

อิทธิพลของฟอสเฟต ความเป็นกรด-เบสของดิน ความชื้นและอุณหภูมิที่มีต่อการดูดและการคายโบรอนในดิน

สุพจน์ ไตระกุล¹ และ กนกพันธ์ พันธุ์สมบัติ¹

SORPTION AND DESORPTION OF BORON IN SOILS AS INFLUENCE BY PHOSPHATE, SOIL ACIDITY, MOISTURE, AND TEMPERATURE

Suphot Totrakool¹ and Kanokpan Pansombat¹

ABSTRACT : The studies of boron retaining and releasing of sandy loam soil (Renu soil series) and factors influencing the processes were conducted. The soil was collected from Mae Hea Agricultural Research Training Center, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University. The results indicated that the boron sorption isotherm of this soil followed the Langmuir equation only on the range of 1-30 ug of added boron/g of soil. However, the isotherm was fitted with the Freundlich equation in all ranges of added boron studies. Moreover, the boron sorption and desorption of this soil showed hysteresis characteristic.

The preadded phosphorus to soil in order to fill the retention sites of soil minimized the retention of applied boron to the soil. The effects of the increase in moisture, temperature, and soil pH were found to increase the boron retention by the soil. However, there was no significant effect on boron retention at low moisture levels. The recommended treatments from interactions between and among factors influencing soil boron retention of this experiment are also suggested.

บทคัดย่อ : การศึกษาการดูดและการคายโบรอนและปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการกักตุนและการปล่อยของดินชุดเรณูซึ่งเป็นดินร่วนปนทราย จากสถานีวิจัยและศูนย์ฝึกอบรมการเกษตรแม่เหีย คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ พบว่า ไอโซเทอรัมการดูดโบรอนของดินชนิดนี้ เป็นไปตามสมการของแลงเมียร์ในช่วงของการเติมโบรอน 1-30 ไมโครกรัมต่อดินหนึ่งกรัมเท่านั้น อย่างไรก็ตาม ไอโซเทอรัมดังกล่าวเข้าได้กับสมการของฟรอนด์ลิชได้ทุกช่วงของโบรอนที่เติม นอกจากนี้การดูดและการคายโบรอนของดินชนิดนี้ก็ยังแสดงลักษณะ ฮิสเทอรีซิส.

¹ ภาควิชาปฐพีศาสตร์และอนุรักษ์ศาสตร์, คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่, 50002.

¹ Department of Soil Science and Conservation, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai, 50002.

การใส่ฟอสฟอรัสลงไปในดินก่อนไถบรอน เพื่อให้ฟอสเฟตเข้าไปยึดครองตำแหน่งการตรึงโบรอนในดินนั้น ทำให้การตรึงโบรอนที่ลดลงไปในดินเกิดขึ้นน้อยที่สุด ส่วนผลของการเพิ่มขึ้นของความชื้น อุณหภูมิ และค่าความเป็นกรด-เบสในดินนั้น พบว่า ทำให้การตรึงโบรอนของดินเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามผลของความชื้นในดินต่อการตรึงโบรอนไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับความชื้นต่ำ อันตรกิริยาระหว่างปุ๋ยของปัจจัย และกลุ่มของปัจจัยที่ควรนำไปใช้ก็ได้แสดงไว้.

คำนำ

โบรอนเป็นธาตุหนึ่งใน 16 ธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช แต่พืชต้องการโบรอนในปริมาณน้อยมาก ดังนั้นถึงแม้ว่าดินในเขตร้อนชุ่มชื้นซึ่งมีอัตราการสลายตัว สูงมากและมีการชะล้างสูง จะมีปริมาณโบรอนที่ละลายน้ำได้อยู่น้อย แต่พืชก็ยังเจริญเติบโตอยู่ได้ ในดินบางชนิดที่เป็นดินเหนียวที่มีการระบายน้ำดี และมีการปลูกพืชติดต่อกันเป็นระยะเวลานาน ๆ ปริมาณของโบรอนในสารละลายดินจะลดลงอย่างมาก การปลูกพืชที่ไวต่อการขาดโบรอน หรือพืชที่ต้องการโบรอนในปริมาณสูง จึงมีความจำเป็นต้องใส่ปุ๋ยโบรอนลงไปเพิ่มเติม (Tisdale and Nelson, 1966) อย่างไรก็ตาม การใส่ปุ๋ยโบรอนต้องใช้ความระมัดระวังเป็นพิเศษ ทั้งนี้เพราะว่าช่วงระดับของโบรอนในสารละลายดินที่จะทำให้พืชเกิดอาการขาดและเป็นพิษนั้นเป็นช่วงแคบมาก กล่าวคือปริมาณของโบรอนในดินที่ละลายน้ำได้ ซึ่งถือว่าเพียงพอสำหรับพืชไม่ควรน้อยกว่า 1 พีพีเอ็ม ในขณะที่ปริมาณที่จะทำให้เกิดการเป็นพิษต่อพืชนั้นประมาณ 3 พีพีเอ็มเท่านั้นเอง (Hesse, 1971) ด้วยเหตุนี้ การศึกษาพฤติกรรมและการคายโบรอนภายใต้อิทธิพลของสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ในดินจึงจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อให้ได้จัดการใช้โบรอนในดินอย่างมีประสิทธิภาพ.

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย ต้องการทราบถึงผลกระทบของอนุมูลฟอสเฟต ความเป็นกรด-เบสของดิน ความชื้น และอุณหภูมิต่อการดูดและการคายของอนุมูลโบรอนในดิน ซึ่งจะช่วยให้ทราบถึงวิธีการที่จะจัดการดินและน้ำ อันจะเป็นแนวทางในการเพิ่มความชื้นประโยชน์หรือลดการเป็นพิษของโบรอนในดินต่อพืช.

อุปกรณ์และวิธีการ

ดินที่ใช้ในการทดลองเป็นดินชุดเรณู ที่สถานีวิจัยและศูนย์ฝึกอบรมการเกษตรแม่เหียะ ซึ่งมีสมบัติดังตารางที่ 1.

Table 1. The fundamental data of Renu soils.

Chemical properties	Value	Physical properties	Value
pH	5.9	Texture	Sandy Loam
OM (%)	2.72	Bulk Density (gm/ml)	1.36
CEC (me/100 gm)	11.94	H ₂ O holding capacity (WW) :	
Al (NH ₄ OAc pH 4.8) (ppm)	24.7	at 1/3 bar	19.36
Free Fe ₂ O ₃ (%)	1.1	at 1 bar	16.62
		at 3 bar	14.52

ไอโซเทอร์มการดูดและการคายโบรอน

ไอโซเทอร์มการดูดใช้ดิน 30 กรัม เคมีสารละลายโบรอนซึ่งมีความเข้มข้นตั้งแต่ 0-100 ไมโครกรัม/มล. จำนวน 30 มล. เขย่าวันละ 2 ครั้ง ๆ ละ 30 นาที เป็นเวลา 7 วัน หลังจากนั้นนำไป centrifuge แล้วดูดสารละลายออกไป 15 มล. เพื่อ วิเคราะห์หาปริมาณโบรอนที่เหลืออยู่ หลังจากนั้นก็หาไอโซเทอร์มการคายต่อไป โดยเติม 15 มล. ของ 0.1 M CaCl₂ แล้วดำเนินการเขย่า Centrifuge และดูดสารละลายออกไป 15 มล. ทำเหมือนกับการหาไอโซเทอร์มการดูด จากนั้นก็ดำเนินการหาไอโซเทอร์มการคายซ้ำต่อไปอีก 3 ครั้ง.

การทดสอบปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการดูดและคายโบรอน

การทดลองกระทำแบบ Factorial Experiment in completely randomized design กระทำ 5 ซ้ำ มี 4 ปัจจัย โดยมีรายละเอียดดังนี้ :

1. pH 3 ระดับ คือ pH₁(5), pH₂(6), pH₃(7)
2. อุณหภูมิ 2 ระดับ คือ T₁(25°C), T₂(30°C)
3. ความชื้น 3 ระดับ คือ M₁(1/3 bars), M₂(1 bar), M₃(3 bars)
4. รูปแบบการใส่โบรอนและฟอสฟอรัส 3 วิธี คือ BP₁(ใส่โบรอน และ ฟอสฟอรัสพร้อมกัน), BP₂(ใส่โบรอนก่อน 14 วัน แล้วใส่ฟอสฟอรัสตามไป), BP₃(ใส่ฟอสฟอรัสก่อน 14 วัน แล้วใส่โบรอนตามไป) โดยอัตราของโบรอนที่ใส่จะเลือกจาก Sorption isotherm (1 กก. B/ไร่) และอัตราของฟอสฟอรัสใส่ตามอัตราแนะนำให้ใช้โดยทั่วไป (10 กก. P₂O₅/ไร่).

ตัวอย่างแต่ละคำรับทำการทดลองจะทิ้งไว้ 30 วัน หลังจากนั้นหาปริมาณโบรอนที่มีอยู่ในสารละลายดินโดยปรับให้อัตราส่วนของดินต่อน้ำ = 1 : 1.

การวิเคราะห์โบรอนในสารละลาย ใช้วิธีการวัดการดูดคลื่นแสงของสารมีสีเชิงซ้อน Rubrocureumin ที่เกิดจากโบรอน และ Curcumin (Jackson, 1965).

ผลการทดลองและวิจารณ์

ไอโซเทอร์มการดูดและคายโบรอน

ผลการหาไอโซเทอร์มการดูดของโบรอน ตามสมการของ Langmuir (1) และ Freundlich (2) ในรูปของสมการเส้นตรง

$$\frac{C}{X/m} = \frac{1}{Kb} + \frac{C}{b} \quad \dots\dots\dots(1)$$

- C = ความเข้มข้นของโบรอนในสารละลายที่สมดุล (โมโครกรัม/มล.)
 X/M = โบรอนที่ถูกดูดซับ (โมโครกรัม/กรัม)
 b = โบรอนที่ถูกดูดซับได้สูงสุด (โมโครกรัม/กรัม)
 k = ค่าคงที่อันเนื่องมาจากพลังงานพันธะของโบรอนกับดิน

$$\log (x/m) = \frac{\log C}{n} + \log K \quad \dots\dots\dots(2)$$

n, K = ค่าคงที่

นำไปเขียนกราฟแสดงให้เห็นในรูปที่ 1 และ 2 จากรูปที่ 1 จะเห็นว่าข้อมูลการดูดซับโบรอนของดินที่ทำการทดลองเป็นไปตามสมการของ Langmuir ในช่วงตั้งแต่ 1-30 โมโครกรัม/มล. ของโบรอนที่เติมลงไป หลังจากนั้นแยกไปแล้วข้อมูลการดูดซับโบรอนจะเบี่ยงเบนออกไป ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Biggar and Fireman (1960) และ Elrashidi and O'Connor (1982) ส่วนรูปที่ 2 แสดงให้เห็นว่าข้อมูลการดูดซับโบรอนของดินชนิดนี้สามารถใช้ได้กับสมการของ Freundlich ได้ตลอดความเข้มข้นที่ทำการทดลอง ซึ่ง Elrashidi และ O'Connor (1982) ก็ได้ผลการทดลองเช่นเดียวกันนี้.

ส่วนลักษณะของการปลดปล่อยโบรอนของดินจะแสดงได้ด้วยค่าดัชนีการปลดปล่อย (Desorption index, DI) ซึ่งสามารถคำนวณได้โดยใช้อัตราส่วนของ Freundlich slope (1/n) ของการดูดและการปลดปล่อย (n_{des}/n_{ads}) ถ้าหากว่าค่า DI=1 แสดงว่ากระบวนการดูดซับและปลดปล่อยเป็นกระบวนการผันกลับได้ ถ้าหากว่าค่า DI>1 ก็แสดงว่าการดูดซับและการปลดปล่อยแสดงปรากฏการณ์ hysteresis

ค่าความชื้นของการปลดปล่อยโบรอนนั้นได้มาจากค่าเฉลี่ยของความชื้นของ การปลดปล่อยโบรอนที่จุดที่ใส่โบรอนที่ระดับต่าง ๆ ดังต่อไปนี้คือ 10, 30, 50, 70, 90 โมโครกรัม/มล. โดยที่ข้อมูลดังกล่าวแสดงไว้ในตารางที่ 2

Table 2. Desorption slope value at different added boron concentrations and their average value.

Added boron Concentration ($\mu\text{g/ml}$)	10	30	50	70	90	$\bar{X}$
$1/n_{\text{des}}$	0.444	0.224	0.220	0.227	0.219	0.267

จากรูปที่ 1 ค่าความชันของการดูดซับ ($1/n_{\text{ads}}$) = 0.903 ดังนั้น ค่า $DI = 0.903/0.267 = 3.38$ แสดงว่าการปลดปล่อยโบรอนในดินชนิดนี้แสดงปรากฏการณ์ Hysteresis ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Okasaki and Chao (1968) และ Elrashidi and O'Connor (1982) ซึ่งพบว่าปฏิกิริยาการปลดปล่อยโบรอนในดินส่วนใหญ่เป็นแบบ Hysteresis.

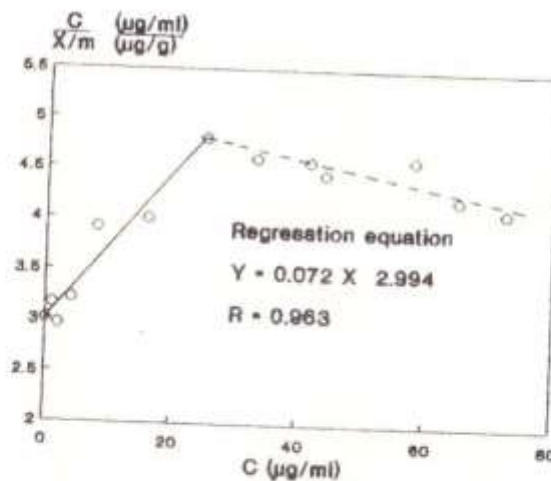


Fig. 1. Sorption isotherm of boron according to langmuir equation.

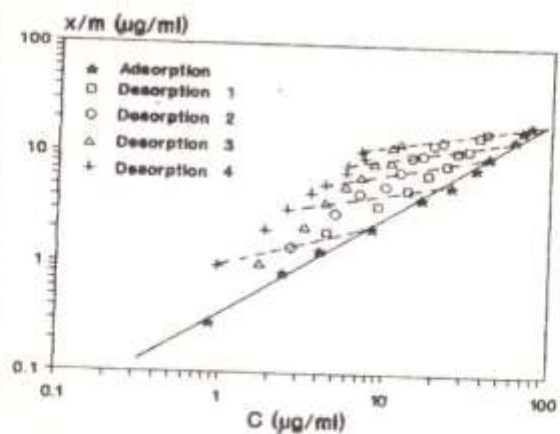


Fig. 2. Sorption and desorption isotherm according to Freundlich equation.

ผลของฟอสเฟต ความเป็นกรด-เบส ความชื้น และอุณหภูมิ ที่มีต่อการดูดและการคาย โบรอนในดิน

อิทธิพลของฟอสเฟต

รูปที่ 3 แสดงให้เห็นว่าถ้าใส่ฟอสฟอรัสไปก่อนการใส่โบรอน โบรอนจะถูกตรึงน้อยที่สุด เนื่องจากฟอสเฟตไปยึดครองตำแหน่งที่โบรอนจะถูกตรึงได้ก่อน ในขณะที่ถ้าใส่ปุ๋ยทั้งสองพร้อมกันก็จะมีการแข่งขันกันในการถูกตรึง ทำให้โบรอนมีโอกาสถูกตรึงเพิ่มขึ้น ดังนั้น การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสลงมาก่อนโบรอน ประมาณ 14 วัน จะลดการตรึงโบรอนได้มากที่สุด.

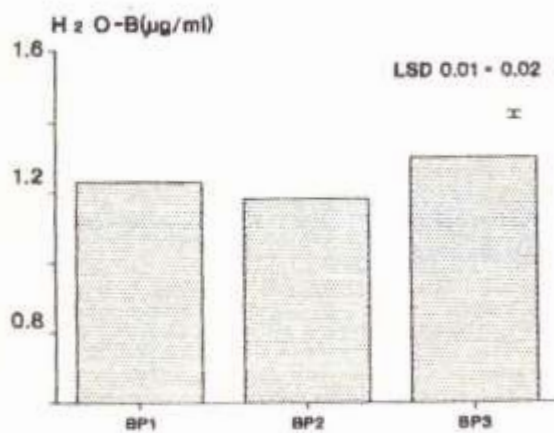


Fig. 3. The effect of phosphate on boron sorption.

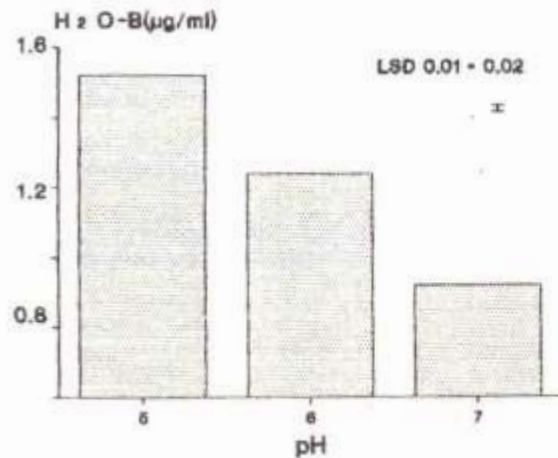


Fig. 4. The effect of soil pH boron sorption.

อิทธิพลของความเป็นกรด-เบส

จากรูปที่ 4 จะเห็นว่าเมื่อความเป็นกรด-เบส เพิ่มขึ้นจาก 5 จนถึง 7 การตรึงโบรอนก็จะเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Hatcher *et al.* (1967), Sims and Bingham (1967) และ Okasaki and Chao (1968).

Karen and Gast (1983) ได้อธิบายว่าขณะที่ความเป็นกรด-เบสสูงขึ้นนั้น จะมีฮิวมิก-ไฮดรอกไซด์เกิดขึ้นใหม่ และฮิวมิก-ไฮดรอกไซด์ที่เกิดขึ้นใหม่มีความสามารถตรึงโบรอนได้ดีในสภาพที่เอซสูง.

อิทธิพลของอุณหภูมิ

เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจาก 20°C เป็น 30°C การตรึงโบรอนก็จะเพิ่มขึ้นด้วย (รูปที่ 5) ปรากฏการณ์ดังกล่าวสอดคล้องกับทฤษฎีพลังงานกระตุ้น และผลการทดลองของ Bingham *et al.* (1971) ดังนั้น ในอุณหภูมิดินจะตรึงโบรอนน้อยกว่าในฤดูร้อน ทำให้มีโบรอนในสารละลายดินที่จะเป็นประโยชน์ต่อพืชมากขึ้น.

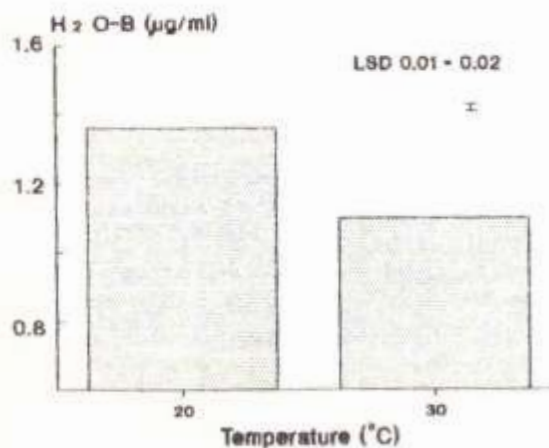


Fig. 5. The effect of soil temperature on boron sorption.

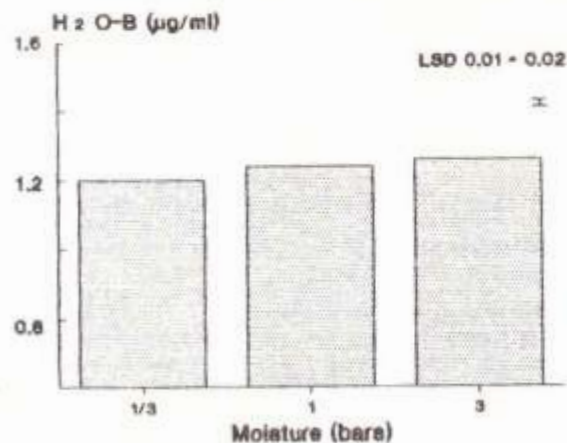


Fig. 6. The effect of soil moisture on boron sorption.

อิทธิพลของความชื้น

จากรูปที่ 6 ดินที่มีความชื้นที่แรงดูดยึดน้ำของดินเท่ากับ $1/3$ บาร์ จะสามารถตรึงโบรอนได้มากกว่าดินที่แห้งกว่าในระดับอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้ก็เนื่องจาก น้ำทำให้แร่ดินเหนียวขยายตัวเพิ่มขึ้น ทำให้พื้นที่ผิวในการทำปฏิกิริยากับโบรอนเพิ่มมากขึ้น

อิทธิพลของอันตรกิริยา (Interaction)

อันตรกิริยาของปัจจัยต่าง ๆ ที่ทำให้ดินดูดตรึงโบรอนไว้ได้น้อยที่สุด หรือมีโบรอนอยู่ในสารละลายดินมาก ทำให้เป็นประโยชน์ต่อพืชมากที่สุด ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.

Table 3. The best treatments in reducing boron retention by soils.

Interaction among factors	Suggested treatments
Two factors :	
pH x T	$pH_1 \times T_1$
BP x T	$BP_3 \times T_1$
pH x M	$pH_1 \times M_3$
	$pH_1 \times M_2$
pH x BP	$pH_1 \times BP_3$
BP x M	$BP_3 \times M_3$
	$BP_3 \times M_2$
Tree factors :	
T x pH x BP	$T_1 \times pH_1 \times BP_3$
T x M x BP	$T_1 \times M_2 \times BP_3$
Four factors :	
T x pH x M x BP	$T_1 \times pH_1 \times M_3 \times BP_3$
	$T_1 \times pH_1 \times M_2 \times BP_3$
	$T_1 \times pH_1 \times M_3 \times BP_2$

สรุปผลการทดลอง

การดูดและการคายโบรอนในดินชุดเรณูซึ่งเป็นดินร่วนปนทราย แสดงลักษณะที่เป็นฮิสเทรีซิส ซึ่งหมายความว่าดินชนิดนี้มีแนวโน้มที่จะตรึงโบรอนไว้ได้ค่อนข้างแข็งแรง ทำให้โบรอนที่ถูกดูดอยู่ไม่สามารถที่ถูกปลดปล่อยออกมาได้เท่าที่ควรหลังจากที่พืชดูดโบรอน บางส่วนในสารละลายดินไปใช้ ในกรณีที่ต้องการจะลดการตรึงโบรอนของดิน หรือต้องการทำให้โบรอนมีความเป็นประโยชน์มากขึ้น ก็อาจจะกระทำด้วยการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสลงในดินก่อนการใส่ปุ๋ยโบรอนประมาณ 14 วัน นอกจากนั้นความเป็นกรด-เบสของดินก็ควรอยู่ในช่วง 5-6 แล้วแคชเชียนของพืชที่จะปลูก ยิ่งไปกว่านั้นถ้าเป็นไปได้ก็ควรจะปลูกพืชในเขตที่มีอุณหภูมิค่าหรือในช่วงตั้งแต่ปลายฤดูฝนจนถึงฤดูหนาว.

เอกสารอ้างอิง

- Biggar, J.W. and Fireman, M. (1960). Boron adsorption and release by soils. *Soil. Sci. Soc. Amer. Proc.* 24:115-120.
- Elrashidi, M.A. and O'Connor, G.A. (1982). Boron sorption and desorption in soils. *Soil. Sci. Amer. Proc. J.* 46:27-31.
- Hatcher, J.T., Bower, C.A. and Clark, M. (1967). Adsorption of boron by soils as influenced by hydroxy aluminum and surface area. *Soil. Sci.* 104:422-426.
- Hesse, P.R. (1971). *A Textbook of Soil Chemical Analysis*. William Clowers and Sons, Ltd., London, pp. 384-387.
- Jackson, M.L. (1965). *Soil Chemical Analysis*. Plentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, N.J., USA.
- Karen, R. and Gast, R.G. (1983). pH-dependent boron adsorption by montmorillonite hydroxy-aluminum complexes. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 47:116-1121.
- Okasaki, E. and Chao, T.T. (1968). Boron adsorption and desorption by some Hawaiian soils. *Soil. Sci.* 105:255-259.
- Sims, J.R. and Bingham, F.T. (1967). Retention of boron by layer silicates, sesquioxides, and soil materials. I. Layer silicates. *Soil. Sci. Amer. Proc.* 31:728-732.
- Tisdale, S.L. and Nelson, W.L. (1966). *Soil Fertility and Fertilizers*. 2nd ed. The Macmillan Company, pp. 311-317.
-