

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ดิน

ดิน คือ สารหรือเทหะวัตถุ (natural body) เกิดจากการแปรสภาพ หรือการผุพังของหิน (rocks) แร่ธาตุ (minerals) และอินทรีย์วัตถุ (organic matter) ทั้งหลาย สิ่งเหล่านี้เมื่อสลายตัวแล้ว ผสมคลุกเคล้าปกคลุมบนผิวโลกเป็นชั้นบางๆ และรวมตัวกันเข้าจนเกิดเป็นชนิดและชั้นของดิน (soil profile) เมื่อน้ำและอากาศเหมาะสมก็จะช่วยค้าจุณ และเป็น ที่สำหรับการเจริญเติบโตของพืชได้

2.1.1 องค์ประกอบของดิน

ดินประกอบด้วยส่วนต่างๆ 3 ส่วนด้วยกัน (three-phase system) คือ

1. ส่วนที่เป็นของแข็งของดิน (solid phase of soils) ได้แก่ ส่วนที่เกิดจากชิ้นเล็กชิ้นน้อยของแร่ธาตุที่สลายตัวโดยทางเคมี ฟอสซิลสัตว์เคี้ยวเอื้อง เป็นแหล่งของธาตุอาหารในดิน มีปริมาณร้อยละ 45 โดยปริมาตร และอินทรีย์วัตถุซึ่งเป็นส่วนที่เกิดจากการสลายตัวหรือเน่าเปื่อย ผุพังของซากพืชและสัตว์ที่ทับถมกันอยู่บนดิน ส่วนนี้จะเป็นแหล่งของธาตุอาหารพืชในดินเช่นกัน มี ปริมาตรร้อยละ 5 โดยปริมาตร
2. ส่วนที่เป็นของเหลวของดิน (liquid phase of soils) ได้แก่ ส่วนที่เป็น สารละลายในดิน (soil solution) ที่อยู่ในช่องว่าง (pore space) เป็นแหล่งของน้ำที่ให้แก่ ประโยชน์ต่อพืชในดิน มีปริมาณร้อยละ 25 โดยปริมาตร
3. ส่วนที่เป็นก๊าซของดิน (gaseous phase of soils) ได้แก่ ส่วนที่เป็นอากาศ ในดิน (soil atmosphere) ได้แก่ ไนโตรเจน ออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ มีปริมาณ

ร้อยละ 25 โดยปริมาตร

เนื่องจากการผสมคลุกเคล้าระหว่างแร่ธาตุ อินทรีย์วัตถุ อากาศและน้ำของดินในที่ต่างๆ ไม่เหมือนกัน จึงทำให้ดินเกิดการแบ่งตัวเป็นชั้นๆ นอกจากนี้ การแปรสภาพของหินแร่ธาตุ และอินทรีย์วัตถุต่างๆ ก็อาจอยู่ในระยะที่แตกต่างกัน จึงทำให้สามารถแบ่งดินออกเป็นชั้นๆ ได้ง่าย 4 ชั้น คือ ดินชั้นบน ดินชั้นล่าง ชั้นวัตถุที่ให้กำเนิดดิน และชั้นหินดาน ดินบน (surface soil) คือดินที่มีความลึกประมาณ 10 นิ้ว เป็นดินที่มีอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารมาก มีสีคล้ำ ดำ หรือสีน้ำตาล เหมาะแก่การเพาะปลูกมาก ดินล่าง (sub soil) คือ ดินที่อยู่ถัดจากดินบนลงไป มีสีจาง เมื่อดินจับเกาะกันแน่น มีความเหนียวมากกว่าดินบน มีอินทรีย์วัตถุน้อย และมีประโยชน์ต่อการทรงตัวของพืช เพราะรากพืชบางชนิดสามารถหยั่งลงไปถึงได้

2.1.2 สมบัติบางประการของดิน

1. เนื้อดิน (soil texture) คือ สมบัติของดินที่บ่งถึงความหยาบ (coarseness) หรือความละเอียด (fineness) ของชิ้นส่วนขององค์ประกอบหลักของดิน สมบัตินี้เกิดจากการที่ดินมีขนาดอนุภาคเม็ดดินที่เล็กใหญ่แตกต่างกัน และอยู่รวมกันเป็นปริมาณและสัดส่วนแตกต่างกัน ถ้าดินมีขนาดอนุภาคดินเหนียวที่มีขนาดเล็กอยู่มาก จะทำให้ดินที่เนื้อดินละเอียดจะมีคุณสมบัติที่เหนียวและลื่นเมื่อเปียกน้ำ แต่จะแข็งและจับตัวกันแน่นเมื่อแห้ง ถ้าดินมีขนาดอนุภาคหยาบหรือมีขนาดเม็ดทรายอยู่มาก ดินนั้นจะมีเนื้อดินเป็นดินทรายหยาบร่วน เมื่อดินเปียกจะไม่เหนียว เมื่อดินแห้งก็จะไม่แข็ง และถ้าดินมีส่วนผสมของอนุภาคดินเหนียว อนุภาคทรายและอนุภาคตะกอน ในปริมาณใกล้เคียงกัน ดินนั้นจะมีเนื้ออ่อนนุ่ม ไม่เหนียวและไม่ร่วนหรือสากมือจนเกินไป มีความสามารถในการอุ้มน้ำดีและไม่แน่นทึบหรือแข็งจนเกินไป ความสำคัญของเนื้อดินคือ มีผลทางด้านความยากง่ายในการไถพรวน มีผลทางด้านความอุดมสมบูรณ์ของดิน มีผลทางด้านความโปร่งและร่วนซุย และมีผลทางด้านความสามารถในการอุ้มน้ำ

2. ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน (cation exchange capacity, CEC) หมายถึง ปริมาณของประจุบวกทั้งหมดที่ดิน หรือคอลลอยดินนั้นสามารถจะดูดซับไว้ได้ เป็นสมบัติทางเคมีที่เกี่ยวข้องอยู่กับชนิด และปริมาณของสารคอลลอยต์ในดิน โดยคิดเป็นจำนวนมิลลิเอควิวาเลนต์ (milliequivalent, meq.) ต่อดินแห้งหนัก 100 กรัม และยังเกี่ยวข้องกับ

อยู่กับระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน กล่าวคือ ถ้าดินมีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูง ก็หมายความว่า ดินนั้นมีแวนาไนท์ที่จะมีความอุดมสมบูรณ์สูง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุต้นกำเนิดดินด้วยว่า จะมีธาตุอาหารพืชที่มีประจุเป็นบวกมากน้อยเพียงใด นอกจากนี้ ระดับความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกยังขึ้นอยู่กับชนิดของแร่ดินเหนียวที่มีอยู่ในดิน ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินชนิดหนึ่งๆ นั้นมักจะคงที่ การเปลี่ยนแปลงจะมีบ้าง แต่ต้องใช้เวลาในการที่จะเปลี่ยนแปลงชนิดและปริมาณของสารคอลลอยด์

3. อินทรีย์วัตถุในดิน (organic matter) เป็นส่วนประกอบของดินที่เกิดจากการสลายตัวของซากพืชและซากสัตว์ จุลินทรีย์ทั้งที่ยังมีชีวิตอยู่และตายแล้ว สารประกอบที่จุลินทรีย์สร้างขึ้น และสารประกอบที่เกิดขึ้นเนื่องจากกิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์ ซึ่งช่วยส่งเสริมให้อนุภาคของดินจับตัวกันเป็นเม็ด (granulation) ช่วยลดความเหนียว (plasticity) และ cohesion ของดิน เป็นตัวช่วยให้ดินมีความจุในการอุ้มน้ำ (water holding capacity) และถ่ายเทอากาศได้ดีขึ้น

4. ปฏิกริยาของดิน (soil pH) นิยมใช้บอกความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ดินทั่วไปจะมีค่า pH อยู่ระหว่างประมาณ 5.0-8.0 ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชในดินที่พืชสามารถดูดไปใช้มากหรือน้อย จะขึ้นกับ pH ของดินเป็นอย่างมาก ธาตุอาหารพืชที่มีอยู่ในดินจะอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้ง่ายและมีปริมาณมากอยู่ที่ค่าของ pH ช่วงหนึ่ง ถ้าดินมี pH สูงหรือต่ำกว่าช่วงนั้นๆ ก็จะไปเปลี่ยนสภาพเป็นรูปที่ไม่ละลายอยู่ในสารละลายดิน ที่พืชจะดูดเข้าไปใช้ประโยชน์ได้

2.2 น้ำ

น้ำเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตทุกชนิด มนุษย์ใช้น้ำจากแหล่งต่างๆ ทั้งจากน้ำฟ้า น้ำผิวดิน และน้ำใต้ดิน (เมธีรัตน์ โกรธนิบุลย์, 2522) แต่ที่มนุษย์ใช้นั้นส่วนใหญ่เป็นน้ำจืด ซึ่งมีอยู่บนผิวโลกในปริมาณน้อย นิวัติ เรืองพานิช (2521); Hewlett และ Nutter (1961) ได้อ้างถึงรายงานของ Nace (1960) ว่า ในโลกนี้มีน้ำจืดเพียงร้อยละ 2.863 ของน้ำทั้งหมดในโลก แต่มนุษย์นำมาใช้ได้จริงๆ ก็เพียงร้อยละ 0.001 ซึ่งได้แก่น้ำดื่มผิวดินต่างๆ เช่น แม่น้ำ ลำคลอง หนอง บึง ทะเลสาบ และอ่างเก็บน้ำ เป็นต้น นอกนั้นเป็นหิมะและ

น้ำแข็งตามทั่วโลก ดังนั้นมนุษย์จึงจำเป็นต้องใช้น้ำที่มีอยู่น้อยให้คุ้มค่าที่สุด

ในน้ำมักจะมีสิ่งเจือปนอยู่หลายจำพวก เช่น เชื้อโรค ธาตุอาหารพืช สารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ แร่ธาตุ ตะกอน ปุ๋ย สารเคมี สารกัมมันตภาพรังสี และความร้อน (Stocker and Seager, 1976) สิ่งเหล่านี้อาจมีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์และสิ่งมีชีวิตอื่นๆ รวมทั้งอาจมีผลต่อเศรษฐกิจของมนุษย์อีกด้วย

2.3 ตะกอนและแหล่งกำเนิด

ดินนับเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่สำคัญที่สุดอย่างหนึ่งของมนุษย์ และเป็นสิ่งที่ต้องสงวนไว้ใช้ประโยชน์ให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ตามปกติดินจะมีธาตุอาหารพืชหลายชนิดอยู่แล้วตามธรรมชาติ ซึ่งเหมาะแก่การเจริญเติบโตของพืชเกือบทุกชนิด แต่ถ้าหากสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมแล้ว จะทำให้ประโยชน์ของธาตุอาหารพืชในดินลดลง สาเหตุที่ทำให้ดินเสื่อมสภาพคือ

1. การใช้ที่ดินไม่ถูกวิธี ทำให้เกิด

1.1 การชะล้างพังทลาย

1.2 ธาตุอาหารพืชถูกชะล้างหมดไปจากดิน เกิดสภาพดินเสื่อมโทรม

2. เกิดจากธรรมชาติของดิน เป็นดินที่มีปัญหา เช่น ดินเค็ม ดินพรุ ดินตื้น ดินลูกรัง

ดินเปรี้ยว ดินทราย เป็นต้น

3. การชะล้างพังทลายโดยธรรมชาติ

การกษัยการของดิน เป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดตะกอน ซึ่งตะกอนที่เกิดจากการกษัยการ จะเกิดตามสภาพภูมิศาสตร์แบบค่อยเป็นค่อยไปตามธรรมชาติ (natural erosion) โดยเกิดการเคลื่อนย้ายหน้าดิน เกิดจากน้ำ น้ำแข็ง ลม หรือแรงโน้มถ่วงของโลก หรืออาจจะเกิดจากการกระทำของมนุษย์และสัตว์เป็นตัวเร่ง โดยมีน้ำและลมเป็นตัวการสำคัญ (ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2526)

การเกิดตะกอนจะประกอบด้วยกระบวนการหลายอย่าง เช่น กระบวนการสึกกร่อนผิวดิน ตกตะกอน และการรวมตัวกันจึงเกิดเป็นตะกอนขึ้น การเคลื่อนย้ายตะกอนลงสู่แหล่งน้ำจะทำให้คุณภาพของน้ำเสื่อม

2.3.1 ลักษณะของตะกอน

ตะกอนประกอบด้วยลักษณะโดยทั่วไปเช่นเดียวกับดินและหินตะกอน ซึ่งสามารถพิจารณาได้ใน 3 ลักษณะคือ

1. ลักษณะทางกายภาพ จะประกอบด้วยทราย (sand) ทรายแป้ง (silt) และอนุภาคดินเหนียว (clay) โดยส่วนใหญ่แล้วจะมีทรายปนอยู่ด้วยจำนวนมาก แต่ทั้งนี้อัตราส่วนของ sand:silt:clay จะขึ้นอยู่กับสภาพของตะกอนที่ถูกชะล้างลงสู่แหล่งน้ำ
2. ลักษณะทางเคมี ตะกอนโดยทั่วไปมีปริมาณน้ำอยู่ในช่วงร้อยละ 50-95 น้ำที่อยู่รอบๆ ตะกอนเหล่านี้ จะมีในโตรเจน ฟอสฟอรัส และไอออนต่างๆ ละลายอยู่ ค่า pH ส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 6-7.5 เนื่องจากบัฟเฟอร์ของสารเคมีต่างๆ
3. ลักษณะทางชีววิทยา จะขึ้นอยู่กับความหนาแน่น (density) และความหลากหลายพันธุ์ (diversity) ของสิ่งมีชีวิต ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับปริมาณออกซิเจนภายในแหล่งน้ำที่สัมผัสกับตะกอนด้วย (Bautista, 1983)

2.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างตะกอนกับน้ำ

ตะกอนมีความสัมพันธ์กับแหล่งน้ำ ทั้งนี้เนื่องจากตะกอนจะเป็นแหล่งสะสมสารต่างๆ ที่ตกลงสู่แหล่งน้ำ ได้แก่ ธาตุอาหารต่างๆ ที่พืชต้องการ และยังมีโลหะอื่นๆ อีกที่ตะกอนสามารถดูดซับเอาไว้ได้ (Oschwald, 1972)

เกษม จันทรแก้ว และนิพนธ์ ตั้งชรรม (2517) ได้แบ่งตะกอนตามลักษณะที่ออกมาเป็น 2 ชนิด คือ

1. ตะกอนลอย (suspended sediment) ซึ่งเป็นตะกอนขนาดเล็ก มีทั้งอินทรีย์และอนินทรีย์วัตถุ ได้แก่ อนุภาคดินเหนียว อยู่ในรูปตะกอนแขวนลอยปะปนกับน้ำ สามารถถูกพัดพาไปได้ไกลๆ
2. ตะกอนก้นลำธาร (bed load sediment) เป็นตะกอนขนาดใหญ่ น้ำหนักมาก ถูกพัดพาไปตามท้องน้ำ เช่น พวกกรวด ทราย เป็นต้น

โดยทั่วไปตะกอนแบ่งออกเป็น 2 ชนิดตามขนาด คือ

1. ตะกอนที่มีขนาดเล็กมาก อยู่ในลักษณะที่เป็นเมือก หรือละลายน้ำไปตกสู่พื้นท้องน้ำ เรียกว่า dissolved material

2. ตะกอนขนาดใหญ่ สามารถอยู่ในน้ำได้เมื่อกระแสน้ำมีความเร็วขนาดหนึ่ง จะตกลงสู่พื้นท้องน้ำเมื่อมีความเร็วขนาดหนึ่งเรียกว่า ตะกอนแขวนลอย (suspended load) ซึ่งตะกอนแขวนลอยนี้ แบ่งได้เป็น 3 ชนิด คือ

ก. wash load เป็นตะกอนที่ถูกพัดพาจากผิวหน้าดินจากต้นน้ำมาธาร

ข. bed material เป็นตะกอนที่ถูกพัดพามาจากตัวแม่น้ำ

ค. bed load เป็นตะกอนที่มีขนาดใหญ่กว่าตะกอนแขวนลอย ไหลลิ่งไปตามพื้นท้องน้ำ (แผนกอุทกวิทยา, 2506)

ตะกอนที่เล็กกว่าจะตกตะกอนได้ช้ากว่าตะกอนที่มีอนุภาคใหญ่กว่า เช่น อนุภาคที่มีขนาด 60 ไมโครเมตร จะตกตะกอนด้วยความเร็ว 0.25 เซนติเมตรต่อวินาที ขณะที่อนุภาค 2 ไมโครเมตร จะตกตะกอนด้วยความเร็ว 1 เซนติเมตรต่อชั่วโมง อนุภาค 0.5 ไมโครเมตร จะตกด้วยความเร็วของกระแสช้ากว่า 10 เซนติเมตรต่อวินาที หากความเร็วสูงกว่านั้นจะไม่เกิดการตกตะกอน (Mcclusky, 1974)

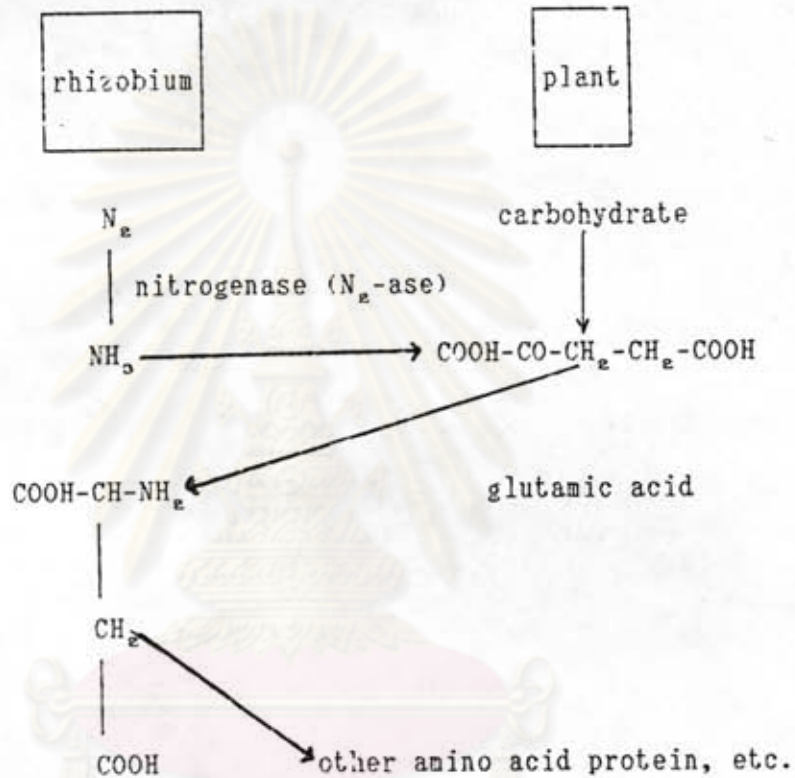
2.4 แหล่งที่มาและการแปรสภาพของไนโตรเจนและฟอสฟอรัส

2.4.1 ไนโตรเจน

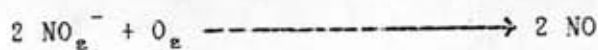
ไนโตรเจนในอากาศมีปริมาณถึงร้อยละ 78 โดยปริมาตร ไน และแตรซึ่งให้กำเนิดลึมนั้น ไม่มีธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่เลย ซึ่งศาสตราจารย์ภาควิชาประณีตวิทยา (2533) ได้อธิบายถึงแหล่งที่มาของไนโตรเจนในดินไว้ว่า ได้มาจาก 4 แหล่งใหญ่ด้วยกันคือ

1. มาจากการตรึงก๊าซไนโตรเจน (nitrogen fixation) จากอากาศ โดยแบคทีเรียพวกไรโซเบียม (rhizobium) ที่อาศัยในปมที่รากของพืชตระกูลถั่ว แบคทีเรียพวกนี้สามารถตรึงก๊าซไนโตรเจนจากอากาศมาใช้ได้โดยตรง แต่ก็ต้องการอาหารพวกคาร์โบไฮเดรตซึ่งจำเป็นจะต้องอาศัยจากพืชที่แบคทีเรียเหล่านี้อาศัยอยู่เป็นผู้จัดหาให้ ในเวลาเดียวกันก็แบ่ง

ไนโตรเจนที่ตรึงได้บางส่วนแก่พืชเป็นการตอบแทน วิธีการตรึงไนโตรเจนจากอากาศวิธีนี้เรียกว่า symbiotic nitrogen fixation เมื่อพืชและแบคทีเรียพวกนี้ตายไป ไนโตรเจนที่ถูกตรึงมาจากอากาศ จะเปลี่ยนมาอยู่ในรูปของโปรตีน และสารประกอบของไนโตรเจน (nitrogenous compound) รูปอื่นๆ ดังนี้



2. มาจากการตรึงก๊าซไนโตรเจนจากอากาศ โดยจุลินทรีย์ที่อยู่อย่างอิสระในดิน (non-symbiotic nitrogen fixation) จุลินทรีย์ที่มีความสามารถตรึงไนโตรเจนได้อย่างอิสระนี้ ได้แก่ แบคทีเรียพวก Azotobacter clostridium และสาหร่าย (algae) บางชนิด โดยเฉพาะพวกสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน



3. มาจากปม โดยปกติแล้วไนโตรเจนเป็นก๊าซเฉื่อยไม่สามารถทำปฏิกิริยาเคมีกับก๊าซออกซิเจน ซึ่งมีอยู่ประมาณร้อยละ 20 โดยปริมาตรได้ แต่เมื่อเกิดฟ้าแลบ หรือฟ้าผ่า แม้นใน

โรงงานอุตสาหกรรมและในท่อไอเสียรถยนต์ก็เกิดปฏิกิริยาเคมี โดยไนโตรเจนจะถูกออกซิไดซ์ให้กลายเป็นไนตริกออกไซด์ (nitrous oxide, N_2O) และไนตริกออกไซด์ (nitric oxide, NO) ซึ่งละลายน้ำ น้ำฝนที่ตกลงมาจึงเป็นกรดที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบต่างๆ (สันติภาพ ปัญพวรรค์, 2527) ดังสมการ

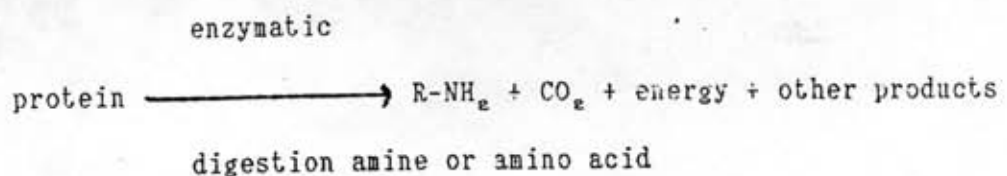


และเมื่อไนโตรเจนไดออกไซด์ (nitrogen dioxide, NO_2) ละลายน้ำจะได้กรดไนตริก

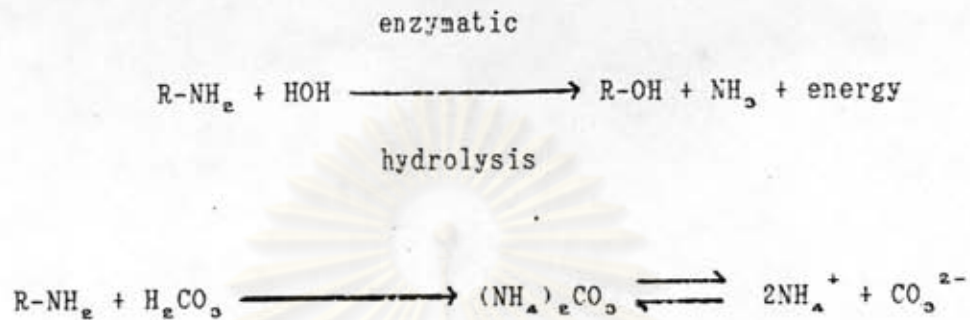
4. มากับปุ๋ยที่ใส่ลงในดิน ปุ๋ยวิทยาศาสตร์ซึ่งเป็นสารเคมีที่ถูกสังเคราะห์ขึ้น จากก๊าซไนโตรเจนในอากาศถือว่าเป็นแหล่งที่สำคัญแหล่งหนึ่งของไนโตรเจน นอกจากนี้ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยพืชสด และปุ๋ยอินทรีย์ไนโตรเจนอื่นๆ ก็เป็นแหล่งที่สำคัญเช่นกัน

ส่วนการแปรสภาพของไนโตรเจนนั้น จะมีการเปลี่ยนแปลงรูปหรือแปรสภาพตลอดเวลา ซึ่งกระบวนการแปรสภาพส่วนใหญ่เป็นกระบวนการทางชีววิทยา (biological process) ซึ่งเป็นกระบวนการที่มีเอนไซม์ หรือจุลินทรีย์ดินเข้าไปเกี่ยวข้องจึงจะเกิดขึ้นได้ การแปรสภาพของไนโตรเจนมีการเปลี่ยนแปลง 4 ขั้นตอนคือ

ก. Aminization เป็นกระบวนการที่สารประกอบโปรตีนถูกย่อยทำลาย โดยจุลินทรีย์พวก heterotrophic กระบวนการย่อยทำลายนี้เป็นแบบ enzymatic digestion ซึ่งจะเปลี่ยนสภาพของโปรตีนให้เป็นสารประกอบไนโตรเจนพวก amino compound ซึ่งแสดงได้ง่ายๆ ดังนี้

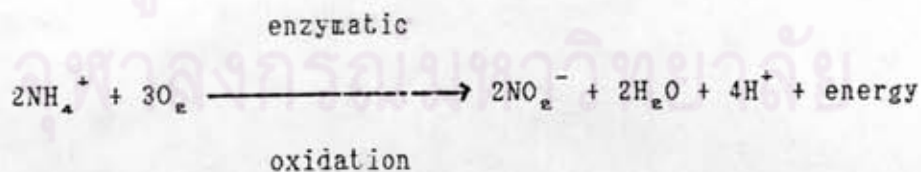


ข. Ammonification เป็นกระบวนการเปลี่ยนสารประกอบพวกเอมีน (amine) หรือกรดอะมิโน ($R-NH_2$) ให้เป็น NH_3 , alcohol ($R-OH$) และพลังงาน (energy) ดังสมการ

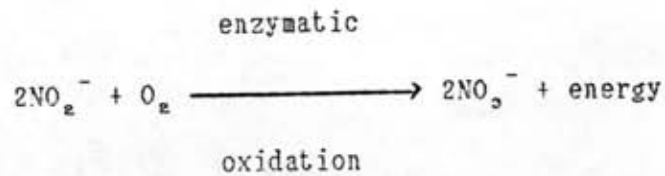


กระบวนการนี้เกิดขึ้นได้เนื่องจากกิจกรรมของจุลินทรีย์พวก heterotrophic เช่นเดียวกับกระบวนการแรก แต่จะดำเนินการไปด้วยดีในสภาพที่ดินมีอากาศถ่ายเทดี มีไอน้ำมากที่ เป็นต่างเพียงพอ

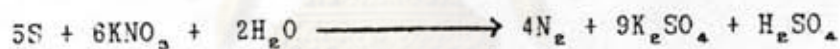
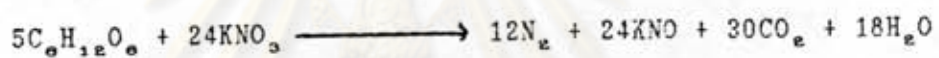
ค. Nitrification เป็นกระบวนการ enzymatic oxidation ซึ่งเกิดขึ้น โดย nitrifying bacteria ในดิน ซึ่งเป็นแบคทีเรียชนิดหนึ่งที่ต้องการอากาศ กระบวนการนี้ ประกอบด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) สองขั้น กล่าวคือ NH_3 หรือ NH_4 จะถูก ออกซิไดซ์ให้เป็นไนไตรต์ก่อน โดยแบคทีเรียพวก Nitrosomonas sp. และ Nitrosococcus sp. ดังสมการ



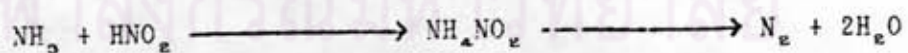
ต่อมาไนไตรต์ที่เกิดขึ้นจะถูกออกซิไดซ์อีกครั้งหนึ่งให้เป็นไนเตรต โดยแบคทีเรียพวก Nitrobacter sp. ดังสมการ



ง. Denitrification เป็นกระบวนการแปรสภาพของไนเตรต ไปเป็นก๊าซไนโตรเจนรูปต่างๆ โดยจุลินทรีย์ เช่น Pseudomonas sp. และ Micrococcus sp. เป็นต้น โดยจุลินทรีย์ต่างๆ เหล่านี้ใช้ไนเตรตเป็นตัวรับอิเล็กตรอนในกระบวนการหายใจหรือกระบวนการที่ให้พลังงาน ในสภาพขาดออกซิเจน ทั้งนี้เพราะจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องส่วนใหญ่เป็นพวกที่มี cytochrome ที่สามารถถ่ายทอดอิเล็กตรอนให้กับไนเตรต ไนไตรต์ และออกซิเจน ได้ในเวลาเดียวกัน ตัวอย่างของกระบวนการนี้อาจแสดงได้ดังนี้คือ



และยังเกิดการแปรสภาพทางเคมีของไนไตรต์ ที่ถูกปลดออกซิเจนมาจากไนเตรต และ/หรือถูกเพิ่มออกซิเจนมาจากแอมโมเนียมไอออน ไปเป็นก๊าซไนโตรเจน โดยไม่มีจุลินทรีย์หรือเอนไซม์เข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น เกิดจากการทำปฏิกิริยากันระหว่างแอมโมเนียมและไนไตรต์ หรือกรดไนตริก (nitrous acid, HNO_2) ดังสมการต่อไปนี้



กระบวนการนี้มีแอมโมเนียมไนเตรต (ammonium nitrate, NH_4NO_2) เกิดขึ้น แต่จะไม่คงทนอยู่นาน จะแตกตัวต่อไปเป็นก๊าซไนโตรเจนและไอน้ำโดยทันที สารประกอบที่เกิดขึ้นระหว่างการแปรสภาพจากไนไตรต์ไปเป็นก๊าซนี้ บางครั้งเชื่อกันว่ามีกรดไฮโปไนตริก (hyponitrous acid, $\text{H}_2\text{N}_2\text{O}_2$) เกิดขึ้นโดยเฉพาะเมื่อมีแสงเป็นตัวกระตุ้น กรดไฮโปไนตริกที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยา หรือแตกตัวต่อไปคือ



2.4.2 ฟอสฟอรัส

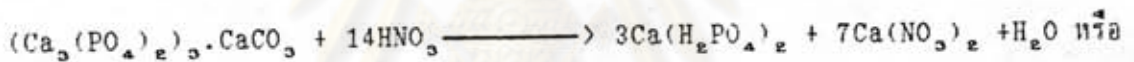
ฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบที่จำเป็นอย่างยิ่งในเซลล์สิ่งมีชีวิตทุกชนิด เป็นธาตุที่จำเป็น มีในสารประกอบโครงสร้าง และกรดนิวคลีอิก ซึ่งจำเป็นต่อระบบการสืบพันธุ์ การเก็บรักษา และ ถ่ายเทพลังงานในปฏิกิริยาการเผาผลาญอาหารต่างๆ ที่เกิดขึ้น (สันติภาพ ปีฉุพพรัตน์, 2527) ฟอสเฟตมีอยู่ในหิน แร่จำพวก apatite เมื่อเกิดการผุพังสลายตัวให้ฟอสเฟตเกิดขึ้นในดิน นอกจากนี้ ฟอสเฟตเกิดจากแหล่งสะสมอื่นๆ ได้แก่ กระดูกสัตว์ ซากของอินทรีย์วัตถุ มูลของสัตว์ ในสมัยคิกดาบราร์ จะตกตะกอนทับถมกันเป็นชั้นหนาใต้ท้องทะเล ต่อมาพื้นโลกมีการเปลี่ยนแปลง ระดับ ทำให้บริเวณดังกล่าวสูงขึ้นมาจากน้ำเป็นแผ่นดิน หรือภูเขา บางแห่งเป็นหินแข็ง บางแห่ง เป็นก้อนๆ เกาะกับหินโคลนมีหินปูนเชื่อม หินฟอสเฟตที่ขุดพบ และใช้ทำปุ๋ยเป็นส่วนใหญ่ ในปัจจุบัน เป็นพวก francolite ซึ่งได้แก่ calcium carbonate fluorapatite (ไมตรี ดวงสวัสดิ์ และจาวรรณ สมศิริ, 2528)

แบ่งฟอสเฟตในดินออกเป็น 2 พวกใหญ่ๆ คือ อินทรีย์ฟอสเฟต และอนินทรีย์ฟอสเฟต

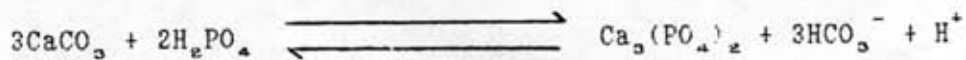
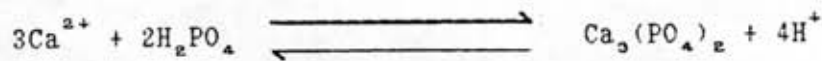
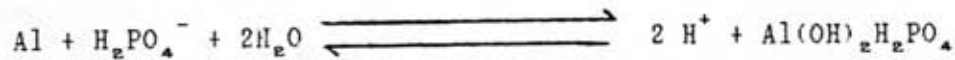
1. อินทรีย์ฟอสเฟต ได้แก่ สารประกอบฟอสเฟตที่เกิดจากระบวนการทางชีววิทยา และฟอสเฟตที่รวมอยู่กับสารอินทรีย์ต่างๆ เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต เป็นต้น และรวมทั้ง ฟอสเฟตที่อยู่กับซากพืชและซากสัตว์

2. อนินทรีย์ฟอสเฟต เป็นสารประกอบฟอสเฟตที่พบในแหล่งสารละลายดิน แหล่งน้ำ และพวกที่เป็นสารประกอบแร่ ที่เป็นของแข็งอยู่ในดินทั้งในรูปไอออนและสารละลายดิน ซึ่งแบ่งออก ได้เป็นสารประกอบออร์โธฟอสเฟต ได้แก่ สารประกอบพวก PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} และ $\text{H}_2\text{PO}_4^{1-}$ สารประกอบพวกนี้ละลายน้ำได้ดี และแปลงค่อนพิน้ำไปใช้ได้ดี สารประกอบออร์โธฟอสเฟตนี้ บางทีเรียกว่า soluble reactive phosphate สารประกอบฟอสเฟตอีกอย่างหนึ่ง คือ โพลี ฟอสเฟต พบในน้ำทิ้งจากบ้านเรือนที่อยู่อาศัย เนื่องจากเป็นส่วนผสมของผงซักฟอกซึ่งใช้กันอย่าง แพร่หลาย สารประกอบพวกโพลีฟอสเฟตสามารถเปลี่ยนแปลงเป็นออร์โธฟอสเฟตได้โดยกระบวนการ

การไฮโดรไลซิส (hydrolysis) เมื่ออยู่ในน้ำหรืออุณหภูมิมเพิ่มขึ้น และความเป็นกรดเป็นด่างจะ ช่วยเร่งปฏิกิริยาดังกล่าว (ไมตรี ดวงสวัสดิ์ และจรรยาพร สมศิริ, 2528) ฟอสเฟตทั้งหมด อยู่ในรูปของออร์โธฟอสเฟต หรือพวกที่แปลงมาจากกรดฟอสฟอริก (phosphoric acid, H_3PO_4) เกือบทั้งสิ้น ปริมาณของฟอสเฟตในดินในแต่ละจุดบนพื้นดินแตกต่างกันไปตามชนิดของวัตถุต้นกำเนิด ดิน การชะล้าง และการใช้ที่ดิน ถ้าดินนั้นกำเนิดมาจากวัตถุต้นกำเนิดดินชนิดเดียวกัน พวกดิน เนื้อละเอียดคมีฟอสเฟตมากกว่าดินเนื้อหยาบ ดินที่ถูกใช้มานาน หรือถูกชะล้างมากกว่า จะ เหลือฟอสเฟตอยู่น้อยกว่าดินที่เพิ่งเปิดใหม่ ถ้าดินมีสภาพเป็นกรด หินฟอสเฟตก็จะละลายออกมามาก ทั้งนี้เพราะความเป็นกรดของดินจะช่วยให้ tricalcium phosphate สลายตัวเป็น mono และ dicalcium phosphate ได้ดีขึ้น ดังสมการ



ศาสตราจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา (2523) อธิบายว่าเมื่อใส่ปุ๋ยฟอสเฟต ซึ่งมี available P_2O_5 นีซจะใช้ประโยชน์ได้เพียงร้อยละ 10-15 ของฟอสเฟตที่ละลายในปุ๋ยเท่านั้น ทั้งนี้ เนื่องมาจากเมื่อใส่ปุ๋ยฟอสเฟตลงในดินแล้ว ส่วนของฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้ง่ายจะทำปฏิกิริยากับ แร่ธาตุต่างๆ ในดินอย่างรวดเร็ว เกิดเป็นสารประกอบต่างๆ ในรูปที่ละลายน้ำได้ยากขึ้น นีซจึง คู้เอาไปใช้ได้น้อย หรือไม่ได้เลย เรียกปฏิกิริยานี้ว่า phosphate fixation การตรึง ฟอสเฟตนั้นขึ้นอยู่กับอำนาจการตรึงของดิน โดยขึ้นอยู่กัส่วนประกอบและสภาพของดินนั้นๆ เช่น ปริมาณของอิทธิยัตดินในดิน pH ของดิน ปริมาณอินอนบวก และสารประกอบของเหล็ก อลูมิเนียม แคลเซียม แมกนีเซียม ปริมาณของไฮดรอกไซด์ของเหล็ก และของอลูมิเนียม และ ปริมาณของแร่ดินเหนียวต่างๆ ดังสมการเช่น



เพิ่มพูน กীরติกสิกร (2528) พบว่า จุลินทรีย์บางชนิดสามารถผลิต phosphatase enzyme ออกมาช่วย nucleoproteins แล้วปลดปล่อยฟอสฟอรัสออกมาในรูปของฟอสเฟต และกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นนั้น ทำให้เกิดกรดต่างๆ ทั้งชนิดอนินทรีย์ และอินทรีย์ กรดต่างๆ เหล่านี้จะไปละลายอนินทรีย์ฟอสเฟต ทำให้เกิดฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้ง่าย และอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชชั้นสูงและพืชชั้นต่ำในดิน สำหรับกิจกรรมต่างๆ ของจุลินทรีย์พวก heterotrophic จะมีมาก หรือน้อย ก็ขึ้นอยู่กับปริมาณของแหล่งคาร์บอนที่มีอยู่ ส่วนจุลินทรีย์พวก autotrophic ซึ่งส่วนใหญ่เป็นจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดกระบวนการออกซิเดชันของกำมะถัน และไนโตรเจนนั้น ก็มีส่วนร่วมอยู่ในกระบวนการมินเนอรัไลเซชัน (mineralization) ของอนินทรีย์ฟอสเฟตด้วย

กรดต่างๆ ที่จุลินทรีย์และดินผลิตขึ้นก็มี lactic acid, glycolic acid, ferric acid และ acetic acid และยังเป็นกรดที่สามารถละลายสารประกอบฟอสเฟต นอกจากนั้นแล้ว 2-ketogluconic acid ก็เป็นกรดที่ทำหน้าที่เป็นสารที่เคลือบได้ด้วย โดยทำปฏิกิริยากับเกลือฟอสเฟตของแคลเซียม ทองแดง แมงกานีส เหล็ก และอะลูมิเนียม ซึ่งจะมีผลทำให้ฟอสเฟตละลายออกมาภายใต้สภาวะที่ไม่มีออกซิเจน ถ้าหากจุลินทรีย์ผลิตคาร์โบไฮดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ออกมา ก๊าซนี้จะทำให้ฟอสเฟตละลายออกจากสารประกอบฟอสเฟตที่ละลายน้ำยากด้วย

ส่วนการแปรรูปของฟอสเฟตในดินเกิดขึ้นได้หลายทางด้วยกันคือ

1. กระบวนการมินเนอรัไลเซชัน แบคทีเรีย และราหลายชนิดสามารถผลิต phosphatase enzyme ออกมาช่วย nucleoproteins ในดินแล้วปลดปล่อยฟอสฟอรัสออกมาในรูปของฟอสเฟตในดินที่เป็นกรด การเติมปูนขาวจะช่วยยกระดับ pH ของดินเป็นการเพิ่มกระบวนการมินเนอรัไลเซชันของแบคทีเรีย และราได้ โดยเฉพาะการที่ pH ของดินเพิ่มขึ้น

2. กระบวนการอิมโมบิไลเซชัน (immobilization) แบคทีเรียและราหลายชนิดสามารถกักเก็บสารอินทรีย์ในดิน และทำให้ได้ฟอสเฟต แต่อย่างไรก็ตาม จะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของ

คาร์บอนต่อฟอสฟอรัสในอินทรีย์วัตถุ ถ้าอัตราส่วนกว้างจะถูกอิมโมบิไลซ์ (immobilized) แต่ถ้าอัตราส่วนแคบจะถูกมินเนอรัไลซ์ (mineralized) ซึ่งโดยทั่วไปแล้วอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนกับฟอสฟอรัสเท่ากับ 100 ต่อ 1

3. การเปลี่ยนแปลงความสามารถในการละลายได้ ของสารประกอบฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นอนินทรีย์
4. กระบวนการออกซิเดชัน และรีดักชัน ของสารประกอบฟอสฟอรัสที่เป็นอนินทรีย์สาร

2.5 ปุ๋ยเคมี

ปุ๋ยเป็นสารอาหารสำหรับพืชที่ใช้เติมลงในดิน นอกเหนือจากที่มีอยู่เดิมแล้วในดิน ปุ๋ยแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ปุ๋ยอินทรีย์ซึ่งได้จากธรรมชาติ และปุ๋ยอนินทรีย์หรือปุ๋ยเคมี ปุ๋ยทั้ง 2 ประเภท มักประกอบด้วยธาตุอาหารหลักที่จำเป็นสำหรับพืชอยู่ 3 ชนิด และดินมักขาดแคลน คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียม ธาตุทั้ง 3 ตัวนี้ พืชนำไปใช้โดยตรงไม่ได้ ยกเว้นธาตุไนโตรเจนที่พืชตระกูลถั่วนำไปใช้โดยตรงได้ ดังนั้น การใช้ธาตุอาหารทั้งสามนี้ ต้องอาศัยแบคทีเรียที่มีอยู่ในดินเปลี่ยนแปลงธาตุเหล่านี้ให้อยู่ในรูปสารประกอบที่ละลายน้ำ และรากพืชดูดซึมนำไปใช้ได้

2.5.1 สารประกอบไนโตรเจน

พบอยู่หลายชนิดคือ ไนไตรต์ ไนเตรต และแอมโมเนียม เป็นต้น แอมโมเนียมมักถูกดูดซับบนอนุภาคดินเกือบทั้งหมด ส่วนไนเตรตที่ได้จากกระบวนการ nitrification จะมีลักษณะตรงกันข้ามกับแอมโมเนียม คือจะถูกดูดซับบนดินน้อยเช่นเดียวกับคลอไรด์

ไนเตรตที่พบในชั้นน้ำใต้ดิน จะพบในคอนบนของโซลุ่มตัวด้วยน้ำ และจะพบเบาบางลงในบริเวณตอนล่างของโซน ทั้งนี้เนื่องจากการกระจายตัวทางแนวตั้งเป็นไปได้น้อย หากแต่ในชั้นน้ำนั้นมีการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำมาก และความหนาของชั้นน้ำมีค่าไม่มาก การกระจายตัวหรือการผสมผสานจะเป็นไปได้ดี

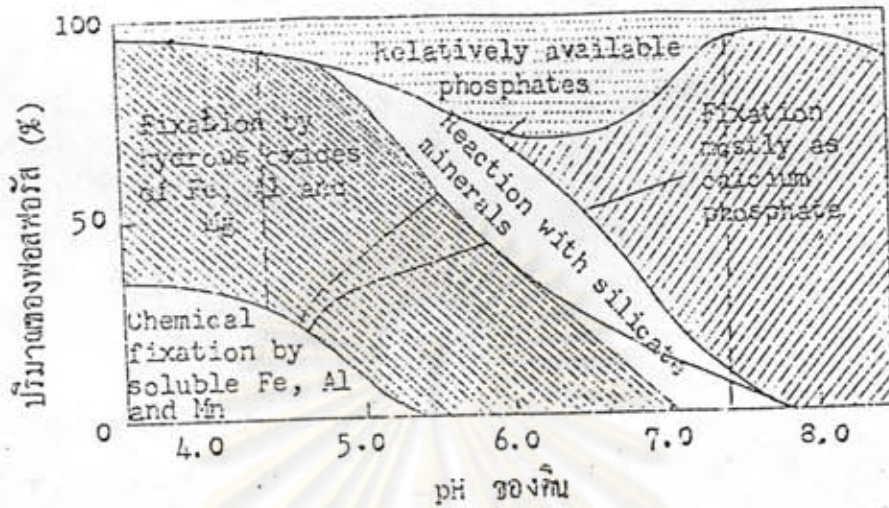
ปริมาณในเตรคในน้ำพบมากหรือน้อย ขึ้นกับชนิด ปริมาณ และความถี่ของการใช้ปุ๋ย ชนิดของพืชที่ปลูก ปริมาณของสารประกอบอินทรีย์ในโตรเจนที่มีอยู่เดิม ชนิดของดิน และความชื้น

2.5.2 สารประกอบฟอสฟอรัส

สารประกอบนี้ส่วนใหญ่จะถูกตรึงอยู่ในดิน ในรูปของสารประกอบอินทรีย์ของ: เหล็กและ อลูมิเนียมในสภาพที่เป็นกรด ส่วนในสภาพด่างจะพบในรูปของแคลเซียมฟอสเฟต การสลายตัวของ สารประกอบฟอสฟอรัสทั้งในปุ๋ย และสารอินทรีย์ต่างๆ จะเป็นไปอย่างรวดเร็ว และให้สารที่มีอยู่ใน รูปที่ไม่ละลายน้ำถูกตรึงอยู่ในดิน ดังนั้น ในสภาพปกติสารประกอบฟอสฟอรัสจะไม่พบในน้ำได้ดิน นอกจากมีการพังทลายของดิน หรือดินบริเวณนั้นอิ่มตัวด้วยฟอสฟอรัสแล้ว หรือเกิดการปนเปื้อน โดยตรงจากบ่อบาดาลเดิมที่มีรอยแตก หรือรั่วซึมจากด้านบน

เมื่อใส่ปุ๋ยฟอสเฟตที่ละลายได้ตกลงไปในดินจำนวนหนึ่ง พืชจะดูดปุ๋ยไปใช้ได้เพียงร้อยละ 10-25 ของฟอสเฟตที่ละลายได้ในปุ๋ยเท่านั้น ฟอสเฟตที่ละลายได้ส่วนที่ขาดหายไปอีกร้อยละ 75-90 จะถูกตรึงอยู่ในดินในสภาพที่ไม่ละลายน้ำ ปุ๋ยฟอสเฟตถูกตรึงมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับชนิดของ ส่วนประกอบและสภาพของดินนั้น

pH ของดินมีผลต่อปริมาณฟอสเฟตที่ละลายได้ในดิน โดยอ็อกซิดฟอสเฟตที่ละลายได้จะถูก ตรึงไปเป็นจำนวนมาก ไม่ว่าดินนั้นจะมี pH สูงหรือต่ำ เมื่อ pH ของดินต่ำ ฟอสเฟตจะถูกตรึง โดยอ็อกซิดของเหล็ก Fe^{2+} , Al^{3+} , ไฮดรอกไซด์ของเหล็ก อลูมิเนียมและแมงกานีส และจะค่อยๆ ลดปริมาณการตรึงลงเมื่อ pH ของดินสูงขึ้นจาก 4 เป็น 7 แต่ในเวลาเดียวกัน จะถูกตรึงโดย Ca^{2+} , Mg^{2+} และ $CaCO_3$ เกิดเป็นแคลเซียมฟอสเฟตเป็นปริมาณมากขึ้นเรื่อยๆ เมื่อมี pH ของดินสูงขึ้นจาก 6 เป็น 8 และเมื่อดินที่มี pH ระหว่าง 6-7 จะพบฟอสเฟตอยู่ในรูป ที่สามารถใช้ประโยชน์ได้มากที่สุด (รูป 2.1)



รูปที่ 2.1 แสดงสัดส่วนของการตรึงฟอสเฟตที่เกิดขึ้นที่ระดับ pH ต่างๆ ของดิน (Brady, 1974)

2.6 การใช้ปุ๋ย

ปุ๋ยที่ใช้ในสนามกอล์ฟส่วนใหญ่ คือ ปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียม เท่าที่มี รายงานยังไม่ปรากฏว่าปุ๋ยฟอสฟอรัสและโปแตสเซียมได้ก่อให้เกิดปัญหาอย่างเห็นได้ชัด ส่วนปุ๋ยที่กำลังเป็นที่น่าวิตกในขณะนี้คือ ปุ๋ยไนโตรเจนในรูปของไนเตรต เพราะไนเตรตเคลื่อนย้ายได้ง่ายโดยการละลายและถูกพาไปโดยน้ำในดิน คุณสมบัติของดินมีส่วนช่วยให้ไนเตรตเคลื่อนที่ไปได้ไกลมากน้อยแตกต่างกัน การชะล้าง (leaching) ไนเตรตมักจะมีในบริเวณที่ใช้นิเตรตในปริมาณมาก การชะล้างไนเตรตในแถบแห้งแล้งเกิดน้อยมาก ส่วนใหญ่แล้วไนเตรตจะมีการเคลื่อนย้ายในแถบที่มีการชลประทาน หรือแถบที่ปล่อยที่ดินให้ว่างเปล่า การใช้ปุ๋ยไนโตรเจนมากๆ ในดิน sandy alluvial soil สามารถที่จะพาไนเตรตลงไปถึงน้ำใต้ดิน (water table) ได้ แต่ไม่พบกับดินที่เป็นดินเหนียว ปุ๋ยไนโตรเจนในรูปไนเตรตจะมีการสะสมในดินได้ ยกจากตัวอย่าง ดินที่ปลูกข้าวโพดเป็นเวลา 17 ปี จะได้รับไนโตรเจนมากกว่าแปลงที่ไม่ได้ใส่ปุ๋ยถึง 212 ปอนด์

2.7 บทบาทและความสำคัญของการสะสมความเข้มข้นของปุ๋ยในดิน

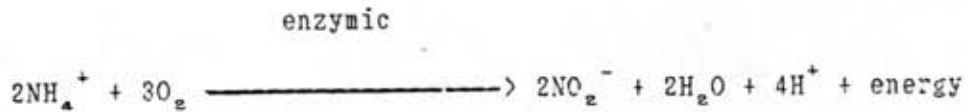
ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ซึ่งเป็นธาตุหลักในปุ๋ยผสมต่างๆ ไป มักเคลื่อนตัวในดินอย่างช้าๆ และมักจะละลายอยู่ในน้ำบริเวณผิวดิน แล้วไหลไปรวมอยู่ในตะกอน ซึ่งไม่เป็นอันตรายต่อดิน อากาศ หรือน้ำ และการสะสมตัวของธาตุทั้งสองชนิดนี้ในตะกอนก็เป็นไปอย่างเชื่องช้า

ได้มีผู้พบว่าการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนจำนวนมาก จะทำให้น้ำใต้ดินเกิดเป็นพิษได้ง่าย เนื่องจากปุ๋ยไนโตรเจนละลายน้ำได้ง่าย ดังนั้น ถ้าพิจารณาปัญหาที่เกิดขึ้นจากการใช้ปุ๋ยแล้ว อาจสรุปได้ 2 ประการคล้ายกันคือ

2.7.1 ปฏิกริยาของปุ๋ยในดิน

ปฏิกริยาที่เกิดจากปุ๋ยไนโตรเจน หากพิจารณาปฏิกริยา nitrification และ denitrification แล้วจะเห็นว่า ทั้งไนไตรต์และไนเตรตได้ก่อให้เกิดปัญหาในดินได้ดังนี้

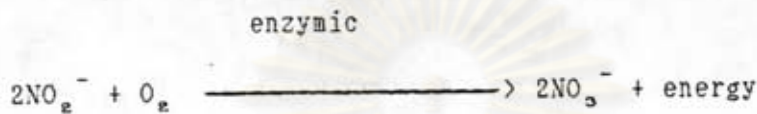
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



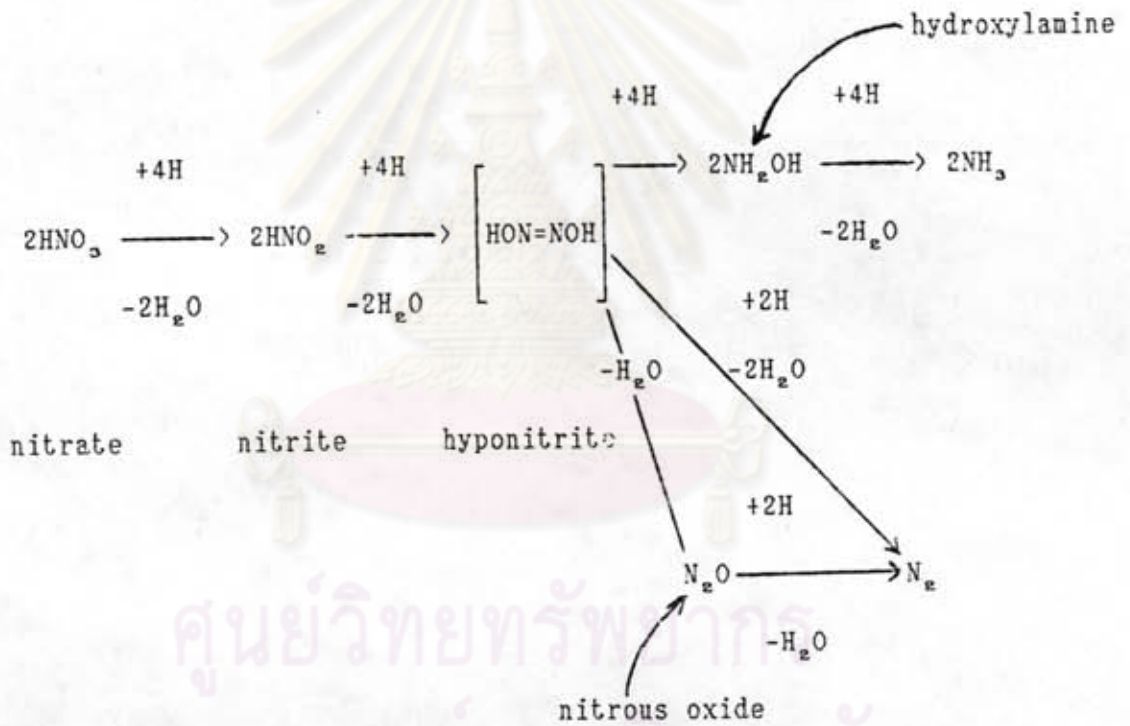
oxidation

Nitrosomonas

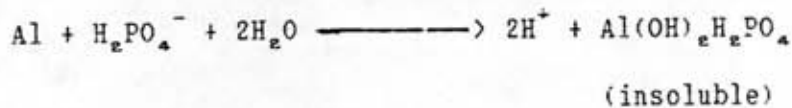
Nitrosococcus



Nitrobacter



ปฏิกิริยาที่เกิดจากปัสฟอรัส



(เกิดในการมีดินมี pH เป็นกรด)

จากการทดลองเกี่ยวกับผลของปุ๋ยเคมีต่อน้ำใต้ดินพบว่า ไม่มีฟอสฟอรัสไหลลงสู่ใต้ดิน เพราะว่าเป็นธาตุที่ละลายยาก และเมื่อผ่านดิน อนุภาคของดินจะดูดซับเอาฟอสฟอรัสเหล่านั้นไว้

2.7.2 ทำให้เกิดมลภาวะ (pollution) ตามแหล่งน้ำ

เกิดเนื่องจากปุ๋ยถูกชะล้างจากดินลงสู่แหล่งน้ำ ในรูปของตะกอน จะทำให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์ได้ดังนี้

1. เกิดไนไตรต์และไนเตรดละลายอยู่ในน้ำ ซึ่งอันตรายของไอออนทั้งสองชนิดต่อมนุษย์ คือ

fatal dose	สำหรับไนไตรต์	0.4-1.3	มิลลิกรัมต่อลิตร
fatal dose	สำหรับไนเตรด	45	มิลลิกรัมต่อลิตร

อาการ - ไนไตรต์และไนเตรดจะทำให้เกิดโรค methemoglobinemia คือ ไอออนทั้งสองจะไปจับตัวกับ oxyhaemoglobin ทำให้เลือดขาดออกซิเจน ในทารกเรียกโรค blue baby

- ไนไตรต์ทำให้เมตาบอลิซึมของวิตามินเอหยุดชะงัก

- ไนไตรต์ทำให้เกิดมิวเตชัน (mutation) และเชื่อว่าเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดโรคมะเร็ง

ในปี ค.ศ. 1947-1950 ที่มลรัฐ Minnesota สหรัฐอเมริกา มีคนเป็นโรคนี้นี้ 130 คน และตาย 14 คน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. เกิดการสะสมของไนเตรดในแหล่งน้ำมีปริมาณมากเกินไป จะทำให้สาหร่าย หรือพืชน้ำเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ที่เรียกว่า eutrophication ทำให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ เพราะมีปริมาณพืชน้ำมาก ปริมาณออกซิเจนก็จะลดลงมากด้วย (เปี่ยมสิทธิ์ เมนะเสวต, 2525)

2.8 ลักษณะและปริมาณของปุ๋ยเคมีในดินและน้ำ

2.8.1 ลักษณะและปริมาณของไนโตรเจนในดิน

ไนโตรเจนในดินจากแหล่งต่างๆ จะมีการเปลี่ยนแปลงรูปหรือแปรสภาพตลอดเวลาด้วยกระบวนการทางชีววิทยา โดยพวกจุลินทรีย์ที่เปลี่ยนสารประกอบพวกโปรตีนให้ออกมาอยู่ในรูปแอมโมเนียมและไนเตรต (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2523) และจากการรายงานของทัศนีย์ อิตตะนันท์ (2530) พบว่า ธาตุไนโตรเจนในดินที่พืชดูดไปใช้ประโยชน์ได้นั้น จะต้องอยู่ในรูปไนเตรตและแอมโมเนียมเป็นส่วนใหญ่ แต่เนื่องจากปริมาณและรูปของไนโตรเจนทั้งสองแบบนี้ มีอยู่ในดินในขณะใดขณะหนึ่งไม่แน่นอน เพราะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ คือมีปริมาณเพิ่มขึ้นและสูญหายไปจากดินได้ง่าย ดังนั้นการประเมินหาระดับไนโตรเจนในดิน จึงมักวิเคราะห์หาปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน เพราะปกติแล้วไนโตรเจนในดินที่พืชใช้ประโยชน์ส่วนใหญ่ จะถูกปลดปล่อยออกมาจากอินทรีย์วัตถุ โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน

2.8.2 ลักษณะและปริมาณฟอสฟอรัสในดิน

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชชนิดหนึ่ง ในดินโดยทั่วไป มักจะมีฟอสฟอรัสไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งพืชจะดูดฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูป $H_2PO_4^-$ มากกว่า HPO_4^{2-} ประมาณ 10 เท่า (Tisdale and Nelson, 1975) ฟอสฟอรัสที่พืชดูดเข้าไปเป็นองค์ประกอบของสารอินทรีย์หลายชนิดในพืช เช่น phospholipids, phytins, phosphorylated sugars, adenosine diphosphate (ADP), adenosine triphosphate (ATP), nucleic acid, nucleoproteins เป็นต้น (Russell, 1975)

อินทรีย์ฟอสฟอรัสที่มีอยู่ในดินนั้นแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ คือ แคลเซียมฟอสเฟต อลูมิเนียมฟอสเฟต และเหล็กฟอสเฟต (Chang and Jackson, 1957) การละลายออกมาในรูปที่เป็นประโยชน์คือพืชนั้น แคลเซียมฟอสเฟตจะละลายได้ง่ายกว่าอลูมิเนียมฟอสเฟตและเหล็กฟอสเฟต ส่วนอลูมิเนียมฟอสเฟตจะละลายได้ง่ายกว่าเหล็กฟอสเฟต (Sanchez, 1976)

ในดินที่มี pH ของดินสูง จะพบว่ามีการเชื่อมฟอสเฟตมากกว่าอลูมิเนียมฟอสเฟต และเหล็กฟอสเฟต ส่วนดินที่มี pH ต่ำจะมีอลูมิเนียมฟอสเฟตและเหล็กฟอสเฟต มากกว่าแคลเซียมฟอสเฟต (Supak, 1969) การเกิดฟอสฟอรัสทั้ง 3 รูปนี้ ขึ้นอยู่กับ pH ของดิน เมื่อ pH ของดินต่ำกว่า 5.5 ฟอสฟอรัสจะอยู่ในรูปของอลูมิเนียมฟอสเฟตและเหล็กฟอสเฟต ส่วนดินที่มี pH เพิ่มขึ้นสูงกว่า 9 แล้ว จะทำให้ฟอสฟอรัสรวมตัวกับธาตุแคลเซียมที่มีอยู่มากในดินที่มี pH สูงๆ เกิดเป็นแคลเซียมฟอสเฟต (Hesse, 1971)

การตรึงฟอสฟอรัส หมายถึง ปรากฏการณ์ที่ฟอสฟอรัสถูกเปลี่ยนจากรูปที่ละลายได้ไปอยู่ในรูปที่ไม่ละลายหรือรูปที่ละลายน้ำยาก (Hasegan et al., 1950) นอกจากนี้ Knott (1949) พบว่าอินทรีย์วัตถุเป็นสิ่งสำคัญที่ช่วยให้ฟอสฟอรัสออสอน อยู่ในรูปที่จะเป็นประโยชน์ต่อพืชมากขึ้น เพราะเมื่ออินทรีย์วัตถุลงไปดิน ซึ่งเป็นชนิดที่มีสารประกอบพวกซิเตรต (citrate) และออกซาเลต (oxalate) สารพวกนี้เป็นตัวการในการป้องกันไม่ให้ฟอสเฟตออสอนถูกตรึงโดยเหล็กและอลูมิเนียม

จากการศึกษาของ Van der Kevie และ Yenmanas (1972) ที่ทำการศึกษาปริมาณธาตุอาหารในดินหลายชนิด บริเวณที่ราบลุ่มภาคกลางของประเทศไทย พบว่าจะมีปริมาณฟอสฟอรัสอยู่ในช่วง 2-325 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม คือมีปริมาณฟอสฟอรัสในดินชุด กะบินบุรี และดินชุดชลบุรี โดยมีอยู่เพียง 2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และมีมากที่สุดในดินชุดค่านินสะดวก 325 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

จากการศึกษาของ Wetzel (1975) พบว่าฟอสฟอรัสเข้าสู่แหล่งน้ำต่างๆ นั้น มาจากน้ำฝน หรือฝนจะลงในอากาศน้อยกว่า 30 ไมโครกรัมฟอสฟอรัสต่อน้ำ 1 ลิตร อีกทั้งแหล่งน้ำยังได้ฟอสฟอรัสจากน้ำใต้ดินประมาณ 20 ไมโครกรัมฟอสฟอรัสต่อน้ำ 1 ลิตร และมาจากน้ำผิวดิน ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้ที่ดินและวัตถุดิบกำเนิดดิน (parent material) โดยถ้ามีกิจกรรมการเกษตรในระดับต่ำ จะสูญเสียฟอสฟอรัสลงสู่แหล่งน้ำน้อยกว่า 0.02 กรัมต่อตารางเมตรต่อปี แต่ถ้ามีกิจกรรมการเกษตรในระดับปานกลาง จะสูญเสียฟอสฟอรัส 0.02-0.05 กรัมต่อตารางเมตรต่อปี และถ้ามีกิจกรรมการเกษตรสูง จะมีการสูญเสียฟอสฟอรัสมากกว่า 0.05 กรัมต่อตารางเมตรต่อปี

2.8.3 ลักษณะและปริมาณของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำ

Keeney (1970) พบว่า ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเป็นตัวจำกัดความสามารถในการผลิตของพืชที่อาศัยอยู่ในบริเวณผิวน้ำ แพลงค์ตอนพืชสามารถใช้ไนโตรเจนได้ทั้งในรูปไนเตรต แอมโมเนียม และอื่นๆ และด้วยเหตุที่ไนเตรตเป็นส่วนสุดท้ายของ oxidation chain ของไนโตรเจนในน้ำ และมักจะมีมากกว่ารูปอื่นๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในน้ำใต้ดิน ประกอบกับจะเกิดความเข้มข้น ถ้ามีอยู่ในแหล่งน้ำในความเข้มข้นสูง ดังนั้นจึงนิยมวิเคราะห์ไนโตรเจนในรูปไนเตรต (Feth, 1966)

สำหรับฟอสฟอรัสในน้ำมักเป็นพวกอินทรีย์ฟอสเฟต และอนินทรีย์ฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้ หรือดูดซับอยู่กับตะกอน (Gburek and Heald, 1974) แพลงค์ตอนพืชมักใช้ฟอสฟอรัสในรูปอนินทรีย์ฟอสเฟต (Fogg, 1971) ทั้งนี้ O' Kelley (1973); Smith และ Longmore (1980) ได้รายงานผลการศึกษาค้นคว้าไว้ว่า สารประกอบอนินทรีย์ฟอสเฟตเป็นปัจจัยที่จำกัดการเจริญเติบโตของแพลงค์ตอนพืชในแหล่งน้ำจืดทั้งหลาย จึงนับว่าฟอสเฟตเป็นธาตุอาหารที่สำคัญอย่างหนึ่งของแพลงค์ตอนพืช ดังนั้น การศึกษาปริมาณและความผันแปรตามฤดูกาลของไนเตรตและฟอสเฟต จึงจำเป็นอย่างยิ่งในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ทั้งที่ใช้ดื่มและใช้ในกิจกรรมอื่นๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศที่ทำการเกษตรเป็นอาชีพหลัก (จักรพงษ์ เจริญศิริ และวิศิษฐ์ โชติกุล, 2520)

2.9 สาเหตุที่ธาตุอาหารพืชลงสู่แหล่งน้ำ

ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากแหล่งต่างๆ ละลายลงสู่แหล่งน้ำได้ด้วยสาเหตุสำคัญดังนี้

2.9.1 จากหายน้ำฟ้า

ธาตุอาหารทั้ง 2 ชนิดลงสู่แหล่งน้ำโดยปะปนมากับหายน้ำฟ้า (precipitation) ที่ตกลงสู่พื้นดินและพื้นน้ำ ซึ่ง Burwell และคณะ (1975) ได้รายงานผลการทดลองที่คล้ายคลึงกันกับ Olness และคณะ (1975) ว่าการสูญเสียของอนินทรีย์ไนโตรเจน ในรูปแอมโมเนียม

และไนเตรตไอออนในน้ำไหลบ่าหน้าดินนั้น โดยปกติจะมีปริมาณน้อยกว่าปริมาณที่ได้รับจากน้ำฝน นอกจากนี้ Daniel และคณะ (1938) ยังรายงานสนับสนุนอีกว่าปริมาณไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียในน้ำฝนมีมากกว่าไนโตรเจนที่ถูกปลดปล่อยลงสู่แหล่งน้ำโดยมากกับน้ำไหลบ่าหน้าดิน สำหรับพอสฟอร์ดนั้นพบว่า ปริมาณที่ได้รับเพิ่มจากหยาดน้ำฟ้าในรูปฟอสเฟตน้อยกว่าปริมาณที่มีในน้ำไหลบ่าหน้าดิน

2.9.2 คุณลักษณะไปกับตะกอนที่เกิดจากการพังทลายของดิน

การเปลี่ยนแปลงที่ป่าหรือทุ่งหญ้า เป็นพื้นที่เกษตรกรรมโดยการปฏิบัติที่ไม่ถูกวิธี เช่น การเพาะปลูกและเลี้ยงสัตว์มากเกินไป การขาดการอนุรักษ์ดิน โดยการใช้เครื่องมือหนักในการเตรียมดิน ทำให้ดินแน่น การไถพรวนตามแนวขนานกับความลาดเท เป็นต้น เป็นเหตุให้ดินพังทลายโดยลมหรือน้ำได้ง่าย ซึ่งดินที่พังทลายนี้มักจะไปกับลมอยู่ในลำธาร แม่น้ำ และท้องทะเลสาบ กระบวนการพังทลายของดินนี้เป็นสาเหตุสำคัญอันหนึ่ง ที่ทำให้ธาตุอาหารพืชถูกเคลื่อนย้ายลงสู่แหล่งน้ำ โดยเคลื่อนไปกับดินที่พังทลายนั้น Cooke และ Williams (1975) และ Hynes (1970) รายงานว่า กิจกรรมเกี่ยวกับการเกษตร หรือการก่อสร้างในลุ่มน้ำเกือบทั้งหมดเป็นการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำ และตะกอนจากการพังทลายของดิน เป็นตัวช่วยให้พอสฟอร์ดส่งสู่ลำธารได้เป็นจำนวนมาก ซึ่งสอดคล้องกับ Golterman (1975) ที่พบว่า การพังทลายบนพื้นที่ที่ใช้เลี้ยงแกะ จะเพิ่มปริมาณฟอสเฟตให้แก่ดินและน้ำได้เร็วกว่าการเกิดขึ้นตามธรรมชาติ ซึ่งเกิดขึ้นขณะเกิดพายุฝนฟ้าคะนองอย่างหนัก หรือเนื่องจากความแห้งแล้ง เช่น ในแอฟริกา เป็นต้น

Sievers และคณะ (1970) พบว่า ไนเตรตที่ถูกชะล้างลงสู่ดินประเภท silt loam และ sandy loam จะทำให้น้ำไหลบ่าหน้าดินมีความเข้มข้นของไนเตรตประมาณ 5-7 มิลลิกรัมต่อลิตร ในทางกลับกันถ้าดินประเภท silt clay loam ซึ่งเป็นดินที่ระบายน้ำได้ไม่ดี จะมีความเข้มข้นของไนเตรตสูงถึง 44 มิลลิกรัมต่อลิตร

นอกจากนี้ จากผลการศึกษาของ Burwell และคณะ (1975) ใน West Central Minnesota สหรัฐอเมริกา พบว่าการสูญเสียหน้าดินและธาตุอาหารจากดินในปีหนึ่งๆ นั้น เกิดขึ้นระหว่างการพังทลายอย่างรุนแรง การสูญเสียไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโปแตสเซียมที่ละลายน้ำได้ โดยการเคลื่อนย้ายไปกับตะกอน มีมากกว่าการสูญเสียธาตุอาหารเหล่านั้นไปกับน้ำไหลบ่า

หน้าดินมาก ซึ่งส่วนมากของธาตุอาหารพืชที่เคลื่อนย้ายไปกับตะกอน จะอยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช แต่ก็มีศักยภาพที่จะให้ธาตุอาหารพืชออกมาได้ เช่น ฟอสเฟตในแหล่งน้ำ ส่วนมากถูกจับแน่นอยู่กับตะกอนดินที่มาจากการพังทลาย (Cooke and Williams, 1975) และแอมโมเนียมมักจะถูกตรึงอยู่ใน clay lattices ของดินตะกอนในทะเลสาบ (Keeney, 1970)

ในประเทศเยอรมันนี้ Pfaff (1963) พบว่า ดินมีการสูญเสียไนเตรตโดยการชะล้างในอัตรา 10, 60 และ 160 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อเฮกตาร์ต่อปี ในดินใต้ทุ่งหญ้า ดินที่ปลูกองุ่น และดินที่ไถแล้วปล่อยให้ว่างเปล่าตามลำดับ ซึ่งไนเตรตละลายน้ำได้ง่าย เมื่อฝนตกลงมาหรือน้ำจากชลประทานที่ซึมผ่านชั้นดิน มักจะชะล้างเอาสารประกอบไนโตรเจนตามลงไปด้วย โดยเฉพาะสารประกอบไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของไนเตรต และซึมลงไปได้ลึกในบริเวณที่มีเนื้อดินเหนียว โดยมี การคำนวณว่าในปีหนึ่งๆ สารประกอบไนโตรเจนถูกชะล้างออกจากดินประมาณ 4.5 กิโลกรัมต่อไร่ และในดินเนื้อเหนียว การสูญเสียไนเตรตโดยการชะล้างดิน เกิดขึ้นมากกว่าดินเนื้อละเอียด (อำนาจ สุวรรณฤทธิ, 2525)

2.9.3 ระบายออกจากพื้นที่ต่างๆ ไหลบ่าหน้าดินและน้ำใต้ดิน

ธาตุอาหารพืชต่างๆ รวมทั้งไนโตรเจนและฟอสฟอรัส เจือปนมากับน้ำที่ระบายมาจากพื้นที่ต่างๆ ได้ด้วยการละลาย หรือถูกชะล้างมาจับกับตะกอนในน้ำไหลบ่าหน้าดิน (Wendt and Corey, 1980) และด้วยกระบวนการชะล้างผ่านชั้นดิน (Armitage, 1974)

ฟอสเฟตจะถูกชะล้างมาจับกับตะกอน (Mackenthum, 1973 และ Reddy et al., 1978) หรือตกตะกอนกับแคลเซียม เหล็ก และอลูมิเนียม (Golterman, 1973) แล้วพัดพามากับน้ำไหลบ่าหน้าดินลงสู่แหล่งน้ำ มากกว่าการถูกชะล้างผ่านดินลงสู่แหล่งน้ำ ทั้งนี้เพราะฟอสเฟตเคลื่อนที่ผ่านลงไปในดินได้ยาก (Ryden et al., 1973) หรือไม่เคลื่อนที่ในดินทั่วไป จึงไม่ถูกชะล้างตามธรรมชาติจากดิน (Armitage, 1974 และ Cooke and Williams, 1975) หรือมาจากการชะล้างได้น้อย (Singer and Rust, 1975)

ส่วนไนโตรเจนโดยเฉพาะไนเตรตและไนไตรต์ มักถูกชะล้างลงไปยังดินชั้นล่างได้ง่าย โดยเฉพาะในดินเนื้อเหนียว (ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2519) ทั้งนี้เนื่องจากไนเตรตสามารถเคลื่อนที่ได้เร็วในดินและมีประจุไฟฟ้าเป็นลบ จึงไม่ถูกยึดเกาะด้วยอนุภาคดิน (Armitage, 1974) แล้ว

เคลื่อนย้ายลงสู่แหล่งน้ำในที่สุด สำหรับแอมโมเนียมนั้น ถึงแม้จะถูกยึดอยู่ที่ผิวของอนุภาคดินเหนียวได้ และถูกชะล้างซากก็ตาม แต่ถ้าดินมีการถ่ายเทอากาศดี ก็จะถูกออกซิไดซ์ให้กลายเป็นไนเตรตได้ง่ายและเร็วมาก (ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2519) จึงถูกชะล้างลงสู่แหล่งน้ำในรูปไนเตรตได้อีกเช่นกัน

การใช้ปุ๋ยบนพื้นที่เกษตรกรรมอย่างผิดวิธี เป็นการเพิ่มธาตุอาหารพืชให้แก่หน้าผิวดินที่สำคัญ โดยเฉพาะไนโตรเจนและฟอสฟอรัส จนเป็นที่น่าวิตกว่าอาจจะเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหาน้ำเสียได้ (Armitage, 1974) Carter และคณะ (1971) ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับเรื่องนี้ใน Idaho สหรัฐอเมริกา พบว่าเป็นการเสี่ยงมากในการใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสบนพื้นที่ชลประทานขนาดใหญ่ เพราะจะเป็นการเพิ่มความเข้มข้นของฟอสเฟตให้แก่หน้าผิวดินอย่างมาก ซึ่งเป็นการเร่งการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของสาหร่ายและพืชน้ำ และพบว่า ความเข้มข้นของฟอสเฟตในน้ำที่ระบายจากใต้ผิวดิน ต่ำกว่าในน้ำที่ระบายจากหน้าผิวดิน ซึ่งตรงกับผลการทดลองที่ได้จากน้ำที่ระบายออกมาจากท่อระบายน้ำที่ฝังอยู่ใต้ดิน (tile drainage water) บนพื้นที่เพาะปลูกในรัฐ Iowa ของ Baker และคณะ (1975) ทั้งนี้เพราะฟอสเฟตถูกชะล้างผ่านดินได้น้อยดังกล่าว

สำหรับกรณีของปุ๋ยไนโตรเจนนั้น การเพิ่มลงไปในพื้นที่ในอัตราสูง จะมีผลต่อความเข้มข้นของไนเตรตในน้ำใต้ดิน (Miller, 1979) โดยทำให้ความเข้มข้นของไนเตรตในน้ำใต้ดินสูงกว่าในน้ำผิวดินอีกด้วย (Jackson et al., 1973) โดยเฉพาะในดินเนื้อหยาบจะยอมให้ไนเตรตผ่านไปสู่น้ำใต้ดินได้อย่างรวดเร็ว เพราะไม่มีประสิทธิภาพในการกรอง (Eschner and Mader, 1975) ทั้งนี้เนื่องจากปุ๋ยไนโตรเจนถูกเปลี่ยนไปเป็นไนเตรตได้ง่าย และถูกชะล้างผ่านดินได้ดีดังกล่าวดังแล้ว นอกจากนี้ น้ำที่ระบายจากกองปุ๋ยคอก หรือสิ่งขับถ่ายจากสัตว์เลี้ยง ของเสียพวกอินทรีย์สาร และกองอาหารสัตว์บนพื้นที่เกษตรกรรมหรือปศุสัตว์ จะให้ไนเตรตแก่แหล่งน้ำสูง (Armitage, 1974; Cooke and Williams, 1975 และ Keeley, 1970) ส่วนฟอสเฟตจะถูกดูดซับมากับตะกอนในน้ำไหลบ่าหน้าดิน มากกว่าจะถูกชะล้างผ่านชั้นดินลงสู่แหล่งน้ำ เนื่องจากฟอสเฟตเคลื่อนผ่านชั้นดินลงไปได้ยาก (Ryden et al., 1973)

Sawyer (1974) และ Sylvester (1961) รายงานว่าไนโตรเจนในน้ำที่ไหลมาจากพื้นที่ซึ่งใช้ปุ๋ยมีปริมาณสูงกว่าพื้นที่ที่ไม่ได้ใช้ปุ๋ยในบริเวณเดียวกันถึง 3-10 เท่า อย่างไรก็ตาม การศึกษาหาปริมาณไนเตรตในแม่น้ำในอังกฤษโดย Tomlinson (1970) ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของปริมาณไนเตรตและปริมาณการใช้ปุ๋ยของพื้นที่ใกล้เคียง

น้ำที่ระบายจากพื้นที่ที่เป็นเมือง ซึ่งเป็นแหล่งชุมชนและแหล่งอุตสาหกรรม สามารถเพิ่มปริมาณฟอสเฟตให้แก่แหล่งน้ำได้ เช่น การปล่อยน้ำทิ้งที่มีผงซักฟอกสังเคราะห์ (พวกที่เติม phosphatic) ลงในทางระบายน้ำ ทำให้ metaphosphate และ polyphosphate เพิ่มขึ้นในแหล่งน้ำอย่างมากในปัจจุบัน (Slum and Morgan, 1962)

Dugan และ Mc Gauhey (1974) มีความเห็นตรงกันกับ Pavoni (1977) และ Stocker และ Seager (1976) ว่า ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่มีอยู่มากจนก่อให้เกิดมลภาวะต่อแหล่งน้ำ หรือเกิด eutrophication นั้น เกิดจากการกระทำของมนุษย์ น้ำธรรมชาติจะมีไนโตรเจนประมาณ 1,055-4,210 ล้านตันต่อปี และฟอสฟอรัสประมาณ 245-700 ล้านตันต่อปี ส่วนน้ำที่ไหลผ่านพื้นที่เกษตรกรรมมีไนโตรเจนประมาณ 2,040 ล้านตันต่อปี และฟอสฟอรัสประมาณ 111-380 ล้านตันต่อปี

Feth (1966) ตรวจเอกสารเกี่ยวกับสารประกอบในแหล่งน้ำธรรมชาติพบว่าไนเตรตในน้ำผิวดินอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0 มิลลิกรัมต่อลิตร ถึงมากกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยได้รับจากน้ำฝนประมาณ 0.56-12.66 กิโลกรัมต่อเฮกแตร์ต่อปี ซึ่งส่วนใหญ่เป็นไนโตรเจนที่อยู่ในรูปแอมโมเนียมและไนเตรต ส่วนในน้ำใต้ดินจะมีอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0 มิลลิกรัมต่อลิตร ถึงมากกว่า 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร โลกน้ำที่ไม่เสีย (unpolluted water) นานาครั้ง จึงจะมีสารประกอบไนโตรเจนมากกว่า 10 มิลลิกรัมต่อลิตร จึงพิจารณาให้น้ำที่มีไนเตรตอยู่มากกว่า 20 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นน้ำผิดปกติ นอกจากนี้ ในการวิเคราะห์น้ำใต้ดินมากกว่า 950 แห่ง พบว่าสองในสามของความเข้มข้นของไนเตรตที่พบอยู่ในช่วงน้อยกว่า 0.1-0.9 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปริมาณและความเข้มข้น ของสารประกอบไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำ มีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ Feth (1966) กล่าวว่า ไนเตรต แอมโมเนียมและฟอสเฟตในแหล่งน้ำ มีการเปลี่ยนแปลงในแต่ละฤดูกาล ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง และมีความแตกต่างกันไปบ้างในงานวิจัยบางแห่งและบางสถานการณ์ เช่น จากการศึกษาน้ำในลำธารที่ระบายจากพื้นที่ป่าไม้และพื้นที่ไร่ในรัฐ Ohio ของ Taylor และคณะ (1971) พบว่าในพื้นที่ป่า ความเข้มข้นของฟอสเฟตมีค่าสูงกว่าในฤดูใบไม้ร่วง และพบว่าความเข้มข้นสูงของไนเตรตจะเกิดขึ้นพร้อมกับช่วงที่มีปริมาณน้ำไหลมาก (high flow) แต่จะไม่เป็นเช่นนั้นในกรณีของฟอสเฟต

นอกจากนี้ Feth (1966) ได้ศึกษารายงานต่างๆ พบอีกว่า ไนเตรตในน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินมีความเข้มข้นสูงในฤดูหนาว และค่าในฤดูร้อน เนื่องมาจากปัจจัยหลายอย่างรวมกัน ซึ่ง

รวมถึงการสะสมของเสียที่มีไนโตรเจนอยู่ ปริมาตรของน้ำที่ปล่อยทิ้งลงในแหล่งน้ำ และความเข้มข้นของไนเตรตมีความสัมพันธ์ร่วมกันกับปริมาณไนเตรตที่มีอยู่เดิม (nitrate load) โดยอ้างถึงรายงานของ Slack (1955) ที่เชื่อว่าการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลของความเข้มข้นของไนเตรต สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่าย และในน้ำผิวดินจะสัมพันธ์กับการชะล้างใบของพืชที่ปลูกในฤดูที่แล้วด้วย (Feth, 1966)

Kolenbrander (1969) ได้รายงานผลการทดลองแตกต่างจากที่กล่าวมาแล้ว คือ ปริมาณไนเตรตในน้ำที่ระบายจากพื้นที่เพาะปลูก มีค่าสูงสุดในฤดูใบไม้ผลิ และต่ำสุดในฤดูใบไม้ร่วงอย่างเห็นได้ชัด ส่วนพื้นที่ทุ่งหญ้าจะมีค่าค่อนข้างคงที่ระหว่างปี ยกเว้นเมื่อมีการเติมปุ๋ยไนโตรเจนในฤดูใบไม้ร่วง หรือฤดูหนาว เช่น การให้ปุ๋ยคอกเหลว มูลสัตว์แห้ง และแอมโมเนียเหลว เช่นเดียวกับในพื้นที่เพาะปลูก ดังนั้น บนพื้นที่ทุ่งหญ้าการสูญเสียโดยการชะล้างจึงขึ้นกับเวลาการให้ปุ๋ยไนโตรเจน การกระจายของไนโตรเจนที่เติมในระหว่างฤดูเจริญเติบโตนั้นดีกว่าบนพื้นที่เพาะปลูก และอัตราของไนโตรเจนที่สูญเสียไปใช้ จะลดการสูญเสียที่รุนแรงของไนโตรเจนที่ให้ระหว่างฤดูใบไม้ผลิได้แม้บนดินทราย

การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบไนโตรเจนนั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง Klausner และคณะ (1974) รายงานว่า บนพื้นที่เกษตรกรรมนั้น ปริมาณไนเตรตในน้ำผิวดินจะมีอิทธิพลโดยตรงจากพืชที่ปลูก ระดับและเวลาในการให้ปุ๋ย และการปฏิบัติในการจัดการดินเช่นเดียวกับปริมาณอินทรีย์ฟอสฟอรัส ซึ่งตรงกับการค้นคว้าของ Feth (1966) ที่พบว่า เวลาและอัตราการให้ปุ๋ยไนโตรเจนเป็นสิ่งสำคัญ และสามารถเพิ่มการสูญเสียธาตุอาหารพืชไปกับน้ำไหลบ่าหน้าดินได้ แต่สำหรับปริมาณแอมโมเนียที่สูญเสียไปนั้น Klausner และคณะ (1974) พบว่าไม่สัมพันธ์กับปัจจัยที่กล่าวมาแล้วแต่อย่างใด ส่วน Schuman และคณะ (1973) รายงานว่า พื้นที่เกษตรกรรมในรัฐ Iowa ที่ทำการศึกษามีการสูญเสียไนโตรเจนที่ละลายน้ำได้และตะกอนไนโตรเจนสูงที่สุดเมื่อเริ่มฤดูการเพาะปลูก และลดลงเรื่อยๆ ตลอดปี ซึ่งตะกอนที่มากับน้ำไหลบ่า เป็นปัจจัยสำคัญในการเปลี่ยนแปลงปริมาณธาตุอาหาร โดยตะกอนขนาดเล็กละเอียดซึ่งมีอนุภาคดินเหนียวอยู่มากนั้น จะช่วยเพิ่มธาตุอาหารพืชให้แก่แหล่งน้ำได้มากกว่าตะกอนหยาบ (Schreiber et al., 1980)

Kolenbrander (1969) สนับสนุนว่าการประเมินการสูญเสียไนเตรตราายปีโดยอาศัยน้ำที่ระบายออกมาจากพื้นที่ลุ่มน้ำนั้น เป็นปัญหาที่ซับซ้อนมาก เพราะขึ้นกับปริมาณและเวลาในการไหลของน้ำ และปริมาณไนเตรตในดินด้วย ปริมาณที่พืชดูดไปใช้ การสูญเสียโดยการชะล้าง และ

การกลายเป็นก๊าซ ซึ่งถ้าเป็นระยะที่มีฝนตก มีน้ำระเหยในปริมาณสูง และดินมีความเข้มข้นของไนเตรตสูงแล้ว การสูญเสียธาตุอาหารพืชชนิดนี้ก็จะสูงขึ้นด้วย นอกจากนี้ Nicholls และ MacCrimmon (1974) ยังพบว่าเวลาและปริมาณของฝนก็มีความสำคัญในการประเมินค่าไนเตรตด้วย สำหรับบนพื้นที่หนองบึงใน Ontario นั้น Neilsen และ MacKenzie (1977) พบว่าความเข้มข้นสูงสุดของไนโตรเจน จะมีขึ้นระหว่างช่วงน้ำป่าในฤดูใบไม้ผลิ และจะผันแปรตามฤดูกาลมากที่สุด โดยมากับตะกอน

2.9.4 การใช้ปุ๋ยกับความผันแปรของธาตุอาหารพืชในน้ำและตะกอน

การเปลี่ยนแปลงในด้านปริมาณของฟอสเฟต ก็ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายๆ อย่าง (Ryden et al., 1973) เช่นกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้ปุ๋ย (Gburek and Heald, 1974) แต่ผลการทดลองในพื้นที่ไร่นา และเขตชุมชนในประเทศอังกฤษ ของ Cooke และ Williams (1975) ปรากฏว่าปริมาณฟอสเฟตในน้ำมีผลมาจากการใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสเพียงเล็กน้อย โดยซึมซาบผ่านดินลงไปสู่แหล่งน้ำ เมื่อให้ปุ๋ยจำนวนมากแก่ดินทรายที่เกือบจะไม่มีดินเหนียวอยู่เลย ซึ่งมีพื้นที่ไร่ นาน้อยแห่งที่มีดินชนิดนี้อยู่ ฟอสเฟตในน้ำที่ระเหยออกจากพื้นที่ลุ่มน้ำ จะแปรผันจาก 0-1 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยความเข้มข้นของฟอสเฟตที่ซึมผ่านดินเหนียวมักมีค่าเฉลี่ย 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือน้อยกว่านี้ และที่ผ่านดินทรายจะมีค่าถึง 0.1-0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร สรุปได้ว่าความเข้มข้นของฟอสเฟตในแหล่งน้ำดังกล่าวไม่สัมพันธ์กับการใช้ปุ๋ย ข้อสรุปนี้ต่างกับมากกับการผลของไนโตรเจน เพราะส่วนมากไนเตรตในน้ำที่ระเหย จะได้รับอิทธิพลจากการใช้ปุ๋ยอยู่มากทีเดียว

Ried (1961) ได้ศึกษาในบริเวณทะเลสาบ Mendota พบว่า ความเข้มข้นของแอมโมเนียมและไนเตรต จะมีความเข้มข้นสูงในฤดูหนาวและต่ำในฤดูร้อน เนื่องมาจากปัจจัยหลายประการ ซึ่งรวมทั้งการสะสมของเสียที่มีไนเตรตอยู่ ปริมาณของน้ำทิ้งที่ปล่อยลงในแหล่งน้ำ และความเข้มข้นของไนเตรตที่มีความสัมพันธ์ กับการเปลี่ยนแปลงของอัตราการเจริญเติบโต ของสาหร่ายและแบคทีเรียพวก nitrobacter

Bradford (1974) รายงานว่า ปริมาณไนโตรเจนในน้ำที่ไหลบ่าหน้าดินจะพบสูงถึงร้อยละ 60 จากบริเวณที่มีการใส่ปุ๋ยหลังจากฝนตกแล้ว 3 วัน ส่วนใหญ่ฟอสฟอรัสจะถูกพัดพาลงสู่แหล่งน้ำเมื่อน้ำไหลบ่าหน้าดิน ส่วนไนเตรตซึ่งเป็นสารละลายได้ก็จะถูกชะล้างลงไปในดิน

Fair และคณะ (1971) รายงานว่า ไนเตรตและฟอสฟอรัสถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ โดยการชะล้างผ่านดินหรือเมื่อดินเกิดพังทลายจะมีความสำคัญต่อกระบวนการ eutrophication ซึ่งถ้ามีปริมาณมากเกินไปก็จะมีผลเสียต่อแหล่งน้ำนั้นได้ เพราะจะทำให้เกิดกระบวนการย่อยสลายของแบคทีเรียซึ่งจำเป็นต้องใช้ก๊าซออกซิเจน ทำให้ก๊าซออกซิเจนลดน้อยลง ในขณะที่ตัวก็เพิ่มปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากขึ้น นอกจากนี้ ยังทำให้เกิดการบังแสงของพืชน้ำ ทำให้พืชน้ำสังเคราะห์แสงไม่ได้และตายลง

Baker และคณะ (1975) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับธาตุอาหารพืชจากน้ำใต้ดินที่ระบายจากพื้นที่เพาะปลูก โดยผ่านมาในท่อที่มีงอกอยู่ใต้ผิวดิน พบว่า การสูญเสียรายปีของฟอสฟอรัสและไนเตรตเป็น 0-0.04 และ 0-93 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ จะเห็นได้ว่ามีช่วงความแปรผันสูง ทั้งนี้มีผลมาจากปริมาณน้ำเป็นสำคัญ เนื่องจากฟอสฟอรัสจะสูญเสียไปกับน้ำใต้ดินในความเข้มข้นต่ำ และจะสูญเสียไปกับน้ำไหลบ่าหน้าดินในความเข้มข้นสูง สำหรับความเข้มข้นของไนเตรตจะมีความสัมพันธ์ในทางกลับกัน แต่ถ้าน้ำไหลบ่าหน้าดินมีปริมาณสูงก็จะมีไนเตรตสูงได้เช่นกัน

นอกจากนี้การทดลองที่รัฐ Florida ของ Calvert (1975) ได้สรุปผลว่า น้ำใต้ดินที่มาจากพื้นที่เพาะปลูกพืชตระกูลส้ม (*Citrus* sp.) จะมีไนเตรตน้อยกว่า 1-8 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีฟอสเฟตน้อยกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร แม้จะมีการจัดการดินที่แตกต่างกัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณไนเตรตที่วัดว่ามีค่าสูงในน้ำใต้ดิน แต่ก็ยังมีความเข้มข้นต่ำกว่าค่าสูงสุดสำหรับน้ำดื่ม ที่ Public Health Standard กำหนดไว้ คือ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

Gburek และ Heald (1974) ศึกษาในรัฐ Pennsylvania พบว่าในลำธารที่มีการไหลของน้ำที่เริ่มเข้าสู่ภาวะคงที่ (approaches constant) จะมีฟอสเฟตค่าประมาณ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร หรือน้อยกว่านั้น ในระหว่างช่วงที่เป็นภาวะไหลที่เกิดจากการลดน้อยถอยลงของน้ำใต้ดิน (base flow) และความเข้มข้นของฟอสเฟตจะเปลี่ยนไปตามฤดูกาล คือ ในฤดูหนาวจะมีความเข้มข้นตั้งแต่ 10-15 ไมโครกรัมต่อลิตร และในฤดูร้อนจะมีความเข้มข้นตั้งแต่ 20-30 ไมโครกรัมต่อลิตร ซึ่งปกติแนวโน้มความเข้มข้นของฟอสเฟต จะสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของน้ำไหลในลำธาร (stream flow) โดยฟอสเฟตจะมีค่าสูงในระหว่างฤดูร้อน ซึ่งเป็นช่วงที่ปริมาณน้ำไหลในลำธารมีน้อย (low flow) และมีค่าต่ำตอนปลายฤดูฝนและต้นฤดูหนาว ซึ่งเป็นช่วงที่น้ำไหลมีปริมาณสูงขึ้น (rising flow)

Bayly และ Williams (1973) กล่าวว่า ในการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารพืชในน้ำมักจะวิเคราะห์หาปริมาณ หรือความเข้มข้นของไนเตรตและฟอสเฟต เนื่องจากไนโตรเจนเปลี่ยนรูปได้ง่าย และสำหรับสีเขียวสามารถดึงไนโตรเจนจากอากาศ ส่วนฟอสเฟตนั้นเป็นตัวควบคุมการเจริญเติบโตของสาหร่าย (Shaughnessy and Donnell, 1973) เพราะถ้าแหล่งน้ำมีปริมาณของไนเตรตและฟอสเฟตมากเกินไป เกิดพืชน้ำเป็นจำนวนมากมหาศาล ก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ และเป็นที่น่าวิตกแก่มนุษย์ ซึ่งเรียกสภาวะเช่นนี้ว่า eutrophication (Committee on Water Quality Criteria, 1972) ซึ่งสภาวะการ eutrophication นี้ จะเพิ่มปริมาณพืชเล็กๆ ในน้ำ จะมีผลกระทบต่อสัตว์น้ำในเวลากลางคืน โดยในเวลากลางคืนพืชหายใจ แต่ไม่มีการสังเคราะห์แสง ดังนั้นปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำจึงลดปริมาณลงเรื่อยๆ ยิ่งมีปริมาณพืชน้ำมากเท่าไร ปริมาณออกซิเจนก็ลดลงมากเท่านั้น (เปี่ยมศักดิ์ เมนะเสวต, 2525) ซึ่งเป็นสาเหตุที่จะก่อให้เกิดการเน่าเสียของน้ำในแหล่งน้ำต่างๆ ได้

การเจ็บป่วยของธาตุอาหารพืชในแหล่งน้ำจะมีผลต่อสัตว์และมนุษย์ได้โดยผ่านทางห่วงโซ่อาหาร และโดยการที่มนุษย์และสัตว์ดื่มน้ำที่มีธาตุอาหารพืชเจ็บป่วยอยู่ สมศักดิ์ วัจโน (2515) ได้รายงานตรงกับ Keeney (1970) และ Viets และ Hageman (1971) ว่า ไนเตรตเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตได้หลายทาง อาจโดยการดื่มน้ำและการรับประทานอาหารที่มีความเข้มข้นของไนเตรตสูง ทำให้เกิดโรค methemoglobinemia ซึ่งมักเกิดกับทารกในครรภ์และเด็ก ทำให้กระบวนการเมตาบอลิซึมของวิตามินเอหยุดชะงัก ยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของ cytochrome ทำให้ทารกในครรภ์ตาย หรือเกิดการกลายพันธุ์และอาจเกิดโรคมะเร็งได้ ดังนั้น จึงควรมีการตรวจสอบปริมาณของไนเตรต ไนไตรต์ และธาตุอาหารอื่นในแหล่งน้ำและสภาพแวดล้อมทั่วไปอยู่เสมอ เพื่อหาวิธีป้องกันและกำจัดก่อนที่สิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในสภาพแวดล้อมนั้น จะได้รับอันตรายจากพิษของสารเคมีดังกล่าว

2.10 การปนเปื้อนของปุ๋ยเคมี

ในประเทศไทยยังไม่ได้มีรายงานเกี่ยวกับการปนเปื้อนของปุ๋ยเคมี ส่วนในต่างประเทศมีการศึกษาเกี่ยวกับการปนเปื้อนของปุ๋ยในน้ำได้ดินมานานแล้ว ดังรายละเอียดในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงการศึกษาการปนเปื้อนของปุ๋ยในน้ำใต้ดิน

ชื่อผู้ศึกษา และ ปี ค.ศ. ที่ศึกษา	ประเทศที่ศึกษา	ผลของการศึกษา
Gibb (1970)	สหราชอาณาจักร	- เริ่มมีการตรวจหาปริมาณไนเตรตในน้ำบาดาลของเมือง Yorkshire ทั่วประเทศ โดยพบไนเตรตในน้ำเพิ่มขึ้นจาก 2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ในปี ค.ศ. 1960 เป็น 11.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ในปี ค.ศ. 1970 เป็นผลมาจากกิจกรรมทางการเกษตรที่มีการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนมากกว่า 20 ปี
Spalding, Gormhy, Curtiss and Exner (1978)	สหรัฐอเมริกา	- มีการศึกษาการเพิ่มของไนเตรตในน้ำใต้ดิน ในมลรัฐ Nebraska ซึ่งพบว่ามาจากการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน นอกจากนี้ ดินที่มีการระบายน้ำเร็ว มีผลให้การเพิ่มของไนเตรตในน้ำใต้ดินมีค่าต่ำ
Wild and Carneron (1980)	สหราชอาณาจักร	- มีการตรวจพบว่า ปริมาณไนเตรตในดินลดลง เป็นผลมาจากการถูกชะล้างลงสู่เบื้องล่าง โดยในฤดูใบไม้ร่วง การชะล้างจะมีมากกว่าฤดูอื่น ๆ ซึ่งทำให้ปริมาณไนเตรตในน้ำใต้ดินเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

ชื่อผู้ศึกษา และ ปี ค.ศ. ที่ศึกษา	ประเทศที่ศึกษา	ผลของการศึกษา
Egboka (1983)	แคนาดา	-พบว่า กิจกรรมทางการเกษตรสูง จะมีผลทำให้ปริมาณไนเตรตในน้ำใต้ดินสูงตามไปด้วย
Riha and Chrinside (1984)	สหรัฐอเมริกา	-มีการศึกษาในมลรัฐ South of Deraware เปรียบเทียบคุณภาพน้ำใต้ดินในพื้นที่เกษตรกรรม ทำไร่ข้าวโพดและบรีเวอป่า โดยพบไนเตรตในน้ำใต้ดินในไร่ข้าวโพดมีค่าสูงกว่า 45 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนพื้นที่ป่ามีค่าไนเตรตเพียง 1.5 มิลลิกรัมต่อลิตร สาเหตุมาจากระบบสุขาภิบาล และปุ๋ยที่ใช้
Cohen, Nickerson, Maxey, Dupuy and Senita (1985)	สหรัฐอเมริกา	-ทำการศึกษาสนามกอล์ฟ 4 สนาม ใน Cape Cod เกี่ยวกับการปนเปื้อนของปุ๋ยและสารเคมีที่ใช้ในสนามกอล์ฟลงสู่แหล่งน้ำ ทำการเก็บตัวอย่างดินและน้ำ ตรวจไนเตรต ปรากฏว่ามี การตรวจพบไนเตรตในบ่อน้ำใต้ดินในปริมาณที่ เพิ่มขึ้นจากเดิม