

## บทนำ

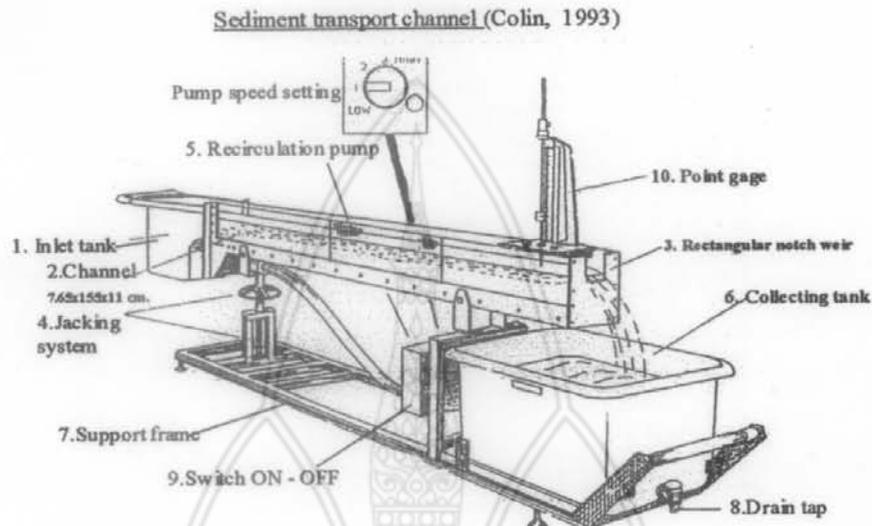
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีเนื้อที่กว้างขวาง มีสภาพพื้นที่เป็นลูกคลื่นลอนลาด (undulating terrain) แต่บางแห่งเป็นเนินเขา (hilly area) หรือที่ราบลุ่ม (flood plain) Moormann et al. (1964 อ้างโดย เพิ่มพูน, 2527) ประชากรส่วนใหญ่มีอาชีพเกษตรกรรม พื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือได้มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินเป็นอย่างมาก ป่าไม้ได้ถูกแผ้วถางเพื่อทำการปลูกพืชไร่อย่างต่อเนื่องกันหลายปี มีผลทำให้ดินไร่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ การปลูกพืชไร่จำเป็นต้องใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราที่เพิ่มขึ้นทุกปี (วิทยาและคณะ, 2548,2549) ประกอบกับดินเป็นดินเนื้อหยาบ มีความสามารถในการอุ้มน้ำของดินต่ำ มีการระเหยน้ำและถ่ายเทอากาศดี เมื่อเกษตรกรมีการใส่ปุ๋ยเคมีในรูปธาตุอาหารหลัก (N, P, K) เพื่อเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน ธาตุอาหารพืชจะเคลื่อนที่จากบริเวณผิวหน้าดินบริเวณที่มีการใส่ปุ๋ยลงสู่บริเวณเขตชั้นรากพืชโดยมีน้ำเป็นตัวกลาง (medium) ในการเคลื่อนที่ และบางครั้งจะเคลื่อนที่ไปจนพ้นเขตรากพืชถ้ามีปริมาณน้ำมากพอและไปสะสมบริเวณระดับน้ำใต้ดิน (Trelo-ges and Sriboonlue, 2001) การเคลื่อนที่ของน้ำในดินโดยเฉพาะอย่างยิ่งดินไร่เนื้อหยาบที่ใช้ทำการเกษตรเป็นส่วนใหญ่อยู่นในสภาพที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ ซึ่งเป็นกระบวนการเคลื่อนที่ที่ซับซ้อนและยุ่งยากในการคำนวณ ทั้งนี้เนื่องจากขณะที่น้ำมีการเคลื่อนที่ลง ไปภายในหน้าตัดดินนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงรูปของพลังงานศักย์รวมของน้ำใต้ดิน (total soil water potential) ปริมาณความชื้นในดินและสัมประสิทธิ์การนำน้ำของดินเกิดขึ้นพร้อมๆ กันตลอดเวลา นอกจากนี้ยังมีปรากฏการณ์ไม่ซ้ารอยเข้ามาเกี่ยวข้องอีกด้วย (Guymon, 1994; Hillel, 1998) ดังนั้นการใช้สูตรในการคำนวณการเคลื่อนที่ของสารละลายจึงทำได้โดยอาศัยการวิเคราะห์เชิงคณิตศาสตร์

ธาตุอาหารพืชโดยเฉพาะอย่างยิ่งธาตุฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่สามารถถูกตรึงได้ง่ายในดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งดินเนื้อละเอียด จึงทำให้ธาตุฟอสฟอรัสเคลื่อนที่ได้น้อยในดินเนื้อละเอียด ในทางตรงกันข้ามในดินเนื้อหยาบธาตุฟอสฟอรัสถูกตรึงได้ยากจึงทำให้ฟอสฟอรัสเคลื่อนที่ได้ดีในดินเนื้อหยาบจากบริเวณผิวดินโดยมีน้ำเป็นตัวพาหะ (medium) ในรูปของสารละลาย (solution) การเคลื่อนที่ประกอบด้วยกระบวนการ 3 ประเภท คือ กระบวนการพา, กระบวนการแพร่และกระบวนการกระจาย (advection, diffusion, and dispersion processes) (Tunney et al., 1997) ในสภาพธรรมชาติเราไม่สามารถประเมินได้ว่าธาตุอาหารที่เราใส่ลงไปโดยเฉพาะฟอสฟอรัสในดินนั้นจะลงสู่ดินที่ระดับความลึกเท่าใดและปริมาณธาตุอาหารที่ลงสู่ดินมากน้อยเพียงใด ทั้งนี้เพราะมีปัจจัยที่ทำให้เกิดการสูญเสียธาตุอาหารจากการไหลบ่า (runoff) ของน้ำและขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพของดิน (soil physical properties) ชนิดนั้นๆ เช่น ความหนาแน่นรวม (bulk density) สภาพความพรุนของดิน (porosity) โครงสร้างของดิน (soil structure) เนื้อดิน (soil texture) และปริมาณน้ำฝนที่ตกในแต่ละปี (annual rainfall) (วิทยาและคณะ, 2548)

## วิธีการทดลอง

### ศึกษาการเคลื่อนที่ของฟอสฟอรัสในรางน้ำเปิด (flume experiment)

ทำการทดลองในรางทดลองในห้องปฏิบัติการ รางทดลองเป็นรางหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม กว้าง  $\times$  สูง เท่ากับ 7.65 ซม.  $\times$  11.00 ซม. ยาว 155.00 ซม. ผนังด้านข้างเป็นพลาสติกใส และพื้นเป็นแผ่นอลูมิเนียม รางสามารถปรับความชันได้ตั้งแต่ 0 ถึง 10%



ภาพที่ 1 รางน้ำเปิด (flume experiment) และส่วนประกอบที่ใช้การทดลองการเคลื่อนที่ของฟอสฟอรัสในสภาพรางน้ำเปิด

การทดลองเริ่มด้วยใส่ดินลงในรางทดลองให้ชั้นดินหนา 50 มม. โดยสม่ำเสมอปรับความชันของรางน้ำที่ระดับความชัน 2, 4 และ 6% ตามลำดับ ทำการใส่แม่ปุ๋ยฟอสฟอรัส (0-46-0) อัตรา 188 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ (30 กก./ไร่) ที่ส่วนบนของรางน้ำให้เท่ากับการใส่ปุ๋ยบนพื้นที่จริง 1 ไร่ แล้วปล่อยให้น้ำปริมาตร 10 ลิตร ไหลผ่านหน้าดินจับเวลา พร้อมทั้งวัดอัตราการไหลของน้ำ จากการเปลี่ยนแปลงของชั้นดินทำให้ทราบความชันของพื้นที่ของน้ำ และเมื่อทราบอัตราการไหลทำให้สามารถหาค่ากำลังการไหล (stream power) ได้ ในขณะที่เดียวกันจากเวลาและการเปลี่ยนแปลงความหนาของชั้นดินก็ทำให้สามารถคำนวณอัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนได้ จากการทดลองในรางน้ำในห้องทดลองได้ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังการไหลและอัตราการเคลื่อนที่ของตะกอน

การเก็บข้อมูล และวิเคราะห์ตัวอย่างดินประกอบด้วย ดังนี้

### 1. ทำการเก็บตัวอย่างดิน

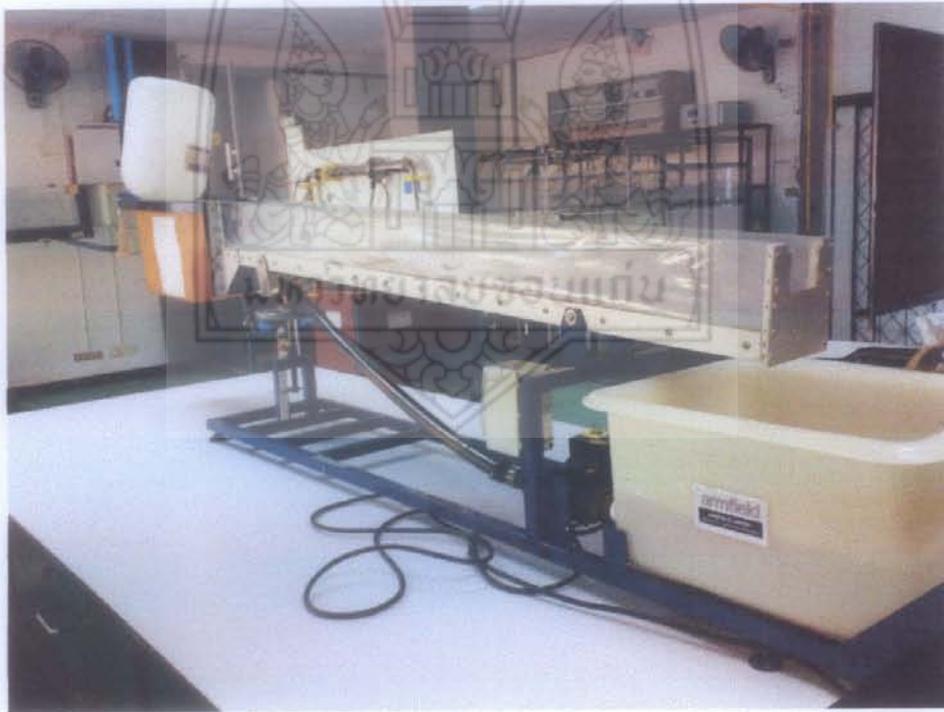
แบ่งเป็น 2 ส่วน คือส่วนที่ 1 เก็บดินที่ช่วงละ 10 ซม. ตลอดความยาวของรางน้ำเพื่อหาความชื้น ส่วนที่ 2 เก็บเพื่อวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่เคลื่อนที่ไปกับน้ำที่ระยะทางต่างๆ

### 2. การเก็บตัวอย่างน้ำและตะกอน

หลังจากที่ทำการทดลองการเคลื่อนที่ของฟอสฟอรัสในแนวระนาบ น้ำที่ไหลผ่านรางน้ำจะมี ตะกอนดินจำนวนหนึ่งอยู่ในถังพักน้ำ ทำการคนให้เกิดการฟุ้งกระจายของตะกอนดินแล้วทำการเก็บ ตัวอย่างน้ำและตะกอนดินกลับมาวิเคราะห์โดยแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ 1) หาปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดใน น้ำทันทีหลังจากเก็บตัวอย่างน้ำ 2) คำนวณหาปริมาณ ตะกอนดินที่เกิดจากการไหลบ่าในรางน้ำ 3) กรอง ตะกอนดินที่เกิดจากการไหลบ่าของน้ำเพื่อหาปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในตะกอนดินและปริมาณ ตะกอนดินที่สูญเสียไปกับน้ำ

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของข้อมูล (Analysis of variance) ตามแผนการทดลอง Completely Randomized Design (CRD) และเปรียบเทียบความแตกต่าง ค่าเฉลี่ยของค่ารับทดลอง โดยใช้วิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) โดยใช้โปรแกรม MSTAT

- C



ภาพที่ 2 รางน้ำเปิดใช้สำหรับการจำลองการเคลื่อนที่ของฟอสฟอรัส

**Table 1** Physical and chemical properties of sandy soils.

Properties	Soil series		
	Ng	Bpi	Msk
<b>Physical properties</b>			
- texture			
% sand	90	85	85
% silt	7.3	9.8	7.8
% clay	2.7	5.2	7.2
Texture Class	loamy sand	loamy sand	loamy sand
- bulk density (g/cm <sup>3</sup> )	1.64	1.67	1.64
- hydraulic conductivity (cm/sec)	0.05	0.04	0.03
- field capacity (%)	15	18	17
<b>Chemical properties</b>			
- pH (1:2.5)	4.33	5.35	3.86
- total phosphorus (ppm)	16.34	227.82	139.26

#### ผลการทดลอง และการอภิปรายผล

จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยการใช้ชุดดินทรายที่ทำการคัดเลือกมาจากแผนที่การใช้ที่ดินในจังหวัดขอนแก่น พบว่า กำลังการไหลต่อหน่วยพื้นที่จะสูงขึ้นตามระดับของความลาดชัน และยังมีผลต่อการเคลื่อนที่ของตะกอนดิน และรวมไปถึงการชะล้างเอาหน้าดินที่มีธาตุอาหารพืชไปด้วย โดยเฉพาะฟอสฟอรัส

#### กำลังการไหลต่อหน่วยพื้นที่ (stream power per unit bed area)

เป็นการคำนวณกำลังการไหล โดยจะมีความหนาแน่นของน้ำและ Gravitational constant คงที่ ได้จากสมการของ Govers (1992), Bagnold, (1977) and Nearing et al. (1977) พบว่ากำลังการไหล เป็นปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดการเคลื่อนที่ของมวลตะกอนไปสู่ที่ต่ำ ค่ากำลังการไหลคำนวณได้จาก สูตร

$$\Omega = \rho g q s$$

เมื่อ  $\Omega$  = stream power per unit bed area ( $g/s^3$ )

$\rho$  = ความหนาแน่นของน้ำ ( $1 g/cm^3$ )

$g$  = gravitational constant ( $981 cm/s^2$ )

$s$  = slope (%)

$q$  = อัตราการไหลต่อความกว้าง ( $cm^3/s/cm$ )

**Table 2** Calculation of stream power per unit bed area of Ban Phi and Mahasarakam soil series.

Soil series	Slope (%)		
	2	4	6
	Stream power per unit bed area ( $g/s^3$ )		
Ban Phi	1328.86	2642.81	3674.63
Mahasarakam	1023.63	2615.71	4333.49

**Table 3** Correlation between total phosphorus content in soil and bed length of Ban Phai soil series.

Bed length (cm)	Total Phosphorus (ppm)		
	2%	4%	6%
0-10	82.36 a	86.59 a	84.47a
10-20	41.37 b	42.49 b	41.93 b
20-30	30.78 b	31.05 b	30.92 b
30-40	46.46 b	46.28 b	46.37 b
40-50	29.66 b	28.89 b	29.27 b
50-60	29.25 b	26.19 b	27.72 b
60-70	30.47 b	29.66 b	30.06 b
70-80	28.17 b	29.93 b	29.05 b
80-90	23.40 b	24.34 b	23.87 b
90-100	23.22 b	24.39 b	23.80 b
100-110	26.32 b	26.14 b	26.23 b
110-120	23.94 b	25.65 b	24.79 b

120-130	20.60 b	21.19 b	20.90 b
130-140	27.36 b	26.41 b	26.89 b
140-150	26.68 b	26.55 b	26.62 b
<b>F-test</b>	<b>**</b>	<b>**</b>	<b>**</b>
<b>CV(%)</b>	<b>32.46</b>	<b>32.30</b>	<b>32.26</b>

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

**Table 4** Correlation between total phosphorus content in soil and bed of Mahasarkam soil series.

Bed length (cm)	Total Phosphorus content		
	2%	4%	6%
<b>0-10</b>	<b>80.21 a</b>	<b>84.13 a</b>	<b>82.17a</b>
10-20	42.29 bc	43.33 bc	42.81 bc
20-30	32.50 bc	32.75 bc	32.63 bc
30-40	47.00 abc	46.83 bc	46.92 bc
40-50	31.46 bc	30.75 bc	31.10 bc
50-60	31.08 bc	28.25 c	29.67 bc
60-70	32.21 bc	31.46 bc	31.83 bc
<b>70-80</b>	<b>63.42 ab</b>	<b>65.04 ab</b>	<b>64.23 ab</b>
80-90	25.67 c	26.54 c	26.10 c
90-100	25.50 c	26.58 c	26.04 c
100-110	28.38 bc	28.21 c	28.29 bc
110-120	26.17 bc	27.75 c	26.96 c
120-130	23.08 c	23.63 c	23.35 c
130-140	29.33 bc	28.46 c	28.90 bc
140-150	28.71 bc	28.58 c	28.65 bc
<b>F-test</b>	<b>*</b>	<b>*</b>	<b>*</b>
<b>CV(%)</b>	<b>52.23</b>	<b>51.47</b>	<b>51.8</b>

\*\* Means with the same letters a, b, and c are significantly different at  $p = 0.05$  by DMRT method.

**Table 5 Phosphorus losses with run off water, sediment and out let from flume experiment.**

treatment	Bpi		Msk		Bpi		Msk	
	run-off water	sediment	run-off water	sediment	Sediment in Flume(g)	ตะกอนดิน 1 ไร่ (kg)	Sediment in Flume(g)	ตะกอนดิน 1 ไร่ (kg)
	TP (ppm)							
sat2-P	0.64	41.25	0.84	25.84	71.15	3.77	104.15	5.62
unsat2-P	2.18	37.27	0.99	25.90	34.39	3.26	34.73	3.38
unsat2+P	7.40	53.82	9.78	18.11	71.69	6.71	64.06	4.33
sat4-P	2.35	71.21	1.16	28.80	90.02	8.90	326.55	16.06
unsat4-P	2.89	65.33	1.36	25.25	92.01	9.56	376.32	51.67
unsat4+P	10.08	66.79	7.39	17.70	103.53	10.31	895.02	56.27
sat6-P	3.01	70.23	2.72	28.30	213.29	16.39	484.32	67.90
unsat6-P	2.89	67.11	1.77	26.56	223.31	24.01	504.09	32.33
unsat6+P	10.91	84.90	10.97	18.31	233.59	24.62	602.97	101.81

#### สรุปผลการทดลอง

จากการทดลอง ปริมาณฟอสฟอรัสที่สูญเสีย ในการไหลแบบไม่อิ่มตัวด้วยน้ำที่ไม่ได้รับและได้รับแม่ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่อัตรา 188 กก./เฮกตาร์ ที่ระดับความชัน 2, 4 และ 6 % ในชุดดินบ้านไผ่ และชุดดินมหาสารคาม มีปริมาณการสูญเสียฟอสฟอรัสทั้งหมดในดิน โดยถูกชะล้างออกไปกับน้ำและตะกอนดิน มีปริมาณเพิ่มขึ้นตามระดับความชันที่สูงขึ้นด้วย ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินตลอดความยาว 155 ซม.ของรางน้ำเปิด โดยเก็บตัวอย่างดินที่ระยะทางทุก 10 ซม. พบว่าในชุดดินบ้านไผ่ มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินมากที่สุดที่ระยะทาง 0-10 ซม. ที่ระดับความชัน 2, 4 และ 6 % คิดเป็น 82.36, 86.59 และ 84.47 ppm ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณฟอสฟอรัสที่ระยะทางตั้งแต่ 10-150 ซม. มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ 99 % ( $p \leq 0.01$ ) แต่มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด

เพิ่มขึ้นที่ระยะทาง 30-40 ซม. ของทั้งสามระดับความชัน แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ในชุดดินมหาสารคาม มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินมากที่สุดที่ระยะทาง 0-10 ซม. ที่ระดับความชัน 2, 4 และ 6 % คิดเป็น 80.21, 84.13 และ 82.17 ppm ตามลำดับ และมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดเพิ่มขึ้นอีกครั้งที่ระยะทาง 70-80 ซม. ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณฟอสฟอรัสที่ระยะทางตั้งแต่ 10-70 และ 80-150 ซม. ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ 95 % ( $p \leq 0.05$ ) และมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดเพิ่มขึ้นที่ระยะทาง 30-40 ซม. ของทั้งสามระดับความชัน เช่นเดียวกับชุดดินบ้านไผ่ แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ และพบว่าปฏิสัมพันธ์ระหว่างกำลังการไหลต่อหน่วยพื้นที่การไหลกับระดับความชันในชุดดินมหาสารคามมีมากกว่าชุดดินบ้านไผ่ด้วย.

#### คำนิยม

ผู้วิจัยขอขอบคุณทุนอุดหนุนและส่งเสริมการทำวิทยานิพนธ์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น ปีงบประมาณ 2550 ที่สนับสนุนการศึกษาทดลองนี้

#### เอกสารอ้างอิง

- วิชา ศรีโลกศ วิชัย ศรีบุญถือ และ สมภพ จงรวยทรัพย์. 2548. การเคลื่อนที่ของธาตุอาหารพืชในดินไร่ภายใต้สภาพที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ. รายงานการวิจัย ภาควิชาทรัพยากรที่ดินและสิ่งแวดล้อม สาขาวิชาปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- \_\_\_\_\_. 2549. การเคลื่อนที่ของธาตุอาหารพืชในดินไร่ภายใต้สภาพที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ. รายงานการวิจัย ภาควิชาทรัพยากรที่ดินและสิ่งแวดล้อม สาขาวิชาปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- เพิ่มพูน กীরติกสิกร. 2527. ดินภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย. ภาควิชาปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- Bagnold, R.A. 1977. Bed load transport by natural rivers. *Water Resources Research* 13(2):303-308.
- Govers, G. 1992. Evaluation of transporting capacity formulae for overland flow. In *Overland Flow: Hydraulics and Erosion Mechanics*, 243-273. A. J. Parson and A.D. Abrahams, eds. London: UCL Press.
- Guymon, G. L. 1994. *Unsaturated zone hydrology*. Englewood Cliffs, N. J.: Prentice Hall.
- Hillel, D. 1998. *Environmental soil physics*. San Diego: Academic Press.
- Nearing, M. A., L. D. Norton, D. A. Bulgallow, G. A. Larionov, L. T. West and K. M. Donstova. 1997. Hydraulics and erosion in eroding rills. *Water Resources Research* 33(4):856-876.

Trelo-ges, V. and V. Sriboonlue. 2002. Study on physical and hydraulic properties of major soil series in Northeast Thailand. Journal the International Society for Southeast Asia Agriculture sciences (ISSAAS) 7(2) : 73-82

