัง

Effects of seasonal variation on below-ground ectomycorrhizal fungal  
communities and soil enzyme activities in dry dipterocarp forests

โดย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จิตรตรา เพ็ญเขียว

ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทุนอุดหนุนการวิจัยจากเงินอุดหนุนการวิจัยจากรัฐบาล

ประจำปีงบประมาณ 2561

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัย “ผลของการเปลี่ยนแปลงฤดูกาลที่มีต่อสังคมราเอ็กโทไมคอร์ไรซาใต้ดินและแอกทิวิตีของเอนไซม์ในดินในป่าเต็งรัง” นี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ประเภทเงินอุดหนุนการวิจัยจากรัฐบาล ประจำปีงบประมาณ 2561 และได้รับการสนับสนุนพื้นที่ทำวิจัยจากศูนย์เครือข่ายการเรียนรู้เพื่อภูมิภาค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้แก่ ในพื้นที่ของสถานีวิจัยและถ่ายทอดเทคโนโลยีไหล่น่าน จังหวัดน่าน และ โครงการพัฒนาที่ดินจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย-สระบุรี จังหวัดสระบุรี นอกจากนี้ขอขอบคุณภาควิชาพฤกษศาสตร์ และภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่สนับสนุนให้การวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

## บทคัดย่อ

เอ็กโทไมคอร์ไรซาเป็นความสัมพันธ์แบบพึ่งพาอาศัยระหว่างราและพืช รวมถึงไม้ในวงศ์ไม้ยาง (Dipterocarpaceae) ซึ่งเป็นไม้เด่นในป่าเต็งรัง โดยเอนไซม์จากราเอ็กโทไมคอร์ไรซาซึ่งเกี่ยวข้องในกระบวนการแลกเปลี่ยนคาร์บอนที่พืชได้จากการสังเคราะห์ด้วยแสงและธาตุอาหารในดินจากรานั้น ส่งผลต่อกระบวนการหมุนเวียนธาตุอาหารในระบบนิเวศป่าเต็งรัง เพื่อเข้าใจถึงบทบาทของราเอ็กโทไมคอร์ไรซาต่อการหมุนเวียนแร่ธาตุนี้ งานวิจัยนี้จึงศึกษาการเปลี่ยนแปลงตามเวลาของสังคมราเอ็กโทไมคอร์ไรซาในป่าเต็งรังรุ่นที่สองในจังหวัดน่านและสระบุรี รวมถึงศึกษารูปแบบและพลวัตของแอกทิวิตีของเอนไซม์จากดินและรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาใต้ดิน โดยป่าเต็งรังในจังหวัดน่าน มีไม้เด่นเป็นไม้วงศ์ไม้ยาง 4 ชนิด ในขณะที่มีไม้วงศ์ไม้ยางเพียงชนิดเดียวเป็นไม้เด่นในพื้นที่ป่าเต็งรังจังหวัดสระบุรีซึ่งกำลังฟื้นตัวหลังจากถูกรบกวนได้ไม่นาน วางแปลงศึกษาจำนวน 3 แปลงในแต่ละพื้นที่ จากนั้นเก็บตัวอย่างดินครั้งละ 15 ตัวอย่างต่อแปลงศึกษา จำนวน 4 ครั้ง ในเดือนกันยายน 2560 ถึงสิงหาคม 2561 โดยครอบคลุมฤดูฝนและฤดูแล้ง ทำการเปรียบเทียบสังคมราใต้ดินในแต่ละพื้นที่และระหว่างฤดูกาลจากลักษณะทางสัณฐานวิทยาของรากเอ็กโทไมคอร์ไรซา ตรวจสอบค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ acid phosphatase (AP)  $\beta$ -glucosidase (BG) และ  $\beta$ -N-acetylglucosaminidase (NAG) ทั้งจากดินและรากเอ็กโทไมคอร์ไรซา ฤดูกาลละ 1 ครั้ง ด้วยวิธี *para*-nitrophenol ผลการวิจัยพบว่าความชื้นในดินและจำนวนรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาสูงที่สุดในเดือนกันยายน 2560 ซึ่งเป็นฤดูฝน พบรากเอ็กโทไมคอร์ไรซา 14 ลักษณะจากแต่ละพื้นที่และรากแต่ละลักษณะมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาแตกต่างกัน สำหรับค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์จากดินทั้ง 3 ชนิด พบว่ามีเพียง BG ที่มีค่าลดลงในฤดูฝนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ค่าแอกทิวิตีเฉลี่ยของเอนไซม์ AP จากรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาที่จังหวัดสระบุรีในฤดูฝนมีค่าน้อยกว่าเอนไซม์ในฤดูแล้ง ในขณะที่รากเอ็กโทไมคอร์ไรซาที่จังหวัดน่าน เอนไซม์ BG มีค่าแอกทิวิตีสูงในฤดูฝน ค่าเฉลี่ยของแอกทิวิตีของเอนไซม์จากรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาทั้งหมด รวมถึงจากรากแต่ละลักษณะมีความแปรผันระหว่างแปลงศึกษาซึ่งอาจเป็นผลจากแหล่งที่อยู่อาศัยย่อยในแต่ละบริเวณ

## Abstract

Ectomycorrhizal (ECM) association is a mutualistic relationship between fungi and host plants, including the trees in the Dipterocarpaceae which are distinguishing features of dry dipterocarp forests. Various ECM enzymes are involved in the exchange of photosynthetically-fixed carbon and nutrients between host plants and fungi, influencing the nutrient cycling processes within the dry dipterocarp ecosystems. To understand the contribution of ECM fungi to the nutrient cycling, this research studied the temporal changes in the ECM fungal community in secondary dry dipterocarp forests (DDF) in Nan and Saraburi Provinces, as well as the patterns and dynamics of extracellular enzyme activity of the ECM in both soil and below-ground ECM fungal communities. Secondary DDF in Nan province were dominated by four dipterocarp species while only one dipterocarp species dominated the remnants of DDF in Saraburi Province which have recently recovered. Three plots were established in each forest and 15 soil samples were collected from each plot during each of the 4 sampling times from September 2017 to August 2018, covering wet and dry seasons. Fungal community composition of different forests and seasons were compared based on root morphotypes. To examine the enzyme profiles under the forest floors, the activities of acid phosphatase (AP),  $\beta$ -glucosidase (BG) and  $\beta$ -N-acetylglucosaminidase (NAG) of both soil samples and ECM root tips were measured once in each season using the *para*-nitrophenol (pNP) enzyme assays. Soil moisture content and number of total ECM roots in both DDFs were the highest in September 2017, corresponding to the wet season. Fourteen ECM morphotypes were detected from each forest and the different patterns of temporal change were found in each ECM morphotype. Among 3 soil enzymes activities, only BG decreased in the wet season significantly. Average AP activities from ECM roots in Saraburi in the wet season was lower than the dry season while BG in NAN showed higher activities in the wet season. Average enzyme activities from the total ECM roots as well as from specific morphotypes showed variation among plots, suggesting the possible influence of local microhabitats.

## สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญเรื่อง	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ฎ
บทนำ	1
วิธีดำเนินการวิจัย	3
ผลการวิจัย	6
อภิปรายผลการวิจัย	26
สรุปผลการวิจัย	30
บรรณานุกรม	32
ภาคผนวก	35
ภาคผนวก ก	36
ภาคผนวก ข	43
ประวัติผู้วิจัยและคณะ	69

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	สารตั้งต้นและความเข้มข้นที่ใช้ในการวัดค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ 3 เอนไซม์	5
2	ชนิดของต้นไม้ที่พบในแปลงศึกษาป่าเต็งรังที่ถูกรบกวน จังหวัดสระบุรี	7
3	ชนิดของต้นไม้ที่พบในแปลงศึกษาป่าเต็งรังรุ่นที่สอง จังหวัดน่าน	8
4	จำนวนรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาที่พบระหว่างเดือนกันยายน 2560 ถึงสิงหาคม 2561 ในป่าเต็งรังที่ถูกรบกวน จังหวัดสระบุรี	9
5	จำนวนรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาที่พบระหว่างเดือนกันยายน 2560 ถึงกรกฎาคม 2561 ในป่าเต็งรังรุ่นที่สอง จังหวัดน่าน	11
6	ค่าความชื้นในดินของแต่ละแปลงศึกษาระหว่างเดือนกันยายน 2560 ถึงสิงหาคม 2561	14
7	ค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์จากดินในพื้นที่ป่าเต็งรังที่ถูกรบกวน จังหวัดสระบุรี และป่าเต็งรังรุ่นที่สอง จังหวัดน่าน	16
8	ค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ acid phosphatase จากรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาลักษณะ Nan4 Nan7 Nan10 และ Nan12 ในแต่ละแปลงศึกษาจากพื้นที่ป่าเต็งรังรุ่นที่สอง จังหวัดน่าน	24
9	ค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ $\beta$ -glucosidase จากรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาลักษณะ Nan4 Nan7 Nan10 และ Nan12 ในแต่ละแปลงศึกษาจากพื้นที่ป่าเต็งรังรุ่นที่สอง จังหวัดน่าน	24
10	ค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ $\beta$ -N-acetylglucosaminidase จากรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาลักษณะ Nan4 Nan7 Nan10 และ Nan12 ในแต่ละแปลงศึกษาจากพื้นที่ป่าเต็งรังรุ่นที่สอง จังหวัดน่าน	25
ก1	ค่าความชื้นในดินของแต่ละแปลงศึกษาระหว่างเดือนกันยายน 2560 ถึงสิงหาคม 2561	36
ก2	ค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์จากดินในพื้นที่ป่าเต็งรังที่ถูกรบกวน จังหวัดสระบุรี	37
ก3	ค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ทั้ง 3 ชนิดจากดินในพื้นที่ป่าเต็งรังรุ่นที่สอง จังหวัดน่าน	37
ก4	ค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์รากเอ็กโทไมคอร์ไรซาจากแปลงศึกษาที่ 1 ในพื้นที่ป่าเต็งรังที่ถูกรบกวน จังหวัดสระบุรี	38
ก5	ค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์รากเอ็กโทไมคอร์ไรซาจากแปลงศึกษาที่ 2 ในพื้นที่ป่าเต็งรังที่ถูกรบกวน จังหวัดสระบุรี	39

ก6	ค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์รากเอ็กโทไมคอร์ไรซาจากแปลงศึกษาที่ 3 ในพื้นที่ป่าเต็งรังที่ ถูกรบกวน จังหวัดสระบุรี	39
ก7	ค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์รากเอ็กโทไมคอร์ไรซาจากแปลงศึกษาที่ 1 ในพื้นที่ป่าเต็งรัง รุ่นที่สอง จังหวัดน่าน	40
ก8	ค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์รากเอ็กโทไมคอร์ไรซาจากแปลงศึกษาที่ 2 ในพื้นที่ป่าเต็งรัง รุ่นที่สอง จังหวัดน่าน	41
ก9	ค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์รากเอ็กโทไมคอร์ไรซาจากแปลงศึกษาที่ 3 ในพื้นที่ป่าเต็งรัง รุ่นที่สอง จังหวัดน่าน	42
ข1	การเปรียบเทียบความชื้นในดินในช่วงเวลาต่าง ๆ ด้วยวิธี one-way ANOVA ของพื้นที่ ป่าเต็งรังที่ถูกรบกวน จังหวัดสระบุรี และป่าเต็งรังรุ่นที่สอง จังหวัดน่าน	43
ข2	การเปรียบเทียบค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ทั้ง 3 เอนไซม์จากดินในพื้นที่ป่าเต็งรังที่ ถูกรบกวน จังหวัดสระบุรี ระหว่างสองฤดูกาล ด้วยวิธี Paired Samples Test	45
ข3	การเปรียบเทียบค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ทั้ง 3 เอนไซม์จากดินในป่าเต็งรังรุ่นที่สอง จังหวัดน่าน ระหว่างสองฤดูกาล ด้วยวิธี Paired Samples Test	45
ข4	การเปรียบเทียบค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ทั้ง 3 เอนไซม์จากดินระหว่างพื้นที่ป่าเต็งรังที่ ถูกรบกวน จังหวัดสระบุรี และป่าเต็งรังรุ่นที่สอง จังหวัดน่าน ทั้งสองฤดูกาล ด้วยวิธี Independent Samples T-Test	46
ข5	การเปรียบเทียบค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ทั้ง 3 เอนไซม์จากรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาที่พบ ในเดือนกุมภาพันธ์ 2561 ในพื้นที่ป่าเต็งรังที่ถูกรบกวน จังหวัดสระบุรี ระหว่างแปลง ศึกษา ด้วยวิธี one-way ANOVA	47
ข6	การเปรียบเทียบค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ทั้ง 3 เอนไซม์จากรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาที่พบ ในเดือนสิงหาคม 2561 ในพื้นที่ป่าเต็งรังที่ถูกรบกวน จังหวัดสระบุรี ระหว่างแปลง ศึกษา ด้วยวิธี one-way ANOVA	49
ข7	การเปรียบเทียบค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ทั้ง 3 เอนไซม์จากรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาที่พบ ในแปลงศึกษาที่ 1 พื้นที่ป่าเต็งรังที่ถูกรบกวน จังหวัดสระบุรี ระหว่างฤดูกาล ด้วยวิธี Independent Samples T-Test	50
ข8	การเปรียบเทียบค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ทั้ง 3 เอนไซม์จากรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาที่พบ ในแปลงศึกษาที่ 2 พื้นที่ป่าเต็งรังที่ถูกรบกวน จังหวัดสระบุรี ระหว่างฤดูกาล ด้วยวิธี Independent Samples T-Test	51
ข9	การเปรียบเทียบค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ทั้ง 3 เอนไซม์จากรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาที่พบ ในแปลงศึกษาที่ 3 พื้นที่ป่าเต็งรังที่ถูกรบกวน จังหวัดสระบุรี ระหว่างฤดูกาล ด้วยวิธี Independent Samples T-Test	52





- ข21 การเปรียบเทียบค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ทั้ง 3 เอนไซม์ จากรากเอ็กโทไมคอร์ไรซา Nan10 ที่พบในเดือนมกราคม 2561 พื้นที่ป่าเต็งรังรุ่นที่สอง จังหวัดน่าน ระหว่างแปลงศึกษา ด้วยวิธี one-way ANOVA 65
- ข22 การเปรียบเทียบค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ทั้ง 3 เอนไซม์ จากรากเอ็กโทไมคอร์ไรซา Nan10 ที่พบในเดือนกรกฎาคม 2561 พื้นที่ป่าเต็งรังรุ่นที่สอง จังหวัดน่าน ระหว่างแปลงศึกษา ด้วยวิธี Independent Samples T-Test 66
- ข23 การเปรียบเทียบค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ทั้ง 3 เอนไซม์ จากรากเอ็กโทไมคอร์ไรซา Nan12 ที่พบในเดือนมกราคม 2561 พื้นที่ป่าเต็งรังรุ่นที่สอง จังหวัดน่าน ระหว่างแปลงศึกษา ด้วยวิธี one-way ANOVA 66
- ข24 การเปรียบเทียบค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ทั้ง 3 เอนไซม์ จากรากเอ็กโทไมคอร์ไรซา Nan12 ที่พบในเดือนกรกฎาคม 2561 พื้นที่ป่าเต็งรังรุ่นที่สอง จังหวัดน่าน ระหว่างแปลงศึกษา ด้วยวิธี one-way ANOVA 68

## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ตำแหน่งของแปลงศึกษาทั้ง 3 แปลง ในพื้นที่ป่าเต็งรังที่ถูกรบกวนในโครงการจัดตั้งสำนักงานจัดการพื้นที่จุฬาฯ-สระบุรี จังหวัดสระบุรี	6
2	ตำแหน่งของแปลงศึกษาทั้ง 3 แปลง ในพื้นที่ป่าเต็งรังรุ่นที่สอง บริเวณสถานีวิจัยและถ่ายทอดเทคโนโลยีไหล่นาน จังหวัดน่าน	7
3	แปลงศึกษาในพื้นที่ป่าเต็งรังที่ถูกรบกวนในโครงการจัดตั้งสำนักงานจัดการพื้นที่จุฬาฯ-สระบุรี จังหวัดสระบุรี	8
4	แปลงศึกษาในป่าเต็งรังรุ่นที่สอง บริเวณสถานีวิจัยและถ่ายทอดเทคโนโลยีไหล่นาน จังหวัดน่าน	9
5	ลักษณะรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาที่พบในแปลงศึกษา บริเวณป่าเต็งรังที่ถูกรบกวนในโครงการจัดตั้งสำนักงานจัดการพื้นที่จุฬาฯ-สระบุรี จังหวัดสระบุรี	10
6	กราฟแสดงค่าความชุกชุมสัมพันธ์ของรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาที่พบในแปลงศึกษา บริเวณป่าเต็งรังที่ถูกรบกวน จังหวัดสระบุรี	11
7	ลักษณะรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาที่พบในแปลงศึกษา บริเวณป่าเต็งรังรุ่นที่สองสถานีวิจัยและถ่ายทอดเทคโนโลยีไหล่นาน จังหวัดน่าน	12
8	กราฟแสดงค่าความชุกชุมสัมพันธ์ของรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาที่พบในแปลงศึกษา บริเวณป่าเต็งรังรุ่นที่สอง จังหวัดน่าน	13
9	คุณสมบัติของดินในแปลงศึกษาบริเวณป่าเต็งรังที่ถูกรบกวน จังหวัดสระบุรี (ก.-ค.) และบริเวณป่าเต็งรังรุ่นที่สอง จังหวัดน่าน (ง.-ฉ.) ได้แก่ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ อินทรีย์วัตถุ และไนโตรเจนทั้งหมด	15
10	ค่าแอกทิวิตีเฉลี่ยของเอนไซม์ acid phosphatase (AP) $\beta$ -glucosidase (BG) และ $\beta$ -N-acetylglucosaminidase (NAG) ของรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาที่พบในแต่ละแปลงศึกษาและค่าเฉลี่ยรวมทุกแปลง จากพื้นที่ป่าเต็งรังที่ถูกรบกวน จังหวัดสระบุรี ในเดือนกุมภาพันธ์ (ฤดูแล้ง) และสิงหาคม (ฤดูฝน)	19
11	ค่าความชุกชุมสัมพันธ์และค่าแอกทิวิตีสัมพันธ์ของเอนไซม์ acid phosphatase (AP) $\beta$ -glucosidase (BG) และ $\beta$ -N-acetylglucosaminidase (NAG) ของรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาที่พบในพื้นที่ป่าเต็งรังที่ถูกรบกวน จังหวัดสระบุรี เดือนกุมภาพันธ์และสิงหาคม 2561	20
12	ค่าแอกทิวิตีเฉลี่ยของเอนไซม์ acid phosphatase (AP) $\beta$ -glucosidase (BG) และ $\beta$ -N-acetylglucosaminidase (NAG) ของรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาที่พบในแต่ละแปลง	22

	ศึกษาและค่าเฉลี่ยรวมทุกแปลง จากพื้นที่ป่าเต็งรังป่าเต็งรังรุ่นที่สอง จังหวัดน่าน ในเดือนมกราคม (ฤดูแล้ง) และกรกฎาคม (ฤดูฝน)	
13	ค่าความซุกซุ่มสัมพันธ์และค่าแอกทิวิตีสัมพันธ์ของเอนไซม์ acid phosphatase (AP) $\beta$ -glucosidase (BG) และ $\beta$ -N-acetylglucosaminidase (NAG) ของรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาที่พบในพื้นที่ป่าเต็งรังรุ่นที่สอง จังหวัดน่าน เดือนมกราคมและกรกฎาคม 2561	23
ก1	กราฟมาตรฐานของ pNP ที่การดูดกลืนแสง 405 นาโนเมตร	36
ก2	กราฟมาตรฐานของ pNP ที่การดูดกลืนแสง 405 นาโนเมตร	38

## บทนำ

ปัจจุบันเป็นที่ทราบกันดีว่าพื้นที่ป่าไม้ของประเทศไทยได้ถูกทำลายลงไปอย่างมากเนื่องจากจำนวนประชากรที่เพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็วและมีความต้องการใช้ประโยชน์ จึงทำให้การบุกรุกพื้นที่ป่าเพื่อการทำเกษตรกรรม การลักลอบตัดไม้ขายให้นายทุนเพิ่มมากขึ้น และการพัฒนาระบบโครงสร้างพื้นฐานโดยไม่คำนึงถึงการอนุรักษ์พื้นที่ป่า เช่น ถนน ส่งผลให้ในปริมาณพื้นที่ป่าไม้ที่เหลืออยู่มีจำนวนน้อยจนถึงขั้นวิกฤติและไม่สามารถรักษาสมดุลธรรมชาติไว้ได้ ทำให้ประสบกับปัญหาภัยธรรมชาติต่าง ๆ ที่รุนแรง เช่น อุทกภัย วาตภัย แผ่นดินถล่ม และภัยแล้ง นอกจากนี้การทำลายป่าไม้ยังส่งผลกระทบต่อทางด้านอื่น ๆ อีกมาก เช่น การเกิดชะล้างพังทลายของดิน ดินขาดความอุดมสมบูรณ์ เกิดความแห้งแล้งรุนแรงในฤดูแล้ง คุณภาพของน้ำเสื่อม การเกิดภาวะโลกร้อน และภาวะเรือนกระจก เป็นต้น ปัจจุบันภาวะโลกร้อน รวมถึงการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศทั่วโลกได้ทวีความรุนแรงขึ้นอย่างมากในลักษณะที่ไม่เคยเป็นมาก่อนในอดีต ดังเห็นได้จากภัยธรรมชาติต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นวาตภัย อุทกภัย หรือแม้แต่ภัยแล้ง ซึ่งประเทศไทยเองก็ไม่สามารถหนีปัญหาภัยธรรมชาติที่รุนแรงเหล่านี้ได้ ดังเช่น มหาอุทกภัยในปี พ.ศ. 2554 ดังนั้นการอนุรักษ์และฟื้นฟูทรัพยากรป่าไม้จึงเป็นเรื่องสำคัญยิ่ง การเพิ่มพื้นที่ป่าโดยการฟื้นฟูสภาพป่าที่เสื่อมโทรมเป็นสิ่งจำเป็น ซึ่งไม่เพียงแต่เป็นการเพิ่มและฟื้นฟูป่าต้นน้ำเพื่อลดภัยพิบัติจากกรณีน้ำป่าไหลหลากหรือบรรเทาปัญหาภัยแล้งเท่านั้น แต่การฟื้นฟูป่ายังเป็นการเพิ่มแหล่งกักเก็บคาร์บอนที่สำคัญในธรรมชาติ และเกี่ยวเนื่องไปถึงการช่วยลดปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ ในขณะที่เดียวกันกระบวนการทางธรรมชาติในการฟื้นฟูตนเองของป่าภายใต้สภาวะโลกร้อนถือได้ว่าเป็นสิ่งที่สำคัญที่ควรทำความเข้าใจเช่นเดียวกัน

ป่าเต็งรังเป็นหนึ่งในป่าผลัดใบที่สำคัญที่พบได้ทั่วไปในประเทศไทยในภาคเหนือและตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ไม้เด่นของป่าชนิดนี้เป็นไม้ในวงศ์ไมยาง (Dipterocarpaceae) แต่ด้วยลักษณะดินในป่าแห่งนี้เป็นดินที่ขาดความอุดมสมบูรณ์ รวมถึงไม้ในวงศ์ไมยางนี้มีอัตราการเจริญเติบโตช้าส่งผลให้ไม้ในวงศ์นี้จำเป็นต้องอาศัยราเอ็กโทไมคอร์ไรซาในการดูดซึมน้ำและแร่ธาตุ (Brearley, 2011) นอกจากนี้ราเอ็กโทไมคอร์ไรซายังสามารถผลิตเอนไซม์ต่าง ๆ เพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ในดิน เช่น acid phosphatase (AP) ทำหน้าที่ย่อยสลายสารประกอบฟอสเฟต  $\beta$ -N-acetylglucosaminidase (NAG) ทำหน้าที่ย่อยสลายสารประกอบไคติน และ  $\beta$ -glucosidase (BG) ทำหน้าที่ย่อยเซลลูโลส แล้วดูดซึมน้ำ สารโมเลกุลเล็กและส่งต่อให้พืชอาศัยได้โดยตรง (Landeweert et al., 2001; Leake et al., 2002) ดังนั้นราเอ็กโทไมคอร์ไรซาจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในระบบนิเวศ ทั้งในแง่ของการหมุนเวียนธาตุโดยเฉพาะอย่างยิ่งธาตุฟอสฟอรัส ไนโตรเจน รวมถึงคาร์บอน และช่วยรักษาความหลากหลายทางชีวภาพในระบบนิเวศในธรรมชาติ (Taylor and Alexander, 2005; Courty et al., 2010) สังคมราเอ็กโทไมคอร์ไรซาบริเวณใต้ดินในป่าสามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงภายในรอบปี เนื่องจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างราเอ็กโทไมคอร์ไรซา พืชอาศัย และสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณแร่ธาตุในดิน แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มสูงขึ้นและความแห้งแล้ง (Koide et al., 2007) นอกจากนี้ราเอ็กโทไมคอร์ไรซาแต่ละชนิดจะส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชอาศัย

แตกต่างกัน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงในสังคมมาจากสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป จึงส่งผลกระทบต่อ การเติบโตของพืชอาศัยเช่นกัน ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสังคมไรเอ็กโทไมคอร์ไรซาใต้ดิน รวมถึงการเปลี่ยนแปลงของเอนไซม์ในดินที่มีการเปลี่ยนแปลงของฤดูกาลในรอบปี ทั้งจากพื้นที่ป่าเต็งรังที่เคย ถูกรบกวนและกำลังฟื้นตัวและป่าเต็งรังรุ่นที่สองซึ่งไม่ถูกรบกวนเป็นเวลานานภายใต้สภาวะโลกร้อน โดย ความรู้เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของสังคมนำไปถึงเอนไซม์นี้ถือเป็นหัวใจสำคัญที่ทำให้เกิดความเข้าใจถึง ความหลากหลายและบทบาทหน้าที่ของไรเอ็กโทไมคอร์ไรซาในระบบนิเวศ (Courty et al., 2010; Pritsch et al., 2011) นอกจากนี้องค์ความรู้ที่ได้ยังรับจากการศึกษานี้จะเป็นข้อมูลพื้นฐานสำคัญเพื่อนำไปต่อยอดใน การคัดเลือกชนิดไรเอ็กโทไมคอร์ไรซาเพื่อการกระตุ้นการเจริญเติบโตของกล้าไม้และการฟื้นฟูป่าเต็งรังของ ไทยในอนาคต

### วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงฤดูกาลที่มีต่อสังคมไรเอ็กโทไมคอร์ไรซาใต้ดินในป่าเต็งรังที่ถูกรบกวน และป่าเต็งรังรุ่นที่สอง
2. เพื่อศึกษารูปแบบการเปลี่ยนแปลงตามเวลาของแอกทิวิตีของเอนไซม์ในดินในป่าเต็งรังที่ถูกรบกวน และป่าเต็งรังรุ่นที่สอง

### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถนำความรู้ที่ได้จากงานวิจัยไปใช้ในการฟื้นฟูป่าเต็งรังในอนาคต ทั้งในด้านการคัดเลือก ไรเอ็กโทไมคอร์ไรซาให้เหมาะสมกับพื้นที่และฤดูกาล

# วิธีการดำเนินงานวิจัย

## 1. การวางแผนการศึกษาและการเก็บตัวอย่าง

พื้นที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย 2 พื้นที่ภายใต้การดูแลของศูนย์เครือข่ายการเรียนรู้เพื่อภูมิภาค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้แก่ พื้นที่ป่าเต็งรังที่ถูกรบกวนในโครงการพัฒนาที่ดินจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย-สระบุรี จังหวัดสระบุรี ซึ่งเป็นพื้นที่ที่เคยถูกบุกรุกและทำเกษตรกรรม และถูกทิ้งร้างเป็นเวลามากกว่า 10 ปี และพื้นที่ป่าเต็งรังรุ่นที่สอง บริเวณสถานีวิจัยและถ่ายทอดเทคโนโลยีไหล่น่าน จังหวัดน่าน ซึ่งไม่ถูกรบกวนเป็นเวลานาน วางแผนศึกษาขนาด 10x10 ตารางเมตร จำนวน 3 แปลง/พื้นที่ บันทึกชนิดของต้นไม้ ตำแหน่ง และเส้นผ่านศูนย์กลางระดับอก เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้น จากนั้นวางแผนศึกษาย่อยขนาด 1.5x3.5 ตร.ม. จำนวน 5 แปลง/แปลงศึกษา โดยเลือกตำแหน่งที่ใกล้กับพีชอาศัย แบ่งแปลงศึกษาแต่ละแปลงเป็นช่อง ๆ ขนาด 0.5x0.5 ตร.ม.ทั้งสิ้น 21 ช่อง สุ่มเก็บตัวอย่างดินปริมาตร 10x10x20 ลบ.ซม.จำนวน 3 ช่อง/แปลงย่อย ดังนั้นในการเก็บตัวอย่าง 1 ครั้ง จะได้ตัวอย่างดินทั้งสิ้น 45 ตัวอย่าง/พื้นที่ เพื่อนำไปแยกหารากเอ็กโทไมคอร์ไรซา ทำการวางแผนศึกษาและเก็บตัวอย่างครั้งแรกจากทั้งสองพื้นที่ในเดือนกันยายน 2560 และเก็บตัวอย่างในพื้นที่ป่าเต็งรังที่ถูกรบกวน ครั้งที่ 2-4 ในเดือนกุมภาพันธ์ พฤษภาคม และสิงหาคม 2561 ตามลำดับ ส่วนในพื้นที่ป่าเต็งรังรุ่นที่ 2 เก็บตัวอย่างครั้งที่ 2-4 ในเดือนมกราคม เมษายน และกรกฎาคม 2561 ตามลำดับ

## 2. การแยกรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาและการจัดกลุ่มราก

ตัวอย่างดินที่เก็บมาจะถูกร่อนด้วยตะแกรงขนาด 0.85 มม. เพื่อแยกรากและดินออกจากกัน นำตัวอย่างดินที่ได้ไปวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินต่อไปดังข้อ 3 ส่วนตัวอย่างรากจะถูกล้างด้วยน้ำอย่างระมัดระวัง หลังจากนั้นคัดเลือกรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาออกจากรากที่ไม่มีราเอ็กโทไมคอร์ไรซา รากตาย และรากพืชชนิดอื่น โดยกำหนดให้รากเอ็กโทไมคอร์ไรซาต้องมีชั้นแมนเทิลปกคลุมผิวรากชัดเจน หรือปลายรากมีการบวมมากกว่าปกติและเห็นบางส่วนของเส้นใยรา (Izzo et al., 2006) ทำการจัดกลุ่มรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาตามลักษณะทางสัณฐานวิทยา เช่น รูปแบบการแตกกิ่ง สีของผิวราก ลักษณะพื้นผิวราก เป็นต้น (Agerer, 2001) ภายใต้กล้องสเตอริโอ จากนั้น บันทึกจำนวนรากแต่ละลักษณะที่พบและคำนวณหาค่าความชุกชุมสัมพัทธ์ (relative abundance) ตามวิธีของ Rincón และคณะ (2014) ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{ค่าความชุกชุมสัมบูรณ์ (absolute abundance)} = \frac{\text{จำนวนรากในแต่ละลักษณะ}}{\text{จำนวนตัวอย่างทั้งหมด}}$$

$$\text{ค่าความชุกชุมสัมพัทธ์ (relative abundance)} = \frac{\text{ค่าความชุกชุมสัมบูรณ์ของลักษณะราก}}{\text{ผลรวมของค่าความชุกชุมสัมบูรณ์ของลักษณะรากทั้งหมด}}$$

จากนั้นนำค่าที่ได้ในแต่ละช่วงเวลามาเปรียบเทียบกัน

### 3. การตรวจสอบสมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน

นำตัวอย่างดินที่เก็บจากข้อ 2 แบ่งเป็น 2 ส่วน โดยดินส่วนแรกถูกนำไปวิเคราะห์เนื้อดิน ปริมาณ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน อินทรีย์วัตถุ และไนโตรเจนทั้งหมด ที่หน่วยวิเคราะห์วิจัยดินพืชและวัสดุ เกษตรศูนย์ปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และสาขาวิชาปฐพีศาสตร์และ สิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

สำหรับตัวอย่างดินที่เหลือถูกนำไปหาความชื้นในดิน ด้วยการนำตัวอย่างดินที่ชั่งน้ำหนักแล้ว ไปอบที่ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนกระทั่งมีน้ำหนักคงที่ แล้วนำไปชั่งน้ำหนักแห้งอีกครั้ง แล้วคำนวณค่าความชื้น ในดินจากส่วนต่างของน้ำหนักเปียกและน้ำหนักแห้งของดิน

### 4. การวิเคราะห์หาค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์จากดิน

นำตัวอย่างดินจากทุกตัวอย่างที่ได้จากการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 และ 4 มาวัดค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ 3 เอนไซม์ ได้แก่ acid phosphatase  $\beta$ -glucosidase และ  $\beta$ -N-acetylglucosaminidase ด้วยวิธี *para*-nitrophenol (*p*NP) ซึ่งดัดแปลงจากวิธีของ Verchot และ Borelli (2005) โดยนำดินน้ำหนัก 0.9 กรัมละลาย ใน acetate buffer (pH 5) ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ ปริมาตร 6 มิลลิลิตร เตรียมสารละลายสารตั้งต้น 3 ชนิด ตามความเข้มข้นต่าง ๆ ดังตารางที่ 1 โดยละลายใน acetate buffer (pH 5) ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ จากนั้นผสมสารละลายดินและสารละลายสารตั้งต้นอย่างละ 200 ไมโครลิตรเข้าด้วยกัน และมีชุดควบคุมเป็น สารละลายดินผสมกับ acetate buffer ที่ไม่มีสารตั้งต้น นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 8,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 นาที เพื่อตกตะกอนอนุภาคดิน ดูดส่วน ไสลงใน 96-well plate เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 40 ไมโครลิตร เพื่อให้ผลิตภัณฑ์เปลี่ยนเป็นสีเหลือง แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 405 นาโนเมตร โดยใช้ เครื่อง SpectraMax M3 microplate reader (Molecular Devices) สร้างกราฟมาตรฐานจากสารละลาย *p*NP ที่มีความเข้มข้นเป็น 0.3125 0.625 1.25 2.5 และ 5 มิลลิโมลาร์ จากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้จากชุดทดลองลบกับค่าที่วัดได้จากชุดควบคุม แล้วนำไปคำนวณหาความเข้มข้นและมวลของ *p*NP ที่เกิดขึ้น จากกราฟมาตรฐาน โดยค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์จากดินจะแสดงในหน่วย nmol ของ *p*NP ต่อน้ำหนักแห้ง ของดิน (กรัม) และเวลาในการบ่ม (ชั่วโมง) จากนั้นเปรียบเทียบค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ระหว่างแปลงศึกษา (ช่วงเวลาเดียวกัน) ฤดูกาล (แปลงศึกษาเดียวกัน) และระหว่างพื้นที่ศึกษา



ตารางที่ 1 สารตั้งต้นและความเข้มข้นที่ใช้ในการวัดค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ 3 เอนไซม์

เอนไซม์	สารตั้งต้น	มวลโมเลกุล	ความเข้มข้น (มิลลิโมลาร์)
acid phosphatase	pNP-phosphate	371.14	5
$\beta$ -glucosidase	pNP- $\beta$ -glucopyranoside	301.25	5
$\beta$ -N-acetylglucosaminidase	pNP-N-acetyl- $\beta$ -D-glucosaminide	342.30	2.5

### 5. การวิเคราะห์หาค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์จากรากเอ็กโทไมคอร์ไรซา

นำตัวอย่างรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาในแต่ละลักษณะจากทุกตัวอย่างที่ได้จากการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 และ 4 โดยใช้รากอย่างมาก 3 รากเป็นตัวแทนของแต่ละลักษณะจากตัวอย่างดินเดียวกันมาวัดค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ 3 เอนไซม์ เช่นเดียวกับข้อ 4 ซึ่งดัดแปลงจากวิธีของ Verchot และ Borelli (2005) และ Pritsch และคณะ (2011) โดยนำรากใส่ลงในสารละลายสารตั้งต้นที่มีความเข้มข้นเป็น 0.5 เท่าของตารางที่ 1 ปริมาตร 1 มิลลิลิตรในหลอดขนาด 2 มิลลิลิตร โดยมีชุดควบคุมเป็นสารละลายสารตั้งต้นที่ไม่มีราก จากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยชุดของเอนไซม์  $\beta$ -glucosidase และ  $\beta$ -N-acetylglucosaminidase ใช้เวลาบ่ม 1 ชั่วโมง และชุดของเอนไซม์ acid phosphatase ใช้เวลาบ่ม 30 นาที นำรากออกแล้วเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 200 ไมโครลิตรลงในสารละลาย นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร โดยใช้เครื่อง Spectrophotometer (Hewlett Packard) จากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้จากชุดทดลองลบกับค่าที่วัดได้จากชุดควบคุม แล้วนำไปคำนวณหาความเข้มข้นและมวลของ pNP ที่เกิดขึ้นจากรูปมาตรฐาน ที่สร้างจากสารละลาย pNP ที่มีความเข้มข้นเป็น 0.3125 0.625 1.25 2.5 และ 5 มิลลิโมลาร์ โดยรากแต่ละรากจะถูกบ่มกับสารละลายสารตั้งต้นทั้ง 3 ชนิด ซึ่งหลังจากการบ่มในแต่ละครั้ง รากจะถูกแช่ใน acetate buffer ก่อนนำไปบ่มกับสารตั้งต้นชนิดถัดไป หลังจากนั้นรากจะถูกนำมาบันทึกภาพภายใต้กล้องสเตอริโอเพื่อนำไปหาพื้นที่ผิวรากด้วยโปรแกรม image J และคำนวณหาค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์จากรากเอ็กโทไมคอร์ไรซา โดยมีหน่วยเป็น nmol ของ pNP ต่อพื้นที่ผิวราก (ตารางมิลลิเมตร) และเวลาในการบ่ม (นาที) จากนั้นนำค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์เฉลี่ยของรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาแต่ละลักษณะมาคำนวณหาค่าแอกทิวิตีสัมพัทธ์จาก Courty และคณะ (2010)

$$\text{ค่าแอกทิวิตีสัมพัทธ์ (relative enzyme activity)} = \frac{\text{จำนวนราก X ค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ของรากแต่ละลักษณะ}}{\text{ผลรวมของผลคูณทั้งหมดของรากทุกลักษณะ}} \times 100$$

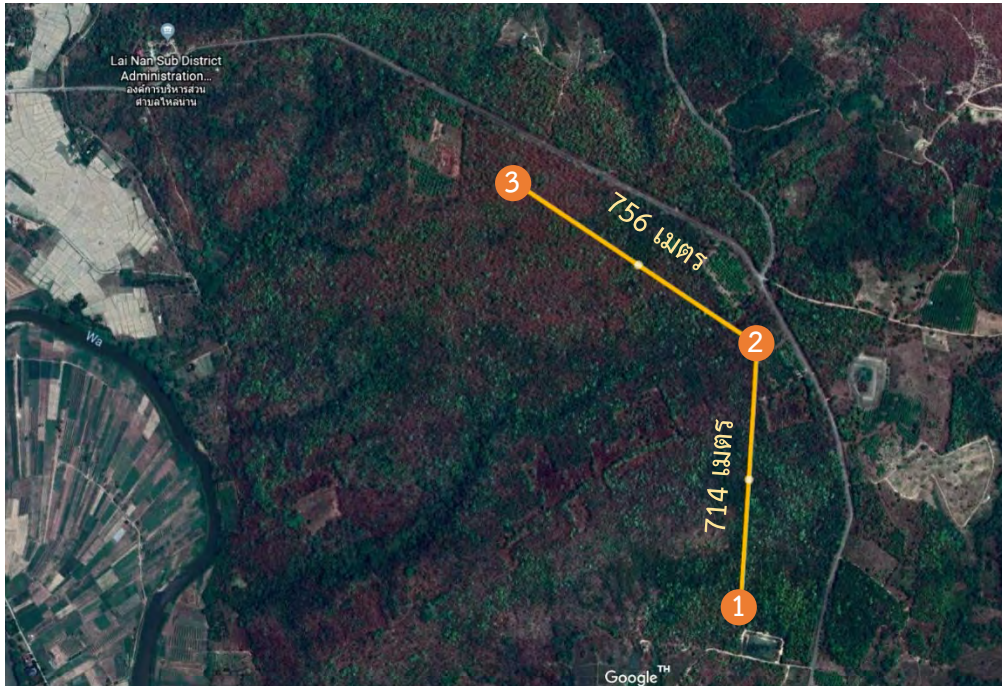
## ผลการวิจัย

### 1. แปลงศึกษาและการเก็บตัวอย่าง

ในเดือนกันยายน 2560 ทำการวางแผนศึกษาในพื้นที่ป่าเต็งรังที่ถูกรบกวนในโครงการพัฒนาที่ดินจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย-สระบุรี จังหวัดสระบุรี และพื้นที่ป่าเต็งรังรุ่นที่สอง บริเวณสถานีวิจัยและถ่ายทอดเทคโนโลยีไหล่น่าน จังหวัดน่าน 10x10 ตารางเมตร จำนวน 3 แปลง/พื้นที่ ดังภาพที่ 1 และ 2



ภาพที่ 1 ตำแหน่งของแปลงศึกษาทั้ง 3 แปลง ในพื้นที่ป่าเต็งรังที่ถูกรบกวนในโครงการพัฒนาที่ดินจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย-สระบุรี จังหวัดสระบุรี



ภาพที่ 2 ตำแหน่งของแปลงศึกษาทั้ง 3 แปลง ในพื้นที่ป่าเต็งรังรุ่นที่สอง บริเวณสถานีวิจัยและถ่ายทอดเทคโนโลยีไหล่น่าน จังหวัดน่าน

โดยลักษณะแปลงศึกษาในป่าเต็งรังที่ถูกรบกวน ในโครงการพัฒนาที่ดินจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย-สระบุรีแสดงดังภาพที่ 3 พบว่ามีเพียงต้นรัง (*Shorea siamensis*) ที่เป็นพืชอาศัยของราเอ็กโทไมคอร์ไรซา เป็นไม้เด่นและขึ้นปะปนกับไม้ชนิดอื่น ๆ เช่น สมอโท กระทุ่ม เป็นต้น ในแปลงศึกษาที่ 1 2 และ 3 มีต้นไม้ทั้งหมด 39 39 และ 27 ต้น และมีเส้นผ่านศูนย์กลางระดับอก (diameter at breast height, DBH) ประมาณ 7-11 เซนติเมตร ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ชนิดของต้นไม้ที่พบในแปลงศึกษาป่าเต็งรังที่ถูกรบกวน จังหวัดสระบุรี

ชนิดของพืช	แปลงที่ 1		แปลงที่ 2		แปลงที่ 3	
	จำนวน (ต้น)	DBH เฉลี่ย (ซม.)	จำนวน (ต้น)	DBH เฉลี่ย (ซม.)	จำนวน (ต้น)	DBH เฉลี่ย (ซม.)
รัง <i>Shorea siamensis</i>	24	10.40	14	10.32	23	8.09
อื่นๆ	15	9.96	25	8.53	4	8.12
รวม	39		39		27	



ภาพที่ 3 แปลงศึกษาในพื้นที่ป่าเต็งรังที่ถูกรบกวนในโครงการพัฒนาที่ดินจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย-สระบุรี จังหวัดสระบุรี

สำหรับลักษณะแปลงการศึกษาในป่าเต็งรังรุ่นที่สอง บริเวณสถานีวิจัยและถ่ายทอดเทคโนโลยี ไหล่น่าน จังหวัดน่าน แสดงดังภาพที่ 4 ประกอบด้วยไม้ในวงศ์ไม้ยาง (Dipterocarpaceae) เป็นส่วนใหญ่ โดยมีพลวง (*Dipterocarpus tuberculatus*) และ เต็ง (*Shorea obtusa*) เป็นไม้เด่น นอกจากนี้ยังพบไม้ในวงศ์ ยางอีก 2 ชนิด ได้แก่ รัง (*S. siamensis*) และเหียง (*D. obtusifolius*) ขึ้นปะปนกับไม้อื่น โดยในแปลงศึกษาที่ 1 2 และ 3 พบต้นไม้ทั้งหมด 26, 20 และ 17 ต้น ตามลำดับ และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระดับอกเฉลี่ย 10-13 เซนติเมตร ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ชนิดของต้นไม้ที่พบในแปลงศึกษาป่าเต็งรังรุ่นที่สอง จังหวัดน่าน

ชนิดของพืช	แปลงที่ 1		แปลงที่ 2		แปลงที่ 3	
	จำนวน (ต้น)	DBH เฉลี่ย (ซม.)	จำนวน (ต้น)	DBH เฉลี่ย (ซม.)	จำนวน (ต้น)	DBH เฉลี่ย (ซม.)
พลวง <i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	15	9.55	6	16.71	7	7.20
เหียง <i>Dipterocarpus obtusifolius</i>	2	10.18	2	16.86	-	-
เต็ง <i>Shorea obtusa</i>	2	15.91	8	11.21	7	10.80
รัง <i>Shorea siamensis</i>	2	6.68	-	-	-	-
อื่นๆ	5	10.63	4	10.82	3	14.76
รวม	26		20		17	



ภาพที่ 4 แปลงศึกษาในป่าเต็งรังรุ่นที่สอง บริเวณสถานีวิจัยและถ่ายทอดเทคโนโลยีไหล่น่าน จังหวัดน่าน

## 2. การจัดกลุ่มรากเอ็กโทไมคอร์ไรซา

เมื่อแยกรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาจากตัวอย่างดินที่เก็บระหว่างเดือนกันยายน 2560 ถึงสิงหาคม 2561 ในป่าเต็งรังที่ถูกรบกวน จังหวัดสระบุรี พบรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาเป็นจำนวนดังที่แสดงในตารางที่ 4 โดยในเดือนกันยายน 2560 พบจำนวนรากเอ็กโทไมคอร์ไรซามากที่สุดในทุกแปลงศึกษา ในแปลงศึกษาที่ 2 มีจำนวนรากเอ็กโทไมคอร์ไรซามากที่สุด และในแปลงศึกษาที่ 3 มีจำนวนรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาน้อยที่สุด

ตารางที่ 4 จำนวนรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาที่พบระหว่างเดือนกันยายน 2560 ถึงสิงหาคม 2561 ในป่าเต็งรังที่ถูกรบกวน จังหวัดสระบุรี

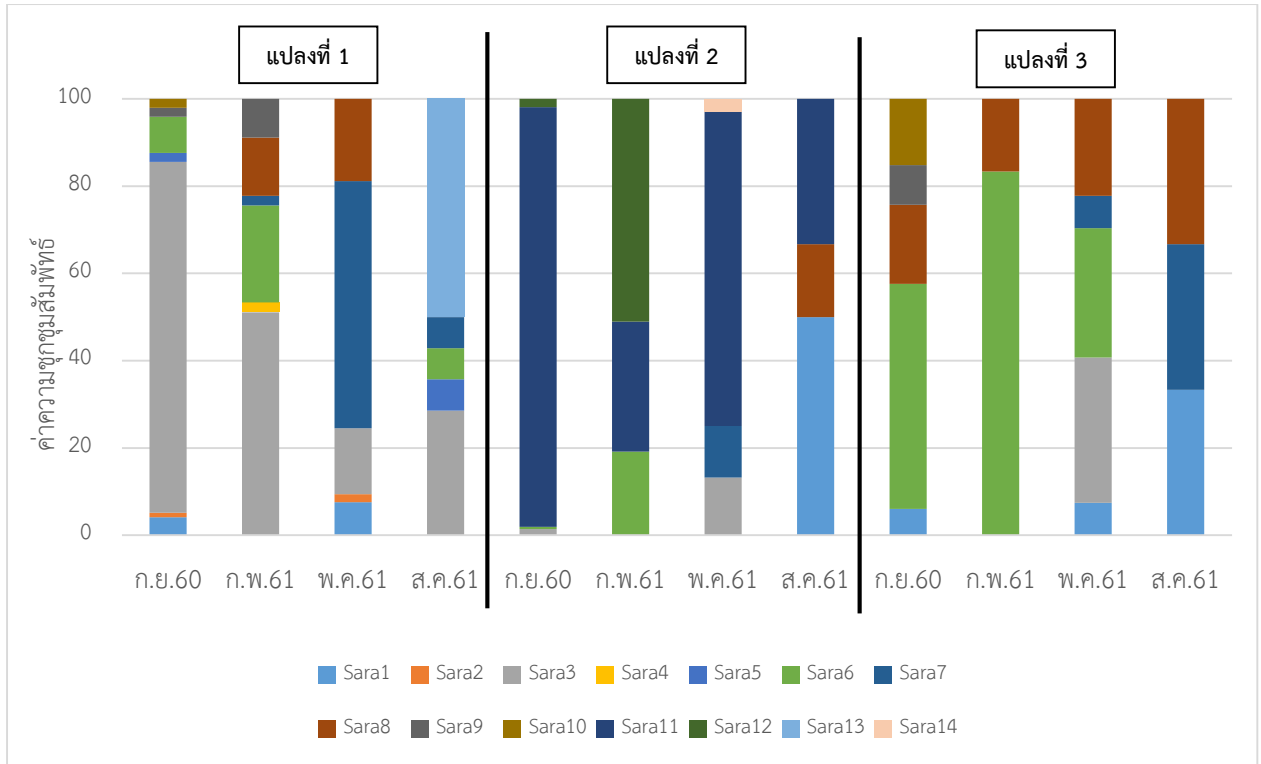
ช่วงเวลาที่เก็บ ตัวอย่าง	จำนวนรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาทั้งหมดที่พบในแต่ละแปลงศึกษา (ราก)			
	แปลงศึกษาที่ 1	แปลงศึกษาที่ 2	แปลงศึกษาที่ 3	แปลงศึกษา ทั้งหมด
กันยายน 2560	97	207	33	337
กุมภาพันธ์ 2561	45	47	6	98
พฤษภาคม 2561	53	68	27	148
สิงหาคม 2561	14	6	3	23

เมื่อจัดกลุ่มรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาที่พบตามลักษณะทางสัณฐานวิทยา พบว่ามีรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาทั้งสิ้น 14 ลักษณะ ดังที่แสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ลักษณะรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาที่พบในแปลงศึกษา บริเวณป่าเต็งรังที่ถูกรบกวนในโครงการพัฒนาที่ดินจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย-สระบุรี

เมื่อคำนวณค่าความชุกชุมสัมพัทธ์จากจำนวนรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาที่พบในแต่ละลักษณะ ดังภาพที่ 6 พบว่า ในแปลงศึกษาแต่ละแปลงมีการเปลี่ยนแปลงของรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาที่เป็นกลุ่มเด่น ซึ่งมีค่าความชุกชุมสัมพัทธ์สูงสุดในแต่ละช่วงเวลาแตกต่างกัน โดยในแปลงที่ 1 พบว่า Sara3 เป็นกลุ่มเด่นในเดือนกันยายน 2560 และกุมภาพันธ์ 2561 แต่ในเดือนพฤษภาคม และสิงหาคม 2561 รากที่เป็นกลุ่มเด่นเปลี่ยนไปเป็น Sara7 และ Sara13 ตามลำดับ เช่นเดียวกับแปลงที่ 3 ที่มีการเปลี่ยนแปลงรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาที่เป็นกลุ่มเด่นในการเก็บตัวอย่าง 2 ครั้งแรก จาก Sara6 เป็นกลุ่มอื่นในครั้งถัดไป ส่วนในแปลงที่ 2 นั้น Sara11 เป็นกลุ่มเด่นในเดือนกันยายน 2560 แต่มีความชุกชุมสัมพัทธ์ลดลงในเดือนกุมภาพันธ์ 2561 ซึ่งเป็นเวลาที่ Sara12 เป็นกลุ่มเด่น แต่ในเดือนพฤษภาคม 2561 Sara11 กลับมาเป็นกลุ่มเด่นอีกครั้ง และจะเห็นว่ารากเอ็กโทไมคอร์ไรซาบางลักษณะพบเฉพาะบางเดือนเท่านั้น เช่น Sara10 และ Sara13 เป็นต้น



ภาพที่ 6 กราฟแสดงค่าความชุกชุมสัมพัทธ์ของไรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาที่พบในแปลงศึกษาบริเวณป่าเต็งรังที่ถูกรบกวน จังหวัดสระบุรี

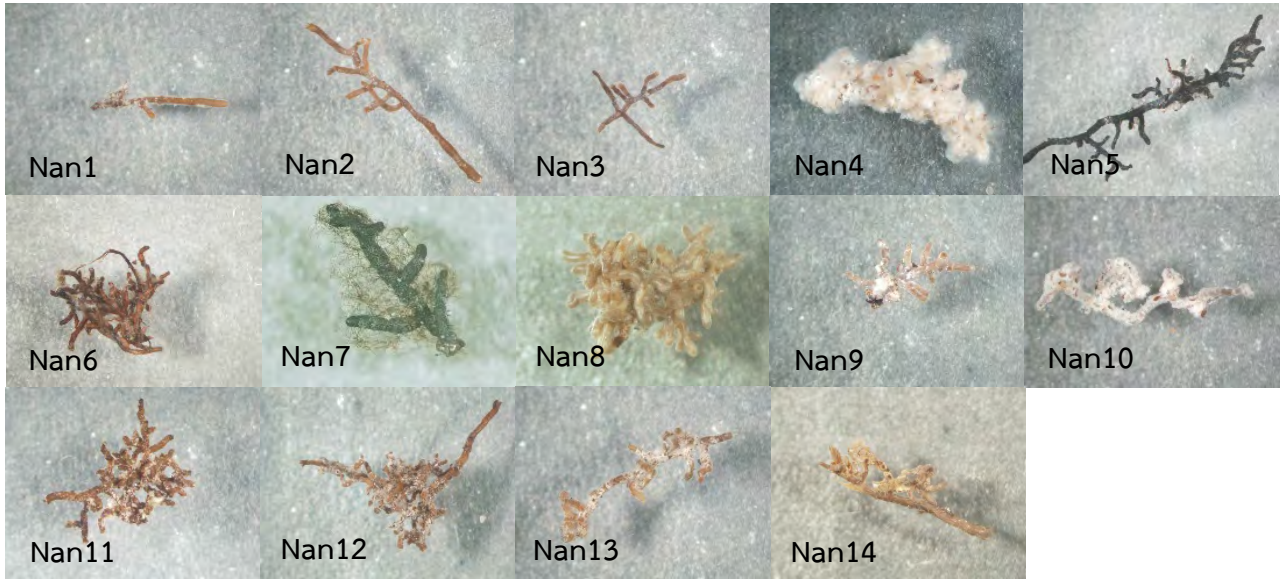
สำหรับในแปลงศึกษาบริเวณป่าเต็งรังรุ่นที่สอง จังหวัดน่าน พบว่ามีไรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาจากตัวอย่างดินที่เก็บในเดือนกันยายน 2560 และกุมภาพันธ์ 2561 เป็นจำนวนดังที่แสดงในตารางที่ 5 โดยเดือนกันยายน 2561 พบไรากเอ็กโทไมคอร์ไรซามากที่สุดในทุกแปลงศึกษา และในแปลงศึกษาที่ 3 มีจำนวนไรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาน้อยที่สุด

ตารางที่ 5 จำนวนไรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาที่พบระหว่างเดือนกันยายน 2560 ถึงกรกฎาคม 2561

ในป่าเต็งรังรุ่นที่สอง จังหวัดน่าน

ช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่าง	จำนวนไรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาทั้งหมดที่พบในแต่ละแปลงศึกษา (ราก)			
	แปลงศึกษาที่ 1	แปลงศึกษาที่ 2	แปลงศึกษาที่ 3	แปลงศึกษาทั้งหมด
กันยายน 2560	863	687	328	1,878
มกราคม 2561	391	428	100	919
เมษายน 2561	112	139	97	348
กรกฎาคม 2561	94	340	41	475

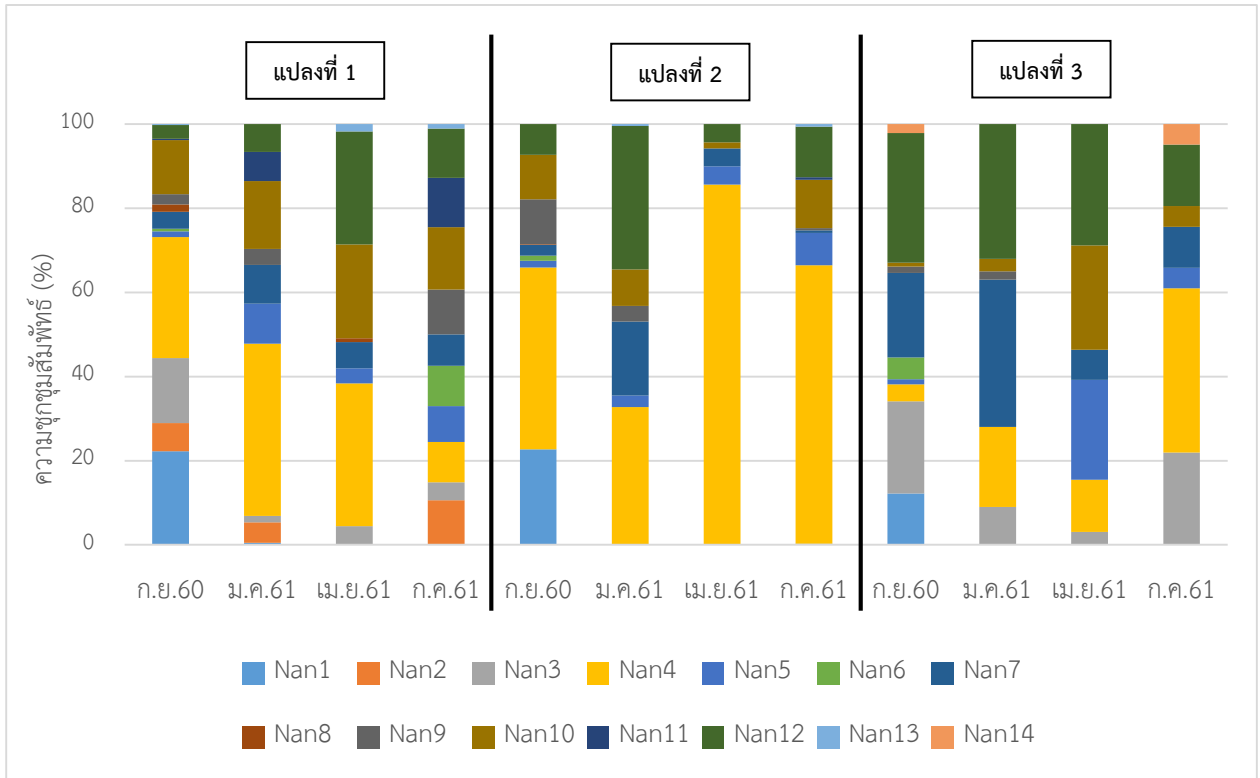
เมื่อจัดกลุ่มรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาที่พบตามลักษณะทางสัณฐานวิทยา พบว่ามีรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาทั้งสิ้น 14 ลักษณะ ดังที่แสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ลักษณะรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาที่พบในแปลงศึกษา บริเวณป่าเต็งรังรุ่นที่สองสถานีวิจัยและถ่ายทอดเทคโนโลยีไหล่น่าน จังหวัดน่าน

เมื่อคำนวณค่าความชุกชุมสัมพัทธ์จากจำนวนรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาที่พบในแต่ละลักษณะในป่าเต็งรังรุ่นที่สอง ดังภาพที่ 8 พบว่า รากเอ็กโทไมคอร์ไรซา Nan4 เป็นรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาที่เป็นกลุ่มเด่นในแปลงที่ 1 และ 2 โดยเฉพาะอย่างยิ่งในแปลงที่ 2 เดือนเมษายน 2561 โดยมีค่าความชุกชุมสัมพัทธ์เป็นร้อยละ 85.6 ส่วนในแปลงที่ 3 รากเอ็กโทไมคอร์ไรซา Nan12 เป็นกลุ่มเด่นในเดือนกันยายน 2560 ถึง เมษายน 2561 ส่วนในเดือนกรกฎาคม 2561 ราก Nan4 เป็นรากที่มีความชุกชุมสัมพัทธ์มากที่สุด นอกจากนี้จะพบว่าลักษณะรากส่วนใหญ่สามารถพบได้ในทั้งสามแปลงศึกษา และรากเอ็กโทไมคอร์ไรซา Nan4 Nan7 Nan10 และ Nan12 เป็นรากที่พบในทุกแปลงและทุกช่วงเวลาของการเก็บตัวอย่าง





ภาพที่ 8 กราฟแสดงค่าความชุ่มชื้นสัมพัทธ์ของรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาที่พบในแปลงศึกษาบริเวณป่าเต็งรังรุ่นที่สอง จังหวัดน่าน

### 3. สมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน

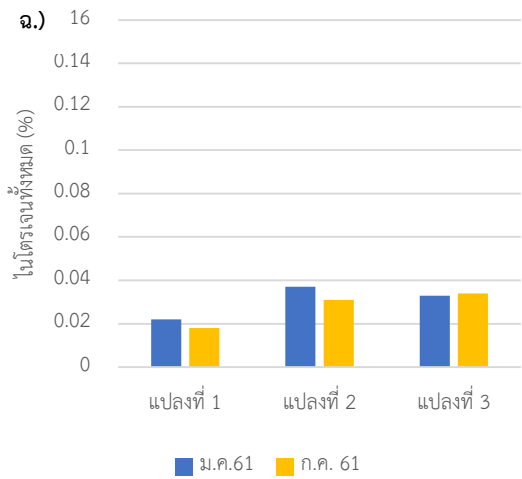
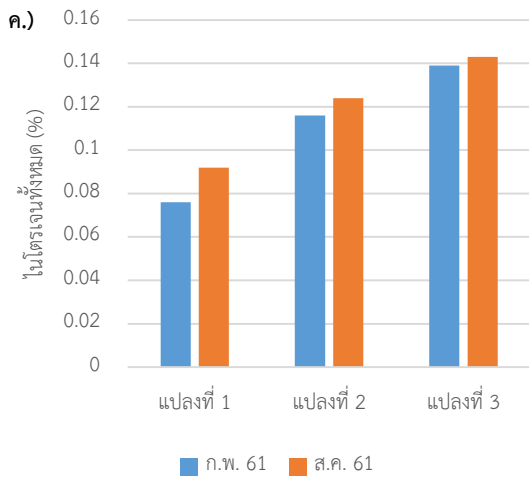
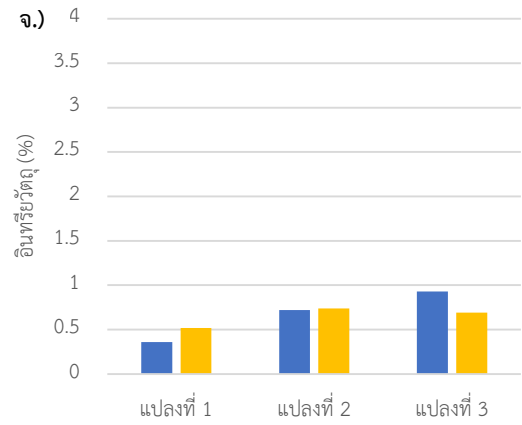
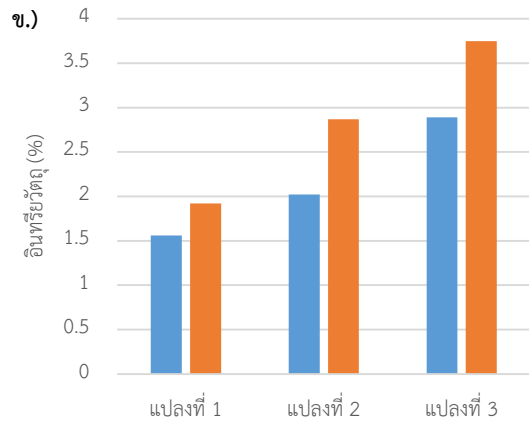
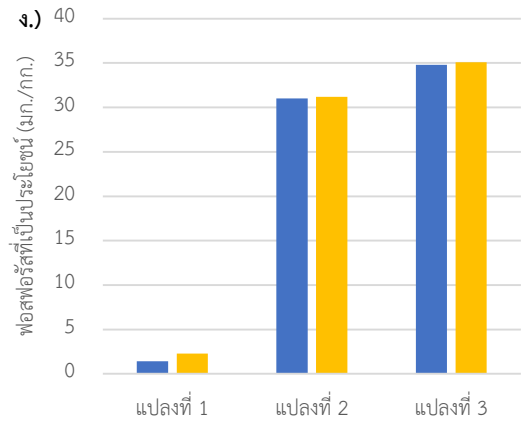
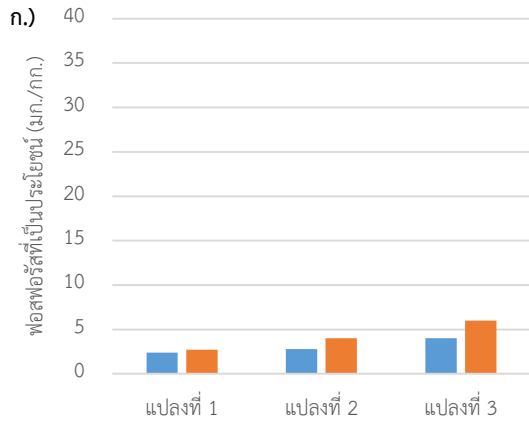
จากผลการส่งตรวจเนื้อดิน พบว่าดินทั้ง 6 แปลงศึกษาจาก 2 พื้นที่ เป็นดินร่วนปนทรายทั้งหมด และมีปริมาณธาตุฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน รวมถึงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ดังภาพที่ 9 โดยปริมาณอินทรีย์วัตถุและธาตุไนโตรเจนของแปลงศึกษาในป่าที่ถูกรบกวนมีค่าสูงกว่าแปลงศึกษาในป่าเต็งรังรุ่นที่สอง แต่ปริมาณธาตุฟอสฟอรัสจากแปลงที่ 2 และ 3 ของป่าเต็งรังรุ่นที่สอง ในจังหวัดน่านสูงกว่าแปลงศึกษาในป่าเต็งรังที่ถูกรบกวนที่จังหวัดสระบุรี

จากการวิเคราะห์หาค่าความชื้นในดิน พบว่าความชื้นในดินของตัวอย่างในเดือนกันยายนมีค่าสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทั้งสองพื้นที่ ดังตารางที่ 6 ในขณะที่ค่าความชื้นในดินจากการเก็บตัวอย่างอีก 3 ครั้ง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในฤดูฝน (เดือนกรกฎาคมและสิงหาคม 2561)

ตารางที่ 6 ค่าความชื้นในดินของแต่ละแปลงศึกษาระหว่างเดือนกันยายน 2560 ถึงสิงหาคม 2561

แปลงศึกษา	ความชื้นในดิน (ร้อยละ, ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)			
	ป่าเต็งรังที่ถูกรบกวน จังหวัดสระบุรี	กันยายน 2560	กุมภาพันธ์ 2561	พฤษภาคม 2561
	18.94 ± 2.29 <sup>a</sup>	6.43 ± 1.39 <sup>c</sup>	6.62 ± 1.98 <sup>bc</sup>	7.77 ± 1.24 <sup>b</sup>
ป่าเต็งรังรุ่นที่สอง จังหวัดน่าน	กันยายน 2560	มกราคม 2561	เมษายน 2561	กรกฎาคม 2561
	14.85 ± 2.04 <sup>a</sup>	4.07 ± 1.01 <sup>bc</sup>	3.40 ± 0.99 <sup>c</sup>	4.51 ± 1.39 <sup>b</sup>

หมายเหตุ ตัวอักษรยกที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างของความชื้นของดินในแต่ละช่วงเวลาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบในพื้นที่เดียวกัน (one-way ANOVA, P<0.05)



ภาพที่ 9 คุณสมบัติของดินในแปลงศึกษาบริเวณป่าเต็งรังที่ถูกรบกวน จังหวัดสระบุรี (ก.-ค.) และบริเวณป่าเต็งรังรุ่นที่สอง จังหวัดน่าน (ง.-ฉ.) ได้แก่ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ อินทรีย์วัตถุ และไนโตรเจนทั้งหมด

#### 4. การวิเคราะห์หาค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์จากดิน

จากการวัดค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ acid phosphatase  $\beta$ -glucosidase และ  $\beta$ -N-acetylglucosaminidase จากตัวอย่างดินในแปลงศึกษาบริเวณพื้นที่ป่าเต็งรังที่ถูกรบกวน จังหวัดสระบุรี ในเดือนกุมภาพันธ์และสิงหาคม 2561 เป็นดังตารางที่ 7 โดยค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ acid phosphatase มีค่ามากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเอนไซม์ทั้ง 3 ชนิด ค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ในแปลงศึกษาแต่ละแปลงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาคผนวก) แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างช่วงเวลา พบว่ามีเพียงค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์  $\beta$ -glucosidase มีค่าลดลงในเดือนสิงหาคม 2561 หรือในฤดูฝน ซึ่งมีความแตกต่างจากค่าในเดือนกุมภาพันธ์ 2561 หรือฤดูแล้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

สำหรับค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ทั้ง 3 เอนไซม์จากตัวอย่างดินในพื้นที่ป่าเต็งรังรุ่นที่สอง จังหวัดน่าน ในเดือนมกราคม (ฤดูแล้ง) และกรกฎาคม 2561 (ฤดูฝน) เป็นดังตารางที่ 7 เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน พบว่าค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์  $\beta$ -glucosidase ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เช่นเดียวกับตัวอย่างดินในแปลงศึกษาบริเวณพื้นที่ป่าเต็งรังที่ถูกรบกวน จังหวัดสระบุรี ในขณะที่ค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ชนิดอื่นไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบระหว่างฤดูกาล

นอกจากนี้ เมื่อเปรียบเทียบค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ทั้งสองพื้นที่ พบว่า ดินจากป่าเต็งรังที่ถูกรบกวน จังหวัดสระบุรี มีค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ทั้งสามสูงกว่าตัวอย่างดินจากป่าเต็งรังรุ่นที่สอง จังหวัดน่านอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

**ตารางที่ 7** ค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์จากดินในพื้นที่ป่าเต็งรังที่ถูกรบกวน จังหวัดสระบุรี และป่าเต็งรังรุ่นที่สอง จังหวัดน่าน

เอนไซม์	ค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ (nmol ของ pNP/กรัม*ชั่วโมง)			
	ป่าเต็งรังที่ถูกรบกวน จังหวัดสระบุรี		ป่าเต็งรังรุ่นที่สอง จังหวัดน่าน	
	กุมภาพันธ์ 2561	สิงหาคม 2561	มกราคม 2561	กรกฎาคม 2561
acid phosphatase	438.10±87.65	400.17±94.21	229.14±46.48	255.44±64.23
$\beta$ -glucosidase	124.49±32.48	90.01±20.61*	56.87±11.11	49.00±12.37*
$\beta$ -N-acetylglucosaminidase	85.23±22.24	85.14±40.30	42.69±9.04	48.39±14.02

หมายเหตุ เครื่องหมาย \* แสดงความแตกต่างของค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์จากดินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างช่วงเวลาในแปลงศึกษาเดียวกัน (Paired Samples T-Test,  $P < 0.05$ )

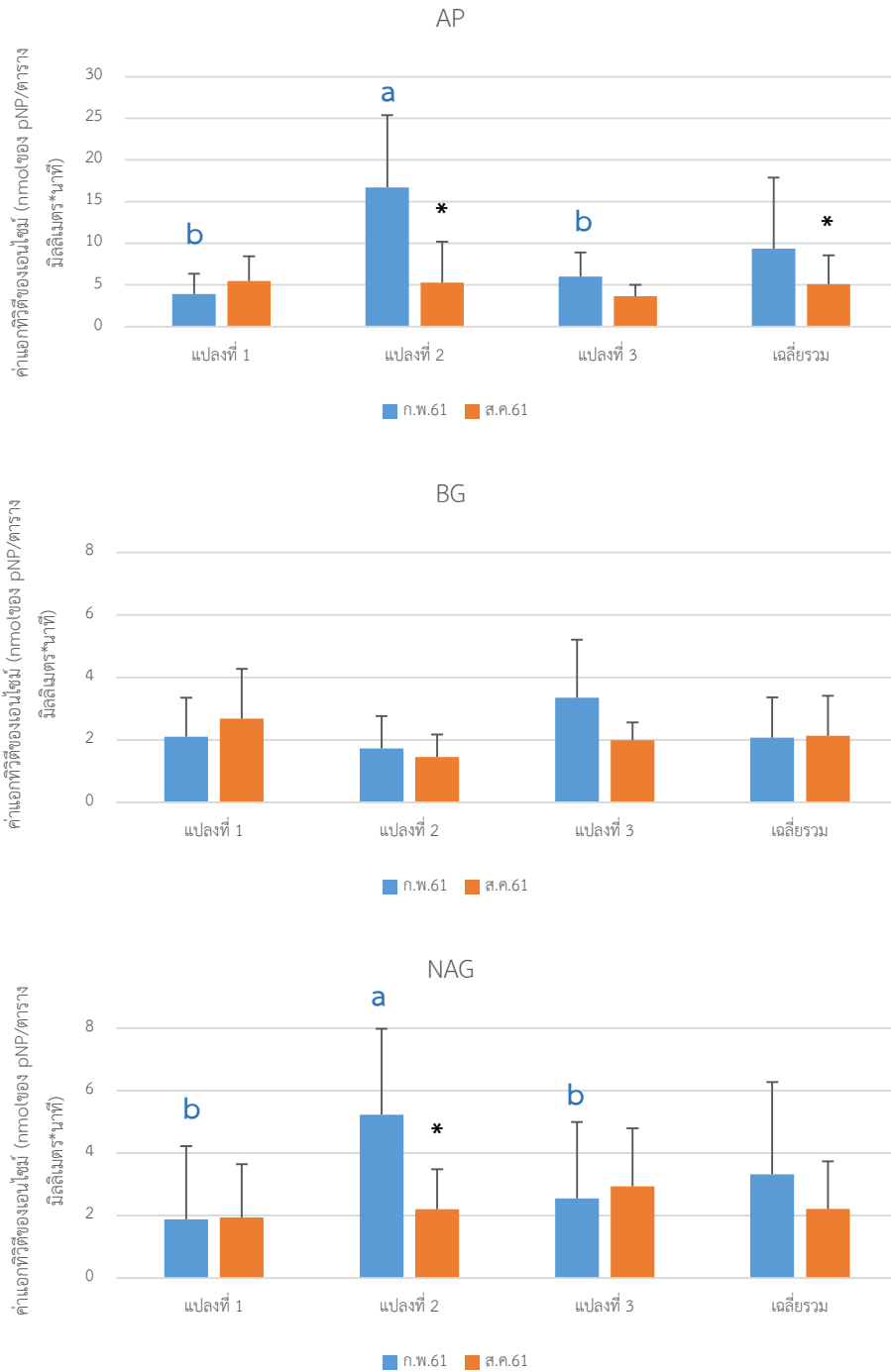
## 5. การวิเคราะห์หาค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์จากรากเอ็กโทไมคอร์ไรซา

เมื่อวัดค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ acid phosphatase (AP)  $\beta$ -glucosidase (BG) และ  $\beta$ -N-acetylglucosaminidase (NAG) จากตัวอย่างรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาลักษณะต่าง ๆ ที่พบในแปลงศึกษาบริเวณพื้นที่ป่าเต็งรังที่ถูกรบกวน จังหวัดสระบุรี ในเดือนกุมภาพันธ์และสิงหาคม 2561 ซึ่งเป็นตัวแทนในฤดูแล้งและฤดูฝนตามลำดับ (ภาคผนวก ตารางที่ ก4 - ก6) จากรากเอ็กโทไมคอร์ไรซา 11 ลักษณะที่พบในช่วงเวลาดังกล่าว ได้แก่ Sara1 Sara3 Sara4 Sara5 Sara6 Sara7 Sara8 Sara9 Sara11 Sara12 และ Sara13 พบว่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ acid phosphatase มีค่ามากที่สุด โดยมีค่าตั้งแต่ 1.78-22.22 nmol ของ pNP/ตารางมิลลิเมตร\*นาที่ ส่วนแอกทิวิตีของเอนไซม์  $\beta$ -glucosidase และ  $\beta$ -N-acetylglucosaminidase มีค่าเป็น 0.72-5.31 และ 0.35-6.37 nmol ของ pNP/ตารางมิลลิเมตร\*นาที่ ตามลำดับ นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าลักษณะรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาแต่ละลักษณะมีค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์แต่ละชนิดแตกต่างกันไป โดยบางลักษณะ เช่น ราก Sara 6 และ Sara7 มีค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ทั้ง 3 ชนิดสูงที่สุดในแปลงศึกษาที่ 3 หรือ Sara 11 ที่พบในแปลงศึกษาที่ 2 มีค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ acid phosphatase และ  $\beta$ -N-acetylglucosaminidase สูงที่สุด แต่กลับมีค่าแอกทิวิตีของ  $\beta$ -glucosidase ไม่สูงมาก ต่างจาก Sara9 ที่พบในแปลงศึกษาที่ 1 ที่มีค่าแอกทิวิตีของ acid phosphatase และ  $\beta$ -glucosidase สูงที่สุด

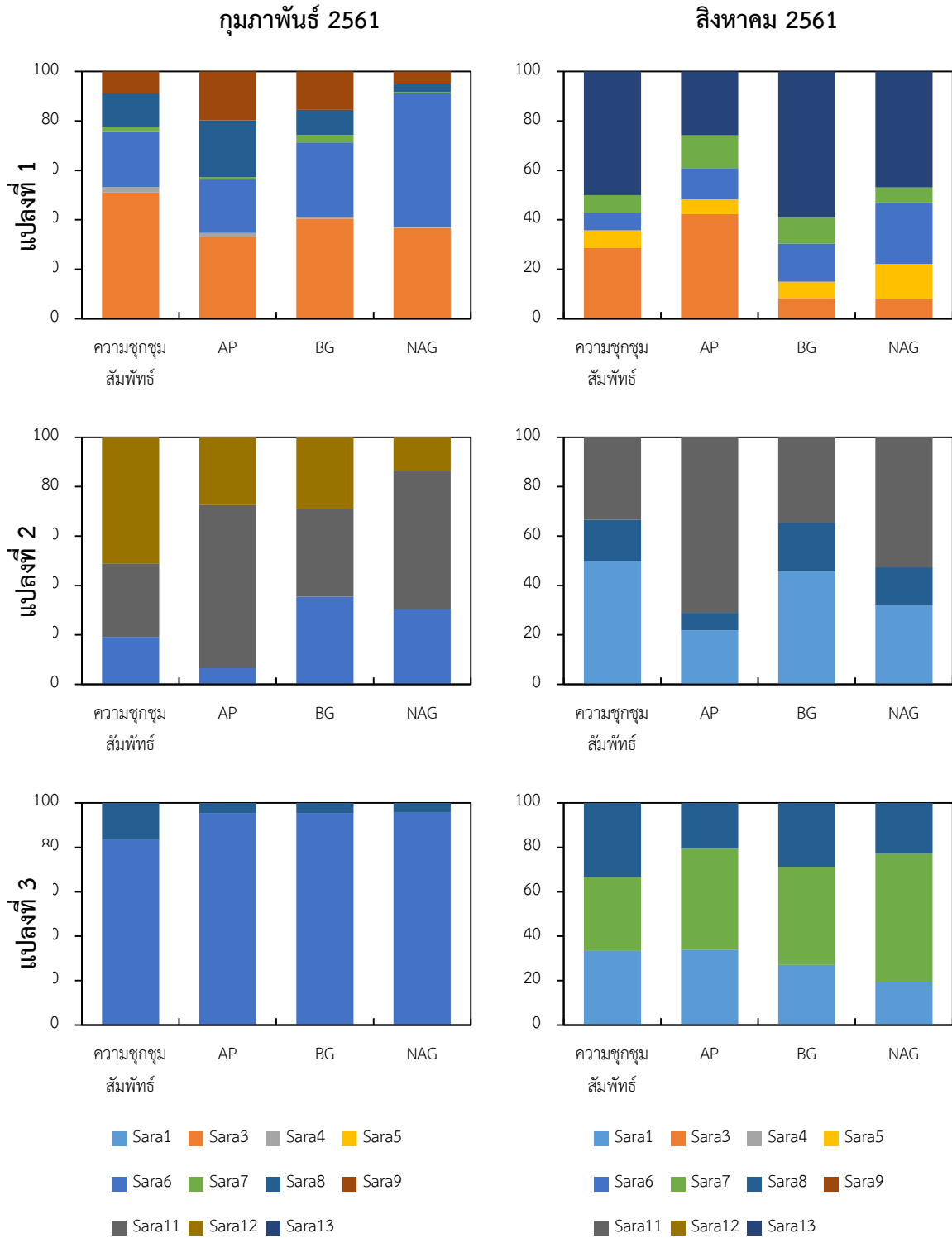
เมื่อเปรียบเทียบค่าแอกทิวิตีเฉลี่ยของเอนไซม์ทั้ง 3 ชนิด (ภาพที่ 10) ระหว่างแปลงศึกษา พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ระหว่างแปลงเฉพาะ acid phosphatase และ  $\beta$ -N-acetylglucosaminidase ในเดือนกุมภาพันธ์เท่านั้น โดยแปลงที่ 2 มีค่ามากกว่าอีกสองแปลงศึกษา และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน พบว่ามีเพียงแปลงศึกษาที่ 2 ที่ค่าแอกทิวิตีเฉลี่ยของเอนไซม์ acid phosphatase และ  $\beta$ -N-acetylglucosaminidase ลดลงในฤดูฝนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนค่าแอกทิวิตีเฉลี่ยของเอนไซม์ในแปลงศึกษาอื่นระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เมื่อพิจารณาค่าแอกทิวิตีสัมพัทธ์ของเอนไซม์ทั้ง 3 ชนิดของรากแต่ละลักษณะ และเปรียบเทียบกับค่าความชุกชุมสัมพัทธ์ของราก ดังภาพที่ 11 พบว่า รากแต่ละลักษณะมีบทบาทสำคัญในการสร้างเอนไซม์แต่ละชนิดแตกต่างกันไป ดังเช่น ในแปลงศึกษาที่ 1 เดือนกุมภาพันธ์ 2561 ค่าแอกทิวิตีของ acid phosphatase ส่วนใหญ่มาจากราก Sara3 Sara6 Sara8 และ Sara9 ซึ่งแม้ว่าราก Sara3 จะมีจำนวนมากกว่ารากลักษณะอื่น แต่บทบาทในการผลิตเอนไซม์ acid phosphatase กลับไม่แตกต่างจากรากชนิดอื่น ในขณะที่ค่าแอกทิวิตีของ  $\beta$ -N-acetylglucosaminidase มากกว่าร้อยละ 50 มาจากราก Sara6 ส่วนในเดือนสิงหาคม 2561 แม้ว่าราก Sara 13 จะมีจำนวนมากกว่ารากลักษณะอื่น แต่ค่าแอกทิวิตีของ acid phosphatase ส่วนใหญ่มาจากราก Sara 3 ในขณะที่ Sara13 มีค่าแอกทิวิตีของ  $\beta$ -glucosidase และ  $\beta$ -N-acetylglucosaminidase เป็นสัดส่วนที่สูงกว่ารากลักษณะอื่น สอดคล้องกับค่าความชุกชุมสัมพัทธ์ และ Sara6 ยังคงมีบทบาทสำคัญในการผลิตเอนไซม์  $\beta$ -N-acetylglucosaminidase แม้ว่าจะมีจำนวนรากที่น้อยกว่า Sara13 มากก็ตาม สำหรับในแปลงศึกษาที่ 2 พบว่าราก Sara11 ซึ่งไม่ใช่รากที่มีความชุกชุมสัมพัทธ์สูงที่สุด แต่กลับมีค่าแอกทิวิตีสัมพัทธ์ของเอนไซม์ acid phosphatase และ  $\beta$ -N-acetylglucosaminidase มากที่สุดในทั้ง 2 ฤดูกาล





ภาพที่ 10 ค่าแอกทิวิตีเฉลี่ยของเอนไซม์ acid phosphatase (AP)  $\beta$ -glucosidase (BG) และ  $\beta$ -N-acetylglucosaminidase (NAG) ของรูกเ็กโทไมคอร์ไรซาที่พบในแต่ละแปลงศึกษาและค่าเฉลี่ยรวมทุกแปลง จากพื้นที่ป่าเต็งรังที่ถูกรบกวน จังหวัดสระบุรี ในเดือนกุมภาพันธ์ (ฤดูแล้ง) และสิงหาคม (ฤดูฝน) โดยตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบค่าระหว่างแปลง (one-way ANOVA,  $P < 0.05$ ) และ \* แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างฤดูกาล (independent T-Test,  $P < 0.05$ )



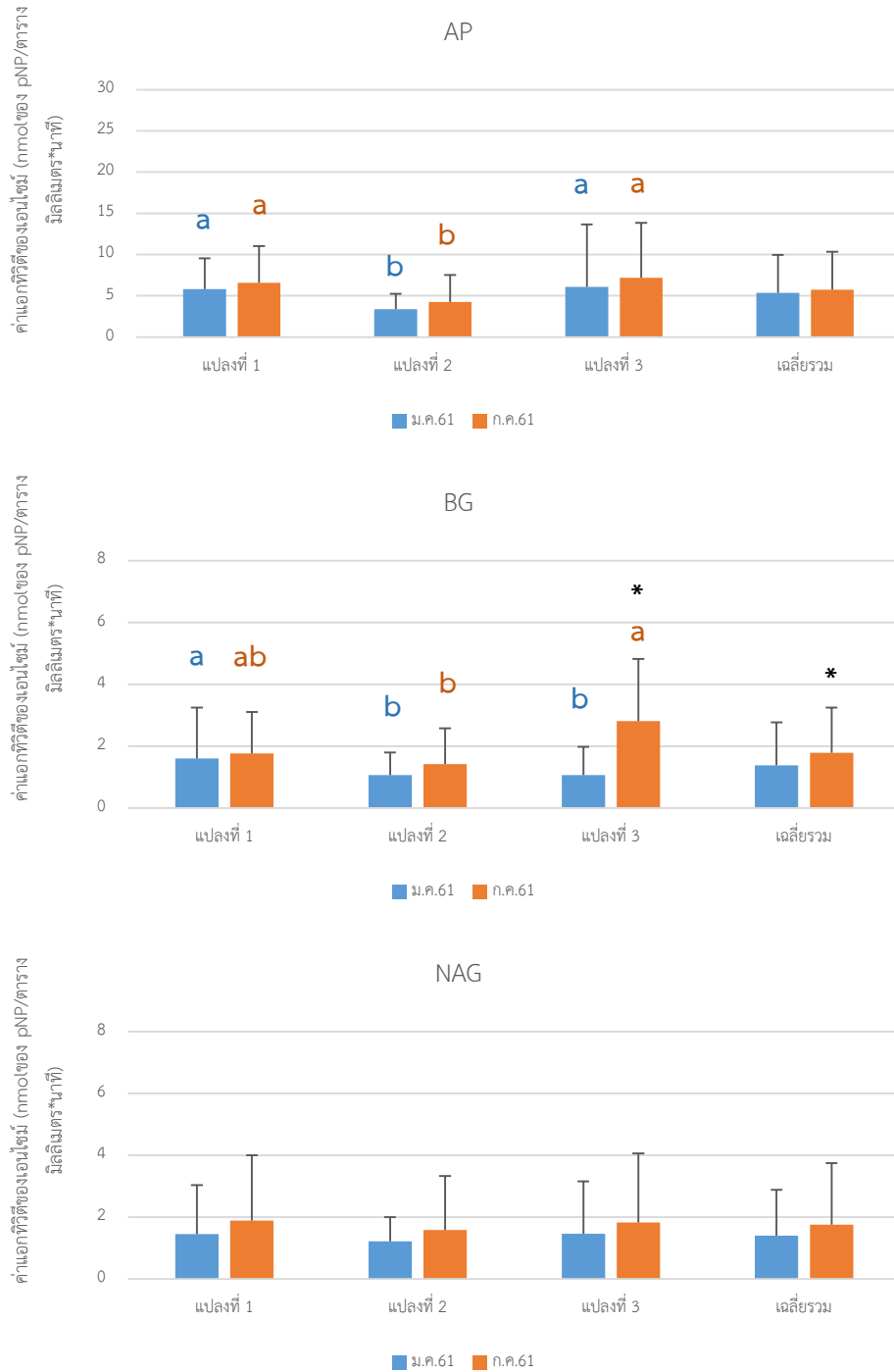
ภาพที่ 11 ค่าความชุกชุมสัมพันธ์และค่าแอกทิวิตีสัมพัทธ์ของเอนไซม์ acid phosphatase (AP)  $\beta$ -glucosidase (BG) และ  $\beta$ -N-acetylglucosaminidase (NAG) ของรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาที่พบในพื้นที่ป่าเต็งรังที่ถูกรบกวน จังหวัดสระบุรี เดือนกุมภาพันธ์และสิงหาคม 2561



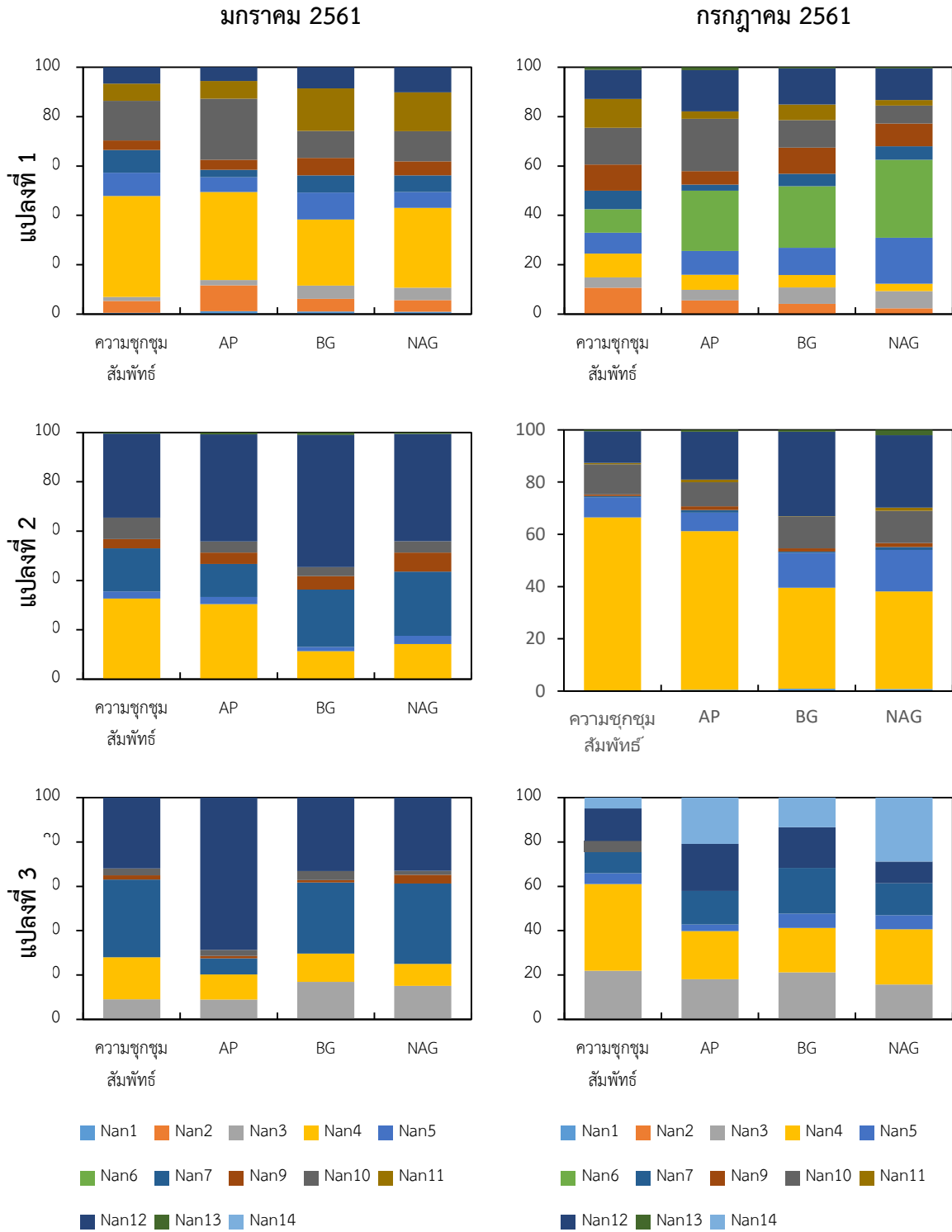
สำหรับค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ acid phosphatase (AP)  $\beta$ -glucosidase (BG) และ  $\beta$ -N-acetylglucosaminidase (NAG) จากตัวอย่างรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาทั้งหมด 13 ลักษณะซึ่งยกเว้น Nan8 ที่พบในพื้นที่ป่าเต็งรังรุ่นที่สอง จังหวัดน่าน ในเดือนมกราคม 2561 หรือฤดูแล้ง และกรกฎาคม 2561 หรือฤดูฝน (ภาคผนวก ตารางที่ ก7 – ก9) พบว่ามีค่าเป็น 1.35-21.82 0.27-5.59 และ 0.36-7.74 nmol ของ pNP/ตารางมิลลิเมตร\*นาที่ ตามลำดับ โดยแอกทิวิตีของเอนไซม์ acid phosphatase มีค่ามากที่สุด และลักษณะรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาแต่ละลักษณะมีค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์แต่ละชนิดแตกต่างกันไป เช่นเดียวกับที่พบในป่าเต็งรังที่ถูกรบกวน เช่น ในแปลงศึกษาที่ 1 ราก Nan6 มีค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ทั้ง 3 ชนิดสูงที่สุดในแปลงศึกษา หรือ ราก Nan9 จากแปลงศึกษาที่ 2 มีค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ acid phosphatase และ  $\beta$ -N-acetylglucosaminidase สูงที่สุด แต่กลับมีค่าแอกทิวิตีของ  $\beta$ -glucosidase ไม่สูงมาก ส่วนราก Nan4 มีค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์  $\beta$ -glucosidase และ  $\beta$ -N-acetylglucosaminidase ที่น้อยที่สุดในแปลงศึกษาที่ 2 และ 3

เมื่อเปรียบเทียบค่าแอกทิวิตีเฉลี่ยของเอนไซม์ที่พบในแต่ละแปลงในฤดูกาลเดียวกัน พบว่าค่าแอกทิวิตีเฉลี่ยของเอนไซม์ acid phosphatase และ  $\beta$ -glucosidase ระหว่างแปลงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้ง 2 ฤดูกาล ดังภาพที่ 12 ขณะที่ค่าแอกทิวิตีเฉลี่ยของเอนไซม์  $\beta$ -N-acetylglucosaminidase ในแต่ละแปลงไม่แตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบค่าแอกทิวิตีเฉลี่ยของเอนไซม์ระหว่างฤดูกาล พบว่าส่วนใหญ่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นค่าแอกทิวิตีเฉลี่ยของเอนไซม์  $\beta$ -glucosidase ในแปลงศึกษาที่ 3 ที่เพิ่มขึ้นในฤดูฝนและส่งผลให้ค่าเฉลี่ยรวมของทุกแปลงมีค่าสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน

เมื่อพิจารณาค่าแอกทิวิตีสัมพัทธ์ของเอนไซม์ทั้ง 3 ชนิดของรากแต่ละลักษณะ ร่วมกับค่าความชุกชุมสัมพัทธ์ของราก ดังภาพที่ 13 พบว่าแม้ราก Nan4 จะเป็นรากที่พบมากในบางช่วงเวลาและแปลงศึกษา โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเดือนกรกฎาคม 2561 ของแปลงที่ 2 และ 3 แต่เนื่องจากแอกทิวิตีของรากลักษณะนี้มีค่าน้อย ส่งผลทำให้ค่าแอกทิวิตีสัมพัทธ์มีค่าน้อยตามไปด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่เอนไซม์  $\beta$ -glucosidase และ  $\beta$ -N-acetylglucosaminidase ซึ่งจะเห็นได้ว่ารากลักษณะอื่น ๆ มีสัดส่วนของเอนไซม์สูงกว่า และมีรากบางลักษณะซึ่งมีค่าความชุกชุมสัมพัทธ์ไม่มากแต่มีค่าแอกทิวิตีสัมพัทธ์ของเอนไซม์สูง เช่น Nan6 ในแปลงศึกษาที่ 1 ซึ่งมีค่าแอกทิวิตีสัมพัทธ์ของเอนไซม์ทั้ง 3 ชนิดสูงที่สุด หรือ Nan12 ในแปลงศึกษาที่ 3 ที่มีค่าแอกทิวิตีสัมพัทธ์ของเอนไซม์ acid phosphatase มากกว่าร้อยละ 60 และจากการที่พบรากเอ็กโทไมคอร์ไรзалักษณะเดียวกันในทั้ง 3 แปลงศึกษา จึงสามารถเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์จากรากลักษณะ Nan4 Nan7 Nan10 และ Nan12 ในแต่ละแปลงได้ ดังตารางที่ 8-10 พบว่า ค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์  $\beta$ -N-acetylglucosaminidase ของรากทุกลักษณะที่นำมาเปรียบเทียบในแต่ละแปลงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และพบความแตกต่างระหว่างแปลงของค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์  $\beta$ -glucosidase เพียงแค่รากลักษณะ Nan4 ในฤดูแล้งเท่านั้น ในขณะที่พบความแตกต่างระหว่างแปลงของค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ acid phosphatase จากราก Nan7 และ Nan10 ทั้ง 2 ฤดูกาล รวมถึง Nan12 ในฤดูแล้ง



ภาพที่ 12 ค่าแอกทิวิตีเฉลี่ยของเอนไซม์ acid phosphatase (AP)  $\beta$ -glucosidase (BG) และ  $\beta$ -N-acetylglucosaminidase (NAG) ของรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาที่พบในแต่ละแปลงศึกษาและค่าเฉลี่ยรวมทุกแปลง จากพื้นที่ป่าเต็งรังป่าเต็งรังรุ่นที่สอง จังหวัดน่าน ในเดือนมกราคม (ฤดูแล้ง) และกรกฎาคม (ฤดูฝน) โดยตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบค่าระหว่างแปลง (one-way ANOVA,  $P < 0.05$ ) และ \* แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างฤดูกาล (independent T-Test,  $P < 0.05$ )



ภาพที่ 13 ค่าความชุกชุมสัมพันธ์และค่าแอกทีวิตีสัมพัทธ์ของเอนไซม์ acid phosphatase (AP)  $\beta$ -glucosidase (BG) และ  $\beta$ -N-acetylglucosaminidase (NAG) ของรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาที่พบในพื้นที่ป่าเต็งรังรุ่นที่สอง จังหวัดน่าน เดือนมกราคมและกรกฎาคม 2561

**ตารางที่ 8** ค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ acid phosphatase จากรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาลักษณะ Nan4 Nan7 Nan10 และ Nan12 ในแต่ละแปลงศึกษาจากพื้นที่ป่าเต็งรังรุ่นที่สอง จังหวัดน่าน

ลักษณะราก	เดือนที่เก็บ	ค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ (nmol ของ pNP/ตารางมิลลิเมตร*นาที)		
		แปลงศึกษาที่ 1	แปลงศึกษาที่ 2	แปลงศึกษาที่ 3
Nan 4	ม.ค. 61 (ฤดูแล้ง)	4.92±2.31	2.58±0.49	3.89±3.33
	ก.ค. 61 (ฤดูฝน)	4.05±1.96	3.24±1.10	2.84±1.30
Nan 7	ม.ค. 61 (ฤดูแล้ง)	1.85±0.48 <sup>ab</sup>	2.13±0.62 <sup>a</sup>	1.35±0.48 <sup>b</sup>
	ก.ค. 61 (ฤดูฝน)	2.11±1.16 <sup>b</sup>	5.94±2.68 <sup>ab</sup>	7.94±4.06 <sup>a</sup>
Nan 10	ม.ค. 61 (ฤดูแล้ง)	8.66±4.25 <sup>a</sup>	1.45±0.28 <sup>b</sup>	6.04±4.06 <sup>ab</sup>
	ก.ค. 61 (ฤดูฝน)	9.14±4.80 <sup>a</sup>	2.84±2.40 <sup>b</sup>	N/A
Nan 12	ม.ค. 61 (ฤดูแล้ง)	4.74±2.50 <sup>b</sup>	3.52±1.28 <sup>b</sup>	13.94±15.05 <sup>a</sup>
	ก.ค. 61 (ฤดูฝน)	9.16±3.88	5.38±1.59	7.40±7.55

หมายเหตุ ตัวอักษรยกที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างของค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์จากรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาแต่ละลักษณะอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแปลงศึกษาในช่วงเวลาเดียวกัน (one-way ANOVA,  $P < 0.05$ )

**ตารางที่ 9** ค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์  $\beta$ -glucosidase จากรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาลักษณะ Nan4 Nan7 Nan10 และ Nan12 ในแต่ละแปลงศึกษาจากพื้นที่ป่าเต็งรังรุ่นที่สอง จังหวัดน่าน

ลักษณะราก	เดือนที่เก็บ	ค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ (nmol ของ pNP/ตารางมิลลิเมตร*นาที)		
		แปลงศึกษาที่ 1	แปลงศึกษาที่ 2	แปลงศึกษาที่ 3
Nan 4	ม.ค. 61 (ฤดูแล้ง)	0.78±0.40 <sup>a</sup>	0.28±0.08 <sup>b</sup>	0.55±0.18 <sup>a</sup>
	ก.ค. 61 (ฤดูฝน)	0.92±0.70	0.48±0.34	1.05±0.25
Nan 7	ม.ค. 61 (ฤดูแล้ง)	0.90±0.36	1.02±0.43	0.75±0.31
	ก.ค. 61 (ฤดูฝน)	1.19±1.09	0.87±0.01	4.32±3.22
Nan 10	ม.ค. 61 (ฤดูแล้ง)	0.81±0.45	0.32±0.07	1.09±0.56
	ก.ค. 61 (ฤดูฝน)	1.31±1.09	1.05±0.69	N/A
Nan 12	ม.ค. 61 (ฤดูแล้ง)	1.52±0.91	1.21±0.67	0.85±0.43
	ก.ค. 61 (ฤดูฝน)	2.20±0.94	2.69±1.37	2.58±1.03

หมายเหตุ ตัวอักษรยกที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างของค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์จากรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาแต่ละลักษณะอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแปลงศึกษาในช่วงเวลาเดียวกัน (one-way ANOVA,  $P < 0.05$ )

ตารางที่ 10 ค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์  $\beta$ -N-acetylglucosaminidase จากรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาลักษณะ Nan4 Nan7 Nan10 และ Nan12 ในแต่ละแปลงศึกษาจากพื้นที่ป่าเต็งรังรุ่นที่สอง จังหวัดน่าน

ลักษณะราก	เดือนที่เก็บ	ค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ (nmol ของ pNP/ตารางมิลลิเมตร*นาที่)		
		แปลงศึกษาที่ 1	แปลงศึกษาที่ 2	แปลงศึกษาที่ 3
Nan 4	ม.ค. 61 (ฤดูแล้ง)	0.86±0.59	0.40±0.18	0.62±0.41
	ก.ค. 61 (ฤดูฝน)	0.58±0.36	0.53±0.21	0.84±0.35
Nan 7	ม.ค. 61 (ฤดูแล้ง)	0.80±0.26	1.36±0.85	1.22± 1.41
	ก.ค. 61 (ฤดูฝน)	1.32±1.10	1.62±0.63	1.94±0.99
Nan 10	ม.ค. 61 (ฤดูแล้ง)	0.82±0.48	0.49±0.04	0.70±0.12
	ก.ค. 61 (ฤดูฝน)	0.88±0.58	0.93±0.74	N/A
Nan 12	ม.ค. 61 (ฤดูแล้ง)	1.65±2.00	1.17±0.74	1.22±1.32
	ก.ค. 61 (ฤดูฝน)	1.98±1.74	2.00±1.03	0.88±0.18

## อภิปรายผลการวิจัย

ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสังคมราเอ็กโทไมคอร์ไรซาใต้ดินในพื้นที่ป่าเต็งรังที่ถูกรบกวนบริเวณโครงการพัฒนาที่ดินจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย-สระบุรี จังหวัดสระบุรี และป่าเต็งรังรุ่นที่สอง บริเวณสถานีวิจัยและถ่ายทอดเทคโนโลยีไหล่นาน จังหวัดน่าน ในเดือนกันยายน 2560 ถึงเดือนกรกฎาคม หรือสิงหาคม 2561 ซึ่งครอบคลุมทั้งฤดูฝนและฤดูแล้ง สอดคล้องการเปลี่ยนแปลงของรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาที่อยู่ใต้ดินระหว่าง 2 ฤดูกาลทั้งในด้านจำนวนและลักษณะของรากเอ็กโทไมคอร์ไรซา

รากเอ็กโทไมคอร์ไรซาที่พบในเดือนกันยายนซึ่งเป็นเดือนที่มีความชื้นในดินมากที่สุด เนื่องจากเป็นช่วงกลางฤดูฝนนั้นมีจำนวนมากที่สุดในทั้งสองพื้นที่ สะท้อนให้เห็นถึงการตอบสนองของรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาต่อความชื้นในดินที่มีค่ามากขึ้นในฤดูฝนและลดลงในฤดูแล้ง ดังเช่นงานวิจัยของ Chen และคณะ (2004) ซึ่งติดตามพลวัตของรากฝอยในรอบปีบริเวณป่าเขตร้อนของออสเตรเลีย พบว่าอัตราการผลิตรากฝอยมีค่าสูงที่สุดในช่วงฤดูฝนและลดลงในช่วงฤดูแล้ง นอกจากนี้ความแห้งแล้งของปีส่งผลให้จำนวนรากฝอยและรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับปีที่มีปริมาณหยาดน้ำฟ้าเฉลี่ยมากกว่า (Valdés et al., 2006) ไม่เพียงแต่ความแห้งแล้งเท่านั้นที่ส่งผลต่อจำนวนรากเอ็กโทไมคอร์ไรซา จากการศึกษาพบว่าจำนวนรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาที่พบในแปลงศึกษาทั้ง 6 แปลงศึกษาสอดคล้องกับจำนวนต้นไม้ที่พบในแปลง โดยแปลงศึกษาที่มีจำนวนต้นไม้มากกว่า เช่น ในแปลงศึกษาที่ 1 ของทั้งสองพื้นที่ จะพบรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาจำนวนมากกว่าแปลงที่มีจำนวนต้นไม้ น้อย เช่น แปลงศึกษาที่ 3 ของทั้งสองพื้นที่ แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแปลงศึกษาที่ 1 และ 2 ของป่าเต็งรังที่ถูกรบกวน จะพบว่าแปลงที่ 2 มีจำนวนรากเอ็กโทไมคอร์ไรซามากกว่า ทั้งที่จำนวนต้นไม้ไม่แตกต่างกันมาก เนื่องจากเมื่อต้นปี 2560 แปลงที่ 2 เป็นแปลงเดียวที่ไม่ถูกเผาด้วยไฟป่า ซึ่งไฟป่าแม้จะเป็นเพียงไฟผิวดินดังเช่นไฟป่า ในป่าเต็งรังนั้นสามารถทำลายดินในชั้นดินอินทรีย์และรากที่บริเวณผิวดินได้ (Jonsson et al., 1999; Neary et al., 1999) ดังนั้นนอกจากความชื้นในดินที่เป็นปัจจัยหลักและจำนวนต้นไม้ในพื้นที่แล้ว การเกิดไฟป่ายังส่งผลต่อจำนวนของรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาอีกด้วย

การเปลี่ยนแปลงของค่าความชุกชุมสัมพันธ์ของรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาลักษณะต่าง ๆ ระหว่าง 4 ช่วงเวลาสะท้อนให้เห็นการตอบสนองต่อสิ่งแวดล้อมในฤดูฝนและฤดูแล้งที่แตกต่างกันของรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาในแต่ละลักษณะ รากเอ็กโทไมคอร์ไรซาบางลักษณะ โดยเฉพาะอย่างยิ่งรากที่มีเส้นใยปกคลุมบาง เช่น Sara1 Sara3 Sara11 Nan1 และ Nan3 เป็นต้น มีค่าความชุกชุมสัมพันธ์ลดลงจากฤดูฝน หรืออาจจะไม่พบในฤดูแล้ง ตรงข้ามกับรากที่มีเส้นใยหนาหรือมีสีดำ เช่น Sara6 Sara8 Nan4 และ Nan7 พบว่ามีค่าความชุกชุมเพิ่มขึ้นหรือพบเฉพาะในฤดูแล้งเท่านั้น หนึ่งในราเอ็กโทไมคอร์ไรซาที่ทนแล้งและพบได้มากในฤดูแล้ง ได้แก่ *Cenococcum geophilum* ซึ่งมีลักษณะคล้ายคลึงกับราก Nan7 จากการศึกษาของ Fernandez และ Koide (2013) แสดงให้เห็นว่าการผลิตเมลานินเป็นหนึ่งในลักษณะสำคัญที่สามารถทำให้รา มีความสามารถในการทนแล้ง แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมในฤดูฝนและฤดูแล้ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งความชื้นในดินส่งผลโดยตรงต่อลักษณะของรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาซึ่งสามารถสะท้อนถึงการเปลี่ยนแปลงของชนิดและจำนวนของรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาในระบบนิเวศใต้ดิน หากแต่การศึกษาเฉพาะ

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาอาจไม่เพียงพอต่อการศึกษารูปแบบการเปลี่ยนแปลงสังเคราะห์แสงของรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาใต้ดินโดยละเอียด จึงควรมีการใช้วิธีทางอนุชีววิทยาเพื่อระบุชนิดของรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาและทราบถึงจำนวนชนิดที่แน่นอนต่อไป

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างป่าเต็งรังที่ถูกรบกวนในจังหวัดสระบุรี และป่าเต็งรังรุ่นที่สองในจังหวัดน่าน นอกจากจะพบว่าในป่าเต็งรังรุ่นที่สองมีจำนวนและชนิดของไม้วงศ์ไม้ยางซึ่งเป็นพืชอาศัยของรากเอ็กโทไมคอร์ไรซามากกว่าในพื้นที่ป่าเต็งรังที่ถูกรบกวนนั้น จากผลการวิจัยยังแสดงให้เห็นถึงจำนวนรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาที่พบ รวมทั้งลักษณะของรากที่พบต่อแปลงศึกษาในป่าเต็งรังรุ่นที่สองมีมากกว่าป่าเต็งรังที่ถูกรบกวน สอดคล้องกับการศึกษามวลชีวภาพของรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาในป่าสน *Pinus densiflora* รุ่นที่สองและป่าปลูก พบว่า ในป่าสนรุ่นที่สองหรือป่าสนที่ไม่ถูกรบกวนนั้นมีมวลชีวภาพของรากเอ็กโทไมคอร์ไรซามากกว่าป่าสนที่มีการจัดการ (Okada et al., 2011) สะท้อนถึงผลของการรบกวนป่าไม้ของมนุษย์ที่มีความหลากหลายทางชีวภาพทั้งในส่วนของบนดินและใต้ดินได้ชัดเจน อย่างไรก็ตามการพบรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาในพื้นที่ป่าที่ถูกรบกวน ถือว่าเป็นหนึ่งสิ่ง que แสดงให้เห็นว่าระบบนิเวศกำลังฟื้นฟู

จากคุณสมบัติของดินจากแปลงศึกษาในป่าเต็งรังที่ถูกรบกวนและป่าเต็งรังรุ่นที่สอง พบว่าดินจากป่าเต็งรังที่ถูกรบกวนมีปริมาณอินทรีย์วัตถุและไนโตรเจนมากกว่าดินจากป่าเต็งรังรุ่นที่สอง ในขณะที่ปริมาณของธาตุฟอสฟอรัสกลับมีน้อยกว่า ซึ่งปริมาณธาตุอาหารในดินที่แตกต่างกันของทั้งสองพื้นที่ส่งผลให้ค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ในพื้นที่ป่าเต็งรังที่ถูกรบกวนมีค่ามากกว่า โดยเฉพาะอย่างยิ่ง acid phosphatase และ  $\beta$ -N-acetylglucosaminidase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่แปรผันตามสภาพแวดล้อมและคุณสมบัติของดิน ในขณะที่  $\beta$ -glucosidase จะแปรผันตามปริมาณสารตั้งต้นของเอนไซม์ ซึ่งได้แก่ อินทรีย์วัตถุ (Boerner et al., 2005) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างฤดูกาล พบว่า ค่าแอกทิวิตีของ acid phosphatase และ  $\beta$ -N-acetylglucosaminidase ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สอดคล้องกับปริมาณธาตุฟอสฟอรัสและไนโตรเจนในดิน รวมถึงความชื้นของดินที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากในระหว่างช่วงที่เก็บตัวอย่าง แต่กลับพบว่า  $\beta$ -glucosidase มีค่าลดลงในฤดูฝน ในขณะที่ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินโดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ป่าเต็งรังที่ถูกรบกวนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งการลดลงของค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ในฤดูฝนสอดคล้องกับงานวิจัยในพื้นที่ป่าเขตร้อน (tropical dry forest) ในประเทศอินเดีย โดยสอดคล้องกับมวลชีวภาพของจุลินทรีย์ในดินซึ่งพบมากในฤดูแล้งและลดลงในฤดูฝน (Singh et al., 2017) ซึ่งตรงกันข้ามกับมวลชีวภาพของพืชที่การเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วในฤดูฝน (Raghubanshi, 1991) โดยในระบบนิเวศที่ดินขาดความอุดมสมบูรณ์ มวลชีวภาพของจุลินทรีย์ในดินจะทำหน้าที่เป็นแหล่งสะสมธาตุอาหาร (sink) ในฤดูแล้ง เช่น การมีมวลชีวภาพมากและมีอัตราการเวียนกลับต่ำ แต่ในฤดูฝน จุลินทรีย์ในดินจะทำหน้าที่เป็นแหล่งให้ธาตุอาหาร (source) โดยที่มวลชีวภาพของจุลินทรีย์จะลดลงและมีอัตราการเวียนกลับมากขึ้น เพื่อปลดปล่อยสารอาหารที่สะสมออกมาให้พืช ขณะที่พืชกำลังเริ่มเจริญเติบโตอีกครั้ง (Singh et al., 1989)

ไม่เพียงแต่ค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์จากดินเป็นส่วนหนึ่งที่สะท้อนถึงวัฏจักรของธาตุอาหารในดินที่เกิดขึ้นในระบบนิเวศป่าทั้ง 2 แห่ง แต่ค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์บริเวณรากหรือ rhizosphere นับได้ว่าเป็นส่วน

สำคัญในระบบนิเวศป่าไม้ต่างกัน จากการศึกษาของ Xiao และคณะ (2017) ในการเปรียบเทียบค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์หลายชนิดระหว่างในดินและบริเวณรากพืชในเขตกึ่งโซนร้อน (subtropical region) ประเทศจีน พบว่าค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์จากรากมีค่าสูงกว่าค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์จากดินที่อยู่ห่างออกไปจากรากอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงความสำคัญของเอนไซม์ที่เกิดขึ้นที่บริเวณรากพืชซึ่งถูกผลิตโดยทั้งพืชและจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่บริเวณรากพืช ดังนั้นการศึกษาค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์จากรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาจึงเป็นสิ่งจำเป็นในการศึกษาเอนไซม์ในดินของป่าประเภทนี้

จากการศึกษาค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ acid phosphatase  $\beta$ -glucosidase และ  $\beta$ -N-acetylglucosaminidase จากรากเอ็กโทไมคอร์ไรซา พบว่าในป่าเต็งรังทั้ง 2 พื้นที่ เอนไซม์ acid phosphatase มีค่าแอกทิวิตีสูงกว่าเอนไซม์อีกสองชนิดและสอดคล้องกับค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์จากดินสะท้อนให้เห็นว่าธาตุฟอสฟอรัสเป็นปัจจัยจำกัดของจุลินทรีย์ในดินของเขตร้อน ทำให้แอกทิวิตีของเอนไซม์ acid phosphatase มีค่ามากกว่าในเขตอบอุ่น ซึ่งแตกต่างจากเขตอบอุ่นที่มีค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์  $\beta$ -glucosidase และ  $\beta$ -N-acetylglucosaminidase มากกว่าเขตร้อน (Xu et al., 2017) เมื่อเปรียบเทียบค่าแอกทิวิตีเฉลี่ยของเอนไซม์ทั้งสามที่เกิดขึ้นระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน จะพบว่า ในป่าเต็งรังที่ถูกรบกวนมีเพียงค่าแอกทิวิตีเฉลี่ยของเอนไซม์ acid phosphatase ที่มีความแตกต่างกันระหว่างฤดูกาลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เช่นเดียวกับค่าแอกทิวิตีเฉลี่ยของเอนไซม์  $\beta$ -glucosidase ในป่าเต็งรังรุ่นที่สองในฤดูฝนมีค่ามากกว่าฤดูแล้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยดังกล่าวมาจากความแตกต่างของแปลงศึกษาเพียงแปลงศึกษาเดียวในแต่ละพื้นที่ ซึ่งอาจเกิดการการแปรผันของสิ่งแวดล้อม รวมถึงความบังเอิญในการสุ่มเก็บตัวอย่าง ทำให้ข้อมูลที่ได้อาจจะยังไม่เพียงพอต่อการสรุปว่าในฤดูกาลใดจะพบค่าแอกทิวิตีเฉลี่ยมากกว่ากัน จึงควรมีการศึกษาต่อไปอย่างน้อย 1-2 ปี ส่วนค่าแอกทิวิตีเฉลี่ยของเอนไซม์ส่วนใหญ่ในป่าเต็งรังทั้งสองพื้นที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งแตกต่างจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน รวมถึงราเอ็กโทไมคอร์ไรซาในป่าผลัดใบเขตอบอุ่น ซึ่งแสดงความแตกต่างระหว่างฤดูกาล โดยในฤดูร้อน ต้นไม้เกิดการสังเคราะห์ด้วยแสงเต็มที่ ทำให้มีการส่งคาร์บอนให้กับราเอ็กโทไมคอร์ไรซา และแบคทีเรียบริเวณรากพืช ทำให้จุลินทรีย์ทั้ง 2 กลุ่มมีการเจริญเติบโตดี ส่งผลให้เกิดกิจกรรมต่าง ๆ รวมทั้งการย่อยสลายและการดูดซึมแร่ธาตุในดินมาก และสามารถแย่งชิงธาตุอาหารจากรากลุ่มที่เป็นผู้ย่อยสลาย แต่ในฤดูหนาว ต้นไม้มีการทิ้งใบและมีหิมะคลุมพื้นดิน ทำให้กิจกรรมของราเอ็กโทไมคอร์ไรซารวมถึงแบคทีเรียบริเวณรากพืชลดลง เนื่องจากพืชอาศัยไม่เกิดการสังเคราะห์ด้วยแสงทำให้ไม่มีการส่งคาร์บอนและไม่เกิดการแข่งขันกับราที่เป็นผู้ย่อยสลาย ส่งผลให้รากลุ่มที่เป็นผู้ย่อยสลายจะมีบทบาทเด่นในฤดูนี้ (Baldrian, 2017) แม้ว่าในป่าเต็งรังจะมีการทิ้งใบในช่วงฤดูแล้งของพืชอาศัยในฤดูร้อน แต่เป็นเพียงระยะเวลาสั้น ๆ จึงอาจจะไม่มีผลกระทบต่อกิจกรรมของราเอ็กโทไมคอร์ไรซา และเมื่อพิจารณาค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์จากรากแต่ละลักษณะ จะเห็นว่าราเอ็กโทไมคอร์ไรซาแต่ละลักษณะจะมีค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์แตกต่างกัน รวมถึงค่าแอกทิวิตีของรากบางลักษณะมีการเปลี่ยนแปลงระหว่างฤดูกาล แต่ค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์เฉลี่ยกลับไม่แตกต่างกัน แสดงให้เห็นถึงการสลับบทบาทในการสร้างเอนไซม์ในสังคมราเอ็กโทไมคอร์ไรซาตามแต่ละลักษณะรากที่พบในแต่ละช่วงเวลา เช่น ใน



ฤดูกาลหนึ่ง รากเอ็กโทไมคอร์ไรซาลักษณะหนึ่งจะมีค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์สูง แต่ในฤดูกาลต่อมารากเอ็กโทไมคอร์ไรซาลักษณะอื่นจะมีค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ที่สูงแทนที่ สอดคล้องกับงานวิจัยในหลายพื้นที่ เช่น ป่าสน spruce เขตอบอุ่น (Walker et al., 2016) หรือป่าก่อในประเทศเม็กซิโก (de Aquino-Guerrero et al., 2018) อีกทั้งค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ของรากบางลักษณะยังมีความแปรผันตามแปลงย่อย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง acid phosphatase ดังเช่นที่พบในป่าเต็งรังรุ่นที่สอง จังหวัดน่าน สะท้อนให้เห็นถึงผลจากความแปรผันของปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นสิ่งที่ควรศึกษาเพิ่มเติมในปีถัดไป

## สรุปผลการวิจัย

การศึกษาในครั้งนี้เป็นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลของสังคมราเอ็กโทไมคอร์ไรซาใต้ดิน โดยวางแผนศึกษาในพื้นที่ป่าเต็งรังที่ถูกรบกวนในโครงการพัฒนาที่ดินจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย-สระบุรี จังหวัดสระบุรี และพื้นที่ป่าเต็งรังรุ่นที่สอง บริเวณสถานีวิจัยและถ่ายทอดเทคโนโลยีไหล่นาน จังหวัดน่าน ขนาด 10x10 ตร.ม. จำนวน 3 แปลง/พื้นที่ ซึ่งในแปลงศึกษาบริเวณพื้นที่ป่าเต็งรังที่ถูกรบกวน พบพืชอาศัยของราเอ็กโทไมคอร์ไรซาเพียงชนิดเดียว ได้แก่ รัง (*Shorea siamensis*) ในขณะที่แปลงศึกษาในป่าเต็งรังรุ่นที่สอง มีไม้นิวงศ์ไม้อย่างซึ่งเป็นพืชอาศัยของราเอ็กโทไมคอร์ไรซาเป็นไม้เด่น ได้แก่ พลง (*Dipterocarpus tuberculatus*) เต็ง (*Shorea obtusa*) รัง (*S. siamensis*) และเหียง (*D. obtusifolius*) และวางแผนย่อยใกล้กับพืชอาศัย จำนวน 5 แปลง/แปลงศึกษา เพื่อสุ่มเก็บตัวอย่างดินจำนวน 3 ตัวอย่าง/แปลงย่อย/ครั้ง โดยเก็บตัวอย่างทั้งสิ้น 4 ครั้ง ระหว่างเดือนกันยายน 2560 ถึง เดือนกรกฎาคม 2561 ในพื้นที่ป่าเต็งรังรุ่นที่สอง และเดือนสิงหาคม 2561 ในพื้นที่ป่าเต็งรังที่ถูกรบกวน โดยครอบคลุมทั้งฤดูฝนและฤดูแล้ง

เมื่อแยกรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาจากตัวอย่างดิน ในป่าเต็งรังที่ถูกรบกวน จังหวัดสระบุรี พบว่ามีจำนวนรากอยู่ระหว่าง 3-207 รากต่อแปลงศึกษาในแต่ละครั้ง โดยในเดือนกันยายน 2560 เป็นช่วงเวลาที่ยพบรากเอ็กโทไมคอร์ไรซามากที่สุด และเดือนสิงหาคม 2561 พบจำนวนรากน้อยที่สุด และสามารถจัดกลุ่มรากได้ทั้งสิ้น 15 ลักษณะ โดยลักษณะ Sara3 Sara7 และ Sara 14 เป็นลักษณะเด่นที่พบมากในแปลงที่ 1 Sara1 Sara11 และ Sara12 เป็นลักษณะเด่นในแปลงที่ 2 ส่วนในแปลงศึกษาที่ 3 Sara3 และ Sara6 เป็นลักษณะเด่น

ในแปลงศึกษาบริเวณป่าเต็งรังรุ่นที่สอง จังหวัดน่าน พบว่ามีรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาจากตัวอย่างดินที่เก็บ จำนวน 41-863 รากต่อแปลงศึกษาในแต่ละครั้ง โดยในเดือนกันยายน 2560 เป็นเดือนที่ยพบรากเอ็กโทไมคอร์ไรซามากที่สุด จากนั้นจำนวนรากที่พบจะลดลง และสามารถจัดกลุ่มรากได้ทั้งสิ้น 14 ลักษณะ โดยในแปลงที่ 1 และ 2 พบรากเอ็กโทไมคอร์ไรซา Nan4 มากที่สุด ส่วนในแปลงที่ 3 มีราก Nan 4 Nan7 Nan12 เป็นลักษณะเด่นในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน นอกจากนี้จะพบว่ามีเปลี่ยนแปลงโครงสร้างสังคมราเอ็กโทไมคอร์ไรซาใต้ดินในแต่ละช่วงการเก็บตัวอย่างทั้งในป่าเต็งรังที่ถูกรบกวนและป่าเต็งรังรุ่นที่สอง โดยการเปลี่ยนแปลงนี้เป็นผลจากการตอบสนองต่อสิ่งแวดล้อมของรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาในแต่ละลักษณะในฤดูฝนและฤดูแล้งที่แตกต่างกัน

จากการวิเคราะห์สมบัติของดิน พบว่า ดินในพื้นที่ป่าเต็งรังทั้ง 2 พื้นที่ เป็นดินร่วนปนทราย โดยในพื้นที่ป่าเต็งรังที่ถูกรบกวนมีปริมาณธาตุไนโตรเจนทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 0.076-0.143 ธาตุฟอสฟอรัสเป็น 2.7-6 มก./กก. และมีปริมาณอินทรีย์วัตถุเท่ากับร้อยละ 1.56-3.75 ส่วนดินในพื้นที่ป่าเต็งรังรุ่นที่สองมีปริมาณธาตุไนโตรเจนทั้งหมดเป็นร้อยละ 0.018-0.037 ธาตุฟอสฟอรัสเท่ากับ 2.3-35.1 มก./กก. และอินทรีย์วัตถุเป็นร้อยละ 0.36-0.93 สำหรับความชื้นในดินของทั้ง 2 พื้นที่ที่มีความชื้นสูงสุดในเดือนกันยายน หรือฤดูฝน ได้แก่ ร้อยละ 12.9-20.78 และลดลงเป็นร้อยละ 2.12-9.14 ในช่วงเวลาที่เหลือ โดยจะพบว่าในป่าเต็งรังที่ถูกรบกวน

มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดและอินทรีย์วัตถุ รวมถึงความชื้นในดินมากกว่าป่าเต็งรังรุ่นที่สอง ในขณะที่ป่าเต็งรังรุ่นที่สองมีปริมาณธาตุฟอสฟอรัสมากกว่า

การวัดค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ acid phosphatase  $\beta$ -glucosidase และ  $\beta$ -N-acetylglucosaminidase จากตัวอย่างดินในแปลงศึกษาบริเวณพื้นที่ป่าเต็งรังที่ถูกรบกวน จังหวัดสระบุรี พบว่าค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ acid phosphatase และ  $\beta$ -N-acetylglucosaminidase ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน ส่วนค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์  $\beta$ -glucosidase มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในฤดูฝน สำหรับค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ทั้ง 3 เอนไซม์จากตัวอย่างดินในพื้นที่ป่าเต็งรังรุ่นที่สอง จังหวัดน่าน พบว่าให้ผลการวิเคราะห์แอกทิวิตีของเอนไซม์เหมือนกับตัวอย่างดินในแปลงศึกษาบริเวณพื้นที่ป่าเต็งรังที่ถูกรบกวน จังหวัดสระบุรี นอกจากนี้ค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ในป่าเต็งรังที่ถูกรบกวนมีค่ามากกว่าเอนไซม์ในป่าเต็งรังรุ่นที่สองอีกด้วย

สำหรับการวัดค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ทั้ง 3 ชนิดจากรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาในพื้นที่ป่าเต็งรังที่ถูกรบกวน จังหวัดสระบุรี พบว่าค่าแอกทิวิตีของ acid phosphatase และ  $\beta$ -N-acetylglucosaminidase มีความแปรผันระหว่างแปลงศึกษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และค่าแอกทิวิตีของ acid phosphatase มีความแตกต่างกันระหว่างฤดูกาล ในขณะที่ค่าแอกทิวิตีของ  $\beta$ -glucosidase ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้งระหว่างแปลงศึกษาและฤดูกาล ส่วนค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์จากรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาในพื้นที่ป่าเต็งรังรุ่นที่สอง จังหวัดน่าน มีการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างจากป่าเต็งรังที่ถูกรบกวน คือ acid phosphatase และ  $\beta$ -glucosidase มีความแปรผันระหว่างแปลงศึกษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และ ค่าแอกทิวิตีของ  $\beta$ -glucosidase มีความแตกต่างกันระหว่างฤดูกาล นอกจากนี้จะเห็นได้ว่ารากเอ็กโทไมคอร์ไรซาจากทั้งสองพื้นที่มีค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์แตกต่างกันตามลักษณะที่พบ อีกทั้งบางลักษณะยังมีความแปรผันของค่าแอกทิวิตีระหว่างแปลงศึกษาอีกด้วย

จากงานวิจัยในครั้งนี้ แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างสัมคมราเอ็กโทไมคอร์ไรซารวมถึงเอนไซม์ที่สำคัญในวัฏจักรการหมุนเวียนธาตุคาร์บอน ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสของป่าทั้งสองพื้นที่ได้อย่างชัดเจน แต่อย่างไรก็ตามควรมีการระบุชนิดของราเอ็กโทไมคอร์ไรซาที่พบด้วยเทคนิคทางอนุชีววิทยาและการวัดค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์จากดินและรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาเพิ่มเติม เพื่อให้งานวิจัยมีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น

นอกจากนี้ผลการวิจัยนี้ยังสะท้อนให้เห็นถึงความสำคัญของการศึกษาค่าแอกทิวิตีจากรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาแต่ละลักษณะเพื่อทราบถึงบทบาทในพื้นที่ที่ศึกษา ในแต่ละช่วงเวลา เนื่องจากจะเห็นได้ว่ารากเอ็กโทไมคอร์ไรซาบางลักษณะ แม้จะเป็นลักษณะเด่นในพื้นที่ แต่อาจจะมีค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์น้อยกว่ารากที่มีจำนวนน้อยในพื้นที่ รวมถึงรากเอ็กโทไมคอร์ไรซารากเดียวกันมีความสามารถผลิตเอนไซม์แต่ละชนิดแตกต่างกันและสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการฟื้นฟูป่าเต็งรังในแต่ละพื้นที่ โดยคัดเลือกราเอ็กโทไมคอร์ไรซาที่มีค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ที่สูง ซึ่งอาจจะเลือกรามากกว่า 1 ลักษณะใส่ให้กับกล้าไม้เพื่อกระตุ้นการเจริญเติบโต ทำให้กล้าไม้อยู่รอดเมื่อย้ายปลูก รวมถึงทำให้ราเอ็กโทไมคอร์ไรซาที่ใส่ให้กับกล้าไม้ สามารถอยู่รอดในสังคมราเอ็กโทไมคอร์ไรซาใต้ดินและเป็นส่วนสำคัญในการผลิตเอนไซม์ต่าง ๆ ในพื้นที่ป่านั้น ๆ ต่อไป

## บรรณานุกรม

- Agerer, R. 2001. Exploration types of ectomycorrhizae: A proposal to classify ectomycorrhizal mycelial systems according to their patterns of differentiation and putative ecological importance. Mycorrhiza 11: 107-114.
- Baldrian, P. 2017. Microbial activity and the dynamics of ecosystem processes in forest soils. Current Opinion in Microbiology 37: 128-134.
- Boerner, R.E.J., Brinkman, J.A., and Smith, A. 2005. Seasonal variations in enzyme activity and organic carbon in soil of a burned and unburned hardwood forest. Soil Biology and Biochemistry 37: 1419-1426.
- Brearley F.Q. 2011. The importance of ectomycorrhizas for the growth of dipterocarps and the efficacy of ectomycorrhizal inoculation schemes. In M. Rai, and A. Varma (eds.), Diversity and biotechnology of ectomycorrhizae, pp.3-17. Germany: Springer-Verlag.
- Chen, X., Eamus, D., and Hutley, L.B. 2004. Seasonal patterns of fine-root productivity and turnover in a tropical savanna of northern Australia. Journal of Tropical Ecology 20: 221-224.
- Courty, P.E., Franc, A., and Garbaye, J. 2010. Temporal and functional pattern of secreted enzyme activities in an ectomycorrhizal community. Soil Biology and Biochemistry 42: 2022-2025.
- de Aquino-Guerrero, A. et al. 2018. Analysis of the Ectomycorrhizal Enzymatic Functional Diversity of *Fagus Mexicana*. Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences 88: 1377-1387.
- Fernandez, C.W., and Koide, R.T. 2013. The function of melanin in the ectomycorrhizal fungus *Cenococcum geophilum* under water stress. Fungal Ecology 6: 479-486.
- Izzo, A., Nguyen, D.T., Bruns, T.D. 2006. Spatial structure and richness of ectomycorrhizal fungi colonizing bioassay seedlings from resistant propagules in a Sierra Nevada forest: comparisons using two hosts that exhibit different seedling establishment patterns. Mycologia 98: 374-383.
- Jonsson, L., Dahlberg, A., Nilsson, M.C., Zackrisson, O., and Kårén, O. 1999. Ectomycorrhizal fungal communities in late-successional Swedish boreal forests, and their composition following wildfire. Molecular Ecology 8: 205-215.
- Koide, R.T., Shumway, D.L., Xu, B., and Sharda, J.N. 2007. On temporal partitioning of a community of ectomycorrhizal fungi. New Phytologist 174: 420-429.

- Landeweert, R., Hoffland, E., Finlay, R.D., Kuyper, T.W., and Breemen, N. 2001. Linking plants to rocks: ectomycorrhizal fungi mobilize nutrients from minerals. Trends in Ecology & Evolution 16: 248-254.
- Leake. J.R., Donnelly, D.P., and Boddy, L. 2002. Interactions between ecto-mycorrhizal and saprotrophic fungi. In M.G.A. van der Heijden, and I.R. Sanders (eds.), Mycorrhizal Ecology, pp. 345-372. Germany: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Neary, D.G., Klopatek, C.C., DeBano, L.F., and Ffolliott, P.F. 1999. Fire effects on belowground sustainability: a review and synthesis. Forest Ecology and Management 122: 51-71.
- Okada, K., Satomura, T., Kinoshita, A., Horikoshi, T., Yasue, K., Fukuda, M., and Yamada, A. 2011. Difference of pine ectomycorrhizal biomass in relation to forest conditions. Mycoscience 52: 59-64.
- Pritsch, K. et al. 2011. Optimized assay and storage conditions for enzyme activity profiling of ectomycorrhizae. Mycorrhiza 21: 589-600.
- Rincón, A., Santamaría, B.P., Ocaña, L., and Verdú, M. 2014. Structure and phylogenetic diversity of post-fire ectomycorrhizal communities of maritime pine. Mycorrhiza 24: 131-141.
- Raghubanshi, A.S. 1991. Dynamics of soil biomass C, N, and P in a dry tropical forest in India. Biology and Fertility of Soils 12: 55-59.
- Singh, J.S., Raghubanshi, A.S., Singh, R.S., and Srivastava, S.C. 1989. Microbial biomass acts as a source of plant nutrients in dry tropical forest and savanna. Nature 338: 499-500.
- Singh, A.K., Kushwaha, M., Rai, A., and Singh, N. 2017. Changes in soil microbial response across year following a wildfire in tropical dry forest. Forest Ecology and Management 391: 458-468.
- Taylor, F.A., and Alexander, I. 2005. The ectomycorrhizal symbiosis: life in the real world. Mycologist 19: 102-112.
- Valdés, M., Asbjornsen, H., Gómez-Cárdenas, M., Juárez, M., and Vogt, K.A. 2006. Drought effects on fine-root and ectomycorrhizal-root biomass in managed *Pinus oaxacana* Mirov stands in Oaxaca, Mexico. Mycorrhiza 16: 117-124.
- Verchot, L.V., and Borelli, T. 2005. Application of *para*-nitrophenol (*p*NP) enzyme assays in degraded tropical soils. Soil Biology and Biochemistry 37: 625-633.
- Walker, J.K.M., Ward, V., and Jones, M.D. 2016. Ectomycorrhizal fungal exoenzyme activity differs on spruce seedlings planted in forests versus clearcuts. Trees 30: 497-508.

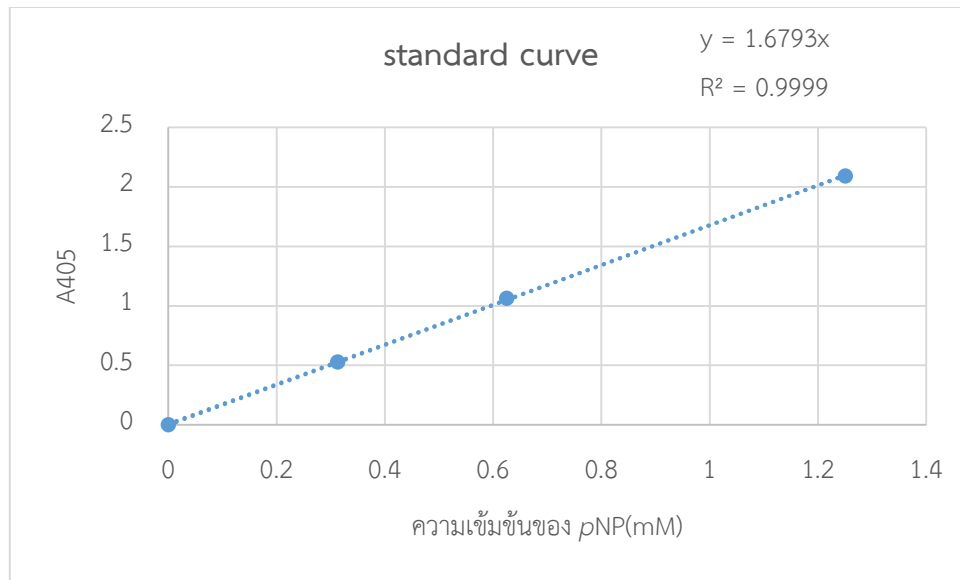
- Xiao, S. et al. 2017. Rhizosphere and bulk soil enzyme activities in a *Nothotsuga longibracteata* forest in the Tianbaoyan National Nature Reserve, Fujian Province, China. Journal of Forestry Research 28: 521-528.
- Xu, Z. et al. 2017. Soil enzyme activity and stoichiometry in forest ecosystems along the North-South Transect in eastern China (NSTEC). Soil Biology and Biochemistry 104: 152-163.

## ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตารางที่ ก1 ค่าความชื้นในดินของแต่ละแปลงศึกษาระหว่างเดือนกันยายน 2560 ถึงสิงหาคม 2561

แปลงศึกษา	ความชื้นในดิน (ร้อยละ, ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)			
	กันยายน 2560	กุมภาพันธ์ 2561	พฤษภาคม 2561	สิงหาคม 2561
ป่าเต็งรังที่ถูกรบกวน จังหวัดสระบุรี				
แปลงที่ 1	19.32±1.74	4.92±0.54	9.14±0.64	6.91±0.92
แปลงที่ 2	20.78±1.44	7.24±0.87	5.60±0.97	8.59±1.44
แปลงที่ 3	16.73±1.58	7.13±1.15	5.14±0.75	7.81±0.69
ป่าเต็งรังรุ่นที่สอง จังหวัดน่าน				
แปลงที่ 1	กันยายน 2560	มกราคม 2561	เมษายน 2561	กรกฎาคม 2561
แปลงที่ 1	12.90±0.93	2.76±0.13	2.12±0.19	2.86±0.44
แปลงที่ 2	14.33±0.73	4.79±0.57	3.74±0.30	5.69±1.06
แปลงที่ 3	17.30±0.90	4.36±0.26	4.36±0.20	4.96±0.21



ภาพที่ ก1 กราฟมาตรฐานของ pNP ที่การดูดกลืนแสง 405 นาโนเมตร



ตารางที่ ก2 ค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์จากดินในพื้นที่ป่าเต็งรังที่ถูกรบกวน จังหวัดสระบุรี

เอนไซม์	ช่วงเวลา เก็บตัวอย่าง	ค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ (nmol ของ pNP/กรัม*ชั่วโมง)			
		แปลงที่ 1	แปลงที่ 2	แปลงที่ 3	ค่าเฉลี่ยรวม
acid phosphatase	กุมภาพันธ์ 2561	479.74±121.29	382.69±49.78	451.88±58.81	438.10±87.65
	สิงหาคม 2561	391.84±102.86	339.42±42.65	469.27±89.41	400.17±94.21
β-glucosidase	กุมภาพันธ์ 2561	103.96±42.34	147.76±20.05	121.77±16.88	124.49±32.48
	สิงหาคม 2561	84.14±23.10	101.71±22.58*	84.19±13.66*	90.01±20.61*
β-N- acetylglucosaminidase	กุมภาพันธ์ 2561	74.28±7.97	97.28±29.54	84.12±21.50	85.23±22.24
	สิงหาคม 2561	59.73±20.95	77.59±8.51	118.11±54.19	85.14±40.30

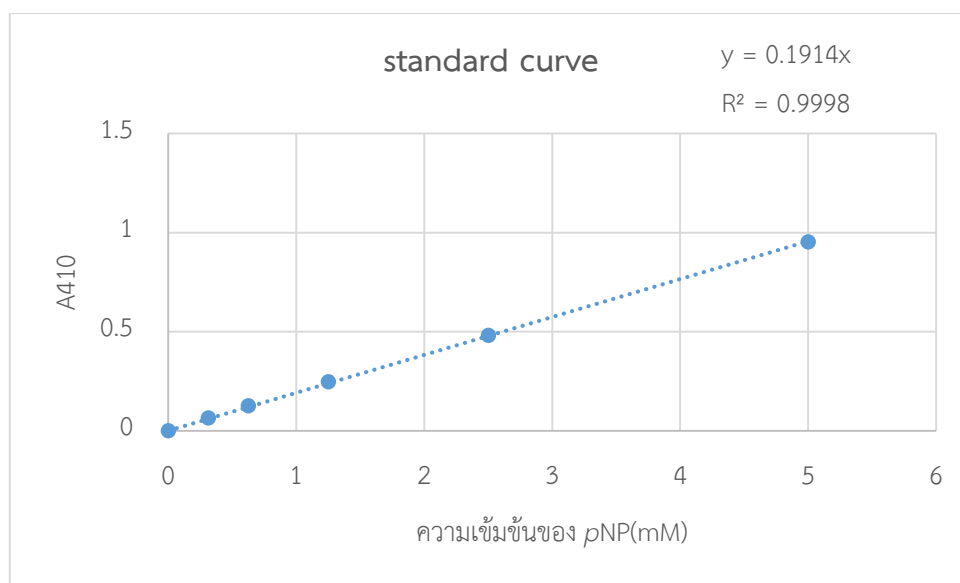
หมายเหตุ เครื่องหมาย\* แสดงความแตกต่างของค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์จากดินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างช่วงเวลาในแปลงศึกษาเดียวกัน (Paired Samples T-Test,  $P<0.05$ )

ตารางที่ ก3 ค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ทั้ง 3 ชนิดจากดินในพื้นที่ป่าเต็งรังรุ่นที่สอง จังหวัดน่าน

เอนไซม์	ช่วงเวลา เก็บตัวอย่าง	ค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ (nmol ของ pNP/กรัม*ชั่วโมง)			
		แปลงที่ 1	แปลงที่ 2	แปลงที่ 3	ค่าเฉลี่ยรวม
acid phosphatase	มกราคม 2561	230.80±39.64	229.70±52.15	226.93±57.10	229.14±46.48
	กรกฎาคม 2561	310.00±64.44* <sup>b</sup>	214.75±16.28 <sup>a</sup>	241.56±63.16 <sup>ab</sup>	255.44±64.23
β-glucosidase	มกราคม 2561	64.03±13.48	58.39±7.73	48.19±5.45	56.87±11.11
	กรกฎาคม 2561	51.52±7.64 <sup>b</sup>	58.08±4.83 <sup>b</sup>	37.41±13.22* <sup>a</sup>	49.00±12.37*
β-N- acetylglucosaminidase	มกราคม 2561	41.55±9.77	40.45±9.53	46.06±8.81	42.69±9.04
	กรกฎาคม 2561	60.38±16.27* <sup>b</sup>	39.56±4.93 <sup>a</sup>	45.24±10.4 <sup>ab</sup>	48.39±14.02

หมายเหตุ ตัวอักษรยกที่ต่างกััน แสดงความแตกต่างของค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์จากดินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแปลงศึกษาในเวลาเดียวกัน (one-way ANOVA,  $P<0.05$ )

เครื่องหมาย\* แสดงความแตกต่างของค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์จากดินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างช่วงเวลาในแปลงศึกษาเดียวกัน (Paired Samples T-Test,  $P<0.05$ )



ภาพที่ ก2 กราฟมาตรฐานของ pNP ที่การดูดกลืนแสง 405 นาโนเมตร

ตารางที่ ก4 ค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์รากเอ็กโทไมคอร์ไรซาจากแปลงศึกษาที่ 1 ในพื้นที่ป่าเต็งรังที่ถูกรบกวน จังหวัดสระบุรี

ลักษณะ ราก	ค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ (nmol ของ pNP/ตารางมิลลิเมตร*นาที)					
	acid phosphatase		$\beta$ -glucosidase		$\beta$ -N-acetylglucosaminidase	
	ก.พ. 61	ส.ค. 61	ก.พ. 61	ส.ค. 61	ก.พ. 61	ส.ค. 61
Sara3	3.21	7.25	1.72	0.72	1.75	0.45
Sara4	3.26	-	0.72	-	0.35	-
Sara5	-	4.10	-	2.31	-	3.18
Sara6	4.79	8.62	2.94	5.31	5.94	5.57
Sara7	2.17	9.11	2.93	3.65	0.71	1.37
Sara8	8.50	-	1.67	-	0.60	-
Sara9	10.98	-	3.78	-	1.35	-
Sara13	-	2.53	-	2.92	-	1.50
ทั้งหมด	3.90±2.44	5.49±2.94	2.09±1.26	2.68±1.59	1.87±2.34	1.94±1.70

ตารางที่ ก5 ค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์รากเอ็กโทไมคอร์ไรซาจากแปลงศึกษาที่ 2 ในพื้นที่ป่าเต็งรังที่ถูกรบกวน จังหวัดสระบุรี

ลักษณะ ราก	ค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ (nmol ของ pNP/ตารางมิลลิเมตร*นาที)					
	acid phosphatase		$\beta$ -glucosidase		$\beta$ -N-acetylglucosaminidase	
	ก.พ. 61	ส.ค. 61	ก.พ. 61	ส.ค. 61	ก.พ. 61	ส.ค. 61
Sara1	-	2.31	-	1.33	-	1.42
Sara6	3.39	-	2.75	-	5.39	-
Sara8	-	2.26	-	1.71	-	2.01
Sara11	22.22	11.27	1.77	1.51	6.37	3.48
Sara12	5.38	-	0.85	-	0.90	-
ทั้งหมด	16.71±8.69	5.29±4.90	1.72±1.04	1.45±0.72	5.23±2.74	2.20±1.28

ตารางที่ ก6 ค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์รากเอ็กโทไมคอร์ไรซาจากแปลงศึกษาที่ 3 ในพื้นที่ป่าเต็งรังที่ถูกรบกวน จังหวัดสระบุรี

ลักษณะ ราก	ค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ (nmol ของ pNP/ตารางมิลลิเมตร*นาที)					
	acid phosphatase		$\beta$ -glucosidase		$\beta$ -N-acetylglucosaminidase	
	ก.พ. 61	ส.ค. 61	ก.พ. 61	ส.ค. 61	ก.พ. 61	ส.ค. 61
Sara1	-	3.71	-	1.62	-	1.72
Sara6	7.44	-	4.12	-	3.16	-
Sara7	-	4.97	-	2.64	-	5.07
Sara8	1.78	2.26	1.04	1.71	0.73	2.01
ทั้งหมด	6.02±2.88	3.65±1.35	3.35±1.85	1.99±0.56	2.55±2.44	2.93±1.85

ตารางที่ ก7 ค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์รากลึกโทไมคอร์ไรซาจากแปลงศึกษาที่ 1 ในพื้นที่ป่าเต็งรังรุ่นที่สอง จังหวัดน่าน

ลักษณะ ราก	ค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ (nmol ของ pNP/ตารางมิลลิเมตร*นาที)					
	acid phosphatase		$\beta$ -glucosidase		$\beta$ -N-acetylglucosaminidase	
	ม.ค. 61	ก.ค. 61	ม.ค. 61	ก.ค. 61	ม.ค. 61	ก.ค. 61
Nan1	12.19	-	2.33	-	1.98	-
Nan2	12.25	3.34	1.27	0.68	1.06	0.39
Nan3	7.95	6.54	4.16	2.77	3.53	2.97
Nan4	4.92	4.05	0.78	0.92	0.86	0.58
Nan5	3.55	7.29	1.37	2.28	0.74	3.97
Nan6	-	16.40	-	4.58	-	5.98
Nan7	1.85	2.11	0.90	1.19	0.80	1.32
Nan9	6.04	3.28	2.20	1.76	1.62	1.57
Nan10	8.66	9.14	0.81	1.31	0.82	0.88
Nan11	5.83	1.68	2.98	0.95	2.48	0.36
Nan12	4.74	9.16	1.52	2.20	1.65	1.98
Nan13	5.70	6.88	1.89	0.61	0.99	0.67
ทั้งหมด	5.80±3.74	6.57±4.44	1.60±1.65	1.76±1.34	1.44±1.59	1.88±2.11

ตารางที่ ๘ ค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์รากลึกโทไมคอร์ไรซาจากแปลงศึกษาที่ 2 ในพื้นที่ป่าเต็งรังรุ่นที่สอง จังหวัดน่าน

ลักษณะ ราก	ค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ (nmol ของ pNP/ตารางมิลลิเมตร*นาที)					
	acid phosphatase		$\beta$ -glucosidase		$\beta$ -N-acetylglucosaminidase	
	ม.ค. 61	ก.ค. 61	ม.ค. 61	ก.ค. 61	ม.ค. 61	ก.ค. 61
Nan1	-	5.55	-	2.91	-	2.27
Nan2	4.70	-	0.94	-	1.28	-
Nan3	7.46	-	2.19	-	1.09	-
Nan4	2.58	3.24	0.27	0.58	0.40	0.49
Nan5	2.82	3.30	0.46	1.74	1.09	1.80
Nan7	2.13	5.94	1.02	0.87	1.36	1.62
Nan9	3.39	8.41	1.13	2.05	1.89	2.21
Nan10	1.45	2.84	0.32	1.05	0.49	0.93
Nan11	3.65	6.14	2.49	0.28	1.44	1.84
Nan12	3.52	5.38	1.21	2.69	1.17	2.00
Nan13	4.82	4.43	1.60	1.24	1.03	3.03
ทั้งหมด	3.37±1.87	4.27±3.27	1.07±0.73	1.42±1.16	1.21±0.78	1.58±1.74

ตารางที่ ก9 ค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์รากลึกโทไมคอร์ไรซาจากแปลงศึกษาที่ 3 ในพื้นที่ป่าเต็งรังรุ่นที่สอง จังหวัดน่าน

ลักษณะ ราก	ค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ (nmol ของ pNP/ตารางมิลลิเมตร*นาที)					
	acid phosphatase		$\beta$ -glucosidase		$\beta$ -N-acetylglucosaminidase	
	ม.ค. 61	ก.ค. 61	ม.ค. 61	ก.ค. 61	ม.ค. 61	ก.ค. 61
Nan1	1.64	-	1.27	-	0.90	-
Nan3	6.42	4.21	1.54	1.98	1.98	0.94
Nan4	3.89	2.84	0.55	1.05	0.62	0.84
Nan5	5.32	3.19	2.15	2.69	2.11	1.70
Nan7	1.35	7.94	0.75	4.32	1.22	1.94
Nan9	3.40	-	0.44	-	2.37	-
Nan10	6.04	-	1.09	-	0.70	-
Nan12	13.94	7.40	0.85	2.58	1.22	0.88
Nan14	-	21.82	-	5.59	-	7.74
ทั้งหมด	6.08±7.58	7.19±6.65	1.06±0.91	2.81±2.01	1.46±1.70	1.82±2.24

ภาคผนวก ข

ตารางที่ ข1 การเปรียบเทียบความชื้นในดินในช่วงเวลาต่าง ๆ ด้วยวิธี one-way ANOVA ของพื้นที่ป่าเต็งรังที่  
 ภูกระบกวน จังหวัดสระบุรี และป่าเต็งรังรุ่นที่สอง จังหวัดน่าน

Test of Homogeneity of Variances

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
mois_SARA	5.343	3	104	.002
mois_NAN	7.058	3	104	.000

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
mois_SARA	Between Groups	2943.276	3	981.092	310.975	.000
	Within Groups	328.109	104	3.155		
	Total	3271.384	107			
mois_NAN	Between Groups	2402.587	3	800.862	396.318	.000
	Within Groups	210.159	104	2.021		
	Total	2612.746	107			

ตารางที่ ข1 การเปรียบเทียบความชื้นในดินในช่วงเวลาต่าง ๆ ด้วยวิธี one-way ANOVA ของพื้นที่ป่าเต็งรังที่ถูกรบกวน จังหวัดสระบุรี และป่าเต็งรังรุ่นที่สอง จังหวัดน่าน (ต่อ)

## Multiple Comparisons

Dependent Variable	(I) month	(J) month	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval		
						Lower Bound	Upper Bound	
mois_ SARA	Dunnett T3	ก.ย. 60	ก.พ. 61	12.50887*	.51512	.000	11.0916	13.9261
			พ.ค. 61	12.31469*	.58263	.000	10.7232	13.9062
			ส.ค. 61	11.17046*	.50112	.000	9.7874	12.5535
		ก.พ. 61	ก.ย. 60	-12.50887*	.51512	.000	-13.9261	-11.0916
			พ.ค. 61	-.19419	.46505	.999	-1.4691	1.0807
			ส.ค. 61	-1.33842*	.35767	.003	-2.3151	-.3617
		พ.ค. 61	ก.ย. 60	-12.31469*	.58263	.000	-13.9062	-10.7232
			ก.พ. 61	.19419	.46505	.999	-1.0807	1.4691
			ส.ค. 61	-1.14423	.44950	.082	-2.3798	.0914
		ส.ค. 61	ก.ย. 60	-11.17046*	.50112	.000	-12.5535	-9.7874
			ก.พ. 61	1.33842*	.35767	.003	.3617	2.3151
			พ.ค. 61	1.14423	.44950	.082	-.0914	2.3798
mois_ NAN	Dunnett T3	ก.ย. 60	ม.ค. 61	10.78009*	.43827	.000	9.5674	11.9928
			เม.ย. 61	11.44267*	.43654	.000	10.2340	12.6513
			ก.ค. 61	10.34168*	.47480	.000	9.0391	11.6442
		ม.ค. 61	ก.ย. 60	-10.78009*	.43827	.000	-11.9928	-9.5674
			เม.ย. 61	.66258	.27190	.103	-.0796	1.4048
			ก.ค. 61	-.43841	.32985	.705	-1.3419	.4651
		เม.ย. 61	ก.ย. 60	-11.44267*	.43654	.000	-12.6513	-10.2340
			ม.ค. 61	-.66258	.27190	.103	-1.4048	.0796
			ก.ค. 61	-1.10099*	.32755	.009	-1.9985	-.2034
		ก.ค. 61	ก.ย. 60	-10.34168*	.47480	.000	-11.6442	-9.0391
			ม.ค. 61	.43841	.32985	.705	-.4651	1.3419
			เม.ย. 61	1.10099*	.32755	.009	.2034	1.9985

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.



ตารางที่ ข2 การเปรียบเทียบค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ทั้ง 3 เอนไซม์จากดินในพื้นที่ป่าเต็งรังที่ถูกรบกวน  
จังหวัดสระบุรี ระหว่างสองฤดูกาล ด้วยวิธี Paired Samples Test

Paired Samples Test								
Pair	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
NAG_wet – NAG_dry	-.08661	45.18520	11.66677	-25.10934	24.93612	-.007	14	.994
BG_wet – BG_dry	-34.47996	29.34269	7.57625	-50.72940	-18.23053	-4.551	14	.000
AP_wet – AP_dry	-37.92774	98.13296	25.33782	-92.27196	16.41648	-1.497	14	.157

ตารางที่ ข3 การเปรียบเทียบค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ทั้ง 3 เอนไซม์จากดินในป่าเต็งรังรุ่นที่สอง จังหวัดน่าน  
ระหว่างสองฤดูกาล ด้วยวิธี Paired Samples Test

Paired Samples Test								
Pair	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
NAG_wet – NAG_dry	5.70214	15.04551	3.88473	-2.62979	14.03406	1.468	14	.164
BG_wet – BG_dry	-7.86749	13.79943	3.56300	-15.50935	-.22562	-2.208	14	.044
AP_wet – AP_dry	26.29290	72.07736	18.61030	-13.62222	66.20801	1.413	14	.180

ตารางที่ ข4 การเปรียบเทียบค่าแอกทิวิตี้ของเอนไซม์ทั้ง 3 เอนไซม์จากดินระหว่างพื้นที่ป่าเต็งรังที่ถูกรบกวน  
จังหวัดสระบุรี และป่าเต็งรังรุ่นที่สอง จังหวัดน่าน ทั้งสองฤดูกาล ด้วยวิธี Independent Samples T-Test

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2- tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
NAG_wet	Equal variances assumed	4.467	.044	-3.336	28	.002	-36.75159	11.01772	-59.32036	-14.18282
	Equal variances not assumed			-3.336	17.339	.004	-36.75159	11.01772	-59.96240	-13.54079
NAG_dry	Equal variances assumed	5.627	.025	-6.863	28	.000	-42.54033	6.19837	-55.23712	-29.84355
	Equal variances not assumed			-6.863	18.504	.000	-42.54033	6.19837	-55.53724	-29.54343
BG_wet	Equal variances assumed	8.192	.008	-6.608	28	.000	-41.01179	6.20604	-53.72429	-28.29930
	Equal variances not assumed			-6.608	22.923	.000	-41.01179	6.20604	-53.85235	-28.17123
BG_dry	Equal variances assumed	6.074	.020	-7.629	28	.000	-67.62427	8.86444	-85.78225	-49.46630
	Equal variances not assumed			-7.629	17.235	.000	-67.62427	8.86444	-86.30724	-48.94131
AP_wet	Equal variances assumed	3.022	.093	-4.916	28	.000	-144.73813	29.43971	-205.04265	-84.43361
	Equal variances not assumed			-4.916	24.702	.000	-144.73813	29.43971	-205.40747	-84.06879
AP_dry	Equal variances assumed	1.911	.178	-8.157	28	.000	-208.95877	25.61692	-261.43265	-156.48489
	Equal variances not assumed			-8.157	21.297	.000	-208.95877	25.61692	-262.18693	-155.73061

ตารางที่ ข5 การเปรียบเทียบค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ทั้ง 3 เอนไซม์จากรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาที่พบในเดือน  
กุมภาพันธ์ 2561 ในพื้นที่ป่าเต็งรังที่ถูกรบกวน จังหวัดสระบุรี ระหว่างแปลงศึกษา ด้วยวิธี one-way ANOVA

#### Test of Homogeneity of Variances

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
NAG	.302	2	36	.741
BG	.869	2	36	.428
AP	21.140	2	36	.000

#### ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
NAG	Between Groups	100.322	2	50.161	7.860	.001
	Within Groups	229.733	36	6.381		
	Total	330.054	38			
BG	Between Groups	8.494	2	4.247	2.789	.075
	Within Groups	54.825	36	1.523		
	Total	63.319	38			
AP	Between Groups	1474.450	2	737.225	20.998	.000
	Within Groups	1263.907	36	35.109		
	Total	2738.357	38			

#### NAG

plot	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
Duncan <sup>a,b</sup>			
	1	19	1.8725
	3	4	2.5502
	2	16	5.2262
	Sig.		.590
			1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 8.216.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

ตารางที่ ข5 การเปรียบเทียบค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ทั้ง 3 เอนไซม์จากรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาที่พบในเดือน  
กุมภาพันธ์ 2561 ในพื้นที่ป่าเต็งรังที่ถูกรบกวน จังหวัดสระบุรี ระหว่างแปลงศึกษา ด้วยวิธี one-way ANOVA  
(ต่อ)

## BG

plot	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
Duncan <sup>a,b</sup>			
2	16	1.7234	
1	19	2.0943	
3	4		3.3507
Sig.		.546	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 8.216.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

## Multiple Comparisons

Dependent Variable	(I) plot	(J) plot	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval		
						Lower Bound	Upper Bound	
AP	Dunnnett T3	1	2	-12.80630*	2.24268	.000	-18.7123	-6.9003
			3	-2.12288	1.54356	.505	-7.9298	3.6840
		2	1	12.80630*	2.24268	.000	6.9003	18.7123
			3	10.68342*	2.60487	.003	3.7721	17.5947
		3	1	2.12288	1.54356	.505	-3.6840	7.9298
			2	-10.68342*	2.60487	.003	-17.5947	-3.7721

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

ตารางที่ ข6 การเปรียบเทียบค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ทั้ง 3 เอนไซม์จากรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาที่พบในเดือนสิงหาคม 2561 ในพื้นที่ป่าเต็งรังที่ถูกรบกวน จังหวัดสระบุรี ระหว่างแปลงศึกษา ด้วยวิธี one-way ANOVA

Test of Homogeneity of Variances

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
NAG	.428	2	14	.660
BG	3.339	2	14	.065
AP	4.117	2	14	.039

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
NAG	Between Groups	2.153	2	1.076	.429	.660
	Within Groups	35.163	14	2.512		
	Total	37.315	16			
BG	Between Groups	5.236	2	2.618	1.751	.210
	Within Groups	20.933	14	1.495		
	Total	26.169	16			
AP	Between Groups	7.737	2	3.869	.294	.749
	Within Groups	183.973	14	13.141		
	Total	191.710	16			

ตารางที่ ข7 การเปรียบเทียบค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ทั้ง 3 เอนไซม์จากรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาที่พบในแปลง  
ศึกษาที่ 1 พื้นที่ป่าเต็งรังที่ถูกรบกวน จังหวัดสระบุรี ระหว่างฤดูกาล ด้วยวิธี Independent Samples T-Test

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
NAG	Equal variances assumed	.729	.401	-.074	25	.942	-.06816	.91964	-1.96219	1.82588
	Equal variances not assumed			-.085	18.206	.933	-.06816	.80545	-1.75897	1.62265
BG	Equal variances assumed	.725	.402	-1.024	25	.315	-.58664	.57270	-1.76614	.59286
	Equal variances not assumed			-.928	10.870	.374	-.58664	.63217	-1.98008	.80680
AP	Equal variances assumed	1.844	.187	-1.454	25	.158	-1.58621	1.09108	-3.83333	.66092
	Equal variances not assumed			-1.345	11.292	.205	-1.58621	1.17949	-4.17410	1.00168

ตารางที่ ข8 การเปรียบเทียบค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ทั้ง 3 เอนไซม์จากรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาที่พบในแปลงศึกษาที่ 2 พื้นที่ป่าเต็งรังที่ถูกรบกวน จังหวัดสระบุรี ระหว่างฤดูกาล ด้วยวิธี Independent Samples T-Test

Independent Samples Test

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means							
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference		
								Lower	Upper	
NAG	3.228	.087	2.567	20	.018	3.02363	1.17783	.56672	5.48054	
			3.510	18.660	.002	3.02363	.86148	1.21831	4.82896	
BG	.608	.445	.585	20	.565	.27038	.46244	-.69424	1.23500	
			.692	13.194	.501	.27038	.39081	-.57265	1.11341	
AP	4.742	.042	3.015	20	.007	11.41927	3.78735	3.51898	19.31955	
			3.868	16.226	.001	11.41927	2.95208	5.16822	17.67031	

ตารางที่ ข9 การเปรียบเทียบค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ทั้ง 3 เอนไซม์จากรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาที่พบในแปลงศึกษาที่ 3 พื้นที่ป่าเต็งรังที่ถูกรบกวน จังหวัดสระบุรี ระหว่างฤดูกาล ด้วยวิธี Independent Samples T-Test

## Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
NAG	Equal variances assumed	.149	.715	-.226	5	.830	-.38367	1.70077	-4.75563	3.98828
	Equal variances not assumed			-.236	4.976	.823	-.38367	1.62456	-4.56589	3.79854
BG	Equal variances assumed	1.255	.313	1.204	5	.282	1.35988	1.12945	-1.54346	4.26322
	Equal variances not assumed			1.385	3.705	.244	1.35988	.98205	-1.45442	4.17419
AP	Equal variances assumed	1.545	.269	1.303	5	.249	2.37608	1.82312	-2.31041	7.06256
	Equal variances not assumed			1.452	4.449	.213	2.37608	1.63680	-1.99296	6.74511

ตารางที่ ข10 การเปรียบเทียบค่าแอกทวิตีของเอนไซม์ทั้ง 3 เอนไซม์จากรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาที่พบทั้งหมด ในพื้นที่ป่าเต็งรังที่ภูกระบกวน จังหวัดสระบุรี ระหว่างฤดูกาล ด้วยวิธี Independent Samples T-Test

## Independent Samples Test



	Levene's Test for Equality of Variances	t-test for Equality of Means								
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
NAG	Equal variances assumed	25.040	.000	1.464	54	.149	1.10952	.75804	-.41026	2.62930
	Equal variances not assumed			1.849	52.196	.070	1.10952	.59991	-.09419	2.31323
BG	Equal variances assumed	.096	.758	-.146	54	.884	-.05477	.37413	-.80486	.69532
	Equal variances not assumed			-.147	30.808	.884	-.05477	.37274	-.81517	.70563
AP	Equal variances assumed	18.414	.000	1.999	54	.051	4.28029	2.14082	-.01179	8.57236
	Equal variances not assumed			2.679	53.895	.010	4.28029	1.59767	1.07700	7.48357

ตารางที่ ข11 การเปรียบเทียบค่าแอกทวิตีของเอนไซม์ทั้ง 3 เอนไซม์จากรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาที่พบในเดือนมกราคม 2561 ในพื้นที่ป่าเต็งรังรุ่นที่สอง จังหวัดน่าน ระหว่างแปลงศึกษา ด้วยวิธี one-way ANOVA

Test of Homogeneity of Variances

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
NAG	3.173	2	222	.044
BG	4.959	2	219	.008
AP	12.078	2	221	.000

ตารางที่ ข11 การเปรียบเทียบค่าแอกทวิตีของเอนไซม์ทั้ง 3 เอนไซม์จากรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาที่พบในเดือนมกราคม 2561 ในพื้นที่ป่าเต็งรังรุ่นที่สอง จังหวัดน่าน ระหว่างแปลงศึกษา ด้วยวิธี one-way ANOVA (ต่อ)

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
--	----------------	----	-------------	---	------

NAG	Between Groups	2.063	2	1.032	.470	.626
	Within Groups	487.665	222	2.197		
	Total	489.728	224			
BG	Between Groups	15.253	2	7.626	4.064	.018
	Within Groups	410.918	219	1.876		
	Total	426.171	221			
AP	Between Groups	234.852	2	117.426	5.739	.004
	Within Groups	4521.923	221	20.461		
	Total	4756.775	223			

## Multiple Comparisons

Dependent Variable	(I) plot	(J) plot	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
G Dunnett T3	1	2	.53142*	.17946	.010	.0988	.9641
		3	.53278*	.19797	.024	.0545	1.0110
	2	1	-.53142*	.17946	.010	-.9641	-.0988
		3	.00135	.17215	1.000	-.4177	.4204
	3	1	-.53278*	.19797	.024	-1.0110	-.0545
		2	-.00135	.17215	1.000	-.4204	.4177
P Dunnett T3	1	2	2.43015*	.42403	.000	1.4072	3.4531
		3	-.27784	1.17653	.993	-3.1777	2.6220
	2	1	-2.43015*	.42403	.000	-3.4531	-1.4072
		3	-2.70799	1.16286	.070	-5.5787	.1627
	3	1	.27784	1.17653	.993	-2.6220	3.1777
		2	2.70799	1.16286	.070	-.1627	5.5787

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

ตารางที่ ข12 การเปรียบเทียบค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ทั้ง 3 เอนไซม์จากรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาที่พบในเดือนกรกฎาคม 2561 ในพื้นที่ป่าเต็งรังรุ่นที่สอง จังหวัดน่าน ระหว่างแปลงศึกษา ด้วยวิธี one-way ANOVA

## Test of Homogeneity of Variances

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
NAG	1.082	2	128	.342
BG	3.710	2	128	.027
AP	9.662	2	128	.000

## ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
NAG	Between Groups	2.528	2	1.264	.318	.728
	Within Groups	508.876	128	3.976		
	Total	511.404	130			
BG	Between Groups	28.025	2	14.013	7.192	.001
	Within Groups	249.389	128	1.948		
	Total	277.414	130			
AP	Between Groups	195.143	2	97.572	4.934	.009
	Within Groups	2531.323	128	19.776		
	Total	2726.467	130			

ตารางที่ ข12 การเปรียบเทียบค่าแอกทวิตีของเอนไซม์ทั้ง 3 เอนไซม์จากรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาที่พบในเดือนกรกฎาคม 2561 ในพื้นที่ป่าเต็งรังรุ่นที่สอง จังหวัดน่าน ระหว่างแปลงศึกษา ด้วยวิธี one-way ANOVA (ต่อ)

## Multiple Comparisons

Dependent Variable	(I) plot	(J) plot	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound

BG	Dunnett T3	1	2	.34317	.23731	.386	-.2320	.9183
			3	-1.04822	.48157	.111	-2.2765	.1801
		2	1	-.34317	.23731	.386	-.9183	.2320
			3	-1.39140*	.47658	.022	-2.6103	-.1725
		3	1	1.04822	.48157	.111	-.1801	2.2765
			2	1.39140*	.47658	.022	.1725	2.6103
AP	Dunnett T3	1	2	2.30067*	.73496	.007	.5186	4.0828
			3	-.61992	1.59622	.972	-4.6914	3.4516
		2	1	-2.30067*	.73496	.007	-4.0828	-.5186
			3	-2.92060	1.55508	.199	-6.9154	1.0742
		3	1	.61992	1.59622	.972	-3.4516	4.6914
			2	2.92060	1.55508	.199	-1.0742	6.9154

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

ตารางที่ ข13 การเปรียบเทียบค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ทั้ง 3 เอนไซม์จากรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาที่พบในแปลง  
ศึกษาที่ 1 พื้นที่ป่าเต็งรังรุ่นที่สอง จังหวัดน่าน ระหว่างฤดูกาล ด้วยวิธี Independent Samples T-Test

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
NAG	Equal variances assumed	5.652	.018	-1.582	190	.115	-.43681	.27606	-.98133	.10772
	Equal variances not assumed			-1.421	88.375	.159	-.43681	.30742	-1.04771	.17410
BG	Equal variances assumed	.031	.861	-.668	187	.505	-.16354	.24478	-.64643	.31935
	Equal variances not assumed			-.721	135.854	.472	-.16354	.22678	-.61201	.28493
AP	Equal variances assumed	1.114	.293	-1.236	189	.218	-.76810	.62153	-1.99413	.45793
	Equal variances not assumed			-1.157	96.217	.250	-.76810	.66391	-2.08592	.54971

ตารางที่ ข14 การเปรียบเทียบค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ทั้ง 3 เอนไซม์จากรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาที่พบในแปลง  
ศึกษาที่ 2 พื้นที่ป่าเต็งรังรุ่นที่สอง จังหวัดน่าน ระหว่างฤดูกาล ด้วยวิธี Independent Samples T-Test

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
NAG	Equal variances assumed	5.088	.026	-1.344	97	.182	-.37178	.27660	-.92075	.17720
	Equal variances not assumed			-1.391	72.093	.169	-.37178	.26734	-.90469	.16114
BG	Equal variances assumed	5.503	.021	-1.787	97	.077	-.35179	.19688	-.74254	.03896
	Equal variances not assumed			-1.827	87.037	.071	-.35179	.19259	-.73458	.03101
AP	Equal variances assumed	5.208	.025	-1.655	97	.101	-.89758	.54228	-1.97385	.17870
	Equal variances not assumed			-1.699	82.483	.093	-.89758	.52838	-1.94860	.15344

ตารางที่ ข15 การเปรียบเทียบค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ทั้ง 3 เอนไซม์จากรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาที่พบในแปลง  
ศึกษาที่ 3 พื้นที่ป่าเต็งรังรุ่นที่สอง จังหวัดน่าน ระหว่างฤดูกาล ด้วยวิธี Independent Samples T-Test

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
NAG	Equal variances assumed	.286	.595	-.716	63	.476	-.36103	.50399	-1.36817	.64611
	Equal variances not assumed			-.644	29.106	.525	-.36103	.56059	-1.50739	.78533
BG	Equal variances assumed	13.990	.000	-4.852	63	.000	-1.74454	.35956	-2.46307	-1.02601
	Equal variances not assumed			-3.722	22.532	.001	-1.74454	.46870	-2.71523	-.77385
AP	Equal variances assumed	.351	.556	-.565	63	.574	-1.11018	1.96613	-5.03918	2.81882
	Equal variances not assumed			-.594	41.335	.556	-1.11018	1.86852	-4.88280	2.66244

ตารางที่ ข16 การเปรียบเทียบค่าแอกทวิตีของเอนไซม์ทั้ง 3 เอนไซม์จากรากเอ็กโทไมคอร์ไรซาที่พบในพื้นที่ป่าเต็งรังรุ่นที่สอง จังหวัดน่าน ระหว่างฤดูกาล ด้วยวิธี Independent Samples T-Test

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
C	Equal variances assumed	6.501	.011	-1.922	354	.055	-.35522	.18482	-.71870	.00826
	Equal variances not assumed			-1.782	214.695	.076	-.35522	.19937	-.74818	.03774
G	Equal variances assumed	4.549	.034	-2.615	351	.009	-.40786	.15598	-.71464	-.10108
	Equal variances not assumed			-2.581	261.816	.010	-.40786	.15804	-.71904	-.09667
P	Equal variances assumed	.410	.522	-.797	353	.426	-.40358	.50642	-1.39957	.59240
	Equal variances not assumed			-.799	274.108	.425	-.40358	.50530	-1.39834	.59117



ตารางที่ ข17 การเปรียบเทียบค่าแอกทวิตีของเอนไซม์ทั้ง 3 เอนไซม์ จากรากเอ็กโทไมคอร์ไรซา Nan4 ที่พบในเดือนมกราคม 2561 พื้นที่ป่าเต็งรังรุ่นที่สอง จังหวัดน่าน ระหว่างแปลงศึกษา ด้วยวิธี ด้วยวิธี one-way ANOVA

Test of Homogeneity of Variances

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
NAG	1.928	2	35	.161
BG	5.536	2	35	.008
AP	2.247	2	34	.121

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
NAG	Between Groups	1.161	2	.581	2.078	.140
	Within Groups	9.781	35	.279		
	Total	10.942	37			
BG	Between Groups	1.373	2	.687	5.781	.007
	Within Groups	4.157	35	.119		
	Total	5.531	37			
AP	Between Groups	28.374	2	14.187	2.612	.088
	Within Groups	184.637	34	5.430		
	Total	213.010	36			

Multiple Comparisons

Dependent Variable	(I) plot	(J) plot	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval		
						Lower Bound	Upper Bound	
BG	Dunnett T3	1	2	.51387*	.08551	.000	.2982	.7295
			3	.22685	.10687	.132	-.0527	.5064
	2	1	-.51387*	.08551	.000	-.7295	-.2982	
		3	-.28702*	.08090	.025	-.5327	-.0414	
	3	1	-.22685	.10687	.132	-.5064	.0527	
		2	.28702*	.08090	.025	.0414	.5327	

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

ตารางที่ ข18 การเปรียบเทียบค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ทั้ง 3 เอนไซม์ จากรากเอ็กโทไมคอร์ไรซา Nan4 ที่พบในเดือนกรกฎาคม 2561 พื้นที่ป่าเต็งรังรุ่นที่สอง จังหวัดน่าน ระหว่างแปลงศึกษา ด้วยวิธี one-way ANOVA

Test of Homogeneity of Variances

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
NAG	.929	2	20	.411
BG	2.588	2	20	.100
AP	4.143	2	20	.031

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
NAG	Between Groups	.280	2	.140	1.613	.224
	Within Groups	1.733	20	.087		
	Total	2.012	22			
BG	Between Groups	1.393	2	.696	2.905	.078
	Within Groups	4.793	20	.240		
	Total	6.185	22			
AP	Between Groups	4.878	2	2.439	1.107	.350
	Within Groups	44.059	20	2.203		
	Total	48.938	22			

ตารางที่ ข19 การเปรียบเทียบค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ทั้ง 3 เอนไซม์ จากรากเอ็กโทไมคอร์ไรซา Nan7 ที่พบในเดือนมกราคม 2561 พื้นที่ป่าเต็งรังรุ่นที่สอง จังหวัดน่าน ระหว่างแปลงศึกษา ด้วยวิธี one-way ANOVA

Test of Homogeneity of Variances

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
NAG	3.710	2	21	.042
BG	.365	2	21	.698
AP	.086	2	21	.918

ตารางที่ ข19 การเปรียบเทียบค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ทั้ง 3 เอนไซม์ จากรากเอ็กโทไมคอร์ไรซา Nan7 ที่พบในเดือนมกราคม 2561 พื้นที่ป่าเต็งรังรุ่นที่สอง จังหวัดน่าน ระหว่างแปลงศึกษา ด้วยวิธี one-way ANOVA (ต่อ)

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
NAG	Between Groups	1.355	2	.678	.733	.492
	Within Groups	19.418	21	.925		
	Total	20.774	23			
BG	Between Groups	.248	2	.124	.958	.400
	Within Groups	2.715	21	.129		
	Total	2.963	23			
AP	Between Groups	2.244	2	1.122	4.300	.027
	Within Groups	5.479	21	.261		
	Total	7.722	23			

AP

plot	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
Duncan <sup>a,b</sup>			
3	9	1.3504	
1	10	1.8497	1.8497
2	5		2.1313
Sig.		.076	.304

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 7.297.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

ตารางที่ ข20 การเปรียบเทียบค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ทั้ง 3 เอนไซม์ จากรากเอ็กโทไมคอร์ไรซา Nan7 ที่พบในเดือนกรกฎาคม 2561 พื้นที่ป่าเต็งรังรุ่นที่สอง จังหวัดน่าน ระหว่างแปลงศึกษา ด้วยวิธี one-way ANOVA

#### Test of Homogeneity of Variances

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
NAG	.336	2	9	.723
BG	6.094	2	9	.021
AP	24.730	2	9	.000

#### ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
NAG	Between Groups	.929	2	.465	.442	.656
	Within Groups	9.464	9	1.052		
	Total	10.393	11			
BG	Between Groups	27.646	2	13.823	3.351	.082
	Within Groups	37.126	9	4.125		
	Total	64.773	11			
AP	Between Groups	85.273	2	42.637	6.063	.022
	Within Groups	63.294	9	7.033		
	Total	148.567	11			

#### Multiple Comparisons

Dependent Variable	(I) plot	(J) plot	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval		
						Lower Bound	Upper Bound	
AP	Dunnett T3	1	2	-3.82837	1.95113	.461	-34.8332	27.1764
			3	-5.82877	2.08369	.140	-14.4575	2.7999
	2	1	3.82837	1.95113	.461	-27.1764	34.8332	
		3	-2.00040	2.77512	.850	-13.7616	9.7608	
	3	1	5.82877	2.08369	.140	-2.7999	14.4575	
		2	2.00040	2.77512	.850	-9.7608	13.7616	

ตารางที่ ข21 การเปรียบเทียบค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ทั้ง 3 เอนไซม์ จากรากเอ็กโทไมคอร์ไรซา Nan10 ที่พบในเดือนมกราคม 2561 พื้นที่ป่าเต็งรังรุ่นที่สอง จังหวัดน่าน ระหว่างแปลงศึกษา ด้วยวิธี one-way ANOVA

Test of Homogeneity of Variances

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
NAG	3.688	2	23	.041
BG	1.918	2	23	.170
AP	2.512	2	23	.103

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
NAG	Between Groups	.306	2	.153	.798	.462
	Within Groups	4.406	23	.192		
	Total	4.711	25			
BG	Between Groups	.940	2	.470	2.384	.115
	Within Groups	4.536	23	.197		
	Total	5.476	25			
AP	Between Groups	143.260	2	71.630	4.385	.024
	Within Groups	375.745	23	16.337		
	Total	519.004	25			

AP

plot	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
Duncan <sup>a,b</sup>	2	3	
	3	3	6.0395
	1	20	8.6606
Sig.			.114
			.358

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.186.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

ตารางที่ ข22 การเปรียบเทียบค่าแอกทวิตีของเอนไซม์ทั้ง 3 เอนไซม์ จากรากเอ็กโทไมคอร์ไรซา Nan10 ที่พบในเดือนกรกฎาคม 2561 พื้นที่ป่าเต็งรังรุ่นที่สอง จังหวัดน่าน ระหว่างแปลงศึกษา ด้วยวิธี Independent Samples T-Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
NAG	Equal variances assumed	.589	.452	-.182	20	.858	-.05353	.29466	-.66819	.56113
	Equal variances not assumed			-.190	19.624	.851	-.05353	.28131	-.64106	.53400
BG	Equal variances assumed	1.825	.192	.696	20	.494	.26356	.37859	-.52616	1.05328
	Equal variances not assumed			.641	12.438	.533	.26356	.41086	-.62814	1.15526
AP	Equal variances assumed	3.524	.075	4.077	20	.001	6.29794	1.54461	3.07594	9.51994
	Equal variances not assumed			3.632	10.795	.004	6.29794	1.73397	2.47264	10.12324

ตารางที่ ข23 การเปรียบเทียบค่าแอกทวิตีของเอนไซม์ทั้ง 3 เอนไซม์ จากรากเอ็กโทไมคอร์ไรซา Nan12 ที่พบในเดือนมกราคม 2561 พื้นที่ป่าเต็งรังรุ่นที่สอง จังหวัดน่าน ระหว่างแปลงศึกษา ด้วยวิธี one-way ANOVA

Test of Homogeneity of Variances				
	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
NAG	.666	2	39	.519
BG	.718	2	39	.494
AP	9.307	2	39	.000

ตารางที่ ข23 การเปรียบเทียบค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ทั้ง 3 เอนไซม์ จากรากเอ็กโทไมคอร์ไรซา Nan12 ที่พบในเดือนมกราคม 2561 พื้นที่ป่าเต็งรังรุ่นที่สอง จังหวัดน่าน ระหว่างแปลงศึกษา ด้วยวิธี one-way ANOVA (ต่อ)

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
NAG	Between Groups	2.045	2	1.023	.339	.715
	Within Groups	117.793	39	3.020		
	Total	119.838	41			
BG	Between Groups	2.690	2	1.345	2.018	.147
	Within Groups	25.999	39	.667		
	Total	28.689	41			
AP	Between Groups	533.874	2	266.937	6.791	.003
	Within Groups	1532.914	39	39.305		
	Total	2066.788	41			

Multiple Comparisons

Dependent Variable	(I) plot	(J) plot	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
AP Dunnett T3	1	2	1.21972	.66230	.211	-.4766	2.9160
		3	-9.20526	5.70754	.367	-27.3472	8.9367
	2	1	-1.21972	.66230	.211	-2.9160	.4766
		3	-10.42498	5.70531	.282	-28.5686	7.7187
	3	1	9.20526	5.70754	.367	-8.9367	27.3472
		2	10.42498	5.70531	.282	-7.7187	28.5686

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

ตารางที่ ข24 การเปรียบเทียบค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ทั้ง 3 เอนไซม์ จากรากเอ็กโทไมคอร์ไรซา Nan12 ที่พบในเดือนกรกฎาคม 2561 พื้นที่ป่าเต็งรังรุ่นที่สอง จังหวัดน่าน ระหว่างแปลงศึกษา ด้วยวิธี one-way ANOVA

Test of Homogeneity of Variances

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
NAG	3.382	2	21	.053
BG	.300	2	21	.744
AP	19.272	2	21	.000

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
NAG	Between Groups	4.893	2	2.447	1.427	.262
	Within Groups	36.007	21	1.715		
	Total	40.900	23			
BG	Between Groups	1.209	2	.604	.466	.634
	Within Groups	27.232	21	1.297		
	Total	28.441	23			
AP	Between Groups	67.526	2	33.763	1.846	.183
	Within Groups	384.161	21	18.293		
	Total	451.688	23			



## ประวัติผู้วิจัยและคณะ

### หัวหน้าโครงการ

- ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นางจิตรตรา เพ็ญเขียว  
ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mrs. Jitra Piapukiew
- เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3-8699-00134-59-9
- ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์
- หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก  
ที่ติดต่อ: ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถ.พญาไท ปทุมวัน กทม. 10330  
โทรศัพท์ 02-218-5492 โทรสาร 02-252-8979 E-mail: jittra.k@chula.ac.th
- ประวัติการศึกษา  
1992 วท.บ. (เกษตรศาสตร์) เกียรตินิยมอันดับ1 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
1996 M.S. (เทคโนโลยีชีวภาพ) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
2003 Ph.D. (Forest Science), University of Tokyo, Japan.
- สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ  
ไม่มี
- ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ  
7.1 หัวหน้าโครงการวิจัย
  - การแยก microsatellite Marker สำหรับบราเอ็กโตโทไมคอร์ไรซาเห็ดเผาะ *Astraeus hygrometricus* แหล่งทุน กองทุนพัฒนาศักยภาพ อาจารย์ใหม่ สกว (2548-2550)
  - การย่อยสลายทางชีวภาพของเอ็นโดซัลแฟนโดยรา แหล่งทุน รัชดาภิเษกสมโภช จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
  - การย่อยสลายทางชีวภาพของแอมราซินโดยรา แหล่งทุน ทุน90 ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2553
  - การคัดเลือกจุลินทรีย์เพื่อผลิตหัวเชื้อปุ๋ยหมักจากทลายปาล์มน้ำมัน แหล่งทุน ทุน 90 ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2553
  - การใช้ราเอคโตไมคอร์ไรซาสำหรับการประยุกต์ใช้ในการปลูกป่าไม้วงศ์ยางนาในจังหวัดน่าน แหล่งทุน ทุนภายใต้โครงการวิทยาเพื่อพื้นที่น ถัง จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2548-2552
  - ผลของหัวเชื้อเส้นใยราเอคโตไมคอร์ไรซาเห็ดเผาะที่มีต่อการติดเชื้อไมคอร์ไรซาและการเจริญของ กล้าไม้วงศ์ยางนา แหล่งทุน ทุนงบประมาณแผ่นดิน 2553-2555
  - การพัฒนาสูตร Master key enzyme แบบไมโครแคปซูลที่สามารถใช้ร่วมกับผงซังฟอกอย่างมีประสิทธิภาพ แหล่งทุน บริษัทไลอ้อน (ประเทศไทย) จำกัด 2556-2557

- การเปลี่ยนแปลงตามเวลาของสังคมนาเอกโทไมคอร์ไรซาใต้ดินและแอกทิวิตีของเอนไซม์ในดินในป่าเต็งรัง แหล่งทุน ทุน90 ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2558
- การใช้เชื้อราเอ็กโทไมคอร์ไรซา เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการปลูกป่าไม้วงศ์ไม้อย่าง แหล่งทุนสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ 2560
- โครงการ The use of mycorrhizal fungi to enhance reforestation with native tree species in Thailand ทุนจาก The Mushroom initiative limited , Hong Kong, China. (2561-2563)

## 7.2 ผู้ร่วมวิจัย

- โครงการวิจัยเรื่องการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาทางชีวภาพเพื่อบำบัดสารปราบศัตรูพืชและสารอนุพันธ์ตกค้างในพืชที่การเกษตร แหล่งทุน ศูนย์ความเป็นเลิศแห่งชาติด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย
- ผลกระทบของภาวะน้ำท่วมต่อพื้นที่ทางการเกษตรไทย: ลักษณะสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของดินและน้ำผิวดินในพื้นที่การเกษตรหลังน้ำท่วม 2555-2556
- การคัดแยกจุลินทรีย์และสภาวะจำเพาะของการผลิตเอนไซม์โปรติเอสและไลเพส แหล่งทุนงบประมาณแผ่นดิน 2557-2559
- โครงการวิจัยเรื่อง Isolation and characterization of polyphenol-converting microbes and the product(s) แหล่งทุน บริษัท Toray 2559
- โครงการวิจัยเรื่อง การพัฒนาหัวเชื้อจุลินทรีย์เพื่อเพิ่มสารอาหารและบำบัดดิน แหล่งทุนสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) 2561-2562

## 7.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องและทำเสร็จแล้ว

Chareprasert, S., Piapukiew, J., Thienhirun, S., Whalley, T. and Sihanonth, P. 2006. Endophytic fungi of *Tectona grandis* L. and rain tree leaves *Samanea saman* Merr. **World Journal of Microbiology and Biotechnology** 22: 481-486.

Chulalaksananukul, S., Gadd, G.M., Sangvanich, P., Sihanonth, P. Piapukiew, J. and Vangnai, A.S. 2006. Biodegradation of benzo(a)pyrene by a newly Isolated *Fusarium* sp. **FEMS Microbiology Letters** 262: 99-106.

Yomyart, S., Piapukiew, J., Sihanonth, P., Whally, A.J. and Watling, R. 2006. *Russula siamiense*: A new species of annulate *Russula* from Thailand. **Mycotaxon** 95: 247-254.

- Karnchanatat, A., Petsom, A., Sangvanich, P., **Piapukiew, J.**, Reynolds, C.D., Whalley, A.J.S. and Sihanonth, P. 2007. Purification and biochemical characterization of an extracellular  $\beta$ -glucosidase from wood-decaying fungus *Daldinia eschscholzii* (Ehrenb. Fr) Rehm. **FEMS Microbiology Letters** 270: 162-170.
- Karnchanatat, A., Peterson A., Angvanich, P., Piapukiew J., Whalley, A. J. S., Reynolds, C., Gadd, G. M. and Sihanonth, P. 2008. A novel thermostable endoglucanase from the wood-decaying fungus *Daldinia eschschokii* (Ehrenb.: Fr.) Rehm. **Enzyme and Microbial Technology** 42: 404-413.
- Pornpakakul, S., Suwancharoen, S., Petsom, A., Roengsumran, S., Muangsin, N., Chaichit, N., **Piapukiew J.**, Sihanonth P., Allen J.W. 2009. A new sesquiterpenoid metabolite from *Psilocybe samuiensis*. **Journal of Asian Natural Products Research** 11:12-17.
- Pechwang, J., Sihanonth, P., Pornpakakul, S., Muangsin, N., **Piapukiew, J.**, Vangnai, A., Chaichit, N., Chuchawankul, S., and Petsom, A. 2010. Biotransformation of ent-kaur-16-en-19-oic acid by *Psilocybe cubensis*. **Natural Product Research** 24(10): 905-914.
- Chaeprasert, S., **Piapukiew, J.**, Whalley, A.J.S. and Sihanonth, P. 2010. Endophytic fungi from mangrove plant species of Thailand: their antimicrobial and anticancer Marina 53: 555–564.
- Wipusaree, N., Sihanonth, P., **Piapukiew, J.**, Sangvanich, P., and Karnchanatat, A. 2011. Purification and characterization of a xylanase from the endophytic fungus *Alternaria alternata* isolated from the Thai medicinal plant, *Croton oblongifolius* Roxb. **African Journal of Microbiology Research** 5(31): 5697-5712.
- Panuthai, T., Sihanonth, P., **Piapukiew, J.**, Sooksai, S., Sangvanich, P., and Karnchanatat, A. 2012. An extracellular lipase from the endophytic fungus *Fusarium oxysporum* isolated from the Thai medicinal plant, *Croton oblongifolius* Roxb. **African Journal of Microbiology Research** 6 (11): 2622-2638.
- Yomyart, S., Watling, R., Phosri, C., **Piapukiew, J.**, and Sihanonth P. 2012. Two interesting cantharelloids from Nan and Kanchanaburi Provinces, Thailand. **Mycotaxon** 122: 413-420.

- Pharama, T., Palaga, T., **Piapukiew, J.**, Whalley, A.J.S., and Sihanonth, P. 2013. Antimicrobial and anticancer activities of endophytic fungi *Mitragyna javanica* Koord and Val. **African Journal Microbiological Research** 7(49): 5565-5572.
- Karnchanatat, A., Puthong, S., Sihanonth, P., **Piapukiew, J.**, and Sangvanich, P. 2013. Antioxidation and antiproliferation properties of polysaccharide-protein complex extracted from *Phaeogyroporus portentosus* (Berk. & Broome) McNabb. **African Journal of Microbiology Research** 7(17): 1668-1680.
- Semanit, K., **Piapukiew, J.**, Noitang, S., and Karnchanatat, A. 2015. *In vitro* antioxidant of the protein hydrolysate isolated from the seeds of hoary basil (*Ocimum basilicum*). **Food and Applied Bioscience Journal** 3(2): 150-159.
- Kengpipat, N., Pornpakakul, S., **Piapukiew, J.**, Palaga, T., Robson, G., Whalley, A.J.S., and Sihanonth, P. 2016. Effect of NaCl concentration on Production of Actinomycin-D by *Streptomyces* sp. Strain J 6.2 Isolated from Thailand . **Chiang Mai Journal of Science** 43(3): 683-687.
- Luangsuphabool, T., **Piapukiew, J.**, Paernmen, S., Nelsen, M.P., Lumbsch, H.T., and Sangvichien, E. 2016. Diversity of the *Trypethelium eluteriae* group in Thailand (Ascomycota, Trypetheliales). **The lichenologist** 48(1): 53-60.
- Khamchatra, N., Dixon, K.W., Tantiwiwat, S., and **Piapukiew, J.** 2016. Symbiotic seed germination of an endangered epiphytic slipper orchid, *Paphiopedilum villosum* (Lindl.) Stein. From Thailand. **South African Journal of Botany** 104: 76-81.
- Luangsuphabool, T., Lumbsch, H.T., Aptroot, A., **Piapukiew, J.**, and Sangvichien, E. 2016. Five new species and one new record of *Astrothelium* (Trypetheliaceae, Ascomycota) from Thailand. **The Lichenologist** 48(6): 727–737.
- Disyatat, R.N., Yomyart, S., Sihanonth, P., and **Piapukiew, J.** 2016. Community structure of ectomycorrhizal fungi in a dipterocarp forest fragment and plantation in Thailand. **Plant Ecology and Diversity** 9(5-6): 577-588.

- Luangsaphabool T., **J. Piapukiew**, T. H. Lumbsch and E. Sangvichien. 2017. First record of *Viridothelium virens* (Trypetheliales, Ascomycota) in the Southeast Asian tropics. **Herzogia** 30: 317–321.
- Srisurichana, S., **Piapukiew, J.**, Puthong, S., and Pornpakakula, S. 2017. Lanostane triterpenoids, spiro-astraodoric acid, and astraodoric acids E and F, from the edible mushroom *Astraeus odoratus*. **Phytochemistry Letters** 21: 78-83.
- Sipahutar, K.M., **Piapukiew, J.** and Vangnai, S.A. 2018. Efficiency of the formulated plant-growth promoting *Pseudomonas fluorescens* MC46 inoculant on triclocarban treatment in soil and its effect on *Vigna radiata* growth and soil enzyme activities. **Journal of Hazardous Materials** 334: 883-892.
- Luangsaphabool, T., Lumbsch, T.H., **Piapukiew, J.**, and Sangvichien, E. 2018. *Architypethelium murisporum* (Ascomycota, Trypetheliaceae), a remarkable new lichen species from Thailand challenging ascospore septation as an indicator of phylogenetic relationships. **Mycology** 34: 25-34.

## 7.4 งานวิจัยที่กำลังทำ

ลำดับ	สถานภาพ	หัวข้อเรื่อง	แหล่งทุน	ระยะเวลาที่ได้รับทุน
1	ผู้ร่วมวิจัย	การคัดแยกจุลินทรีย์และสภาวะจำเพาะของการผลิตเอนไซม์ โปรติเอสและไลเปส	ทุนงบประมาณแผ่นดิน (สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ)	2557-2560
2	ผู้ร่วมวิจัย	รูปแบบความหลากหลายและกิจกรรมจุลินทรีย์ดินในพื้นที่การเกษตรภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ	กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	2557-2560
3	หัวหน้าโครงการ	การเปลี่ยนแปลงตามเวลาของสังคมาเอกโทไมคอร์ไรซาใต้ดินและแอกทิวิตีของเอนไซม์ในดิน	ทุน 90 ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	2558-ปัจจุบัน
4	หัวหน้าโครงการ	โครงการการอบรมการถ่ายทอดผลงานวิจัยเรื่อง การใช้หัวเชื้อราเอ็กโทไมคอร์ไรซาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการปลูกไม้ป่าประจำถิ่น	ทุนอุดหนุนกิจกรรม จากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ	2560
5	หัวหน้าโครงการ	ผลการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลของสังคมาเอกโทไมคอร์ไรซาใต้ดินและแอกทิวิตีของเอนไซม์ในดิน	ทุนงบประมาณแผ่นดิน	1 ต.ค. 2560-30 ก.ย .2561
6	หัวหน้าโครงการ	The use of mycorrhizal fungi to enhance reforestation with native tree species in Thailand	ทุนจาก The Mushroom initiative limited , Hong Kong, China.	2561-2563

## ผู้วิจัยร่วม

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย)                      นางนิพาดา เรือนแก้ว ดิษยทัต  
ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ)                      Mrs. Nipada Ruankaew Disyatat
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 4-1601-00006-71-1
3. ตำแหน่งปัจจุบัน      ผู้ช่วยศาสตราจารย์
4. หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก  
ที่ติดต่อ: ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถ.พญาไท ปทุมวัน กทม. 10330  
โทรศัพท์ 02-218-7537 โทรสาร 02-218-5386 E-mail: Nipada.R@chula.ac.th
5. ประวัติการศึกษา  
1996 B.A. (Biology), summa cum laude, Washington University in St. Louis, USA.  
1998 M.A. (Ecology and Evolutionary Biology), Princeton University, USA.  
2004 Ph.D. (Ecology and Evolutionary Biology), Princeton University, USA.
6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ  
นิเวศวิทยา
7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ
  - 7.1 หัวหน้าโครงการวิจัย
    - โครงสร้างสังคมพืชในพื้นที่ฟื้นฟูระบบนิเวศบริเวณพื้นที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย-สระบุรี อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี (2557-2560) แหล่งทุน งบประมาณแผ่นดิน (อพ.สธ.-จุฬาฯ)
  - 7.2 ผู้ร่วมวิจัย
    - โครงการ The use of mycorrhizal fungi to enhance reforestation with native tree species in Thailand ทุนจาก The Mushroom initiative limited, Hong Kong China. (2561-2563)
  - 7.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องและทำเสร็จแล้ว
 

Aimvijarn, P .and **N.R .Disyatat** .2018 .Effect of noise on occurrence of birds in public parks, Bangkok .Proceedings of the 44<sup>th</sup> Congress on Science and Technology of Thailand, 29-31 October 2018, Bangkok, Thailand. pp. 347-354.

Sananunsakul, P., Dumrongrojwatthana, P .and **N.R .Disyatat** .2017 .Species diversity of birds utilizing green roofs in Bangkok .Proceedings of the 6<sup>th</sup> Burapha University International Conference 2017, 3-4 August 2017, Chonburi, Thailand .Pp .426-434.

- Disyatat, N .R.**, S .Yomyart, P .Sihanonth and J .Piapukiew .2016 .Community structure and dynamics of ectomycorrhizal fungi in a dipterocarp forest fragment and plantation in Thailand .**Plant Ecology & Diversity** 9 :577-588.
- Seweewallop, C., **N .R .Disyatat** and C .Chaisuekul .2016 .Soil microarthropods in reforested area of dipterocarpus seedlings at different stages .Proceedings of the 3<sup>rd</sup> National Meeting on Biodiversity Management in Thailand, June 15-17, 2016, Nan, Thailand .pp.102-108.
- Senadee, R., **N .R .Disyatat** and C .Chaisuekul .2016 .Diversity and abundance of predatory arthropods in sunflower and sunnhemp patches .Proceedings of the 3<sup>rd</sup> National Meeting on Biodiversity Management in Thailand, June 15-17, 2016, Nan, Thailand .pp .162-168.
- Yasang, P., **N .R .Disyatat** and C .Chaisuekul .2014 .Litter production and decomposition in dry dipterocarp forest at Lainan Subdistrict, Wiang Sa District, Nan Province .Proceedings of the 9<sup>th</sup> Conference on Science and Technology for Youths, May 30-June 1, 2014, Bangkok, Thailand.
- Ruankaew, N**, Le Page, C, Dumrongrojwattana, P, Barnaud, C, Gajaseni, N, van Paassen, JM, Trebuil, G .2010 .Companion modeling for integrated renewable resource management :a new collaborative approach to create common values for sustainable development .**Journal of Sustainable Development and World Ecology** 1: 15-23.
- Chaisuekul, C., **N. Ruankaew** and M. Fuangarworn. 2007. Comparison of associated agrobiodiversity in terms of insects and soil mites in two farming systems and forest edge in Thong Pha Phum District, Kanchanaburi Province. BRT Research Reports 2007 Western Thong Pha Phum. pp. 440-443.



Lumlertdacha, B., S. Wacharapluesadee, J. Denduangboripant, N. Ruankaew, W.

Hoonsuwan, A. Puanghat, P. Skarasaeranee, D. Briggs, and T. Hemachudha. 2006. Complex genetic structure of rabies virus in Bangkok City and its surroundings: implications for canine rabies control. **Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene** 100(3): 276-281.

Denduangboripant, J., S. Wacharapluesadee, B. Lumlertdacha, N. Ruankaew, W.

Hoonsuwan, A. Puanghat, and T. Hemachudha. 2005. Transmission dynamics of rabies virus in Thailand: Implications for disease control. **BMC Infectious Diseases** 5: 52.

Ruankaew, N. 2005. GIS and epidemiology. **Journal of the Medical Association of Thailand** 88(11): 1735-1738.

#### 7.4 งานวิจัยที่กำลังทำ

ลำดับ	สถานภาพ	หัวข้อเรื่อง	แหล่งทุน	ระยะเวลาที่ได้รับทุน
1	หัวหน้าโครงการ	โครงสร้างสังคมพืชในพื้นที่ฟื้นฟูระบบนิเวศบริเวณพื้นที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย-สระบุรี อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี	งบประมาณแผ่นดิน (อพสธ.-จุฬาฯ)	1 ต.ค. 2560-30 ก.ย .2561
2	ผู้ร่วมวิจัย	ผลการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลของสังคมราเอกโทไมคอร์ไรซาใต้ดินและแอกทิวิตีของเอนไซม์ในดิน	ทุนงบประมาณแผ่นดิน	1 ต.ค. 2560-30 ก.ย .2561
3	ผู้ร่วมวิจัย	The use of mycorrhizal fungi to enhance reforestation with native tree species in Thailand	ทุนจาก The Mushroom initiative limited , Hong Kong, China.	2561-2563