

การจำลองการเคลื่อนที่ของฟอสฟอรัสภายใต้สภาพ ที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำในดินทราย

Simulation of Phosphorus Movement under Unsaturated Condition in Sandy Soils

พรชัย มั่นคง (Pornchai Mankong)* ดร.วิทยา ตรีโลเกศ (Dr.Vidhaya Trelo-ges)**

ดร.วิชัย ศรีบุญลือ (Dr.Vichai Sriboonlue)***

บทคัดย่อ

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีสภาพพื้นที่เป็นลูกคลื่นลอนลาด พื้นที่ส่วนใหญ่ทำการเกษตรแบบปลูกพืชเชิงเดี่ยวเป็นเวลากว่าหลายปี มีการใส่ปุ๋ยเคมีเพิ่มขึ้นเพื่อเพิ่มผลผลิต ธาตุอาหารสามารถสูญเสียหรือถูกชะล้างออกโดยน้ำได้ง่ายในดินทราย โดยเฉพาะฟอสฟอรัส จึงทำการศึกษาการเคลื่อนที่ของฟอสฟอรัสโดยใช้ชุดดินดินน้ำพอง และ ชุดดินบ้านไผ่ บรรจุดินลงในท่อพลาสติกสูง 120 ซม. ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 7.5 ซม. เท่ากับความหนาแน่นรวมของดินจากภาคสนาม 1.640 และ 1.675 Mg/m³ ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส (0-46-0) อัตรา 187.5 กก./เฮกตาร์ เมื่อได้รับน้ำต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 7, 14, 21 และ 28 วัน ในการไหลแบบไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ เพื่อศึกษาการเคลื่อนที่ของฟอสฟอรัสในแท่งดิน (soil column) เก็บตัวอย่างดินทุก ๆ ระยะ 10 ซม. เพื่อวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดิน ผลการศึกษาพบว่า ได้แบบจำลองการเคลื่อนที่เป็นรูปสมการเส้นตรง $y = ax + b$ แสดงสหสัมพันธ์ระหว่างระยะทาง (x) กับปริมาณฟอสฟอรัส (y) โดยค่า R² ของชุดดินบ้านไผ่มีค่ามากกว่าชุดดินน้ำพอง แนวโน้มของปริมาณฟอสฟอรัสลดลงตามความลึกดิน ทั้งสองชุดดินมีการชะล้างเล็กน้อยที่ความลึก 20-60 ซม. และเคลื่อนที่ลงมาสะสมที่ความลึก 60-90 ซม. ในการศึกษาครั้งนี้เป็นการจำลองการเคลื่อนที่ของฟอสฟอรัสในแท่งดินของดินทราย เพื่อหาสมการพื้นฐานที่ได้จากชุดดินศึกษาในห้องปฏิบัติการ

ABSTRACT

Northeast Thailand is typically located in undulating terrain. Filed crops are grown as monoculture in a continuous fashion as they have been cultivated for many years. This has caused land degradation. A high fertilizer rate has been used to maintain acceptable yields. And soils in Northeast Thailand mostly are sandy and coarse in texture, low in plant nutrient contents due to leaching, especially phosphorus. The studies were consisted of phosphorus movement through unsaturated zone in soil columns. Soil samples from Nam Phong soil series (Ng: Grossarenic Haplustalfs) and Ban Phai soil

*นักศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

**รองศาสตราจารย์ ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

***รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

series (Bpi: Arenic Paleustalfs) were packed into a plastic tube 120-cm-long as soil column with inner diameter of 7.5 cm at bulk density of 1,640 and 1,617 Mg/m³. Phosphorus fertilizer (0-46-0) was applied to the top of soil columns at the rate of 187.5 kg ha⁻¹. Soil samples were collected at each 10 - cm-long to analyze total phosphorus (TP) in soils. Simulation of phosphorus movement in soil column can be calculated from linear equation $y = ax + b$. Correlation between soil depth (x) and TP (y) at 7, 14, 21 and 28 days in Bpi has higher correlation than Ng. The study showed that, trend of TP concentration decreased with soil depth in both sandy soils, while in lower layer depths (20-60 cm), the Total phosphorus concentration decreased indicating little leaching. TP was leached from the top soil and accumulated in the depth of 60-90 cm depths. The simulation of P movement in soil columns from this study was basically empirical equation derived from laboratory experimental data.

คำสำคัญ : ฟอสฟอรัส ดินทราย ดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ

Key Words: Phosphorus, Sandy soils, Unsaturated soil

บทนำ

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดประมาณ 106 ล้านไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2541) ส่วนใหญ่มีสภาพพื้นที่เป็นลูกคลื่นลอนลาด (undulating terrain) บางแห่งเป็นเนินเขา (hilly area) และที่ราบลุ่ม (flood plain) (Moormann et al., 1964 อ้างโดย เพิ่มพูน, 2527) ประชากรส่วนใหญ่มีอาชีพเกษตรกรรม พื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือได้มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินเป็นอย่างมาก ป่าไม้ได้ถูกแผ้วถางเพื่อทำการปลูกพืชไร่อย่างต่อเนื่องมาเป็นเวลาหลายปี มีผลทำให้ดินไร่มีความอุดมสมบูรณ์ลดต่ำลง ดังนั้นการปลูกพืชไร่จำเป็นต้องใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราที่เพิ่มขึ้นทุกปี (วิทยา วิชัย และ สมภพ, 2548) ประกอบกับดินเป็นดินเนื้อหยาบ มีความสามารถในการอุ้มน้ำของดินต่ำ มีการระบายน้ำและถ่ายเทอากาศดี เมื่อเกษตรกรมีการใส่ปุ๋ยเคมีในรูปธาตุอาหารหลัก (N, P, K) เพื่อเพิ่มธาตุอาหารให้แก่ดิน ธาตุอาหารพืชจะเคลื่อนที่จากบริเวณผิวหน้าดินบริเวณที่มีการใส่ปุ๋ยลงสู่บริเวณเขตชั้นรากพืชโดยมีน้ำเป็นตัวกลาง (medium) ในการเคลื่อนที่ และบางครั้งธาตุอาหารจะเคลื่อนที่ไปจนพ้นเขตรากพืช (root zone)

ถ้ามีปริมาณน้ำมากพอจะเกิดการเคลื่อนที่ของน้ำภายในหน้าตัดดินจากการซาบซึมลึก (deep percolation) และไปสะสมบริเวณระดับน้ำใต้ดิน (Trelo-ges and Sriboonlue, 2001) การเคลื่อนที่ของน้ำในดินโดยเฉพาะอย่างยิ่งในดินไร่เนื้อหยาบที่ใช้ทำการเกษตรเป็นส่วนใหญ่อยู่ในสภาพที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ ซึ่งเป็นกระบวนการเคลื่อนที่ที่ซับซ้อนและยุ่งยากในการคำนวณเพื่อจำลองและทำนายการเคลื่อนที่ของสารถูกละลาย ทั้งนี้เนื่องจากขณะที่น้ำมีการเคลื่อนที่ลงไปในหน้าตัดดินนั้น จะมีการเปลี่ยนแปลงรูปของพลังงานศักย์ของน้ำในดินทั้งหมด (total soil water potential) ปริมาณความชื้นในดิน (moisture content) และสัมประสิทธิ์การนำน้ำของดิน (hydraulic conductivity) เกิดขึ้นพร้อม ๆ กันตลอดเวลา นอกจากนี้ยังมีปรากฏการณ์ไม่ซ้ำรอย (hysteresis phenomena) เข้ามาเกี่ยวข้องอีกด้วย (Guymon, 1994; Hillel, 1998) ดังนั้นการใช้สูตรในการคำนวณการเคลื่อนที่ของสารถูกละลาย (solute movement) จึงทำได้โดยอาศัยการวิเคราะห์เชิงคณิตศาสตร์

การคำนวณเพื่อจำลองและทำนายการเคลื่อนที่ของสารถูกละลายในชั้นดินและหินในปัจจุบันมีความสำคัญมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งใน 3 สาขาวิชาดังนี้ 1) การเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนในดิน 2) การเกิดและการแพร่กระจายดินเค็มและ 3) การสูญเสียความอุดมสมบูรณ์ธาตุอาหารพืช (อาทิพย์, 2545) โดยเฉพาะอย่างยิ่งธาตุฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่สามารถถูกตรึงได้ง่ายในดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งดินเนื้อละเอียด จึงทำให้ธาตุฟอสฟอรัสเคลื่อนที่ได้น้อยในดินเนื้อละเอียด ในทางตรงกันข้ามในดินเนื้อหยาบธาตุฟอสฟอรัสถูกตรึงได้ยากจึงทำให้ฟอสฟอรัสเคลื่อนที่ได้ดีในดินเนื้อหยาบจากบริเวณผิวดินที่ได้รับการใส่ปุ๋ย โดยมีน้ำเป็นตัวกลาง (medium) ในรูปของสารละลาย (solution) การเคลื่อนที่ประกอบด้วยกระบวนการ 3 ประเภท คือ กระบวนการพา, กระบวนการแพร่ และกระบวนการกระจาย (advection, diffusion and dispersion processes) (Tunney Karen and Isabelle, 1997) ในสภาพธรรมชาติ อาจไม่สามารถประเมินได้ว่าธาตุอาหารที่ใส่ลงไปโดยเฉพาะฟอสฟอรัสในดินนั้นจะลงสู่ดินที่ระดับความลึกเท่าใดและปริมาณธาตุฟอสฟอรัสที่ลงสู่ดินนั้นมีมากน้อยเพียงใด ทั้งนี้เพราะมีปัจจัยที่ทำให้เกิดการสูญเสียธาตุอาหารจากการไหลบ่า (runoff) ของน้ำและขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางกายภาพของดิน (soil physical properties) ชนิดนั้น ๆ เช่น ความหนาแน่นรวม (bulk density) ความพรุนของดิน (porosity) โครงสร้างของดิน (soil structure) เนื้อดิน (soil texture) และปริมาณน้ำฝนที่ตกในแต่ละปี (annual rainfall) (วิทยา วิชัย และ สมภพ, 2548)

การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาการเคลื่อนที่ของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (unsaturated soil) เมื่อได้รับปุ๋ยเคมีของชุดดินทราย ในการจำลองสภาพแท่งดิน (soil column) ภายในห้องปฏิบัติการ ศึกษาการเคลื่อนที่ของฟอสฟอรัสในรางน้ำในห้องปฏิบัติการที่สามารถควบคุมระยะเวลาได้

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาการเคลื่อนที่ของฟอสฟอรัสในสภาพแท่งดินทราย โดยการไหลในแนวตั้งแบบไม่อิ่มตัวด้วยน้ำในห้องปฏิบัติการ

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

วิธีการศึกษาประกอบด้วยการทดลองของการเคลื่อนที่ของฟอสฟอรัสในดินทราย โดยแบ่งการทดลองเป็น 2 ส่วน ในห้องปฏิบัติการ คือ 1) การหาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินเบื้องต้น 2) การศึกษาการเคลื่อนที่ของฟอสฟอรัสในแนวตั้งในสภาพแท่งดิน หาค่าความชื้นกับปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดิน เพื่อนำไปสู่วิธีหาค่าปัจจัยที่ใช้ในการสร้างสมการเชิงคณิตศาสตร์ของการเคลื่อนที่ของฟอสฟอรัสได้

การเลือกพื้นที่

เลือกพื้นที่ดินทรายจากแผนที่ดิน (soil series map) ระดับจังหวัดมาตราส่วน 1:100,000 ของสำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 5 จังหวัดขอนแก่น โดยพื้นที่ที่มีความลาดชัน 2-5% ชุดดินทรายที่ใช้ในการทดลอง 2 ชุดดิน คือ ชุดดินน้ำพอง และชุดดินบ้านไผ่ การใช้ที่ดินเพื่อปลูกอ้อยและมันสำปะหลัง เก็บตัวอย่างดินด้วยกระบอกโลหะ (soil core) แบบไม่ทำลายโครงสร้าง (undisturbed soil) ที่ความลึก 0-15 ซม. และ 15-30 ซม. เพื่อนำมาคำนวณหาค่าความหนาแน่นรวม (bulk density) ของดินในภาคสนามในสภาพธรรมชาติ ทั้ง 2 ชุดดิน และนำดินที่เก็บมาแบบทำลายโครงสร้าง (disturbed soil) ที่ความลึก 0 - 30 ซม. ผึ่งให้แห้งในที่ร่ม ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร เพื่อรอการบรรจุลงแท่งดิน

เตรียมท่อพีวีซีที่ใช้บรรจุตัวอย่างดิน

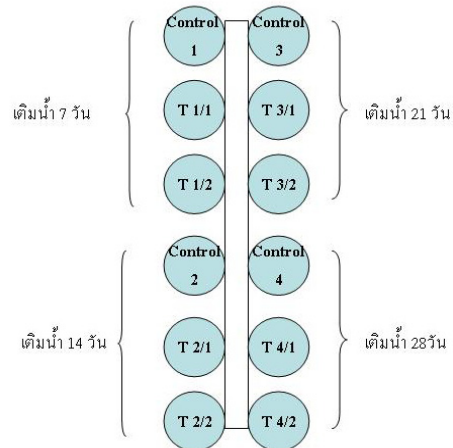
สำหรับท่อที่ใช้จำลองสภาพการเคลื่อนที่ของฟอสฟอรัสในแบบ 1 มิติ (one dimension) โดยใช้ท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 7.5 ซม. ที่มีความยาว 130 ซม. จำนวน 12 ท่อ (สำหรับ

ตัวอย่างดินที่เติมน้ำระยะเวลา 7, 14, 21 และ 28 วัน ทำการทดลอง 2 ซ้ำ) จากนั้นใช้เลื่อยผ่าท่อนตามยาวออกเป็น 2 ซีกเท่า ๆ กัน พร้อมทั้งทำเครื่องหมายประจำคู่ของแต่ละท่อนครบทุกท่อน จากนั้นนำฝาคกรอบปลายท่อนพีวีซีมาเจาะรูที่ด้านล่างให้ทั่วด้วยสว่าน แล้วนำท่อที่ผ่าซีกไว้และฝามาล้างทำความสะอาดและเช็ดให้แห้ง ต่อก็นำผ้าขาวบางที่สะอาดมาตัดเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 5 ซม. จำนวนสองแผ่น วางซ้อนกันไว้ภายในของฝาคกรอบเพื่อป้องกันดินไหลออกขณะบรรจุดิน แล้วนำท่อที่ผ่าครึ่งซีกไว้มาประกบและพันด้วยเทปกาวโดยรอบรัศมีที่ด้านหัว กลาง และปลายท่อน พีวีซี แล้วติดด้วยเทปกาวตามยาวของรอยต่อท่อนทั้งสองด้าน จากนั้นสวมท่อพีวีซีผ่าซีกและประกบกันไว้เข้ากับฝาคกรอบ นำวงแหวนสำหรับรัดท่อนกลมมาสวมและขันน็อตรัดให้แน่น ซึ่งต้องใช้จำนวนตั้งแต่ 2-5 อัน ตามแต่ขนาดความยาวของท่อน (130 ซม.) แล้วปิดปลายล่างของท่อนด้วยฝาคกรอบ แล้ววางเรียงกันไว้เพื่อจะนำสู่ขั้นตอนการบรรจุดิน

การบรรจุตัวอย่างดินลงในท่อน

ทำการทดลองบรรจุดินลงในท่อนพลาสติกเส้นผ่าศูนย์กลาง 7.5 ซม. ยาวประมาณ 130 ซม. เพื่อหาหน่วยน้ำหนักต่อความยาวของตัวอย่างดินทดสอบที่จะใช้บรรจุจริง ที่เท่ากับน้ำหนักดิน 1 ไร่ นำท่อพลาสติกที่เตรียมไว้ดังกล่าวไปชั่งน้ำหนักและจดบันทึกไว้ จากนั้นค่อย ๆ เทดินที่เตรียมไว้ลงในท่อพลาสติกทีละน้อย ๆ เมื่อบรรจุจนได้ความสูงประมาณ 120 ซม. จะทำการวัดความยาวของการบรรจุและจดบันทึกไว้ จากนั้นจะนำไปชั่งเพื่อหาน้ำหนักดินและท่อพลาสติก และเมื่อนำไปลบกับน้ำหนักท่อพลาสติกก็จะได้น้ำหนักดิน เมื่อนำไปหารด้วยความยาวการบรรจุ จะได้น้ำหนักของดินตัวอย่างต่อหน่วยความยาวที่จะใช้บรรจุจริง จดบันทึกค่าดังกล่าวไว้และนำไปคำนวณหาน้ำหนักดินที่จะใช้บรรจุในแต่ละท่อน จากนั้นจะทำการบรรจุดินลงในท่อพลาสติก เสร็จแล้วจึงปิดปลายบนของท่อนไว้

ด้วยผ้าขาวบางเพื่อป้องกันการระเหย ซึ่งท่อนที่บรรจุดินจะเรียกว่า แท่งดิน (soil column) (ภาพที่ 1) และคำนวณค่าความหนาแน่นรวมของดินในแต่ละท่อนเนื่องจากดินที่บรรจุลงไป เป็นดินที่โครงสร้างถูกทำลาย



ภาพที่ 1 การติดตั้งการทดลองการเคลื่อนที่ของฟอสฟอรัสในสภาพแท่งดิน

การใส่แม่ปุ๋ยฟอสเฟต (0-46-0)

การใส่ปุ๋ยลงในการทดลองในสภาพแท่งดิน ใช้ปริมาณปุ๋ยตามที่กรมพัฒนาที่ดินได้แนะนำไว้สำหรับดินทรายเนื้อหยาบสำหรับปลูกพืชเศรษฐกิจ อัตรา 30 กก./ไร่ (187.50 กก./เฮกตาร์) บดให้ละเอียดแล้วร่อนผ่านตะแกรง 2 มม. ใส่บนผิวดินในแท่งดิน

การเติมน้ำแท่งดิน

ปริมาณน้ำที่นำมาเติมในแท่งดินคำนวณจากปริมาณน้ำฝนรายปีในช่วงคาบ 53 ปี แสดงเป็นค่าเฉลี่ยรายเดือน ค่าการคายระเหยจากผิวดิน (Pan Evapotranspiration) ค่าศักยภาพการคายระเหย (Potential Evapotranspiration : PET), ค่าการคายระเหยจริง (Actual Evapotranspiration : AET), ค่าการไหลบ่าของน้ำ (Runoff), ค่าสัมประสิทธิ์การไหลบ่าของน้ำ (Runoff Coefficient) การกักเก็บสะสมความชื้นไว้ในดิน (Accumulative soil moisture)

และความสามารถในการกักเก็บความชื้นสูงสุดของดิน (Maximum soil moisture storage capacity : Smax) เพื่อให้ได้ปริมาณน้ำจริงที่เข้าสู่ดินที่ใช้ในการเติมน้ำในแต่ละท่อของชุดดินน้ำพอง และชุดดินบ้านไผ่ ที่นำมาทดลองเท่ากับ 602 และ 639.23 มม. ตามลำดับ ใช้จำนวนวันที่ทำการทดลอง 7, 14, 21 และ 28 วัน มาหาร จะได้ค่าที่นำไปคูณกับพื้นที่รับน้ำของท่อที่เป็นทรงกระบอกจะได้ปริมาณน้ำที่เติมในแต่ละท่อของทั้ง 2 ชุดดิน

การเก็บตัวอย่างดินและการวิเคราะห์ทางเคมี ตัวอย่างดินแยกเก็บเป็น 2 ส่วน คือส่วนที่ 1 เก็บดินที่ช่วงละ 10 ซม. ตลอดความยาวของแท่งดิน เพื่อหาความชื้น ส่วนที่ 2 เก็บเพื่อวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่เคลื่อนที่ไปกับน้ำที่ระยะทางทุก ๆ 10 ซม. ชั่งดินที่ผึ่งให้แห้งในที่ร่ม และร่อนผ่านตะแกรง 2 มม.หนัก 2 กรัม ทำการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดโดยวิธี digestion and spectrophotometer (Olsen and Sommers, 1982) ด้วยการย่อยด้วยกรดเปอร์คลอริก (HClO_4) และกรดไนตริกเข้มข้น (conc. HNO_3) ในอัตราส่วน 2:1 แล้วย่อยบนเตาที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมงทิ้งไว้ให้เย็น กรองแล้วปรับปริมาตรเป็น 50 มล. ด้วยน้ำกลั่น ดูดสารตัวอย่าง 1 มล. เติมน้ำยาพัฒนาสีที่ประกอบด้วย Murphy reagent: boric acid: ascorbic acid ที่อัตราส่วน 5:2:1 มล. ตามลำดับ จนเกิดเป็นสีน้ำเงิน ทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer เพื่อให้ได้ค่าที่จะนำมาใช้คำนวณหาปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินจากกราฟมาตรฐาน

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของข้อมูล (Analysis of variance) ตามแผนการทดลอง Completely Randomized Design (CRD) และเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยในตำรับทดลองโดยใช้วิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ตามโปรแกรม MSTAT - C และโปรแกรม Stat 8

version 8.1 การศึกษา Regression ระหว่างความชื้นในดินกับปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด เพื่อใช้สำหรับอธิบายผลการทดลองที่เป็นแบบจำลองเบื้องต้นเพื่อนำไปสู่การวิเคราะห์ผล อภิปรายผล และสรุปผลการทดลอง

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน พบว่า ทั้งสองชุดดินมีเนื้อดินเป็นทรายปนดินร่วน (loamy sand) และปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินมีในปริมาณที่ต่ำ แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีเบื้องต้นของดินทราย

คุณสมบัติ	ชุดดิน	
	น้ำพอง	บ้านไผ่
คุณสมบัติทางกายภาพของดิน		
- texture ^{1/}		
% sand	90	85
% silt	7.3	9.8
% clay	2.7	5.2
Textural Class	loamy sand	loamy sand
- bulk density ^{2/} (Mg/m ³)	1.640	1.675
- particle density ^{3/} (Mg/m ³)	2.53	2.40
- porosity (%)	0.36	0.31
- FC ^{4/} (%)	15.26	18.96
- particle size distribution, D ₅₀ (mm.) ^{5/}	0.22	0.19
- uniformity, D ₆₀ /D ₁₀ ^{6/}	2.74	2.71
คุณสมบัติทางเคมีของดิน		
- pH ^{7/} (1:2.5)	4.33	5.35
- TP ^{8/} (ppm)	16.34	82.87

^{1/}hydrometer method, ^{2/} soil core method, ^{3/} pycnometer method,

^{4/} pressure membrane, ^{5/} sieve analysis, ^{6/} particle size distribution

curve, ^{7/} pH-meter and ^{8/} digestion and spectro-photometer

ผลการศึกษาการเคลื่อนที่ของฟอสฟอรัสในสภาพ แห้งดินในการไหลแบบไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ

1. ความชื้นและปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด ในดิน

จากการทดลองการเคลื่อนที่ของฟอสฟอรัสใน soil column แล้วทำการวัดความชื้นและปริมาณฟอสฟอรัสที่ทุก ๆ ระยะ 10 ซม. ที่ได้รับน้ำติดต่อกัน 7, 14, 21 และ 28 วัน ในดินจากทั้ง 2 ชุดดินสามารถแสดงในรูปของค่าความชื้นและปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินที่ความลึก และที่เวลาต่างๆ (ภาพที่ 2 และ 3) ซึ่งจากการสังเกตความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสและความชื้นของดินใน soil column พบว่าทุกแห่งดินทดลองปริมาณความชื้นในดินจะเพิ่มขึ้นอยู่ระหว่าง 6.7 - 18.8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักดิน ตามระดับความลึกที่เพิ่มขึ้น แต่ที่ตำแหน่งใด ๆ เมื่อเวลาผ่านไปช่วงเวลาหนึ่งปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดิน ณ ตำแหน่งนั้นไม่ได้เพิ่มขึ้นตามเวลาหรือความชื้นที่เพิ่มขึ้นตามระดับความลึก แต่มีเคลื่อนที่ลงไปในพื้นที่ลึกกว่าและสะสมในชั้นดินอยู่ที่ช่วงความลึก 60 - 80 เซนติเมตร ซึ่งสอดคล้องกับ Johnston (1989) ซึ่งพบว่าการเคลื่อนที่ของฟอสฟอรัสอยู่ในรูปของสารถูกละลาย มีการสะสมของฟอสฟอรัสที่เคลื่อนที่ลงมาในชั้นดินล่าง (subsoils) ที่ระดับความลึก 46 ซม. ลงไป และพบว่า ในดินทราย 7 % ของปุ๋ยฟอสเฟต (phosphate) ที่ใส่ในรูปของปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟต (super phosphate) สามารถเคลื่อนที่ค้างอยู่บริเวณผิวหน้าดิน (15 ซม.) หลังจากใส่ปุ๋ย 8 ปี (Mattingly, 1970) เนื่องจากว่าในสภาพธรรมชาติดินมีโครงสร้างที่สลับซับซ้อนและเป็นการยากที่จะทำการบรรจุดินลงในท่อให้อยู่ในสภาพที่สม่ำเสมอเท่ากันตลอดความยาวของ soil column ได้ แต่ในภาพรวมที่ตำแหน่งเดียวกันทั้งความชื้นและปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นและสะสมที่ตำแหน่งเดียวกัน ซึ่งลักษณะการเคลื่อนที่ของฟอสฟอรัสในดินแต่ละชุดดินเป็นดังนี้

1.1) ชุดดินน้ำพอง (Grossarenic Haplustalfs) เมื่อมีการเติมน้ำ 86, 43, 29 และ 22 มม. ติดต่อกัน 7, 14, 21 และ 28 วัน ตามลำดับความชื้นโดยปริมาตรต่อน้ำหนักของดินเริ่มต้นประมาณ 8 - 20.2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักดิน ดินมีความชื้นพอสมควร จากการวัดความชื้นในดินทุกความลึก 10 ซม. พบว่า บริเวณที่มีปริมาณความชื้นในดินสูง คือ ช่วงความลึก 100 - 120 ซม. มีค่าสูงสุดที่ระดับติดกับระดับของชั้นรองรับน้ำ มีค่าระหว่าง 14 - 20.2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักดิน และการเคลื่อนที่ของฟอสฟอรัสที่เคลื่อนที่ลงไป ในดินเมื่อมีการเติมน้ำติดต่อกัน 7, 14, 21 และ 28 วัน ตามลำดับ พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินมีปริมาณสูงขึ้นจากชุดควบคุมที่ผิวหน้าดิน (20 ซม.) ของทุกลำรับการทดลอง และปริมาณฟอสฟอรัสเริ่มลดลงที่ช่วงความลึก 20-30 ซม. ในลำดับที่เติมน้ำติดต่อกัน 7 และ 14 วัน เนื่องจากปริมาณน้ำที่เติมมีปริมาณมาก ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของฟอสฟอรัสสูงและมีการสะสมปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ช่วงระดับความลึก 60-70 ซม. ที่ 7 วัน มีการสะสมปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดมากที่สุดเท่ากับ 1,203 ppm ที่ 14 วัน มีการสะสมปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดมากที่สุดเท่ากับ 1,061 ppm ที่ช่วงความลึก 100-110 ซม. และ ที่ 21 วัน มีการสะสมปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดมากที่สุดเท่ากับ 1,130 ppm ที่ช่วงความลึก 80-90 ซม. ที่ 28 วัน มีการสะสมปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดมากที่สุดเท่ากับ 1,201 ppm ที่ระดับความลึก 60-70 ซม. เมื่อเปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสกับระดับความลึกอื่น ๆ มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ความเชื่อมั่น 99 % (ตารางที่ 2)

1.2) ชุดดินบ้านไผ่ (Arenic Paleustalfs) เมื่อมีการเติมน้ำ 91, 46, 30 และ 23 มม. ติดต่อกันเป็นเวลา 7, 14, 21 และ 28 วัน ตามลำดับจากการศึกษาพบว่า ความชื้นโดยปริมาตรต่อน้ำหนักของดินเริ่มต้น ประมาณ 8 - 18.3 เปอร์เซ็นต์โดย

น้ำหนักรากดิน ดินมีความชื้นพอสมควร จากการวัดความชื้นในดินทุก ๆ ระยะ 10 ซม. พบว่า บริเวณที่มีปริมาณความชื้นในดินสูง แบ่งได้เป็น 2 ช่วง คือ ช่วงความลึกที่ 60 – 80 ซม. มีค่าความชื้นของดินประมาณ 14 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักดิน และช่วงความลึก 100 – 120 ซม. มีค่าสูงสุดที่ระดับติดกับระดับของชั้นรองรับน้ำ มีค่าระหว่าง 14 – 20.2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักดิน และการเคลื่อนของฟอสฟอรัสที่เคลื่อนที่ลงในชั้นดินที่ต่ำกว่า เมื่อได้รับน้ำตามระยะเวลาต่าง ๆ พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินมีปริมาณสูงขึ้นจากชุดควบคุมที่ผิวหน้าดิน (20 ซม.) ของทุกตำรับการทดลอง และปริมาณฟอสฟอรัสเริ่มลดลงในช่วงความลึก 30-40 ซม. ในตำรับที่เติมน้ำติดต่อกัน 7 และ 14 วัน เนื่องจากปริมาณน้ำที่ได้รับมีปริมาณมากทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของฟอสฟอรัสสูงและมีการสะสมปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในช่วงระดับความลึก 60-70 ซม. ในตำรับที่ได้รับน้ำติดต่อกัน 7, 14 และ 21 วัน มีปริมาณฟอสฟอรัส 1,638-1,796 ppm เมื่อเปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสกับระดับความลึกอื่นๆ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 99 % แต่ในตำรับที่ได้รับน้ำ 28 วัน ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดตลอดความยาวแห่งดินมีความสม่ำเสมอ (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 2 สหสัมพันธ์ของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินต่อระยะทางทุก 10 ซม. ของชุดดินน้ำพองในสภาพแห้งดิน

depth (cm)	Total phosphorus (ppm)			
	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
0-10	726.7 i	823.3 ef	871.3 d	839 ef
10-20	783.3 h	836 de	826.3 e	878.7 c
20-30	713.7 i	836 de	804 ef	857.3 cde
30-40	772 h	781 g	782.3 f	847 def
40-50	793.3 h	863 d	807 ef	872.3 c
50-60	818 g	923 c	815.7 ef	1,142 b
60-70	1,203 a	956 b	952.7 c	1,201 a
70-80	1,148 b	952 bc	1,059 b	1,147 b
80-90	1,048 d	794 fg	1,130 a	876 c
90-100	947.7 f	765.3 g	1,075 b	860.7 cd
100-110	996 e	1,061 a	1,061 b	839 ef
110-120	1,072 c	925 bc	1,057 b	845.7 def
F-test	**	**	**	**
CV (%)	1.38	1.49	1.62	0.92

** Means with the same letters a, b, are significantly different at p = 0.01 by DMR method.

ตารางที่ 3 สหสัมพันธ์ของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินต่อระยะทางทุก 10 ซม. ของชุดดินบ้านไผ่ในสภาพแห้งดิน

ความลึก (cm)	Total phosphorus (ppm)			
	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
0-10	1491 f	1498 e	1551 f	1904 a
10-20	1460 g	1502 e	1609 e	1940 a
20-30	1455 g	1403 f	1620 e	1870 a
30-40	1464 g	1511 de	1574 f	1881 a
40-50	1540 e	1537 cd	1678 d	1923 a
50-60	1584 d	1545 c	1753 b	1937 a
60-70	1638 a	1706 a	1796 a	1966 a
70-80	1626 ab	1714 a	1735 bc	1838 a
80-90	1614 bc	1608 b	1704 cd	1709 b
90-100	1601 c	1631 b	1727 bc	1851 a
100-110	1612 bc	1603 b	1756 b	1881 a
110-120	1621 b	1631 b	1749 b	1900 a
F-test	**	**	**	**
CV (%)	0.41	0.89	0.83	2.7

** Means with the same letters a, b, are significantly different at $p = 0.01$ by DMRT method.

จากการศึกษาการเคลื่อนที่ของฟอสฟอรัสในสภาพแห้งดิน สรุปได้ว่า ทั้ง 2 ชุดดิน ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินลดลงตามความลึกของดิน ปริมาณฟอสฟอรัสตั้งต้นยังคงอยู่ที่ผิวหน้าดิน (top soil) 0-20 ซม. ในขณะที่ชั้นดินที่ลึกลงไป ปริมาณฟอสฟอรัสถูกชะล้างมีปริมาณลดลงเล็กน้อยในช่วงความลึก 20-60 ซม. ช่วงความลึกระหว่าง 60-90 ซม. มีปริมาณฟอสฟอรัสสะสมอยู่ในปริมาณมาก แสดงให้เห็นว่าฟอสฟอรัสมีการเคลื่อนที่โดยการถูกชะล้างและมีการสะสมอยู่ในช่วงดังกล่าว ที่ความลึกต่ำลงมา (90-120 ซม.) ปริมาณฟอสฟอรัสลดลงอย่างมากในชุดดินที่ศึกษาทั้ง

2 ชุดดิน แสดงให้เห็นว่าไม่มีการเคลื่อนที่ของฟอสฟอรัสลงจากชั้นดินด้านบนลงมาในชั้นนี้เลย

ตารางที่ 4 ค่าสหสัมพันธ์และสมการการจำลองการเคลื่อนที่ของฟอสฟอรัสในสภาพแห้งดิน ในการไหลแบบไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ

ชุดดิน	ระยะเวลา (วัน)	สมการ	R ²
น้ำพอง	7	$y = 4.1237x + 7165$	0.4908
	14	$y = 1.4569x + 775.19$	0.4421
	21	$y = 3.2891x + 746.27$	0.6935
	28	$y = 2.6713x + 765.2$	0.4506
บ้านไผ่	7	$y = 2.0435x + 1468.5$	0.7952
	14	$y = 2.0908x + 1347.9$	0.5990
	21	$y = 2.5803x + 1497.1$	0.6023
	28	$y = -1.7991x + 1954$	0.4518

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาทดลอง พบว่า ทุกตำรับการทดลองได้รับปริมาณน้ำปริมาตรต่างๆ ติดต่อกันตามระยะเวลา 7, 14, 21 และ 28 วัน ฟอสฟอรัสมีการเคลื่อนที่ลงไปสะสมอยู่ที่ช่วงความลึกประมาณ 60-90 ซม.เป็นส่วนใหญ่ ในตำรับที่ได้รับปริมาณน้ำมาก ฟอสฟอรัสมีการเคลื่อนที่ลงในชั้นดินที่ลึกและสะสมอยู่มาก เนื่องจากฟอสฟอรัสเคลื่อนที่ได้ดี และถูกดูดซับได้น้อยในดินเนื้อทราย เมื่อมีปริมาณน้ำที่มากอนุภาคดินเหนียวที่มีขนาดเล็กที่มีมากในชุดดินบ้านไผ่ เกิดการเคลื่อนที่ลงในหน้าตัดดินได้เร็ว แล้วไปสะสมในชั้นดินที่ลึกกว่าชั้นรากพืช และมีการดูดซับฟอสฟอรัส ทำให้ค่าสหสัมพันธ์ (R²) ในชุดดินบ้านไผ่สูงกว่าชุดดินน้ำพอง

จากการศึกษาทดลองครั้งนี้ พบว่า การศึกษาการเคลื่อนที่ของฟอสฟอรัสค่าที่ได้ออกมาก็มีค่าเป็นไปในลักษณะเดียวกับผลการศึกษาคือ อาจมีค่าเบี่ยงเบนสูงมากซึ่งเป็นปกติ เนื่องจาก

ค่าพารามิเตอร์ของดินไม่มื้อมั่วก่อนข้างมีความแปรปรวนมากจึงทำให้ยากต่อการคำนวณ ซึ่งสมการที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้เป็นเพียงการจำลองการเคลื่อนที่พื้นฐานสำหรับชุดดินที่ใช้ศึกษาเท่านั้น

ข้อเสนอแนะ

1. การศึกษาครั้งนี้ทำเฉพาะดินที่ศึกษาเท่านั้น อาจจะเป็นประโยชน์ต่อการนำไปใช้กับชุดดินอื่นๆ และ ธาตุอาหารอื่นได้

2. ควรมีการศึกษาการเคลื่อนที่ของฟอสฟอรัสในภาคสนามเพื่อนำค่าที่ได้มาปรับแก้เพื่อให้ได้สมการที่ถูกต้องสามารถนำไปใช้ได้กับชุดดินอื่น เพราะการศึกษาครั้งนี้เป็นการจำลองเหตุการณ์เพื่อดูแนวโน้มของการเคลื่อนที่ฟอสฟอรัสทั้งแนวดิ่งในการทดลองในห้องปฏิบัติการเท่านั้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่สนับสนุนงบประมาณในการดำเนินการทดลองครั้งนี้ผ่านทางทุนอุดหนุนและสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์การศึกษา 2550

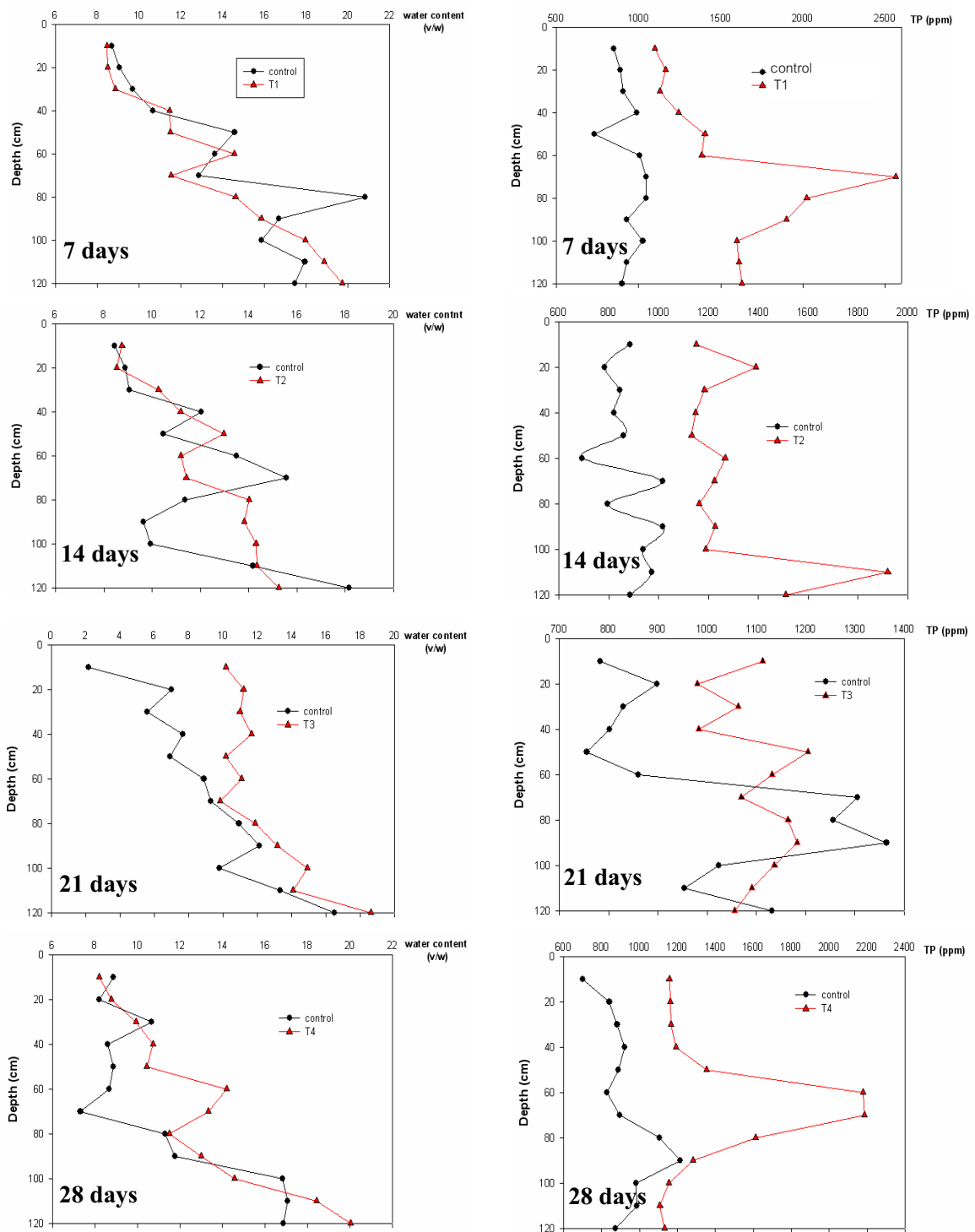
เอกสารอ้างอิง

- วิทยา ตรีโลเกศ วิชัย ศรีบุญลือ และ สมภพ จรรย์ทรัพย์. 2548. การเคลื่อนที่ของธาตุอาหารพืชในดินไร้ภายใต้สภาพที่ไม่มื้อมั่วด้วยน้ำ. รายงานการวิจัย ภาควิชาทรัพยากรที่ดินและสิ่งแวดล้อม สาขาวิชาปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- เพิ่มพูน กิรติกสิกร. 2527. ดินภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. ภาควิชาปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2541. สถิติการเกษตรของประเทศไทยปีการเพาะปลูก 2540/2541. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

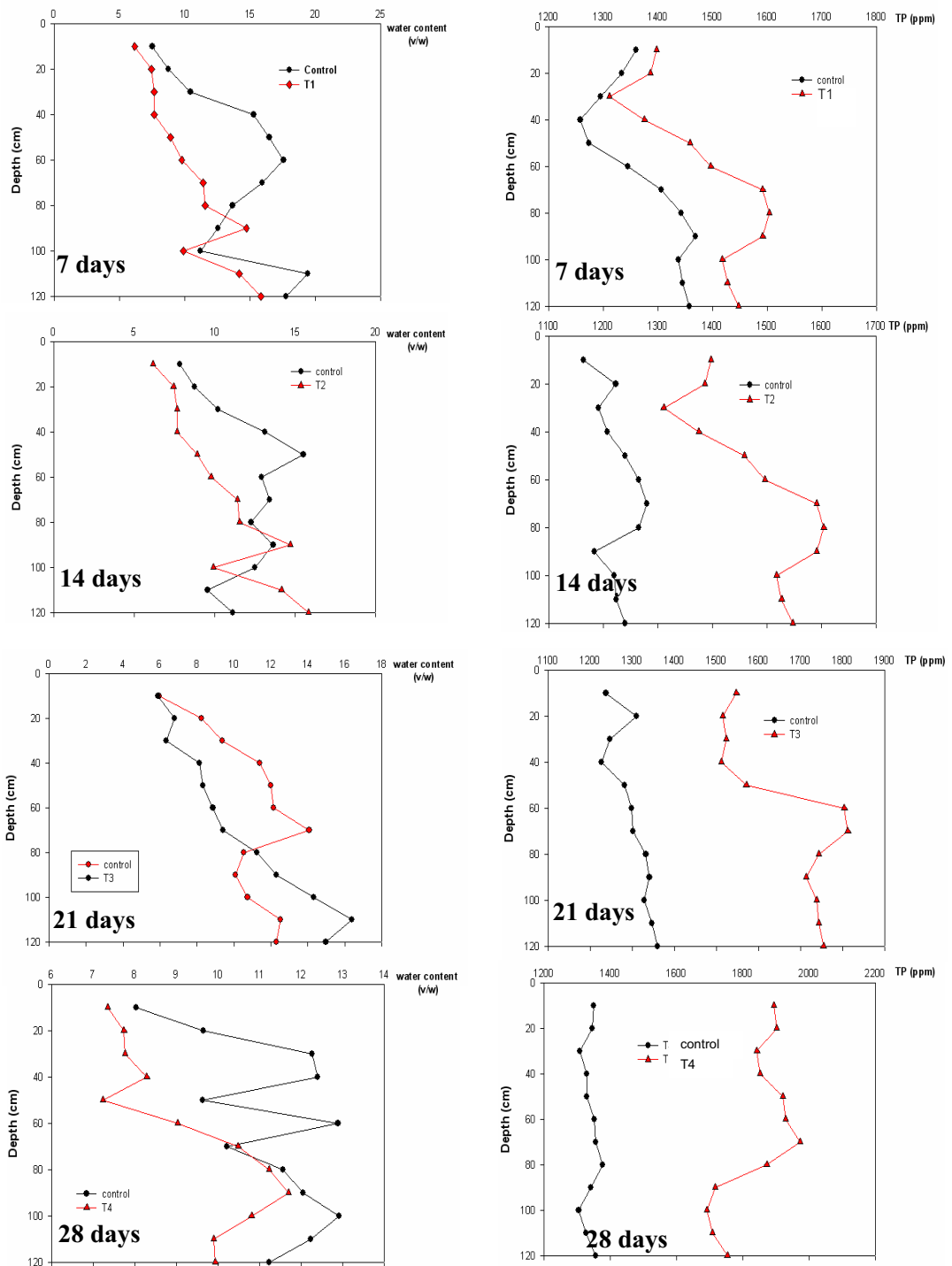
อาทิพย์ ฉลองจันทร์. 2545. การหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่-การกระจายและค่าตัวประกอบความหน่วงของการเคลื่อนที่ของสารละลายเกลือผ่านดิน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

- Guymon, GL. 1994. Unsaturated zone hydrology. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall.
- Hillel, D. 1998. Environmental soil physics. San Diego: Academic Press.
- Johnston, AE. 1989. Phosphorus cycling in intensive arable agriculture. In H. Tiessen (ed.), Phosphorus cycles in terrestrial and aquatic ecosystems. Proceedings of a workshop arranged by the scientific committee on problems of environment (SCOPE), and United Nations Environment Programme (UNEP) organized by the Department of Agrobiological and forestry of the Polish Academy of Science. Saskatchewan Institute of Pedology University of Saskatchewan, Canada. Pp. 123-136.
- Mattingly, GEG. 1970. Residual value of basic slag, Gafsa rock phosphate and super phosphate in sandy podzol. J. Agri. Sci., Cambridge 75: 413-418.
- Olsen, SR., and Sommers, LE. 1982. Phosphorus. In: Methods of Soil Analysis. Part 2: Chemical and Microbiological Properties. A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney (Eds). Madison, Wisconsin: American Society of Agronomy, 403-427.

- Tunney, H., Karen, D., and Isabelle, K. 1997. Phosphorus loss from grassland soils to water. Symposium no. 14, Presentation: poster. Teagasc, Johnstown Castle Research Centre, Wexford, Ireland.
- Sriboonlue, V., and Trelo-ges, V. 2001. "Soil modeling the" In Regeneration ecology and Management for degraded landscapes and forest eco-system. Multiple Cropping Centre, Chiang Mai University, Thailand.



ภาพที่ 2 กราฟเฉลี่ยเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของความชื้น (น้ำ) และปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดต่อระยะทาง ที่
ระยะเวลา 7, 14, 21 และ 28 วันตามลำดับ ของชุดดินน้ำพอง (ขวา)



ภาพที่ 3 กราฟเฉลี่ยเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของความชื้น (ซ้าย) และปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดต่อระยะทาง ที่ระยะเวลา 7, 14, 21 และ 28 วันตามลำดับ ของชุดดินบ้านไผ่ (ขาว)