122 351/132351 Soil Fertility and Plant Nutrition
ความอุดมสมบูรณ์ของดินและโภชนาการพืช

อาจารย์ผู้สอน

ศ. ดร. ปัทมา วิตยากร แรมโบ 1

จุลธาตุในดิน
Micronutrients (trace elements)

2

จุลธาตุในดิน

จุลธาตุ คือ ธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณน้อย จุลธาตุสำหรับพืชที่มีการศึกษากันมากมี 6 ตัวได้แก่

- เหล็ก (iron - Fe)
- แมงกานีส (manganese - Mn)
- ทองแดง (copper - Cu)
- สังกะสี (zinc - Zn)
- โบรอน (boron - B)
- โมลิบเดนัม (molybdenum - Mo)

อย่างไรก็ตามมีจุลธาตุตัวอื่น ๆ ที่มีการศึกษากันน้อยกว่าแต่เป็นธาตุที่มีหลักฐานว่าพืชต้องการได้แก่

- คลอรีน (chlorine - Cl)
- โคบอลต์ (cobalt - Co) และ
- นิเกิล (nickel - Ni)

3

แหล่งธรรมชาติ

ดินได้รับจุลธาตุจากสารต้นกำเนิดดินจากหินและแร่ที่เป็นสารต้นกำเนิดดิน

ในหินที่เป็นสารต้นกำเนิดดิน จุลธาตุเป็นส่วนประกอบของแร่ประกอบหิน (แร่ปฐมภูมิ) ซึ่งเกิดจากลาวาที่ให้กำเนิดหินอัคนี (igneous rocks) ประมาณ 95% ของเปลือกโลกเป็นหินอัคนี ส่วนที่เหลือเป็นหินตะกอน (sedimentary rocks)

ในพื้นที่เฉพาะบางแห่งดินอาจได้รับจุลธาตุเพิ่มจากกิจกรรมทางอุตสาหกรรมหรือการทำเหมืองแร่ ในพื้นที่การเกษตรดินอาจได้รับจุลธาตุจากการใส่ปุ๋ยเคมี เช่น ปุ๋ยฟอสเฟต ซึ่งมีจุลธาตุอยู่เล็กน้อย

4

รูปของจุลธาตุในดินที่เป็นไอออนต่าง ๆ

จุลธาตุเกิดอยู่ในรูปไอออนประจุบวกและประจุลบ

ไอออนประจุบวก

Cu^{2+} (Cu^{2+}, $CuOH^{+}$, $Cu_2(OH)^{2+}$)

Mn^{4+}, MnO_2

Mn^{2+} (Mn^{2+} – $MnSO_4$, $MnHCO_3^{+}$, $MnOH^{+}$)

Fe^{3+} (Fe^{3+}, $FeOH^{2+}$, $Fe(OH)_2^{+}$, $Fe_2(OH)_2^{4+}$)

Fe^{2+} (Fe^{2+}, $FeOH^{+}$)

Zn^{2+} (Zn^{2+}, $Zn(OH)^{+}$)

อนุมูลประจุลบ

Mo (MoO_4^{2-}, $HMoO_4^{-}$)

B ($H_2BO_3^{-}$, $B(OH)_4^{-}$)

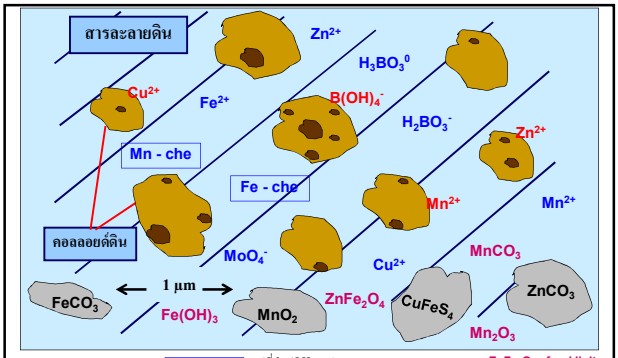
5

รูปของจุลธาตุในดิน (forms of micronutrients in soils)

รูปที่สัมพันธ์กับระบบคอลลอยด์ดิน

1. จุลธาตุรูปละลายน้ำในสารละลายดิน
2. จุลธาตุรูปที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable form)
3. จุลธาตุรูปที่ถูกดูดยึดแบบจำเพาะ (specifically-adsorbed form)
4. รูปที่ถูกดูดยึดหรือทำปฏิกิริยาเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับอินทรียวัตถุ (chelate complexes)
5. รูปที่ตกตะกอน (coprecipitation และ occlusion)
6. รูปที่อยู่ในแร่ปฐมภูมิและแร่ทุติยภูมิ (แร่ดินเหนียว)

6



7

สารประกอบชีวเคมีที่เป็นสารคีเลต (chelating agents)

สารประกอบชีวเคมีที่ทำปฏิกิริยาเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่เสถียรกับจุลธาตุที่เป็นแคทไอออน หรืออีกนัยหนึ่งทำปฏิกิริยาจับยึดโลหะ แบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม ได้แก่

1) สารประกอบชีวเคมีที่มีการจำแนกตามโครงสร้างทางชีวเคมีอย่างชัดเจน เช่น กรดอะมิโน กรดอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำต่าง ๆ ฟีนอลส์และกรดฟีนอลิกส์ และ กรดน้ำตาล (sugar acids) เช่น กรดกลูโคนิก (gluconic acid) และ กาแล็กเทอรอนิก (galacturonic acid) เป็นต้น

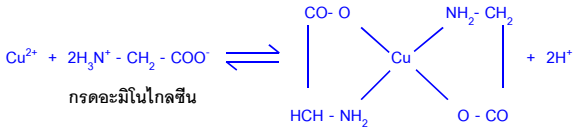
2) ส่วนประกอบของฮิวมัสที่เสถียร เช่น กรดฮิวมิก และกรดฟัลวิก

สารประกอบชีวเคมีเหล่านี้มีความสำคัญเนื่องจากมีส่วนในการสร้างสารประกอบเชิงซ้อนกับจุลธาตุที่มีคุณสมบัติละลายน้ำ อย่างไรก็ตามสารประกอบเชิงซ้อนกับกรดฮิวมิกส่วนใหญ่ไม่ละลายน้ำ

8

คุณสมบัติของสารประกอบเชิงซ้อนโลหะคีเลต (metal chelate complexes)

สารประกอบที่มาทำปฏิกิริยากับไอออนโลหะเรามักเรียกว่า ลิแกนด์ (ligand) ตัวอย่างของปฏิกิริยาระหว่าง Cu กับกรดอะมิโนไกลซีน (glycine) ดังแสดงในสมการ (Stevenson, 1986)

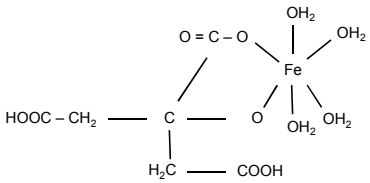


9

คุณสมบัติของสารประกอบเชิงซ้อนโลหะคีเลต (ต่อ)

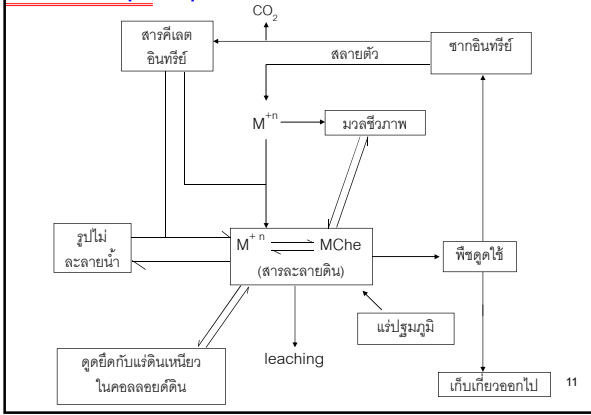
นอกจากนี้ รากพืชยังขับสารที่มีกรดอินทรีย์อยู่หลายชนิด เช่น กรดซิทริก เป็นต้น ซึ่งกรดซิทริกทำปฏิกิริยาคีเลทกับ Fe^{2+}

กรดซิทริกจัดเป็นสารคีเลทแบบไบเดนเทต เพราะมีพันธะ 2 พันธะกับ Fe



10

วงจรของจุลธาตุในดิน



11

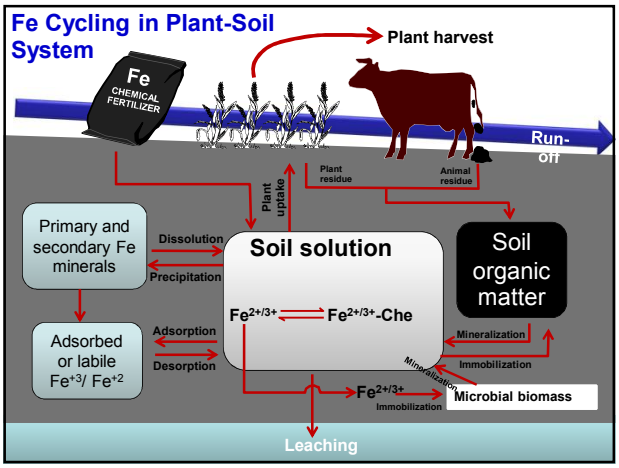
วงจรของจุลธาตุในดิน

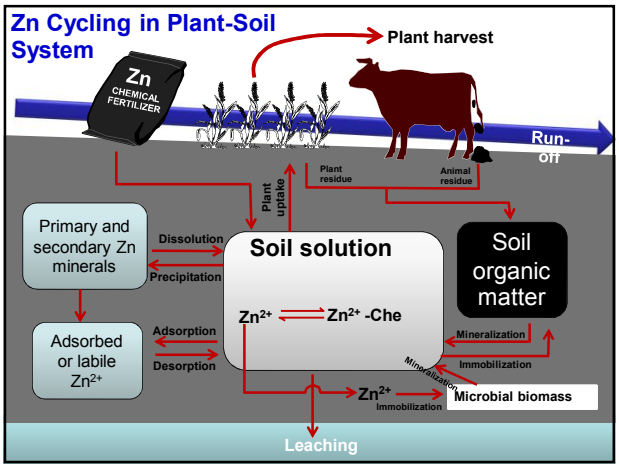
หากเราตั้งต้นวงจรโดยใช้ปริมาณจุลธาตุในสารละลายดินเป็นตัวตั้ง จะพบว่าปริมาณจุลธาตุตัวใดตัวหนึ่งที่อยู่ในรูปไอออนอิสระในสารละลายดินหรือในรูปสารประกอบเชิงซ้อนกับลิแกนด์อินทรีย์ (สารคีเลต) หรืออนินทรีย์ที่ละลายน้ำขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลได้แก่

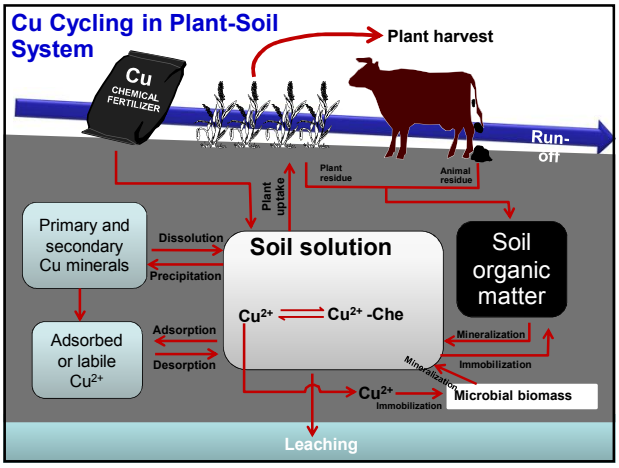
- ปฏิกิริยาการตกตะกอน
- การเปลี่ยนรูปโดยกิจกรรมจุลินทรีย์ และ
- การดูดยึดที่ผิวแร่ดินเหนียวหรือแร่ออกไซด์

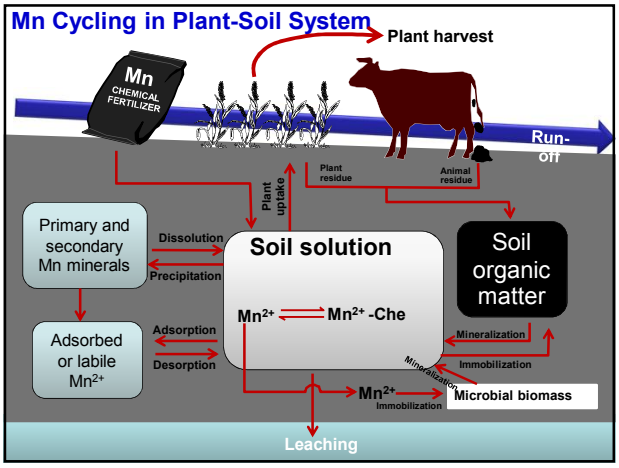
เมื่อซากพืชกลับคืนสู่ดินทำให้จุลธาตุถูกหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งนับเป็นปัจจัยที่สำคัญมากในดินที่ขาดแคลนจุลธาตุ สารคีเลตที่จุลินทรีย์สร้างขึ้นหรือรากพืชขับออกมามีส่วนทำให้หินและแร่สลายตัว นอกจากนี้เมื่อทำปฏิกิริยาเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับจุลธาตุ ช่วยในการเคลื่อนที่ของจุลธาตุไปยังราก

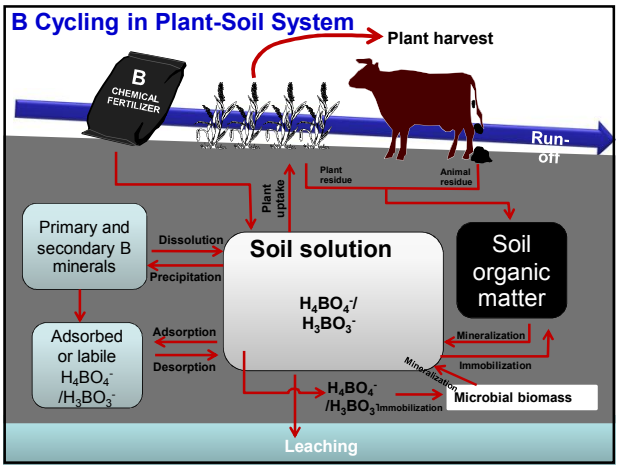
12

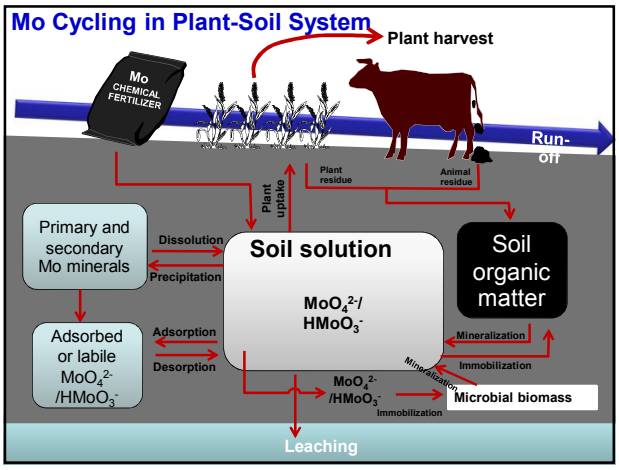

Fe Cycling in Plant-Soil System
Plant harvest
Fe
CHEMICAL FERTILIZER
Run-off
Plant residue
Animal residue
Plant uptake
Primary and secondary Fe minerals
Dissolution
Precipitation
Soil solution
Soil organic matter
Fe2+/3+ ⇌ Fe2+/3+-Che
Adsorbed or labile Fe+3/ Fe+2
Adsorption
Desorption
Mineralization
Immobilization
Fe2+/3+
Microbial biomass
Leaching


Zn Cycling in Plant-Soil System
Plant harvest
Zn
CHEMICAL FERTILIZER
Run-off
Plant residue
Animal residue
Plant uptake
Primary and secondary Zn minerals
Dissolution
Precipitation
Soil solution
Soil organic matter
Zn2+ ⇌ Zn2+ -Che
Adsorbed or labile Zn2+
Adsorption
Desorption
Mineralization
Immobilization
Zn2+
Microbial biomass
Leaching


Cu Cycling in Plant-Soil System
Plant harvest
Cu
CHEMICAL FERTILIZER
Run-off
Plant residue
Animal residue
Plant uptake
Primary and secondary Cu minerals
Dissolution
Precipitation
Soil solution
Soil organic matter
Cu2+ ⇌ Cu2+ -Che
Adsorbed or labile Cu2+
Adsorption
Desorption
Mineralization
Immobilization
Cu2+
Microbial biomass
Leaching


Mn Cycling in Plant-Soil System
Plant harvest
Mn
CHEMICAL FERTILIZER
Run-off
Plant residue
Animal residue
Plant uptake
Primary and secondary Mn minerals
Dissolution
Precipitation
Soil solution
Soil organic matter
Mn2+ ⇌ Mn2+ -Che
Adsorbed or labile Mn2+
Adsorption
Desorption
Mineralization
Immobilization
Mn2+
Microbial biomass
Leaching


B Cycling in Plant-Soil System
Plant harvest
B
CHEMICAL FERTILIZER
Run-off
Plant residue
Animal residue
Plant uptake
Primary and secondary B minerals
Dissolution
Precipitation
Soil solution
Soil organic matter
H4BO4-/ H3BO3-
Adsorbed or labile H4BO4- /H3BO3-
Adsorption
Desorption
Mineralization
Immobilization
H4BO4- /H3BO3-
Microbial biomass
Leaching


Mo Cycling in Plant-Soil System
Plant harvest
Mo
CHEMICAL FERTILIZER
Run-off
Plant residue
Animal residue
Plant uptake
Primary and secondary Mo minerals
Dissolution
Precipitation
Soil solution
Soil organic matter
MoO42-/ HMoO3-
Adsorbed or labile MoO42- /HMoO3-
Adsorption
Desorption
Mineralization
Immobilization
MoO42- /HMoO3-
Microbial biomass
Leaching

ปัจจัยทางดินที่มีอิทธิพลต่อความเป็นประโยชน์ของจุลธาตุ

ความเข้มข้นของจุลธาตุในสารละลายดินในช่วงเวลาช่วงหนึ่ง ๆ มีน้อยมากจนไม่อาจเพียงพอต่อความต้องการของพืชได้ จำเป็นต้องมีส่วนที่ได้รับการปลดปล่อยออกจากส่วนที่เป็นของแข็งเพื่อทดแทนส่วนที่ถูกดูดใช้ไปในสารละลายดิน จึงจะเพียงพอ

ปัจจัยทางดินที่สำคัญต่อความเป็นประโยชน์ของจุลธาตุในดินได้แก่

1. **pH ของดิน** - ความเป็นประโยชน์ของจุลธาตุโดยส่วนใหญ่ (Fe, Mn, Cu, Zn, B) ลดลงเมื่อ pH เพิ่มขึ้น (ยกเว้น Mo) ทั้งนี้เพราะการละลายน้ำลดลงและการดูดยึดเพิ่มขึ้น

2. **อินทรียวัตถุ** - ความเป็นประโยชน์ของจุลธาตุโดยส่วนใหญ่ (Fe, Mn, Cu, Zn, B) เพิ่มขึ้นเมื่ออินทรียวัตถุเพิ่มขึ้น (ยกเว้น Mo)

3. **สภาพรีดอกซ์** - ความเป็นประโยชน์ของจุลธาตุโดยส่วนใหญ่ลดลงเมื่อค่ารีดอกซ์เพิ่มขึ้น

19

เอกสารอ้างอิงและอ่านเพิ่มเติม

ปัทมา วิตยากร. 2533. ดิน: แหล่งธาตุอาหารของพืช. ภาควิชาปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 215 หน้า.

ปัทมา วิตยากร. 2547. ความอุดมสมบูรณ์ของดินขั้นสูง. ภาควิชาทรัพยากรที่ดินและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 423 หน้า.

สุรศักดิ์ เสรีพงศ์. 2543. เคมีและความอุดมสมบูรณ์ของดิน. ภาควิชาทรัพยากรที่ดินและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 505 หน้า.

20