รายงานผลการวิจัย

เรื่อง การจัดการดินและธาตุอาหารพืชเพื่อลดระยะเวลาปรับเปลี่ยนสู่ระบบเกษตรอินทรีย์อย่างยั่งยืน

Soil and Plant Nutrition Management on the reduction of Conversion Period for Sustainable Organic Farming Production

ได้รับการจัดสรรงบประมาณวิจัย ประจำปี 2558
จำนวน 225,000 บาท

หัวหน้าโครงการ นายอานัฐ ตันโช
ผู้ร่วมโครงการ นางสาวศุภธิดา อ่ำทอง
นางสาววีณา นิลวงศ์

งานวิจัยเสร็จสิ้นสมบูรณ์
กรกฎาคม 2558

กิตติกรรมประกาศ

รายงานแผนงานโครงการวิจัย เรื่องการจัดการดินและธาตุอาหารพืชเพื่อลดระยะเวลาปรับเปลี่ยนสู่ระบบเกษตรอินทรีย์อย่างยั่งยืน เป็นงานวิจัยที่ศึกษาถึงการใช้เทคนิคต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นในด้านของการนำผลิตผลจากไส้เดือนดิน หรือเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามาปรับใช้ในกระบวนการปรับเปลี่ยนระบบการทำเกษตรหรือพื้นที่การเกษตรแบบเคมีไปสู่ระบบอินทรีย์ รวมไปถึงการศึกษาถึงผลของปุ๋ยเคมีต่อสมบัติของดินที่จะปรับเปลี่ยนไปสู่ระบบเกษตรอินทรีย์ เพื่อที่จะนำเทคโนโลยีที่ได้ปรับใช้เป็นต้นแบบการจัดการระบบเกษตรอินทรีย์ดังกล่าวให้เกิดประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และเหมาะสมสำหรับระบบเกษตรกรรมของประเทศไทยสู่เกษตรกร หน่วยงานของรัฐและเอกชน ตลอดจนผู้ที่สนใจ ทั้งนี้โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร ประจำปี 2558 รวมทั้งได้รับความร่วมมือจากบุคลากรและหน่วยงานในแห่งในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้อง อาทิสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ และสำนักงานกองทุนปุ๋ยอินทรีย์และไฮโดรโพนิคส์ มูลนิธิโครงการหลวง พร้อมทั้งเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องในหน่วยงานอื่นที่มีส่วนร่วมในการวิจัย ครั้งนี้ เอื้อเฟื้ออุปกรณ์และสถานที่ในการศึกษาวิจัย และท้ายสุดขอขอบพระคุณสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตรที่ได้ให้ทุนสนับสนุนทุนการวิจัยในครั้งนี้

คณะผู้วิจัย

สารบัญ

	หน้า
สารบัญตาราง	ข
สารบัญภาพ	ฉ
สารบัญภาพผนวก	ซ
บทคัดย่อ	1
Abstract	5
คำนำ	10
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	12
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	12
การตรวจเอกสาร	22
อุปกรณ์และวิธีการ	54
ผลการวิจัย	69
วิจารณ์ผลการวิจัย	105
สรุปผลการวิจัย	146
เอกสารอ้างอิง	151
ภาคผนวก	158
ก ประวัติผู้วิจัย	164

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1	เป้าหมายของผลผลิต (Output)และตัวชี้วัด	13
ตารางที่ 2	เป้าหมายของผลลัพธ์ (Outcome)และตัวชี้วัด	14
ตารางที่ 3	แผนการบริหารงานวิจัยและแผนการดำเนินงาน พร้อมทั้งขั้นตอนการดำเนินงานตลอดแผนงานวิจัย	19
ตารางที่ 4	แสดงเกณฑ์ค่ามาตรฐานคุณภาพดินที่ปนเปื้อนสารเคมีกำจัดศัตรูพืชเพื่อใช้ประโยชน์ด้านเกษตรกรรม	31
ตารางที่ 5	แสดงค่าเฉลี่ยการสลายตัวของ Cypermethrin, Chlorpyrifos, และDeltamethrin ที่ตกค้างใน ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน และน้ำหมักชีวภาพในระยะเวลาการหมัก 60 วัน	34
ตารางที่ 6	ลักษณะการใช้ที่ดินของตัวอย่างดิน	58
ตารางที่7	การจัดการดินและความเข้มข้นของการใช้ประโยชน์ที่ดินในดินนาภายใต้ระบบการจัดการแบบเกษตรอินทรีย์และเกษตรเคมีของเกษตรกรบ้านดอนเจียง	61
ตารางที่8	Carbon fractions analysis in soils	62
ตารางที่ 9	ชนิดของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาและปริมาณการใช้	65
ตารางที่10	Chemical properties of Hang Dong (Hd), San Sai (Sai) and Mae Taeng (Mt) soils.	69
ตารางที่11	Chemical properties of organic fertilizer	70
ตารางที่ 12	Effect of main factors to soil pH at 0-25 cm. depthat 12^{th} month of incubation.	82
ตารางที่ 13	Effect of main factors to soil OM at 0-25 cm. depthat 12^{th} month of incubation.	83
ตารางที่ 14	Effect of main factors to soil NH_4^+-N at 0-25 cm. depthat 12^{th} month of incubation.	83
ตารางที่ 15	Effect of main factors to soil NO_3^- - N at 0-25 cm. depthat 12^{th} month of incubation.	84
ตารางที่ 16	Effect of main factors to soil phosphorus at 0-25 cm. depthat 12^{th} month of incubation.	84

หน้า

ตารางที่ 17	Effect of main factors to soil potassium at 0-25 cm. depthat 12^{th} month of incubation.	85
ตารางที่ 18	Effect of main factors to soil pH at 25-50 cm. depthat 12^{th} month of incubation.	85
ตารางที่ 19	Effect of main factors to soil OM at 25-50 cm. depthat 12^{th} month of incubation.	86
ตารางที่ 20	Effect of main factors to soil NH_4^+ -N at 25-50 cm. depthat 12^{th} month of incubation.	86
ตารางที่ 21	Effect of main factors to soil NO_3^- -N at 25-50 cm. depthat 12^{th} month of incubation.	87
ตารางที่ 22	Effect of main factors to soil phosphorus at 25-50 cm .depthat 12^{th} month of incubation.	87
ตารางที่ 23	Effect of main factors to soil potassium at 25-50 cm .depthat 12^{th} month of incubation.	88
ตารางที่ 24	Mean comparison of soil pH at 12^{th} month of incubation.	90
ตารางที่ 25	Mean comparison of soil OM (%) at 12^{th} month of incubation.	91
ตารางที่ 26	Mean comparison of soil NH_4^+-N)mg kg^{-1}(at 12^{th} month of incubation.	92
ตารางที่ 27	Mean comparison of soil NO_3^-N)mg kg^{-1}(at 12^{th} month of incubation.	93
ตารางที่ 28	Mean comparison of soil P)mg kg^{-1}(at 12^{th} month of incubation.	94
ตารางที่ 29	Mean comparison of soil K)mg kg^{-1}(at 12^{th} month of incubation.	95
ตารางที่ 30	แสดงค่าสารพิษตกค้างของกลุ่มOrganophosphates และ Pyrethroids ในดินก่อนทำการทดลอง	98
ตารางที่ 31	ผลของการการใช้ผลิตผลจากไส้เดือนดินบ่มดินที่ไม่มีน้ำขัง และมีน้ำขังในระยะเวลาที่ต่างกันต่อปริมาณสาร Chlorpyrifos)mg/kg.soilในดิน(	100
ตารางที่ 32	ผลของการการใช้ผลิตผลจากไส้เดือนดินบ่มดินที่ไม่มีน้ำขัง และมีน้ำขังในระยะเวลาที่ต่างกัน ต่อปริมาณสาร Profenofos)mg/kg.soil(	102
ตารางที่ 33	ผลของการการใช้ผลิตผลจากไส้เดือนดินบ่มดินที่ไม่มีน้ำขัง และมีน้ำขังในระยะเวลาที่ต่างกัน ต่อปริมาณสาร Cypermethrin)mg/kg.soil(	104
ตารางที่ 34	ผลของการเปลี่ยนระบบการปลูกข้าวนาดำจากระบบเคมีมาเป็นระบบอินทรีย์ที่มีผลต่อชนิดและจำนวนเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา	107
ตารางที่ 35	ผลของการเปลี่ยนระบบการปลูกข้าวนาดำจากระบบเคมีมาเป็นระบบอินทรีย์ที่มีผลต่อชนิดและจำนวนเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา(ต่อ)	108

		หน้า
ตารางที่ 36	ผลของการเปลี่ยนระบบการปลูกข้าวนาดำจากระบบเคมีมาเป็นระบบอินทรีย์ที่มีผลต่อสมบัติของดินและจำนวนเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา	109
ตารางที่ 37	The correlation between the number of spore and soil property of paddy soils.	110
ตารางที่ 38	ผลของระยะเวลาในการปลูกข้าวไร่ที่มีผลต่อสมบัติทางเคมี ฟิสิกส์ และการหายใจของดิน	112
ตารางที่ 39	ผลของระยะเวลาในการปลูกข้าวไร่ที่มีผลต่อชนิดและจำนวนเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา	113
ตารางที่ 40	ผลการปรับเปลี่ยนระบบการจัดการดินจากนาเคมีมาเป็นนาอินทรีย์ในระยะเวลา 10 ปีต่อปการเก็บรักษาอินทรีย์คาร์บอนส่วนต่างๆ	115
ตารางที่ 41	ผลของปรับเปลี่ยนจากดินนาเคมีดินนามาเป็นดินนาอินทรีย์ในระยะเวลา 10 ปีต่อปริมาณฟอสฟอรัสส่วนต่างๆ และที่ระดับความลึกต่างๆ	123
ตารางที่ 42	แสดงข้อมูลการใช้ปุ๋ยของเกษตรกรในส่วนดินนาอินทรีย์และดินนาเคมี	129
ตารางที่ 43	Original soil analysis before study	130
ตารางที่ 44	คุณสมบัติดินหลังการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาโดยมีการปลูกข้าวโพดร่วมด้วย	131
ตารางที่ 45	ผลของปุ๋ยอินทรีย์อาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่มีผลต่อน้ำหนักแห้งต้นข้าวโพดที่อายุ 45 วัน การดูดใช้ธาตุอาหารหลัก และค่า MNR,MPR และ MKR	132
ตารางที่ 46	ปริมาณธาตุอาหารในต้นข้าวโพดอายุ 45 วันภายใต้การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ	133
ตารางที่ 47	ผลของการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่มีต่อสมบัติของดินหลังการปลูกข้าวโพด45 วัน	133
ตารางที่ 48	ค่าวิเคราะห์ปุ๋ยหมักผสมหัวเชื้อ	136
ตารางที่ 49	แสดงชนิดของดิน รูปแบบการจัดการน้ำ การใส่เชื้อไมคอร์ไรซา ต่อค่า pH, EC และความเป็นประโยชน์ของ P ในดิน	141
ตารางที่ 49	แสดงชนิดของดิน รูปแบบการจัดการน้ำ การใส่เชื้อไมคอร์ไรซา ต่อค่า pH, EC และความเป็นประโยชน์ของ P ในดิน (ต่อ)	142

หน้า

ตารางที่ 50 แสดงชนิดของดิน การจัดการน้ำ การใส่เชื้อไมคอร์ไรซาต่อความเป็นประโยชน์ของจุลธาตุ 144

ตารางที่ 50 แสดงชนิดของดิน การจัดการน้ำ การใส่เชื้อไมคอร์ไรซาต่อความเป็นประโยชน์ของจุลธาตุ 145

สารบัญภาพ

		หน้า
ภาพที่ 1	Nitrogen cycle.	26
ภาพที่ 2	Relationship between easily , total glomalin and stability of 1-2 mm-size aggregates in 0-15 cm soil samples of paddy soil in Chiang Mai province , Northern Thailand.	50
ภาพที่ 3	การวิเคราะห์หาปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในดิน	64
ภาพที่ 4	การตากดินและกระถางตัวอย่างการทดลอง	66
ภาพที่ 5	Change of soil pH in Hang Dong (A), San Sai (B) and Mae Taeng (C) soils at 0-25 cm depth.	71
ภาพที่ 6	Change of soil pH in Hang Dong (A), San Sai (B) and Mae Taeng (C)soils at 25-50 cm depth	72
ภาพที่ 7	Change of OM in Hang Dong (A), San Sai (B) and Mae Taeng (C) soils at 0-25 cm depth.	73
ภาพที่ 8	Change of OM in Hang Dong (A), San Sai (B) and Mae Taeng (C) soils at 25-50 cm depth.	74
ภาพที่ 9	Change of NH_4^+-N in Hang Dong (A), San Sai (B) and Mae Taeng (C) soils at 0-25 cm depth.	76
ภาพที่ 10	Change of NH_4^+-N in Hang Dong (A), San Sai (B) and Mae Taeng (C) soils at 25-50 cm depth	77
ภาพที่ 11	Change of NO_3^--N in Hang Dong (A), San Sai (B) and Mae Taeng (C) soils at 0-25cm depth.	78
ภาพที่ 12	Change of NO_3^--N in Hang Dong (A), San Sai (B) and Mae Taeng (C) soils at 25-50 cm depth.	79
ภาพที่ 13	Change of P in Hang Dong (A), San Sai (B) and Mae Taeng (C) soils at 0-25cm depth.	80
ภาพที่ 14	Change of P in Hang Dong (A), San Sai (B) and Mae Taeng (C) soils at 25-50 cm depth.	81

หน้า

ภาพที่ 15	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อชนิดของดินนาอินทรีย์และดินนาเคมีที่ระดับความลึก 0-5 ซม. ($p<0.05$)	125
ภาพที่ 16	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อชนิดของดินนาอินทรีย์และดินนาเคมีที่ระดับความลึก 10-15 ซม. ($p<0.05$)	126
ภาพที่ 17	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเกษตรกรแต่ละราย ต่อความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินนาอินทรีย์และดินนาเคมี ที่ระดับความลึกต่างๆ ($p<0.05$)	127
ภาพที่ 18	หัวเชื้ออาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา จำนวน 5 สายพันธุ์	134
ภาพที่ 19	ปุ๋ยหมักผสมหัวเชื้อ AMF	135
ภาพที่ 20	The CO_2 evolution from soils which received various AMF fertilizers under rice cultivation, and compared with original soil (e.g.no rice plantation) and control (e.g. grow rice but no added fertilizer).	137
ภาพที่ 21	The CO_2 evolution from soils which received various AMF fertilizers under maize cultivation, and compared with original soil (e.g.no rice plantation) and control (e.g. grow rice but no added fertilizer).	138

สารบัญภาพผนวก

		หน้า
ภาพผนวกที่ 1	Soil incubation under aerobic condition and field capacity moisture.	159
ภาพผนวกที่ 2	Bring soil to field capacity.	159
ภาพผนวกที่ 3	Soil sampling.	159
ภาพผนวกที่ 4	Soil tube.	160
ภาพผนวกที่ 5	Air dried soils.	160
ภาพผนวกที่ 6	Soil crushing.	160
ภาพผนวกที่ 7	Soil sieving.	160
ภาพผนวกที่ 8	Soil 0.5 mm. particle sizes.	161
ภาพผนวกที่ 9	Soil 2 mm. particle sizes.	161
ภาพผนวกที่ 10	Soil packaging in plastic bags.	161
ภาพผนวกที่ 11	ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสำหรับนำเสนอในงานประชุมวิชาการเกษตรนเรศวร ครั้งที่ 14 ณ มหาวิทยาลัยนเรศวร	162
ภาพผนวกที่ 12	ผลการลงทะเบียนเพื่อนำเสนอในงานประชุมวิชาการเกษตรนเรศวรครั้งที่ 14 ณ มหาวิทยาลัยนเรศวร	163

การจัดการดินและธาตุอาหารพืชเพื่อลดระยะเวลาปรับเปลี่ยนสู่ระบบเกษตรอินทรีย์อย่างยั่งยืน

(Soil and Plant Nutrition Management on the reduction of Conversion Period for Sustainable Organic Farming Production)

อานัฐ ตันโช[1] ศุภธิดา อ่ำทอง[2] วีณา นิลวงค์[3] สุลีรัก อารักษณ์ธรรม[4] วราภรณ์ ภูมิพิพัฒน์[5]

Arnat Tancho[1], Suphathida Aumtong[2], Weena Nilwong[3], Suleerak Arraktham[4] And Varaporn Poompipat[25]

[1]คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่, [2]ศูนย์วิจัยและพัฒนาไส้เดือนดิน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่

บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยเรื่องการจัดการดินและธาตุอาหารพืชเพื่อลดระยะเวลาปรับเปลี่ยนสู่ระบบเกษตรอินทรีย์อย่างยั่งยืน มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงการใช้ผลิตผลจากไส้เดือนดิน การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับเชื้ออาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา และรวมถึงการศึกษาผลการใช้ปุ๋ยเคมีต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของดิน ต่อการนำไปใช้ในการลดระยะและหาแนวทางในการปรับเปลี่ยนระบบเกษตรเคมีไปสู่ระบบเกษตรอินทรีย์

<u>โครงการย่อยที่ 1</u> ผลตกค้างของการใช้ปุ๋ยเคมีถือเป็นประเด็นสำคัญในการกำหนดระยะเวลาการปรับเปลี่ยนจากระบบเกษตรเคมีสู่เกษตรอินทรีย์ ดังนั้นการศึกษาถึงสมบัติของดินที่เปลี่ยนแปลงไปหลังจากการหยุดใช้ปุ๋ยเคมีจะทำให้สามารถนำข้อมูลที่ได้ไปใช้เป็นส่วนหนึ่งประกอบการพิจารณาเพื่อลดระยะเวลาดังกล่าว การทดลองครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสมบัติทางเคมีของดินในช่วงระยะเวลาดังกล่าว โดยได้ทำการทดลองในระยะเวลา 12 เดือน ณ คณะผลิตกรรมการเกษตร ม.แม่โจ้ วางแผนการทดลองแบบ Factorial 3x3x5 in CRD ประกอบด้วยปัจจัยหลักได้แก่ ชนิดดิน (S2; ดินหางดง , S2, สันทราย; และ S3; แม่แตง) ระดับอินทรียวัตถุในดิน (O0;ไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์, O1; ใส่ 1 กก และ O2 ใส่ 2 กก.ต่อถัง) และชนิดปุ๋ยเคมี (F0; ไม่ใส่ปุ๋ยเคมี, F1; 46-0-0, F2; 18-24-24, F3; 0-0-60, และ F4; 16-16-16) จำนวน 3 ซ้ำ ทำการบ่มดินเป็นระยะเวลา 12 เดือนในสภาพ aerobic และรักษาระดับความชื้นให้อยู่ที่ Field capacity ตลอดการทดลอง เก็บตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 1, 4, 9, และ 12 เดือน ที่ระดับความลึก 0-25 และ 25 - 50 ซม. เพื่อวิเคราะห์ สมบัติทางเคมีของดิน จากการทดลองพบว่าชนิดดิน ระดับอินทรียวัตถุและชนิด

ปุ๋ยเคมีมีผลต่อ pH ปริมาณ OM, $N\text{-}NH_4^+$, $N\text{-}NO_3^-$, P และ K ในดินเมื่อระยะเวลาผ่านไป 12 เดือนอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ซึ่งปริมาณ $N\text{-}NH_4^+$, $N\text{-}NO_3^-$, P และ K ในดินที่ 12 เดือนขึ้นอยู่กับกับชนิดของปุ๋ยเคมีที่ใส่ลงไปในดินทั้ง 3 ชนิดทั้ง 2 ระดับความลึก ในขณะที่ปริมาณการตกค้างของ $N\text{-}NH_4^+$, $N\text{-}NO_3^-$, P และ K พบในดินสันทราย (S2) น้อยกว่าดินหางดง (Hd) และแม่แตง (Mt)

จากการศึกษาครั้งนี้สรุปได้ว่าชนิดดิน ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน และสูตรปุ๋ย มีผลต่อปริมาณการตกค้างของปุ๋ยเคมีในดินหลังจากเวลาการบ่มผ่านไป 12 เดือนโดยการเปลี่ยนแปลงจะเกิดขึ้นได้ชัดเจนที่ระยะเวลา 1 เดือน หลังการใส่ปุ๋ยเคมีและอินทรียวัตถุลงไปหลังจากนั้นค่า pH ปริมาณอินทรียวัตถุ อนินทรีย์ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมจะลดลงและมีแนวโน้มคงที่ไปจนถึงเดือนที่ 12

<u>โครงการย่อยที่ 2</u> การศึกษาเทคนิคการเพิ่มอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพของสารพิษตกค้างในดินเพื่อลดระยะเวลาการปรับเปลี่ยนสู่ระบบเกษตรอินทรีย์โดยการใช้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินและน้ำหมักมูลไส้เดือนดิน มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงผลการใช้มูลไส้เดือนดินและน้ำหมักมูลไส้เดือนดินในการลดปริมาณสารพิษตกค้างในดินของสารกลุ่ม Organophosphates และ Pyrethroids ภายใต้สภาวะปกติและขังน้ำ

ทำการศึกษาในห้องปฏิบัติการ โดยเก็บตัวอย่างดินจากแปลงของเกษตรกรในระบบเกษตรเคมีมาศึกษาถึงผลการใช้มูลไส้เดือนดินและน้ำหมักมูลไส้เดือนดิน ช่วยเร่งการย่อยสลายสารพิษ 3 ชนิด คือ Cypermethrin, Chlorpyrifos และ Profenofos โดยทำการตรวจวัดปริมาณสารพิษตกค้างในดินตัวอย่าง 5 ช่วงเวลาหลังทดลองที่ 0 วัน 7 วัน 15 วัน, 30 วัน และ 60 วัน ในสภาวะการบ่ม 2 รูปแบบคือสภาพปกติและน้ำขัง พบว่า ค่าการสลายตัวของ Chlorpyrifos ที่ตกค้างในดินทดสอบนั้นจะสลายตัวหมดภายในระยะเวลา 60 วัน โดยการใส่น้ำหมักมูลไส้เดือนดินและบ่มดินในสภาพขังน้ำมีค่าการสลายตัวเกิดขึ้นสูงสุด สูงกว่าการใส่มูลไส้เดือนดินและตำรับควบคุม ในส่วนของค่าการสลายตัวของ Profenofos ในดินทดสอบพบว่าสลายตัวหมดภายในระยะเวลาการบ่มนาน 15 วัน และไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่ในส่วนของ Cypermethrin สลายตัวหมดภายในระยะเวลามากกว่า 60 วัน โดยการใส่มูลไส้เดือนดินและน้ำหมักมูลไส้เดือนดินและบ่มดินในสภาพปกติมีการสลายตัวของ Cypermethrin เกิดขึ้นมากกว่าในตำรับควบคุม ($P<0.01$)

การศึกษาครั้งนี้ พบว่า ในสภาพดินน้ำขังการใส่น้ำหมักมูลไส้เดือนดินจะช่วยเพิ่มอัตราการสลายตัวของ Chlorpyrifos ได้ดีกว่าการไม่ใส่ ส่วนในสภาพดินปกติทั่วไปการใส่ทั้งมูลไส้เดือนดินและน้ำหมักมูลไส้เดือนดินจะเพิ่มอัตราการสลายตัวของ Cypermethrin ได้ดีกว่าดินที่ไม่ใส่ ดังนั้นการใช้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน และน้ำหมักมูลไส้เดือนดิน สามารถเป็นตัวเลือกหนึ่งในการใช้เพิ่มอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพของสารพิษที่ตกค้างในดินได้ นอกจากการใช้ปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดินแล้ว

<u>โครงการย่อยที่ 3</u> การปรับเปลี่ยนจากการปลูกข้าวภายใต้ระบบเกษตรเคมีมาเป็นเกษตรอินทรีย์ โดยการใช้อาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์เป็นแนวทางที่มีศักยภาพที่สามารถนำไปสู่การปฏิบัติของเกษตรกรได้ ซึ่งจะทำให้สมบัติของดินต่างๆ เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของข้าว งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการปรับเปลี่ยนจากการทำการเกษตรเคมีมาสู่เกษตรอินทรีย์ของดินปลูกข้าวบ้านดอนเจียง ตำบลสบเปิง อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ และผลของการปลูกข้าวแบบต่างๆ ต่อสมบัติทางเคมี ฟิสิกส์ และการหายใจของดิน ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสและอนินทรีย์ฟอสฟอรัสรูปแบบต่างๆ รวมไปถึงผลของชนิดปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับเชื้อราไมคอร์ไรซาต่อการเจริญเติบโตของพืชและสมบัติของดิน โดยการสำรวจพื้นที่ เก็บตัวอย่างดิน และเก็บข้อมูลจากการสัมภาษณ์เกษตรกรกลุ่มตัวอย่าง แบ่งออกเป็นกลุ่มเกษตรอินทรีย์ 11 แปลง และกลุ่มเกษตรเคมี 11 แปลงและวางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Design (RCBD) โดยกำหนดทรีตเม้นท์ของการปลูกข้าวแบบต่างๆ ชนิดดิน การจัดการน้ำ และชนิดปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับเชื้อราไมคอร์ไรซาสายพันธุ์ต่างๆ แล้วจึงวิเคราะห์หาสมบัติทางเคมี ฟิสิกส์ และการหายใจของดินของดิน พบว่าผลของการเปลี่ยนระบบการปลูกข้าวนาดำจากระบบเคมีมาเป็นระบบอินทรีย์ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของชนิดและจำนวนเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาอย่างหลากหลาย และยังส่งผลให้สมบัติของดิน ได้แก่ ค่า pH, P, Fe, Zn, N และ OM มีปริมาณเพิ่มขึ้น แต่ค่า EC และ K มีปริมาณลดลง จำนวนเชื้อราอาบัสคูราไมคอร์ไรซาเพิ่มขึ้น การเพิ่มระยะเวลาในการปลูกข้าวไร่จาก 1 ปี มาเป็น 2 ปี ทำให้ค่า pH, EC, NH_4^+, NO_3, Available P, SOC, WSC, HWSC, FPOM, Tgloและ WAS มีปริมาณเพิ่มขึ้น แต่ LPOM, POC และ E gloลดลงเพียงเล็กน้อย ซึ่งการปลูกข้าวไร่ในระยะเวลา 2 ปี ส่งผลให้ชนิดและจำนวนเชื้อราอาบัสคู-ลาร์ไมคอร์ไรซามีปริมาณลดลง ส่วนปริมาณการเก็บรักษาคาร์บอนในส่วนของ TOC ในดินนาอินทรีย์สูงกว่าดินนาเคมี แต่ CPOM-C, FPOM-C และ POXC ในดินนาเคมีมีปริมาณสูงกว่าดินอินทรีย์และมีปริมาณสูงสุดที่ระดับ 15-30 cm. และดินนาเคมีพบปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัสสูงกว่าดินนาอินทรีย์ หลังจากที่มีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์อาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา พบว่า การใส่เชื้อ *G.etunicatum* ทำให้ปริมาณอินทรียวัตถุมีปริมาณเพิ่มขึ้นจากเดิมมากที่สุด ส่วนชนิดของดินแต่ละชนิด มีผลให้ปริมาณจุลธาตุในดินมีความแตกต่างกัน พบปริมาณ Cu สูงสุดที่ระดับความชื้น 30% การจัดการน้ำ WL พบปริมาณ Fe ในดินสูงสุดและพบว่ารูปแบบการจัดการน้ำไม่มีผลให้ปริมาณ Mn และ Zn ในดิน มีความแตกต่างกัน

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าการใช้เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์เป็นแนวทางหนึ่งที่มีศักยภาพในการช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของดินที่ผ่านการทำการเกษตรในระบบเคมีมาเป็นระบบอินทรีย์ ซึ่งส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของชนิดและจำนวนเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาของดินในนาข้าว อีกทั้ง

ยังส่งผลให้สมบัติของดินในด้านของปริมาณธาตุอาหารบางค่า มีปริมาณเพิ่มขึ้น จึงทำให้ดินมีความเหมาะสมต่อการปลูกข้าวอินทรีย์มากยิ่งขึ้น

คำสำคัญ : สมบัติทางเคมีของดิน, อินทรียวัตถุ, อนินทรีย์ไนโตรเจน, สารพิษตกค้าง, การย่อยสลายทางชีวภาพ, เกษตรอินทรีย์, ปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน, น้ำหมักมูลไส้เดือนดิน, เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา, อินทรีย์คาร์บอน,

Abstract

Research on soil and plant nutrition management for reduction of conversion period in order to sustainable organic farming production.The aim of this research are studying the usage of product earthworm produce.The use of organic fertilizer with arbuscular mycorrhizal fungi and including the study on the effect of chemical fertilizer on soil chemical.Application for reduction of conversion period and find the solution to modify the agricultural chemical system to organic farming production.

Sub project 1 The residuals of chemical fertilizers are an important issue in determining the transition period from agricultural chemical to organic farming. Therefore, the study of soil properties that have changed after use of chemical fertilizer will enable the data to be used as part of the consideration to reduce the time. This experiment was aimed at studying the changes of soil chemical properties during this reduce period. The experiments were 12 months at Faculty of Agricultural Production, Maejo University. Experimental design by 3x3x5 in CRD main factors include: soil types (S2; Hang Dong soil, S2,San sai; and S3 Mae Taeng; Organic matter level in soil (O0; no organic fertilizer, O1; Put 1 kg and O2 put 2 kg per tank) and chemical fertilizers (F0; no chemical fertilizer F1; 46-0-0, F2; 18-24-24, F3; 0-0-60, and F4; 16-16-16) make three replicates and incubated for 12 months in aerobic conditions and humidity were maintained at the field capacity throughout the 1, 4, 9, and 12 month and pick soil samples at 0-25 and 25-50 cm depth to analyze soil of chemical properties. The experiment found that the soil type the levels of organic matter and chemical fertilizers influenced the pH of OM, N-NH4 +, N-NO3-, P and K in soil when the period passes 12 months ($p < 0.05$). N-NO3-, P and K in soil 12 months, depending on the type of fertilizer applied to the soil 3 types 2 depths, while the residues of N-NH4 +, N-NO3- P and K were found in san sai(S2) less than Hang Dong (Hd) and Mae Taeng(Mt)

Sub project 2 study of technique for increased degradation rate of synthetic chemical residues in soil for shorten conversion period to organic farming by vermicompost and vermicompost liquid found that the using of vermicompost and vermicompost liquid in soil treated with organophosphates, pyrethroids (Chlorpyrifos and Profenofos) showed that the degradation rate of Chlorpyrifos synthetic chemical residues in soil would within 60 days and treated vermicompost liquid in submerged soil would have degradation rate higher than put vermicompost and control. The degradation rate of Profenofos in soil samples found the degradation out within 15 days of incubate periods and found no statistically

significant difference. However, Cypermethrin degradation out within more 60 days by put vermicompost and vermicompost liquid faster than normal soil degradation rate of *Cypermethrin and control* ($P<0.01$)

This study conclusion that added vermicompost liquid in submerged soil would increased the degradation rate of Chlorpyrifos better than not added. Vermicompost and vermicompost liquid in normal soil may increase degradation rate of Cypermethrin better not added. so that added vermicompost and vermicompost liquid were one option in use for increasing degradation rate of synthetic chemical residues in soilnot only used for improving soil fertility.

This study found that trapped in water soil by adding Vermicompost will help increase the degradation rate of chlorpyrifos better than no add. In normal soil conditions, the addition Vermicompost and vermicompost liquid will increase the degradation rate of cypermethrin better than no add .So the use of compost mite and worm Vermicompost can option to increase the rate of degradation of toxins in the soil. In addition to improving the fertility of the soil.

Sub project 3 Adaptation from rice cultivation under chemical agricultural system to organic agriculture by using arbuscular mycorrhizal fungi and organic fertilizer is a potential approach that cans a farmer's practice. The aim of this research to study adaptation from making chemical agricultural to organic agriculture of the soil growth of rice of Ban Don Chieng, Tambon Sop Phe, Mae Taeng District, Chiang Mai Province and the effect of growing rice on chemical, physical and soil properties. Use fulness of Phosphorus and Inorganic Phosphorus types including the effect of organic fertilizer with arbuscular mycorrhizal fungi on plant growth and soil properties. By exploring the area,soil sample collection and interviewed farmers.Divided organic agriculture 11 plot groups and chemical agriculture 11 plot groups, and a randomized complete design (RCBD) is set up for the treatment of various types of rice, soil, water and organic fertilizecollaboratemycorrhizal speciesand making analyze the physical, chemical and physical properties of soil found that the effect of changing the system of rice cultivation from chemical system to organic system resulted in an increase in the number and type of arbuscular mycorrhizal fungi variety and effect of soil pH, P, Fe, Zn, N and OM were increased but EC and K decreased. Increase of arbuscular mycorrhizal fungi. Increasing the planting rice period from 1 year to 2 years increased pH, EC, NH_4^+, NO_3, Available P, SOC, WSC, HWSC, FPOM, Tglo and WAS increase but LPOM, POC and E glo fell slightly. The two-year rice field crop has resulted in a decrease in the number and species of

arbuscular mycorrhizal fungi. The amount of carbon in TOC in organic soils was higher than that of chemical soils, but CPOM-C, FPOM-C and POXC in chemical soil were higher than organic soils.and the highest levels were 15-30 cm and the chemical soil showed higher inorganic phosphorus than organic soil. After using organic fertilizer, Albacruzmycorrhiza found that the addition of G.etunicatum increased the amount of organic matter. Each type of soil has effect the amount of micronutrients in the soil was different. The highest Cu content was at 30% moisture content. WL treatment showed highest Fe content in soil and found that the water management model did not affect the Mn and Zn content in difference soil.

The experiments show that the use of arbuscular mycorrhizal fungi collaborate organic fertilizer is one of the potential ways to improve the properties of farmed soils in the chemical system.The effect resulted in an increase in the type and number of arbuscular mycorrhizal fungi in the paddy. It also results in soil properties in terms of some nutrients increased. This makes the soil more suitable for growing organic rice.

Keywords: soil chemical properties, organic matter, inorganic nitrogen, residue, biodegradation, organic farming, earthworm composting, soil vermicomposting, organic carbon,

รายละเอียดชุดโครงการ

ชื่อโครงการวิจัยภายใต้แผนงานวิจัย

1. ผลของปุ๋ยเคมีต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของดินในระยะปรับเปลี่ยนระบบเกษตรอินทรีย์
   Effect of Chemical Fertilizers on Change of Chemical Soil Properties on Length of Conversion Period in Organic Farming Production
2. การศึกษาเทคนิคการเพิ่มอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพของสารพิษตกค้างในดินเพื่อลดระยะเวลาการปรับเปลี่ยนสู่ระบบเกษตรอินทรีย์โดยการใช้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินและน้ำหมักมูลไส้เดือนดิน
   Study of Techniques for Increased Degradation Rate of Synthetic Chemical Residues in Soil for Shorten Conversion Period to Organic Farming Production
3. การจัดการปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาปรับปรุงดินในระยะปรับเปลี่ยนเพื่อเข้าสู่ระบบเกษตรอินทรีย์
   The management of organic fertilizers combined with arbuscular mycorrhizal fungi for organic farming

ผู้รับผิดชอบการดำเนินการวิจัย

1. **ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย**
   รศ.ดร.อานัฐ ตันโช

2. **นักวิจัยร่วมโครงการ**
   หัวหน้าโครงการย่อยที่ 1 : วีณา นิลวงศ์
   หัวหน้าโครงการย่อยที่ 2 : อานัฐ ตันโช
   หัวหน้าโครงการย่อยที่ 3: ศุภธิดา อ่ำทอง

คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290
โทรศัพท์ 053-873728 โทรสาร 053-873490 ต่อ 200

บทนำ

ผู้ประกอบการไทยหลายรายหันมาให้ความสนใจการทำผลิตภัณฑ์ออร์แกนิคมากขึ้นนับแต่ปี 2552 เป็นต้นมา ทำให้เกษตรอินทรีย์ไทยเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในสองสามปีที่ผ่านมา แต่ความเป็นจริงเกษตรอินทรีย์ในประเทศไทยยังไม่ก้าวหน้าเท่าที่ควร แปลงอินทรีย์ส่วนใหญ่ในประเทศยังเป็นแปลงขนาดเล็ก ซึ่งจากการสำรวจของมูลนิธิสายใยแผ่นดิน/กรีนเนท ในปี 2553 พบว่า พื้นที่เกษตรอินทรีย์ของไทยขยายตัวเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.16 ของพื้นที่เกษตรกรรมทั้งหมดของประเทศซึ่งมีอยู่ 131.27 ล้านไร่ และมีฟาร์มเกษตรอินทรีย์ ร้อยละ 0.15 จากฟาร์มอินทรีย์ 7,405 ฟาร์ม ของฟาร์มทั้งหมดในประเทศ 5,100,000 แห่ง ข้อมูลนี้แสดงให้เห็นว่าประเทศไทยเราเพิ่งจะเริ่มก้าวเข้าสู่เกษตรอินทรีย์เมื่อเทียบกับต่างประเทศ ในสหภาพยุโรป อเมริกา ออสเตรเลีย หรือ ญี่ปุ่น

ในขณะที่ประเทศไทยนั้นสามารถทำเกษตรได้ตลอดปี เนื่องจากสภาพอากาศ และปริมาณน้ำฝนที่เอื้ออำนวยรวมทั้งมีระบบชลประทานที่ดีพอสำหรับการเกษตร มีปริมาณชีวมวลที่ได้จากพืช สัตว์ ประมง และจากป่าไม้ ในปริมาณที่มากพอต่อการนำมาใช้เพื่อผลิตปุ๋ยปรับปรุงดินเพื่อเกษตรอินทรีย์ แต่เราขาดองค์ความรู้ และการจัดการที่เหมาะสมต่อการทำเกษตรอินทรีย์ในระยะปรับเปลี่ยน ซึ่งเป็นระยะที่เกษตรจำนวนมากล้มเลิกก่อนเข้าสู่เกษตรอินทรีย์ที่แท้จริง เนื่องจากก้าวผ่านข้อจำกัดที่สำคัญยิ่งไม่ได้นั่นคือการทำเกษตรอินทรีย์ในดินเสื่อมโทรมจะต้องลงทุนด้านแรงงานการปรับปรุงดินสูงถึงร้อยละ 36 และค่าวัสดุบำรุงดินร้อยละ 35 ซึ่งเป็นต้นทุนที่สูงมาก และในการปลูกพืชอินทรีย์ระยะเริ่มแรกจะได้ผลผลิตน้อย คุณภาพผลผลิตต่ำไม่สม่ำเสมอ ประกอบกับข้อกำหนดประการหนึ่งของมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ ที่ระบุว่า พื้นที่เกษตรใดที่ใช้ผลิตพืชแบบเกษตรอินทรีย์เคยเป็นพื้นที่ที่ใช้ผลิตพืชแบบเกษตรแบบเคมีมาก่อนจะต้องมีระยะปรับเปลี่ยน 1-3 ปี โดยผลผลิตในช่วงปรับเปลี่ยนยังไม่สามารถจำหน่ายเป็นสินค้าเกษตรอินทรีย์ได้ นอกจากนี้แปลงอินทรีย์ที่มีพื้นที่ใกล้กับแปลงเคมีจะต้องทำแนวกันชนป้องกันการปนเปื้อนสารเคมีจากแปลงปลูกใกล้เคียง ทำให้เสียพื้นที่จำนวนหนึ่งไป (ศุภชัย และคณะ, 2550)

จากปัญหาดังกล่าว คณะวิจัยเห็นว่าหากมีการปลูกพืชอินทรีย์ในระบบที่ไม่ถูกจำกัดด้วยพื้นที่และความอุดมสมบูรณ์ของดินและสามารถเริ่มการปลูกพืชอินทรีย์ได้ทันทีโดยไม่ต้องรอเวลาในการปรับเปลี่ยนหรือปรับปรุงดินก่อน พร้อมทั้งสามารถควบคุมปริมาณและคุณภาพผลผลิตได้ในทุกพื้นที่น่าจะเป็นทางออกหนึ่งกับปัญหาในเรื่องนี้

แผนงานวิจัยนี้มีความประสงค์จะศึกษาวิจัยถึงในส่วนของ ข้อมูลระยะเวลาที่แน่ชัดที่จะไม่มีการตกค้างของปุ๋ยเคมีในดินหรือผลกระทบจากการใช้ปุ๋ยเคมีในพื้นที่ที่จะส่งผลต่อการผลิตพืชในระบบเกษตรอินทรีย์ โดยพิจารณาจากการตกค้างของปริมาณปุ๋ยเคมีที่มีการใช้ไปในรูปของปริมาณธาตุอาหารพืช

(ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม) และข้อมูลสมบัติเคมีบางประการและความหลากหลายทางชีวภาพของดินในช่วงระยะเวลา 1 ปี รวมทั้งข้อมูลพลวัติของอินทรียวัตถุในดินและสมบัติทางเคมี ฟิสิกส์ ชีววิทยา และชีวเคมีในดิน ในช่วงระยะปรับเปลี่ยนจากเกษตรเคมีสู่ระบบเกษตรอินทรีย์ และ ข้อมูลวิธีการใช้และประสิทธิภาพของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน และน้ำหมักมูลไส้เดือน ต่อร้อยละการสลายตัวของปริมาณสารพิษที่ตกค้างอยู่ในดินของกลุ่ม Organophosphates และPyrethroids ในช่วงระยะเวลาต่างๆ ซึ่งที่ผ่านมามีผลงานวิจัยของจารุพงศ์ และ ชุลีมาศ (2556) พบว่า ค่าการสลายตัวของcypermethrin, chlorpyrifos, และdeltamethrin ที่ตกค้างในปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินนั้นจะสลายตัวหมดภายในระยะเวลาการหมักที่ประมาณ 30 วัน ในขณะที่ปุ๋ยหมัก และน้ำหมักชีวภาพ ที่ได้ผลิตด้วยไส้เดือนดินในกระบวนการผลิตปุ๋ยนั้นจะสลายตัวหมดในระยะเวลามากกว่า 60 วัน ซึ่งคาดว่าผลการสลายตัวของสารพิษดังกล่าวในปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่เร็วกว่าปุ๋ยหมักทั่วไปนั้นน่าจะเป็นผลมาจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในลำไส้ไส้เดือนดินที่ปนออกมากับมูลไส้เดือนดิน

ในส่วนของการปรับปรุงเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินด้วยปุ๋ยชีวภาพนั้นมีศักยภาพสูงมากและใช้ต้นทุนต่ำหากมีการจัดการที่เหมาะสม ในการวิจัยนี้สนใจศึกษาการใช้เชื้อจุลินทรีย์อาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซ่า (Arbuscular Mycorrhizal Fungi,AMF) ที่มีความสามารถหลาย ๆ ประการและประการหนึ่งคือการสร้างกลูมาลินซึ่งเป็นสารประกอบจำพวกโปรตีน โดยองค์ประกอบของกลูมาลินนั้นจะมีไนโตรเจนที่จับอยู่กับพวกสายโพลีแซกคาร์ไลด์ และสิ่งที่สกัดได้จะมีเหล็ก (Fe) รวมอยู่ด้วยในปริมาณที่แตกต่างกันไป และยังมีสมบัติที่ไม่ละลายน้ำ (hydrophobic) เหมือนกับสารhumic acid ที่พบได้ในดินทั่วไป อาศัยร่วมกันแบบ symbiosis กับรากพืชเท่านั้น และสารชนิดนี้จะเพิ่มขึ้นเมื่อมีของการแตกสปอร์ของเชื้อราไมโครไรซ่า (Arbuscular mycorrhizal fungi, AMF) เป็นต้น

ซึ่งวิธีการและแนวทางที่ได้จากงานวิจัยนี้จะเป็นต้นแบบในการถ่ายทอดเทคโนโลยีการปลูกผักอินทรีย์รูปแบบใหม่ให้กับกลุ่มเกษตรกรที่ต้องการปลูกพืชในระบบเกษตรอินทรีย์ ในระยะเริ่มแรกช่วงปรับเปลี่ยนจากระบบเกษตรเคมีสู่เกษตรอินทรีย์ ซึ่งเกษตรกรจะสามารถปฏิบัติตามได้ง่าย เนื่องจากได้เน้นการใช้วัสดุอุปกรณ์ที่สามารถหาได้ง่ายในทุกพื้นที่ของประเทศไทย ด้วยต้นแบบนี้จะสามารถอนุรักษ์ดิน น้ำ ป่า ลดการบุกรุกเปิดป่าใหม่ ลดการการปนเปื้อนของสารพิษในดิน น้ำ เพิ่มพื้นที่อินทรีย์ รวมถึงการเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันด้านผลิตผลอินทรีย์ของประเทศไทยกับนานาประเทศโดยเฉพาะอาเซียนต่อไปในอนาคตอันใกล้นี้ได้อย่างทันท่วงที

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อทดสอบหาแนวทางและวิธีการในการลดระยะเวลาปรับเปลี่ยนการทำเกษตรจากระบบเกษตรเคมีสู่ระบบเกษตรอินทรีย์เพื่อเป็นการเพิ่มทางเลือกให้แก่เกษตรกรได้นำเทคนิคไปใช้ในการลดระยะเวลาปรับเปลี่ยนในพื้นที่เกษตร

2. เพื่อศึกษาวิธีในการบำบัด ฟื้นฟู สารพิษตกค้างในดิน และปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดินในระยะปรับเปลี่ยนจากระบบเกษตรเคมีสู่ระบบเกษตรอินทรีย์เพื่อสร้างองค์ความรู้และส่งผ่านความรู้สู่ชุมชนเกษตรในการนำไปใช้ปรับเปลี่ยนระบบการทำเกษตรต่อไป

จากวัตถุประสงค์ในการดำเนินการวิจัยดังกล่าวเบื้องต้น จำเป็นที่จะต้องมีการศึกษาถึงคุณสมบัติของดินในพื้นที่ที่จะทำการปรับเปลี่ยนเข้าสู่ระบบเกษตรอินทรีย์ โดยงานวิจัยนี้สามารถเชื่อมโยงนำมาปรับใช้เป็นแนวทางและวิธีการปรับเปลี่ยนดินในพื้นที่ทำการเกษตรดังกล่าว ให้มีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้ทำการเกษตรอินทรีย์มากที่สุด เพื่อเป็นทางเลือกสำหรับใช้ลดระยะเวลาในการปรับเปลี่ยนพื้นที่ทำการเกษตรจากระบบเกษตรเคมีสู่ระบบอินทรีย์ให้สั้นลง

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เกษตรกรสามารถนำแนวทางใหม่ที่ได้จากการวิจัยไปใช้กำหนดแนวทางการจัดการพื้นที่และการผลิตพืชที่แน่นอนและได้ผลประโยชน์สูงสุดในช่วงระยะเวลาการปรับเปลี่ยน ซึ่งอาจช่วยลดต้นทุนการผลิตและการจัดการพื้นที่ในการเตรียมความพร้อมสู่ระบบการเกษตรอินทรีย์

2. องค์ความรู้ที่ได้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาระบบการปรับเปลี่ยนการทำเกษตรอินทรีย์ และนอกจากนี้ยังสามารถส่งผ่านองค์ความรู้เกษตรอินทรีย์เพื่อสามารถสร้างชุมชนเกษตรอินทรีย์ที่ยั่งยืนต่อไป

เป้าหมายเชิงยุทธศาสตร์ของแผนงานวิจัย

1. ส่งเสริมความเข้มแข็งภาคการเกษตรและในด้านความมั่นคงของอาหารและพลังงาน
2. ส่งเสริมการสร้างศักยภาพและความสามารถเพื่อการพัฒนาทางเศรษฐกิจ
3. ส่งเสริมการสร้างมูลค่าของผลผลิตทางการเกษตรและมุ่งสู่การพัฒนาศักยภาพเพื่อการแข่งขัน

<u>ตารางที่ 1</u> เป้าหมายของผลผลิต (Output) และตัวชี้วัด

วัตถุประสงค์	ตัวชี้วัด
1) ผลของปุ๋ยเคมีต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของดินในระยะปรับเปลี่ยนระบบเกษตรอินทรีย์	- ข้อมูลระยะเวลาที่แน่ชัดที่จะไม่มีการตกค้างของปุ๋ยเคมีในดินหรือผลกระทบจากการใช้ปุ๋ยเคมีในพื้นที่ที่จะส่งผลต่อการผลิตพืชในระบบเกษตรอินทรีย์ โดยพิจารณาจากการตกค้างของปริมาณปุ๋ยเคมีที่มีการใช้ไปในรูปของปริมาณธาตุอาหารพืช (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม) และข้อมูลสมบัติเคมีบางประการและความหลากหลายทางชีวภาพของดินในช่วงระยะเวลา 1 ปี
2) ศึกษาผลของมูลไส้เดือนดิน และน้ำหมักมูลไส้เดือนดินที่ผลิตได้จากการย่อยสลายขยะอินทรีย์ของไส้เดือนดิน ต่อการย่อยสลายทางชีวภาพของสารพิษที่ตกค้างในดินกลุ่ม Organophosphates และPyrethroids	- ข้อมูลวิธีการใช้และประสิทธิภาพของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน และน้ำหมักมูลไส้เดือน ต่อร้อยละการสลายตัวของปริมาณสารพิษที่ตกค้างอยู่ในดินกลุ่ม Organophosphates และ Pyrethroids ในช่วงระยะเวลาที่ 0 วัน 7 วัน 15 วัน 30 วัน และ 60 วัน
3) ศึกษาผลของ ชนิดของดิน ระดับความชื้น และระดับของอินทรียวัตถุในดินร่วมกับการใช้ปุ๋ยอินทรีย์และเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซ่าต่อการเปลี่ยนแปลงของสมบัติทางชีวเคมี เคมี และฟิสิกส์ของดินในช่วงการปรับเปลี่ยนสู่ระบบเกษตรอินทรีย์	- ข้อมูลพลวัติของอินทรียวัตถุในดินและสมบัติทางเคมี ฟิสิกส์ ชีววิทยา และชีวเคมีในดิน ในช่วงระยะปรับเปลี่ยนจากเกษตรเคมีสู่ระบบเกษตรอินทรีย์

ตารางที่ 2 เป้าหมายของผลลัพธ์ (Outcome) และตัวชี้วัด

ตัวชี้วัด	ผลลัพธ์
1) ข้อมูลระยะเวลาที่แน่ชัดที่จะไม่มีการตกค้างของปุ๋ยเคมีในดินหรือผลกระทบจากการใช้ปุ๋ยเคมีในพื้นที่ที่จะส่งผลต่อการผลิตพืชในระบบเกษตรอินทรีย์ โดยพิจารณาจากการตกค้างของปริมาณปุ๋ยเคมีที่มีการใช้ไปในรูปของปริมาณธาตุอาหารพืช (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม) และข้อมูลสมบัติเคมีบางประการและความหลากหลายทางชีวภาพของดิน 2) ข้อมูลวิธีการใช้และประสิทธิภาพของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน และน้ำหมักมูลไส้เดือนต่อร้อยละการสลายตัวของปริมาณสารพิษที่ตกค้างอยู่ในดินกลุ่ม Organophosphates และ Pyrethroids ในช่วงระยะเวลาที่ 0 วัน 7 วัน 15 วัน 30 วัน และ 60 วัน 3) ข้อมูลพลวัติของอินทรียวัตถุในดินและสมบัติทางเคมี ฟิสิกส์ ชีววิทยา และชีวเคมีในดิน ในช่วงระยะปรับเปลี่ยนจากเกษตรเคมีสู่ระบบเกษตรอินทรีย์	1) การส่งผ่านความรู้สู่เกษตรกร หน่วยงานหรือบริษัทเอกชนที่สนใจลงทุนผลิตพืชอินทรีย์ หรือผลิตภัณฑ์อินทรีย์ ในระยะเริ่มปรับเปลี่ยน 1-3 ปี สามารถเริ่มโครงการได้ตามแผนงานภายในระยะเวลา 1 ปี เพิ่มโอกาสการลงทุน และลดการสูญเสียโอกาสในตลาดอินทรีย์ 2)เกษตรกรสามารถนำแนวทางใหม่ที่ได้จากการวิจัยไปใช้กำหนดแนวทางการจัดการพื้นที่และการผลิตพืชที่แน่นอนและได้ผลประโยชน์สูงสุดในช่วงระยะเวลาการปรับเปลี่ยน ซึ่งอาจช่วยลดต้นทุนการผลิตและการจัดการพื้นที่ในการเตรียมความพร้อมสู่ระบบการเกษตรอินทรีย์

กรอบแนวคิดของแผนงานวิจัย

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม โดยมีพื้นที่ทำการเกษตรส่วนใหญ่เป็นระบบเกษตรเคมี รองลงมาคือ เกษตรอินทรีย์ และมีบางส่วนอยู่ในระยะที่ปรับเปลี่ยนระบบการทำการเกษตรเคมีไปสู่ระบบเกษตรอินทรีย์ แต่มักประสบปัญหาการปนเปื้อนสารพิษตกค้างในดินในปริมาณที่สูง และดินขาดความอุดมสมบูรณ์ ซึ่งในระยะปรับเปลี่ยนจะมีการหยุดการใช้ปุ๋ยเคมี ส่งผลให้ผลผลิตที่ได้ในช่วง 1-3 ปีแรก มีคุณภาพต่ำและไม่คุ้มค่าต่อการลงทุน รวมถึงอัตราการย่อยสลายของสารพิษในดินต่ำเมื่อปล่อยให้ย่อยสลายเองตามธรรมชาติ ในขณะที่ประเทศไทยนั้นสามารถทำเกษตรได้ตลอดปี เนื่องจากมีปัจจัยต่างๆ เช่น สภาพอากาศ น้ำฝน เป็นต้น ในปริมาณที่มากพอต่อการนำมาใช้ทำการเกษตร แต่ขาดองค์ความรู้และการจัดการที่เหมาะสมต่อการทำการเกษตรอินทรีย์ในระยะปรับเปลี่ยนทำให้ผลผลิตที่ได้มีคุณภาพต่ำและมีต้นทุนในการปรับปรุงคุณภาพดินที่สูง จึงนับว่าเป็นทำอุปสรรคสำคัญในการเริ่มต้นของระบบเกษตรอินทรีย์ดังกล่าว

ดังนั้นหากมีแนวทางในการจัดการปรับเปลี่ยนหรือปรับปรุงดินก่อนเริ่มการเพาะปลูก น่าจะเป็นแนวทางสำหรับการแก้ปัญหาดังกล่าวแผนงานงานวิจัยนี้มีความประสงค์จะศึกษาในส่วนของ ในด้านอิทธิพลของปุ๋ยเคมีต่อการเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหารพืช (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม) และความหลากหลายทางชีวภาพ ในดินในช่วงระยะเวลาการปรับเปลี่ยนไปสู่ระบบเกษตรอินทรีย์ในช่วงระยะเวลา 1 ปี โดยข้อมูลระยะเวลาที่แน่ชัดจะไม่มีการตกค้างของปุ๋ยเคมีในดินหรือผลกระทบของการใช้ปุ๋ยเคมีในพื้นที่ที่จะส่งผลต่อการผลิตพืชในระบบเกษตรอินทรีย์ โดยพิจารณาจากการตกค้างของปริมาณปุ๋ยเคมีที่มีการใช้ไปในรูปแบบของปริมาณธาตุอาหารพืช (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม) และข้อมูลสมบัติเคมีบางประการและความหลากหลายทางชีวภาพของดินในช่วงระยะเวลา 1 ปี และทำการศึกษาผลของมูลไส้เดือนดินและน้ำหนักมูลไส้เดือนดินที่ผลิตได้จากการย่อยสลายทางชีวภาพของสารพิษตกค้างในดินของกลุ่ม Organophosphates และ Pyrethroids ข้อมูลและวิธีการใช้และประสิทธิภาพของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน และน้ำหมักมูลไส้เดือนดิน ต่อร้อยละการสลายตัวของปริมาณสารพิษที่ตกค้างอยู่ในดินกลุ่ม Organophosphates และ Pyrethroids ในช่วงระยะเวลาที่ 0 วัน 7 วัน 15 วัน 30 วัน และ 60 วัน

และศึกษาในส่วนของการปรับปรุงเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน ในด้านผลของ ชนิดของดิน ระดับความชื้น และระดับของอินทรียวัตถุในดินร่วมกับการใช้ปุ๋ยอินทรีย์และเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซ่าต่อการเปลี่ยนแปลงของสมบัติทางชีวเคมี เคมี และฟิสิกส์ของดินในช่วงการปรับเปลี่ยนสู่ระบบเกษตรอินทรีย์ โดยข้อมูลพลวัตของอินทรียวัตถุในดินและสมบัติทางเคมี ฟิสิกส์ ชีววิทยา และชีวเคมีในดินในช่วงระยะเวลาปรับเปลี่ยนจากเกษตรเคมีสู่ระบบเกษตรอินทรีย์

ทั้งนี้เกษตรกรสามารถนำแนวทางใหม่ที่ได้จากวิจัยไปใช้ในการบำบัดฟื้นฟูและปรับปรุงดินในช่วงระยะเวลาปรับเปลี่ยน 1-3 ปีแรกของการผลิตในระบบเกษตรอินทรีย์ ซึ่งสามารถจัดการลดการปนเปื้อนและเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ได้ ในระยะเวลาตามแผนการที่ได้กำหนดหรือเร็วกว่าแผนที่วางไว้ แนวทางการจัดการที่มีประสิทธิภาพ ใช้ต้นทุนต่ำและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม จากการวิจัยนี้จะนำไปสู่การเพิ่มจำนวนฟาร์มในระบบเกษตรอินทรีย์มากขึ้นอย่างเป็นรูปธรรมในอนาคต

<u>กลุ่มที่ 1</u> การวิจัยด้านปริมาณการตกค้างของปุ๋ยเคมีที่มีผลต่อเนื้อดิน ปริมาณอินทรียวัตถุในดินและปริมาณธาตุอาหารพืช ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของดินในพื้นที่ทำการเกษตร ที่มีการหยุดใช้ปุ๋ยเคมีไปแล้ว 1 ปี

<u>โครงการย่อยที่ 1</u> ผลของปุ๋ยเคมีต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของดินในระยะปรับเปลี่ยนระบบเกษตรอินทรีย์

<u>กลุ่มที่ 2</u> การวิจัยและพัฒนาหาแนวทางการลดระยะเวลาปรับเปลี่ยนพื้นที่ทำการเกษตรจากระบบการทำเกษตรเคมีไปสู่ระบบเกษตรอินทรีย์

<u>โครงการย่อยที่ 2</u> การศึกษาเทคนิคการเพิ่มอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพของสารพิษตกค้างในดินเพื่อลดระยะเวลาการปรับเปลี่ยนสู่ระบบเกษตรอินทรีย์โดยการใช้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินและน้ำหมักมูลไส้เดือนดิน

<u>กลุ่มที่ 3</u> การวิจัยและพัฒนาหาแนวทางในปรับปรุงสมบัติของดิน ในด้านความอุดมสมบูรณ์เพื่อให้เหมาะแก่การนำไปใช้ปรับปรุงดินพื้นที่ที่จะปรับเปลี่ยนสู่ระบบเกษตรอินทรีย์

<u>โครงการย่อยที่ 3</u> การจัดการปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาปรับปรุงดินในระยะปรับเปลี่ยนเพื่อเข้าสู่ระบบเกษตรอินทรีย์

แผนการบริหารแผนงานวิจัยและแผนการดำเนินงาน
พร้อมทั้งขั้นตอนการดำเนินงานตลอดแผนงานวิจัย และโปรดระบุการบริหารความเสี่ยง

ระยะที่ 1 : ทบทวนเอกสารและร่างแบบเสนอโครงการวิจัย

1. ศึกษา ค้นคว้าและรวบรวมข้อมูลงานวิจัย หนังสือต่างๆที่เกี่ยวกับเนื้อหาของโครงการ
2. ตั้งโจทย์ปัญหา และออกแบบวางแผนทดลองและการวิจัยร่วมกับนักศึกษาและเกษตรกรที่มีส่วนร่วมในโครงการ
3. วางแผนการดำเนินงาน และขออนุมัติโครงการวิจัย

ระยะที่ 2 : ระยะศึกษาและทดลอง (ตุลาคม 2558 – กันยายน 2559)

ทำการทดลอง บันทึกผลการทดลอง โดยแบ่งการทดลองตามแผนการทดลองของแต่ละโครงการย่อย จำนวน 3 โครงการ ดังนี้

<u>โครงการย่อยที่ 1</u> ผลของปุ๋ยเคมีต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของดินในระยะปรับเปลี่ยนระบบเกษตรอินทรีย์

<u>โครงการย่อยที่ 2</u> การศึกษาเทคนิคการเพิ่มอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพของสารพิษตกค้างในดินเพื่อลดระยะเวลาการปรับเปลี่ยนสู่ระบบเกษตรอินทรีย์โดยการใช้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินและน้ำหมักมูลไส้เดือนดิน

<u>โครงการย่อยที่ 3</u> การจัดการปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาปรับปรุงดินในระยะปรับเปลี่ยนเพื่อเข้าสู่ระบบเกษตรอินทรีย์

แผนและขั้นตอนการดำเนินการ

ระยะเวลาที่ทำการวิจัย ตั้งแต่เดือน ตุลาคม 2558 – เดือนกันยายน 2559 รวมเวลาวิจัย1 ปี

สถานที่ทำการวิจัย

1. ศูนย์วิจัยและพัฒนาไส้เดือนดิน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่
2. อาคารปฏิบัติการทางดินและปุ๋ยชั้นสูง คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่
3. สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตร เขต 1 จังหวัดเชียงใหม่
4. แปลงทดลองปลูกพืชในระบบเกษตรเคมีของเกษตรในจังหวัดเชียงใหม่

ตารางที่ 3 แผนการบริหารแผนงานวิจัยและแผนการดำเนินงาน พร้อมทั้งขั้นตอนการดำเนินงานตลอดแผนงานวิจัยและโปรดระบุการบริหารความเสี่ยง

กิจกรรม/เวลา	ปีงบประมาณ 2558												ปีงบประมาณ 2559											
	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค	ก.พ	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค	ส.ค	ก.ย	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค	ก.พ	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค	ส.ค	ก.ย
1. ผลของปุ๋ยเคมีต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของดินในระยะปรับเปลี่ยนระบบเกษตรอินทรีย์													←								→			
2. การศึกษาเทคนิคการเพิ่มอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพของสารพิษตกค้างในดินเพื่อลดระยะเวลาการปรับเปลี่ยนสู่ระบบเกษตรอินทรีย์โดยการใช้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินและน้ำหมักมูลไส้เดือนดิน													←								→			
3. การจัดการปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาปรับปรุงดินในระยะปรับเปลี่ยนเพื่อเข้าสู่ระบบเกษตรอินทรีย์													←								→			
4. สรุปผลการดำเนินงาน และกำหนดแนวทางการใช้องค์ความรู้ที่ได้ไปสู่การทดลองใช้กับแปลงปลูกพืชในปีที่ 2																								
5. สรุปผลการเนินงาน ในปีที่ และกำหนด 2 วิธีการในการประยุกต์การใช้องค์ความรู้ที่ได้ไปสู่การปลูกพืชจริงในระยะปรับเปลี่ยนสู่ระบบเกษตรอินทรีย์ของเกษตรกร																								
หมายเหตุ	ระดับห้องปฏิบัติการ												ระดับแปลงปลูกของเกษตรกร (ส่งเสริมการนำไปใช้จริง)											

กลยุทธ์ของแผนงานวิจัย

กลยุทธ์การวิจัยของแผนงานวิจัย

บริหารจัดการและการใช้ประโยชน์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน

แผนงานวิจัย

วิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาองค์ความรู้ด้านความหลากหลายทางชีวภาพและการใช้ประโยชน์ความหลากหลายทางชีวภาพอย่างยั่งยืน

ระยะเวลา และสถานที่ทำการวิจัย

ระยะเวลาแผนงานวิจัย เริ่มปีงบประมาณ 2558
สิ้นสุดแผนงานวิจัย ปีงบประมาณ 2559
(ปีแรกของการเสนอแผนงานวิจัย)

สถานที่ทำการวิจัย
1. ศูนย์วิจัยและพัฒนาไส้เดือนดิน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่
2. อาคารปฏิบัติการทางดินและปุ๋ยชั้นสูง คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่
3. สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตร เขต 1 จังหวัดเชียงใหม่
4. แปลงทดลองปลูกพืชในระบบเกษตรเคมีของเกษตรในจังหวัดเชียงใหม่

ผลสำเร็จและความคุ้มค่าของการวิจัยตามแผนการบริหารงาน และแผนการดำเนินงานตลอดแผนงานวิจัย

* G (Goal results)

1) องค์ความรู้ แนวทาง และวิธีการการจัดการที่เหมาะสมต่อการบำบัดฟื้นฟูดินที่ปนเปื้อนปุ๋ยเคมีและสารพิษในดิน และการปรับปรุงดิน ในระยะปรับเปลี่ยนจากเกษตรเคมีสู่ระบบเกษตรอินทรีย์

* P(Preliminary results)

1) ทางเลือกใหม่ของเกษตรกรในบำบัดฟื้นฟูและปรับปรุงดินเพื่อการทำเกษตรอินทรีย์ในระยะปรับเปลี่ยนจากเกษตรเคมีสู่ระบบเกษตรอินทรีย์

*P (Preliminary results)

1) เผยแพร่ความรู้สู่ชุมชนเกษตรในการผลิตพืชอินทรีย์ ในระยะปรับเปลี่ยนสู่เกษตรอินทรีย์ โดยสามารถวางแผนการจัดการปัจจัยแวดล้อมในเรื่องการกำจัดสารเคมีตกค้างในดิน และการจัดการปรับปรุงเพิ่มธาตุอาหารพืชในดิน อย่างเต็มรูปแบบและได้ผลตามมาตรฐานที่กำหนดในระยะเวลา 1 ปี

การตรวจเอกสาร

เกษตรอินทรีย์ (Organic farming) คือ ระบบการเกษตร (Farming System) ทางเลือกที่หลีกเลี่ยงการใช้สารสังเคราะห์ไม่ว่าจะเป็นปุ๋ยเคมี สารเคมีกำจัดศัตรูพืชและฮอร์โมนต่างๆ ที่กระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชและสัตว์ เน้นการใช้อินทรียวัตถุ เช่น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสดและปุ๋ยชีวภาพในการปรับปรุงดิน เพราะฉะนั้นถ้าเกษตรกรที่เคยทำการผลิตพืชโดยใช้ปุ๋ยเคมีติดต่อเป็นเวลานานต้องการเปลี่ยนไปสู่ระบบเกษตรอินทรีย์ อาจต้องอาศัยระยะเวลาปรับเปลี่ยนตั้งแต่ 12-36 เดือน เพื่อไม่ให้มีการตกค้างของปุ๋ยเคมีที่จะส่งผลกระทบต่อการทำการเกษตรอินทรีย์ในอนาคต ซึ่งในช่วงนี้เกษตรกรสามารถทำการเพาะปลูกหรือทำการผลิตได้ตามปกติ แต่จะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ และผลผลิตที่ได้ก็ไม่สามารถใช้ตรารับรองมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ได้ แต่สำหรับประเทศไทยซึ่งมีสภาวะแวดล้อมที่ส่งผลต่อการสูญเสียธาตุอาหารพืชส่วนใหญ่ไปอย่างรวดเร็วโดยเฉพาะปัจจัยทางด้านอุณหภูมิที่สูงและปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อปีเนื่องจากประเทศไทยอยู่ในเขตร้อนซึ่งทำให้กระบวนการทางชีวเคมีในดินเกิดขึ้นได้มากกว่าในเขตอบอุ่นและเขตหนาว ซึ่งปัจจัยเหล่านี้น่าจะส่งผลให้ระยะเวลาในการปรับเปลี่ยนไปสู่เกษตรอินทรีย์สั้นกว่า

เกษตรอินทรีย์เป็นระบบการผลิตทางการเกษตรทางเลือกที่หลีกเลี่ยงการใช้สารสังเคราะห์ไม่ว่าจะเป็นปุ๋ยเคมี สารเคมีกำจัดศัตรูพืชและฮอร์โมนต่างๆ ที่กระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชและสัตว์ ตลอดจนไม่ใช้พืชหรือสัตว์ที่เกิดจากการตัดต่อทางพันธุกรรมที่อาจเกิดมลพิษในในสภาพแวดล้อม เน้นการใช้อินทรียวัตถุ เช่น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสด และปุ๋ยชีวภาพในการปรับปรุงดินให้มีความอุดมสมบูรณ์ การปลูกพืชหมุนเวียน รวมทั้งใช้หลักการควบคุมศัตรูพืชโดยชีวภาพ และเน้นการรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดิน (Wookey, 1987) คำนิยามเกี่ยวกับเกษตรอินทรีย์ที่ได้รับการยอมรับกันแพร่หลาย ได้แก่ คำนิยามของสหพันธ์เกษตรอินทรีย์นานาชาติ (International Federation of Organic Agriculture Movements; IFOAM) ซึ่งได้ให้ความหมายของเกษตรอินทรีย์ไว้ว่า “ระบบเกษตรที่ผลิตอาหารและเส้นใยด้วยความยั่งยืนทางสิ่งแวดล้อม สังคมและเศรษฐกิจ โดยเน้นที่หลักการปรับปรุงดิน การเคารพต่อศักยภาพทางธรรมชาติของพืช สัตว์ และนิเวศการเกษตร เกษตรอินทรีย์จึงลดการใช้ปัจจัยการผลิตจากภายนอก และหลีกเลี่ยงการใช้สารเคมีสังเคราะห์ เช่น ปุ๋ย สารกำจัดศัตรูพืช และเวชภัณฑ์สำหรับสัตว์ แต่ในขณะเดียวกันก็พยายามประยุกต์ใช้ธรรมชาติในการเพิ่มผลผลิต และพัฒนาความต้านทานต่อโรคของพืช และสัตว์เลี้ยง” (อานัฐ, 2548)

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อินทรีย์จะต้องได้รับการตรวจสอบรับรองจากองค์กรหรือหน่วยงานที่เชื่อถือได้ โดยผ่านการตรวจรับรองมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ ซึ่งครอบคลุมตั้งแต่การผลิต การจัดการ การบรรจุ

ผลิตภัณฑ์ และการขนส่งแบบครบวงจรและผลิตภัณฑ์ก่อนถึงมือผู้บริโภค ประเทศไทยในฐานะที่เป็นประเทศที่ส่งออกสินค้าเกษตรรายใหญ่ของโลก จึงต้องมีการปรับเปลี่ยนรูปแบบการเกษตรจากที่มีการใช้สารเคมีและปุ๋ยเคมีมานาน เพื่อรองรับความต้องการของสินค้าเกษตรอินทรีย์ในตลาดโลก โดยประเทศไทยได้เริ่มกำหนดมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ในปี พ.ศ. 2541 ภายใต้การดำเนินงานของสำนักงานมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ (มกท.) Organic Agriculture Certification Thailand (ACT) ซึ่งได้กำหนดให้เกษตรกรต้องผ่าน ***ระยะปรับเปลี่ยน*** ซึ่งผู้ผลิตต้องปฏิบัติตาม ในกรณีการผลิตพืชล้มลุก (ผัก และพืชไร่) ช่วงระยะปรับเปลี่ยน 12 เดือน ในกรณีเป็นการผลิตไม้ยืนต้นอาจใช้เวลาปรับเปลี่ยน 18 เดือน แต่ในกรณีผลิตเพื่อส่งออกไปสหภาพยุโรป พืชล้มลุกมีระยะปรับเปลี่ยน 24 เดือน และพืชยืนต้นมีระยะปรับเปลี่ยน 36 เดือน (สำนักงานมาตรฐานเกษตรอินทรีย์, 2555)

ระยะปรับเปลี่ยนที่นานตั้งแต่ 24-36 เดือน ใช้เพื่อเป็นตัวชี้วัดถึงการที่ไม่มีผลกระทบจากการตกค้างของสารเคมีหรือปุ๋ยเคมีในดิน แต่ในประเทศไทยซึ่งมีสภาพแวดล้อมที่เอื้อต่อการสูญเสียไปของธาตุอาหารพืชในดินที่ได้รับจากการใส่ปุ๋ยเคมี อาจทำให้มีการสูญเสียของธาตุอาหารพืชไปในระยะเวลาที่สั้นกว่า อุณหภูมิโดยเฉลี่ยของประเทศไทยประมาณ 27 ^{0}C แต่จะมีอุณหภูมิค่อนข้างสูงในช่วงฤดูร้อนตั้งแต่กลางเดือนกุมภาพันธ์ ถึงกลางเดือนพฤษภาคม โดยเฉลี่ยประมาณ 35-40 ^{0}C ในขณะที่ปริมาณน้ำฝนโดยเฉลี่ย (ระหว่างปี 2503-2546) ประมาณ 1,618 มิลลิเมตรต่อปี (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2555) ซึ่งปัจจัยต่างๆเหล่านี้ล้วนแต่เป็นตัวเร่งให้มีการสูญเสียธาตุอาหารพืชไปจากดินอย่างรวดเร็ว ดังนั้นในด้านสมบัติทางเคมีของดินที่เกิดจากจากปุ๋ยเคมีตกค้างที่จะส่งผลต่อระบบเกษตรอินทรีย์หลังจากผ่านระยะปรับเปลี่ยนไปแล้วน่าจะเกิดขึ้นได้น้อยหรืออาจจะไม่ส่งผลกระทบ ถึงแม้ว่าระยะเวลาปรับเปลี่ยนอาจจะไม่ครบตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้

การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีในดิน

ผลของปุ๋ยเคมีต่อดินไม่สามารถเห็นได้ในทันทีเนื่องจากสมบัติความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลง (Buffering capacity) ของดินสูง ซึ่งผลจากการใช้ปุ๋ยเคมีต่อดินจะถูกพิจารณาจากสภาพมลพิษในดิน (Pollution) การลดลงของความอุดมสมบูรณ์ของดิน การเสื่อมสภาพของดิน (Soil degradation) ที่จะนำไปสู่การเสียสมดุลของธาตุต่างๆที่จะเกิดขึ้นในดิน โครงสร้างของดิน (Soil texture) เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญที่จะเป็นตัวชี้วัด โดยเฉพาะเมื่อมีการใช้ปุ๋ยต่างๆ เหล่านี้ $NaNO_3$, NH_4NO_3, KCl, K_2SO_4และ NH_4Cl ซึ่งจะทำลายโครงสร้างของดินที่จะนำไปสู่การไม่ได้ซึ่งผลผลิตสูงสุด ปุ๋ยที่มีปริมาณสูงของ Na และ K ส่งผลทางลบต่อดินในส่วนของ pH ของดิน การทำลายโครงสร้างของดินและการเพิ่มความเป็นกรด นอกจากนี้การใช้ปุ๋ยเคมี N ในรูปที่เป็นกรดทำให้ pH ของดินลดลง (Savci, 2012) สอดคล้องกับการศึกษา

ของ Nurhidayati *et al.* (2013) ที่พบว่าการใช้ปุ๋ย Ammonium Sulfate($(NH_4)2SO_4$) ทำลายโครงสร้างของดิน โดยส่งผลให้ความหนาแน่นรวมของดินลดลง (Bulk density) แต่เพิ่มปริมาณของ Total N และ SO_4^{2-} ในดิน หลังจากการปลูกอ้อยตอ (Ratoon cane) ซึ่งการปลูกอ้อยตอในดินที่อาศัยธาตุอาหารพืชจากการตกค้างของปุ๋ย Ammonium Sulfate ให้ผลทางบวกต่อสมบัติของดินและการผลผลิตของอ้อยตอในด้านความหวานและผลผลิตรวม ซึ่งปริมาณของ SO_4^{2-} และ Total N ถือเป็นสมบัติของดินที่สำคัญที่มีผลต่อผลผลิตและความหวานของอ้อยตอ จากการศึกษาได้ชี้ให้เห็นว่าการอาศัยผลตกค้างของปุ๋ย Ammonium Sulfate ในการให้ผลผลิตของอ้อยตอช่วยลดผลกระทบจากการตกค้างของปุ๋ย Ammonium Sulfate และรักษาคุณภาพของดินไว้ได้

ไนโตรเจน (N) ในดินสามารถสูญเสียไปจากดินได้โดยหลายกระบวนการด้วยกัน อาจจะเกิดจากไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของไนเตรท (NO_3^-) ถูกชะล้าง (Leaching) หรือถูกพัดพาโดยการกัดกร่อนของดิน (Erosion) และการไหลบ่าบนผิวหน้าดิน (Run off) โดยน้ำฝนหรือสูญเสียโดยผ่านกระบวนการดีไนตริฟิเคชั่น (Denitrification) และกระบวนการระเหย (Volatilization) ซึ่งถูกเร่งโดยอุณหภูมิที่สูงของดิน (Figure1) นอกจากนี้ N ยังถูกปลดปล่อยออกมาจากอินทรียวัตถุที่มีอยู่ในดินด้วยอัตราเร็วและปริมาณที่แตกต่างกันออกไปโดยขึ้นอยู่กับชนิดของอินทรียวัตถุ (นงลักษณ์ และวีณา, 2557) หรือบางส่วนเกิดขึ้นเนื่องจากกิจกรรมของสิ่งมีชีวิตในดิน เช่น ไส้เดือน ซึ่งทำให้เกิดขุยไส้เดือนดินที่มี N อยู่ในรูปที่พืชพร้อมใช้ แต่จะสูญเสียไปจากดินอย่างรวดเร็ว (วีณา, 2556, 2557) อาจโดยการชะล้างหรือการนำกลับไปใช้โดยสิ่งมีชีวิตในดินประเภทอื่นๆ เช่น จุลินทรีย์ดิน

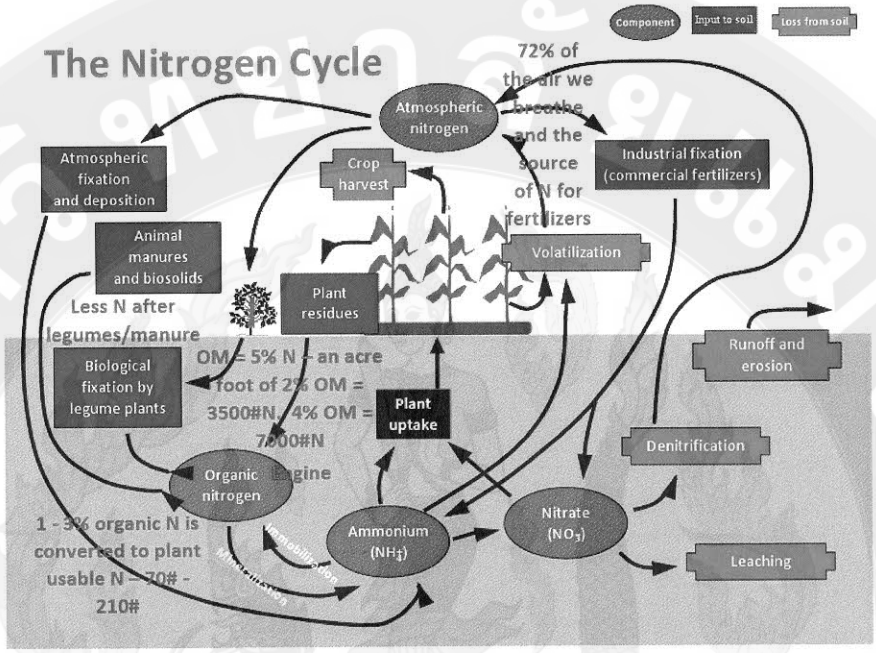
ส่วนของ N ที่เกิดจากการใช้ปุ๋ยเคมี ส่งเสริมให้มีการสะสมของNO_3^-ซึ่งบางส่วนถูกชะล้างลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติหรือชลประธานทำให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม โดยจะมีการเคลื่อนที่จากดินบนสู่ดินล่างและไปสู่แหล่งน้ำใต้ดินโดยกระบวนการชะละลายซึ่งเกิดขึ้นได้ง่ายในดินเนื้อหยาบ จุลินทรีย์จะทำหน้าที่เปลี่ยนปุ๋ยไนโตรเจนที่ใส่ลงไปในดินผ่านกระบวนการ Nitrification ที่จะเปลี่ยนปุ๋ย N ไปอยู่ในรูป NO_3^- ซึ่งเป็นประจุลบง่ายต่อการถูกชะล้างไปจากดิน พืชใช้เพียง 50% ของปุ๋ยไนโตรเจนที่ใส่ลงไปในขณะที่ 2-20% สูญเสียไปโดยกระบวนการระเหย และ 15-20% เปลี่ยนไปอยู่ในรูปอินทรีย์ไนโตรเจนซึ่งพืชไม่สามารถนำไปใช้ได้ เหลือประมาณ 2-10% ที่คงเหลือบริเวณผิวดินและเคลื่อนที่ไปสู่แหล่งน้ำใต้ดิน (Savci, 2012) ได้มีการศึกษาผลตกค้างของ NO_3^- ในดินที่มีการปลูกกล้วยในประเทศอินเดียซึ่งมีการใช้ปุ๋ย N ปริมาณมาก

และติดต่อกันเป็นเวลานาน พบว่ามีปริมาณ NO_3^--N 63-81 มก.ต่อกก. สะสมอยู่ในดินโดยปริมาณการสะสมของ NO_3^--N จะลดลงเมื่อความลึกของดินเพิ่มถึง 40 ซม. (Khatic*et al.*, 2011)

จากการศึกษาในประเทศตุรกีที่มีการใช้ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต ($(NH_4)_2SO_4$) ในการปลูกชาส่งผลความเป็นกรดของดินเพิ่มขึ้นในปัจจุบัน 85% ของดินในเขตนี้มีค่า pHต่ำกว่า 4ในขณะที่พื้นที่ใกล้เคียงได้ใช้ปุ๋ย N ติดต่อกันมามากกว่า 25 ปี ในการปลูกมันฝรั่งทำให้ pH มีค่าลดลงไปที่ 2 นอกจากนี้ส่งผลกระทบต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่สามารถตรึง N ได้ เช่น Rhizobium sp. และยังไปจำกัดกิจกรรมของจุลินทรีย์พวก Nitrifying bacteria ด้วย (Topbas*et al.*, 1998) นอกจากนี้การที่ดินมีความสามารถในการดูดซึม (adsorption capacity) ต่ำทำให้มีการสูญเสีย N ไปในรูป NO_3^-ได้ง่ายโดยการสูญเสียจะขึ้นอยู่กับปริมาณการสะสมในดินและการไหลของน้ำ (Yuan and Wang, 2000) จากการศึกษาโดยการใช้ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) แบบธรรมดากับแบบละลายช้า (coat urea) อัตรา 75 และ 150 กก.ต่อเฮกตาร์ ร่วมกับการให้น้ำ 2 แบบ คือ ให้น้ำ 80 มม. ในระยะที่เริ่มแตกเม็ดบนฝักข้าวโพดและไม่ให้น้ำ พบว่าการใช้ปุ๋ย N ละลายช้าทำให้ปริมาณ N ในดินที่ความลึก 0-40 ซม. มีมากกว่าในดินที่ระดับล่างเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยยูเรียธรรมดา นอกจากนี้น้ำจะเพิ่มการสูญเสียของ NO_3^-ไปจากดินเมื่อมีการใส่ปุ๋ยยูเรียธรรมดามากกว่าแบบละลายช้าซึ่งพบว่ามี recovery efficient สูงกว่า (Ning*et al.*, 2012)

นอกจากนี้มีการศึกษาพบว่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) ในดิน อินทรียวัตถุและโพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K) ในดินลดลงเมื่อมีการใช้ปุ๋ยเคมีติดต่อกันเป็นระยะเวลานานในระบบการปลูกพืชหมุนเวียนข้าวสาลีและข้าวในประเทศบังคลาเทศเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยอินทรีย์มูลไก่และปุ๋ยคอก (Bodruzzaman *et al.*, 2010) แต่กลับมีการศึกษาพบว่าผลตกค้างจากการใช้ปุ๋ยเคมีสามารถถูกนำไปใช้ในการเจริญเติบโตของพืชได้ โดยมีการทดลองเปรียบเทียบการให้ผลผลิตและการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังในดินที่เคยมีการใช้ปุ๋ยเคมีกับผลผลิตและการเจริญเติบโตที่เกิดจากการปลูกซ้ำในพื้นที่เดิมแต่ไม่ใส่ปุ๋ยเคมีเพิ่มเติมลงไปเพื่อให้พืชดูดใช้ธาตุอาหารที่เป็นผลตกค้างอยู่ในดินจากการใช้ปุ๋ยเคมีก่อนหน้านี้ ผลการทดลองพบว่าผลตกค้างของปุ๋ย NPKในดินส่งผลให้น้ำหนักหัวของมันสำปะหลังมีมากกว่าตำรับควบคุมซึ่งไม่มีการใส่ปุ๋ยเคมีเล็กน้อย ซึ่งเห็นได้ว่าผลตกค้างจากการใช้ปุ๋ยเคมีเกือบจะไม่มีผลต่อการให้ผลผลิตและการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังในดิน Alfisolsในเขตร้อนทางตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศไนจีเรียเลย ในขณะที่ผลตกค้างจากการใช้ปุ๋ยผสมระหว่างปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมี (Organo-mineral Fertilizer; OF) อัตรา 2.5-6.0 ตันต่อเฮกตาร์ สามารถให้ผลผลิตใกล้เคียงกับผลผลิตที่เกิดจากการใช้ปุ๋ย OF ก่อนที่จะทำการปลูกเพื่อศึกษาผลตกค้างดังกล่าว (Edet*et al.*, 2013) มีการศึกษาผลจากปุ๋ยเคมีตกค้างต่อการเจริญเติบโตของและให้ผลผลิตของข้าวในพื้นที่ที่มีการปลูกถั่วเขียวเป็นปุ๋ยพืชสดร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีและพื้นที่ที่อาศัยผลตกค้างจากการใช้ปุ๋ยเคมี ผลการทดลองพบว่าปริมาณการสะสมของ N ที่เป็นประโยชน์ต่อ

พืช P และ K ในดินที่มีการปลูกถั่วเขียวร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีสูงกว่าที่อาศัยผลตกค้างจากการใช้ปุ๋ยเคมี (Rama Lakshmi *et al.*, 2014)



ภาพที่ 1 Nitrogen cycle.

(Hofman and Cleemput, 2004)

ฟอสฟอรัสในดินสามารถสูญเสียไปจากดินโดยการตรึง โดยเฉพาะในดินที่เป็นกรดซึ่งเป็นลักษณะดินที่พบมากในประเทศไทย เมื่อมีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสลงดิน ส่วนฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้ง่ายจะทำปฏิกิริยากับแร่ธาตุต่างๆ ในดินอย่างรวดเร็ว เกิดเป็นสารประกอบต่างๆ ส่วนฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้ง่ายจะทำปฏิกิริยากับแร่ธาตุต่างๆในดินอย่างรวดเร็ว เกิดเป็นสารประกอบที่ลายน้ำยาก ซึ่งไม่สามารถเอาไปใช้ได้หรืออาจใช้ได้น้อย (Phosphate fixation) ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพดิน(Barrow,1974) ฟอสเฟตอาจถูกตรึงถึง 80-90% อยู่ในดิน สารประกอบที่เกิดขึ้นจากการตกตะกอน (Precipitation) ส่วนใหญ่จะอยู่ใน Octa-cacium phosphate, Hydroxyl apatite และ Variscite หรืออาจเกิดเป็นสารประกอบ $CaNH_4PO_4.H_2O$ มีการศึกษาพบว่าการสะสมของ cacium phosphate, Hydroxyl apatite, Variscite และ $CaNH_4PO_4.H_2O$ อยู่บนอนุภาคทราย (Sanchez, 2007) ซึ่งสามารถถูก leaching ได้ง่าย ในส่วนของโพแทสเซียมสามารถสูญเสียไปได้ง่ายโดยการชะล้าง โดยเฉพาะในดินเนื้อหยาบ การสูญเสีย K จากการกร่อนของดินโดยน้ำกัดเซาะสามารถมีมากถึง 150 กก. ต่อเฮกตาร์ ในพื้นที่เพาะปลูกในสหรัฐ (เขตร้อนชื้น) และ 233 กก. ต่อเฮกตาร์ในดินป่าไม้บนที่สูงชันที่ถูกแผ้ว

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ถางเพื่อทำการเกษตร การสูญเสียโพแทสเซียมในน้ำไหลบ่าในพื้นที่ลูกคลื่นที่มีการปลูกอ้อยในเขต อ.เขาสวนกวาง พบว่ามีการสูญเสียโพแทสเซียมในน้ำไหลบ่ามากกว่าในตะกอนดิน โดยมีการสูญเสียโพแทสเซียมในน้ำไหลบ่าประมาณ 18 กก.ต่อเฮกตาร์ ในขณะที่สูญเสียโพแทสเซียมในตะกอนดิน 2.2 กก.ต่อเฮกตาร์ (ปัทมาและวิทยา, 2547) นอกจากนี้ K ยังเปลี่ยนไปอยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืชเมื่อถึงตรึงด้วยแร่ดินเหนียวกลุ่มสเมกไทต์ (ชนิด 2:1) (Nilawonk*et al.*, 2007, 2010)

อินทรียวัตถุในดินมีการเปลี่ยนแปลงที่เป็นผลจากการใช้ปุ๋ยเคมี ซึ่งมีการศึกษาผลจากการใช้ปุ๋ยเคมีและซากพืชต่อผลผลิตของข้าวโพดและอินทรียวัตถุในดินในประเทศจีนตั้งแต่ปี 1981-2005 พบว่าผลผลิตของข้าวโพดเพิ่มขึ้นเมื่อมีการใส่ปุ๋ยมากขึ้น และการไม่ใช้ปุ๋ยเคมีทำให้มีผลผลิตของข้าวโพดและอินทรียวัตถุในดินลดลงแต่การใช้ตอซังข้าวโพดสามารถรักษาระดับผลผลิตและปริมาณอินทรียวัตถุในดินให้คงที่ ในขณะที่การใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวทำให้ปริมาณอินทรียวัตถุในดินลดลง (Yang *et al.*, 2012)

การสะสมโลหะหนักในดินเป็นอีกปัญหาหนึ่งที่พบจากการใช้ปุ๋ยเคมีติดต่อกันเป็นระยะเวลานาน การสะสมของโลหะหนักในดินบางส่วนอาจมาจากปุ๋ยอินทรีย์ การผุพังของวัตถุต้นกำเนิดดิน หรือกระบวนการในอุตสาหกรรมต่างๆ ได้มีการศึกษาผลตกค้างระยะยาวจากการใช้ปุ๋ยเคมีชนิดต่างๆต่อการสะสมของโลหะหนักและการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของดิน โดยการศึกษาปริมาณโลหะหนักเทียม (pseudo-metal) และโลหะหนักที่สามารถเคลื่อนที่ได้ในดินที่ใช้ปลูกพืชหลังจากการใช้ปุ๋ยเคมีติดต่อกันเป็นเวลา 14 ปี และศึกษาผลตกค้างของปุ๋ยเคมีหลังจากหยุดการใช้ปุ๋ยเคมีไปแล้ว 8 ปี ในประเทศเยอรมณี ระหว่างการศึกษาพบว่าการใช้ปุ๋ยเคมีทำให้ pH ของดินลดลงอย่างมีนัยสำคัญ และมีการเพิ่มขึ้นของคาร์บอนในดินและความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน (CEC) ผลการทดลองครั้งนี้ชี้ชัดว่าการใช้ปุ๋ยเคมี (N, P, NP, และ NPK) ติดต่อกันเป็นระยะเวลา 14 ปี ทำให้มีปริมาณโลหะหนักเทียม (Cd, Cu, Mn, Pb, Zn) เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับควบคุม ในขณะที่เมื่อหยุดการใช้ปุ๋ยเคมีไปแล้ว 8 ปี พบว่ามีการลดลงของปริมาณ Cd, Cu, Mn, Pbและ Zn ถึง 82.6, 54.2, 48.5, 74.4, และ 56.9% ตามลำดับ (Czarnecki and During, 2014)

การฟื้นฟูดินเสื่อมโทรมที่เกิดจากการใช้ปุ๋ยเคมีติดต่อกันเป็นระยะเวลานานโดยการใช้วัสดุปรับปรุงดินชนิดต่างๆ มีการศึกษาผลระยะยาวของการใช้สารอินทรีย์ปรับปรุงดินต่อความอุดมสมบูรณ์ของดินโดยมุ่งศึกษาถึงการลดลงของอินทรียวัตถุในดินที่เป็นปัจจัยหลักที่ทำให้ดินเสื่อมโทรมในประเทศอิตาลี โดยการนำของเสียอินทรีย์จากโรงงานอุตสาหกรรมมาใช้ในการปรับปรุงดิน การศึกษาพบว่าการนำปุ๋ยอินทรีย์มาเพิ่มเติมในพื้นที่การเกษตรสามารถเพิ่มคาร์บอนชีวมวล (microbial biomass carbon) ถึง 100% และเพิ่มการสร้างเอมไซม์30% เมื่อมีการใช้กากตะกอน ในขณะที่การใช้วัสดุอินทรีย์ปรับปรุงดินยังเพิ่มอินทรีย์

คาร์บอนในดิน 90% ในดินที่ไม่มีการใช้ปุ๋ยเคมีและเพิ่มเป็น 100% ในดินที่มีการใช้ปุ๋ยเคมี ในขณะที่การเพิ่มปุ๋ยหมักทำให้สมบัติทางฟิสิกส์ของดินดีขึ้น ได้แก่ การเพิ่มความคงทนของเม็ดดิน (soil aggregatestability) และลดความหนาแน่นรวมของดิน จากการศึกษายังพบว่าการใช้วัสดุอินทรีย์ปรับปรุงดินทำให้ปุ๋ย N มีอัตราการปลดปล่อยลดลง ซึ่งผลผลิตเพิ่มขึ้น 250% เมื่อมีการใช้ปุ๋ยหมักที่ผลิตจากของเสีย ในขณะที่ผลตกค้างจากโลหะหนักไม่สามารถยืนยันเป็นที่แน่ชัดได้จากการใช้วัสดุปรับปรุงดินดังกล่าว (Diacono and Montermurro, 2010)

การปรับเปลี่ยนระบบเกษตรเคมีไปสู่เกษตรอินทรีย์

ในการปรับเปลี่ยนวิธีการผลิตเป็นแบบเกษตรอินทรีย์นั้นเกษตรกรต้องเสนอแผนการจัดการฟาร์มที่ชัดเจนเกี่ยวกับการปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิต ต่อหน่วยรับรองระบบการผลิตพืชอินทรีย์เพื่อพิจารณาอนุมัติ

ในด้านประวัติฟาร์ม แผนการปรับเปลี่ยนและช่วงเวลา ประวัติการใช้สารเคมี รวมถึงผลการวิเคราะห์ผลตกค้างของสารเคมีในดิน พื้นที่ทำการเกษตรอยู่ก่อนแล้วใช้เวลาปรับเปลี่ยน 1 ปี สำหรับพืชล้มลุก และ 3 ปี สำหรับพืชยืนต้น ในส่วนของพื้นที่เปิดใหม่ อาจได้รับการยกเว้นไม่ต้องมีระยะเวลาปรับเปลี่ยน แต่ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับผลการวิเคราะห์ผลตกค้างของสารเคมีในดินและในผลผลิต และให้อยู่ในดุลยพินิจของหน่วยงานรับรอง(กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2543) ดังนั้นการบำบัดฟื้นฟูดินให้มีการปนเปื้อนของสารตกค้างของสารเคมีในดินจึงมีความสำคัญมากต่อการใช้พื้นที่นั้นในการผลิตพืชในระบบเกษตรอินทรีย์โดยเฉพาะจุลินทรีย์ ในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน และกรด อนินทรีย์ โดยปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการย่อยสลายทางชีวภาพ ได้แก่ สมบัติและความเข้มข้นของมวลสารอินทรีย์ชนิดของจุลินทรีย์ในดิน ลักษณะและสมบัติของของเสีย (Waste characteristic) (จงรักษ์และคณะ, 2553)

เป้าหมายการทำเกษตรอินทรีย์

1. ฟื้นฟูและรักษาความอุดมสมบูรณ์ของทรัพยากรธรรมชาติโดย ใช้วัตถุดิบในฟาร์มมาหมุนเวียนใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

2. ป้องกันและหลีกเลี่ยงการปฏิบัติที่ทำให้เกิดมลพิษที่มีผล กระทบต่อสิ่งแวดล้อม

3. พัฒนาระบบการผลิตสู่การพึ่งตนเอง สร้างระบบนิเวศ ความ หลากหลายทั้งพืชและสัตว์ และรักษาให้คงไว้ซึ่งทรัพยากร ธรรมชาติอย่างยั่งยืนของระบบนิเวศโดยรวม

4. สนับสนุนการผลิตและกระบวนการจัดการทุกขั้นตอนที่คำนึงถึงหลักมนุษยธรรม

5. ยึดหลักการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวและการแปรรูปที่เป็นวิธี การธรรมชาติ ประหยัดพลังงานและส่งผลกระทบต่อ สิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

สารเคมีกำจัดศัตรูพืช

สารเคมีกำจัดศัตรูพืช หมายถึง สาร หรือส่วนประกอบของ สารที่ได้จากการสังเคราะห์ขึ้น หรืออาจสกัดจากธรรมชาติออกมา ในรูปของสารเคมี มีประสิทธิภาพในการป้องกัน ควบคุม และทำลาย ศัตรูพืช (แมลงและวัชพืช) ศัตรูสัตว์ (เชื้อโรค แมลง และสัตว์ที่เป็น พาหะนำโรค เช่นหนูแมลงสาบ เป็นต้น)

สารเคมีกำจัดศัตรูพืชสามารถแบ่งออกได้หลายประเภท ดังนี้

1. สารกำจัดแมลง ได้แก่ สารที่ใช้ป้องกัน กำจัด หรือขับไล่ศัตรูพืช และสัตว์ เช่น สารในกลุ่มออร์กาโนคลอรีน ออร์กาโนฟอสเฟต คาร์บาเมท ไพรีทรอยด์ฯลฯ

2. สารกำจัดวัชพืช ได้แก่ สารที่ใช้ทำลายวัชพืช ที่แย่งน้ำแย่งอาหาร และ แสงสว่างจากพืชเพาะปลูก สารกลุ่มนี้ที่ใช้กันแพร่หลายได้แก่ พาราควอท ฯลฯ

3. สารกำจัดเชื้อรา ได้แก่ สารที่ใช้ป้องกันและฆ่าเชื้อรา เช่น แคปแทน ฯลฯ

4. สารกำจัดหนูหรือสัตว์กัดแทะอื่น ๆ เช่น ซิงค์ฟอสไฟด์วอร์ฟาริน ฯลฯ (กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข, 2553)

สารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้าง แบ่งออกเป็น 4 กลุ่มที่สำคัญ ได้แก่

1. ออร์แกโนฟอสเฟต เช่น มาลาไธออน ไดโครฟอสเฟต อีพีเอ็น ฯลฯ สารเคมีในกลุ่มนี้David Pimentel จะมีพิษรุนแรงมากกว่ากลุ่มอื่น โดยเป็นพิษกับทั้งแมลงและสัตว์อื่นๆ ทุกชนิด แต่สารในกลุ่มนี้จะย่อยสลายได้เร็วกว่ากลุ่ม ออร์แกโนคลอรีน สภาพแวดล้อมเหมาะสม สลายตัวที่ระยะเวลาประมาณ 24 ชั่วโมงถึง 1 อาทิตย์

2. คาร์บาเมต เช่น คาร์โบฟูแรน เมโทมิล ฯลฯ สารเคมีในกลุ่มคาร์บาเมตจะมีความเป็นพิษต่อสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมน้อยกว่าพวกออร์กาโนฟอสเฟต สภาพแวดล้อมเหมาะสม สลายตัวที่ระยะเวลาประมาณ 1 เดือน

3. ไพรีทอยด์ เช่น เปอร์เมทริน เดลต้าเมทริน ฯลฯ สารเคมีกลุ่มที่สังเคราะห์ขึ้นโดยมีความสัมพันธ์ตามโครงสร้างของไพรีทริน ซึ่งเป็นสารธรรมชาติที่สกัดได้จากไพรีทรัม สารเคมีในกลุ่มนี้มีความเป็นพิษต่อแมลงสูง แต่ความเป็นพิษต่อสัตว์เลือดอุ่นต่ำ อย่างไรก็ตาม สารเคมีกลุ่มนี้มีราคาแพงจึงไม่ค่อยเป็นที่นิยมใช้ สลายตัวที่ระยะเวลาโดยประมาณ 1 อาทิตย์ถึง 1 เดือน

4. ออร์แกโนคลอรีน เช่น ไดโคฟอล แคลดริล ฯลฯ สารเคมีในกลุ่มนี้ส่วนใหญ่เป็นสารเคมีที่มีพิษไม่เลือก (คือเป็นพิษต่อแมลงทุกชนิด) และค่อนข้างจะสลายตัวช้า ทำให้พบตกค้างในสิ่งแวดล้อมได้นาน ปัจจุบันประเทศไทยส่วนใหญ่ไม่อนุญาตให้ใช้สารเคมีกลุ่มนี้ หรือไม่ก็มีการควบคุมการใช้ ไม่อนุญาตให้ใช้อย่างเสรี เพราะจะทำให้เกิดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ

ยาฆ่าแมลงสังเคราะห์ถูกใช้อย่างแพร่หลายในการเกษตรระดับอุตสาหกรรมทั่วโลกตั้งแต่ศตวรรษที่ 50 เป็นต้นมา นับแต่ช่วงเวลานั้นสารเคมีหลายชนิดแพร่กระจายออกสู่สิ่งแวดล้อมสูงมาก เป็นผลมาจากการใช้สารเคมีซ้ำ ๆ และในบางกรณีมีการตกค้างของสารเคมีในสิ่งแวดล้อม ซึ่งสารเคมีบางชนิดใช้เวลายาวนานมากในการย่อยสลาย (Robbins, 1991)

การปนเปื้อนของสารเคมีกำจัดศัตรูพืช

น้อยกว่า 0.1% ของสารเคมีที่ใช้จะไปถึงศัตรูพืชเป้าหมาย (Targeted pests)และอีก 99% จะปนเปื้อนอยู่ในสิ่งแวดล้อมจนกว่าสารเคมีจะมีการสลายตัวไปโดยธรรมชาติ ภายหลังจาการฉีด พ่น หยอด หรือหว่านสารเคมีกำจัดศัตรูพืชจะถูกดูดซึมเข้าไปในพืชและอยู่บนต้นพืชบางส่วนและที่เหลือจะปลิวไปในอากาศหรือรอเวลาที่น้ำจากแปลงเกษตรจะชะสารเคมีลงสู่ดินหรือแหล่งน้ำใกล้เคียง ปัญหาอาจลดลง หากสารเคมีกำจัดศัตรูพืชสามารถสลายตัวได้อย่างรวดเร็ว แต่อัตราการสลายตัวหรือค่าครึ่งชีวิต (half-life)มีความแตกต่างกันตามชนิดและสภาพแวดล้อม เมื่อสารเคมีกำจัดศัตรูพืชซึมลงสู่ดิน ไส้เดือนหรือสัตว์ในดินที่มีประโยชน์อื่นๆ จะได้รับพิษโดยตรง ความสูญเสียของประชากร สัตว์เหล่านี้ทำให้ดินเสื่อมสภาพลง น้ำซึมผ่านลงดินได้ยากขึ้น สารอินทรีย์ในดินลดลง และส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืชที่เพาะปลูก (Pimentel, 1995)

<u>ตารางที่ 4</u> แสดงเกณฑ์ค่ามาตรฐานคุณภาพดินที่ปนเปื้อนสารเคมีกำจัดศัตรูพืชเพื่อใช้ประโยชน์ด้านเกษตรกรรม

ดัชนีคุณภาพดิน	หน่วย	เกณฑ์มาตรฐานคุณภาพดิน
1) อะทราซีน (Atrazine)	mg/kg	ต้องไม่เกิน 22
2) คลอเดน (Chlordane)	mg/kg	ต้องไม่เกิน 16
3) 2,4-ดี (2,4-D)	mg/kg	ต้องไม่เกิน 690
4) ดีดีที (DDT)	mg/kg	ต้องไม่เกิน 17
5) ดิลดริน (Dieldrin)	mg/kg	ต้องไม่เกิน 0.3
6) เฮปตาคลอร์ (Heptachlor)	mg/kg	ต้องไม่เกิน 1.1
7) เฮปตาคลอร์อีพ็อกไซด์ (HeptachlorEpoxide)	mg/kg	ต้องไม่เกิน 0.5
8) ลินเดน (Lindane)	mg/kg	ต้องไม่เกิน 4.4
9) เพนตะคลอโรฟีนอล (Pentachlorophenol)	mg/kg	ต้องไม่เกิน 30

ที่มา : คู่มือมาตรฐานสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข (พ.ศ.2556)

การบำบัดดินปนเปื้อนสารเคมี

สำหรับแนวทางการบำบัดดินปนเปื้อนสารเคมี อาจทำได้โดยวิธี ดังต่อไปนี้

1. Soil Flushing เป็นวิธีการบำบัดฟื้นฟูดินที่มีการปนเปื้อนด้วยสารอินทรีย์และอนินทรีย์ที่สำคัญ โดยใช้หลักการการชะล้างด้วยสารละลายที่เหมาะสม เช่น น้ำ หรือ Surfactants โดยอาศัยคุณสมบัติในการละลาย (Solubility) ของมลสารที่ต้องการกำจัด โดยสารปนเปื้อนที่ถูกชะล้างออกมานี้ จะถูกเก็บรวบรวมเพื่อนำไปบำบัดอีกครั้ง ลักษณะการเลือกตัวชะล้าง อาทิเช่น

- สารละลายกรดใช้สำหรับการฟื้นฟูสภาพดินที่มีการปนเปื้อนของโลหะ และสารอินทรีย์บางชนิด แต่ไม่นิยมใช้เนื่องจากจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง pH ของดิน สารละลายเบส ใช้สำหรับฟื้นฟูสภาพดินที่มีการปนเปื้อนของโลหะ สังกะสี ตะกั่ว ดีบุก

- น้ำ ใช้สำหรับการฟื้นฟูสภาพดิน ที่มีการปนเปื้อนของสารที่ละลายน้ำได้ (Water-soluble) และพื้นที่สามารถพาไปได้ (water-mobile costituents) โดยพิจารณาจากค่าการละลายของสารปนเปื้อนนั้น

- Surfactants ใช้สำหรับการฟื้นฟูสภาพดินที่มีการปนเปื้อนของสารเคมี เช่น ยาฆ่าแมลง

2. Solidification / Stabilization คือ การกำจัดของเสียที่เป็นของเหลว ด้วยวิธีการลดพื้นที่ผิวสัมผัส (Surface area) ของมลสาร โดยเปลี่ยนรูปเป็นของแข็งที่มีโครงสร้างมั่นคงและไม่เกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่าง

ของเสียและสารที่ใช้ในการทำให้แข็ง Stabilization คือการทำให้เสถียรของสารปนเปื้อน โดยเปลี่ยนให้อยู่ในรูปที่ไม่มีพิษหรือพิษน้อยกว่า ทั้งนี้โดยไม่เปลี่ยนคุณสมบัติทางกายภาพของเสียส่วนใหญ่ วิธีการนี้ใช้มากกับของเสียที่มีสารกัมมันตรังสีในระดับต่ำ รวมทั้งพวกโลหะหนักบางชนิดซึ่งการทำให้ของแข็งหรือทำให้เสถียรนั้น สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดพื้นที่ดินที่ถูกปนเปื้อนได้ โดยการผสมสารที่ทำให้แข็งหรือทำให้เสถียรนั้น สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดพื้นที่ดินที่ถูกปนเปื้อนได้ โดยการผสมสารที่ทำให้แข็งหรือทำให้เสถียรเข้าไปในดินหรือในตะกอนที่ถูกปนเปื้อนอยู่ชั้นล่าง

อาทิเช่น

- วิธีฉีด โดยการฉีดสารที่ทำให้เสถียรในรูปของเหลวไปในบริเวณที่มีของเสียอยู่
- การใช้พื้นที่ผิว เหมาะกับของเสียที่มีอันตรายน้อย ในพื้นที่จำกัด และมีความพรุนของดินพอสมควร โดยการใส่สารที่ทำให้เสถียร ในรูปของแข็งหรือของเหลวลงไปบนผิวและสามารถซึมลงไปได้ วิธีการนี้ไม่ค่อยได้รับความแพร่หลายนัก เนื่องจากค่าใช้จ่ายสูงและการนำของแข็งออกจากดินทำได้ยาก รวมทั้งมีผลต่อลักษณะทางกายภาพของดิน

3. Biological Degradation คือ การย่อยสลายทางชีวภาพ เป็นกระบวนการทางสิ่งแวดล้อมที่สำคัญสามารถเกิดขึ้นได้เองจากธรรมชาติ (Natural Atfenvation) โดยการเปลี่ยนของเสียที่เป็นสารอินทรีย์ให้กลับมาเป็นชีวมวลและผลพลอยได้ที่ไม่มีอันตราย ต่อพวกสิ่งมีชีวิตในดิน โดยเฉพาะจุลินทรีย์ ในรูปของ CO_2, CH_4 และกรดอนินทรีย์

ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการย่อยสลายทางชีวภาพ

1. สมบัติและความเข้มข้นของมลสารอินทรีย์
2. ชนิดของจุลชีพในดิน
3. ลักษณะและสมบัติของของเสีย (Waste characteristic) ได้แก่ ค่าครึ่งชีวิตและอัตราการคงตัวของมลสาร
4. คุณสมบัติของดิน เช่น เนื้อดิน โครงสร้างดิน
5. สมบัติของดินในกิจกรรมของสิ่งมีชีวิตในดิน ได้แก่ pH อุณหภูมิ ความชื้นของดิน ออกซิเจนที่มีอยู่ในดิน อินทรียวัตถุ และปริมาณธาตุอาหารในดิน
6. ความสามารถในการอุ้มน้ำ ระดับโครงสร้างของดิน และความเป็นไปได้ในการชะล้างพังทลายดิน

4. Photolysis or Photo degradation คือ การสลายตัวด้วยแสงเป็นหนึ่งในกระบวนการ Natural Atfenvation โดย solar radiation จะทำให้เกิด Photoreaction process จากความยาวคลื่นต่างๆของรังสีอัลตร้าไวโอเลตที่มีพลังงานเพียงพอจะทำให้ Chemical bond แตกออก โดยรังสี UV สามารถลดมลสาร ในสิ่งแวดล้อมได้ เช่น การกำจัดคลอรีน ใน PCB_s กำจัด TCDD และ kepone เป็นต้น สำหรับการใช้วิธีการนี้ต้องคำนึงถึงปฏิกิริยาของ แสงและการเปลี่ยนรูปของสารเคมีนั้นๆ ด้วยวิธีการนี้ รวมถึงการใช้แสงอาทิตย์ในขบวนการ Photoreaction ทั้งขบวนการ photolysis และ sensitized photo oxidation สามารถเกิดขึ้นได้ในสภาพแวดล้อมทั่วไป ซึ่งอัตราการเกิดการสลายตัวด้วยแสงขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้างของมลสารที่เป็นสารอินทรีย์เป็นสำคัญ

5. Soil Vapor extraction คือ การลดความเข้มข้นของมลสารในดินโดยการอาศัยหลักการการระเหยของสารปนเปื้อนในสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสม

- Vacuum extraction and air stripping วิธีการนี้เป็นที่ยอมรับว่ามีประสิทธิภาพ และเป็นวิธีการทั่วไปที่ใช้ในการควบคุมการแพร่กระจายของสารระเหยที่ปนเปื้อนจากแหล่งของเสียอันตราโดยเติมอากาศลงไปในดินที่มีการปนเปื้อนและใช้เครื่องสูญญากาศสกัดอากาศที่มีการปนเปื้อนนั้นออกการไหลของอากาศจะขึ้นอยู่กับเครื่องมือที่ใช้ และคุณสมบัติของดิน โดยเฉพาะความพรุนของอากาศ

- Steam stripping ใช้หลักการเดียวกับ Vacuum extraction and air stripping โดยการฉีดไอน้ำลงไปในดินใต้บริเวณที่มีการปนเปื้อน และใช้เครื่องสูญญากาศช่วยบริเวณผิวดิน วิธีการนี้จะได้ผลดีกับสารมลสารในกลุ่ม allanes และ alkane -based alcohols เช่น actanal และ butanal

6. Radio Frequency Heating เป็นวิธีการกำจัดสารปนเปื้อนของมลสารพวกน้ำมันและสารอินทรีย์ที่มีสมบัติระเหยได้ที่อุณหภูมิ 8-3000C โดยการเพิ่มอุณหภูมิ ของดิน และเร่งความถี่เพื่อเพิ่มอัตราการระเหย

จากตารางที่ 5 ผลการทดลองของ จารุพงศ์ และ ชุลีมาศ (2556) พบว่า ค่าการสลายตัวของ Cypermethrin, Chlorpyrifos, และDeltamethrin ที่ตกค้างในปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินนั้นจะสลายตัวหมดภายในระยะเวลาการหมักที่ประมาณ 30 วัน ในขณะที่ปุ๋ยหมัก และน้ำหมักชีวภาพที่ไม่มีไส้เดือนดินในกระบวนการผลิตปุ๋ยนั้นจะสลายตัวหมดในระยะเวลามากกว่า 60 วัน

ตารางที่ 5 แสดงค่าเฉลี่ยการสลายตัวของCypermethrin, Chlorpyrifos, และDeltamethrin ที่ตกค้างใน ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน และน้ำหมักชีวภาพในระยะเวลาการหมัก 60 วัน

Organic waste Management	(%) degradation *								
	15 days			30 days			60 days		
	cyper	chlorpy	delta	cyper	chlorpy	delta	cyper	chlorpy	delta
bio-fermentation[1]	95.3	89.9	72.5	92.8	55.1	100	90.5	72.5	-
bio-fermentation[2]	83.9	88.5	-	81.3	94.3	-	81.6	91.5	-
compost[1]	83.0	2.3	35.0	56.2	0.8	100	93.6	72.4	-
compost[2]	77.1	27.4	-	31.8	18.3	-	89.7	57.6	-
vermicompost[1]	99.3	82.5	91.5	100.0	97.8	100	100.0	100.0	-

ที่มา: ดัดแปลงจาก จารุพงศ์ และ ชุลีมาศ (2556)

การผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน

การผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน (Vermicompost) คือ กระบวนการเลี้ยงไส้เดือนดินโดยให้ไส้เดือนดินกินขยะอินทรีย์รวมทั้งมูลสัตว์ และผลผลิตมูลไส้เดือนดินที่ได้เรียกว่า ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ปัจจุบันมีการส่งเสริมกันอย่างกว้างขวางในการใช้ไส้เดือนดินกำจัดขยะอินทรีย์เพื่อผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน โดยนำมาใช้ในทางการเกษตร โดยเฉพาะการบำรุงต้นพืช และบำรุงดิน โดยใช้ในรูปของปุ๋ยหมัก ปุ๋ยอินทรีย์ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินหรือ มูลไส้เดือนดินที่ถูกขับถ่ายออกจากไส้เดือนดินนั้นจะมีมวลชีวภาพของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะประชากรของแบคทีเรีย ทั้งนี้เนื่องจากความสัมพันธ์ระหว่างไส้เดือนดินกับจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ภายในลำไส้ของไส้เดือนดินนั้นมีการพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน โดยไส้เดือนดินทำหน้าที่ในการกินและบดย่อยอาหารให้มีขนาดเล็กและสร้างสภาวะที่เหมาะสมต่อการอาศัยอยู่และการเกิดกิจกรรมต่างๆของจุลินทรีย์ (Edwards and Bohlen,1996 ;Lavelle and Spain, 2001) มูลไส้เดือนดินจะมีปริมาณธาตุอาหารพืชสูงกว่าดินในบริเวณที่อาศัยแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(Aira and Dom ınguez, 2003) ทั้งนี้ก็ด้วยกิจกรรมของเอ็นไซม์ที่ถูกผลิตขึ้นโดยจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในมูลไส้เดือนดินนั้น (Aira*et al.*, 2005)

โดยมีรายงานว่าสามารถแยกจุลินทรีย์ได้ 343 ชนิด จากลำไส้ของไส้เดือนดินสายพันธุ์ Pheretima *sp.* ซึ่งประกอบด้วย แอคติโนมัยซิท แบคทีเรีย และเชื้อรา(Winding *et al.*, 1997)โดยพบแบคทีเรียในสกุล *Bacillus*, *Pseudomonas*,*Klebsiella*,*Azotobacter*,*Serratia*,*Aeromonas*และ*Enterobacter* (Valle-Molinas*et al.*, 2007; Byzov *et al.*, 2007; Singleton *et al.*, 2003) ซึ่งจุลินทรีย์ต่างๆ ดังกล่าวเป็นกลุ่มที่สร้างสารส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช (Plant growth promoters) ตรึงไนโตรเจนจากอากาศ(Free-living nitrogen fixers) และละลายธาตุฟอสฟอรัสที่ถูกตรึงในดิน(Phosphate solubilizers) (Loreno-Osti*et al.*, 2004; Martínez-

Romero, 2001) โดย Manuel and Jorge (2009)ได้ทดสอบการกินมูลวัวและมูลหมูของไส้เดือนดินสายพันธุ์ *Eiseniafoetida*มูลไส้เดือนดินที่ได้จากการกินมูลสัตว์ทั้ง 2 ชนิด มีกิจกรรมของเอ็นไซม์acid phosphatases และ alkaline phosphatases ที่วัดได้สูงมากกว่าที่วัดได้จากจากมูลวัวและมูลหมูที่ไม่ผ่านการกินโดยไส้เดือนดินสายพันธุ์นี้

กลุ่มจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์บางกลุ่มในดินโดยธรรมชาติจะไม่เคลื่อนที่และสร้างโคโลนีอยู่เป็นแห่งๆดังนั้นจุลินทรีย์จะมีผลน้อยมากต่อการช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชหากปราศจากการแพร่กระจายตัวลงไปในดิน ไส้เดือนดินเป็นสิ่งมีชีวิตในดินชนิดหนึ่งที่พบว่าสามารถช่วยแพร่กระจายเชื้อจุลินทรีย์ในดินได้ โดยไส้เดือนดินสายพันธุ์ *Eiseniafoetida* และ *Lumbricusterrestris* จะกินดินและวัสดุอินทรีย์บริเวณผิวดินที่ปนเปื้อนเชื้อ*Rhizobium japonicum*เข้าไปเชื้อนั้นผ่านลำไส้ของไส้เดือนดินออกมาโดยไม่ได้รับอันตราย และเมื่อไส้เดือนดินถ่ายมูลพร้อมเชื้อดังกล่าวออกมาในบริเวณต่างๆ ของแปลงปลูก ก็จะทำให้เชื้อแพร่กระจายสร้างกลุ่มโคโลนีอยู่บริเวณกองมูลเหล่านั้น เชื้อ*Rhizobium japonicum*นั้นเป็นเชื้อแบคทีเรียชนิดที่สามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศและมีการสร้างปุ่มปมในรากถั่วลิสง บริเวณที่พบไส้เดือนดินสายพันธุ์ *Lumbricusterrestris* อาศัยอยู่จะพบว่ามีปุ่มปมบนรากถั่วลิสงจำนวนมาก (Rouelle, 1983)

ปุ๋ยหมักและน้ำหมักมูลไส้เดือนดิน(อานัฐ, 2550)

ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน (Vermicompost) หมายถึง เศษซากพืชอินทรียวัตถุต่างๆ รวมทั้งดินและจุลินทรีย์ที่ไส้เดือนดินกินเข้าไปแล้วผ่านกระบวนการย่อยสลายอินทรียวัตถุเหล่านั้นภายในลำไส้ของไส้เดือนดิน แล้วจึงขับถ่ายเป็นมูลออกมาทางรูทวาร ซึ่งมูลที่ได้จะมีลักษณะเป็นเม็ดสีดำ มีธาตุอาหารพืชอยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ในปริมาณที่สูง และมีจุลินทรีย์จำนวนมาก ซึ่งในกระบวนการผลิตปุ๋ยหมักโดยใช้ไส้เดือนดินขยะอินทรีย์ ที่ไส้เดือนดินกินเข้าไป และผ่านการย่อยสลายในลำไส้แล้วขับถ่ายออกมามูลไส้เดือนดินที่ได้เรียกว่า "ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน"

น้ำหมักมูลไส้เดือนดิน (Liquid Vermicompost) หมายถึง น้ำที่ได้จากกระบวน การผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินซึ่งเป็นน้ำที่ได้จากการเน่าสลายของเศษขยะอินทรีย์ที่ใช้เป็นอาหารของไส้เดือนดินซึ่งเป็นน้ำในเซลล์ของพืชผัก ผลไม้ และเศษอาหารต่างๆ หรือน้ำที่ได้จากวัสดุที่นำมาใช้ให้ไส้เดือนดินกำจัด โดยน้ำหมักที่ได้จะมีลักษณะเป็นของเหลวสีน้ำตาลดำ คล้ายน้ำโคล่า ไม่มีกลิ่นเหม็น มีส่วนประกอบของธาตุอาหารพืชและจุลินทรีย์หลายชนิด

ประโยชน์และความสำคัญของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน(อานัฐ, 2550)

1. ส่งเสริมการเกิดเม็ดดิน
2. เพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุแก่ดิน
3. เพิ่มช่องว่างในดินให้การระบายน้ำและอากาศดียิ่งขึ้น
4. ส่งเสริมความพรุนของผิวหน้าดิน ลดการจับตัวเป็นแผ่นแข็งของหน้าดิน
5. ช่วยให้ระบบรากพืชสามารถแพร่กระจายตัวในดินได้กว้าง
6. เพิ่มขีดความสามารถในการดูดซับน้ำในดิน ทำให้ดินชุ่มชื้น
7. เพิ่มธาตุอาหารพืชให้แก่ดินโดยตรง และเป็นแหล่งอาหารของสัตว์และจุลินทรีย์ดิน
8. เพิ่มความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน
9. ช่วยลดความเป็นพิษของธาตุอาหารพืชบางชนิดที่มีปริมาณมากเกินไป เช่น อะลูมินัม และแมงกานีส เนื่องจาก ปุ๋ยหมักจะช่วยดูดยึดธาตุทั้ง 2 ไว้บางส่วน
10. ช่วยเพิ่มความจุความต้านทานในการเปลี่ยนแปลงระดับความเป็นกรด-เบส(Buffer capacity) ทำให้การเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นไม่เร็วเกินไปจนเป็นอันตรายต่อพืช
11. ช่วยควบคุมปริมาณไส้เดือนฝอยในดินเนื่องจากการใส่ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินจะทำให้มีปริมาณจุลินทรีย์ที่สามารถขับสารพวกอัลคาลอยด์และกรดไขมันที่เป็นพิษต่อไส้เดือนฝอยได้เพิ่มขึ้น

สายพันธุ์ไส้เดือนดินที่ใช้ในกระบวนการผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน

มีไส้เดือนดินหลายสายพันธุ์ที่เหมาะสมในการนำมาใช้ย่อยสลายขยะอินทรีย์และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเพื่อผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินแต่ปัจจุบันมีเพียงไม่กี่สายพันธุ์ที่นิยมนำมาใช้กันแพร่หลายโดยส่วนใหญ่ไส้เดือนดินที่นำมาใช้ในกระบวนการจะเป็นไส้เดือนดินที่อาศัยอยู่ในมูลสัตว์ หรือใต้กองอินทรียวัตถุ ซึ่งจะเป็นไส้เดือนดินที่กินอินทรียวัตถุมากกว่ากินดินและแร่ธาตุ โดยสามารถแพร่พันธุ์ได้รวดเร็วและมีจำนวนมาก ที่สำคัญคือมีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมได้สูง ปัจจุบันไส้เดือนดินสายพันธุ์ที่มีการนำมาใช้ในในกระบวนการผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ได้รับความนิยมในต่างประเทศ ประกอบด้วย ไส้เดือนสายพันธุ์ *Eiseniafoetida* (brandling หรือ tiger worm) *Eiseniaandrei* (red tiger worm) *Eudrilus eugeniae* (African night-crawler) *Dendrobaenaveneta, Perionyx excavates* และ *Lumbricusrubellus* (red worm) สำหรับประเทศไทยนิยมใช้ไส้เดือนดินสีแดงซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่อาศัยอยู่ในมูลวัว ชาวบ้านเรียกว่า ขี้ตาแร่ ซึ่งสามารถย่อยสลายขยะและแพร่พันธุ์ได้ดีเช่นกันกับพันธุ์การค้าในต่างประเทศ และทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศในประเทศไทยได้ดีกว่าสายพันทางการค้าจากต่างประเทศ โดยเฉพาะในช่วงที่มีอุณหภูมิสูงในฤดูร้อน

ขี้ตาแร่ (*Perionyx* sp.)

ไส้เดือนดินสายพันธุ์นี้เป็นไส้เดือนดินสีแดงที่พบได้ทั่วไปในแถบเอเชีย รวมทั้งในประเทศไทยด้วย โดยพบในมูลวัวและใต้เศษหญ้าที่ตัดทิ้งในนาข้าว ชาวบ้านแถบภาคเหนือเรียกว่า ขี้ตาแร่ ซึ่งชาวบ้านมักจะนำใช้เป็นเหยื่อตกปลา ลักษณะพิเศษของไส้เดือนสายพันธุ์นี้คือ เมื่อสัมผัสถูกตัวมันจะดิ้นอย่างรุนแรงและเคลื่อนที่หนีเร็วมาก นอกจากนี้ในการนำมาใช้กำจัดขยะอินทรีย์พบว่า ไส้เดือนสายพันธุ์นี้จะสามารถกินขยะอินทรีย์จำพวกเศษผัก ผลไม้ได้หมดอย่างรวดเร็ว หากนำมาเลี้ยงและฝึกให้กินขยะอินทรีย์เหล่านี้ นอกจากกินขยะเก่งแล้วไส้เดือนดินสายพันธุ์นี้ยังมีอัตราการแพร่พันธุ์ได้สูงมากด้วย ดังนั้นในการนำไส้เดือนดินมาใช้กำจัดขยะในประเทศไทย ไส้เดือนดินสายพันธุ์ ขี้ตาแร่ เป็นไส้เดือนสายพันธุ์ที่นับว่าเหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศในประเทศไทย และหามาเลี้ยงได้ง่าย

การผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน (อานัฐ, 2550)

ในการผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินจากขยะอินทรีย์และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรชนิดต่างๆ มีขั้นตอนการเตรียมการดังต่อไปนี้

1.คัดเลือกสายพันธุ์ไส้เดือนดินที่จะนำมาใช้ในกระบวนการผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินโดยพิจารณาในด้านอัตราการแพร่พันธุ์ การเจริญเติบโต การอยู่รอด และความต้านทานต่อสภาพแวดล้อม

2. จัดหาพื้นที่ที่เหมาะสมกับไส้เดือนดินสายพันธุ์ที่เลือกใช้โดยพิจารณาจากสภาพแหล่งที่อยู่อาศัยเดิมในธรรมชาติของไส้เดือนดินสายพันธุ์ที่จะนำมาเลี้ยง ซึ่งหากเลือกใช้พื้นที่ที่เหมาะสมกับสายพันธุ์ไส้เดือนดินที่ใช้ ก็จะสามารถลดค่าใช้จ่ายในด้านการจัดการควบคุมสภาพแวดล้อมในระบบการผลิตลดลงได้

3. ศึกษาถึงแหล่งอาหารของไส้เดือนดินสายพันธุ์ที่จะนำมาเลี้ยงว่าประกอบด้วยอะไรบ้าง และสายพันธุ์ดังกล่าวชอบอะไรเป็นพิเศษ เช่น ไส้เดือนดินที่อาศัยอยู่ในมูลสัตว์จะมีแหล่งอาหารมาจากมูลสัตว์ ไส้เดือนดินสายพันธุ์ที่อาศัยอยู่ใต้เศษซากพืชก็จะมีแหล่งอาหารมาจากเศษพืชเหล่านั้นเป็นต้น

4. เลือกรูปแบบหรือระบบการผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน โดยพิจารณาถึงความคุ้มค่าและประสิทธิภาพในการกำจัดขยะเพื่อผลิตปุ๋ยหมัก โดยง่ายต่อการจัดการ สามารถปรับปรุงและพัฒนาระบบการผลิตหรือขยายขนาดของระบบการผลิตต่อไปได้ในอนาคต

5. จัดหาแหล่งขยะอินทรีย์ที่จะนำมาใช้ในกระบวนการผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่เหมาะสมต่อไส้เดือนดินสายพันธุ์ที่คัดเลือก เช่น เศษขยะสดในตลาดหรือชุมชน มูลสัตว์ต่างๆ หรือ วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร และจากภาคอุตสาหกรรม

6. ศึกษาถึงวิธีการนำปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ได้จากการผลิตมาผลิตเป็นวัสดุสำหรับปลูกพืชชนิดต่างๆ โดยนำปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ได้มาวิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหารต่างๆ แล้วนำไปทดสอบกับพืชหาข้อจำกัดแล้วนำมาปรับปรุงคุณภาพจนได้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่มีคุณภาพดีจึงผ่านขบวนการบรรจุเพื่อจำหน่ายต่อไป

7. ศึกษาวิธีการเก็บผลผลิตจากตัวไส้เดือนดินที่ขยายเพิ่มขึ้น แล้วนำไปผ่านขบวน การผลิตเป็นอาหารโปรตีนสูงใช้เป็นอาหารเสริมเลี้ยงสัตว์ชนิดต่างๆ โดยวิเคราะห์หาปริมาณคุณค่าทางด้านโภชนา การและทดสอบความเป็นพิษต่อสัตว์ด้วย

การเข้าสู่รากพืชของเชื้อราไมคอร์ไรซา

ไมคอร์ไรซา (mycorrhiza) หมายถึง ความสัมพันธ์แบบพึ่งพาอาศัยกันระหว่างเชื้อรากับรากพืช โดยต่างฝ่ายต่างได้ประโยชน์ร่วมกัน สามารถแบ่งชนิด เชื้อราไมคอร์ไรซาตามลักษณะการเข้าสู่รากพืชได้ 3 ชนิดใหญ่ๆ ดังนี้

1. เชื้อราเอคโตไมคอร์ไรซา (Ectotrophic mycorrhiza)

เชื้อรากลุ่มนี้จะเข้าสู่พืชโดยเริ่มจากสปอร์หรือเส้นใยในบริเวณเขตรากพืช (rhizoosphere) ได้รับอาหารจากสารอินทรีย์ต่างๆที่ขับจากรากพืช (root exudate) ต่อมาเจริญขึ้นเป็นเยื่อหุ้มรอบรากพืช (fungus mantle) เมื่อถึงระยะที่ใยราจะเจริญเข้าไปอยู่ในเนื้อเยื่อชั้นคอร์เทกซ์ของรากพืช และสร้างเป็นเส้นใยสานกัน (harting net) รากจะมีลักษณะสั้นและแตกแขนงซึ่งสามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า (ออมทรัพย์, 2527) เอคโตไมคอร์ไรซามีบทบาทในการเพิ่มเนื้อที่ในการดูดธาตุอาหาร โดยจะเก็บธาตุอาหาร เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแคลเซียม ไว้ใน fungus mantle นอกจากนี้ยังช่วยย่อยสลายแร่ธาตุ และอินทรียวัตถุในดินที่ย่อยสลายยาก ช่วยเพิ่มความอดทนของพืชต่อความแห้งแล้ง อุณหภูมิสูง สารพิษในดิน ระดับพีเอชที่สูงหรือต่ำเกินไป และช่วยเพิ่มความต้านทานต่อเชื้อสาเหตุโรคพืชบางชนิดโดยเฉพาะโรคที่เกิดทางรากพืช (Pederson *et al.*, 1984) เข้าทำลายโรคพืชบางชนิด เช่น โรคที่เกิดจากเชื้อ*Fusarium* sp. (Farquhar and Peterson, 1990)

2. เชื้อราเอนโดไมคอร์ไรซา (Endotrophic mycorrhiza)

มักพบในพืชไร่ และไม้ผลทั่วๆไป เช่นข้าวโพด ถั่วเหลือง อ้อย ฝ้าย มะละกอ แอปเปิล โดยเส้นใยจะพันอย่างหลวมๆรอบๆรากพืช และมีเส้นใยบางส่วนเจริญเข้าไปในเซลล์รากพืช หรืออยู่ระหว่างเซลล์ชั้นคอร์เทกซ์ของรากพืช โดยไม่ทำให้ขนาดและรูปร่างของรากเปลี่ยนแปลงไป แต่บางครั้งทำให้รากมีสีเปลี่ยนไป โดยอาจมีสีเหลืองอ่อนหรือขาวขึ้น เช่นรากข้าวโพด หอมหัวใหญ่ มะเขือเทศ (Harley and Smith,

1983) เชื้อรากลุ่มนี้แบ่งออกเป็น 2 ชนิด ตามลักษณะของใยรา (Mosse, 1973) ได้แก่ เชื้อราเอนโดไมคอร์ไรซาชนิดเส้นใยมีผนังกั้น (septate hypha) ซึ่งเส้นใยจะเจริญเข้าไปอยู่ในเซลล์พืชเป็นช่วงเวลาสั้นๆ และเชื้อราเอนโดไมคอร์ไรซาชนิดเส้นใยไม่มีผนังกั้น (non-septate hypha) จะสร้างสปอร์ผนังหนา ทั้งในบริเวณผิวรากและดินรอบๆรากพืช ซึ่งเส้นใยเหล่านี้จะเจริญเข้าไปอยู่ใน cortical cell สร้า อาร์บัสคูล (arbuscule) ซึ่งเป็นที่แลกเปลี่ยนอาหารระหว่างรากับพืช ทั้งยังสร้างเวสสิเคิล (vesicle) เพื่อสะสมอาหาร ซึ่งเชื้อรานี้จะขยายพันธุ์โดยใช้สปอร์ และแพร่กระจายไปได้โดยลม น้ำ แมลง

3. เชื้อราเอคเทนโดไมคอร์ไรซา (Ectendotrophic mycorrhiza)

เชื้อราเอคเทนโดไมคอร์ไรซาเป็นไมคอร์ไรซาที่มีลักษณะอยู่ระหว่าง เอคโตไมคอร์ไรซา และเอนโดไมคอร์ไรซา แต่มีลักษณะคล้ายราพวกแรกมากกว่า เส้นใยอยู่อย่างหลวมๆรอบรากพืช มีลักษณะเป็นเยื่อบางๆหรือเป็นแผ่นเนื้อเยื่อบางๆ พืชอาศัยจะพบมากในรากของไม้สน (conifer) (ธงชัย, 2535)

ปัจจัยที่มีผลต่อการเข้าสู่รากพืช การงอกของสปอร์ และการเจริญเติบโตของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

1. อุณหภูมิของดิน

Raju *et al.* (1990) ศึกษาผลการเจริญเติบโตของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในข้าวฟ่างที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่า ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เชื้อ *G. macrocarpum*เข้าสู่รากพืชได้ดีที่สุด และทำให้พืชเจริญเติบโตและดูดอาหารได้มากที่สุด ที่อุณหภูมิ 20 และ 25 องศาเซลเซียส เชื้อ *G. fasiculatum* ทำให้พืชเจริญเติบโตทางด้านลำต้นได้ดีที่สุด แต่มีการดูดอาหารได้ดีที่สุดที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ส่วนเชื้อ *G. intraradices* ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ทำให้การเจริญเติบโตทางด้านลำต้นและการดูดธาตุอาหารต่ำลง

2. พีเอชของดิน (pH)

Wang *et al.* (1993) ศึกษาผลของพีเอชต่อการเข้าอาศัยของเชื้อราอาบัสคูลาร์ ไมคอร์ไรซาในข้าวโอ๊ตและมะเขือเทศ พบว่า *G. caledonium, G. albidum, G. eturicatum, G. macrocarpum, G. fasciculatum, Acaulospora* spp. และ *S. calospora* มีการเข้าอาศัยในข้าวโอ๊ตและมะเขือเทศในดินที่มีพีเอช 5.5-7.5 ส่วนเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาพวก *G. tenue* จะพบการเข้าอาศัยในรากข้าวโอ๊ตและมะเขือเทศน้อยที่พีเอช 5.5-6.5 และไม่พบการเข้าอาศัยรากพืชทั้งสองชนิดเมื่อดินมีพีเอชเท่ากับ 7.5 สรุปได้ว่าพีเอช 5.5-7.5 พบการเข้าอาศัยในราก พีเอช 7.5 จะไม่พบการเข้าอาศัยในรากของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

3. ความชื้นในดิน

Jasper *et al.* (1993) ศึกษาการอยู่รอดของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในดินที่แห้งแล้งและความสัมพันธ์ในการสร้างสปอร์ พบว่าในดินที่แห้งแล้ง ใยราของ *S. calospora* และ *A leavis* ไม่สามารถเข้าสู่รากพืชได้ Simpson and Daft (1990) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสภาพเครียดของน้ำและเชื้อราอาบัสคู

ลาร์ไมคอร์ไรซาชนิดต่างๆ ที่มีต่อการเจริญเติบโตของพืชและการพัฒนาของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในข้าวโพด และข้าวฟ่าง พบว่า สภาพเครียดของน้ำมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชแต่ไม่มีผลกระทบต่อการเข้าอาศัยในรากของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเมื่ออยู่ภายใต้สภาพเครียดของน้ำสปอร์ของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีจำนวนลดลง

4. ธาตุอาหารพืช

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณธาตุอาหารและเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีผู้ทำการศึกษาอย่างกว้างขวางและเป็นที่ยอมรับกันว่า เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาสามารถเข้าอาศัยในรากพืชได้ดี เมื่อมีปริมาณธาตุอาหารในดินต่ำ เช่นจากการศึกษาของ Gryndler *et al.* (1990) พบว่า ปริมาณธาตุอาหารหลักได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม มีผลต่อปริมาณการเข้าอาศัยในรากพืชของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาโดยเฉพาะฟอสฟอรัส ซึ่งพบว่าถ้าในดินมีฟอสฟอรัสในระดับปานกลางแต่มีการเพิ่มธาตุไนโตรเจนการเข้ารากของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจะเพิ่มขึ้น แต่หากมีฟอสฟอรัสสูงการเข้าอาศัยในรากจะลดลง

5. สารเคมี

Sreenivasa and Bagyaraj (1989) ศึกษาผลของยาปราบศัตรูพืช (ยาฆ่าเชื้อรา ยาฆ่าไส้เดือนฝอย และยาฆ่าแมลง) ต่อการสร้างเส้นใยในรากและจำนวนสปอร์ของเชื้อรา *G. fasciculatum* พบว่าแคพแทน (Captan) และคาโบฟูแรน (Carbofuran) ที่ระดับความเข้มข้น 0.12 ลิตร และ 0.14 ลิตรต่อส่วนผสมทั้งหมด 2.5 ลิตร ตามลำดับ สามารถเพิ่มปริมาณการสร้างเส้นใยในราก และจำนวนสปอร์ ทั้งแคพแทนและคาโบฟูแรนที่ระดับความเข้มข้นดังกล่าวช่วยยับยั้งการปนเปื้อนของเชื้อราชนิดอื่นและไส้เดือนฝอยในกระถางที่เพาะเลี้ยงเชื้อ *G. fasciculatum* สำหรับยาฆ่าแมลง ฟอร์โมไธออน (Formothion) และมาลาไธออน (Malathion) ที่ความเข้มข้น 0.001 ลิตรต่อน้ำ 1 ลิตร พบว่าไม่เป็นอันตรายต่อเชื้อ*G. fasciculatum* ส่วน Habte *et al.* (1992) พบว่า เชื้อ *G. aggregatum* จะอ่อนแอมากต่อสารกำจัดเชื้อราพวกคลอโรธาโรนิล (Chlorothalonil) ที่ตกค้างในดินนาน 12.5 สัปดาห์

6. ชนิดของพืชอาศัย

Boyetchko and Tewari (1990) ศึกษาการเข้าสู่รากพืชชนิดต่างๆ ของเชื้อ *G. dimorphicum* พบว่าจีโนมของพืชอาศัยช่วยชักนำให้เชื้อ *G. dimorphicum* เข้าสู่รากพืชและลักษณะทางสัณฐานของเชื้อในรากพืชก็มีความแตกต่างกันไปตามชนิดของพืช โดยพบว่าการเข้าสู่รากข้าวบาร์เลย์ในระดับต่ำ แต่ในพืชตระกูลถั่วอัลฟัลฟา และหอมจะมีการเข้าสู่รากพืชในระดับสูง และการเข้าสู่รากพืชนี้จะสูงที่สุดใน red clover และข้าวโพด ส่วนเส้นใยที่พบในราก พบว่าในรากข้าวโพด อัลฟัลฟา และ red clover จะมีลักษณะม้วนเป็นวง

และพบเวสสิเคิลใน red clover และพืชตระกูลถั่วเท่านั้น ในขณะที่อาบัสคูลพบในพืชทุกชนิดยกเว้นข้าวบาร์เลย์ ส่วนการศึกษาของ Vivekanadau and Fixen (1991) ศึกษาถึงระบบการปลูกพืชที่มีผลต่อการเข้าอาศัยของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในข้าวโพด พบว่า ระดับการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในข้าวโพดจะมีค่าสูงสุดเมื่อพื้นที่นั้นเคยมีการปลูกถั่วเหลืองมาก่อน และระดับการเข้าอยู่อาศัยในรากพืชนี้จะมีค่าต่ำสุด เมื่อมีการปลูกข้าวบาร์เลย์มาก่อน

7. จุลินทรีย์ชนิดอื่น

Singh *et al.* (1991) ศึกษาผลของการปลูกเชื้อยีสต์ (*Saccharomycescerevisiae*) ที่เมล็ดพืชตระกูลถั่วโดยตรงต่อการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาพบว่าในพืชตระกูลถั่วคือ กระถินไทย (*Leucaena leucocephala*) ถั่วเหลือง (*Glycine max*) ถั่วแระ (*Phaseolus aureus*) และ azuki bean (*Vigna unguiculata*) มีการเข้าสู่รากของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาการเกิดเวสสิเคิล และปริมาณสปอร์เพิ่มขึ้นเมื่อมีการใส่เชื้อยีสต์ที่เมล็ดพืช

Carpenter-Boggs *et al.* (1995) ศึกษาการกระตุ้นการงอกของสปอร์ *Gi. magarita* โดยสารระเหยที่ผลิตโดยเชื้อแอคติโนมัยซีทที่แยกได้จากดินไร่จำนวน 19 ตัวอย่าง เพื่อนำมาผลิตสารระเหย (volatiles) เพื่อใช้กระตุ้นการงอกของสปอร์ *Gi. magarita* พบว่า เชื้อแอคติโนมัยซีทบางชนิดช่วยให้สปอร์ของเชื้อ *Gi. magarita* มีการงอกเพิ่มขึ้นถึง 75 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับในชุดที่ไม่มีการใส่แอคติโนมัยซีทที่มีการงอกเพียง 25 เปอร์เซ็นต์ และพบว่าแอคติโนมัยซีทที่มีรูปร่างตรง (straight) จะสามารถกระตุ้นการงอกของเส้นใยได้มากกว่าแอคติโนมัยซีทที่มีรูปร่างเป็นเกลียว (spiral)

ประโยชน์ของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่มีต่อพืชอาศัย

1. ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช

พืชที่มีเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาอาศัยอยู่จะมีการเจริญเติบโตได้ดีกว่าพืชที่ไม่มีไมคอร์ไรซา โดยเฉพาะพืชที่มีรากอวบและรากขนอ่อนน้อย เช่นไม้ ยืนต้น ไม้ประดับ มันสำปะหลัง ปาล์ม องุ่น ส้ม ส่วนพืชตระกูลหญ้าและถั่วมีการตอบสนองต่อ เชื้อ ราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาน้อยเพราะมีรากเล็กและรากหนาแน่น (นันทกร และคณะ, 2533) การที่เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาช่วยให้พืชเจริญเติบโตดีเนื่องจากช่วยดูดธาตุอาหารมากกว่าโดยเฉพาะธาตุฟอสฟอรัสทำให้การสังเคราะห์แสง และการใช้คาร์โบไฮเดรตมีประสิทธิภาพส่งผลให้มีสัดส่วนของลำต้นต่อรากสูงกว่าพืชที่ไม่มีเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (Harley and Smith, 1983)

2. เพิ่มความสามารถในการดูดใช้ธาตุอาหารของพืช

เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีความสามารถดูดใช้ธาตุอาหารที่จำเป็นแก่พืช เช่นธาตุฟอสฟอรัส โดยเฉพาะเมื่อมีฟอสฟอรัสในดินต่ำ ซึ่งนับเป็นประโยชน์ต่อพืชอย่างมากเนื่องจากการเจริญของเส้นใยที่หุ้มรากมีส่วนในการช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างรากกับดินมากขึ้น และเป็นการลดระยะทางที่ฟอสฟอรัสจะเคลื่อนที่มายังรากทำให้พืชสามารถดูดใช้ฟอสฟอรัสได้ในปริมาณมากและรวดเร็วขึ้น ส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสในเนื้อเยื่อพืชที่มีเชื้อรา อาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาอาศัยอยู่ซึ่งสูงกว่าพืชที่ไม่มีไมคอร์ไรซา (Mosse, 1973) นอกจากนี้ยังพบว่าเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดใช้อาหารที่เคลื่อนที่ได้ช้าโดยใช้เส้นใยราในการดูดธาตุอาหาร เช่น สังกะสี และทองแดง แต่จะมีอิทธิพลน้อยในธาตุอาหารที่สามารถละลายน้ำได้ดี เช่น ไนเตรทและซัลเฟต (Powell, 1976)

3. ช่วยเพิ่มความต้านทานเชื้อสาเหตุโรคพืช

เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาช่วยให้พืชมีความต้านทานการเข้าทำลายของเชื้อโรคพืชโดยเฉพาะเชื้อสาเหตุโรคที่เกี่ยวกับรากพืช เนื่องจากเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาทำให้ลักษณะทางกายภาพ และสัณฐานวิทยาของพืชเปลี่ยนไป (Reid, 1990) เช่นเพิ่มเอนไซม์ chitinase ซึ่งเป็นสารต่อต้านเชื้อรา (Pfleger and Linderman, 1994)

Sharma *et al.* (1993) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซากับการเป็นโรคของพืช พบว่า เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาสามารถเปลี่ยนแปลงรูปแบบการซึมผ่านสารต่างๆ ออกมาภายนอกรากเพื่อเพิ่มกิจกรรมย่อยสลายไคติน (chitinolytic activity) และเปลี่ยนแปลงการสังเคราะห์แสง นอกจากนี้ยังพบว่าพืชที่มีเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาอาศัยอยู่มีความต้านทานต่อเชื้อโรคที่อยู่ในดินและพืชได้ Norman *et al.* (1996) ศึกษาผลของเชื้อรา อาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสตรอเบอรีที่มีต่อเชื้อ *Phytophthora fragiriae* ในสตรอเบอรี 3 สายพันธุ์ คือ พันธุ์ Elsanta, Cambridge favorite และRhapsody พบว่า สตรอเบอรี 2 สายพันธุ์คือ Cambridge favorite และ Elsanta เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาช่วยลดอาการแห้งตาย (necrosis) ของรากลงได้ 60 และ 30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจะมีผลต่อสตรอเบอรีพันธุ์ Rhapsody เพียงเล็กน้อยเท่านั้น Trotta *et al.* (1996) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเชื้อ *Phytophthora nicotianae var. parasitica* กับเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา *G. mosseae* ในมะเขือเทศ พบว่าเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาช่วยเพิ่มความต้านทานต่อเชื้อ *Phytophthora nicotianae* โดยในมะเขือเทศที่มีเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเจริญร่วมกับเชื้อ *Phytophthora nicotianae*จะมีอาการแห้งตายที่เนื้อเยื่อรากลดลง โดยสามารถลดอาการแห้งตายที่รากแขนงและที่ปลายรากลงได้มากถึง 63 และ 89 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

4. เพิ่มความสามารถในการทนแล้งของพืช

เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาช่วยให้พืชทนแล้งได้เนื่องจากมีผลต่อควบคุมการเปิดปิดปากใบ รวมทั้งควบคุมการคายน้ำของพืช (Auge *et al.*, 1987) นอกจากนี้พบว่าในดินแห้งเส้นใยจะทำหน้าที่ลำเลียงน้ำจากดินไปสู่รากพืช โดยการดูดซับน้ำที่เคลือบอยู่ที่ผิวของเม็ดดินและนำไปยังพืช และช่วยให้พืชฟื้นตัวจากสภาพเครียดของน้ำได้เร็วกว่าพืชไม่มีไมคอร์ไรซา (Sieverding, 1991) บทบาทของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่มีต่อความสามารถในการทนแล้งของพืช มีผู้ทำการศึกษาอย่างมากมาย อาทิเช่น การศึกษาของ Subramanian *et al.* (1995) ศึกษาเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อความสัมพันธ์ของน้ำในข้าวโพดที่กำลังมีฝักอ่อนภายใต้สภาพเครียดของน้ำในเรือนกระจก และศึกษาอิทธิพลของเชื้อรา *G. intraradices* ต่อความทนทานสภาพแห้งแล้งของข้าวโพดในเขตร้อน พบว่า ข้าวโพดสามารถทนทานต่อความแห้งแล้งได้เป็นเวลา 3 สัปดาห์ หลังจากที่ข้าวโพดออกฝักอ่อน และในข้าวโพดที่มีเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาอาศัยอยู่มีอัตราการคายน้ำและปริมาณน้ำในใบ วัดในเวลาหลังเที่ยงสูงกว่าในข้าวโพดที่ไม่มีไมคอร์ไรซา แต่มีความต้านทานของปากใบต่ำกว่าข้าวโพดที่ไม่มีไมคอร์ไรซาอาศัยอยู่ นอกจากนี้ยังพบว่า ใบข้าวโพดที่ไม่มีไมคอร์ไรซาอาศัยอยู่มีพื้นที่สีเขียวมากกว่าในใบที่ไม่มีไมคอร์ไรซาอาศัยอยู่ถึง 27.5 เปอร์เซ็นต์ ภายใต้สภาพเครียดของน้ำ จากการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าเชื้อราไมคอร์ไรซาสามารถส่งเสริมให้พืชที่กำลังมีฝักอ่อนมีความต้านทานต่อสภาพแล้งอย่างมีนัยสำคัญ

5. ช่วยให้พืชทนต่อความเป็นพิษของโลหะหนัก

Guo *et al.* (1996) ศึกษาความสามารถของเชื้อ *G. mosseae* ต่อการดูดซับธาตุแคดเมียม และนิกเกิลในต้นถั่วและข้าวโพด พบว่า ในต้นถั่วเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีบทบาทสำคัญในการเพิ่มความสามารถในการดูดซับธาตุแคดเมียมในดิน โดยสามารถดูดซับได้ถึง 37 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณแคดเมียมที่ดูดซับได้ทั้งหมด เช่นเดียวกับข้าวโพดที่สามารถดูดซับธาตุแคดเมียมได้เพิ่มขึ้น 41 เปอร์เซ็นต์ แต่เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาไม่มีผลต่อการดูดซับธาตุนิกเกิลในพืชทั้งสองชนิด Diaz *et al.* (1996) ศึกษาอิทธิพลของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อการดูดซับธาตุสังกะสีและตะกั่วที่ปนเปื้อนในดิน และการเจริญเติบโตของ *Lygeum spartum* และ *Anthyllis cytisoides* ศึกษาโดยใช้เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา 2 ชนิด คือ *G. mosseae* และ *G. macrocarpum* พบว่า ในดินที่ไม่มีการปนเปื้อนพืชที่มีและไม่มีเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีการเจริญเติบโตที่ใกล้เคียงกัน แต่เมื่อมีการปนเปื้อนของธาตุโลหะหนัก พบว่า *Anthyllis cytisoides* ที่มีเชื้อ *G. mosseae* มีการเจริญเติบโตสูงกว่า *G. macrocarpum* และไม่สามารถเจริญเติบโตได้หากไม่มีเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเข้าอาศัยในราก นอกจากนี้พบว่า พืชทั้งสองชนิดที่มีการเข้าอาศัย

ของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจะมีความเข้มข้นของธาตุโลหะหนักในเนื้อเยื่อต่ำกว่าในพืชที่ไม่มีเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

แนวทางการนำไปใช้สำหรับการเกษตรอินทรีย์

1. การทำหัวเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (AM inoculum)

เนื่องจากไม่สามารถเพาะเลี้ยงในอาหารเทียมเลี้ยงเชื้อได้ ดังนั้นจึงนิยมขยายหัวเชื้อโดยเก็บสปอร์ไปขยายในถุงเพาะชำ หรือแปลงเพาะกล้าเพื่อขยายให้มีปริมาณมากขึ้นในต้นกล้าพวกถั่ว ข้าวโพด หรือพืชวงศ์หญ้า แล้วไม่ใช้ดินเชื้อและรากของพืชที่นำมาขยายเชื้อนั้นไปคลุกผสมกับต้นกล้าที่เราต้องการเพาะปลูกต่อไป (ธงชัย, 2550)

1.1 การใช้ดินเชื้อ (Soil inoculum)

นำดินเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่ปริมาณห่างจากลำต้นไม้เกิน 50 เซนติเมตรโดยรอบและขุดลึกประมาณ 10 - 20 เซนติเมตรให้มีรากเดิมติดมาด้วย แล้วนำไปใช้ทันทีหรือเก็บไว้ในที่ร่มประมาณไม่เกิน 7 วัน เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่ติดอยู่กับดินจะนำไปคลุกกับดินเพาะอัตรา 1:6 ถึง 1:10 ส่วน แล้วเพาะเมล็ดและต้นกล้า วิธีนี้ข้อดีคือประหยัด เสียค่าใช้จ่ายน้อย ไม่ต้องใช้วิธียุ่งยากซับซ้อนง่ายต่อการปฏิบัติ ข้อเสียคือ ดินมีน้ำหนักมากขนย้ายระยะทางไกล ๆ ไม่สะดวก เราไม่สามารถทราบชนิดเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่เหมาะสมกับต้นกล้าได้ และดินอาจมีเชื้อโรคติดมาระบาดต้นกล้าได้ง่าย วิธีการแก้ไข ต้องเลือกดินรากต้นแม่ที่สมบูรณ์ปราศจากโรคและควรปัดกวาดซากพืชหน้าดินออกให้สะอาดก่อนขุดดินนำเอาไปใช้เพาะต้นกล้า

1.2 การใช้สปอร์ (Spore inoculum)

เราสามารถนำสปอร์ไปผสมน้ำหรือใช้สปอร์โดยตรงคลุกกับเมล็ดพันธุ์ก่อนเพาะกล้า หรือนำสปอร์ผสมน้ำในอัตราส่วน 1:1000 แล้วฉีดพ่นกับต้นกล้าหรือเมล็ดพันธุ์ในแปลงเพาะ ข้อดีวิธีการนี้คือนำไปปฏิบัติได้ง่าย ทราบชื่อพันธุ์ได้ แต่มีข้อเสียคือ เราไม่สามารถเก็บสปอร์ในปริมาณมาก ๆ ได้ ไม่สามารถคัดเลือกสายพันธุ์ที่ดีมีประสิทธิภาพสูง และสปอร์มีระยะพักตัว มีการงอกที่ไม่สม่ำเสมอ สปอร์บางชนิดมีอัตราการงอกต่ำ ต้องใช้วิธีกระตุ้นเป็นพิเศษจึงจะสามารถงอกได้สปอร์สามารถทำเป็นเม็ดไมคอร์ไรซา (Mycorrhizal tablelts) ได้

2. การทำปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซาอัดเม็ด

การขยายเชื้อโดยใช้ vermiculite : peat moss อัตราส่วน 28:1 แล้วผสมกับอาหารเทียม MMW ที่ปราศจาก 50% ของผงวุ้นเลี้ยงเชื้อ (agar) จะให้ผลดีสามารถเลี้ยงเชื้อได้ภายใน 3-4 เดือน ก็นำเอาหัวเชื้อไปใช้คลุกดินเพาะกล้าได้ ในอัตราส่วน 1:8 ถึง 1:10 แล้วจึงเพาะเมล็ดกล้าไม้ วิธีการนี้มีข้อเสียคือ ต้องใช้เทคนิคเครื่องมือและอุปกรณ์ค่อนข้างซับซ้อนและต้องการความรู้ และความชำนาญเป็นพิเศษจึงดำเนินการได้ แต่ข้อดีก็คือ หัวเชื้อที่ได้จะบริสุทธิ์ปราศจากเชื้อปนเปื้อน และได้สายพันธุ์ที่เป็นพันธุ์ดีที่ได้คัดเลือกสายพันธุ์เหมาะสมแล้วมาใช้และมีประสิทธิภาพสูง ในแง่วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสมัยใหม่ (ธงชัย, 2550)

3. การใส่ผงเชื้อให้แก่พืชมีวิธีการดังนี้

1. การใส่ผงเชื้อโดยโรยผงเป็นแถบ เป็นวิธีการใส่ผงเชื้อโดยการโรยผงเชื้อเป็นแถบๆ ข้างแถวที่ปลูกพืช วิธีนี้ได้ผลดีในกรณีที่มีผงเชื้อในปริมาณที่จำกัด

2. การผสมผงเชื้อกับดิน เป็นวิธีการใส่ผงเชื้อราให้แก่รากพืชที่คล้ายกับการใส่ผงเชื้อแบบธรรมชาติมากที่สุด ในแปลงปลูกพืชจำเป็นต้องใช้ผงเชื้อเป็นปริมาณมากเพื่อให้เกิดการติดเชื้อได้เร็วและมีปริมาณการติดเชื้อสูง แต่ถ้าเป็นการปฏิบัติในเรือนกระจกหรือในเรือนเพาะชำแล้ว การผสมผงเชื้อกับดินแล้วหว่านไปบนผิวดินผสมคลุกเคล้าให้ดี

3. การพอกเมล็ด หลักการทั่วไปจะคล้ายกันกับการพอกเมล็ดถั่วด้วยเชื้อไรโซเบียม กล่าวคือนำเอาสปอร์ หรือ รากที่มีเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในกระถางโดยวิธีร่อนผ่านตะแกรงแบบเปียก (Wet sieving and decanting) มาจำนวน 35 มิลลิลิตร ผสมเข้ากับสารละลาย 1 เปอร์เซ็นต์ (W/V) ของ 400-centipoise methyl-cellulose จำนวน 5 มิลลิลิตร แล้วผสมกับเมล็ดพืช (ธงชัย, 2550)

4. การเพาะเชื้อร่วมกับพืชก่อนย้ายกล้า (Pre-inoculation of transplanted seedlings) ในพืชที่มีการย้ายกล้า การเพาะเชื้อร่วมกับก่อนการทำการย้ายกล้าจะเป็นวิธีที่ดีที่สุด มักใช้กับพืชพวกไม้ยืนต้น เช่น กล้าไม้ผล และไม้ป่าเป็นต้น

การผลิตสารโกลมาลิน (Glomalin) จากเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซ่า (Arbuscular mycorrhizal fungi)

สมบัติโดยทั่วไปของโกลมาลินนั้น เป็นสาร glycoprotienaceous ที่เพิ่งจะถูกค้นพบเมื่อเร็ว ๆ นี้ (1996) โดยยังไม่สามารถทราบลำดับของกรดอมิโนและโครงสร้างอย่างชัดเจน โดยเป็นสารที่ผลิตจากจุลินทรีย์ในกลุ่ม AMF โดยจุลินทรีย์กลุ่มนี้เป็น obligate biotrops (อยู่ใน phylum Glomermycota) เพราะจะต้องอาศัยร่วมกันแบบ symbosis กับรากพืชเท่านั้น โดย 2 ใน 3 ของพืชเหล่านี้จะเป็นไม้ยืนต้น

โกลมาลินก็สมบัติเช่นเดียวกับสาร humic acid ที่พบได้ในดินทั่วไป โดยพบว่าเป็นสารประกอบจำพวกโปรตีนที่สามารถทำปฏิกิริยากับ antibody ที่เรียกว่า monoclonal antibody (MAb32B11) โดย antibody ชนิดนี้จะเพิ่มขึ้นเมื่อมีของการแตกสปอร์ AMF โดยเฉพาะสปีชีส์ *Glomus intraradices* โกลมาลินที่ปรากฏอยู่ในดินมีปริมาณแตกต่างกันตามชนิดของดิน ซึ่งอาจจะมีค่าอยู่ในช่วงตั้งแต่สูงมากจนถึงต่ำสุด ประมาณ 10mg g^{-1} ในบางกรณีอาจจะรายงานข้อมูลในลักษณะการเก็บรักษาคาร์บอน (stock) มีประมาณ 60 mg cm^{-3} สำหรับการสลายตัวนั้นโกลมาลินมีการสลายตัวช้ากว่าส่วนของ hyphae ของ AMF โดยมีการประเมินระยะเวลาในการย่อยสลายของโกลมาลินเมื่ออยู่ในดินนั้นอาจจะถึงหลายสิบปี นอกจากนี้ การผลิตอาจทำได้ในสภาพห้องทดลองหรืออาหารปลอดเชื้อ (sterile *in vitro*) ของเชื้อ AMF แต่ในนี้ขณะงานศึกษายังในสภาพกระถางหรือดินโดยตรง องค์ประกอบของโกลมาลินนั้นจะมีไนโตรเจนที่จับอยู่กับพวกสายโพลีแซกคาร์ไลด์ และสิ่งที่สกัดได้จะมีเหล็ก (Fe) รวมอยู่ด้วยในปริมาณที่แตกต่างกันไป ส่วนบทบาทของ Fe ยังไม่เป็นที่ทราบ และยังมีสมบัติที่ไม่ละลายน้ำ (hydrophobic) โดยมีหลักฐานจาก NMR sprectrum แสดงให้เห็นโกลมาลินนี้มีลักษณะที่แตกต่างอย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับสารฮิวมิก แอซิด (humic acid) สำหรับการปลดปล่อยสารโกลมาลินออกจากส่วน hyphea ของ AMF นั้น โดยโกลมาลินอาจจะการหลุดร่อน (sloughed of hyphae) ของส่วน hyphae หรือถูกขับออกมาจากในส่วน hyphae tip นอกจากนี้ สายพันธุ์ของ AMF เป็นส่วนสำคัญในอัตราการสร้างโกลมาลินที่แตกต่างกันด้วย โดยจะตอบสนองต่อการจัดการทางการเกษตรต่าง ๆ เช่น การหมุนเวียนพืชที่ปลูก การไถ เป็นต้น หรืออาจจะมีบทบาทในการลดการปลดปล่อย CO_2 อีกด้วย

การนำเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามาใช้ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์

การนำเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ ช่วยให้เพิ่มการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช ซึ่งมีงานวิจัยจำนวนมากที่ศึกษาเกี่ยวกับการนำเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามาใช้ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ ศุภธิดา และคณะ (2552) รายงานว่า การใส่เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาสปีชีส์ *G. etunicatum* และ *G. geosporum* มีผลทำให้ปริมาณสารสัมพันธ์โปรตีนในส่วนของ สารโกลมาลินที่สกัดได้ง่ายสูงกว่าปุ๋ยมูลไส้เดือนที่ไม่มีการใส่เชื้อ และในส่วนของสารโกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมดพบว่าปุ๋ยมูลสัตว์ที่มีการใส่เชื้อรา อาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีแนวโน้มสูงกว่าปุ๋ยที่ไม่มีการใส่เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในขณะเดียวกันการใส่เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาสายพันธุ์ *G. Etunicatum*มีผลทำให้ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอน Water Soluble Carbon (WSC) มีแนวโน้มสูงกว่าปุ๋ยที่ไม่มีการใส่เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ส่วนปริมาณ POC พบว่าการใส่เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา สายพันธุ์ *G geosporum* มีผลทำให้ปริมาณ

สารอินทรีย์คาร์บอนในปุ๋ยในส่วนของ Permanganate Oxidizable Carbon (POC) สูงกว่าปุ๋ยหมักที่ไม่มีการใส่เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาอาจจะกล่าวได้ว่าสารอินทรีย์คาร์บอนและโกลมาลินที่สกัดได้ง่ายมีศักยภาพที่จะนำไปใช้ในการประเมินความสมบูรณ์ในการหมักของปุ๋ยหมัก ซึ่งการใส่เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาร่วมกับปุ๋ยคอกช่วยให้ปุ๋ยคอกย่อยสลายเร็วขึ้น เกษตรกรสามารถนำไปใช้ได้ในระยะเวลาสั้น เนื่องจากปุ๋ยที่คลุกร่วมกับเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาภายในไซโตรพลาสซึม (cytoplasm) ของเชื้อ อาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีแบคทีเรียที่อาศัยร่วมอยู่ ซึ่งพบในเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาหลายชนิด รวมทั้งแบคทีเรียที่อาศัยอยู่บนภายนอกของผนังเซลสปอร์ด้วย (Walley and Germida, 1996) แบคทีเรียเหล่านี้ยังคงดำเนินกิจกรรมอยู่ จึงส่งผลให้มีการปลดปล่อย CO_2 ออกมาสูงเมื่อเปรียบเทียบปุ๋ยหมักที่ไม่มีการใส่เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาและกิจกรรมจุลินทรีย์ที่อยู่ในมูลสัตว์จะดำเนินกิจกรรมย่อยการสลายตัวของเศษซากอินทรีย์ Perner *et al.* (2007) รายงานว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ช่วยเพิ่มธาตุอาหาร การเจริญเติบโตของพืชและเพิ่มการออกดอกของพืช สุกานดา และคณะ (2552) รายงานว่า การใช้เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ ช่วยในการเพิ่มผลผลิตของสบู่ดำพันธุ์อินเดียได้

การนำเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามาใช้ประโยชน์ในการปลูกข้าว

ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญต่อสังคมไทย ไม่เพียงแต่เป็นแหล่งอาหารที่ให้คาร์โบไฮเดรตเท่านั้น ในแต่ละปีข้าวที่เหลือจากการบริโภคถูกส่งไปจำหน่ายยังตลาดต่างประเทศเช่น จีน อินโดนีเซีย อิหร่าน ฮ่องกง มาเลเซีย ดังนั้นอนาคตข้าวไทยจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมุ่งเน้นไปที่การผลิตคุณภาพสูงเพื่อการส่งออก โดยอาศัยความได้เปรียบทางด้านชื่อเสียงว่าเป็นผู้ผลิตข้าวคุณภาพสูงและเป็นผู้ส่งออกข้าวรายใหญ่ที่สุดของโลกมานาน (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา, 2542) Li *et al.* (2011) รายงานว่า ข้าวนาดำพันธุ์ Guangyinzhan ที่ใส่เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา *G. Intraradices* และข้าวไร่พันธุ์ Handao 502 ที่ใส่เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา *G. geosporum* ช่วยเพิ่มความต้านทานต่อสารหนู เพิ่มผลผลิตเมล็ด น้ำหนักพืช จำนวนเมล็ด ฟางข้าว และการดูดใช้ฟอสฟอรัสและสารหนูในราก ในขณะเดียวกัน ข้าวนาดำพันธุ์ Guangyinzhan ที่ใส่เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา *G. geosporum* และข้าวไร่พันธุ์ Handao 502 ที่ใส่เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา *G. intraradices* ทำให้ผลผลิตลดลงและเพิ่มความเข้มข้นของสารหนูในเมล็ด ซึ่งเกิดจากความแตกต่างของวิธีการปลูกข้าวและชนิดของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา Xiao *et al.* (2010) รายงานว่า การปลูกพืชผสมผสานระหว่างถั่วเขียวกับข้าวไร่โดยการใส่เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา *G. caledonium* 90036 และ *A. laevis* 90034 ช่วยเพิ่มการดูดใช้ธาตุอาหาร การตรึงไนโตรเจนและ การเจริญเติบโตของถั่วเขียวเพิ่มมากขึ้น Ruiz-Sanchez *et al.* (2010) รายงานว่าการปลูกข้าวโดยใส่เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา *G. intraradices* โดยรักษาระดับความชื้นที่ 60-70 เปอร์เซ็นต์ (water holding capacity)

พบว่าเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาช่วยเพิ่มน้ำหนักสดของต้นข้าวและเพิ่มการสังเคราะห์แสงของข้าว Gao *et al.* (2007) รายงานว่า การปลูกข้าวสภาพมีอากาศโดยใส่เชื้อ *G. mosseae*และ *G. etunigatum* พบว่าเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตของข้าวและช่วยดูดใช้สังกะสีได้สูงกว่าข้าวที่ไม่ใส่ เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

ระบบเกษตรอินทรีย์กับโกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดิน

ระบบเกษตรเคมีที่มีการจัดการต่าง ๆ เข้ามาเกี่ยวข้องเช่น การใส่ปุ๋ย การไถ การใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช เป็นต้น การกระทำเหล่านี้ส่งผลกระทบทางลบต่อสภาพธรรมชาติดั้งเดิมของดิน โดยทำให้เกิดสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมของการเติบโตของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ต่อพืช และมีผลกระทบต่อธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืช การหมุนเวียนของธาตุอาหารในดิน หรือความหลากหลายทางชีวภาพของสิ่งมีชีวิตในสิ่งแวดล้อม แต่สำหรับระบบเกษตรอินทรีย์ ก็อาจเป็นระบบเกษตรแบบหนึ่งที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ต่อพืชโดยเฉพาะอย่างยิ่งอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ซึ่งการจัดการในระบบเกษตรเคมีที่มีการใช้สารเคมีกำจัดวัชพืชหรือการใส่ปุ๋ยเคมี โดยเฉพาะอย่างยิ่งฟอสฟอรัส จะทำให้กิจกรรมที่เป็นประโยชน์ของอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาได้รับผลกระทบทางลบ ดังนั้นประโยชน์ที่ได้จากการทำระบบเกษตรอินทรีย์ที่มีผลต่อการสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่จะสร้างกลูมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดินก็จะเกิดผลต่อเนื่องตามมา ซึ่งจะทำให้สมบัติทางกายภาพและเคมีของดินเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชตามมา

สำหรับแนวทางปฏิบัติประการหนึ่งคือการผลิตหัวเชื้อและการใส่ลงแปลงเพาะปลูก ความสำคัญในการนำไปใช้เพื่อให้เกิดประโยชน์ในระดับแปลงเกษตรกรได้นั้น แนวทางปฏิบัติอาจจะเป็นการใส่หัวเชื้อ (inoculation) ลงในแปลง แต่อย่างไรก็ตามจะต้องมีการพิจารณาในเรื่องชนิดของเชื้อและปริมาณที่จะใส่ลงไปซึ่งอยู่ในความหมายของความเหมาะสม นอกจากนี้ อำนาจ (2551) ได้เสนอแนะว่าการใช้ปุ๋ยชีวภาพเอไมคอร์ไรซา(AMF) จะได้ผลหรือไม่ หรือได้ผลมากหรือน้อยขึ้นกับปริมาณเชื้อราประเภทนี้ที่มีอยู่ตามธรรมชาติในดินและความอุดมสมบูรณ์ของธาตุอาหารต่าง ๆ ในดิน ยกเว้นธาตุฟอสฟอรัส ดังนั้น การใช้ AMF ที่มีอยู่ในธรรมชาติแล้วนั้น และอาจจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพให้เพิ่มขึ้น ดังนั้นจำเป็นต้องมีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของต้นไม้ที่ไมคอร์ไรซ่าใช้เป็นพืชอาศัยเสียก่อน เพื่อผลการศึกษาที่ได้นำไปต่อยอดเพิ่มเติมต่อไป

ผลของโกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนกับความอุดมสมบูรณ์ของดิน : สมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน

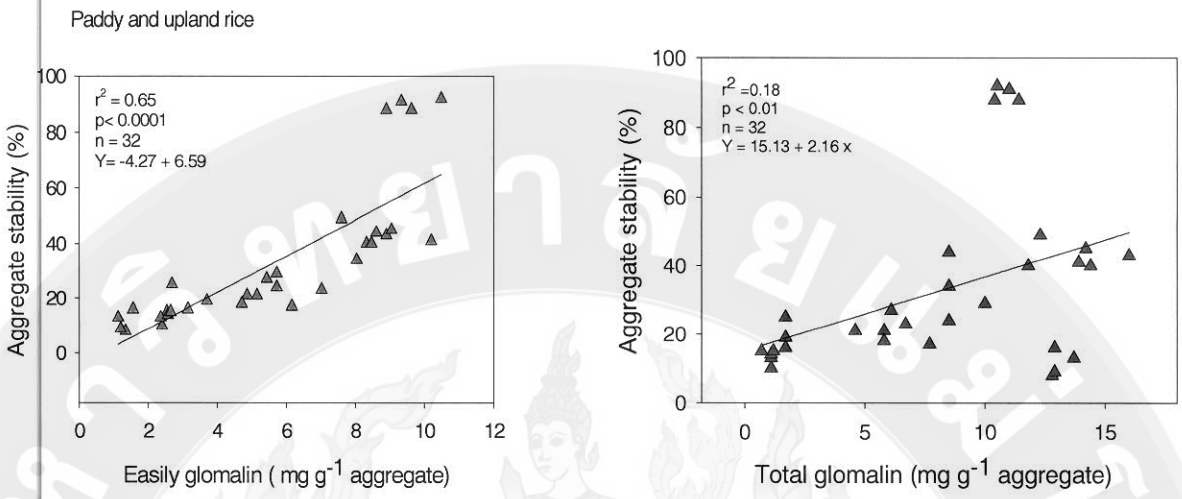
การดูดซับโลหะหนักและธาตุพิษ

จากการศึกษาของ Gonzalez_Chavez *et al.*(2004) ได้ศึกษาปริมาณ Cu^{2+} ในสารโกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดินที่ถูกสร้างมาจาก AMF และพบว่ามีปริมาณสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับทรายที่ไม่มีเส้นใยของ AMF และส่วนของเส้นใยที่อยู่รวมกับรากพืช จะเห็นได้ว่าสารโกลมาลินมีศักยภาพในการดูดซับ (Sequetration) สารโลหะหนักต่าง ๆ โดยอาจจะนำไปใช้ในการดูดซับโลหะหนักอื่น ๆ เช่น Cu,Cd,Pb และ Mnเพื่อบำบัดดินที่มีการปนเปื้อนโลหะ(Remediation) เหล่านี้ นอกจากนี้ จากการที่ส่วนของผนังเซลของเส้นใย AMF มีกรดอะมิโน หมู่ไฮดรอกซิล คารบอกซิล และหมู่ฟังชั่นกรุ๊ปอื่น ๆ ซึ่งเป็นที่เหมาะสำหรับโลหะต่าง ๆ เช่น Cu^{2+} หรือโลหะอื่น ๆ เข้ามาจับ (Gonzalez_Chavez *et al,* 2002) สำหรับความสามารถประการนี้ อาจมีส่วนช่วยให้พืชมีความแข็งแรง ทนทานต่อความเป็นพิษของดิน และทนทานต่อความเป็นกรด-ด่างของดินได้

ความสัมพันธ์ระหว่างความคงทนของเม็ดดินกับปริมาณโกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดิน

จากการศึกษาของศุภธิดาและคณะ (2552) พบว่าค่าสหสัมสัมพันธ์ (r^2) ปริมาณโกลมาลินที่สกัดได้ง่ายมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความคงทนของเม็ดดินค่อนข้างสูง และมีค่าสูงกว่าค่าสหสัมสัมพันธ์ระหว่างโกลมาลินทั้งหมดกับความคงทนของเม็ดดิน ซึ่งสอดคล้องกับ Wright and Upadhyaya (1998)

จากภาพที่ 2A) และ B) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความคงทนของเม็ดดินและปริมาณโกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดินที่สกัดได้ง่ายมีความสัมพันธ์ในทางบวกในดินที่ปลูกข้าวนาดำและข้าวไร่ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณโกลมาลินทั้งหมด สามารถทำได้โดยโกลมาลินซึ่งมีบทบาทในการสร้างเม็ดดินและทำให้เม็ดดินนั้นคงสภาพนั้นยาวนาน จึงถือว่าเป็นสารปรับสภาพดิน ส่งเสริมการแทรกของรากพืช การช่วยลดการพังทลายของดิน การแทรกซึมของอากาศ และการระบายน้ำ สิ่งเหล่านี้ทำให้เกิดผลโดยตรงที่เป็นผลดีต่อการเจริญเติบโตของรากพืชและการดูดใช้ธาตุอาหารและน้ำได้ดีขึ้น



A) B)

ภาพที่ 2 Relationship between easily , total glomalin and stability of 1-2 mm-size aggregates in 0-15 cm soil samples of paddy soil in Chiang Mai province , Northern Thailand.

ที่มา: ศุภธิดา และคณะ (2551)

นอกจากนี้ การสลายตัวนั้นโกลมาลินมีการสลายตัวช้ากว่าส่วนของเส้นใย (hyphae) ของ AMF โดยมีการประเมินระยะเวลาในการย่อยสลายของโกลมาลิน เมื่ออยู่ในดินนั้นอาจจะถึงหลายสิบปี นอกจากนี้การผลิตอาจทำได้ในสภาพห้องทอดลองหรืออาหารปลอดเชื้อ (sterile *in vitro*) ของเชื้อ AMF ดังนั้นการเกิดโครงสร้างใหม่ของดิน (regeneration of soil structure) (Smith and Read,1997;Miller and Justrow,2000)

การเก็บรักษาคาร์บอนไว้ในดิน

จากความสามารถในการเสริมสร้างและความคงทนของเม็ดดินดังที่กล่าวข้างต้นผลที่ได้รับตามมาคือเม็ดดินขนาดเล็ก (micro aggregate) ซึ่งผลมาจากสารโกลมาลิน และเม็ดดินขนาดเล็กนี้จะรวมตัวกันเกิดเป็นเม็ดดินขนาดใหญ่ (macro aggregate) โดยมีอิทธิพลของเส้นใยของ AMF รวมด้วย สำหรับการสลายตัวนั้นโกลมาลินมีการสลายตัวช้ากว่าส่วนของ hyphae ของ AMF โดยมีการประเมินระยะเวลาในการย่อยสลายของโกลมาลินเมื่ออยู่ในดินนั้นอาจจะถึงหลายสิบปี จากเหตุผลเหล่านี้ทำให้ดินสามารถที่เก็บกักคาร์บอน (carbon storage) และมีผลให้ลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก เช่น CO_2 ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการสลายตัวของอินทรียวัตถุในดิน (Lovelock *et al.*,2004;Rillig *et al.*,2001)

เพิ่มความสามารถของในการทนแล้งหรือขาดน้ำได้

ช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดซับน้ำและแร่ธาตุอาหารให้แก่ต้นไม้ เช่น ฟอสฟอรัส (P) ไนโตรเจน (N) โปแตสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) และธาตุอื่น ๆ ซึ่งธาตุเหล่านี้เชื้อราจะดูดซับไว้ และสะสมในรากและซึมซับขึ้นส่วนต่างๆของต้นไม้ ช่วยในการสังเคราะห์แสง (photosynthesis) ของพืช เนื่องจากช่วยเพิ่มพื้นที่ผิว ปริมาณของรากพืช และต้นไม้ ช่วยเพิ่มความแข็งแรงและความทนทานให้แก่ระบบรากของต้นไม้ ช่วยให้ต้นไม้มีความแข็งแรง ทนทานต่อสภาพพื้นที่ที่แห้งแล้ง

ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ต่อการปลดปล่อยธาตุอาหาร

ปรากฏการณ์ Priming effect เป็นกระบวนการที่เป็นทั้งการส่งเสริมการปลดปล่อยคาร์บอนและเพิ่มความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจนโดยผ่านกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน (Carbon and Nitrogen Mineralization) ซึ่งจะเรียกว่า Positive priming effect แต่ถ้าการแปลงเปลี่ยนดังกล่าวลดลงหรือเกิดกระบวนการ Immobilization จะเรียกว่า Negative priming effect โดยปรากฏการณ์เหล่านี้ เกี่ยวข้องหรือเกิดขึ้นในการสลายตัวของอินทรียวัตถุในดิน โดยเกิดในภายหลังจากมีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยเคมี การปลดปล่อยสารอินทรีย์จากรากพืช (root exudate) ดินมีการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากเครื่องจักร หรือดินที่อยู่ในสภาพแห้งสลับเปียก "Priming Effect" ได้ถูกโดย ซึ่งในช่วงเวลาดังกล่าวนี้อาจจะมีคำว่า priming action ซึ่งมุ่งเน้นเพียงคาร์บอนและไนโตรเจน สำหรับการศึกษาคาร์บอนทั้งหมายนั้น Priming effect จึงหมายถึงการสลายตัวของอินทรีย์คาร์บอนที่เกิดขึ้นภายหลังการเติมสารอินทรีย์ที่มีการสลายตัวง่ายได้ให้กับดิน (Dalenberg and Jager, 1989) ดังนั้นการใช้หรือการใส่ปุ๋ยปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆในระบบเกษตรอินทรีย์ปรากฏการณ์นี้จึงมีความสำคัญในประเด็นของการปลดปล่อยธาตุอาหารให้เพียงพอและเหมาะสมต่อความต้องการของพืชหรือไหม

สำหรับอินทรียวัตถุในดินและในปุ๋ยอินทรีย์ถือว่าเป็นแหล่งธาตุอาหารพืชที่สำคัญ การเสนอแนะของ Jenkinson (1971) ว่าอินทรีย์คาร์บอนส่วนที่ย่อยสลายได้ง่าย (labile pool of SOC) และเป็นส่วนที่ง่ายต่อการเกิด PE ดังนั้นดินที่มีอินทรีย์คาร์บอนส่วนนี้มากก็จะทำให้เกิด PE เพิ่มขึ้น สำหรับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่มีองค์ประกอบของอินทรีย์คาร์บอนส่วนที่ย่อยสลายได้ง่ายก็จะส่งเสริมการเกิด PE เช่นกัน ปรากฏการณ์ PE (Priming effect) มีความหมายการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในช่วงระยะเวลาสั้นในการสลายตัวของอินทรียวัตถุในดินเพื่อปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืชหรือโทษ โดยมีสาเหตุมาจากมีการใส่สารต่างๆ (Kuzyakov *et al.*, 2000) สำหรับกลไกการเกิดปรากฏการณ์ดังกล่าวนั้นยังไม่มีความเข้าใจอย่างแท้จริง เช่น การศึกษาของ Wu *et al.* (1993) ได้รายงานผลของการใส่กลูโคส (C14) (เป็นสารที่มีจุลินทรีย์สามารถใช้ประโยชน์ได้รวดเร็ว)ทำให้เกิด positive PE ในดิน สำหรับการศึกษาในครั้งนี้อาจจะ

เป็นเพราะ negative PE ในสภาพดินน้ำขัง(waterlogged soil) ซึ่งจะมีอินทรียวัตถุในดิน(ฮิวมิก แอซิด) เป็นแหล่งพลังงานสำหรับจุลินทรีย์ นอกจากนี้ตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์เช่น ผลของการใส่ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินในปริมาณที่สูง (1.6 ตัน/ไร่) มีผลต่อกระบวนการมินเนอร์รอลไรเซชั่นอย่างชัดเจนในดินน้ำพอง ถ้าพิจารณาถึงปริมาณ DOC สามารถชักนำให้เกิด PE ได้โดยเกิดการในช่วงหลังการใส่ประมาณ 4 วันแรกของใส่สารอินทรีย์ต่างๆ ผลการใส่ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนในดินไม่เกิด PEหรือไม่เกิดการลายตัวของอินทรียวัตถุในดินนั้น อาจเป็นเพราะมีปริมาณไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ในดินต่ำ ซึ่งเมื่อมีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนซ้ำลงไปอีกครั้งจึงชักนำให้เกิด PE นอกจากนี้ อัตราส่วน C/N ของปุ๋ย มีผลต่อกระบวนการสลายตัวของอินทรียวัตถุในดินและตัวปุ๋ยเอง (Hamer and Marchner, 2005)

อินทรียวัตถุในดินหรืออินทรีย์คาร์บอนที่ใช้เป็นดัชนีวัดคุณภาพดินที่สำคัญ โดยสามารถแบ่งเป็นส่วนต่าง ๆ ได้สองกลุ่มตามคุณสมบัติ และอัตราการย่อยสลาย กลุ่มแรกเป็นกลุ่มที่ยากต่อการเปลี่ยนแปลง (stable soil organic matter) แต่จากการที่วัดการเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรียวัตถุในดินนั้นทำได้ยาก เพราะปริมาณอินทรียวัตถุในดินมีส่วนเป็นส่วนที่ค่อนข้างคงที่ และยังคงอยู่ในดินและมีปริมาณที่มากด้วย (Gregorich *et al.*,1994) โดยเฉพาะสำหรับอินทรียวัตถุในกลุ่มแรกนี้ได้แก่ humus และ inert organic matter (Skjemstad *et al.*,1996) เป็นส่วนถูกย่อยสลายได้ยาก และยังเป็นส่วนสำคัญที่ถูกเก็บรักษาคาร์บอนไว้ในดิน โดยถูกป้องกันการย่อยสลายโดยดิน (mineralmatrix) (Krull *et al.*,2003) เช่น ส่วนที่เป็น inert organic matter สามารถคงอยู่ในดินได้นานถึง 100 - 1,000 ปี ในขณะเดียวกันก็ยังมีอินทรียวัตถุอีกกลุ่มหนึ่งที่มีลักษณะตรงกันข้ามกับกลุ่มแรกเพราะจะถูกเปลี่ยนแปลงได้ง่ายหรือเร็วกว่าอันเนื่องจากการใช้ที่ดิน หรืออาจจะเรียกกลุ่มนี้ว่าอินทรีย์คาร์บอนส่วนที่เป็นประโยชน์ (labile carbon fraction) อินทรียวัตถุกลุ่มนี้เป็นส่วนที่ง่ายต่อการย่อยสลาย และเป็นแหล่งพลังงานให้กับจุลินทรีย์ดินโดยอาจอยู่ในรูปของ soil microbial biomass (SMB), light fraction หรือ easily extractable C pools (mineralizable) และ dissolved organic matter (DOM) โดยสามารถตอบสนองต่อการจัดการดินแบบต่างๆ หรือจะถูกเปลี่ยนแปลงเพียงเวลาสั้นคือประมาณ 1 - 5 ปีเท่านั้นเอง การศึกษาครั้งนี้ได้ศึกษาคาร์บอนที่เป็นประโยชน์เช่น water soluble carbon (WSC), hot water soluble carbon (HWSC)(Ghani *et al.*, 2003),particulate organic matter(POM) (Dalal and Mayer, 1986), permanganate oxidizable carbon (POC) (Weil *et al.*,2003) จะเห็นได้ว่าอินทรีย์คาร์บอนส่วนที่เป็นประโยชน์เหล่านี้มีศักยภาพเป็นดัชนีสะท้อนการใช้ที่ดิน หรือการเสื่อมโทรมของทรัพยากรดินได้ (Dalal and Mayer,1986)

การปลูกข้าวตามวิธีเกษตรอินทรีย์ส่งเสริมการกักเก็บคาร์บอนในดินได้ดีกว่าวิธีการเกษตรเคมี ทั้งที่มีหรือไม่มีการจัดการนา (ธารณี, 2554) โดยทั่วไปพบว่า อินทรีย์คาร์บอนที่สะสมอยู่ในดินลึกและมี

องค์ประกอบของอนุภาคดินเหนียว ซึ่งเป็นอนุภาคดินขนาดเล็กจำนวนมาก ทำให้มีความสามารถในการกักเก็บคาร์บอนได้ในปริมาณมาก (สาพิศ, 2550) ดังนั้นการใช้ประโยชน์ที่ดินที่แตกต่างกันจึงมีผลอย่างมากต่อปริมาณคาร์บอนที่เก็บสะสมไว้ในดิน (อำนาจ และ ณัฐพล, 2548)

ในการสลายตัวของอินทรียวัตถุในสภาพที่มีออกซิเจนจะทำให้มีการสะสมของอินทรียวัตถุในดินบนในปริมาณที่สูง (Lipiec, 1992; Czyz and Tomaszewska, 1993) แต่ดินนาที่มีการทำนาแบบน้ำขังจะส่งผลต่ออิทธิพลการเปลี่ยนรูปของฟอสเฟตในดิน โดย Fe-P และ Al-P มีปริมาณสูงขึ้นแต่ในส่วน Ca-P จะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (Patrick andMahapatra, 1968) ซึ่ง Haygarth *et al.* (1998) พบว่า ฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช และอนินทรีย์ฟอสฟอรัส จะมีการสะสมน้อยลงตามระดับ ความลึกที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช จะเปลี่ยนแปลงปริมาณอย่างรวดเร็ว แม้ความลึกของดินลดลงเพียง 2 ซม. ก็มีฟอสฟอรัสสะสมลดลงถึง 50 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณฟอสฟอรัสในดินบน โดยผลของการตกค้างหลังการใส่ปุ๋ยเคมีชนิดต่างๆ ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ พบว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์เป็นการป้องกันการเปลี่ยนรูปของฟอสฟอรัสที่ตกค้าง และจะเพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสที่ตกค้างอยู่ด้วยให้พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (Singh *et al.*, 2006)

ความสัมพันธ์ระหว่างอินทรีย์คาร์บอนส่วนต่างๆต่อความเป็นประโยชน์ของ Zn และ Cu

จากการศึกษาของศุภธิดา และคณะ (2556) สำหรับในกรณีของ Zn พบว่าในส่วนของการดูดใช้ Zn ของข้าว มีความสัมพันธ์ทางบวกกับปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในส่วนที่เป็น LPOM ,FPOM และ SOC (r = 0.5921,0.4353 และ 0.8755 ตามลำดับ) แต่อินทรีย์คาร์บอนส่วนที่เป็น HWSC มีความสัมพันธ์ทางลบกับการดูดใช้ Zn แต่ในทางกลับกัน ในส่วนของการดูดใช้ Cu ของข้าว มีความสัมพันธ์ทางลบกับปริมาณอินทรีย์คาร์บอน ซึ่งเมื่อค่าปริมาณอินทรีย์คาร์บอนเพิ่มขึ้นการดูดใช้ของ Cu ลดลง แต่ Cu ในดินเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้น Cu ในต้นข้าว (r = -0.7043) (ตารางที่ 1) ทั้งนี้เนื่องจากบทบาทปริมาณอินทรียวัตถุในดินอาจจะมีผลต่อความเป็นประโยชน์หรือความเป็นพิษของ Cu ที่ลดลง ซึ่งอาจจะเกิดจากบทบาทของอินทรีย์คาร์บอนมีผลทั้งในการเพิ่มความเป็นประโยชน์ของ Zn และ Cu ให้กับพืชจากกระบวนการปลดปล่อย (desorption) หรือลดความเป็นประโยชน์จากการกระบวนการดูดยึด (adsorption) หรือกรณีในของโครงการนี้คือศึกษาผลของอินทรีย์คาร์บอนส่วนต่าง ๆ ต่อการเพิ่มขึ้นหรือลดความเป็นพิษของโลหะหนักในพื้นที่ที่ทำการเกษตร

อุปกรณ์และวิธีการดำเนินการวิจัย

<u>โครงการย่อยที่ 1</u> ผลของปุ๋ยเคมีต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของดินในระยะปรับเปลี่ยนระบบเกษตรอินทรีย์

การทดลองในห้องปฏิบัติการ

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) ในดินที่มีเนื้อดินและปริมาณอินทรียวัตถุแตกต่างกัน ที่เป็นผลจากการใส่ปุ๋ยเคมีสูตรต่างๆ โดยทำการบ่มดินน้ำหนัก 60 กก. (ดินบน 0-25 ซม. และดินล่าง 25-50 ซม. น้ำหนักอย่างละ 30 กก.) ลงในถัง (ความสูง 75 ซม. เส้นผ่าศูนย์กลาง 45 ซม. เจาะรูระบายน้ำที่ก้นถังแล้วรองด้วยผ้าขาว) ใช้ผ้าขาวบางปิดปากถังไว้ทำการคลุกปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์กับดินบน (0-25 ซม.) ลงในถัง ทำการบ่มดินภายใต้สภาวะAerobic ที่อุณหภูมิห้องและเติมน้ำเพื่อรักษาระดับความชื้นของดินที่ถูกควบคุมให้อยู่ในสภาพ (ภาพผนวก ก ภาพ) Field capacity วางแผนการทดลองแบบ Factorial 3x3x5in Completely Randomized Design จำนวน 3 ซ้ำ ประกอบด้วย3 ปัจจัยหลัก ได้แก่

1. ชนิดดินโดยพิจารณาจากเนื้อดิน (Soil texture) แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ ได้แก่
   - ชุดดินหางดง Hd (S1) ชุดดินสันทราย Sai (S2) ชุดดินแม่แตง Mt (S3)
2. ปริมาณอินทรียวัตถุ (Organic matter) แบ่งเป็น 3 ระดับจากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ปริมาณต่างๆกัน ได้แก่
   - ระดับที่ 1 Control (O) ไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์
   - ระดับที่ 2ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 1 กก. (O1)
   - ระดับที่ 3 ปุ๋ยอินทรีย์ 2 กก. (O2)
3. ปุ๋ยเคมี จำนวน 4 สูตร โดยทำการผสมกับดินบน ได้แก่
   - ไม่ใส่ปุ๋ยเคมี (Control; F0)
   - ปุ๋ยยูเรีย (Urea) 46-0-0 อัตรา 0.5 กก. (F1)
   - 18-24-24 อัตรา 0.5 กก. (F2)
   - ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) 0-0-60 อัตรา 0.5 กก. (F3)
   - 16-16-16 อัตรา 0.5 กก. (F4)

2) การเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างดิน

เก็บตัวอย่างดินตามระยะเวลาที่กำหนดโดยเริ่มตั้งแต่ 0, 1, 4, 9, และ 12 เดือน เพื่อวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน (N) โดยวิธี ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) และปริมาณอินทรียวัตถุ (OM)

3) การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ผลกระทบจากปัจจัยหลักต่างๆและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้โปรแกรม IBM SPSS statistics 24

สถานที่ทำการทดลอง

ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ ณ ภาควิชาทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อม คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ 63 ม. 4 ต. หนองหาร อ.สันทราย จ.เชียงใหม่

<u>โครงการย่อยที่ 2</u> การศึกษาเทคนิคการเพิ่มอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพของสารพิษตกค้างในดินเพื่อลดระยะเวลาการปรับเปลี่ยนสู่ระบบเกษตรอินทรีย์โดยการใช้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินและน้ำหมักมูลไส้เดือนดิน

ดำเนินการวิจัยในห้องปฏิบัติการ ระหว่างเดือน สิงหาคม – พฤศจิกายน 2558 โดยการเก็บตัวอย่างดินจากแปลงของเกษตรกรที่ปลูกพืชในระบบเกษตรเคมีมา 1 แปลง นำดินที่เก็บได้มาศึกษาการใช้มูลไส้เดือนดินและน้ำหมักมูลไส้เดือนดินต่อการย่อยสลายทางชีวภาพของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่ตกค้างในดิน 2 กลุ่ม คือ Organophosphatesและ Pyrethroids โดยศึกษาในสภาพดิน 2 แบบ คือแบบปกติและแบบขังน้ำ โดยทำการตรวจวัดข้อมูล 5 ช่วงเวลา หลังการบ่มดิน 0 วัน 7 วัน 15 วัน 30 วันและ 60 วัน วางแผนการทดลองแบบ 2x3 Factorial in Completely Randomized Design: Factorial in CRD ตำรับทดลองละ 3 ซ้ำ วิเคราะห์สถิติโดยใช้โปรแกรม Sirichai Statistics ตำรับทดลองประกอบด้วย

ปัจจัย A คือ 2 สภาพการบ่ม ได้แก่

A1 ปกติ

A2 น้ำขัง

ปัจจัย B คือ 3 รูปแบบการใส่สาร

B1 ดินตัวอย่าง+สารพิษ Chlorpyrifos, Profenofos, Cypermethrin

B2 ดินตัวอย่าง+มูลไส้เดือนดิน+สารพิษ Chlorpyrifos, Profenofos, Cypermethrin

B3 ดินตัวอย่าง+น้ำหมักมูลไส้เดือนดิน+สารพิษ Chlorpyrifos, Profenofos, Cypermethrin

<u>วิธีการทดลอง</u>

1. เก็บตัวอย่างดินจากแปลงเกษตรกรจำนวน 200 กิโลกรัม โดยขุดดินที่ระดับความลึกที่0-15 เซนติเมตร จากนั้นนำดินมาผึ่งในร่มจนความชื้นลดลงน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 เปอร์เซ็นต์ (ทดสอบโดยสุ่มตัวอย่างดิน 50 กรัม ทำ 2 ซ้ำ อบด้วยอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง)

2. นำดินจากข้อ 1 มาร่อนด้วยตะแกรงร่อนดินขนาด 0.02 มิลลิเมตร จากนั้นแบ่งดินที่ร่อนออกเป็น 6 ส่วน สำหรับใช้ทดสอบ 6 ตำรับทดลอง ตามแผนการทดลองที่วางไว้

3. โดยตำรับทดลองที่ใส่ปุ๋ยมูลไส้เดือนดินใส่ในอัตรา 200 กิโลกรัม/ไร่ น้ำหมักมูลไส้เดือนดินอัตรา 10 ลิตร/ไร่ ใส่สารพิษ Chlorpyrifos, Profenofos, Cypermethrin ชนิดน้ำ ลงไปในดินตัวอย่างแต่ละตำรับทดลอง ในอัตราชนิดละ 10 mg/kg.soil

4. ผสมดินกับปุ๋ยและสารพิษเข้ากันดีแล้ว ชั่งดิน 600 กรัม บรรจุในขวดโหลแก้ว ขนาด 1.5 ลิตรซ้ำละ 1 โหล รวมทั้งสิ้นจำนวน 72 โหล โดยในตำรับทดลองที่บ่มแบบขังน้ำจะใส่น้ำให้ท่วมหน้าดินประมาณ 1 เซนติเมตร ส่วนตำรับทดลองที่บ่มแบบปกติจะปรับดินให้มีความชื้นที่ระดับ 16 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

5. บ่มดินไว้ในห้องที่มืดและมีอุณหภูมิห้องเฉลี่ยประมาณ 30 -31 องศาเซลเซียส

6. ส่งตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 0 วัน และตัวอย่างดินที่บ่มเป็นระยะเวลานาน 7 วัน 15 วัน 30 วัน และ 60 วัน ตรวจวิเคราะห์สารพิษทดสอบ Chlorpyrifos, Profenofos, Cypermethrin ที่คงเหลือในตัวอย่างดิน ที่สำนักงานวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่1 (สวพ.1) จังหวัดเชียงใหม่

7. วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ สรุปผลการทดลอง และกำหนดแนวทางวิธีการสำหรับทดลองใช้มูลไส้เดือนดิน และน้ำหมักมูลไส้เดือนดินกับแปลงเกษตรกรในปีที่ 2

<u>สถานที่ทำการทดลอง</u>

1.ทดลองใช้มูลไส้เดือนดินและน้ำหมักมูลไส้เดือนดินย่อยสลายสารพิษในดินตัวอย่าง ที่ห้องปฏิบัติการจุลชีววิทยาทางดิน ณ อาคารปฏิบัติการทางดินและปุ๋ยชั้นสูง คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่

2. ส่งตัวอย่างตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารพิษกลุ่ม Organophosphates และ Pyrethroids ที่สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 1 (สวพ.1) จังหวัดเชียงใหม่

3. ผลิตมูลไส้เดือนดิน และน้ำหมักมูลไส้เดือนดิน สำหรับใช้ในการทดลอง จากขยะอินทรีย์(เศษผัก เศษผลไม้ เศษอาหาร) โดยใช้ไส้เดือนดินสายพันธุ์ขี้ตาแร่ (*Perionyx* sp.) ย่อยสลาย ที่โรงงานผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ศูนย์วิจัยและพัฒนาไส้เดือนดิน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่

4. เก็บดินตัวอย่างจากแปลงเกษตรของเกษตรกรในพื้นที่ ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่

<u>โครงการย่อยที่ 3</u> การจัดการปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาปรับปรุงดินในระยะปรับเปลี่ยนเพื่อเข้าสู่ระบบเกษตรอินทรีย์

การทดลองย่อยที่ 1 การเปรียบเทียบระบบการปลูกข้าวแบบต่างๆที่มีผลต่อสมบัติทางเคมี ฟิสิกส์ และชีวเคมีของดินที่ผ่านการเกษตรแบบเคมีและการเก็บรักษาคาร์บอน

ผลของการเปลี่ยนระบบการปลูกข้าวนาดำจากระบบเคมีมาเป็นระบบอินทรีย์ที่มีผลต่อสมบัติทางเคมี ฟิสิกส์ และชีวเคมีของดิน กรณีศึกษา หมู่บ้านสะลวง อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่

ผลของระยะเวลาในการปลูกข้าวไร่ที่มีผลต่อสมบัติทางเคมี ฟิสิกส์ และการหายใจของดิน

1. การเก็บตัวอย่างดิน

การเก็บตัวอย่างดินใช้เกณฑ์การแบ่งพื้นที่ดังนี้ พื้นที่ป่าใช้สอยพร้าว (UFP) พื้นที่ป่าใช้สอยบ้านโป่ง (UFB) พื้นที่ป่าใช้สอยวิเวก (UFW) พื้นที่เกษตรอินทรีย์ป่าไม้แดง (OVFP) พื้นที่เกษตรอินทรีย์สะลวง (OVFS) และพื้นที่ป่าอนุรักษ์ (CF) โดยเก็บตัวอย่างดินแบบ composite sample ในระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร จำนวน 4 ซ้ำต่อพื้นที่ นำดินมาผึ่งลมให้แห้ง แล้วนำไปร่อนผ่านตะแกรงร่อนดินขนาด 0.5 และ 2 มิลลิเมตร

ตารางที่ 6 ลักษณะการใช้ที่ดินของตัวอย่างดิน

การใช้ที่ดิน	สัญลักษณ์	ลักษณะทั่วไป
ปลูกข้าวไร่ได้ 1 ฤดูปลูก	Y1	ก่อนที่มีการปลูกข้าวไร่ พื้นที่ศึกษาเป็นป่าชุมชน ไม่มีการใส่ปุ๋ยใดๆ ให้กับข้าวไร่ที่ปลูกและเป็นการปลูกครั้งแรก
ปลูกข้าวไร่ได้ 2 ฤดูปลูก	Y2	ก่อนหน้านี้ ได้ปลูกข้าวไร่มาแล้ว 1 ครั้ง

2. การวิเคราะห์โกลมาลิน โดยเทคนิค Bradford dye-blinding assay

โกลมาลินที่สกัดได้ง่าย (Easily extractable glomalin) : ชั่งตัวอย่างดินขนาด 2 มิลลิเมตร น้ำหนัก 2 กรัม เติมน้ำยาสกัด 20 mM sodium citrate (pH 7.00) 16 มล. จากนั้นนำตัวอย่างดินเข้าหม้อนึ่งความดันไอน้ำ (Autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 °C เป็นเวลา 30 นาทีแล้วนำตัวอย่างดินไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 5000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที เก็บสารละลายใส (Supernatant) ที่สกัดได้ โดยถ่ายเก็บไว้เพื่อวิเคราะห์กลูมาลินต่อไป (Wright *et al.*, 1996)

โกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมด (Total glomalin) : ชั่งตัวอย่างดินขนาด 2 มิลลิเมตร น้ำหนัก 5 กรัม เติมน้ำยาสกัด 20 mM sodium citrate (pH 8.00) 16 มล. จากนั้นนำตัวอย่างดินเข้าหม้อนึ่งความดันไอน้ำ (Autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 °C เป็นเวลา 90 นาทีแล้วนำตัวอย่างดินไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 5000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที เก็บสารละลายใส (Supernatant) ที่สกัดได้ โดยถ่ายเก็บไว้เพื่อวิเคราะห์โกลมาลินต่อไป(Wright *et al.*,1996)

3. การหาความคงทนของเม็ดดิน(Water Aggregate Stability, WAS)

ชั่งดินขนาด 2 มม. ประมาณ 5 กรัมใส่ถาดฟรอยที่ผ่านการอบแล้วจากนั้นนำไปอบที่ 105 ^{0}C นาน 2 ชั่วโมงมาชั่งน้ำหนักที่แท้จริง(W1) เทดินลงในตะแกรงของเครื่องเขย่า เติมน้ำกลั่นลงในถาดรองตะแกรงแช่ตัวอย่างดิน 5 นาทีจากนั้นเขย่า 3 นาที แล้วนำน้ำในถาดรองเทลงบีกเกอร์นำไปอบแห้ง แล้วชั่งน้ำหนักตัวอย่างดินนำไปลบ W1 จะได้ W2 จากนั้นนำ 0.5% Na-hexametaphosphate เติมลงดินที่ค้างในตะแกรงเขย่า 5 นาทีแล้วนำดินที่ค้างบนตะแกรงไปล้างด้วยน้ำประปา แล้วนำมากรองด้วยเครื่องกรองสูญญากาศ แล้วนำดินที่ค้างอยู่มาถ่ายลงกระดาษกรอง นำไปอบแห้งที่ 105 ^{0}C แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก(W3) นำค่าทั้งหมดมาคำนวณหาความคงทนของเม็ดดินแบบ wet aggregate (Water stable aggregate by wet aggregate) (Wright and Upadhyaya,1998)

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ Analysis of Variances (ANOVA) โดยใช้การวางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Design (RCBD) ในประเด็นผลของการใช้ที่ดินแบบต่าง ๆต่อ โกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดิน และความคงทนของเม็ดดิน โดยมีจำนวนซ้ำไม่เท่ากัน ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ Least Significant Difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง สารโกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดินกับความคงทนเม็ดดิน โดยสมการเส้นตรงและค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

ผลการเปลี่ยนระบบการปลูกข้าวน้ำขังจากระบบเคมีเป็นระบบอินทรีย์มีผลต่อการเก็บรักษาคาร์บอน

1. พื้นที่และเวลาศึกษา

ศึกษาพื้นที่นาข้าวภายใต้ระบบการจัดการแบบเกษตรอินทรีย์และเกษตรเคมี บ้านดอนเจียง ตำบลสบเปิง อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2556 ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557 ทำการสำรวจพื้นที่ เก็บตัวอย่างดิน และเก็บข้อมูลจากการสัมภาษณ์เกษตรกรกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 22 แปลง แบ่งออกเป็นกลุ่มเกษตรอินทรีย์ 11 แปลง และกลุ่มเกษตรเคมี 11 แปลง

2. การเก็บข้อมูลและแหล่งข้อมูล

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ คือ แบบสอบถามการใช้ที่ดินและการจัดการภายใต้ระบบการจัดการแบบเกษตรอินทรีย์และเกษตรเคมี โดยแบบสัมภาษณ์จะเก็บข้อมูล 5 ประเด็น ได้แก่ 1) ข้อมูลผู้ให้สัมภาษณ์ 2) ลักษณะการใช้ที่ดินและการจัดการพื้นที่เพาะปลูก 3) การจัดการน้ำในพื้นที่เพาะปลูก 4) การใช้ปุ๋ยและการจัดการดิน และ 5) การจัดการศัตรูพืช ซึ่งเก็บรวบรวมข้อมูลจากการสัมภาษณ์เกษตรกรกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 22 ราย แบ่งออกเป็นกลุ่มเกษตรอินทรีย์ 11 ราย และกลุ่มเกษตรเคมี 11 ราย โดยการสัมภาษณ์เชิงลึก และให้ระดับคะแนนความเข้มข้นของการใช้ประโยชน์ที่ดิน (ตารางที่ 4)

สำหรับระดับความเข้มข้นการใช้ที่ดิน (Land use Intensity) จะใช้หลักเกณฑ์ในการเลือกพื้นที่ เช่น อายุการใช้ อัตราและปริมาณปุ๋ยเคมีที่ใช้ พืชที่ปลูก เป็นต้น และหาพื้นที่เกษตรที่มีการปรับเป็นเกษตรอินทรีย์แล้ว (อายุการใช้ที่ดิน 1,5,10 ปี ขึ้นอยู่กับสถานที่เก็บตัวอย่างดินซึ่งมี 3 พื้นที่)

ตารางที่ 7 การจัดการดินและความเข้มข้นของการใช้ประโยชน์ที่ดินในดินนาภายใต้ระบบการจัดการแบบเกษตรอินทรีย์และเกษตรเคมีของเกษตรกรบ้านดอนเจียง

วิธีการจัดการ	การปฏิบัติทางการเกษตร (%)	
	เกษตรอินทรีย์	เกษตรเคมี
1. การไถกลบเศษซากพืช	มีเพียงบางส่วนทิ้งไว้แล้วไถกลบประมาณ 27.27% เท่านั้น	ส่วนใหญ่ทิ้งไว้แล้วไถกลบประมาณ 63.64%
2. การนำเอาเศษซากพืชออกพื้นที่เพาะปลูก	นำเอาเศษซากพืชที่เหลือในแปลงปลูกหลังการเก็บเกี่ยวข้าวออกจากพื้นที่ประมาณ 81.82% เพื่อใช้ทำปุ๋ยหมัก	ไม่มีการนำเอาเศษซากพืชที่เหลือในแปลงปลูกหลังการเก็บเกี่ยวข้าวออกจากพื้นที่ ซึ่งบางส่วนปล่อยทิ้งไว้โดยไม่มีมีการจัดการ
3. ความถี่ในการเผา	ไม่นิยมเผาซากตอซังทิ้งหลังการเก็บเกี่ยว มีเพียง 9.09% เท่านั้น ที่มีการเผา บางรายเผาเพื่อกำจัดแมลงศัตรูพืชแทนการใช้สารเคมี	ส่วนใหญ่นิยมเผาซากตอซังทิ้งหลังการเก็บเกี่ยวอย่างเข้มข้นและบ่อยครั้งประมาณ 72.73%
4. ความรุนแรงในการไถพรวน	มีการไถพรวนบ่อยครั้งและสม่ำเสมอประมาณ 2 ครั้ง ทั้งก่อนและหลังการเพาะปลูก โดยใช้รถแทรกเตอร์	มีการไถพรวนบ่อยครั้งและสม่ำเสมอประมาณ 2 ครั้ง ทั้งก่อนและหลังการเพาะปลูก โดยใช้รถแทรกเตอร์
5. การใช้ปุ๋ยเคมี	ไม่มีการใช้ปุ๋ยเคมี แต่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ ได้แก่ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก และน้ำหมักชีวภาพ อัตรา 100-500 กก./ไร่ และ 1-2 ลิตร/ไร่ ตามลำดับ	ใช้ปุ๋ยเคมี ได้แก่ปุ๋ยสูตร 46-0-0, 15-15-15 ฯลฯ ร่วมกับปุ๋ยคอก อัตรา 100-500 กก./ไร่

แหล่งที่มา: ดัดแปลงจากปวีณ์นุช และศุภธิดา (2558)

3. การเก็บตัวอย่างดินและการวิเคราะห์ข้อมูล

เก็บตัวอย่างดินแต่ละพื้นที่เป็นรายแปลง ทั้งหมด 22 แปลง แบ่งออกเป็นกลุ่มเกษตรอินทรีย์ 11 แปลง และกลุ่มเกษตรเคมี 11 แปลง โดยสุ่มเก็บให้ครอบคลุมพื้นที่ของแต่ละแปลงๆ ละ 3 จุด เก็บดินที่ระดับความลึก 0-30 cm. จากนั้นวิเคราะห์หาอินทรีย์คาร์บอนส่วนต่างๆ (carbon fractions) ในดิน (ตารางที่ 4) และความหนาแน่นรวมดิน (soil bulk density; Bd): เก็บตัวอย่างแบบวิธีเจาะเก็บตัวอย่างดินโดยกระบอก (soil core) ในพื้นที่เพาะปลูกแต่ละแปลง 3 จุด เมื่อได้ข้อมูลอินทรีย์คาร์บอนส่วนต่างๆ และความหนาแน่นรวมของดิน (Bd) แล้วจึงนำไปคำนวณหาปริมาณการเก็บรักษาคาร์บอนในดิน (ศุภธิดา และพันธ์ศักดิ์, 2550) และวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

วิธีคำนวณ การเก็บรักษาคาร์บอนของดิน

C storage by soil (g/m^2) = C conc. in soil × Bulk density (g/cm^3) × Soil depth (m) **(Equation 1)**

โดยที่: C conc. in soil = ปริมาณความเข้มข้นของคาร์บอนในดิน

Bulk density (g/cm^3) = ความหนาแน่นรวมของดินที่ระดับความลึก 0-30 cm. (0-0.3 m.)

วิเคราะห์สมบัติบางประการของดิน ได้แก่ ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน (Cation Exchange Capacity: CEC): โดยวิธีทำให้ดินอิ่มตัวด้วยแอมโมเนียมอะซีเทต เพื่อให้แอมโมเนียมไปแทนที่ประจุบวกต่างๆ ที่ดินดูดซับไว้ เก็บสารละลายที่สกัดได้ไว้สำหรับวิเคราะห์แคตไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ (Ca, Mg, K, Na) จากนั้นจึงล้างด้วยแอมโมเนียมส่วนเกินออกด้วยเอธานอล แล้วไล่ที่แอมโมเนียมที่ดินดูดซับไว้โดยใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่มีสภาพเป็นกรด และนำสารละลายที่ได้ไปกลั่นหาแอมโมเนียม (จำเป็น , 2545) วิเคราะห์ปริมาณแร่ดินเหนียว (Clay contents): โดยชั่งดินขนาด 2 มม. ทำให้อนุภาคดินเกิดสภาพแขวนลอยในน้ำด้วยการใส่สารละลาย 5% Calgon และน้ำกลั่น นำไปปั่นด้วยเครื่องปั่น หาปริมาณของอนุภาค Sand silt และ Clay โดยใช้ Hydrometer วัดความหนาแน่นของสารแขวนลอยดินภายหลังจากการตกตะกอนของอนุภาคในระยะเวลาต่างๆ กัน

ตารางที่ 8 Carbon fractions analysis in soils

Carbon fractions	**Method**
1. Total organic carbon (TOC)	1. Modified by using $K_2Cr_2O_7$ and heat 130 ^{O}C leave for 1 night (24 hours) (Walkley and Black, 1934)
2. Water soluble carbon (WSC)	2. Ghani et al., (2003), Haynes (2000)
3. Hot water soluble carbon (HWSC)	3. Fynn et al., (2003)
4. Permanganate oxidized carbon (POC)	4. Modified by Weil et al., (2003)
5. Carbon in large particle size fraction (CLPSF)	5. C in particulate size fraction from 0.250 to 1,000 mm (Modified from Cambardella and Elliot, 1992)
6. Carbon in fine particle size fraction (CFPSF)	6. C in particle size fraction from 0.053 to 0.250 to 1,000 mm (Modified from Cambardella and Elliot, 1992)

Source: Adapted from Aumtong and Tada (2007)

การศึกษาผลระบบเกษตรปลูกข้าวอินทรีย์ที่เปลี่ยนจากระบบเกษตรปลูกข้าวเคมีภายในเวลา 10 ปี ต่อความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสและอนินทรีย์ฟอสฟอรัสรูปแบบต่างๆ :หมู่บ้านดอนเจียง ตำบลสบเปิง อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่

1. การวางแผนการทดลอง

1. วางแผนการปฏิบัติงานโดยการประสานงานไปที่ผู้นำชุมชนในเขตพื้นที่ศึกษา

2. แบ่งกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกข้าวออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกข้าวแบบนาอินทรีย์ และกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกข้าวแบบนาเคมี จำนวนกลุ่มละ 11 ราย

3. ทำการสำรวจข้อมูลของเกษตรกร เกี่ยวกับการใช้ปุ๋ย และการจัดการพื้นที่หลังการเพาะปลูก

2. การเก็บตัวอย่างดินและเตรียมตัวอย่างดิน

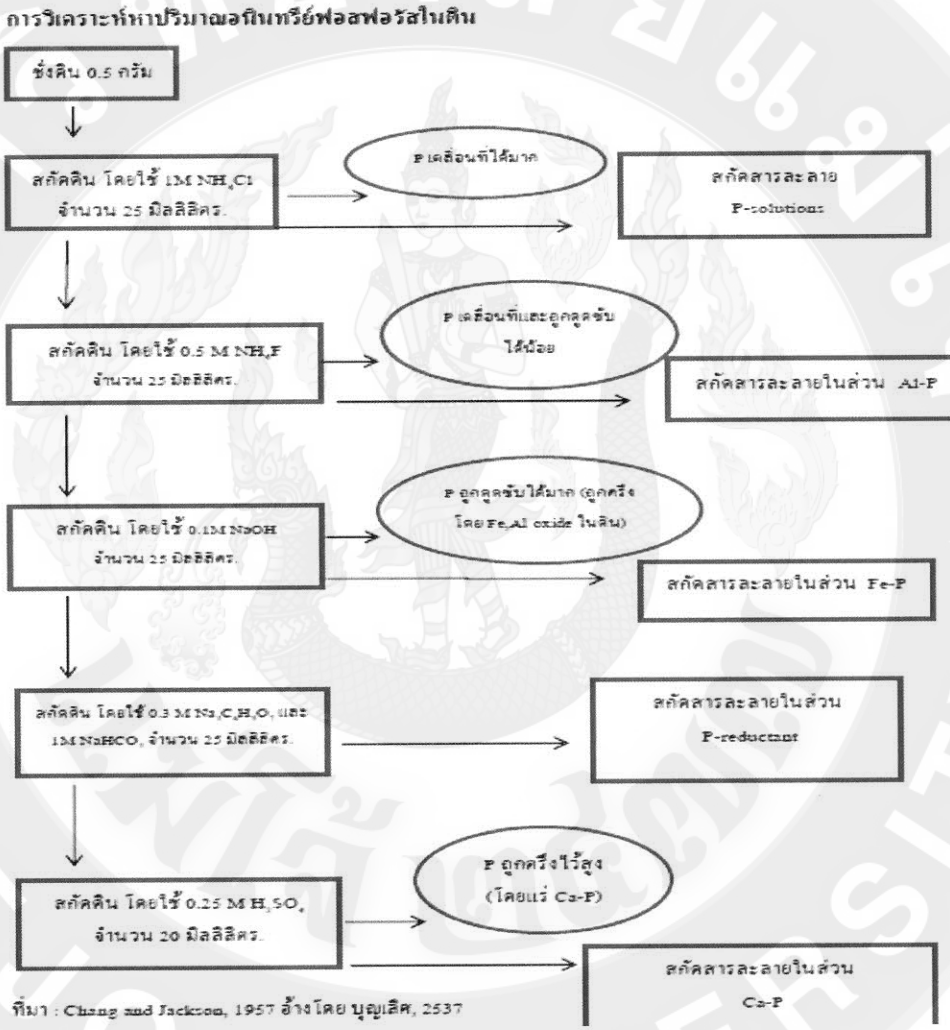
เก็บตัวอย่างดินแต่ละพื้นที่เป็นรายแปลงทั้งหมด 22 ราย แบ่งออกเป็นกลุ่มเกษตรอินทรีย์ 11 ราย และกลุ่มเกษตรเคมี 11 ราย โดยสุ่มเก็บให้ครอบคลุมพื้นที่ของแต่ละรายละ 3 แปลงย่อย (replication) และแต่ละแปลงย่อยเก็บดินลึก 2 ระดับ ได้แก่ 0-5 และ 10-15 ซม. ซึ่งชุดดินที่พบในพื้นที่แปลงของกลุ่มเกษตรกรตัวอย่าง ได้แก่ ชุดดินที่ 5, 29, 46 และ 62 นำตัวอย่างไปตากลมให้แห้งแล้วนำไปร่อนผ่านตะแกรง 2.00 และ0.50 มม. พร้อมกันนั้นมีการสัมภาษณ์การจัดการดินของแต่ละแปลงไปพร้อมกัน

3. การวิเคราะห์ดิน

วิเคราะห์ P-fractions (Chang and Jackson, 1957 อ้างโดย บุญเลิศ, 2537) โดยนำดินมาสกัดครั้งแรกเพื่อหา P-solutions โดยใช้ 1M NH_4Cl เป็นตัวสกัด จากนั้นสกัดส่วน Al-P โดยใช้ 0.5 M NH_4F (pH 8.2) เป็นตัวสกัด ส่วนต่อมา Fe-P ใช้ 0.1M NaOH เป็นตัวสกัด ในส่วน P-reductant จะใช้ 0.3 M $Na_3C_6H_5O_7$ และ 1M $NaHCO_3$ เป็นตัวสกัด ในส่วนสุดท้ายจะสกัดหา Ca-P โดยใช้ 0.25 M H_2SO_4 เมื่อทำการสกัดจนครบจึงนำมาทำให้เกิดสีโดยวิธีโมลิบดินัมบลู (Molybdenum blue method) โดยใช้กรดแอสคอร์บิคเป็นตัวรีดิวซ์ (Murphy and Riley, 1962) วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องวิสิสเบิลสเปกโทรโฟโทมิเตอร์ (Visible spectrophotometer) แล้วนำไปวิเคราะห์หาสัดส่วนอนุภาคดินโดยวิธีไฮโดรมิเตอร์ การวิเคราะห์คาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด (Nelson and Somner, 1996) และการสกัดปริมาณฟอสฟอรัสที่มีประโยชน์ โดยวิธีโมลิบดีนัมบลู (Murphy and Riley, 1962) และวิเคราะห์ค่า pH โดยใช้น้ำเป็นสารสกัด ใช้สัดส่วนของดินต่อน้ำเท่ากับ 1:1 (Thomas, 1996)

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับผลของการใช้ที่ดินและความลึกของดินต่อปริมาณฟอสฟอรัสส่วนต่าง ๆ นั้น ด้วยวิธี Two way anova โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Least significant differences ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %



ภาพที่ 3 การวิเคราะห์หาปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในดิน

การทดลองย่อยที่ 2 ผลของชนิดปุ๋ยอินทรีย์และเชื้อราไมคอร์ไรซาภายใต้ชนิดดินต่อการเจริญเติบโตของพืช ผลของชนิดปุ๋ยอินทรีย์เชื้อราไมคอร์ไรซาต่อการเจริญเติบโตของพืชและสมบัติของดิน

1. แผนการศึกษา

วางแผนการทดลองแบบ RCBD (Randomized Complete Block Design) จำนวน 3 ซ้ำ กับข้าวโพดข้าวเหนียวหวาน โดยมี 6 ทรีทเมนต์ ดังนี้ ทรีทเมนต์ที่ 1 ใส่หัวเชื้อ*Glomus geosporum* 25 กรัมต่อต้น ทรีทเมนต์ที่ 2 ใส่หัวเชื้อ*Glomus etunicatum* 25 กรัมต่อต้น ทรีทเมนต์ที่ 3 *Glomusg eosporum*+ *Glomus etunicatum* ใส่หัวเชื้อ 25 กรัมต่อต้น ทรีทเมนต์ที่ 4 *Glomus mosseae* ใส่หัวเชื้อ 25 กรัมต่อต้น ทรีทเมนต์ที่ 5 ใส่หัวเชื้อ *Acaulospora foveata* 25 กรัมต่อต้น ทรีทเมนต์ที่ 6 Control (ไม่ใส่เชื้ออาบัสคัสคูลาร์ ไมคอร์ไรซา)

ตารางที่ 9 ชนิดของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาและปริมาณการใช้

ชนิดของเชื้อ	ปริมาณเชื้อ	ปริมาณสปอร์	ปริมาณปุ๋ยหมัก	ปริมาณดิน
	กรัม/กระถาง	/25 กรัม	กรัม/กระถาง	กรัม/กระถาง
Glomus geosporum(GG)	25	115	10	3000
Glomus etunicatum (GE)	25	106	10	3000
Glomusg eosporum+ *Glomus etunicatum* (G+E)	25	112	10	3000
Glomus mosseae (GM)	25	98	10	3000
Acaulospora foveata (AF)	25	103	10	3000
ไม่มีการใส่เชื้อ (Control)	-	-	-	3000

2. วิธีการศึกษา

นำดินมาผึ่งให้แห้งด้วยลม ชั่งดินใส่กระถาง 3,000 กรัม นำต้นข้าวโพดข้าวเหนียวหวานที่มีอายุ 15 วัน ลงปลูกในกระถาง แล้วนำหัวเชื้อของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่เตรียมไว้ใส่ลงในกระถาง 25 กรัมต่อกระถาง พร้อมกับปุ๋ยหมัก 10 กรัมต่อกระถาง (ใส่ปุ๋ยหมักในอัตรา 1 ตันต่อไร่)

3. การเก็บข้อมูลการเจริญเติบโต

ทำการวัดความสูงของต้นจากระดับพื้นดินจนถึงปลายใบทุกสัปดาห์ เมื่อต้นข้าวโพดมีอายุ 45 วัน ทำการตัดส่วนเหนือดินและเก็บราก มาชั่งน้ำหนักแห้ง โดยนำส่วนเหนือดินไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จึงนำไปชั่งหาน้ำหนักแห้ง

ภาพที่ 4 การตากดินและกระถางตัวอย่างการทดลอง

4. การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินและพืช

1. การตรวจหาเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในราก (Root colonization)

การตรวจหาเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในรากด้วยการย้อมสีรากพืช ตามวิธีของ Mc Gonigle และคณะ โดยนำตัวอย่างรากพืชมาล้างน้ำให้สะอาด ตัดเป็นชิ้นขนาดประมาณ 1 เซนติเมตร 10ชิ้น นำไปต้มในน้ำยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ (10% KOH) อุณหภูมิประมาณ 121 องศาเซลเซียส นานประมาณ 4 นาที แล้วล้างด้วยน้ำจนไม่มีน้ำยา KOH ติดอยู่ จากนั้นซับพอหมาด นำไปย้อมด้วย 0.05% try pan blue ใน lacto glycerolที่อุณหภูมิไม่เกิน 121 องศาเซลเซียสนาน 4 นาที จากนั้นนำรากวางบนสไลด์ แล้วส่องดูใต้กล้องจุลทรรศน์

2. การวิเคราะห์สมบัติของดิน

การวิเคราะห์หาประมาณอินทรียวัตถุ ค่า pH ธาตุอาหารหลัก และสมบัติต่างๆของดินโดยใช้คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช (จำเป็น, 2545)

3. การบันทึกผลการศึกษา

วัดความสูงของต้น โดยใช้ตลับเมตรวัดทุก ๆ 7 วันหลังปลูก (วัดจากโคนลำต้นถึงยอด) เมื่อต้นพืชครบ 45 วัน ตัดต้นพืชไปอบด้วยอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วนำมาชั่งน้ำหนักแห้ง และทำการวิเคราะห์ต่อไป

การประเมินการหายใจของดิน(การสลายตัวของอินทรียวัตถุ)ที่ผ่านการปลูกพืชและการใช้ปุ๋ยอินทรีย์เชื้อราไมคอร์ไรซา

1. วิธีการทดลอง

เก็บตัวอย่างดินชั้นไถพรวนระดับ 0-15 ซม. ของดินจาก**การศึกษาโครงการย่อยที่ 2.1 ผลของชนิดปุ๋ยอินทรีย์เชื้อราไมคอร์ไรซาต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดและสมบัติของดิน** โดยเก็บเศษวัชพืชหรือรากพืชออกให้หมดด้วยความระมัดระวัง การผสมปุ๋ยอินทรีย์ชนิดแล้วนำตัวอย่างดินมาเติมน้ำกลั่นเพื่อเพิ่มความชื้นเป็นระดับความชื้นที่ 60% WHC (water holding capacity) ของดิน จากนั้นชั่งตัวอย่างดินลงในกระป๋องพลาสติก (สูง 6.7 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 5.8 เซนติเมตร) ให้ได้น้ำหนักแห้งของดินแต่ละชนิดเท่ากับ 100.00 กรัมนำกระป๋องตัวอย่างดินไปใส่โถพลาสติกขนาด 2 ลิตร โดยแต่ละโถมีกระป๋องตัวอย่างดิน 1 กระป๋อง จากนั้นคลุมโถด้วยพลาสติกดำ ซึ่งมีอุณหภูมิเฉลี่ยช่วงกลางวัน 25-30 องศาเซลเซียส

การวัดการปลดปล่อย CO_2 ในวันที่1,2,3, 4 , 7, 14, 21, 28

โดยใช้1 N NaOH 10 ml ดักเก็บ CO_2 ที่ปลดปล่อยออกมาจากดินของแต่วันที่กำหนดไว้ ซึ่งจะมีการเปลี่ยนสารละลาย 1 N NaOH ใหม่เข้าไปแทน โดยมีไตเตรทเพื่อหาปริมาณ CO2 มีการนำ 1 N NaOH ที่นำปิเปตออกมา 1 ml นำมาไตเตรทกับ 0.25 N HCl โดยเติม BaCl2.12H2O 0.5 M ลงไป 1 ml และหยดอินดิเคเตอร์ phenolphthalein 0.1 % 3-4 หยด จดปริมาณของ HCl ที่ใช้ สีของสารละลายจะเปลี่ยนจากสีชมพูเป็นไม่มีสี (1 ตัวอย่างให้ดำเนินการไตเตรท 2 ครั้ง)

2. การวิเคราะห์ข้อมูล

เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์จากผลของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ ต่อปริมาณ CO_2

ผลของการใส่หัวเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในดิน รูปแบบการจัดการน้ำ ที่มีผลต่อฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และปริมาณสังกะสี ปริมาณทองแดงในดิน

1. วิธีดำเนินงาน

ศึกษาทดลองในสภาพโรงเรือน โดยวางแผนการทดลองแบบ Factorial in Randomize Complete Block Design (RCBD) มี 48 ทรีทเม้นท์ จำนวน 3 ซ้ำ ทั้งหมด 144 กระถาง โดยปัจจัยที่ 1 คือ ชนิดดิน ได้แก่ดินหางดง (Hd) น้ำพอง (Ng) และสรรพยา (Sa) ปัจจัยที่ 2 คือระดับความชื้น 4 ระดับได้แก่ ขังน้ำที่ระดับความสูง 2 ซม., ความชื้นของดินที่ระดับความชื้น 60% ของดินแต่ละชนิด, ความชื้นของดินที่ระดับความชื้น 30% ของดินแต่ละชนิด, ระดับความชื้นที่ 0.3 บาร์ ของดินแต่ละชนิด ซึ่งการควบคุมระดับ

ความชื้นดังกล่าวเป็นการชั่งน้ำหนักจากกระถางดิน ปัจจัยที่ 3 คือ การใส่หัวเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ได้แก่ หัวเชื้อ *G. geosporum* หัวเชื้อ*G. etunicatum* หัวเชื้อ *A. foveata* และไม่ใส่เชื้อ

2. การเตรียมดินและเมล็ดพันธุ์ : โดยเก็บตัวอย่างดินจากสภาพแวดล้อมที่ไม่มีการทำการเกษตร ที่ความลึกประมาณ 0-15 ซม. นำมาผึ่งลมให้แห้ง แล้วร่อนผ่านตะแกรง 2 มม. จากนั้นชั่งดินใส่กระถาง 205 กรัม ใส่กระถางที่มีขนาด 11.5 ซม. สูง 9.5 ซม. จากนั้นนำหัวเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา มาใส่รองก้นหลุมตามตำรับการทดลอง อัตรา 41 กรัมต่อกระถาง (อัตราส่วน 1:5) สำหรับการเตรียมเมล็ดพันธุ์ โดยนำเมล็ดข้าวมาแช่น้ำประมาณ 24 ชม. แล้วนำเมล็ดมาเก็บไว้ในห่อผ้ารอให้เมล็ดข้าวมีรากออกมายาวประมาณ 0.5 ซม. จึงนำมาเมล็ดหยอดลงในกระบะเพาะกล้าที่เตรียมไว้กระถางละ 1 เมล็ด และเมื่อต้นข้าวอายุ 20 วัน ทำการย้ายปลูกลงในกระถาง กระถางละ 1 ต้น

3. การดูแลรักษา : การให้น้ำหลังจากการปลูกข้าวเสร็จจะให้น้ำในระดับต่างๆ โดย ที่ระดับน้ำขังเหนือดิน 2 ซม. จะทำการรักษาระดับน้ำขังตลอดระยะการทดลอง ที่ระดับความชื้น 60% แต่ละชุดดินจะทำการรักษาระดับความชื้น ดังต่อไปนี้ ชุดดินหางดง 285.30 กรัม ชุดดินน้ำพอง 280.57 กรัม ชุดดินสรรพยามี 285.01 กรัม ที่ระดับความชื้น 30% แต่ละชุดดินจะทำการรักษาระดับความชื้น ดังต่อไปนี้ ชุดดินหางดง 278.80 กรัม ชุดดินน้ำพอง 276.43 กรัม ชุดดินสรรพยา 278.66 กรัม ที่ระดับความชื้น0.3 บาร์ แต่ละชุดดินจะทำการรักษาระดับความชื้นดังต่อไปนี้ ดินหางดง 325.58 กรัม ดินน้ำพอง 306.20 กรัม ดินสรรพยา 324.43 กรัม

4. การบันทึกข้อมูล : วัดความสูงของข้าวและจำนวนการแตกกอ ทุกๆ 7 วัน โดยวัดความสูงจากเกณฑ์ที่กำหนดขึ้นไปจนสุดปลายใบธงเมื่อข้าวอายุได้ 60 วัน จะทำการเก็บเกี่ยวข้าวทุกกอในแต่ละกระถาง เก็บใส่ถุงพร้อมเขียนชื่อกำกับ

ผลการวิจัยและการวิจารณ์ผล

<u>โครงการย่อยที่ 1</u> ผลของปุ๋ยเคมีต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของดินในระยะปรับเปลี่ยนระบบเกษตรอินทรีย์

จากผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีบางประการของตัวอย่างดินที่เก็บมาจาก 2 ระดับความลึก คือ 0-25 และ 25-50 ซม. (Table2) ถูกเลือกมาใช้ในการทดลองครั้งนี้โดยพิจารณาจากปริมาณ Clay ซึ่งสามารถแยกได้เป็น 3 กลุ่ม โดยชุดดินหางดงมีปริมาณ Clay สูงสุดคือ 48.1-50.4% ชุดดินแม่แตงมีปริมาณ Clay รองลงมาคือ 25.1-26.1% และชุดดินสันทรายมีปริมาณ Clay น้อยที่สุด คือ 14.1-17.3% แต่มีปริมาณ Sand สูงที่สุดคือ 55.4-64.2% ในขณะที่ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ของชุดดินสันทรายและแม่แตงมีค่าใกล้เคียงกัน คือ 6.3-6.9 แต่ชุดดินหางดงมีค่าน้อยที่สุด คือ 4.9-5.9

ปริมาณของอินทรียวัตถุ (OM) ไนโตรเจน (Avail. N) ฟอสฟอรัส (Avail. P) ในดินทั้งสามมีปริมาณไม่แตกต่างกันมากนัก โดยปริมาณ OM พบสูงสุดในชุดดินหางดง คือ 6.37% ปริมาณ Avail. N และ P มีปริมาณสูงสุดในดินสันทราย ในขณะที่โพแทสเซียม (Exch. K) มีปริมาณมากที่สุดในชั้นดินล่างของชุดดินหางดง คือ 422 mg kg^{-1}

ตารางที่ 10 Chemical properties of Hang Dong (Hd), San Sai (Sai) and Mae Taeng (Mt) soils.

ชุดดิน	pH	OM (%)	Avail. N	Avail. P	Exch. K	Texture		
						sand	silt	clay
			mg kg^{-1}				%	
ชุดดินหางดง (S1)								
0-25 ซม.	4.9	6.37	81	31	308	16.2	35.6	48.1
25-50 ซม.	5.9	4.23	78	25	422	11.3	38.3	50.4
ชุดดินสันทราย (S2)								
0-25 ซม.	6.9	5.74	86	39	76	64.2	21.6	14.1
25-50 ซม.	6.3	5.13	43	28	109	55.4	27.3	17.3
ชุดดินแม่แตง (S3)								
0-25 ซม.	6.3	5.93	81	16	75	56.2	17.6	26.1
25-50 ซม.	6.3	3.19	65	11	84	50.8	24.1	25.1

จากการจัดแบ่งตัวอย่างดินออกเป็น 3 กลุ่มโดยพิจารณาจากเนื้อดิน (Soil Texture) นำมาทำให้มีปริมาณ OM ที่แตกต่างกันโดยผสม OM กับชั้นดินบนในปริมาณ 1 และ 2 kg. ซึ่งสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ที่วิเคราะห์ได้ดังตารางที่ 3 ซึ่ง OM ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นกรดอ่อน pH 5.51 มีปริมาณ OM 20.12% และพบปริมาณธาตุอาหารหลักที่สูง ได้แก่ Total N (1.01%) P (0.5%P_2O_5), K (1.61%K_2O), Ca (1.65%) และ Mg (0.72) นอกจากนี้ยังพบจุลธาตุ ได้แก่เหล็ก (Iron 0.51%) สังกะสี (Zinc 0.013%) และโบรอน (Boron 0.003) อีกด้วย

ตารางที่ 11 Chemical properties of organic fertilizer

สมบัติทางเคมี	ปุ๋ยอินทรีย์
pH	5.51
Organic Matter (%)	20.12
Total Nitrogen (%)	1.01
Phosphorus (%P_2O_5)	0.50
Potassium (%K_2O)	1.61
Calcium (%)	1.65
Magnesium (%)	0.72
Iron (%)	0.51
Zinc (%)	0.013
Boron (%)	0.003

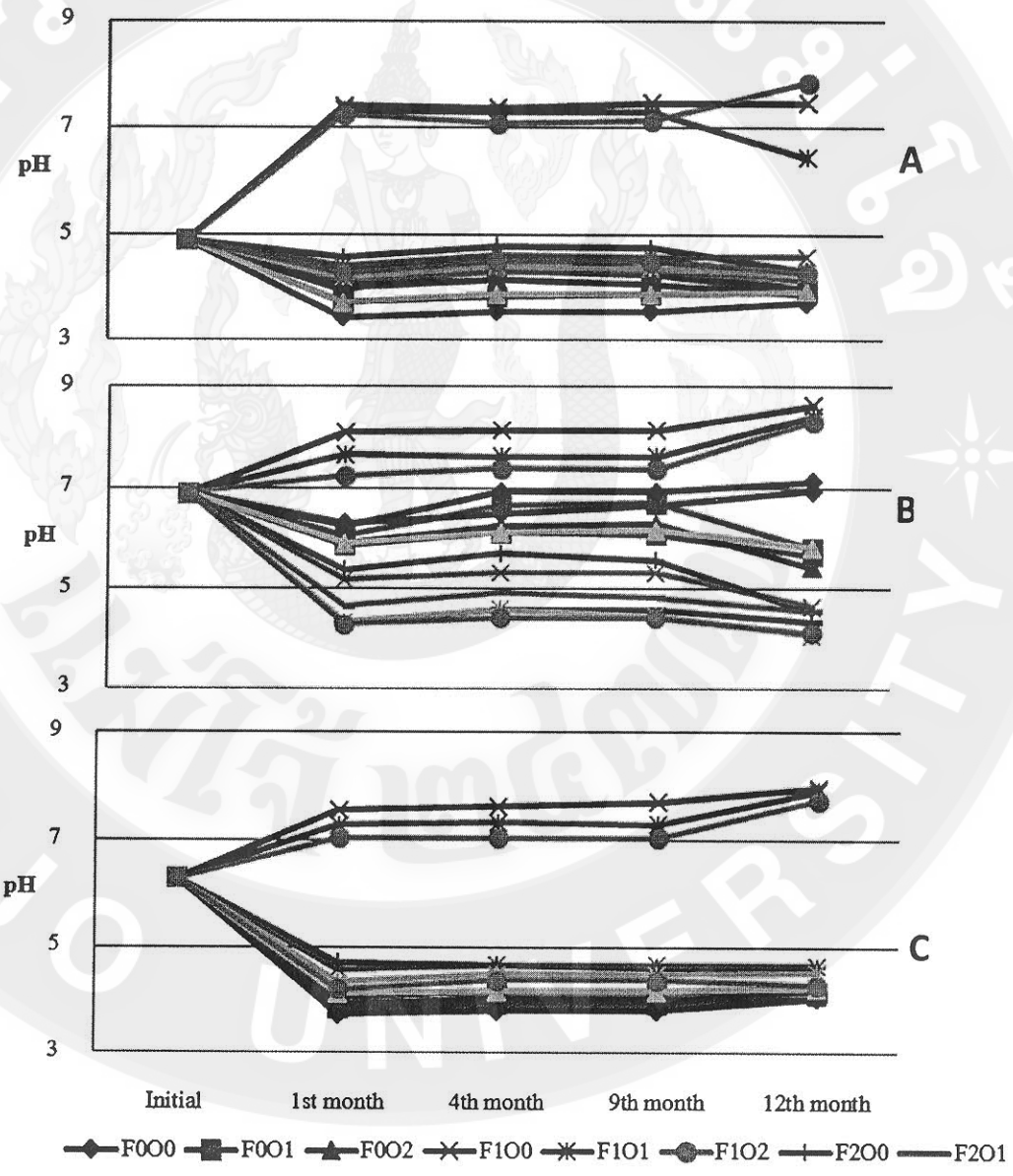
การเปลี่ยนแปลงของสมบัติทางเคมีของดินในช่วงระยะเวลา 12 เดือน

ค่า pH ของดิน (Soil pH)

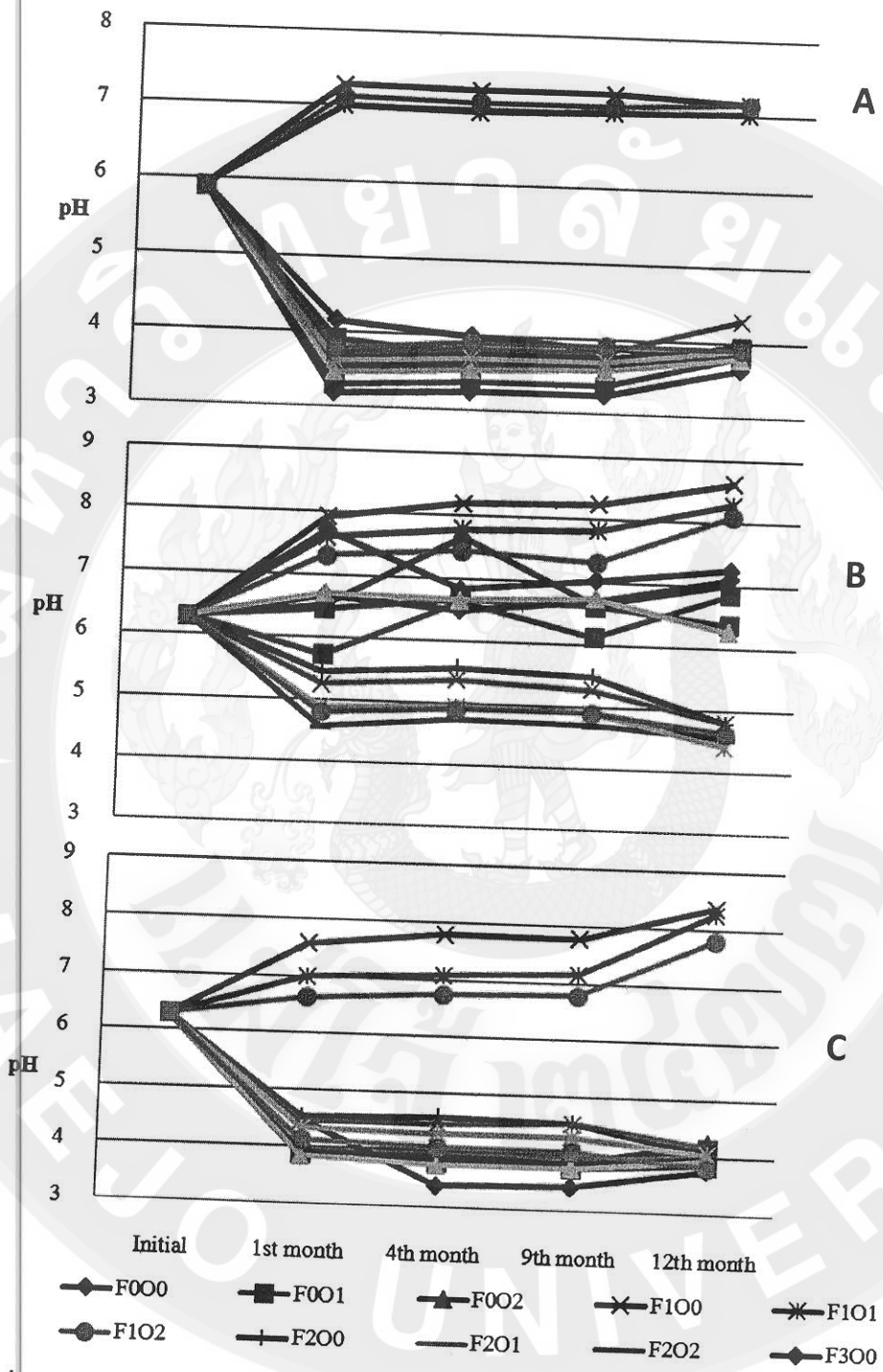
จากการศึกษาพบว่าค่า pH ของดิน Hd และ Mt มีการเปลี่ยนแปลงคล้ายๆกัน โดยตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยสูตร 46-0-0 ทำให้ค่า pH เพิ่มขึ้นค่อนข้างคงที่ตลอดการทดลองทั้ง 3 ดิน ในขณะที่ตำรับการทดลองอื่นๆ ค่า pH ลดลง ยกเว้นในดินสันทรายที่มีการเปลี่ยนแปลงที่ค่อนข้างมากในแต่ละตำรับการทดลอง แต่ถ้าเทียบค่า pH ของดินในตำรับควบคุม (F0O0) จะเห็นได้ว่าทุกตำรับการทดลองทำให้ค่า pH เพิ่มขึ้นในดิน Hd และ Mt แต่ดินสันทราย ค่า pH ค่อนข้างคงที่เมื่อเทียบกับตำรับอื่นๆ จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของค่า pH ในดินบนและดินล่างของแต่ละชุดดินจะมีลักษณะที่คล้ายๆกัน (ภาพที่ 5 และ 6)

ปริมาณอินทรียวัตถุ (Soil organic matter)

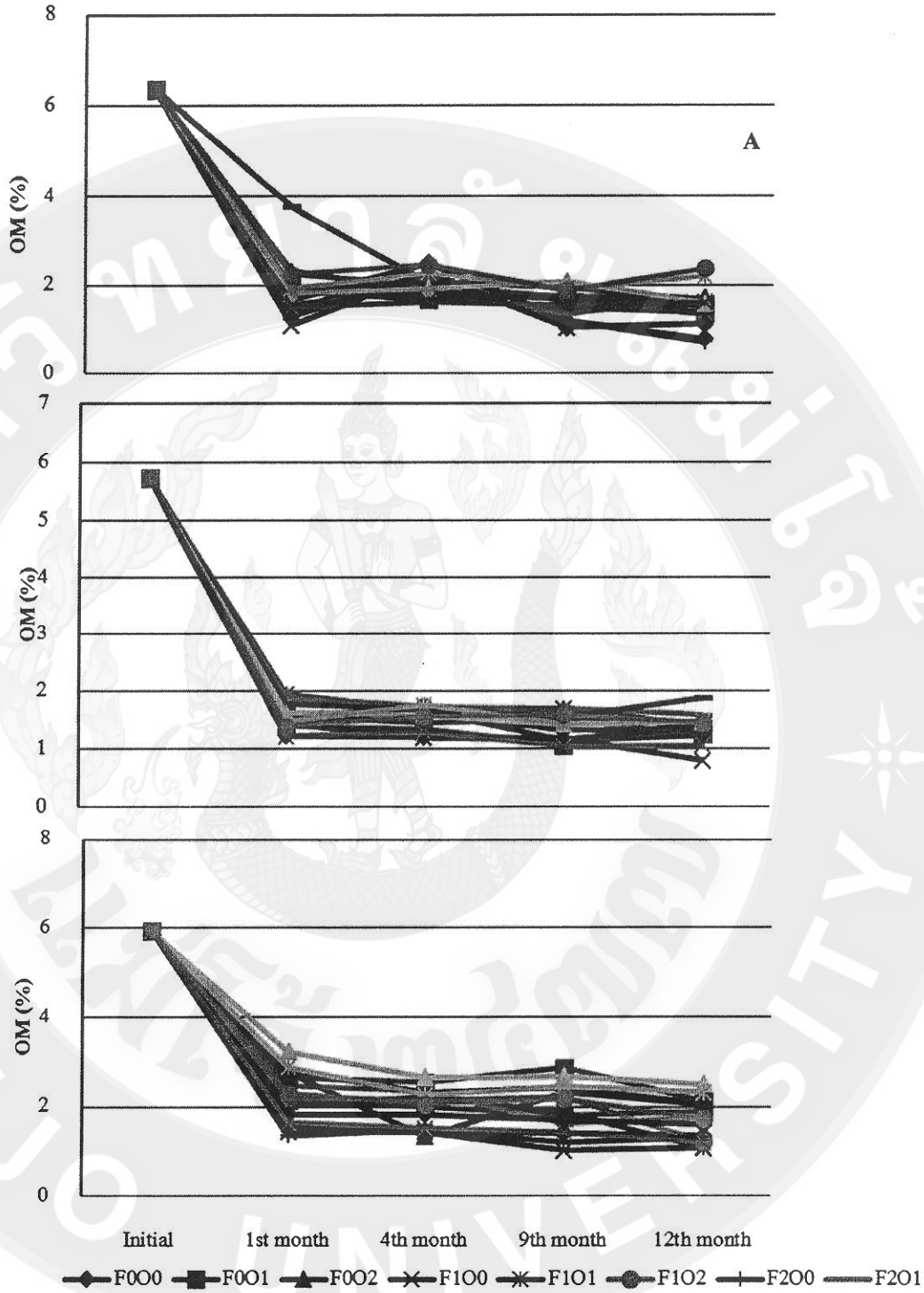
ผลการทดลองพบว่าปริมาณอินทรียวัตถุในดินทั้ง 3 ชนิด ลดลงอย่างชัดเจนทุกตำรับการทดลอง เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณอินทรียวัตถุในดินก่อนการทดลองทั้งดินบนและดินล่างเมื่อระยะเวลาผ่านไป 12 เดือน ยกเว้นการเปลี่ยนแปลงของอินทรียวัตถุในดิน Mt ที่ความลึก 25-50 ซม. ที่มีการลดลงของอินทรียวัตถุไม่มากนัก เมื่อเทียบกับปริมาณก่อนการทดลอง (ภาพที่ 7 และ 8) การลดลงมากที่สุดของปริมาณอินทรียวัตถุในดินพบมากที่สุดในระยะเวลา 1 เดือนหลังการบ่ม หลังจากนั้นมีการลดลงที่ผันแปรเล็กน้อย



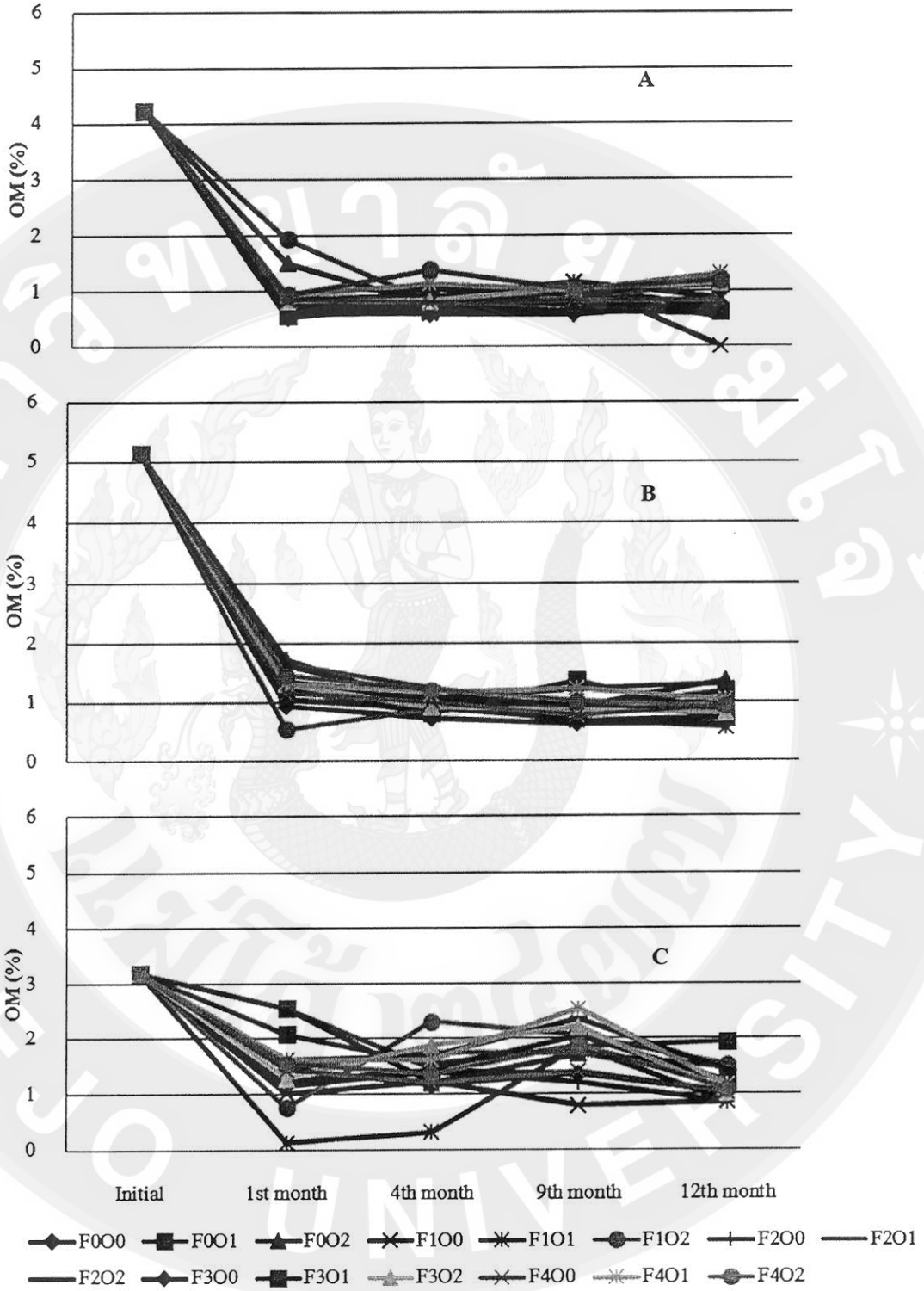
ภาพที่ 5 Change of soil pH in Hang Dong (A), San Sai (B) and Mae Taeng (C) soils at 0-25 cm depth.



ภาพที่ 6 Change of soil pH in Hang Dong (A), San Sai (B) and Mae Taeng (C) soils at 25-50 cm depth.



ภาพที่ 7 Change of OM in Hang Dong (A), San Sai (B) and Mae Taeng (C) soils at 0-25 cm depth.



ภาพที่ 8 Change of OM in Hang Dong (A), San Sai (B) and Mae Taeng (C) soils at 25-50 cm depth.

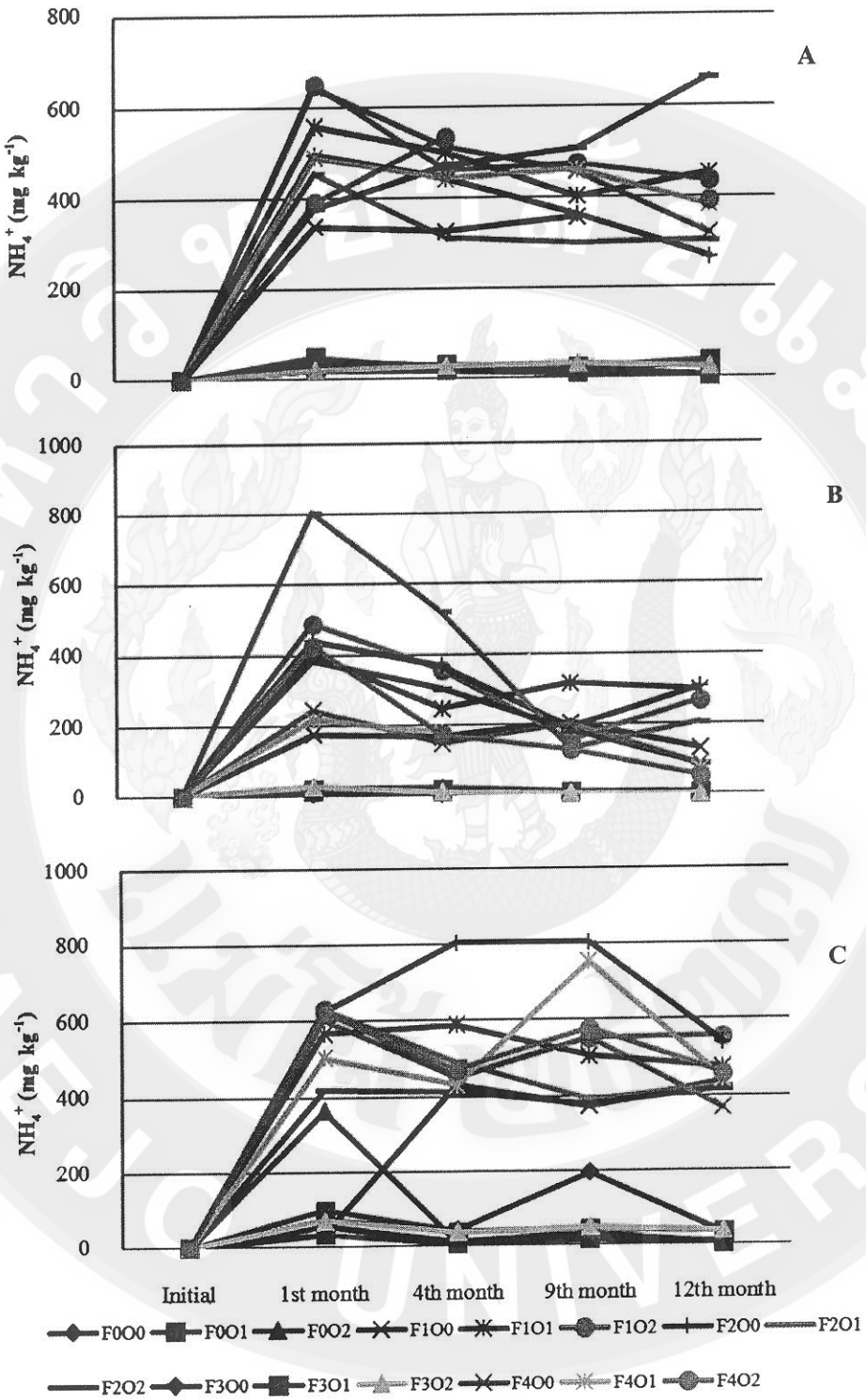
อนินทรีย์ไนโตรเจน (Inorganic –N)

ผลการทดลองพบว่าปริมาณแอมโมเนียม (NH_4^+-N) จะเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนทุกตำรับการทดลองในดินทั้ง 3 ชนิดที่ระยะเวลา 1 เดือนหลังการบ่ม ยกเว้นตำรับที่มีการใส่ปุ๋ย 0-0-60 ที่มีปริมาณค่อนข้างคงที่ พบการเปลี่ยนแปลงน้อยมากทั้งในดินบนและดินล่าง ในขณะที่ตำรับที่มีการใส่ปุ๋ย 46-0-0 18-24-24 และ 16-16-16 มีปริมาณแอมโมเนียมในดินเพิ่มมากที่สุดในเดือนที่ 1 หลังการบ่มเกือบทุกชนิดดินและค่อยๆ ลดลง โดยดิน Sai มีการลดลงมากที่สุดอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเวลาผ่านไป 12 เดือน ซึ่งปริมาณแอมโมเนียมที่ลดลงสู่ปริมาณที่ใกล้เคียงกับปริมาณก่อนการทดลอง (ภาพที่ 9 และ 10) ในขณะที่ดิน Hd และ Mt ยังพบปริมาณแอมโมเนียมค่อนข้างสูงอยู่ในเดือนที่ 12

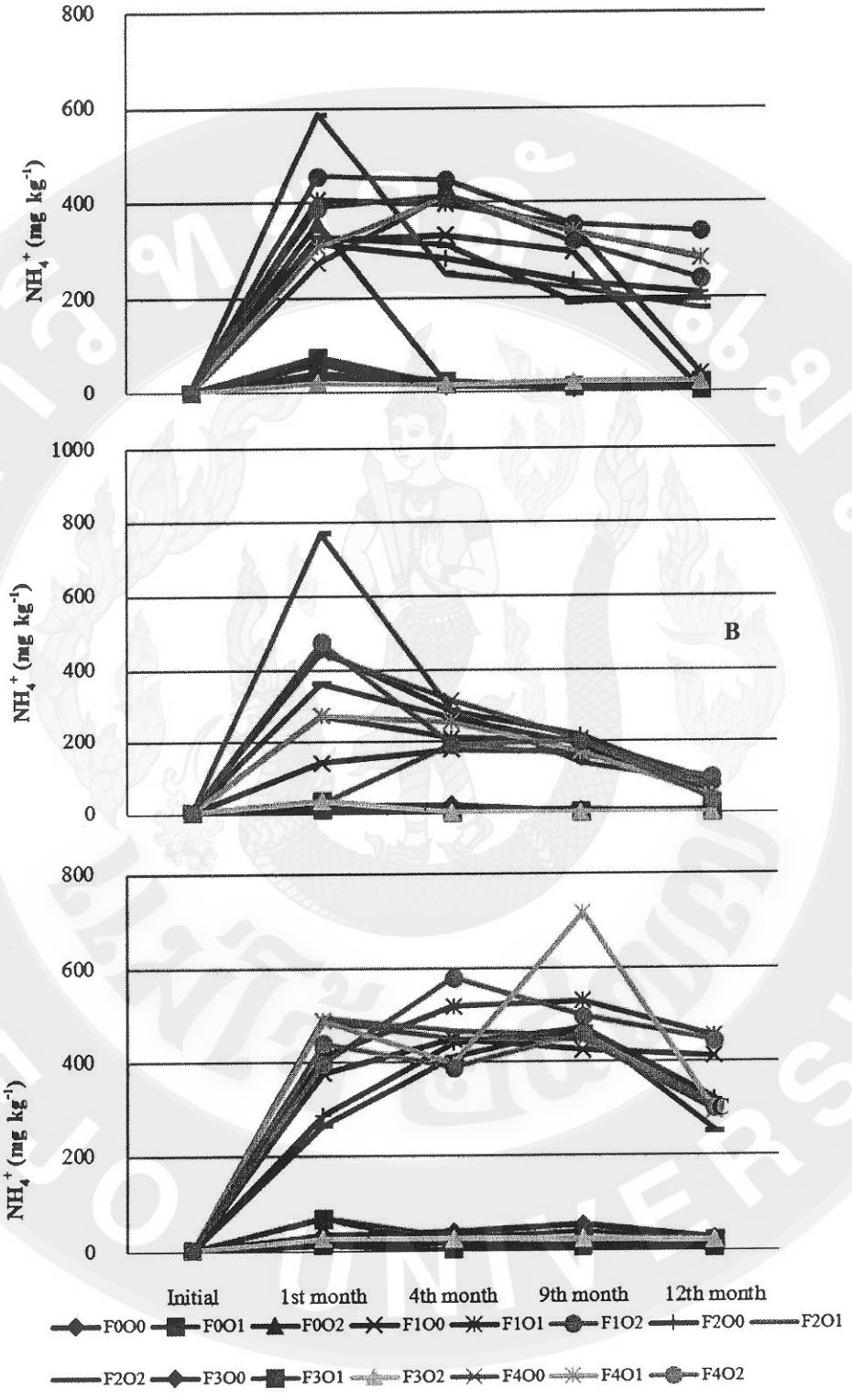
การเปลี่ยนแปลงของไนเตรต (NH_4^+-N) พบว่ามีการผันแปรค่อนข้างมากเนื่องจากไนเตรตเป็นรูปที่ unstable สามารถเปลี่ยนรูปไปได้ง่าย แต่การเปลี่ยนแปลงอาจเห็นแนวโน้มการลดลงของไนเตรตที่ 12 เดือน ชัดเจนว่ามีการลดลงทุกตำรับการทดลองทั้งดินบนและดินล่าง ปริมาณการลดลงของไนเตรตลงไปใกล้เคียงกับปริมาณเริ่มต้นโดยเฉพาะในตำรับที่ใส่ปุ๋ย 0-0-60 ซึ่งไม่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ ยกเว้นในดินทางดงที่ระดับความลึก 0-25 ซม. ที่ยังพบว่ามีปริมาณไนเตรตเพิ่มขึ้นเมื่อผ่านไป 12 เดือน ในตำรับที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยเคมีแต่มีอินทรียวัตถุที่ระดับ 1 และ 2 กก.ต่อ ถังคาดว่าปริมาณไนเตรตที่เกิดขึ้นน่าจะเกิดจากการ Mineralization จากอินทรียวัตถุโดยตรง (ภาพที่ 11 และ 12)

ฟอสฟอรัส (Phosphorus)

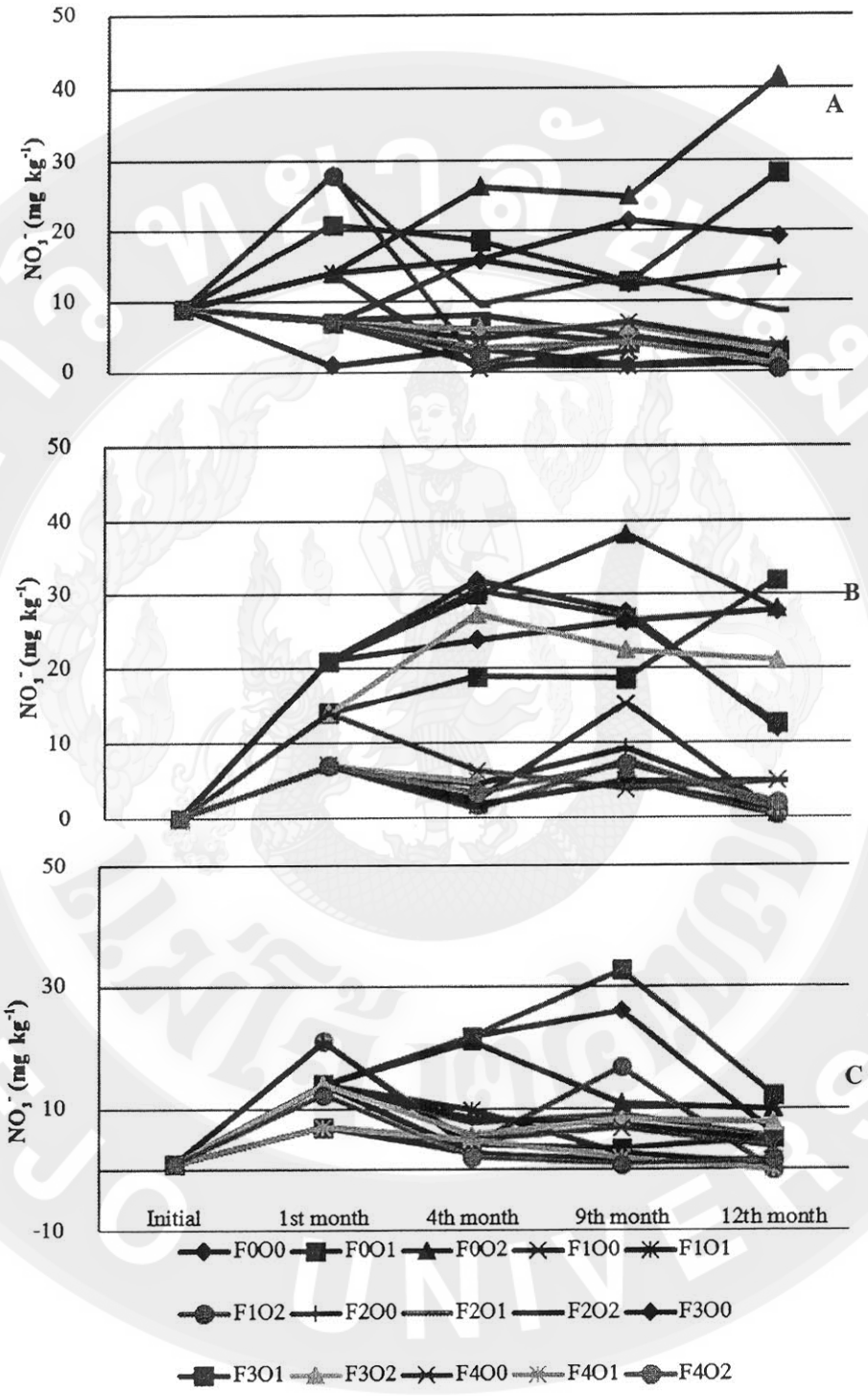
การเปลี่ยนแปลงของฟอสฟอรัสในดิน Hd และ Mt ที่ระดับความลึก 0-25 ซม. มีการเปลี่ยนแปลงที่คล้ายกันคือการเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสในดินมากที่สุดที่ 1 เดือน หลังการบ่ม หลังจากนั้นการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างคงที่และเมื่อเดือนที่ 12 จะสังเกตเห็นว่าปริมาณลดลงมาใกล้เคียงกับปริมาณที่ 1 เดือนหลังการบ่ม ซึ่งแตกต่างจากในดิน Sai ที่พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นอย่างมากที่ 1 เดือนหลังการบ่มโดยเฉพาะตำรับที่มีการใส่ปุ๋ย 18-24-24 มีการเพิ่มมากที่สุดและปริมาณฟอสฟอรัสเกือบทุกตำรับการทดลองลดลงเกือบ 50% เมื่อผ่านไป 12 เดือน แต่จะสังเกตเห็นว่าปริมาณฟอสฟอรัสของดินทั้ง 3 ชนิดที่ระดับความลึก 0-25 ซม. มีปริมาณใกล้เคียงกันเมื่อเวลาผ่านไป 12 เดือน (ภาพที่ 13) สำหรับการเปลี่ยนแปลงในดิน Hd และ Mt ที่ระดับความลึก 25-50 ซม. พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสจะค่อยๆเพิ่มขึ้นสูงสุดที่ 9 เดือนหลังการบ่ม หลังจากนั้นก็ลดลงที่ 12 เดือน ซึ่งมีปริมาณใกล้เคียงกับ 1 เดือนหลังการบ่มในทุกตำรับการทดลองยกเว้นตำรับควบคุมและตำรับที่มีการใส่ปุ๋ย 46-0-0 สำหรับดิน Sai พบว่ามีการเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสอย่างมากที่ 1 เดือน หลังจากนั้นก็ลดลงและเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่อผ่านไป 12 เดือน (ภาพที่ 14)



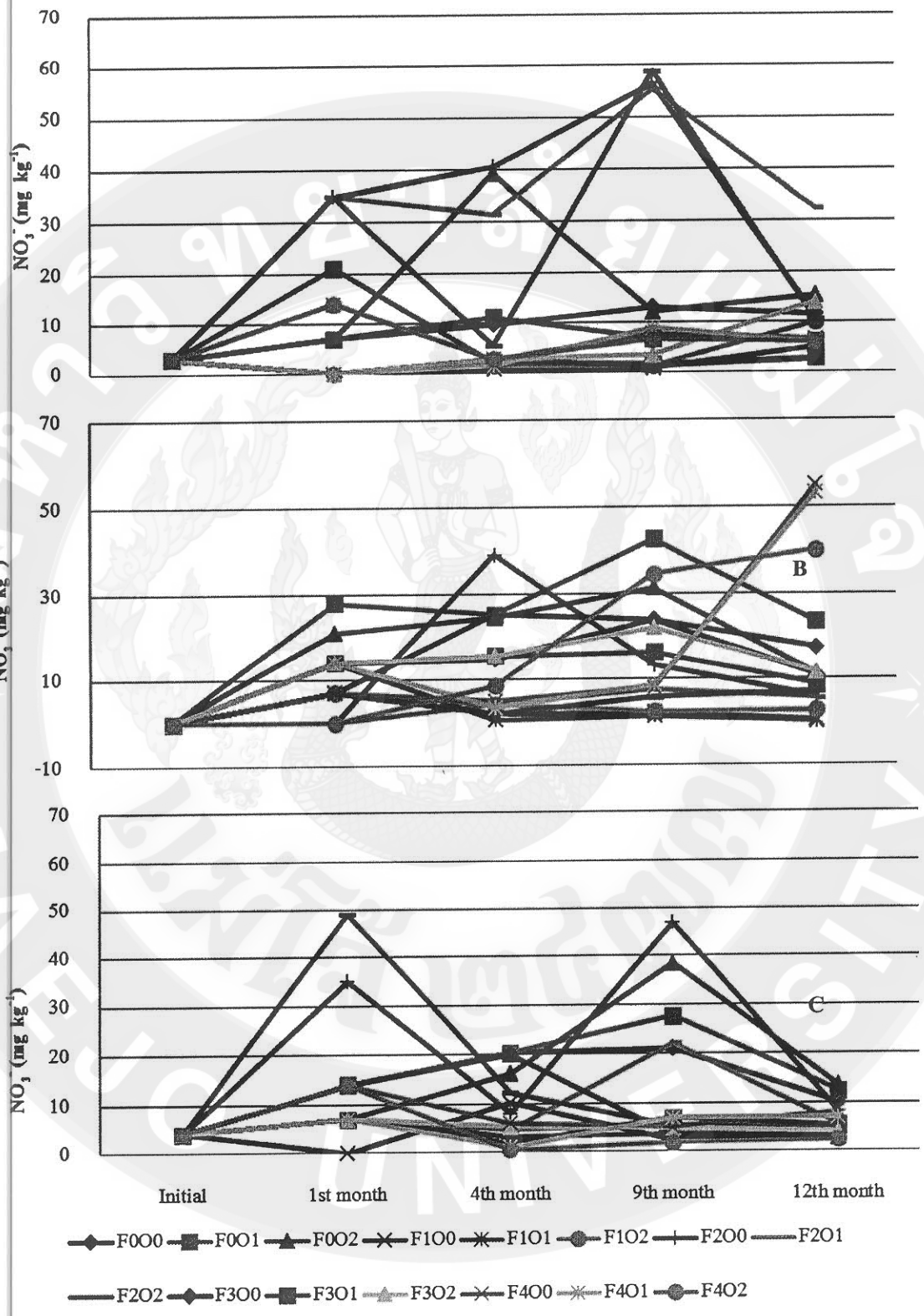
ภาพที่ 9 Change of NH_4^+-N in Hang Dong (A), San Sai (B) and Mae Taeng (C) soils at 0-25 cm depth.



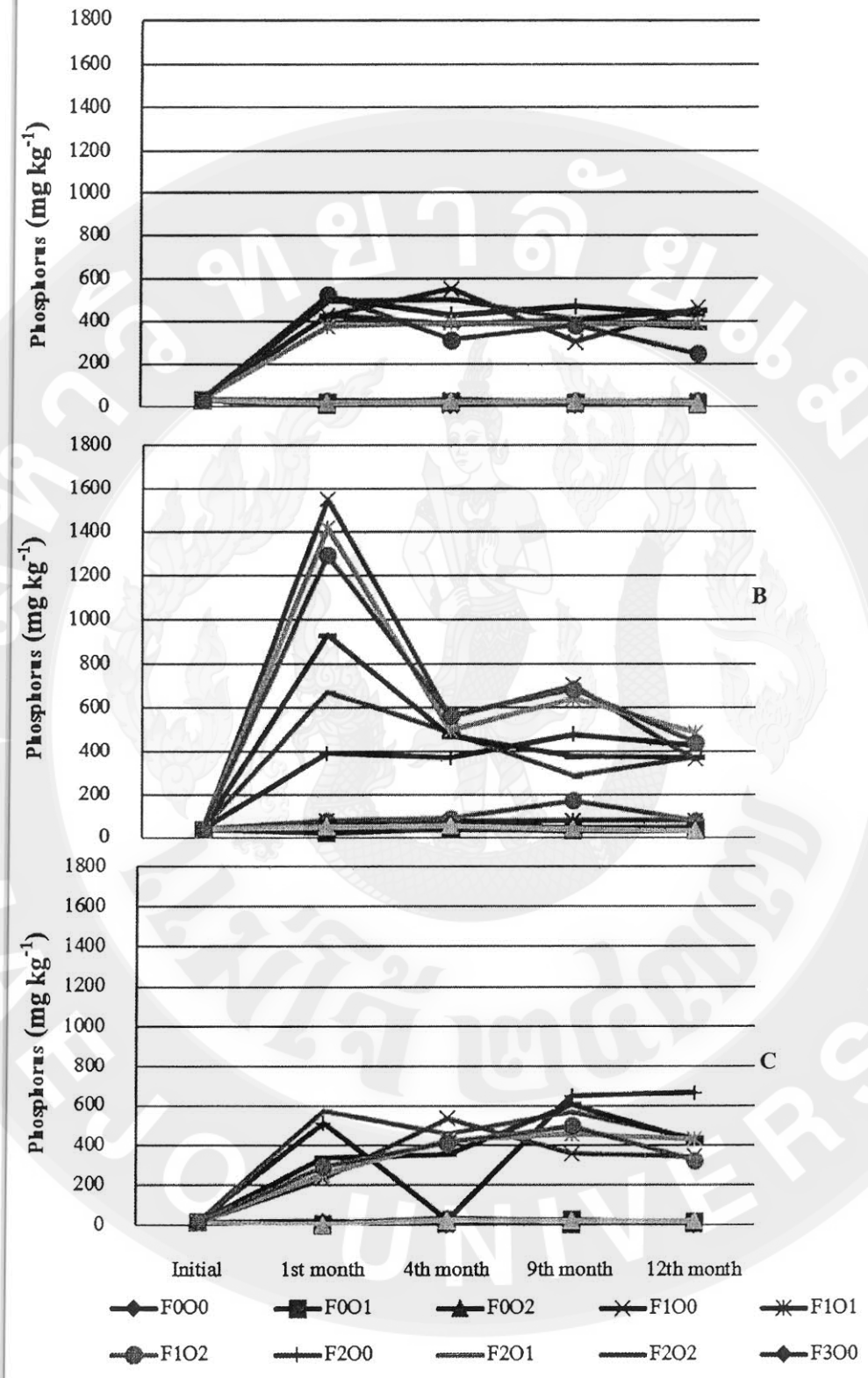
ภาพที่ 10 Change of NH_4^+-N in Hang Dong (A), San Sai (B) and Mae Taeng (C) soils at 25-50 cm depth



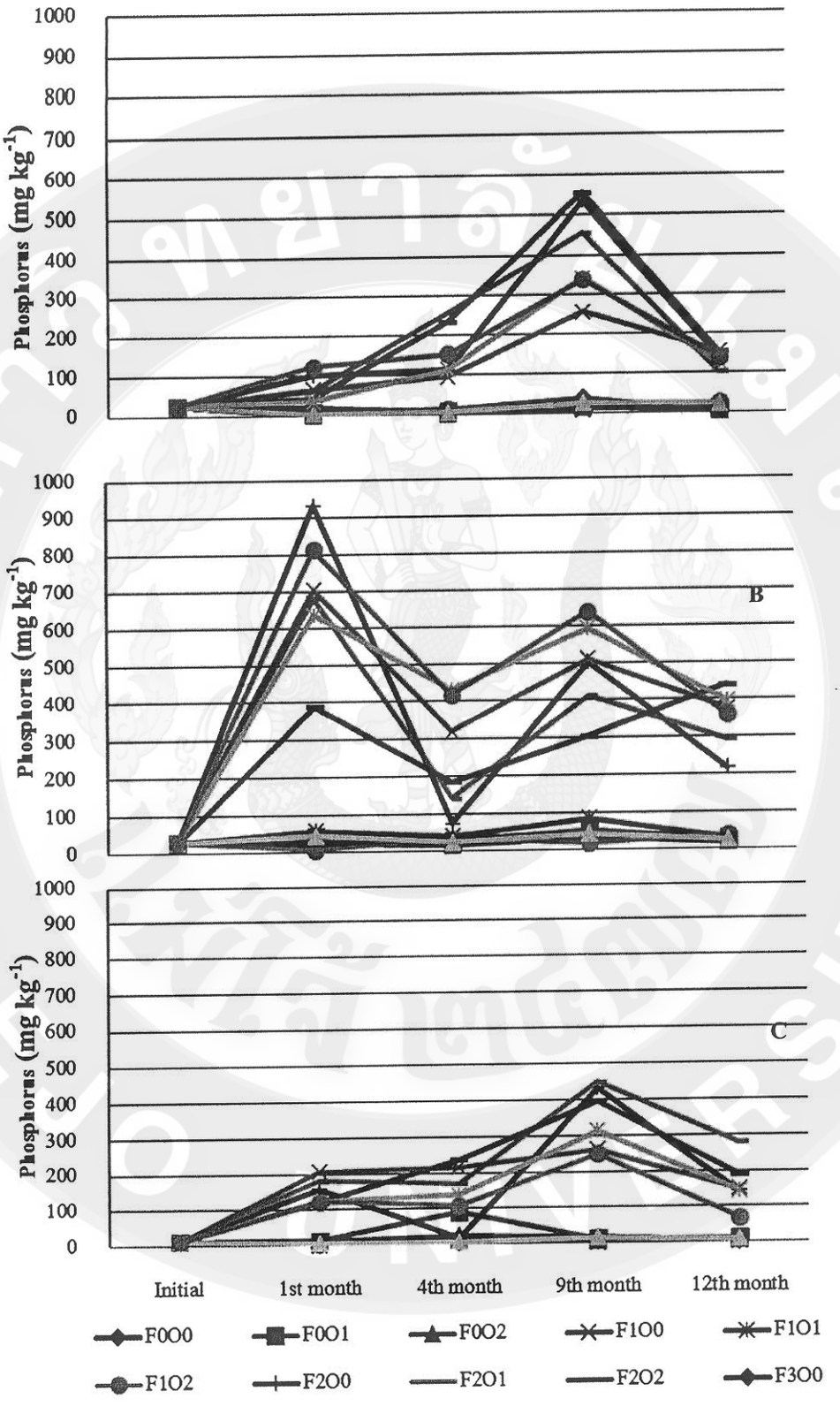
ภาพที่ 11 Change of NO_3^--N in Hang Dong (A), San Sai (B) and Mae Taeng (C) soils at 0-25cm depth.



ภาพที่ 12 Change of NO_3^--N in Hang Dong (A), San Sai (B) and Mae Taeng (C) soils at 25-50 cm depth.



ภาพที่ 13 Change of P in Hang Dong (A), San Sai (B) and Mae Taeng (C) soils at 0-25cm depth.



ภาพที่ 14 Change of P in Hang Dong (A), San Sai (B) and Mae Taeng (C) soils at 25-50 cm depth.

อิทธิพลของชนิดดิน ปริมาณอินทรียวัตถุและปุ๋ยเคมีต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของดิน

จากผลการวิเคราะห์สถิติพบว่า ปัจจัยหลัก ได้แก่ ชนิดดิน ระดับอินทรียวัตถุ และสูตรปุ๋ยเคมีที่ใช้ ส่งผลต่อค่า pH อินทรียวัตถุ ปริมาณอนินทรีย์ไนโตรเจน (NH_4^+-N และ NO_3^--N) ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม (Table 12-23) ในดินอย่างมีนัยสำคัญเมื่อระยะเวลาการบ่มดินผ่านไป 12 เดือน นอกจากนี้ยังมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดดิน ระดับอินทรียวัตถุ และสูตรปุ๋ยเคมีที่ใช้ ปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดดินกับระดับอินทรียวัตถุ ปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดดินกับสูตรปุ๋ยเคมี และปฏิสัมพันธ์ระหว่างระดับอินทรียวัตถุกับชนิดปุ๋ยเคมีที่ใช้ทั้งในดินบน (0-25 ซม.) และดินล่าง (25 -50 ซม.) ($P< 0.01$)

ดินบน (ความลึก 0-25 ซม.)

ตารางที่ 12 Effect of main factors to soil pH at 0-25 cm. Dep that 12th month of incubation.

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	295.015[a]	28	10.536	54.038	.000
Intercept	3656.955	1	3656.955	18755.758	.000
Soils	33.965	2	16.983	87.100	.000
OM_level	47.910	2	23.955	122.859	.000
Fertilizer	43.190	4	10.798	55.379	.000
Soils * OM_level	7.075	4	1.769	9.071	.000
OM_level * Fertilizer	153.579	8	19.197	98.459	.000
Soils * Fertilizer	9.297	8	1.162	5.960	.000
Error	20.668	106	0.195		
Total	3972.638	135			
Corrected Total	315.683	134			

a. R Squared = .935 (Adjusted R Squared = .917)

ตารางที่ 13 Effect of main factors to soil OM at 0-25 cm. depthat 12th month of incubation.

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	20.141[a]	28	.719	20.420	.000
Intercept	308.781	1	308.781	8765.756	.000
Soils	2.339	2	1.170	33.202	.000
OM_level	3.637	2	1.818	51.621	.000
Fertilizer	1.016	4	.254	7.214	.000
Soils * OM_level	2.432	4	.608	17.263	.000
OM_level * Fertilizer	8.516	8	1.064	30.218	.000
Soils * Fertilizer	2.200	8	.275	7.808	.000
Error	3.734	106	.035		
Total	332.655	135			
Corrected Total	23.875	134			

a. R Squared = .844 (Adjusted R Squared = .802)

ตารางที่ 14 Effect of main factors to soil NH_4^+-N at 0-25 cm. depthat 12th month of incubation.

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	5016349.437[a]	28	179155.337	46.906	.000
Intercept	5902788.452	1	5902788.452	1545.465	.000
Soils	828050.682	2	414025.341	108.400	.000
OM_level	603813.882	2	301906.941	79.045	.000
Fertilizer	709399.511	4	177349.878	46.434	.000
Soils * OM_level	90011.185	4	22502.796	5.892	.000
OM_level * Fertilizer	2396482.489	8	299560.311	78.431	.000
Soils * Fertilizer	388591.689	8	48573.961	12.718	.000
Error	404859.111	106	3819.426		
Total	11323997.000	135			
Corrected Total	5421208.548	134			

a. R Squared = .925 (Adjusted R Squared = .906)

Table 15 Effect of main factors to soil NO_3^- - N at 0-25 cm. depthat 12th month of incubation.

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	10422.533[a]	28	372.233	13.618	.000
Intercept	8089.074	1	8089.074	295.936	.000
Soils	774.770	2	387.385	14.172	.000
OM_level	1158.415	2	579.207	21.190	.000
Fertilizer	2132.370	4	533.093	19.503	.000
Soils * OM_level	1407.941	4	351.985	12.877	.000
OM_level * Fertilizer	3849.363	8	481.170	17.603	.000
Soils * Fertilizer	1099.674	8	137.459	5.029	.000
Error	2897.393	106	27.334		
Total	21409.000	135			
Corrected Total	13319.926	134			

a. R Squared = .782 (Adjusted R Squared = .725)

Table 16 Effect of main factors to soil phosphorus at 0-25 cm. depthat 12th month of incubation.

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	5187282.400[a]	28	185260.086	132.689	.000
Intercept	4348836.296	1	4348836.296	3114.764	.000
Soils	16880.770	2	8440.385	6.045	.003
OM_level	1672994.326	2	836497.163	599.124	.000
Fertilizer	1273475.259	4	318368.815	228.025	.000
Soils * OM_level	43298.474	4	10824.619	7.753	.000
OM_level * Fertilizer	2105798.341	8	263224.793	188.529	.000
Soils * Fertilizer	74835.230	8	9354.404	6.700	.000
Error	147997.304	106	1396.201		
Total	9684116.000	135			
Corrected Total	5335279.704	134			

a. R Squared = .972 (Adjusted R Squared = .965)

Table 17 Effect of main factors to soil potassium at 0-25 cm. depthat 12th month of incubation.

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	336435831.200[a]	28	12015565.400	46.248	.000
Intercept	357713933.400	1	357713933.400	1376.840	.000
Soils	9867360.000	2	4933680.000	18.990	.000
OM_level	143142296.600	2	71571148.290	275.477	.000
Fertilizer	13551323.300	4	3387830.826	13.040	.000
Soils * OM_level	4534036.622	4	1133509.156	4.363	.003
Soils * Fertilizer	6082930.296	8	760366.287	2.927	.005
OM_level * Fertilizer	159257884.400	8	19907235.550	76.623	.000
Error	27539630.410	106	259807.834		
Total	721689395.000	135			
Corrected Total	363975461.600	134			

a. R Squared = .924 (Adjusted R Squared = .904)

ดินล่าง (ความลึก 25-50 ซม.)

Table 18 Effect of main factors to soil pH at 25-50 cm. depthat 12th month of incubation.

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	341.872[a]	28	12.210	22.049	.000
Intercept	3753.559	1	3753.559	6778.530	.000
Soils	64.674	2	32.337	58.398	.000
OM_level	74.334	2	37.167	67.120	.000
Fertilizer	33.052	4	8.263	14.922	.000
Soils * OM_level	10.185	4	2.546	4.598	.002
OM_level * Fertilizer	150.292	8	18.786	33.926	.000
Soils * Fertilizer	9.335	8	1.167	2.107	.041
Error	58.697	106	.554		
Total	4154.127	135			
Corrected Total	400.568	134			

a. R Squared = .853 (Adjusted R Squared = .815)

Table 19 Effect of main factors to soil OM at 25-50 cm. depthat 12th month of incubation.

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	8.433[a]	28	.301	8.675	.000
Intercept	129.615	1	129.615	3733.455	.000
Soils	2.707	2	1.354	38.987	.000
OM_level	.182	2	.091	2.622	.077
Fertilizer	.282	4	.070	2.028	.096
Soils * OM_level	.849	4	.212	6.113	.000
OM_level * Fertilizer	3.195	8	.399	11.504	.000
Soils * Fertilizer	1.218	8	.152	4.385	.000
Error	3.680	106	.035		
Total	141.728	135			
Corrected Total	12.113	134			

a. R Squared = .696 (Adjusted R Squared = .616)

Table 20 Effect of main factors to soil NH_4^+ -N at 25-50 cm. depthat 12th month of incubation.

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	2318213.007[a]	28	82793.322	22.403	.000
Intercept	2342218.696	1	2342218.696	633.775	.000
Soils	669823.748	2	334911.874	90.623	.000
OM_level	143124.815	2	71562.407	19.364	.000
Fertilizer	278653.452	4	69663.363	18.850	.000
Soils * OM_level	67428.741	4	16857.185	4.561	.002
OM_level * Fertilizer	1017438.815	8	127179.852	34.413	.000
Soils * Fertilizer	141743.437	8	17717.930	4.794	.000
Error	391740.296	106	3695.663		
Total	5052172.000	135			
Corrected Total	2709953.304	134			

a. R Squared = .855 (Adjusted R Squared = .817)

Table 21 Effect of main factors to soil NO_3^--N at 25-50 cm. depthat 12th month of incubation.

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	14612.222[a]	28	521.865	10.879	.000
Intercept	16072.067	1	16072.067	335.051	.000
Soils	2590.978	2	1295.489	27.007	.000
OM_level	1395.911	2	697.956	14.550	.000
Fertilizer	1420.267	4	355.067	7.402	.000
Soils * OM_level	5738.844	4	1434.711	29.909	.000
OM_level * Fertilizer	2523.200	8	315.400	6.575	.000
Soils * Fertilizer	943.022	8	117.878	2.457	.018
Error	5084.711	106	47.969		
Total	35769.000	135			
Corrected Total	19696.933	134			

a. R Squared = .742 (Adjusted R Squared = .674)

Table 22 Effect of main factors to soil phosphorus at 25-50 cm. depthat 12th month of incubation.

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1838227.615[a]	28	65650.986	50.761	.000
Intercept	1192108.119	1	1192108.119	921.727	.000
Soils	242380.859	2	121190.430	93.703	.000
OM_level	454620.370	2	227310.185	175.754	.000
Fertilizer	443723.067	4	110930.767	85.771	.000
Soils * OM_level	103490.252	4	25872.563	20.004	.000
OM_level * Fertilizer	467392.222	8	58424.028	45.173	.000
Soils * Fertilizer	126620.844	8	15827.606	12.238	.000
Error	137094.267	106	1293.342		
Total	3167430.000	135			
Corrected Total	1975321.881	134			

a. R Squared = .931 (Adjusted R Squared = .912)

Table 23 Effect of main factors to soil potassium at 25-50 cm. depthat 12th month of incubation.

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	165376160.500[a]	28	5906291.447	19.832	.000
Intercept	186123616.300	1	186123616.300	624.975	.000
Soils	2200822.578	2	1100411.289	3.695	.028
OM_level	74967125.640	2	37483562.820	125.864	.000
Fertilizer	8655330.993	4	2163832.748	7.266	.000
Soils * OM_level	1963666.711	4	490916.678	1.648	.168
Soils * Fertilizer	4612250.607	8	576531.326	1.936	.062
OM_level * Fertilizer	72976963.990	8	9122120.498	30.631	.000
Error	31567813.210	106	297809.559		
Total	383067590.000	135			
Corrected Total	196943973.700	134			

a. R Squared = .840 (Adjusted R Squared = .797)

เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของ pH ในดิน ปริมาณอินทรียวัตถุ อนินทรีย์ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม จะเห็นได้ว่ามีการเปลี่ยนแปลงโดยขึ้นกับปริมาณอินทรียวัตถุและปุ๋ยเคมีที่ใส่ลงไปในดินโดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยในแต่ละดิน และระดับความลึก ซึ่งพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P< 0.01$) (Table 24-29)

ผลจากการเพิ่มระดับอินทรียวัตถุในดินแล้วใส่ปุ๋ยเคมีชนิดต่างๆทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่า pH เมื่อเวลาผ่านไป 12 เดือน ดัง Table 24 ซึ่งจะเห็นได้ว่าในดินที่มีอินทรียวัตถุต่ำ (O0) ค่า pH ของดินสูงที่สุดเมื่อมีการใส่ปุ๋ยสูตร 46-0-0 (F1) ในทุกดินและระดับความลึก ในขณะที่การใส่ปุ๋ย 0-0-60 (F3) ในดิน Sai ที่มีอินทรียวัตถุต่ำส่งผลให้ pH เพิ่มสูงขึ้นเช่นเดียวกับการใส่ปุ๋ย 46-0-0 แต่เมื่อมีการใส่ปุ๋ย 18-24-24 (F2), 0-0-60(F3) และ 16-16-16 (F4) ส่งผลให้ค่า pH มีค่าใกล้เคียงกับตำรับควบคุม (F0) เมื่อเพิ่มระดับอินทรียวัตถุในดินโดยการเติมปุ๋ยอินทรีย์ 1 (O1) และ 2(O2) กก. ต่อถัง พบว่าการเปลี่ยนแปลงของค่า pH ในดินเมื่อใส่ปุ๋ยเคมีชนิดต่างๆใกล้เคียงกับในดินที่มีอินทรียวัตถุต่ำ (O0) ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าการใส่ปุ๋ยเคมีที่มี %N สูงในดิน Hd, Sai และ Mt จะส่งผลให้ pH ในดินเพิ่มสูงขึ้นทั้งดินบน (0-25 ซม.) และดินล่าง (25-50 ซม.) ถึงแม้ว่าจะมีปริมาณอินทรียวัตถุแตกต่างกัน

การเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรียวัตถุ (%OM) ในดิน (Table 17) พบว่าปริมาณอินทรียวัตถุที่เหลือในดินเมื่อเวลาผ่านไป 12 เดือน ขึ้นอยู่กับปริมาณที่ใส่ลงไป (O2 >O1> O0) และเมื่อมีการใส่ปุ๋ย 46-0-0 (F1) ทำให้มีปริมาณอินทรียวัตถุคงเหลือน้อยที่สุดเกือบทุกดินทั้งระดับดินบนและล่าง ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการใส่ปุ๋ยที่มี %N สูงส่งผลให้มีอินทรียวัตถุลดน้อยลงเมื่อเทียบกับการไม่ใส่ปุ๋ย (F0) หรือการใส่ปุ๋ยชนิดอื่น ซึ่งอาจเป็นผลการจากการมี N ในดินสูงส่งเสริมกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินและการเกิด Mineralization ในขณะที่การใส่ปุ๋ยสูตรเสมอ 16-16-16 (F4) ทำให้มีปริมาณอินทรียวัตถุคงเหลือมากที่สุดในดิน Hd ที่ระดับความลึก 0-25 ซม. ซึ่งอาจเป็นผลจากการลดลงของกิจกรรมจุลินทรีย์ที่ทำให้มีปริมาณอินทรียวัตถุคงเหลือในดินมากกว่าตำรับอื่นๆ ในขณะที่การเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุในดินบนส่งผลให้ปริมาณอินทรียวัตถุในดินล่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาปริมาณอินทรียวัตถุในดินก่อนการทดลองที่ระดับดินบนและล่างของดิน Hd (6.36 และ 4.23%) Sai (5.74 และ 5.13%) และ Mt (5.93 และ 3.19%) พบว่าปริมาณอินทรียวัตถุลดลงเป็นอย่างมากและมีปริมาณใกล้เคียงกันในทุกตำรับการทดลองเมื่อเวลาผ่านไป 12 เดือน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวมีลักษณะคล้ายกันในดินทั้ง 3 ชนิด ถึงแม้ว่าจะมี %Clay และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่แตกต่างกัน Baldock and Skjemastad (2000) ได้ศึกษาเกี่ยวกับแร่ดินเหนียวในอนุภาคดินขนาด Clay ชี้ให้เห็นว่าชนิดของแร่ดินเหนียวมีผลต่อการดูดซับและป้องกันการย่อยสลายของอินทรียวัตถุในดิน เพราะฉะนั้นถ้าดินมี%Clay สูง อาจเป็นไปได้ว่ามีการดูดซับอินทรียวัตถุที่ละลายได้ไว้ในส่วนของแร่ดินเหนียวส่งผลให้ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน Sai ที่มี %Clay น้อย มีปริมาณไม่แตกต่างกันมากนักกับดิน Hd และ Mt ที่มี %Clay สูงกว่า นอกจากนี้ยังพบว่าการที่อินทรียวัตถุที่สามารถละลายได้มีการละลายออกมาสู่สารละลายดินมากขึ้นและสูญเสียไปได้ง่ายเมื่อดินมี pH เพิ่มขึ้น (Table 24) ก็ส่งผลให้อินทรียวัตถุในดินลดลงได้เช่นกัน (Curtin *et. al.*, 1998)

Table 24 Mean comparison of soil pH at 12th month of incubation.

Organic fertilizer	Chemical fertilizer	Soil series					
		Hd		Sai		Mt	
		0-25 cm.	25-50 cm.	0-25 cm.	25-50 cm.	0-25 cm.	25-50 cm.
0	Control	3.97	3.92	6.95	7.27	4.07	4.12
	Urea	7.46	7.25	8.64	8.64	7.97	8.38
	18-24-24	4.33	5.96	4.54	4.80	4.62	4.06
	KCl	3.72	3.64	7.13	7.12	4.04	3.77
	16-16-16	4.59	4.29	4.65	4.81	4.64	4.18
1.0	Control	3.93	3.96	5.82	6.87	4.15	4.18
	Urea	6.45	7.03	8.42	8.30	7.91	8.27
	18-24-24	4.13	3.92	4.56	4.53	4.12	4.02
	KCl	3.92	3.82	5.68	6.39	4.16	3.86
	16-16-16	4.28	3.92	4.07	4.40	4.52	4.06
2.0	Control	3.87	3.84	5.43	7.04	4.10	4.24
	Urea	7.84	7.75	8.31	8.11	7.74	7.82
	18-24-24	4.29	3.81	4.34	4.55	4.20	3.98
	KCl	3.93	3.80	5.83	6.27	4.24	3.96
	16-16-16	4.29	3.92	4.12	4.63	4.28	3.82
F-Test		**	**	**	**	**	**

Table 25 Mean comparison of soil OM (%) at 12th month of incubation.

Organic fertilizer	Chemical fertilizer	Soil series					
		Hd		Sai		Mt	
		0-25 cm.	25-50 cm.	0-25 cm.	25-50 cm.	0-25 cm.	25-50 cm.
0	Control	0.79	0.69	1.23	0.63	1.35	1.03
	Urea	1.00	0.80	0.80	0.72	1.08	0.86
	18-24-24	0.70	0.59	1.34	0.88	1.32	0.85
	KCl	1.12	0.76	1.43	0.74	1.61	1.02
	16-16-16	1.61	0.83	1.06	0.95	1.20	1.03
1.0	Control	1.38	1.11	1.34	0.73	1.91	1.93
	Urea	1.39	0.88	1.39	0.56	1.09	0.86
	18-24-24	1.72	0.59	1.58	0.82	1.75	1.24
	KCl	1.54	0.63	1.25	1.18	2.12	1.22
	16-16-16	2.21	1.31	1.48	1.04	2.32	1.15
2.0	Control	1.71	0.67	1.44	1.38	1.74	1.48
	Urea	1.32	1.21	1.42	0.85	1.21	1.51
	18-24-24	1.65	0.51	1.89	1.32	2.07	1.41
	KCl	1.60	1.13	1.47	0.82	2.50	1.01
	16-16-16	2.39	1.18	1.46	0.93	2.06	1.09
F-Test		**	**	**	**	**	**

การเปลี่ยนแปลงของอนินทรีย์ไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียม (Inorganic N- NH_4^+) เมื่อเวลาผ่านไป 12 เดือน (Table 26) พบว่ามีส่วนสัมพันธ์กับชนิดปุ๋ยเคมีที่ใช้ โดยปุ๋ยที่มี %N เป็นองค์ประกอบสูง จะทำให้มีปริมาณ NH_4^+คงเหลือในดินสูง ได้แก่ การใส่ปุ๋ยสูตร 46-0-0(F1) ส่งผลให้มี NH_4^+คงเหลือในดินมากที่สุด รองลงมาคือ 18-24-24 (F2) และ 16-16-16 (F4) ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณ NH_4^+ในดินตำรับควบคุม (F0) ที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ระดับต่างๆ จะเห็นได้ว่ามีปริมาณ NH_4^+เหลือในดินน้อยมากเมื่อเวลาผ่านไป 12 เดือน ซึ่งชี้ให้เห็นว่าปริมาณ NH_4^+เกือบทั้งหมดในตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีที่คงเหลือในดิน Hd, Sai และ Mt เกิดจากการใส่ปุ๋ยเคมีมากกว่ากระบวนการ N-Mineralization ที่มีการย่อยสลายเปลี่ยนอินทรียวัตถุไปเป็นอนินทรียวัตถุที่เป็นผลมาจากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ลงไปซึ่งจาก Table 10 จะเห็นว่ามีปริมาณอินทรียวัตถุในปุ๋ยอินทรีย์ 20.1 และเมื่อพิจารณา NH_4^+ ในดิน Hd, Sai และ Mt จะเห็นได้ว่าปริมาณ NH_4^+คงเหลือในดิน

Sai น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับ Hd และ Mt ซึ่งอาจเกิดจาก NH_4^+ สูญเสียไปโดยการชะละลาย (Leaching) ที่เกิดขึ้นได้ง่ายในดินที่มี %clay ต่ำ นอกจากนี้จากการศึกษาของ Tao *et al.* (2015) พบว่าปริมาณจุลินทรีย์ในดินเพิ่มขึ้นเมื่อมีการใช้ปุ๋ยเคมี และจำนวนจะเพิ่มขึ้นอีกถ้าหากมีการใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ ทำให้กระบวนการต่างๆที่เกี่ยวกับ Soil biological เกิดขึ้นได้ดีในดินที่มีการปลูกฝ้าย และในการศึกษาของ Zhao *et al.* (2016) ก็ให้ผลสอดคล้องกันโดยชี้ให้เห็นว่า *Actinobacteria* มีปริมาณเพิ่มขึ้นมากในดินเมื่อมีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมีในระบบการปลูกข้าวและข้าวสาลีร่วมกัน

ในส่วนของการเปลี่ยนแปลงของ NO_3^- ที่เป็นผลจากปุ๋ยเคมีในดินที่มีการเพิ่มอินทรียวัตถุระดับต่างๆ (Table 27) พบว่ามีปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับ NH_4^+ แต่ก็สามารถพบได้ว่าปริมาณ $NO3^-$ ที่คงเหลือในดินพบมากที่สุดเมื่อมีการใส่ปุ๋ย 46-0-0 และมีการเคลื่อนที่สู่ดินล่างซึ่งจะเห็นได้จากการเพิ่มขึ้นของ NO_3^- ที่มีส่วนสัมพันธ์กันในดินบนและล่าง

Table 26 Mean comparison of soil NH_4^+-N (mg kg^{-1}) at 12th month of incubation.

Organic fertilizer	Chemical fertilizer	Soil series					
		Hd		Sai		Mt	
		0-25 cm.	25-50 cm.	0-25 cm.	25-50 cm.	0-25 cm.	25-50 cm.
0	Control	3	1	3	4	3	4
	Urea	356	295	130	64	438	411
	18-24-24	265	210	305	66	539	321
	KCl	27	16	3	5	31	27
	16-16-16	318	281	85	69	367	294
1.0	Control	2	3	1	5	3	6
	Urea	453	391	297	88	473	456
	18-24-24	301	177	203	79	424	312
	KCl	38	22	3	3	36	23
	16-16-16	381	282	71	46	442	295
2.0	Control	4	4	4	1	9	14
	Urea	664	340	266	98	555	445
	18-24-24	436	198	187	45	458	302
	KCl	24	23	2	2	38	24
	16-16-16	392	239	50	38	419	253
F-Test		**	**	**	**	**	**

Table 27 Mean comparison of soil NO_3^--N (mg kg^{-1}) at 12^{th} month of incubation.

Organic fertilizer	Chemical fertilizer	Soil series					
		Hd		Sai		Mt	
		0-25 cm.	25-50 cm.	0-25 cm.	25-50 cm.	0-25 cm.	25-50 cm.
0	Control	3	1	1	0	1	3
	Urea	19	12	28	17	6	10
	18-24-24	15	11	1	6	6	8
	KCl	2	3	12	11	2	5
	16-16-16	3	7	5	5	4	8
1.0	Control	1	6	1	0	1	5
	Urea	28	32	13	23	12	12
	18-24-24	9	5	1	5	5	6
	KCl	3	3	32	9	5	5
	16-16-16	1	6	1	53	0	7
2.0	Control	0	10	1	3	0	5
	Urea	42	15	28	40	10	14
	18-24-24	2	11	5	7	5	4
	KCl	3	14	21	11	8	4
	16-16-16	0	6	2	11	2	2
	F-Test	**	**	**	**	**	**

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณ P ในดินเมื่อเวลาผ่านไป 12 เดือน พบว่าขึ้นอยู่กับปริมาณปุ๋ยอินทรีย์และชนิดปุ๋ยเคมีที่ใส่ลงไปในดิน การใส่ปุ๋ย 18-24-24 (F2) และ 16-16-16 (F4) ทำให้มี P เหลืออยู่ในดินมากที่สุดตามลำดับ ในขณะที่การใส่ปุ๋ยอินทรีย์เพื่อเพิ่มระดับอินทรียวัตถุส่งผลต่อปริมาณ P ที่คงเหลือในดินไม่มากถ้าพิจารณาจากตำรับควบคุมที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ระดับต่างๆแต่ไม่ใส่ปุ๋ยเคมี (O0F0, O1F0, และ O2F0) เนื่องจากมีปริมาณ P เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเพิ่มปริมาณปุ๋ยอินทรีย์ในดินทั้ง 3 ชนิดที่ระดับดินบนและล่าง ในขณะที่ปริมาณ P ในดินบนและล่างมีความสัมพันธ์กันอย่างเห็นได้ชัด โดยจะเห็นว่า P ในดินล่างเพิ่มเมื่อ P ในดินสูงขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าในดิน Hd และ Mt ซึ่งเป็นดินที่มี %Clay สูงจะพบสัดส่วนปริมาณ P ระหว่างดินบนและล่าง มากกว่าในดิน Sai ซึ่งมี %Clay ต่ำที่สุด ผลการทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่าการเคลื่อนที่ของ P จากดินบน (0-25 ซม.) สู่ดินล่าง (25-50 ซม.) จะเกิดขึ้นได้ดีกว่าในดินที่มี %clay ต่ำ เนื่องจากว่าเกิดการ

ดูดซับ P โดยแร่ดินเหนียวได้น้อยเมื่อเทียบกับดินที่มี %Clay สูงซึ่งจะมีความสามารถในการดูดซับ P ไว้ในดินได้มากกว่าที่จะปล่อยให้ถูกชะละลาย (Leaching) โดยน้ำลงสู่ดินล่าง

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณ K ในดินเมื่อผ่านไป 12 เดือน (Table 29) พบว่าขึ้นอยู่กับปริมาณปุ๋ยอินทรีย์ และชนิดปุ๋ยเคมีที่ใส่ลงไปในดิน การใส่ปุ๋ย 0-0-60 (F3), 18-24-24(F2) และ 16-16-16(F4) ส่งผลให้มีปริมาณ K เหลือในดินมากที่สุดตามลำดับ ในขณะที่ตำรับควบคุม (F0) และใส่ปุ๋ย 46-0-0 (F1) มีปริมาณ K คงเหลือในดินน้อยที่สุด ปริมาณปุ๋ยอินทรีย์ที่ใส่ลงไปส่งผลให้ปริมาณ K ในดินเพิ่มขึ้นเมื่อพิจารณาตำรับที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยเคมี (O0F0, O1F0 และ O2F0) แต่จะเห็นว่าปริมาณ K ส่วนใหญ่ที่คงเหลือในดินเป็นผลจากการใส่ปุ๋ยที่มี K เป็นองค์ประกอบลงไป นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณ K ในดินล่างมีความสัมพันธ์กับดินบนซึ่งชี้ให้เห็นว่า K มีการเคลื่อนที่จากดินบนไปสะสมในดินล่างอาจโดยการชะลายของน้ำ (Leaching) เช่นเดียวกับ P, NH_4^+และ NO_3^-

Table 28 Mean comparison of soil P (mg kg^{-1}) at 12^{th} month of incubation.

Organic fertilizer	Chemical fertilizer	Soil series					
		Hd		Sai		Mt	
		0-25 cm.	25-50 cm.	0-25 cm.	25-50 cm.	0-25 cm.	25-50 cm.
0	Control	2	1	30	18	1	0
	Urea	6	7	43	30	1	1
	18-24-24	427	101	371	216	421	143
	KCl	3	1	31	20	3	2
	16-16-16	463	153	363	358	322	68
1.0	Control	14	7	37	22	12	5
	Urea	24	14	79	31	9	5
	18-24-24	369	139	374	293	437	191
	KCl	12	5	32	23	16	6
	16-16-16	389	124	441	374	343	144
2.0	Control	24	5	51	20	13	11
	Urea	27	24	80	37	13	7
	18-24-24	452	152	427	436	666	280
	KCl	17	22	393	26	24	8
	16-16-16	248	139	485	395	431	149
F-Test		**	**	**	**	**	**

Table 29 Mean comparison of soil K (mg kg^{-1}) at 12^{th} month of incubation.

		Mean					
		Hd		Sai		Mt	
OM_level	Fertilizer	0-25 cm.	25-50 cm.	0-25 cm.	25-50 cm.	0-25 cm.	25-50 cm.
O0	F0	35	30	39	34	200	220
	F1	65	70	69	27	155	190
	F2	1,312	911	1,162	959	2,716	655
	F3	4,387	2,551	2,725	1,963	3,784	2,802
	F4	1,021	829	1,273	882	1,025	853
O1	F0	144	75	124	102	232	207
	F1	130	122	159	145	188	201
	F2	1,886	956	1,091	762	2,369	3,366
	F3	2,825	2,309	4,431	2,772	4,286	3,318
	F4	1,099	913	1,314	1,243	1,260	873
O2	F0	190	76	186	158	249	162
	F1	161	98	171	185	239	315
	F2	2,700	1,001	776	933	2,308	1,091
	F3	2,810	1,920	2,218	1,097	4,092	2,320
	F4	1,117	675	1,050	1,953	2,138	2,898
F-Test		**	**	**	**	**	**

ตัวอย่างดินที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ถูกเลือกมาโดยพิจารณาจากเนื้อดิน จะเห็นได้ว่าดินหางดง (Hd) แม่แตง (Mt) และสันทราย (Sai) มี %clay แตกต่างกัน คือ 48.1 26.1 และ 14.1 ตามลำดับ ส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงของสมบัติทางเคมีที่แตกต่างอย่างเห็นได้ชัดเมื่อในดินมีอินทรียวัตถุปริมาณแตกต่างๆ กันออกไปแล้วพิจารณาการตกค้างของปุ๋ยเคมีชนิดต่างๆที่เพิ่มลงไปในดินเมื่อระยะเวลาผ่านไป 1 4 9 และ 12 เดือน พบว่า การเปลี่ยนแปลง pH OM Inorganic-N P และ K ในดิน Hd และ Mt มีรูปแบบที่คล้ายกันทั้งในดินบนและดินล่าง เนื่องจาก %clay ที่มีปริมาณไม่แตกต่างกันมากนัก ถ้าเทียบกับดิน Sai สำหรับการตกค้างในดินของปุ๋ยเคมีสูตรต่างๆที่ใช้กันทั่วไปในการทำการเกษตรจะมีปริมาณแปรผันขึ้นอยู่กับปริมาณอินทรียวัตถุในดินและปุ๋ยเคมีที่ใช้ จะเห็นได้ Inorganic-N จะมีปริมาณสูงเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับควบคุมในตำรับที่มี Inorganic-N ตกค้างอยู่มากในดินเมื่อผ่านไป 12 เดือน ได้แก่ ตำรับที่มีการใช้ปุ๋ยสูตร 46-0-0

รองลงมาคือ 18-24-24 และ 16-16-16ร่วมกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 2 กก.ต่อถัง ในดินบนและเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 1 เดือนจะมีการเคลื่อนย้ายของปุ๋ยเคมีจากชั้นดินบนสู่ชั้นดินล่างซึ่งจะเห็นได้ชัดว่าปริมาณ Inorganic-N ในดินล่างเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมากในดินหลังจากผ่านไป 1 เดือนในดิน Hd และ Mt แต่ในดินสันทราย จะพบว่าปริมาณ Inorganic-N ในดินบนมีปริมาณค่อนข้างคงที่ตั้งแต่ 1 -12 เดือน แต่ในดินล่างปริมาณลดลงไปเกือบใกล้เคียงกับตำรับควบคุม ซึ่งน่าจะเป็นผลจากการเติมน้ำที่ทำให้มีการชะละลายของ Inorganic-N ไปจากดินโดยน้ำที่มีการเติมลงไปอันเนื่องจากดิน Sai มี % clay ต่ำที่จะช่วยในการดูดซับ NH_4^+ และ NO_3^- ไว้ในดินทำให้มีการสูญเสียไปจากดินได้ง่าย

ปริมาณฟอสฟอรัสในดินจะพบปริมาณมากในดิน Sai ที่ระดับความลึก 0-25 ซม. ในตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยสูตร 18-24-24 และ 16-16-16 ที่เวลา 1 เดือนหลังการบ่ม ในขณะที่ในดิน Hd และ Mt มีปริมาณการเปลี่ยนแปลงที่ใกล้เคียงกัน โดยจะเพิ่มมากที่สุดที่เดือนที่ 1 แต่ยังถือว่าน้อยเมื่อเทียบกับในดิน Sai ซึ่งเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 4 เดือน จะเห็นได้ว่ามีปริมาณของฟอสฟอรัสในดินล่างที่ความลึก 25-50 ซม. เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดในขณะที่ดิน Hd และ Mt เพิ่มสูงสุดในเดือนที่ 9 หลังจากนั้นปริมาณลดลงไปใกล้เคียงกับปริมาณฟอสฟอรัสในเดือนที่ 1 ดิน Sai มีปริมาณฟอสฟอรัสปริมาณสูงมากในดินล่าง 25-50 ซม. เมื่อเวลาผ่านไปเพียง 1 เดือนหลังจากนั้นลดลงและเพิ่มขึ้นอีกครั้งในเดือนที่ 9 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในช่วง 1 เดือนแรกมีการชะละลายฟอสฟอรัสจากดินบนสู่ดินล่างในขณะที่ดิน Hd และ Mt กลับมีปริมาณฟอสฟอรัสเพิ่มมากในดินล่างที่ระยะเวลา 9 เดือน ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการเคลื่อนที่ของฟอสฟอรัสในดิน Sai เร็วกว่าในดิน Hd และ Mt ซึ่งน่าจะเป็นผลจากการดูดซับไว้โดยแร่ดินเหนียวในดินอนุภาคขนาด clay ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์สูงกว่าในดิน Sai

การเปลี่ยนแปลงของโพแทสเซียมในดินที่ระยะเวลา 9 และ 12 เดือนหลังการบ่มจะพบปริมาณโพแทสเซียมในดินสูงมากทั้ง 3 ดินโดยเฉพาะตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยเคมี 0-0-60 มีการตกค้างมากที่สุดในดินที่ระยะเวลา 12 เดือน รองลงมาคือตำรับที่มีการใส่ปุ๋ย 18-24-24 และ 16-16-16 การเปลี่ยนแปลงของโพแทสเซียมในดินจะเห็นว่ามีปริมาณมากในเดือนที่ 9 และลดลงในเดือนที่ 12 ทั้งที่ 2 ระดับความลึก ซึ่งการลดลงของโพแทสเซียมในดิน Hd และ Mt น่าจะเป็นผลโดยส่วนใหญ่จากการดูดซับไว้ด้วยแร่ดินเหนียวในอนุภาคดินขนาด Clay ที่มีอยู่มาก ในขณะที่ดิน Sai น่าจะเป็นผลจากการชะละลายออกไปจากดิน จากการศึกษาของ Nilawonk *et al.* (2010) ชี้ให้เห็นว่าในดินที่มี %Clay สูงจะมีแร่ดินเหนียวที่สามารถดูดซับและตรึง K ไว้ในดินได้มากกว่าดินที่มี %Clay น้อยกว่า ได้แก่ กลุ่มแร่ Smectite ที่ทำให้ดินสามารถดูดซับ K ไว้ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชลดการสูญเสียไปโดยการชะละลาย

สำหรับการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของดินในการทดลองครั้งนี้จะเห็นได้ว่ามีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบที่คล้ายกันในดิน Hd และ Mt ทั้งในดินบนและดินล่าง โดยค่า pH จะเพิ่มขึ้นจากดินก่อนการทดลองในดินที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 ในขณะที่ตำรับอื่นๆรวมทั้งตำรับควบคุมจะมีการลดลงของค่า pH อย่างเห็นได้ชัดที่ 1 เดือนหลังการบ่ม การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนี้น่าจะเป็นผลจากการที่ปุ๋ยเคมี 46-0-0 ซึ่งมี N ในปริมาณมากส่งผลให้มีการลดลงของ H^+ในสารละลายดินอันเนื่องจากการทำปฏิกิริยาของ NH_4^+จากปุ๋ยเคมีและ H^+ในดินซึ่งทำให้เกิดเป็น NH_3และ H_2O ส่งผลให้ค่า pH ในดินลดลง ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงค่า pH ของดิน Sai จะมีลักษณะที่แตกต่างจากดิน Hd และ Mt โดยค่า pH ในตำรับควบคุมและตำรับที่มีการใส่ปุ๋ย 0-0-60 (F3) มีแนวโน้มคงที่ในขณะที่ในดิน Hd และ Mt จะลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าตำรับที่มีการใส่ปุ๋ย 18-24-24 และ 16-16-16 ส่งผลให้ค่า pH ลดลงซึ่งการเปลี่ยนแปลงมีแนวโน้มค่อนข้างคงที่ตั้งแต่ช่วง 1-12 เดือน จากผลการทดลองนี้จะเห็นได้ว่า สูตรปุ๋ยมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า pH ในดินค่อนข้างมากในดิน Sai ในขณะที่ดิน Hd และ Mt มีการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนเมื่อใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 เท่านั้น ในขณะที่สูตรอื่นมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่คล้ายๆกัน ซึ่งอาจเป็นเพราะค่า pH buffering capacity ที่สูงกว่าของดิน Hd และ Mt ที่ทำให้การเปลี่ยนแปลงของค่า pH เป็นไปได้ยากกว่าดิน Sai

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณอินทรียวัตถุในดินมีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกันในทั้ง 3 ดิน โดยจะลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจนหลังจาก 1 เดือนผ่านไป หลังจากนั้นมีปริมาณคงที่ทั้งในดินบนและดินล่าง ถึงแม้ว่าจะมีการใส่ปุ๋ยอนินทรีย์ปริมาณ 1 และ 2 กก. ต่อถัง ลงไปในดิน แต่จะเห็นได้ว่าปริมาณที่พบในดินหลังจาก 1 เดือนผ่านไปไม่แตกต่างกันมากนัก อาจเป็นผลจากการเกิดการย่อยสลายของอินทรียวัตถุในดินที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 1 เดือนหลังการบ่ม หลังจากนั้นกระบวนการดังกล่าวเกิดขึ้นค่อนข้างน้อยและคงที่ไปจนถึงเดือนที่ 12 และเมื่อพิจารณาระดับอินทรียวัตถุในดินจะเห็นได้ว่าในดินที่มีอินทรียวัตถุสูงส่งผลให้มีปริมาณ $N\text{-}NH_4^+$, $N\text{-}NO_3^-$, P และ K คงเหลือในดินมากกว่าดินที่มีอินทรียวัตถุน้อยเมื่อเวลาผ่านไป 12 เดือน ซึ่งได้มีการศึกษาพบว่าการใช้ปุ๋ยหมักเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุให้แก่ดินจะส่งผลให้ลดการสูญเสีย N และ P ในดินทราย (Castan *et al.*, 2016)

<u>โครงการย่อยที่ 2</u> การศึกษาเทคนิคการเพิ่มอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพของสารพิษตกค้างในดินเพื่อลดระยะเวลาการปรับเปลี่ยนสู่ระบบเกษตรอินทรีย์โดยการใช้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินและน้ำหมักมูลไส้เดือนดิน

จากการทดลองศึกษาเทคนิคการเพิ่มอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพของสารพิษตกค้างในดิน ในกลุ่ม Organophosphates และ Pyrethroids ได้ผลการทดลองดังนี้

ผลการตรวจวัดปริมาณสารพิษในดินตัวอย่างที่เก็บจากแปลงเกษตรกร ก่อนนำมาทำการทดลอง พบว่า ในดินตัวอย่างตรวจไม่พบสารพิษตกค้าง ในกลุ่ม Organophosphates และ Pyrethroids (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 30 แสดงค่าสารพิษตกค้างของกลุ่มOrganophosphates และ Pyrethroids ในดินก่อนทำการทดลอง

ตัวอย่างดิน	**สารพิษตกค้าง**		
	Chlorpyrifos	**Profenofos**	**Cypermethrin**
ดินก่อนทำการทดลอง	ND	ND	ND

หมายเหตุ : ND หมายถึงตรวจไม่พบสารพิษตกค้าง

1. การย่อยสลายสารพิษ Chlorpyrifos ในดินตัวอย่างที่ 0 วัน 7 วัน 15 วัน 30 วัน และ 60 วัน

ผลการทดลอง พบว่าดินที่ผสมด้วยมูลไส้เดือนดิน น้ำหมักมูลไส้เดือนดิน และสาร Chlorpyrifos เป็นเวลา 0 วัน พบ ระดับของสาร Chlorpyrifos ที่วัดได้ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในปัจจัย B แต่ในส่วนของปัจจัย A มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ โดย การบ่มดินแบบปกติวัดปริมาณสาร Chlorpyrifos ได้เท่ากับ 4.68 mg/kg.soil สูงกว่า บ่มแบบน้ำขังวัดได้ 3.85 mg/kg.soil

ผลการทดลองที่ 7 วันหลังบ่มดิน ระดับของสาร Chlorpyrifos ที่วัดได้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ โดยปัจจัย A การบ่มดินแบบปกติวัดปริมาณสาร Chlorpyrifos ได้เท่ากับ 2.02 mg/kg.soil สูงกว่า บ่มแบบน้ำขังวัดได้ 0.83 mg/kg.soil และในปัจจัย B พบว่าดินที่มีการผสมมูลไส้เดือน จะพบระดับของสาร Chlorpyrifos เท่ากับ 1.71 mg/kg.soil สูงกว่าตำรับที่ผสมน้ำหมักมูลไส้เดือนและตำรับควบคุม ที่วัดได้ 1.35 และ 1.20 mg/kg.soil ตามลำดับ

ผลการทดลองที่ 15 วันหลังบ่มดิน ระดับของสาร Chlorpyrifos ที่วัดได้ ทั้งในปัจจัย A และ ปัจจัย B ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ผลการทดลอง ที่ 30 วันหลังบ่มดิน พบว่า ระดับของสาร Chlorpyrifos ที่วัดได้ทั้งในปัจจัย A และปัจจัย B มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ โดยปัจจัย A การบ่มดินแบบปกติวัดปริมาณสาร Chlorpyrifos ได้เท่ากับ 1.12 mg/kg.soil สูงกว่า บ่มแบบน้ำขังวัดได้ 0.29 mg/kg.soil และในปัจจัย B พบว่า ดินที่ผสมมูลไส้เดือน ตรวจพบระดับของสาร Chlorpyrifos เท่ากับ 0.97 mg/kg.soil สูงกว่าตำรับควบคุม และตำรับที่ผสมน้ำหมักมูลไส้เดือน ซึ่งตรวจพบ 0.66 และ 0.49 mg/kg.soil ตามลำดับ

ผลการทดลองที่ 60 วันหลังบ่มดินพบว่า ระดับของสาร Chlorpyrifos ที่วัดได้ในปัจจัย A และปัจจัย B มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ โดยปัจจัย A การบ่มดินแบบปกติวัดปริมาณสาร Chlorpyrifos ได้เท่ากับ 0.31mg/kg.soil สูงกว่า บ่มแบบน้ำขังวัดได้ 0.07 mg/kg.soil และในปัจจัย B พบว่าดินที่ผสมมูลไส้เดือนดินจะตรวจวัดระดับของสารChlorpyrifos เท่ากับ 0.23 mg/kg.soil สูงกว่าตำรับควบคุม และตำรับที่ผสมน้ำหมักมูลไส้เดือนดินไส้เดือน ที่วัดได้ 0.19 และ 0.14 mg/kg.soilตามลำดับ (ตารางที่ 31)

ตารางที่ 31 ผลของการการใช้ผลิตผลจากไส้เดือนดินบ่มดินที่ไม่มีน้ำขัง และมีน้ำขังในระยะเวลาที่ต่างกัน ต่อปริมาณสาร Chlorpyrifos (mg/kg.soil) ในดิน

สภาพดิน	ตำรับทดลอง			เฉลี่ย
	ควบคุม	ผสมมูลไส้เดือนดิน	ผสมน้ำหมักมูลไส้เดือนดิน	
		ระยะเวลาบ่มดิน 0 วัน		
ปกติ	4.45	4.79	4.80	**4.68^{A}**
น้ำขัง	3.89	3.89	3.78	**3.85^{B}**
เฉลี่ย	**4.17**	**4.34**	**4.29**	**Interaction^{ns}**
		ระยะเวลาบ่มดิน 7 วัน		
ปกติ	1.68	2.44	1.94	**2.02^{A}**
น้ำขัง	0.72	0.99	0.77	**0.83^{B}**
เฉลี่ย	**1.20^{B}**	**1.71^{A}**	**1.35^{AB}**	**Interaction^{ns}**
		ระยะเวลาบ่มดิน 15 วัน		
ปกติ	2.31	1.61	0.65	**1.53**
น้ำขัง	0.90	1.01	1.08	**1.00**
เฉลี่ย	**1.60**	**1.31**	**0.87**	**Interaction^{ns}**
		ระยะเวลาบ่มดิน 30 วัน		
ปกติ	1.17^{B}	1.46^{A}	0.74^{C}	**1.12^{A}**
น้ำขัง	0.15^{E}	0.48^{CD}	0.25^{DE}	**0.29^{B}**
เฉลี่ย	**0.66^{B}**	**0.97^{A}**	**0.49^{C}**	**Interaction^{ns}**
		ระยะเวลาบ่มดิน 60 วัน		
ปกติ	0.31^{AB}	0.39^{A}	0.22^{B}	**0.31^{A}**
น้ำขัง	0.07^{C}	0.08^{C}	0.07^{C}	**0.07^{B}**
เฉลี่ย	**0.19^{AB}**	**0.23^{A}**	**0.14^{B}**	**Interaction^{ns}**

*** หมายเหตุ สภาพปกติ คือ สภาพที่ไม่มีน้ำขัง

ns คือ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง

ควบคุม หมายถึง ตำรับทดลองที่ดินไม่ผสมปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนและน้ำหมักมูลไส้เดือน

2. การย่อยสลายสารพิษProfenofosในดินตัวอย่างที่ 0 วัน 7 วัน 15 วัน 30 วันและ 60 วัน

ผลการทดลอง พบว่าดินที่ผสมด้วยมูลไส้เดือนดิน น้ำหมักมูลไส้เดือนดิน และสาร Chlorpyrifos เป็นเวลา 0 วัน พบระดับของสาร Profenofosที่วัดได้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ โดยปัจจัย A การบ่มดินแบบปกติวัดปริมาณสาร Profenofos ได้เท่ากับ 2.64mg/kg.soil สูงกว่า บ่มแบบน้ำขังวัดได้ 1.08mg/kg.soil และในปัจจัย B พบว่าดินที่ผสมมูลไส้เดือน ตรวจพบระดับของสารProfenofos เท่ากับ 2.17 mg/kg.soil สูงกว่าตำรับที่ผสมน้ำหมักมูลไส้เดือนและตำรับควบคุม ซึ่งตรวจพบ 1.78 และ 1.63 mg/kg.soil ตามลำดับ

ผลการทดลอง ที่ 7 วันหลังบ่มดิน พบว่า ระดับของสาร Profenofosที่วัดได้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ โดยปัจจัย A การบ่มดินแบบปกติวัดปริมาณสาร Profenofos ได้เท่ากับ 0.14 mg/kg.soil สูงกว่า บ่มแบบน้ำขังวัดได้ 0.10 mg/kg.soil และในปัจจัย B พบว่าดินที่ผสมมูลไส้เดือน จะตรวจวัดระดับของสารProfenofosเท่ากับ 0.17 mg/kg.soil สูงกว่าตำรับที่ผสมน้ำหมักมูลไส้เดือนและตำรับควบคุม ที่วัดได้ 0.10 mg/kg.soil

ผลการทดลอง ที่ 15 วันหลังบ่มดิน พบว่า ระดับของสาร Profenofos ที่วัดได้ทั้งในปัจจัย A และปัจจัย Bไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ผลการทดลอง ที่ 30 วันหลังบ่มดิน พบว่า ระดับของสาร Profenofos ที่วัดได้ในส่วนของปัจจัย Aมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์โดย การบ่มดินแบบปกติวัดปริมาณสาร Profenofos ได้เท่ากับ 0.04 mg/kg.soil สูงกว่า บ่มแบบน้ำขังวัดได้ 0.01mg/kg.soil ตามลำดับ ในปัจจัย Bพบว่าดินที่ผสมมูลไส้เดือน จะตรวจวัดระดับของสารProfenofosเท่ากับ 0.03mg/kg.soil สูงกว่าตำรับที่ผสมน้ำหมักมูลไส้เดือนและตำรับควบคุม ที่วัดได้ 0.02mg/kg.soil

ผลการทดลอง ที่ 60 วันหลังบ่มดิน พบว่า ระดับของสาร Profenofosในดินตำรับควบคุม ตำรับที่ผสมมูลไส้เดือนดินและตำรับที่ผสมน้ำหมักมูลไส้เดือนดินทั้งในสภาพปกติและน้ำขัง ตรวจไม่พบปริมาณสารพิษตกค้าง Profenofos (ตารางที่ 32)

ตารางที่ 32 ผลของการการใช้ผลิตผลจากไส้เดือนดินบ่มดินที่ไม่มีน้ำขัง และมีน้ำขังในระยะเวลาที่ต่างกัน ต่อปริมาณสาร Profenofos (mg/kg.soil)

สภาพดิน	ตำรับทดลอง			เฉลี่ย
	ควบคุม	ผสมมูลไส้เดือนดิน	ผสมน้ำหมักมูลไส้เดือนดิน	
		ระยะเวลาบ่มดิน 0 วัน		
ปกติ	2.50	2.92	2.48	**2.64**^{A}
น้ำขัง	0.75	1.41	1.08	**1.08**^{B}
เฉลี่ย	**1.63**^{B}	**2.17**^{A}	**1.78**^{B}	**Interaction**^{ns}
		ระยะเวลาบ่มดิน 7 วัน		
ปกติ	0.12	0.19	0.12	0.14^{A}
น้ำขัง	0.08	0.15	0.09	0.10^{B}
เฉลี่ย	0.10^{B}	0.17A	0.10^{B}	**Interaction**^{ns}
		ระยะเวลาบ่มดิน 15 วัน		
ปกติ	0.09	0.07	0.05	0.07
น้ำขัง	0.04	0.05	0.04	0.05
เฉลี่ย	0.07	0.06	0.05	**Interaction**^{ns}
		ระยะเวลาบ่มดิน 30 วัน		
ปกติ	0.04	0.04	0.03	0.04^{A}
น้ำขัง	0.01	0.02	0.02	0.01^{B}
เฉลี่ย	0.02	0.03	0.02	**Interaction**^{ns}
		ระยะเวลาบ่มดิน 60 วัน		
ปกติ	ND	ND	ND	ND
น้ำขัง	ND	ND	ND	ND
เฉลี่ย	ND	ND	ND	**Interaction**^{ns}

*** หมายเหตุ สภาพปกติ คือ สภาพที่ไม่มีน้ำขัง

ns คือ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง

ควบคุม หมายถึง ตำรับทดลองที่ดินไม่ผสมปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนและน้ำหมักมูลไส้เดือน

ND หมายถึง ตรวจไม่พบสารตกค้าง

การย่อยสลายสารพิษCypermethrinในดินตัวอย่างที่ 0 วัน 7 วัน 15 วัน 30 วัน และ 60 วัน

ผลการทดลอง พบว่าดินที่ผสมด้วยมูลไส้เดือนดิน น้ำหมักมูลไส้เดือนดิน และสาร Chlorpyrifos เป็นเวลา 0 วัน พบระดับของสาร Cypermethrin ที่วัดได้ทั้งในปัจจัย A และปัจจัย B ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ โดยปัจจัย A การบ่มดินแบบขังน้ำวัดปริมาณสาร Cypermethrin ได้เท่ากับ 7.66 mg/kg.soilสูงกว่าการบ่มแบบปกติวัดได้ 6.39 mg/kg.soilและในปัจจัย B พบว่าดินที่ผสมน้ำหมักมูลไส้เดือนดิน จะตรวจวัดระดับของสาร Cypermethrin เท่ากับ 7.58 mg/kg.soilสูงกว่าตำรับควบคุมและตำรับที่ผสมมูลไส้เดือนดิน ซึ่งตรวจพบ 7.56 และ 5.94 mg/kg.soilตามลำดับ

ผลการทดลอง ที่ 7 วันหลังบ่มดิน พบว่า ระดับของสาร Cypermethrin ที่วัดได้ในส่วนของปัจจัย A มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์โดย การบ่มดินแบบน้ำขัง วัดปริมาณสาร Cypermethrin ได้เท่ากับ 4.67 mg/kg.soil สูงกว่า บ่มแบบปกติ วัดได้2.93 mg/kg.soil ตามลำดับ และปัจจัย B ระดับของสารCypermethrin ที่ตรวจพบไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง

ผลการทดลอง ที่ 15 วันพบว่า ระดับของสาร Cypermethrin ที่วัดได้ทั้งในปัจจัย A และปัจจัย B ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ผลการทดลอง ที่ 30 วัน พบว่า ระดับของสาร Cypermethrin ที่วัดได้ในส่วนของปัจจัย Aมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ โดย การบ่มดินแบบน้ำขัง วัดปริมาณสาร Cypermethrin ได้เท่ากับ 4.69 mg/kg.soil สูงกว่า บ่มแบบปกติวัดได้ 2.83 mg/kg.soil ตามลำดับ และปัจจัย B ระดับของสาร Cypermethrin ที่ตรวจพบไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง

ผลการทดลอง ที่ 60 วัน พบว่า ระดับของสาร Cypermethrin ที่วัดได้ในส่วนของปัจจัย A มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ โดยการบ่มดินแบบขังน้ำ วัดปริมาณสาร Cypermethrin ได้เท่ากับ 1.42 mg/kg.soil สูงกว่า บ่มแบบปกติวัดได้ 0.72mg/kg.soil ตามลำดับ และปัจจัย B ของระดับของสาร สาร Cypermethrin ที่ตรวจพบไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ตารางที่ 33)

ตารางที่ 33 ผลของการการใช้ผลิตผลจากไส้เดือนดินบ่มดินที่ไม่มีน้ำขัง และมีน้ำขังในระยะเวลาที่ต่างกัน ต่อปริมาณสาร Cypermethrin (mg/kg.soil)

สภาพดิน	ตำรับทดลอง			เฉลี่ย
	ควบคุม	ผสมมูลไส้เดือนดิน	ผสมน้ำหมักมูลไส้เดือนดิน	
		ระยะเวลาบ่มดิน 0 วัน		
ปกติ	7.18	4.34	7.65	6.39
น้ำขัง	7.93	7.55	7.51	7.66
เฉลี่ย	7.56	5.94	7.58	Interaction^{ns}
		ระยะเวลาบ่มดิน 7 วัน		
ปกติ	1.60^{B}	4.53^{A}	2.66^{AB}	2.93^{A}
น้ำขัง	4.84^{A}	4.50^{A}	4.67^{A}	4.67^{B}
เฉลี่ย	3.22	4.52	3.66	Interaction^{ns}
		ระยะเวลาบ่มดิน 15 วัน		
ปกติ	4.57	4.10	4.55	4.40
น้ำขัง	5.35	6.11	2.85	4.77
เฉลี่ย	4.96	5.11	3.70	Interaction^{ns}
		ระยะเวลาบ่มดิน 30 วัน		
ปกติ	3.35	2.81	2.33	2.83^{A}
น้ำขัง	4.12	4.78	5.18	4.69^{B}
เฉลี่ย	3.73	3.80	3.75	Interaction^{ns}
		ระยะเวลาบ่มดิน 60 วัน		
ปกติ	1.03A	0.51^{B}	0.63^{B}	0.72^{A}
น้ำขัง	1.38A	1.43^{A}	1.44^{A}	1.42
เฉลี่ย	1.21	0.97	1.03	Interaction^{ns}

*** หมายเหตุ สภาพปกติ คือ สภาพที่ไม่มีน้ำขัง

ns คือ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง

ควบคุม หมายถึง ตำรับทดลองที่ดินไม่ผสมปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนและน้ำหมักมูลไส้เดือน

วิจารณ์ผลการวิจัย

จากผลการทดลองการศึกษาเทคนิคการเพิ่มอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพของสารพิษตกค้างในดิน ในกลุ่ม Organophosphates (Chlorpyrifos และProfenofos) และ Pyrethroids (*Cypermethrin*) ด้วยมูลไส้เดือนดินและน้ำหมักมูลไส้เดือนดิน ใน 2 สภาวะการบ่มคือแบบปกติและน้ำขัง ตรวจวัดปริมาณสารพิษตกค้าง 5 ช่วงเวลา ที่ 0 วัน 7 วัน 15 วัน 30 วัน และ 60 วัน พบว่า

ที่ 0 วัน พบว่าปริมาณสาร Chlorpyrifos และ Profenofos ของดินที่อยู่ในสภาวะปกติจะพบสูงกว่าดินที่อยู่ภายใต้สภาวะน้ำขัง แต่จะไม่เกิดขึ้นกับสาร Cypermethrin

ที่ 7 วัน พบว่าปริมาณสาร Chlorpyrifos และ Profenofos ของดิน อยู่ในสภาวะปกติจะพบสูงกว่าดินที่อยู่ภายใต้สภาวะน้ำขัง แต่สาร Cypermethrin จะพบว่าดินที่ผสมน้ำหมักมูลไส้เดือนดินลงไปซึ่งอยู่ภายใต้สภาวะน้ำขังจะพบปริมาณต่ำกว่าดินที่อยู่ในสภาวะปกติ

ที่ 15 วัน พบว่าปริมาณสาร Chlorpyrifos ของดินที่อยู่ในสภาวะปกติจะสูงกว่าดินที่อยู่ภายใต้สภาวะน้ำขัง แต่ตำรับที่ผสมมูลไส้เดือนดินที่อยู่ภายใต้สภาวะน้ำขังจะพบปริมาณสารพิษได้สูงกว่าดินที่อยู่ในสภาวะปกติ ในส่วนของสาร Profenofos ของดินที่อยู่ในสภาวะปกติจะสูงกว่าดินภายใต้สภาวะน้ำขังในทุกตำรับทดลอง และพบว่าปริมาณสาร Cypermethrinของดินที่มีการผสมน้ำหมักมูลไส้เดือนดินลงไป ในสภาวะปกติจะสูงกว่าดินที่อยู่ภายใต้สภาวะน้ำขัง แต่ดินในตำรับที่ไม่เติมและดินในตำรับที่มีการผสมมูลไส้เดือนดินลงไป พบว่าปริมาณสารที่อยู่ภายใต้สภาวะน้ำขังจะสูงกว่าดินที่อยู่ในสภาวะปกติ

ที่ 30 วัน พบว่า ปริมาณสาร Chlorpyrifos และ Profenofos ของดินที่อยู่ในสภาวะปกติจะพบสูงกว่าดินที่อยู่ภายใต้สภาวะน้ำขัง แต่จะไม่เกิดขึ้นกับสาร Cypermethrin

ที่ 60 วัน พบว่า ปริมาณสาร Chlorpyrifos ของดินที่อยู่ในสภาวะปกติจะพบสูงกว่าดินที่อยู่ภายใต้สภาวะน้ำขัง และไม่พบสาร Profenofos ในดินทุกตำรับ ส่วนปริมาณสาร Cypermethrinในดินที่อยู่ภายใต้สภาวะน้ำขังจะสูงกว่าดินที่อยู่ในสภาวะปกติ

สาร Chlorpyrifos ในตำรับที่ใช้น้ำหมักมูลไส้เดือนดินมาช่วยในเพิ่มอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพในดิน พบว่าจะมีประสิทธิภาพดีกว่าดินที่มีการใช้มูลไส้เดือนดินและดินที่ไม่ใช้ทั้ง 2 ชนิด และจะเกิดการย่อยสลายได้เร็วยิ่งเมื่อดินอยู่ภายใต้สภาวะปกติ

สาร Profenofos ในตำรับทดลองที่มีการใช้น้ำหมักมูลไส้เดือนดิน พบว่าจะมีประสิทธิภาพดีกว่าดินที่มีการใช้มูลไส้เดือนดินและดินที่ไม่ใช้ทั้ง 2 ชนิด และการย่อยสลายของสารพิษจะเกิดขึ้นได้เร็วเมื่ออยู่ภายใต้สภาวะปกติ และทั้งนี้เมื่อผ่านไป 60 วันกลับพบว่าไม่สามารถตรวจพบสารดังกล่าวได้ในทุกตำรับทดลอง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการที่สาร Profenofos นี้ สามารถย่อยสลายได้อย่างรวดเร็วและพบการตกค้างได้น้อย

สาร Cypermethrin ในตำรับทดลองที่มีการใช้มูลไส้เดือนดิน จะพบว่ามีประสิทธิภาพดีกว่าดินที่มีการใช้น้ำหมักมูลไส้เดือนดินและดินที่ไม่ใช้ทั้ง 2 ชนิด และเมื่อดินอยู่ในสภาวะปกติจะเกิดการย่อยสลายได้ดีกว่าภายใต้สภาวะน้ำขัง

ทั้งนี้จากผลการทดลองดังกล่าว การใช้น้ำหมักมูลไส้เดือนดิน จะช่วยลดความเป็นพิษของสาร Chlorpyrifos และ Profenofos ได้ดี จนอยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อมโดยจุลินทรีย์ในน้ำหมักมูลไส้เดือนดินจะทำงานได้ดีภายใต้สภาวะปกติ และทั้งนี้ในส่วนของการใช้มูลไส้เดือนดิน ภายใต้สภาวะปกติจะมีประสิทธิภาพในการช่วยลดความเป็นพิษของสาร Cypermethrin ได้ดีกว่าการใช้น้ำหมักมูลไส้เดือนดิน จนระดับสารพิษดังกล่าวอยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม สอดคล้องกับงานวิจัยของจารุพงศ์ และ ชุลีมาศ (2556) พบว่า ค่าการสลายตัวของCypermethrin, Chlorpyrifos, และ Deltamethrin ที่ตกค้างในปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินนั้นจะสลายตัวหมดภายในระยะเวลาการหมักที่ประมาณ 30 วัน ในขณะที่ปุ๋ยหมัก และน้ำหมักชีวภาพที่ไม่มีไส้เดือนดินในกระบวนการผลิตปุ๋ยนั้นจะสลายตัวหมดในระยะเวลามากกว่า 60 วัน

ซึ่งคณะวิจัยคาดว่าน่าจะเป็นผลมาจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในลำไส้ไส้เดือนดินที่ปนออกมากับมูลไส้เดือนดิน ทั้งนี้เคยมีการคัดแยกจุลินทรีย์ในลำไส้ไส้เดือนดินได้กว่า 343 ชนิด (Winding *et al.* (1997) ซึ่งพบว่าแบคทีเรียกลุ่มต่างๆ ดังกล่าวที่แยกได้นั้นเป็นกลุ่มที่สร้างสารส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช ตรึงไนโตรเจนจากอากาศ และละลายธาตุฟอสฟอรัสที่ถูกตรึงในดินได้ (Loreno-Osti *et al.*, 2004; Martínez-Romero, 2001) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของManuel and Jorge (2009) พบว่า กิจกรรมของเอ็นไซม์ acid phosphatases และ alkaline phosphatases ที่วัดได้จากมูลไส้เดือนดินนั้นสูงกว่าที่วัดได้จากจากมูลวัวและมูลหมูที่ไม่ผ่านการกินโดยไส้เดือนดิน นอกจากนี้ในงานวิจัยของ อานัฐ (2557) พบว่าแบคทีเรียที่คัดแยกได้จากลำไส้ไส้เดือนดิน มูลไส้เดือนดิน และน้ำหมักมูลไส้เดือนดิน นั้นอยู่ในกลุ่ม facultative และ aerobic bacteria เป็นส่วนใหญ่จึงอาจส่งผลให้เกิดการย่อยสลายสารพิษในชุดการทดลองที่บ่มดินในสภาวะปกติดีกว่าในสภาวะบ่มแบบน้ำขัง

<u>โครงการย่อยที่ 3</u> การจัดการปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาปรับปรุงดินในระยะปรับเปลี่ยนเพื่อเข้าสู่ระบบเกษตรอินทรีย์

การทดลองย่อยที่ 1 การเปรียบเทียบระบบการปลูกข้าวแบบต่างๆที่มีผลต่อสมบัติทางเคมี ฟิสิกส์ และชีวเคมีของดินที่ผ่านการเกษตรแบบเคมีและการเก็บรักษาคาร์บอน

ผลของการเปลี่ยนระบบการปลูกข้าวนาดำจากระบบเคมีมาเป็นระบบอินทรีย์ที่มีผลต่อสมบัติทางเคมี ฟิสิกส์ และการหายใจของดิน กรณีศึกษา หมู่บ้านสะลวง อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่

ผลของการเปลี่ยนระบบการปลูกข้าวนาดำจากระบบเคมีมาเป็นระบบอินทรีย์ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของชนิดและจำนวนเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาอย่างหลากหลาย โดยพบว่าเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาสายพันธุ์ *Glomus etunicatum* ในข้าวนาดำทั้งระบบเคมีและอินทรีย์มีปริมาณสูงที่สุด (เฉลี่ย 16.0 และ 17.3 สปอร์ ตามลำดับ)

ตารางที่ 34 ผลของการเปลี่ยนระบบการปลูกข้าวนาดำจากระบบเคมีมาเป็นระบบอินทรีย์ที่มีผลต่อชนิดและจำนวนเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

ชนิดของ AMF	OR1	OR2	OR3	OR4	OR5	OR6	mean	CH1	CH2	mean
	จำนวน (สปอร์/ดิน 25 กรัม)									
Acaulospora foveata	5	3					1.3		4	2.0
Acaulospora mellea	2		2				0.7			0.0
Acaulospora scrobiculata	2						0.3			0.0
Acaulospora spinosa				2			0.3			0.0
Acaulospora tuberculata				1			0.2			0.0
Gigaspora albida		2	2				0.7			0.0
Gigaspora decipiens				1			0.2			0.0
Gigaspora rosea						1	0.2			0.0
Glomus claroideum	4		1			2	1.2			0.0
Glomus clarum		1	1	1	3		1.0			0.0

ตารางที่ 35 ผลของการเปลี่ยนระบบการปลูกข้าวนาดำจากระบบเคมีมาเป็นระบบอินทรีย์ที่มีผลต่อชนิดและจำนวนเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (ต่อ)

ชนิดของ AMF	OR1	OR2	OR3	OR4	OR5	OR6	mean	Ch1	Ch2	mean
	จำนวน (สปอร์/ดิน 25 กรัม)									
Glomus eburneum		3					**0.5**			**0.0**
Glomus etunicatum	19	15	13	23	20	17	**17.8**	14	18	**16.0**
Glomus geosporum		21	17	15	26	24	**17.2**	8	10	**9.0**
Glomus intraradices		1	6				**1.2**			**0.0**
Glomus lamellosum			2			3	**0.8**			**0.0**
Glomus luteum	6		1		2		**1.5**			**0.0**
Glomus mosseae	10	7		7	3	6	**0.3**			**0.0**
Glomus sinuosum			1		1		**9.3**			**6.0**
Glomus spurcum		3				1	**0.3**			**0.0**
Glomus verruculosum			2			1	**1.5**			**4.0**
Glomus viscosum						2	**0.0**			**3.5**
Scutellospora calospora		1		1			**1.2**			**0.0**
Scutellospora coralloidea	14	10	8	8	6	10	**5.5**	6	6	**0.0**
Scutellospora dipurpurascens					2		0.3			
Scutellospora erythropa			1	2	1	5	**0.7**	5	3	**0.0**
Scutellospora gregaria							**0.5**	4	3	**0.0**
Total	62	71	58	63	65	73		37	44	

Note : or = paddy soil with organic management practice , ch = paddy soil under conventional practice

จากตารางที่ 36 จะเห็นได้ว่า การเปลี่ยนระบบการปลูกข้าวนาดำจากระบบเคมีมาเป็นระบบอินทรีย์ส่งผลให้สมบัติของดิน ได้แก่ ค่า pH, P, Fe, Zn, N และ OM มีปริมาณเพิ่มขึ้น แต่ค่า EC และ K มีปริมาณลดลง และยังทำให้จำนวนเชื้อราอาบัสคูราไมคอร์ไรซาเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 36 ผลของการเปลี่ยนระบบการปลูกข้าวนาดำจากระบบเคมีมาเป็นระบบอินทรีย์ที่มีผลต่อสมบัติของดินและจำนวนเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

			P	K	Fe	Zn	N	OM	No.
Land use	pH (1:1)	EC (µS cm-1)	(mg kg^{-1})				(%)		Spore per 25 g soil
or1	4.2	85.4	30.6	66.8	359.6	3.5	0.1	1.5	62
or2	6.7	100.1	43.4	52.8	54.4	4.6	0.1	1.3	71
or3	5.6	38.3	18.9	42.8	112.4	3.2	0.05	0.9	58
or4	5.2	12.0	32.6	41.6	362.4	3.7	0.1	1.1	63
or5	4.9	32.3	20.0	44.8	302.4	4.4	0.1	1.6	65
or6	5.1	26.7	24.3	40.8	393.2	5.0	0.1	1.4	73
Mean	**5.3**	**49.1**	**28.3**	**48.3**	**264.1**	**4.1**	**0.1**	**1.3**	**65.3**
ch1	4.7	66.7	4.8	58.0	167.6	3.6	0.1	1.4	37
ch2	4.9	47.3	14.8	45.6	331.2	3.6	0.05	0.9	44
Mean	**4.77**	**57.00**	**9.78**	**51.80**	**249.40**	**3.60**	**0.06**	**1.18**	**40.50**

Note : or = paddy soil with organic management practice , ch = paddy soil under conventional practice

จากตารางที่ 37 จะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อสมบัติของดิน พบว่า ในดินนาน้ำขังปริมาณของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน (Available P) โดยเมื่อปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้นจำนวนสปอร์เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาก็เพิ่มขึ้นด้วย ในขณะที่จำนวนสปอร์ลดลงเมื่อดินมี EC เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 37 The correlation between the number of spore and soil property of paddy soils.

Correlations (Pearson)								No.
Soil property	EC	Fe	K	N	OM	Avai.P	pH	spore
Fe (r)	-0.5265							
P value	0.180							
K (r)	0.8094	-0.1421						
P value	0.0149	0.7371						
N (r)	0.1684	0.1838	0.3295					
P value	0.6901	0.6631	0.4254					
OM (r)	0.2604	0.1937	0.4471	0.8382				
P value	0.5334	0.6457	0.2667	0.0093				
Avai.P (r)	0.2803	-0.0656	0.042	0.3545	0.096			
P value	0.5012	0.8773	0.9213	0.3889	0.821			
pH (r)	0.2251	-0.6967	-0.3316	-0.0729	-0.29	-0.5502		
P value	0.5919	0.0549	0.4224	0.8637	0.486	0.1576		
Spore (r)	**-0.7021**	**0.1288**	**-0.2587**	**0.3981**	**0.3075**	**0.795**	**0.4125**	
P value	**0.8653**	**0.7611**	**0.5361**	**0.3287**	**0.4588**	**0.0184**	**0.3098**	
Zn (r)	-0.018	0.1272	-0.2802	0.5367	0.512	0.3758	0.3553	**0.6554**
P value	0.9663	0.764	0.5015	0.1702	0.1946	0.3589	0.3877	**0.0777**

โดยพื้นที่ปลูกข้าวอินทรีย์เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ซึ่งในพื้นที่เกษตรอินทรีย์แม่โจ้มีจำนวนสปอร์เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาสูงทำให้มีสารโกลมาลินสูงขึ้นด้วย (Wright and Upadhyaya, 1998) และจำนวนสปอร์เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน (Rillig *et al.*, 2003) การไถพรวน (Wright, 1999) และการปลูกพืชหมุนเวียน (Wright and Anderson, 2000)จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่า พื้นที่ปลูกข้าวอินทรีย์มีจำนวนสปอร์สูงกว่าพื้นที่ปลูกข้าวมี หรืออาจจะกล่าวได้ว่าการปรับเปลี่ยนพื้นที่ปลูกข้าวเคมีมาเป็นการปลูกข้าวอินทรีย์ พบว่ามีจำนวนชนิดและปริมาณของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นความแตกต่างของการใช้

ที่ดิน (Stefanoel *et al.*, 2007) สภาพพื้นที่ และชนิดพืชอาศัยที่มีผลต่อความหนาแน่น ความหลากหลายของสายพันธุ์อาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (Franke-snyder *et al.*, 2001) ในขณะที่พื้นที่เกษตรมีจำนวนอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่ำที่สุดเนื่องจากมีการไถพรวนดินซึ่งจะลดกิจกรรมและจำนวนไมคอร์ไรซา (ศุภธิดาและคณะ, 2552)

ผลของระยะเวลาในการปลูกข้าวไร่ที่มีผลต่อสมบัติทางเคมี ฟิสิกส์ และการหายใจของดิน

จากตารางที่ 38 จะเห็นได้ว่าระยะเวลาในการปลูกข้าวไร่มีผลต่อสมบัติทางเคมี ฟิสิกส์ และชีวเคมีของดิน โดยพบว่าการเพิ่มระยะเวลาในการปลูกข้าวไร่จาก 1 ปี มาเป็น 2 ปี ทำให้ค่า pH, EC, NH_4^+, NO_3, Available P, SOC, WSC, HWSC, FPOM, Tglo และ WAS มีปริมาณเพิ่มขึ้น แต่ LPOM, POC และ E glo ลดลงเพียงเล็กน้อย

ตารางที่ 38 ผลของระยะเวลาในการปลูกข้าวไร่ที่มีผลต่อสมบัติทางเคมี ฟิสิกส์ และการหายใจของดิน

		EC												
	pH		NH4+	NO3	Avai.P	SOC	wsc	hwsc	LPOM	FPOM	POC	Tglo	E glo	WAS
LU	(1:1H2O)	**(µS /cm)**	(mg kg-1)			(%)	(mg kg-1)							(%)
UR1	5.96	21.52	16.50	16.26	52.18	1.88	29.44	82.22	7211.1	7322.2	2620	0.40	0.33	33.53
UR2	6.36	29.05	14.21	11.55	73.30	1.86	42.78	91.11	6233.3	8211.1	2410	0.42	0.32	35.41
OR	6.98	84.18	0.71	0.16	111.80	1.19	10.00	19.50	3850.0	4200.0	2290	0.12	0.11	18.45
ORFU	6.93	69.00	0.71	0.25	126.10	1.22	10.00	23.00	2050.0	3850.0	2.440	0.15	0.12	10.38
PAS	6.17	43.48	0.68	0.38	43.28	0.92	12.00	21.50	2250.0	3150.0	1340	0.14	0.10	19.24
FOR	6.51	38.93	0.68	0.30	12.30	0.89	11.50	10.00	1300.0	2550.0	1860	0.12	0.07	11.56

Note = UR1 : Upland rice 1st year, UR2 = Upland rice 2nd year

จากตารางที่ 39 จะเห็นได้ว่าการปลูกข้าวไร่ในระยะเวลา 2 ปี ส่งผลให้ชนิดและจำนวนเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีปริมาณลดลง แต่มีเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาบางสายพันธุ์ที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นมากกว่าการปลูกข้าวไร่ในระยะเวลา 1 ปี ได้แก่ *Glomus geosporum*, *Glomus clarum*, *Glomus manihotis*, *Scutellospora coralloidea*, *Scutellospora gregaria*, *Scutellospora erythropa*

ตารางที่ 39 ผลของระยะเวลาในการปลูกข้าวไร่ที่มีผลต่อชนิดและจำนวนเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

AMF	**Upland rice 1st year**		**Upland rice 2nd year**		**(%)**
	mean	STDE	mean	STDE	**Changing**
Acaulospora tuberculata	2.0	1.7	0.7	1.2	**- 65.0**
Acaulospora foveata	6.3	2.1	2.7	2.5	**- 57.1**
Glomus sinuosum	5.3	1.5	3.7	3.5	**- 30.2**
Glomus geosporum	8.3	1.5	10.3	3.2	**+ 24.1**
Glomus clarum	2.3	4.0	8.0	7.0	**+ 247.8**
Glomus manihotis	5.3	2.5	6.3	0.6	**+ 18.9**
Glomus mosseae	16.0	1.0	14.0	3.0	**- 12.5**
Glomus etunicatum	7.7	1.5	6.0	1.7	**- 22.1**
Glomus luteum	9.3	2.9	7.0	0.0	**- 24.7**
Scutellospora coralloidea	22.0	4.6	23.3	1.5	**+ 5.9**
Scutellospora gregaria	6.7	6.1	7.0	2.0	**+ 4.5**
Scutellospora erythropa	8.3	3.2	12.3	3.1	**+ 48.2**
Scutellospora persica	2.7	2.3	2.0	2.0	**- 25.9**
Scutellospora calospora	0.7	1.2	0.0	0.0	**- 100.0**
Total	**103.0**	**5.0**	**100.0**	**3.6**	**- 2.9**

STDE = Standard deviation

นอกจากผลต่อชนิดและปริมาณของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ซึ่งอาจจะมีผลต่อสารอินทรีย์โกลมาลินซึ่งมีบทบาทต่อความคงทนของเม็ดดินด้วยจากการศึกษาของศุภธิดา (2552) ผลการใช้ที่ดินแบบต่างๆต่อความคงทนของเม็ดดินพบว่า พื้นที่ป่าใช้สอยอำเภอพร้าวมีความคงทนของเม็ดดินสูงที่สุดเนื่องจากมีปริมาณกลูมาลินสูงจึงส่งผลให้เกิดการเกาะยึดของอนุภาคดินตามไปด้วย และเกิดจากความแตกต่างของพืชพรรณ (Rillig *et al.*, 2002)โดยอนุภาคดินจะเชื่อมยึดเข้าด้วยกันโดยลักษณะทางกายภาพของเส้นใยเชื้อและรากพืช ซึ่งจะชอนไชไปตามส่วนต่างๆของดินทำให้อนุภาคดินถูกยึดอยู่ในกลุ่มเส้นใยจึงเกิดเม็ดดินที่เสถียรขึ้นมาได้(สุชาติ, 2530) ขณะที่พื้นที่เกษตรมีความคงทนของเม็ดดินต่ำที่สุดเนื่องจากมีการไถพรวนทำให้อนุภาคเม็ดดินแตกได้ (Wright *et al.*, 1999)

ผลการปรับเปลี่ยนระบบการปลูกข้าวจากระบบเคมีเป็นระบบอินทรีย์มีผลต่ออินทรีย์คาร์บอนส่วนต่างๆ และการเก็บรักษาคาร์บอนไว้ในดิน

จากการวิเคราะห์หาอินทรีย์คาร์บอนส่วนต่างๆ และความหนาแน่นรวมของดิน (Bd) เพื่อคำนวณหาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในดินนาภายใต้ระบบการจัดการแบบเกษตรอินทรีย์และเกษตรเคมี ที่ระดับความลึก 0-30 cm. พบว่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในส่วนของ TOC ในดินนาอินทรีย์สูงกว่านาเคมี แต่ POC, CLPSF และ CFPSF ในดินนาเคมีสูงกว่านาอินทรีย์ ซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) และยังพบว่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในส่วนของ WSC และ HWSC ในดินนาทั้งสองระบบไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางที่ 10) เนื่องจากนาอินทรีย์มีการใช้อินทรียวัตถุเป็นปุ๋ยมากกว่า (ภัทรา, 2554) ทำให้การปลูกข้าวตามวิธีเกษตรอินทรีย์ส่งเสริมการกักเก็บคาร์บอนในดินได้ดีกว่าวิธีการเกษตรเคมี ทั้งที่มีหรือไม่มีการจัดการนา (ธารณี, 2554) และความถี่ในการเผาซากตอซังในพื้นที่แปลงนาเคมีที่มากกว่านาอินทรีย์ของเกษตรกร ยังส่งผลต่อการเพิ่มการกักเก็บอินทรีย์คาร์บอนในส่วนของ POC, CLPSF และ CFPSF ในดินนา ดังนั้นการใช้ประโยชน์ที่ดินที่แตกต่างกันจึงมีผลอย่างมากต่อปริมาณคาร์บอนที่เก็บสะสมไว้ในดิน (อำนาจ และ ณัฐพล, 2548) รวมไปถึงระดับความลึกของดินที่มีผลต่อปริมาณการกักเก็บคาร์บอนไว้ในดิน โดยทั่วไปพบว่า อินทรีย์คาร์บอนที่สะสมอยู่ในดินลึกและมีองค์ประกอบของอนุภาคดินเหนียว ซึ่งเป็นอนุภาคดินขนาดเล็กจำนวนมาก ทำให้มีความสามารถในการกักเก็บคาร์บอนได้ในปริมาณมาก (สาพิศ, 2550)

ตารางที่ 40 ผลการปรับเปลี่ยนระบบการจัดการดินจากนาเคมีมาเป็นนาอินทรีย์ในระยะเวลา 10 ปีต่อปการเก็บรักษาอินทรีย์คาร์บอนส่วนต่างๆ

	Carbon storage					
	TOC	WSC	HWSC	POC	CLPSF	CFPSF
Chemical	3136.4 A	4.2439 A	8.6217 A	163.10 A	1789.1 A	994.42 A
Organic	2891.5 A	4.0489 A	7.3556 B	84.58 B	798.6 B	351.76 B
0-5	1773.6 B	1.483 B	6.562 B	82.06 B	966.8 B	665.2 B
5-10	1495.9 B	2.292 B	6.141 B	89.28 B	777.1 B	604.4 B
10-15	7182.1 A	1.961 B	5.423 B	89.85 B	892.0 B	405.5 B
15-30	1604.4 B	10.849 A	13.828 A	234.18 A	2539.3 A	1017.3 A
Chemical-0-5	1033.6 D	0.753 D	5.471 CD	96.18 BC	1030.6 BC	874.5 BC
Chemical-5-10	1321.9 D	1.783 CD	5.149 D	96.47 BC	1073.8 BC	1057.6 B
Chemical-10-15	1972.2 CD	1.118 CD	5.784 CD	118.85 B	1324.0 B	472.7 CD
Chemical-15-30	8218.2 A	13.321 A	18.082 A	340.90 A	3728.0 A	1572.9 A
Organic-0-5	2513.6 C	2.212 CD	7.653 BC	67.93 CD	903.1 C	455.9 CD
Organic-5-10	1669.9 CD	2.801 C	7.133 CD	82.10 CD	480.5 D	455.9 CD
Organic-10-15	1236.6 D	2.804 C	5.061 D	60.85 D	460.0 D	338.2 D
Organic-15-30	6146.1 B	8.378 B	9.574 B	127.45 B	1350.7 B	461.8 CD

หมายเหตุ: ดินนาเคมี 0-5 ซม. = ดินนาเคมีที่ระดับความลึก 0-5 ซม., ดินนาเคมี 10-15 ซม. = ดินนาเคมีที่ระดับความลึก 10-15 ซม., ดินนาอินทรีย์ 0-5 ซม. = ดินนาอินทรีย์ที่ระดับความลึก 0-5 ซม., ดินนาอินทรีย์ 10-15 ซม.= ดินนาอินทรีย์ที่ระดับความลึก 10-15 ซม., อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่หมายชนิดของดิน, อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กหนาแสดงถึงระดับความลึกของดิน, อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของดินร่วมกับระดับความลึก และN= 3

การจัดการดินที่มีผลต่อปริมาณอินทรีย์คาร์บอนส่วนต่างๆ และการเก็บรักษาคาร์บอน

การจัดการฟางข้าวและเศษตอซัง (Surface retention of rice straw and stubble)

หลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวออกจากพื้นที่แล้วทิ้งเศษเหลือทางการเกษตรไว้ในพื้นที่โดยไม่มีการจัดการใด ๆ ซึ่งเป็นถือว่าเป็นการใช้ฟางข้าวและเศษซากตอซังคลุมดิน ซึ่งพบในดิน CRF การจัดการเศษเหลือทางการเกษตรดังกล่าวถือว่าเป็นวิธีการสำคัญในการสะสมอินทรีย์คาร์บอน (Blanco-Canquiand Lal, 2007)

การเก็บ (หรือคลุมดิน) ด้วยฟางข้าวและตอซังไว้บนพื้นผิวดินถึงแม้ว่าเกิดการสลายตัวอย่างช้า ๆ เมื่อเปรียบเทียบไถกลบลงไปในดิน (Borresen, 1999) จากรายงานของ Asari *et al.* (2007) รายงานว่า

การคลุมฟางข้าวไว้บนผิวดินในสภาพไม่มีน้ำขังนั้นถูกย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ดินช้ากว่าการไถกลบฟางข้าวลงไปในดิน แต่มีอัตราการสลายตัวไม่แตกต่างกันนัก ซึ่งเป็นเพิ่มอินทรีย์คาร์บอน อินทรีย์ไนโตรเจน และ NO_3 ตลอดจนเป็นที่อยู่ของจุลินทรีย์เป็นประโยชน์ซึ่งเป็นแหล่งให้คาร์บอนสำหรับจุลินทรีย์ที่ตรึงไนโตรเจนได้ เป็นต้น นอกจากนี้ดิน CRF นั้นมีการใส่ปุ๋ยยูเรีย ซึ่งผลตกค้างของปุ๋ยเคมีที่ใส่นั้นอาจทำให้การย่อยสลายฟางข้าวหรือตอซังเกิดได้เร็วขึ้น (Mandal *et al.*, 2004) ปริมาณฟางข้าวที่เหลือไว้ในแปลงปลูกนั้นจะเป็นแหล่งของอินทรีย์คาร์บอนต่อไป

ปริมาณ total active biomass เป็นสิ่งที่มีผลต่อการเกิดสลายตัว SOM จากการการศึกษาของ Guenet *et al.* (2010) เสนอแนะว่าจุลินทรีย์เข้าไปย่อยสลาย SOM แต่เมื่อเพิ่มปริมาณ labile FOM จุลินทรีย์ดินจะเลือกใช้ labile FOM ก่อน เพราะเป็นความชอบในการใช้แหล่งอาหารโดยชอบที่จะใช้ FOM มากกว่า SOM จึงไม่พบความสัมพันธ์ลักษณะเส้นตรงระหว่าง PEintensity กับ FOM inputs สำหรับดิน ORF เกษตรกรได้นำเศษเหลือดังกล่าวออกจากพื้นที่โดยเฉพาะฟางข้าว โดยนำไปเพาะเห็ดทำปุ๋ยหมัก และเป็นอาหารสัตว์ ซึ่งพบได้จากการศึกษาครั้งนี้ทั้งระบบ CRF และ ORF อาจจะมีปริมาณฟางข้าวและเศษเหลือทางเกษตรที่ทิ้งและปริมาณนำกลับคืนพื้นที่ปลูกข้าวเดิมนั้นแตกต่างกันโดยดิน CRF อาจได้รับเศษเหลือทางการเกษตรโดยเฉพาะฟางข้าวมีปริมาณสูงกว่า ORF จึงทำให้ปริมาณ labile organic carbon ต่าง ๆ สูงด้วย ดังนั้นการจัดการเศษเหลือโดยเฉพาะฟางข้าวให้มีปริมาณเหมาะสมจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่งโดยเป็นแหล่งของ labile organic carbon ,SOMและธาตุอาหารสำหรับจุลินทรีย์และสัตว์ขนาดเล็กซึ่งมีผลต่อความมีเสถียรภาพของเม็ดดินเพราะสามารถที่เก็บรักษา SOM ไว้ด้วย ไม่ว่าจะเป็นระบบการปลูกข้าวแบบเคมีหรืออินทรีย์

การเผาฟางข้าวและเศษซากตอซัง (Burning the stubble and straw of rice)

เมื่อเศษซากตอซังและฟางข้าวถูกเผาอาจจะเกิดเป็นเถ้า(soot) ถ่าน(char) หรือซากที่ถูกเผาบางส่วน (partly charred necromass) โดยมีสมบัติที่เฉื่อย (relatively inert macromolecular substances) และมีหมู่ฟังชั่นเป็นพวกอะโรมาติก (aromatic) เป็นจำนวนมาก (Baldock and Smernik, 2002) หรืออาจใช้คำว่า Black carbon โดย Schmidt and Noack (2000) ได้ให้ความหมายของ Black carbon (BC) โดยมีลักษณะเป็นชิ้นส่วนของวัสดุอินทรีย์ที่มีสีดำที่เกิดจากการเผา มีหน่วยโครงสร้างเป็นกราไฟท์ (graphitic microstructure) ซึ่งการเผาซากตอซังและฟางข้าวที่ทิ้งหรือคลุมแปลงไว้ในพื้นที่ (burned in-situ) และอาจพบส่วนที่เป็นสารอินทรีย์ส่วนที่สลายตัวด้วยความร้อนง่ายและ/หรือส่วนที่จับอยู่กับพวกอนุภาคดินแบบหลวมๆ ซึ่งแตกต่างจากในส่วนอินทรียวัตถุที่สลายตัวยากที่จับอยู่กับอนุภาคดินค่อนข้างแน่น นอกจากนี้หลังการเผาจะพบฮิวมิน (humin) เพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกับการสะสมของ BC (Almendros *et al.*, 1984)

*การเผาและการใส่ถ่าน*ทำให้เกิดสารอินทรีย์คาร์บอนที่สลายตัวง่าย (LOC fraction) ที่เกิดจากเผาและการตกค้างของเถ้าและเป็นสารที่เป็นประโยชน์ (labile substrates) ต่อจุลินทรีย์ดินและเป็นสิ่งกระตุ้นกิจกรรมจุลินทรีย์ดินในการสลาย SOM (Blagodatsky *et al.*, 2010; Kuzyakov, 2010) แต่อย่างไรก็ตามผลของการใส่เถ้านั้นทำให้มีปริมาณของสารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อจุลินทรีย์ลดลง (Bingeman *et al.*, 1953) ทำให้การสลายตัวของ SOM ลดลงตามมาเพราะสารอาหารดังกล่าวมีส่วนของ labile carbon ที่เป็นประโยชน์ต่อจุลินทรีย์ดินอยู่อย่างจำกัด จึงไม่เกิดสลายตัวของ SOM ซึ่งเรียกว่า " negative priming effect" ทำให้ดินมีการสะสม SOM และเหตุผลดังกล่าวข้างต้นที่ถ่านนั้นทำหน้าที่ดูดซับ SOM ไว้ และถือว่าเป็นปกป้องการสลายอินทรีย์ในดิน นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงของ pH ที่เป็นผลมาจากการใส่เถ้านั้นทำให้เกิดการสลายตัว SOM เพิ่มขึ้น (Luo *et al.*, 2011) เพิ่มขึ้น จากการศึกษาของ Maestrini*et al.* (2014) พบว่าเถ้าที่นำมาใช้ศึกษาของพวกเขานั้นมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในส่วนที่สลายตัวได้ง่ายหรือเร็วมีประมาณ 3.3 % ซึ่งสารชนิดนี้สามารถเป็นสารที่กระตุ้น (trigger) กิจกรรมของจุลินทรีย์ดินได้

ดังนั้น อาจจะกล่าวว่าสำหรับผลกระทบจากการการเผาซากตอซังข้าวและฟางข้าวนั้นของดิน ORF และ CRF ที่มีทั้งการเผาในพื้นที่และการตกค้างของเถ้าหรือถ่านที่มีผลต่ออินทรียวัตถุในดินตลอดจนการสลายตัวของอินทรียวัตถุในดิน (SOM) ในดิน ORF และ CRF มีทั้งเพิ่มและลดลงแตกต่างกันโดยอาจจะมีปัจจัยด้านอื่นมาเกี่ยวข้องด้วย เช่น ปริมาณเศษเหลือ ระยะเวลาหลังการผา โดยจากการศึกษาในครั้งนี้อาจจะกล่าวได้ว่าดิน ORF และ CRF มีปริมาณ LOC เกิดขึ้นหลังจากการเผาฟางข้าวและตอซังข่าว แต่ที่แตกต่างกันนั้นเกิดจากปริมาณฟางข้าวและตอซังที่ถูกเผาในดิน โดยหลังการเผาใหม่ถ่านที่เกิดจากเผาอาไปส่งเสริมการสลายของ SOM โดยเฉพาะในดิน CRF ที่พบว่าปริมาณ LOC มีค่าสูงกว่าดิน ORF แต่เวลาผ่านไปเถ้าหรือถ่านมีการสะสมเป็นส่วน SOM โดยเฉพาะในส่วนที่เป็นประกอบกับเถ้าหรือถ่านนี้พบสารการสลายตัวยาก เช่น วัตถุที่มีลักษณะกราไฟท์หรือ black carbon หรืออาจพบในรูปของฮิวมินทั้งในดิน ORF และ CRF สำหรับการเผาเศษซากตอซังข้าวนั้นมีรายงานว่าปริมาณลิกนินมีทั้งเพิ่มขึ้นหรือลดลง(Gonza´lez-Vila *et al.*, 2001) ซึ่งอาจจะเป็นสาเหตุว่าดิน CRF จึงพบว่ามีปริมาณ POXC ที่สูงกว่าดิน ORF เพราะเพอร์แมงกาเนตสามารถออกซิไดซ์ลิกนินที่เกิดจากการเผาซึ่งในดิน CRF อาจจะมีปริมาณลิกนินที่สูงกว่าดิน ORF

การไถเตรียมดินและกลบเศษซากตอซังรากและฟางข้าว

การไถเตรียมดินเป็นการทำลายเม็ดดินขนาดใหญ่ (macroaggregates;> 1000 μm) (John et al.2005) แต่พบเม็ดดินขนาดเล็ก (micoaggregate; 53–250 μm) เพิ่มขึ้น จากการเปลี่ยนแปลงการกระจายตัวของเม็ดดินทำให้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (John *et al.*, 2005) สำหรับเศษซากตอซัง ราก และฟางข้าวเมื่อถูกไถกลบลงดินและสลายตัวในที่สุดเกิดเป็น

อินทรียวัตถุในดินและเป็นแหล่งของ LOC (labile organic carbon) ต่าง ๆ ด้วย โดยเป็นอินทรีย์สารละลายน้ำได้ (dissolved organic carbon) เช่น sugars, alcohols, low-molecular-weight organic acids, phenolic aldehydes ถ้าผลที่เกิดขึ้นระยะยาวที่เกิดขึ้นต่อสมบัติของดินอาจจะขึ้นอยู่กับอัตราการสลายตัว ปริมาณของตอซัง และอัตราส่วน C/N (Heal *et al.*, 1997)

สำหรับ CPOM-C เป็นอินทรีย์คาร์บอนที่มีการตอบสนองต่อรูปแบบการไถชัดเจนโดยเฉพาะดินชั้นบน จากรายงานของ Awale *et al.* (2013) มีการศึกษาการวางเศษตอซังข้าวและฟางข้าวบนผิวหน้าดินที่มีผลต่อปริมาณ CPOM-C พบว่าปริมาณ CPOM-C มีปริมาณ 33 – 45 %ของ TOC นั้นมีความสำคัญปริมาณ CPOM-C จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าดิน ORF และ CRF มีปริมาณ CPOM-C ประมาณ 22 และ 40 % ของ TOC ตามลำดับ ซึ่งเกษตรกร CRF ได้ปฏิบัติการทิ้งหรือคลุมดินไว้ของตอซังและฟางข้าวไว้บนผิวดินแม้ว่าเป็นเพียงเวลาสั้น ๆ (20 วัน) ขณะที่เกษตรกรแบบ ORF นั้นนำฟางข้าวไปเป็นอาหารสัตว์ เพาะเห็ดและทำปุ๋ยหมัก ซึ่งเป็นการนำเอาวัสดุการเกษตรออกจากระบบแต่ไม่ได้นำคืนกลับเท่าเดิม จึงทำให้มีปริมาณเศษเหลือจากการปลูกข้าวที่กลับคืนมีปริมาณต่ำโดยเฉพาะฟางข้าว ซึ่งอาจจะมีผลต่อการปริมาณ labile organic carbon ในระยะยาว ดังนั้น การทิ้งหรือคลุมดินไว้ด้วยตอซังและฟางข้าวไว้บนผิวดินจึงเป็นการจัดการดินแนวทางหนึ่งในการที่เก็บรักษา SOM ความอุดมสมบูรณ์และผลิตภาพของดิน

การไถเตรียมดินสำหรับเกษตรกรทั้งสองระบบนี้เป็นการเตรียมดินเพื่อการปลูกข้าวโดยไถ 2 ครั้งแล้วปล่อยน้ำเข้าแปลงปลูกข้าวแล้วมีการตีดินให้โคลน การไถเตรียมดินโดยมีไถกลบรากข้าวด้วยนั้นมีส่วนสำคัญต่อปริมาณอินทรียวัตถุที่สลายตัวได้ง่าย (LOC) เช่น อินทรีย์คาร์บอนส่วนละลายได้ (dissolved organic matter ,DOM) โดยมีองค์ประกอบอาจจะเป็นน้ำตาล แอลกอฮอร์ สารอินทรีย์โมเลกุลต่ำ กรดอินทรีย์ต่างๆ และ phenolic aldehydes และเมื่อถูกย่อยสลายแล้วมีการสร้างเป็น CO2 ดังนั้นการไถกลบซากตอซังและรากข้าวจะเป็นการเพิ่มปริมาณ DOM ให้กับดิน จากผลการศึกษาครั้งนี้พบว่าปริมาณ DOM (ได้แก่ WSC และ HWSC) ระหว่างดิน ORF และ CRF ไม่มีความแตกต่างกันอย่างนัยสำคัญทางสถิติ

นอกจากนี้ การไถเตรียมดินอาจทำให้ CPOM-C ลดลงเนื่องจากมีสัมผัสกับดินเพิ่มขึ้นซึ่งเกิดจากเม็ดดินถูกทำให้แตกออกจากกัน จึงทำให้เศษซากอินทรีย์ที่เคยถูกปกป้องจากเม็ดดินขนาดใหญ่นั้นถูกแยกออกมาและถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายได้ง่ายขึ้น (Cambardella and Elliott, 1992; Mikha and Rice, 2004) ซึ่งจากการศึกษาของ Zhu*et al.* (2016) ได้รายงานการทิ้งซากรากและตอซังข้าวหลังการบ่มดิน 30 วันต่อปริมาณ CPOM-C และ FPOM-C พบว่า CPOM-C และ FPOM-C เพิ่มขึ้นประมาณ 0–1.2% เมื่อเปรียบเทียบกับการไม่มีการใส่ซากรากและตอซัง และยังกล่าวว่าทั้ง CPOM-C และ FPOM-C เป็นแหล่งของอินทรียวัตถุที่เป็น cellulose, hemicellulose, lignin และ crude protein (Zhu*et al.*, 2016)

ในขณะที่อินทรีย์คาร์บอนที่ปกป้องโดยเม็ดดินขนาดเล็ก (FPOM-C) นั้นผลการศึกษามีแนวโน้มเช่นเดียวกับ CPOM-C การที่ดิน CRF มีปริมาณ CPOM-C และ FPOM-C สูงกว่าดิน ORF อาจเป็นเพราะเม็ดดินขนาดเล็กถูกร่วมกันเกิดเป็นเม็ดดินขนาดใหญ่ (>0.25 mm) โดยมีสารอินทรีย์คาร์บอนที่สลายตัวได้ง่าย (labile) เช่น ชิ้นส่วนพืชเช่น ฟางข้าว และซากตอซัง รากข้าว เส้นใยของเชื้อรา และสารที่ขับออกมาจากจากจุลินทรีย์ดิน ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมเม็ดดินขนาดเล็กเข้าด้วยกันกลายเป็นเม็ดดินขนาดใหญ่ ในขณะที่เม็ดดินขนาดใหญ่และเล็กดังกล่าวนี้ยังทำหน้าที่ปกป้องสารอินทรีย์คาร์บอนดังกล่าวด้วย และปริมาณ CPOM-C และ FPOM-C นั้นมีปริมาณไปในทิศทางเดียวกัน จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าดิน ORF มีปริมาณ CPOM-Cและ FPOM-C มีปริมาณต่ำกว่าดิน CFR นั้น เพราะมีปริมาณฟางข้าวที่เหลือที่จะถูกไถกลบลงดิน เพราะมีการนำไปเป็นอาหารสัตว์ เพาะเห็ดและทำปุ๋ยหมัก ซึ่งเป็นการนำเอาวัสดุการเกษตรออกจากระบบแต่ไม่ได้นำคืนกลับเท่าเดิม จึงทำให้มีปริมาณเศษเหลือจากการปลูกข้าวที่กลับคืนมีปริมาณต่ำโดยเฉพาะฟางข้าว แต่ในขณะเดียวกันปริมาณ DOM ซึ่งได้แก่ WSC และ HWSC เพิ่มขึ้น ซึ่งอาจจะมีผลต่อการปริมาณ labile organic carbon ในระยะยาวและจำเป็นต้องพิจารณาร่วมกับการจัดการอื่นๆ ประกอบกันด้วยในการอธิบายของระบบการปลูกข้าวอินทรีย์และระบบเคมีที่มีการย่อยสลาย SOM เพื่อที่จำมาใช้ประโยชน์การจัดการคุณภาพดินและสิ่งแวดล้อม

ถึงแม้ว่า Slepetiene and Slepetys (2005) ได้รายงานว่าการไถเตรียมดินเป็นส่งเสริมการสลายตัวของอินทรีย์คาร์บอนแล้วนำไปสู่การลดลงของปริมาณ SOM ของดิน แต่อย่างไรก็ตาม พื้นที่ที่ผ่านการทำการเกษตรที่มีการไถเตรียมดินมากกว่า 40 ปียังพบว่ามีการสะสมของฮิวมัสเพิ่มขึ้น โดยเป็นผลมาจากระบบการปลูกพืชที่เป็นการและการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมด้วย รวมทั้งถ้ายังมีระบบการปลูกพืชหมุนเวียนเป็นการสลับการปลูกพืช ถือว่าเป็นการเพิ่มฮิวมัส (humus) ถึงแม้ว่าพื้นที่การเกษตรดังกล่าวที่ยังคงมีระบบการไถอยู่ ซึ่งการจัดการดินที่พบได้ทั้งระบบการปลูกเคมีและอินทรีย์ จะทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นและยังเป็นการรักษาคุณภาพดินด้วย การไถกลบรากข้าวนั้นมีส่วนสำคัญต่อปริมาณ SOM (Slepetiene and Slepetys, 2005)

- ผลของการใส่ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์

การใส่ปุ๋ยเคมีส่งผลให้ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนเพิ่มขึ้นในอัตราที่สูงกว่าการที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยเคมี (Zhang *et al.*, 2012) หรือการใส่ปุ๋ยเคมีติดต่อกัน 32 ปีนดินปลูกข้าวโพดทำให้ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสะสมเพิ่มขึ้น 22-30 % เมื่อเปรียบเทียบดินที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยที่เพิ่มขึ้นประมาณ 15–20% (John *et al.*, 2005) นอกจากนี้ Haynes and Naidu (1998) ได้ศึกษาแปลงที่ได้รับ NPK ติดต่อกันเป็นเวลานานนั้นมี SOC เพิ่มขึ้น 15% เมื่อเปรียบเทียบกับแปลงที่ไม่ได้ใส่ปุ๋ย นอกจากนี้ Yan *et al.* (2013) ได้รายงานการใช้ปุ๋ยเคมี NPK ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ทำให้ปริมาณ CPOM-Cและ FPOM-C-C และปริมาณเก็บรักษาของ CPOM-C และ CFOM-C สูงกว่าดินที่ไม่มีการใส่ปุ๋ย

โดย Aoyama *et al.* (1999) การใส่ปุ๋ย NPK เพียงอย่างเดียวติดต่อกัน 18 ปีสามารถเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุในส่วนที่ปกป้องโดยเม็ดดินขนาดใหญ่โดยเฉพาะ N 2.5 เท่า แต่การเพิ่มดังกล่าวไม่รวมถึงปริมาณ C โดยสรุปว่าการปุ๋ยเคมีดังกล่าวจะส่งการส่งเสริมการปกป้องคาร์บอนและไนโตรเจนโดยเม็ดดินขนาดใหญ่และเกิดขึ้นครั้งที่มีการใส่ปุ๋ยเคมี ซึ่งนั้นหมายถึงเป็นกลไกในการปกป้องอินทรียวัตถุที่สลายตัวได้ง่ายของแต่ละปีอาจจะเนื่องจากธาตุอาหารจากการใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ส่งเสริมให้ SOC เพิ่มขึ้น (Gong *et al.*, 2009) ตลอดจนส่วนของอินทรีย์คาร์บอนส่วนที่ย่อยสลายได้ง่าย (Labile organic carbon) เช่น HWSC และ POC (Aumtong *et al.*, 2009) โดยสารเหล่านี้จะพวกพอลิแซ็กคาไรด์ กรดอะมิโน และกรดฟูลวิก (Conteh *et al.*, 1998) และเซลจุลินทรีย์ดิน (Gong *et al.*,2009)

ในขณะที่แปลงที่ได้รับปุ๋ยคอกอย่างเดียวติดต่อกัน 140 ปีนั้นพบว่า SOC เพิ่มในลักษณะ exponential และมีค่ากว่าสูงถึง 3 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับแปลงที่ไม่มีการการใส่ปุ๋ย ซึ่งการใส่ของปุ๋ยคอกนั้นถือว่าเป็นการเพิ่ม SOC ทันทีหลังการใส่ ซึ่ง Haynes and Naidu (1998) ได้ให้ข้อสังเกตว่าพื้นที่ที่ได้รับปุ๋ย NPK ทำให้ปริมาณ SOC สูงขึ้น 11% ในขณะที่แปลงที่ให้ปุ๋ยคอก มี SOC เพิ่มขึ้น 30 % เมื่อเปรียบเทียบกับแปลงที่ไม่มีการใส่ จากการรายงาน Tirol-Padre and J. K. Ladha (2004) การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ให้กับการปลูกข้าวติดต่อกันนาน 16 ปี ทำให้ปริมาณ TOC, POXC และอัตราส่วนของ POXC/TOC เพิ่มขึ้น ซึ่งปริมาณ LOC เช่น POXC นี้อาจได้รับปกป้องจากอนุภาคทรายแป้งและอนุภาคดินเหนียวด้วยกลไกกายภาพ เช่น การถูกจับอยู่ในโครงสร้างของเม็ดดินหรือการถูกดูดซับอยู่บนพื้นผิวของอนุภาคทั้งสอง เช่น ลิกนิน

โดยเฉพาะลิกนินซึ่งมีส่วนคาร์บอนที่ถูกออกซิไดซ์ได้ซึ่ง Loginow (1987) รายงานว่าลิกนินจะถูกออกซิไดซ์โดยเพอร์แมงกาแนทได้ดีกว่าเซลลูโลสเพราะโครงสร้างโมเลกุลของลิกนินนั้นจะถูกสร้างมาจาก glycol groups และ double bonds ซึ่งง่ายต่อการถูกออกซิไดซ์ ซึ่งวิธีการ POXC นั้นอาจสามารถออกซิไดซ์ C ที่เป็นส่วนประกอบของลิกนินที่ถูกปกป้องด้วยกลไกทางกายภาพ จะเห็นได้ว่าดิน CRF ที่มีการทิ้งฟางข้าว ตอซัง และรากข้าวนั้นจะมีลิกนินที่สามารถถูกออกซิไดส์ได้สูงกว่า ORF และมีความเป็นไปได้ว่า POXC นี้มีผลต่อปริมาณ C ที่มีสะสมในดินเพิ่มขึ้น การเก็บรักษาอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (TOC) ในดินนาอินทรีย์สูงกว่าดินนาเคมี โดยดินปลูกข้าวมีอัตราสะสม C ในอัตรา 0.53-4.98 kg $m^{-2}y^{-1}$ Yan *et al.* (2013) และWhalen *et al.* (2003) พบว่าเศษซากถั่วเหลืองที่มีผลต่อความคงทนของเม็ดดินไม่ดีเท่าเศษซากต้นข้าวโพดเพราะต้นถั่วเหลืองมีปริมาณ phenolic content ต่ำกว่าเศษต้นข้าวโพด ซึ่งอาจจะส่งผลต่อปริมาณ CPOM-Cและ FPOM-C-C ในแง่ของการปกป้อง C ไว้ในเม็ดดินทั้งสองขนาด เนื่องจากเม็ดดินมีความคงทนเพิ่มขึ้น และการที่ SOC เพิ่มขึ้นทำให้เม็ดดินมีความเสถียรภาพเพิ่มขึ้นด้วย

การจัดการดินต่อการเก็บรักษาคาร์บอนอินทรีย์ในดินปลูกข้าว

ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่ถูกเก็บไว้ในดินในรูปของอินทรีย์คาร์บอนภายใต้ ORF และ CRF แต่ละระดับความลึก 0-5,5-10,10-15 และ 15-30 cm. พบว่าการเก็บรักษาอินทรีย์คาร์บอนส่วนต่าง ๆมีปริมาณสูงสุดที่ระดับ 15-30 cm.

ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่ถูกเก็บไว้ในดินในรูปของอินทรีย์คาร์บอนส่วนต่างๆภายใต้ ORF และ CRF ที่รวมระดับความลึก 0-30 cm. พบว่าปริมาณการเก็บรักษาคาร์บอนในส่วนของ TOC ในดิน ORF (15.44 kg m^{-2}) สูงกว่าดิน CRF (10.50 kg m^{-2}) แต่ขณะที่การเก็บรักษาในส่วนของอินทรีย์คาร์บอนที่สลายตัวง่าย ได้แก่ CPOM-C, FPOM-C และ POXC ในดิน CRF มีปริมาณสูงกว่าดิน ORF อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (table4)

การศึกษาผลระบบเกษตรปลูกข้าวอินทรีย์ที่เปลี่ยนจากระบบเกษตรปลูกข้าวเคมีภายในเวลา 10 ปีต่อความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสและอนินทรีย์ฟอสฟอรัสรูปแบบต่างๆ :หมู่บ้านดอนเจียง ตำบลสบเปิง อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่

1. ผลของระดับความลึก ต่อปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในดินนาอินทรีย์และดินนาเคมี

จากตารางที่ 11พบว่าปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในดินนาเคมีมีค่าสูงกว่าดินนาอินทรีย์ โดย พบว่าดินนาอินทรีย์มีปริมาณ P-solution และ Al-P ต่ำกว่าดินนาเคมีและพบว่าในส่วน Fe-P, P-Red และ Ca-P มีค่าไม่แตกต่างจากดินนาเคมี โดยเฉลี่ยแล้วดินในประเทศไทยมีฟอสฟอรัสอยู่ในรูป Fe-P 35 %, P-Red 19 %, Al-P 5 % (Cholitkul and Tyner, 1971) ที่ระดับความลึก 0-5 ซม. พบปริมาณอนินท รีย์ฟอสฟอรัสปริมาณที่สูง มีเพียง P-Red เท่านั้นที่พบปริมาณต่ำ ระดับความลึก 10-15 ซม. ปริมาณ Al-P, Fe-P, P-Red พบในดินปริมาณสูงที่สุด ปริมาณ P-solution, Ca-P มีค่าในดินนาอินทรีย์ต่ำกว่าในดิน นาเคมี ดินนาที่มีการทำนาแบบน้ำขังจะส่งผลต่ออิทธิพลการเปลี่ยนรูปของฟอสเฟตในดิน โดย Fe-P และ Al-P มีปริมาณสูงขึ้นแต่ในส่วน Ca-P จะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (Patrick and Mahapatra, 1968) ความสัมพันธ์ระหว่างดินนาเคมีและดินนาอินทรีย์ที่ระดับความลึกทั้งสองระดับ พบว่าดินนาเคมีที่ ระดับความลึก 0-5 ซม. พบปริมาณ P-solution, Al-P, Fe-P และ Ca-P มีค่าสูงสุด มีเพียงปริมาณ P-Red เท่านั้นที่มีค่าต่ำ ที่ระดับความลึก 10-15 ซม. ของดินนาเคมี ปริมาณ Al-P, P-Red มีปริมาณสูงสุด รองลงมาคือ P-Solution และ Fe-P ในส่วนดินนาอินทรีย์ที่ระดับความลึก 0-5 ซม. พบปริมาณ Ca-P สูง ที่สุดรองลงมาคือ Al-P, P-Red และพบว่าปริมาณ P-Solution พบในปริมาณที่ต่ำ ที่ระดับความลึก 10-15 ซม. ของดินนาอินทรีย์ ปริมาณ Fe-P, P-Red มีค่าสูงสุด รองลงมาคือ Al-P, Ca-P และพบว่าปริมาณ P-solution ในดินมีค่าต่ำสุด ในการสลายตัวของอินทรียวัตถุในสภาพที่มีออกซิเจนจะทำให้มีการสะสม ของอินทรียวัตถุในดินบนในปริมาณที่สูง (Lipiec, 1992; Czyz and Tomaszewska, 1993)

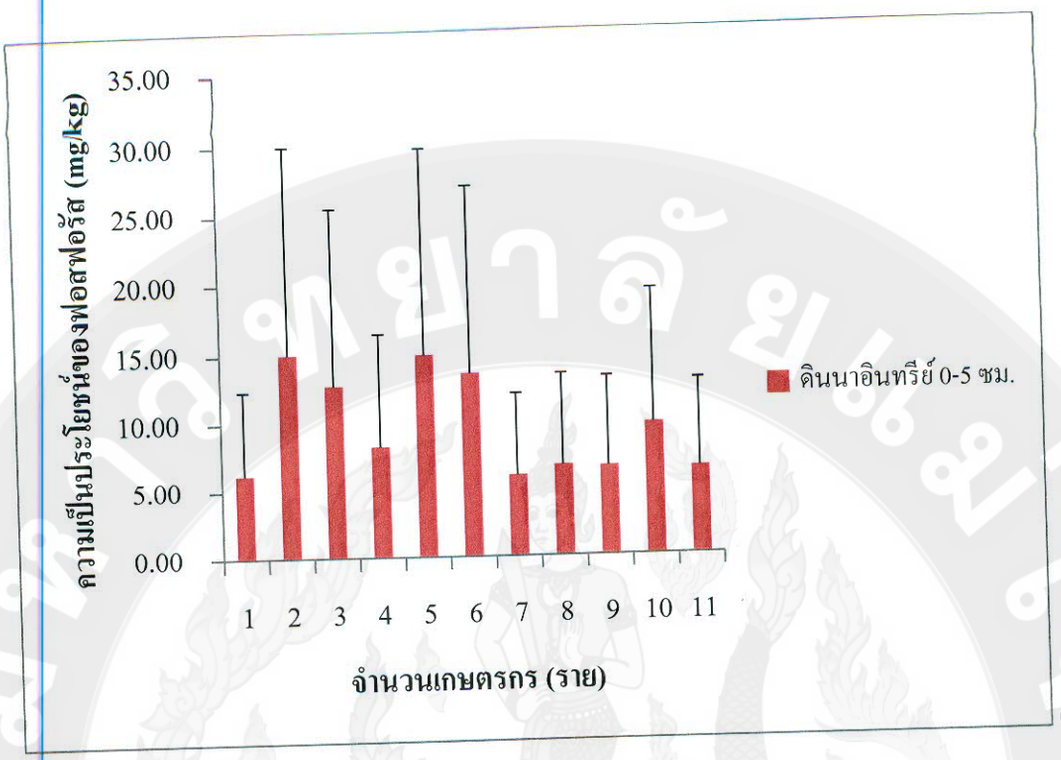
ตารางที่ 41 ผลของปรับเปลี่ยนจากดินนาเคมีดินนามาเป็นดินนาอินทรีย์ในระยะเวลา 10 ปีต่อปริมาณฟอสฟอรัสส่วนต่างๆ และที่ระดับความลึกต่างๆ

Land use	P-solution (mg/kg)	Al-P (mg/kg)	Fe-P (mg/kg)	P-Red (mg/kg)	Ca-P (mg/kg)
Conventional practice	35.8 A	106.91 A	76.25 A	66.58 A	35.22 A
Organic practice	8.18 B	14.03 B	80.40 A	60.26 A	32.27 A
Depth					
0-5 cm.	23.99 **a**	58.96 **a**	80.94 **a**	59.86 **b**	37.40 **a**
10-15 cm.	20.07 **b**	61.96 **a**	75.72 **a**	66.97 **a**	30.09 **b**
Interaction					
ดินนาเคมี 0-5 ซม.	37.97 a	103.70 a	83.06 a	64.58 ab	35.81 a
ดินนาเคมี 10-15 ซม.	33.79 b	110.12 a	69.45 b	68.57 a	34.64 ab
ดินนาอินทรีย์ 0-5 ซม.	10.01 c	14.24 b	78.82 ab	55.14 b	38.99 a
ดินนาอินทรีย์ 10-15 ซม.	6.36 d	13.82 b	81.98 a	65.37 a	25.54 b

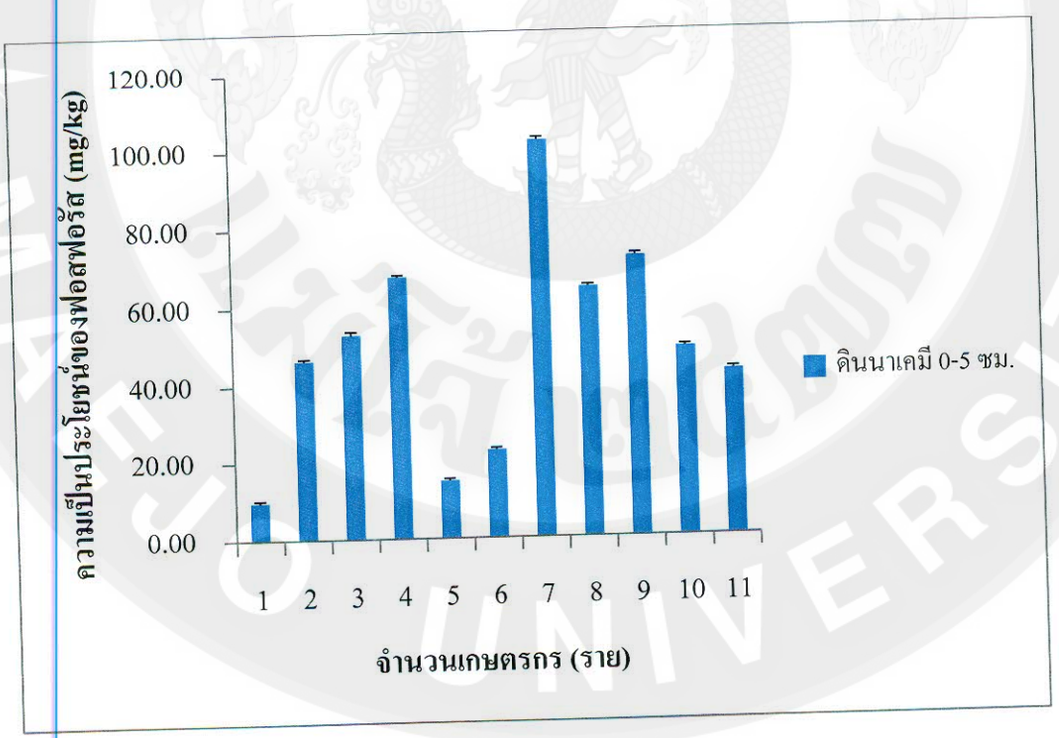
หมายเหตุ: ดินนาเคมี 0-5 ซม. = ดินนาเคมีที่ระดับความลึก 0-5 ซม., ดินนาเคมี 10-15 ซม. = ดินนาเคมีที่ระดับความลึก 10-15 ซม., ดินนาอินทรีย์ 0-5 ซม. = ดินนาอินทรีย์ที่ระดับความลึก 0-5 ซม., ดินนาอินทรีย์ 10-15 ซม.= ดินนาอินทรีย์ที่ระดับความลึก 10-15 ซม., อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่หมายชนิดของดิน, อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กหนาแสดงถึงระดับความลึกของดิน, อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของดินร่วมกับระดับความลึก

2. ผลของระดับความลึก ต่อปริมาณความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินนาอินทรีย์และดินนาเคมี

จากการศึกษาระดับความลึกของดินที่ 0-5 ซม. และระดับความลึก 10-15 ซม. ต่อความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินนาอินทรีย์และดินนาเคมีพบว่า ดินนาอินทรีย์ พบปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำ ในส่วนดินนาเคมี พบปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูง (ภาพ 15 (a, b)) และ (ภาพ 16 (a, b)) เนื่องจากการใส่ปุ๋ยของเกษตรกรทั่วไปมักจะใส่แบบโรยเป็นแถว จึงทำให้พบว่าที่ระดับความลึกลงดินประมาณ 2.5-5 ซม. จะมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชสูง และพืชสามารถดูดใช้ฟอสฟอรัสได้ดี (FAO, 2006) เมื่อนำดินนาเคมีและดินนาอินทรีย์และระดับความลึกมาหาความสัมพันธ์กัน พบว่า ดินนาเคมีที่ระดับ 0-5 ซม. พบปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงกว่าที่ระดับ 10-15 ซม. (ภาพ 17 (a)) ในส่วนดินนาอินทรีย์ พบความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินชั้นบนที่ระดับความลึก 0-5 ซม. สูงกว่าที่ระดับ 10-15 ซม. (ภาพ 17 (b)) จากการศึกษาของ สุกิตติ (2529) พบว่า ค่าการวิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่ได้จะมีค่าสูงในชั้นดินบน และจะลดลงไปตามลำดับเมื่อความลึกของดินเพิ่มขึ้น และเมื่อมีการให้น้ำไม่ว่าจะเป็นอัตราใดก็ตาม ปริมาณของฟอสฟอรัสที่วิเคราะห์ได้ก็จะมีค่าสูงในชั้นดินบน และลดต่ำลงในชั้นดินที่ลึกลงไปตามลำดับ ซึ่งเป็นข้อยืนยันได้ว่า ฟอสฟอรัสในดินมีการเคลื่อนที่ต่ำ Perrott and Mansell (1989) กล่าวว่า การสะสมของฟอสฟอรัสในดินมีทั้งฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช อนินทรีย์ฟอสฟอรัส และอินทรีย์ฟอสฟอรัส ซึ่ง Hay garth *et al.* (1998) พบว่า ฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช และอนินทรีย์ฟอสฟอรัส จะมีการสะสมน้อยลงตามระดับ ความลึกที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช จะเปลี่ยนแปลงปริมาณอย่างรวดเร็ว แม้ความลึกของดินลดลงเพียง 2 ซม. ก็มีฟอสฟอรัสสะสมลดลงถึง 50 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณฟอสฟอรัสในดินบน

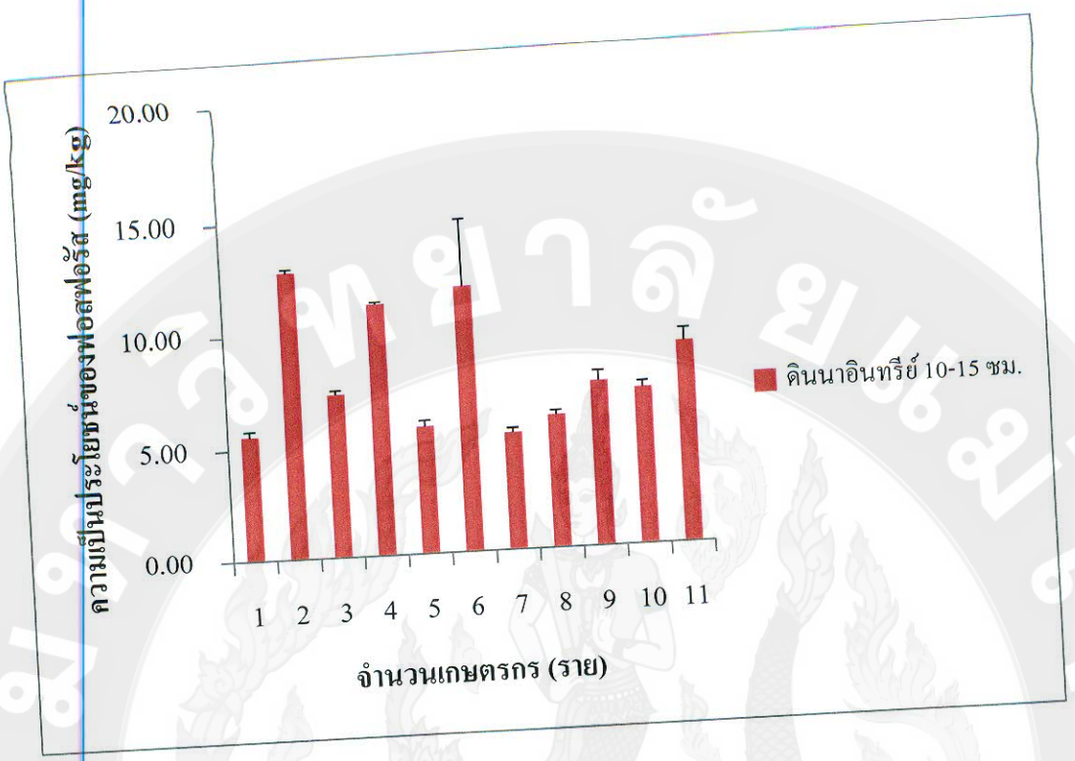


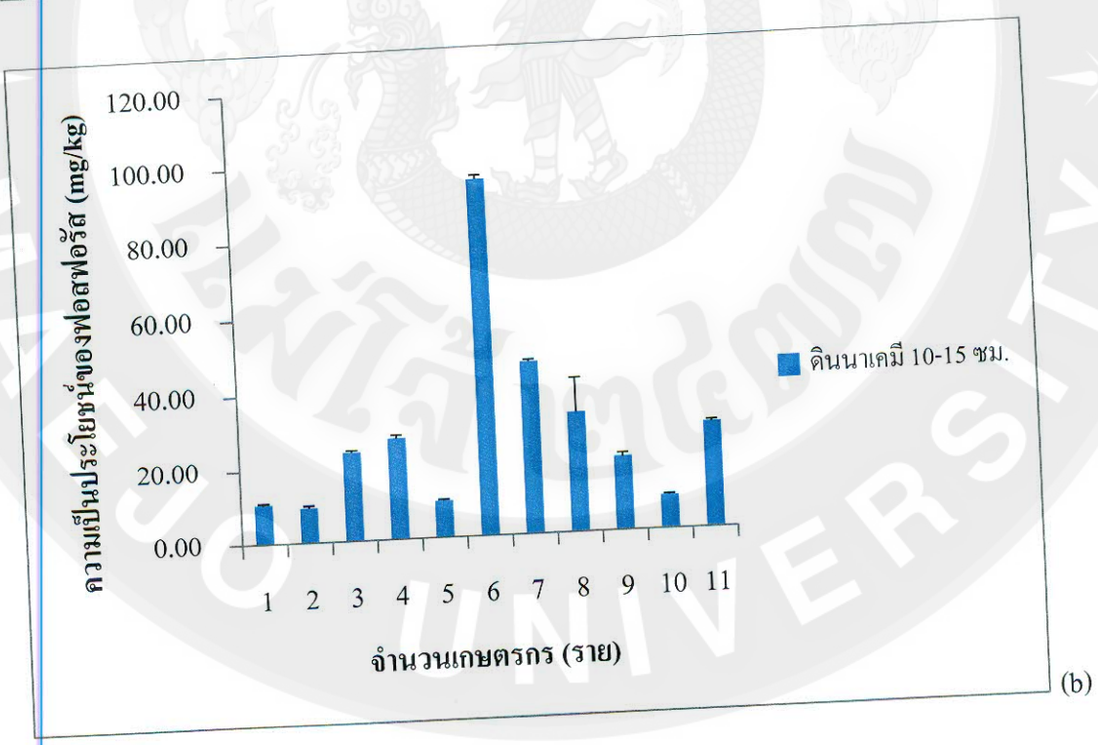
(a)



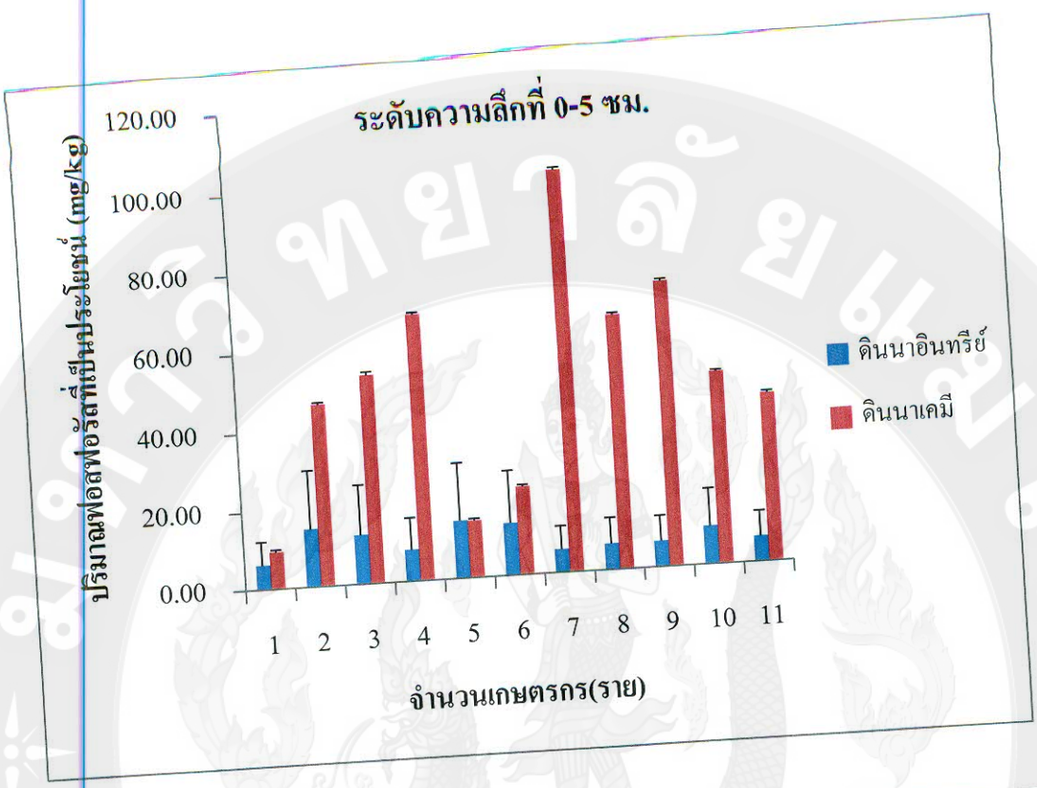
(b)

ภาพที่ 15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อชนิดของดินนาอินทรีย์และดินนาเคมีที่ระดับความลึก 0-5 ซม. ($p<0.05$)

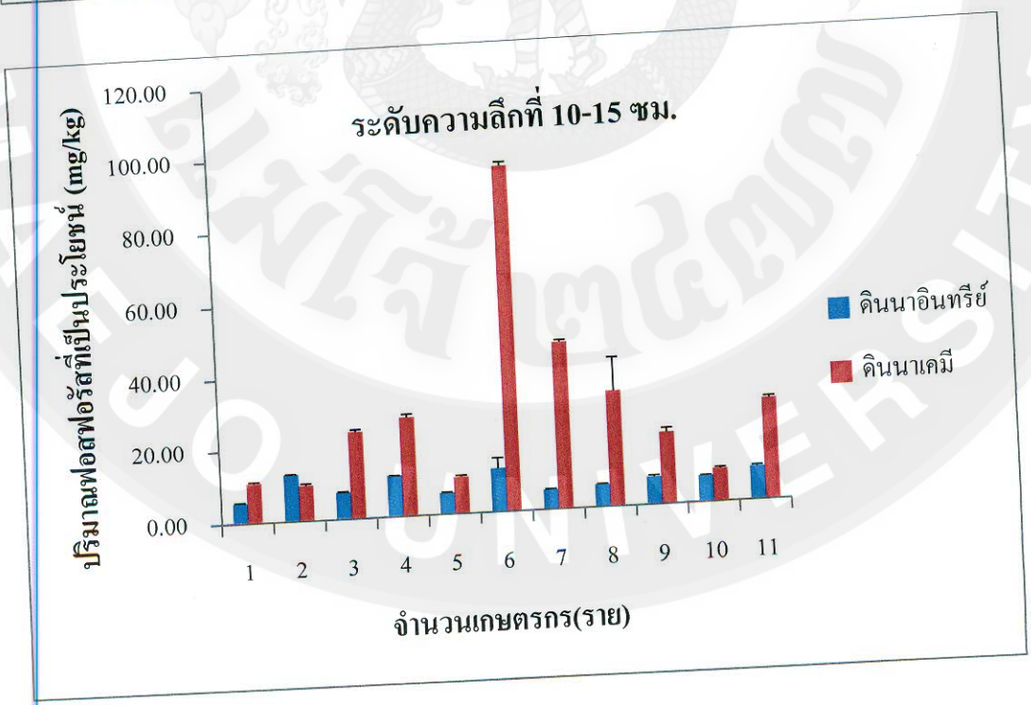




ภาพที่ 16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อชนิดของดินนาอินทรีย์และดินนาเคมีที่ระดับความลึก 10-15 ซม. ($p<0.05$)



(a)



(b)

ภาพที่ 17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเกษตรกรแต่ละราย ต่อความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินนาอินทรีย์และดินนาเคมี ที่ระดับความลึกต่างๆ ($p<0.05$)

3. ผลของการใส่ปุ๋ยต่อปริมาณความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดิน

เนื่องจากธาตุฟอสฟอรัสมีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช และพบว่าในดินมักจะมีปริมาณความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสต่ำ การทำการเกษตรจึงต้องมีการเติมปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยอินทรีย์เพื่อเพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดิน (Khasawneh *et al.*, 1980; Bakker *et al.*, 2005) จากการสำรวจพบว่าในกลุ่มเกษตรกรดินนาเคมี มีการใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 ผสมกับปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 ในนาข้าวปริมาณสูงที่สุด อัตราที่ใช้จะอยู่ระหว่าง 301-500 kg/rai จำนวน 8 คน รองลงมาคือการใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 เพียงอย่างเดียวในอัตรา 301-500 kg/rai จำนวน 7 คน ในส่วนกลุ่มเกษตรกรนาอินทรีย์พบว่า มีการใช้ปุ๋ยคอกที่ทำจากมูลสัตว์ในปริมาณที่สูง อัตราระหว่าง 100-300 kg/rai จำนวน 7 คน และพบว่ามีการใช้น้ำหมักชีวภาพใน อัตราที่ใช้จะอยู่ระหว่าง 1-2 lite/rai จำนวน 5 คน (ตาราง 12) จะพบได้ว่าการใส่ปุ๋ยเคมีในดินเกษตรกรทำให้มีปริมาณฟอสฟอรัสในดินตกค้างอยู่เป็นจำนวนมาก จึงพบได้ว่าในดินนาเคมี มีค่าความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินสูงกว่าดินนาอินทรีย์ จากการศึกษาของ Singh *et al.* (2006) ได้ศึกษาผลของการตกค้างหลังการใส่ปุ๋ยเคมีชนิดต่างๆ ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ พบว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์เป็นการป้องกันการเปลี่ยนรูปของฟอสฟอรัสที่ตกค้าง และจะเพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสที่ตกค้างอยู่ด้วยให้พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

ตารางที่ 42 แสดงข้อมูลการใช้ปุ๋ยของเกษตรกรในส่วนดินนาอินทรีย์และดินนาเคมี

ดินนาเคมี	อัตราการใส่	จำนวนคน
1. ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15	1) 100-300 กิโลกรัม/ไร่	2
	2) 301-500 กิโลกรัม/ไร่	7
	3) >500 กิโลกรัม/ไร่	-
2. ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0	1) 100-300 กิโลกรัม/ไร่	2
	2) 301-500 กิโลกรัม/ไร่	3
	3) >500 กิโลกรัม/ไร่	-
3. ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 ผสม ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15	1) 100-300 กิโลกรัม/ไร่	2
	2) 301-500 กิโลกรัม/ไร่	8
	3) > 500 กิโลกรัม/ไร่	-
ดินนาอินทรีย์	**อัตราการใส่**	**จำนวนคน**
1. ปุ๋ยคอก (มูลสัตว์)	1) 100-300 กิโลกรัม/ไร่	7
	2) 301-500 กิโลกรัม/ไร่	2
	3) >500 กิโลกรัม/ไร่	-
2. ปุ๋ยหมัก	1) 100-300 กิโลกรัม/ไร่	3
	2) 301-500 กิโลกรัม/ไร่	3
	3) > 500 กิโลกรัม/ไร่	-
3. น้ำหมักชีวภาพ	1) 1-2 ลิตร/ไร่	5
	2) 3-4 ลิตร/ไร่	1
	3) > 5 ลิตร/ไร่	-

การศึกษาโครงการย่อยที่ 2 ผลของชนิดปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับเชื้อราไมคอร์ไรซาต่อการเจริญเติบโตของพืช

ผลของชนิดปุ๋ยอินทรีย์เชื้อราไมคอร์ไรซาต่อการเจริญเติบโตของพืชและสมบัติของดิน

จากการวิเคราะห์ของสมบัติของดินก่อนที่จะมีการนำปุ๋ยอินทรีย์อาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามาใช้พร้อมกับการปลูกพืช พบว่าในดินมีปริมาณอินทรียวัตถุในปริมาณที่ต่ำ (0.68%) มีค่าความเป็นกรด-ด่างของดินต่ำ (pH 4.1) มีปริมาณโพแทสเซียมอยู่ที่ 0.49% ปริมาณฟอสฟอรัสในดินสูง (114.55 ppm) และมีจำนวนสปอร์ของเชื้ออาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซ่าในดิน 25 กรัม จำนวน 160.67 สปอร์ (ตารางที่ 43)

ตารางที่ 43 Original soil analysis before study

	SOC	Exchang. K	Avai.P	pH	No. spore of AMF per 25 g soil
	(%)	(ppm)	(ppm)	(pH)	
ดินก่อนปลูก 1	0.75	640	105.60	4.05	166
ดินก่อนปลูก 2	0.65	300	90.90	4.29	107
ดินก่อนปลูก 3	0.65	530	147.17	4.00	209
ค่าเฉลี่ย	**0.68**	**490**	**114.55**	**4.11**	**160.67**

ดินหลังการปลูกข้าวโพดที่มีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์อาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

หลังจากที่มีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์อาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา พบว่าปริมาณอินทรียวัตถุมีปริมาณเพิ่มขึ้นจากเดิม โดยทรีตเมนท์ที่มีอินทรียวัตถุมากที่สุด คือ ทรีตเมนท์ที่มีการใส่เชื้อ *G.etunicatum* (1.15%) เพิ่มขึ้น 0.47% รองลงมาคือ ทรีตเมนต์ที่มีการใส่เชื้อ *G.geosporum* ,*G.geosporum*+ *G.etunicatum, G.mosseae* และ*A.foveata,*(1.03%, 0.96%, 0.96%,0.78%) เพิ่มขึ้น0.33,0.28, 0.28,0.10 % ตามลำดับ และพบว่าในทรีตเมนท์ที่มีการใส่เชื้อ *G.geosporum*+ *G.etunicatum* และ*G.mosseae* มีการเพิ่มของปริมาณอินทรียวัตถุเท่ากัน จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่า พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ ในขณะเดียวกันค่าความเป็นกรด-ด่างในดินก็เพิ่มขึ้น โดยในทรีตเมนท์ที่มีการใส่เชื้อ *G.mosseae*มีค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นมากที่สุดคือ 4.68 (เพิ่มขึ้น 0.57%) และรองลงมาคือทรีตเมนท์ที่มีการใส่เชื้อ *A.foveata,G.etunicatum* ,*G.geosporum*+ *G.etunicatum* และ*G.geosporum* มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4.64, 4.60,4.56 และ4.33 ตามลำดับ (เพิ่มขึ้น 0.53, 0.49,0.45 และ0.22 ตามลำดับ) ซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติ

นอกจากนี้จากการวิเคราะห์ยังพบว่ามีปริมาณฟอสฟอรัสในดินโดยในทรีตเมนต์ที่มีการใส่เชื้อ *G.geosporum*+ *G.etunicatum* มีปริมาณฟอสฟอรัสสูงสุด คือ 118.15 ppm และในขณะเดียวกันก็มีประมาณฟอสฟอรัสสูงกว่าดินที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อาบัสคูลาร์ไมคอไรซาด้วย ในทางตรงกันข้าม

สำหรับทรีตเมนต์ที่มีการใส่เชื้อ *A.foveata*, *G.geosporum*, *G.etunicatum* และ *G.mosseae* กลับมีประมาณฟอสฟอรัสต่ำกว่าทรีตเมนท์ที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา คือ มีปริมาณฟอสฟอรัสเท่ากับ 102.22, 102.01, 99.56 และ 93.73 ppm ตามลำดับ

ตารางที่ 44 คุณสมบัติดินหลังการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาโดยมีการปลูกข้าวโพดร่วมด้วย

ทรีตเมนท์	ปริมาณอินทรียวัตถุ	ความเป็นกรด-ด่าง	Exch.K	Avai.P
	(%)	(pH,1:1)	(ppm)	(ppm)
Glomus geosporum(GG)	1.01	4.33	150	102.01
Glomus etunicatum (GE)	1.15	4.60	100	99.56
Glomusg eosporum+ *Glomus etunicatum* (G+E)	0.96	4.56	160	118.12
Glomus mosseae (GM)	0.96	4.68	110	93.73
Acaulospora foveata (AF)	0.78	4.64	120	102.22
ไม่มีการใส่เชื้อ (Control)	0.73	4.58	190	106.44

ผลการวิเคราะห์ส่วนเหนือดินของต้นข้าวโพดอายุ 45 วัน พบว่า เชื้ออาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีผลต่อน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินของต้นข้าวโพด โดยเปรียบเทียบระหว่างทรีตเมนท์ที่มีการใส่เชื้ออาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซากับทรีตเมนท์ที่ไม่มีการใส่เชื้อ(Control) ซึ่งมีน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินมากที่สุด (16.60 กรัม) ในทรีตเมนท์ที่มีการใส่เชื้อ *G.geosporum* และรองลงมาคือทรีตเมนท์ที่ใส่เชื้อ *G.etunicatum, G.geosporum*+ *G.etunicatum, G.mosseae* และ*A.foveata* ซึ่งมีน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินเท่ากับ 15.97, 15.75, 13,79, และ13.62 ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติ ปริมาณฟอสฟอรัสและไนโตรเจน พบว่าในทรีตเมนท์ที่มีการใส่เชื้อ *G.etunicatum* มีปริมาณฟอสฟอรัสสูงที่สุดเมื่อเทียบกับทรีตเมนท์ที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา คือมีปริมาณฟอสฟอรัสเท่ากับ 1123.22 ppm แต่ในทรีตเมนท์ที่มีการใส่เชื้อ *G.geosporum*, *A.foveata*, *G.mosseae* และ *G.geosporum*+*G.etunicatum*มีปริมาณฟอสฟอรัสต่ำกว่าทรีตเมนท์ที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา โดยมีปริมาณฟอสฟอรัสเท่ากับ 503.09 ppm, 403.39 ppm, 303.69 ppm และ220.60 ppm ตามลำดับ และเมื่อมีการพิจารณา P uptake และ MPR ในทรีตเมนท์ที่มีการใส่เชื้อ *G.etunicatum*มีการดูดใช้ฟอสฟอรัสของพืชสูงสุด ต่างจากการดูดใช้ไนโตรเจนเมื่อพิจารณาจาก N uptake และ MNR ที่มีค่าสูงสุดคือทรีตเมนท์ที่มีการใส่เชื้อ *G.mosseae* และปริมาณโพแทสเซียมในทรีตเมนท์ที่มีการใส่เชื้อ *G.geosporum*+ *G.etunicatum*, *G.etunicatum*, *A.foveata*และ *G.geosporum* มีปริมาณแทสเซียมเท่ากับ

0.100%, 0.094%, 0.087% และ0.082% ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณสูงกว่าทรีตเมนท์ที่ไม่มีการส่ปุ๋ยอินทรีย์อาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (Control) คือ 0.077% และในทรีตเมนท์ที่มีการใส่เชื้อ*G.mosseae* มีปริมาณโพแทสเซียมต่ำสุดและต่ำกว่ากว่าทรีตเมนท์ที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (Control) คือ 0.022%

ตารางที่ 45 ผลของปุ๋ยอินทรีย์อาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่มีผลต่อน้ำหนักแห้งต้นข้าวโพดที่อายุ 45 วัน การดูดใช้ธาตุอาหารหลัก และค่า MNR,MPR และ MKR

Treatment	Dry Weight (g)	MR	Root colonization (%)	K uptake	P uptake	N uptake	MPR
Glomus geosporum (GG)	16.60	41.59	95.24	0.013	0.008	0.147	-15.968
Glomus etunicatum (GE)	15.97	36.19	59.68	0.015	0.018	0.056	87.542
Glomusg eosporum+ *Glomus etunicatum* (G+E)	15.75	34.31	63.33	0.016	0.003	0.142	-63.820
Glomus mosseae (GM)	13.79	17.60	61.67	0.002	0.004	0.160	-54.712
Acaulospora foveata (AF)	13.62	16.12	86.11	0.012	0.005	0.085	-42.593
ไม่มีการใส่เชื้อ (Control)	11.73	0	76.41	0.009	0.010	0.010	0

ตารางที่ 46 ปริมาณธาตุอาหารในต้นข้าวโพดอายุ 45 วันภายใต้การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ

Treatment	การวิเคราะห์พืช			
	P (ppm)	K (%)	การเข้ารา (%)	นน. แห้งส่วนเหนือดิน (g)
Glomus geosporum(GG)	1192.6834 a	0.1004 a	92.8571 a	17.9750 a
Glomus etunicatum (GE)	774.0314 ab	0.0919 ab	87.5000 a	16.9250 ab
Glomusg eosporum+ *Glomus etunicatum* (G+E)	507.2428 b	0.0825 ab	79.1667 a	15.8900 abc
Glomus mosseae (GM)	370.1547 b	0.0800 ab	74.6154 a	15.7650 abc
Acaulospora foveata (AF)	320.3045 b	0.0726 b	60.0000 a	13.4300 bc
ไม่มีการใส่ปุ๋ย (Control)	245.5291 b	0.0123 c	59.5238 a	12.3050 c

ตารางที่ 47 ผลของการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่มีต่อสมบัติของดินหลังการปลูกข้าวโพด 45 วัน

Treatment	ผลการวิเคราะห์ดินหลังปลูกข้าวโพด			
	P(ppm)	K (%)	pH	OM (%)
Glomus geosporum(GG)	107.8804 a	0.2012 a	4.7600 a	1.1120 a
Glomus etunicatum (GE)	105.8527 a	0.1750 a	4.6100 a	1.0085 ab
Glomus g eosporum+ *Glomus etunicatum* (G+E)	104.7121 a	0.1575 a	4.5850 a	0.9310 b
Glomus mosseae (GM)	103.8249 a	0.1163 a	4.5750 a	0.9051 b
Acaulospora foveata (AF)	96.0309 a	0.1125 a	4.5500 a	0.7241 c
ไม่มีการใส่ปุ๋ย (Control)	86.2725 a	0.0754 a	4.2200 b	0.7241 c

ผลของการใส่เชื้อไมคอร์ไรซา ระดับ pH ต่อความเป็นประโยชน์ของ Zn ในดิน ความเป็นประโยชน์ของ Zn มีค่าลดลงหรือเพิ่มขึ้น เป็นผลมาจากมาจากปัจจัยหลายประการ เช่น pH ของดินที่มีค่าสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับ pH เดิมของดิน (Liu, 1996)จากการศึกษาพบว่า ที่ pH เท่ากับ 5 การใส่เชื้อ *G.geosporum* + *G.etunicatum* มีผลให้ปริมาณ Zn ในดินมีค่าสูงสุดที่ 3.68 mg/kg ที่ pH เท่ากับ 6 การไม่ใส่เชื้อไมคอร์ไรซา และการใส่เชื้อ *G.etunicatum*ปริมาณ Zn ในดินมีค่าสูงสุดที่ 3.75 และ 3.72 mg/kg ตามลำดับ ที่ pH เท่ากับ 7 การใส่เชื้อ*G.geosporum* + *G.etunicatum* และการใส่เชื้อ *G.etunicatum*มีผลให้ปริมาณ Zn ในดินมีค่าสูงสุดที่3.55 และ 3.57 mg/kg ตามลำดับ ค่า pH เท่ากับ 8 การใส่เชื้อ*G.geosporum*

+ *G.etunicatum* ส่งผลให้ปริมาณ Zn ในดินมีค่าสูงสุดที่ 3.39 mg/kg และพบว่าการไม่ใส่เชื้อปริมาณ Zn ในดินจะมีค่าต่ำสุดที่2.97 mg/kg จากการศึกษาของ Ortas *et al.* (2011) ได้มีการใช้เชื้อ *G.etunicatum* *G.clarum* *G.intraradices* *G.caledonium* *G.mossea* ที่มีการทดสอบการดูดใช้ Zn ในการปลูกพริก พบว่าพริกที่มีการใส่เชื้อไมคอร์ไรซามีบทบาทในการดูดใช้ Zn โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เชื้อ *G. etunicatum* มีบทบาทในการดูดใช้ Zn มากที่สุด จากการศึกษาของ Bolan (1991) พบว่าไมคอร์ไรซาสามารถเพิ่มการเจริญเติบโตของต้นโหระพา และมีการสะสมของธาตุอาหาร N, P, K, Ca, Fe, Cu และ Mn ได้สูงกว่าต้นที่ไม่มีการใส่ อีกทั้งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับธาตุอาหารที่เคลื่อนที่ช้าให้แก่พืชอาศัย เช่น Zn

หัวเชื้ออาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่ใช้ทดสอบ

ทำการคัดเลือก จำแนก เพาะขยาย และทดสอบหัวเชื้ออาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่มีประสิทธิภาพ จำนวน 5 สายพันธุ์ คือ

(1) GG คือ *G. geosporum*

(2) GM คือ *G. mosseae*

(3) GE คือ *G. etunicatum*

(4) G+E คือ *G. geosporum*

(5) AF คือ *A. Foveata*

ภาพที่ 18 หัวเชื้ออาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา จำนวน 5 สายพันธุ์

Note : GG = *G. Geosporum* ,GM = *G. Mosseae*,*G. Etunicatum* ,G+E = *G. Geosporum* + *G. Etunicatum* และ AF = *A. foveata*

วิธีการผลิตปุ๋ยหมักฟางข้าว AMF

(1) เตรียมพื้นที่สำหรับการหมักปุ๋ย

(2) ชั่งฟางข้าว 20 กิโลกรัม ผสมกับปุ๋ยคอก 5 กิโลกรัม โดยวาง ฟางข้าวเป็นชั้นบางๆ และพรมน้ำที่ผสม พด.สูตร 1 หลังจากนั้นนำขี้วัวมาวางทับเป็นชั้นบางๆ และพรมด้วยน้ำที่ผสม พด.สูตร 1 และปิดทับด้วยฟางชั้นบางๆ ทำเป็นชั้นเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนสูงประมาณ 120 เซนติเมตร ให้ชั้นบนสุดเป็นขี้วัว รดน้ำทุกๆ 3 วัน

(3) เมื่อปุ๋ยหมักมีการย่อยสลายจากด้านล่างมากพอแล้วจึงทำการพลิกกลับกองปุ๋ย และทำการหมักต่อไปจนกว่าฟางข้าวและขี้วัว ย่อยสลายรวมกัน

(4) หลังจากที่หมักสมบูรณ์ครบกำหนด 3 เดือน แล้วทิ้งปุ๋ยไว้ให้แห้งสนิทก็จะสามารถนำไปใช้ได้

ภาพที่ 19 ปุ๋ยหมักผสมหัวเชื้อ AMF

ค่าวิเคราะห์ปุ๋ยหมักผสมหัวเชื้อ

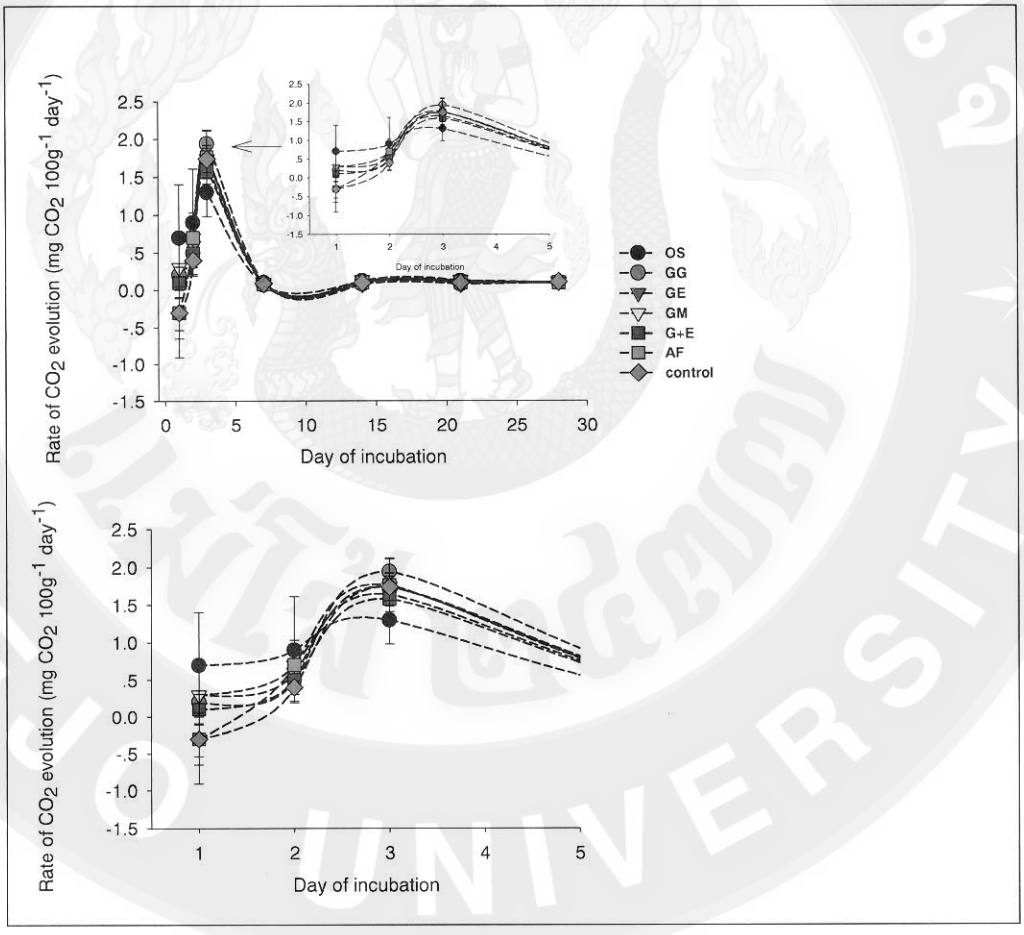
ตารางที่ 48 ค่าวิเคราะห์ปุ๋ยหมักผสมหัวเชื้อ

คุณสมบัติ	ตัวอย่าง		
	1	**2**	**3**
pH	6.72	6.73	6.68
%OM	60.51	60.51	60
EC (ds/m)	1.00	1.00	1.00
% N	5.08	5.08	5.08
% P	2.49	2.49	2.49
% K	0.58	0.58	0.58
% Ca	2.31	2.31	2.31
% Mg	1.25	1.25	1.25

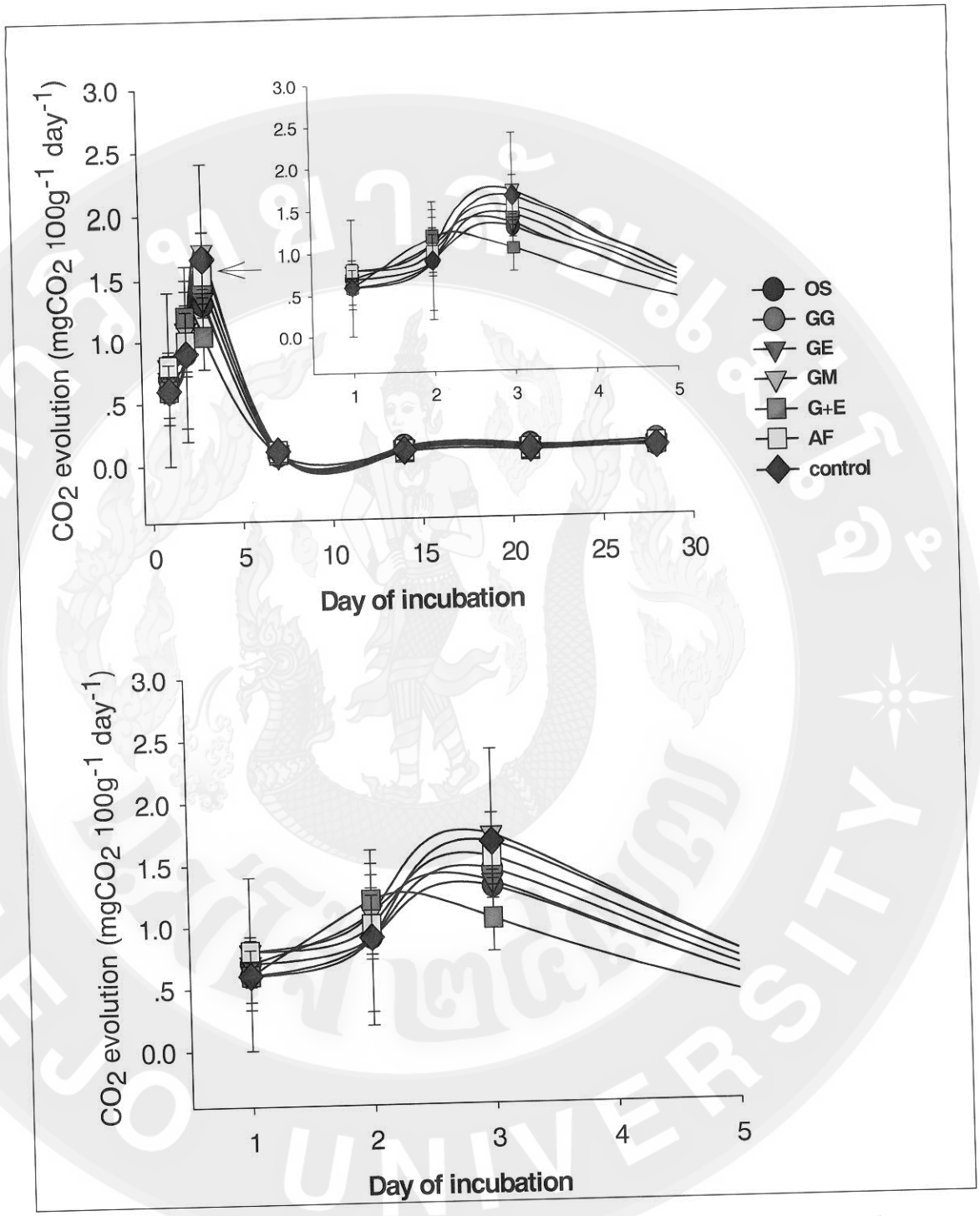
การประเมินการหายใจของดินที่ผ่านการปลูกพืชและการใช้ปุ๋ยอินทรีย์เชื้อราไมคอร์ไรซา

1. รูปแบบการใช้การใช้ปุ๋ยอินทรีย์เชื้อราไมคอร์ไรซาต่อการหายใจของดิน(การสลายตัวของอินทรียวัตถุในดิน)

จากการศึกษารูปแบบการใช้ปุ๋ยอินทรีย์เชื้อราไมคอร์ไรซา พบว่าอัตราการปลดปล่อยก๊าซ CO_2 ในวันที่ 3 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 17.93,17.69,16.50,17.83,16.63,17.06,17.16 และ 17.46 mgCO_2 100 g-1 d^{-1} ตามลำดับ ส่วนปริมาณของ SOC มีค่าเท่ากับ 0.85, 0.61,1.19, 0.61, 0.17, 0.33,0.54 และ 0.33 ตามลำดับ สำหรับปริมาณWSC เท่ากับ 19.31, 21.31, 13.98, 14.65, 12.66, 25.32 และ 15.32mg kg^{-1} ตามลำดับ มีปริมาณHWSC มีค่าเท่ากับ 40.62, 42.63, 41.27, 18.65, 25.32, 32.65 และ 32.65 mg kg^{-1}



ภาพที่ 20 The CO_2 evolution from soils which received various AMF fertilizers under rice cultivation, and compared with original soil (e.g. no rice plantation) and control (e.g. grow rice but no added fertilizer).



ภาพที่ 21 The CO_2 evolution from soils which received various AMF fertilizers under maize cultivation, and compared with original soil (e.g.no rice plantation) and control (e.g. grow rice but no added fertilizer).

ซึ่งจากการศึกษาของ ศุภธิดา และวีระวัฒน์ (2554) ได้รายงานผลของใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในพื้นที่การเกษตร จากการศึกษาพบว่าในบริเวณพื้นที่แปลงในเขตฟาร์ม มีอัตราการปลดปล่อย CO_2 สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่เกษตรอื่น อาจจะเนื่องจาก*ผลของการใส่ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์*สำหรับดินที่ใช้ทำการเกษตร เช่น พื้นที่ปลูกผักและไม้ดอก (FoU และ VetU) ที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ มีการให้น้ำทุกเช้าเย็นดินจึงมีความชื้น ตลอดจนการใส่ปูนขาว นอกจากนี้ดินพื้นที่ดังกล่าวเป็นการซื้อหน้าดินมาใช้ โดยพบว่าปริมาณอินทรีย์คาร์บอนส่วนต่าง ๆ (HWSC, SOC และ POC) มีปริมาณสูงซึ่งสัมพันธ์กับการปลดปล่อย CO_2สอดคล้องกับศึกษาของ (Marinari *et al.*, 2010) โดยอาจจะเนื่องจากธาตุอาหารจากการใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ส่งเสริมให้ SOC เพิ่มขึ้น (Gong *et al.*, 2009) ตลอดจนส่วนของอินทรีย์คาร์บอนส่วนที่ย่อยสลายได้ง่าย (Labile organic carbon) เช่น HWSC และ POC (Aumtong *et al.*, 2009) โดยสารเหล่านี้จะพวกพอลิแซ็กคาริน อะมิโน แอซิก และกรดฟูลวิก (Conteh *et al.*, 1998) และปริมาณจุลินทรีย์ดิน (Gong *et al.*, 2009) จึงเป็นการส่งเสริมการปลดปล่อยก๊าซ CO_2 (White *et al.*,2010) ซึ่งอาจจะรวมถึงก๊าซเรือนกระจกชนิดอื่น ๆ ด้วย การศึกษาครั้งนี้พบว่าดินที่ใช้ทำการเกษตรบางพื้นที่มีการปลดปล่อย CO_2 ต่ำกว่าพื้นที่ป่าใช้สอยนั้นเพราะปริมาณอินทรีย์คาร์บอนต่าง ๆ (SOC,WSC และ HWSC) ปริมาณต่ำกว่าพื้นที่ป่าใช้สอยจึงทำให้การหายใจของดินต่ำด้วย หรืออาจเป็นเพราะบทบาทของดินในการดูดซับคาร์บอนไว้ (Soil carbon adsorption) (Riffaldi *et al.*, 1998) โดยเฉพาะส่วนของ WSC และ HWSC นั้นถูกดูดซับไว้บนพื้นผิวของแร่ดินเหนียวด้วยกลไกทางเคมีและกายภาพ หรือทำปฏิกิริยาร่วมกับสารอนินทรีย์หรืออินทรีย์ต่าง ๆ ที่อยู่ในดิน (Von Lutzow *et al.*, 2006) นอกจากนี้ บทบาทอนุภาคดินเหนียวอาจส่งผลต่อการหายใจของดินด้วย ซึ่งจากการศึกษาครั้งนี้พบว่าดินที่ใช้ทำการเกษตร (FcL,VetL,OrL และ FoL) มีสัดส่วนของอนุภาค Clay สูงกว่าดินป่าใช้สอย (FU) จากการศึกษาของ Aumtong (2011) ที่ทำการศึกษาบ่มดินประดิษฐ์ (Artificial soil) ที่มีปริมาณอนุภาคดินเหนียวต่าง ๆ ในสภาพห้องปฏิบัติการ (25 ºC) พบว่าดินที่มีปริมาณอนุภาคดินเหนียวต่ำนั้นมีการหายใจของดิน สูงกว่าดินที่ปริมาณอนุภาคดินเหนียวสูง (Aumtong, 2011) นอกจากนี้ อนุภาคดินเหนียวรวมทั้งหรือเม็ดดินพอกหรือหุ้มสารอินทรีย์บางส่วนซึ่งสามารถป้องกันอินทรีย์คาร์บอนไว้ ไม่ให้จุลินทรีย์นำไปใช้เป็นแหล่งพลังงาน (Von Lutzow *et al.*, 2006)

ผลของการใส่หัวเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในดิน รูปแบบการจัดการน้ำ ที่มีผลต่อฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และปริมาณจุลธาตุใน

1. ผลของชนิดดิน รูปแบบการจัดการน้ำ การใส่เชื้อไมคอร์ไรซา ต่อค่า pH, EC และความเป็นประโยชน์ของ P ในดิน

จากตารางที่ 17พบว่าดิน Ng มีค่า pH สูงสุดที่ 6.24 ค่า EC พบปริมาณสูงในดิน Sa มีค่า 0.02 µS/m และพบว่าความเป็นประโยชน์ของ P สูงสุดในชุดดิน Sa มีค่า 45.16 mg/kg การใส่เชื้อ *A. foveata* ส่งผลให้ค่า pH ของดินมีค่าสูงสุดที่ 6.19 ค่า EC ของดินพบว่าทุกทรีทเม้นท์ ไม่มีความแตกต่างกัน ในส่วนความเป็นประโยชน์ของ P พบว่า การใส่เชื้อ *A. foveata* ส่งผลให้ปริมาณความเป็นประโยชน์ของ P ในดินมีค่าสูงสุด 33.13 mg/kg จากการศึกษาของ Harley and Smith (1983) รายงานว่า เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่อาศัยอยู่ในดินมีความสามารถดูดธาตุอาหารได้สูงขึ้น โดยเฉพาะ P การให้น้ำแบบ WL ส่งผลให้ค่า pH ในดินมีค่าสูงสุดขึ้นที่ 6.14 ค่า EC และความเป็นประโยชน์ของ P พบว่า รูปแบบการจัดการน้ำรูปแบบไม่มีผลให้มีความแตกต่างกันทางสถิติมี

ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของดิน ผลของการใส่เชื้อไมคอร์ไรซา พบว่าดิน Ng ที่มีการใส่เชื้อ *G. geosporum*ส่งผลให้ค่า pH ในดินมีค่าสูงสุดที่ 6.52 ค่า EC มีค่าสูงในดิน Sa ที่ไม่มีการใส่เชื้อ และที่มีการใส่เชื้อ *A. foveata* มีค่า 0.03 และ 0.03 µS/m ความเป็นประโยชน์ของ P พบปริมาณสูงในดิน Sa ที่มีการใส่เชื้อ *G. geosporum, G. etunicatum*และ *A. foveata* มีค่า 44.30, 50.51 และ 48.48 mg/kg ตามลำดับ

ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของดิน รูปแบบการจัดการน้ำ พบว่าดิน Sa ที่มีการจัดการน้ำ WL พบค่า pH ของดินสูงสุด 6.27 ค่า EC มีค่าสูงสุดในดิน Sa ที่มีการให้น้ำ 0.3 บาร์ ที่ 0.03 µS/mความเป็นประโยชน์ของ P มีค่าสูงสุดในดิน Sa ที่การจัดการน้ำแบบ WL, 60%, 30% และ 0.3 บาร์ มีค่า 44.21, 44.74, 45.79 และ 45.89 mg/kg ตามลำดับ

ตารางที่ 49 แสดงชนิดของดิน รูปแบบการจัดการน้ำ การใส่เชื้อไมคอร์ไรซา ต่อค่า pH, EC และความเป็นประโยชน์ของ P ในดิน

		pH	EC (µS/m)	Avail P (mg/kg)
Soil				
	Sa	6.08 B	0.02 A	45.16 A
	Hd	5.82 C	0.01 B	31.95 B
	Ng	6.24 A	0.01 B	16.43 C
		pH	EC (µS/m)	Avail P (mg/kg)
Mycorrhizal				
	Control	6.03 **B**	0.02 **A**	30.22 **AB**
	G. geosporum	6.07 **B**	0.02 **A**	29.08 **B**
	G. etunicatum	5.90 **C**	0.01 **A**	32.27 **AB**
	A. foveata	6.19 **A**	0.01 **A**	33.13 **A**
water				
	WL	6.14 **a**	0.01 **a**	32.46 **a**
	60%	6.02 **b**	0.01 **a**	30.09 **a**
	30%	6.01 **b**	0.02 **a**	30.47 **a**
	0.3 บาร์	6.02 **b**	0.02 **a**	31.69 **a**
interaction Soil+Mycorrhizal				
Sa	Control	6.06 d	0.03 a	37.33 b
Sa	*G. geosporum*	6.07 d	0.02 ab	44.30 a
Sa	*G. etunicatum*	6.09 d	0.01 ab	50.51 a
Sa	*A. foveata*	6.12 cd	0.03 a	48.48 a
Hd	Control	5.62 f	0.02 ab	31.64 bc
Hd	*G. geosporum*	5.62 f	0.01 ab	32.63 bc
Hd	*G. etunicatum*	5.77 ef	0.02 ab	30.75 c
Hd	*A. foveata*	6.29 bc	0.01 b	32.77 bc
Ng	Control	6.41 ab	0.01 b	21.70 d
Ng	*G. geosporum*	6.52 a	0.02 ab	10.32 e
Ng	*G. etunicatum*	5.84 e	0.01 b	15.57 de
Ng	*A. foveata*	6.18 cd	0.01 b	18.15 d

ตารางที่ 49 แสดงชนิดของดิน รูปแบบการจัดการน้ำ การใส่เชื้อไมคอร์ไรซา ต่อค่า pH, *EC* และความเป็นประโยชน์ของ P ในดิน (ต่อ)

interaction Soil+Water		pH	EC (µS/m)	Avail P (mg/kg)
Sa	WL	6.27 a	0.02 b	44.21 a
Sa	60%	6.08 bc	0.02 b	44.74 a
Sa	30%	6.02 cd	0.02 b	45.79 a
Sa	0.3 บาร์	5.97 cde	0.03 a	45.89 a
Hd	WL	5.89 cdef	0.01 b	35.96 b
Hd	60%	5.76 f	0.01 b	29.31 c
Hd	30%	5.81 ef	0.02 b	30.53 bc
Hd	0.3 บาร์	5.84 def	0.01 b	31.99 bc
Ng	WL	6.26 ab	0.01 b	17.22 d
Ng	60%	6.23 ab	0.01 b	16.23 d
Ng	30%	6.21 ab	0.02 b	15.10 d
Ng	0.3 บาร์	6.24 ab	0.01 b	17.18 d

หมายเหตุ: Sa= ชุดดินสรรพยา, Hd= ชุดดินหางดง, Ng=ชุดดินน้ำพอง, Control =ไม่ใส่เชื้อไมคอร์ไรซา, *G. geosporum* =หัวเชื้อดิน *G.geosporum*, *G. etunicatum* =หัวเชื้อดิน *G.etunicatum*, *A. foveata* =หัวเชื้อดิน *A. foveata*, WL=การให้น้ำขัง 2 ซม., 60% =การให้ดินมีความชื้นที่ 60%, 30% =การให้ดินมีความชื้นที่ 30%, 0.3 บาร์=การให้ดินมีความชื้นที่ 0.3 บาร์, อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่แสดงถึงชนิดของดิน, อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่หนาแสดงถึงชนิดของเชื้อไมคอร์ไรซา, อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กหนาแสดงถึงรูปแบบการจัดการน้ำ, อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของดินร่วมกับการใส่เชื้อไมคอร์ไรซา และความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของดินร่วมกับรูปแบบการจัดการน้ำ

2. ผลของชนิดของดิน การจัดการน้ำและการใส่เชื้อไมคอร์ไรซา ต่อความเป็นประโยชน์ของจุลธาตุ

จากการศึกษาพบว่า ชนิดของดินแต่ละชนิด มีผลให้ปริมาณจุลธาตุในดินมีความแตกต่างกัน ปริมาณ Cu, Fe, Mn มีค่าสูงในดิน Hd มีค่า 3.38, 212.63, 113.17 mg/kg ตามลำดับ ในส่วนปริมาณ Zn พบว่าทั้งสามชุดดินมีค่าไม่แตกต่างกัน การใส่เชื้อไมคอร์ไรซาแต่ละชนิด พบว่า ดินที่มีการใส่เชื้อ *A. foveata* พบปริมาณ Cu, Mn ในดินสูงสุดมีค่า 2.69, 74.89 mg/kg ตามลำดับ ปริมาณ Fe มีค่าสูงเมื่อมีการใส่เชื้อ *G. etunicatum* มีค่า 192.88 mg/kg ปริมาณ Zn ในดิน พบว่าผลของการใส่เชื้อไม่คอร์ไรซา มีผลให้

ปริมาณ Zn ในดินมีค่าไม่แตกต่างกัน การใส่เชื้อไมคอร์ไรซา สามารถช่วยดูดซับธาตุอื่นๆที่พืชต้องการได้ เช่น ธาตุอาหารรองพวก เหล็ก สังกะสี ให้เป็นประโยชน์แก่พืชเพิ่มขึ้น (ศุภธิดา, 2550) รูปแบบการจัดการน้ำ พบว่าปริมาณ Cu มีปริมาณสูงสุดที่ระดับความชื้น 30% มีค่า 2.51 mg/kg การจัดการน้ำ WL พบปริมาณ Fe ในดินสูงสุดที่ 181.54 mg/kg เนื่องจาก Fe(III) จะถูกเปลี่ยนเป็น Fe(II) หลังจากมีการขังน้ำ (ทัศนีย์, 2550) ปริมาณ Mn และ Zn พบว่ารูปแบบการจัดการน้ำไม่มีผลให้ปริมาณ Mn และ Zn ในดินมีความแตกต่างกัน

ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของดิน การใส่เชื้อไมคอร์ไรซา ต่อความเป็นประโยชน์ของจุลธาตุ พบว่า Cu, Zn มีปริมาณสูงสุดในดิน Hd ที่มีการใส่เชื้อ *A. foveata* ปริมาณ Fe มีปริมาณสูงสุดในดิน Hd ที่มีการใส่เชื้อ *G. etunicatum* มีค่า 307.79 mg/kg ดิน Hd ที่ไม่มีการใส่เชื้อไมคอร์ไรซา และที่มีการใส่เชื้อ *A. foveata* พบปริมาณ Mn ในดินสูงสุดที่ 133.05 และ 132.05 mg/kg ตามลำดับ

ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของดิน รูปแบบการจัดการน้ำ พบว่าดิน Hd ที่มีระดับความชื้น 30% พบปริมาณ Cu ในดินสูงสุดที่ 4.76 mg/kg ปริมาณ Fe ในดิน พบว่าดิน Hd ที่ WL และการจัดการน้ำแบบ 0.3 บาร์ มีปริมาณ Fe ในดินสูงสุดที่ 229.79 และ 248.53 mg/kg ในส่วน Mn มีค่าสูงสุดในดิน Hd ที่ระดับความชื้น 30% มีค่า 139.45mg/kg ปริมาณ Zn พบว่าดิน Ng มีการให้น้ำแบบ WL พบปริมาณ Zn ในดินสูงสุดที่ 5.46 mg/kg Gao et al. (2007) พบว่า การปลูกข้าวโดยการใส่เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตของข้าวและช่วยดูดใช้สังกะสีได้สูงกว่าข้าวที่ไม่ใส่เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา โดยใช้เส้นใยราในการดูดธาตุอาหาร เช่น สังกะสี และทองแดง แต่จะมีอิทธิพลน้อยในธาตุอาหารที่สามารถละลายน้ำได้ดี เช่น ไนเตรทและซัลเฟต (Powell, 1976)

ตารางที่ 50 แสดงชนิดของดิน การจัดการน้ำ การใส่เชื้อไมคอร์ไรซาต่อความเป็นประโยชน์ของจุลธาตุ

Soil		Cu (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Zn (mg/kg)
	Sa	1.85 B	137.80 B	27.85 B	4.61 A
	Hd	3.38 A	212.63 A	113.17 A	4.07 A
	Ng	1.20 C	104.80 B	45.20 B	4.46 A
Mycorrhizal					
	Control	2.20 **AB**	146.20 **B**	64.31 **AB**	4.35 **A**
	G. geosporum	1.71 **B**	120.86 **B**	49.91 **B**	4.35 **A**
	G. etunicatum	1.96 **B**	192.88 **A**	59.16 **AB**	4.33 **A**
	A. foveata	2.69 **A**	147.03 **B**	74.89 A	4.48 **A**
Water					
	WL	1.76 **b**	181.54 **a**	56.11 **a**	4.69 **a**
	60%	2.16 **ab**	153.39 **ab**	65.05 **a**	4.06 **a**
	30%	2.51 **a**	147.18 **ab**	69.19 **a**	4.31 **a**
	0.3 บาร์	2.13 **ab**	124.86 **b**	57.92 **a**	4.46 **a**
interaction Soil+Mycorrhizal					
Sa	Control	2.06 cd	157.46 bc	25.42 d	4.31 ab
Sa	*G. geosporum*	2.12 cd	139.59 cde	17.12 d	4.30 ab
Sa	*G. etunicatum*	1.62 d	120.73 cde	19.05 d	3.97 ab
Sa	*A. foveata*	1.59 d	133.43 cde	49.81 cd	3.69 b
Hd	Control	3.50 b	161.83 bc	133.05 a	4.33 ab
Hd	*G. geosporum*	1.78 d	148.36 cde	79.41 bc	4.13 ab
Hd	*G. etunicatum*	3.19 bc	307.79 a	108.18 ab	4.70 ab
Hd	*A. foveata*	5.04 a	232.53 ab	132.05 a	5.27 a
Ng	Control	1.04 d	119.33 cde	34.48 d	4.42 ab
Ng	*G. geosporum*	1.25 d	74.63 e	53.22 cd	4.64 ab
Ng	*G. etunicatum*	1.07 d	150.13 cd	50.28 cd	4.32 ab
Ng	*A. foveata*	1.43 d	75.13 de	42.81 cd	4.47 ab

ตารางที่ 50 แสดงชนิดของดิน การจัดการน้ำ การใส่เชื้อไมคอร์ไรซาต่อความเป็นประโยชน์ของจุลธาตุ (ต่อ)

interaction Soil+Water		Cu (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Zn (mg/kg)
Sa	WL	2.52 cd	178.63 ab	32.48 d	4.33 abc
Sa	60%	1.64 de	178.63 ab	26.21 d	3.91 bc
Sa	30%	1.64 de	117.46 bc	25.95 d	3.63 c
Sa	0.3 บาร์	1.59 de	125.10 bc	26.75 d	4.40 abc
Hd	WL	1.77 de	229.79 a	92.75 bc	4.28 abc
Hd	60%	3.23 bc	189.39 ab	112.38 ab	3.93 bc
Hd	30%	4.76 a	182.79 ab	139.45 a	5.16 ab
Hd	0.3 บาร์	3.74 ab	248.53 a	108.11 ab	5.06 ab
Ng	WL	0.98 e	136.20 bc	43.11 d	5.46 a
Ng	60%	1.60 de	140.76 bc	56.58 cd	4.35 abc
Ng	30%	1.15 e	74.33 c	42.18 d	4.14 abc
Ng	0.3 บาร์	1.07 e	67.93 c	38.91 d	3.91 bc

หมายเหตุ: Sa= ชุดดินสรรพยา, Hd= ชุดดินหางดง, Ng=ชุดดินน้ำพอง, Control =ไม่ใส่เชื้อไมคอร์ไรซา, *G.geosporum* =หัวเชื้อดิน *G.geosporum, G.etunicatum* =หัวเชื้อดิน *G.etunicatum, A. foveata* =หัวเชื้อดิน A. foveata, WL=การให้น้ำขัง 2 ซม., 60% =การให้ดินมีความชื้นที่ 60%, 30% =การให้ดินมีความชื้นที่ 30%, 0.3 บาร์=การให้ดินมีความชื้นที่ 0.3 บาร์, อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่แสดงชนิดของดิน, อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่หนาแสดงถึงชนิดของเชื้อไมคอร์ไรซา, อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กหนาแสดงรูปแบบการจัดการน้ำ, อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของดินร่วมกับการใส่เชื้อไมคอร์ไรซา และความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของดินร่วมกับรูปแบบการจัดการน้ำ

สรุปผลการวิจัย

โครงการย่อยที่ 1 ผลของปุ๋ยเคมีต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของดินในระยะปรับเปลี่ยนระบบเกษตรอินทรีย์

- จากการศึกษาครั้งนี้สรุปได้ว่าชนิดดิน ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน และสูตรปุ๋ย มีผลต่อปริมาณการตกค้างของปุ๋ยเคมีในดินหลังจากเวลาการบ่มผ่านไป 12 เดือน โดยการเปลี่ยนแปลงจะเกิดขึ้นได้ชัดเจนที่ระยะเวลา 1 เดือนหลังการใส่ปุ๋ยเคมีและอินทรียวัตถุลงไปหลังจากนั้นค่า pH ปริมาณอินทรียวัตถุ อนินทรีย์ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมจะลดลงและมีแนวโน้มคงที่ไปจนถึงเดือนที่ 12
- pH ของดินหลังจาก 12 เดือนจะมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มสูงอย่างชัดเจนขึ้นเมื่อมีการใส่ปุ๋ยเคมีที่มี %N สูง แต่ปุ๋ยเคมีสูตร 18-24-24, 0-0-60, และ 16-16-16 มีผลต่อการเปลี่ยนแปลง pH ไม่มากนัก
- อินทรียวัตถุในดินลดลงจนเหลือน้อยมากในดินหลังจากผ่านไป 12 เดือนในทุกตำรับการทดลองทั้งที่ใส่และไม่ใส่ปุ๋ยเคมีเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณอินทรียวัตถุในดินก่อนการทดลอง
- ปริมาณอนินทรีย์ไนโตรเจน ($N\text{-}NH_4^+$,NO_3^-) ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่เหลือในดินขึ้นกับชนิดและปริมาณ N P และ K ที่เป็นองค์ประกอบของปุ๋ยเคมีเป็นหลักมีเพียงส่วนน้อยที่เป็นผลจากอินทรียวัตถุที่ใส่ลงไป
- มีการเคลื่อนที่ของอนินทรีย์ไนโตรเจน ($N\text{-}NH_4^+$, NO_3^-) ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม จากดินบน (0-25 ซม.)ไปสะสมในดินล่าง (0-25 ซม.) ซึ่งเกิดขึ้นมากที่สุดในดิน Sai ที่มี %Clay ต่ำกว่า Hd และ Mt และปริมาณการสะสมในดินล่างขึ้นอยู่กับปริมาณ N P และ K ที่เป็นองค์ประกอบของปุ๋ยเคมี
- การใช้ปุ๋ยที่มี %N สูงทำให้เกิดการตกค้างของ $N\text{-}NH_4^+$เป็นปริมาณมากในดินซึ่งส่งผลให้ค่า pH ในดินเพิ่มสูงขึ้นในดิน Hd, Sai และ Mt ที่ระดับความลึก 0-25 และ 25-50 ซม.
- ดิน Sai ซึ่งมี %Clay ต่ำและปริมาณอินทรียวัตถุน้อยจะมีการตกค้างของ$N\text{-}NH_4^+$, $N\text{-}NO_3^-$,P และ K อยู่ในดินน้อยกว่าดิน Hd และ Mt ซึ่งมี %Clayสูง
- ดินที่มีอินทรียวัตถุสูงมีแนวโน้มทำให้มีการตกค้างของปุ๋ยเคมีมากกว่าดินที่มีอินทรียวัตถุน้อยกว่า
- จากผลการวิเคราะห์สถิติชี้ให้เห็นว่าอินทรียวัตถุในดินมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ pH ปริมาณอินทรียวัตถุ อนินทรีย์ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในดิน แต่จากการทดลองจะเห็นว่ามีผลค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับปุ๋ยเคมี

- ชนิดดิน ระดับปุ๋ยอินทรีย์และชนิดปุ๋ยเคมีที่ใส่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างกันต่อการเปลี่ยนแปลงของ pH ปริมาณอินทรียวัตถุ อนินทรีย์ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในดิน Hd Sai และ Mt ที่ระดับความลึก 0-25 และ 25-50 ซม. หลังจากการบ่ม 12 เดือน

<u>โครงการย่อยที่ 2</u> การศึกษาเทคนิคการเพิ่มอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพของสารพิษตกค้างในดินเพื่อลดระยะเวลาการปรับเปลี่ยนสู่ระบบเกษตรอินทรีย์โดยการใช้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินและน้ำหมักมูลไส้เดือนดิน

จากผลการทดลอง พบว่า เมื่อใช้ผลิตผลจากมูลไส้เดือนดินมาช่วยในการลดความเป็นพิษของสาร Chlorpyrifos, Profenofos และ Cypermethrin ที่ตกค้างในดินทั้งแบบปกติและแบบน้ำท่วมขังพบว่ามีความเป็นไปได้สูงที่มีส่วนในการช่วยกระตุ้นการย่อยสลายทางชีวภาพของสารพิษตกค้างดังกล่าวในดินให้เกิดเร็วขึ้นและมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ใช้ระยะเวลาในการสลายตัวที่สั้นลง จนสามารถตรวจพบได้ในระดับที่ปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินและน้ำหมักมูลไส้เดือนดิน ถือเป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่มีคุณภาพสูงทั้งในด้านของธาตุอาหารและจุลินทรีย์ ที่เกษตรกรทั่วไปสามารถที่จะผลิตเองได้โดยนำขยะอินทรีย์และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้ในกระบวนการผลิต ซึ่งในปัจจุบันมีการใช้กันอย่างแพร่หลายแล้วทั่วประเทศในแง่ของปุ๋ยอินทรีย์บำรุงดิน เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่ใช้ต้นทุนต่ำและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และองค์ความรู้ที่ได้จากการวิจัย จะเกิดประโยชน์ต่อเกษตรกรและผู้ที่สนใจสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดฟื้นฟูดินที่ปนเปื้อนสารพิษหรือผู้ที่สนใจจะปรับเปลี่ยนระบบการทำเกษตรจากเกษตรเคมีไปสู่ระบบเกษตรอินทรีย์ หรือประยุกต์ใช้ในแง่ของปุ๋ยอินทรีย์ในการปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดินได้พร้อมๆกันต่อไป

และในการทดลองนี้พบว่า สารพิษตกค้างบางชนิดย่อยสลายได้เร็วเกินไป จึงไม่สามารถตรวจวัดค่าได้จนครบระยะที่ทำการทดลอง ซึ่งจะได้นำมาเป็นข้อเสนอแนะสำหรับการวางแผนงานวิจัยต่อยอดในอนาคตต่อไป

<u>โครงการย่อยที่ 3</u> การจัดการปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาปรับปรุงดินในระยะปรับเปลี่ยนเพื่อเข้าสู่ระบบเกษตรอินทรีย์

จากการศึกษาการเปรียบเทียบระบบการปลูกข้าวแบบต่างๆที่มีผลต่อสมบัติทางเคมี ฟิสิกส์ และชีวเคมีของดินที่ผ่านการเกษตรแบบเคมีและการเก็บรักษาคาร์บอนรวมไปถึงผลของชนิดปุ๋ยอินทรีย์และเชื้อราไมคอร์ไรซ่าภายใต้ชนิดดินต่อการเจริญเติบโตของพืช สามารถสรุปผลการทดลองต่างๆได้ดังนี้

1. ผลของการเปลี่ยนระบบการปลูกข้าวนาดำจากระบบเคมีมาเป็นระบบอินทรีย์ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของชนิดและจำนวนเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาอย่างหลากหลาย โดยพบว่าเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาสายพันธุ์ *Glomus etunicatum* ในข้าวนาดำทั้งระบบเคมีและอินทรีย์มีปริมาณสูงที่สุด และยังส่งผลให้สมบัติของดิน ได้แก่ ค่า pH, P, Fe, Zn, N และ OM มีปริมาณเพิ่มขึ้น แต่ค่า EC และ K มีปริมาณลดลง จำนวนเชื้อราอาบัสคูราไมคอร์ไรซาเพิ่มขึ้น ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อสมบัติของดิน พบว่า ในดินนาน้ำขังปริมาณของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน (Available P) โดยเมื่อAvailable P เพิ่มขึ้นจำนวนสปอร์เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาก็เพิ่มขึ้นด้วยในขณะที่จำนวนสปอร์ลดลงเมื่อดินมี EC เพิ่มขึ้น

2. ระยะเวลาในการปลูกข้าวไร่มีผลต่อสมบัติทางเคมี ฟิสิกส์ และชีวเคมีของดิน โดยพบว่าการเพิ่มระยะเวลาในการปลูกข้าวไร่จาก 1 ปี มาเป็น 2 ปี ทำให้ค่า pH, EC, NH_4^+, NO_3, Available P, SOC, WSC, HWSC, FPOM, Tglo และ WAS มีปริมาณเพิ่มขึ้น แต่ LPOM, POC และ E glo ลดลงเพียงเล็กน้อย ซึ่งการปลูกข้าวไร่ในระยะเวลา 2 ปี ส่งผลให้ชนิดและจำนวนเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีปริมาณลดลง แต่มีเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาบางสายพันธุ์ที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นมากกว่าการปลูกข้าวไร่ในระยะเวลา 1 ปี ได้แก่ *Glomus geosporum*, *Glomus clarum*, *Glomus manihotis*, *Scutellospora coralloidea*, *Scutellospora gregaria, Scutellospora erythropa*

3. ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่ถูกเก็บไว้ในดินในรูปของอินทรีย์คาร์บอนส่วนต่างๆในดินนาอินทรีย์ และดินนาเคมีที่รวมระดับความลึก 0-30 cm. พบว่าปริมาณการเก็บรักษาคาร์บอนในส่วนของ TOC ในดิน นาอินทรีย์สูงกว่าดินนาเคมี แต่ขณะที่การเก็บรักษาในส่วนของอินทรีย์คาร์บอนที่สลายตัวง่าย ได้แก่ CPOM-C, FPOM-C และ POXC ในดินนาเคมี มีปริมาณสูงกว่าดินอินทรีย์และปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่ถูกเก็บไว้ในดินในรูปของอินทรีย์คาร์บอนในดินนาอินทรีย์และดินนาเคมี แต่ละระดับความลึก 0-5,5-10,10-15 และ 15-30 cm. พบว่าการเก็บรักษาอินทรีย์คาร์บอนส่วนต่างๆมีปริมาณสูงสุดที่ระดับ 15-30 cm.

4. ดินนาเคมีพบปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัสสูงกว่าดินนาอินทรีย์ ที่ระดับความลึก 0-5 และ 10-15 ซม. พบ P-solution, Al-P, Fe-P และ Ca-P สูงสุด ที่ระดับ 10-15 ซม. พบปริมาณ Al-P, Fe-P และ P-Red สูงสุด ดินนาเคมีที่ระดับ 0-5 ซม. พบ P-solution, Al-P, Fe-P และ Ca-P สูงสุด ดินนาเคมีที่ระดับ 10-

15 ซม. พบ Al-P, Fe-P, Ca-P สูงสุด ดินนาอินทรีย์ที่ระดับ 0-5 ซม. พบปริมาณ Ca-P ปริมาณสูง ดินนาอินทรีย์ที่ระดับ 10-15 ซม. พบปริมาณ Fe-P และ P-Red สูงสุด

5. หลังจากที่มีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์อาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา พบว่าปริมาณอินทรียวัตถุมีปริมาณเพิ่มขึ้นจากเดิม โดยในทรีตเมนท์ที่มีอินทรียวัตถุมากที่สุด คือทรีตเมนท์ที่มีการใส่เชื้อ *G.etunicatum* (1.15%) เพิ่มขึ้น ในขณะเดียวกันค่าความเป็นกรด-ด่างในดินก็เพิ่มขึ้น โดยในทรีตเมนท์ที่มีการใส่เชื้อ *G.mosseae*มีค่า pH เพิ่มขึ้นมากที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่ามีปริมาณ P ในดินโดยในทรีตเมนท์ที่มีการใส่เชื้อ *G.geosporum*+ *G.etunicatum* มีปริมาณP สูงสุด และในขณะเดียวกันก็มีประมาณ P สูงกว่าดินที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อาบัสคูลาร์ไมคอไรซาด้วย ในทางตรงกันข้ามสำหรับทรีตเมนท์ที่มีการใส่เชื้อ *A.foveata*, *G.geosporum*, *G.etunicatum* และ*G.mosseae*กลับมีประมาณ P ต่ำกว่าทรีตเมนท์ที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

6. ดิน Ng มีค่า pH สูงสุด ค่า EC พบปริมาณสูงในดิน Sa และพบว่าความเป็นประโยชน์ของ P สูงสุดในชุดดิน Saซึ่งการใส่เชื้อ *A. foveata* ส่งผลให้ค่า pH ของดินมีค่าสูงสุด ค่า EC ของดินพบว่าทุกทรีตเม้นท์ ไม่มีความแตกต่างกัน ในส่วนความเป็นประโยชน์ของ P พบว่า การใส่เชื้อ *A. foveata* ส่งผลให้ปริมาณความเป็นประโยชน์ของ P ในดินมีค่าสูงสุด และการให้น้ำแบบ WL ส่งผลให้ค่า pH ในดินมีค่าสูงสุด ค่า EC และความเป็นประโยชน์ของ P พบว่า รูปแบบการจัดการน้ำรูปแบบไม่มีผลให้มีความแตกต่างกัน ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของดิน ต่อผลของการใส่เชื้อไมคอร์ไรซา และรูปแบบการจัดการน้ำ พบว่าดิน Ng ที่มีการใส่เชื้อ *G. geosporum*ส่งผลให้ค่า pH ในดินมีค่าสูงสุด ค่า EC มีค่าสูงในดิน Sa ที่ไม่มีการใส่เชื้อ และที่มีการใส่เชื้อ *A. foveata* ความเป็นประโยชน์ของ P พบปริมาณสูงในดิน Sa ที่มีการใส่เชื้อ *G. geosporum, G. etunicatum*และ *A. foveata*และดิน Sa ที่มีการจัดการน้ำ WL พบค่า pH ของดินสูงสุด ค่า EC มีค่าสูงสุดในดิน Sa ที่มีการให้น้ำ 0.3 บาร์ ที่ 0.03 µS/mความเป็นประโยชน์ของ P มีค่าสูงสุดในดิน Sa ที่การจัดการน้ำแบบ WL, 60%, 30% และ 0.3 บาร์ มีค่า 44.21, 44.74, 45.79 และ 45.89 mg/kg ตามลำดับ

7. ชนิดของดินแต่ละชนิด มีผลให้ปริมาณจุลธาตุในดินมีความแตกต่างกัน ปริมาณ Cu, Fe, Mn มีค่าสูงในดิน Hd ในส่วนปริมาณ Zn พบว่าทั้งสามชุดดินมีค่าไม่แตกต่างกัน การใส่เชื้อไมคอร์ไรซาแต่ละชนิด พบว่า ดินที่มีการใส่เชื้อ *A. foveata* พบปริมาณ Cu, Mn ในดินสูงสุด ปริมาณ Fe มีค่าสูงเมื่อมีการใส่เชื้อ *G. etunicatum*และผลของการใส่เชื้อไม่คอร์ไรซา มีผลให้ปริมาณ Zn ในดินมีค่าไม่แตกต่างกัน รูปแบบการจัดการน้ำ พบว่าปริมาณ Cu มีปริมาณสูงสุดที่ระดับความชื้น 30% การจัดการน้ำ WL พบปริมาณ Fe ในดินสูงสุด ปริมาณ Mn และ Zn พบว่ารูปแบบการจัดการน้ำไม่มีผลให้ปริมาณ Mn และ Zn ในดิน มีความแตกต่างกัน ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของดิน การใส่เชื้อไมคอร์ไรซา ต่อความเป็น

ประโยชน์ของจุลธาตุ พบว่า Cu, Zn มีปริมาณสูงสุดในดิน Hd ที่มีการใส่เชื้อ *A. foveata* ปริมาณ Fe มีปริมาณสูงสุดในดิน Hd ที่มีการใส่เชื้อ *G. etunicatum* มี ดิน Hd ที่ไม่มีการใส่เชื้อไมคอร์ไรซา และที่มีการใส่เชื้อ *A. foveata* พบปริมาณ Mn ในดินสูงสุด และความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของดิน รูปแบบการจัดการน้ำ พบว่าดิน Hd ที่มีระดับความชื้น 30% พบปริมาณ Cu ในดินสูงสุด ปริมาณ Fe ในดิน พบว่าดิน Hd ที่ WL และการจัดการน้ำแบบ 0.3 บาร์ มีปริมาณ Fe ในดินสูงสุด ในส่วน Mn มีค่าสูงสุดในดิน Hd ที่ระดับความชื้น 30% ปริมาณ Zn พบว่าดิน Ng มีการให้น้ำแบบ WL พบปริมาณ Zn ในดินสูงสุด

ข้อเสนอแนะ

<u>โครงการย่อยที่ 1</u> ผลของปุ๋ยเคมีต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของดินในระยะปรับเปลี่ยนระบบเกษตรอินทรีย์

1.การศึกษาครั้งนี้สามารถทำได้แค่ศึกษาผลของการตกค้างของปุ๋ยเคมีในดินที่มีอินทรียวัตถุแตกต่างกันที่มีผลต่อ pH อินทรียวัตถุ (OM) และปริมาณธาตุอาหารพืช (N P K) เท่านั้น เนื่องจากมีการลดงบประมาณวิจัยลง 50% ทำให้งบวิจัยไม่เพียงพอที่จะศึกษาผลกระทบต่อสมบัติทางเคมีอื่นๆและฟิสิกส์ของดินรวมทั้งผลกระทบต่อความหลากหลายทางชีวภาพ

2. ถ้าจะพิจารณาระยะเวลาการตกค้างของปุ๋ยเคมีจากการทดลองครั้งนี้จะเห็นได้ว่า ปริมาณการตกค้างของปุ๋ยเคมีที่ใช้เมื่อผ่านไป 12 เดือน ขึ้นอยู่กับปริมาณปุ๋ยที่ใช้ตอนเริ่มต้น ดังนั้นการพิจารณาการตกค้างของปุ๋ยเคมีสามารถทำได้โดยการวิเคราะห์สมบัติของดินเพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลในการพิจารณาระยะที่จะไม่ได้รับผลการตกค้างของปุ๋ยเคมี สำหรับค่าวิเคราะห์ดินซึ่งเป็นไปได้ค่อนข้างยากที่จะมีปริมาณเริ่มต้นเท่ากับการทดลองในครั้งนี้ เนื่องจากในสภาวะแวดล้อมจริงจะมีการสูญเสียธาตุอาหารพืชที่ได้จากปุ๋ยเคมีในหลายๆด้าน เช่น การนำไปใช้ในการเจริญเติบโตของพืช การสูญเสียไปโดยการชะละลายในฤดูฝนที่จะเกิดขึ้นค่อนข้างสูงโดยเฉพาะในดินทราย การไหลบ่าหน้าดิน หรือการระเหยหายไปในอากาศเมื่อมีการไถพรวนกลับหน้าดิน

3. จากการทดลองบ่มดินที่ระยะเวลา 12 เดือนในการทดลองครั้งนี้ได้นำไปสู่การศึกษาผลตกค้างจากปุ๋ยเคมีในสภาพแวดล้อมจริง โดยการเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่แปลงเกษตรกรที่มีการใช้ปุ๋ยเคมีในช่วงระยะเวลา 1 ปี ในโครงการวิจัยปีที่ 2 ซึ่งจะทำการเก็บตัวอย่างดินในแปลงพืชไร่ ไม้ยืนต้น และพืชผัก ที่ระดับความลึก 0-25, 25-50 และ 75-100 ซม. และทำการเลือกชนิดดินที่มี %Clay แตกต่างกัน

เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2543. มาตรฐานการผลิตพืชอินทรีย์ของประเทศไทย. กรุงเทพฯ: กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 24 น.

กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข.2556.คู่มือมาตรฐานอนามัยสิ่งแวดล้อม.กรุงเทพมหานคร:กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข.225 น.

กรมอุตุนิยมวิทยา. 2555. http://www.tmd.go.th/info/info.php?FileID=22. 21 สิงหาคม 2555

จงรักษ์ แก้วประสิทธิ์, เครือมาศ สมัครกา, จินตนาถ วงศ์ชวลิต. 2553. มลพิษทางดิน. เอกสารประกอบการเรียนการสอนสายวิชาวิทยาศาสตร์ คณะศิลปะศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร.

จารุพงศ์ ประสพสุข และ ชุลีมาศ บุญไทย อิวาย.2556.การติดตามสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในปุ๋ยหมัก ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินและน้ำหมักชีวภาพจากขยะอินทรีย์.วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 32 ฉบับที่ 2.

ธงชัย มาลา. 2550. ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ: เทคนิคการผลิตและการใช้ประโยชน์. สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพ. 300 หน้า.

นาตยา จันทร์ส่อง, อิทธิพล บ้งพรม, สุภาพร บ้งพรม,จำลอง กกรัมย์ และ สุนทรี มีเพ็ชร์. ชนิด และปริมาณสารพิษตกค้างในพืชผักและผลไม้ในพื้นที่ สวพ.4 หลังการรับรองระบบ .GAP. สวพ.4. ใน: การประชุมวิชาการประจำปี 2553, สวพ. 3-4-5. กรมวิชาการเกษตร.อุบลราชธานี; 2553. หน้า1 - 15.

นงลักษณ์ ปูระณะพงษ์ และวีณา นิลวงศ์. 2557. การปลดปล่อยธาตุอาหารพืชในดินที่มีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ. รายงานผลการวิจัย สำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร ม.แม่โจ้. 21 หน้า.

ปัทมา วิทยากร และวิทยา ตรีโลเกศ. 2547.การกร่อนดินในแปลงการใช้ที่ดินต่างๆ ในพื้นที่ลูกคลื่นของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. แก่นเกษตร. 3:211-223.

มณฑาทิพย์ อรุณวรากรณ์ม, กัญญารัตน์ เต็มปิยพล และจิราภา เมืองคล้าย. ชนิดและปริมาณสารพิษตกค้างในพืชผักและผลไม้ในพื้นที่ สวพ.5 หลังการรับรองระบบ GAP.สวพ.5. ใน: การประชุมวิชาการประจำปี 2553, สวพ. 3 - 4 - 5. กรมวิชาการเกษตร.ชัยนาท; 2553. หน้า 2.

วัชราพร พาภักดี, ปริยานุช สายสุพรรณ์ และ ชัยศักดิ์ แผ้วพลสง. สถานการณ์สารพิษตกค้างในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน.ใน: รายงานผลการดำเนินงานประจำปี 2550 - 2551, สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 3 กรมวิชาการเกษตร. ขอนแก่น; 2551. หน้า 42 - 46.

วีณา นิลวงศ์. 2556. ศักยภาพของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินท้องถิ่นไทย ที่ผลิตจากขยะอินทรีย์ต่อระบบการเกษตรและสิ่งแวดล้อม. รายงานผลการวิจัย สำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร ม.แม่โจ้. 74 หน้า.

วีณา นิลวงศ์. 2557. ศักยภาพของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินท้องถิ่นไทย ที่ผลิตจากขยะอินทรีย์ต่อระบบการเกษตรและสิ่งแวดล้อม. รายงานผลการวิจัย สำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร ม.แม่โจ้. 60 หน้า.

ศุภธิดา อ่ำทอง, พงศ์สุดา ศิรินิกร, พิทวัส สุสิงสา และนงลักษณ์ เมืองใจ. 2552. **ความสัมพันธ์ของสารโกลมาลินกับความคงทนของเม็ดดินในดินที่มีการใช้แบบต่าง ๆ**. รายงานฉบับสมบูรณ์เสนอต่อกองทุนสนับสนุนงานวิจัย คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้.11 หน้า

ศุภธิดา อ่ำทอง, ณฐมล กันธิยะ และตวงสิต ปัญญา. 2556. **ผลของชนิดของดินและการจัดการน้ำความเป็นประโยชน์ของZn และ Cu ต่อการดูดใช้ของข้าว.** รอการตีพิมพ์

สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 3. รายงานการตรวจสอบสารพิษตกค้างในผักและผลไม้แปลง GAP ใน ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน. สวพ.3.ใน: การประชุมวิชาการประจำปี 2553 สวพ.1 - 8. กรมวิชาการเกษตร.ขอนแก่น; 2553. หน้า 105.

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ.2557.สารพิษตกค้าง.ใน:มาตรฐานสินค้าเกษตร.50 หน้า.ค้นเมื่อ 16 มิถุนายน 2558,จาก http://www.acfs.go.th/standard/download/MAXIMUM_RESIDUE_LIMITS_new.pdf

สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขต6.สารพิษตกค้าง.ค้นเมื่อ 16 มิถุนายน 2558,จาก http://www.doa.go.th/oard6/index.php?option=com_content&view=article&id=97&Itemid=25

สำนักงานมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ (มกท.). 2555. มาตรฐานเกษตรอินทรีย์ (Organic standard). สำนักงานมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ (มกท.) จ.นนทบุรี. 83 หน้า

อานัฐ ตันโช. 2548. เอกสารคำสอนวิชา คป 489 เกษตรธรรมชาติ. ภาควิชาทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อม คณะผลิตกรรมการเกษตร ม.แม่โจ้

อานัฐ ตันโช. 2550.ไส้เดือนดิน. พิมพ์ครั้งที่ 2 . เชียงใหม่ : ทรีโอแอดเวอร์ไทด์ซิงค์แอนด์มิเดีย. 259 หน้า

อานัฐ ตันโช.2557.ศักยภาพของแบคทีเรียในลำไส้ไส้เดือนดินท้องถิ่นไทยต่อการเกษตร.ใน:รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.).75 หน้า

อำนาจ สุวรรณฤทธิ์. 2551. **ปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยชีวภาพ น้ำหมักชีวภาพ และอีเอ็มแทนปุ๋ยเคมีได้จริงหรือ? มองในมุมเศรษฐศาสตร์และเทคโนโลยี**. วารสารดินปุ๋ย 30(2) : 117-131.

Baldock, J.A., and J.O. Skjemstad. 2000. Role of the soil matrix and minerals in protecting natural organic materials against biological attack. Org. Geochem, 31(7-8): pp. 697-710.

Barrow, N.J. 1974. A mechanistic model for describing the sorption and desorption of phosphate by soil. J. Soil Sci. 34: pp. 733-750.

Bodruzzaman, M., C.A. Meisner, M.A. Sadat and M. Irai Hossain. 2010. Long term effect of applied organic manures and inorganic fertilizers on yield and soil fertility in a wheat-rice cropping pattern. World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World 1-6 August 2010, Brisbane, Australia. pp. 142-145.

Castan, E., P. Satti, M. Gonzalez-Polo, M.C. Iglesias, and M.J. Mazzarino. 2016. Managing the value of composts as organic amendments and fertilizer in sandy soils. Agriculture, Ecosystems and Environment, 224: pp 29-38.

C.A. Edwards, P.J. Bohlen.1996. Biology and Ecology of Earthworms, 3rd ed., Chapman and Hill, London, New York.

Curtin, D., C.A. Campbell, and A. Jalil. 1998. Effects of acidity on mineralization: pH-dependence of organic matter mineralization in weakly acidic soils. Soil Biol. Biochem, 30(1): pp. 57-64.

Czarnecki, S. and R.A. During. 2015. Influence of long-term nimeral fertilization on metal contents and properties of soil samples taken from different location in Hesse, Germany. Soil, 1: pp 23-33.

Edet, M.A., H. Tijani-Eniola and R.U. Okechukwu. 2013. Residual effects of fertilizer application on growth and yield of two cassava varieties in Ibadan, south-western Nigeria. African Journal of Root and Tuber Crops. 10(1): pp33-40.

Dalal, R.C. and R.T. Mayer. 1986. **Long–term trends in fertility of soil under continuous cultivation and cereal cropping in southern Queensland. IV. Loss of organic carbon from different density fractions.** Australian Journal Soil Research 24:301-309.

Dalenberg, J.W.and Jager, G.1989. **Priming effects of some organic additions to ^{14}C-labelled soil.** Soil Biology & Biochemistry Soil 21:43-48.

Driver, J.C., W.E.Holben and M.C. Rillig.2005. **Characteristic of glomalin as a hyphal wall component of arbuscular mycorrhizal fungi.** Soil Bio. Biochem. 37:101-106.

FAO. 1995. Integrated plant nutrition system. **FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin**. Rome. 426 pp.

Ghani, A.D., Dexter, M. and Perrott, K.W. 2003. **Hot water extractable carbon in soils: a sensi measurement or determining impacts of fertilization, grazing and cultivation.**Soil Biology Biochemistry 35 : 1231-1243.

Gimeno-García, E., Andreu, V., Rubio, J.L., 2000. **Changes in organic matter, nitrogen, phosphorous and cations in soil as a result of fire and water erosion in a Mediterranean landscape.** European Journal of Soil Science 51 : 201–210.

Gregorich, E.G., Beare, M.H , Stoklas, U. and St-George, P., 2003. **Biodegradability of soluble organic matter in maize-cropped soil**. Geoderma 113 : 237-252.

Gregorich, E.G., Carter, M.R , Angers, D.A. , Monreal, C.M. and B.H. Ellert., 1994. **Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils.** Canadian Journal of Soil Science 74 : 367-385.

Gregorich, E.G., Voroney, R.P.and Kachnoski, R.G., 1991. **Turnover of carbon through the microbial biomass in soils with different texture.**Soil Biology & Biochemistry 23:799-805.

Hamer, U.and B. Marchner., 2002. **Priming effects on sugar, amino acids, organic acids and catechol on the mineralization of lignin and peat**. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 165 : 261-268.

Hofman, G.and O.V. Cleemput. 2004. Soil and Plant Nitrogen. International FertilizerIndustry Association (IFA), Paris Sanchez, C.A.2007. Phosphorus in "Handbook of Plant Nutrition" edited by Baker, A.V. and D.J. Pilbeam. CRC Press Tayloor & Francis Group, 6000 Broken, Sound Parkway NW, Suite 300 Boca Raton. pp 51-90.

Khatik, V.A., D.B. Sarode, R.N. Jadhav, S.T. Ingle and S.B. Attarde. 2011. Assessment on residual soil nitrate of intensively fertilized banana farms of Jalgaon region. Malaysian Journal of Soil Science, 15: pp87-99.

Lovelock, C.E., and S.F. Wright, D.A. Clark and R.W. Ruess,2004. **Soil stocks of glomalin produced by arbuscular mycorrhizal fungi across a tropical rain forest landscape.** J. Ecol.92:278-287.

Kuzyakov, Y., Friedel, J.K., and Stahr, K., 2000. **Reviewof mechanisms and quantification of priming effects.** Soil Biology & Biochemistry 32:1485-1498.

Krull, E.S., J.A.Baldock, and J.O. Skjemstad., 2003. **Importance of mechanisms and processes of the stabilization of soil organic matter for modeling carbon turnover.** Functional Plant Biology 30:207-222.

Mariangela, D. and F. Montermurro. 2010. Long-term effects of organic amendments on soil fertility: A review. Agron. Sustain. Dev., 30: pp401-422.

Mala, T., 1998. **The bioassay of vesicular-arbuscular mycorrhizal inoculums on cassava plant in greenhouse.** Kasetsart J.(Nat.Sci) 32 : 102-18.

Miller, R.M.and J.D.Jastrow., 2000. **Mycorrhizal fungi influence soil structure.** In Kapulinik,Y.,D.D.(Eds). ArbuscularMycorrhiza :Physiology and Function. Kluwer Academic, Dordrecht :3-18.

Rillig,M.C.,S.F. Wright, K.A. Nichols,W.F.Schmidt and M.S. Torn., 2001. **Large contribution of arbuscular mycorrhizal fungi to soil carbon pools in tropical forest soils.** Plant Soil. 233 :167-177.

Rillig,M.C.2004. **Arbuscular mycorrhizae and terrestrial ecosystem process.**EcologyLetter 7:740-750.

Rillig, M.C.2005. **Polymer and Microorganisms.** In Cyclopedia of Soil Science. London Elsevier. 287-294.

Rhoades, C.C., G.E. Eckert and D.C. Coleman, 2000. **Soil carbon differences among forest, agriculture and secondary vegetation in low montane Ecuador.** Journal of Ecology Applied 10 :497-505.

Rosier,C.L.,,A.T. Hoye. and M.C.Rillig. 2005. **Glomalin-related soil protein: Assessment of current detection and quantification tools.** Soil Biology & Biochemistry 38: 2205-2211.

Smith, S.E. and D.J. Read. 1997. **Mycorrhizal symbiosis.** Academic Press,London.

Van Noordicwijk, M., C. Cerri, P.L. Woomer, K., Nugroho and M. Bernoux. 1997. **Soil carbon dynamic in the humid tropical forest zone.** Geoderma 79 :187-225.

Nilawonk, W., T. Attanandana., A. Phonpherm., X Shuai, and Y. Russell, 2007. Potassium Release in Representative Maize-producing Soils of Thailand. Soil Sci. Soc. Amer. J. 72: pp 791-797.

Nilawonk, W., T. Attanandana., and Y. Russell, 2010. Determining plant- available potassium in representative maize soils of Thailand. ASA, CSSA, and SSSA 2010 International annual meeting, Oct.31- Nov.4, Long Beach, CA.

Ning, T.Y., G.Q. Shao, Z.J. Li, H.F. Han, H.G. Hu, Y. Wang, S.Z. Tian, and S.Y. Chi. 2012. Effects of urea types and irrigation on crop uptake, soil residual, and loss of N in maize field on the North China Plain. Plant Soil Environ., 58(1): pp1-8.

Nurhidayati, A. Basit, and Sunawan. 2013. Residual effect of ammonium sulfate substitution on soil properties and productivity of plant and ratoon cane. Agricultural Science, 1(3): pp1-12.

Rama Lakshmi, CH. S., P. Chandrasekhar Rao, T. Sreelatha, M. Madhavi, G. Padmaja and P.V. Rao. 2015. Residual effect of organic and inorganic nutrient sources on macro and micro nutrient status of rabi greengram under rice-greengram cropping system. Legume Research, 38(4): pp496-502.

Savci, C. 2012. An agricultural pollutant: Chemical fertilizer. International Journal of Environmental Science and Development, 3(1): pp77-80.

Tao, R., Y. Liang, S.A. Wakelin, and G. Chu. 2015. Supplementing chemical fertilizer with an organic component increases soil biological function and quality. Applied Soil Ecology, 96: pp 42-51.

Topbas, M.T., A.R. Brohi, M.R. Karaman, and T.C. Cevre Kirliligi.1998. Cevre Bakanligi Yayinlar, Ankara.

Weil,R., Islem, R.K.R., Stien, M.A., Gruver, J.J. and Samson-Liebig. S.E. 2003. **Estimate active carbon for soil quality assessment: A simplified method for laboratory and field use.** American Journal of Alternative Agriculture 18 : 1-16.

Wright, S.F. and A.Upadhyaya. 1998. **A survey of soil for aggregates stability and glomalin, a gylcoprotein produced by hyphea of arbuscular mycorrhizal fungi.** Plant and Soil 198 : 97-107.

Wu, J., Brookes, P.C and Jenkinson, D.S., 1993. **Formation and destruction of microbial biomass during the decomposition of glucose and ryegrass in soil.**Soil Biology &Biochemistry25:1435-1441.

Wookey, B. 1987. The story of an organic farm. New York: Basil Blackwell. 209pp.

Yang, Z., L. Zhou, Y. Lv, and H. Li. 2011. Long-term effects of crop residual and inorganic fertilizers on yield and soil organic matter for a winter wheat-maize system in North China Plain. Advanced Material Research, 356: pp2523-2530.

Yuan X.M., Wang Z.Q. (2000): Nitrate nitrogen leaching and factors influencing it. Arid Zone Research, 17: pp 46–52.

Zhao, J., T. Ni, J. Li, Q. Lu, Z. Fang, Q. Huang, R. Zhang, R. Li, B. Shen, and Q. Shen. 2016. Effects of organic-inorganic compound fertilizer with reduced chemical fertilizer application on crop yields, soil biological activity and bacterial community structure in a rice-wheat cropping system. Applied Soil Ecology, 99: pp. 1-12.

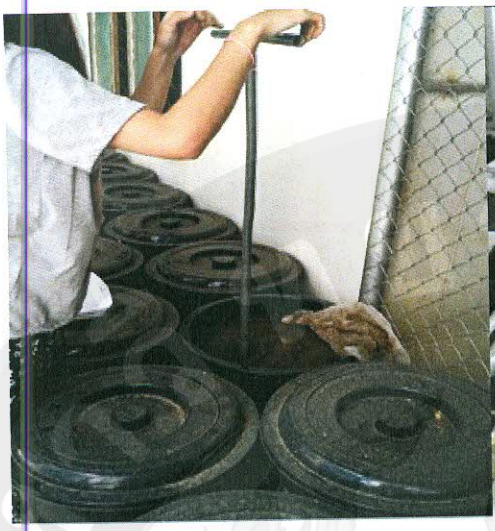
ภาคผนวก

โครงการย่อยที่ 1 ผลของปุ๋ยเคมีต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของดินในระยะปรับเปลี่ยนระบบเกษตรอินทรีย์

ภาพผนวกที่ 1 Soil incubation under aerobic condition and field capacity moisture.

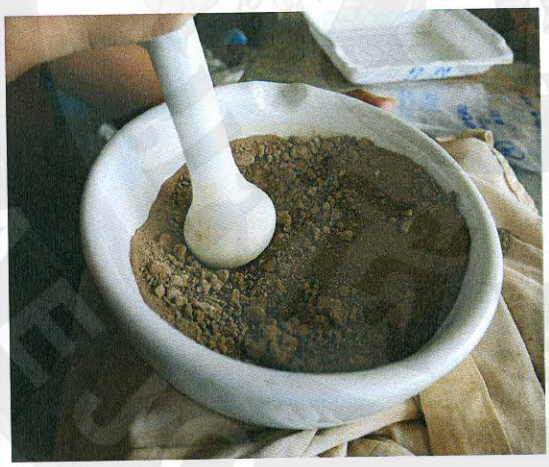
ภาพผนวกที่ 2 Bring soil to field capacity.

ภาพผนวกที่ 3 Soil sampling.



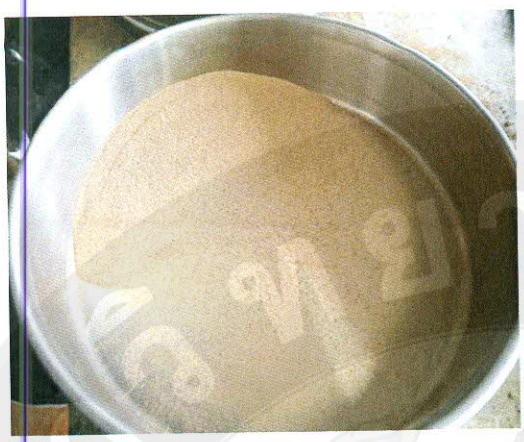
ภาพผนวกที่ 4Soil tube.

ภาพผนวกที่ 5 Air dried soils.

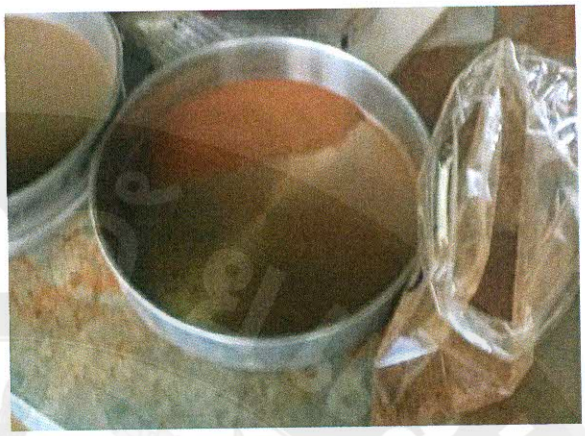


ภาพผนวกที่ 6 Soil crushing.

ภาพผนวกที่ 7 Soil sieving.



ภาพผนวกที่ 8 Soil 0.5 mm. particle sizes.



ภาพผนวกที่ 9 Soil 2 mm. particle sizes.

ภาพผนวกที่ 10 Soil packaging in plastic bags.

โครงการย่อยที่ 3 การจัดการปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาปรับปรุงดินในระยะปรับเปลี่ยนเพื่อเข้าสู่ระบบเกษตรอินทรีย์

ปัญหาของความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินปลูกข้าวอินทรีย์
(Problem of Availability of Phosphorus in Organic Paddy Soil)

สุภธิดา อ่ำทอง[1*], ณฐมล กันธิยะ[1] และปวีณ์นุช ปวงวงศ์คำ[1]
Suphathida Aumtong[1*], Nathamol Kunthiya[1] and Paweenoot Pongwongkam[1]

Abstract

Organic agriculture or organic farming is an agricultural system of using organic substances with emphasis on the improvement of the soil. Phosphorus (P) is a nutrient that plants need in large quantities and essential for the growth of plants. This study was aimed to investigate the effects of soil management for 10 years conversion from conventional rice farming (CRF) into organic rice farming (ORF) with focus on the amount of inorganic phosphorus fractions and some properties such as soil pH, soil organic carbon, available phosphorus and amount of clay particles in the soil. For this particular study, the experiment was conducted in rice plots of farmers who were divided into two groups: organic and conventional, with 11 farmer plots in each group and each plot having 3 replications with each replication consisting of 4 soil depth levels (0-5, 5-10, 10-15 and 15-30 cm). Results showed that in CRF, the amount of available inorganic phosphorus was higher than ORF. Meanwhile Solution-P was lower in ORF soil than CRF at 0-5 cm and aluminum phosphate (Al-P) in CRF was higher in ORF at 0-5 and 10-15 cm soil depth. Findings also showed that CRF and ORF were not different in iron phosphate (Fe-P), reductant phosphate (P-Red) and calcium phosphate (Ca-P) at 0-5cm. Available P was also found highest in CRF soil that was applied with chemical fertilizer. Decrease in the availability of phosphorus in CRF was due to the transformation of soil phosphorus into moderate labile form because of the change of Al-P form in the soil. Meanwhile, ORF was applied by organic fertilizers such as compost, animal manure and rice straw residue which were of low availability of phosphorus. Therefore, organic fertilizer management of soil under organic rice system is necessary for the understanding of the increase in the growth, quantity and quality of rice yield including efficient use of fertilizer.

Keywords: organic farming, paddy soil, phosphorus

บทคัดย่อ

เกษตรอินทรีย์ (organic agriculture หรือ organic farming) เป็นวิธีการใช้สารอินทรีย์ในการปรับปรุงบำรุงดิน และฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารพืชที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชภายในระบบการปลูกพืชโดยเฉพาะระบบอินทรีย์ การศึกษามีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการจัดการดินของการปลูกข้าวที่ปฏิบัติกันทั่วไปหรือระบบเคมี (conventional rice farming, CRF) ที่เปลี่ยนมาเป็นการปลูกข้าวอินทรีย์ (organic rice farming, ORF) เป็นเวลา 10 ปีที่มีต่อปริมาณอินทรีย์ฟอสฟอรัสส่วนต่างๆ โดยเก็บตัวอย่างดินกลุ่มปลูกข้าวอินทรีย์และกลุ่มปลูกข้าวเคมี ซึ่งมีตัวอย่างกลุ่มละ 11 แปลง โดยแต่ละแปลงประกอบด้วย 3 แปลงย่อย และแต่ละแปลงย่อยเก็บตัวอย่าง 4 ความลึก ได้แก่ 0-5, 5-10, 10-15 และ 15-30 ซม. ทำการวิเคราะห์ธาตุฟอสฟอรัสส่วนต่างๆ ได้แก่ ฟอสฟอรัสในสารละลาย (soluble –P) อะลูมินัมฟอสเฟต (Al-P) เหล็กฟอสเฟต (Fe-P) แคลเซียมฟอสเฟต (Ca-P) และรีดักเตรน-ฟอสเฟต (reductant phosphate , P-Red) สำหรับสมบัติของดิน ได้แก่ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อินทรีย์คาร์บอน ปริมาณอนุภาคดินเหนียว และ pH ของดิน ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน CRF สูงกว่าดิน ORF อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความลึก 0-5, 5-10 และ 10-15 cm ขณะเดียวกันพบว่าดิน ORF มีปริมาณ P-solution และ Al-P ต่ำกว่าดิน CRF และในส่วนของปริมาณ Fe-P, P-Red และ Ca-P มีค่าไม่แตกต่างจากดิน CRF ที่ระดับความลึก 0-5 ซม. และพบว่าปริมาณ Al-P ในดิน CRF สูงกว่าดิน ORF ทั้งในดินที่ระดับความลึก 0-5 และ 10-15 ซม. ทั้งนี้เนื่องจากเกษตรกร

[1]สาขาวิชาปฐพีศาสตร์ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่
[1]Soil Science Program, Agricultural Production Faculty, Maejo University, Thailand 50290
*Corresponding author: suphathidaaumtong@yahoo.com

ภาพผนวกที่ 11 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสำหรับนำเสนอในงานประชุมวิชาการเกษตรนเรศวรครั้งที่ 14 ณ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ภาพผนวกที่ 12 ผลการลงทะเบียนเพื่อนำเสนอในงานประชุมวิชาการเกษตรนเรศวรครั้งที่ 14 ณ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ประวัติคณะผู้วิจัย

ประวัติคณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัย

ชื่อ-สกุล **รองศาสตราจารย์ ดร.อานัฐ ตันโช**

Associate Professor Dr. Arnat Tancho

เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3 2007 00287 83 6

ตำแหน่งปัจจุบัน รองศาสตราจารย์ ระดับ 9

หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อ

ภาควิชาทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อม คณะผลิตกรรมการเกษตร

มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ต.หนองหาร อ. สันทราย จ. เชียงใหม่ 50290

โทรศัพท์ 053- 873490 ต่อ 107 โทรสาร 053-873490 ต่อ 200

Email - arnat009@yahoo.com

ประวัติการศึกษา

2535-2539	ปริญญาเอก : Ph.D (Applied Biological Sciences)ทาง Soil Ecotoxicology and Soil Microbiology Katholieke Universiteit Leuven ประเทศเบลเยี่ยม
2526-2528	ปริญญาโท: วท.ม. (เกษตรศาสตร์) สาขาปฐพีวิทยา ทางจุลชีววิทยาของดิน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
2522-2526	ปริญญาตรี : วท.บ (เกษตรศาสตร์) สาขาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
2517-2522	มัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลายสายสามัญ โรงเรียนอัสสัมชัญศรีราชา

สาขาวิชาที่มีความชำนาญพิเศษ

- การใช้ไส้เดือนดินกำจัดขยะอินทรีย์และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร
- การปลูกผักในระบบไฮโดรโพนิคส์
- เกษตรธรรมชาติ และการใช้จุลินทรีย์ท้องถิ่น
- การนำอุจจาระและปัสสาวะไปใช้ทางการเกษตรตามมาตรฐานของสหภาพยุโรป (EU)

งานวิจัยที่กำลังทำ

7.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย : ศักยภาพของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินท้องถิ่นไทย ที่ผลิตจากขยะอินทรีย์ต่อระบบการเกษตรและสิ่งแวดล้อม (Potential of Vermicompost from Local Thai Earthworms and Various Organic Wastes on Agricultural Systems and Environment) ปี 2555-2556 อยู่ระหว่างดำเนินการวิจัย

7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย : ศึกษากิจกรรมของจุลินทรีย์ดินและชนิดอินทรียวัตถุที่เกิดขึ้นจากไส้เดือนดินและปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน (Study on Soil Microbial Activities and Types of Organic Matter Affected by Various Earthworms and Vermicompost) ปี 2555-2556 อยู่ระหว่างดำเนินการวิจัย

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องและทำเสร็จแล้ว

2554-2555 หัวหน้าโครงการวิจัยต้นแบบการปลูกพืชอินทรีย์ในพื้นที่ขาดความอุดมสมบูรณ์ (แหล่งทุน มูลนิธิโครงการหลวง)

2554 หัวหน้าโครงการ โครงการถ่ายทอดเทคโนโลยีต้นแบบการคัดแยกและจัดเก็บปัสสาวะและอุจจาระมนุษย์อย่างถูกสุขลักษณะ เพื่อประโยชน์ทางการเกษตรและอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม (สผ.)

2553 หัวหน้าโครงการวิจัยต้นแบบการกำจัดขยะอินทรีย์ภายใน 24 ชั่วโมง (แหล่งทุน สวทช)

2553 หัวหน้าโครงการวิจัยต้นแบบการปลูกพืชอินทรีย์ในระบบเคลื่อนย้ายได้ (แหล่งทุน สวทช)

2552 หัวหน้าโครงการถ่ายทอดเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการจัดการขยะอินทรีย์สำหรับชุมชนขนาดย่อม ของศูนย์สารสนเทศไส้เดือนดิน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ (แหล่งทุน สำนักงานกองทุนสิ่งแวดล้อม (สผ.))

2552 หัวหน้าโครงการศึกษาวิจัยต้นแบบการใช้ปัสสาวะมนุษย์เพื่อการผลิตพืชอย่างถูกสุขอนามัย (แหล่งทุน สวทช)

2552 หัวหน้าโครงการการทดสอบหาไส้เดือนดินสายพันธุ์ที่เหมาะสมเพื่อเลี้ยงร่วมกับการปลูกพืชในแปลงปลูกเกษตรกรเพื่อปรับปรุงโครงสร้างและเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินในพื้นที่การเกษตรบนที่สูงอย่างยั่งยืน (แหล่งทุน มูลนิธิโครงการหลวง)

2551 หัวหน้าโครงการการทดสอบหาไส้เดือนดินสายพันธุ์ที่เหมาะสมเพื่อเลี้ยงร่วมกับการปลูกพืชในแปลงปลูกเกษตรกรเพื่อปรับปรุงโครงสร้างและเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินในพื้นที่การเกษตรบนที่สูงอย่างยั่งยืน (แหล่งทุน มูลนิธิโครงการหลวง)

2551 หัวหน้าโครงการการทดสอบเลี้ยงไส้เดือนดินในแปลงปลูกพืชเพื่อปรับปรุงโครงสร้างและเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน (แหล่งทุน สวทช)

<u>สิ่งพิมพ์ /บทความ</u>

อานัฐ ตันโช. 2554 . อควาโพนิคส์ (Aquaponics): เทคโนโลยีการเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพืชในน้ำ. นิตยสารเกษตรกรก้าวหน้า. ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 ตุลาคม 2553.

อานัฐ ตันโช. 2554 . Human Urine Composting: สุขภัณฑ์อัจฉริยะเพื่อการเกษตร. นิตยสารเกษตรกรก้าวหน้า. ปีที่ 1 ฉบับที่ 2 พฤศจิกายน 2553.

อานัฐ ตันโช. 2554 . Vertical Farm: ฟาร์มเกษตรแนวตั้ง. นิตยสารเกษตรกรก้าวหน้า. ปีที่ 1 ฉบับที่ 3 ธันวาคม 2553.

อานัฐ ตันโช. 2554 . Precision Agriculture: เกษตรไอที... (ตอน1). นิตยสารเกษตรกรก้าวหน้า. ปีที่ 1 ฉบับที่ 4 มกราคม 2554.

อานัฐ ตันโช. 2554 . เทคโนโลยีสร้างพืชทนแล้ง. นิตยสารเกษตรกรก้าวหน้า. ปีที่ 1 ฉบับที่ 5 กุมภาพันธ์ 2554.

อานัฐ ตันโช. 2554 . เทคโนโลยีการปลูกพืชนอกฤดู. นิตยสารเกษตรกรก้าวหน้า. ปีที่ 1 ฉบับที่ 6 มีนาคม 2554.

อานัฐ ตันโช. 2554 . นาโนเทคโนโลยีการเลี้ยงสัตว์หน้าร้อน. นิตยสารเกษตรกรก้าวหน้า. ปีที่ 1 ฉบับที่ 7 เมษายน 2554.

อานัฐ ตันโช และสุลีรัก อารักษณ์ธรรม. 2551. การจัดสภาพแวดล้อมในแปลงปลูกพืชเพื่อชักนำไส้เดือนดินเข้าอาศัยในแปลง. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ประจำปี 2551 มูลนิธิโครงการหลวง, เชียงใหม่. หน้า 404.

<u>เอกสาร /ตำรา</u>

เรื่อง	ปีที่พิมพ์	จำนวนหน้า
1. เกษตรธรรมชาติประยุกต์ 2556	2556	340 หน้า
2. Textbook in Natural Farming	2556	584 หน้า
3. คู่มือการคัดแยกปัสสาวะและอุจจาระมนุษย์เพื่อการเกษตรและอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมตามมาตรฐาน EU	2555	124 หน้า
4. DVD การปลูกพืชผักไฮโดรโพนิคส์	2554	60 นาที
5. เกษตรธรรมชาติฉบับการ์ตูน พิมพ์ครั้งที่ 4	2554	72 หน้า
6. คู่มือการผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินจากขยะอินทรีย์. พิมพ์ครั้งที่ 3	2553	114 หน้า
7. DVD การผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินจากขยะอินทรีย์	2552	33 นาที
8. คู่มือการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน(ไฮโดรโพนิคส์) พิมพ์ครั้งที่ 3	2552	65 หน้า
9. คู่มือการผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินจากขยะอินทรีย์	2552	114 หน้า
10. คู่มือการผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินจากขยะอินทรีย์. พิมพ์ครั้งที่ 2	2552	114 หน้า
11. เกษตรธรรมชาติประยุกต์ แนวคิด หลักการ เทคนิคปฏิบัติในประเทศไทย	2551	371 หน้า
12. เกษตรธรรมชาติฉบับการ์ตูน พิมพ์ครั้งที่ 3	2551	56 หน้า

ผลงานตีพิมพ์

อานัฐ ตันโช และสุลีรัก อารักษณ์ธรรม. 2551. การจัดสภาพแวดล้อมในแปลงปลูกพืชเพื่อชักนำไส้เดือนดินเข้าอาศัยในแปลง. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ประจำปี 2551 มูลนิธิโครงการหลวง, เชียงใหม่. หน้า 404.

จีรวัฒน์ นวนพุดซา และอานัฐ ตันโช . 2550. การศึกษาอัตราการย่อยสลายขยะอินทรีย์ชนิดต่างๆโดยไส้เดือนดินสายพันธุ์ท้องถิ่นและสายพันธุ์ต่างประเทศที่เป็นการค้า. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ประจำปี 2550 มูลนิธิโครงการหลวง, เชียงใหม่. หน้า425-426.

สุนิภาพร แก้วขุนทอง และอานัฐ ตันโช . 2550. การผลิตน้ำโบรอนจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ประจำปี 2550 มูลนิธิโครงการหลวง, เชียงใหม่. หน้า 423-424.

สุลีรัก อารักษณ์ธรรม และอานัฐ ตันโช . 2550. การทดสอบประสิทธิภาพการย่อยสลายขยะอินทรีย์ของไส้เดือนดินที่สำรวจและเก็บรวบรวมได้จากพื้นที่สูงของศูนย์พัฒนาโครงการหลวง. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ประจำปี 2550 มูลนิธิโครงการหลวง, เชียงใหม่. หน้า427-428.

อานัฐ ตันโช และสุนิภาพร แก้วขุนทอง . 2550. การผลิตน้ำแมกนีเซียมจากมูลสัตว์. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ประจำปี 2550 มูลนิธิโครงการหลวง, เชียงใหม่. หน้า421-422.

อานัฐ ตันโช และสุนิภาพร แก้วขุนทอง. 2550. การผลิตและทดสอบธาตุอาหารรองอินทรีย์และจุลธาตุอินทรีย์เชิงเดี่ยวที่ ผลิตจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเพื่อการผลิตพืชอินทรีย์ในพื้นที่โครงการหลวง. รายงานวิจัยฉบับ สมบูรณ์ประจำปี 2550 มูลนิธิโครงการหลวง, เชียงใหม่. หน้า421-422.

ณิฏฐา และอานัฐ ตันโช. 2549.ศักยภาพของน้ำแคลเซียมอินทรีย์ที่มีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของมะเขือเทศ. ผลงานวิจัยของมูลนิธิโครงการหลวงประจำปี 2549 มูลนิธิโครงการหลวง, เชียงใหม่. หน้า 319-327.

อานัฐ ตันโช และณิฏฐา คุ้มโต.2549.เทคนิคการผลิตน้ำแคลเซียมอินทรีย์จากเปลือกไข่และเปลือกหอย. ผลงานวิจัยของมูลนิธิโครงการหลวงประจำปี 2549 มูลนิธิโครงการหลวง, เชียงใหม่ .หน้า 311-318.

ณิฏฐา คุ้มโต และอานัฐ ตันโช. 2548.การผลิตน้ำแคลเซียมอินทรีย์จากเปลือกไข่และเปลือกหอย. ผลงานวิจัยของมูลนิธิโครงการหลวงประจำปี 2548 มูลนิธิโครงการหลวง, เชียงใหม่ . หน้า 465.

สุมา หนูแก้ว และอานัฐ ตันโช. 2548. การศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพและปริมาณของปุ๋ยมูล

ไส้เดือนดินที่ได้จากการย่อยสลายขยะอินทรีย์ต่างๆ ของไส้เดือนดินกำจัดขยะที่เป็นการค้า. ผลงานวิจัยของมูลนิธิโครงการหลวงประจำปี2548 มูลนิธิโครงการหลวง, เชียงใหม่ . หน้า 473-474.

พัชรินทร์ พุทธฤทธิ์ และอานัฐ ตันโช. 2548. สูตรธาตุอาหารพืชและระบบที่เหมาะสมในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินผลงานวิจัยของมูลนิธิโครงการหลวงประจำปี 2548 มูลนิธิโครงการหลวง, เชียงใหม่ . หน้า 470.

นิรันดร์ หิรัญสุข และอานัฐ ตันโช. 2548. ศักยภาพจากไส้เดือนดินสายพันธุ์ *Pheretima peguana*ในการย่อยสลายขยะอินทรีย์ และการผลิตปุ๋ยหมักในสภาพเลียนแบบธรรมชาติ. ผลงานวิจัยของมูลนิธิโครงการหลวงประจำปี2548 มูลนิธิโครงการหลวง, เชียงใหม่ . หน้า 470.

อานัฐ ตันโช ยุพา ขันคำ ณรงค์ชัย พิพัฒน์ธนวงศ์ และเวช เต๋จ๊ะ. 2548. บทบาทซิลิกอนต่อผลผลิตสตรอเบอรี่. ผลงานวิจัยของมูลนิธิโครงการหลวงประจำปี2548 มูลนิธิโครงการหลวง, เชียงใหม่ . หน้า 468-469.

ณรงค์ชัย พิพัฒน์ธนวงศ์ ยุพา ขันคำ อานัฐ ตันโช และเวช เต๋จ๊ะ. 2548. บทบาทแคลเซียมต่อการผลิตสตรอเบอรี่. ผลงานวิจัยของมูลนิธิโครงการหลวงประจำปี2548 มูลนิธิโครงการหลวง, เชียงใหม่ . หน้า 466-467.

ยุพา ขันคำ เวช เต๋จ๊ะ อานัฐ ตันโช และณรงค์ชัย พิพัฒน์วงศ์.2548.บทบาทซิลิกอนและแคลเซียมต่อการผลิตสตรอเบอรี่. ผลงานวิจัยของมูลนิธิโครงการหลวงประจำปี2548 มูลนิธิโครงการหลวง, เชียงใหม่ .หน้า 335-343.

อานัฐ ตันโช และสุมา หนูแก้ว.2548.การผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินจากขยะอินทรีย์ชุมชนและวัสดุเหลือใช้ในการเกษตร. ผลงานวิจัยของมูลนิธิโครงการหลวงประจำปี 2548 มูลนิธิโครงการหลวง, เชียงใหม่ .หน้า 317-325.

อานัฐ ตันโช. 2548. การผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินจากขยะอินทรีย์ชุมชนและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร. รายงานการประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ 6 วันที่ 19-20 พฤษภาคม 2548 ณ ศูนย์การศึกษาและฝึกอบรมนานาชาติ มหาวิทยาลัยแม่โจ้, เชียงใหม่. หน้า 42-43.

อานัฐ ตันโช เรืองฤทธิ์ ริณพัฒน์ และนิรันดร์ หิรัญสุข. 2547. ต้นแบบการผลิตผักในระบบการเกษตรยั่งยืนและเกษตรธรรมชาติ สำหรับพื้นที่เกษตรกรรมในที่สูงของมูลนิธิโครงการหลวง. รายงานวิจัยประจำปีตามโครงการวิจัยที่ 3011-3164 งบประมาณปี 2547 มูลนิธิโครงการหลวง. 104 น.

อานัฐ ตันโช พัชรินทร์ พุทธฤทธิ์ และวีรดา หล้าเบอะ. 2547. การศึกษาการจัดการธาตุอาหารพืชในระบบการปลูกผักไร้ดิน. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ตามโครงการวิจัยที่ 3011-3044 งบประมาณปี 2545-2547 มูลนิธิโครงการหลวง. 78 น.

กรรณิการ์ สุยะวงศ์ อานัฐ ตันโช และพิรุณรัตน์ พัฒโนดม. 2547. การนำน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปดอกดาวเรืองมาใช้ในการผลิตผัก. รายงานการประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ 5 วันที่ 21-20 พฤษภาคม 2547 ณ ศูนย์การศึกษาและฝึกอบรมนานาชาติ มหาวิทยาลัยแม่โจ้, เชียงใหม่. หน้า 149-155.

วันดี พึ่งเจาะ และอานัฐ ตันโช. 2547. การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปดอกดาวเรือง. รายงานการประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ 5 วันที่ 21-20 พฤษภาคม 2547 ณ ศูนย์การศึกษาและฝึกอบรมนานาชาติ มหาวิทยาลัยแม่โจ้, เชียงใหม่. หน้า 156-163.

อานัฐ ตันโช พัชรินทร์ พุทธฤทธิ์ และจารุภรณ์ โต๊ะแสง. 2546. การศึกษาการจัดการธาตุอาหารพืชในระบบการปลูกผักไร้ดิน. รายงานวิจัยประจำปีตามโครงการวิจัยที่ 3011-3044 งบประมาณปี 2546. 64 น.

อานัฐ ตันโช สามารถ ใจเตี้ย และนิรันดร์ หิรัญสุข. 2546. การทำปุ๋ยหมักจากขยะชุมชนที่ย่อยสลายได้ร่วมกับการใช้เชื้อจุลินทรีย์และไส้เดือนดิน. รายงานการวิจัยปี 2546 สำนักวิจัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้.33 น.

อานัฐ ตันโช และรวมพร มูลจันทร์. 2545. การทำปุ๋ยหมักจากขยะชุมชนที่ย่อยสลายได้ร่วมกับการใช้เชื้อจุลินทรีย์และไส้เดือนดิน. รายงานการวิจัยปี 2545 สำนักวิจัยมหาวิทยาลัยแม่โจ้.51 น.

อานัฐ ตันโช และเรืองฤทธิ์ ริณพัฒน์. 2545. การทำปุ๋ยหมักจากขยะชุมชนที่ย่อยสลายได้ร่วมกับการใช้เชื้อจุลินทรีย์และไส้เดือนดิน. รายงานการวิจัยปี 2545 สำนักวิจัยมหาวิทยาลัยแม่โจ้. 46 น.

อานัฐ ตันโช. 2545. รายงานการทำวิจัยระยะสั้น ณ ประเทศเดนมาร์ก ระหว่างวันที่ 27 ตุลาคม - 27 ธันวาคม 2545. TUCED-DUCED SLUSE. หน้า 76-113.

<u>เอกสาร /ตำรา /บทความ</u>

อานัฐ ตันโช. 2552. วีดีทัศน์ (ดีวีดี) เรื่อง คู่มือการผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินจากขยะอินทรีย์. กองทุนปุ๋ยอินทรีย์และไฮโดรโพนิคส์ มูลนิธิโครงการหลวง, เชียงใหม่ .ความยาว 33 นาที

อานัฐ ตันโช. 2552. คู่มือการผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินจากขยะอินทรีย์. กองทุนปุ๋ยอินทรีย์และไฮโดรโพนิคส์ มูลนิธิโครงการหลวง, เชียงใหม่ .114 หน้า.

อานัฐ ตันโช. 2551. เกษตรธรรมชาติฉบับการ์ตูน พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.), ศูนย์หนังสือสวทช, ปทุมธานี.56 หน้า.

อานัฐ ตันโช. 2551. เกษตรธรรมชาติประยุกต์ แนวคิด หลักการ เทคนิคปฏิบัติในประเทศไทย. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.), ศูนย์หนังสือสวทช, 371 หน้า.

อานัฐ ตันโช.2550.ไส้เดือนดิน พิมพ์ครั้งที่ 2 .สำนักพิมพ์ทรีโอ แอดเวอร์ไทซิ่ง แอนด์ มีเดีย จำกัด, เชียงใหม่. 259 หน้า.

อานัฐ ตันโช.2550.คู่มือการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน(ไฮโดรโพนิคส์) พิมพ์ครั้งที่ 2.สำนักพิมพ์ทรีโอ แอดเวอร์ไทซิ่ง แอนด์ มีเดีย จำกัด, เชียงใหม่. 65 หน้า.

กฮงบรรณาธิการ. 2549. บทสัมภาษณ์ ดร.อานัฐ ตันโช :การเลี้ยงหมูโดยวิธีเกษตรธรรมชาติ. วารสารเกษตรกรรมธรรมชาติ. 9 (5): 11-15.

อานัฐ ตันโช. 2549. การเลี้ยงไก่ในระบบเกษตรธรรมชาติ : การเลี้ยงไก่แบบอินทรีย์. โครงการถ่ายทอดการเลี้ยงสัตว์ปีกแบบอินทรีย์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้, เชียงใหม่. หน้า 65-75.

อานัฐ ตันโช.2549.คู่มือการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน(ไฮโดรโพนิคส์).สำนักพิมพ์ทรีโอ แอดเวอร์ไทซิ่ง แอนด์ มีเดีย จำกัด, เชียงใหม่. 65 หน้า.

อานัฐ ตันโช.2549.ไส้เดือนดิน.สำนักพิมพ์ทรีโอ แอดเวอร์ไทซิ่ง แอนด์ มีเดีย จำกัด, เชียงใหม่.259 หน้า.

อานัฐ ตันโช. 2549. เกษตรธรรมชาติประยุกต์ แนวคิด หลักการ เทคนิคปฏิบัติในประเทศไทย. ศูนย์หนังสือสวทช.ปทุมธานี.300 หน้า.

อานัฐ ตันโช. 2549. เกษตรธรรมชาติ :น้ำส้มควันไม้กลั่นทางเลือกใหม่สำหรับเกษตรกรไทย.นิตยสารเทคโนโลยีเกษตร.6 (61):51-54 .

อานัฐ ตันโช. 2549. เกษตรธรรมชาติ :ทฤษฎีเกษตรธรรมชาติ(1)..นิตยสารเทคโนโลยีเกษตร.6 (64):84-86.

อานัฐ ตันโช. 2549. เกษตรธรรมชาติ :ทฤษฎีเกษตรธรรมชาติ(2).นิตยสารเทคโนโลยีเกษตร.6 (65):84-86.

อานัฐ ตันโช. 2549. เกษตรธรรมชาติ.นิตยสารเทคโนโลยีเกษตร.6 (66):84-86 .

อานัฐ ตันโช. 2549. เกษตรธรรมชาติ :ปัจจัยการผลิต และเครื่องมือในการทำเกษตรธรรมชาติ (1)..นิตยสารเทคโนโลยีเกษตร.6 (67):84-86 .

อานัฐ ตันโช. 2549. เกษตรธรรมชาติ :ปัจจัยการผลิต และเครื่องมือในการทำเกษตรธรรมชาติ (2).นิตยสารเทคโนโลยีเกษตร. 6 (68):80-83 .

อานัฐ ตันโช. 2549. เกษตรธรรมชาติ :ปัจจัยการผลิต และเครื่องมือในการทำเกษตรธรรมชาติ (3).นิตยสารเทคโนโลยีเกษตร.6 (69):78-80 .

อานัฐ ตันโช. 2549. เกษตรธรรมชาติ :ปัจจัยการผลิต และเครื่องมือในการทำเกษตรธรรมชาติ (4).นิตยสารเทคโนโลยีเกษตร.6 (70):78-81 .

อานัฐ ตันโช. 2549. เกษตรธรรมชาติ :ปัจจัยการผลิต และเครื่องมือในการทำเกษตรธรรมชาติ (5)..นิตยสารเทคโนโลยีเกษตร.6 (71):78-80 .

อานัฐ ตันโช. 2549. เกษตรธรรมชาติ :ปัจจัยการผลิต และเครื่องมือในการทำเกษตรธรรมชาติ (6)..นิตยสารเทคโนโลยีเกษตร.6 (72):78-80 .

อานัฐ ตันโช. 2549. เกษตรธรรมชาติ :ปัจจัยการผลิต และเครื่องมือในการทำเกษตรธรรมชาติ (7)..นิตยสารเทคโนโลยีเกษตร.6 (73):78-80 .

อานัฐ ตันโช. 2548. ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน. วารสารไม้ดอกไม้ประดับ. 4 (43): 61-68.

อานัฐ ตันโช. 2548. ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน. วารสารไม้ดอกไม้ประดับ. 4 (44): 57-59.

อานัฐ ตันโช. 2548. ชุดปลูกไฮโดรโพนิคส์หลังบ้าน. วารสารเพื่อนเกษตรไทย. 2 (14): 14-17.

อานัฐ ตันโช. 2548. เอกสารคำสอน วิชา ดป 489 เกษตรธรรมชาติ. ภาควิชาทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อม คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่. 200 หน้า

อานัฐ ตันโช. 2548. เอกสารคำสอน วิชา ดป 488 ระบบการปลูกพืชไร้ดิน. พิมพ์ครั้งที่ 1. บริษัท ทรีโอ แอดเวอร์ไทซิ่ง แอนด์ มีเดีย จำกัด เชียงใหม่. 167 หน้า

อานัฐ ตันโช. 2548. เทคนิคการผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 72 หน้า ISBN 974-2297575 กรกฎาคม 2548 จำนวน 1,000 เล่ม

อานัฐ ตันโช. 2548. การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน. พิมพ์ครั้งที่ 1. บริษัท ทรีโอ แอดเวอร์ไทซิ่ง แอนด์ มีเดีย จำกัด เชียงใหม่. 167 หน้า ISBN 974-9650-41-7 มิถุนายน 2548 จำนวน 1,500 เล่ม

อานัฐ ตันโช. 2548. เกษตรธรรมชาติ แนวคิด หลักการ และจุลินทรีย์ท้องถิ่น ฉบับการ์ตูน. พิมพ์ครั้งที่ 2. บริษัท ทรีโอ แอดเวอร์ไทซิ่ง แอนด์ มีเดีย จำกัด เชียงใหม่. 52 หน้า ISBN 974-92544-7-3 มีนาคม 2548 จำนวน 5,000 เล่ม

อานัฐ ตันโช. 2548. เกษตรธรรมชาติ แนวคิด หลักการ และจุลินทรีย์ท้องถิ่น. พิมพ์ครั้งที่ 5. บริษัททรีโอ แอดเวอร์ไทซิ่ง แอนด์ มีเดีย จำกัด เชียงใหม่. 146 หน้า ISBN 974-226-108-3 มีนาคม 2548 จำนวน 1,000 เล่ม

อานัฐ ตันโช. 2548. เกษตรธรรมชาติ แนวคิด หลักการ และจุลินทรีย์ท้องถิ่น. พิมพ์ครั้งที่ 4. บริษัททรีโอ แอดเวอร์ไทซิ่ง แอนด์ มีเดีย จำกัด เชียงใหม่. 146 หน้า ISBN 974-226-108-3 มีนาคม 2548 จำนวน 5,000 เล่ม

อานัฐ ตันโช. 2548. มาทำความรู้จัก "ไส้เดือน". วารสารเกษตรกรรมธรรมชาติ. 8 (1): 21-27.

อานัฐ ตันโช. 2548. การเลี้ยง "ไส้เดือนดิน" ในโรงเรือนเพื่อใช้กำจัดขยะชุมชน. วารสารเกษตรธรรมชาติ. 8(1): 28-34.

อานัฐ ตันโช. 2548. ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน. วารสารไม้ดอกไม้ประดับ. 4 (43): 61-64.

อานัฐ ตันโช. 2548. เทคนิคการผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินจากขยะอินทรีย์. วารสารโครงการหลวง. 9(2): 31-38.

อานัฐ ตันโช. 2548. 16 น้ำหมักจุลินทรีย์. วารสารเกษตรกรรมธรรมชาติ. 8 (3): 21-28.

อานัฐ ตันโช. 2548. จุลินทรีย์ท้องถิ่นและน้ำหมักจุลินทรีย์. วารสารเกษตรกรรมธรรมชาติ. 8 (3): 21-28.

อานัฐ ตันโช. 2548. เอกสารคำสอน วิชา คป 489 เกษตรธรรมชาติ. ภาควิชาทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อม คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่. 200 หน้า

อานัฐ ตันโช. 2548. เทคนิคการผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 72 หน้า ISBN 974-2297575 กรกฎาคม 2548 จำนวน 1,000 เล่ม

อานัฐ ตันโช. 2548. เอกสารคำสอน วิชา คป 488 ระบบการปลูกพืชไร้ดิน. พิมพ์ครั้งที่ 1. บริษัท ทรีโอ แอดเวอร์ไทซิ่ง แอนด์ มีเดีย จำกัด เชียงใหม่. 167 หน้า

อานัฐ ตันโช. 2548. การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน. พิมพ์ครั้งที่ 1. บริษัท ทรีโอ แอดเวอร์ไทซิ่ง แอนด์ มีเดีย จำกัด เชียงใหม่. 167 หน้า ISBN 974-9650-41-7 มิถุนายน 2548 จำนวน 1,500 เล่ม

อานัฐ ตันโช. 2548. เกษตรธรรมชาติ แนวคิด หลักการ และจุลินทรีย์ท้องถิ่น ฉบับการ์ตูน. พิมพ์ครั้งที่ 2. บริษัท ทรีโอ แอดเวอร์ไทซิ่ง แอนด์ มีเดีย จำกัด เชียงใหม่. 52 หน้า ISBN 974-92544-7-3 มีนาคม 2548 จำนวน 5,000 เล่ม

อานัฐ ตันโช. 2548. เกษตรธรรมชาติ แนวคิด หลักการ และจุลินทรีย์ท้องถิ่น. พิมพ์ครั้งที่ 5. บริษัททรีโอ แอดเวอร์ไทซิ่ง แอนด์ มีเดีย จำกัด เชียงใหม่. 146 หน้า ISBN 974-226-108-3 มีนาคม 2548 จำนวน 1,000 เล่ม

อานัฐ ตันโช. 2548. เกษตรธรรมชาติ แนวคิด หลักการ และจุลินทรีย์ท้องถิ่น. พิมพ์ครั้งที่ 4. บริษัททรีโอ แอดเวอร์ไทซิ่ง แอนด์ มีเดีย จำกัด เชียงใหม่. 146 หน้า ISBN 974-226-108-3 มีนาคม 2548 จำนวน 5,000 เล่ม

อานัฐ ตันโช. 2548. มาทำความรู้จัก "ไส้เดือน". วารสารเกษตรกรรมธรรมชาติ. 8 (1): 21-27.

อานัฐ ตันโช. 2548. การเลี้ยง "ไส้เดือนดิน" ในโรงเรือนเพื่อใช้กำจัดขยะชุมชน. วารสารเกษตรธรรมชาติ. 8(1): 28-34.

อานัฐ ตันโช. 2548. ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน. วารสารไม้ดอกไม้ประดับ. 4 (43): 61-64.

อานัฐ ตันโช. 2548. เทคนิคการผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินจากขยะอินทรีย์. วารสารโครงการหลวง. 9(2): 31-38.

อานัฐ ตันโช. 2548. 16 น้ำหมักจุลินทรีย์. วารสารเกษตรกรรมธรรมชาติ. 8 (3): 21-28.

อานัฐ ตันโช. 2548. จุลินทรีย์ท้องถิ่นและน้ำหมักจุลินทรีย์. วารสารเกษตรกรรมธรรมชาติ. 8 (3): 21-28.

อานัฐ ตันโช. 2547. เกษตรธรรมชาติ แนวคิด หลักการ และจุลินทรีย์ท้องถิ่น ฉบับการ์ตูน พิมพ์ครั้งที่ 1. บริษัท ทรีโอ แอดเวอร์ไทซิ่ง แอนด์ มีเดีย จำกัด เชียงใหม่. 52 หน้า ISBN 974-92544-7-3 กันยายน 2547 จำนวน 2,000 เล่ม

อานัฐ ตันโช. 2547. เกษตรธรรมชาติ แนวคิด หลักการ และจุลินทรีย์ท้องถิ่น. พิมพ์ครั้งที่ 3 บริษัททรีโอ แอดเวอร์ไทซิ่ง แอนด์ มีเดีย จำกัด เชียงใหม่. 146 หน้า ISBN 974-226-108-3 กันยายน 2547 จำนวน 4,000 เล่ม

อานัฐ ตันโช. 2547. เกษตรธรรมชาติ แนวคิด หลักการ และจุลินทรีย์ท้องถิ่น. พิมพ์ครั้งที่ 2. บริษัททรีโอ แอดเวอร์ไทซิ่ง แอนด์ มีเดีย จำกัด เชียงใหม่. 1 46 หน้า ISBN 974-226-108-3 สิงหาคม 2547 จำนวน 1,000 เล่ม

อานัฐ ตันโช. 2547. เกษตรธรรมชาติ แนวคิด หลักการ และจุลินทรีย์ท้องถิ่น. พิมพ์ครั้งที่ 1. บริษัททรีโอ แอดเวอร์ไทซิ่ง แอนด์ มีเดีย จำกัด เชียงใหม่. 146 หน้า ISBN 974-226-108-3 มีนาคม 2547 จำนวน 2,000 เล่ม

อานัฐ ตันโช และKao Te Chen. 2547. การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน Soilless Culture In Tropics เชียงใหม่. 200 หน้า

อานัฐ ตันโช. 2547. การเลี้ยงไก่แบบเกษตรธรรมชาติต้านทานไข้หวัดนก. วารสารเกษตรธรรมชาติ. 7(7): 50-56.

อานัฐ ตันโช. 2547. เกษตรธรรมชาติ. วารสารโครงการหลวง. 8(4): 31-34.

อานัฐ ตันโช. 2547. การผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินจากขยะชุมชนที่สลายตัวได้. เอกสารประกอบการสัมมนาวิชาการ เนื่องในโอกาสฉลองมหาวิทยาลัยแม่โจ้ 70 ปี. 28 น.

อานัฐ ตันโช. 2546. เทคนิคการทำปุ๋ยชีวภาพ และปุ๋ยอินทรีย์น้ำ. คู่มือการปลูกผักบนพื้นที่สูง มูลนิธิโครงการหลวง สำนักงานพัฒนาเกษตรที่สูง สำนักงานปลัดกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ. 252-257.

อานัฐ ตันโช. 2546. เทคนิคการทำปุ๋ยชีวภาพและปุ๋ยอินทรีย์น้ำ. คู่มือการปลูกผักบนพื้นที่สูง. 252- 257 น.

อานัฐ ตันโช. 2546. ไฮโดรโพนิคส์: รูปแบบและสูตรอาหารที่เหมาะสมสำหรับของประเทศไทย. เอกสารประกอบการสัมมนาวิชาการ ครั้งที่ 2. ณ อาคารเรียนและปฏิบัติการรวมทางปฐพีวิทยาและฝึกอบรมทางดินและปุ๋ยชั้นสูง วันที่ 27-28 สิงหาคม 2546. 95 น.

อานัฐ ตันโช. 2546. ไฮโดรโพนิคส์: รูปแบบและสูตรอาหารที่เหมาะสมสำหรับของประเทศไทย. เอกสารประกอบการสัมมนาวิชาการ ครั้งที่ 3. ณ อาคารเรียนและปฏิบัติการรวมทางปฐพีวิทยาและฝึกอบรมทางดินและปุ๋ยชั้นสูง วันที่ 17 ตุลาคม 2546. 33 น.

สิ่งตีพิมพ์ต่างประเทศ

Tancho, A. 2005. Natural Farming : An Application in Tropical Agriculture. Workshop Handbook on Development in Sustainable Agriculture and Rural Development, Thai Environment Institute 28 February 2005. BangkokThailand. 24-58.

Tancho, A. 2004. Comparative Study on Organic Waste Management Technology for Agricultural Production. In International Research Conference on Vocational Education and Training 13-14 August 2004 BangkokThailand.

Tancho, A. 2002. Review on Natural Farming in Thailand. Technical Research Paper in Department of Agricultural Sciences, Laboratory of Plant Nutrition and Soil Fertility, The Royal Veterinary and Agricultural University, CopenhagenDenmark.

Tancho A., N. Waramirt, O. Mingtipol, P. Srijantr, S. Ratchadawong, S. Jungrungruang, P. Limthong and J. Magid. 2002. Soil Fertility Status : Trends Towards Sustainable AgricultureLand Use. In Problems of Sustainable Land Use and Natural Resource Management in A Community at Song Watershed, Phrea Province, Thailand. Joint Interdisciplinary Research Project DUCED-SLUSE May2002. 86 – 98.

Waramit N., W. Siripoonwiwat, A. Tancho, P. Srijantr, O. Mingtipol, S. Ratchadawong, S. Jungrungruan and P. Pengthemkeerati. 2002. Agricultural Production in Song Watershed. In Problems of Sustainable Land Use and Natural Resource Management in A Community at Song Watershed, Phrea Province, Thailand. Joint Interdisciplinary Research Project DUCED-SLUSE May 2002. 76 – 85.

Mingtipol O., M. Mohamed, A. Tancho and P. Oksen. 2002. Soil Erosion in Song Watershed. In Problems of Sustainable Land Use and Natural Resource Management in A Community at Song Watershed, Phrea Province, Thailand. Joint Interdisciplinary Research Project DUCED-SLUSE May 2002. 99 - 113

Tancho A. and Kim S. H. 2000. Natural Farming in Thailand. Handbook for 3rd Seminar of Korean Natural Farming, Yanbian University, JilinChina 17 p.

Tancho, A. 1997. Review of the Situation on Crop-Livestock Integrated Farming System in the Highland of Northern Thailand. Paper presents on the International Workshop on Crop - Livestock integrated in Slopeland areas, Southern Philippines October 12-18, 1997, arranged by Food & FertilizersTechnologyCenter for the Asian and Pacific Region (FFTC).

Tancho A. 1996. Microcalorimetry as a Tool to Detect Side-Effects of Pesticides and Heavy Metals in Tropical Soils. Ph.D. Thesis No. 316,

Faculteit LandbouwkundigeenToegepasteBiologischeWetenschappen, Katholieke Universiteit Te Leuven Belgium, 151 p.

Tancho, A., R. Merckx and K. Vlassak. 1996. The Effect of Pesticides and Heavy Metal on Relation between Heat Output and Substrate-Induced Respiration from Soil Sample.(Part I: Herbicides and Fungicides). In SETAC-Europe: Pesticides, Soil Microbiology and Soil Quality. Abstracts from the 2nd International Symposium on Environmental Aspects of Pesticide Microbiology, Institut National de la RechercheAgrochemique(INRA) France 40-41p.

Tancho A., R. Merckx, F. Schoovaerts and K. Vlassak. 1995. Relation between Substrate Induced Respiration and Heat Loss from Soil Samples Amended with Various Contaminants.ThermochimicaActa 251:21-28.

Tancho A. 1993. Effect of Rhizobium (Inoculation), Calcium and Magnesium, and Molybdenum on Biomass Production and Nitrogen Fixation of *Leucaenaleucocephala*, *Acacia mangium* and *Flemingiacongesta*in Highland Acid Soils in Northern Thailand. In Soil Fertility Conservation Research Report 1989-1992. Belgium-Thai Co-operatives Project on Soil Fertility Conservation (SFC Project), MaejoUniversity, ChiangmaiThailand, 133-160 p.

Tancho A. 1993. Effect of an Insecticides (Monocrotophos) on Biomass Production and Nitrogen Fixation of*Leucaenaleucocephala*, *Acacia mangium* and *Flemingiacongesta*in Highland Acid Soils in Northern Thailand. In Soil Fertility Conservation Research Report 1989-1992. Belgium-Thai Co-operatives Project on Soil Fertility Conservation (SFC Project), MaejoUniversity, ChiangmaiThailand, 161-186 p.

Tancho A. 1993. Effect of Pesticides on Carbon and Nitrogen Mineralization in Northern Thailand Soils. In Soil Fertility Conservation Research Report 1989-1992. Belgium-Thai Co-operatives Project on Soil Fertility Conservation (SFC Project), MaejoUniversity, ChiangmaiThailand, 187-199 p.

Tancho A., R. Merckx, K. Van Look and K. Vlassak. 1992. The Effect of Carbofuran and Monocrotophos on Heat Output, Carbon and Nitrogen Mineralization of Northern Thailand Soils. The Science of Total Environment, 123/124 : 241-248.

Turkelboòm F., S. Ongprasert, K. Van Look, A. Tancho and K. Vlassak. 1991. The Effect of Traditional and Alternatives Cropping Systems on Soil Quality in the Highlands of Northern Thailand. IBSRAM Proceeding no. 12 Volume III.

ผู้ร่วมวิจัยคนที่ 1

ชื่อ-สกุล อาจารย์ ดร.วีณา นิลวงศ์

Miss Weena Nilawonk

เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3920100015278

ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์

หน่วยงานและสถานที่อยู่ติดต่อ

ภาควิชาทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อม คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

โทรศัพท์ 05-3873-490-105,08-9554-0579

โทรสาร 05-3873-490-102

E-mail w_nilawonk@hotmail.com

ประวัติการศึกษา

พ.ศ.2542	B.Sc. Agriculture (Soil science)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
พ.ศ.2545	M.Sc. Agriculture (Soil science)	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
พ.ศ.2552	Ph.D. Soil science	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ ปฐพีศาสตร์ ชำนาญทางด้านความอุดมสมบูรณ์ของดินและการจัดการปุ๋ยเฉพาะพื้นที่

ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ ไม่มี

ผู้อำนวยการวิจัย: ไม่มี

หัวหน้าโครงการวิจัย

โครงการวิจัยปี 2552 เรื่อง การปลดปล่อยโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินที่มีการปลูกพืชอินทรีย์ (Plant available potassium release in organic cropping soils) สถานภาพ ดำเนินการอยู่

แหล่งทุน: คณะผลิตกรรมการเกษตร ปี 2553 มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ผลงานวิจัยตีพิมพ์

Nilawonk, W., and P. Wivutvongvana. 2002. Influence of nitrogen fertilizer application methods on rice yield and changes in soil ammonium and nitrate. Journal of Agriculture. 18:219-228.

Nilawonk, W., and P. Wivutvongvana. 2002. Changes in soil ammonium and nitrate in relation to rice production. M.S. Thesis, Chiangmai University, Chiangmai, Thailand.

Nilawonk, W., T. Attanandana., A. Phonpherm., X Shuai, and Y. Russell, 2007. Potassium Release in Representative Maize-producing Soils of Thailand. Soil Sci. Soc. Amer. J. 72:791-797.

Nilawonk, W. 2007. Predicting Potassium Requirements of Maize Soils inThailand. Ph.D.Dissertation, Kasetsart University, Bangkok, Thailand.

Nilawonk, W., T. Attanandana., and Y. Russell, 2010. Determining plant- available potassium in representative maize soils of Thailand. ASA, CSSA, and SSSA 2010 International annual meeting, Oct.31- Nov.4, Long Beach, CA.

ผู้ร่วมวิจัยคนที่ 2

ชื่อ-สกุล นางสาวสุลีรัก อารักษณ์ธรรม

Miss.SuleerukArluktham

เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3 5708 00362 86 1

ตำแหน่งปัจจุบัน นักวิชาการ กองทุนปุ๋ยอินทรีย์และไฮโดรโพนิคส์ มูลนิธิโครงการหลวง

หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อ

ภาควิชาทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อม คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ต.หนองหาร อ. สันทราย จ. เชียงใหม่ 50290

โทรศัพท์ 053- 873490 ต่อ 117 โทรสาร 053-873490 ต่อ 200

Email - nam_505 @hotmail.com

ประวัติการศึกษา

2550-2553 ปริญญาโท : วท.ม. (เกษตรศาสตร์) สาขาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่

2543-2547 ปริญญาตรี : วท.บ (เกษตรศาสตร์) สาขาพืชสวนประดับ มหาวิทยาลัยแม่โจ้จังหวัดเชียงใหม่

2541-2543 มัธยมศึกษาตอนปลาย (สายวิทย์-คณิต) โรงเรียนสามัคคีวิทยาคม จังหวัดเชียงราย

สาขาวิชาที่มีความชำนาญพิเศษ

- การใช้ไส้เดือนดินกำจัดขยะอินทรีย์ผลิตปุ๋ยหมัก
- การใช้ประโยชน์จากไส้เดือนดินท้องถิ่นไทย
- เกษตรกรรมธรรมชาติ

ผลงานวิจัยตีพิมพ์

สุลีรัก อารักษณ์ธรรม.2553. **การสำรวจและเก็บรวบรวมสายพันธุ์ไส้เดือนดินในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่และจังหวัดใกล้เคียงเพื่อใช้ประโยชน์ทางการเกษตร.** วิทยานิพนธ์หลักสูตรปริญญาโท วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาปฐพีศาสตร์มหาวิทยาลัยแม่โจ้, จังหวัดเชียงใหม่

สุลีรัก อารักษณ์ธรรม และอานัฐ ตันโช . 2550. **การทดสอบประสิทธิภาพการย่อยสลายขยะอินทรีย์ของไส้เดือนดินที่สำรวจและเก็บรวบรวมได้จากพื้นที่สูงของศูนย์พัฒนาโครงการหลวง.** รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ประจำปี 2550 มูลนิธิโครงการหลวง, เชียงใหม่. หน้า427-428.

อานัฐ ตันโช และสุลีรัก อารักษณ์ธรรม. 2551. **การจัดสภาพแวดล้อมในแปลงปลูกพืชเพื่อชักนำไส้เดือนดินเข้าอาศัยในแปลง.** รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ประจำปี 2551 มูลนิธิโครงการหลวง, เชียงใหม่. หน้า 404.