หน่วยที่ 7
ธาตุอาหารพืช

7.1 ปัจจัยจำกัด

การปลูกพืชในระบบใดก็ตาม มีปัจจัย 2 ปัจจัยที่ควบคุมการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตของพืช นั้นคือ 1. พันธุกรรมของพืชเอง และ 2. สภาพแวดล้อม ในการเพาะปลูกเกษตรกรต้องพยายามปรับสภาพแวดล้อมต่างๆให้เหมาะสมกับการให้ผลผลิตของพืช เช่นเตรียมดินให้ร่วนซุยเหมาะแก่การงอกของเมล็ดและการเจริญเติบโตของราก ให้น้ำให้พอเหมาะแก่ความต้องการของพืช เพราะหากสภาพแวดล้อมเหมาะสมพืชก็จะให้ผลผลิตเต็มเม็ดเต็มหน่วย แต่ในทางกลับกันหากปัจจัยสภาพแวดล้อมอันใดอันหนึ่งไม่เหมาะสมก็จะเป็นตัวจำกัดการให้ผลผลิตของพืช ปัจจัยจำกัดคือ สิ่งที่ทำให้พืชหยุดชะงักการเจริญเติบโตหรือการสร้างผลผลิต แบ่งเป็น 3 ประเภทได้แก่

1. ทางกายภาพ ความชื้นในดินและในอากาศ อุณหภูมิ แสง ลม
2. ทางเคมี เช่น ธาตุอาหาร สารพิษ ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ความเค็ม
3. ทางชีวภาพ เช่นโรคพืช แมลง การแข่งขันกับพืชอื่น

ในทางธาตุอาหารพืชมีการมใช้แนวคิดนี้กันมากเพื่อวิเคราะห์ว่าในพื้นที่เพาะปลูกหนึ่งๆ มีธาตุอาหารใดเป็นปัจจัยจำกัด การจะระบุได้ว่าธาตุอาหารใดเป็นปัจจัยจำกัดได้นั้นสามารถทำได้หลากหลายวิธีดังนี้

7.1.1 การวิเคราะห์ใบ

<u>คำเตือน</u> ค่าในตารางเหล่าข้างล่างนี้ ล้วนแต่เป็นค่าโดยประมาณ ในบางครั้งค่าที่วัดได้อาจชี้ว่าธาตุอาหารพอเพียงต้นในตอนต้นฤดู แต่เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงในสภาพแวดล้อมที่ทำให้การดูดธาตุอาหารลดลง อาจเกิดการขาดธาตุอาหารในปลายฤดูได้

ตารางที่ 7.1 ความเข้มข้นธาตุอาหารในถั่วเหลือง ถั่วเขียว และถั่วลิสง ที่ใช้วินิจฉัยการขาด

a. ถั่วเขียว

ธาตุ	ตัวอย่างที่วิเคราะห์	ขาด	วิกฤต	พอ	เป็นพิษ
N (%)	ส่วนเหนือดินทั้งต้น อายุ 1 เดือน	1.1-1.2		4.0	
P (%)	ส่วนเหนือดินทั้งต้น อายุ 1 เดือน		0.10	0.11-.015	
	ส่วนเหนือดินทั้งต้น ที่ R1-R2		0.3		
	ใบเพิ่งโตเต็มที่ อายุ 15 วัน	0.44		0.66-1.00	
	ใบเพิ่งโตเต็มที่ อายุ 37 วัน	0.35		0.38-0.56	
	ใบเพิ่งโตเต็มที่ อายุ 40 วัน (R1)	0.22		0.49-0.53	
	เมล็ดเมื่อแก่			0.39-0.44	
	ฟางเมื่อแก่			0.12-0.19	
Zn (mg/kg)[1]	ส่วนเหนือดินทั้งต้น อายุ 6 สัปดาห์			16-58	
B (mg/kg)	ใบเพิ่งโตเต็มที่ที่ R1			> 25	

[1]ppm

b. ถั่วเหลือง

ธาตุ	ตัวอย่างที่วิเคราะห์	ขาด	วิกฤต	พอ	เป็นพิษ
N (%)	ส่วนเหนือดินทั้งต้น อายุ 1 เดือน	1.26-1.51		2.79-3.99	
	ใบเพิ่งโตเต็มที่ที่ R1-R3			4.5-5.5	
	เมล็ดแก่		6.4	6.7-6.8	
P (%)	ใบเพิ่งโตเต็มที่ที่ R1-R3	< 0.17	0.29	0.3-0.5	
	เมล็ดแก่	< 0.33	0.36	0.37-0.55	
K (%)	ใบเพิ่งโตเต็มที่ที่ R1-R3			0.17-0.25	
	เมล็ดแก่	1.1-1.5		1.75-2.00	
S (%)	ใบเพิ่งโตเต็มที่ที่ R1-R3			0.2-0.4	

ตารางที่ 7.1 (ต่อ)

b. ถั่วเหลือง

ธาตุ	ตัวอย่างที่วิเคราะห์	ขาด	วิกฤต	พอ	เป็นพิษ
Na (%)	ใบเพิ่งโตเต็มที่ที่ดอกบาน				> 0.5
Zn (mg/kg)	ใบเพิ่งโตเต็มที่ที่ดอกบาน			25-60	
B (mg/kg)	ใบเพิ่งโตเต็มที่ที่ดอกบาน			25-60	
Mo (mg/kg)	ใบเพิ่งโตเต็มที่ที่ R1-R6			0.02	
	ปม[1] ที่ R1-R6			2	

[1]สำหรับการตรึงไนโตรเจน

c. ถั่วลิสง

ธาตุ	ตัวอย่างที่วิเคราะห์	ขาด	วิกฤต	พอ	เป็นพิษ
N (%)	ส่วนเหนือดินทั้งต้น อายุ 1 เดือน	1.6		4.1-4.4	
	ใบเพิ่งโตเต็มที่ที่ R1 (เริ่มดอกบาน)	1.3-2.5	3.0	3.5-5.0	
	ใบเพิ่งโตเต็มที่ที่ R2 (เริ่มแทงเข็ม)	<3.2	3.8	3.8-4.5	
	เมล็ดแก่		2.95	3.2-3.8	
P (%)	ใบเพิ่งโตเต็มที่ที่ R1 (เริ่มดอกบาน)		0.19		
	ใบเพิ่งโตเต็มที่ที่ R2 (เริ่มแทงเข็ม)	<0.19		0.24-0.40	
K (%)	ใบเพิ่งโตเต็มที่ที่ R1 (เริ่มดอกบาน)			2.0-3.0	
	ใบเพิ่งโตเต็มที่ที่ R2 (เริ่มแทงเข็ม)	<0.7		1.4-2.5	
S (%)	ใบเพิ่งโตเต็มที่ที่ R2 (เริ่มแทงเข็ม)	<0.15		0.21-0.30	
Ca (%)	ใบเพิ่งโตเต็มที่ที่ดอกบาน[1]			1.13-1.68	
	เมล็ดแก่	<0.035	0.04	0.045	
Mg (%)	ใบเพิ่งโตเต็มที่ที่ดอกบาน			0.3-0.8	
Zn (mg/kg)	ใบเพิ่งโตเต็มที่ที่ R1-R3			20-50	
Fe (mg/kg)	ใบเพิ่งโตเต็มที่ที่ R1-R3			50-300	
B (mg/kg)	ใบเพิ่งโตเต็มที่ที่ R1-R3			24-50	>235
	เมล็ดแก่[2]	4	10	11-14	
Mo (mg/kg)	ใบเพิ่งโตเต็มที่ที่ R1-R2		0.13		
	ปม[3] ที่ R1-R2		7.0		

[1]แต่ถ้าขาด Ca ในบริเวณแทงเข็ม ถั่วลิสงจะไม่มีเมล็ดถึงแม้ในใบจะมี Ca พอเพียงจากการดูดและสะสมจากชั้นดินที่ลึกกว่าบริเวณฝังเข็ม [2]สำหรับอาการเมล็ดกลวง [3]สำหรับการตรึงไนโตรเจน

7.1.2 การวิเคราะห์ดิน

ตารางที่ 7.2 ปริมาณ P และ K ในดินที่ระดับการขาดต่างกัน

ธาตุ และวิธีวัด	ขาดมาก	ขาดปานกลาง	พอเพียง
K (ppm extractable)	<40	40-100	>100
P (ppm by Bray II)	< 5	5-15	>15

การทดลองใส่ปุ๋ย

เพื่อวินิจฉัย หรือยืนยันการขาดธาตุหลังจากการวินิจฉัยขั้นต้นด้วยการวิเคราะห์ดินหรือพืชแล้ว บ่งชี้ว่ามีธาตุที่อาจขาด

การทดลอง ธาตุเดี่ยวและการทดลอง factorial ที่มีธาตุที่คาดว่าจะขาด 2 หรือไม่เกิน 3 ธาตุ

ถ้าเป็นจุลธาตุ ใส่ลงในดินมีอัตราเดียว (ต.ย. ตารางที่ 7.3)

ตารางที่ 7.3. อัตราปุ๋ยที่ใส่เมื่อธาตุอาหาร micro บางธาตุขาด

ธาตุ		สารประกอบที่เป็นปุ๋ย	
ธาตุอาหาร	อัตรา (กก ธาตุ/ha)	ปุ๋ย	อัตรา (กก ปุ๋ย/ไร่)
โบรอน (B)	1 kg B/ha	Borax (โซเดียมบอเรต)[1]	1.5
สังกะสี (Zn)	1.5 kg Zn/ha	$Zn(SO_4)_2.7H_2O$[2]	1
โมลิบดีนั่ม (Mo)	200 g Mo/ha	$Na_2MO_4.2H_2O$[3]	0.8

[1] $Na_2B_4O_7.10H_2O$ 11% B [2] zinc sulphate 23% Zn [3]โซเดียมโมลิบเดต 40% Mo

- ถ้าเป็นธาตุใหญ่ เช่น N, P, K อาจทดลองอัตราใส่ไปด้วย เช่น 0, 50, 100, 200 kg N/ha
- ถ้าสัณนิษฐานว่าอาจขาด 2-3 ธาตุ ทำการทดลอง FACTORIAL 2 อัตรา (ใส่ กับไม่ใส่)
  - 2 อัตรา 2 ปัจจัย (FACTORS) = 2 x 2
  - 2 อัตรา 3 ปัจจัย (FACTORS) = 2 x 2 x 2 = 2^3 = 8
  - ถ้ามากกว่า 3 ปัจจัย ควรทำการทดลอง Omission ก่อน เพราะ การทดลอง factorial 4 ปัจจัย = 2^4 = 16 treatment เป็นการทดลองใหญ่ และยากต่อการแปรผลการทดลอง โดยเฉพาะ interaction 4 ปัจจัย

การทดลองแบบ Omission หรือ ลดทีละธาตุ

มี control หรือ check treatment ที่ใส่ธาตุอาหารครบทุกธาตุที่วินิจฉัยว่าอาจจะขาดหรือเป็นปัจจัยจำกัด (= ALL = NPSMoCuBZn

และลดทีละธาตุที่คาดว่าขาด –N, -P, -S, -Mo, -Cu, -B, -Zn (-N = PSMoCuBZn)

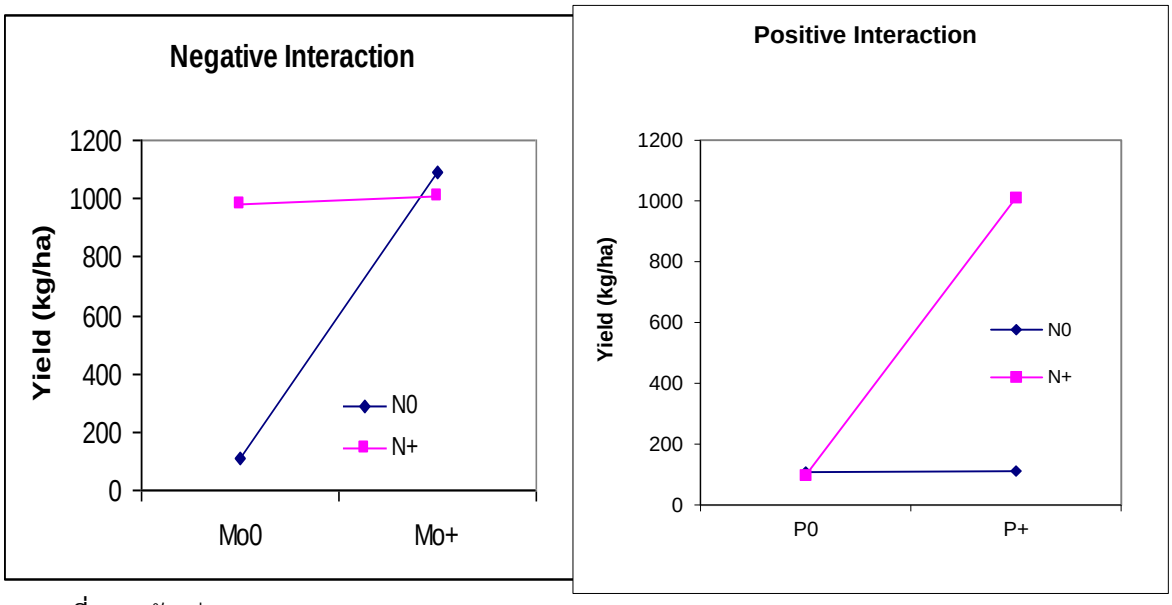
รวมเป็น 8 treatment เทียบกับถ้าเป็นการทดลอง factorial 7 ปัจจัย = 2^7 = 128 treatment

จุดอ่อนของการทดลองแบบลดทีละธาตุนี้คือไม่สามารถวัดอิทธิพลร่วมของธาตุได้ ต้องทำการทดลอง factorial อีกครั้งหนึ่งจึงจะสามารถวัดอิทธิพลร่วมได้

<u>ตัวอย่าง</u> เช่น ถั่วเหลืองที่ทดลองด้วยการทดลองแบบลดทีละธาตุแล้วพบว่าผลผลิตที่ต่ำกว่า ALL มี 2 ธาตุ ต้องทำการทดลอง factorial 2 ธาตุนี้ อีกทีหนึ่งจึงวัดได้ว่าอิทธิพลร่วมของสองธาตุนี้เป็นอย่างไร เช่น –N และ –Mo การทดลอง N x Mo (NEGATIVE INTERACTION เมื่อ 2 ธาตุทำหน้าที่เดียวกัน) (ตารางที่ 7.3)

ตารางที่ 7.4 ตัวอย่างการทดลอง FACTORIAL เพื่อทดสอบ interaction

ระหว่าง N กับ Mo	N0	N+
Mo-0	N0Mo-0	N+Mo0
Mo+	N0Mo+	N+Mo+
ระหว่าง N กับ P	N0	N+
P0	N0P0	N+P0
P+	N0P+	N+P+



ภาพที่ 7.1 ตัวอย่าง Negative Interaction (N x Mo) และ Positive Interaction (N x P)

7.1.3 แนวทางการแก้ปัญหาการขาดธาตุอาหาร

เมื่อธาตุอาหารกลายเป็นปัจจัยจำกัดต่อการสร้างผลผลิต เนื่องจากการปลูกถั่วในดินที่มีธาตุอาหารในปริมาณต่ำ มีแนวทางแก้ปัญหาได้ 2 ทางคือ

(1) การใส่ปุ๋ย

(2) การใช้พืช ชนิดหรือพันธุ์ที่มีสมรรถภาพสูงในการใช้ธาตุอาหาร

ทั้ง 2 แนวทางนี้อาจเป็นทางเลือกที่มีจุดอ่อน และจุดแข็งต่างกัน หรือใช้ไปพร้อมๆกัน โดยทั่วไป

- สำหรับจุลธาตุ ที่พืชต้องการในปริมาณต่ำ อาจจะมีการเลือกว่าจะใช้การใส่ปุ๋ยหรือใช้พันธุ์สมรรถภาพสูง
- สำหรับธาตุอาหารที่ต้องการในปริมาณมาก เช่น P K อาจต้องมีการใส่ปุ๋ยเพราะเมื่อมีธาตุอาหารในดินในปริมาณต่ำกว่าความต้องการของพืช
    - สมรรถภาพในการดูด-ใช้ธาตุอาหารไม่ว่าสูงอย่างไรก็ไม่อาจทดแทนธาตุอาหารที่ขาดไปได้
    - แต่เมื่อมีการใช้พันธุ์พืชที่มีสมรรถภาพสูงในการใช้ธาตุอาหารสูงไปพร้อมๆกับปุ๋ย จะทำให้ปุ๋ยที่ใช้คุ้มค่ามากขึ้น
    - ความสามารถในการตรึง N ของถั่วก็เหมือนกับสมรรถภาพการดูดใช้ธาตุอาหาร การใช้ N จากการตรึงและการใส่ปุ๋ย N อาจมีผลร่วมกัน
        - การใส่ปุ๋ย N (urea, ammonium sulphate, etc) เพียงเล็กน้อยในต้นฤดู (เรียกว่า starter N) อาจสมรรถภาพการตรึง N ให้แก่ถั่ว
            - ไม่เกิน 25-50 กก N/ha (9-18 kg urea /ไร่ หรือ 19-38 กก ammonium sulphate /ไร่) ในพื้นที่ปลูกถั่วประเทศไทย

7.1.4 การจัดการปุ๋ย

เมื่อตัดสินได้ว่าธาตุอะไรบ้างเป็นปัจจัยจำกัด ขั้นตอนต่อไปคือ จะใส่อย่างไร และใส่เท่าใด ซึ่งตัดสินได้จาก (1) หลักการ (2) การทดลอง

หลักการการจัดการปุ๋ย

เนื่องจากการตรึงไนโตรเจนอาจถูกยับยั้งโดยปุ๋ย N ในปริมาณสูงๆ จึงควรหลีกเลี่ยงการใส่ปุ๋ย N ให้กับถั่ว ถ้าต้องการได้ประโยชน์จากการตรึง N จากถั่วสูงสุด ให้ใส่เพียง starter N เท่านั้น

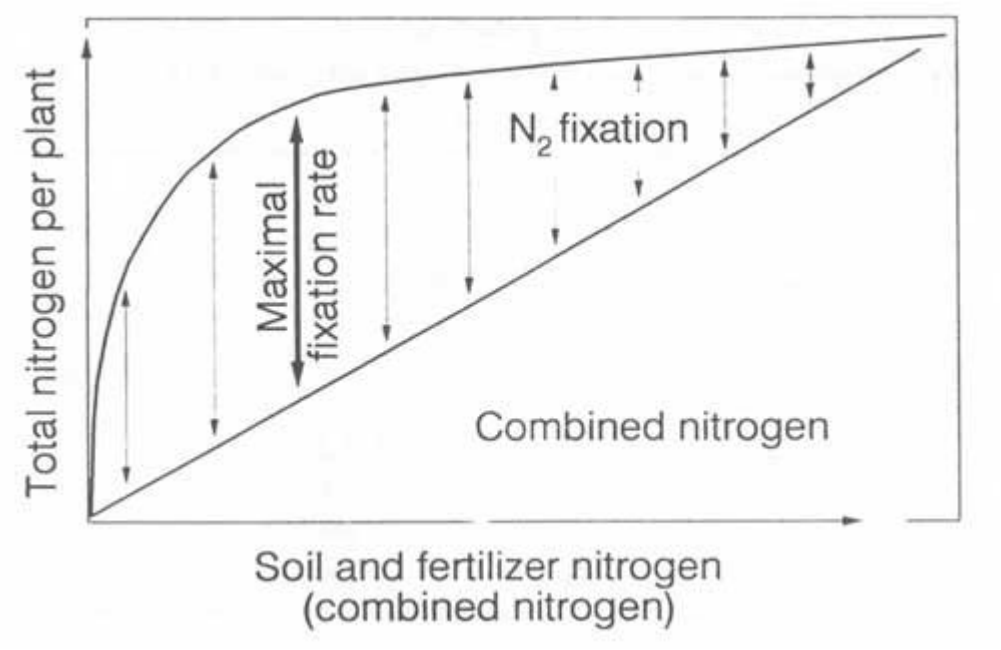
ธาตุอาหารอื่นใส่ได้ในดิน หรือให้ทางใบ

- การให้ธาตุอาหารทางใบมีข้อดี และข้อจำกัด
  - ข้อดีคือแก้ปัญหาได้ทันเหตการณ์ ประหยัดปุ๋ย
  - ข้อจำกัดคือให้ได้ในแต่ละครั้งในปริมาณจำกัด
    - เหมาะกับจุลธาตุ
    - แก้ปัญหาได้ชั่วคราวเท่านั้น สำหรับมหธาตุ รวมทั้งจุลธาตุที่มีปัญหาในการลำเลียง (recycle) ภายในต้น (e.g. B, Ca, Fe)
    - overdose ได้ง่าย (สำหรับ B พ่นด้วยสารละลาย Borax หรือ Boric acid 0.05-0.08% พืชจะมีอาการเป็นพิษถ้าใช้ > 0.1%)
- ธาตุอาหารอื่น (นอกจาก N) ให้เป็นปุ๋ยในดินก่อนปลูก
  - การสูญเสียโดยการชะล้าง ในฤดูฝนหรือมีการให้น้ำมากเกิน
    - K, S, เป็นธาตุอาหารที่ถูกชะล้างหายไปง่าย แต่ก็มีความเป็นประโยชน์สูง (ใส่เท่าไรเป็นประโยชน์หมด ถ้าไม่ถูกชะล้างหายไปหมด)
    - P Mo Fe Zn B อยู่ในรูปสารประกอบที่ทำปฏิกริยาเคมีกับสารประกอบแร่ธาตุในดิน โดยเฉพาะในดินกรดจัดหรือด่างจัด
      - P มีปัญหาการเป็นประโยชน์ทั้งในสภาพกรดจัดและด่างจัด
      - Mo มีปัญหาการเป็นประโยชน์ในสภาพกรดจัด
      - B Fe Zn มีปัญหาการเป็นประโยชน์ในสภาพด่างจัด
    - จึงต้องใส่ในอัตรา “เผื่อ” การเป็นประโยชน์ด้วย
    - Fe ($FeSO_4$), Zn ($ZnSO_4$) ที่ใส่ลงในดินด่างจัด (pH > 7.5) บางทีไม่เป็นประโยชน์เลย
      - ต้องใช้วิธีให้ทางใบ หรือ ใช้พันธุ์สมรรถภาพการดูดใช้สูง

การทดลองเพื่อกำหนดอัตราการใส่ปุ๋ย

- ปุ๋ยที่ใส่ในดินกำหนดอัตราโดย
  - ปริมาณที่พืชต้องการ (ความเข้มข้นธาตุอาหาร x น้ำหนักพืช)
  - ระดับธาตุอาหารที่ได้จากดิน (เผื่อปริมาณที่ธาตุอาหารจะถูกดูดซับไว้ในดิน ตามชนิดของดิน)
  - ต.ย.
    - ในดินที่มี P ที่เป็นประโยชน์ 5 ppm (ต้นถั่วใช้ประโยชน์ได้น้อยมาก)
    - ต้นถั่วต้องการฟอสฟอรัสที่ 3 กก P/ไร่
    - การทดลองอาจทดสอบอัตรา
      - 0, 1.5, 3, 4.5 กก P/ไร่ หรือ
      - 0, 3.44, 6.87, 13.74 กก P_2O_5/ไร่
      - 1 กก P = 2.29 กก P_2O_5
- ปุ๋ยที่ให้ทางใบ ทดสอบ
  - ความเข้มข้นสารละลายที่พ่น
  - เวลาที่ให้ (เมื่อใด) และ
  - ความถี่ (ให้กี่ครั้ง)

กรณีพิเศษของไนโตรเจน



ภาพที่ 7.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง N ในดินกับ N ในต้นถั่ว แยกเป็น N จากดิน และ N จากอากาศ

<u>อ่านว่า</u> การสะสมไนโตรเจนในต้นถั่วขึ้นอยู่กับปริมาณ N ในดินดังรูป

- ในดินที่มี N (ในรูปที่พืชนำไปใช้ได้ คือ NH_4^+ NO_3^- หรือ combined N) ต่ำ ถั่วสะสม N ได้น้อย
- ในดินที่มี combined N สูง ถั่วสะสม N ได้สูงตามไปด้วย จนถึงจุดอิ่มตัวสะสมเพิ่มอีกไม่ได้
- N ที่สะสมในต้นถั่วที่มีปมดี มาจาก 2 แหล่ง
    - จากดินในรูป NH_4^+ NO_3^- หรือ combined N ซึ่งเพิ่มขึ้น (เป็นเส้นตรง) ตาม N ซึ่งเพิ่มขึ้นในดิน
    - ที่เหลือมาจากการตรึง (Total N - N จากดิน)
        - N ที่ต้นถั่วตรึงได้จึงมีปริมาณต่ำ ในที่ที่มี N ในดินต่ำ
        - เพิ่มขึ้นตามปริมาณ N ในดิน จนถึงระดับสูงสุด
        - หลังจากนั้นลดลงที่ N ในดินยังเพิ่มต่อไปอีก
- ระดับไนโตรเจนในดินที่ต่ำไปทำให้ต้นถั่วมีการเจริญเติบโตจำกัดใน 2-3 สัปดาห์แรกที่กำลังสร้างปมและยังไม่มีการตรึงไนโตรเจน สร้างใบได้ช้า สังเคราะห์แสงได้จำกัด มีอาหารลงไปเลี้ยงปมจำกัด ในที่สุดจึงตรึงไนโตรเจนได้จำกัด
- ต้นถั่วจะตรึง N ได้ในระดับสูงสุด ต้องมี N ในดินพอเพียงให้สร้างใบและปมในระยะแรก
- แต่การมี N ในดินมากกว่านั้นจะทำให้กระบวนการตรึงไนโตรเจนหยุดลง

7.1.5 การหาและปรับปรุงพันธุ์ถั่วให้มีสมรรถภาพสูงในการดูด-ใช้ธาตุอาหาร

- โครงการปรับปรุงพันธุ์ ถั่วเขียว-ถั่วเหลืองทนต่อดินด่าง (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ศ.ดร. พีระศักดิ์ ศรีนิเวศน์) – คัดเลือก(พันธุกรรม)สมรรถภาพการดูดใช้ Fe
- ศึกษาขบวนการทางสรีระและพันธุกรรมที่ควบคุมสมรรถภาพการดูดใช้โบรอน (หน่วยวิจัยธาตุอาหารพืช มช) ใน
    - ถั่วเขียว ถั่วเขียวผิวดำ ถั่วลิสง
    - ปลูกในดินโบรอนต่ำเดียวกัน ทำใมบางพันธุ์ขาด บางพันธุ์ไม่ขาด
        - กลไกอะไรทำให้บางพันธุ์ขึ้นได้ดีโดยที่โบรอนไม่เป็นปัจจัยจำกัด
        - พันธุกรรมที่ควบคุมกลไกเหล่านี้มีลักษณะอย่างไร
            - อยู่ใน cytoplasm หรือใน chromosome

    - มีกี่ยีน
    - เป็นยีนเด่น หรือด้อย
- ในสหรัฐอเมริกา และบราซิล – ถั่วเหลืองทนต่อดินกรด
    - ทนต่อการมี Al ในดินมากเกิน
    - มีสมรรถภาพในการดูดใช้ Ca, P

7.1.6 ผลกระทบจากการจัดการธาตุอาหาร

- ผลตกค้างจากปุ๋ยต่อสภาพแวดล้อม
    - ปนเปื้อนน้ำใต้ดิน และแม่น้ำลำคลอง
    - ปุ๋ยเคมี (P) ปุ๋ยคอก ปุ๋ยพืชสดที่ไม่สมดุลย์ (เช่น มี N มากเกินไป ความเป็นประโยชน์ถูกจำกัดด้วยธาตุที่มีน้อยที่สุด)
- ความอุดมสมบรณ์ของดินในระยะยาว โดยเฉพาะการใช้พันธุ์ที่มีสมรรถภาพการดูดอาหารสูง
    - B หมดเร็วเพราะมี total ในดินต่ำ (แต่เราหวังว่ากว่า B ในดินจะใช้ไปหมดเกษตรกรคงรวยขึ้นและเก่งขึ้นบ้างพอมีทุนซื้อปุ๋ยโบรอน และมีความสามารถในการจัดการปุ๋ยดีขึ้น)
    - Fe Mn Zn ในดินด่างถึงแม้มีความเป็นประโยชน์ต่ำ มี total ในดินมากมาย อีกนานกว่าจะหมด เพราะใช้น้อย

7.2 ไนโตรเจนในดิน

ในโตรเจนที่พบในดินพบทั้งในรูปสารประกอบอินทรีย์และอนินทรีย์มากมายหลายชนิดแต่รูปที่รากพืชสามารถดูดใช้จากดินและนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้คือรูปสารอนินทรีย์ในรูป แอมโมเนียม (NH_4^+) และ ไนเตรต (NO_3^-)

7.2.1 ความสำคัญของไนโตรเจนที่มีต่อการเจริญเติบโตของพืช

เมื่อกล่าวถึงธาตุอาหารที่พืชต้องการเป็นปริมาณมากหรือธาตุอาหารมหัพภาค (macronutrient) แล้วไนโตรเจนเป็นธาตุที่มีบทบาทในการเจริญเติบโตของพืชอย่างเห็นได้ชัดที่สุด อาทิเมื่อให้ปุ๋ยไนโตรเจนแก่พืชสวนครัว พืชจะเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ใบจะโตและเขียวสดทันที ทั้งนี้เป็นเพราะไนโตรเจนเป็นธาตุที่ช่วยให้พืชสร้างโปรตีนได้อย่างเพียงพอ พืชทุกชนิดต้องมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบในโครงสร้าง โปรตีนประกอบขึ้นจากกรดอะมิโนเป็นจำนวนมาก กรดอะมิโนทุกชนิดมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ โปรตีนยังเป็นองค์ประกอบหลักของเอนไซม์ต่างๆ ทำหน้าที่ควบคุมปฏิกิริยาชีวเคมีทุกอย่างที่เกิดขึ้นในพืช คลอโรฟิลล์ ซึ่งเป็นรงควัตถุสีเขียวทำหน้าที่ดูดซับพลังงานแสงในกระบวนการสังเคราะห์แสงก็มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบเช่นกัน

สภาพของพืชเมื่อได้รับไนโตรเจนระดับต่างๆ

เมื่อพืชได้รับไนโตรเจนในปริมาณที่พอเหมาะกับความต้องการของพืช

เมื่อไนโตรเจนในดินมีอยู่ในปริมาณที่พอเหมาะไม่มากหรือน้อยเกินไป จะส่งผลสะท้อนต่อพืชดังต่อไปนี้ คือ

1) จะช่วยกระตุ้นให้พืชเจริญเติบโตและมีความแข็งแรง

2) ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของใบและลำต้น

3) ทำให้ใบมีสีเขียว

4) ส่งเสริมคุณภาพของพืชโยเฉพาะพืชสวนครัวที่ใช้ใบ ลำต้น และหัวเป็นอาหาร

5) ส่งเสริมให้พืชตั้งตัวได้เร็วในระยะแรกของการเจริญเติบโต

6) เพิ่มปริมาณโปรตีนให้แก่พืชที่ใช้เป็นอาหารมนุษย์และสัตว์ เช่นข้าวหรือหญ้าเลี้ยงสัตว์

7) ควบคุมการออกดอกของพืช

8) ช่วยเพิ่มผลผลิตให้สูงขึ้น

เมื่อพืชได้รับไนโตรเจนไม่เพียงพอกับความต้องการของพืช

ในสภาพเช่นนี้พืชจะแสดงอาการขาดไนโตรเจนออกมาให้เห็น อาการขาดไนโตรเจนอาจแตกต่างกันไปในแต่ละพืช แต่โดยทั่วไปแล้วพืชที่มีการขาดไนโตรเจนจะแสดงอาการดังต่อไปนี้

1) พืชจะปราศจากสีเขียว โดยเฉพาะที่ใบ ใบของพืชจะเหลืองผิดปกติ

2) พืชบางชนิดจะมีลำต้นเหลือง บางทีก็มีสีชมพูปนอยู่ด้วย

3) อาการเหลืองของใบข้างต้นจะเกิดที่ใบแก่ก่อนใบอ่อน

4) เจริญเติบโตช้าแคระแกรน

5) ผลผลิตต่ำ

ภาพที่ 7.3 อาการขาดไนโตรเจนของข้าวที่ระยะแตกกอ (กระถางซ้าย) เทียบกับต้นข้าวที่ได้ไนโตรเจนอย่างเพียงพอ (กระถางขวา)

ที่มา: http://www.knowledgebank.irri.org/training/fact-sheets/nutrient-management/deficiencies-and-toxicities-fact-sheet/item/nitrogen-deficiency

ภาพที่ 7.4 อาการขาดไนโตรเจนของฝักข้าวโพด ฝักจะไม่เต็ม

ที่มา: https://www.agry.purdue.edu/ext/corn/news/timeless/CornRespLateSeasonN.html

สภาพที่พืชได้รับไนโตรเจนมากเกินความต้องการของพืช

ในกรณีนี้มักเกิดขึ้นเมื่อเกษตรกรมีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่มากเกินไป การให้ปุ๋ยไนโครเจนที่มากเกินไปอาจส่งผลเสียหายต่อพืชปลูกดังต่อไปนี้

1) คุณภาพของเมล็ด ผล และ ใบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งใบยาสูบจะเสื่อมคุณภาพลงได้

2) พืชแก่ช้าผิดปกติ เพราะไนโตรเจนส่งเสริมให้มีการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบอยู่เรื่อยๆ

3) ผลผลิตเมล็ดลดลงเพราะเกิดการเผือใบเป็นลักษณะที่ใบมีมากเกินไปเกิดบังแสงกันเองในทรงพุ่ม ส่งผลไปจำกัดการส่งอาหารไปสะสมในเมล็ด

4) พืชที่ความสูงตอบสนองต่อระดับไนโตรเจนมากๆ เช่นข้าวพันธุ์พื้นเมืองจะหักล้มง่ายเพาะต้นสูงมากกว่าปกติ

5) ความต้านทานต่อโรคและแมลงต่ำ

7.2.2 แหล่งที่มาของไนโตรเจน

1. การตรึงไนโตรเจนจากอากาศโดยจุลินทรีย์ที่มีการอยู่ร่วมแบบพึงพาอาศัยกันกับพืช (Symbiosis nitrogen fixation) เช่นการตรึงไนโตรเจนของเชื้อแบคทีเรียไรโซเบียมที่อยู่ในปมรากพืชตระกูลถั่ว โดยเชื้อแบคทีเรียมีระบบเอนไซม์ไนโตรจีเนสในการเปลี่ยนรูปก๊าซไนโตรเจน N_2 ในอากาศซึ่งพืชใช้ประโยชน์ไม่ได้ให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ โยแบคทีเรียได้สารอาหารจากการสังเคราะห์แสงของพืชเป็นแหล่งพลังงาน

เนื่องจากกระบวนการตรึงไนโตรเจนนี้ใช้พลังงานค่อนข้างสูง รายละเอียดการตรึงไนโตรเจนในลักษณะนี้จะกล่าวถึงใน หน่วยเรียนที่ 12 ประสิทธิภาพการตรึงไนโตรเจนเมื่อยู่ร่วมกับถั่วชนิดต่างๆ แสดงในตาราง 7.4

ตารางที่ 7.5 แสดงปริมาณไนโตรเจนที่ตรึงได้โดยไรโซเบียมเมื่ออยู่กับถั่วชนิดต่างๆ

ชนิดถั่ว	ปริมาณไนโตรเจนที่ตรึงได้ (กก/ไร่)	เทียบเท่ากับปุ๋ยเคมี ยูเรีย (46-0-0) (กก.)
ถั่วเหลือง	18.2	39.6
ถั่วเขียว	32.4	70.4
ถั่วพุ่ม	34.0	74.0

ที่มา: กรมวิชาการเกษตร (2548)

2. การตรึงไนโตรเจนจากอากาศโดยพวกจุลินทรีย์ที่อยู่อย่างอิสระในดิน (non-symbiotic nitrogen fixation)

จุลินทรีย์ที่มีความสามารถตรึงไนโตรเจนได้อย่างอิสระนี้ได้แก่ แบคทีเรียพวก *Azotobacter, Clostridium* และพวกสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน แต่การตึงไนโตรเจนแบบนี้มีประสิทธิภาพสู้แบบพึงพาอาศัยกับพืชไม่ได้ เพราะดังที่กล่าวไปแล้วว่าการตรึงไนโตรเจนเป็นกระบวนการที่ต้องใช้พลังงานสูง จุลินทรีย์ที่อยู่แบบอิสระไม่ได้รับสารอาหารให้พลังงานจากพืช อาจมีพลังงานไม่พอที่จะตรึงไนโตรเจนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3. น้ำฝน

การเกิดฟ้าแลบก๊าสไนโตรเจน (N_2) ในอากาศจะถูกเปลี่ยนรูปให้กลายเป็น ไนตรัสออกไซด์ (N_2O) และไนตริกออกไซด์ (NO) ซึ่งจะละลายในน้ำฝนตกลงมายังผิวดิน มีผู้คำนวณว่าปีหนึ่งๆ ไนโตรเจนในดินที่มาจากกระบวนการนี้มีปริมาณ 0.8 กก./ไร่/ปี ในรูปของแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) และ 0.3 กิโลกรัมต่อไร่ในรูปไนเตรทไอออน (NO_3^-)

4. การใส่ปุ๋ยให้แก่ดินและพืช

พืชจะได้รับธาตุไนโตรเจนอย่างเพียงพอถ้ามีการจัดการดินที่ดี เช่น การใช้ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมีร่วมกัน เนื่องจากปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้ในการปรับปรุงดินจะมีส่วนช่วยให้ปุ๋ยเคมีมีประโยชน์ต่อพืชมากขึ้น

7.2.3 การแปรสภาพของไนโตรเจนในดิน

ไนโตรเจนในดินที่มีที่มาจากแหล่งต่างต่างไม่ได้คงสภาพอยู่ในรูปเดียวตลอดไปมีการเปลี่ยนรูปไปตามปัจจัยสภาพแวดล้อมและกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินโดยมีกระบวนการที่สำคัญสรุปได้ดังนี้

1. อะมิไนเซชัน (aminization) กระบวนการนี้เป็นกระบวนการย่อยสลายสารประกอบโปรตีน โดยจุลินทรีย์พวกที่สร้างอาหารเองไม่ได้ (Heterotroph) กระบวนการย่อยสลายเป็นแบบใช้เอนไซม์ จะย่อยโปรตีนให้มีขนาดเล็กลงเรื่อยๆ จนได้สารกลุ่มอะมีน (amine) และกรดอะมิโน (amino acid) จุลินทรีย์ได้พลังงานการ

กระบวนการย่อยสลายนี้ ส่วนสารประกอบอะมีน และกรดอะมิโน บางส่วนถูกนำมาสร้างเซลล์ของพวกพืชและจุลินทรีย์ดิน และบางส่วนจะถูกแปรสภาพต่อไปอีกกลายเป็นสารประกอบไนโตรเจนในรูปอื่น

2. แอมโมนิฟิเคชัน (ammonification) เป็นกระบวนการเปลี่ยนรูปสารประกอบพวก กรดอะมิโน หรือพวกอะมีน ให้กลายเป็น แอมโมเนีย NH_3 แอลกอฮอร์ และ พลังงาน กระบวนการนี้เกิดขึ้นได้เนื่องจากกิจกรรมของจุลินทรีย์พวกที่สร้างอาหารเองไม่ได้ (heterotroph) เช่นเดียวกับกระบวนการแรก ซึ่งแอมโมเนียที่เกิดขึ้นมักทำปฏิกิริยาต่อในสารละลายดินเป็นแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) ซึ่งพืชดูดไปใช้ได้ กระบวนการนี้จะเกิดได้ดีในสภาพดินที่มีการระบายอากาศดี

3. ไนทริฟิเคชัน (Nitrification) เป็นกระบวนการออกซิเดชันของแอมโมเนียม พูดง่ายๆคือการเติมออกซิเจนลงไปในโมเลกุลสารประกอบไนโตรเจน ได้โมเลกุลสารประกอบไนโตรเจนที่มีออกซิเจนในโมเลกุลแล้วปลดปล่อยไฮโดรเจนไอออน (H^+) ออกมา เกิดขึ้นได้ด้วยการทำงานของแบคทีเรีย *Nitrosomonas* และ *Nitrobactor* และเนื่องจากกระบวนการนี้ปลดปล่อย H^+ จึงเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดดินกรดเมื่อใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมเป็นระยะเวลาต่อเนื่องนานๆ กระบวนการนี้ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนดังนี้

ก. ขั้นตอนแรกแอมโมเนียม (NH_4^+) จะถูกออกซิไดส์ให้เป็นไนไตรต์ (NO_2^-) ด้วยแบคทีเรีย *Nitrosomonas* ปลดปล่อยพลังงานและ H^+ ออกมา H^+ นี้เองที่ส่งผลให้ดินเป็นกรด

$$2NH_4^+ + 3O_2 \longrightarrow 2NO_2^- + 2H_2O + 4H^+ + \text{พลังงาน}$$

ข. ขั้นตอนต่อไปเกิดจากการทำงานของเชื้อ *Nitrobactor* โดยไนไตรต์ (NO_3^-) จะถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นไนเตรต (NO_3^-) และมีการปลดปล่อยพังงานออกมา

$$2NO_2^- + O_2 \longrightarrow 2NO_3^- + \text{พลังงาน}$$

กระบวนการ.ไนทริฟิเคชันนี้ต้องการออกซิเจนดังนั้นจะเกิดขึ้นได้ในดินที่มีการระบายอากาศได้ดี

7.2.4 การสูญเสียไนโตรเจนไปจากดิน

ไนโตรเจนอาจสูญเสียไปจากดินได้หลายทางคือ

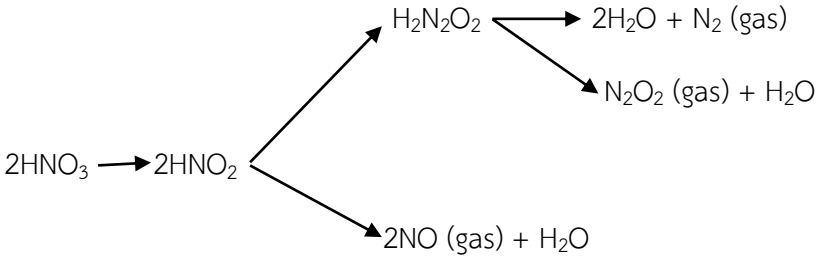
1. พืชและจุลินทรีย์ในดินนำไปใช้ การสูญหายของไนโตรเจนดังกล่าวนี้ อาจเป็นการสูญเสียชั่วคราวและจะกลับคืนสู่ดินเมื่อพืชและจุลินทรีย์นั้นตายและเน่าเปื่อยลง แต่ถ้ามีการขนย้ายผลผลิตออกจากแปลงปลูกก็เป็นการสูญเสียไนโตรเจนไปจากดินโดยแท้จริง

2. การชะล้าง ฝนที่ตกหรือการให้น้ำชลประทานที่มากเกินกว่าดินจะกักเก็บไว้ได้เกิดการไหลบ่าหรือไหลซึมลงไปในดินชั้นล่าง จะเป็นการชะล้างธาตุไนโตรเจนในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช NH_4^+ และ NO_3^- อยู่ในรูปละลายน้ำได้ดีสูญเสียจากดินได้ง่านโดยเฉพาะดินเนื้อหยาบ

3. การสูญเสียในรูปก๊าซ การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนลงไปในดินหากดินมีโอกาสจะสูญเสียไนโตรเจนไปโดยเปล่าประโยชน์จากกระบวนการปฏิกิริยาเคมีในดินดังต่อไปนี้

3.1 กระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) โดยจุลินทรีย์ในดิน

เกิดจากกระบวนการรีดักชันของจุลินทรีย์ที่สามารถหายใจโดยไม่ใช้ออกซิเจน เมื่อดินอยู่ในสภาพน้ำขังเป็นเวลานานทำให้ปริมณออกซิเจนในดินต่ำ จุลินทรีย์ในดินที่ต้องการออดซิเจนมาใช้ในการหายใจจึงเปลี่ยนมาใช้โมเลกุลของสารประกอบหรือไอออนที่มีองค์ประกอบเป็นออกซิ เช่น ไนเตรต NO_3^- เจนมาใช้ในการหายใจแทนก๊ซออกซิเจน ผลก็คือการที่ไนโตรเจนถูกเปลี่ยนรูปให้อยู่ในรูปก๊าซสูญเสียไปในบรรยากาศ



จุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดกระบวนการนี้ได้แก่ *Thiobacillus denitrifications* และ *Thiobacillus thioparus* และ *Achoromobactor* เป็นต้น ซึ่งจะสร้างกิจกรรมในสภาพที่ขาดออกซิเจน ในกระบวนการนี้ที่ระเหิดออกมาส่วนใหญ่เป็นไนตรัสออกไซด์ (N_2O) แต่ถ้าเกิดในดินที่มี pH สูงกว่า 7.0 มักจะเกิดการสูญเสียไนโตรเจนในรูปของกาซไนโตรเจน (N_2)

3.2 สูญเสียในรูปก๊าศเมื่อ pH ในดินสูงหรือต่ำจนเกินไป

ในดินที่เป็นกรด ไนไตรต์กับสารประกอบเกลือแอมโมเนียมหรืออะมีน เช่น ยูเรีย หรือสารประกอบพวกคาร์โบไฮเดรตจะเกิดปฏิกิริยารีดักชันขึ้นได้ ดังสมการ

$$2HNO_2 + CO(NH_2)_2 \longrightarrow CO_2 + 3H_2O + 2N_2 \text{ (เป็นก๊าซระเหยไปในบรรยากาศ)}$$
(ยูเรีย)

ส่วนในดินที่มีปฏิกิริยาเป็นด่างหรือในที่ที่มีหินปูน เมื่อมีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนไนรูปแอมโมเนียมเช่นแอมโมเนียซัลเฟต ($(NH_4)2SO_4$) จะเกิดสูญเสียไปในรูปของเกิดปฏิกิริยา ดังสมการ

$$(NH_4)2SO_4 + CaCO_3 \longrightarrow CaSO_4 + 2NH_3 \text{ (เป็นก๊าซสูญเสียไป)} + H_2O + CO_2$$
(หินปูน)

7.3 ฟอสฟอรัสในดิน

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารพืชที่พืชต้องการในปริมาณมากธาตุหนึ่งปริมาณจัดเป็นธาตุอาหารหลักที่ดินมักมีไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช จึงจำเป็นต้องให้ในรูปปุ๋ยเพราะประสบปัญหาขาดแคลนบ่อยๆ เป็นลำดับต้นต้นในการเพาะปลูกจะเป็นรองก็แต่ไนโตรเจน

7.3.1 บทบาทของฟอสฟอรัสในพืช

ไอออนลบฟอสเฟตอิสระอยู่ในน้ำในท่อลำเลียงน้ำ (Xylem) และอยู่ใน cytoplasm ภายในเซลล์พืช ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมระดับความเป็นกรดเป็นด่างภายในพืชให้คงที่ขณะเดียวกันก็เป็นวัตถุดิบของกระบวนการสร้างสารต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายทอดพลังงานในพืช

สารประกอบอินทรีย์ฟอสเฟตมี 3 ประเภทคือ 1) สารพวกที่จำเป็นของเซลล์ที่มีชีวิต เช่น nucleic acid อันทำหน้าที่เป็นสารพันธุกรรมหรือ gene ควบคุมการถ่ายทอดลักษณะจากชั่วหนึ่งไปยังลูกหลานชั่วต่อๆไป 2) สารที่ทำหน้าที่เป็นแหล่งสะสมฟอสฟอรัสไว้ให้พืชใช้ เช่น phytin และ phospholipid ซึ่งพบในเมล็ด เป็นแหล่งธาตุฟอสฟอรัสสำหรับต้นกล้าที่จะงอกต่อไป 3) เป็นสารตัวกลางในการเกิดปฏิกิริยาชีวเคมีต่างๆในพืช ที่สำคัญก็เช่น adenosine triphosphate (ATP) ที่เป็นสารตัวกลางพลังงานทุกกรบวนการชีวเคมีในพืชที่ต้องการพลังงานในการขับเคลื่อนจำเป็นจะต้องใช้ ATP เป็นตัวกลางพลังงาน

เนื่องจากฟอสฟอรัสเป็นทั้งสารพันธุกรรมและสารตัวกลางพลังงานใกระบวนการชีวเคมีที่เกี่ยวข้องกับพลังงาน ไม่ว่าจะเป็น กระบวนการหายใจ กระบวนการสังเคราะห์แสง กระบวนการดูดน้ำและธาตุอาหารแบบใช้พลังงาน การเคลื่อนย้ายสารอาหารในต้นพืช ดังนั้นฟอสฟอรัสจึงเกี่ยวข้องกับการสร้างเสริมการเจริญเติบโต ความแข็งแรงของพืช ทั้งส่วนที่อยู่เหนือดินและรากตลอดจนการออกดอกออกผล ถ้าพืชขาดฟอสฟอรัสจะเกิดอาหารที่ใบแก่ก่อนเพราะฟอสฟอรัสสามารถเคลื่อนย้ายได้ในต้นพืชหากขาดจะเคลื่อนย้ายฟอสฟอรัสในใบแก่ไปให้ยอกหรือตาอ่อนใช้ก่อนจึงเห็นอาหารที่ใบแก่ อาการขาดฟอสฟอรัสอาจแตกต่างกันไปในแต่ละพืช เช่น ถั่วเขียว ถั่วเหลือง ถั่วพุ่ม จะมีอาการใบเหลืองและมีจุดสีน้ำตาลกระจายอยู่ทั่วแผ่นใบ (ภาพที่ 7.5) โดยทั่วไปเมื่อพืชขาดฟอสฟอรัสจะทำให้ออกดอกช้ากว่าปกติ และติดผลน้อย

ภาพที่ 7.5 อาการขาดธาตุฟอสฟอรัสในใบถั่วเหลือง

ที่มา: http://agdev.anr.udel.edu/weeklycropupdate/?tag=soybean&paged=3

7.3.2 ปริมาณฟอสฟอรัสในดิน

ฟอสฟอรัสในดินพบได้ทั้งในรูปอนินทรีย์และอินทรีย์ฟอสฟอรัส แต่รูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชคืออนินทรีย์ฟอสฟอรัสในรูปของไอออนฟอสเฟต ซึ่งส่วนใหญ่เป็น monobasic orthophosphate ($H_2PO_4^-$) และ dibasic orthophosphate (HPO_4^{2-}) ส่วน tribasic orthophosphate ($PO4_3^-$) พืชดูดได้เช่นกันแต่มีในดินน้อยมากจึงไม่ใช่รูปแบบหลักที่พืชดูดใช้ ในดินมีฟอสฟอรัสต่ำมาก

เมื่อเทียบกับปริมาณไนโตรเจนและโพแทสเซียม โดยเฉลี่ยแล้วในดินมีฟอสฟอรัสทั้งหมดเพียง 0.06 เปอร์เซ็นต์ในขณะที่ปริมาณไนโตรเจนในดินโดยเฉลี่ยเป็น 0.14 เปอร์เซ็นต์ ในดินนาของประเทศไทยมีปริมาณฟอสฟอรัสโดยเฉลี่ย 0.02 % ซึ่งต่ำมากเมื่อเทียบกับดินนาประเทศเพื่อนบ้าน พม่า 0.082%, มาเลเซีย 0.040% และ ฟิลิปปินส์ 0.059% เมื่อใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสลงไปในดินพืชสามารถดูดใช้ได้ไม่มากนักคือนำไปใช้ได้เพียง 10-25% เท่านั้น ฟอสฟอรัสที่ละลายได้อีก 75-90% ที่เหลือถูกตรึงอยู่มนดิน การตรึงนี้หมายความว่าถูกดูดยึดเอาไว้ด้วยอนุภาคดินโดยพืชไม่สามารถนำไปใช้ได้

การดูดยึดฟอสฟอรัสในดินด้วยอนุภาคดินเหนียวซึ่งเป็นอนุภาคขนาดเล็กที่มีพื้นที่ผิวมากสามารถดูดยึดไอออนต่างๆ รวมถึงฟอสเฟตไอออนในสารละลายดินด้วย และการดูดยึดจะยิ่งแน่นเหนียวขึ้นเมื่อพื้นผิวอนุภาคดินเหนียวเหล่านี้ทำปฏิกิริยาเคมีกับไอออนของฟอสเฟต ในดินเนื้อละเอียดที่มีสัดส่วนอนุภาคดินเหนียวสูงก็มีการตรึงฟอสฟอรัสสูงตามไปด้วย

บางครั้งฟอตเฟตไอออนซึ่งมีประจุลบก็ทำปฏิกิริยากับไอออนที่มีประจุบวกในสารละลาย ทำให้เกิดสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำและตกตะกอน ความเป็นประโยชน์ต่อพืชก็ลดลง

$Fe^{3+} + H_2PO_4^- \longrightarrow FePO_4$ (ตกตะกอน) $+ 2H^+$ มักเกิดในดินกรด

$Al^{3+} + HPO_4^{2-} \longrightarrow AlPO_4$ (ตกตะกอน) $+ H^+$ มักเกิดในดินกรด

$3Ca^{2+} + 2HPO_4^{2-} \longrightarrow Ca_3(PO_4)_2$ (ตกตะกอน) $+ 2H^+$ มักเกิดในดินด่าง

7.3.3 การจัดการเกี่ยวกับฟอสฟอรัสในดิน

ในดินโดยทั่วไปมีฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์ไม่เพียงพอกับความต้องการของพืช และเมื่อใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสลงไปในดินฟอสฟอรัสที่ใส่ลงไปก็ถูกตรึงไปกว่า 70% หากต้องการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ใส่ลงไปเป็นประโยชน์ต่อพืชมากที่สุดควรปฏิบัติตามวิธีการดังต่อไปนี้

1. ปรับ pH ของดินให้อยู่ในช่วง 6 ถึง 7

2. ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสโดยโรยเป็นแถวลึกในดินใกล้แถวของพืช หรือใกล้รากพืช

3. เพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุให้ดินเสมอ โดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์เช่น ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก หรือปุ๋ยพืชสด

7.4 โพแทสเซียมในดิน

โพแทสเซียม (K) เป็นธาตุอาหารจำเป็นหนึ่งใน 17 ธาตุ เมื่อ K เข้าสู่พืชแล้วไม่ได้เปลี่ยนเป็นสารประกอบอินทรีย์เหมือนกับ ไนโตรเจน และ ฟอสฟอรัส แต่จะอยู่ในรูปเกลือซึ่งละลายน้ำได้ บทบาทหน้าที่ของ K ในพืชมีดังต่อไปนี้

1. กระบวนการสร้างน้ำตาลและแป้ง

มีรายงานว่าการขาด K ทำให้พืชมีปริมาณแป้งต่ำกว่าปกติ เมื่อพิจารณาถึงสัดส่วนของ reducing sugar ต่อปริมาณแป้งทั้งหมดในพืชบางชนิด จะพบว่ามี reducing sugar เพิ่มขึ้นและ non-reducing sugar ลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในราก เมื่อดินมีโพแทสเซียมต่ำลง

2. การเคลื่อนย้ายแป้งและน้ำตาล

จากการศึกษาได้พบว่าการเคลื่อนย้ายของน้ำตาลในอ้อยหยุดชะงักเนื่องจากพืชขาดโพแทสเซียมมีผู้พบง่ายในอ้อยซึ่งมีโพแทสเซียมพอเพียงมีอัตรากการเคลื่อนย้ายน้ำตาลเท่ากับ 2.5 ซม./นาที แต่อ้อยที่ขาดโพแทสเซียมอัตราการเคลื่อนย้ายลดลงไปมาก ประมาณว่า 1.25 ซม./นาที

3. กระบวนการสังเคราะห์แสงและการหายใจ

ได้มีการศึกษาการตอบสนองของข้าวสองพันธุ์ต่อ K และพบว่าผลผลิตของข้าวจะเพิ่มขึ้นเมื่อให้ปุ๋ยโพแทสเซียมและเมื่อข้าวได้รับแสงไม่เต็มที่จะตอบสนองต่อปุ๋ย K มากกว่าเมื่อข้าวได้รับแสงเต็มที่ นอกจากนั้นยังมีรายงานว่าพืชหัวต้องการ K มากว่าพืชที่ให้โปรตีน การเจริญของรากพืชหัวจะลดลงมาถ้า K จำกัด เมื่อเทียบกับการเจริญของใบ

4. ปริมาณกรดอินทรีย์และไนโตรเจนที่อยู่ในรูปไม่ใช่โปรตีน

โพแทสเซียมเป็นตัวกระตุ้นเอนไซม์ pyruvate kinase ในการเกิด pyruvate ใน Kreb cycle เมื่อมี K มากๆ ปฏิกิริยาจะเป็นไปอย่างรวดเร็ว ทำให้กรดอินทรีย์ซึ่งเป็นสารตัวกลาง (intermediate compound) ที่เกิดขึ้นในระหว่างขั้นตอนการทำปฏิกิริยาที่ต่อเนื่องกันมีอยู่น้อย มีรายงานว่า ความเข้มข้นของ citrate และ malate ลดลงเมื่อให้ K แก่พืช การขาดโพแทสเซียมทำให้พืชสร้างโปรตีนน้อยลง ไนโตรเจนตกค้างอยู่ในรูปที่ไม่ใช่โปรตีนมากขึ้น แต่หากมีการให้โพแทสเซียมแก่พืชแล้วอัตราการสังเคราะห์โปรตีนก็จะสูงขึ้น

5. โครงสร้างเอนไซม์

มีเอนไซม์มากกว่า 40 ชนิดที่ต้องการแคตไอออนที่มีประจุบวก 1 ประจุ (monovalent cation หรือ univalent cation) ไปกระตุ้นให้ทำงานได้ดีขึ้น บทบาทของแคตไอออนต่างๆ เหล่านี้เกี่ยวข้องกับโครงสร้างของเอนไซม์ โดยเมื่อ K^+ ไปจับกับเอนไซม์เหล่านี้จะเปลี่ยนดครงสร้างเอนไซม์ให้อยู่ในรูปที่ทำงานได้หากไม่มี K^+ เอนไซม์เหล่านี้ไม่สามรถเร่งปฏิกิริยาได้

6. ความต้านทานโรค

โรคต่างๆ ในพืชหลายชนิดจะมีการระบาดลดลงหากพืชได้รับโพแทสเซียมเพียงพอ เพราะว่า K มีส่วนทำให้ผนังเซลล์ของพืชแข็งแรงยากแก่การเข้าทำลายของเชื้อสาเหตุโรคพืช

7. คุณภาพของผักและผลไม้

การขาด K จะทำให้คุณภาพและปริมาณผลผลิตพืชต่ำลง คุณภาพของผลไม้ที่ลดลงนี้รวมถึง สี ขนาด ความเป็นกรด และคุณภาพการเก็บรักษา

อาการขาดโพแทสเซียมในพืช

เมื่อพืชขาด K ขอบใบและปลายใบจะเหลืองซีด (chlorosis) แล้วกลายเป็นสีน้ำตาลและแห้งไปในที่สุด อาการเริ่มจากปลายใบสู่โคนใบ ระหว่างเส้นใบอาจมีสีน้ำตาลแห้ง (ภาพที่ 7.6) โพแทสเซียมเป็นธาตุที่เคลื่อนที่ได้ (mobile) ในพืชฉะนั้นอาหารขาดจะเกิดขึ้นที่ใบแก่ก่อนใบอ่อน อาการขาดโพแทสเซียมจะเห็นได้ชัดกับข้าวโพดและพืชตระกูลหญ้า พวกธัญพืชจะให้เมล็ดลีบและน้ำหนักเบาผิดปกติ พืชที่ให้หัวที่รากจะมีแป้งน้อยแต่น้ำมาก ข้าวโพดจะให้ฝักที่เมล็ดไม่เต็มจนถึงปลายฝัก ฝักจะเล็กและรูปร่างผิดปกติ (ภาที่ 6.7)ใบยาสูบจะมีคุณภาพในการติดไฟต่ำ ผลไม้จะมีสีไม่สวยและเนื้อไม่แน่น พืชให้น้ำมันจะมีน้ำมันน้อย การขาดโพแทสเซียมทำให้พืชหักล้มง่ายเพราะการขาดโพแทสเซียมจะทำให้ลำต้นอ่อน ฝ้ายเมื่อขาดโพแทสเซียมใบจะมีสีน้ำตาลปนแดง และสมอจะไม่อ้าเต็มที่เมื่อแก่

ภาพที่ 7.6 อาการขาดโพแทสเซียมในใบข้าวโพด

ที่มา: http://www.powerag.com/products/crop/deficiency/corn-potassium-deficiency.aspx

ภาพที่ 7.7 อาการขาดโพแทสเซียมในฝักข้าวโพด

การสูญเสียโพแทสเซียมไปจากดินเกิดได้จาก 5 สาเหตุ

1. พืชดูดไปใช้

พืชดูดใช้โพแทสเซียมไปใช้ในปริมาณที่สูงพอๆ กับไนโตรเจน และประมาณ 3-4 เท่าของฟอสฟอรัส หากมีโพแทสเซียมในดินมากพืชจะดูกใช้โพแทสเซียมมากกว่าที่พืชต้องการใช้จริงๆ

2. ถูกชะล้างไปจากดิน

การสูญเสีย K ด้วยกระบวนการนี้ประเมินได้จากกาวิเคราะห์น้ำที่ระบายสู่ดินชั้นล่าง แต่การสูญเสียด้ววิธีนี้ของโพแทสเซียมยังนับว่าน้อยเมื่อเทียบกับการชะล้างไนโตรเจน แต่มากว่าฟอสฟอรัส การใส่ปุ๋โพแทสเซียมที่มักจะอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ดีเพื่อให้พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ง่าย ก็ยิ่งทำให้ถูกชะล้างได้ง่ายด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใส่ในดินทรายเนื้อหยาบยิ่งถูกชะล้างได้ง่ายกว่าดินเหนียวเนื้อละเอียด

3. การตรึงโพแทสเซียม

ปุ๋ยโพแทสเซียมที่ใส่เพิ่มเติมลงไปในดินบางส่วนจะถูกเปลี่ยนไปเป็นรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้ยากขึ้น ซึ่งเรียกว่าการถูกตรึง การตรึงส่วนใหญ่เกิดโดยแร่ดินเหนียวในดิน การที่ K ในดินถูกตรึงก็มีประโยชน์ในแง่ที่ว่าเป็นการอนุรักษ์ K ไว้ในดินลดการสูญเสียจากการชะล้าง K ที่ถูกตรึงนี้จะลายเป็นประโยชน์หาก K ในดินในรูปที่พืชดูดใช้ได้ลดน้อยลงด้วยการที่พืชดูดไปใช้หรือการชะล้างออกไปจากดิน

ที่มา: https://www.pinterest.com/pin/474989091931899819/

วิธีการสอนและกิจกรรม	**บรรยายโดยให้นักศึกษามีส่วนร่วมถามตอบ**	
สื่อการสอน	**หนังสืออ้างอิง**	**1, 2, 3, 4, 5, 6, 7**
	เอกสารประกอบ	**เอกสารประกอบการสอน รายวิชา ความสัมพันธ์ระหว่างดินน้ำและพืช**
	วัสดุโสตทัศน์	**Power point**
งานที่มอบหมาย	**การบ้าน ตอบคำถามต่อไปนี้** **1. Limiting Factor คืออะไร** **2. เหตุใดไม่แนะนำให้ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในรูป NO_3^- ลงไปในดินนาน้ำขัง** **3. ความเป็นประโยชน์ของ P และ K ในดินขึ้นอยู่กับปัจจัยใดบ้าง**	
การวัดผล	**ซัก ถาม-ตอบ** **ข้อสอบ**	
หมายเหตุ		