



2.1 แหล่งกำเนิดตะกอน

ดินเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่สำคัญที่สุดของมนุษย์ และเป็นสิ่งที่ต้องสงวนไว้ใช้ประโยชน์ให้นานที่สุดเท่าที่จะทำได้ ดินที่ไม่ได้ใช้ในการทำการเกษตรนั้น ตามปกติจะมีธาตุอาหารพืชคงที่อยู๋ในดินเป็นระยะเวลาาน และมีสภาพแวดล้อมเหมาะกับการเจริญเติบโตของพืช ดังนั้นดินพวกนี้จึงมีระดับความสามารถสูงในการให้ผลผลิต แต่จะสูงมากน้อยเพียงไรนั้นก็ขึ้นอยู่กับความมากน้อยของธาตุอาหารดั้งเดิมที่ได้มาจากวัตถุต้นกำเนิดดิน สภาพภูมิอากาศ และภูมิประเทศในบริเวณนั้น เมื่อดินนั้นถูกใช้ปลูกพืชติดต่อกันเป็นระยะเวลาหนึ่งแล้ว จะทำให้ดินนั้นมีปริมาณธาตุอาหารของพืชลดน้อยลงหรือหมดไป หรือทำให้สภาพแวดล้อมไม่เหมาะต่อการเจริญเติบโตของพืช สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะว่า มีการเคลื่อนย้ายไปจากที่เดิม ทำให้ธาตุอาหารเคลื่อนย้ายไปด้วย หรือสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสม จึงทำให้ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชลดลง

สาเหตุที่ทำให้ดินเสื่อมคุณภาพ เนื่องมาจากสาเหตุต่อไปนี้

- 2.1.1 การชะล้างของดิน (SOIL EROSION)
- 2.1.2 ธาตุอาหารพืชหมดไปจากดิน
- 2.1.3 การขาดน้ำในดิน
- 2.1.4 การขาดอากาศในดิน
- 2.1.5 สภาพทางกายภาพของดินเลวมากจนกระทั่งรากพืชไม่สามารถที่จะไชซอนทะลุผ่านไปได้
- 2.1.6 ดินที่มีเกลือสะสมอยู่มาก
- 2.1.7 การมีสารพิษอยู่ในดิน

การชะล้างของดินเป็นต้นกำเนิดที่สำคัญของตะกอน ซึ่งตะกอนที่เกิดจากการชะล้างจะเกิดตามสภาพภูมิศาสตร์ ซึ่งการชะล้างของดินนี้จะเกิดแบบค่อยเป็นค่อยไปตามธรรมชาติ (NATURAL EROSION) หรือเกิดจากการกระทำของมนุษย์ และสัตว์เป็นตัวเร่ง (ACCELERATED EROSION) ก็ได้โดยมีน้ำ และลมเป็นตัวการสำคัญ โดยที่ดินจะเคลื่อนย้าย และเกิดกระบวนการเกิดตะกอน ซึ่งกระบวนการเกิดตะกอนนี้มีหลายขั้นตอนด้วยกันคือ เริ่มต้นด้วยการชะล้างหน้าดิน แล้วเกิดการเคลื่อนย้ายตกตะกอนลงสู่ท้องน้ำ และเกิดการรวมตัวกันขึ้นเป็นตะกอน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2526)

2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างตะกอนกับแหล่งน้ำ

ตะกอนมีความสัมพันธ์กับแหล่งน้ำนั้น ทั้งนี้เพราะตะกอนเป็นแหล่งสะสมสารต่างๆ ที่ตกลงสู่ท้องน้ำ ธาตุอาหารที่พืชต้องการเช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และยังมีโลหะอื่นๆ อีกที่ตะกอนสามารถกักเก็บเอาไว้ได้ (Oschwald, 1972)

ตะกอนสามารถแบ่งออกเป็นประเภทต่างๆ ได้ 2 ประเภทคือ

2.2.1 ตะกอนละเอียด (FINE TEXTURE) เป็นตะกอนที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 50 ไมครอน ซึ่งได้แก่ อนุภาคดินเหนียว (CLAY) สารอินทรีย์ (ORGANIC MATTER)

2.2.2 ตะกอนหยาบ (COURSE SEDIMENTS) เป็นตะกอนที่มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่า 0.05 มิลลิเมตร ส่วนใหญ่ประกอบไปด้วยกรวดทราย (Solomons, 1984)

ตะกอนมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับกัมมาสารต่างๆ ในแหล่งน้ำทั้งนี้เพราะในแหล่งน้ำจะมีสมมูลของสารเคมีต่างๆ ซึ่งตะกอนเป็นตัวการสำคัญในการที่จะปลดปล่อย หรือกักเก็บสารต่างๆ ไว้ การแลกเปลี่ยนธาตุอาหารระหว่างตะกอนกับน้ำขึ้นอยู่กับ ลักษณะทางธรรมชาติของแหล่งน้ำนั้นว่า เป็นอย่างไร และนอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับปริมาณก๊าซออกซิเจนภายในแหล่งน้ำด้วย (Kerr, et al, 1973)

2.3 ลักษณะของตะกอน

2.3.1 ลักษณะทางกายภาพ ตะกอนประเภทด้วย ทราย (SAND) ซิลท์ (SILT) และอนุภาคดินเหนียว (CLAY) โดยส่วนใหญ่แล้วจะมีทรายปนอยู่จำนวนมาก แต่ทั้งนี้อัตราส่วนของ ทราย ซิลท์ และอนุภาคดินเหนียว จะขึ้นอยู่กับสภาพของตะกอนที่ถูกชะล้างลงสู่แหล่งน้ำ ถ้าตะกอนมีเหล็กในรูปเฟอริกฮิดรอกไซด์ จะพบว่ามีสีน้ำตาล แต่เมื่อสึกกร่อนไปจะมีสีเทา

2.3.2 ลักษณะทางเคมี ตะกอนโดยทั่วไปมีปริมาณน้ำอยู่ในช่วง 50-95% น้ำที่อยู่รอบๆ ตะกอนเหล่านี้ จะมีไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และอิออนต่างๆ ละลายอยู่ ค่าพีเอชส่วนใหญ่อยู่ในช่วง กรดอ่อนถึงช่วงเป็นกลาง (6-7.5) เหตุที่ไม่มีการแปรผันมากเนื่องจาก จะมีผลมาจากบัฟเฟอร์ของสารเคมีต่างๆ

สารอินทรีย์ในตะกอนส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับ ความหนาแน่นของสิ่งมีชีวิต และอัตราการสลายตัวของสารต่างๆ ในตะกอน นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับ กระบวนการตกตะกอน (SEDIMENTATION) - ปริมาณสารอินทรีย์ ค่าซีไอดี ปริมาณฟอสเฟตทั้งหมด และสารอินทรีย์ไนโตรเจน พบว่าจะลดลงตามความลึก

แร่ธาตุที่ปรากฏอยู่ในตะกอนในปริมาณมากคือ ซิลิกอน (Si) เหล็ก (Fe) ฟอสฟอรัส (P) และอลูมิเนียม (Al) ที่มีปริมาณน้อยได้แก่ แมกนีเซียม (Mg) แคลเซียม (Ca) และโซเดียม (Na) ส่วนที่มีปริมาณน้อยมาก (TRACE ELEMENT) คือ ทองแดง (Cu) นิกเกิล (Ni) ไททาเนียม (Ti) แมงกานีส (Mn) โพแทสเซียม (K) และ โครเมียม (Cr)

2.3.3 ลักษณะทางชีววิทยา ลักษณะทางชีววิทยาขึ้นอยู่กับ ความหนาแน่น (DENSITY) และความหลากหลายพันธุ์ (DIVERSITY) ของสิ่งมีชีวิต แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณออกซิเจนภายในแหล่งน้ำที่สัมพันธ์กับตะกอนมีเท่าใด (Bautista, 1983)

2.4 ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืช (Essential element) ในตะกอน

ตะกอนก็เช่นเดียวกับดินทั่วไปจะมีธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืชถูกดูดซับเอาไว้ โดยทั่วไปแล้วธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืช มีด้วยกันทั้งหมดประมาณ 16 ธาตุด้วยกันคือ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โบตัสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียมแมงกานีส เหล็ก กำมะถัน สังกะสี ทองแดง โบรอน โมลิบดินัม และคลอรีน ซึ่งนอกเหนือไปจากที่ระบุแล้ว ยังมีธาตุอื่นๆ เฉพาะออกไปอีกทั้งนี้แล้วแต่นิเวศของพืช จากธาตุทั้ง 16 ธาตุนี้ จะเห็นได้ว่าสามารถแบ่งออกเป็นกลุ่ม อย่างคร่าวๆ ได้ 2 กลุ่มคือ

2.4.1 กลุ่มธาตุอาหารที่ได้จากอากาศ และน้ำ (Essential elements from air and water) คือ คาร์บอน ออกซิเจน และไนโตรเจน ซึ่งพืชบางจำพวกเท่านั้นที่สามารถนำไนโตรเจนจากอากาศมาใช้ได้ โดยปกติประมาณ 94-99.5% ของน้ำหนักสดของพืช ประกอบไปด้วย คาร์บอน ออกซิเจน และไฮโดรเจน

2.4.2 ธาตุอาหารที่ได้จากดิน

2.4.2.1 ธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณมาก (Macronutrient elements) มีด้วยกัน 6 ธาตุคือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โบตัสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน โดยมีความต้องการเป็นปริมาณมาก ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถันจะมีปริมาณเพียงพอในดิน ส่วนไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โบตัสเซียม จะเป็นธาตุอาหารที่มีอยู่ในดินน้อย หรือพืชไม่สามารถนำไปใช้ได้

2.4.2.2 ธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณน้อย (Micronutrient elements) มีด้วยกัน 7 ธาตุคือ เหล็ก แมงกานีส โบรอน โมลิบดินัม สังกะสี ทองแดง และคลอรีน

2.4.3 การดูดซึมธาตุอาหารของพืชเข้าสู่ลำต้นนั้น ปกติธาตุอาหารต่างๆ จะอยู่ในรูปสารละลายของสารประกอบธาตุอาหารในดิน ดังนั้นจึงแบ่งรูปแบบของสารประกอบธาตุอาหารออกเป็น 2 พวกคือ

2.4.3.1 รูปที่พืชใช้ประโยชน์ไม่ได้ (Relatively unavailable form) มักเป็นโมเลกุลที่ใหญ่ จับกันแน่นไม่ละลายน้ำได้ง่าย

2.4.3.2 รูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ทันที (Readily available form) โดยธาตุอาหารจะอยู่ในรูปของเกลือของธาตุอาหารเหล่านี้ที่สามารถละลายน้ำได้ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2526)

2.5 แหล่งที่มาและวัฏจักรของธาตุอาหารพืช

2.5.1 แหล่งที่มาและวัฏจักรของไนโตรเจน แหล่งที่มาของไนโตรเจนแบ่งออกเป็น 4 แหล่งใหญ่ด้วยกันคือ

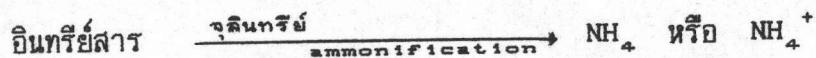
2.5.1.1 ได้มาจากการตรึงไนโตรเจนจากอากาศด้วยแบคทีเรียพวก Rhizobium ปริมาณของไนโตรเจนชนิดนี้จะมากน้อยเพียงไรขึ้นอยู่กับ ชนิดของแบคทีเรีย และสภาพแวดล้อมหลายประการ เช่น การถ่ายเทอากาศ ความชื้น การระบายน้ำ ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน

2.5.1.2 ได้มาจากการตรึงไนโตรเจนจากอากาศโดยพวกจุลินทรีย์ที่มีอยู่ อย่างอิสระในดิน ได้แก่ สาหร่ายบางชนิด โดยเฉพาะสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน

2.5.1.3 ได้มาจากฝน เมื่อก็ดฟ้าแลบฟ้าร้อง ก๊าซไนโตรเจน จะถูก ออกซิไดส์ได้ กลายเป็นไนตรัสออกไซด์ (N_2O) และไนตริกออกไซด์ (NO) และละลายน้ำลงสู่พื้นดิน

2.5.1.4 ได้มาจากปุ๋ยที่ใส่ลงในดิน จากปุ๋ยวิทยาศาสตร์ที่ใส่ลงในดินจะเป็นแหล่งใหญ่ แหล่งหนึ่งของไนโตรเจนในดิน

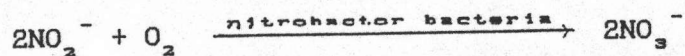
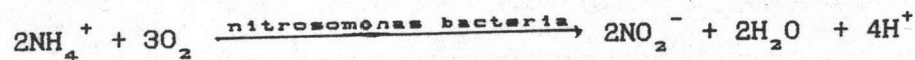
เมื่อดินได้รับไนโตรเจนจากวิธีดังกล่าวข้างต้นแล้วจะมีการแปรรูปไปเป็นสารอาหารที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ โดยกระบวนการต่างๆ ภายในดินได้สารประกอบพวก แอมโมเนียม และไนเตรต โดยแอมโมเนียมที่ได้จากการสลายสารอินทรีย์ที่มาจากแหล่งต่างๆ ดังกระบวนการต่อไปนี้



แอมโมเนียมที่เกิดขึ้นจากกระบวนการนี้จะถูกเปลี่ยนแปลงไปได้อีก 4 ทางคือ

1. ถูกพวกจุลินทรีย์นำไปใช้
2. ถูกพวกพืชชั้นสูงนำไปใช้ โดยเฉพาะที่สังกัดกลุ่ม
3. ถูกตรึงไว้ระหว่างผลึกของอนุภาคดินเหนียว
4. ถูกออกซิไดส์ไปเป็นไนไตรต์ (NO_2^-) และไนเตรต (NO_3^-) โดยกระบวนการ

ไนตริฟิเคชัน (NITRIFICATION)



ถ้าสภาพของดินเหมาะสมแล้ว ไนไตรต์ที่เกิดขึ้นในขั้นแรกจะไม่หลงเหลืออยู่ จะถูกเปลี่ยนเป็นไนเตรตทันที ซึ่งเป็นผลดีเพราะไนไตรต์เป็นพิษแก่พืช

ไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น มีการเปลี่ยนแปลงได้ 4 วิธีคือ

1. จุลินทรีย์ชนิดต่างๆ นำไปใช้
2. พืชชั้นสูงนำไปใช้
3. สูญหายไปจากดินจากกระบวนการชะล้าง
4. สูญหายไปจากดินในรูปของก๊าซ

อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าไนโตรเจนสามารถเปลี่ยนแปลงไปได้หลายรูปแบบทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ภายในดิน (ภาพที่ 2.1) (สุภาภรณ์ ศิริโสภณา, 2524; ฅณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2526)

2.5.2 รูปแบบของไนโตรเจนในตะกอน

โดยทั่วไปไนโตรเจนทั้งหมดในตะกอนจะมีค่าสูงคือประมาณ 0.1-4% ต่อน้ำหนักแห้งของตะกอน ส่วนใหญ่เป็นรูปสารอินทรีย์ ทั้งนี้การกระจายของไนโตรเจนในตะกอนขึ้นอยู่กับความลึก โดยจะพบในปริมาณลดลงเมื่อความลึกเพิ่มมากขึ้น (ภาพที่ 2.2 ; 2.3)

ส่วนไนโตรเจนที่อยู่ในรูปอนินทรีย์นั้น จะอยู่ในรูปของแอมโมเนียม-ไนโตรเจน ไนเตรต-ไนโตรเจน ไนไตรต์-ไนโตรเจน โดยไนเตรต และไนไตรต์จะมีปริมาณน้อย แอมโมเนียม-ไนโตรเจน จะอยู่ในรูปของ

2.5.2.1 Fixed NH_4^+-N แอมโมเนียมในรูปนี้ได้แก่ แอมโมเนียมที่ถูกตรึงไว้ในแลคทิส (Lactice) ของอนุภาคดินเหนียว จะถูกยึดติดแน่น แอมโมเนียมในรูปนี้ พืชไม่สามารถนำไปใช้ได้

2.5.2.2 Exchangeable NH_4^+-N แอมโมเนียมในรูปนี้ จะอยู่ในรูปของแอมโมเนียมที่ถูกดูดซับ อยู่บนผิวของอนุภาคดินเหนียว สามารถแลกเปลี่ยนกับธาตุอาหารพืชอื่นๆ ได้

2.5.2.3 Interstitial NH_4^+-N แอมโมเนียมในรูปนี้จะละลายอยู่ในน้ำที่หุ้มล้อมรอบอนุภาคดินเหนียว (Bautista, 1983)

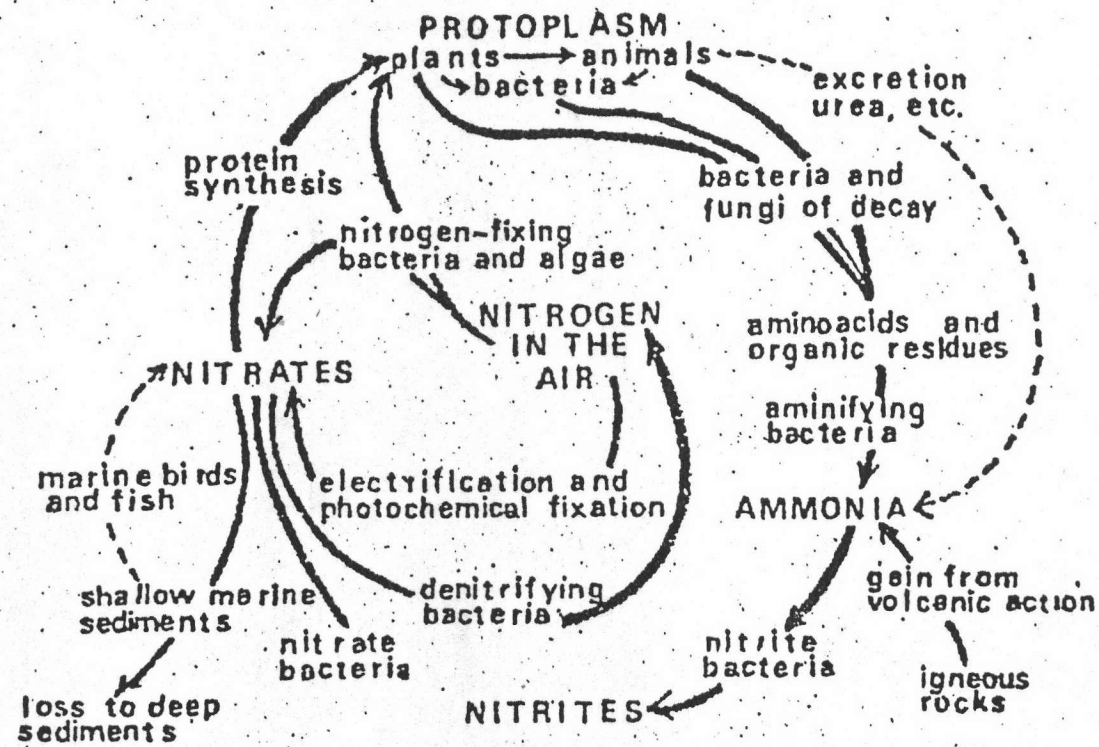
ตะกอนที่มีความลึกตั้งแต่ 5-20 เซนติเมตร จะมีการเปลี่ยนแปลงรูปของไนโตรเจนมากที่สุดดังรูปที่ 2.3

2.5.3 แหล่งที่มาและวัฏจักรโปตัสเซียม

โปตัสเซียมเป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการมากที่สุดชนิดหนึ่งทั้งนี้พืช ได้นำเอาโปตัสเซียมไปใช้ในการสังเคราะห์แสง การดึงดูดโปตัสเซียมในพืชในรูปอิออน โดยปกติโปตัสเซียมในดินมีปริมาณสูง แต่ปริมาณที่พืชจะดูดเอาไปใช้ได้มีปริมาณค่อนข้างน้อย โปตัสเซียมเป็นธาตุที่มีอยู่ในดินมากเมื่อเทียบกับฟอสฟอรัส ซึ่งรูปแบบความเป็นประโยชน์แบ่งออกเป็น 3 แบบคือ

2.5.3.1 ส่วนที่พืชใช้เป็นประโยชน์ไม่ได้ ได้แก่พวกแร่ต่างๆ เช่นแร่เฟลด์สปาร์ ไมกา

2.5.3.2 ส่วนที่พืชใช้เป็นประโยชน์ได้ทันที ส่วนนี้จะมีอยู่เพียง 1-2% ในดิน โดยแบ่งออกเป็น โปตัสเซียมที่ถูกดูดซับอยู่ที่ผิวของอนุภาคดินเหนียว และส่วนที่อยู่ในสารละลายดิน โดยทั้ง 2 รูปนี้จะสมดุลกันอยู่ตลอดเวลา



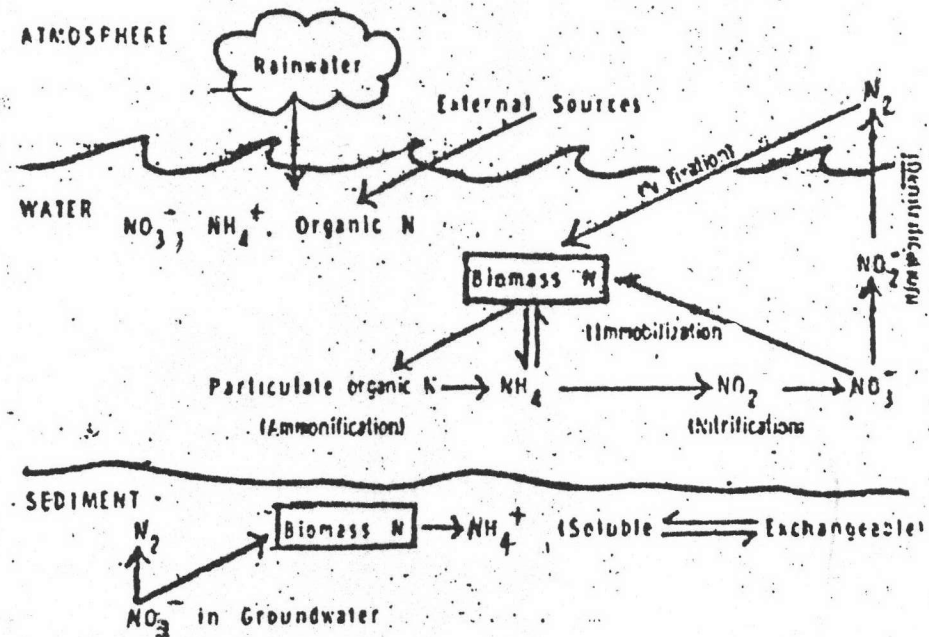
ภาพที่ 2.1 วัฏจักรไนโตรเจน

(สุภาภรณ์ ศิริโสภณา, 2524)

ตารางที่ 2.1 ปริมาณของไนโตรเจนในแหล่งต่างๆ

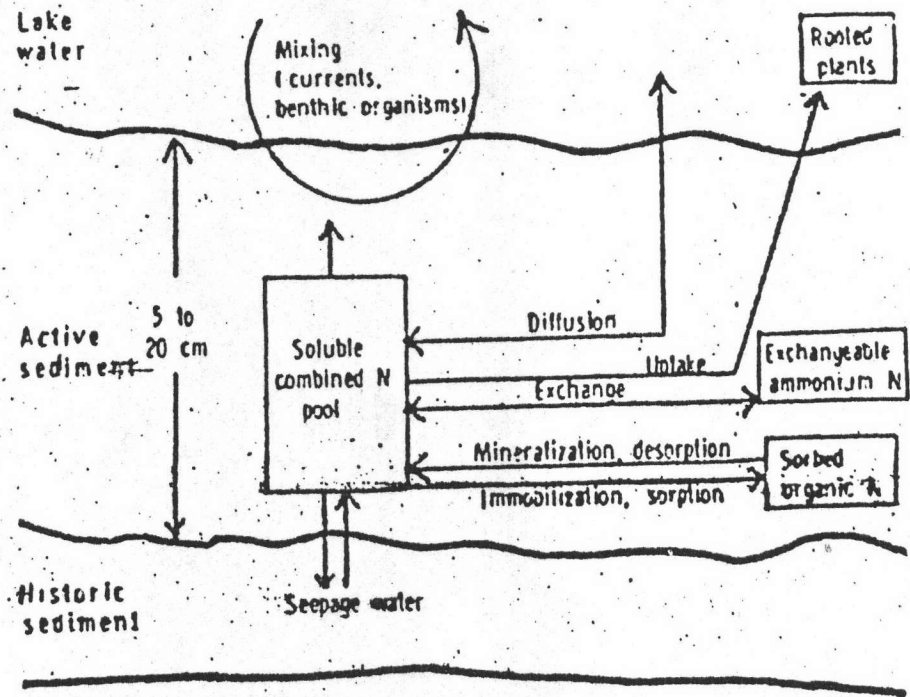
<u>Atmosphere</u>		% of total	
Dimolecular nitrogen	3,900,000	> 99.999	
Nitrous oxide	1.4	< 0.0001	
Ammonia	0.0017	< 0.0001	
Ammonium	0.000064	< 0.0001	
Nitric oxide + Nitrogen dioxide(NO _x)	0.0006	< 0.0001	
Nitrate	0.0001	< 0.0001	
Organic nitrogen	0.001	< 0.0001	
Total		100	
<u>Ocean</u>			
Plant biomass	0.30	0.001	
Animal biomass	0.17	0.0007	
Microbial biomass	0.02	0.00006	
Dead organic matter (dissolved)	530	2.3	
Dead organic matter (particulate)	3-240	0.01-0.1	
Dimolecular nitrogen (dissolved)	22,000	95.2	
Nitrous oxide	0.2	0.009	
Nitrate	570	2.5	
Nitrite	0.5	0.02	
Ammonium	7	0.03	
Total		100	
<u>Pedosphere including biota</u>			
Plant biomass	11-14	2.6	
Animal biomass	0.2	0.04	
Microbial biomass	0.5	0.1	
Litter	1.9-3.3	0.5	
Soil : organic matter	300	63	
inorganic	160	34	
Total		100	
<u>Lithosphere</u>			
Rocks	190,000,000	99.8	
Sediments	400,000	0.2	
Coal deposits	120	0.00006	
Total		100	

(Bolin and Robert, 1983)



ภาพที่ 2.2 วัฏจักรไนโตรเจนในตะกอนและน้ำ
The N Cycle in Sediments and waters

(Syres, 1973)



ภาพที่ 2.3 รูปแบบของการเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนในตะกอนและน้ำ

A Sediment-water interchange model

(Syres, 1973)

2.5.3.3 ส่วนที่พืชใช้เป็นประโยชน์ได้ซ้ำ โดยส่วนที่อยู่ในแลกทิสของอนุภาคดินเหนียว และส่วนนี้มีความสัมพันธ์กับ ส่วนที่เป็นประโยชน์ได้คือ

ส่วนที่แลกเปลี่ยนซ้ำ===> ส่วนที่แลกเปลี่ยนได้===> โปตัสเซียมในสารละลายดิน

ทั้งนี้ปัจจัยที่มีอิทธิพลในการปลดปล่อย และตรึงโปตัสเซียมมีอยู่ 4 ประการคือ

2.5.3.3.1 ชนิดของอนุภาคดิน

2.5.3.3.2 อุณหภูมิ

2.5.3.3.3 สภาพความชื้นภายในดิน

2.5.3.3.4 ปฏิกริยาหรือพีเอชในดิน

(จिरศักดิ์ แก้วม่วง, 2526; คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2526)

2.5.4 แหล่งที่มาและวัฏจักรฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารของพืชอย่างหนึ่งโดยฟอสฟอรัสในพืช และในดินเป็นพวกออร์โทฟอสเฟต เฉพาะในพืชประมาณ 1/3-2/3 ของฟอสเฟตทั้งหมดอยู่ในรูปออร์โธฟอสเฟตที่เหลือน้อยในรูป สารอินทรีย์ฟอสฟอรัส

ส่วนในดินแหล่งใหญ่ของฟอสเฟตมาจากหินและแร่ มาอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้แล้วพืชดูดไปใช้ เมื่อพืชตายลงก็กลับลงสู่วัฏจักรเช่นเดิม (ภาพที่ 2.4)

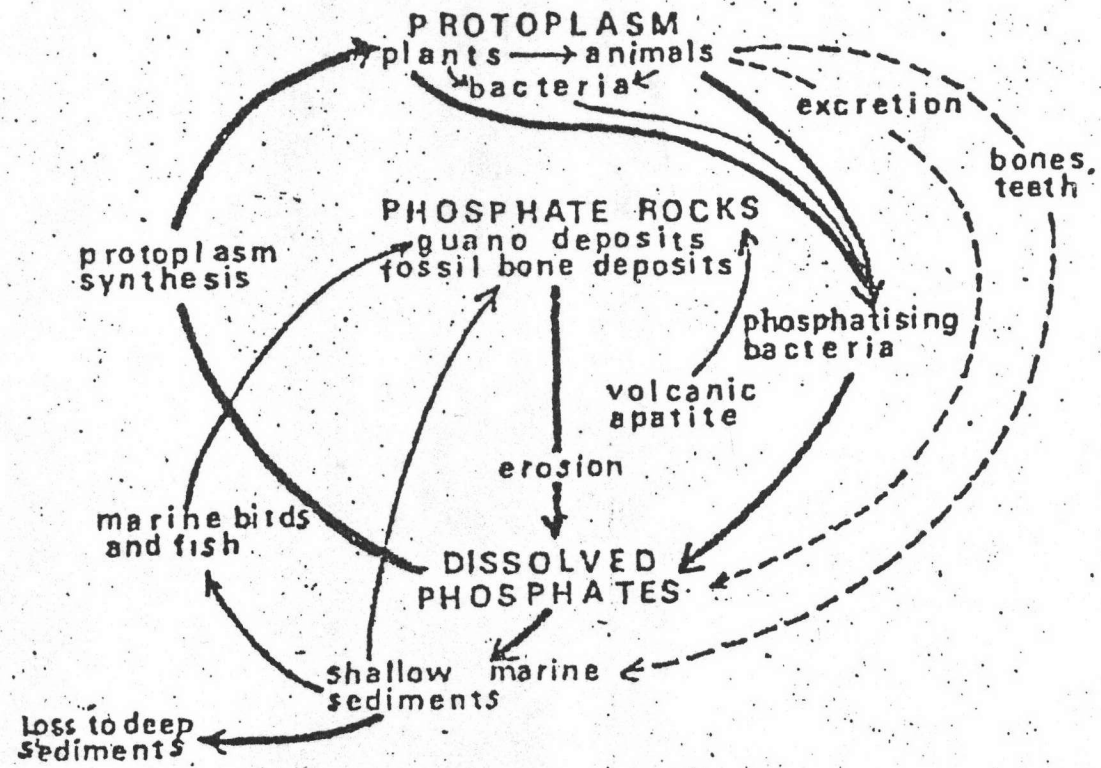
2.5.5 ฟอสฟอรัสในตะกอน

รูปแบบและปริมาณของฟอสฟอรัสในตะกอน ขึ้นอยู่กับปริมาณการเข้าออกของฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำ ความสัมพันธ์ของฟอสฟอรัสที่ตกตะกอน ขึ้นอยู่กับปัจจัยทางเคมี และชีววิทยา ฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำปรากฏใน 2 รูปแบบคือ

2.5.5.1 สารอินทรีย์ฟอสฟอรัส ส่วนใหญ่จะพบในรูปต่าง ๆ หลายรูปแบบเช่น กรดนิวคลีอิก ฟอสโฟลิปิด รวมทั้งในรูปของ adenosine triphosphate (ATP)

2.5.5.2 สารอนินทรีย์ฟอสฟอรัส ที่มีอยู่ในดินนั้นแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ คือ แคลเซียมฟอสเฟต อลูมิเนียมฟอสเฟต เหล็กฟอสเฟต (จिरศักดิ์ แก้วม่วง, 2526) (ภาพที่ 2.5)

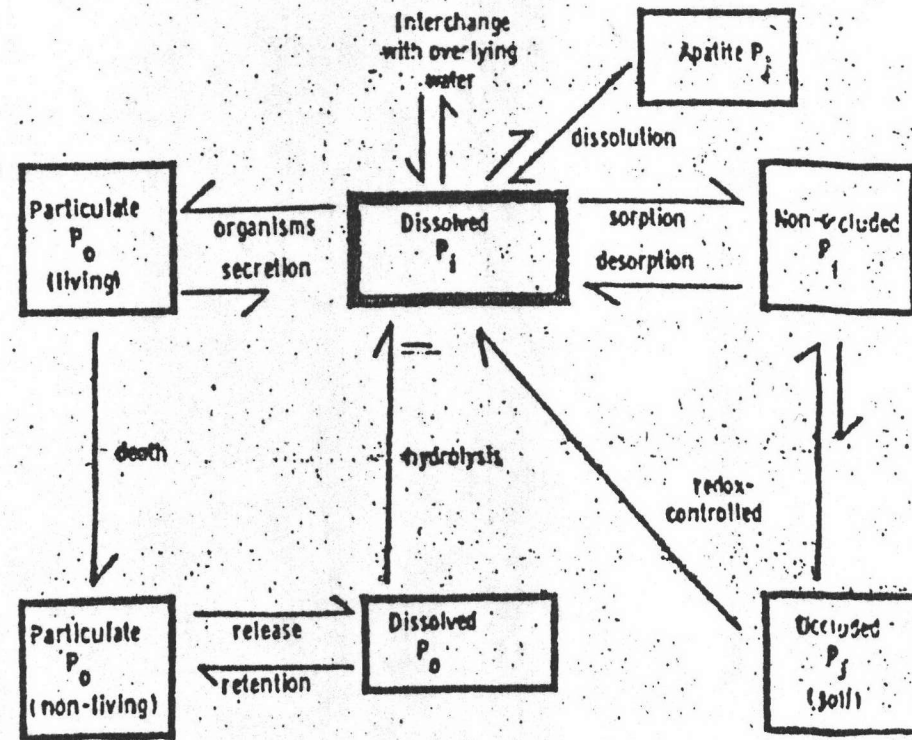
การละลายออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืชนั้น แคลเซียมฟอสเฟต จะละลายง่ายกว่าเหล็กฟอสเฟต ส่วนอลูมิเนียมฟอสเฟตจะละลายได้ง่ายกว่าเหล็กฟอสเฟต ในดินต่างที่มีพีเอชสูง จะพบว่า มีแคลเซียมฟอสเฟตมากกว่าอลูมิเนียมฟอสเฟตและเหล็กฟอสเฟต ส่วนดินกรดที่มีพีเอชต่ำ จะมีอลูมิเนียมฟอสเฟตและเหล็กฟอสเฟตมากกว่าแคลเซียมฟอสเฟต ฟอสฟอรัสทั้ง 3 รูปนี้สามารถเปลี่ยนแปลงรูปหนึ่งไปเป็นอีกรูปหนึ่งได้ โดยถูกควบคุมด้วยพีเอชของดิน ซึ่งเมื่อพีเอชของดินต่ำกว่า 5.5 แล้ว รูปของแคลเซียมฟอสเฟตจะเปลี่ยนเป็นอลูมิเนียมฟอสเฟต และเหล็กฟอสเฟต ส่วนดินที่มีพีเอชสูงกว่า 9 แล้ว จะทำให้อลูมิเนียมฟอสเฟตและเหล็กฟอสเฟตเปลี่ยนรูปเป็นแคลเซียมฟอสเฟต



ภาพที่ 2.4 วัฏจักรฟอสฟอรัส

(Keeney, 1973)

016160



ภาพที่ 2.5 การเปลี่ยนแปลงของฟอสฟอรัสในตะกอน

Dynamics of Sediment P

(Keeney, 1973)

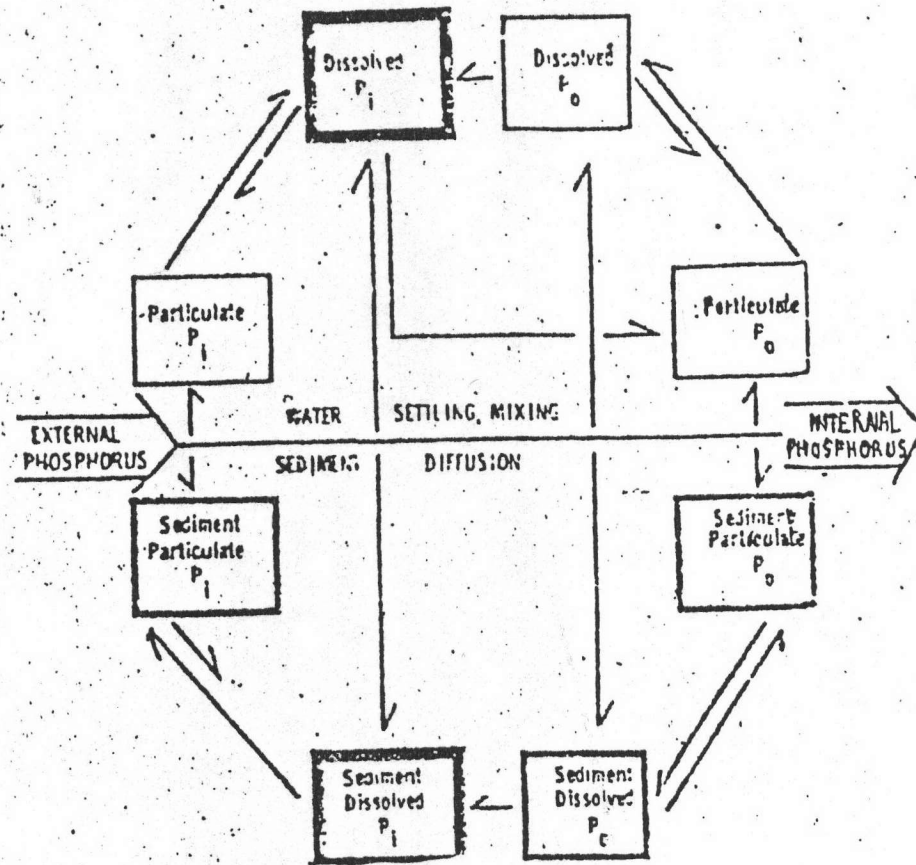
การตรึงฟอสฟอรัส หมายถึงปรากฏการณ์ที่ฟอสฟอรัสถูกเปลี่ยนจากรูปที่ละลายน้ำได้ ไปอยู่ในรูปที่ไม่ละลาย หรือรูปที่ละลายน้ำยาก ดินส่วนมากจะเปลี่ยนแปลงจากฟอสเฟตที่ละลายน้ำจากปุ๋ยไปเป็น ฟอสเฟตที่ไม่ละลายน้ำได้เร็วมาก ทำให้ความเป็นประโยชน์ลดลง ความสามารถของดินในการตรึงฟอสเฟต ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างเช่น ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ความเป็นต่างปริมาณแคลเซียม เหล็ก และอลูมิเนียม ฟอสฟอรัสในรูปของสารประกอบของแคลเซียมและแมกนีเซียม เมื่อเปรียบเทียบกับฟอสฟอรัสในสารประกอบเหล็ก และอลูมิเนียมแล้ว ฟอสฟอรัสในสารประกอบของแคลเซียม และแมกนีเซียมสามารถละลายเป็นประโยชน์ต่อพืชได้มากกว่า ดินจะมีพีเอชสูงหรือต่ำ ฟอสเฟตที่ละลายได้จะถูกตรึงไปเป็นจำนวนมาก เมื่อพีเอชของดินต่ำฟอสเฟตจะถูกตรึงโดยประจุบวกที่ละลายได้กับพวก Fe^{2+} Al^{3+} และไฮดรอกไซด์ของเหล็ก อลูมิเนียม และแมงกานีสจะค่อยๆ ลดปริมาณการตรึงลงเมื่อพีเอช ของดินสูงขึ้นจาก 4 เป็น 7 แต่จะถูกตรึงโดย Ca^{2+} Mg^{2+} $CaCO_3$ เกิดเป็นแคลเซียมฟอสเฟตเป็นปริมาณมากขึ้นเรื่อยๆ เมื่อพีเอชของดินสูงขึ้นจาก 6 เป็น 8

อินทรีย์วัตถุ เป็นสิ่งสำคัญที่ช่วยให้ฟอสเฟตอึดอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมากขึ้น เพราะเมื่อใส่สารอินทรีย์วัตถุลงในดินจะ เปลี่ยนอินทรีย์วัตถุในดินเป็นสารประกอบพวกซิเตรท และออกซาเลท สารพวกนี้เป็นตัวการในการป้องกันมิให้ฟอสเฟตอึดถูกตรึงโดยเหล็ก และอลูมิเนียม

การตรึงฟอสเฟตในดินนั้นจะเกิด โดยกระบวนการที่สำคัญ 3 ประการคือ Chemical precipitation, anion exchange and absorption phenomena การตรึงฟอสฟอรัสนั้นประกอบด้วยการตรึง 2 ชั้นคือ ในชั้นแรกเมื่อฟอสเฟตสัมผัสกับดินจะถูกตรึงไว้ในอัตราที่สูงมาก ต่อมาในชั้นที่ 2 อัตราการตรึงฟอสเฟตต่ำลง การตรึงฟอสเฟตที่เกิดขึ้นในชั้นที่เร็วมากนั้นเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนฟอสเฟตอึดในสารละลายดินกับไฮดรอกซิลอึดบนผิวของอนุภาคดินเหนียว หรือไฮดรอกไซด์ของเหล็ก และอลูมิเนียมที่เกิดขึ้นได้รวดเร็วมากในช่วงพีเอชกว้าง ส่วนอัตราการตรึงฟอสฟอรัสที่เกิดขึ้นในอัตราต่ำ ซึ่งเกิดในช่วงหลังของการตรึงฟอสฟอรัสเกิดเนื่องจากที่ฟอสเฟตค่อยๆ เคลื่อนเข้าไปในช่องว่างระหว่างผลึกของอนุภาคดินเหนียว และไฮดรอกไซด์ของเหล็ก และอลูมิเนียม โดยการเข้าไปแทนที่ไฮดรอกซิลอึด ภายในช่องว่างระหว่างผลึก หรืออาจเนื่องมาจากการสลายตัวของแร่ดินเหนียว ซึ่งปลดปล่อยเหล็ก และอลูมิเนียมออกมาในสารละลายดิน เหล็กและอลูมิเนียมที่ถูกปลดปล่อยออกมาทำปฏิกิริยากับฟอสเฟตอึดเกิดเป็นสารประกอบฟอสเฟตของเหล็ก และอลูมิเนียมซึ่งไม่ละลายน้ำ (ภาพที่ 2.6)

2.6 การเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหารพืชในตะกอน และปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

ปริมาณของธาตุอาหารในตะกอน จะสัมพันธ์กับแหล่งน้ำ แต่ทั้งนี้ก็จะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง และสภาพฤดูกาล และนอกจากนี้ยังมีความแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ ได้มีผู้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ ธาตุอาหารในตะกอน ดังนี้



ภาพที่ 2.6 การเปลี่ยนแปลงของฟอสฟอรัสในตะกอนในส่วนของน้ำและตะกอน

Interchange between water and Sediment P compartments

(Keeney, 1973)

2.6.1 การเปลี่ยนแปลงส่วนใหญ่ของไนโตรเจนในตะกอน เกิดจากกระบวนการของจุลินทรีย์ซึ่งได้แก่ กระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน (Ammonification) อิมโมบิไลเซชัน (Immobilization) ไนตริฟิเคชัน (Nitrification) ไนโตรเจนฟิกเซชัน (Nitrogen fixation) แอสซิมิเลชัน (Assimilation) ดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) นอกจากกระบวนการต่างๆ แล้วยังอาจแบ่งออกเป็นกระบวนการทางเคมีคือ

2.6.1.1 Acid-Base reactions จากการเปลี่ยนแปลงพีเอช ซึ่งจะมีผลต่อปฏิกิริยาทางเคมีต่างๆ ภายในแหล่งน้ำ และตะกอน

2.6.1.2 Coprecipitation-solubilization reactions ฟอสฟอรัสสามารถเกิดการตกตะกอนได้โดยร่วมกับเหล็ก อลูมิเนียม และแมงกานีส ไฮดรอกไซด์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่าพีเอช

2.6.1.3 Complexation reactions โลหะและสารอินทรีย์เชิงซ้อนสามารถดูดซับฟอสเฟต และแอมโมเนียม และสามารถปลดปล่อยได้

2.6.1.4 Oxidation-Reduction reactions เกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ได้เมื่อสภาวะเปลี่ยนไปเช่น ก๊าซออกซิเจนลดลง หรือค่าพีเอชเปลี่ยนแปลงไป

2.6.1.5 Sorption-desorption reactions จะเกิดการดูดซับและปลดปล่อยธาตุอาหารโดยมีอนุภาคดินเหนียว ตะกอนของเหล็ก และอลูมิเนียม สารประกอบของแคลเซียม ฮิวมัส คอลลอยด์ และสิ่งมีชีวิตอื่นๆ (Bautista, 1983; Keeney, 1973)

ดังจะเห็นว่ามีการกระบวนการต่างๆ ในตะกอนมากมาย เกิดขึ้นที่เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารต่างๆ และเนื่องจากมีการกระบวนการต่างๆ มากมายนี้เอง ได้มีผู้ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารต่างๆ ในตะกอนมากมาย โดยสุภาภรณ์ ศิริโสภณา (2524) ได้ทำการศึกษพบว่า ตะกอนที่มาจากการใช้ที่ดินประเภทต่างๆ จะมีปริมาณธาตุอาหารต่างกัน โดยที่ตะกอนที่มาจากพื้นที่ไร่ร้าง จะมีค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจน และไนเตรต-ไนโตรเจนเท่ากับ 80.86 และ 44.57 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ และน้อยที่สุดคือพื้นที่ป่าดิบแล้งเท่ากับ 60.90 และ 20.45 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ส่วนพื้นที่เกษตรกรรมผสมป่าดิบแล้งและที่อยู่อาศัยเท่ากับ 2.04 และ 25.71 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าตะกอนจากพื้นที่ใช้งานที่แตกต่างกัน จะมีปริมาณการสะสมของธาตุอาหารที่แตกต่างกันด้วย นอกจากนี้ Johnston, et al., (1984) ได้ทำการศึกษาวิจัยถึงปริมาณธาตุอาหารที่ตกลงสู่ตะกอนที่เกิดจากน้ำท่วม พบว่าปริมาณสารอาหารที่ตกลงสู่ท้องน้ำในตะกอนจะสลายตัวได้ในบางส่วนกลายเป็นธาตุอาหารแก่พืชโดยพบว่า แอมโมเนียม-ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในตะกอน จะมีมากกว่าในดินบนฝั่ง แต่ปริมาณไนเตรต-ไนโตรเจน ในตะกอนมีน้อยกว่า ทั้งนี้การกระจายตัวของตะกอน และธาตุอาหารขึ้นอยู่กับระยะทางในแหล่งน้ำ Lawrence, et al., (1984) ได้ศึกษาถึงสภาพการรวมตัวของไนโตรเจน และฟอสฟอรัสของตะกอนในแหล่งน้ำ พบว่าความเข้มข้นของไนโตรเจนในตะกอน มีประมาณ 0-22% ส่วนฟอสฟอรัสมีประมาณ 0-26% ในความเข้มข้นที่ไม่มากกว่า 10% ของปริมาณไนโตรเจน และฟอสฟอรัสทั้งหมด นอกจากนี้ยังพบว่า

ไนโตรเจน ในเตรต แมกนีเซียม มีค่าสูงในตะกอนที่มาจากการเกษตร ส่วนตะกอนที่มาจากพื้นที่ป่า และแหล่งน้ำจะมี ร้อยละของไนโตรเจนแต่ละชนิดคือ 78% ของไนเตรต-ไนโตรเจน 6% ของแอมโมเนียม-ไนโตรเจน 16% ของสารอินทรีย์ไนโตรเจนตามลำดับ ส่วนธาตุอาหารอื่นๆ ได้แก่ แคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม ซัลเฟต จะถูกเปลี่ยนแปลงไปเป็นสารอินทรีย์ และตกลงสู่พื้นน้ำ

จากรายงานของ Keeney (1973) พบว่าโดยทั่วไป ไนโตรเจนในตะกอนจะมีอยู่ในช่วงประมาณ 50-200 กิโลกรัมไนโตรเจน/10 เซนติเมตรของความลึกของตะกอน/แยกแตร ส่วน Avnimelech, et al., (1983) ได้ทำการศึกษาการกระจายตัวของธาตุอาหารต่างๆ ในตะกอนพบว่าอำนาจการกระจายตัวของธาตุอาหารสารอินทรีย์คาร์บอน และอินทรีย์ไนโตรเจน มักอยู่ในรูปสารประกอบเชิงซ้อนในตะกอน และค่าของสารอินทรีย์คาร์บอนที่แลกเปลี่ยนได้มีเพียง 10% ของสารอินทรีย์ทั้งหมด ค่าฟอสฟอรัสในตะกอนจะมีค่าจำกัด โดยขึ้นอยู่กับค่าพีเอช redox potential ความเข้มข้นของอิออนที่ทำให้ฟอสฟอรัสตกตะกอน และอีกทั้งสมดุลในแหล่งน้ำ นอกจากนี้ยังพบว่าค่าของอินทรีย์คาร์บอนและอินทรีย์ไนโตรเจนมีค่าประมาณ 100-500 มิลลิกรัม/ลิตร

2.6.2 การเปลี่ยนแปลงฟอสฟอรัส Oloya and Logan (1980) ได้ศึกษาถึงปริมาณการปลดปล่อยฟอสฟอรัสออกจากตะกอนโดยใช้สารสกัดฟอสฟอรัสที่แตกต่างกัน พบว่ามีปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการปลดปล่อยฟอสฟอรัสอยู่ 3 ประการคือ

2.6.2.1 ขึ้นอยู่กับความสามารถของตะกอนที่จะปลดปล่อยฟอสฟอรัส (Labile P)

2.6.2.2 สมดุลเคมี

2.6.2.3 อัตราเร็วในการปลดปล่อย (Rate of Release) โดยที่ตะกอนจะมีสมดุลเคมีน้อย ดังนั้นจะมีการปลดปล่อยออกมาน้อย แต่ถ้าใช้เวลาในการสกัดมากขึ้นจะทำให้มีฟอสฟอรัสละลายออกมามากขึ้น Wauchope (1984) ทำการศึกษาถึงการดูดซับฟอสเฟตในตะกอนจากทะเลสาบ และแม่น้ำเปรียบเทียบกับดินธรรมชาติ พบว่า มีค่าใกล้เคียง และพบว่าการดูดซับฟอสเฟตของตะกอนจะขึ้นอยู่กับอนุภาคดินเหนียว คือจะดูดซับฟอสเฟตได้มากถ้ามีดินเหนียว และธาตุดังกล่าวในปริมาณมาก ค่าความเข้มข้นของฟอสเฟตที่สมดุลมีค่าประมาณ 0.07-0.3 มิลลิกรัม/ลิตร

จากรายงานของ MacCallister (1988) พบว่าความสัมพันธ์ของฟอสเฟตกับแคลเซียม และเหล็กมีความสัมพันธ์กันอย่างมาก โดยที่ถ้ามีฟอสเฟตในปริมาณมาก แคลเซียมฟอสเฟตก็จะเริ่มตกตะกอน แต่ปริมาณของเหล็กฟอสเฟตจะมีความเข้มข้นต่ำ โดยทั่วไปแล้ว เหล็กจะอยู่ในรูปของ $Fe(OOH)$ และจะดูดซับฟอสเฟต $Fe(OOH)PO_4$ แต่ความเข้มข้นจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของ P/Fe และค่าพีเอช

2.7 รูปแบบและปริมาณของโลหะในตะกอน

ปริมาณโลหะในดินมีปริมาณไม่เท่ากันในแต่ละธาตุ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดของดินว่าเป็นเช่นไร รูปแบบของการปรากฏอยู่ของโลหะในดินมี 6 รูปแบบคือ

- 2.7.1 อยู่ในรูปลักษณะของเม็ดแร่ (course inorganic particles)
- 2.7.2 อยู่ในลักษณะอนุภาคเล็ก ๆ ที่ปะปนอยู่กับเม็ดดิน (colloidal inorganic particles)
- 2.7.3 อยู่ร่วมกับสารอินทรีย์ (organic matter)
- 2.7.4 อยู่ในสิ่งมีชีวิต (living organisms)
- 2.7.5 อยู่ในสารละลายดิน (soils solution)
- 2.7.6 อยู่ในช่องว่างอากาศภายในเม็ดดิน (the soils atmosphere) (Gieseking (1978) อ้างตาม Solomons (1984); Forstner and Wittmann, (1981))

ดังที่กล่าวมาแล้วว่าปริมาณของโลหะในตะกอนขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ มากมาย จากการศึกษาของ Green, et al., (1986) พบว่าระยะเวลาตกค้าง (Residence times) ของโลหะแมงกานีส เหล็ก ทองแดง และแคดเมียมในทะเลสาบเปิด โดยระยะเวลาตกค้างของ แมงกานีส = 9.4 ปี เหล็ก = 1.4 ปี ทองแดง = 174 ปี และ แคดเมียม = 82 ปี

2.8 โลหะหนักในตะกอน

ในปัจจุบันเป็นที่ทราบกันดีแล้วว่า โลหะหนักสามารถเกิดการสะสมตัวอยู่ในตะกอนโดยมีความเข้มข้นสูงกว่าความเข้มข้นของโลหะหนักที่มีอยู่ในมวลน้ำเหนือตะกอนมาก เนื่องจากมีกระบวนการต่างๆ หลายกระบวนการทั้งกระบวนการทางฟิสิกส์ เคมี และชีววิทยา ปริมาณของโลหะหนักในตะกอนเกิดขึ้นจากการสะสมตัวในตะกอนตามกระบวนการตามธรรมชาติ ได้แก่ การชะล้างเกลือแร่ที่อยู่บนพื้นดินลงสู่แหล่งน้ำ และอีกส่วนหนึ่งเป็นผลโดยตรงจากการใช้ และปล่อยโลหะหนักลงสู่แหล่งน้ำในกิจกรรมของมนุษย์ Chester and Voutsinou (1981) พบว่าปริมาณของโลหะหนักในตะกอนอาจมีค่าเปลี่ยนแปลงไปได้มาก และมีค่าต่ำกว่าที่ควรจะเป็นจากการที่มีสารจำพวกคาร์บอนเนตในตะกอนมากขึ้น

โลหะหนักในตะกอนมักแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 กลุ่มคือ

2.8.1 Residual Heavy Metal เป็นโลหะหนักที่มีอยู่ใน Lattice ของอนุภาคดินเหนียวในตะกอน มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากในธรรมชาติ

2.8.2 Non-residual Heavy Metal เป็นโลหะหนักที่มีอยู่ในตะกอนที่เกิดขึ้นจากการ adsorption เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับสารอินทรีย์ในตะกอน และโลหะหนักที่อยู่ในรูปสารประกอบที่ละลายน้ำได้ หรือตกตะกอนลงโดยตรงเป็นส่วนใหญ่

2.9 ข้อมูลพื้นฐาน และชนิดของผักคะน้าที่ใช้ในการทดลอง

2.9.1 การแบ่งชนิดของผักคะน้า คะน้าเป็นพืชผักสวนครัว ซึ่งคนไทยทุกคนรู้จักกันมานานแล้วจนคนไทยเข้าใจว่าเป็นผักของไทย อันที่จริงแล้วคะน้าเป็นผักที่มีกำเนิดมาจากประเทศจีน

มีชื่อทางภาษาจีนว่าไก่อหลันไซ่ (Kaa i loan tsoi) ซึ่งแพร่กระจายสู่เอเชียตอนใต้มาช้านานแล้ว มีอยู่ประมาณ 7 พันธุ์ (ไพพรรณ คติการ, 2528) ดังนี้คือ

- 2.9.1.1 ไปฮวาไก่อหลัน (PAAK FA KAAI LAAN) ดอกสีขาวนิยมปลูกที่ฮ่องกง
- 2.9.1.2 หงฮวาไก่อหลัน (HUN FA KAAI LAAN) ดอกสีแดง นิยมปลูกที่ฮ่องกง
- 2.9.1.3 ซุยอิปไก่อหลัน (TSAU IP KAAI LAAN) ใบย่น นิยมปลูกที่ฮ่องกง
- 2.9.1.4 เอนอิปไก่อหลัน (UEN IP KAAI LAAN) พันธุ์นี้ได้รับการปรับปรุงให้มีใบน้อยลง และมีปล้องยาวขึ้น มีดอกสีขาว ซึ่งนิยมปลูกกันในประเทศไทยทุกภาค
- 2.9.1.5 เอนอิปไปฮวา (UEN IP PAAK FA) มีใบกลม ดอกสีขาว อายุเก็บเกี่ยวโตเต็มที่ประมาณ 80 วัน หลังหยอดเมล็ด
- 2.9.1.6 เอนอิปวองฮวา (UEN IP WONG FA) มีใบกลม ดอกสีเหลือง อายุเก็บเกี่ยวโตเต็มที่ประมาณ 70-80 วัน หลังย้ายกล้า
- 2.9.1.7 ซิมอิปไปฮวา (TSIM IP PAAK FA) ปลายใบแหลมดอกสีขาว อายุการเก็บเกี่ยวเต็มที่ 70-80 วัน หลังจากหยอดเมล็ด ซึ่งได้มาจากประเทศจีน เป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกในประเทศไทย

2.9.2 ข้อดีของผักคะน้า คือ

2.9.2.1 ในด้านการปลูก สามารถขึ้นได้ในดินเกือบทุกชนิด ปลูกได้ตลอดปี โดยเฉพาะฤดูหนาว นับเป็นฤดูกาลที่เหมาะสมมากที่สุดในการปลูก

2.9.2.2 ในด้านโภชนาการ ผักคะน้าเป็นพืชที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง ประกอบด้วย คาร์โบไฮเดรต โปรตีน แคลเซียม ในปริมาณมาก นอกจากนี้ยังมีวิตามินเอ วิตามินบี วิตามินซีมาก ส่วนรสชาติของผักคะน้า นั้นถูกกับความนิยมของคนทั่วไป หวานปนขมนิดๆ กรอบเคี้ยวง่าย ใบมีสีเขียวน่ารับประทาน สามารถนำเอามาเก็บไว้ได้นานประมาณ 4 สัปดาห์ ถ้าเก็บรักษาใส่ถุงพลาสติกปิดปากถุงที่อุณหภูมิ 1-4 องศาเซลเซียส เพื่อลดอัตราการหายใจของผักลง (สมชาย กุ้ยชัย, 2528; โกลินทร์ สายแสงจันทร์, 2524)

2.9.2.3 ในด้านเศรษฐกิจ ราคาซื้อขายผักคะน้ามักจะได้ราคาดีเสมอ เนื่องจากผักนี้เป็นที่นิยมบริโภคกว้างขวางมาก

2.10 บทบาทของธาตุอาหารหลักต่อการเจริญเติบโตของพืช

ในพืชผักมักมีไนโตรเจนติดมาด้วยเสมอ เนื่องมาจากการใช้ปุ๋ยเคมี และจากธรรมชาติ ในเศรษฐกิจที่มีอยู่ในพืชอาจมาจากกระบวนการทางธรรมชาติ เช่น การตรึงไนโตรเจน การดูดซึมโดยตรงจากดิน หรือปุ๋ย จากการวิจัยของ กลุซลิจ งามจี (2525) พบว่า พืชผักที่มักพบไนโตรเจน เช่น หัวเรดิช หัวบีต กระหล่ำปลี คื่นช่าย ผักกาดหอม เป็นต้น ขนาดที่พบได้มีประมาณ 10-15,000 พีพีเอ็ม

Barker (1972) กล่าวว่าพืชดูดแอมโมเนียม และไนเตรตทางราก เพื่อนำไปใช้ประโยชน์สำหรับแอมโมเนียมนั้น พืชนำไปสร้างกรดอะมิโน และสารอินทรีย์อื่นๆ ได้โดยตรง ส่วนไนเตรตที่ถูกดูดเข้าไปในพืชนั้นจะต้องผ่านกระบวนการรีดิวส์ให้เป็นแอมโมเนียมเสียก่อนจึงจะนำไปใช้ในการสร้างสารประกอบอินทรีย์เช่นกัน โดยทั่วไปปริมาณการสะสมไนเตรตจะมีมากในช่วงต้นและช่วงกลางของการเจริญเติบโต และจะค่อยๆ ลดลงเมื่อพืชเจริญเต็มที่ เพราะเป็นช่วงที่พืชกำลังสร้างเมล็ดนั่นเอง Barker and Maynard (1972) พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสนั้นไม่มีผลต่อการสะสมไนเตรตในพืช โดยเฉพาะพวกผัก

ส่วนโปตัสเซียม โดยทั่วไปเมื่อพืชดูดธาตุโปตัสเซียมมากขึ้นจะส่งเสริมให้มีการดูดไนเตรตเป็นปริมาณมากตามไปด้วย Cantliffe (1973) พบว่านอกจากไนโตรเจนแล้ว โปตัสเซียมมีส่วนทำให้เพิ่มการสะสมไนเตรตมากขึ้นด้วย ทั้งนี้เพราะว่าเมื่อพืชดูดธาตุโปตัสเซียมมากขึ้น และการดูดไนเตรตของพืชจะสูงขึ้นแล้ว ยังผลให้เกิดความสมดุลของประจุไฟฟ้าในพืชนั้น อย่างไรก็ตาม Brown (1966) กล่าวว่าในผักส่วนใหญ่การขาดธาตุโปตัสเซียมไม่มีผลต่อการสะสมไนเตรตมากนัก ทั้งแคลเซียมและแมกนีเซียมนั้น Maynard (1972) ศึกษาพบว่าธาตุทั้งสองไม่มีผลโดยตรงต่อการสะสมไนเตรตในพืช ถ้าแคลเซียมขาดอาจทำให้ระบบรากไม่เจริญเท่าที่ควร ทำให้การดูดธาตุอาหารลดลง ส่วนแมกนีเซียมเป็นธาตุที่สำคัญในกระบวนการเมตาบอลิซึมในพืช และเป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ จึงมีผลทางอ้อมต่อการสะสมไนเตรตในพืช

สำหรับจุลธาตุที่สำคัญต่อพืชคือ โมลิบดีนัม และแมงกานีสนั้น Evans (1955) กล่าวว่าธาตุทั้งสองในพืช ส่งผลให้มีการสะสมไนเตรตเกิดขึ้น เพราะธาตุทั้งสองตัวเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของเอนไซม์ที่ใช้รีดิวส์ไนเตรต ส่วนธาตุคลอรีนนั้น Nightingale (1948) พบว่าการมีเกลือคลอไรด์ในระดับสูงทำให้การดูดไนเตรตลดลง การเจริญเติบโตก็จะลดลงด้วย

2.11 บทบาทของโลหะ-แคดเมียม ตะกั่ว แมงกานีส และเหล็กในพืช

โดยทั่วไปสามารถที่จะแบ่งโลหะต่างๆ ออกตามคุณสมบัติที่มีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตได้

4 ประเภทคือ

- 2.11.1 โลหะประเภทที่ให้ผลประโยชน์ต่อสิ่งมีชีวิต เช่น เหล็ก ทองแดง
- 2.11.2 โลหะประเภทที่ไม่ก่อประโยชน์ และไม่เกิดโทษต่อสิ่งมีชีวิต เช่น อลูมิเนียม
- 2.11.3 โลหะประเภทที่สะสมในสิ่งมีชีวิต และก่อให้เกิดโทษ เช่น ตะกั่วปรอท
- 2.11.4 โลหะที่ก่อให้เกิดประโยชน์ ถ้าสิ่งมีชีวิตได้รับในปริมาณน้อย แต่ก่อให้เกิดโทษเมื่อได้รับในปริมาณมาก เช่น สังกะสี แมงกานีส

เป็นที่ทราบกันดีแล้วว่าในธรรมชาติ พืชอาศัยสารอินทรีย์ และอนินทรีย์ในการเจริญเติบโต และดำรงชีวิตอยู่ เนื่องจากโครงสร้างพืชประกอบไปด้วย ธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โปตัสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และพืชยังต้องการ เหล็ก แมงกานีส

ทองแดง สังกะสี และอื่นๆ ซึ่งธาตุที่พืชรับเข้าไปใช้เหล่านี้อาจเป็นโลหะหนัก ซึ่งถ้าสะสมมากเกินไปอาจจะเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตที่บริโภคได้ จึงมีผู้ที่สนใจทำการวิจัยในด้านความเป็นพิษของโลหะหนักต่ออาหารที่สิ่งมีชีวิตนำมาใช้บริโภคมากมาย โดยเฉพาะในพืช

แคดเมียม เป็นโลหะหนักที่อยู่ในความสนใจเป็นอย่างมาก เพราะมีความเป็นพิษสูงเป็นอันตรายแทบทุกระบบในร่างกายมนุษย์ และสัตว์ไม่ว่าจะได้รับการบริโภค การสูดดม หรือการฉีดเข้าสู่ร่างกาย ปัจจุบันได้มีการนำเอาแคดเมียมไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่างๆ อย่างมากมายโอกาสที่แคดเมียมจะปนเปื้อนเข้าสู่สิ่งแวดล้อมสูงขึ้น ซึ่งส่งผลให้ระดับของแคดเมียมในพืชสูงขึ้นด้วย ปริมาณแคดเมียมที่ก่อให้เกิดพิษต่อพืช อยู่ในช่วงกว้างคือ 5-700 มิลลิกรัม/กิโลกรัมของน้ำหนักแห้งของพืช (Chaney, 1982)

Frances (1976) ทดลองปลูกพืช 3 ชนิด คือหัวผักกาดแดง ถั่ว และบิท ในสารละลายที่มีแคดเมียมเพียง 0.2 พีพีเอ็ม พบว่าการเจริญเติบโตของพืชในสารละลายเหล่านี้ลดลงไปถึง 50% นอกจากนี้ข้าวโพดที่ปลูกในสารละลายที่มีแคดเมียมผสมอยู่ด้วย 1 พีพีเอ็ม ก็แสดงอาการเป็นพิษเนื่องมาจากแคดเมียมด้วย เนื่องจากแคดเมียมเป็นโลหะที่เคลื่อนที่ได้ดีในพืช เมื่อเทียบกับตะกั่วจึงถูกลำเลียงจากส่วนรากไปยังลำต้น และใบอย่างสม่ำเสมอ

Peligard (1986) กล่าวว่าความเป็นพิษของแคดเมียมต่อพืชเกิดจากการที่แคดเมียมไปมีผลต่อเมตาบอลิซึมของพืช ทั้งยังยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์แสง และกระบวนการคายน้ำของพืชด้วย และยังมีผลต่อการลดปริมาณคลอโรฟิล ทำให้โครงสร้างของคลอโรพลาสต์ผิดปกติ

John (1972) รายงานว่าการผิดปกติ เนื่องมาจากแคดเมียมสังเกตได้ชัดเจนคือ เนื้อเยื่อระหว่างเส้นใบขีดเหลือง พืชบางชนิดมีใบบางลง ปลายใบม้วน ลำต้นเล็กแกร็น อัตราการเจริญของรากลดลง

จากการศึกษาปริมาณแคดเมียมในผักบุงจีนของ วิลเลียม บุนญูกิจจินดา (2523) พบว่าแคดเมียมจะถูกสะสมไว้ในรากของผักบุงจีนเป็นส่วนใหญ่ การเจริญของใบและลำต้นถูกยับยั้งเนื่องจากพิษของแคดเมียมรุนแรงกว่าส่วนราก ทั้งๆ ที่สะสมได้น้อยกว่าส่วนราก แสดงว่าใบ และต้น ไวต่อพิษของแคดเมียมมากกว่าราก

วรวิทย์ ชีวาภรณาภิวัฒน์ (2529) ศึกษาปริมาณแคดเมียมในผักคะน้าโดยศึกษาแยกลำต้นและใบ พบว่าปริมาณแคดเมียมในลำต้นมีค่าสูงกว่าในใบ โดยเฉลี่ยในลำต้นมีค่าเท่ากับ 0.95 พีพีเอ็ม และในใบเท่ากับ 0.45 พีพีเอ็ม

พัชรราตี สุวรรณชาติ (2529) ศึกษาปริมาณของแคดเมียมในผักคะน้าที่ปลูกด้วยกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสีย ผลปรากฏว่าผักคะน้าที่ปลูกมีการดูดเอาแคดเมียมมาสะสมในปริมาณเฉลี่ย 2.42 พีพีเอ็ม ซึ่งค่าการสะสมใกล้เคียงกับการสะสมในผักคะน้าที่ปลูกบนดินที่ได้รับปุ๋ยเคมี และไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช

เมื่อเทียบกับพืชทั่วๆ ไป Mengal (1982) พบว่าพืชทั่วๆ ไปตามปกติจะมีปริมาณแคดเมียมอยู่ระหว่าง 0.1-1.0 พีพีเอ็ม จะแสดงความเป็นพิษต่อมนุษย์ เมื่อบริโภคพืชที่มีปริมาณ

แคดเมียมมากกว่า 3 พีพีเอ็มเป็นประจำ

Puckett (1975) พบว่าในบรรดาโลหะหนัก เมื่อเรียงความสามารถในการดูดซับของพืช จากมากไปหาน้อยตามลำดับ ได้ดังนี้ เหล็ก>ตะกั่ว>แคดเมียม เห็นได้ว่าตะกั่วมีแนวโน้มจะถูกดูดซับ โดยรากพืชได้มากกว่าจากเหล็ก

Zimdahl (1975) พบว่าตะกั่วอยู่ในรูปที่พืชใช้ไม่ได้ และพืชจะรับธาตุตะกั่วทางรากได้ เพียง 0.003-0.005%

Krause (1977) ทดลองพ่นสารประกอบออกไซด์ของตะกั่วที่ไม่ละลายน้ำที่ใบพืช พบว่า พืชสามารถดูดซับสารประกอบตะกั่วจากบรรยากาศได้ทางใบมากกว่าทางราก

John (1972) พบว่าตะกั่วมีหลายรูปแบบ ซึ่งสารประกอบของตะกั่วบางรูปละลายน้ำได้ บางรูปไม่ละลายน้ำ จากการทดลองปรากฏว่ารากพืชสามารถดูดตะกั่วได้ทั้ง 2 รูป และตะกั่วในรูป คาร์บอเนตซึ่งไม่ละลายน้ำ อาจถูกเคลื่อนย้ายจากรากพืชไปยังส่วนบนของพืช นอกจากนี้ปริมาณการดูดซับตะกั่วของรากพืช ยังขึ้นอยู่กับชนิดของสารตะกั่ว และอัตราการดูดซับตะกั่วของรากพืช ยังแตกต่างกันไปตามชนิดของพืชอีกด้วย

Johnes (1973) พบว่า หญ้าที่ปลูกในสารละลายของธาตุอาหารที่มีตะกั่วเจือปนจะมี ตะกั่วในต้นเพียง 0.2-58.4 พีพีเอ็ม ของน้ำหนักแห้ง ส่วนรากมีถึง 5.5-5,310 พีพีเอ็มของน้ำหนักแห้ง ส่วนปริมาณตะกั่วที่ถูกดูดซับขึ้นสู่ลำต้นนั้น ส่วนใหญ่จะเกาะติดกับผนังเซลล์ และจะกระจายใน ไซโทพลาสซึม ตะกั่วบางส่วนสามารถแทรกผ่านผนังของคลอโรพลาสต์ เข้าไปจับอยู่บนกรานาของ คลอโรพลาสต์ได้ และคาดว่าตะกั่วมีผลต่อการดูดซับ และการลำเลียงธาตุเหล็กของพืช อันมีผลต่อการสร้างคลอโรฟิลของพืช

Simola (1977) พบว่าตะกั่วจะเข้าไปสะสมในเนื้อเยื่อพืชโดยทางรากด้วยความเข้มข้น มากกว่าความเข้มข้นของตะกั่วในสารละลายของธาตุอาหารภายนอกรากเสมอ จากการทดลองปลูก พืชใน sand culture พบว่าพืชอาจสะสมตะกั่วเอาไว้ได้สูงถึง 2,000 พีพีเอ็มของน้ำหนักแห้ง โดยไม่มีอาการผิดปกติเลย

วารวิทย์ ชีวาภรณ์วิวัฒน์ (2528) พบว่าปริมาณตะกั่วในพืชสัมพันธ์ กับปริมาณของน้ำในพืช โดยปริมาณตะกั่วจะเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณน้ำในพืชเพิ่มขึ้น เพราะพืชได้ดูดซึมน้ำเอกลำต้นที่ละลาย อยู่ในน้ำเข้ามาสะสมอยู่ในพืช ส่วนปริมาณตะกั่วในผักคะน้าโดยแยกเป็นลำต้นและใบ พบว่าตะกั่ว ในลำต้นสูงกว่าในใบ มีค่าเฉลี่ย 25.6 พีพีเอ็ม และ 14.8 พีพีเอ็ม ตามลำดับ

พัชรราตี สุวรรณชาติ (2529) พบว่าผักคะน้าที่ปลูกในกากตะกอนนั้นมีปริมาณตะกั่วสะสม ในส่วนต่างๆ ของผักคะน้าโดยเฉลี่ยพบปริมาณตะกั่ว 10.85 พีพีเอ็ม ผักคะน้าสามารถทนความเป็นพิษของตะกั่วในรูปที่ละลายน้ำได้ดีโดยไม่กระทบกระเทือนความสามารถในการเจริญเติบโตได้ถึง 100 พีพีเอ็ม จากการศึกษาของ อรารณ ศิริรัตน์พิริยะ (2525) พบว่าปริมาณตะกั่วในใบคะน้า จากพื้นที่เกษตรกรรมอยู่ในช่วง 9.78-23.61 พีพีเอ็ม จะเห็นได้ว่าค่าตะกั่วในผักคะน้ายังอยู่ในช่วง ที่ไม่เกิดพิษต่อผักคะน้า

แมงกานีส เป็นจุลธาตุอาหารธาตุหนึ่งของพืช จากรายงานการตรวจสอบพบธาตุแมงกานีสในพืช และลัตว์ Underwood (1971) พบว่าแมงกานีสเป็นส่วนประกอบสำคัญของเอนไซม์บางชนิดที่ใช้ในการรีดิวส์ไนเตรต

Hodgeson (1965) พบว่าแมงกานีสสามารถรวมตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับอินทรีย์วัตถุในดินได้ ซึ่งพืชสามารถดูดขึ้นไปใช้ได้

Chaney (1982) พบว่าปริมาณของแมงกานีสที่จะก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืชนั้น มีค่าเฉลี่ยมากกว่า 500 พีพีเอ็ม

พัชรราตี สุวรรณชาติ (2529) พบว่าผักคะน้าที่ปลูกในกากตะกอนมีปริมาณแมงกานีสเฉลี่ย 239.87 พีพีเอ็ม

Reilly (1980) พบว่าการเกิดพิษของแมงกานีสต่อมนุษย์นั้น เกิดจากการได้รับแมงกานีสทางระบบหายใจมากกว่าอาหาร ซึ่งเป็นโลหะที่มีพิษน้อย เมื่อพิจารณาในแง่ของการบริโภค

Winton (1935) รายงานถึงปริมาณเหล็กที่สะสมในส่วนที่กินได้ของผักคะน้าปลี มีค่าประมาณ 132 พีพีเอ็ม

Reilly (1980) พบว่าพืชผักใบเขียวทั่วไป มีปริมาณเหล็กอยู่ระหว่าง 0.4-18.0 พีพีเอ็ม ส่วน Mengal (1982) พบว่าปริมาณเหล็กในพืชทั่วไปเฉลี่ยประมาณ 100 พีพีเอ็มของน้ำหนักแห้ง

Chaney (1982) รายงานว่าปริมาณเหล็ก ซึ่งอยู่ในระดับที่พืชสามารถเจริญเติบโตอยู่ในช่วง 30-300 พีพีเอ็ม

พัชรราตี สุวรรณชาติ (2529) พบปริมาณธาตุเหล็กในผักคะน้าที่ปลูกในกากตะกอนโดยเฉลี่ยประมาณ 195.48 พีพีเอ็ม