



เลขที่เอกสาร: 61120115310483000

สวพ-ว-4(1)

## ใบนำส่งรายงานวิจัย

เลขที่รับ(สวพ).....

วันที่รับ.....

ขอส่งรายงานวิจัย มก. ประจำปีงบประมาณ (1) 2554

(2) ลักษณะโครงการ เป็นโครงการวิจัยเดี่ยว รหัส ก-ช(ด)7.53 ชื่อโครงการ บทบาทของสเมกไทต์ต่อธาตุอาหารพืชและโลหะหนักของดินในประเทศไทย

(3) หัวหน้าโครงการ ศ.อัญชลี สุทธิประการ

(4) หน่วยงาน ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร บางเขน

(5) ประเภทโครงการวิจัย โครงการวิจัย 3 สาขา โครงการวิจัยสาขาเกษตรศาสตร์

(6) รายงานที่ส่ง รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์ (ฉบับจริง) จำนวน 3 ชุด พร้อม CD/Diskette 5 แผ่น

(7) การเผยแพร่ผลงานวิจัย ประสงค์ให้ สวพ. เผยแพร่ได้

ลงชื่อ.....

( ศ.อัญชลี สุทธิประการ )

หัวหน้าโครงการ

7 ส.ค. 2558

## ใบรับรายงานวิจัย

เลขที่รับ(สวพ).....

วันที่รับ.....

ขอส่งรายงานวิจัย มก. ประจำปีงบประมาณ (1) 2554

(2) ลักษณะโครงการ เป็นโครงการวิจัยเดี่ยว รหัส ก-ช(ด)7.53 ชื่อโครงการ บทบาทของสเมกไทต์ต่อธาตุอาหารพืชและโลหะหนักของดินในประเทศไทย

(3) หัวหน้าโครงการ ศ.อัญชลี สุทธิประการ

(4) หน่วยงาน ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร บางเขน

(5) ประเภทโครงการวิจัย โครงการวิจัย 3 สาขา โครงการวิจัยสาขาเกษตรศาสตร์

(6) รายงานที่ส่ง รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์ (ฉบับจริง) จำนวน 3 ชุด พร้อม CD/Diskette 5 แผ่น

(7) การเผยแพร่ผลงานวิจัย ประสงค์ให้ สวพ. เผยแพร่ได้

ลงชื่อ.....

( เจ้าหน้าที่สถาบันวิจัยและพัฒนา )

...../...../.....



รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์  
ทุนอุดหนุนวิจัย มก.ปีงบประมาณ 2554

รหัสโครงการวิจัย ก-ช(ด)7.53

บทบาทของสเมกไทต์ต่อธาตุอาหารพืชและโลหะหนักของดินในประเทศไทย

Roles of Smectites on Plant Nutrients and Heavy Metals in Thai Soil

หัวหน้าโครงการ ศ.อัญชลี สุทธิประการ

หน่วยงานต้นสังกัด ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร บางเขน

หน่วยงานหลัก ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร บางเขน

แหล่งทุน : ทุนอุดหนุนวิจัย มก.

สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

**แบบรายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์**  
**โครงการวิจัย (Project)**  
**โครงการวิจัยทุนอุดหนุนวิจัย มก. ปีงบประมาณ 2554**

---

**ส่วนที่ 1 ข้อมูลโครงการวิจัย**

- 1.1 รหัส ก-ช(ด)7.53 ชื่อโครงการวิจัย บทบาทของสเมกไทต์ต่อธาตุอาหารพืชและโลหะหนักของดินในประเทศไทย
- 1.2 ลักษณะโครงการ เป็นโครงการวิจัยเดี่ยว
- 1.3 ชื่อหัวหน้าโครงการ ศ.อัญชลี สุทธิประการ
- 1.4 หน่วยงานต้นสังกัด ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร บางเขน  
หน่วยงานหลัก ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร บางเขน
- 1.5 ประเภทโครงการ โครงการวิจัย 3 สาขา โครงการวิจัยสาขาเกษตรศาสตร์
- 1.6 ระยะเวลาดำเนินงานวิจัยตลอดโครงการ 2 ปี ตั้งแต่ปีงบประมาณ 2553 ถึงปีงบประมาณ 2554
- 1.7 สถานที่ดำเนินงานวิจัย/เก็บข้อมูล
  - 1) การศึกษาและเก็บตัวอย่างภาคสนาม ทำในทุกบริเวณของดินที่มีแร่ในกลุ่มสเมกไทต์เป็นองค์ประกอบ อยู่สูงทั้งที่ลุ่มและที่ดอนในภาคกลาง เพื่อศึกษาสูงตอนกลางและภาคเหนือ กับภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
  - 2) การวิเคราะห์ตัวอย่างดิน ส่วนใหญ่การทดลองและการประมวลผล ดำเนินการในห้องปฏิบัติการของภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
  - 3) การวิเคราะห์ตัวอย่างดินบางส่วน ดำเนินการ ณ ห้องปฏิบัติการของสำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
- 1.8 งบประมาณรวมตลอดโครงการ 700,000.00 บาท ประกอบด้วย
  - ปีงบประมาณ 2553 ได้รับ 400,000.00 บาท
  - ปีงบประมาณ 2554 ได้รับ 300,000.00 บาท
- 1.9 วัตถุประสงค์โครงการวิจัย
  1. เพื่อวิเคราะห์ปริมาณพื้นที่ ที่ดินมีแร่ในกลุ่มสเมกไทต์อยู่เป็นปริมาณสูงในประเทศไทย
  2. เพื่อวิเคราะห์ความแตกต่างของแร่ในกลุ่มสเมกไทต์ในดิน ในพื้นที่ต่าง ๆ และเปรียบเทียบปริมาณและสมบัติของแร่ในกลุ่มสเมกไทต์ ในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน ทั้งในบริเวณที่เป็นที่ลุ่ม และที่ดอน ในปีนี้ 2 นี้ศึกษาดินที่ดอน
  3. เพื่อทดสอบความจุแลกเปลี่ยน (exchange capacity) และความสามารถในการเลือกกักเก็บ (selectivity ability) แคตไอออนที่เป็นธาตุอาหารพืชและโลหะหนักของแร่ในกลุ่มสเมกไทต์
  4. เพื่อศึกษาลักษณะดิน และสภาพแวดล้อมในการเกิดแร่ในกลุ่มสเมกไทต์ในดิน

5. เพื่อศึกษาสมบัติต่าง ๆ ของแร่ในกลุ่มสเมกไทต์อย่างละเอียด และความสัมพันธ์ ระหว่างแร่ในกลุ่มสเมกไทต์กับสมบัติเด่นของดิน

6. เพื่อประมวลข้อมูลที่ได้จากการศึกษา ประเมินศักยภาพของแร่ในกลุ่มสเมกไทต์ ต่อการเกษตร และผลต่อสภาพแวดล้อม

#### 1.10 เป้าหมายผลงานวิจัยตลอดโครงการ

ปีงบประมาณ	เดือนที่	ผลงานวิจัยที่คาดว่าจะได้
2554	1-6	ศึกษาภาคสนามและเก็บตัวอย่างดินที่ดอน ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างทางกายภาพและเคมี
2553	7-12	วิเคราะห์แร่ วิเคราะห์ข้อมูล และรวบรวมข้อมูล กับรายงานฉบับสมบูรณ์
	1-6	ศึกษาภาคสนาม และเก็บตัวอย่างดินที่ลุ่มเรียบร้อยแล้ว และทำการวิเคราะห์ตัวอย่างทางกายภาพและทางเคมี
	7-12	วิเคราะห์แร่ วิเคราะห์ข้อมูล และได้ข้อสรุปตามวัตถุประสงค์ของปีที่ 1 รายงานผลของปีที่ 1

#### 1.11 สรุปผลการดำเนินงานวิจัยตลอดโครงการ

- วัตถุประสงค์ (ตามแผน)

1.รวบรวมข้อมูลพื้นฐานและวางแผนศึกษาภาคสนามและเก็บตัวอย่างดินเน้นพื้นที่ดอน วิเคราะห์ตัวอย่างดินในห้องปฏิบัติการบางส่วน จัดทำรายงานความก้าวหน้า เผยแพร่ผลงานวิจัยของปีที่ 1

2.วิเคราะห์ตัวอย่างดินในห้องปฏิบัติการทั้งหมด วิเคราะห์ข้อมูล จัดทำรายงานประจำปี เผยแพร่ผลงานวิจัยบางส่วน

- เป้าหมาย/ผลที่คาดหวัง (ตามแผน)

1.ได้ข้อมูลพื้นฐาน ข้อมูลภาคสนาม สมบัติดินและตัวอย่างดินพื้นที่ดอนทั้งหมด ผลการวิเคราะห์ดินบางส่วน ได้รายงานความก้าวหน้า ได้เผยแพร่ผลงานวิจัยของปีที่ 1

2.ได้ผลวิเคราะห์ตัวอย่างดินในห้องปฏิบัติการทั้งหมด ได้ผลการวิเคราะห์ข้อมูล ได้รายงานประจำปี ได้เผยแพร่ผลงานวิจัยบางส่วน

- ผลการดำเนินงาน (ปฏิบัติได้จริง)

1.ได้ผลตามเป้าหมาย

2.ได้ผลตามเป้าหมาย

#### 1.12 ผลการดำเนินงานวิจัยเป็นไปตามแผนหรือไม่ อย่างไร

- เป็นไปตามแผน

#### 1.13 ปัญหา อุปสรรคในการดำเนินงาน และแนวทางแก้ไข

- ไม่มีปัญหาและอุปสรรค

#### 1.14 สรุปผลการดำเนินงานตามวัตถุประสงค์

- บรรลุ

1.15 ผลผลิต/สิ่งที่ได้จากการวิจัย (Outputs)

- หัวเรื่องวิทยานิพนธ์

การดูดซับตะกั่ว ทองแดง สังกะสี และแคดเมียมของสเมกไทต์ในเวอร์ทิซอลส์ที่ดอน

1.16 จุดเด่นของผลงานวิจัย / ผลผลิต / สิ่งที่ได้จากการวิจัย (outputs)

- สร้างองค์ความรู้ใหม่/นวัตกรรมที่ทันสมัย

ลักษณะเด่นของไบโอดอลไลต์ (เป็นสเมกไทต์ชนิดหนึ่ง ซึ่งยังไม่มีการศึกษาหรือค้นพบในดินของประเทศไทย มาก่อน) ในดินเวอร์ทิซอลส์ ภายใต้ระบบการเกษตรที่แตกต่างกัน

- สร้างนักวิจัยหน้าใหม่/พัฒนานักวิจัย

ได้ปริญญาเอก 1 คน ปริญญาโท 1 คน

- มีการนำไปใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลาย

ใช้ในการเรียนการสอน และให้คำแนะนำแก่เกษตรกรในที่ราบภาคกลาง ตลอดจนให้คำแนะนำในการ วิจัยชนิดของแร่สเมกไทต์แก่เจ้าหน้าที่รัฐ โดยเฉพาะกรมพัฒนาที่ดิน

1.17 การนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์ (Outcomes)

1. การนำผลการวิจัยไปเผยแพร่/ถ่ายทอด

1.1 วารสารวิชาการระดับชาติ/วารสารวิชาการระดับนานาชาติ

-

1.2 นำเสนอในการประชุม/สัมมนาในระดับชาติและนานาชาติ

-

1.3 เผยแพร่ผลงานในรูปแบบการจัดนิทรรศการ

-

1.4 บทความ

-

1.5 จัดอบรมถ่ายทอด

-

1.6 นำเสนอทางสื่อผสม

-

1.7 ภาครัฐนำไปใช้กำหนดแผน/นโยบาย

-

1.8 มีผู้นำผลงานวิจัยไปอ้างอิง

-

1.9 อื่นๆ

- 
- 2. เป้าหมายการนำผลลัพธ์ / ผลสำเร็จที่ได้ / หรือคาดว่าจะได้จากการวิจัยไปใช้ประโยชน์
  - 1. ด้านการศึกษา/เสริมการเรียนการสอน
    - วิทยาแร่ในดิน ความอุดมสมบูรณ์ของดิน และภาวะมลพิษของดิน
  - 2. ด้านการเกษตร
    - ธาตุอาหารพืชและการจัดการดินเพื่อเพิ่มผลผลิตและรักษาสภาพแวดล้อม
  - 3. ด้านทรัพยากรธรรมชาติ/สิ่งแวดล้อม
    - รักษาสมดุลของธรรมชาติ และลดภาวะการเสื่อมโทรมของสภาวะแวดล้อม
- 1.18 ผลกระทบ (Impact) ที่เกิดจากการนำผลการวิจัยไปใช้ สอดคล้องกับยุทธศาสตร์ด้านใด
  - ยุทธศาสตร์การบริหารราชการแผ่นดิน (พ.ศ.2548 - 2551)
    - 1. ยุทธศาสตร์การพัฒนามาตรฐานความหลากหลายทางชีวภาพและการสร้างความมั่นคงของฐานทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม
    - เป้าประสงค์ การรักษาฐานทรัพยากรและความสมดุลของระบบนิเวศน์
    - นโยบายและยุทธศาสตร์การวิจัยของชาติ(พ.ศ.2551 - 2553)
      - ยุทธศาสตร์การวิจัยที่ 4 การเสริมสร้างและพัฒนาทุนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
      - กลยุทธ์การวิจัยที่ 2 สร้างองค์ความรู้เกี่ยวกับการฟื้นฟูบำรุงดิน รวมทั้งการใช้ประโยชน์ที่ดิน
      - แผนงานวิจัยที่ 1 การวิจัยเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ทางดิน
- 1.19 การรับความคุ้มครองทรัพย์สินทางปัญญา
  -
- 1.20 การได้รับรางวัล
  -
- 1.21 งานที่จะทำต่อไป
  - ส่งรายงานฉบับสมบูรณ์ (ฉบับจริง)
- 1.22 คำชี้แจงเพิ่มเติม
  -
- 1.23 ได้แนบรายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์ของโครงการ (Project) ตามหัวข้อในส่วนที่ 2 มาด้วยแล้ว

ลงชื่อ.....หัวหน้าโครงการ

(ศ.อัญชลี สุทธิประการ)

## ส่วนที่ 2

รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์  
โครงการวิจัยทุนอุดหนุนวิจัย มก. ปีงบประมาณ 2554

โครงการวิจัยรหัส ก-ช(ด)7.53

บทบาทของสเมกไทต์ต่อธาตุอาหารพืชและโลหะหนักของดินในประเทศไทย

Roles of Smectites on Plant Nutrients and Heavy Metals in Thai Soil

(1)อัญชลี สุทธิประการ, (2)วันเพ็ญ วิริยะกิจนทีกุล, (3)เอิบ  
เชียววรินทร์มณ, (4)รฐนนท์ เจริญชาศรี

(1)Anchalee Suddhiprakarn, (2), (3)Irb Kheoruenromne,  
(4)Rathanont Jaroenchasri

บทคัดย่อ

การศึกษารoles บทบาทของสเมกไทต์ต่อธาตุอาหารพืชและโลหะหนักของดินในประเทศไทย ทำโดย การศึกษาสภาพแวดล้อมของดินที่มีลักษณะแสดงว่ามีแร่ในกลุ่มสเมกไทต์เป็นองค์ประกอบอยู่สูง และเลือกบริเวณเก็บ ตัวอย่างดินและศึกษาดินอย่างละเอียดทั้งทางด้านสัณฐานวิทยา สมบัติทางการ ภายและเคมี สมบัติเชิงแร่ของดิน ชนิดของสเมกไทต์ และบทบาทของสเมกไทต์ต่อความอุดมสมบูรณ์ ของดิน และการดูดซับธาตุโลหะหนักในดิน

ผลจากการศึกษาพบว่า ดินที่มีสเมกไทต์เป็นองค์ประกอบอยู่สูงในประเทศไทย เป็นดินในอันดับ เวอร์ทิซอลล์ ที่มีบริเวณกว้างขวางในที่ลุ่มของที่ราบภาคกลาง และที่ดอนในบริเวณที่ภูเขาสูง ตอนกลางของประเทศกับพบเป็นพื้นที่จำกัดในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ดินที่พบในที่ รามภาคกลางเป็นดินในกลุ่มดินใหญ่ Endoaquerts เป็นส่วนใหญ่ และดินในบริเวณที่ดอนเป็นดินใน กลุ่มดินใหญ่ Haplusterts แร่ในกลุ่มสเมกไทต์ที่เป็นองค์ประกอบในดินเหล่านี้เป็นแร่ไบเดลไลต์ ซึ่ง เป็นสเมกไทต์ที่มีเหล็กเป็นองค์ประกอบอยู่สูง และมีประจุสูงเกิดจากแผ่นเทระฮีสซิลในโครงสร้าง โดยมีสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีที่ส่วนใหญ่ที่ทำให้เวอร์ทิซอลล์มีศักยภาพทางการเกษตรค่อนข้างสูง บทบาทที่สำคัญของแร่ไบเดลไลต์ในดินเหล่านี้คือ ทำให้ดินมีระบบดินที่มีกิจกรรมสูงในเชิงเก็บ กัก และแลกเปลี่ยนธาตุอาหารพืช ส่งเสริมความอุดมสมบูรณ์ของดิน และแร่ไบเดลไลต์สามารถดูดซับ ธาตุโลหะหนักคือ ตะกั่ว ทองแดง สังกะสี และแคดเมียม แตกต่างกันไป โดยไบเดลไลต์สามารถ ดูดซับตะกั่วได้มากที่สุด รองลงมาคือทองแดง สังกะสี และแคดเมียม ตามลำดับ ซึ่งในการดูดซับจะ ขึ้นอยู่กับปริมาณของไบเดลไลต์ในดิน ค่าพีเอชของดิน และความเข้มข้นของธาตุโลหะหนักในสาร ละลายดิน ซึ่งในบริเวณที่ดอนที่ดินมีค่าพีเอชสูง และมีสภาพเสถียรของไบเดลไลต์จะทำให้ดินมีความ อุดมสมบูรณ์และไม่มีการแพร่กระจายของธาตุโลหะหนักในสภาพแวดล้อมการผลิตพืชทางการเกษตร และในสภาพแวดล้อมทั่วไปของดิน

คำสำคัญ: ไบเดลไลต์ , เวอร์ทิซอลล์ , โพแทสเซียม , การดูดซับ , โลหะหนัก

## ABSTRACT

The study on roles of smectites on plant nutrients and heavy metals in Thai soils was carried out by investigating environment that soils showed the characteristics indicating the high smectite content and selecting sampling locations to conduct detailed study. Detailed analyses of soils included morphology, physico-chemical and mineralogical properties, speciation of smectites and roles of smectites on soil fertility and adsorption of heavy metals in soils.

Results of the study revealed that soils having high content of smectites in Thailand are Vertisols distributed extensively in lowlands of Central Plain and in uplands of Central Highlands. Other limited areas are in North and Northeast Thailand. The soils in Central Plain are mainly Endoaquerts and on the uplands they are Haplusterts. Smectite species found in these soils is beidellite having high iron content and high charge developed from tetrahedral sheet in the structure. This beidellite has major physico-chemical properties promoting relatively high agricultural potential for Vertisols. Important roles of beidellite in these soils are making their systems active for retaining and exchanging plant nutrients, and promoting their fertility. Beidellite can adsorb heavy metals such as lead, copper, zinc and cadmium at variable amounts, and it can adsorb lead highest. The adsorption levels in descending order are for copper, zinc and cadmium respectively. Adsorption by beidellite depends on quantity of soil beidellite, pH and concentration of heavy metals in soil solution. On uplands where soils have high pH and stable condition of beidellite the soils are fertile and with no distribution of heavy metals either in agricultural crop production environment or in general soil environment.

Key words : Beidellite , Vertisols , Potassium , Adsorption , Heavy metal

---

(1)ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร บางเขน

(1)Faculty of Agriculture

(2)สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน

(2)

(3)คณะเกษตร บางเขน

(3)Faculty of Agriculture

(4)คณะเกษตร บางเขน

(4)Faculty of Agriculture



รายงานฉบับสมบูรณ์ (ฉบับจริง)

โครงการวิจัยทุนอุดหนุนวิจัย มก. ปีงบประมาณ 2554

โครงการวิจัยสาขาเกษตรศาสตร์

รหัส ก-๒(ด)7.53

ชื่อโครงการวิจัย:

บทบาทของสเมกไทต์ต่อธาตุอาหารพืชและโลหะหนักของดินในประเทศไทย

Role of Smectites on Plant Nutrients and Heavy Metals in Thai Soils

อัญชลี สุทธิประการ และคณะ

ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

## รายงานฉบับสมบูรณ์ (ฉบับจริง)

โครงการวิจัยทุนอุดหนุนวิจัย มก. ปีงบประมาณ 2553-2554 (โครงการวิจัย 2 ปี)

รหัส ก-ช(ด) 7.53

ชื่อโครงการวิจัย: บทบาทของสเมกไทต์ต่อธาตุอาหารพืชและโลหะหนักของดินในประเทศไทย

Role of Smectites on Plant Nutrients and Heavy Metals in Thai Soils

อัญชลี สุทธิประการ<sup>1</sup>, เอิบ เขียวรินรมณ์<sup>1</sup>, วันเพ็ญ วิริยะกิจนทีกุล<sup>2</sup> และ รฐนนท์ เจริญชาศรี<sup>1</sup>  
Anchalee Suddhiprakarn<sup>1</sup>, Irb Kheoruenromne<sup>1</sup>, Wanpen Wiriyakitnatekul<sup>2</sup>  
and Ratanon Charoenchasri<sup>1</sup>

### บทคัดย่อ

การศึกษาบทบาทของสเมกไทต์ต่อธาตุอาหารพืชและโลหะหนักของดินในประเทศไทย ทำโดย การศึกษาสภาพแวดล้อมของดินที่มีลักษณะแสดงว่ามีแร่ในกลุ่มสเมกไทต์เป็นองค์ประกอบอยู่สูง และเลือก บริเวณเก็บตัวอย่างดินและศึกษาดินอย่างละเอียดทั้งทางด้านสัณฐานวิทยา สมบัติทางกายภาพและเคมี สมบัติเชิงแร่ของดิน ชนิดของสเมกไทต์ และบทบาทของสเมกไทต์ต่อความอุดมสมบูรณ์ของดิน และการดูดซับธาตุ โลหะหนักในดิน

ผลจากการศึกษาพบว่า ดินที่มีสเมกไทต์เป็นองค์ประกอบอยู่สูงในประเทศไทย เป็นดินในอันดับ เวอร์ทิซอลส์ ที่มีบริเวณกว้างขวางในกลุ่มของที่ราบภาคกลาง และที่ตอนในบริเวณเทือกเขาสูงตอนกลางของ ประเทศกับพบเป็นพื้นที่จำกัดในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ดินที่พบในที่ราบภาคกลางเป็นดินใน กลุ่มดินใหญ่ Endoaquerts เป็นส่วนใหญ่ และดินในบริเวณที่ตอนเป็นดินในกลุ่มดินใหญ่ Haplusterts แร่ใน กลุ่มสเมกไทต์ที่เป็นองค์ประกอบในดินเหล่านี้เป็นแร่ไบโอเคลไลต์ ซึ่งเป็นสเมกไทต์ที่มีเหล็กเป็นองค์ประกอบอยู่ สูง และมีประจุสูงเกิดจากแผ่นทระฮีดรอลในโครงสร้าง โดยมีสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีที่ส่วนใหญ่ที่ทำให้ เวอร์ทิซอลส์มีศักยภาพทางการเกษตรค่อนข้างสูง บทบาทที่สำคัญของแร่ไบโอเคลไลต์ในดินเหล่านี้คือ ทำให้ ดินมีระบบดินที่มีกิจกรรมสูงในเชิงเก็บกัก และแลกเปลี่ยนธาตุอาหารพืช ส่งเสริมความอุดมสมบูรณ์ของดิน และแร่ไบโอเคลไลต์สามารถดูดซับธาตุโลหะหนักคือ ตะกั่ว ทองแดง สังกะสี และแคดเมียม แตกต่างกันไป โดยไบโอเคลไลต์สามารถดูดซับตะกั่วได้มากที่สุด รองลงมาคือทองแดง สังกะสี และแคดเมียม ตามลำดับ ซึ่งใน การดูดซับจะขึ้นอยู่กับปริมาณของไบโอเคลไลต์ในดิน ค่าพีเอชของดิน และความเข้มข้นของธาตุโลหะหนักใน สารละลายดิน ซึ่งในบริเวณที่ตอนที่ดินมีค่าพีเอชสูง และมีสภาพเสถียรของไบโอเคลไลต์จะทำให้ดินมีความอุดม สมบูรณ์และไม่มีการแพร่กระจายของธาตุโลหะหนักในสภาพแวดล้อมการผลิตพืชทางการเกษตร และใน สภาพแวดล้อมทั่วไปของดิน

**คำสำคัญ** สเมกไทต์ ไบโอเคลไลต์ เวอร์ทิซอลส์ โพแทสเซียม การดูดซับ โลหะหนัก

1 ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University

2 กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์  
Land Development Department, Ministry of Agriculture and Cooperatives

## ABSTRACT

The study on roles of smectites on plant nutrients and heavy metals in Thai soils was carried out by investigating environment that soils showed the characteristics indicating the high smectite content and selecting sampling locations to conduct detailed study. Detailed analyses of soils included morphology, physico-chemical and mineralogical properties, speciation of smectites and roles of smectites on soil fertility and adsorption of heavy metals in soils.

Results of the study revealed that soils having high content of smectites in Thailand are Vertisols distributed extensively in lowlands of Central Plain and in uplands of Central Highlands. Other limited areas are in North and Northeast Thailand. The soils in Central Plain are mainly Endoaquerts and on the uplands they are Haplusterts. Smectite species found in these soils is beidellite having high iron content and high charge developed from tetrahedral sheet in the structure. This beidellite has major physico-chemical properties promoting relatively high agricultural potential for Vertisols. Important roles of beidellite in these soils are making their systems active for retaining and exchanging plant nutrients, and promoting their fertility. Beidellite can adsorb heavy metals such as lead, copper, zinc and cadmium at variable amounts, and it can adsorb lead highest. The adsorption levels in descending order are for copper, zinc and cadmium respectively. Adsorption by beidellite depends on quantity of soil beidellite, pH and concentration of heavy metals in soil solution. On uplands where soils have high pH and stable condition of beidellite the soils are fertile and with no distribution of heavy metals either in agricultural crop production environment or in general soil environment.

**Keywords:** smectites, beidellite, Vertisols, potassium, adsorption, heavy metals

## คำนำ

สเมกไทต์เป็นกลุ่มของแร่ดินเหนียวประเภท 2:1 ที่มีขนาดอนุภาคเล็กมาก มีผิวหน้าในมวลดินต่อหน่วยปริมาตรสูง (Mitchell, 1993) และมีประจุส่วนใหญ่เป็นประจุลบถาวร (Sparks, 1995; อัญชลี, 2553) ที่มีบทบาทต่อการดูดซับและแลกเปลี่ยนธาตุอาหารพืช โลหะหนัก และแคตไอออนอื่น ๆ ในดินทั้งในสภาพที่ลุ่มและที่ดอน แร่ในกลุ่มสเมกไทต์มีสภาพแวดล้อมในการเกิดในดินที่ค่อนข้างเฉพาะ ภายใต้สภาพภูมิอากาศเขตร้อนเช่นในประเทศไทย โดยจะเกิดในพื้นที่ที่ดินมีวัตถุดิบกำเนิดที่มีเบสสูง ในสภาพแวดล้อมที่เป็นที่ดอน แร่ในกลุ่มสเมกไทต์จะพบในดินที่เกี่ยวข้องกับหินปูน หรือหินอัคนีสีเข้มและสีคล้ำ เช่น หินแอนดีไซต์ และหินบะซอลต์ ภายใต้สภาพภูมิอากาศที่ฝนไม่ชุกจนเกินไป ทำให้มีการชะละลายแคตไอออนที่เป็นเบสออกจากดินไม่รุนแรง ในสภาพแวดล้อมที่เป็นที่ลุ่ม แร่ในกลุ่มสเมกไทต์มักจะพบในดินที่เกิดจากตะกอนภาคพื้นสมุทรหรือตะกอนน้ำพาใหม่จากบริเวณที่เป็นหินที่มีเบสสูงในพื้นที่ใกล้เคียง และอยู่ภายใต้สภาพภูมิอากาศที่มีลักษณะใกล้เคียงกันกับดินที่ดอนที่มีแร่ในกลุ่มสเมกไทต์เป็นองค์ประกอบอยู่สูง (เอิบ, 2534)

บริเวณที่พบดินที่มีแร่ในกลุ่มสเมกไทต์เป็นองค์ประกอบอยู่สูงในประเทศไทยคือที่ราบภาคกลางเป็นดินในอันดับเวอร์ทิซอลล์ อินเซปทิซอลล์ และเอ็นทิซอลล์ ในสภาพแวดล้อมที่เป็นที่ลุ่มเป็นส่วนใหญ่ และเป็นดินในระบบการปลูกข้าว (rice-based cropping system) ประกอบด้วยชุดดินบางกอก บางเลน บ้านหมี่ ช่อแก้ว โคกกระเทียม ลพบุรี สมุทรปราการ และท่าจีน (สถิระ และคณะ, 2547) บริเวณอื่นที่พบดินที่มีแร่สเมกไทต์เป็นองค์ประกอบอยู่สูง รองลงมาคือเทือกเขาสูงตอนกลางและภาคเหนือ ประกอบด้วยชุดดินบ้านโพน ชัยบาดาล ลำนารายณ์ น้ำเลน สมอทอด สบปราบ วัฒนา และวังชมพู ซึ่งส่วนใหญ่เป็นดินในอันดับเวอร์ทิซอลล์ และมอลลิซอลล์ ในสภาพพื้นที่ที่เป็นที่ดอน ที่ใช้ในการปลูกพืชไร่เช่น ถั่ว อ้อย และข้าวโพด (อนิรุทธิ์ และคณะ, 2547) สำหรับบริเวณอื่น ๆ ที่พบดินในลักษณะดังกล่าวนี้ เป็นพื้นที่ค่อนข้างจำกัดในบริเวณที่เป็นที่ลุ่ม และที่กึ่งลุ่ม คือภาคตะวันออกเฉียงเหนือ คือชุดดินพิมาย และชุดดินบุรีรัมย์ (กิตติและคณะ, 2547) ซึ่งใช้ปลูกข้าวเป็นส่วนใหญ่

จากสมบัติที่เด่นของแร่ในกลุ่มสเมกไทต์ในด้านการอุ้มน้ำ และสามารถยึดและหดรัดตัวได้สูง ดินที่มีแร่ในกลุ่มสเมกไทต์เป็นองค์ประกอบอยู่สูงจะมีลักษณะของผิวหน้าดิน แตกต่างไปจากดินในบริเวณใกล้เคียง คือจะแตกเป็นร่องระแหงที่กว้างและลึกในฤดูแล้ง ทำให้มีการกลับหน้าดินโดยวัสดุผิวดินร่วงหล่นลงไปแทรกตามร่องระแหง มีลักษณะเป็นการไถพรวนตัวเอง (self-plowing) ตามธรรมชาติ (Borchardt, 1989) ผิวหน้าดินมีลักษณะตะปุ่มตะป่ำเป็นเนินขนาดเล็ก (microrelief) และภายในดินมักจะมีการเคลื่อนย้ายของมวลดินเหนียวผ่านกัน เกิดลักษณะเป็นรอยไถล (slickensides) และผิวหน้าถูกกดตัน (pressure face) (Buol *et al*, 2003; Soil Survey Staff, 2010) ซึ่งเป็นลักษณะเด่นของดินที่มีแร่ดินเหนียวในกลุ่มนี้เป็นองค์ประกอบเป็นส่วนใหญ่ที่แตกต่างไปจากดินที่มีแร่ดินเหนียวในกลุ่ม 1:1 เช่น เคโอลิไนต์ เป็นองค์ประกอบอยู่สูง

ในสภาพรวม แร่ในกลุ่มสเมกไทต์มีสมบัติในเชิงแลกเปลี่ยนทางเคมีที่ดี ซึ่งเป็นปัจจัยทางวิทยาแร่ในดินที่สำคัญมากที่มีผลต่อการจัดการดินทางการเกษตรในการผลิตพืชอาหาร (Johnston and Tombacz, 2002; Reid-Soukup and Ulery, 2002) ในการทำการเกษตรที่ดี (good agricultural practice: GAP) และมีความมั่นคงปลอดภัยด้านอาหาร (food security and safety) ในสภาพปัจจุบันการใช้ปุ๋ยอย่างถูกต้องและการจัดการด้านอารักขาพืช โดยวิธีการใช้สารเคมีอย่างเหมาะสมเป็นปัจจัยที่ต้องคำนึงถึง เพราะสารเคมีบางชนิดที่ใช้ในการอารักขาพืชอาจมีผลตกค้างในสภาพแวดล้อม และสามารถแจกกระจายไปในระบบธรรมชาติได้ เช่น โอกาสเกิดความเป็นพิษจากโลหะหนัก เป็นต้น

แร่ในกลุ่มสเมกไทต์ มีหลายชนิดและมีสมบัติแตกต่างกันออกไป โดยจะมีผลต่อดินทั้งในด้านสมบัติทางเคมีและสมบัติทางกายภาพ (Borchardt, 1989) แร่ในกลุ่มสเมกไทต์นอกจากจะมีผลต่อการเก็บกักและแลกเปลี่ยนธาตุอาหารพืช ซึ่งมีความสำคัญต่อความอุดมสมบูรณ์ของดินแล้ว แร่ในกลุ่มนี้สามารถดูดซับสารประกอบอินทรีย์ธรรมชาติ สารควบคุมและกำจัดวัชพืช และสารปราบศัตรูพืชได้ด้วย (Borchardt, 1989; Reid-Soukup and Ulery, 2002) ปริมาณ ชนิด และสมบัติของแร่ในกลุ่มสเมกไทต์ จึงมีความสำคัญต่อการจัดการด้านธาตุอาหารพืช และการประเมินสถานภาพสิ่งแวดล้อมในการผลิตพืชอาหาร

แร่ในกลุ่มสเมกไทต์เป็นแร่ดินเหนียวที่มีโครงสร้างแบบแผ่น (phyllosilicate) ที่ในหน่วยโครงสร้างประกอบด้วยแผ่นซิลิกา 2 แผ่น และแผ่นอะลูมินา 1 แผ่น ที่ทราบกันดีว่าเป็นแร่ดินเหนียวประเภท 2:1 (อัญชลี, 2553) สามารถยึดและหดตัว ตอบสนองต่อความชื้นได้ แร่ในกลุ่มสเมกไทต์แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ และมีชนิดของแร่แตกต่างกันในแต่ละกลุ่ม คือแร่ในกลุ่ม dioctahedral ประกอบด้วยแรมอนต์มอริลโลไนต์ ไบเทลโลต์ และนอนโทรไนต์ และแร่ในกลุ่ม trioctahedral ประกอบด้วยแร่ ซาโฟไนต์ เฮกโทไรต์ และซอโคไนต์ (Güven, 1988; Deer *et al.*, 1992; Bouabid *et al.*; 1996; Wilson, 1999) ในดินส่วนใหญ่จะพบแร่ในกลุ่ม dioctahedral มากกว่าในกลุ่ม trioctahedral เนื่องจากแร่ในกลุ่มหลังนี้ จะไม่เสถียรเมื่อเกิดการผุพังสลายตัว เพราะฉะนั้นจะไม่พบในดินที่มีการพัฒนาสูง (Buol *et al.*, 2003) โดยเฉพาะในดินภายใต้สภาพอากาศเขตร้อนเช่นในประเทศไทย (อัญชลี, 2533, 2553)

ดินในประเทศไทย มีองค์ประกอบเชิงแร่แตกต่างกันค่อนข้างมาก (Yoothong *et al.*, 1997) ซึ่งเป็นผลจากสภาพแวดล้อมและวัตถุดิบกำเนิดดินเฉพาะบริเวณ ทำให้มีศักยภาพทางการเกษตรแตกต่างกันออกไป (เอิบ, 2534) แม้ว่าดินที่มีองค์ประกอบเชิงแร่ในกลุ่มอนุภาคขนาดดินเหนียวเป็นแร่ในกลุ่มสเมกไทต์จะมีการแจกกระจายอยู่ทั่วไป แต่ดินที่มีแร่ในกลุ่มสเมกไทต์เป็นแร่องค์ประกอบหลักส่วนใหญ่เป็นดินในอันดับเวอร์ทิสซอลล์ ซึ่งเป็นดินที่มีพื้นที่ประมาณร้อยละ 2.4 ของโลก (Wilding and Tessier, 1988; Buol *et al.*, 2003) และมีพื้นที่ประมาณร้อยละ 0.65 ของดินในประเทศไทย (Panichapong, 1982; Vijarnsorn, 1982) ซึ่งในประเทศไทยพบในพื้นที่ลุ่มเป็นส่วนใหญ่ และยังไม่ได้มีการศึกษาในชั้นละเอียดอย่างเป็นระบบ (Ghosh *et al.*, 2006) การศึกษารายละเอียดในเรื่องนี้ จะทำให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการดินเพื่อความสมดุลของธาตุอาหารพืช และลดปัญหาทางสภาพแวดล้อมได้ เนื่องจากความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืช และผลของโลหะหนักซึ่งเป็นแคตไอออนในดิน จะเกี่ยวข้องกับค่าความจุแลกเปลี่ยนในดิน โดยเฉพาะกับกิจกรรมของแร่ในกลุ่มอนุภาคขนาดดินเหนียว โดยแร่ในกลุ่มสเมกไทต์ ซึ่งเป็นแร่ที่มีประจุลบถาวรสูง และมีความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูง จะมีบทบาทอย่างมากในทั้งสองด้าน คือ ด้านการสนับสนุนการเก็บกัก และแลกเปลี่ยนไอออนที่มีผลต่อความอุดมสมบูรณ์ของดิน (Laird *et al.*, 1988; Singh and Heffernan, 2002) และเก็บกักโลหะหนักในดิน กรองออกจากการใช้ของพืช ซึ่งมีวิธีการศึกษาที่จะจำแนกชนิดของแร่ในกลุ่มนี้ได้ (Malla and Douglas, 1987) แต่ยังไม่ได้มีการศึกษาในประเทศไทย

การศึกษาทั้งในด้านการกำหนดลักษณะ การวิเคราะห์ชั้นละเอียด รวมถึงการแจกแจงชนิดของแร่ในกลุ่มสเมกไทต์ของดินในประเทศไทย และการประเมินศักยภาพกับบทบาทของแร่ในกลุ่มสเมกไทต์ในการพัฒนาการเกษตรและสภาวะโลหะหนักในสภาพแวดล้อมการปลูกพืชอาหาร จะทำให้ได้องค์ความรู้ที่มีประโยชน์ทั้งในด้านการเกษตรและด้านสิ่งแวดล้อม (Reid-Soukup and Ulery, 2002) เพื่อนำไปใช้ประกอบการพิจารณาการใช้พื้นที่ การทดลองปุ๋ย เพิ่มประสิทธิภาพ การทำการเกษตรที่ดี และรักษาสภาพแวดล้อมที่ดีของประเทศได้ การศึกษามีวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้คือ

1. เพื่อวิเคราะห์ปริมาณพื้นที่ที่ดินมีแร่ในกลุ่มสเมกไทต์เป็นปริมาณสูงในประเทศไทย
2. เพื่อวิเคราะห์ความแตกต่างของแร่ในกลุ่มสเมกไทต์ในดิน ในพื้นที่ต่าง ๆ และเปรียบเทียบปริมาณและสมบัติของแร่ในกลุ่มสเมกไทต์ ในสภาพแวดล้อมที่ต่างต่างกัน ทั้งในบริเวณที่เป็นที่ลุ่มและที่ดอน
3. เพื่อทดสอบความจุแลกเปลี่ยน (exchange capacity) และความสามารถในการเลือกเก็บกักแคตไอออนที่เป็นธาตุอาหารพืช และโลหะหนักของแร่ในกลุ่มสเมกไทต์
4. เพื่อศึกษาลักษณะดิน และสภาพแวดล้อมในการเกิดแร่ในกลุ่มสเมกไทต์ในดิน
5. เพื่อศึกษาสมบัติต่าง ๆ ของแร่ในกลุ่มสเมกไทต์อย่างละเอียด และความสัมพันธ์ระหว่างแร่ในกลุ่มสเมกไทต์ กับสมบัติเด่นของดิน
6. เพื่อประมวลผลข้อมูลที่ได้จากการศึกษา ประเมินศักยภาพของแร่ในกลุ่มสเมกไทต์ต่อการเกษตร และผลต่อสภาพแวดล้อม

การศึกษารอบคอบรวมทั้งการศึกษาในภาคสนามของดินในประเทศไทยที่มีชั้นแร่วิทยาของดินเป็นแร่ในกลุ่มสเมกไทต์ การวิเคราะห์ตัวอย่างดินในห้องปฏิบัติการขั้นละเอียดทางกายภาพ เคมี และแร่วิทยา และการวิเคราะห์ข้อมูลของดินที่ใช้การวิเคราะห์ทางสถิติประกอบ ภายใต้กรอบความคิดที่ว่า สเมกไทต์มีบทบาทสูงด้านการแลกเปลี่ยนธาตุอาหารพืชในดิน และการเก็บกักธาตุโลหะหนักในการลดการแจกกระจายของมลพิษในการปลูกพืชและสภาพแวดล้อมของดิน

### **วิธีการดำเนินงานวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล**

#### **การศึกษาพื้นที่ของดินที่มีแร่สเมกไทต์เป็นองค์ประกอบอยู่สูง**

ศึกษาข้อมูลดินทั้งประเทศจากแผนที่ดิน และผลการวิจัยทางดินที่เกี่ยวข้องกับแร่ในกลุ่มสเมกไทต์ในประเทศไทย รวบรวมข้อมูลดินที่มีชั้นแร่วิทยาของดินเป็นแร่ในกลุ่มสเมกไทต์ และกำหนดพื้นที่การศึกษาสภาพแวดล้อม และเก็บตัวอย่างดิน

#### **การดำเนินงานภาคสนาม**

1. จากพื้นที่ที่กำหนดไว้ตามพิกัดที่ตรวจสอบโดยใช้แผนที่ และเทคนิคสารสนเทศภูมิศาสตร์ กำหนดบริเวณการศึกษาขั้นละเอียดทั้งหมด 14 บริเวณในบริเวณที่ราบภาคกลาง และเทือกเขาสูงตอนกลาง (Central Highlands) ของประเทศ ซึ่งมีทั้งที่เป็นพื้นที่ลุ่มและพื้นที่ดอน ที่มีเส้นทางคมนาคมเข้าศึกษาได้
2. ในพื้นที่ 14 บริเวณ เลือกจุดการศึกษาดินเป็นตัวแทนในการศึกษาขั้นละเอียดโดยใช้แผนที่ของกรมแผนที่ทหาร มาตราส่วน 1:50,000 และแผนที่ดินรายจังหวัดของกรมพัฒนาที่ดิน มาตราส่วน 1:100,000 ประกอบ กำหนดจุดเก็บตัวอย่างโดยใช้เครื่องกำหนดตำแหน่งบนผิวโลก (global positioning system: GPS)
3. เก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ต่าง ๆ ที่กำหนดทั้งในที่ลุ่มและที่ดอน เพื่อศึกษาสมบัติทางแร่วิทยา และสมบัติของแร่ในกลุ่มสเมกไทต์ โดยเก็บตัวอย่างดินแบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ 1) ชั้นดินบนหรือชั้นไทรพรวน ซึ่งกำหนดในสนามตามสภาพการสะสมอินทรีย์วัตถุ 2) ชั้นใต้ฐานของชั้นดินบนลงไปถึงระดับความลึก 60 เซนติเมตร ซึ่งเป็นชั้นรากพืชส่วนใหญ่ของดิน และ 3) ชั้นดินจากระดับความลึก 60 เซนติเมตร ถึง 100

เซนติเมตร ซึ่งเป็นพิกัดล่างของการวิเคราะห์ชั้นแร่วิทยาของดินตามมาตรฐานการศึกษาทางดิน (Soil Survey Staff, 2010)

4. เลือกเก็บตัวอย่างและศึกษาสภาพแวดล้อมตามชนิดของดินที่มีลักษณะชี้ว่าเป็นดินที่มีแร่กลุ่มสมกไทต์เป็นองค์ประกอบอยู่สูง โดยพิจารณาจากลักษณะการแตกเป็นร่องระแหงที่ผิวหน้าของดิน และการมีความต่างความสูงจุลภาคในลักษณะเนินขนาดเล็ก (microrelief) โดยการวิเคราะห์ลักษณะดินเฉพาะบริเวณ ณ จุดที่กำหนดได้ ศึกษาดินทั้งหน้าตัดโดยการขุดหลุมขนาดกว้าง x ยาว x ลึก 1.5 x 2.0 x 2.0 เมตร ศึกษาสัมพันธ์วิทยาของดิน แบ่งชั้นดินตามชั้นกำเนิดดิน ทำคำอธิบายหน้าตัดดินตามวิธีมาตรฐาน (เอิบ, 2550; Soil Survey Division Staff, 1993) และบันทึกสภาพแวดล้อมของดิน ในการศึกษาความสัมพันธ์ของสมบัติเชิงแร่ในกลุ่มสมกไทต์ กับสมบัติดินทางการเกษตร และผลทางสภาพแวดล้อม

5. เก็บตัวอย่างดินในหน้าตัดดินตามชั้นกำเนิดดิน โดยเก็บตัวอย่างดินที่ถูกบรบกวนชั้นละ 1-2 กิโลกรัม ครอบคลุมร้อยละ 60 ของชั้นดินแต่ละชั้น เพื่อวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ เคมี และแร่วิทยาของดิน และเก็บตัวอย่างดินเพื่อวิเคราะห์ความหนาแน่นรวม (bulk density) ของดิน

### การวิเคราะห์ตัวอย่างดินในห้องปฏิบัติการ

#### 1. การเตรียมตัวอย่างดิน

เตรียมตัวอย่างดินโดยการผึ่งให้แห้งในที่ร่ม แยกกรวด เศษหินกับชิ้นส่วนของพืชขนาดใหญ่ออก บดดิน และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร และใช้ตัวอย่างที่เตรียมนี้ในการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ เคมี และแร่วิทยาของดิน

#### 2. การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดิน

2.1 วิเคราะห์การแจกกระจายของอนุภาคดิน (Particle size distribution) โดยวิธีไปเปตต์ (pipette method) (Gee and Bauder, 1986) และแจกแจงประเภทของเนื้อดิน โดยเปรียบเทียบชั้นเนื้อดินตามเกณฑ์ของกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา (USDA textural classes) (Soil Survey Staff, 2010)

2.2 วิเคราะห์ความหนาแน่นรวมของดินโดยวิธี clod method (Blake and Hartge, 1986)

2.3 วิเคราะห์สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้น (Coefficient of linear extensibility: COLE) โดยปั้นดินเปียกเป็นแท่งแล้วปล่อยให้แตกเมื่อแห้ง (rod using soil paste) (Schafer and Singer, 1976)

#### 3. การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน

3.1 พีเอช (pH) โดยใช้เครื่องวัดพีเอช (pH meter) ใช้อัตราส่วนดินต่อน้ำ และดินต่อสารละลาย 1M KCl เท่ากับ 1:1 (National Soil Survey Center, 1996)

3.2 คาร์บอนอินทรีย์ (Organic carbon: OC) โดยวิธี Walkley and Black titration (Walkley and Black, 1934; Nelson and Sommers, 1996) แล้วคำนวณหาปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (organic matter content: OM) จากสูตร  $OM = OC \times 1.724$

3.3 ไนโตรเจนรวม (Total nitrogen) โดยวิธี Kjeldahl method (National Soil Survey Center, 1996)

3.4 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available phosphorus) โดยวิธี Bray II (Bray and Kurtz, 1945)

3.5 เบสที่สกัดได้ (Extractable bases;  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  and  $\text{K}^+$ ) โดยสกัดด้วย 1M  $\text{NH}_4\text{OAc}$  ที่เป็นกลาง (pH = 7.0) แล้ววัดปริมาณโดยใช้ atomic absorption spectrophotometer (AAS) (Thomas, 1982a)

3.6 ความเป็นกรดที่สกัดได้ (Extractable acidity: EA) โดยวิธี barium chloride triethanolamine at pH 8.2 (Thomas, 1982b)

3.7 ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (Cation exchange capacity: CEC) โดยการซึมชะแคตไอออนด้วยสารละลาย 1M  $\text{NH}_4\text{OAc}$  ที่เป็นกลาง (pH = 7.0) และแทนที่แอมโมเนียมไอออนด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ร้อยละ 10 ในสภาพเป็นกรด (Chapman, 1965; Rhoads, 1982)

3.8 แคลเซียมคาร์บอเนตสมมูล (Calcium carbonate equivalent: CCE) โดยการละลายแคลเซียมคาร์บอเนต ( $\text{CaCO}_3$ ) ด้วย 1M HCl และไทเทรตย้อนกลับด้วย 1M NaOH (National Soil Survey Center, 1996)

3.9 อัตราร้อยละความอิ่มตัวเบส (Base saturation percentage: PBS) โดยคำนวณจากค่าปริมาณเบสที่สกัดได้ และความเป็นกรดที่สกัดได้จากสูตร  $\% \text{BS} = (\text{Sum bases} / (\text{Sum bases} + \text{EA}) \times 100$

3.10 เหล็ก อะลูมิเนียม และแมงกานีสที่สกัดได้ (Extractable Fe, Al, Mn) โดยวิธี dithionite-citrate-bicarbonate (DCB), ammonium oxalate, และ sodium pyrophosphate (Mehra and Jackson, 1960; McKeague and Day, 1996; National Soil Survey Center, 1996)

3.11 การนำไฟฟ้า (Electrical conductivity) จากสารสกัดดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (extract of saturated soil/water) (National Soil Survey Center, 1996)

3.12 ธาตุหลักและธาตุรองต่าง ๆ ในดิน (Total analysis of major and minor elements) โดยใช้ X-ray fluorescence spectrometer (XRF) และ inductively coupled plasma-optical emission spectrometry (ICP-OES) (Karathanasis and Hajek, 1996)

#### 4. การวิเคราะห์เชิงแร่วิทยา

4.1 วิเคราะห์ชนิดและปริมาณของแร่ในดิน โดยใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction analysis: XRD) (Brown and Brindley, 1980; Whittig and Allardice, 1986)

4.2 วิเคราะห์สมบัติของแร่สเมกไทต์ และชนิดของแร่ในกลุ่มสเมกไทต์ตามวิธีมาตรฐาน (Green-Kelly, 1955) และวิธี alkylammonium (Legaly, 1994; Rühlicke and Kohler, 1981) กับวิธี silverthiourea (Rayment and Higginson, 1992)

4.3 วิเคราะห์การตรึงโพแทสเซียมของแร่สเมกไทต์ โดยวิธี wet and dry (Bouabid *et al.*, 1991)

#### 5. วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรม Statistica

## ผลการศึกษา

### ลักษณะและสมบัติของดินที่มีแร่กลุ่มสเมกไทต์เป็นองค์ประกอบอยู่สูง

#### สภาพแวดล้อมและลักษณะทั่วไปของดิน

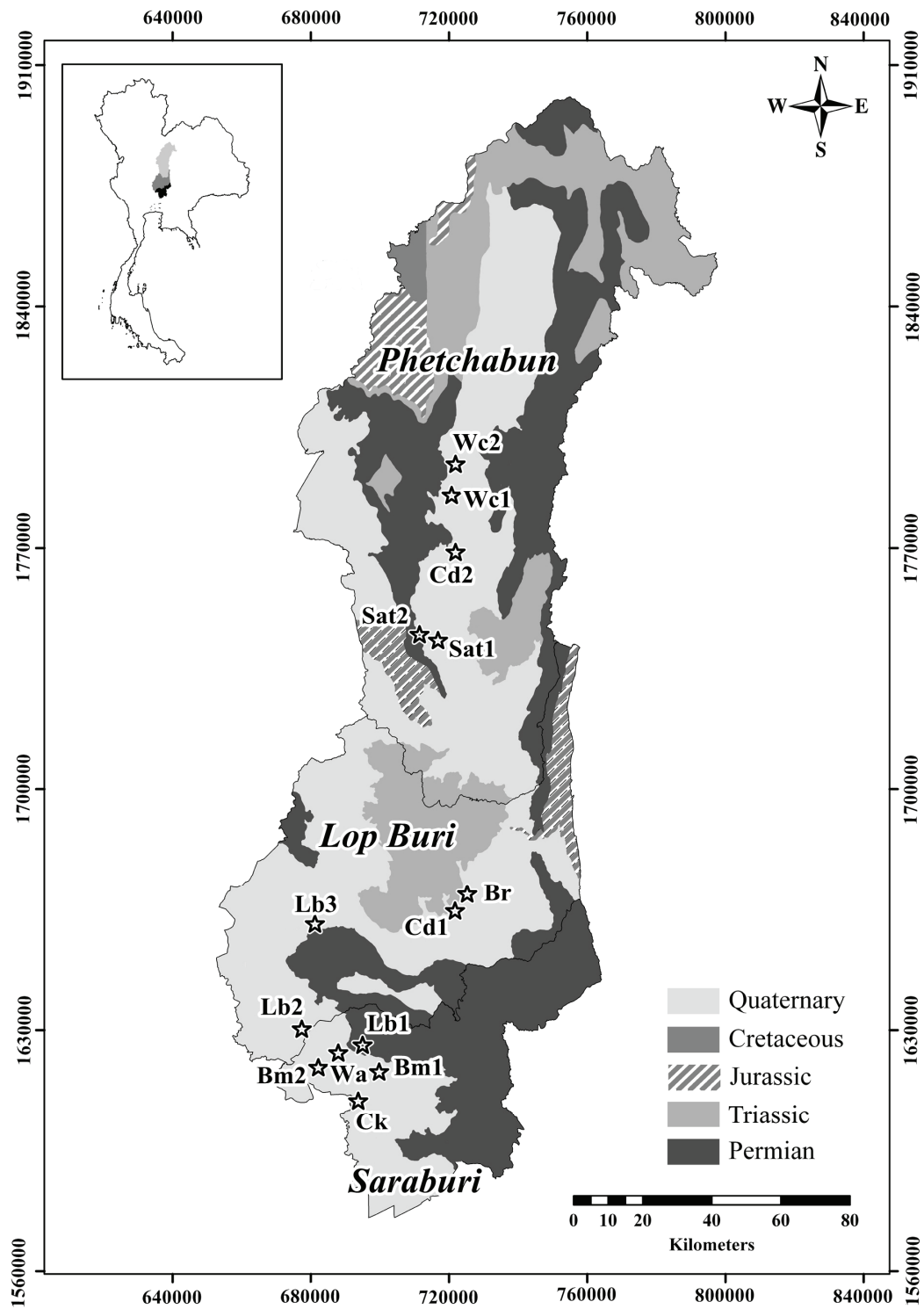
ผลจากการศึกษาสภาพแวดล้อมและลักษณะทางกายภาพของผิวดิน ที่มีความเกี่ยวข้องกับสมบัติในด้านการยึดและหดตัวของแร่ในกลุ่มสเมกไทต์ในสนาม พบว่าพื้นที่ที่ดินมีการแตกเป็นร่องระแหงที่ผิวหน้า และมีความต่างระดับจุลภาคเป็นลักษณะเด่น มีการแจกกระจายเป็นบริเวณกว้างขวางในพื้นที่ราบภาคกลาง และเทือกเขาสูงตอนกลางของประเทศ ประกอบด้วยชุดดินต่าง ๆ ที่มีขอบเขตต่อเนื่องกันตามแผนที่ดินละเอียดค่อนข้างหายาก (มาตราส่วน 1:100,000) ของกรมพัฒนาที่ดิน โดยอยู่ในบริเวณที่เป็นเขตหินปูนยุคเพอร์เมียน (Permian limestone) และที่ราบที่เกิดจากตะกอนน้ำพาในยุคควอเทอร์นารี (Quaternary alluvium) เป็นส่วนใหญ่ (Geological Survey Division Staff, 1985) และจะได้รับผลกระทบจากตะกอนการละลายของหินปูนยุคเพอร์เมียนด้วย (ภาพที่ 1) อยู่ในพื้นที่จังหวัดสระบุรี ลพบุรี และเพชรบูรณ์ ประกอบด้วย ดินที่พบในบริเวณที่เป็นที่ลุ่มคือ ชุดดินบ้านหมี่ (Ban Mi) 2 บริเวณ (Bm1, Bm2) ชุดดินช่องแค (Chong Khae: Ck) ชุดดินลพบุรี (Lop Buri) 2 บริเวณ (Lb1, Lb2) และชุดดินวัฒนา (Wattana: Wa) สำหรับในบริเวณที่เป็นที่ดอน คือ ชุดดินบุรีรัมย์ (Buri Ram: Br) ชุดดินชัยบาดาล (Chai Badan) 2 บริเวณ (Cd1, Cd2) ชุดดินลพบุรี (Lb3) ชุดดินสมอทอด (Samo Thod) 2 บริเวณ (Sat1, Sat2) และชุดดินวังชมพู (Wang Chomphu) 2 บริเวณ (Wc1, Wc2)

สภาพแวดล้อมโดยทั่วไปของดินที่ทำการศึกษาแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มด้วยกัน คือ กลุ่มของดินในพื้นที่ลุ่ม ซึ่งเป็นพื้นที่ส่วนต่ำของสภาพภูมิประเทศที่เป็น footslope และที่ราบตะกอนน้ำพา และกลุ่มของดินในพื้นที่ดอนซึ่งเป็นพื้นที่ตอนบนของสภาพภูมิประเทศที่เป็น footslope เป็นส่วนใหญ่ ดินทั้งสองกลุ่มได้รับวัตถุดิบกำเนิดดินในลักษณะตะกอนน้ำพาเฉพาะบริเวณ (local alluvium) แทบทั้งสิ้น โดยมีผิวหน้าของสภาพภูมิประเทศมีลักษณะเป็นที่ราบและลูกคลื่นลอนลาด สภาพการใช้ที่ดินส่วนใหญ่เป็นการผลิตพืชทางการเกษตรในลักษณะต่าง ๆ แต่ในบริเวณที่เป็นที่ลุ่มเป็นการใช้ที่ดินในระบบนาข้าว (ตารางที่ 1, ภาพที่ 2, 3)

#### สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน

ดินในภาพรวมเป็นดินเหนียวจัด และมีการแจกกระจายของกลุ่มอนุภาคขนาดทรายและทรายแป้งในหน้าตัดดินแตกต่างกัน (ภาพที่ 4) และกลุ่มอนุภาคดินเหนียวซึ่งมีอยู่ในปริมาณสูงเป็นปัจจัยที่กำหนดระบบดินทั้งในด้านการเก็บกัก และแลกเปลี่ยนไอออนต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับความอุดมสมบูรณ์ของดิน (Buol *et al.*, 2003) ดินมีความหนาแน่นรวมค่อนข้างสูงถึงสูงเป็นส่วนใหญ่ และมีสัมประสิทธิ์ในการขยายตัวเชิงเส้นทั่วไปสูงกว่า 0.09 แสดงให้เห็นว่าดินที่มีแร่ในกลุ่มสเมกไทต์เป็นองค์ประกอบอยู่สูงเหล่านี้ เป็นเวอร์ทิซอลล์ (Vertisols) (Soil Survey Staff, 2010)

สมบัติทางเคมีของดินเหล่านี้ (ตารางที่ 2) แสดงว่าเป็นดินที่มีศักยภาพด้านความอุดมสมบูรณ์ค่อนข้างสูงถึงสูง โดยดินมีค่าพีเอชอยู่ในช่วงเป็นด่างอ่อน มีอินทรีย์วัตถุในระดับตั้งแต่ต่ำถึงสูง และมีลักษณะเด่นทางเคมีที่สำคัญคือ มีความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูงถึงสูงมากเป็นส่วนใหญ่ มีอัตราร้อยละความอิ่มตัวเบสอยู่ในเกณฑ์สูงถึงสูงมาก และสูงกว่าร้อยละ 35 ซึ่งสามารถที่จะจัดการด้านปุ๋ยได้ค่อนข้างง่าย และมีการสูญเสียในสภาพที่ลุ่มและที่ดอน ซึ่งลักษณะดังกล่าวนี้เป็นผลจากการที่ดินมีแร่ในกลุ่มสเมกไทต์เป็นองค์ประกอบอยู่สูง



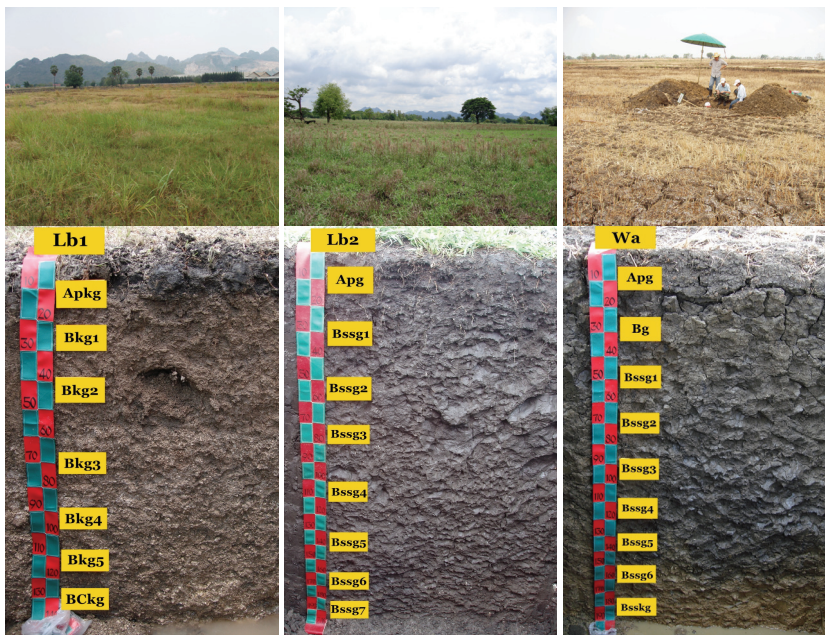
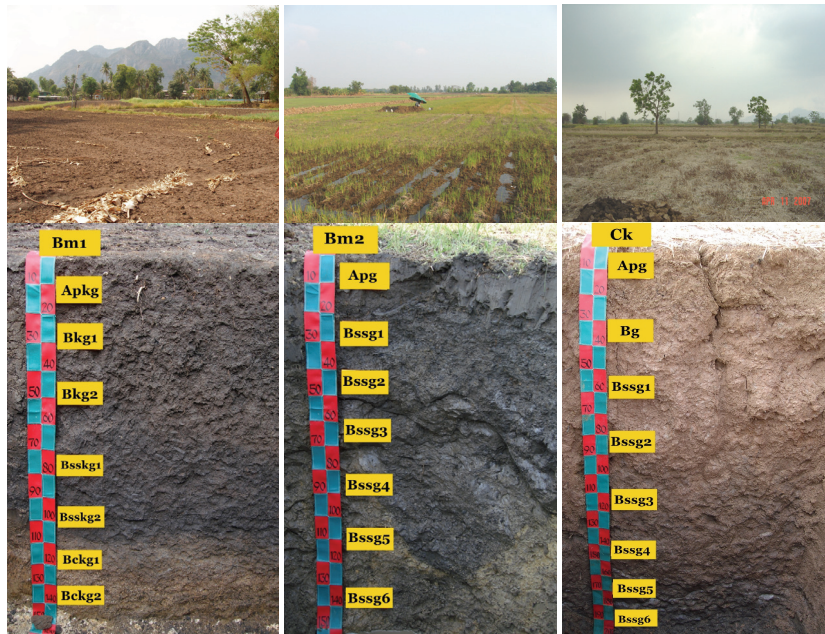
ภาพที่ 1 พื้นที่ศึกษา ลักษณะทางธรณีวิทยา และจุดเก็บตัวอย่าง ของดินที่มีแร่ในกลุ่มสเมกไทต์ปริมาณสูง ในประเทศไทย (Geological Survey Division Staff, 1985)

ตารางที่ 1 สภาพแวดล้อมและลักษณะทั่วไปของดินที่มีสเมกไทต์ เป็นองค์ประกอบอยู่สูงซึ่งทำการศึกษา

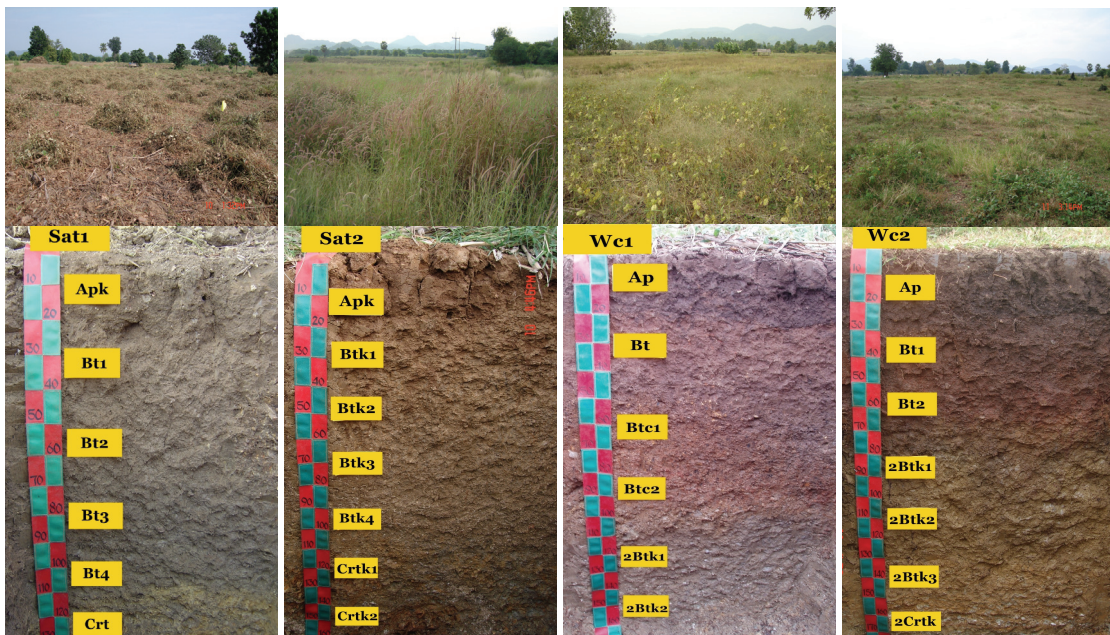
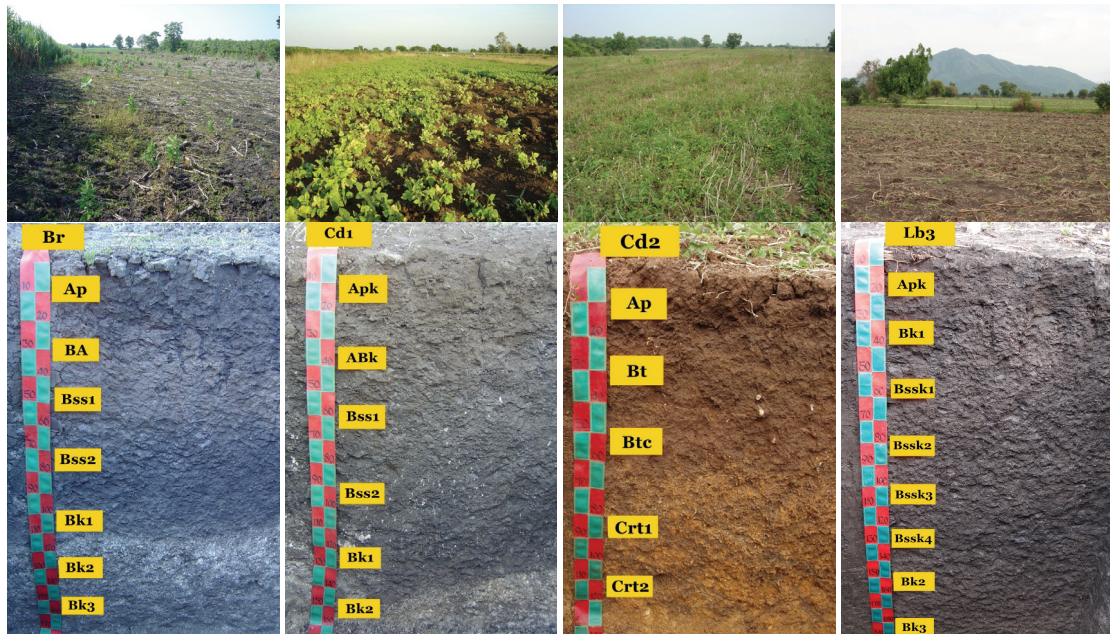
Soil series	Classification	Landform	Parent material	Surrounding land form	Elevation (m MSL)	Coordination	Land use
Lowland Vertisols							
Ban Mi 1 (Bm1)	Ustic Endoaquert	Lower footslope	Wash and local alluvium derived from weathered limestone	Undulating	26	47P 0697976 E 1621108 N	Vegetable bed, e.g. onion
Ban Mi 2 (Bm2)	Ustic Endoaquert	Depression in local alluvial plain (basin)	Local alluvium partially derived from limestone	Flat	5	47P 0683633 E 1623175 N	Paddy rice, bamboo, eucalyptus, banana, coconut
Chong Khae (Ck)	Ustic Endoaquert	Semi-recent terrace	Mixed alluvium and local alluvium derived from limestone	Slightly undulating	9	47P 0692725 E 1611533 N	Paddy rice, neem, tamarind, mango, kapok
Lop Buri 1 (Lb1)	Aeric Calciaquert	Local alluvial plain	Local alluvium derived from limestone	Gently undulating	26	47P 0691599 E 1627020 N	Paddy rice, left idle
Lop Buri 2 (Lb2)	Ustic Endoaquert	Toeslope	Local alluvium derived from limestone	Nearly flat	7	47P 0678145 E 1632258 N	Left idle at time of sampling, rain tree, tamarind and local weeds
Wattana (Wa)	Ustic Endoaquert	Local alluvial plain	Local alluvium	Flat	9	47P 0687175 E 1625088 N	Paddy rice, banana, coconut, mango, kapok

ตารางที่ 1 (ต่อ)

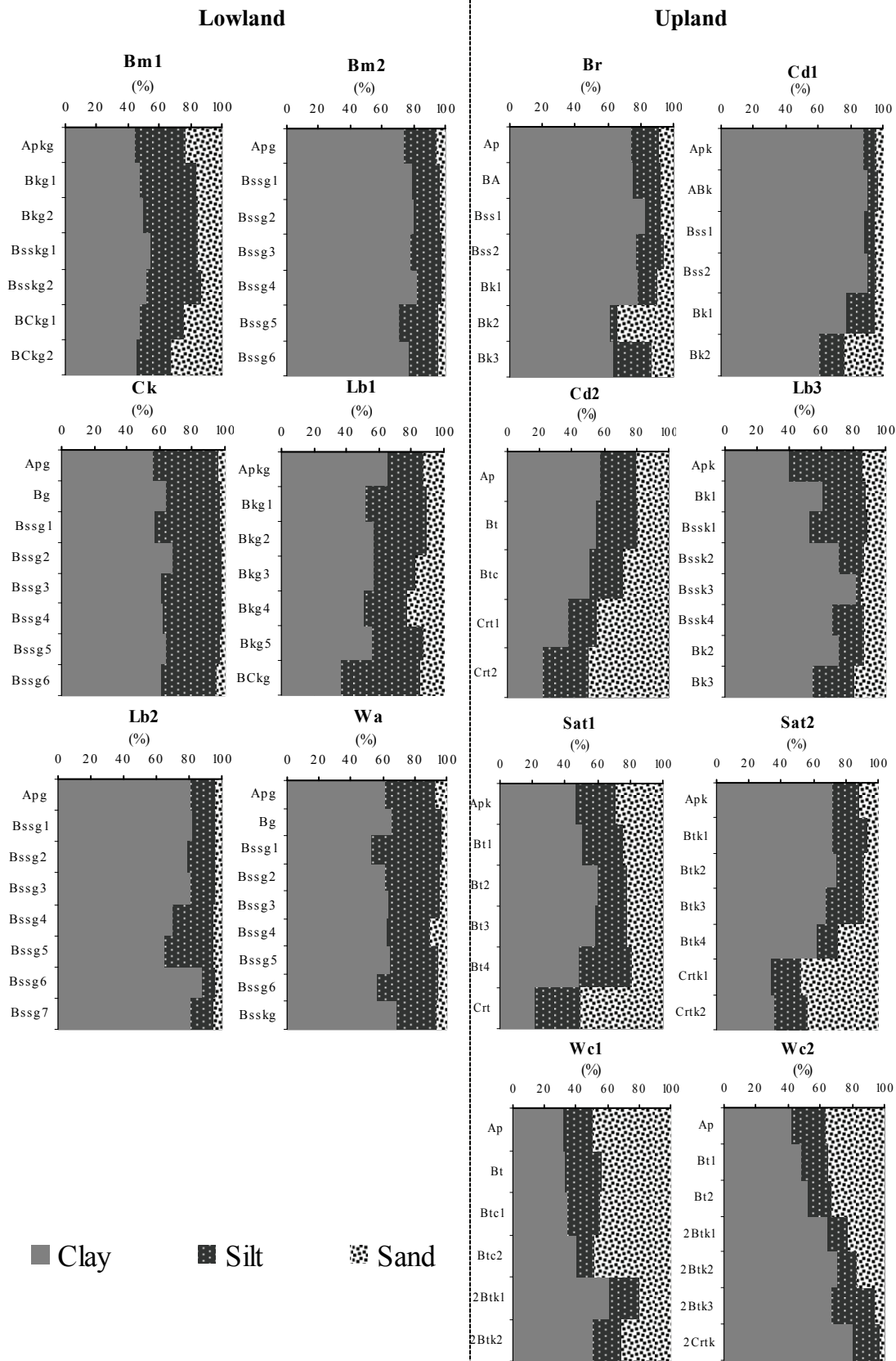
Soil series	Classification	Landform	Parent material	Surrounding land form	Elevation (m MSL)	Coordination	Land use
<b>Upland Vertisols</b>							
Buri Ram (Br)	Typic Haplustert	Dissected lower footslope	Local alluvium derived from limestone	Gently undulating	40	47P 0723218 E 1669816 N	Sugarcane, chili, teak, tamarind, mango,
Chai Badan 1 (Cd1)	Calcic Haplustert	Dissected upper footslope	Local alluvium derived from lime containing rocks	Undulating	52	47P 0721140 E 1668275 N	Mung bean, cassava, sugarcane,
Chai Badan 2 (Cd2)	Typic Haplustert	Lower middle slope basalt corrosion plain	Residuum derived from weathered basalt	Undulating	99	47Q 0722140 E 1771808 N	Mung bean and corn
Lop Buri 3 (Lb3)	Typic Haplustert	Lower footslope	Local alluvium derived from limestone	Undulating	35	47P 0681855 E 1660992 N	Sesame and sorghum
Samo Thod 1 (Sat1)	Chromic Haplustert	Dissected upper footslope	Local alluvium on residuum derived from both weathered andesite and limestone	Undulating	83	47P 0715371 E 1745008 N	Mung bean field, bamboo, coconut, local trees and chili
Samo Thod 2 (Sat2)	Chromic Haplustert	Upper footslope	Local alluvium derived from limestone on residuum weathered from	Undulating	93	47P 0711956 E 1745327 N	Corn and mung bean
Wang Chomphu 1 (Wc1)	Chromic Haplustert	Lower footslope	Local alluvium mixed wash over residuum derived from calcareous rocks	Undulating	96	47Q 0720488 E 1787343 N	Mango intercropped with mung bean, teak, eucalyptus and banana
Wang Chomphu 2 (Wc2)	Typic Haplustert	Lower dissected footslope	Local alluvium derived from calcareous rocks	Undulating	102	47Q 0722441 E 1795993 N	Pasture for grazing, live stock



ภาพที่ 2 สภาพแวดล้อมและสัณฐานวิทยาของดินที่ลุ่ม ที่มีแร่ในกลุ่มสมกไทต์เป็นองค์ประกอบสูง



ภาพที่ 3 สภาพแวดล้อมและสัณฐานวิทยาของดินที่ดอน ที่มีแร่ในกลุ่มสมกไทต์เป็นองค์ประกอบสูง



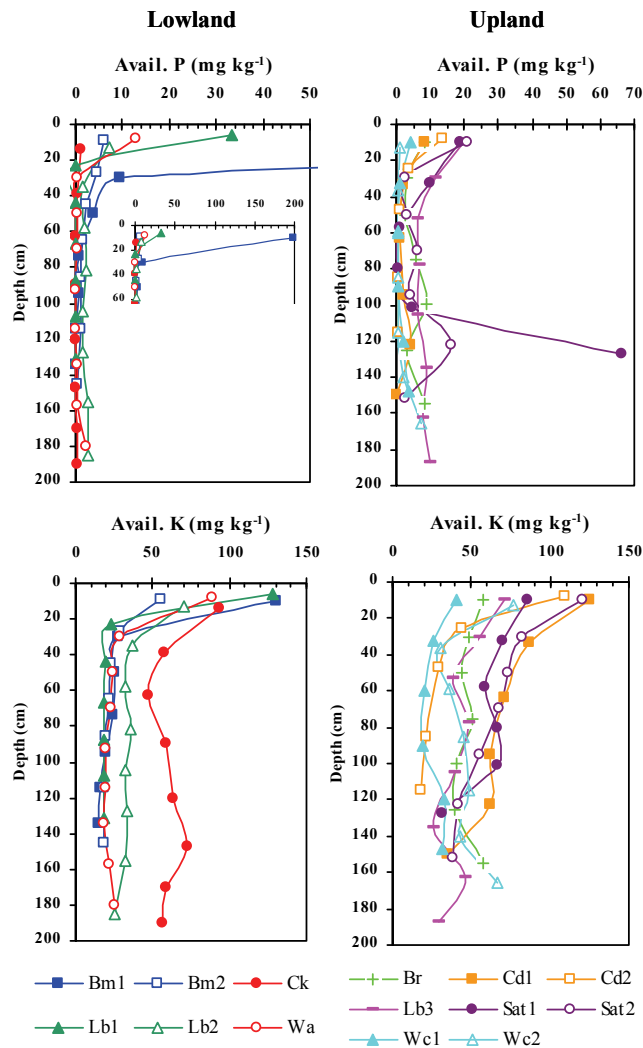
ภาพที่ 4 การแจกกระจายของกลุ่มอนุภาคต่าง ๆ ในหน้าตัดดิน ที่แสดงว่าเป็นดินเหนียวจัดเป็นส่วน  
ใหญ่

ตารางที่ 2 ข้อมูลสรุปในเชิงสถิติของสมบัติเชิงกายภาพและเคมีของดินที่มีแร่ในกลุ่มสเมกไทต์เป็นองค์ประกอบอยู่สูง

Soil property (n=98)	Mean	Median	Min	Max	Stdev.
<i>Physical properties</i>					
Sand (g kg <sup>-1</sup> )	150	108	18	502	134
Silt (g kg <sup>-1</sup> )	231	219	29	495	96
Clay (g kg <sup>-1</sup> )	618	618	215	910	155
Bulk density (Mg m <sup>-3</sup> )	1.75	1.78	1.37	2.01	0.14
COLE	0.23	0.24	0.03	0.38	0.06
<i>Chemical properties</i>					
pH (1:1 H <sub>2</sub> O)	7.65	7.90	5.00	8.70	0.85
EC-saturated (dS m <sup>-1</sup> )	0.58	0.41	0.07	2.29	0.46
Organic matter (g kg <sup>-1</sup> )	11.40	8.75	1.71	51.50	9.12
Total Nitrogen (g kg <sup>-1</sup> )	0.45	0.33	0.01	1.98	0.40
Cation exchange capacity (cmol kg <sup>-1</sup> )	48.70	44.10	17.90	96.80	17.50
Available P (mg kg <sup>-1</sup> )	6.55	1.92	0.01	198	21.20
Available K (mg kg <sup>-1</sup> )	45.90	38.90	14.70	130	26.90
Exchangeable Ca (cmol kg <sup>-1</sup> )	45.80	42.30	14.50	132	19.60
Exchangeable Mg (cmol kg <sup>-1</sup> )	6.58	4.57	0.03	24.90	6.34
Exchangeable Na (cmol kg <sup>-1</sup> )	1.59	0.87	0.11	10.80	1.98
Exchangeable K (cmol kg <sup>-1</sup> )	0.11	0.09	0.03	0.33	0.07
Base saturation (%)	76.70	76.60	37.50	98.30	9.59
Extractable acidity (cmol kg <sup>-1</sup> )	15.48	16.23	1.01	42.19	6.31
Calcium carbonate equivalent (%)	8.30	2.61	0.06	56.60	13.50

เมื่อพิจารณาจากการแจกกระจายของสมบัติทางเคมีของเวอร์ทีซอลส์เหล่านี้ในหน้าตัดดิน จะเห็นได้ว่าสมบัติต่าง ๆ เช่น ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม (ภาพที่ 5) ในดินบนลงไปถึงระดับประมาณ 60 เซนติเมตรจากผิวดิน มีความเหมาะสมต่อการผลิตพืช ซึ่งเขต 0-60 เซนติเมตรนี้ เป็นเขตของรากพืชส่วนใหญ่โดยทั่วไป นอกจากนี้ การแจกกระจายตามความลึกในหน้าตัดดิน ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC) และเบสรวม (sum bases) ในดินเหล่านี้ ซึ่งมีค่าวิเคราะห์ค่อนข้างสูง และมีแนวโน้มค่อนข้างคงที่ (ภาพที่ 6) ยังแสดงถึงอิทธิพลของปริมาณดินเหนียว และสมบัติของดินเหนียวด้วย ซึ่งพบว่า CEC และ sum bases มีความสัมพันธ์กันในเชิงบวก และมีความสัมพันธ์ในลักษณะคล้ายคลึงกันกับ ความสัมพันธ์ของ CEC กับดินเหนียว แสดงให้เห็นว่า ดินที่มีแร่ในกลุ่มอนุภาคดินเหนียวเป็นแร่ในกลุ่มสเมกไทต์ในปริมาณสูง จะสามารถแลกเปลี่ยนแคตไอออนได้เป็นอย่างดี นอกจากสเมกไทต์แล้ว แร่ดินเหนียวสอดชั้นของสเมกไทต์และเคโอลิไนต์ ก็จะมีสมบัติที่ให้ความสัมพันธ์กับ CEC ในลักษณะที่คล้ายคลึงกันนี้ด้วย

การแจกกระจายของอัตราร้อยละความอิ่มตัวเบส (PBS) และเบสที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable bases) คือ แคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียม และโพแทสเซียมของดินตามความลึก (ภาพที่ 7) แสดงให้เห็นว่า ดินที่ทำการศึกษามีความอิ่มตัวเบสค่อนข้างสูงถึงสูงมาก และมีแนวโน้มการแจกกระจายที่ค่อนข้างสม่ำเสมอในหน้าตัดดิน ซึ่งเป็นผลในเชิงบวกต่อการผลิตพืช โดยเฉพาะในด้านการจัดการปุ๋ยที่เป็นแคตไอออน นอกจากนี้ การแจกกระจายของเบสที่แลกเปลี่ยนได้โดยเฉพาะในเขตรากพืช (0-60 ซม.) ส่วนใหญ่ไม่มีผลกระทบต่อการผลิตพืช และในช่วงลึกของหน้าตัดดิน ซึ่งพบว่า โซเดียมและแมกนีเซียม มีการเพิ่มขึ้นค่อนข้างสูงในบางหน้าตัดดิน แสดงให้เห็นถึงอิทธิพลความแปรปรวนของวัตถุดิบกำเนิด เนื่องจากดินเหล่านี้ยังมีพัฒนาการไม่สูงนัก นอกจากนี้แล้ว เนื่องจากดินที่ทำการศึกษาพัฒนาจากวัตถุดิบกำเนิดที่มีความเกี่ยวข้องกับหินปูน และมีการ

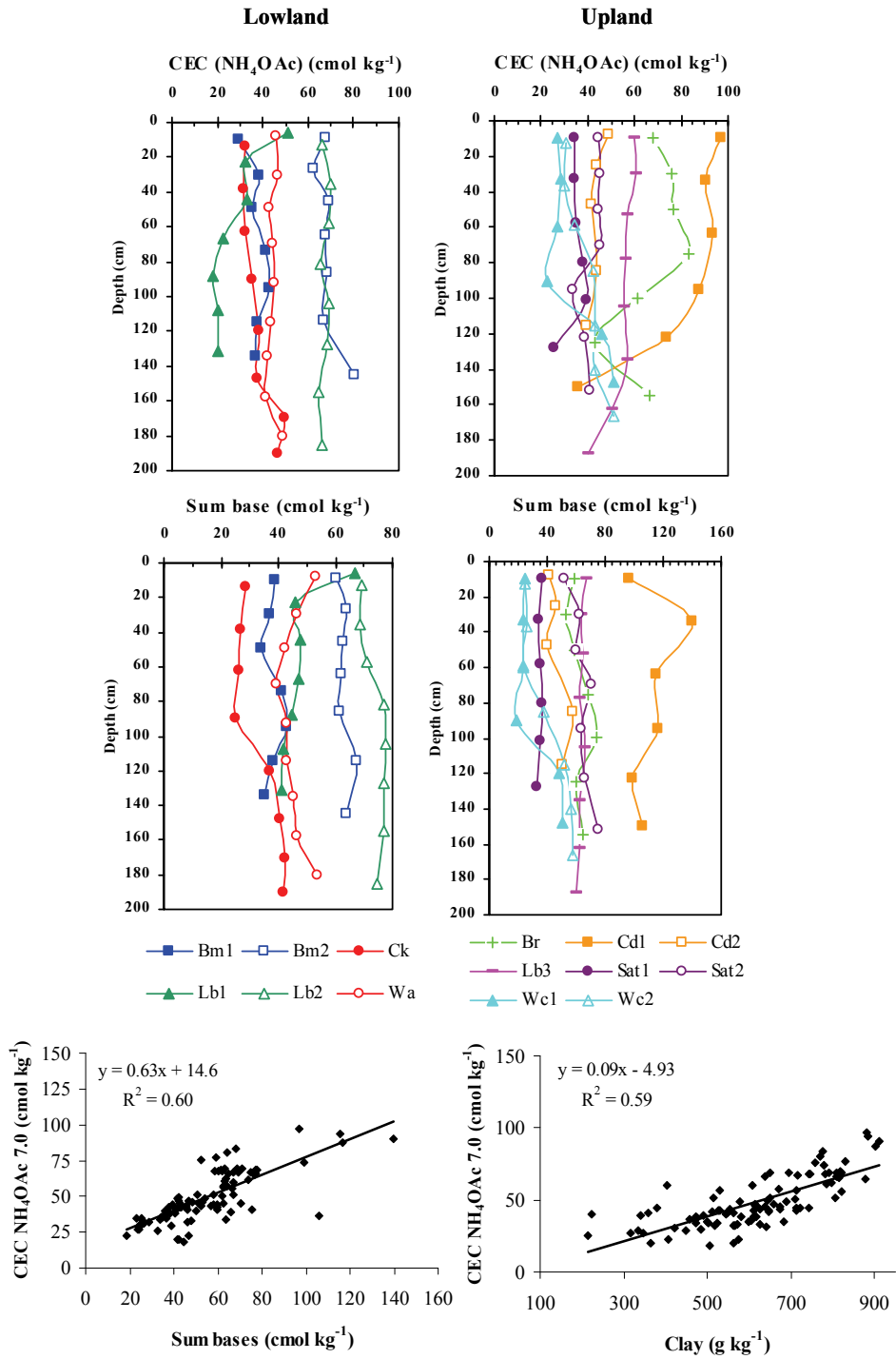


ภาพที่ 5 ความแปรปรวนของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Avail. P) และโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (Avail. K) ของดินที่ตอนและดินที่ลุ่ม ที่มีแร่ในกลุ่มสเมกไทต์เป็นองค์ประกอบอยู่สูง

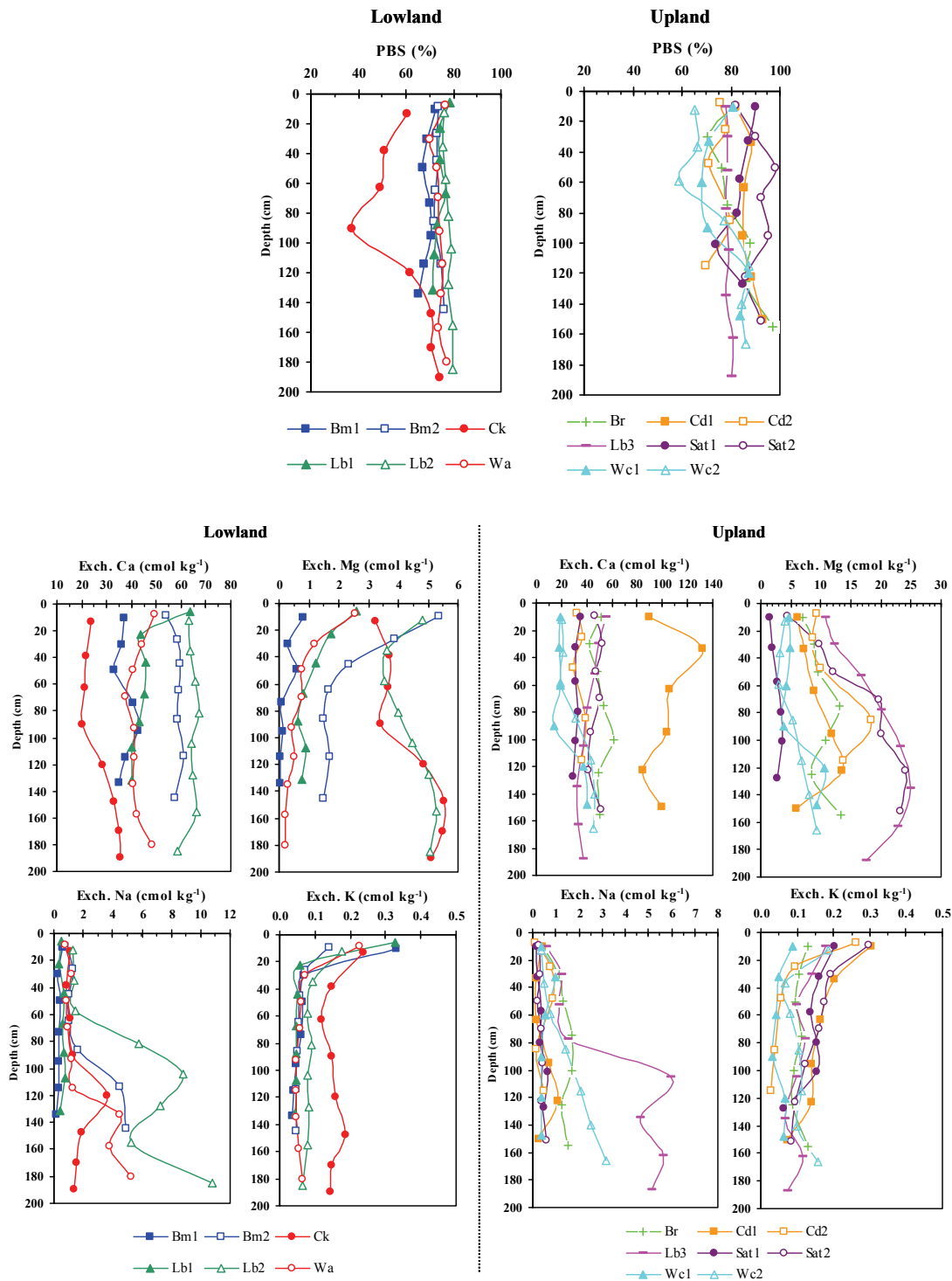
ชะละลายในน้ำตัดดินค่อนข้างต่ำ จึงทำให้ในบางดินอาจมีค่าการนำไฟฟ้า และแคลเซียมคาร์บอเนตสมมูลย์ค่อนข้างสูงได้ โดยเฉพาะในบริเวณที่ลุ่ม (ภาพที่ 8) แต่ไม่มีผลในเชิงลบในการผลิตพืชในระบบปลูกข้าวที่ลุ่ม

#### ลักษณะเชิงแร่วิทยาของดิน

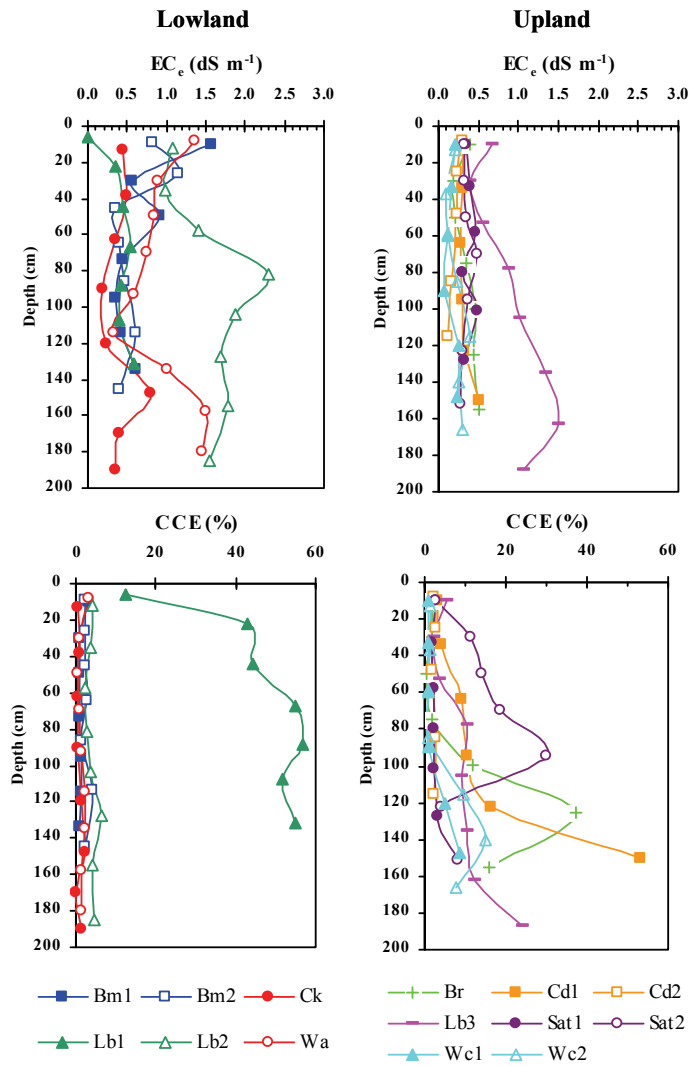
ผลวิเคราะห์เชิงแร่วิทยาของดิน แสดงให้เห็นความสอดคล้องกับสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินที่ทำการศึกษาค่อนข้างสูง โดยดินเหล่านี้มีแร่องค์ประกอบหลักในกลุ่มอนุภาคขนาดดินเหนียวเป็นแร่ในกลุ่มสเมกไทต์ และแร่ดินเหนียวสอดชั้นสเมกไทต์-เคโอลิไนต์ ส่วนในกลุ่มอนุภาคขนาดทรายแฉ่งมีแร่ควอตซ์เป็นองค์ประกอบหลัก (ตารางที่ 3) แม้ว่าจะมีแร่ดินเหนียวชนิดอื่นปนอยู่บ้างคือ แร่เคโอลิไนต์ เวอร์มิคิวไลต์ และอิลไลต์ ในกลุ่มอนุภาคขนาดดินเหนียว และมีแร่เฟลด์สปาร์ แคลไซต์ ไมกา และแอมฟิโบล อยู่ในกลุ่มอนุภาคขนาดทรายแฉ่ง แต่มีผลต่อระบบดินน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของแร่ในกลุ่มสเมกไทต์



ภาพที่ 6 แนวโน้มตามความลึกของ CEC และ sum bases ในหน้าตัดดิน และความสัมพันธ์กับปริมาณดินเหนียว ในดินที่มีแร่ในกลุ่มสมกไทด์เป็นองค์ประกอบอยู่สูง



ภาพที่ 7 แนวโน้มการแจกกระจายตามความลึกของอัตราร้อยละความอิ่มตัวเบส (PBS) และเบสที่แลกเปลี่ยนได้ในหน้าตัดดิน ของดินที่มีแร่ในกลุ่มสแมกไทต์เป็นองค์ประกอบอยู่สูง



ภาพที่ 8 แนวโน้มความแปรปรวนของค่าการนำไฟฟ้า ( $EC_e$ ) และแคลเซียมคาร์บอเนตสมมูล (CCE) ในดินที่มีแร่ในกลุ่มสเมกไทต์เป็นองค์ประกอบอยู่สูง

### หน่วยอนุกรมวิธานดิน

จากข้อมูลด้านสัณฐานวิทยา สมบัติทางกายภาพและเคมี ลักษณะเชิงแร่ ของดินประกอบกับสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับภูมิอากาศ คือ อุณหภูมิ และสภาพความชื้นในดิน สามารถกำหนดหน่วยอนุกรมวิธานของดินที่ทำการศึกษได้ดังแสดงในตารางที่ 4 สำหรับดินในบริเวณที่กลุ่มส่วนใหญ่เป็น เวอร์ติซอลส์ (Vertisols) (Soil Survey Staff, 2010) ที่มีสภาพขังน้ำนานพอในช่วงฤดูการเพาะปลูกทั้งหน้าตัดดิน (Endoaquerts) มีเพียงชุดดินลพบุรีบริเวณที่ 1 (Lb1) ที่มีอิทธิพลของแคลเซียมคาร์บอเนตสูง (Calciaquerts) โดยมีชั้นแร่วิทยาของดินเป็นทั้ง smectitic และ mixed โดยชั้นแร่วิทยาที่เป็น mixed นั้น มีแร่หลักในกลุ่มอนุภาคดินเหนียวที่เป็นแร่ดินเหนียวสอดชั้นสเมกไทต์-เคโอลิไนต์ ร่วมกับแร่อื่น ๆ

ตารางที่ 3 องค์ประกอบเชิงแร่ในกลุ่มอนุภาคขนาดดินเหนียวและทรายแป้ง ของดินที่มีแร่ในกลุ่ม  
สมกไทต์เป็นองค์ประกอบอยู่สูง

Soil series	Horizon	Depth cm	Clay fraction*							Silt fraction*				
			Sm	Kao	Inters	Vm	Ill	Qtz	Cal	Qtz	Fel	Cal	M	Am
Lowland Vertisols														
Bm1	Apkg	0-20	xxxx	tr	-	-	-	tr	-	xxxx	-	-	-	-
	Bkg2	40-55/63	xxxx	tr	-	-	-	tr	-	xxxx	-	-	-	-
	Bsskg2	84-106	xxxx	tr	-	-	-	tr	-	xxxx	-	-	-	-
	BCKg1	106-123	xxxx	x	-	-	-	tr	-	xxxx	-	-	-	-
Bm2	Apg	0-18	-	tr	xxxx	-	-	tr	-	xxxx	-	-	-	-
	Bssg2	35-55	-	tr	xxxx	-	-	tr	-	xxxx	-	-	-	-
	Bssg4	74-98	-	tr	xxxx	-	-	tr	-	xxxx	-	-	-	-
	Bssg6	130-160+	-	tr	xxxx	-	-	tr	-	xxxx	-	-	-	-
Ck	Apg	0-27	xxx	xx	-	-	x	tr	-	xxxx	xx	-	-	-
	Bg	27-50	xx	xx	-	-	x	x	-	xxxx	-	-	-	-
	Bssg2	75-105	xxxx	x	-	-	x	tr	-	xxxx	-	-	-	-
	Bssg4	135-160	xxxx	x	-	-	x	tr	-	xxxx	x	-	x	-
Lb1	Bssg6	180-200+	xxxx	x	-	-	x	tr	-	xxxx	-	-	-	-
	Apkg	0-12	xxxx	tr	-	-	-	tr	-	xxxx	-	x	-	-
	Bkg1	12-33	xxxx	tr	-	-	-	tr	tr	xxx	-	xxx	-	-
	Bkg2	33-55	xxxx	tr	-	-	-	tr	x	xxx	-	xxx	-	-
Lb2	Bkg4	79-97	xxxx	tr	-	-	-	tr	tr	xx	-	xxxx	-	-
	Apg	0-20	xxxx	tr	-	-	-	tr	-	xxxx	-	-	-	-
	Bssg1	20-40	xxxx	tr	-	-	-	tr	-	xxxx	-	-	-	-
	Bssg3	65-90	xxxx	tr	-	-	-	tr	-	xxxx	-	-	-	-
Wa	Bssg5	120-150	xxxx	tr	-	-	-	tr	-	xxxx	-	-	-	-
	Bssg7	175-200+	xxxx	tr	-	-	-	tr	-	xxxx	-	-	-	-
	Apg	0-12/20	-	tr	xxxx	-	-	tr	-	xxxx	-	-	-	-
	Bg	20-40	-	tr	xxxx	-	-	tr	-	xxxx	-	-	-	-
Upland Vertisols	Bssg2	59-80	-	tr	xxxx	-	-	tr	-	xxxx	-	-	-	-
	Bssg4	105-124	-	tr	xxxx	-	-	tr	-	xxxx	-	-	-	-
	Bsskg	170-190+	-	tr	xxxx	-	-	tr	-	xxxx	-	-	-	-
	Br	170-190+	-	tr	xxxx	-	-	tr	-	xxxx	-	-	-	-
Cd1	Ap	0-20	xxxx	tr	-	-	-	tr	-	xxxx	x	-	-	-
	BA	20-40	xxxx	tr	-	-	-	tr	-	xxxx	x	-	-	-
	Bss2	60-90	xxxx	tr	-	-	-	tr	-	xxxx	tr	-	-	-
	Bk2	110-140	xxxx	tr	-	-	-	tr	-	xxx	xx	x	-	-
Cd2	Apk	0-20	xxxx	tr	-	-	-	tr	-	xxxx	tr	-	-	-
	ABk	20-47	xxxx	tr	-	-	-	tr	-	xxxx	tr	-	-	-
	Bss2	80-110	xxxx	tr	-	-	-	tr	-	xxxx	-	x	-	-
	Bk1	110-130/140	xxxx	tr	-	-	-	tr	-	xxx	tr	xx	-	-
Lb3	Bk2	140-160+	xxxx	tr	-	-	-	tr	-	x	-	xxxx	-	-
	Ap	0-15	xxxx	x	-	-	tr	tr	-	xxxx	xx	-	-	-
	Bt	15-30/40	xxxx	x	-	-	x	tr	-	xxxx	xx	-	-	-
	Btc	40-40/70	xxxx	x	-	-	x	tr	-	xxxx	x	-	-	-
Sat1	Crt1	70-100	xxxx	x	-	-	tr	tr	-	xx	xxx	-	-	-
	Apk	0-25	xxxx	tr	-	-	-	tr	-	xxxx	x	-	tr	tr
	Bk1	25-45	xxxx	tr	-	-	-	tr	-	xxxx	xx	-	tr	tr
	Bssk2	70-93	xxxx	tr	-	-	-	tr	-	xxxx	x	tr	-	tr
Sat2	Bssk4	115-140	xxxx	tr	-	-	-	tr	-	xxxx	x	tr	-	tr
	Bk3	170-200+	xxxx	tr	-	-	-	tr	tr	xxx	x	xx	-	tr
	Apk	0-20	xxxx	tr	-	-	x	tr	-	xxxx	x	-	-	-
	Bt1	20-45	xxxx	x	-	-	tr	tr	-	xxxx	x	-	-	-
Wc1	Bt3	70-90	xxxx	x	-	-	tr	tr	-	xxxx	x	-	-	-
	Crt	115-140+	xxxx	x	-	-	tr	tr	-	xx	xx	-	tr	-
	Apk	0-18/20	xxxx	xx	-	-	tr	tr	-	xxxx	tr	-	-	-
	Btk2	40-60	xxxx	x	-	-	tr	tr	-	xxxx	tr	-	-	-
Wc2	Btk4	80-110	xxxx	x	-	-	tr	tr	-	xxx	-	x	-	-
	Crtk1	110-135	xxxx	x	-	-	tr	tr	-	-	-	-	-	-
	Ap	0-20	xxxx	x	-	-	-	tr	-	xxxx	x	-	-	-
	Bt	20-45	xxxx	x	-	-	-	tr	-	xxxx	x	-	-	-
Wc2	Btc1	45-75	xxxx	x	-	-	-	tr	-	xxxx	x	-	-	-
	2Btk1	105-135	xxxx	x	-	-	-	tr	-	xxxx	x	-	-	-
	Ap	0-25	xxxx	x	-	-	-	tr	-	xxxx	x	-	-	-
	Bt1	25-48	xxxx	x	-	-	-	tr	-	xxxx	tr	-	-	-
Wc2	2Btk2	100-130	xxxx	x	-	-	-	tr	-	xxxx	tr	-	-	-
	2Crtk	150-182+	xxxx	tr	-	-	-	tr	-	xxx	x	x	-	-

xxxx = dominant (> 60%), xxx = large (40-60%), xx = moderate (20-40%), x = small (5-20%), tr = trace (<5%),  
- = non-detectable, Sm = smectite, Kao = kaolinite, Inters = interstratified kaolinite-smectite, Vm = vermiculite,  
Ill = illite, Qtz = quartz, Cal = calcite, Fel = feldspar, M= mica, Am= amphibole (hornblende)

ตารางที่ 4 หน่วยอนุกรมวิธานของดินที่ทำการศึกษา (Soil Survey Staff, 2010)

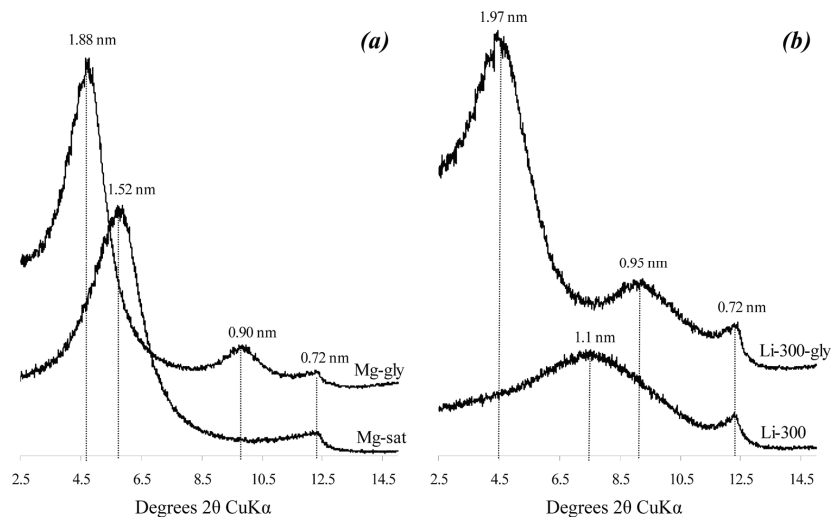
Soil series	Classification
<i>Lowland Vertisols</i>	
Ban Mi 1 (Bm1)	Ustic Endoaquert, fine, smectitic, isohyperthermic
Ban Mi 2 (Bm2)	Ustic Endoaquert, fine, mixed, isohyperthermic
Chong Khae (Ck)	Ustic Endoaquert, very fine, smectitic, isohyperthermic
Lop Buri 1 (Lb1)	Aric Calciaquert, fine, smectitic, isohyperthermic
Lop Buri 2 (Lb2)	Ustic Endoaquert, very fine, smectitic, isohyperthermic
Wattana (Wa)	Ustic Endoaquert, fine, mixed, isohyperthermic
<i>Upland Vertisols</i>	
Buri Ram (Br)	Typic Haplustert, very fine, smectitic, isohyperthermic
Chai Badan 1 (Cd1)	Calcic Haplustert, very fine, smectitic, isohyperthermic
Chai Badan 2 (Cd2)	Typic Haplustert, fine, smectitic, isohyperthermic
Lop Buri 3 (Lb3)	Typic Haplustert, very fine, smectitic, isohyperthermic
Samo Thod 1 (Sat1)	Chromic Haplustert, fine, smectitic, isohyperthermic
Samo Thod 2 (Sat2)	Chromic Haplustert, very fine, smectitic, isohyperthermic
Wang Chomphu 1 (Wc1)	Chromic Haplustert, fine, smectitic, isohyperthermic
Wang Chomphu 2 (Wc2)	Typic Haplustert, fine, smectitic, isohyperthermic

สำหรับดินที่ตอนจำแนกได้เป็นเวอร์ทิซอลส์เช่นเดียวกัน และอยู่ในกลุ่มดินใหญ่เดียวกันคือ Haplusterts เป็นดินที่มีชั้นกำเนิดน้อยอยู่ในสภาพความชื้นที่มีช่วงแล้งนาน นอกจากในฤดูกาลเพาะปลูก และในบางดินจะมีอิทธิพลของแคลเซียมคาร์บอเนตสูง (Calcic) กับเป็นดินที่สีไม่ออกคล้ำ (chromic) ดินในลักษณะดังกล่าวนี้ อาจมีปัญหาการขาดความชื้นได้ง่าย และมีหน้าดินแตกเป็นร่องระแหง ที่อาจเป็นอันตรายต่อรากพืชได้ และทุกดินที่อยู่ในบริเวณที่ตอนมีชั้นแร่วิทยาเป็น smectitic ทั้งหมด

ลักษณะที่เด่นร่วมกันของทั้งเวอร์ทิซอลส์ที่ลุ่มและที่ตอน ที่ทำการศึกษาก็คือ เป็นดินภายใต้สภาพภูมิอากาศแบบทุ่งหญ้าเขตร้อน (tropical savanna) ที่อาจต้องเลือกชนิดของพืชที่ปลูกให้เหมาะสม แต่โดยทั่วไปแล้วการใช้ที่ดินในประเทศไทย จะมีความเหมาะสมอยู่แล้ว โดยในที่ลุ่มใช้ผลิตพืชในระบบนาข้าว และในที่ตอนใช้ปลูกพืชไร่ที่มีอายุสั้นเป็นส่วนใหญ่ กับการปลูกอ้อย ซึ่งสามารถจัดการได้เป็นอย่างดี

#### ชนิดของสเมกไทต์ในเวอร์ทิซอลส์

ผลจากการศึกษาชั้นละเอียด เพื่อจำแนกชนิดของแร่ในกลุ่มสเมกไทต์ โดยใช้ตัวอย่างดินจากบางชั้นดินของดินที่มีกลุ่มอนุภาคขนาดดินเหนียวเป็นปริมาณสูง โดยใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) และการทดสอบตามวิธีของกรีน-เคลลี (Greene-Kelly test) พบว่าแร่ในกลุ่มสเมกไทต์ที่พบในดินเหล่านี้เป็นแร่ไบเดลไลต์ (beidellite) ที่มีประจุจากแผ่น tetrahedral charge (ภาพที่ 9) ค่าจากการวิเคราะห์ในส่วนต่าง ๆ ของสเมกไทต์ในเวอร์ทิซอลส์ของประเทศไทยที่ทำการศึกษา สามารถสร้างสูตรโครงสร้างของแร่ดังกล่าวนี้ได้ ดังแสดงในตารางที่ 5 ไบเดลไลต์ที่พบเป็นสเมกไทต์ที่มีเหล็กเป็นองค์ประกอบสูง และมีประจุสูง (high charge) ที่เกิดจากแผ่น tetrahedral ซึ่งเป็นการพบและยืนยันเป็นครั้งแรกในประเทศไทย ที่ในอดีตมักจะเข้าใจว่าเป็นแร่มอนต์มอริลโลไนต์



ภาพที่ 9 แบบรูปการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ แสดง basal spacing ของแร่ดินเหนียวจากชั้น Apkg ของชุดดินลพบุรี บริเวณที่ 1(a) จากการอิมตัวด้วยแมกนีเซียมและกลีเซอรอล (b) จาก Geene-Kelly test ซึ่งการขยายตัวหลังจากอิมตัวด้วยกลีเซอรอลไปเป็น 1.97 นาโนเมตร แสดงว่าเป็นไบเทลไลต์

ตารางที่ 5 สูตรโครงสร้างของสเมกไทต์ที่อิมตัวด้วยแคลเซียม ในเวอร์ทีซอลส์ที่ทำการศึกษ เปรียบเทียบกับค่าที่มีการศึกษาในบางประเทศ ในเวอร์ทีซอลส์และมอลลิซอลส์ (สูตรโครงสร้างของสเมกไทต์ที่ทำการศึกษาได้แสดงครึ่งหนึ่งของ unit cell)

Sample	Interlayer			Tetrahedral		Octahedral				Charge
	Ca <sup>+2</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Si <sup>+4</sup>	Al <sup>+3</sup>	Al <sup>+3</sup>	Fe <sup>+3</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Mn <sup>+2</sup>	
Lb1-Apkg	0.25	0.03	0.01	3.39	0.61	1.41	0.51	0.15	0.005	-0.53
Bm-Apkg	0.22	0.02	0.02	3.34	0.66	1.51	0.48	0.11	0.003	-0.48
Bm-Bsskg2	0.23	0.03	0.01	3.35	0.65	1.52	0.46	0.10	0.002	-0.49
Lb2-Apg	0.22	0.02	0.01	3.27	0.73	1.50	0.50	0.12	0.003	-0.48
Lb2-Bssg3	0.22	0.03	0.00	3.31	0.69	1.51	0.49	0.11	0.002	-0.47
Br-Ap	0.21	0.02	0.01	3.46	0.54	1.42	0.51	0.15	0.003	-0.46
Br-Bss2	0.22	0.02	0.01	3.52	0.48	1.39	0.50	0.16	0.003	-0.47
Cd1-Apk	0.23	0.13	0.01	3.60	0.40	1.27	0.48	0.26	0.005	-0.60
Cd1-Bss2	0.28	0.11	0.01	3.59	0.41	1.26	0.48	0.24	0.005	-0.69
Average	0.23	0.05	0.01	3.43	0.57	1.42	0.49	0.15	0.003	-0.52
Representative formula	[Ca <sub>0.23</sub> Na <sub>0.05</sub> K <sub>0.01</sub> ][Si <sub>3.43</sub> Al <sub>0.57</sub> ][Al <sub>1.42</sub> Fe <sub>0.49</sub> Mg <sub>0.15</sub> ]O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub> (1/2 unit cell) <sup>a</sup>									
Examples										
India <sup>b</sup>	M <sup>+</sup> <sub>0.43</sub> [Si <sub>3.74</sub> Al <sub>0.26</sub> ][Al <sub>1.24</sub> Fe <sub>0.42</sub> Mg <sub>0.46</sub> ]O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>							Vertisol		
Morocco <sup>c</sup>	[Na <sub>0.54</sub> K <sub>0.07</sub> ][Si <sub>3.59</sub> Al <sub>0.41</sub> ][Al <sub>1.28</sub> Fe <sub>0.38</sub> Mg <sub>0.42</sub> ]O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>							Vertisol		
	[Na <sub>0.59</sub> K <sub>0.04</sub> ][Si <sub>3.56</sub> Al <sub>0.44</sub> ][Al <sub>1.23</sub> Fe <sub>0.40</sub> Mg <sub>0.46</sub> ]O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>							Mollisol		
Turkey <sup>d</sup>	M <sup>+</sup> <sub>0.56</sub> [Si <sub>3.55</sub> Al <sub>0.45</sub> ][Al <sub>1.21</sub> Fe <sub>0.54</sub> Mg <sub>0.33</sub> ]O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>							Vertisol		
Italy <sup>e</sup>	[Ca <sub>0.15</sub> Na <sub>0.01</sub> K <sub>0.15</sub> ][Si <sub>3.64</sub> Al <sub>0.36</sub> ][Al <sub>1.41</sub> Fe <sub>0.39</sub> Mg <sub>0.24</sub> Mn <sub>0.01</sub> ]O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>							Vertisol		
Australia <sup>f</sup>	[Ca <sub>0.15</sub> Na <sub>0.01</sub> K <sub>0.03</sub> ][Si <sub>3.87</sub> Al <sub>0.13</sub> ][Al <sub>1.45</sub> Fe <sub>0.40</sub> Mg <sub>0.11</sub> Mn <sub>0.01</sub> ]O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>							Vertisol		

<sup>a</sup> Data obtained in this study <sup>b</sup> Mathy and Murthy (1994) <sup>c</sup> Badraoui and Bloom (1990)

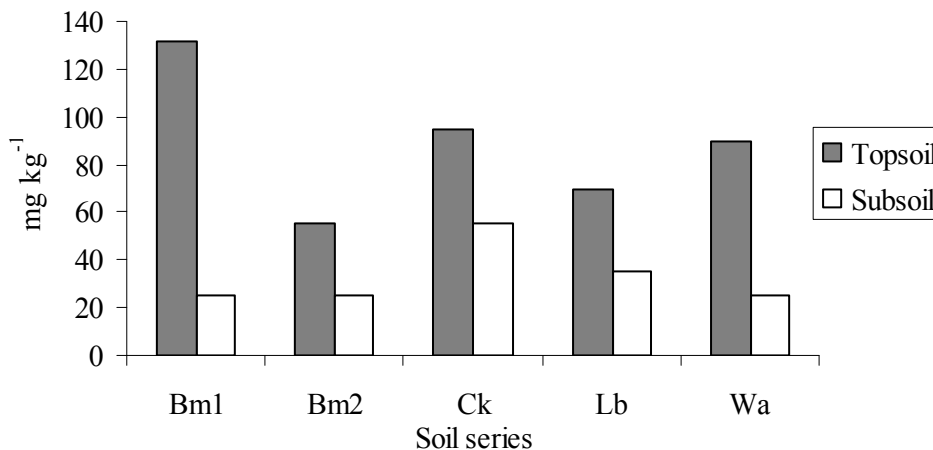
<sup>d</sup> Ozkan and Ross (1979) <sup>e</sup> Righi *et al.* (1995) <sup>f</sup> Singh and Heffernan (2002)

### อิทธิพลของไบโเคลไลต์ต่อโพแทสเซียมในเวอร์ทิคอลส์ที่ใช้ปลูกข้าว

การศึกษาใช้ตัวอย่างดินจากชุดดินบ้านหมี่ 2 บริเวณ (Bm1, Bm2) ชุดดินช่องแค (Ck) ชุดดินลพบุรี (Lb1) และชุดดินวัฒนา (Wa) โดยการวิเคราะห์แยกส่วนต่าง ๆ ของโพแทสเซียมในดินออกเป็นโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ วิเคราะห์โดยใช้ 1M NH<sub>4</sub>OAc (NH<sub>4</sub>OAc-exchangeable K), Non-exchangeable K, HNO<sub>3</sub>-extractable K และปริมาณของโพแทสเซียมรวมในดิน ซึ่งผลจากการศึกษาพบว่า ค่าของ NH<sub>4</sub>OAc-exchangeable K อยู่ในช่วง 19 ถึง 130 mg kg<sup>-1</sup> มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 43 mg kg<sup>-1</sup> สำหรับความอุดมสมบูรณ์ของดินที่เกี่ยวข้องกับโพแทสเซียมพบว่าดินบนของ Bm1 มีค่าโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (available K) สูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับดินอื่น ๆ ที่ทำการศึกษา โดยมีลำดับจากสูงสุดถึงต่ำสุดคือ Bm1>Ck>Wa>Lb1> Bm2 (ภาพที่ 10)

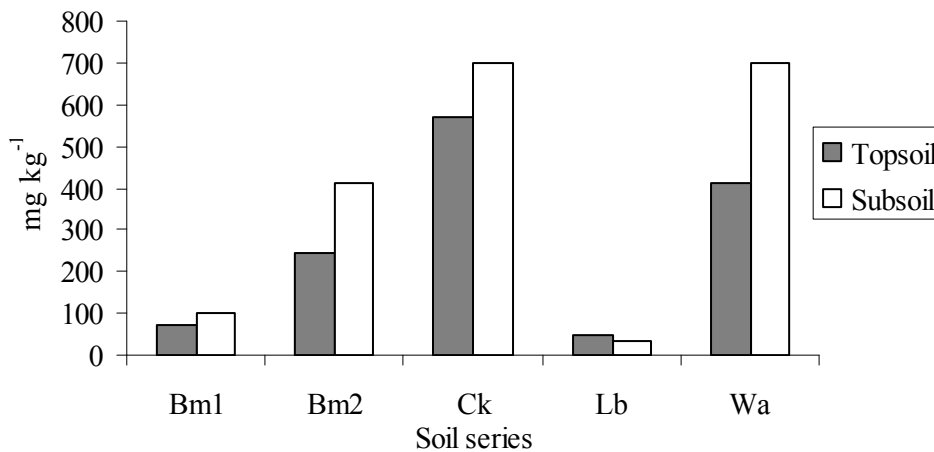
สำหรับโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนไม่ได้ ซึ่งมีศักยภาพที่จะเป็นประโยชน์ต่อพืชได้ มีความสัมพันธ์ในเชิงพลวัตกับโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ พบว่ามีค่าสูงสุดในชุดดินช่องแค (Ck) และต่ำสุดในชุดดินลพบุรี (Lb1) ทั้งในดินบนและดินล่าง (ภาพที่ 11) สำหรับโพแทสเซียมที่สกัดได้โดยกรดไนตริก มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนไม่ได้ มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับ NH<sub>4</sub>OAc-exchangeable K และโพแทสเซียมรวมในดินเหล่านี้ และพบว่าโพแทสเซียมในรูปที่แลกเปลี่ยนไม่ได้ มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับทั้งโพแทสเซียมที่สกัดได้ โดยกรดไนตริก และโพแทสเซียมรวมในดิน (ตารางที่ 6) ซึ่งแสดงว่า ไบโเคลไลต์มีผลต่อการตรึงโพแทสเซียมในดินได้ และพบว่าอินทรีย์วัตถุมีบทบาทที่เกี่ยวข้องกับความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมในดินเหล่านี้ ผลจากการทดลองชี้ให้เห็นว่าในดินนาที่มีไบโเคลไลต์สูง จะต้องมีการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมร่วมกับอินทรีย์วัตถุ เพื่อทำให้เกิดความสมดุลระหว่างรูปต่าง ๆ ของโพแทสเซียมในดิน

NH<sub>4</sub>-OAc-extractable K (CH<sub>3</sub>COONH<sub>4</sub>-K)



ภาพที่ 10 ค่าเฉลี่ยกลาง (mean) ของ NH<sub>4</sub>OAc-exchangeable K ในดินบน (topsoil) และดินล่าง (subsoil) ของเวอร์ทิคอลส์ที่ลุ่ม (Endoaquerts) ชุดดินบ้านหมี่ 2 บริเวณ (Bm1, Bm2) ชุดดินช่องแค (Ck) ชุดดินลพบุรี (Lb) และชุดดินวัฒนา (Wa)

### Non-exchangeable K



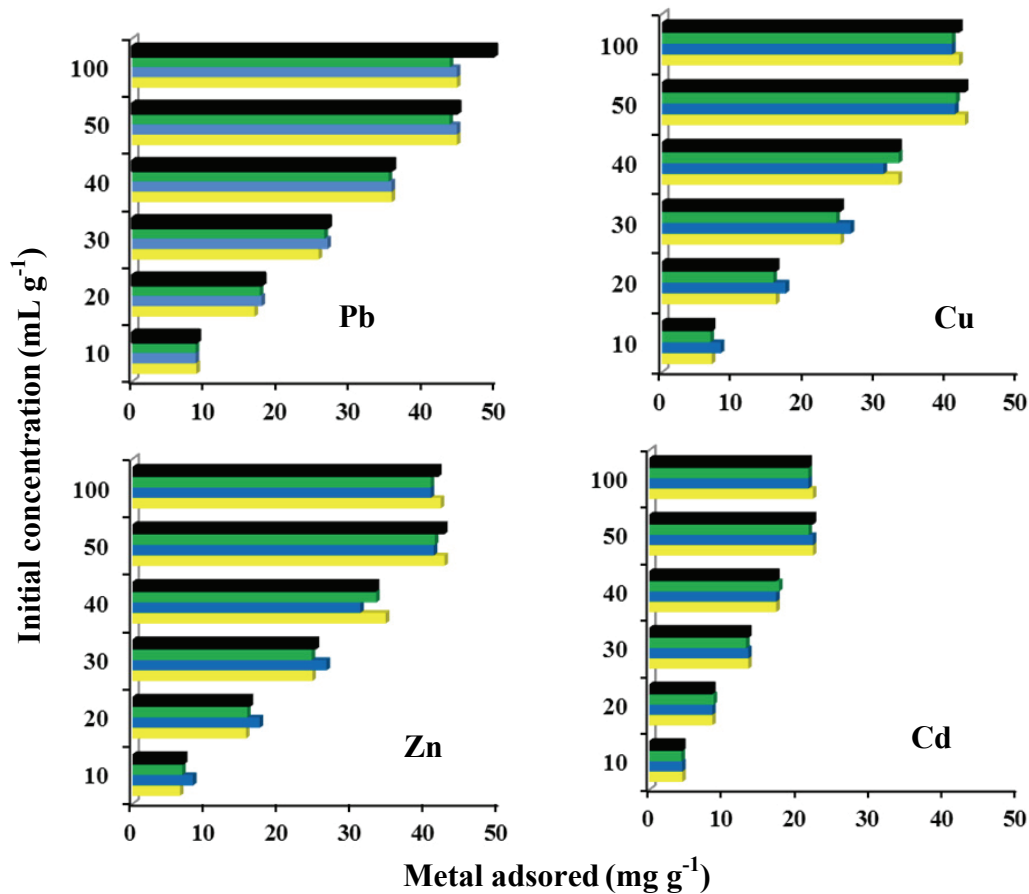
**ภาพที่ 11** ค่าเฉลี่ยกลาง (mean) ของโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนไม่ได้ (non-exchangeable K) ในดินบน (topsoil) และดินล่าง (subsoil) ของเวอร์ทีซอลส์ที่ลุ่ม (Endoaquerts) ชุดดินบ้านหมี่ 2 บริเวณ (Bm1, Bm2) ชุดดินช่องแค (Ck) ชุดดินลพบุรี (Lb) และชุดดินวัฒนา (Wa)

### บทบาทของไบโอเคลไลต์ต่อการดูดซับธาตุโลหะหนักในดิน

การทดลองทำโดยใช้ตัวอย่างในอนุภาคขนาดดินเหนียว ของทั้งชั้นดินบนและชั้นดินล่างของดินที่มีไบโอเคลไลต์ในปริมาณสูงในสภาพที่ตอน คือตัวอย่างจากชุดดินบุรีรัมย์ (Br) ชุดดินลพบุรี (Lb3) ชุดดินชัยบาดาล จาก 2 บริเวณ (Cd1, Cd2) ชุดดินสมอทอด 2 บริเวณ (Sat 1, Sat 2) และชุดดินวังชมพู 2 บริเวณ (Wc1, Wc2) ทดสอบการดูดซับตะกั่ว แคดเมียม สังกะสี และทองแดง โดยการทดลองแบบ batch experiment ใช้ปัจจัยในการศึกษาคือ ค่าพีเอช และความเข้มข้นของโลหะหนักในสารละลาย

ผลการศึกษาพบว่าความจุในการดูดซับของไบโอเคลไลต์เพิ่มขึ้น เมื่อค่าของพีเอชสูงขึ้น โดยตะกั่ว ทองแดง สังกะสีถูกดูดซับได้มากที่สุด ในช่วงพีเอช 5-8 มีค่าร้อยละ 89.5, 84.9 และ 85.9 ตามลำดับ สำหรับแคดเมียมถูกดูดซับได้มากที่สุดในช่วงพีเอช 6-8 โดยดูดซับได้สูงสุดที่ร้อยละ 49.8 การดูดซับโลหะหนักจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของโลหะหนักในสารละลายจนถึงความเข้มข้นที่ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังจากนั้นปริมาณการดูดซับจะคงที่ โดยปริมาณการดูดซับ ตะกั่ว สังกะสี ทองแดง และแคดเมียมมากที่สุดเท่ากับ 44.6, 42.4, 42.4 และ 22.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ภาพที่ 12) ซึ่งปริมาณการดูดซับโลหะหนักขึ้นอยู่กับปริมาณของไบโอเคลไลต์ที่อยู่ในอนุภาคขนาดดินเหนียว ปริมาณการดูดซับสูงสุดอยู่ในกลุ่มตัวอย่างที่มีไบโอเคลไลต์สูง (80-90 %) และดูดซับได้น้อยที่สุดในกลุ่มตัวอย่างที่มีไบโอเคลไลต์ต่ำ (20-40 %) จากค่าการดูดซับสูงสุด ชี้ให้เห็นว่าไบโอเคลไลต์สามารถดูดซับตะกั่วได้มากที่สุด รองลงมาคือ ทองแดง และสังกะสี โดยแคดเมียมถูกดูดซับได้น้อยที่สุด สมการที่สามารถอธิบายการดูดซับได้เหมาะสมที่สุดคือ สมการของ Langmuir

ผลการทดลองดังกล่าวนี้ แสดงให้เห็นว่าชนิด และปริมาณของโลหะหนักในสารละลายดินเป็นปัจจัยจำกัดความสามารถในการดูดซับโลหะหนักของไบโอเคลไลต์ และในดินที่มีไบโอเคลไลต์เป็นองค์ประกอบอยู่สูงที่มีพีเอชในช่วงเป็นกลางถึงด่าง สามารถลดการแพร่กระจายของโลหะหนักได้



■ H1 = Brh\_Topsoil, ■ H2 = Brh\_Subsoil, ■ H3 = Cd1\_Topsoil, ■ H4 = Cd1\_Subsoil

ภาพที่ 12 ปริมาณการดูดซับตะกั่ว ทองแดง สังกะสี และแคดเมียมในอนุภาคขนาดดินเหนียวที่มี ปริมาณ สเมกไทต์ร้อยละ 80-90 ที่ความเข้มข้นของสารละลายต่าง ๆ ที่พีเอช 6

### สรุป

ผลจากการศึกษาทั้งในภาคสนาม และในห้องปฏิบัติการ พบว่าดินที่มีแร่ในกลุ่มสเมกไทต์เป็นองค์ประกอบอยู่สูงในประเทศไทย เป็นดินในอันดับเวอร์ทิซอลส์ ที่มีบริเวณกว้างขวางในที่ลุ่มของที่ราบภาคกลาง และที่ตอนในบริเวณเทือกเขาสูงตอนกลางของประเทศกับพบเป็นพื้นที่จำกัดในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ดินที่พบในที่ราบภาคกลางเป็นดินในกลุ่มดินใหญ่ Endoaquerts เป็นส่วนใหญ่ และดินในบริเวณที่ตอนเป็นดินในกลุ่มดินใหญ่ Haplusterts แร่ในกลุ่มสเมกไทต์ที่เป็นองค์ประกอบในดินเหล่านี้เป็นแร่ไบเคลไลต์ ซึ่งเป็นสเมกไทต์ที่มีเหล็กเป็นองค์ประกอบอยู่สูง และมีประจุสูงเกิดจากแผ่นเทระฮีดรัลในโครงสร้าง โดยมีสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีที่ส่วนใหญ่ที่ทำให้เวอร์ทิซอลส์มีศักยภาพทางการเกษตรค่อนข้างสูง บทบาทที่สำคัญของแร่ไบเคลไลต์ที่สำคัญในดินเหล่านี้ก็คือ ทำให้ดินมีระบบดินที่มีกิจกรรมสูงในเชิงเก็บกัก และแลกเปลี่ยนธาตุอาหารพืช ส่งเสริมความอุดมสมบูรณ์ของดิน และแร่ไบเคลไลต์สามารถดูดซับธาตุโลหะหนักคือ ตะกั่ว ทองแดง สังกะสี และแคดเมียม แตกต่างกันไป โดยไบเคลไลต์สามารถดูดซับตะกั่วได้มากที่สุด รองลงมาคือทองแดง สังกะสี และแคดเมียม ตามลำดับ ซึ่งในการดูดซับจะขึ้นอยู่กับปริมาณของไบเคลไลต์ในดิน ค่าพีเอชของดิน และความเข้มข้นของธาตุโลหะหนักในสารละลายดิน ในบริเวณที่ตอนที่ดินมีค่าพีเอชสูง และมีสภาพเสถียรของไบเคลไลต์จะทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์และไม่มีการแพร่กระจายของธาตุโลหะหนักในสภาพแวดล้อมการผลิตพืชทางการเกษตร และในสภาพแวดล้อมทั่วไปของดิน

## เอกสารอ้างอิง

- กิติ มาลัยโรจน์ศิริ, อนุกุล สุจินัย และชนิษฐศรี ชุ่นตระกูล. 2547. การกำหนดลักษณะของชุดดินที่จัดตั้งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศ จำแนกใหม่ตามระบบอนุกรมวิธานดิน 2546. เอกสารวิชาการฉบับที่ 522. สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพมหานคร.
- สธิระ อุดมศรี, ชนิษฐศรี ชุ่นตระกูล และสุมิตรา วัฒนา. 2547. การกำหนดลักษณะของชุดดินที่จัดตั้งในภาคกลางของประเทศ จำแนกใหม่ตามระบบอนุกรมวิธานดิน 2546. เอกสารวิชาการฉบับที่ 520. สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพมหานคร.
- อนิรุทธิ์ โพธิจันทร์, ภูษิต วิวัฒน์วงศ์วนา และสุมิตรา วัฒนา. 2547. การกำหนดลักษณะของชุดดินที่จัดตั้งในภาคเหนือ และที่สูงตอนกลางของประเทศ จำแนกใหม่ตามระบบอนุกรมวิธานดิน 2546. เอกสารวิชาการฉบับที่ 521. สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพมหานคร.
- อัญชลี สุทธิประการ. 2534. แร่ดินเหนียวและเทคนิคการวิเคราะห์. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- อัญชลี สุทธิประการ. 2553. แร่ในอนุภาคขนาดดินเหนียวของดินเขตร้อน. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- เอิบ เขียวรัตน์. 2534. ดินของประเทศไทย...ลักษณะ การแจกกระจาย และการใช้. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- เอิบ เขียวรัตน์. 2548. การสำรวจดิน..มโนทัศน์ หลักการและเทคนิค. พิมพ์ครั้งที่ 2 สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Blake, G.R. and K.H. Hartge. 1986. Bulk density, pp. 363-382. In A. Kulte, ed. *Methods of Soil Analysis, Part I. Physical and Mineralogical Methods*. 2<sup>nd</sup> ed. Agronomy No. 9, Amer. Soc. Agron. Inc., Madison, WI.
- Borchardt, G.A. 1989. Smectites, pp. 675-727. In: J.B. Dixon and S.B. Weed, eds. *Minerals in Soil Environments*. 2<sup>nd</sup> ed. SSSA Book Ser. 1. SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
- Bouabid, R., M. Badraoui and P.R. Bloom and M. Danianes. 1996. The nature of smectites and associated interstratified minerals in soils of the Gharb plain of Morocco. **Eur. J. Soil Sci.** 47: 165-174.
- Bray, R.A. and L.T. Kurtz. 1945. Determination of total organic and available form of phosphorus in soil. *Soil Sci.* 59: 39-45.
- Brown, G. And G.W. Brindley. 1980. X-ray diffraction procedures for clay mineral identification, pp. 305-359. In: G.W. Brindley and G. Brown, eds. *Crystal Structures of Clay Minerals and Their XRD Identification*. Mineralogical Society, London.
- Bouabid, R., M. Badraoui and P.R. Bloom. 1991. Potassium fixation and charge characteristics of soil clays. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55: 1493-1498.
- Buol, S.W., R.J. Southard, R.C. Graham and P.A. McDaniel. 2003. *Soil Genesis and Classification*. 5<sup>th</sup> ed. Iowa State Press. A Blackwell Pub. Co., Ames.

- Chapman, H.D. 1965. Cation exchange capacity, pp. 891-901. *In* C.A. Black, ed. *Methods of Soil Analysis, Part 2*. Amer. Soc. Agron. Inc., Madison, WI.
- Deer, W.A., R.A. Howie and J. Zussman. 1992. *An introduction to the rock forming minerals*. 2<sup>nd</sup> ed. Longman, London, UK.
- Gee, G.W. and J.W. Bauder. 1986. Particle-size analysis, pp. 383-411. *In* A. Klute, ed. *Methods of Soil Analysis, Part 1 Physical and Mineralogical Methods*. Agronomy No. 9. Amer. Soc. Agron. Inc., Madison, WI.
- Geological Survey Division Staff. 1985. *Geologic Map of Thailand 1:250,000*. Department of Mineral Resources, Bangkok, Thailand.
- Ghosh, A.K., D. Sarkar, P. Bhattacharyya, U.K. Maurya and C.C. Nayak. 2006. Mineralogical study of some arsenic contaminated soils of West Bengal, India. *Geoderma* 136: 300-309.
- Greene-Kelly, R. 1955. Dehydration of montmorillonite minerals. *Mineralogical Magazine* 30: 215-222.
- Güven, N. 1988. Smectites, pp. 497-559. *In*: S.W. Bailey, ed. *Hydrous Phyllosilicates (Exclusive Micas, Vol. 19)*. Mineralogical Society of America.
- Johnston, C.T. and E. Tombacz. 2002. Surface chemistry of soil minerals, pp. 37-68. *In*: J.B. Dixon and D.G. Schulze, (eds.), *Soil Mineralogy with Environmental Applications*. SSSA Book Ser. 7. Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA.
- Karathanasis, A.D. and B.F. Hajek. 1996. Element analysis by X-ray fluorescence spectroscopy, pp. 161-223. *In* D.L. Sparks, A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Loeppert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabai, C.T. Johnston and M.E. Sumner, eds. *Methods of Soil Analysis, Part 3. Chemical Methods*. Agronomy No. 5. SSSA Book Series., Madison, WI.
- Laird, D.A., T.E. Fenton and A.D. Scott. 1988. Layer charge of smectites in an Argialboll-Argiaquoll sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52: 463-467.
- Malla, P.B. and L.A. Douglas. 1987. Layer charge properties of smectites and vermiculites: tetrahedral vs octahedral. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51: 1362-1366.
- Mehra, O. and P. Jackson. 1960. Iron oxide removal from soils and clays in a dithionite-citrate-bicarbonate system buffered with sodium. *Clays Clay Miner.* 7:317-321.
- McKeague, J.A. and J.H. Day. 1966. Dithionite and oxalate-extractable Fe and Al as aids in differentiating various classes of soils. *Can. J. Soil Sci.* 46:13-22.
- Mitchell, J.K. 1993. *Fundamental of Soil Behavior*. 2<sup>nd</sup> ed. John Wiley & Sons, New York.
- National Soil Survey Center. 1996. *Soil Survey Laboratory Methods Manual*. Soil Survey Investigation No. 42, Version 3.0. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.
- Nelson, D.W. and L.E. Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter, pp. 961-1010. *In* D.L. Sparks, A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Loeppert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabai, C.T. Johnston and M.E. Sumner, eds. *Methods of Soil Analysis, Part 3. Chemical Methods*. Agronomy No 5. SSSA Book Series. Madison, WI.

- Panichapong, S. 1982. Distribution, characteristics and utilization of problem soils in Thailand. In: Tropical Agriculture Research Series No. 15. Tropical Agricultural Research Center, Kyoto, Japan.
- Rayment, G.E. and F.R. Higginson. 1992. Australian Laboratory Handbook of Soil and Water Chemical Methods: Australian Soil and Land Survey Handbook. Inkata, Melbourne, Australia.
- Reid-Soukup, D.A. and A.L. Ulery. 2002. Smectite, pp. 467-499. In: J.B. Dixon and D.G. Schulze, (eds.), Soil Mineralogy with Environmental Applications. SSSA Book Ser. 7. Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA.
- Rhoades, J.D. 1982. Cation exchange capacity, pp. 149-158. In: A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney, eds. Methods of Soil Analysis. Part 2. 2<sup>nd</sup> ed. American Society of Agronomy, Madison, WI.
- Rühlicke, G. and E.E. Kohler. 1981. A simplified method for determining layer charge by the *n*-alkylammonium method. Clay Miner. 16: 305-307.
- Schafer, W.M. and M.J. Singer. 1976. A new method of measuring shrink-swell potential using soil pastes. Soil Sci. Soc. Am. J. 40: 805-806.
- Singh, B. and S. Heffernan. 2002. Layer charge characteristics of smectites from Vertosols (Vertisols) of New South Wales. Aust. J. Soil Res. 40: 1159-1170.
- Soil Survey Division Staff. 1993. Soil Survey Manual. United States Dep. of Agriculture, Washington, DC.
- Soil Survey Staff. 1999. Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. 2<sup>nd</sup> ed. United States Department of Agriculture, US Government Printing Office, Washington D.C.
- Soil Survey Staff. 2010. Keys to Soil Taxonomy (11<sup>th</sup> Edition). Natural Resource Conservation Service, United States Department of Agriculture, Washington D.C.
- Spark, D.L. 1995. Environmental Soil Chemistry. Academic Press, San Diego, CA.
- Thomas, G.W. 1982a. Exchangeable Cations, pp. 161-163. In C.A. Black, ed. Methods of Soil Analysis, Part 2 Chemical and Microbiological Properties. 2<sup>nd</sup> ed. Agronomy No. 9. Amer. Soc. Agron. Inc., Madison, WI.
- Thomas, G.W. 1982b. Exchangeable Acidity, pp. 161-163. In C.A. Black, ed. Methods of Soil Analysis, Part 2 Chemical and Microbiological Properties. 2<sup>nd</sup> ed. Agronomy No. 9. Amer. Soc. Agron. Inc., Madison, WI.
- Vijarnsorn, P. 1982. The Vertisols of Thailand. Soil Survey Division, Land Development Department, Bangkok.
- Walkley, A. and C.A. Black. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 37: 29-38.

- Whittig, L.D. and W.R. Allardice. 1986. X-ray diffraction technique, pp. 671-698. In: A. Klute, ed. Methods of Soil Analysis, Part I. Physical and Mineralogical Methods. 2nd ed. Agronomy, No. 9. Amer. Soc. Agron. Inc., Madison, Wisconsin.
- Wilding, L.P. and D. Tessier. 1988. Genesis of Vertisols: shrink-swell phenomena. Pp. 55-82. In: L.P. Wilding and R. Puentes, eds. Vertisols: Their Distribution, Properties, Classification and Management. Tech. Monogr. 18. Texas A&M Univ. Print. Ctr., College Station, TX.
- Wilson, M.J. 1999. The origin and formation of clay minerals in soils: past, present and future perspectives. Clay Miner. 34: 7-25.
- Yoothong, K., L. Moncharoen, P. Vijarnsorn and H. Eswaran. 1997. Clay mineralogy of Thai soils. Applied Clay Science 11: 357-371.

# ผลงานตีพิมพ์

## Comparative Potassium Chemistry in Paddy Soils of Different Development Status under Tropical Savanna Climate – A Thailand Situation

K. Ngwe<sup>1</sup>, I. Kheoruenromne<sup>2,\*</sup> and A. Suddhiprakarn<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Yezin Agricultural University, Nay Pyi Taw, Myanmar

<sup>2</sup>Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand

\*Corresponding author. Email: irbs@ku.ac.th

### Abstract

The study on potassium chemistry of paddy soils developed under tropical savanna climate were to determine different forms of potassium and to ascertain the influence of soil physical and chemical properties on their chemistry. Different forms of potassium were determined for 13 paddy soils. These were five Vertisols including Ban Mi1 (Bm1), Ban Mi2 (Bm2), Chong Khae (Ck), Lop Buri (Lb) and Wattana(Wa) series; three Alfisols including Ubon (Ub), Tha Tum (Tt) and Doem Bang(Db) series; four Ultisols including Roi Et (Re), Phen (Pn), Renu (Rn) and Nakhon Phanom (Nn) series and one Inceptisol including Samut Prakan (Sm) series. These paddy soils are acid to slightly alkaline and all soils have various textures from clayey to sandy. They developed on local alluvium derived from limestone, wash and local alluvium from weathered sedimentary rocks, alluvium over marine deposits, mixed marine and local alluvium from metasedimentary rocks and recent alluvium on residuum from fine grained clastic sedimentary rocks. The available K (soluble K + exchangeable K) was very low in Re, Pn, Rn (Ultisols), low in Ub, Tt, Db (Alfisols), Nn (Ultisol) and Sm (Inceptisol), high in Wa and Ck (Vertisols) and very high in Bm1 (Vertisol). Based on profile average, there was a high content of non-exchangeable K of 671.63 mg kg<sup>-1</sup> and 545.70 mg kg<sup>-1</sup> in Ck (Vertisol) and Sm (Inceptisol) respectively. The lowest content of non-exchangeable K was found in Db (Alfisol) (11.76 mg kg<sup>-1</sup>). The highest reserved K was found in subsoil of Sm compared with that in other soil profiles. The highest total K with a profile average of 21729 mg kg<sup>-1</sup> was found in the soil derived from alluvium over marine deposits Sm, while the lowest averages of 172 mg kg<sup>-1</sup> and 176 mg kg<sup>-1</sup> were found in the soils derived from local alluvium partially derived from limestone, Wa and Bm2 respectively. The content of available K was observed from high to low in the order of Vertisols > Inceptisol > Alfisols > Ultisols. However, the total K content in the soils was in the following order: Inceptisol > Ultisols > Alfisols > Vertisols. The clay content, organic matter and cation exchange capacity positively and significantly correlated with the soluble K plus exchangeable K in these soils, more than any other soil properties. Non-exchangeable K was significantly correlated with soluble K plus exchangeable K ( $r=0.502^{***}$ ), reserved K ( $r=0.635^{***}$ ) and total K ( $r=0.654^{***}$ ) indicating that different forms of potassium along with organic matter maintenance should be carefully considered for management of potassium fertility in rice production.

**Keywords:** exchangeable K, non-exchangeable K, HNO<sub>3</sub>-extractable K, Inceptisol, Vertisols, Alfisols, Ultisols

## Introduction

The combination of the climatic and physiographic conditions has made Thailand one of the most important rice-growing countries in the world. Thailand has a total land area of about 51.4 million hectares of which 25 percent is lowlands where rice, the staple food crop, has been dominantly grown (Changprai, 1987). The total area for rice cultivation is estimated to be approximately 10 million hectares of which 9 million hectares are in lowlands (Prakongkep et al., 2007).

Rice (*Oryza sativa* L.) is the staple in the diet of about one-half of the world's population who live mostly in developing countries, and is arguably the most important crop worldwide (Fageria et al., 2003). To provide enough food for the still growing population in Asia, large quantities of fertilizers mainly nitrogen (N) and phosphorous (P) have been used but potassium (K) has not been paid much attention in rice production (Dobermann et al., 1998). Intensification of crop production in combination with unbalanced fertilization (without or low rate of potassium fertilization) has already resulted in depletion of potassium (K) in soils over large areas in India (Singh et al., 2002), Indonesia (Wihardjaka et al., 1999) and other countries in Southeast Asia (Ladha et al., 2003).

Rice is grown under a wider variety of climate, soil and hydrological conditions than any other crop, therefore a paddy soil can be any type of soils (Kyuma, 2004) except Gelisols. Inceptisols encompass soils under two major situations: (1) soils that are developing on geologically young sediments or landscapes; and (2) soils developing in areas where environmental conditions inhibit soil-forming processes (Foss et al., 1983). Vertisols are soils with high clay content that expand and contract markedly with changes in moisture content. These soils exhibit minimal horizon differentiation as a result of pedoturbation (Ahmad, 1983). They are also very plastic and sticky when wet. Clay content in Vertisols may be as high as 80%, or as low as 30%. Vertisols exhibit open cracks at a depth of up to 50 cm that are at least 1 cm wide and extend upward to the surface or the base of the plough layer or surface crust (Soil Survey Staff, 2010). Alfisols are defined as those

soils having argillic horizons of base saturation greater than 35 percent (Soil Survey Staff, 2010). The distinctive morphology of Alfisols is characterized by prominent horizons of eluviation and illuviation. In the horizon of illuviation the principal accumulation products are the silicate clays but there are also a variety of weathered minerals forms chiefly of iron and Aluminum (Rust, 1983). Ultisols are highly developed soils with a pronounced argillic horizon since extensive illuviation has taken place (Soil Survey Staff, 2010). The combination specific to Ultisols is the presence of an argillic horizon, a low base status in the lower part of the solum, and a mean annual soil temperature (MAST) of more than 8° C (47° F) (Miller, 1983).

Potassium (K) is an essential nutrient element for plant growth, with its importance in agriculture well accepted. According to Martin and Sparks (1985), K forms in soils can be divided into immediately available, readily available, slowly available, and relatively unavailable, which are also termed as water-soluble, exchangeable, non-exchangeable, and mineral K, respectively. In the present study, soluble K plus exchangeable K (NH<sub>4</sub>OAc-exchangeable K), non-exchangeable K, reserved K and total K are considered. Total potassium reserves in soils are generally large, although the distribution of K forms differs from soil to soil as a function of the dominant soil minerals (McLean and Watson, 1985). The distribution of K forms in the soil and the equilibrium among them determine the K status of the soil and potential of K supply to plants (Pavlov, 2007). A major portion of K in both surface soil and subsoil is transported to the roots from the soil solution through diffusion and mass flow (Barber, 1985). However, the amount of soil solution K is too low to meet the K requirements of a crop over the course of a growing season. The replenishment of a K-depleted soil solution is predominantly affected by the release of exchangeable K from clay minerals and organic matter (Sparks and Huang, 1985). There are physical, chemical, biological, and climatic factors affecting K forms and equilibrium of K in soil which could be related to clay mineralogy (Sharpley, 1989), pH (Uribe and Cox, 1988), and concentration of other ions (Zawartka et al., 1999) of the soil.

A number of Thai researchers had investigated the potassium of soils in Thailand, as potassium forms and availability (Darunsontaya et al., 2012), potassium dynamic (Suwanarit, 1995), potassium fixation (Chittamart et al., 2010), and the kinetics of potassium release (Nilawonk et al., 2008). However, comparative potassium chemistry in paddy soils of different development status under tropical savanna climate is still not clearly defined. The objectives of this study, therefore, were to determine the concentrations of the different forms of soil K in lowland paddy soils of different soil development status and to ascertain the forms of K that affected by influence of other soil properties under tropical savanna climate in Thailand.

### Materials and Methods

The study was carried out on thirteen soil profiles of paddy soils consisting of five soil series from the Central Plain of Thailand namely Ban Mi1 (Bm1), Ban Mi2 (Bm2), Chong Khae (Ck), Lop Buri (Lb), Doem Bang (Db) and Samut Prakan (Sm); one soil series, Watanna (Wa) from the North and Central Highland, six soil series from Ubon (Ub), Tha Tum (Tt), Roi Et (Re), Phen (Pn), Renu (Rn) and Nakhon Phanom (Nn) from Northeast Thailand under tropical savanna climate (Figure 1).

Pedon analysis was carried out at each site including detailed profile description and sampling of soil by standard field study methods (Kheoruenromne, 2009). Soil samples were air-dried and crushed to pass through a 2mm sieve. The particle size distribution was determined by pipette analysis (Gee and Bauder, 1986). Soil pH was determined for a saturation paste, 1:1 soil: water mixture and 1:1 soil: KCl mixture with a pH-meter (National Soil Survey Center, 1996). Organic carbon was determined according to Walkley and Black wet oxidation procedure (Nelson and Sommers, 1996). Cation exchange capacity was measured by saturating the exchange sites and displacing it with 1M  $\text{NH}_4\text{OAc}$  at pH 7.0 (National Soil Survey Center, 1996). Soluble K plus exchangeable K ( $\text{NH}_4\text{OAc}$ -exchangeable K) was determined by extraction in 1.0 M  $\text{NH}_4\text{OAc}$  at pH 7.0 (Thomas, 1982).  $\text{HNO}_3$ -extractable K ( $\text{HNO}_3$ -

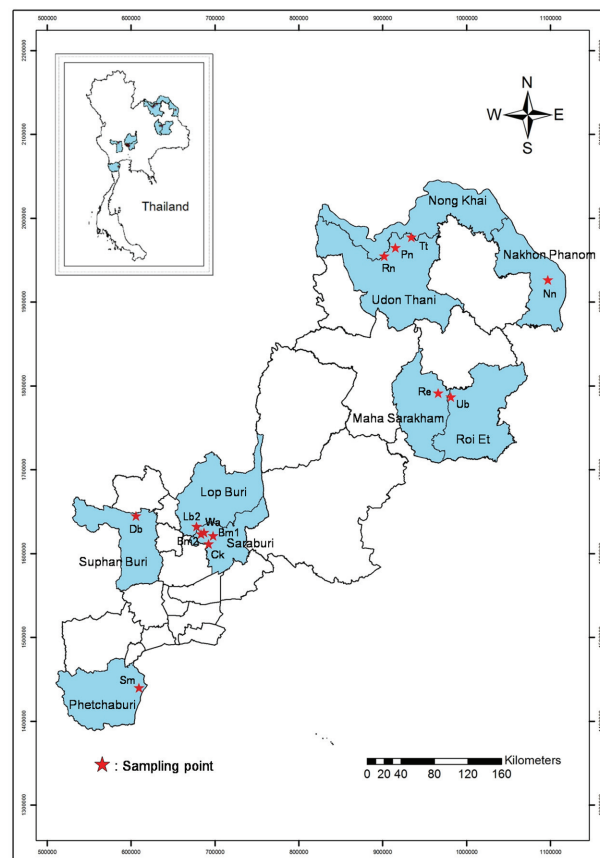


Figure 1 Sampling sites for the study of paddy soils.

K) was determined by boiling 2 g of soil in 20 mL 1 M  $\text{HNO}_3$  at 113°C for 25 min, followed by washing with 0.1 M  $\text{HNO}_3$  and making the final volume to 100 mL with deionized water (Pratt, 1965). Then potassium was measured by using atomic absorption spectrophotometer (Knudsen and Peterson, 1982). The  $\text{HNO}_3$ -K includes  $\text{NH}_4\text{OAc}$ -K (water soluble K plus exchangeable K) and non-exchangeable K. A measure of potentially available K in soil defined as non-exchangeable K was determined as the difference between  $\text{HNO}_3$ -K and  $\text{NH}_4\text{OAc}$ -K (Pal et al., 2001). Total K were determined by XRF on pelleted samples using a Philips PW1480 XRF spectrometer (Jones, 1987).

### Results and Discussion

#### Environment, Physicochemical and Mineralogical Properties and Classification of Soils

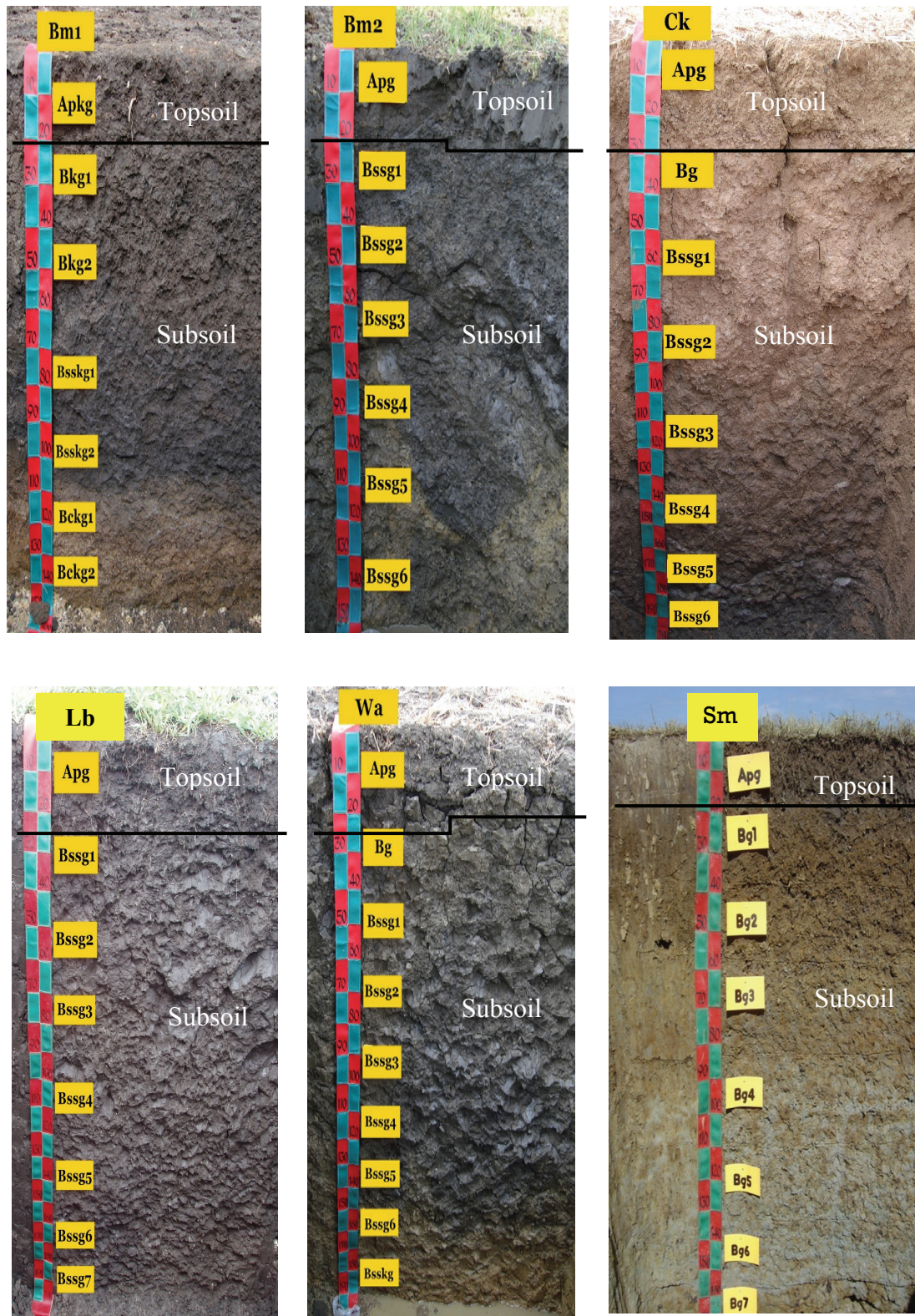
Environmental setting and use of paddy soils in Thailand are given in Table 1. These soils are on

flat to undulating (1 to 2% slope) sites and most of them developed at low positions in the local landscape with elevations ranging from 5 to 102 m MSL. Local alluvium derived from limestone is the most common parent material of Bm1, Bm2, Ck, Lb and Wa (Vertisols), and wash and local alluvium derived from weathered sedimentary rocks is the parent material of Re, Pn, Rn, and Nn (Ultisols). Alluvium over marine deposits is the parent material of Sm (Inceptisol). Wash (sandy) is the parent material of Ub (Alfisol). Mixed marine and local alluvium derived from metasedimentary rocks is the parent material of Db (Alfisol) and recent alluvium on residuum derived from fine grained clastic sedimentary rocks is the parent material of Tt (Alfisol). Topsoil refers to Ap horizon and subsoil refer to the rest of other lower horizons in this study.

All soils have developed on lower positions in the landscape. They are generally very deep and A-Bt profile development is common (Figures 2 and 3). Statistical summary of physical and chemical properties is shown in Table 2. Textural classes of these soils vary from sandy to clayey. Clay content of these soils ranges from 67 g kg<sup>-1</sup> to 878 g kg<sup>-1</sup>. Soil texture includes clay texture (Bm1, Bm2, Ck, Lb, Wa), loam (Tt), sandy clay loam (Pn, Sm), sandy loam (Rn, Db), silty clay loam (Nn), sandy loam (Re), and sand (Ub). The pH values of paddy soils range from 3.9 to 8.4 with a mean value of 6.16 for pH in water and 2 to 7 with mean value of 4.84 for pH in KCl. Most of soils are very strongly to slightly acidic. However Bm2, Lb, Wa and Tt are slightly alkaline.

**Table 1** Soil series, parent materials and classification of typical paddy soils in Thailand.

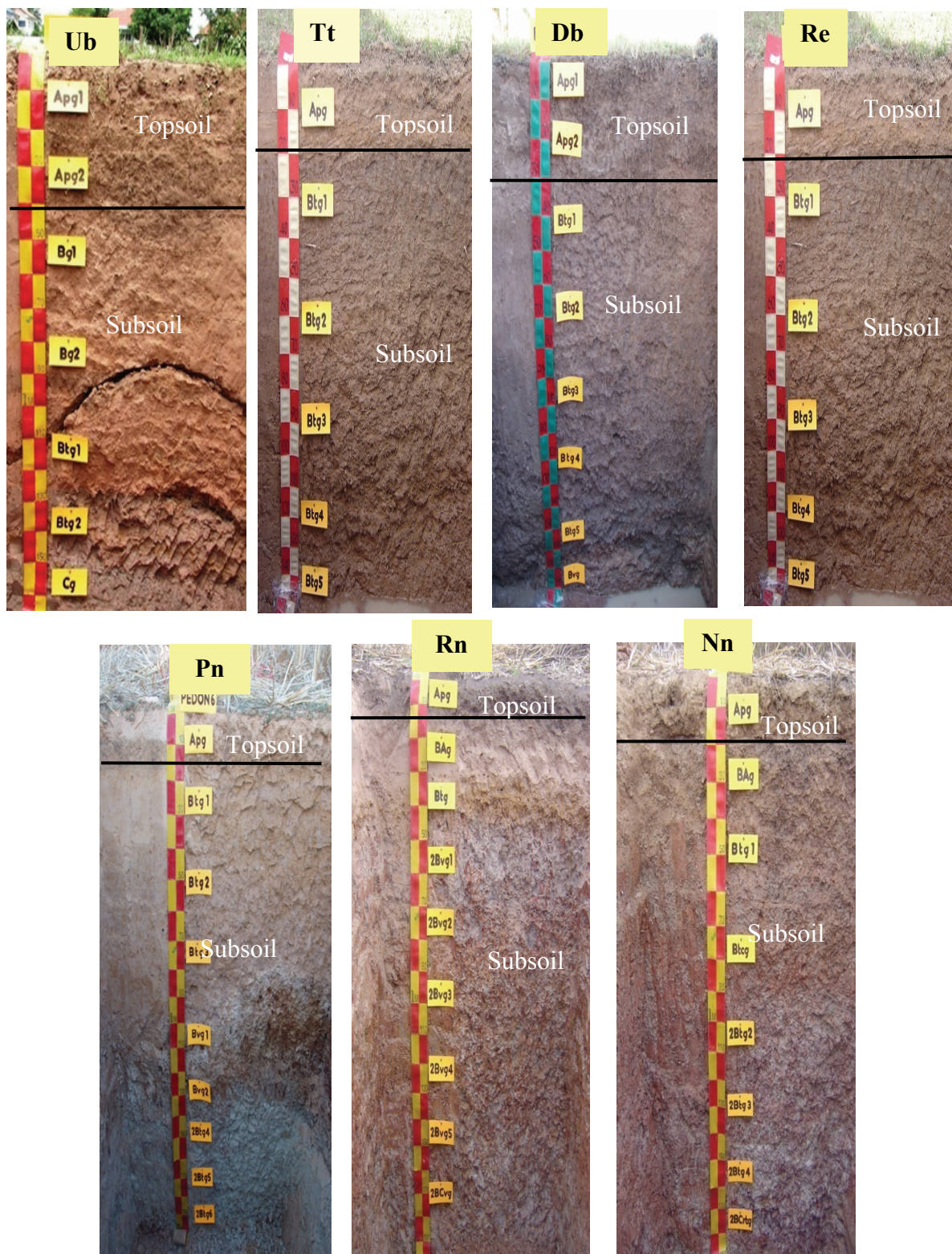
Soil series	Classification	Parent materials	Location
Inceptisol			
Samut Prakan (Sm)	Aeric Endoaquept	Alluvium over marine deposits	Muang, Pechaburi
Vertisols			
Ban Mi 1 (Bm1)	Ustic Endoaquert	Wash and Local alluvium derived from weathered limestone	Phra Phutthabat, Saraburi Province
Ban Mi 2 (Bm2)	Ustic Endoaquert	Local alluvial partially derived from limestone	Nong Don, Saraburi Province
Wattana (Wa)	Ustic Endoaquert	Local alluvial derived from limestone	Phra Phutthabat, Saraburi Province
Chong Khae (Ck)	Ustic Endoaquert	Mixed alluvium and Local alluvial derived from limestone	Soa Hai, Saraburi Province
Lop Buri (Lb)	Ustic Endoaquert	Local alluvial derived from limestone	Muang, Lop Buri Province
Alfisols			
Ubon (Ub)	Aeric Haplaqualf	Wash (sandy)	Mueang, Maha Sarakham Province
Tha Tum (Tt)	Typic Endoaqualf	Recent alluvium on residuum derived from fine grained clastic sedimentary rocks	Srang Khom, Udon Thani
Doem Bang (Db)	Aeric Endoaqualf	Mixed marine and Local alluvium derived from metasedimentary rocks	Doem Bang Nang Buat, Suphan Buri
Ultisols			
Roi Et (Re)	Aeric Paleaquult	Wash and local alluvium derived from weathered sedimentary rocks	Mueang, Roi Et Province
Phen (Pn)	Kandic Plithaquult	Wash over residuum derived from fine grained clastic sedimentary rocks	Phen, Udon Thani
Renu (Rn)	Typic Plinthaquult	Wash over residuum derived from fine grained weathered clastic sedimentary rocks	Renu, Nakhon Phanom Province
Nakhon Phanom (Nn)	Typic Endoaquult	Wash over residuum derived from fine grained clastic sedimentary rocks	Maung, Nakhon Phanom Province



**Figure 2** Representative paddy soil profiles of Vertisols (Bm1, Bm2, Ck, Lb, Wa) and Inceptisol (Sm) in this study.

Organic matter (OM) content is very low to high in most topsoil horizons ranging from 0.20 g kg<sup>-1</sup> to 48.2 g kg<sup>-1</sup> with a mean value of 6.03 g kg<sup>-1</sup>.

The OM content in most of topsoils are high and decreasing with depth.



**Figure 3** Representative paddy soil profiles of Alfisols (Ub, Tt, Db) and Ultisols (Re, Pn, Rn, Nn) in this study

These paddy soils of different soil developing status included five Vertisols (Ustic Endoaquert) namely: Ban Mi1 (Bm1), Ban Mi2 (Bm2), Chong

Khae (Ck), Lop Buri (Lb) and Watanna (Wa)) series; three Alfisols namely Ubon (Ub) (Aeric Haplaqualf), Tha Tum (Tt) (Typic Endoaqualf), Doem Bang (Db)

**Table 2** Statistical summary of some physicochemical properties of paddy soils.

Soil property (n = 103)	Mean	Median	Min	Max	Stdev
Physical properties					
Sand (g kg <sup>-1</sup> )	342	427	18	881	262
Silt (g kg <sup>-1</sup> )	228	274	32	450	107
Clay (g kg <sup>-1</sup> )	427	300	67	878	226
Bulk density (Mg m <sup>-3</sup> )	1.81	1.86	1.38	2.01	0.14
Chemical properties					
pH (1:1 H <sub>2</sub> O)	6.2	7.1	3.9	8.4	1.4
pH (1:1 KCl)	4.9	6.6	2.0	7	1.4
Organic matter (g kg <sup>-1</sup> )	6.03	13.19	0.20	48.2	7.36
Total nitrogen (g kg <sup>-1</sup> )	0.50	0.84	0.04	1.98	0.41
Cation exchangeable capacity (cmol kg <sup>-1</sup> )	22.91	18.76	0.45	80.41	23.96
Available P (mg kg <sup>-1</sup> )	3.90	5.38	0.01	198.05	19.63
Exchangeable Ca (cmol kg <sup>-1</sup> )	18.28	19.22	0.19	67.01	23.32
Exchangeable Mg (cmol kg <sup>-1</sup> )	1.64	1.88	0.01	6.47	1.93
Exchangeable Na (cmol kg <sup>-1</sup> )	1.29	0.35	0.02	10.82	1.98
Base saturation (%)	58.54	72.66	7.22	89.12	20.45
Extractable Acidity (cmol kg <sup>-1</sup> )	9.02	8.45	0.49	26.95	9.06

(Aeric Endoaqualf); four Ultisols namely Roi Et (Re) (Aeric Pleaquult), Phen (Pn) (Kandic Plithaquult), Renu (Rn) (Typic Plithaquult), Nakhon Phanom (Nn) (Typic Endoaquult) and one Inceptisol namely Samut Prakan (Sm) (Aeric Endoaquept) (Soil Survey Staff, 2010).

Clay minerals in these soils consist of smectite, kaolinite and interstratified kaolinite-smectite in different soil orders (Table 3). Smectite is dominant in Bm1, Ck and Lb. Kaolinite is dominant in Ub, Db, Re and Rn. An interstratified kaolinite-smectite occurs in Wa and Bm2 soils. A small amount (5-20%) of illite presents in Ck and Ub profiles. Moderate amount of kaolinite (20-40%) and small amount of illite (<20%) occurs in Tt profile. In Pn and Nn profiles, there is a moderate amount (20-40%) of kaolinite and illite. However, Sm consists of 20-40% kaolinite, <20% smectite and illite. A large amount (40-60%) of smectite and kaolinite exists in Re. A trace amount of quartz is present in almost all clay samples except in Ub and Re soils.

#### Potassium Status of Paddy Soils under Tropical Savanna Climate in Thailand

The different forms of K, namely soluble K, exchangeable K, non-exchangeable K, reserved K

and total K, estimated in the horizons of profile samples of these soils are present in Table 4.

#### NH<sub>4</sub>OAc-Exchangeablek (Soluble K Plus Exchangeable K)

Soluble K plus exchangeable K represents readily available K (Sparks, 2000). Soluble K plus exchangeable K shows an overall range of 1.87-130.53 mg kg<sup>-1</sup>, with average value of 31.83 mg kg<sup>-1</sup>. Soluble K plus exchangeable K is held by negative charges of organic matter and clay particles and readily available to plant (Sharples and Boul, 1987). This investigation found that Ub, Tt, Re, Pn and Rn have very low content of soluble K plus exchangeable K whereas Bm1, Bm2, Lb, Wa, Db, Nn and Sm have low content of this available K (soluble K plus exchangeable K). The Ck soil has medium content of soluble K plus exchangeable K (Figure 4).

For K fertility status, topsoil of Re, Pn, Rn (Ultisols) have very low content of available K while Bm2 (Vertisol), Ub, Tt, Db (Alfisols), Nn (Ultisol) and Sm (Inceptisol) have low content of available K. However, Wa and Ck (Vertisols) have high and Bm1 (Vertisol) has very high content of available K.

**Table 3** Semi-quantitative mineralogical composition of clay and silt of paddy soils estimated by XRD.

Horizon	Depth (cm)	Clay fraction					Silt fraction		
		Sm	Kao	Inters	Ill	Qtz	Qtz	Fel	M
Ban Mi 1 (Bm1) Ustic-Endoaquert, fine, smectitic, isohyperthermic									
Apkg	0-20	xxxx	tr	-	-	tr	xxxx	-	-
Bkg2	40-55/66	xxxx	tr	-	-	tr	xxxx	-	-
Bsskg2	84-106	xxxx	tr	-	-	tr	xxxx	-	-
Bckg1	106-123	xxxx	x	-	-	tr	xxxx	-	-
Ban Mi 2 (Bm2) Ustic-Endoaquert, fine, mixed, isohyperthermic									
Apg	0-18	-	tr	xxxx	-	tr	xxxx	-	-
Bssg2	35-55	-	tr	xxxx	-	tr	xxxx	-	-
Bssg4	74-98	-	tr	xxxx	-	tr	xxxx	-	-
Bssg6	130-160+	-	tr	xxxx	-	tr	xxxx	-	-
Chong Khae (Ck) Ustic-Endoaquert, very fine, smectitic, isohyperthermic									
Apg	0-27	xxx	xx	-	x	tr	xxxx	-	-
Bg	27-50	xx	xx	-	x	tr	xxxx	-	-
Bssg2	75-105	xxxx	x	-	x	tr	xxxx	-	-
Bssg4	135-160	xxxx	x	-	x	tr	xxxx	x	x
Bssg6	180-200+	xxxx	x	-	x	tr	xxxx	-	-
Lop Buri (Lb) Ustic-Endoaquert, very fine, smectitic, isohyperthermic									
Apg	0-20	xxxx	tr	-	-	tr	xxxx	-	-
Bssg1	20-40	xxxx	tr	-	-	tr	xxxx	-	-
Bssg3	65-90	xxxx	tr	-	-	tr	xxxx	-	-
Bssg5	120-150	xxxx	tr	-	-	tr	xxxx	-	-
Bssg7	175-200+	xxxx	tr	-	-	tr	xxxx	-	-
Wattana (Wa) Ustic-Endoaquert, fine, mixed, isohyperthermic									
Apg	0-12/20	-	tr	xxxx	-	tr	xxxx	-	-
Bg	20-40	-	tr	xxxx	-	tr	xxxx	-	-
Bssg2	59-80	-	tr	xxxx	-	tr	xxxx	-	-
Bssg4	105-124	-	tr	xxxx	-	tr	xxxx	-	-
Bsskg	170-190+	-	tr	xxxx	-	tr	xxxx	-	-
Ubon (Ub) Aeris Haplaqualf, sandy, siliceous, subactive, isohyperthermic									
Apg1	0-18	x	xxxx	tr	tr	-	xxxx	tr	-
Apg2	18-14	x	xxxx	tr	x	-	xxxx	tr	-
Bg1	40-68	x	xxxx	tr	x	-	xxxx	tr	-
Tha Tum (Tt) Typic Endoaqualf, fine, mixed, subactive, isohyperthermic									
Apg1	0-12	tr	xx	-	x	tr	xxxx	tr	-
ABg	30-50	tr	xx	tr	x	tr	xxxx	tr	-
Btg1	50-72	tr	xx	tr	x	tr	xxxx	tr	-
2Btg3	99-124	-	xx	-	xx	tr	xxxx	tr	-
2Btg5	148-174	-	xx	-	xxx	tr	xxxx	tr	-
Doem Bang (Db) Aeris Endoaqualf, coarse-loamy, mixed, semiactive, isohyperthermic									
Apg1	0-10	tr	xxxx	-	-	tr	xxxx	-	-
Btg1	32-55	tr	xxxx	-	tr	tr	xxxx	-	-
Btg3	80-105	x	xxx	-	tr	tr	xxxx	-	-
Bvg	165-180+	x	xxx	-	tr	-	xxxx	-	-
Roi Et (Re) Aeris Paleaquilt, , coarse-loamy, siliceous, semiactive, isohyperthermic									
Apg	0-16/20	xxx	xxx	-	tr	-	xxxx	tr	-
Btg1	20-50	xxx	xxx	-	tr	-	xxxx	tr	-
Btg2	50-78	xxx	xxx	-	tr	-	xxxx	tr	-

Table 3 Cont.

Horizon	Depth (cm)	Clay fraction					Silt fraction		
		Sm	Kao	Inters	Ill	Qtz	Qtz	Fel	M
Phen (Pn) Kandic Plithaquult, fine, mixed, superactive, isohyperthermic									
Apg	0-19	-	xx	-	xx	tr	xxxx	-	-
Btg1	19-40	tr	xx	-	xx	tr	xxxx	-	-
Btg3	62-78/110	tr	xxx	-	x	tr	xxxx	-	-
Bvg2	130-146	tr	x	-	xx	tr	xxxx	-	-
2Btg5	159-183	tr	x	-	xx	tr	xxxx	-	-
Renu (Rn) Typic Plinthaquult, fine, kaolinitic, isohyperthermic									
Apg	0-13	tr	x	tr	tr	x	xxxx	-	-
Btg	31-43	tr	xxx	-	tr	x	xxxx	-	-
2Bvg3	83-107	-	xxxx	-	x	-	xxxx	tr	-
2Bvg5	132-160	tr	xxxx	-	x	-	xxxx	tr	-
2BCvg	160-195+	tr	xxxx	-	x	-	xxxx	tr	-
Nakhon Phanom (Nn) Typic Endoaquult, fine, illitic, isohyperthermic									
Apg	0-20	tr	xx	-	xx	tr	xxxx	tr	tr
ABg	20-40	tr	xx	-	xx	tr	xxxx	tr	tr
Btg3	85-114	x	xx	-	xx	-	xxxx	tr	tr
Btg4	114-138	x	xx	-	xx	-	xxxx	tr	tr
Samut Prakan (Sm) Aerice Endoaquult, fine loam, mixed, semiactive, isohyperthermic									
Apg	0-15	x	xx	-	x	tr	xxxx	tr	-
Bg1	15-38	x	xx	-	xx	-	xxxx	tr	-
Bg3	55-82	x	xx	-	x	-	xxxx	tr	-

xxxx = dominant (>60%), xxx = large (40-60%), xx = moderate (20-40%), x = small (5 -20%), tr = trace (<5%), - = non-detectable, Sm=smectite, Kao=kaolinite, Inters = Interstratified kaolinite-smectite, Ill = illite, Qtz = quartz, Fel = feldspar, M = mica.

Chittamart et al. (2010) reported that most of lowland Vertisols in Thailand have smectite clay mineral predominantly. Vertisols contained the highest potential K as compared with that of Inceptisols, Ultisols and Alfisols because Vertisols generally contained smectite clay mineral as result of weathering process of mica that contains high K (Nursyamsi et al., 2008). Figure 5 shows that topsoils of as Bm1, Bm2, Wa, Ck, Lb (Vertisols) have more soluble K plus exchangeable K content than do other soils, whereas soluble K plus exchangeable K value of Bm1 (Vertisol) is greatest of all soil profiles in this study.

### Non-Exchangeable Potassium

Non-exchangeable K content measured by soluble K plus exchangeable K subtracted from  $\text{HNO}_3$ -extractable K. This K form ranges from 5.71-744.32  $\text{mg kg}^{-1}$  soil with an average of 179.53  $\text{mg kg}^{-1}$  in these paddy soils under tropical savanna climate in Thailand. The data show that non-exchangeable K content in the soil profiles generally decreases with depth, with some

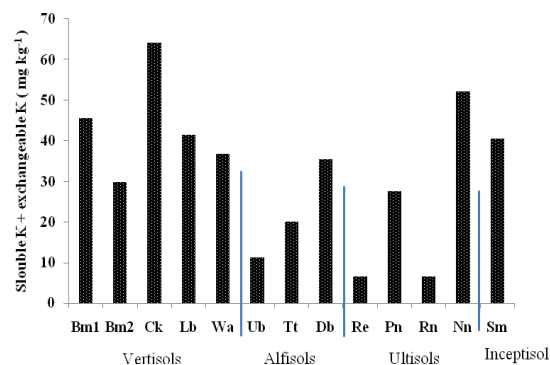


Figure 4 Mean values of soluble K plus exchangeable K content of the paddy soils.

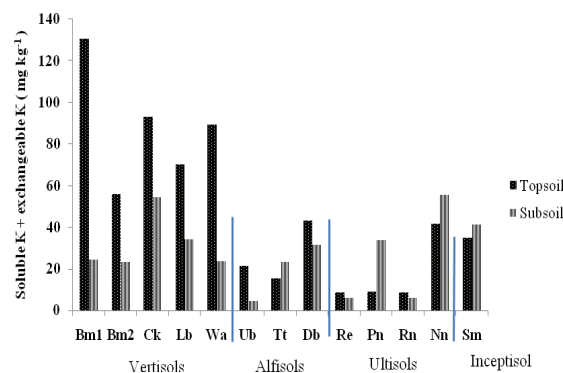


Figure 5 Mean values of soluble K plus exchangeable K content of topsoil and subsoil of the paddy soils.

**Table 4** Contents of soluble K plus exchangeable K, non-exchangeable K, reserved K and total K of paddy soils.

Horizon	Depth (cm)	Soluble K plus exchangeable K (----- mg kg <sup>-1</sup> -----)	Non-exchangeable K	Reserved K	Total K
<b>Ban Mi 1 (Bm1) Ustic Endoaquert, fine, smectitic, isohyperthermic</b>					
Apkg	0-20	130.53	73.79	295.50	500
Bkg1	20-40	27.38	38.43	254.19	320
Bkg2	40-55/63	25.95	35.57	228.48	290
Bsskg1	63-84	24.10	123.15	87.75	230
Bsskg2	84-106	19.67	174.26	6.07	200
<b>Ban Mi 2 (Bm2) Ustic Endoaquert, fine, mixed, superactive, isohyperthermic</b>					
Apg	0-18	55.83	220.04	34.13	310
Bssg1	18-35	28.87	6.42	124.71	160
Bssg2	35-55	22.78	18.17	89.05	130
Bssg3	55-74	21.69	24.01	84.28	130
Bssg4	74-98	19.74	31.03	99.23	150
<b>Chong Khae (Ck) Ustic Endoaquert, very fine, smectitic, isohyperthermic</b>					
Apg	0-27	93.19	569.58	897.23	1560
Bg	27-50	57.81	644.48	997.71	1700
Bssg1	50-75	47.25	728.14	894.61	1670
Bssg2	75-105	58.82	744.32	776.86	1580
<b>Lop Buri (Lb) Ustic Endoaquert, very fine, smectitic, isohyperthermic</b>					
Apg	0-20	70.31	33.04	266.65	370
Bssg1	20-40	36.64	22.73	210.63	270
Bssg2	40-65	32.09	18.19	169.71	220
Bssg3	65-90	36.06	13.64	180.30	230
Bssg4	90-120	32.34	21.61	176.05	230
<b>Wattana (Wa) Ustic Endoaquert, fine, mixed, superactive, isohyperthermic</b>					
Apg	0-12/20	89.19	197.26	33.55	320
Bg	20-40	28.51	30.93	90.56	150
Bssg1	40-59	24.25	41.19	64.56	130
Bssg2	59-80	22.79	65.92	31.29	120
Bssg3	80-105	19.32	54.64	66.04	140
<b>Ubon (Ub) Aeris Haplaqualf, sandy, siliceous, subactive, isohyperthermic</b>					
Apg1	0-18	22.51	30.84	859.65	913
Apg2	18-40	20.01	32.96	860.03	913
Bg1	40-68	4.65	25.09	590.26	620
Bg2	68-96	7.05	55.52	767.43	830
Btg1	96-125	1.87	32.84	858.65	620
<b>Tha Tum (Tt) Typic Endoaqualf, fine, mixed, subactive, isohyperthermic</b>					
Apg1	0-12	16.36	60.8	3325.84	3403
Apg2	12-30	14.57	101.79	383.64	5000
ABg	30-50	18.40	143.52	6146.08	6308
Btg1	50-72	23.20	171.46	6113.34	6308
Btg2	72-99	28.23	201.14	7738.635	7968
<b>Doem Bang (Db) Aeris Endoaqualf, coarse-loamy, mixed, semiactive, Isohyperthermic</b>					
Apg1	0-10	43.2	5.71	1113.09	1162
Apg2	10-25/32	29.4	15.65	950.95	1198
Btg1	32-55	33.8	13.91	948.29	996
<b>Roi Et (Re) Aeris Paleaqualf, coarse-loamy, siliceous, semiactive, isohyperthermic</b>					
Apg	0-16/20	8.65	25.74	463.61	498
Btg1	20-50	5.03	31.79	793.17	830
Btg2	50-78	5.51	25.44	799.04	830
Btg3	78-108	7.12	43.79	1277.08	1328
<b>Phen (Pn) Kandic Plithaqualf, fine, mixed, superactive, isohyperthermic</b>					
Apg1	0-19	8.95	127.67	2934.39	3071
Btg1	19-40	40.67	88.08	3855.25	3984
Btg2	40-61	39.38	188.03	6412.59	6640
Btg3	62-78/110	21.72	201.88	5752.4	5976

**Table 4** Cont.

Horizon	Depth (cm)	Soluble K plus exchangeable K (----- mg kg <sup>-1</sup> -----)	Non-exchangeable K	Reserved K	Total K
Renu (Rn) Typic Plinthaquult, fine, kaolinitic, isohyperthermic					
Apg	0-13	8.65	25.74	1044.61	1079
BAG	13-31	5.03	31.79	461.17	498
Btg	31-43	5.51	25.44	1297.05	1328
2Bvg1	43-65	17.12	43.79	779.08	830
Nakhon Phanom (Nn) Typic Endoaquult, fine, illitic, isohyperthermic					
Apg	0-18	41.67	267.70	437.62	747
BAG	18-39	33.88	494.76	13249.33	13778
Btg1	39-63	53.69	465.01	14504.3	15023
Btcg	63-94	79.66	518.13	23140.21	23738
Samut Prakan (Sm) Aeric Endoaquept, fine loam, mixed, semiactive, isohyperthermic					
Apg	0-15	34.90	447.35	19271.75	19754
Bg1	15-38	47.40	606.56	22171.04	22825
Bg2	38-55	52.60	629.53	22142.87	22825
Bg3	55-82	36.80	547.49	21493.71	22078
Bg4	82-110	29.10	497.58	20638.32	21165

accumulation in the Bt horizon. This K form, is in interlayer spaces of 2:1 type clay minerals (Malavolta, 1985). It is the reserve of K in the soil potentially plant-available, since it is the pool in direct dynamic equilibrium with the exchangeable K form (Hinsinger, 2006).

Based on profile average, Ck (Ustic Endoaquept), Nn (Typic Endoaquult) and Sm (Aeric Endoaquept) registered a high content of non-exchangeable K of 671.63 mg kg<sup>-1</sup>, 436.42 mg kg<sup>-1</sup> and 545.70 mg kg<sup>-1</sup> respectively. Figure 6 shows that the content of non-exchangeable K is low in Db (Aeric Endoaqualf), Ub (Aeric Haplaqualf), Lb (Ustic Endoaquept), and Rn (Typic Plinthaquult) with 11.76 mg kg<sup>-1</sup>, 35.38 mg kg<sup>-1</sup>, 21.84 mg kg<sup>-1</sup> and 31.69 mg kg<sup>-1</sup> respectively. Figure 7 demonstrated that most of the subsoils tended to contain more non-exchangeable K than do topsoils except for Bm2 (Ustic Endoaquept) and Wa (Ustic Endoaquept).

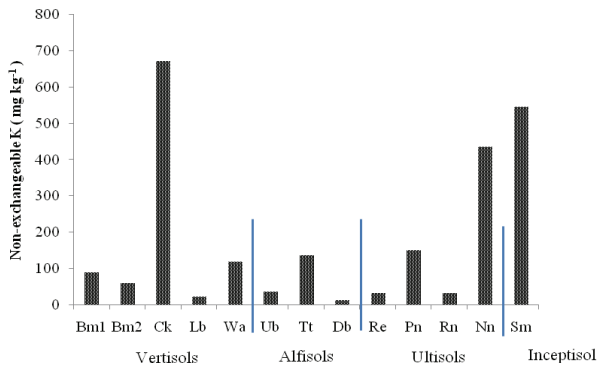
### Reserved K

Reserved K content calculated by soluble K, exchangeable K and non-exchangeable K subtracted from total K. Reserved K content varies from 6.07 to 23140.21 mg kg<sup>-1</sup> with a mean of 3788.51 mg kg<sup>-1</sup> in these paddy soils under tropical savanna climate. In the topsoils and subsoils, it ranges from 33.55 to 19271.75 mg kg<sup>-1</sup>, 63.11 to 21611.49 mg kg<sup>-1</sup> with means of 2875.65 mg kg<sup>-1</sup>

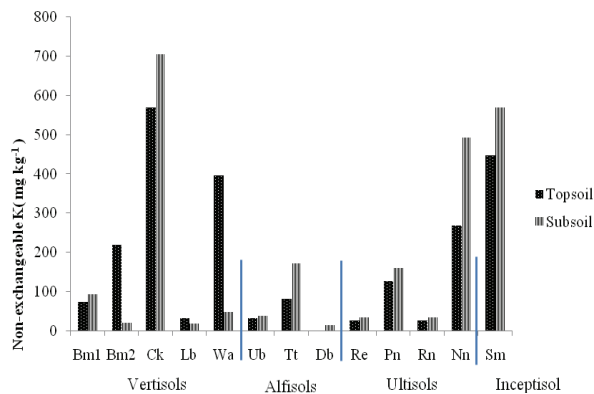
and 4287.75 mg kg<sup>-1</sup>, respectively. On the basis of profile average, high content of reserved K are in Sm (Inceptisol) (21143.54 mg kg<sup>-1</sup>) and Nn (Ultisol) (12832.87 mg kg<sup>-1</sup>). Low contents of reserved K in Wa, Bm2, Bm1 and Lb (Vertisols) are 66.04 mg kg<sup>-1</sup>, 86.28 mg kg<sup>-1</sup>, 174.40 mg kg<sup>-1</sup> and 176.05 mg kg<sup>-1</sup> respectively (Figure 8). In this study, reserved K contents are higher in subsoils than in topsoils (Figure 9). The reserved K measures readily available K, slowly available K and the capacity to supply K under continuous intensive cropping and, thus represents primarily a capacity factor (Sharpley and Smith, 1988).

### Total K

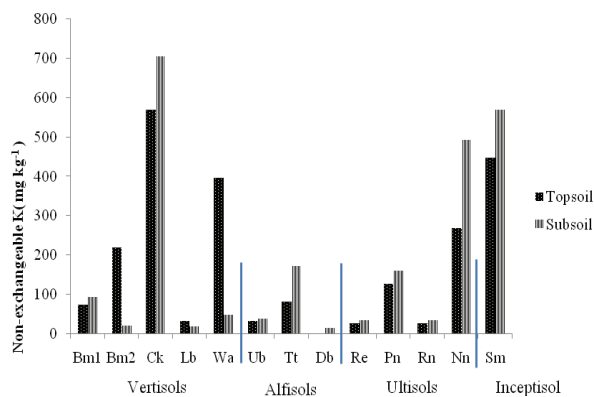
Total K content of the soils ranges from 120 to 23738 mg kg<sup>-1</sup> with a mean value of 3926.47 mg kg<sup>-1</sup> in these paddy soils. In the topsoils and subsoils, it ranges from 310 to 19754 mg kg<sup>-1</sup>, 135 to 22223 mg kg<sup>-1</sup> with mean values of 2430 and 4478.42 mg kg<sup>-1</sup>, respectively. Sha'ato et al. (2000) reported that total K content in soil reflects the degree of weathering and nature of its parent materials. Soil containing K-bearing minerals like K-feldspars and micas, and which are subjected to mild weathering conditions tend to have high total K contents, whereas soils formed in sandy sediments and subjected to more severe weathering environments contain low levels of total potassium. Figure 10 shows that Sm (Inceptisol) has higher



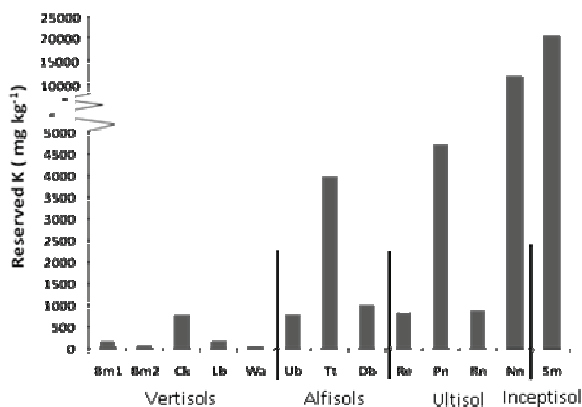
**Figure 5** Mean values of soluble K plus exchangeable K content of topsoil and subsoil of the paddy soils.



**Figure 6** Mean values of non-exchangeable K of the paddy soils.



**Figure 7** Mean values of non-exchangeable K of topsoil and subsoil of the paddy soils.



**Figure 8** Mean values of reserved K of paddy soils.

total K than do other soils. This may be due to the fact that Sm is derived from marine deposits. On an individual profile basis, Sm (Inceptisol) that derived from alluvium over marine deposits has the highest amount of total K with a profile average of 21729.4mg kg<sup>-1</sup> soil, while the lowest contents of total K were found in Wa (172 mg kg<sup>-1</sup>) and Bm2 (Vertisols)(176 mg kg<sup>-1</sup>) that developed on local alluvial partially derived from limestone. Total K content of the subsoils is higher than that of topsoils (Figure 11).

**Correlations Between the Potassium Forms and Physical and Chemical Properties of Paddy Soils**

Table 5 shows the simple correlation coefficients for the relationship between some soil properties and the various K forms in the soils. Clay content is very positively and significantly correlated with soluble K plus exchangeable K (r=0.404\*\*), non-exchangeable K (r=0.421\*\*\*), and reserved K (r=0.443\*\*\*). Organic matter content of the soil is very significantly correlated with soluble K plus exchangeable K (r=0.476\*\*\*). In this study, cation exchange capacity is correlated with soluble K plus exchangeable K (r=0.321\*). The sand content of the soil is negatively correlated with soluble K plus exchangeable K and non-exchangeable K.

**Correlations among Forms of Potassium**

Correlation coefficients calculated reveals that the total K is not related with the soluble K plus exchangeable K (r=0.222) but significantly related with non-exchangeable K (r=0.654\*\*\*) and reserved K (0.996\*\*\*). Reserved K is significantly correlated with total K (r=0.996\*\*\*) and non-exchangeable K (r=0.635\*\*\*). The significant correlations obtained between soluble K plus exchangeable K and non-exchangeable K (r=0.502\*\*\*) show the existence of equilibrium between these forms of K. The overall study on the correlation between forms of K also reveals a reversible equilibrium between them.

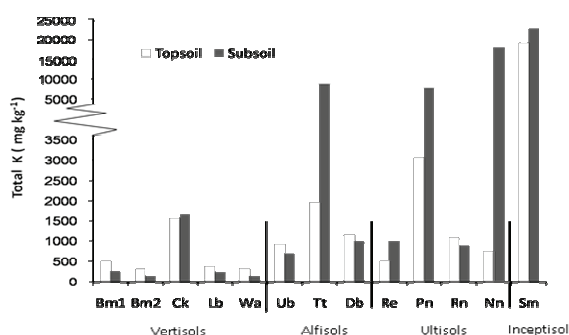
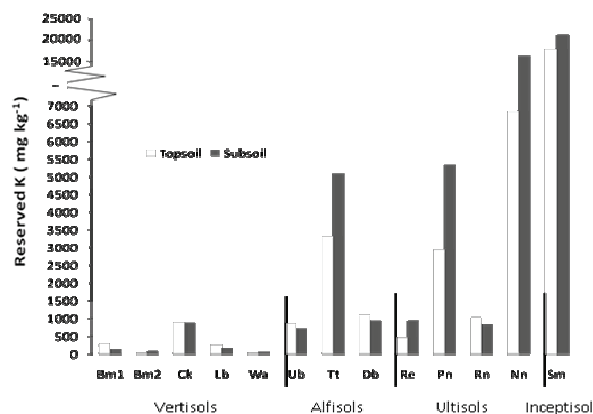
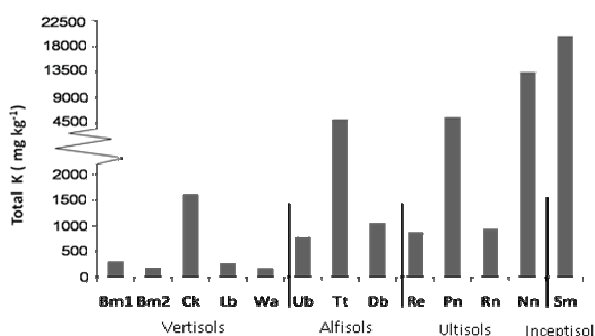
**Conclusions**

Soluble K plus exchangeable K content is very low in Ub, Tt, Re, Pn and Rn, low in Bm1, Bm2,

**Table 5** Correlation coefficients of different forms of potassium with physical and chemical properties of paddy soils under tropical savanna climate.

Soil properties	Soluble K and exchangeable K	Non-exchangeable K	Reserved K	Total K
Soluble K and exchangeable K		0.502***	0.207	0.222
Non-exchangeable K	0.502***		0.635***	0.654***
Reserved K	0.207	0.635***		0.996***
Total K	0.222	0.654***	0.996***	
Sand	-0.425**	-0.183	0.190	0.178
Silt	0.204	0.312*	0.320*	-0.120
Clay	0.404**	0.119	0.164	-0.154
OM	0.475***	0.097	-0.038	0.033
CEC	0.320*	-0.071	-0.350*	0.343*

\*\*\* Very highly significant at  $P \leq 0.001$ , \*\* Highly significant at  $0.01 > P > 0.001$ , \* Significant at  $0.05 > P \geq 0.01$

**Figure 9** Mean values of reserved K of topsoil and subsoil of paddy soils.**Figure 10** Mean values of total K of paddy soils.**Figure 11** Mean values of total K of topsoil and subsoil of paddy soils.

Lb, Wa, Db, Nn, Sm and medium in Ck soils (average profile basis). In the topsoil (Ap horizon), the content of soluble K plus exchangeable K of Re, Pn, Rn (Ultisols) are very low while in Bm2 (Vertisol), Ub, Tt, Db (Alfisols), Nn (Ultisol) and Sm (Inceptisol) are low in Lb, Wa and Ck

(Vertisols) are medium to high and in Bm1 (Vertisol) is very high. Soil soluble K plus exchangeable K contents from high to low are in order of Vertisols > Inceptisol > Alfisols > Ultisols.

Non-exchangeable K content is high in Ck (Vertisol), Nn (Ultisol) and Sm (Inceptisol) but low in Db and Ub (Alfisols), Lb (Vertisol) and Rn (Ultisol) (average profile basis). In this study, most of the subsoils tend to have more non-exchangeable K than do the topsoils except for Bm2 and Wa. On the basis of profile average, high content of reserved K is found in Sm and Nn. Low content of reserved K is found in Wa and Bm2. The content of reserved K in subsoil is higher than that in topsoil. Total K content of Sm (Inceptisol) is higher than that of other soils. This may be due to the fact that Sm is derived from marine deposits. The lowest content of total K is found in Wa and Bm2 that developed on local alluvium partially derived from limestone.

The clay content and organic matter are positively and significantly correlated with the soluble K plus exchangeable K in these soils, more than with any other soil properties. Soluble K plus exchangeable K is significantly correlated with non-exchangeable K. Total K is not correlated with soluble K plus exchangeable K but significantly correlated with non-exchangeable K and reserved

K. Non-exchangeable K is significantly correlated with soluble K plus exchangeable K ( $r=0.502^{***}$ ), reserved K ( $r=0.635^{***}$ ) and total K ( $r=0.654^{***}$ ) indicating that different forms of potassium along with organic matter maintenance should be critically considered for management of potassium fertility in these soils for rice-based cropping practice.

### Acknowledgments

We would like to thank the Thailand International Cooperation Agency (TICA) for the financial support of this research.

### References

- Ahmad, N. 1983. Vertisols, pp.91-123. In L.P. Wilding, N.E. Smeck and G.F. Hall, eds., Pedogenesis and Soil Taxonomy. II. The Soil Orders. Elsevier Sci. Publ. B. V., Amsterdam, Netherlands.
- Barber, S.A. 1985. Potassium availability at the soil-root interface and factors influencing potassium uptake. pp. 309-324. In R.D. Munson, ed., Potassium in Agriculture. ASA, Madison, WI.
- Changprai, C. 1987. The Relationships between Soils and Soil Forming Factors. Department of Land Development, Bangkok.
- Chittamart, N., A. Suddhiprakarn., I. Kheoruenromne and R. J. Gilkes. 2010. Layer charge characteristics of smectite in Thai Vertisols. Clays and Clay Minerals 58: 247-262.
- Darunsontaya, T., A. Suddhiprakarn., I. Kheoruenromne, N. Prakongkep and R. J. Gilkes. 2012. The forms and availability to plants of soil potassium as related to mineralogy for upland Oxisols and Ultisols from Thailand. Geoderma 170: 11-24.
- Dobermann, A., K.G. Cassman., C.P. Mamiaral and J.E. Sheshy. 1998. Management of phosphorus, potassium and sulfur in intensive irrigated low land rice. Field Crop Res. 56: 113-118.
- Fageria, N.K., N.A. Slaton and V.C. Baligar. 2003. Nutrient management for improving lowland rice productivity and sustainability. Adv. Agron. 80: 63-152.
- Foss, J.E., F.R. Moormann and S. Rieger. 1983. Inceptisols, pp.355-381. In L.P. Wilding, N.E. Smeck and G.F. Hall, eds., Pedogenesis and Soil Taxonomy. II. The Soil Orders. Elsevier Sci. Publ. B.V., Amsterdam, Netherlands.
- Gee, G.W. and J.W. Bauder. 1986. Particle-size Analysis, pp. 961-1010. In A. Klute, ed., Methods of Soil Analysis. Part I. Physical and Mineralogical Methods. Amer Soc. Agron. Inc., Madison, Wisconsin, USA.
- Hinsinger, P. 2006. Potassium, pp. 1354-1358. In Encyclopedia of Soil Science. Taylor and Francis, New York, USA.
- Jones, A.A. 1987. X-ray fluorescence spectrometry, pp. 85-121. In A.L. Page, eds., Methods of Soil Analysis, Part II: Physical and Mineralogical Methods. Am. Soc. Monogr. No. 9, Madison, Wisconsin, USA.
- Kheoruenromne, I. 2009. Soil Survey Laboratory Manual. 6<sup>th</sup> ed. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University. Bangkok.
- Knudsen, D. and G.A. Peterson. 1982. Lithium, Sodium and Potassium. In R.H. Miller and D.R. Keeney, eds. Methods of Soil Analysis. Part II. Chemical and Microbiological Properties. Amer. Soc. Agron. Inc., Madison, Wisconsin, USA.
- Kyuma, K. 2004. Paddy Soil Science. Kyoto University Press, Japan.
- Ladha, J.K., D. Dawe., H. Pathak., A.T. Padre., R.L. Yadav., Bijay Singh, Y. Yadvinder-singh., P. Singh., A.L. Kundu., R. Sakal., A.P. Regmi., S.K. Gami., A.L. Bhandari., R. Amin., C.R. Yadav., E.M. Bhattarai., S. Das., H.P. Aggarwal., R.K. Gupta and P.R. Hobbs. 2003. How extensive are yield declines in long-term rice-wheat experiments in Asia? Field Crops Res. 81: 159-180.
- Malavolta, E. 1985. Potassium Status of Tropical and Subtropical Region Soils, pp. 163-194. In R.D. Munson, ed., Potassium in Agriculture. ASA, Madison, WI.
- Martin, H.W. and D.L. Sparks. 1985. On the behavior of nonexchangeable potassium in soils. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 16: 133-162.
- Mclean, E.O. and M.E. Watson. 1985. Soil Measurement of Plant-Available Potassium, pp. 277-308. In R.D. Munson, ed., Potassium in Agriculture. ASA, Madison, WI.
- Miller, B.J. 1983. Ultisols, pp.283-323. In L.P. Wilding, N.E. Smeck and G.F. Hall, eds., Pedogenesis and Soil Taxonomy. II. The Soil Orders. Elsevier Sci. Publ. B. V., Amsterdam, Netherlands.
- National Soil Survey Center. 1996. Soil Survey Laboratory Methods Manual. United States Department of Agriculture, Natl. Soil Surv. Cent., Soil Surv. Lab., Soil Survey Investigation No. 42, Version 3.
- Nelson, D.W. and L.E. Sommers. 1996. Total Carbon, and Organic Matter, pp. 961-110. In D.L. Sparks, A.L. Page, P.A. Helmke and R.H. Loppert, eds., Methods of Soil Analysis. Part III. Chemical Methods. Amer. Soc. Agron. Inc., Madison, Wisconsin, USA.
- Nilawonk, W., T. Attanandana, A. Phonphoem, R. Yost and X. Shuai. 2008. Potassium release in representative maize-producing soils of Thailand. Soil Sci. Soc. Amer. J. 72: 791-797.
- Nursyamsi, D., K. Idris, S. Sabiham and A. Sofyan. 2008. Dominant soil characteristics influencing available potassium on smectitic soils. Indonesian Journal of Agriculture 1: 121-131.

- Pal, Y., R.J. Gilkes and M.T.F. Wong. 2001. Soil factors affecting the availability of potassium to plants for Western Australian soils: a glasshouse study. *Aust. J. Soil Res.* 39: 611-625.
- Pavlov, K.V. 2007. The assessment of the potassium status of soil by the proportion between different forms of potassium. *Eurasian Soil Sci.* 40: 792-794.
- Prakongkep, N., A. Suddhiprakarn, I. Kheoruenrome and R.J. Gilkes. 2007. Micromorphological Properties of Thai Paddy Soils. *Kasetsart J. (Nat. Sci.)* 41: 42-48.
- Pratt, P.F. 1965. Potassium, pp. 1023-1031. In C.A. Black, ed., *Methods of Soil Analysis: Part II. Chemical and Microbiological Properties*. Amer. Soc. Agron., Madison, Wisconsin.
- Rust, R.H. 1983. Alfisol, pp.253-281. In L.P. Wilding, N.E. Smeck and G.F. Hall, eds., *Pedogenesis and Soil Taxonomy. II. The Soil Orders*. Elsevier Sci. Publ. B. V., Amsterdam, Netherlands.
- Sharpley, A.N. and S.W. Buol. 1987. Relationship between minimum exchangeable potassium and soil taxonomy. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 18:601-614.
- Sharpley, A.N. and S.J. Smith. 1988. Distribution of potassium forms in virgin and cultivated soils of the U.S.A. *Geoderma* 42: 317-329.
- Sharpley, A.N. 1989. Relationship between soil potassium forms and mineralogy. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52: 1023-1028.
- Sha'ato, R., A.G. Ojanuga and S.O. Ajayi. 2000. Form and profile distribution in typical soils of the lower benue valley of Nigeria. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 31: 437-453.
- Singh, M., V.P. Singh and D.D. Reddy. 2002. Potassium balance and release kinetics under continuous rice-wheat cropping system in Vertisol. *Field Crop Res.* 77: 81-91.
- Soil Survey Staff. 2010. *Keys to Soil Taxonomy*. 11<sup>th</sup> edition, USDA-NRCS, US Government Printing Office, Washington, DC.
- Sparks, D.L. and P.M. Haung. 1985. Physical chemistry of soil potassium, pp. 201-275. In R.D. Munson, ed., *Potassium in Agriculture*. ASA, Madison, WI.
- Sparks, D.L. 2000. Bioavailability of soil potassium, pp. D-38–D53. In M.E. Sumner, ed., *Handbook of Soil Science*. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Suwanarit, A. 1995. Potassium dynamics and availability in strongly weathered and highly leached soils in the humid tropics, pp. 73-95. In *Potassium in Asia: Balanced Fertilization to Increase and Sustain Agricultural Production*. Int. Potash Inst., Basel, Switzerland.
- Thomas, G.W. 1982. Exchangeable cations, pp. 159-165. In A.L. Page, R.H. Miller, and D.R. Keeney, eds., *Methods of Soil Analysis. Part II. Chemical and Microbiological Properties*. Amer. Soc. Agron. Inc., Madison, Wisconsin, USA.
- Uribe, E. and F.R. Cox. 1988. Soil Properties Affecting the Availability of Potassium in Highly Weathered Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52: 148-152.
- Wihardjaka, A., G.J.D. Kirk., S. Abdulrachman and C.P. Mamaril. 1999. Potassium balances in rainfed lowland rice on a light-textured soil. *Field Crop Res.* 64: 237-247.
- Zawartka, L., G. Huszcza-Ciolkowska and E. Szumska. 1999. Effect of poly- and orthophosphates on the dynamics of some macro- and micro-nutrient elements in the soil material of varied pH: III. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 30: 655-661.

Manuscript received 19 March 2012, accepted 10 October 2012