บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของการวิจัย

ไกลโฟเสท (Glyphosate) เป็นสารกำจัดวัชพืชชนิดหนึ่งที่มีการนำเข้ามาใช้ในประเทศไทยสูงอยู่ใน 3 อันดับแรกของปริมาณการนำเข้าทั้งหมด (สำนักงานควบคุมพืชและวัตถุการเกษตร 2556) ไกลโฟเสทจัดเป็นสารเคมีในกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต (Organophosphate Herbicide) ที่มีการยืนยันถึงความปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากเป็นสารที่สลายตัวได้เร็ว (Giesy, et al., 2000) แต่ยังมีหลักฐานการพบปริมาณการตกค้างในดินและการดูดซับอย่างแข็งแรงกับอนุภาคดิน ยิ่งไปกว่านั้น ยังมีรายงานการศึกษาถึงผลของไกลโฟเสทต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติหลายด้านของดิน เช่น กิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน (Araújo et al., 2003) และมีผลทำให้ดินมีความเป็นกรดเพิ่มขึ้นและมีปริมาณการดูดซับฟอสฟอรัสลดลง (Barrett and McBride, 2006 และ Gimsing et al., 2007) และปริมาณการดูดซับธาตุประจุบวกบางชนิดลดลง (Morillo, et al., 2002; Zhou, et al., 2004; Wang, et al., 2006 และ Gimsing et al., 2007)

การปนเปื้อนของสารเคมีกำจัดวัชพืชชนิดต่างๆในดินมีผลต่อคุณภาพของดินทั้งในระยะยาวและระยะสั้น (Moorman and Dowler, 1991; Seghers et al., 2003; Moreno et al., 2006 และ Ratcliff et al., 2006) คุณภาพของดินที่พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงมีทั้งคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับความเป็นกรดด่างและกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน (Ruggiero and Radogna, 1985; Yeomans and Bremner, 1985; Duah-Yentumi and Johnson, 1986; Priemé and Ekelund, 2001; Schreffler and Sharpe, 2003 และ Bécaert et al., 2006) สำหรับสารไกลโฟเสท มีการรายงานอิทธิพลของสารไกลโฟเสทต่อคุณสมบัติดินหลายๆด้าน ทั้งด้านกิจกรรมของจุลินทรีย์ (Araújo et al., 2003) และคุณสมบัติทางเคมีของดิน โดยพบว่า สารไกลโฟเสททำให้ดินมีความเป็นกรดเพิ่มขึ้น มีปริมาณการดูดซับฟอสฟอรัสลดลง (Barrett and McBride, 2006 และ Gimsing et al., 2007) และมีปริมาณการดูดซับธาตุโลหะทองแดง สังกะสีและแคดเมียมลดลง (Morillo, et al., 2002; Zhou, et al., 2004; Wang, et al., 2006 และ Gimsing et al., 2007) การศึกษาที่กล่าวมาส่วนใหญ่เป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการ

สำหรับการศึกษาดินสภาพเรือนทดลองที่ผ่านมา พบว่า การใส่สารไกลโฟเสทที่ใส่ลงดินปริมาณ 5 เท่าของอัตราที่แนะนำแก่เกษตรกร ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติบางประการของดินภายในระยะเวลา 1 ปี คุณสมบัติที่พบว่าเปลี่ยนแปลงประกอบด้วย ปริมาณอินทรียวัตถุและความเป็นกรด-ด่างลดลง ปริมาณฟอสฟอรัสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ปริมาณการแลกเปลี่ยนแมงกานีส โพแทสเซียมและแคลเซียมในดินเปลี่ยนแปลง และปริมาณการดูดธาตุไอออนบวกลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยเป็นการศึกษาในสภาพเรือนทดลองกับดินร่วนปนทรายแป้งเพียงหนึ่งชนิด ผลจากการวิจัยดังกล่าวสามารถอธิบายได้กับดินร่วนปนทรายแป้งที่เป็นกลางที่ใช้ในการทดลองได้เพียงชนิดดินเดียวเท่านั้น การเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติดินเนื่องจากการใส่สารไกลโฟเสทมีความแตกต่างกันไปในดินชนิดต่างๆ มีการอธิบายถึงปัจจัยที่มีส่วนควบคุมความแตกต่างของอิทธิพลที่เกิดขึ้นว่า ประกอบด้วย ปริมาณดินเหนียว ปริมาณอินทรียวัตถุ ค่าความเป็นกรดด่างของดินและแร่ออกไซด์อิสระที่มีอยู่ในดิน (Morillo, et al., 2002; Zhou et al., 2004; Wang, et al., 2006 และ Wang et al., 2008) คำอธิบายส่วนมากได้จากผลการศึกษาทดลองโดยวิธีการในห้องปฏิบัติการ ประเด็นปัญหาของโครงการวิจัยนี้ คือ การใช้สารไกลโฟเสทในการ

กำจัดวัชพืชในดินชนิดต่างๆกันอาจเกิดอิทธิพลต่อคุณสมบัติของดินในระดับความรุนแรงที่แตกต่างกัน โดยอิทธิพลที่เกิดขึ้นกับดินในประเทศไทยซึ่งเป็นภูมิภาคเขตร้อนชื้นอาจมีความแตกต่างจากอิทธิพลที่เกิดในภูมิภาคอื่นของโลก

ทรัพยากรดินในเขตภาคเหนือตอนล่างของประเทศไทยมีความหลากหลายและผันแปรตามพื้นที่ การประเมินผลกระทบของการใช้สารไกลโฟเสทต่อคุณภาพของดินอย่างถูกต้องแม่นยำ จำเป็นต้องทราบข้อมูลอิทธิพลของไกลโฟเสทที่เกิดขึ้นในดินแต่ละชนิดที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน โครงการวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อ ศึกษาเปรียบเทียบอิทธิพลของสารไกลโฟเสทในดินหลายชนิด โดยเลือกตัวอย่างดินที่ต่างกันในด้านปริมาณและชนิดของแร่ดินเหนียว ปริมาณอินทรียวัตถุและความเป็นกรดด่างของดิน เป็นการวิจัยต่อยอดจากผลที่ได้รับจากโครงการวิจัย เรื่อง อิทธิพลของสารกำจัดวัชพืชต่อคุณสมบัติต่างๆของดินที่ได้ดำเนินการแล้ว โดยที่เน้นเฉพาะคุณสมบัติดินที่พบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ผลของการศึกษาจะทำให้ได้องค์ความรู้เพิ่มเติมถึงคุณสมบัติของดินที่เป็นปัจจัยควบคุมระดับความรุนแรงของอิทธิพลของสารไกลโฟเสท ที่จะสามารถนำไปใช้ประเมินผลกระทบของการใช้สารเคมีทางการเกษตรที่มีผลต่อคุณภาพทรัพยากรดินได้กว้างขวางมากขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาอิทธิพลของสารไกลโฟเสทที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติบางประการของดินหลายชนิดที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

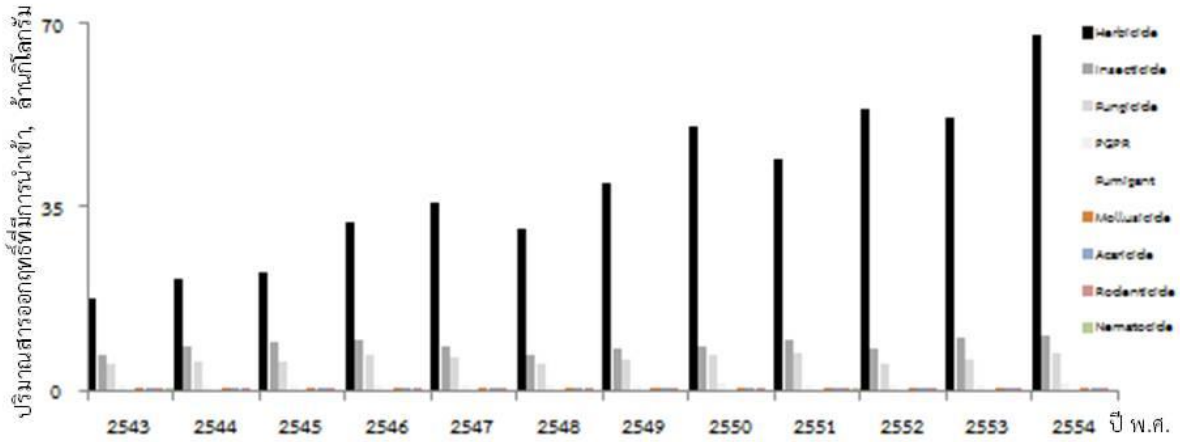
โครงการวิจัยนี้ศึกษาอิทธิพลของสารมาตรฐานไกลโฟเสทเพียงอัตราเดียวและมีการใส่ลงในดินเพียงครั้งเดียว ที่มีต่อคุณสมบัติทางเคมีบางประการ เช่น ปริมาณฟอสฟอรัสและปริมาณการแลกเปลี่ยนและดูดซับธาตุไอออนบวก โดยทำการทดลองในดินอย่างน้อย 6 ชนิดที่พบมากในพื้นที่เกษตรกรรมของภาคเหนือตอนล่างของประเทศไทยที่แปรผันตามปริมาณดินเหนียว ชนิดแร่ดินเหนียว ปริมาณอินทรียวัตถุและค่าพีเอช เป็นการศึกษาในระบบปิดที่มีความสม่ำเสมอในสภาพของเรือนทดลองที่ควบคุมปริมาณความชื้นดินตลอดการทดลอง

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สารกำจัดวัชพืช

สารกำจัดวัชพืชเป็นปัจจัยการผลิตทางการเกษตรที่มีการใช้ในปริมาณมาก โดยมีสัดส่วนสูงสุดเมื่อเทียบกับสารกำจัดศัตรูพืชชนิดอื่นๆ จากข้อมูลสถิติปริมาณการนำเข้าสารกำจัดวัชพืชของสำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตรระหว่างปี พ.ศ. 2543 ถึง 2555 (ภาพที่ 2.1) แสดงอย่างชัดเจนว่า สารกำจัดวัชพืชมีปริมาณการนำเข้ามาใช้มากประมาณร้อยละ 70 ของปริมาณการนำเข้าสารกำจัดวัชพืชทั้งหมดและมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกปี สารกำจัดวัชพืชที่มีการใช้มากเป็นอันดับที่หนึ่ง คือ สารไกลโฟเสท (glyphosate) โดยปริมาณการนำเข้ามาใช้ในประเทศดังแสดงในตารางที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 ปริมาณการนำเข้าสารเคมีกำจัดศัตรูพืชคิดเป็นน้ำหนักสารออกฤทธิ์ระหว่างปี พ.ศ. 2543-2555
ที่มา: ดัดแปลงจากข้อมูลสถิติการนำเข้าสารกำจัดศัตรูพืชระหว่างมี พ.ศ. 2543-2555
(สำนักงานสำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร, 2556)

ตารางที่ 2.1 ปริมาณการนำเข้าสารกำจัดวัชพืชของประเทศไทยระหว่าง ปี พ.ศ. 2550 - 2555

Herbicide	Amount of imported herbicide (active ingredient) (kg)					
	2550	2551	2552	2553	2554	2555
Glyphosate	21,347,009	11,746,274	26,422,045	15,272,161.15	26,262,087.86	19,721,003.4
Paraquat	8,286,398	9,751,270	10,765,455	10,367,026.69	14,142,423.57	10,647,914.72
2,4-D	7,054,188	7,291,726	5,566,471	3,926,255.00	4,079,491.58	5,587,627.08
Ametryn	3,107,341	3,152,160	1,281,856	4,054,356.40	3,740,916.84	6,632,055.30
butachlor				1,958,155.43	3,363,792.60	1,676,686.06
Atrazine	3,049,135	3,160,845	2,351,788	3,588,785.40	2,710,025.99	4,951,053.63

ที่มา: สำนักงานสำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร (2556)

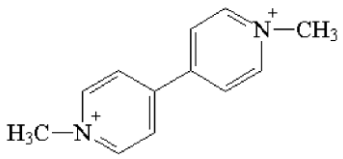
สารกำจัดวัชพืชที่ลงสู่ดินจะเกิดปฏิกิริยาและพฤติกรรมต่างๆในดิน ที่มีผลต่อคุณภาพดินที่เกี่ยวข้องกับความสามารถของดินในการแสดงบทบาทและหน้าที่ด้านต่างๆ อาทิเช่น ความสามารถในการให้ผลผลิตพืช ความสามารถในการรักษาคุณภาพ สิ่งแวดล้อม เช่น ความสามารถในการเก็บกักและปลดปล่อยสารเคมีซึ่งควบคุมการเคลื่อนย้ายของสารเคมีในดิน ความสามารถในการกรองหรือการย่อยสลายทำลายพิษของสารมลพิษ รวมทั้งความสามารถของดินในการหมุนเวียนธาตุ การศึกษาวิจัยที่ได้มีการเผยแพร่เป็นจำนวนมากได้รายงานถึงผลของปฏิกิริยาของสารเคมีกำจัดวัชพืชต่อคุณสมบัติของดิน ซึ่งการเพิ่มเติมสารกำจัดวัชพืชลงในดินมีผลต่อดินทั้งในด้านคุณสมบัติกายภาพ คุณสมบัติทางเคมีรวมทั้งคุณสมบัติทางชีวภาพ ผลต่อคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของดินที่ได้มีรายงานไว้ ประกอบด้วย การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของธาตุกรดในดินและการลดลงของค่าพีเอชในสารละลายดินเนื่องจากลักษณะการมีปฏิกิริยาเป็นกรดของสารกำจัดวัชพืช (Morillo et al., 2002 และ Schreffler and Sharpe, 2003) การเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของประจุในดินเนื่องจากกระบวนการดูดซับและการตรึงสารกำจัดวัชพืชในผลึกแร่ดินเหนียว การศึกษาวิจัยเป็นจำนวนมากรายงานถึงผลของสารกำจัดวัชพืชต่อโครงสร้างของระบบนิเวศน์ในดิน ประกอบด้วยผลต่อปริมาณสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก (Prasse, 1985) ผลต่อชนิดและปริมาณรวมทั้งกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน (Araújo et al., 2003; Duah-Yentumi and Johnson, 1986; Moorman and Dowler, 1991; Seghers et al., 2003) และต่อกิจกรรมของเอ็นไซม์ในดิน (Bécaert, et al.2006) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้จะส่งผลต่อหน้าที่ของดินในการย่อยซากพืชสัตว์ การหมุนเวียนธาตุอาหารและการปลดปล่อยก๊าซในดิน (Priemé and Ekelund, 2001) และการจัดเรียงโครงสร้างดิน และท้ายที่สุดก็จะส่งผลถึงความอุดมสมบูรณ์ของดิน นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงชนิดและปริมาณของจุลินทรีย์เนื่องจากสารกำจัดวัชพืชยังส่งผลถึงบทบาทและหน้าที่ของดินในการย่อยสลายและทำลายความเป็นพิษ (Detoxification) ของตัวสารกำจัดวัชพืชเองอีกด้วย

ผลกระทบของสารกำจัดวัชพืชต่อคุณภาพของดินได้รับความสนใจและมีการศึกษากันมากในแง่ต่างๆ เช่น ผลของสารกำจัดวัชพืชต่อชนิด ปริมาณและกิจกรรมของสิ่งมีชีวิตต่างๆในดินที่มีผลต่อกระบวนการเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารและก๊าซในดิน เช่น สารไดโนเสบ เมทริบิวซิน มีผลต่อกระบวนการ Denitrification ของไนโตรเจนที่ส่งผลต่อปริมาณก๊าซ N_2 และ N_2O ในดิน (Yeomans and Bremner, 1985) สาร 2,4-D มีผลต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน เช่น การยับยั้งกระบวนการออกซิเดชันของมีเทน (CH_4) ในดิน (Priemé and Ekelund, 2001) ที่ส่งผลให้เกิดการสูญเสีย functional stability ของเอ็นไซม์ Urease, Glucosidase Sulfatase และกระทบต่อกลไกของการต้านทานความเสื่อมโทรมและกลไกการฟื้นฟูคุณภาพของดิน (Bécaert et al., 2006) และมีผลยับยั้งการเกิดสารเชิงซ้อนของ Humus-laccase ในดิน (Ruggiero and Radogna, 1985) การศึกษาผลของการใช้สารกำจัดวัชพืชต่อปริมาณธาตุต่างๆในดิน พบว่า การใส่สาร Sulfometuron-methyl ลงในดินทรายปนกรวดที่เป็นกรดจัด Typic Dystrochrepts เป็นเวลา 3 ปี ทำให้ระดับความเข้มข้นของอะลูมิเนียมและไฮโดรเจนไอออนเพิ่มขึ้นและทำให้สัดส่วนระหว่างธาตุแคลเซียมกับอะลูมิเนียมในดินลดลงซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงจนถึงระดับวิกฤติที่เกิดความเป็นพิษของธาตุอะลูมิเนียมต่อพืช นอกจากนั้นหลังจากใส่สารดังกล่าวเป็นเวลา 1 ปีทำให้ดินมีความเป็นกรดเพิ่มขึ้นด้วย (Schreffler and Sharpe, 2003) โดยในสภาพพีเอชปกติสาร Sulfometuron-methyl ไอออนลบสามารถจับกับไอออนบวกในดินเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ละลายได้และถูกชะละลายออกไปจากหน้าตัดดินทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของไอออนบวกในดิน (Wehtjie et al., 1987)

การศึกษาอิทธิพลของสารกำจัดวัชพืชในดินต่อคุณสมบัติของดินโดยส่วนใหญ่เป็นการศึกษาถึงผลในระยะยาว (Moorman and Dowler, 1991; Seghers et. Al., 2003) แต่ผลการเปลี่ยนแปลงอาจเกิดขึ้นได้อย่างมีนัยสำคัญในระยะสั้นภายในระยะเวลาเพียง 15 วัน ถึง 1 ปี เช่น กิจกรรมของ จุลินทรีย์ในดินเกิดการเปลี่ยนแปลงที่วัดได้ภายใน 7-30 วัน และ 16-45 วันหลังจากการเพิ่มสารไกลโฟเสทและอะทราซีนตามลำดับลงในดิน (Moreno et al., 2006; Ratcliff et al., 2006) จุลินทรีย์ชนิดที่สามารถย่อยสลายสาร 2,4-D สามารถตรวจพบในดินที่ปนเปื้อนสารดังกล่าวในเวลา 6 เดือน (Macur, 2006) นอกจากนี้ Schreffler and Sharpe (2003) ยังรายงานว่า ปริมาณอะลูมิเนียมและไฮโดรเจนไอออนในสารละลายดินมีการเพิ่มขึ้นโดยให้ผลแตกต่างอย่างชัดเจนภายในระยะเวลา 1 ปีหลังจากการใส่สารกำจัดวัชพืชลงในดิน

2.2. สารไกลโฟเสท

ไกลโฟเสท (Glyphosate) เป็นสารเคมีในกลุ่มฟอสเฟตอินทรีย์ มีชื่อทางเคมีคือ Phosphonomethyliminoacetic acid หรือ N-(phosphonomethyl)glycine (IUPAC Name) มีสูตรโครงสร้างทางเคมี $C_3H_8NO_5P$ และโครงสร้างโมเลกุลดังแสดงในภาพที่ 2.2 และมีสมบัติทางเคมี-กายภาพ พิษวิทยา และพิษวิทยาสิ่งแวดล้อมตามในตารางที่ 2.2



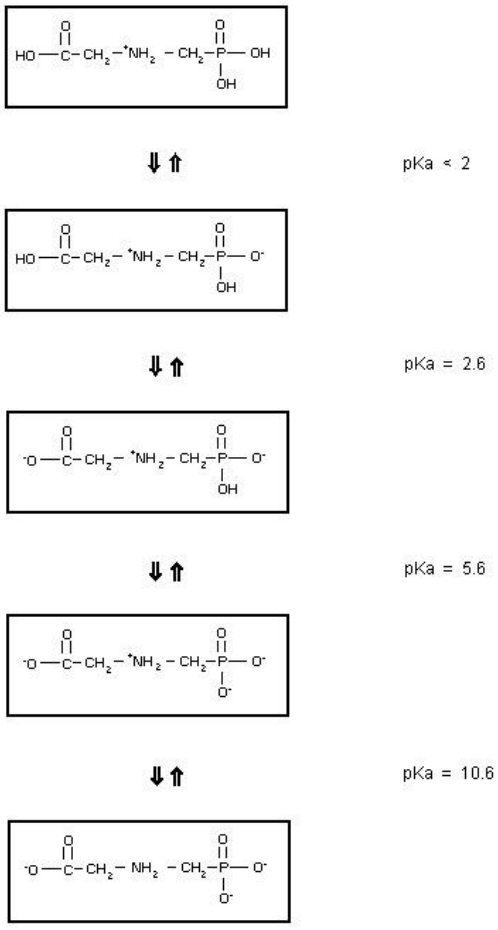
ภาพที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของสารไกลโฟเสท

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติด้านต่างๆของสารไกลโฟเสท

Characteristic	Glyphosate
Molecule Structure	
Molecular Weight	169.07 g
Physicochemical Properties	
Physical Feature	White powder
Density	1.704 g cm^{-3}
Boiling point	
Melting point	230, 184.5 °C, decomposition at 187°C
Vapour pressure	$<1x10^{-5}$
Water solubility	12,000 mg L^{-1}
Solubility in Alcohol	
Solubility in Organic solvents	Insoluble
Henry's constant	
Partition Coefficient	
Parachor, P^b	313 cm^3 $g^{1/4}$ $s^{-1/2}$ mol
Dipole moment	9.7 μ^b(D)
Eco-toxicology	
Adsorption Coefficient	
Log P	
Log Kow	0.0017, -4.1
Koc	24,000
BCF	
Environmental Toxicology	
Reference Level	LD50 = 4320 LC50 = 86
Half-life time	47 days

Sources: WHO (1984); The Royal Society of Chemistry (1991); Mensink and Janssen (1994); Extension Toxicology Network (2001); Douklas et al. (2001) and Mamy and Barriuso, 2005

ไกลโฟเสทเป็นสารเคมีที่ถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มสารที่มีความคงทนปานกลาง (moderate persistence) และการเคลื่อนที่ในดินน้อยหรือไม่เคลื่อนที่ (immobile-low mobile) (Mäntylahti, 2003) เนื่องจากเป็นสารที่ถูกดูดซับได้ดี โมเลกุลของสารไกลโฟเสทประกอบด้วยกลุ่ม glycine และ phosphonomethyl ที่มี functional group ที่สามารถแตกตัวได้ 3 กลุ่ม คือ amine, carboxylate และ phosphonate และมีปฏิกิริยาเป็นกรดอ่อน (Morillo et al., 2002; Zhou, et al., 2004; Barrett and McBride, 2006 และ Gimsing et al., 2007) การแตกตัวเป็นโมเลกุลที่มีประจุทำให้สามารถดูดซับอย่างแข็งแรงบนอนุภาคดินโดยมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับในห้องปฏิบัติการในดินและแร่ดินเหนียวต่างๆ 8-377 $dm^3.kg^{-1}$ กลไกการดูดซับเกิดจากการที่สารไกลโฟเสทสามารถเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับลิแกนด์ต่างๆบนผิวอนุภาคแร่ดินเหนียวต่างๆ ได้แก่ goethite, kaolinite, illite, montmorillonite กลไกการสร้างสารเชิงซ้อนบนพื้นผิวดูดซับเกิดได้มากบนแร่ออกไซด์และความมากน้อยของการดูดซับมีความสัมพันธ์กับค่าพีเอช (Pesaagno, et al., 2008) นอกจากนั้นการดูดซับบนแร่ดินเหนียวเกิดได้ทั้งบนพื้นที่ผิวภายนอกและภายใน ความสามารถในการดูดซับอย่างแข็งแรงของไกลโฟเสทบนพื้นผิวอนุภาคและการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับธาตุโลหะมีผลต่อความสามารถในการสลายตัวของสารไกลโฟเสท การเคลื่อนย้ายและความเป็นประโยชน์ของสารไกลโฟเสทต่อสิ่งมีชีวิต



ภาพที่ 2.3 การแตกตัวของไกลโฟเสท
ที่มา: ICPS INCHEM (2013)

2.3 ผลกระทบของสารไกลโฟเสทในดิน

สำหรับสารไกลโฟเสท แม้จะมีการกล่าวอ้างถึงความปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม (Giesy, et al., 2000) แต่ยังมีหลักฐานยืนยันถึงผลกระทบต่อคุณภาพของดิน โดย Araújo et al. (2003) ได้รายงานผลของการใส่สารไกลโฟเสทในดิน Typic Hapludults และ Hapludoxs เป็นเวลา 32 วัน ว่าทำให้ปริมาณ Actinomycete และเชื้อราในดินเพิ่มขึ้น ปริมาณแบคทีเรียลดลง นอกจากนี้สารไกลโฟเสทยังมีผลต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน เช่น ทำให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากกระบวนการหายใจ (Soil Respiration) เพิ่มขึ้น 10-15% และทำให้ปฏิกิริยาไฮโดรไลซีสของ Fluorescein Diacetate (FDA) เพิ่มขึ้น 9-19%

สารไกลโฟเสทมีบทบาทอย่างมากกับพฤติกรรมการดูดซับ (Adsorption) สารเคมีในดิน โดยมีข้อสัณนิษฐานถึงหลายกลไกที่มีส่วนเกี่ยวข้อง คือ 1) กลไกการสร้าง tertnary surface complexs ของไกลโฟเสทบนแร่เกอไทต์ทำให้พื้นที่ผิวในการดูดซับเพิ่มขึ้น 2) กลไกการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนอิสระที่ลดการดูดซับ โดยไกลโฟเสทเป็นสารอินทรีย์ที่มี functional group 3 กลุ่ม คือ amine, carboxylate และ phosphonate ซึ่งสามารถจับกับธาตุโลหะหนักหลายชนิดเกิดเป็นอนุมูลเชิงซ้อน bidentate และ tridentate complexs ที่มีความเป็นอิสระในสารละลายดิน 3) กลไกการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดด่างในสารละลายดิน เนื่องจากคุณสมบัติความเป็นกรดของไกลโฟเสทมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงประจุบน variable charge clay และ 4) กลไกการแข่งขันกับสารอื่นบนพื้นที่ผิวดูดซับ (Wang, et al., 2004; Barrett and McBride, 2006 และ Gimsing et al., 2007) มีรายงานผลการวิจัยที่ยืนยันถึงผลทางลบของสารไกลโฟเสทที่มีต่อการดูดซับของทองแดง สังกะสีและแคดเมียม (Morillo, et al., 2002; Wang, et al., 2004; Wang, et al., 2006 และ Gimsing et al., 2007) แต่ทุกการทดลองเป็นการศึกษาผลของไกลโฟเสทที่ใส่ควบคู่กันในการทดลองการดูดซับ โดยวิธีการ batch equilibrium experiment ที่ไม่ได้ยืนยันผลที่เกิดขึ้นในสภาพหน้าตัดดิน

Barrett and McBride (2006) รายงานผลการศึกษาว่า การใส่ไกลโฟเสทในรูปราวน์อัพซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้าโดยใส่ในดินที่ระดับความเข้มข้น 220 mg a.i. /kg มีผลทำให้ธาตุต่างๆ เช่น ทองแดง อะลูมิเนียมและฟอสฟอรัสที่ปนเปื้อนอยู่ก่อนในดินสามารถเคลื่อนที่ได้ออกมากได้ การปลดปล่อยทองแดงและอะลูมิเนียมเป็นผลมาจากการที่ไกลโฟเสทสามารถสร้างคีเลตเชิงซ้อนกับทองแดงและอะลูมิเนียมในสารละลาย ทำให้ทองแดงและอะลูมิเนียมที่ดูดซับอยู่ถูกปลดปล่อยออกมาแทนที่ นอกจากนั้น สารไกลโฟเสทยังสามารถแย่งตำแหน่งพื้นผิวดูดซับกับสสารอื่นในดิน จากการศึกษาของ Gimsing et al. (2007) พบว่า ไกลโฟเสทสามารถแข่งขันในการดูดซับกับฟอสเฟตในดิน เนื่องจาก ไกลโฟเสทและฟอสเสท มีตำแหน่งพื้นผิวดูดซับ กลไกและรูปแบบการดูดซับที่คล้ายกันจึงมีการแข่งขันกัน การดูดซับของไกลโฟเสทและฟอสเพตสอดคล้องกับสมการ Langmuir โดยไกลโฟเสทมีปริมาณการดูดซับสูงสุดมากกว่าฟอสเฟต นอกจากนั้น Barrett and McBride (2006) ยังพบว่า การปลดปล่อยฟอสฟอรัสที่ถูกดูดซับอยู่ที่อนุภาคดิน เป็นผลมาจากการแข่งขันแย่งพื้นผิวดูดซับซึ่งไกลโฟเสทดูดซับได้ดีกว่า โดยระดับความเข้มข้นของไกลโฟเสทในดินที่สามารถแสดงอิทธิพลต่างๆคือ 50 mg a.i. /kg ซึ่งเป็นระดับที่พบเมื่อพิจารณาชั้นบางๆที่ผิวดิน

ไกลโฟเสทแสดงอิทธิพลต่อการดูดซับสารเคมีแตกต่างกันไปในดินแต่ละชนิดที่มีคุณสมบัติของดินต่างกัน Morillo, et al. (2002) รายงานว่า การใส่สารไกลโฟเสทลงดินทำให้ดินมีการดูดซับธาตุทองแดงลดลง โดยชนิดของแร่ดินเหนียวในดินเป็นตัวควบคุมความมากน้อยของอิทธิพลของไกลโฟเสทที่มีต่อการดูดซับ ดิน S48 (%Clay=10 %OM=5.34) ซึ่งมีแร่ดินเหนียวส่วนใหญ่เป็นพวกอะลูมิโนซิลิเกต การใส่ไกลโฟเสทในระดับ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 mM ทำให้ปริมาณการดูดซับทองแดงของดินลดลงอย่างมากเมื่อเทียบกับดินที่ไม่ใส่ไกลโฟเสท โดยระดับต่างๆของสารไกลโฟเสทแสดงไม่แตกต่างกัน ส่วนดิน LM (%Clay=25 %OM=1.41) และดิน ST (%Clay=18 %OM=1.86) ซึ่งมีแร่ดินเหนียวออกไซด์เป็นส่วนใหญ่ พบว่า ปริมาณการดูดซับทองแดงจะลดลงน้อยกว่าดิน S48 และปริมาณการลดลงสัมพันธ์ทางบวกกับระดับต่างๆของสารไกลโฟเสทอย่างชัดเจน นอกจากนี้ Wang, et al. (2006) ยังรายงานผลการทดลองกับสงกะสี และมีข้อสรุปที่สอดคล้องกันว่า ไกลโฟเสทแสดงอิทธิพลทางลบต่อปริมาณการดูดซับสังกะสี ดินที่มีอินทรียวัตถุและความจุแลกเปลี่ยนไอออนสูงจะมีอิทธิพลน้อยกว่าในดินที่มีอินทรียวัตถุและความจุแลกเปลี่ยนไอออนบวกต่ำกว่า

ความเป็นกรดด่างของดินเป็นคุณสมบัติสำคัญที่มีส่วนควบคุมการดูดซับโลหะหนักเช่นกัน การศึกษาบนแร่เกอไทต์ที่มีการปรับค่าพีเอชของ Wang, et al. (2008) พบว่า สารไกลโฟเสททำให้ปริมาณการดูดซับสังกะสีเพิ่มขึ้นเนื่องจากมีไกลโฟเสททำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมระหว่างสังกะสีกับพื้นผิวประจุบวกของเกอไทต์เมื่อมีค่าพีเอชต่ำกว่า 5 แต่ทำให้การดูดซับลดลงเนื่องจากการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนเมื่อมีค่าพีเอชสูงกว่า 5 และสรุปเพิ่มเติมว่าในดินกรดไกลโฟเสทมีผลทำให้โลหะหนักเคลื่อนที่ลงสู่แหล่งน้ำใต้ดินได้น้อยลง ส่วนดินด่างไกลโฟเสทมีผลทำให้ธาตุโลหะหนักเคลื่อนที่ได้มากขึ้นและมี ความเป็นประโยชน์ต่อสิ่งมีชีวิตมากขึ้น

การปนเปื้อนของสารไกลโฟเสทในดินส่งผลต่อคุณสมบัติดินหลายๆด้าน ทั้งด้านกิจกรรมของจุลินทรีย์ (Araújo et al., 2003) และคุณสมบัติทางเคมีของดิน การทดลองในสภาพห้องปฏิบัติการพบว่า สารไกลโฟเสททำให้ดินมีความเป็นกรดเพิ่มขึ้น มีปริมาณการดูดซับฟอสฟอรัสลดลง (Barrett and McBride, 2006 และ Gimsing et al., 2007) และมีปริมาณการดูดซับธาตุโลหะทองแดง สังกะสีและแคดเมียมลดลง (Morillo, et al., 2002; Zhou, et al., 2004; Wang, et al., 2006 และ Gimsing et al., 2007) สำหรับการศึกษาดินสภาพเรือนทดลองโดย วภากร ศิริวงศ์ (2553) พบว่า การใส่สารไกลโฟเสทที่ใส่ลงดินปริมาณ 5 เท่าของอัตราที่แนะนำแก่เกษตรกรทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติบางประการของดินภายในระยะเวลา 1 ปี คุณสมบัติที่พบว่าเปลี่ยนแปลงประกอบด้วย ปริมาณอินทรียวัตถุและความเป็นกรด-ด่างลดลง ปริมาณฟอสฟอรัสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ปริมาณการแลกเปลี่ยนแมงกานีส โพแทสเซียมและแคลเซียมในดินเปลี่ยนแปลง และปริมาณการดูดธาตุไอออนบวกลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยเป็นการศึกษาในสภาพเรือนทดลองกับดินร่วนปนทรายแป้งเพียงหนึ่งชนิด

บทที่ 3

วิธีการศึกษาวิจัย

การศึกษาอิทธิพลของสารไกลโฟเสทที่มีต่อคุณสมบัติของดินชนิดต่างๆ เป็นการทดลองเพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติของดินชนิดต่างๆที่มีความแตกต่างกัน โดยทำการคัดเลือกตัวอย่างดิน 6 ชนิดที่มีคุณสมบัติแตกต่างกันโดยคัดเลือกจากจุดเก็บตัวอย่างในพื้นที่ภาคเหนือตอนล่างให้เป็นตัวแทนของดินในพื้นที่เพาะปลูก โดยศึกษากับ เป็นการศึกษาโดยการทดลองในสภาพเรือนทดลองกับตัวอย่างดินในกระถางที่มีการรักษาระดับความชื้นดินตลอดการทดลอง โดยการใส่สารไกลโฟเสทแล้วเก็บตัวอย่างดินตามระยะเวลาต่างๆมาวิเคราะห์ข้อมูล ประกอบด้วย คุณสมบัติทางเคมีของดินและปริมาณการดูดซับ โดยมีแผนการทดลองและขั้นตอนวิธีการศึกษาวิจัยดังต่อไปนี้

3.1 การคัดเลือกและเตรียมตัวอย่างดิน

การศึกษาลักษณะพื้นที่และชนิดดินในพื้นที่ โดยการสำรวจพื้นที่เกษตรกรรมที่กระจายอยู่ในพื้นที่จังหวัดพิษณุโลก สุโขทัย อุตรดิตถ์และพิจิตร ตามข้อมูลทุติยภูมิในตารางที่ 3.1 ทำการเก็บตัวอย่างดินชั้นหน้าดินจากจุดต่างๆมาวิเคราะห์ข้อมูลคุณสมบัติของดิน ได้แก่ สัดส่วนขนาดอนุภาคดิน ปริมาณอินทรียวัตถุ ความจุแลกเปลี่ยนไอออน และค่าพีเอชของดิน ตามข้อมูลในตารางที่ 3.1

จากข้อมูลคุณสมบัติดินที่ทำการสำรวจในเบื้องต้น 14 จุดเก็บตัวอย่าง ทำการคัดเลือกตัวอย่างดินที่มีความแตกต่างในด้านสัดส่วนขนาดอนุภาค ปริมาณอนุภาคขนาดดินเหนียว ค่าความจุแลกเปลี่ยนไอออนบวกและค่าความเป็นกรด-ด่างของดินจำนวน 6 ตัวอย่าง คือ ตัวอย่างดิน Soil#1, Soil#2, Soil#3, Soil#4, Soil#5 และ Soil#6 เพื่อนำไปใช้ในการทดลอง จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างดินจากจุดที่ทำการคัดเลือกแล้วทั้ง 6 ชนิดดิน นำไปผ่านการผึ่งให้แห้ง บด-ร่อนและคลุกเค้าให้สม่ำเสมอและนำไปบรรจุในกระถางพลาสติกเพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

3.2 การวางแผนการทดลอง

โครงการวิจัยนี้ทำการศึกษาพฤติกรรมของไกลโฟเสทในตัวอย่างดิน 6 ตัวอย่าง ทำการทดลอง 2 ซ้ำ โดยจัดวางหน่วยทดลองแบบสุ่มตลอด ภายในพื้นที่ทดลองที่ป้องกันน้ำฝน โดยมีชุดการทดลองประกอบด้วย

- ตัวอย่างดินที่มีการใส่สารไกลโฟเสทอัตรา 5 เท่าของปริมาณที่แนะนำให้เกษตรกรใช้ โดยเติมสารในรูปสารละลายมาตรฐานไกลโฟเสทความเข้มข้น 2,946 mgL^{-1} ที่เตรียมจากสาร 1,1'-dimethyl-4,4'bipyridinium ความบริสุทธิ์ 98% ของ Sigma-Aldrich ปริมาตร 9 mL ต่อกระถาง ปริมาตร 9 mL จำนวน 18 กระถางสำหรับเก็บตัวอย่างดินไปวิเคราะห์ ตามระยะเวลา 0, 1, 2, 5, 7, 12 14, 21 และ 28 วัน หลังการเติมสารไกลโฟเสท
- ตัวอย่างดินที่ไม่มีการเติมสารไกลโฟเสท จำนวน 16 กระถาง สำหรับเก็บตัวอย่างดินไปวิเคราะห์ตามระยะเวลา 0, 7, 14 และ 28 วัน

3.3 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ข้อมูล

ทำการเก็บตัวอย่างดินและน้ำในแต่ละกระถาง ตามระยะเวลา นำไปวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ ประกอบด้วย คุณสมบัติของดิน ความสามารถในการดูดซับ ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของดินและวิธีการวิเคราะห์

คุณสมบัติดิน	วิธีการวิเคราะห์	เอกสารอ้างอิง
1. ค่าความเป็นกรดด่าง	ดิน:น้ำ 1:1	
2. ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์	Neutral 1N NH_4OAc	Chapman (1965)
3. ปริมาณธาตุด่างแลกเปลี่ยนได้	Neutral 1N NH_4OAc	Lanyon and Heald (1982)
4. ปริมาณจุลธาตุที่เป็นประโยชน์	DTPA extraction	Olson and Roscoe (1982)
5. ปริมาณการดูดซับฟอสเฟต		
6. ปริมาณการดูดซับธาตุแคลเซียม	Batch equilibration technique	(OECD, 1993)
7. ปริมาณการดูดซับโพแทสเซียม	Batch equilibration technique	(OECD, 1993)
8. ปริมาณการดูดซับทองแดง	Batch equilibration technique	(OECD, 1993)
9. ปริมาณการดูดซับสังกะสี	Batch equilibration technique	(OECD, 1993)

การวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมที่ละลายได้และที่ถูกดูดซับ

ทำการศึกษาปริมาณโพแทสเซียมที่ละลายได้และที่ถูกดูดซับของดินที่ได้รับสารไกลโฟเสทตามระยะเวลาต่างๆเพื่อเปรียบเทียบกับดินที่ไม่ใส่สารไกลโฟเสท โดยนำดินจากการทดลองในกระถางมาทดสอบโดยวิธีโดย Batch equilibration technique โดยใช้สัดส่วนดินต่อสารละลาย 2 : 20 ในระบบที่มีสารละลาย 0.01 M $CaCl_2$ เป็นสารละลายพื้นฐาน จากการทดสอบเบื้องต้นตามข้อมูลในภาคผนวก3 ได้ค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมที่ใช้กับดินแต่ละชนิดเป็น 60, 50, 30, 50, 30, 20 $mg.L^{-1}$ สำหรับตัวอย่างดิน Soil#1, Soil#2, Soil#3, Soil#4, Soil#5 และ Soil#6 ตามลำดับ ทำการคำนวณได้ข้อมูลปริมาณการดูดซับธาตุโพแทสเซียมในดินจากความเข้มข้นของโพแทสเซียมที่เหลืออยู่ที่จุดสมดุลย์

บทที่ 4

ผลการศึกษาวิจัย

การทดลองเพื่อศึกษากับดินที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน 6 ชนิด เพื่อศึกษาอิทธิพลของสารไกลโฟเสทที่ใส่ในระดับ 5 เท่าของอัตราแนะนำ หรือคิดเป็นค่าความเข้มข้นในดิน 22.5 $mg.kg^{-1}$ การติดตามคุณสมบัติของดินที่มีความสม่ำเสมอในสภาพกระถางเป็นเวลา 28 วัน ได้ผลการทดลองประกอบด้วยคุณสมบัติของดินชนิดต่างๆ และอิทธิพลของสารไกลโฟเสทต่อค่าความเป็นกรดด่างของดิน ประมาณฟอสฟอรัส ปริมาณการดูดซับโพแทสเซียมและปริมาณการแลกเปลี่ยนไอออนบวก ดังนี้

4.1 คุณสมบัติของดินชนิดต่างๆที่ใช้ทำการทดลอง

ตัวอย่างดินที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ที่มีคุณสมบัติด้านต่างๆแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติของดินที่ใช้ทำการศึกษา

	ดินชนิดต่างๆ					
	Soil#1	Soil#2	Soil#3	Soil#4	Soil#5	Soil#6
%Clay	42.4	41.0	32.2	31.3	14.9	10.5
%silt	30.2	31.6	32.4	40.3	33.4	17.8
%Sand	27.4	27.4	35.4	28.4	51.7	71.7
Soil Texture	Clay	Clay	Clay Loam	Clay Loam	Loam	Sandy Loam
pH	5.4	6	5.3	6.6	5.9	5.1
CEC, $cmol_e/kg$	15.5	12	7	13	7.5	5.5
%OM	4.9	2.26	0.65	2.00	1.03	1.53
Available P, $mg.kg^{-1}$	8.98	3.64	4.30	39.21	21.63	8.33
mineral		mixed	mixed	kao		kao-mixed
Ex Base, $cmol_e.kg^{-1}$	23.3	13.7	3.5	16.5	7.7	4.8
Ex K, $cmol_e.kg^{-1}$	1.2	0.6	0.7	1.3	0.7	0.7
Ex Ca, $cmol_e.kg^{-1}$	16.8	10.4	2.1	13.0	5.1	3.6
Ex Mg, $cmol_e.kg^{-1}$	5.4	2.7	0.7	2.2	1.9	0.5
BS, %	150.6	114.3	50.2	127.0	102.7	88.0
% Saturated K	7.6	4.9	10.2	10.0	9.3	12.7
% Saturated Ca	108.3	86.7	30.4	100.2	68.5	66.1
% Saturated Mg	34.7	22.8	9.7	16.8	24.9	9.2

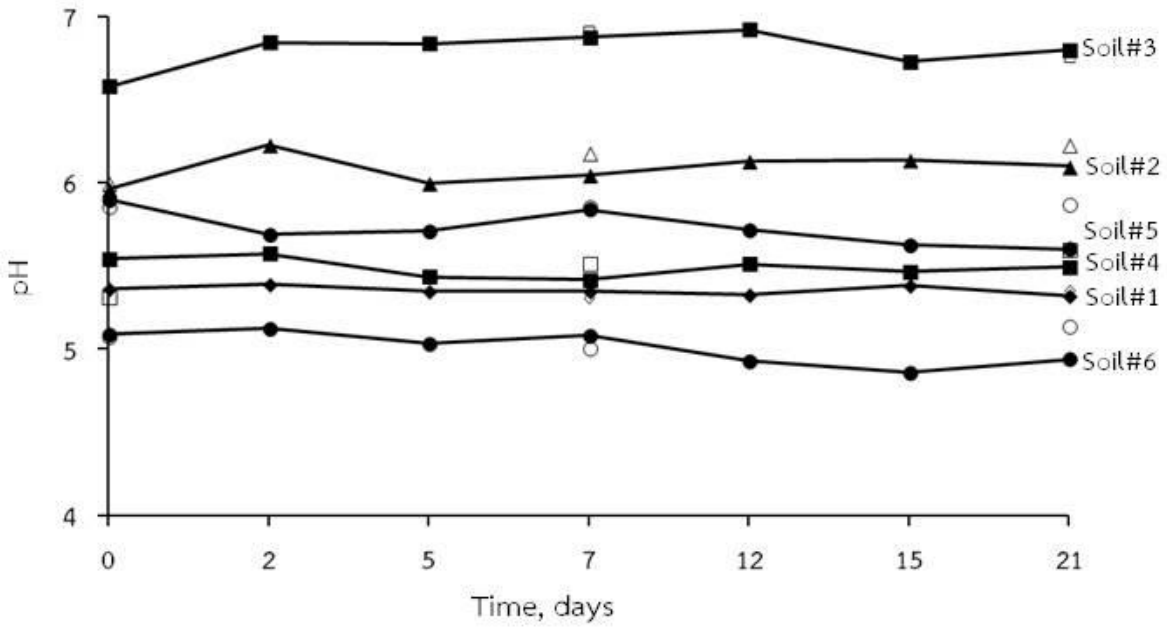
4.2 อิทธิพลของสารไกลโฟเสทต่อความเป็นกรด-ด่างของดิน

การศึกษาผลของการใส่สารไกลโฟเสทต่อค่าความเป็นกรด-ด่างของดินได้ข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 4.2 และการติดตามการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชดินตามระยะเวลาต่างๆหลังจากใส่สารไกลโฟเสทแสดงในภาพที่ 4.1

ตารางที่ 4.2 ค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน 6 ชนิดที่ไม่ใส่และใส่สารไกลโฟเสทตามระยะเวลาต่างๆ

	Soil#1		Soil#2		Soil#3		Soil#4		Soil#5		Soil#6	
Days	w/o	+GLY	w/o	+GLY	w/o	+GLY	w/o	+GLY	w/o	+GLY	w/o	+GLY
0	5.35	5.36	6.00	5.97	5.31	5.54	6.58	6.58	5.86	5.90	5.07	5.09
2		5.39		6.23		5.58		6.85		5.69		5.13
5		5.35		6.00		5.43		6.84		5.71		5.04
7	5.32	5.35	6.18	6.05	5.52	5.42	6.91	6.88	5.86	5.84	5.00	5.09
12		5.33		6.13		5.51		6.92		5.72		4.93
15		5.38		6.14		5.47		6.73		5.63		4.86
21	5.36	5.32	6.23	6.10	5.60	5.49	6.77	6.80	5.87	5.60	5.14	4.94

Note: w/o หมายถึงดินที่ไม่มีการใส่สารไกลโฟเสท
+GLY หมายถึงดินที่มีการใส่สารไกลโฟเสท



ภาพที่ 4.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน 6 ชนิด
หลังจาการใส่สารไกลโฟเสทที่ระยะเวลาต่างๆ

4.3 อิทธิพลของสารไกลโฟเสทต่อปริมาณฟอสฟอรัสในดิน

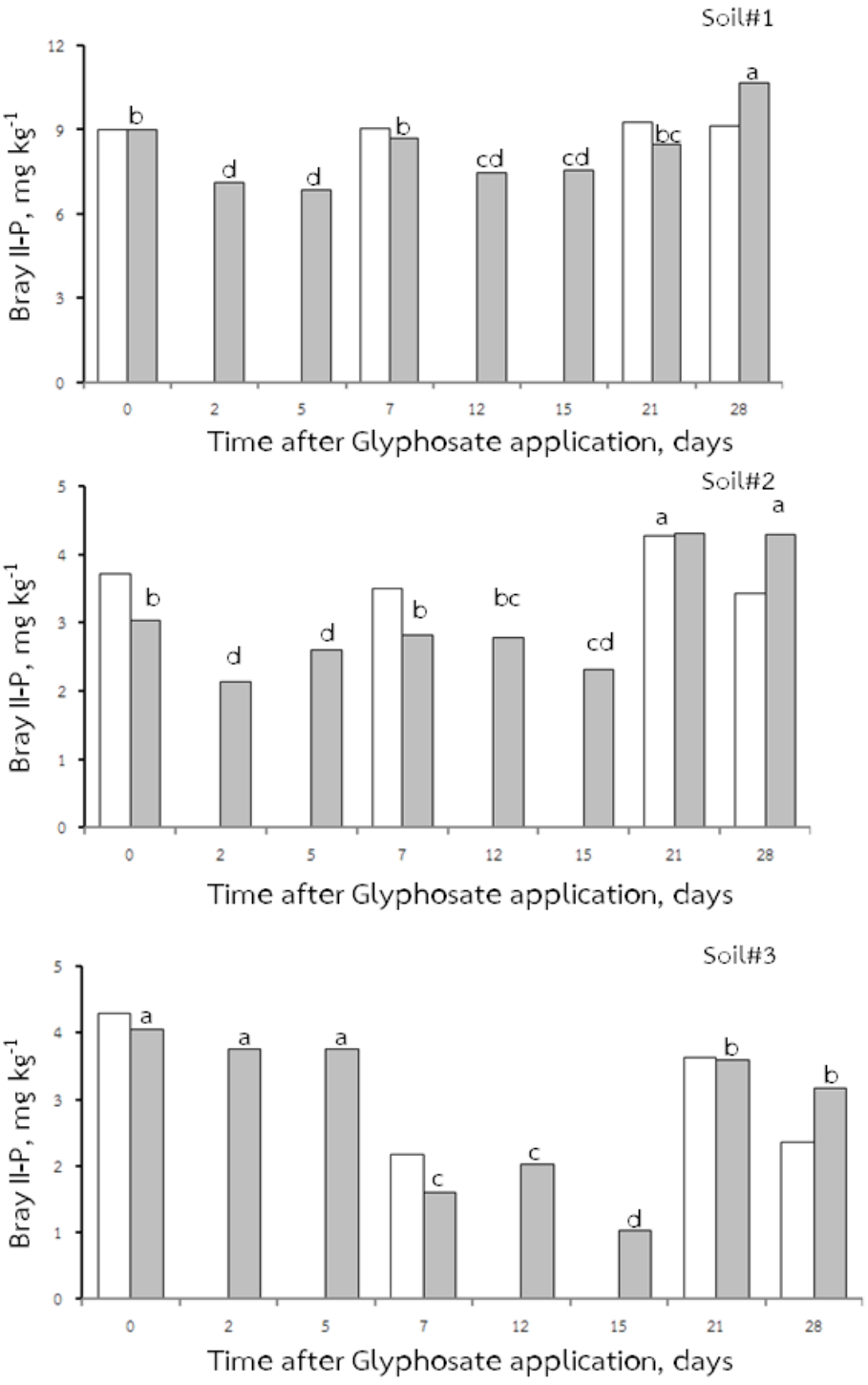
การศึกษาผลของการใส่สารไกลโฟเสทในดินต่อปริมาณฟอสฟอรัสในดิน 6 ชนิดโดยทำการวัดปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Bray-II) ได้ค่าข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ตามระยะเวลาหลังจากการใส่สารไกลโฟเสทและการเปรียบเทียบกับปริมาณเริ่มต้นในดินก่อนการใส่สารไกลโฟเสทมีความแตกต่างกันตามชนิดของดินดังแสดงในภาพที่ 4.2 และ 4.3 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินทุกชนิดมีค่าลดลงในระดับความมากน้อยและความช้าเร็วแตกต่างกันในดินแต่ละชนิด ดินส่วนใหญ่มีปริมาณฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นเท่ากับปริมาณฟอสฟอรัสเริ่มต้นในดินหรือมีค่าสูงกว่าค่าเริ่มต้นในดินบางชนิด

ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินเปรียบเทียบระหว่างดินที่ใส่สารไกลโฟเสทและดินที่ไม่ใส่สารไกลโฟเสทในวันเริ่มต้นการทดลอง พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสมีค่าน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญในวันแรกในตัวอย่างดิน Soil#2 และ Soil#4 และในวันที่ 2 ในตัวอย่าง, Soil#1 และ Soil#3 และในวันที่ 7 และ 21 ในตัวอย่างดิน Soil#6 และ Soil#5 ตามลำดับ ตัวอย่างดินที่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เริ่มต้นสูงจะมีการลดลงของฟอสฟอรัสเนื่องจากการได้รับสารไกลโฟเสทน้อยที่สุด โดยลำดับการลดลงน้อยไปมากเป็น Soil#4, Soil#5, Soil#1, Soil#6, Soil#2 และ Soil#3 ซึ่งมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เริ่มต้นในดินเป็น 39.3, 21.6, 9.0, 8.3, 3.6 และ 4.3 $mg.kg^{-1}$ และมีค่าพีเอชดินเป็น 6.6, 5.9, 5.4, 5.1, 6.0 และ 5.3 ตามลำดับ

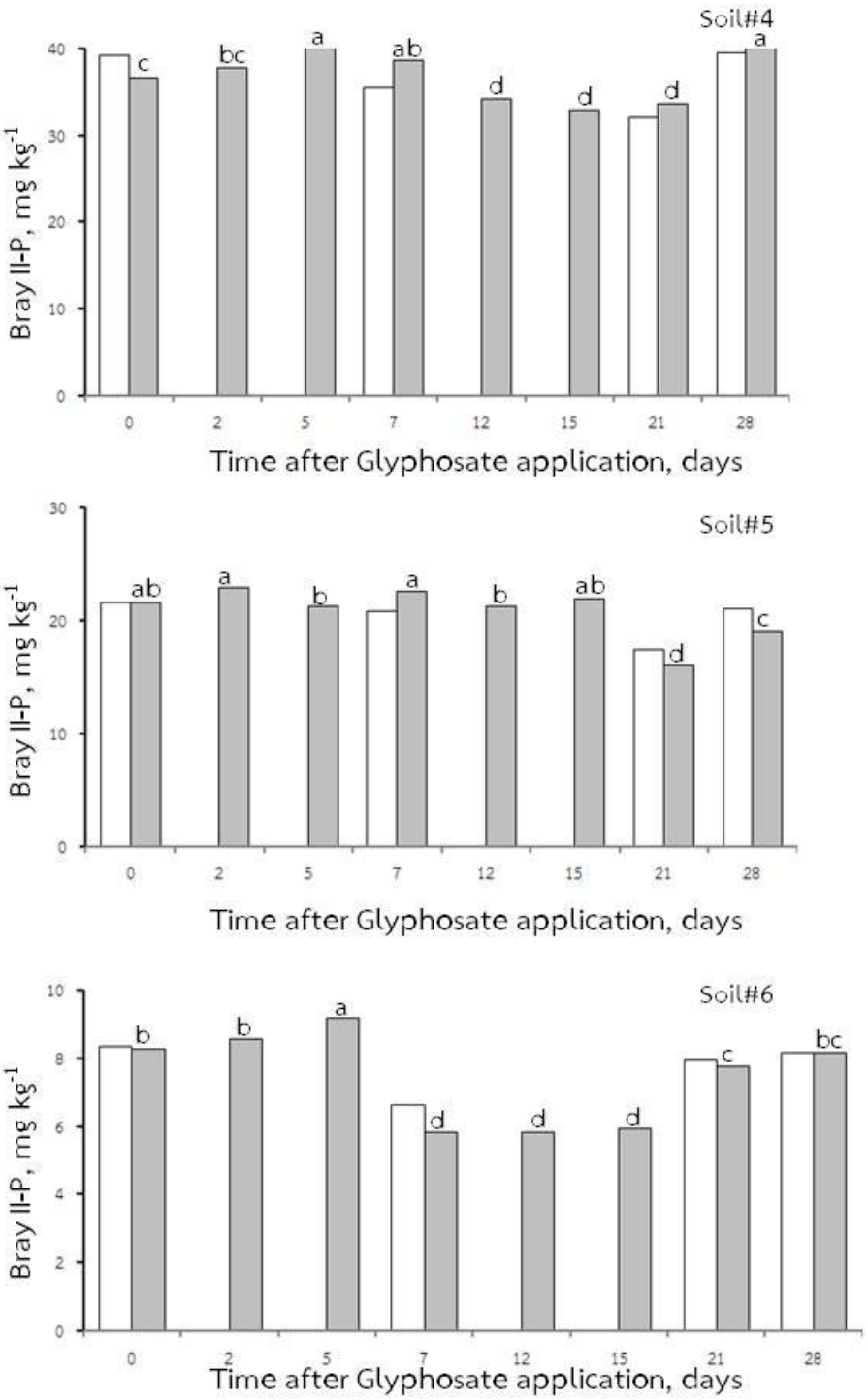
ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินทุกตัวอย่างมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นในวันที่ 28 ตัวอย่างดินที่มีปริมาณฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นสูงกว่าปริมาณเริ่มต้นอย่างมีนัยสำคัญ ได้แก่ ตัวอย่างดิน Soil#1, Soil#2 และ Soil#4 ซึ่งมีค่าความจุแลกเปลี่ยนไอออนบวก 15.5, 12 และ 13 $cmole.kg^{-1}$ มีปริมาณอินทรียวัตถุ 4,90%, 2.26% และ 2.00% ตามลำดับ ตัวอย่างดินที่มีปริมาณฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นแต่ไม่แตกต่างจากปริมาณเริ่มต้น คือ ตัวอย่างดิน Soil#6 ซึ่งมีค่าความจุแลกเปลี่ยนไอออนบวก 5.5 $cmole.kg^{-1}$ มีปริมาณอินทรียวัตถุ 1.53% และดินที่มีปริมาณฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นแต่น้อยกว่าค่าเริ่มต้นอย่างมีนัยสำคัญ ได้แก่ ตัวอย่างดิน Soil#5 และ Soil#3 ซึ่งมีค่าความจุแลกเปลี่ยนไอออนบวก 7.5 และ 7 $cmole.kg^{-1}$ มีปริมาณอินทรียวัตถุ 1.03% และ 0.65% ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินชนิดต่างๆตามระยะเวลาหลังจากการใส่สารไกลโฟเสท

	Soil#1		Soil#2		Soil#3		Soil#4		Soil#5		Soil#6	
Days	w/o	+GLY	w/o	+GLY	w/o	+GLY	w/o	+GLY	w/o	+GLY	w/o	+GLY
0	8.98	8.99	3.71	3.04	4.30	4.06	39.27	36.67	21.63	21.62	8.33	8.25
2		7.13		2.14		3.76		37.80		22.87		8.57
5		6.84		2.59		3.76		40.08		21.24		9.17
7	9.04	8.67	3.50	2.82	2.17	1.61	35.47	38.69	20.86	22.56	6.62	5.81
12		7.48		2.78		2.03		34.26		21.22		5.82
15		7.56		2.31		1.04		32.83		21.91		5.95
21	9.26	8.47	4.27	4.31	3.62	3.60	32.04	33.57	17.40	16.12	7.94	7.75
28	9.15	10.67	3.43	4.29	2.36	3.17	39.48	42.28	21.05	19.05	8.15	8.15



ภาพที่ 4.2 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินที่ในระยะเวลาต่างๆ หลังจากใส่สารไกลโฟเสทในดิน Soil#1, Soil#2และ Soil#3 (ตัวอักษรแสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของปริมาณฟอสฟอรัสภายในดินที่ระยะเวลาต่างๆกันเปรียบเทียบโดยวิธี Duncan ที่ α = 0.05)



ภาพที่ 4.3 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินที่ในระยะเวลาต่างๆ หลังจากใส่สารไกลโฟเสทในดิน Soil#4, Soil#5 และ Soil#6 (ตัวอักษรแสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของปริมาณฟอสฟอรัสภายในดินที่ระยะเวลาต่างๆกันเปรียบเทียบโดยวิธี Duncan ที่ α = 0.05)

4.4 อิทธิพลของสารไกลโฟเสทต่อปริมาณธาตุด่างที่แลกเปลี่ยนได้

การศึกษาอิทธิพลของสารไกลโฟเสทต่อปริมาณธาตุด่างที่แลกเปลี่ยนได้ พบว่า สารไกลโฟเสทมีผลต่อปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ โดยมีความแตกต่างกันในแต่ละธาตุและดินแต่ละชนิด

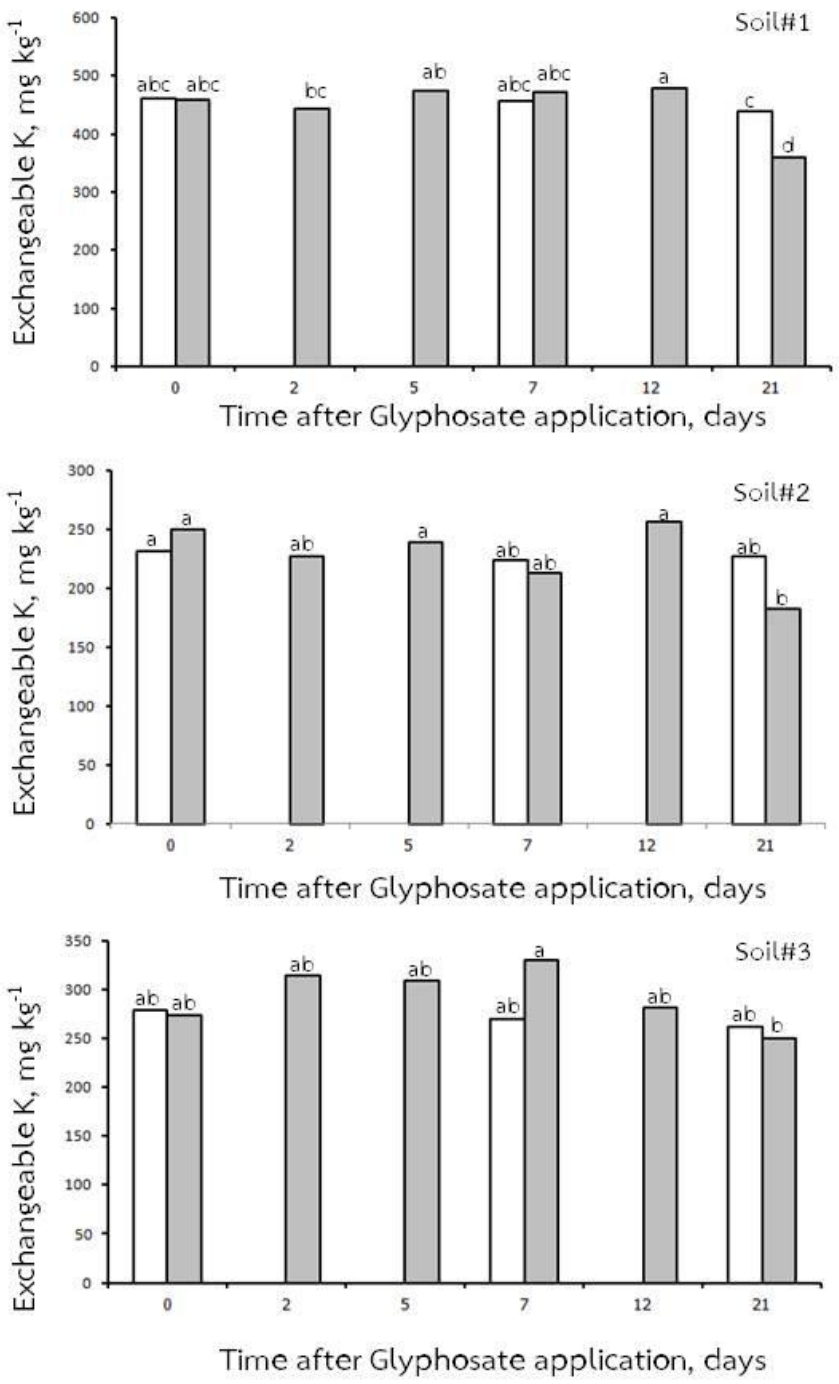
4.4.1 ปริมาณธาตุโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้

การศึกษาผลของการใส่สารไกลโฟเสทในดินต่อปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน 6 ชนิดโดยทำการวัดปริมาณปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินตามระยะเวลาต่างๆหลังจากการใส่สารไกลโฟเสท เปรียบเทียบกับการไม่ใส่สารไกลโฟเสท ได้ค่าข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 4.4

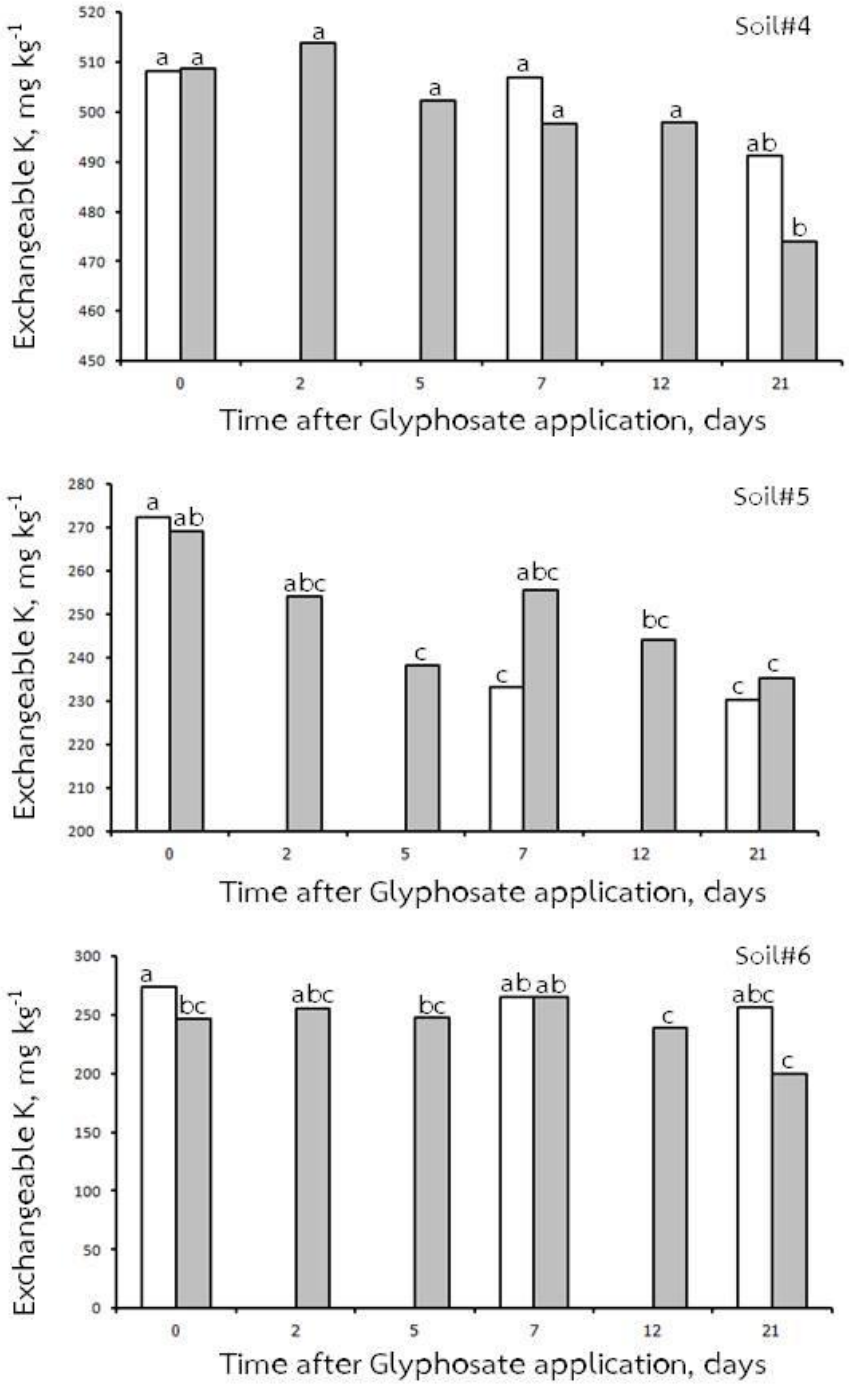
ตารางที่ 4.4 ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินชนิดต่างๆ

	Soil#1		Soil#2		Soil#3		Soil#4		Soil#5		Soil#6	
Days	w/o	+GLY	w/o	+GLY	w/o	+GLY	w/o	+GLY	w/o	+GLY	w/o	+GLY
0	460	459	232	250	278	273	508	509	272	269	274	247
2		444		227		314		514		254		255
5		474		239		309		502		238		248
7	456	471	224	213	269	330	507	498	233	256	265	265
12		479		256		281		498		244		239
21	439	360	228	183	262	250	491	474	230	235	256	199

ผลการทดลองพบว่า การใส่สารไกลโฟเสทมีผลต่อการลดลงของปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน ดังแสดงในภาพที่ 4.4 และ 4.5 ตัวอย่างดิน Soil#6 มีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ลดลงในวันแรก, วันที่ 2, 5, 7, 12 และ 21 หลังจากการใส่สารไกลโฟเสท ตัวอย่างดิน Soil#5 มีปริมาณโพแทสเซียมลดลงในวันที่ 5, 12 และ 21 และตัวอย่างดิน Soil#4, Soil#3, Soil#2, Soil#1 มีปริมาณโพแทสเซียมลดลงในวันที่ 21 ความมากน้อยของการลดลงเรียงลำดับ ตัวอย่างดิน Soil#4, Soil#5 และ Soil#6, Soil#1, Soil#2, Soil#5, Soil#3 และ Soil#4



ภาพที่ 4.4 ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ที่ระยะเวลาต่างๆ
หลังจากใส่สารไกลโฟเสทในดิน Soil#1, Soil#2และ Soil#3
(ตัวอักษรแสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้
ภายในดินที่ระยะเวลาต่างๆกันเปรียบเทียบโดยวิธี Duncan ที่ α = 0.05)



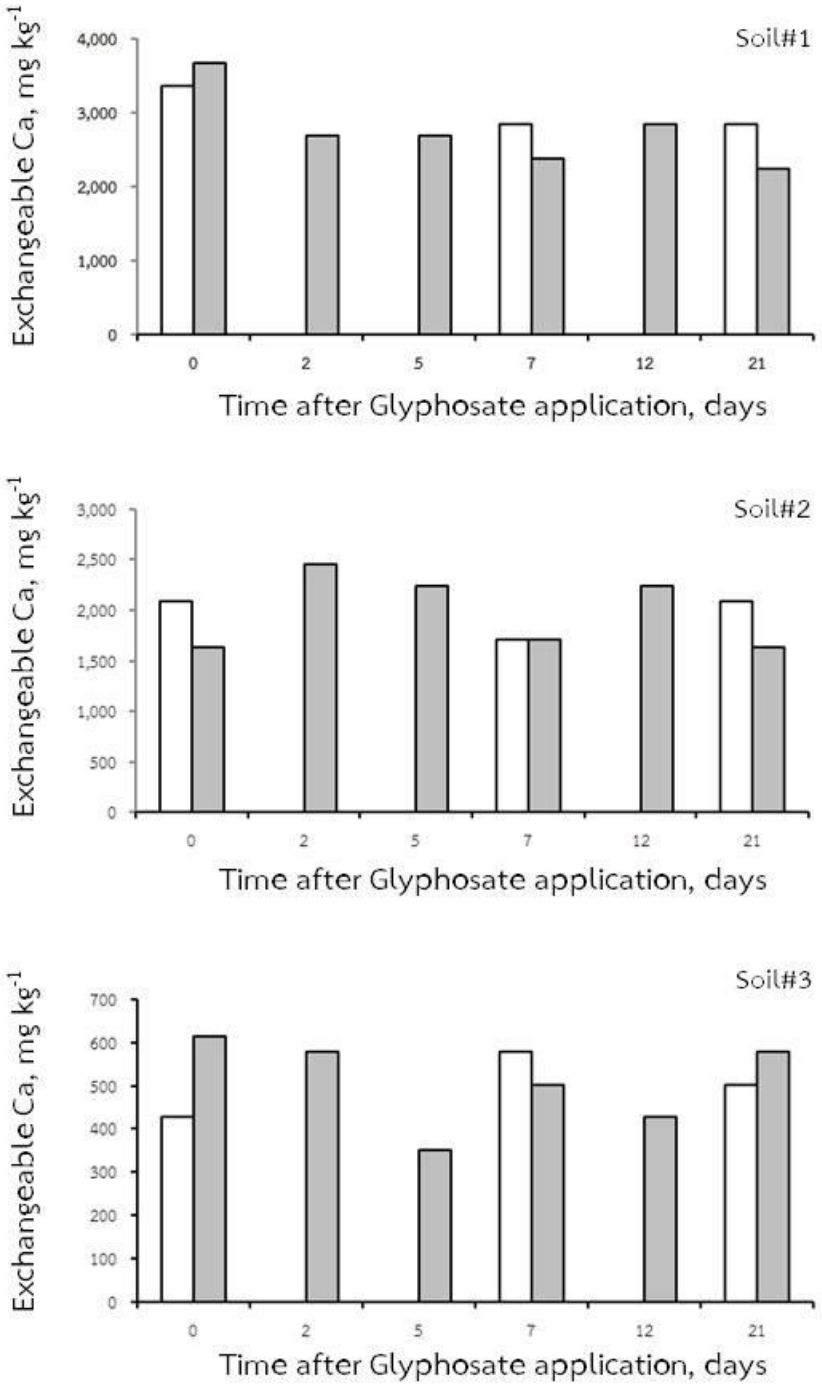
ภาพที่ 4.5 ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ที่ระยะเวลาต่างๆ หลังจากใส่สารไกลโฟเสทในดิน Soil#4, Soil#4 และ Soil#6 (ตัวอักษรแสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ภายในดินที่ระยะเวลาต่างๆกันเปรียบเทียบโดยวิธี Duncan ที่ α = 0.05)

4.4.2 ปริมาณธาตุแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้

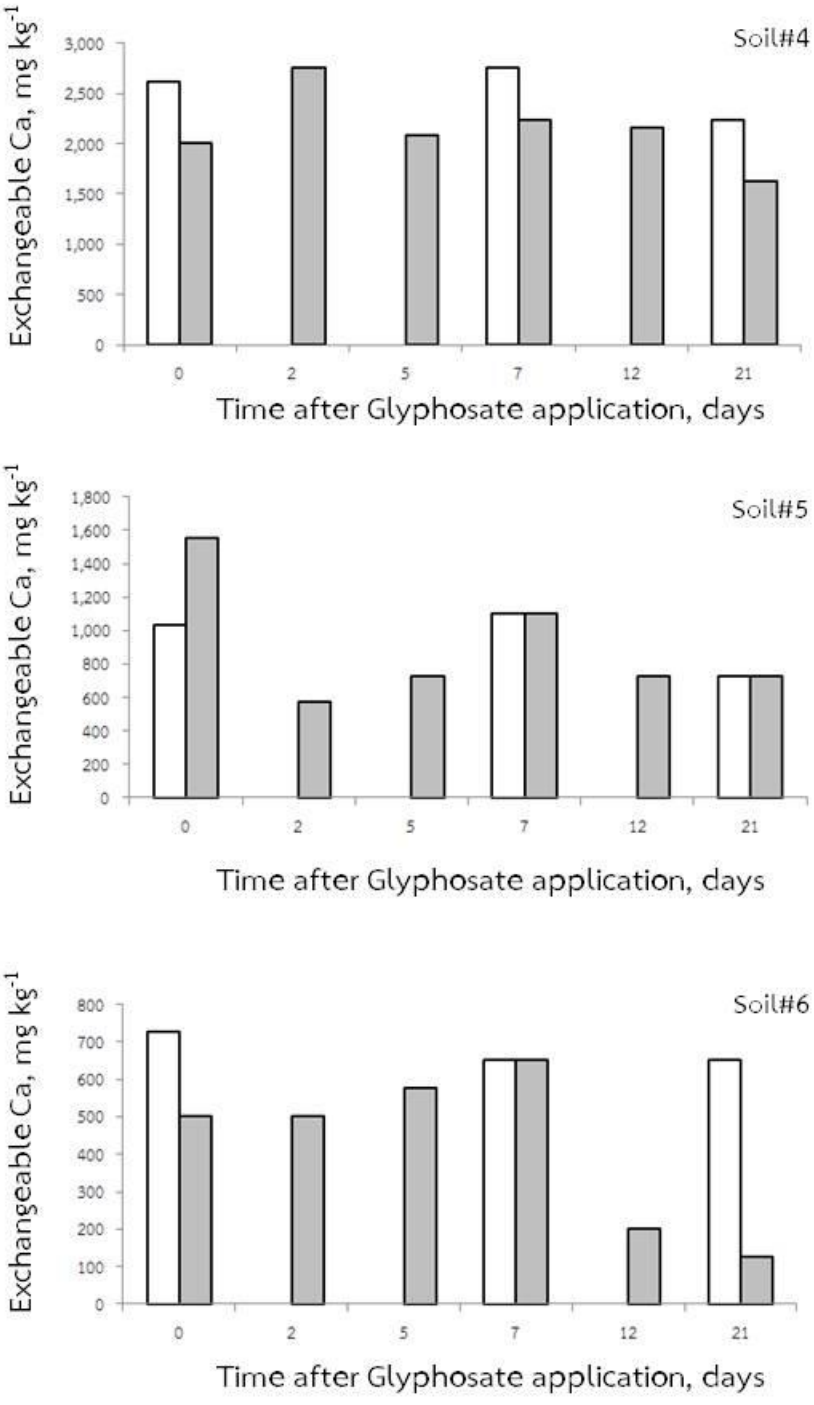
การศึกษาผลของการใส่สารไกลโฟเสทในดินต่อปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน 6 ชนิด โดยทำการวัดปริมาณปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินตามระยะเวลาต่างๆหลังจากการใส่สารไกลโฟเสท เปรียบเทียบกับการไม่ใส่สารไกลโฟเสท ได้ค่าข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 4.5 ผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ 4.6 และ 4.7 ปริมาณแคลเซียมมี่แลกเปลี่ยนได้ในดินในระยะเวลาต่างๆหลังจากการใส่สารไกลโฟเสทไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับปริมาณเริ่มต้น

ตารางที่ 4.5 ปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินชนิดต่างๆ

	Soil#1		Soil#2		Soil#3		Soil#4		Soil#5		Soil#6	
Days	w/o	+GLY	w/o	+GLY	w/o	+GLY	w/o	+GLY	w/o	+GLY	w/o	+GLY
0	3,364	3,666	2,084	1,632	427	615	2,611	2,009	1,029	1,557	728	502
2		2,686		2,460		577		2,762		577		502
5		2,686		2,235		351		2,084		728		577
7	2,837	2,385	1,707	1,707	577	502	2,762	2,235	1,105	1,105	653	653
12		2,837		2,235		427		2,159		728		201
21	2,837	2,235	2,084	1,632	502	577	2,235	1,632	728	728	653	125



ภาพที่ 4.6 ปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ที่ระยะเวลาต่างๆ
หลังจากใส่สารไกลโฟเสทในดิน Soil#1, Soil#2 และ Soil#3
(ตัวอักษรแสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้
ภายในดินที่ระยะเวลาต่างๆกันเปรียบเทียบโดยวิธี Duncan ที่ α = 0.05)



ภาพที่ 4.7 ปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ที่ระยะเวลาต่างๆ
หลังจากใส่สารไกลโฟเสทในดิน Soil#4, Soil#5 และ Soil#6
(ตัวอักษรแสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้
ภายในดินที่ระยะเวลาต่างๆกันเปรียบเทียบโดยวิธี Duncan ที่ α = 0.05)

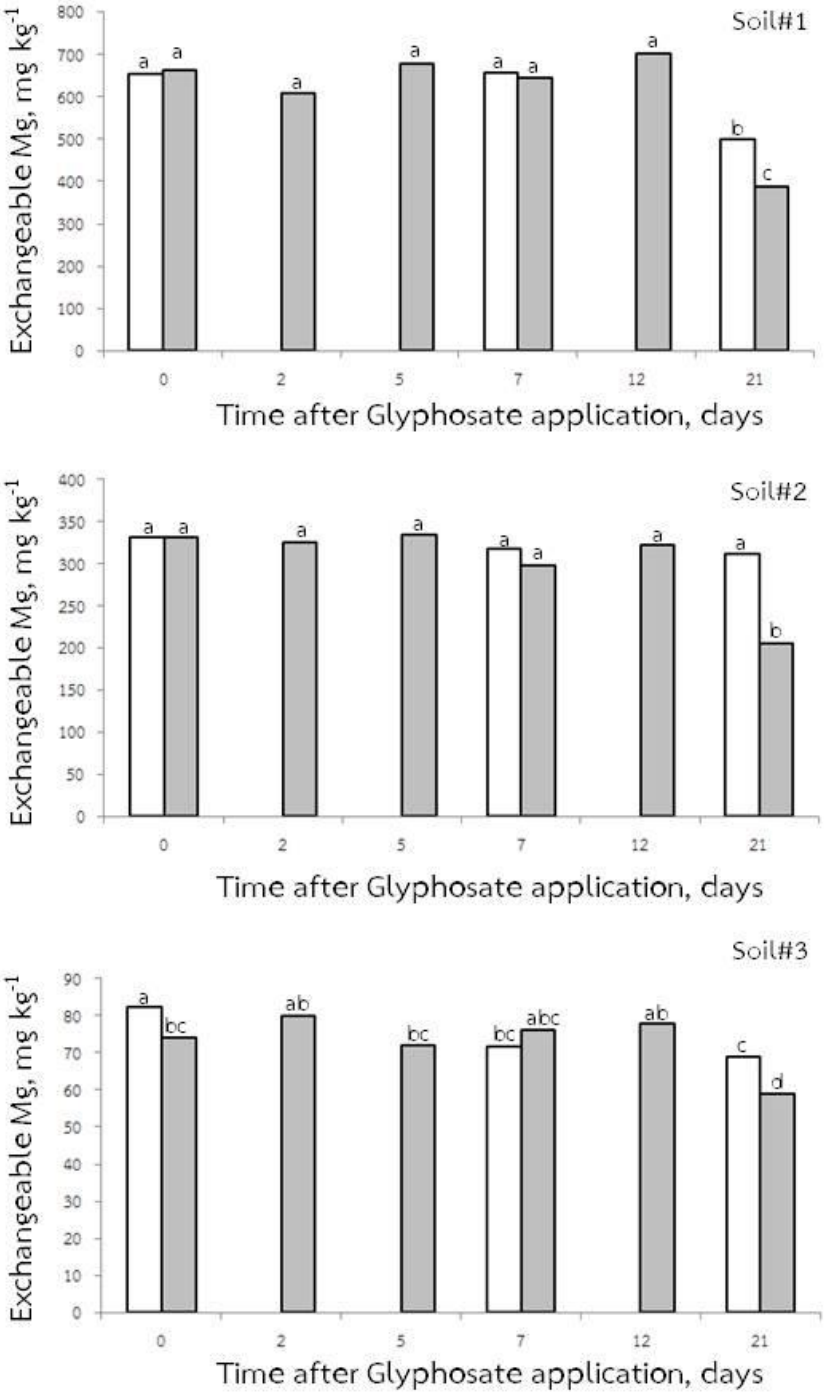
4.4.3 ปริมาณธาตุแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้

การศึกษาผลของการใส่สารไกลโฟเสทในดินต่อปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน 6 ชนิดโดยทำการวัดปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินตามระยะเวลาต่างๆหลังจากการใส่สารไกลโฟเสทเปรียบเทียบกับการไม่ใส่สารไกลโฟเสท ได้ค่าข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 4.6

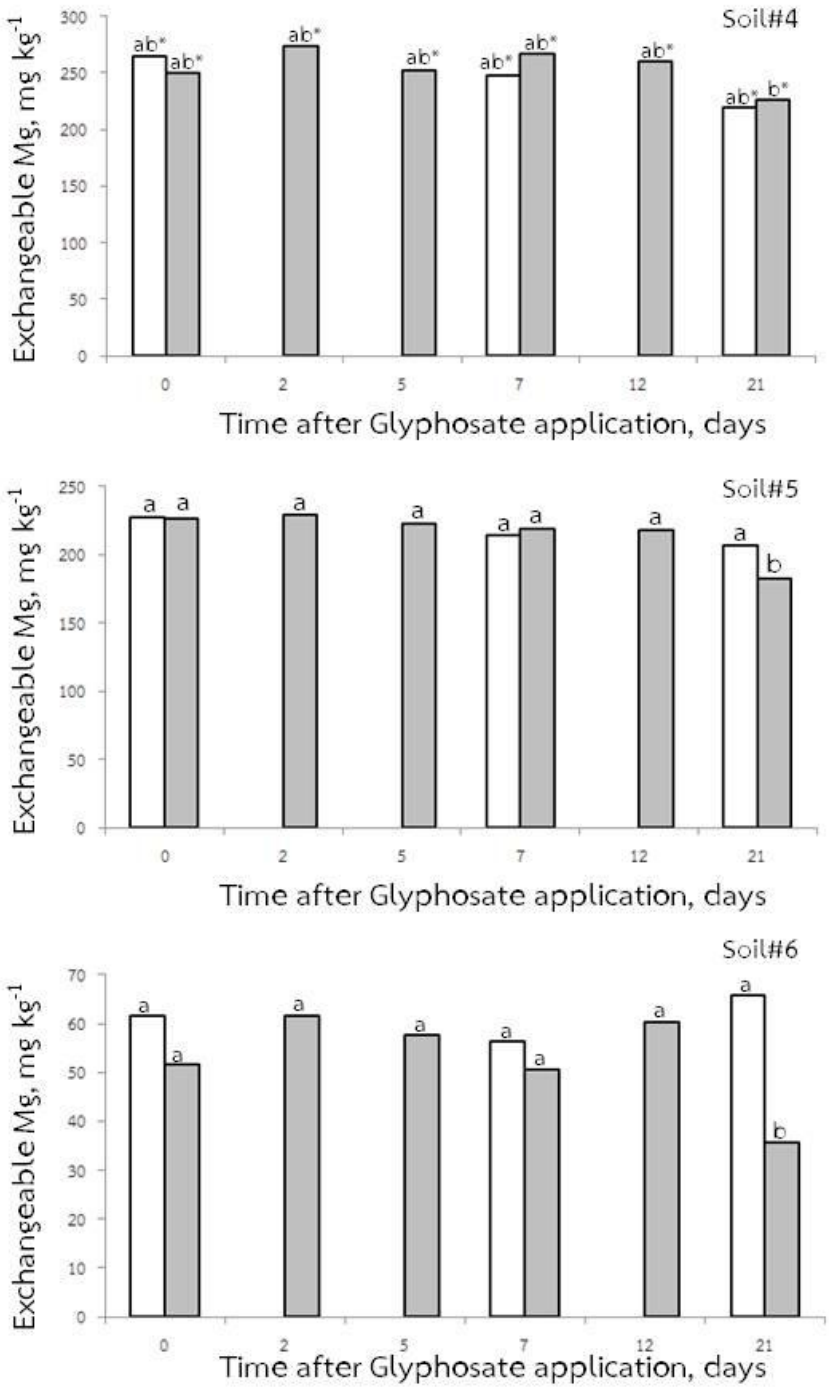
ตารางที่ 4.6 ปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินชนิดต่างๆ

	Soil#1		Soil#2		Soil#3		Soil#4		Soil#5		Soil#6	
Days	w/o	+GLY	w/o	+GLY	w/o	+GLY	w/o	+GLY	w/o	+GLY	w/o	+GLY
0	654	663	332	331	82	74	265	250	227	227	62	52
2		608		326		80		274		229		62
5		678		334		72		252		223		58
7	657	645	317	298	72	76	248	267	214	219	56	51
12		702		321		78		260		218		60
21	499	387	311	205	69	59	219	226	207	183	66	36

ผลการทดลองพบว่า การใส่สารไกลโฟเสทมีผลต่อการลดลงของปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน ดังแสดงในภาพที่ 4.8 และ 4.9 ปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินทุกชนิดมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญหลังจากใส่สารไกลโฟเสทเป็นเวลา 21 วัน โดยระดับความมากน้อยของการลดลงมีลำดับมากไปน้อยเป็น Soil#4, Soil#1, Soil#2, Soil#3, Soil#5 และ Soil#4



ภาพที่ 4.8 ปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ที่ระยะเวลาต่างๆ หลังจากใส่สารไกลโฟเสทในดิน Soil#1, Soil#2 และ Soil#3 (ตัวอักษรแสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ภายในดินที่ระยะเวลาต่างๆกันเปรียบเทียบโดยวิธี Duncan ที่ α = 0.05)



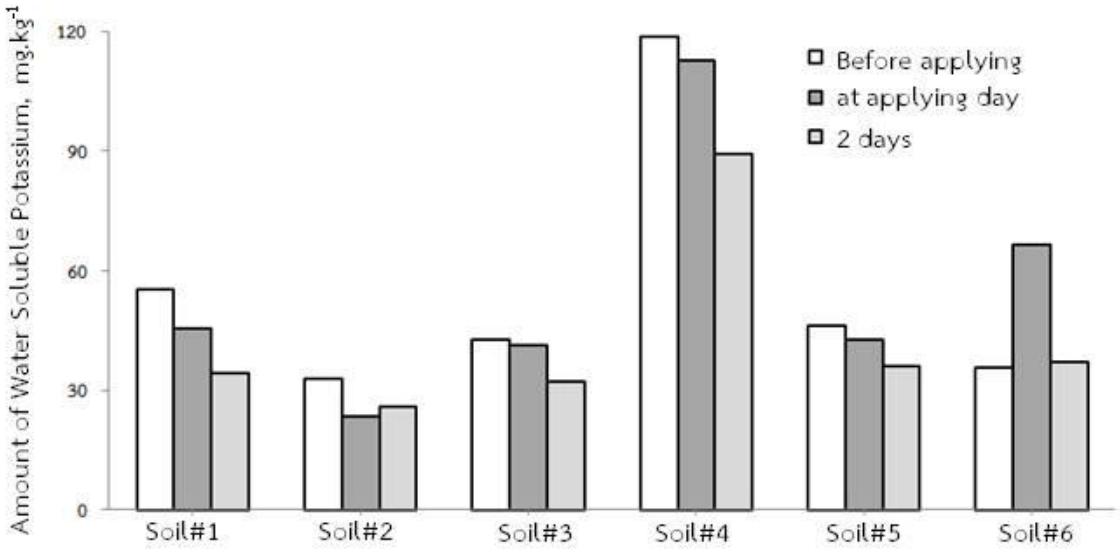
ภาพที่ 4.9 ปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ที่ระยะเวลาต่างๆ หลังจากใส่สารไกลโฟเสทในดิน Soil#1, Soil#2 และ Soil#3 (ตัวอักษรแสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ภายในดินที่ระยะเวลาต่างๆกันเปรียบเทียบโดยวิธี Duncan ที่ α = 0.05 และ 0.1*)

4.5 อิทธิพลของสารไกลโฟเสทต่อปริมาณการละลายได้ของโพแทสเซียม

การทดสอบปริมาณโพแทสเซียมที่ละลายได้ในดินแต่ละชนิดแสดงในตารางที่ 4.7 ผลการทดลองแสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงปริมาณโพแทสเซียมที่ละลายได้ของดินแต่ละชนิดตามระยะเวลาต่างๆแสดงในภาพที่ 4.10 โดยพบว่า ปริมาณโพแทสเซียมที่ละลายได้ในดินมีปริมาณลดน้อยลงในวันที่มีการใส่สารไกลโฟเสท และในวันที่สองหลังจากการใส่สารไกลโฟเสท

ตารางที่ 4.7 ปริมาณโพแทสเซียมที่ละลายได้

Time after Application, Days	Water Soluble Potassium, $mg.kg^{-1}$					
	Soil 2552	Soil 13	Soil 12	Soil SITE	Soil Yai	Soil 16/1
Initial Soil	55.201	32.739	42.722	118.648	46.361	35.656
Application day	45.564	23.553	41.324	112.920	42.527	66.507
2 days	34.146	26.048	32.107	89.390	36.212	36.964



ภาพที่ 4.10 ปริมาณโพแทสเซียมที่ละลายได้ในดินชนิดต่างๆ

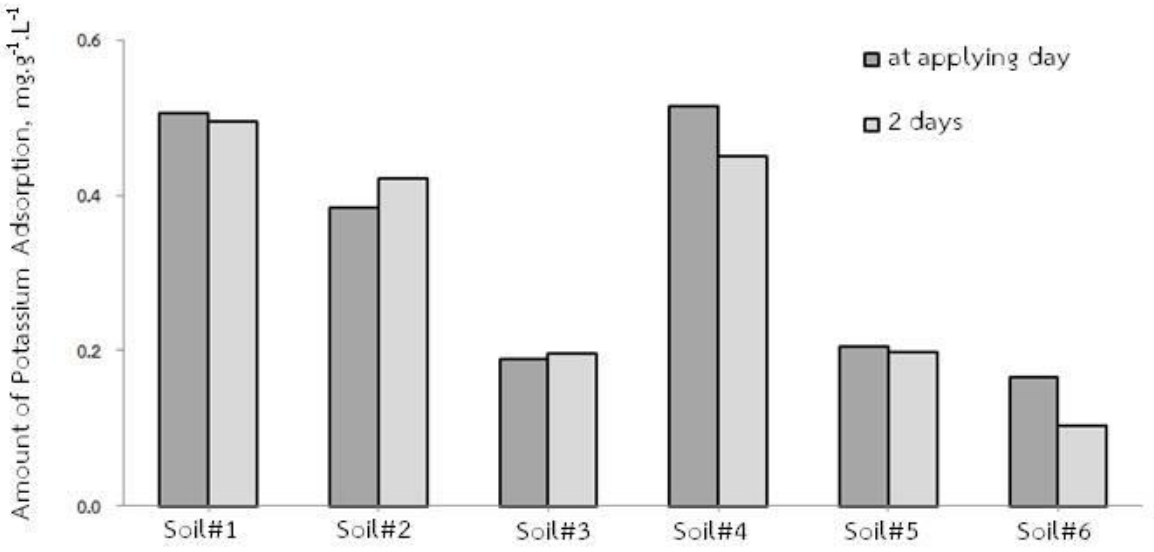
4.6 อิทธิพลของสารไกลโฟเสทต่อปริมาณการดูดซับโพแทสเซียมในดิน

การทดสอบปริมาณการดูดซับของโพแทสเซียมในดินแต่ละชนิด โดยใช้ค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโพแทสเซียม 60, 50, 30, 50, 30, 20 $mg.L^{-1}$ ในตัวอย่างดิน Soil#1, Soil#2, Soil#3, Soil#4, Soil#5 และ Soil#6 ตามลำดับ มีสัดส่วนดินต่อสารละลาย 2 : 20 ผลการคำนวนได้ข้อมูลปริมาณการดูดซับธาตุโพแทสเซียมในดินดังแสดงในตารางที่ 4.8

ปริมาณการดูดซับโพแทสเซียมของดินชนิดต่างๆในวันใส่สารไกลโฟเสทและ 2 วันหลังจากการใส่สารไกลโฟเสทแสดงในภาพที่ 4.11 พบว่า ดินส่วนใหญ่มีความสามารถในการดูดซับโพแทสเซียมได้น้อยลงในวันที่สองหลังจากการใส่สารไกลโฟเสท ยกเว้น ตัวอย่างดิน Soil#2 และ Soil#3

ตารางที่ 4.8 ปริมาณการดูดซับโพแทสเซียม

Time after Application, Days	Amount of Potassium Adsorption, $mg.g^{-1}.L^{-1}$					
	Soil#1	Soil#2	Soil#3	Soil#4	Soil#5	Soil#6
Application day	0.506	0.384	0.189	0.516	0.205	0.167
2	0.494	0.422	0.196	0.450	0.198	0.104



ภาพที่ 4.11 ปริมาณโพแทสเซียมที่ถูกดูดซับในดินแต่ละชนิด

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและวิจารณ์

การวิจัยเพื่อศึกษาอิทธิพลของสารไกลโฟเสทต่อคุณสมบัติของดินชนิดต่างๆที่มีความแตกต่างกันด้านเนื้อดิน ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณอินทรียวัตถุ ค่าความจุแลกเปลี่ยนไอออนบวก และปริมาณความอิ่มตัวธาตุด่าง จำนวน 6 ชนิดดิน โดยการใส่สารไกลโฟเสทในระดับ 5 เท่าของอัตราแนะนำ เทียบเท่ากับความเข้มข้นในดิน 22.5 $mg.kg^{-1}$ โดยมีดินที่ไม่มีการใส่สารไกลโฟเสทเป็นตัวเปรียบเทียบ และวิเคราะห์คุณสมบัติดินตามระยะเวลาต่างๆหลังการใส่สารไกลโฟเสท พบว่า ดินที่มีการใส่สารไกลโฟเสทมีผลต่อปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และปริมาณธาตุด่างที่แลกเปลี่ยนได้ โดยมีระดับการเปลี่ยนแปลงแตกต่างกันตามชนิดดิน ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่างของดินไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากการใส่สารไกลโฟเสท

ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของดินมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับสารไกลโฟเสท โดยมีการปริมาณลดลงในช่วงสัปดาห์ที่ 1-3 และปรับระดับเพิ่มขึ้นในสัปดาห์ที่ 4 การลดลงของฟอสฟอรัสในดินอาจเกิดจากการที่สารไกลโฟเสทซึ่งมีความชอบในการถูกดูดซับโดยอนุภาคดินมากกว่า จึงเกิดการแข่งขันและไล่ที่ฟอสฟอรัสออกมาอยู่ในสภาพอิสระและสูญเสียไปจากดินได้ (Barrett and McBride, 2006 และ Gimsing et al., 2007) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินมีค่าเพิ่มขึ้นในวันที่ 28 จนมีปริมาณเท่ากับปริมาณเริ่มต้นหรือมีปริมาณสูงกว่าปริมาณเริ่มต้นในดินบางชนิด ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองก่อนหน้านี้ที่พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสมีการเพิ่มขึ้นในสัปดาห์ที่ 4 เนื่องจากการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจากการสลายตัวของไกลโฟเสท (วภากร ศิริวงศ์, 2553)

การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสในดินที่ได้รับสารไกลโฟเสทมีความแตกต่างกันในดินแต่ละชนิด การลดลงของปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินแต่ละชนิดมีความสัมพันธ์กับปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินเมื่อเริ่มต้นการทดลองก่อนการใส่สารไกลโฟเสท โดยดินที่มีปริมาณฟอสฟอรัสลดลงเทียบกับค่าเริ่มต้นตามลำดับระดับต่ำไปสูงเป็น Soil#4, Soil#5, Soil#1, Soil#6, Soil#2 และ Soil#3 เป็นดินที่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่แลกเปลี่ยนได้ในดินเมื่อเริ่มการทดลองเป็น 39.3, 21.6, 9.0, 8.3, 3.6 และ 4.3 $mg.kg^{-1}$ ตามลำดับ ปริมาณฟอสฟอรัสในดินทุกชนิดมีระดับเพิ่มขึ้น โดยดินที่มีปริมาณความจุแลกเปลี่ยนไอออนบวกและอินทรียวัตถุสูงจะมีประมาณฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นสูงกว่าปริมาณในดินเริ่มต้นการทดลอง

ปริมาณธาตุด่างที่แลกเปลี่ยนได้ในดินมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการใส่สารไกลโฟเสทลงในดิน โดยทำให้ปริมาณโพแทสเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินลดลง ระดับมากน้อยของการลดลงและระยะเวลาที่เริ่มมีการลดลงมีความแตกต่างในดินแต่ละชนิด การเปลี่ยนแปลงปริมาณโพแทสเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีความสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โดยมีความสัมพันธ์ไปในทางเดียวกัน คือ ดินที่มีการลดลงของฟอสฟอรัสน้อยจะมีการลดลงโพแทสเซียมและแมกนีเซียมน้อยตามไปด้วย

ผลจากการทดลองครั้งนี้สามารถสรุปได้ว่า สารไกลโฟเสทที่ใส่ลงในดินในดินอัตรา 5 เท่าของอัตราแนะนำมีผลต่อการเคลื่อนที่ของธาตุอาหารในดิน โดยมีผลอย่างชัดเจนต่อธาตุฟอสฟอรัส และธาตุด่าง ได้แก่ โพแทสเซียม และแมกนีเซียมในดิน การเปลี่ยนแปลงมีความแตกต่างกันในดินแต่ละชนิดโดยปัจจัยด้านองค์ประกอบของคอลลอยด์ในดินมีผลต่อความช้าเร็วในการลดลงของฟอสฟอรัส แต่ปัจจัยควบคุมการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญได้แก่ ปริมาณฟอสฟอรัสที่แลกเปลี่ยนได้ในดินเริ่มต้นและปฏิกิริยาดิน ดินที่ได้รับสารไกลโฟเสทจะทำให้เกิดการแข่งขันการดูดซับและไล่ที่ธาตุฟอสฟอรัสให้สูญหายออกไปจากดิน โดยดินที่มีระดับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินสูงจะมีการลดลงของฟอสฟอรัสน้อย รวมทั้งการลดลงของโพแทสเซียมและแมกนีเซียมจากส่วนที่แลกเปลี่ยนน้อยตามไปด้วย

เอกสารอ้างอิง

สำนักงานควบคุมพืชและวัตถุการเกษตร. 2556. รายงานสรุปการนำเข้าวัตถุอันตราย ปี 2543-2555. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ. (file) [URL: http://www.doa.go.th/ard/index.php?option=com_content&view=article&id=22:stat2535&catid=29:stat&Itemid=104]

วภากร ศิริวงศ์. 2553. อิทธิพลของสารพาราควอทและไกลโฟเสทในดินต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติต่างๆของดิน. รายงานฉบับสมบูรณ์, งบประมาณแผ่นดิน ปีงบประมาณ 2551.

Araújo, A. S. F., Monteiro, R. T. R. and Abarkeli, R. B. 2003. Effect of Glyphosate on The Microbial Activity of Two Brazilian Soils. Chemosphere. 52(5): 799-804.

Barrett, K. A. and McBride, M.B. 2006. Trace Element Mobilization in Soils by Glyphosate. Soil Sci. Soc. Am. J. 70: 1882-1888.

Börjesson, E. and Torstensson, L. 2000. New Method for Determination of Glyphosate and (Aminomethyl)phosphonic Acid in Water and Soil. Journal of Chromatography A. 886: 207-216.

Bécaert, V., Samson, R. and Deschênes, L. 2006. Effect of 2,4-D Contamination on Soil Functional Stability Evaluated Using The Relative Soil Stability Index (RSSI). Chemosphere. 64(10):1713-1721.

Duah-Yentumi, S. Johnson, D.B. 1986. Changes in Soil Microflora in Response to Repeated Applications of Changes in Soil Microflora in Response to Repeated Applications of Some Pesticides. Soil Biology & Biochemistry 18(6): 629-635.

Giesy, J.P., Dobson, S., Solomon, K.R. 2000. Ecotoxicological assessment for Roundup herbicides. Rev. Environ. Contam. Toxicol. 167. 35–120.

Gimsing, A. L., Szilas, C. and Borggaard, O. K. 2007. Sorption of glyphosate and phosphate by variable-charge tropical soils from Tanzania. Geoderma, 138: 127–132

IPCS INCHEM. 2013. ENVIRONMENTAL HEALTH CRITERIA 159; GLYPHOSATE. INTERNATIONAL PROGRAMME ON CHEMICAL SAFETY [URL: http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc159.htm, May 29, 2013

Lanyon, L. E. and Heald, W. R. Magnesium, Calcium, Strontium and Barium. *In* Page, A. I., Miller, R. H. and Keeney, D. R. (eds.) 1982. Method of Soil Analysis, Part 2: Chemical and Microbiological Properties.2ed. American. Society of Agronomy, Inc., Publisher. Madison, Wisconsin, USA. p.247-262.

Morillo, E., Undabeytia, T., Maqueda, C. and Ramos, A. 2002. The Effect of Dissolved Glyphosate upon The Sorption of Copper by Three Selected Soils. Chemosphere. 47(7): 747-752.

Moorman, T.B. and Dowler, C.C. 1991. Herbicide and Rotation Effects on Soil and Rhizosphere. Microorganisms and Crop Yields. Agric. Ecosystems Environ. 35:311-325.

Moreno, J. L., Aliaga, A., Navarro, S., Hernández, T. and García, C. 2007. Effects of Atrazine on Microbial Activity in Semiarid Soil. Applied Soil Ecology. 35(1): 120-127.

OECD. 1993. OECD Guideline for testing of Chemicals. 106. OECD Publication Service, France.

Priemé, A. and Ekelund. 2001. Five Pesticides Decreased Oxidation of Atmospheric Methane in a Forest Soil. Soil Biology and Biochemistry. 33(6):831-835.

Ruggiero, P. and Radogna, V. M. 1985. Inhibition of Soil Humus-Laccase Complexes by Some Phenoxyacetic and S-Triazine Herbicides. Soil Biology & Biochemistry. 17(3):309-312.

Schreffler, A. M. and Sharpe, W. E. 2003. Effects of Lime, Fertilizer, and Herbicide on Forest Soil and Soil Solution Chemistry, Hardwood Regeneration, and Hardwood Growth Following Shelterwood Harvest. Forest Ecology and Management. 177:471-484.

Seghers, D., Kristof, V., Dirk, R., Robert, B, Steven D.S., Willy, V. and Eva, M.T. 2003. Effect of Long-Term Herbicide Applications in the Bacterial Community Structure and Function in an Agricultural Soil. FEMS Microbial Ecology. 46(2): 139-146.

Walkley, A. and Black, I. A. 1934. An Examination of the Degtijereff Method for Determination of Soil Organic Matter and Proposed Modification of the Chromic Acid Titration Methods. Soil Sci. 37: 29-38

Wang, Y., Zhou, D., Sun, R., Cang, L. and Hao, X. 2006. Cosorption of Zinc and Glyphosate on Two Soils with Different Characteristics. Journal of Hazardous Materials. 137(1):76-82 .

Wang, Y-J., Zhou, D-M.., Sun, R. J., Jia, D-A., Zhua, H. A. and Wang, S. Q. 2008. Zinc Adsorption on Goethite as Affected by Glyphosate. Journal of Hazardous Materials, 151(1): 179-184.

Yeomans, J. C. and Bremner, J. M. 1985. Denitrification in Soil: Effects of Herbicides. Soil Biological and Biochemistry. 17(4):447-452.

Zhou, D-M, Wang, Y-J, Cang, L. Hao, X-Z and Luo, X-S . 2004. Adsorption and Cosorption of Cadmium and Glyphosate on Two Soils with Different Characteristics. Chemosphere, 57(10); 1237-1244.

ภาคผนวก

ตารางผนวก 1 ข้อมูลทุติยภูมิที่ใช้ประกอบการกำหนดจุดเก็บตัวอย่าง

จุด	หน่วยแผนที่ชุดดิน	สถานที่	Clay Type Class
1	Warin	อ.วังทอง จ.พิษณุโลก	Oxide
2	Lat Ya	อ.วัดโบสถ์ จ.พิษณุโลก	Oxide
3	Korat	อ.วัดโบสถ์ จ.พิษณุโลก	Oxide
4	Tha Yang	อ.เนินมะปราง จ.พิษณุโลก	Oxide
5	Chiang Rai	อ.วัดโบสถ์ จ.พิษณุโลก	Kaolinite
6	Dan Sai	อ.วัดโบสถ์ จ.พิษณุโลก	Kaolinite
7	Hang Chat	จ.พิษณุโลก	Kaolinite
8	Chiang Khan	อ.เนินมะปราง จ.พิษณุโลก	Kaolinite
9	Roi Et	อ.เนินมะปราง จ.พิษณุโลก	Mixed Semiactive
10	Chum Saeng	อ.พรมพิราม จ.พิษณุโลก	Mixed Semiactive
11	Tha li	อ.ทองแสนขัน จ.อุตรดิตถ์	Mixed Semiactive
12	Mae Sai	อ.บางระกำ จ.พิษณุโลก	Mixed Semiactive
13	Nakorn Pathom	อ.โพธิ์ประทับช้าง จ.พิจิตร	Mixed Active
14	Tha Muang	อ.วัดโบสถ์ จ.พิษณุโลก	Mixed Active

ตารางผนวก 2 ข้อมูลคุณสมบัติดินจากจุดเก็บตัวอย่าง

จุด	% Clay	pH	OM
1	17	4.5	
2	22	4.9	
3	17	5.0	
4	12	5.1	
5	17	4.6	
6	18	4.8	
7	13	4.3	
8	29	5.1	
9	21	5.2	
10	12	5.1	
11	22	6.2	
12	36	6.5	
13	26	5.8	
14	12	7.7	

ตารางผนวก 3 การทดลองเบื้องต้นเพื่อทดสอบการดูดซับโพแทสเซียมในดิน

Initial Conc., $mg.L^{-1}$	Equilibrium Conc., $mg.L^{-1}$			Amount of Adsorption, $mg.g^{-1}$		
	Rep1	Rep2	average	Rep1	Rep2	average
Soil#1						
25	1.560	0.840	1.200	0.23	0.25	0.23
50	4.945	4.657	4.801	0.45	0.49	0.45
150	16.254	16.975	16.615	1.34	1.37	1.34
Soil#4						
25	2.953	1.801	2.377	0.22	0.25	0.22
50	5.907	5.042	5.474	0.44	0.49	0.44
150	16.567	16.999	16.783	1.33	1.37	1.33
Soil#5						
25	0.000	0.000	0.000	0.22	0.25	0.22
50	2.857	2.208	2.532	0.45	0.49	0.45
150	5.306	5.738	5.522	1.33	1.37	1.33
Soil#6						
25	2.521	2.593	2.557	0.22	0.25	0.22
50	7.131	5.979	6.555	0.43	0.49	0.43
150	18.728	17.288	18.008	1.31	1.37	1.31