

ผลการทดลองและวิจารณ์

ไอโซเทอร์มการดูดและการคายไบริอน

สมการไอโซเทอร์มการดูดของแลงเมียร์ (สมการที่ 12) และ พรอยคลิซ (สมการที่ 13) สามารถแสดงในรูปของสมการเส้นตรงได้ดังต่อไปนี้

ไอโซเทอร์มการดูดของแลงเมียร์

$$\frac{C}{x/m} = \frac{1}{Kb} + \frac{C}{b} \quad (14)$$

C = ความเข้มข้นของไบริอนในสารละลายที่สมดุลกับไบริอนที่ถูกดูด
(ไมโครกรัม/มล.)

x/m = ไบริอนที่ถูกดูด (ไมโครกรัม/กรัม)

b = ไบริอนที่ถูกดูดได้สูงสุด (ไมโครกรัม/กรัม)

K = ค่าคงที่

ไอโซเทอร์มการดูดของพรอยคลิซ

$$\log(x/m) = \frac{\log C}{n} + \log k \quad (15)$$

n, k = ค่าคงที่

การจัดการข้อมูลจากการทดลอง เพื่อใช้คำนวณตามสมการไอโซเทอร์มการดูด
ที่ 14 และ 15 เป็นไปดังนี้

ปริมาณโบรอนที่ถูกดูดอยู่เดิม (native boron) ได้จากการใช้ค่าของ
โบรอนที่สกัดได้จากดินโดยใช้สารละลาย 0.01 M CaCl_2 30 มล. ต่อดิน 30 กรัม

ปริมาณโบรอนที่ถูกดูดเมื่อมีการเติมโบรอนลงไป (x/m)

= ความเข้มข้นของโบรอนที่เติม - ความเข้มข้นของโบรอนในสารละลายที่
สมดุลแล้ว + ปริมาณโบรอนที่ถูกดูดอยู่เดิม

สำหรับการคายโบรอนการคำนวณเป็นไปดังนี้

โบรอนที่ถูกคายออกมา

= ความเข้มข้นของโบรอนในสารละลายที่สมดุลของแต่ละครั้งของการคาย
- (ความเข้มข้นของโบรอนในสารละลายที่สมดุลก่อนหน้านี้/2)

โบรอนที่ถูกดูดอยู่แต่ละครั้งของการคาย (x/m)

= ปริมาณโบรอนที่ถูกดูดครั้งก่อน - ปริมาณโบรอนที่ถูกคายออกมา

ข้อมูลการดูดโบรอนเมื่อจัดการแล้ว นำไปเขียนกราฟตามรูปแบบสมการเส้น

ตรงไอโซเทอร์มการดูดของแลงเมียร์ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4 จะเห็นว่าข้อมูลการดูดโบรอน

ของดินที่ทำการทดลอง เป็นไปตามไอโซเทอร์มการดูดของแลงเมียร์ในช่วงการเติมโบรอน

ตั้งแต่ 0 - 30 ไมโครกรัมต่อดินหนึ่งกรัม หลังจากนั้นการดูดโบรอนจะ เบี่ยงเบนออกไป

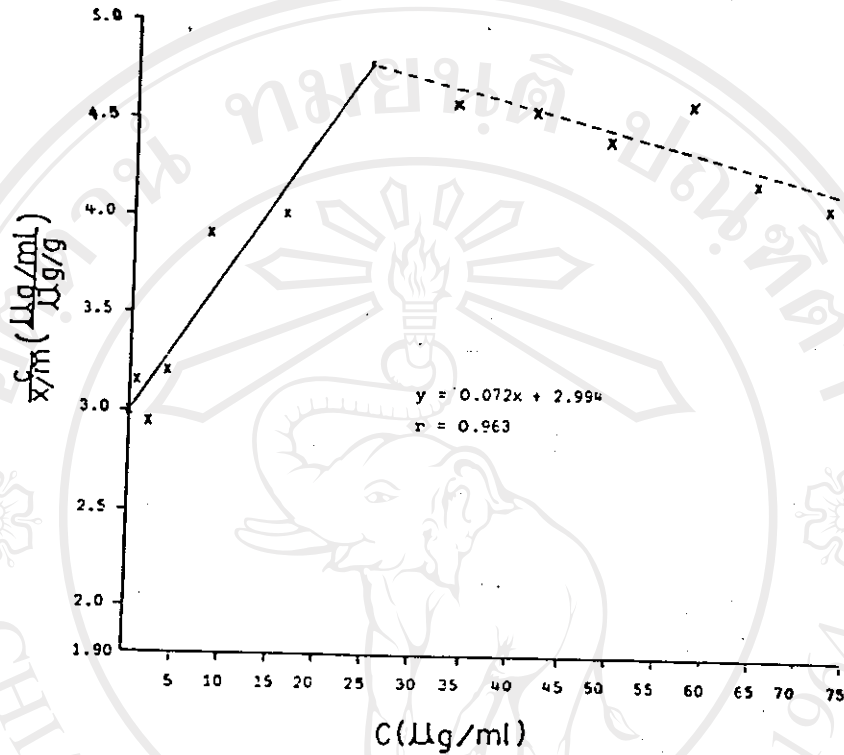
ซึ่งปรากฏการณ์เช่นนี้สอดคล้องกับผลการทดลองของ Biggar and Fireman (1960)

และ Elrashidi and O'Connor (1982) ดังนั้นจะเห็นว่า สมการไอโซเทอร์มการดูด

ของแลงเมียร์จะใช้ได้เฉพาะความเข้มข้นค่า ๆ เท่านั้น เนื่องจากสมมติฐานที่ว่า การดูด

เกิดเพียงชั้นเดียวยังเป็นจริงอยู่ ต่อเมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น สมมติฐานดังกล่าวจึงน่าจะ

ใช้ได้ต่อไป เพราะการดูดเกิดได้หลายชั้น

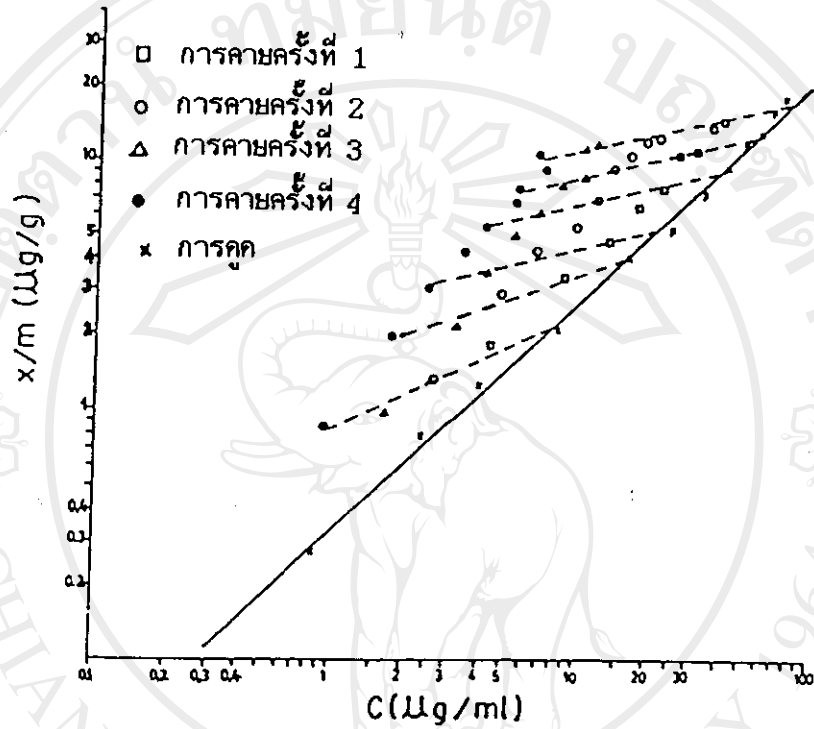


รูปที่ 4 ไอโซเทอร์มการดูดซับของแอมโมเนีย

อย่างไรก็ดี เมื่อนำข้อมูลการดูดซับดังกล่าวมาเขียนกราฟตามสมการเส้นตรง

ไอโซเทอร์มการดูดซับของฟรอสต์ ดึงแสดงในรูปที่ 5 ก็จะทำให้เห็นว่า สมการของฟรอสต์ใช้ได้ตลอดความเข้มข้นที่ใช้ในการทดลอง ซึ่ง Elrashidi and O'Connor (1982) ก็ได้

ผลการทดลองเช่นเดียวกัน การที่ไอโซเทอร์มการดูดซับของฟรอสต์ใช้ได้ดังกล่าวนี้ เนื่องจาก สมการดังกล่าวไม่ได้มีสมมติฐานที่เป็นข้อจำกัดไว้ แต่เป็นสมการที่ได้จากการทดลองโดยตรง



รูปที่ 5 ไอโซเทอร์มการดูดและการคายบรมนตามสมการของฟรอยดลิช

ลักษณะการคายบรมนของดิน สามารถที่จะแสดงได้ด้วยค่าดัชนีการคาย

(Desorption index, DI) ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก ไอโซเทอร์มของฟรอยดลิช ดังนี้

$$DI = \frac{\text{ความชื้นของไอโซเทอร์มการดูด}}{\text{ความชื้นของไอโซเทอร์มการคาย}} = \frac{1/n_{ads}}{1/n_{des}}$$

ถ้าหากว่าค่าดัชนีการคายเท่ากับหนึ่ง แสดงว่ากระบวนการดูดและคาย เป็นกระบวนการที่ผันกลับได้ แต่ถ้าหากว่าค่าดัชนีการคายมากกว่าหนึ่ง แสดงว่าการดูด และการคายแสดงปรากฏการณ์ฮีสเทรีซิส ค่าความชื้นของการคายบรมนนั้นได้มาจากค่า

เฉลี่ยของความชันของการคายไบริอนที่ความเข้มข้นของไบริอนที่เติมในระดับต่าง ๆ ดัง
แสดงไว้ในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ความชันของไฮโซเทอร์มการคายไบริอน ($1/n_{des}$) ของพรอยคิลิซ

| ระดับของไบริอนที่เติมเมื่อเริ่มต้น (ในกรัม/ดินหนึ่งกรัม) | $1/n_{des}$ |
|--|-------------|
| 10 | 0.444 |
| 20 | 0.344 |
| 30 | 0.224 |
| 50 | 0.220 |
| 70 | 0.227 |
| 90 | 0.219 |
| ค่าเฉลี่ย | 0.279 |

ในเมื่อค่าความชันของการดูด ($1/n_{ads}$) = 0.903

ดังนั้น ค่าครรชนีการคาย = $0.903/0.279 = 3.24$

แสดงว่า การคายไบริอนในดินชนิดนี้แสดงปรากฏการณ์ไฮโซเทอร์มิค ซึ่งสอดคล้อง

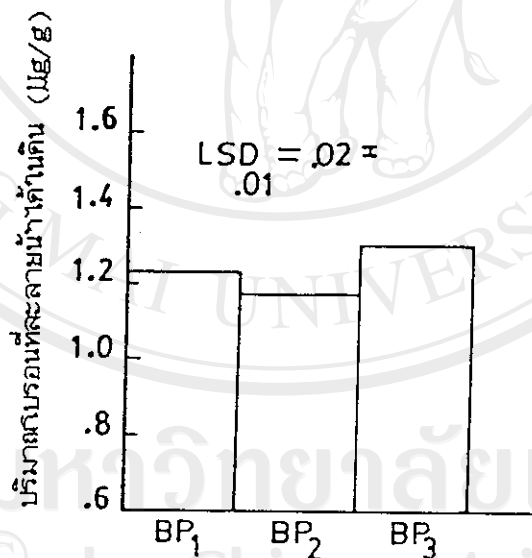
คล้อยกับผลการทดลองของ Okazaki and Chao (1968) และ Elrashidi and O'Connor (1982)

อิทธิพลของพอสเฟต ความเป็นกรด-เบส ความชื้น และอุณหภูมิ ที่มีต่อการควบคุมและการ
คายไนโตรเจนในดิน

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของอิทธิพลของ พอสเฟต ความเป็นกรด-เบส
ความชื้น และอุณหภูมิ ในดินซึ่งใส่ปุ๋ยรองลงใบ 3 ไนโตรกรัม/คันทิ้งกรัม และฟอสฟอรัส
14 ไนโตรกรัม/คันทิ้งกรัม แสดงไว้ในตารางผนวกที่ 1 ในภาคผนวก

อิทธิพลของพอสเฟต

ผลของการใส่ปุ๋ยรองและฟอสฟอรัสในรูปแบบต่าง ๆ แสดงไว้ในรูปที่ 6



รูปที่ 6 อิทธิพลของวิธีการใส่ปุ๋ยรองและฟอสฟอรัสที่มีต่อการควบคุมการคายไนโตรเจนในดิน

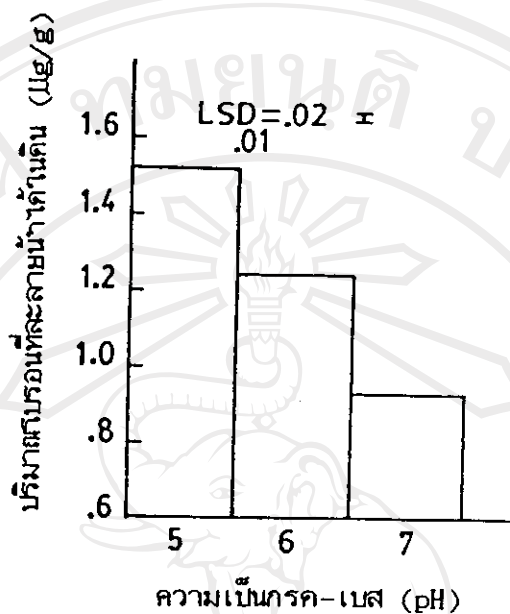
BP₁ = ใส่ปุ๋ยรองและฟอสฟอรัสพร้อมกัน BP₂ = ใส่ปุ๋ยรองก่อนฟอสฟอรัส 14 วัน

BP₃ = ใส่ฟอสฟอรัสก่อนปุ๋ยรอง 14 วัน

จากรูปที่ 6 จะเห็นว่า การใส่ใบรอนลงมาก่อนแล้วใส่พอสฟอรัสตามลงไปจะก่อให้เกิดการดูดใบรอนไว้ได้มากที่สุด เมื่อเทียบกับการใส่ใบรอนและพอสฟอรัสพร้อมกันซึ่งถูกดูดน้อยลงมา ส่วนการใส่พอสฟอรัสก่อนแล้วใส่ใบรอนตามจะก่อให้เกิดการดูดใบรอนน้อยที่สุด ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าการใส่พอสฟอรัสลงมาก่อนทำให้ตำแหน่งการดูดของใบรอนลดลง และเนื่องจากพอสเฟตมีแรงดูดยึดสูงกว่าใบเรต การแทนที่ภายหลังจึงเป็นไปได้ยาก ดังนั้นการใส่พอสฟอรัสก่อนแล้วใส่ใบรอนตามลงไปทีหลัง จึงทำให้มีการดูดใบรอนน้อยที่สุด ส่วนการ เติมใบรอนก่อนแล้วเติมพอสฟอรัสตามลงไปมีการดูดใบรอนได้สูงที่สุดนั้น เนื่องจากใบเรตได้ถูกดูดไปก่อนแล้วถึงแม้ว่าพอสเฟตจะมีโอกาสไล่ที่ใบเรตได้ แต่การไล่ที่ก็จะเกิดได้ไม่สมบูรณ์ ดังนั้นการใส่ใบรอนไปก่อนแล้วใส่พอสฟอรัสตามลงไปจึงก่อให้เกิดการดูดใบรอนสูงสุด เมื่อเทียบกับการใส่แบบอื่น ส่วนการใส่ใบรอนพร้อมกับพอสฟอรัสก่อให้เกิดการดูดในระดัปลานกลาง เนื่องจากมีการแข่งขันกันในการดูด แต่พอสเฟตถูกดูดได้ดีกว่า การดูดใบเรตก็ลดลง แต่ถึงกระนั้นก็ตามก็ยังมีการดูดใบรอน ได้มากกว่าแบบที่ใส่พอสฟอรัสลงไปก่อน

อิทธิพลของความเป็นกรด-เบส

ผลของอิทธิพลของความเป็นกรด-เบสต่อการดูดใบรอนในดิน ได้แสดงไว้ในรูปที่ 7 ซึ่งจะเห็นว่า ดินที่มีความเป็นกรด-เบสเท่ากับ 5 จะดูดใบรอนได้น้อยที่สุดในขณะที่ความเป็นกรด-เบสของดินเท่ากับ 7 ดินสามารถที่จะดูดใบรอนไว้ได้สูงสุด ซึ่งก็สอดคล้องกับอิทธิพลของความเป็นกรด-เบสที่มีต่อพฤติกรรมของใบรอนในดิน เซสควิออกไซด์ และอินทรีย์วัตถุ ที่ได้ตรวจเอกสารไว้ก่อนหน้านี้

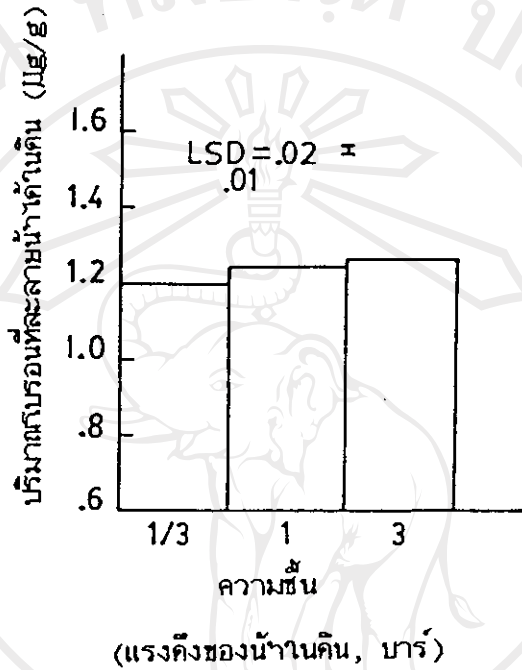


รูปที่ 7 อิทธิพลของความเป็นกรด-เบสที่มีต่อการดูดซับไนโตรเจนในดิน

อิทธิพลของความชื้น

การดูดซับไนโตรเจนในดินเนื่องมาจากอิทธิพลของความชื้นแสดงไว้ในรูปที่ 9 จะเห็นว่าปริมาณความชื้นของดินที่ความจุสนาม (Field capacity, 1/3 bar) ทำให้มีการดูดซับไนโตรเจนในดินมากกว่าดินที่ความชื้นที่แรงดึงของน้ำในดิน 1 บาร์และ 3 บาร์ เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ปรากฏการณ์ดังกล่าวอาจจะอธิบายได้ว่า เนื่องมาจากความชื้นที่มากกว่าแร่ดินเหนียวเกิดการขยายตัวมากขึ้น ทำให้มีตำแหน่งสำหรับการดูดซับเพิ่มขึ้น หรืออาจเนื่องมาจาก การที่น้ำเป็นตัวร่วมในการเกิดปฏิกิริยาการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุในดิน ดังนั้นถ้ามีความชื้นอยู่พอดี ก็จะทำให้มีการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุซึ่งก่อให้เกิดสารประกอบโครอสมาก การดูดซับไนโตรเจนโดยสารประกอบเหล่านี้ก็จะมากด้วย ในทางกลับกัน ถ้ามีความ

ขึ้นน้ำเพียงพอ การเกิดสารประกอบโคบอลต์เหล่านั้นก็จะลดลง การควบแน่นก็จะลดลงตาม (Parks and White, 1952)



รูปที่ 8 อิทธิพลของความชื้นที่มีต่อการควบแน่นในดิน

อิทธิพลของอุณหภูมิ

ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและค่าคงที่ของสมดุลนั้นพิจารณาได้จากสมการของแวนท์ฮอฟท์ (Van't Hoff equation) ซึ่งได้แสดงไว้ในสมการที่ 16

$$\ln K_2 - \ln K_1 = \frac{-\Delta H^\circ}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \quad (16)$$

K_1 และ K_2 เป็นค่าคงที่ของสมดุลที่อุณหภูมิสัมบูรณ์ T_1 และ T_2

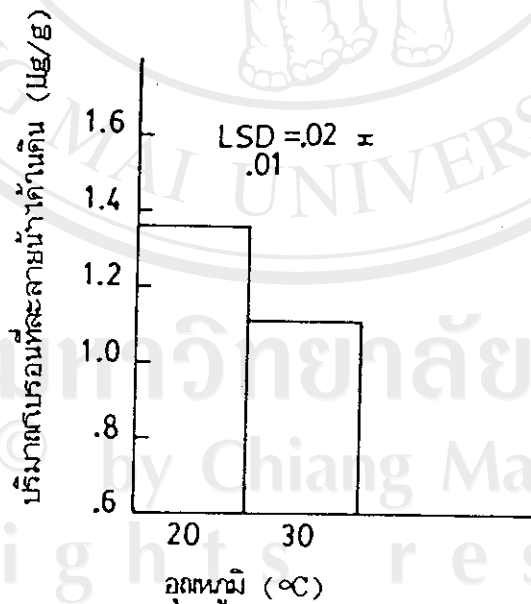
ΔH° คือการเปลี่ยนแปลงความร้อนของปฏิกิริยา

R เป็นค่าคงที่ของแก๊ส (gas constant)

จากสมการที่ 16 ถ้าปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นมีการคายความร้อน (exothermic reaction) ค่า ΔH° จะเป็นลบ ดังนั้นการเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้ปริมาณของผลิตภัณฑ์ (product) ลดลง ในทางตรงกันข้ามถ้าเป็นปฏิกิริยาที่ดูดกลืนความร้อน (endothermic reaction) ค่า ΔH° จะเป็นบวก การเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นก็จะเป็นการเพิ่มปริมาณของผลิตภัณฑ์

ในกรณีของปฏิกิริยาการดูด ถ้าเป็นการดูดทางกายภาพ (physisorption) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะมีการคายความร้อนออกมา ดังนั้นถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นการดูดก็จะลดลง แต่ถ้าเป็นการดูดทางเคมี (chemisorption) ซึ่งในปฏิกิริยามีทั้งการแตกหักและการเกิดใหม่ของพันธะเคมี จึงคาดกันว่า ปฏิกิริยารวมทั้งหมดอาจจะมีการคายหรือดูดกลืนความร้อนก็ได้ ดังนั้นถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้น การดูดก็จะเพิ่มขึ้นหรือลดลงก็ได้ (Levin, 1973)

พฤติกรรมของการดูดบนในดินภายใต้อิทธิพลของอุณหภูมิแสดงไว้ในรูปที่ 8



รูปที่ 9 อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อการดูดบนในดิน

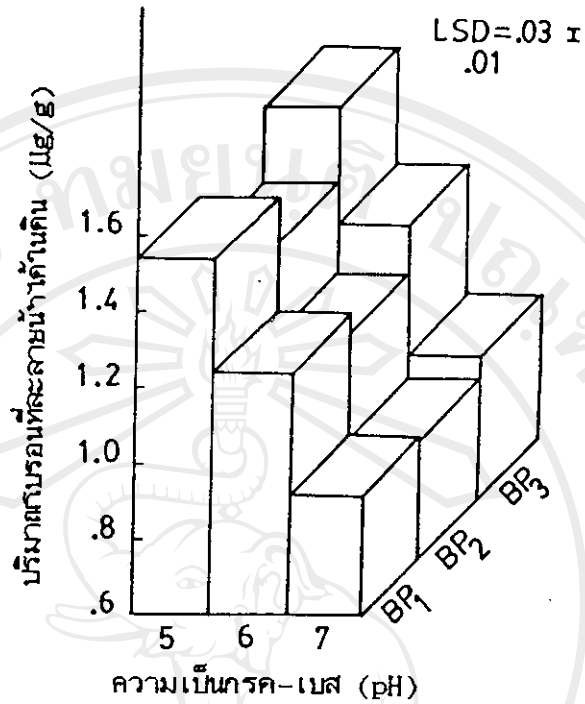
ผลการทดลองจากรูปที่ 8 ชี้ให้เห็นว่า ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นการดูดซับของดินก็จะเพิ่มขึ้นตามด้วย ซึ่งคล้ายกับผลการทดลองของ Bingham et al. (1971) จากปรากฏการณ์ดังกล่าวแสดงว่า ปฏิกิริยาการดูดซับของดินชนิดนี้ส่วนใหญ่เป็นปฏิกิริยาการดูดทางเคมี ซึ่งมักจะเป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับไม่ได้ (Irreversible) สอดคล้องกับปรากฏการณ์ฮีสเทรีซิส ที่พบก่อนหน้านี้ในการหาไอโซเทอร์มการดูดและการคายไบรมอนของดิน

อิทธิพลของอันตรกิริยา (Interaction)

การวิเคราะห์ทางสถิติในตารางผนวกที่ 1 ในภาคผนวก แสดงให้เห็นว่า ปัจจัยต่าง ๆ มีอันตรกิริยาคือการดูดไบรมอนในดิน โดยผลของอันตรกิริยาบางส่วนแสดงไว้ในรูปที่ 10, 11, 12, 13, และ 14

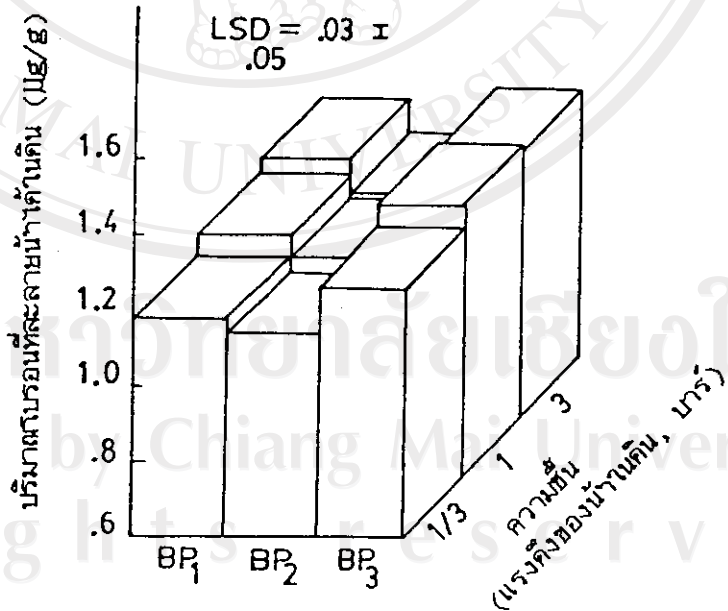
จากรูปเหล่านั้น $BP_{3 \times pH_1}$, $BP_{3 \times M_2}$, $BP_{3 \times M_3}$, $BP_{3 \times T_1}$, $pH_1 \times M_2$, $pH_1 \times M_3$, $pH_1 \times T_1$ * ก่อให้เกิดการดูดไบรมอนในดินต่ำสุดในกลุ่มของอันตรกิริยาระหว่าง $BP_{3 \times pH_1}$, $BP_{3 \times M_2}$, $BP_{3 \times T_1}$, $pH_1 \times M_2$, $pH_1 \times M_3$, $pH_1 \times T_1$ ตามลำดับ ในกรณีของอันตรกิริยาสามปัจจัย ซึ่งแสดงผลไว้ในตารางผนวกที่ 2 และ 3 ในภาคผนวก อันตรกิริยาของ $BP_{3 \times pH_1 \times T_1}$, $BP_{3 \times M_2 \times T_1}$ มีผลทำให้ดินดูดไบรมอนไว้ได้ค่าที่สูงสุดในหมู่ของอันตรกิริยาระหว่าง $BP_{3 \times pH_1 \times T_1}$ และ $BP_{3 \times M_2 \times T_1}$ ตามลำดับ ส่วนอันตรกิริยาสี่ปัจจัยได้แสดงไว้ในตารางผนวกที่ 4 ซึ่ง $BP_{1 \times pH_1 \times M_3 \times T_1}$, $BP_{3 \times pH_1 \times M_2 \times T_1}$, $BP_{3 \times pH_1 \times M_3 \times T_1}$ เป็นอันตรกิริยาที่คี่ที่สุดที่จะลดการดูดไบรมอนของดินได้ ผลของอันตรกิริยาทั้งหมดที่ได้กล่าวมาแล้ว สรุปได้ดังตารางที่ 10

* BP_1 = ไส้ไบรมอนและพอสฟอรัสพร้อมกัน, BP_3 = ไส้พอสฟอรัสก่อนไบรมอน 14 วัน, $pH_1 = 5$, $M_2 = 1$ บาร์, $M_3 = 3$ บาร์, $T_1 = 20$ °C



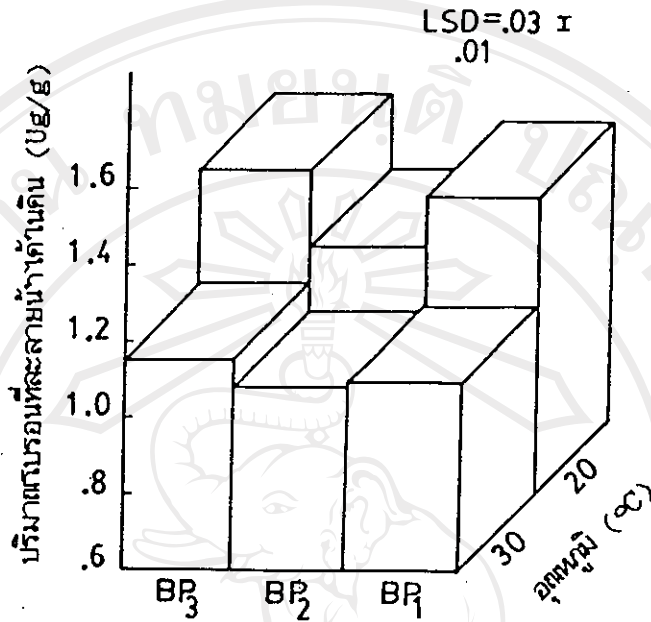
รูปที่ 10 อันตรกิริยาของวิธีการใส่ปุ๋ยและฟอสฟอรัสและความเป็นกรด-เบส ที่มีต่อการดูดปุ๋ยในดิน

BP₁ = ใส่ฟอสฟอรัสและปุ๋ยพร้อมกัน BP₂ = ใส่ปุ๋ยก่อนฟอสฟอรัส 14 วัน
 BP₃ = ใส่ฟอสฟอรัสก่อนปุ๋ย 14 วัน

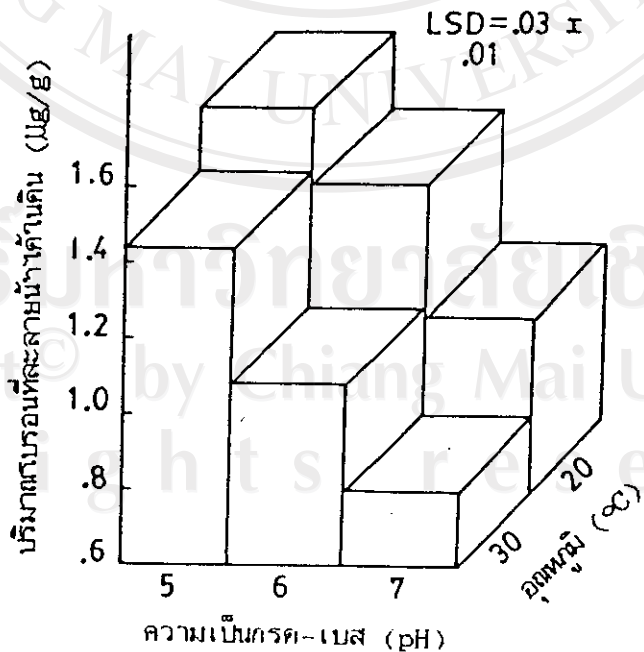


รูปที่ 11 อันตรกิริยาของวิธีการใส่ปุ๋ยและฟอสฟอรัสและความเป็นกรด-เบส ที่มีต่อการดูดปุ๋ยในดิน

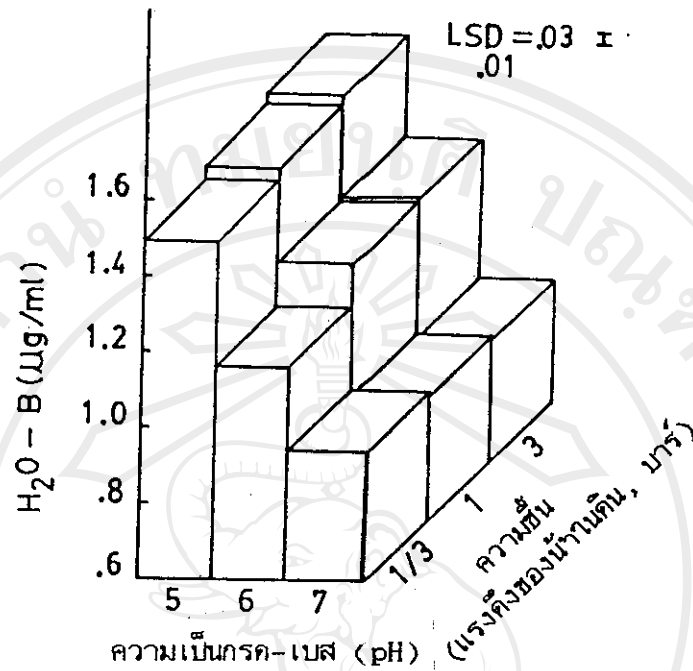
BP₁ = ใส่ฟอสฟอรัสและปุ๋ยพร้อมกัน BP₂ = ใส่ปุ๋ยก่อนฟอสฟอรัส 14 วัน
 BP₃ = ใส่ฟอสฟอรัสก่อนปุ๋ย 14 วัน



รูปที่ 12 อันตรกิริยาของวิธีการใส่โบรอนและฟอสฟอรัสและอุณหภูมิ ที่มีต่อการดูดโบรอนในดิน
 BP₁ = ใส่ฟอสฟอรัสและโบรอนพร้อมกัน BP₂ = ใส่โบรอนก่อนฟอสฟอรัส 14 วัน
 BP₃ = ใส่ฟอสฟอรัสก่อนโบรอน 14 วัน



รูปที่ 13 อันตรกิริยาของความเป็นกรด-เบสและอุณหภูมิ ที่มีต่อการดูดโบรอนในดิน



รูปที่ 14 อันตรกิริยาของความเป็นกรด-เบสและความชื้น ที่มีต่อการดูดซับรอนานดิน

ตารางที่ 10 อันตรกิริยาที่ทำให้ดินคูโครอนได้น้อยที่สุดในกลุ่ม

| กลุ่มของอันตรกิริยา | อันตรกิริยาที่ดินคูโครอนได้น้อยที่สุด |
|---------------------|--|
| สองปัจจัย : | |
| BPxpH | BP ₃ xpH ₁ |
| BPxM | BP ₃ xM ₂ |
| | BP ₃ xM ₃ |
| BPxT | BP ₃ xT ₁ |
| pHxM | pH ₁ xM ₂ |
| | pH ₁ xM ₃ |
| pHxT | pH ₁ xT ₁ |
| สามปัจจัย : | |
| BPxpHxT | BP ₃ xpH ₁ xT ₁ |
| BPxMxT | BP ₃ xM ₂ xT ₁ |
| สี่ปัจจัย : | |
| BPxpHxMxT | BP ₁ xpH ₁ xM ₃ xT ₁ |
| | BP ₃ xpH ₁ xM ₂ xT ₁ |
| | BP ₃ xpH ₁ xM ₃ xT ₁ |

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

BP = วิธีการใส่ปุ๋ยและพอสฟอรัส
 BP₁ = ใส่ปุ๋ยและพอสฟอรัสพร้อมกัน
 BP₂ = ใส่ปุ๋ยก่อนพอสฟอรัส 14 วัน
 BP₃ = ใส่พอสฟอรัสก่อนปุ๋ย 14 วัน

M = ความชื้น

M₁ = แรงดึงของน้ำในดินเท่ากับ 1/3 บาร์

M₂ = แรงดึงของน้ำในดินเท่ากับ 1 บาร์

M₃ = แรงดึงของน้ำในดินเท่ากับ 3 บาร์

pH = ความเป็นกรด-เบส

pH₁ = 5

pH₂ = 6

pH₃ = 7

T = อุณหภูมิ

T₁ = 20 °C

T₂ = 30 °C

Copyright © Chiang Mai University
 All rights reserved