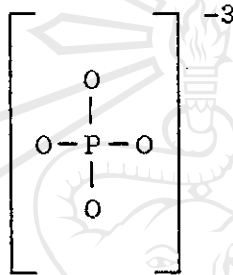


การตรวจเอกสาร

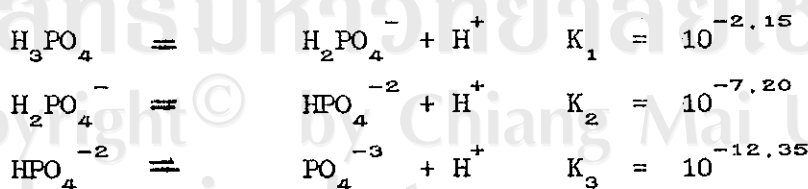
โดยธรรมชาติฟอสฟอรัสจะแสดงวาเลนซ์ +5 และมีเสถียรภาพมากที่สุด โดยอยู่ในรูปของออร์โธฟอสเฟต (Orthophosphate) ซึ่งมีฟอสฟอรัสเป็นใจกลาง และถูกล้อมรอบด้วยออกซิเจนสี่ตัวในลักษณะ โครงสร้างแบบเตตระฮีดรอล ดังภาพที่ 1



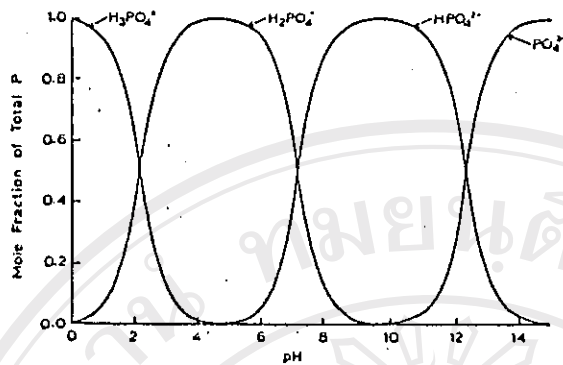
ภาพที่ 1 โครงสร้างเตตระฮีดรอลของออร์โธฟอสเฟต

ในสารละลายธรรมชาติ ออร์โธฟอสเฟต* จะสามารถอยู่ในรูปต่าง ๆ คือ H_3PO_4 , H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} และ PO_4^{3-} อัตราส่วนของปริมาณในรูปต่าง ๆ ดังกล่าว จะขึ้นอยู่กับความเป็นกรด-ด่าง หรือ พีเอช (pH) ของสารละลาย ดังแสดงในภาพที่ 2

* กรดออร์โธฟอสฟอริกมีการแตกตัวคงที่เป็น 3 ขั้นตอนดังสมการ



All rights reserved



ภาพที่ 2 อิทธิพลของ พีเอช ต่อปริมาณของออร์โธฟอสเฟต ในรูปต่าง ๆ

จากภาพที่ 2 จะเห็นว่าที่ พีเอช ประมาณ 5 ส่วนใหญ่ฟอสเฟตจะอยู่ในรูป H_2PO_4^- และในขณะที่ พีเอช ประมาณ 7.7 จะพบฟอสเฟตในรูป H_2PO_4^- และ HPO_4^{2-} ในปริมาณที่พอ ๆ กัน และที่ พีเอช ประมาณ 9 จะพบฟอสเฟตในรูป HPO_4^{2-} ในปริมาณมาก (Lindsay, 1979) ฟอสฟอรัสในดินส่วนมากจะเป็นองค์ประกอบของแร่พาไทท์ ($\text{Ca}_5(\text{F},\text{Cl})(\text{PO}_4)_3$) วาริสไซต์ ($\text{Al}(\text{OH})_2\text{H}_2\text{PO}_4$) หรือ ($\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) สเตริงไซต์ ($\text{Fe}(\text{OH})_2\text{H}_2\text{PO}_4$) หรือ ($\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) บาเรนไนท์ ซึ่งเป็นแร่ที่มี Fe^{+3} เข้าไปแทนที่บางส่วนของ Al^{+3} ในแร่วาริสไซต์และแร่อื่น ๆ นอกจากนี้ธาตุฟอสฟอรัสในดินยังได้มาจากการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุอีกด้วย (สุพจน์, 2526)

ด้วยเหตุที่ธาตุฟอสฟอรัสเมื่ออยู่ในสารละลายดินในสภาพธรรมชาติแล้วโดยส่วนมากมักปรากฏในรูปของฟอสเฟตไอออนที่มีประจุลบ ซึ่งอาจมีจำนวนประจุลบแตกต่างกันออกไป กล่าวคือลบหนึ่ง สองหรือสาม แล้วแต่ความเป็นกรด-ด่างของดิน ดังอธิบายในภาพที่ 2 ดังนั้น ฟอสเฟตไอออนจึงอาจถูกอนุภาคดินดูดยึดไว้ที่ผิวได้ในรูปแบบของประจุนวากับประจุลบ (electrostatic adsorption) นอกจากนี้เนื่องจากฟอสเฟตยังมีโครงสร้างแบบเตตระเอ็ดรอล (tetrahedral) ซึ่งมีขนาดใกล้เคียงกับซิลิกอนเตตระเอ็ดรอล ดังนั้นจึงอาจเกิดปฏิกิริยากับผิวของแร่ดินเหนียวอย่างช้า ๆ (surface reaction) โดยในระยะยาวอนุผลฟอสเฟตนี้จะเกิดพันธะทางเคมีกับโครงสร้างของแร่

ดินเหนียว (clay) และกลายเป็นส่วนหนึ่งของ โครงสร้างแร่ดินเหนียวที่พัฒนารูปแบบ ออกไป ฟอสเฟตออร์แกนิกมีแนวโน้มที่จะถูกอนุภาคดินตรึงไว้ค่อนข้างแน่นอนหา ปฏิกริยา เช่นนี้มักผันกลับได้ยาก อย่างไรก็ตาม เมื่อสภาพแวดล้อมเปลี่ยนแปลง การผันกลับ ของปฏิกริยาก็อาจเกิดขึ้นได้ นั่นหมายความว่าฟอสเฟตที่ถูกตรึงก็อาจเปลี่ยนกลับมา เป็นประโยชน์ต่อพืชได้ ปัจจัยที่ช่วยในการผันกลับของปฏิกริยา ได้แก่ ความเป็นกรดและ ความเป็นด่างของดิน ตลอดจน ปริมาณของอนุมูลอื่นที่มีขนาดใกล้เคียงกับอนุมูลฟอสเฟต ของสารละลายดิน

ดังนั้นฟอสฟอรัสเมื่ออยู่ในดินจะอยู่ในรูปของอนุมูลรูปต่าง ๆ ของฟอสเฟต ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น อาจถูกดูดซับและเกิดปฏิกริยา กับ ผิวของแร่ดินเหนียว เหล็ก และ อลูมิเนียมออกไซด์ หรือ ไฮดรอกไซด์ ในดินได้ในลักษณะที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งพหุจัด แบ่งตามประเภทการดูดซับ ได้ดังนี้

1. การดูดซับทางฟิสิกส์ (Physical adsorption)

การดูดซับประเภทนี้เกิดจากแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals forces) ซึ่งเป็นแรงดูดที่ต่ำมาก และไม่เฉพาะเจาะจง การดูดซับประเภทนี้จะเกิดขึ้นน้อยมากในดิน ทั่วไป โดยเฉพาะเมื่อสารละลายดินมี พีเอช เกิน 4 ขึ้นไปแล้วฟอสเฟตจะอยู่ในรูปที่มี ประจุลบ และจะเปลี่ยนมาอยู่ในรูปของการดูดซับประจุมากกว่า

2. การดูดซับไอออน (Ionic adsorption)

การดูดซับประเภทนี้ เกิดจากแรงดูดระหว่างประจุไฟฟ้าบวกกับประจุไฟฟ้าลบ การดูดซับประเภทนี้จะมีแรงดูดสูงกว่าการดูดทางฟิสิกส์ ส่วนแรงดูดจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ จำนวนประจุและระยะทางระหว่างประจุทั้งสอง ถ้าในสภาพที่เหมาะสมแล้ว ประจุที่ถูก ดูดเหล่านั้นก็สามารถแลกเปลี่ยนที่กับประจุอื่นที่อยู่ในสารละลายได้ (สุพจน์, 2526)

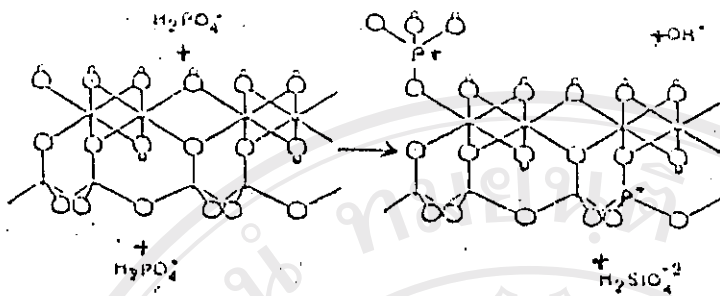
เนื่องจากอนุภาคคอลลอยด์ ตามธรรมชาติจะมีสมบัติเป็น แอมโฟเทอริก (amphoteric nature) โดยคอลลอยด์จะแสดงประจุเป็นบวกหรือลบก็ได้ ขึ้นอยู่กับความเป็นกรดและด่างของดิน จึงอาจเกิดกระบวนการดูดซับหรือปล่อยออกได้ทั้งประจุบวกหรือประจุลบหรือทั้งสองอย่าง ด้วยเหตุที่อนุกรมฟอสเฟตจะมีประจุเป็นลบเมื่อสารละลายดินที่มีพีเอช เกิน 4 ขึ้นไป ดังนั้นฟอสเฟตไอออนจึงอาจถูกอนุภาคดินดูดซับไว้ที่ผิวได้ในรูปแบบของประจุไฟฟ้าตรงกันข้ามดูดซึ่งกันและกัน

Haynes (1984) รายงานว่าการดูดซับฟอสเฟตไอออนแบบไฟฟ้าสถิตย์ของอนุภาคดินที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารอิเล็กโทรไลต์ (electrolyte) และอันเนื่องมาจากการเติมสารเคมีลงไปในดิน ซึ่งจะมีผลทำให้มีการปรับสมดุลย์เคมีใหม่ในดิน โดย โพลีแคทไอออนทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมตูดูดระหว่างผิวแร่ดินเหนียวกับฟอสเฟต (adsorption through bridge)

3. การดูดซับทางเคมี (Chemical adsorption)

การดูดซับประจุไว้ที่ผิวของอนุภาคของสาร โดยวิธีนี้จะเห็นได้โดยเกิดปฏิกิริยาช้า ๆ กับผิวสาร ซึ่งผลที่สุดอนุกรมหรือ โมเลกุลที่ถูกดูดก็จะเกิดพันธะติดกับโครงสร้างของสาร ดังนั้นการดูดประเภทนี้จะมีแรงดูดยึดสูง การผันกลับของปฏิกิริยามักเป็นไปได้ยาก ดังนั้นประจุก็จะถูกตรึงโดยปรียาย การตรึงฟอสเฟตโดยวิธีการดูดซับทางเคมีนี้สามารถแบ่งออกอย่างคร่าว ๆ ได้ 2 แบบคือ

3.1) การแทนที่ของฟอสเฟตต่อกลุ่มไฮดรอกซิลในผิวแร่ดินเหนียวละต่อกลุ่มซิลิเกตในผิวโครงสร้างของแร่ดินเหนียว ซึ่งอาจแสดงให้เห็นดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การแทนที่ของฟอสเฟตไอออนใน โครงสร้างของแร่ดินเหนียว

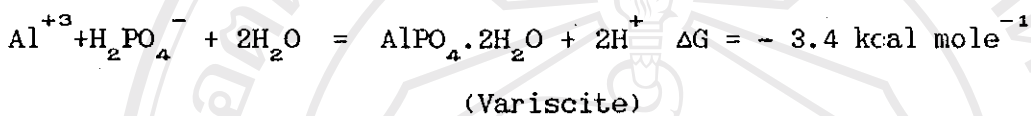
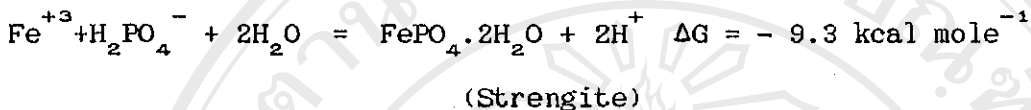
จะเห็นว่าการแทนที่ของฟอสเฟตต่อกลุ่มไฮดรอกซิล และต่อกลุ่มซิลิเกตจะเป็นการแทนที่แบบ Ligand Exchange (Isomorphic Substitution) ซึ่งจะมีผลทำให้ประจุต่างเกิดกับ โครงสร้างของแร่ดินเหนียวได้ เนื่องจากว่าอนุมูลฟอสเฟตที่เข้าไปแทนที่นี้จะเกิดพันธะทางเคมีกับ โครงสร้างของแร่ดินเหนียว ดังนั้นอนุมูลฟอสเฟตพวกนี้จึงยากที่จะถูกปลดปล่อยออกมา การแทนที่ของฟอสเฟตต่อกลุ่มไฮดรอกซิล และต่อกลุ่มซิลิเกตใน โครงสร้างของแร่ดินเหนียวนี้ จะมีผลทำให้เปลี่ยนแปลง โครงสร้างของแร่ดินเหนียวและในที่สุดก็จะมีผลต่อความเสถียรภาพของแร่ดินเหนียวเองด้วย (สุนจน์, 2526)

Rajan and Fox (1975) ได้ทำการศึกษาการดูดซับของฟอสเฟตของเคโอลิไนท์ (kaolinite) และการดูดซับฟอสเฟตของแร่ดินเหนียวที่ไม่เป็นผลึก (allophane clay) สรุปได้ว่า จะเป็นปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนลิแกนด์ระหว่างฟอสเฟตในสารละลายดินกับ ซิลิเกต และกลุ่มไฮดรอกซิลบน โครงสร้างของแร่ดินเหนียว

ซึ่งความเป็นจริง โอกาสการเกิดลิแกนด์ของฟอสเฟตกับไฮดรอกซิลน่าจะเกิดได้ง่ายกว่ากับซิลิเกต และปัจจัยที่ไม่ควรละเลยก็คือ เวลาที่มีผลต่อกระบวนการแลกเปลี่ยนลิแกนด์

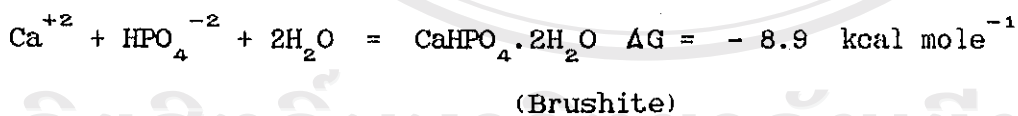
3.2 การรวมตัวกับอลูมิเนียม เหล็ก และ แคลเซียม ที่มีอยู่ในสารละลายดิน เกิดเป็นสารประกอบฟอสเฟตที่ไม่ละลายน้ำ ในสภาพดินกรดซึ่งจะมี Fe^{+3}

และ Al^{+3} อยู่เป็นจำนวนมากนั้น อนุมูลฟอสเฟตจะรวมตัวกับประจุบวกดังกล่าว เกิดเป็นสารประกอบฟอสเฟตที่ไม่ละลายน้ำ ทำให้อนุมูลฟอสเฟตถูกตรึง (สัจจน์, 2526) ดังตัวอย่างจากสมการ



Hsu (1964) พบว่า ฟอสเฟตจะไม่เกิดการรวมตัวกับอลูมิเนียมและเหล็ก เป็น เส้นตรงใจท์ และวาริสไซต์ ที่ พีเอช 7 ถ้าสารละลายดินมีปริมาณฟอสเฟตเจือจางจะเกิดการแลกเปลี่ยนลิแกนด์กับกลุ่มไฮดรอกซิลของไฮดรอกไซด์ของเหล็กและอลูมิเนียมแทน

ในสภาพดินต่างซึ่งจะมีแคลเซียมมีอยู่เป็นจำนวนมากนั้น อนุมูลฟอสเฟตก็จะรวมตัวกับแคลเซียมเกิดเป็นสารประกอบฟอสเฟตที่ไม่ละลายน้ำ ด้วยเหตุนี้จึงเกิดการตรึงฟอสเฟตในสภาพดินต่าง ดังตัวอย่างจากสมการ



Cole et al. (1953) ได้ศึกษาลักษณะการดูดซับของฟอสเฟตโดยสารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนต และชี้ให้เห็นว่าเมื่อใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้ลงไปดินต่าง จะเกิดการดูดซับฟอสเฟตไว้บนผิวแคลเซียมคาร์บอเนตไว้เพียงชั้นเดียว (monolayer) ก่อน แต่ถ้ามีความเข้มข้นของฟอสเฟตในปริมาณสูง ก็จะมีการตกตะกอนเป็นสารประกอบแคลเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต ($CaHPO_4 \cdot 2H_2O$)

ลักษณะสมบัติดินที่มีผลต่อพฤติกรรมฟอสฟอรัส

1. ชนิดและปริมาณของแร่ดินเหนียว

โดยทั่วไปจะพบว่า มีการเคลื่อนที่ของฟอสฟอรัสในดินเนื้อหยาบมากกว่าในดินเนื้อละเอียด เนื่องมาจากมีการเกิดปฏิกิริยาการตรึงฟอสฟอรัสในดินเนื้อละเอียดได้มากกว่าในดินเนื้อหยาบ (Sanchez, 1976; Brady, 1990)

Tisdale et al. (1985) รายงานถึงความสามารถในการตรึงฟอสฟอรัสของแร่ดินเหนียวประเภท 1:1 เช่น เคโอลิไนท์ จะมีมากกว่าประเภท 2:1 เช่น มอนต์โมริลโลไนท์ ทั้งนี้เนื่องมาจากแร่ดินเหนียวประเภท 1:1 มีกลุ่มไฮดรอกซิลที่เป็นผิวโครงสร้างที่อาจทำปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนกับฟอสเฟตได้มากกว่า แร่ดินเหนียวประเภท 2:1

2. เซสควิออกไซด์ (sesquioxides)

เซสควิออกไซด์หรือกลุ่มสารประกอบออกไซด์ ไฮดรอกไซด์ของโลหะ เช่น เหล็กและอลูมิเนียม อาจอยู่ในรูปที่เป็นผลึก (crystalline) หรือรูปอสัณฐาน (amorphous) หรืออาจเคลือบอยู่บนผิวอนุภาคดินเหนียว มีความสามารถในการตรึงฟอสฟอรัสสูงโดยเกิดปฏิกิริยาดูดซับแบบลิแกนด์ ส่วนมากจะพบปริมาณมากในดินที่เป็นกรดและผ่านการชะล้างสูง เช่น ดินในอันดับ Oxisols Ultisols หรือดินเถ้าภูเขาไฟในอันดับย่อย Andepts (Sanchez, 1976; Tisdale et al., 1985; Brady, 1990) ในประเทศไทยจะพบลักษณะดินเช่นนี้บนพื้นที่ภูเขาตอนบนของภาคเหนือ

จากการตรวจเอกสารจากนักวิจัยหลาย ๆ ท่าน (Sanchez and Uehara, 1980; Stanley, 1984; Sanchez, 1976; Brady, 1990; Tisdale et al., 1985) เกี่ยวกับความสามารถในการตรึงฟอสฟอรัสของสารประกอบเซสควิออกไซด์ในรูปต่าง ๆ เรียงลำดับจากมากไปน้อยได้ดังนี้

Amorphous Fe/Al oxides > Crystalline Fe/Al oxides > Fe/Al oxides

ความแตกต่างในการตรึงฟอสฟอรัสนั้น เนื่องมาจากการมีพื้นที่ผิวที่จะเกิดปฏิกิริยาดูดซับฟอสฟอรัสได้มากน้อยต่างกันตามลำดับ

Sanchez (1976) รายงานว่า สารประกอบเฮสควิวออกไซด์ที่เป็นรูปผลึกฐานของอลูมิเนียม (amorphous aluminum compound) มีความสามารถที่จะตรึงฟอสฟอรัสได้มากกว่า เฮสควิวออกไซด์ในรูปผลึกฐานของเหล็ก (amorphous iron compound) ของดินในอันดับ Ultisols และ Oxisols

3. ความเป็นกรด-ด่างของดิน

ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนในสารละลายและค่าสมมูลย์คงที่มีผลต่อรูปปริมาณหลักของอนุผลฟอสเฟตในสารละลายดิน ถ้าหากสารละลายมีไฮโดรเจนไอออนมากหรือมีค่า พีเอช น้อยกว่า 5 ซึ่งสารละลายมีฤทธิ์กรด จะพบฟอสเฟตในรูป $H_2PO_4^{-1}$ อยู่มาก ในขณะที่พีเอชมากกว่า 7 หรือในสภาพดินด่างจะพบ HPO_4^{-2} อยู่มาก (Lindsay, 1979) ในแง่ของอิทธิพลความเป็นกรด-ด่างของดิน ต่อการเพิ่มหรือลดปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน Tisdale และ คณะ (1985) ได้สรุปว่า ฟอสฟอรัสจะมีประโยชน์สูงสุดในดินโดยทั่วไปเมื่อ พีเอช อยู่ในช่วง 6-6.5 แต่เมื่อพีเอชดินต่ำหรือสูงกว่านี้ ฟอสฟอรัสจะเป็นประโยชน์น้อยลงเนื่องจากเกิดปฏิกิริยารวมกันเป็นสารประกอบไม่ละลายน้ำกับเหล็ก อลูมิเนียมและ สารประกอบเฮสควิวออกไซด์ในดินกรด และกับแคลเซียมในดินด่าง และรายงานเพิ่มเติมว่า ในดินด่างที่มีอนุผลโซเดียมอยู่ในปริมาณมาก การตรึงฟอสฟอรัสจะเกิดขึ้นน้อยกว่าในดินด่างที่มีอนุผลแคลเซียมกับแมกนีเซียมอยู่สูง และการใส่ปูนในปริมาณมากเกินไป (Over liming) เพื่อแก้ปัญหาดินกรดนั้นจะทำให้ฟอสฟอรัสรวมตัวกับแคลเซียมเพิ่มมากขึ้น ทำให้ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสลดลง

Haynes (1984) พบว่า การตรึงของเหล็กออกไซด์ในรูปอสัณฐานจะเกิดขึ้นสูงสุดที่ พีเอช ประมาณ 4-5 หลังจากนั้นการดูดซับจะเริ่มลดลงอย่างช้า ๆ และลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อพีเอชมากกว่า 7 ขึ้นไป

Sanchez and Uehara (1980) ได้อธิบายว่า เซสควิออกไซด์สามารถเกิดปฏิกิริยาดูดซับกับฟอสเฟตได้เสมอ ไม่ว่าประจุที่ผิวของสารประกอบเซสควิออกไซด์จะเป็นบวกหรือลบหรือศูนย์ เนื่องจากความมากน้อยของประจุบนผิวเซสควิออกไซด์ขึ้นอยู่กับพีเอช (พีเอช dependent charge) เมื่อ พีเอช ต่ำกว่าค่าประจุสุทธิเป็นศูนย์ (zero point of charge) ผิวของออกไซด์จะมีประจุสุทธิเป็นบวก อนุมูลฟอสเฟตจะเข้าแทนที่โมเลกุลน้ำ และเมื่อ พีเอช เท่ากับหรือสูงกว่า ค่าประจุสุทธิเป็นศูนย์ทำให้ผิวของออกไซด์มีประจุสุทธิเป็นศูนย์และลบตามลำดับ อนุมูลฟอสเฟตจะเข้าไปแทนที่กลุ่มไฮดรอกซิล และพบว่าทำให้สารละลายดินมี พีเอช เพิ่มขึ้น

4. อินทรีย์วัตถุ

บทบาทอินทรีย์วัตถุในระดับชีวมีสที่มีอิทธิพลต่อการช่วยลดการตรึงฟอสเฟตในดินและเพิ่มความเป็ประโยชน์ของฟอสเฟตในดินได้

Tisdale et al. (1985) อธิบายว่า ชีวมีส สามารถลดการตรึงฟอสเฟตในดินได้โดยที่

1. ชีวมีสจะแย่งเข้าไปแทนที่ในตำแหน่งที่อนุมูลฟอสเฟตจะถูกดูดซับบนผิวของอนุภาคแร่ดินเหนียวและเซสควิออกไซด์
2. ชีวมีส จะฉาบเคลือบผิวอนุภาคเซสควิออกไซด์ไว้ ทำให้ลดพื้นที่ผิวในการเกิดปฏิกิริยาลิแกนด์กับฟอสเฟต

นอกจากนี้ Haynes (1984) รายงานเพิ่มเติมว่า กรดอินทรีย์ (organic acid) ที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุ สามารถช่วยลดปฏิกิริยาการ

ดูดซับฟอสเฟตในดินได้ โดยกรดอินทรีย์จะเข้าไปแย่งแทนที่อนุมูลฟอสเฟตที่จะเกิดปฏิกิริยาลิแกนด์บนพื้นที่ผิวของแร่ดินเหนียวและเซสควิออกไซด์

Sanchez and Uehara (1980) พบว่า ในดินชั้นบนของดินชุดต่าง ๆ เช่น Oxisols Ultisols ปกติจะมีอินทรีย์วัตถุเป็นองค์ประกอบอยู่สูง จะตรึงฟอสฟอรัสได้น้อยกว่าดินชั้นล่างถัดไป เนื่องจากอิทธิพลของ ฮิวมัส และกรดอินทรีย์

ไอโซเทอมการดูดซับฟอสเฟตในดิน (Phosphate Adsorption Isotherm)

การสร้างไอโซเทอมการดูดซับ ของดินต่าง ๆ เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่าง ฟอสเฟตที่ถูกยึดโดยคอลลอยด์ดิน (sorbed-P) และฟอสเฟตส่วนที่ยังคงเหลืออยู่ในสารละลายดิน (solution-P) โดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์เพื่อที่จะอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างฟอสเฟตที่ถูกดูดซับและฟอสเฟตในสารละลายดิน สมการไอโซเทอมการดูดซับที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในการอธิบายปฏิกิริยาแบบดูดซับของฟอสเฟตไอออนของคอลลอยด์ดินนั้น ส่วนใหญ่จะใช้ไอโซเทอมการดูด 2 ชนิด ดังนี้คือ

1. ไอโซเทอมการดูดของแลงเมียร์ (Langmuir sorption isotherm)

ไอโซเทอมการดูดของแลงเมียร์ เกิดมาจากทฤษฎีจลนศาสตร์ (Kinetic theory) เพื่อที่ใช้ในการอธิบาย การดูดของก๊าซบนพื้นผิวของของแข็ง (Berkheiser et al., 1980) โดยมีสมมติฐานดังต่อไปนี้

1.1 การเกาะยึดของก๊าซบนพื้นผิวของแข็งจะเกิดเพียงชั้นเดียว

(monolayer)

1.2 พื้นผิวของแข็งที่ดูดจะต้องเป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneous)

เพื่อให้การดูดที่เกิดขึ้นมีแรงเท่า ๆ กันทุก ๆ จุด

- 1.3 ไม่มีปฏิกิริยาระหว่าง โมเลกุลของแก๊สที่ถูกดูดซับด้วยตัวเอง
- 1.4 มีตำแหน่งการดูดที่แน่นอนทำให้สามารถกำหนดการเกาะยึดใน

ปริมาณสูงสุดได้

รูปแบบสมการ ไอโซเทอมการดูดของแลงเมียร์ที่ใช้ในการอธิบายพฤติกรรม
ฟอสฟอรัสที่ถูกดูดบนพื้นผิวของคอลลอยด์ดิน เป็นต้นคือ

$$c/x = c/x_m + 1/kx_m$$

c = ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในสารละลายดิน (ไมโครกรัม/มิลลิลิตร)

x = ปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกดูด (ไมโครกรัม/ดิน 1 กรัม)

x_m = ปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกดูดไว้ได้สูงสุด

k = ค่าคงที่เกี่ยวกับพลังงานการดูดซับ

2 ไอโซเทอรัมการดูดของฟรอยดลิช (Freundlich sorption isotherm)

ไอโซเทอรัมการดูดของฟรอยดลิชได้มาจากการทดลองหาสมการที่เหมาะสม
กับข้อมูลจากการทดลอง (empirical equation) รูปแบบสมการไอโซเทอรัมการดูดที่
ใช้อธิบายพฤติกรรมของฟอสฟอรัสที่ถูกดูดที่มต่อพื้นผิวของคอลลอยด์ดิน สามารถอธิบายได้
ดังนี้ คือ

$$x = kc^{1/n}$$

$$\log x = 1/n \log c + \log k$$

Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยที่

n และ k เป็นค่าคงที่ ที่ได้จากสมการ (empirical constant)

x = ปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกดูด (ไมโครกรัม/ดิน .1 กรัม)

c = ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในสารละลายดิน (ไมโครกรัม/มิลลิลิตร)

จากลักษณะไอโซเทอร์มการดูดของแลงเมียร์ ที่ใช้อธิบายการดูดฟอสฟอรัสของดิน นักวิจัยหลาย ๆ ท่าน (Bache and William, 1971., Fox, 1981) พบว่าการดูดฟอสฟอรัสจะเป็นไปตามทฤษฎีไอโซเทอร์มการดูดของแลงเมียร์ โดยเส้นไอโซเทอร์มจะเป็นเส้นตรง เฉพาะในกรณีที่มีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในสารละลายดินยังต่ำเท่านั้น แต่ถ้าระดับความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในสารละลายดินสูงจะเกิดการเบี่ยงเบนออกไปจากเส้นตรงเดิม ทั้งนี้ก็เพราะว่าการดูดซับฟอสฟอรัสได้เกิดขึ้น ในแบบหลายชั้น (multilayer) ซึ่งสมการของฟรอยดลิตซ์ สามารถอธิบายเส้นตรงไอโซเทอร์มได้ตลอดช่วงความเข้มข้นของการทดลอง โดยไม่มีข้อจำกัดทางทฤษฎี (Bache and William, 1971)

การใช้เทคนิคไอโซเทอร์มการดูดซับ (adsorption isotherm) เพื่อศึกษาการตรึงฟอสเฟตของดิน

Fox (1981) ใช้ เทคนิคไอโซเทอร์มการดูดซับ ในการศึกษาการตรึงฟอสเฟตของดินต่าง ๆ 4 ชนิด คือ ดินในอันดับ (order) Mollisols Ultisols และ Oxisols และดินในอันดับย่อย (sub order) Adept ซึ่ง ไอโซเทอร์มการดูดซับสามารถแสดงถึงลักษณะการตรึงฟอสฟอรัสที่แตกต่างกันของดินทั้งสี่ชนิดได้ดี โดย ดิน Adept ที่มีแร่รองประกอบเป็น พวกเคลย์ที่ไม่เป็นผลึกนั้นสามารถตรึงฟอสฟอรัสได้มาก ในขณะที่ดิน Oxisols และ Ultisols ซึ่งมีแร่รองประกอบเป็นพวกเซสควออกไซด์

(sesquioxides) อยู่มาก และมีแร่ดินเหนียวเป็นพวก เคโอลิไนท์ มีความสามารถในการตรึงฟอสฟอรัสลงมา ส่วนดิน Mollisols มีแร่องค์ประกอบเป็นพวก มอนโมริลโลไนท์ (monmorillonite) นั้น ตรึงฟอสฟอรัสได้ไม่มากนัก

นอกจากนี้ยังได้มีการนำเทคนิคไอโซเทอมการดูดซับ มาศึกษาหาความต้องการปุ๋ยฟอสเฟตของดินต่าง ๆ เพื่อให้พืชมมีการเจริญเติบโตสูงสุด Beckwith (1965) และนักวิจัยท่านอื่น (Fox and Kamprath, 1970) ได้ใช้ ไอโซเทอมการดูดซับ (adsorption isotherm) ศึกษาหาความต้องการของปุ๋ยฟอสฟอรัสของดิน และมีความคิดเห็นตรงกันว่าปริมาณฟอสเฟตในสารละลายดิน ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชโดยทั่วไปมีค่าเท่ากับ 0.2 ppm อย่างไรก็ตามค่านี้ก็เปลี่ยนแปลงไปได้ตามความชื้นของดิน เพราะความชื้นของดินมีอิทธิพลต่อการแพร่กระจายของฟอสเฟตไปสู่ราก

ปริมาณและสัดส่วนของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสรูปต่าง ๆ ในดิน

สารประกอบอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในดินส่วนใหญ่ จำแนกออกได้เป็น 4 ชนิดด้วยกันคือ อลูมิเนียมฟอสเฟต (Al-P) เหล็กฟอสเฟต (Fe-P) แคลเซียมฟอสเฟต (Ca-P) และอยู่ในรูป Reductant-soluble ของเหล็กฟอสเฟต ปริมาณและสัดส่วนของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสรูปต่าง ๆ เหล่านี้จะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดิน ประจวบกับชนิดต่าง ๆ และความเป็นกรด-ด่างของดินเป็นต้น โดยส่วนใหญ่การหาปริมาณสัดส่วนจะอาศัยหลักการวิเคราะห์ตามวิธีของ Chang and Jackson (1957)

Stanley (1984) และ Sanchez (1976) ได้รายงานถึงสัดส่วนในรูปต่าง ๆ ของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสที่ถูกตรึงในดินที่ผ่านสภาพการชะล้างพังทลายที่แตกต่างกัน โดยสรุปว่า ดินในอันดับ Oxisols ที่ผ่านการชะล้างพังทลายสูงจะพบฟอสฟอรัสที่ถูกตรึงในรูป occluded phosphate มาก ในขณะที่ดินในอันดับ Mollisols ที่เกิดการชะล้าง

พืงหลายเล็กน้อย จะพบในรูปแคลเซียมฟอสเฟตเป็นส่วนใหญ่ สำหรับในดิน Alfisols ที่เกิดการชะล้างพืงหลายปานกลาง พบว่าฟอสฟอรัสที่ถูกดูดซับ จะอยู่ในรูปต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมาข้างต้นใกล้เคียงกัน

Sanchez (1976) รายงานเพิ่มเติมว่า ฟอสฟอรัสที่ถูกตรึงในดินกรดพวก Andepts ส่วนมากจะอยู่ในรูปอลูมิเนียมฟอสเฟต มากกว่าเหล็กฟอสเฟต เนื่องจากดินกลุ่มนี้มีอลูมิเนียมออกไซด์เป็นองค์ประกอบอยู่สูง

สำหรับรายงานในประเทศไทย สุพจน์ และคณะ (2535) ได้ศึกษาคักยภาพของฟอสเฟตที่ถูกดูดซับทางเคมีในดินชุดเรณู รายงานว่าฟอสฟอรัสที่ใส่ลงไปในดินส่วนใหญ่ประมาณ 70-90 % จะถูกตรึงในรูปของเหล็กและอลูมิเนียมฟอสเฟต 20-30 % อยู่ในรูปแคลเซียมฟอสเฟต และจะถูกตรึงโดยแร่ดินเหนียวน้อยกว่า 8 % ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำจะมีเพียง 2-10 % เท่านั้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved