

การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การเลือกดูดซับประจุบวก ของดินชุดหางดง

สุพจน์ ไตรระกูล¹ นาวรัตน์ เทพสุวรรณ¹ และ กนกพันธ์ พันธุ์สมบัติ¹

THE COMPARISON OF THE VALUES OF THE SELECTIVITY COEFFICIENT OF HANG DONG SOIL SERIES

Suphot Totrakool¹, Nawarat Thepsuwan¹ and Kanokpan Pansombat¹

ABSTRACT : The selectivity coefficient ($K_{\text{adsorbed/added cation}}$) of Hang Dong soil series was conducted in 2 systems. The first system is the one pair cationic system which the soils were saturated with one type of cation. In the other system which was named the multicationic system, the soils were left naturally. In both system, the cation was added to the soils in different fraction of cation exchange capacity then incubated for one month. The equilibrium solution in soils was determined and calculated for the selectivity coefficient according to 6 equations. These equations are Equilibrium constant, Mass action, Modified Gapon, Langmiur, Vanselow, and Statistical. The results show that the values of selectivity coefficient obtained from the one pair cationic system differ from those obtained from multicationic system. However the values from the latter are less fluctuated and therefore are more reliable. Recommended equations of each cationic pair for practical work are as followed : Vanselow or Statistical equation were appropriate for $K_{\text{Ca/K}}$ and $K_{\text{Mg/K}}$ while the Mass action equation was suitable for $K_{\text{Ca/Na}}$, $K_{\text{Mg/Na}}$, $K_{\text{Na/K}}$ and $K_{\text{Mg/Ca}}$. Finally, the magnitude of replacing power of cation in Hang Dong soil series are $\text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Na}^+$.

บทคัดย่อ : การหาค่าสัมประสิทธิ์การเลือกดูดซับประจุบวก ($K_{\text{adsorbed/added cation}}$) ในดินหางดงกระทำใน 2 ระบบ คือ ระบบประจุบวกหนึ่งคู่ ซึ่งใช้ดินที่ให้อิ่มตัวด้วยประจุบวกชนิดหนึ่ง และระบบประจุบวกรวมซึ่งใช้ดินเดิมตามธรรมชาติ ซึ่งมีประจุหลายชนิดอยู่ด้วยกัน ทั้งสองระบบเติมประจุบวกลงไปในดินในปริมาณต่างๆ กัน หลังจากนั้นหนึ่งเดือนคำนวณหา ค่า K โดยใช้สมการ 6 สมการคือ Equilibrium constant, Mass action, Modified Gapon, Langmiur, Vanselow, และ Statistical ผลการทดลองพบว่าค่า K ระหว่างระบบประจุบวกรวมและระบบประจุบวกหนึ่งคู่มีความแตกต่างกัน แต่เนื่องจากค่า K ในระบบประจุบวกรวมมีความแตกต่างกันน้อยกว่าระบบประจุบวกหนึ่งคู่และสภาพของการทดลองก็ใกล้เคียงกับสภาพธรรมชาติมากกว่า ดังนั้นค่า K ของสมการต่างๆ ในระบบประจุบวกรวมที่น่าจะนำไปใช้ในทางปฏิบัติใน

¹ ภาควิชาปฐพีศาสตร์และอนุรักษศาสตร์, คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50002.
¹ Department of Soil Science and Conservation, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50002, Thailand.

ดินทางคงได้ มีดังนี้ $K_{Ca/K}$ และ $K_{Mg/K}$ ใช้สมการ Vanselow หรือ Statistical, ค่า $K_{Ca/Na}$, $K_{Mg/Na}$, $K_{Na/K}$ และ K_{MgCa} ใช้สมการ Mass action สำหรับอำนาจในการแทนที่ของประจุบวกต่างๆ ในดินทางคงเป็นดังนี้ $Mg^{2+} > Ca^{2+} > K^+ > Na^+$.

คำนำ

โดยทั่วไปแล้วอนุภาคดินเหนียวจะมีประจุลบสุทธิเหลืออยู่ในโครงสร้าง ทำให้อนุภาคดินเหนียวเหล่านั้นสามารถดูดซับ และแลกเปลี่ยนประจุบวกที่มีอยู่ในสารละลายดินได้ เนื่องจากการดูดซับและแลกเปลี่ยนประจุบวกในดินเป็นปฏิกิริยาเคมีชนิดหนึ่ง ดังนั้นจึงสามารถใช้ค่าสมดุลคงที่ (Equilibrium constant, K_c) ของปฏิกิริยาเคมีโดยทั่วไปมาอธิบายปรากฏการณ์หรือคาดคะเนการดูดซับและแลกเปลี่ยนประจุบวกในดินได้ แต่เนื่องจากระบบของดินเป็นระบบที่ค่อนข้างซับซ้อนทำให้พบว่า บางครั้งการใช้ค่าสมดุลคงที่ของปฏิกิริยาโดยทั่วไปไม่สามารถใช้ได้ ดังนั้นจึงมีนักวิทยาศาสตร์หลายท่านเสนอสมการของค่าคงที่ขึ้นมาใหม่เพื่อให้ได้ค่าที่ดีขึ้น คงที่ขึ้นและใช้ได้กว้างขวางกว่าเดิม โดยมีชื่อสมการที่รู้จักกันโดยทั่วไปดังนี้ Mass action, Gapon, Langmuir, Vanselow, และ Statistical (Fried and Broeshart, 1967) แต่ก็ไม่มีสมการไหนเลยที่ใช้ได้กับดินทุกชนิดหรือกับประจุทุกชนิดในดินเดียวกัน.

ถ้าให้สมการของการแลกเปลี่ยนประจุแต่ละคู่เป็นดังนี้ :



โดยที่ X เป็นพื้นผิวของอนุภาค
 a^+ เป็นประจุที่ถูกดูดซับอยู่เดิม
 b^+ เป็นประจุที่ใช้ใส่ที่
 Ka/b เป็นค่าคงที่สมดุลของสมการ

Bolt (1975) เรียก Ka/b ว่าเป็นค่าสัมประสิทธิ์การเลือก (Selectivity coefficient) ของการแลกเปลี่ยนประจุบวกแต่ละคู่ Wiklander (1964) ได้เสนอแนะว่าค่าคงที่หาได้เหล่านั้น สามารถบอกว่าแร่ดินเหนียวหรือดินที่ใช้ทดสอบชอบดูดซับประจุบวกชนิดไหนมากกว่ากัน ทำให้สามารถจัดลำดับความสามารถในการถูกดูดซับ (Ionic adsorbability) หรืออำนาจในการแทนที่ (Replacing power) ของประจุชนิดต่างๆ ซึ่งในทางเคมีเรียกว่า Lyotropic (Hofmeister) series ได้.

วัตถุประสงค์ของการทดลองคือ การทดสอบว่าค่าสัมประสิทธิ์การเลือกดูดซับประจุบวก 6 สมการ คือ Equilibrium constant, Mass action, Modified Gapon, Langmuir, Vanselow และ Statistical นั้นสมการใดเหมาะที่จะใช้กับประจุบวกคู่ไหน (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} ,

Mg²⁺) ในดินชุดหางดง เพื่อใช้เป็นแนวทางในการจัดอันดับการดูดซับประจุบวกในดินชุดหางดง ซึ่งจะนำไปสู่การทำนายพฤติกรรมต่างๆ ของประจุบวกเหล่านั้น.

อุปกรณ์และวิธีการ

เก็บดินชุดหางดงทั้งแบบทำลายโครงสร้างและแบบไม่ทำลายโครงสร้าง แล้วทำการวิเคราะห์หาความหนาแน่นทั้งหมดของดิน, ความชื้นของดิน, ความจุสนาม, ความจุของประจุบวกที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน (CEC), Na, K, Ca, Mg ที่สกัดได้โดย NH₄OAc pH 7 และที่สกัดได้โดยน้ำ.

การทดลองทำ 2 ระบบคือ :

1. ระบบประจุบวกหนึ่งคู่ (One pair cationic system, OPCS)

ก. บรรจุดินที่ถูกทำลายโครงสร้างลงในกระบอกในน้ำหนักที่คำนวณได้ตามความหนาแน่นรวมของดิน หลังจากนั้นก็จะทำให้ดินในกระบอกดังกล่าวอิ่มตัวด้วยเกลือคลอไรด์ของประจุบวก Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ แล้วล้างประจุบวกที่มากเกินไปออก.

ข. ใส่กระบอกดินดังกล่าวในถุงพลาสติก เติมน้ำละลายลงไปปริมาณที่ทำให้ความชื้นของดินเท่ากับ 1/10, 1/5, 1/2, 2/3 และ 4/5 ของความจุของประจุบวกที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน แล้วปิดถุงเพื่อป้องกันการระเหยน้ำ เมื่อครบ 1 เดือน เติมน้ำลงไปปริมาณที่ทำให้ดินอิ่มตัวด้วยน้ำเพื่อดูดสารละลายออกมา แล้วนำสารละลายไปวิเคราะห์หาปริมาณไอออนที่เติมลงไปเพื่อไล่ว่ามีเหลืออยู่เท่าไร จากนั้นคำนวณข้อมูลโดยอาศัยกฎของการอนุรักษ์มวล.

2. ระบบประจุบวกกรรม (Multicationic system, MCS)

ก. ใช้ดินที่เก็บมาแบบไม่ทำลายโครงสร้างซึ่งมีประจุบวกอยู่ตามธรรมชาติ

ข. ดำเนินการแบบเดียวกับข้อ 1.ข. แต่ในสารละลายที่ดูดออกมาได้หลังจาก 1 เดือน วิเคราะห์หาทั้งปริมาณของประจุบวกชนิดเดียวกับที่ถูกไล่ที่และประจุบวกชนิดเดียวกับที่ใช้ไล่ที่



จากสมการข้างบนคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การเลือกดูดซับ ระหว่างประจุบวกหนึ่งและประจุบวกสอง คำนวณจากสมการดังต่อไปนี้ :

$$\text{Equilibrium constant (EC)} = \frac{[aX^+]^2[c^{2+}]}{[c^{2+}X][a^+]^2}$$

$$\text{Mass action (MA)} = \frac{[aX^+][c^{2+}]^{1/2}}{[c^{2+}X]^{1/2}[a]}$$

$$\text{Modified Gapon (MG)} = \frac{[aX^+][c^{2+}/2]^{1/2}}{[c^{2+}X][a^+]}$$

$$\text{Langmuir (L)} = \frac{[aX^+]^{1/2}[c^{2+}]^{1/2}}{[2c^{2+}X]^{1/2}[a^+]}$$

$$\text{Vanselow (V)} = \frac{[aX^+][c^{2+}]^{1/2}}{[c^{2+}X(c^{2+}X + a^+X)]^{1/2}[a^+]}$$

$$\text{Statistical (S)} = \frac{[aX^+][c^{2+}]^{1/2}}{[c^{2+}X(3/2c^{2+}X + a^+X)]^{1/2}[a^+]}$$

ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับระหว่างประจุบวกหนึ่งและประจุบวกหนึ่ง เป็นดังนี้ :

$$EC = MA = MG = \frac{[b^+X][a^+]}{[a^+X][b^+]}$$

และค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับระหว่างประจุบวกสองและประจุบวกสองเป็นดังนี้ :

$$EC = \frac{[d^{2+}X][c^{2+}]}{[c^{2+}X][d^{2+}]}$$

$$MA = \frac{[d^{2+}X]^{1/2}[c^{2+}]^{1/2}}{[c^{2+}X]^{1/2}[d^{2+}]^{1/2}}$$

$$MG = \frac{[d^{2+}X][c^{2+}/2]^{1/2}}{[c^{2+}X][d^{2+}/2]^{1/2}}$$

ผลการทดลองและวิจารณ์

I. ระบบประจุบวกหนึ่งคู่

I.1 ค่าสัมประสิทธิ์ของการเลือกดูดซับระหว่างประจุบวกหนึ่งและประจุบวกสองของสมการต่างๆ แสดงไว้ในรูปที่ 1 ถึงรูปที่ 4

จากรูปที่ 1 และ รูปที่ 2 จะเห็นว่าสมการ MG, V และ S เหมาะที่จะใช้เป็นค่า $K_{Ca/K}$ และ $K_{Mg/K}$ ของดินชุดทางดง โดยที่สมการ MG เป็นสมการที่ให้ค่า $K_{Ca/K}$ ดีที่สุดคืออยู่ระหว่าง 0.321 - 0.390 และสำหรับค่า $K_{Mg/K}$ นั้นสมการของ S ให้ค่าดีที่สุดซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0.561 - 0.648 จากค่า K ดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าดินทางดงชอบที่จะดูดซับ Ca^{2+} และ Mg^{2+} มากกว่า K^+ และจากการเปรียบเทียบค่า $K_{Ca/K}$ และ $K_{Mg/K}$ ทำให้คาดการณ์ได้ว่า ดินทางดงชอบที่จะดูดซับ Ca^{2+} มากกว่า Mg^{2+} .

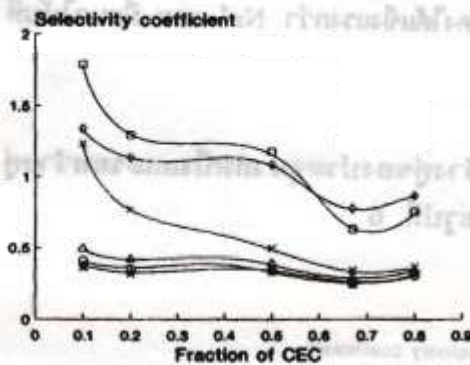


Figure 1. Comparison of $K_{Ca/K}$ values of various equation.

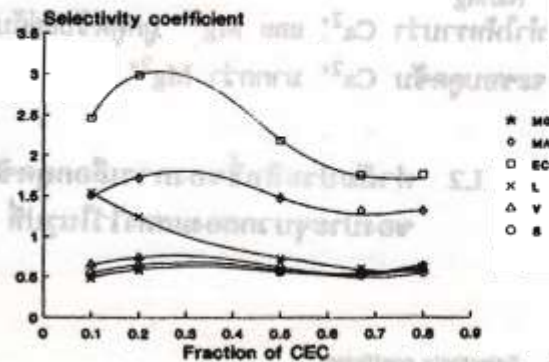


Figure 2. Comparison of $K_{Mg/K}$ values of various equation.

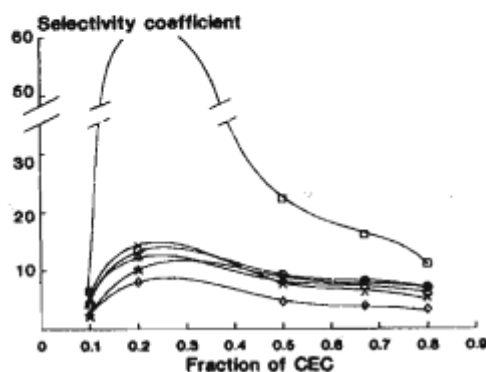


Figure 3. Comparison of $K_{Na/Ca}$ values of various equation.

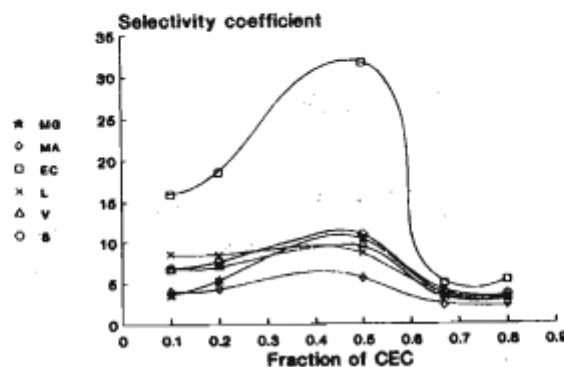


Figure 4. Comparison of $K_{Na/Mg}$ values of various equation.

จากรูปที่ 3 และ รูปที่ 4 สมการ MA เป็นสมการที่ดีที่สุดสำหรับค่า $K_{Na/Ca}$ และ $K_{Na/Mg}$ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.47 และ 3.65 ตามลำดับ และในทำนองเดียวกัน จากค่าดังกล่าว ทำให้ทราบว่า Ca^{2+} และ Mg^{2+} ถูกดูดซับอยู่กับดินทางคงได้แข็งแรงกว่า Na^+ และ มีแนวโน้มที่จะชอบดูดซับ Ca^{2+} มากกว่า Mg^{2+} .

L2 ค่าสัมประสิทธิ์ของการเลือกดูดซับระหว่างคู่ของประจุบวกหนึ่งและระหว่างคู่ของประจุบวกสองแสดงไว้ในรูปที่ 5 และรูปที่ 6

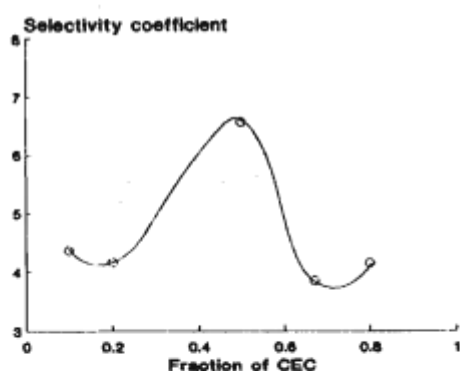


Figure 5. The $K_{Na/K}$ value of EC, MA and MG equations.

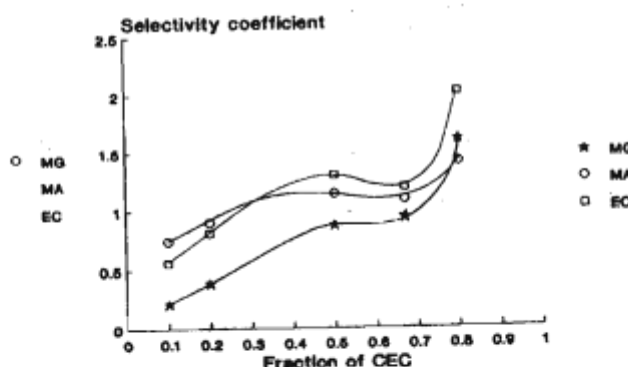


Figure 6. The $K_{Ca/Mg}$ value of EC, MA and MG equations.

ค่า $K_{Na/K}$ จากสมการ EC, MA และ MG มีค่าเท่ากันและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.62 (รูปที่ 5) ซึ่งใกล้เคียงกับค่าที่ Bolt (1975) เคยทำไว้และได้ค่าประมาณ 5 จากค่าดังกล่าวทำให้สามารถจัดอันดับอำนาจในการแทนที่ของ K^+ และ Na^+ ได้คือ $K^+ > Na^+$.

รูปที่ 6 แสดงให้เห็นว่าสมการ MA ให้ค่า $K_{Ca/Mg}$ ที่มีความแตกต่างกันน้อยที่สุด ดังนั้นจึงเป็นสมการที่ดีที่สุดสำหรับ $K_{Ca/Mg}$ ในดินทางคง เมื่อพิจารณาจากค่า $K_{Ca/Mg}$ ซึ่งมีค่าประมาณ 1.06 จะเห็นว่า Ca^{2+} มีอำนาจในการแทนที่มากกว่าหรือเท่ากับ Mg^{2+} ซึ่งสอดคล้องกับการคาดการณ์จากรูปที่ 1, 2, 3 และ 4.

สรุปสำหรับระบบประจุหนึ่งคู่เราสามารถจัดอันดับของอำนาจการแทนที่ของประจุบวกใน ดินทางคงได้ดังนี้ $Ca^{2+} \geq Mg^{2+} > K^+ > Na^+$.

II. ระบบประจุบวกรวม

II.1 ค่าสัมประสิทธิ์ของการเลือกดูดซับระหว่างประจุบวกหนึ่งและประจุบวกสองของสมการต่างๆ แสดงไว้ในรูปที่ 7 ถึงรูปที่ 10.

รูปที่ 7 และรูปที่ 8 แสดงให้เห็นว่าสมการ V และ S ให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการเลือกดูดซับที่ต่ำกว่าสมการอื่นๆ เมื่อพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของ $K_{Ca/K}$ และ $K_{Mg/K}$ ของสมการ V ซึ่งเท่ากับ 0.761 และ 0.693 ตามลำดับ, ส่วนสมการ S นั้นจะให้ค่าเท่ากับ 0.838 และ 0.848 ตามลำดับจะเห็นว่าดินทางคงชอบที่จะดูดซับ Ca^{2+} และ Mg^{2+} มากกว่า K^+ และคาดคะเนว่าในระบบประจุรวมความสามารถในการดูดซับ Mg^{2+} ในดินทางคงจะมากกว่า Ca^{2+} .

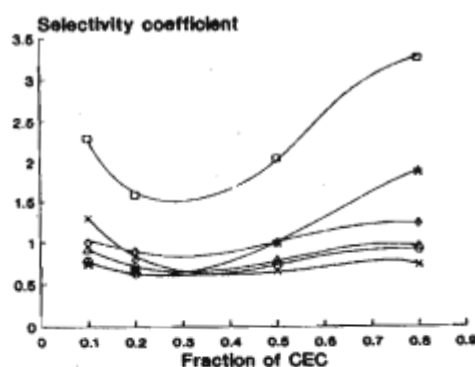


Figure 7. The $K_{Ca/K}$ values of MCS.

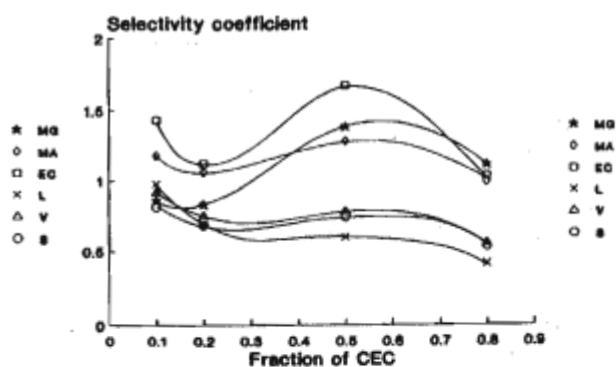


Figure 8. The $K_{Mg/K}$ values of MCS.

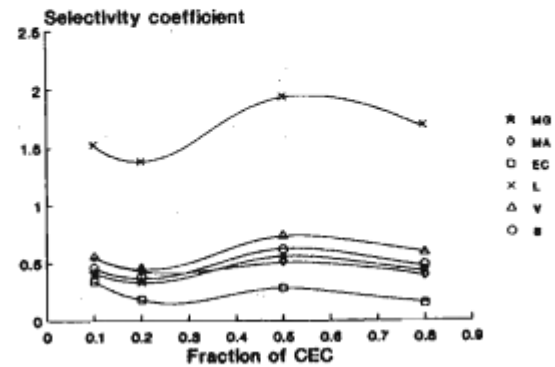
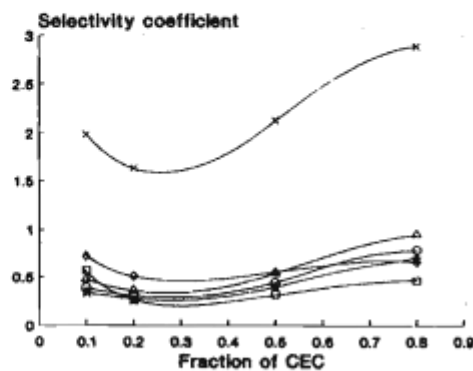


Figure 9. The $K_{Ca/Na}$ values of MCS. Figure 10. The $K_{Mg/Na}$ values of MCS.

ค่า $K_{Ca/Na}$ และ $K_{Mg/Na}$ ของสมการ MA, EC และ MG ในรูปที่ 9 และ 10 เป็นค่าที่เหมาะสมที่จะใช้ที่ดินทางคง และมีค่าอยู่ระหว่าง 0.40-0.608 และ 0.238-0.477 ตามลำดับ จากค่าดังกล่าวชี้ให้เห็นว่า Ca^{2+} และ Mg^{2+} สามารถดูดซับอยู่กับดินทางคงได้ดีกว่า Na^+ เช่นเดียวกันเมื่อเปรียบเทียบค่าดังกล่าวก็จะคาดการณ์ได้ว่าดินทางคงน่าจะชอบดูดซับ Mg^{2+} มากกว่า Ca^{2+} .

II.2 ค่าสัมประสิทธิ์ของการเลือกดูดซับระหว่างคู่ของประจุบวกหนึ่งและระหว่างคู่ของประจุบวกสองแสดงไว้ในรูปที่ 11 และรูปที่ 12.

รูปที่ 11 แสดงค่า $K_{Na/K}$ ของสมการ EC, MA และ MG ซึ่งมีค่าเฉลี่ยประมาณ 2.71 และชี้ให้เห็นว่าอำนาจในการไล่ที่ของ K^+ ซึ่งมีมากกว่า Na^+ จากรูปที่ 12 จะเห็นว่าสมการ MA เป็นสมการที่ดีที่สุดสำหรับค่า $K_{Mg/Ca}$ เมื่อพิจารณา $K_{Mg/Ca}$ ซึ่งมีค่าประมาณ 0.778 แล้วจะเห็นว่าการคาดการณ์จากรูปที่ 7, 8, 9 และ 10 ว่า Mg^{2+} มีอำนาจการไล่ที่มากกว่า Ca^{2+} ถูกต้อง และเมื่อพิจารณาจากจากความชันของกราฟซึ่งพลอตระหว่างประจุบวกที่ถูกดูดซับ (Adsorbed cation, CX) และประจุบวกที่ใส่ (Added cation) ในรูปที่ 13 จะเห็นว่าความชันของเส้น Ca^{2+} มากกว่า Mg^{2+} ซึ่งแสดงว่าเมื่อใส่ K^+ ลงไปในปริมาณเท่ากันจะสามารถไล่ที่ Ca^{2+} ที่ถูกดูดซับได้มากกว่า Mg^{2+} นอกจากนั้นถ้าต่อเส้นกราฟทั้งสองเส้นออกไปจะเห็นว่า เส้นกราฟของ Ca^{2+} จะตัดแกน X ที่ประมาณ 9 me/100 g ซึ่งเป็นค่า CEC ของดินทางคงที่ทำการศึกษาทดลอง ในขณะที่เส้นกราฟของ Mg^{2+} เมื่อต่อออกไปเกือบจะขนานกับแกน X แสดงว่า ถ้าเติม K^+ ลงไปเท่ากับ CEC ของดินจะสามารถไล่ที่ Ca^{2+} ที่ถูกดูดซับได้หมด แต่สำหรับกรณีของ Mg^{2+} นั้น ไม่ว่าจะเติม K^+ ไปมากเท่าใดก็ไม่น่าจะมี Mg^{2+} จำนวนหนึ่งถูกดูดซับที่ผิวดิน ซึ่งก็เป็นเหตุผลสนับสนุนว่า Mg^{2+} สามารถถูกดูดซับโดยดินทางคงได้แข็งแรงกว่า Ca^{2+} .

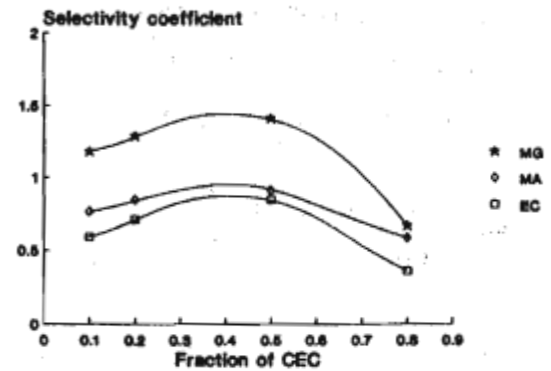
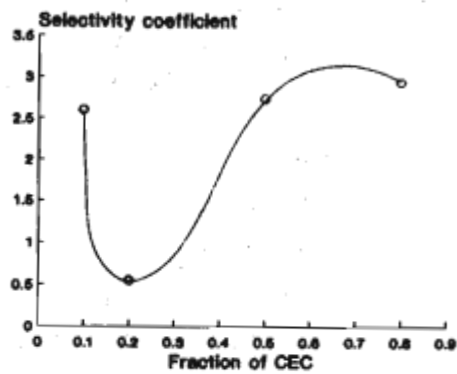


Figure 11. The $K_{Na/K}$ values of MCS. Figure 12. The $K_{Mg/Ca}$ values of MCS.

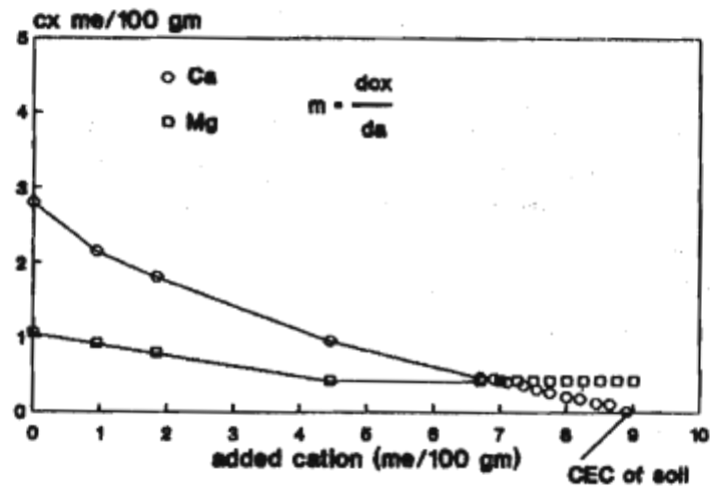
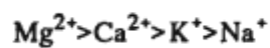


Figure 13. The rate of changes of adsorbed cation to added cation.

สุดท้ายเมื่อนำผลของหัวข้อ II.1 และ II.2 มารวมกัน จะสามารถจัดอันดับอำนาจในการแทนที่ของประจุบวกในดินทางคงในระบบประจรรวมได้ดังนี้.



สรุป

ค่าสัมประสิทธิ์การเลือกดูดซับของระบบประจรรวมหนึ่งคู่ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าของระบบประจรรวม จะเห็นว่าโดยส่วนใหญ่ค่าสัมประสิทธิ์การเลือกดูดซับประจุบวกใน ระบบประจรรวม

รวมจะมีความแตกต่างกันน้อยกว่าค่าของระบบประจุบวกหนึ่งคู่ นอกจากนั้นค่าที่ได้จากระบบของประจุบวกรวมยังเป็นค่าของการทดลองที่ใกล้เคียงกับสภาพธรรมชาติมากกว่า ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์การเลือกดูดซับประจุบวกในระบบประจุบวกรวมจึงน่าเชื่อถือมากกว่า สำหรับสมการที่เหมาะสมสำหรับที่จะใช้สำหรับค่าสัมประสิทธิ์ของการเลือกดูดซับประจุบวกในดินหางคอง มีดังต่อไปนี้ $K_{Ca/K}$ (Vanselow) = 0.838, $K_{Mg/K}$ (Statistical) = 0.693, $K_{Ca/Na}$ (Mass action) = 0.608, $K_{Mg/Na}$ (Mass action) = 0.477, $K_{Na/K}$ (Mass action) = 2.706 และ $K_{Mg/Ca}$ (Mass action) = 0.778 จากค่าดังกล่าวสามารถนำไปใช้คำนวณเพื่อประมาณการว่า ถ้าเราใส่ปุ๋ยลงไปปริมาณหนึ่ง จะมีธาตุอาหารอื่นในดินจะถูกไล่ที่ออกมาเท่าใด ซึ่งจะทำให้สามารถจัดการธาตุอาหารในดินให้มีความเป็นประโยชน์มากขึ้นหรือลดความสูญเสียให้น้อยลง ตัวอย่างของการคำนวณแสดงไว้โดย Bolt (1975) และโตตระกุล (2525).

เอกสารอ้างอิง

- โตตระกุล, สุพจน์. (2525). หลักการของปุ๋ยเคมีวิเคราะห์. สำนักพิมพ์โอเคเอ็นเอสไคร์. กรุงเทพฯ.
- Bolt, G.H. (1975). Soil Chemistry. A Basic Element. Elsevier publishing Com.
- Fried, M., and Broeshart, H. (1967). The Soil Plant System in relation to Inorganic Nutrition. Academic Press.
- Wiklander, L. (1964). Cation and Anion Exchange Phenomena. In :Chemistry of the Soil. Bear, F.E. (ed.). Van Nostrand Reinhold Com.