

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความสำคัญของแหล่งน้ำ

น้ำเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่สามารถทดแทนได้ โดยทั่วไปแล้วแหล่งน้ำสามารถจำแนกออกได้เป็น 3 ส่วนด้วยกัน คือ น้ำจากฟ้า ได้แก่ น้ำฝน ลูกเห็บ หิมะ ส่วนที่สอง คือ น้ำที่อยู่บนผิวโลก ได้แก่ แม่น้ำ ลำคลอง หนอง บึง มหาสมุทร และส่วนที่สามน้ำที่อยู่ใต้ผิวโลก ได้แก่ ความชื้นของดิน น้ำใต้ดิน น้ำบาดาล ซึ่งมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์และสิ่งมีชีวิตต่างๆ เพื่อการอุปโภค และบริโภค เมื่อจำนวนประชาชนเพิ่มมากขึ้น การใช้น้ำไม่ว่าจะเป็นการอาบ ต้ม ใช้ภายในครัวเรือน อุตสาหกรรม เกษตรกรรมก็ต้องเพิ่มตามไปด้วย นอกจากนี้มนุษย์ต้องการน้ำที่มีปริมาณเพียงพอ และมีคุณภาพดีทั้งทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ (เกษม จันทรแก้ว, 2530)

2.2 ดัชนีคุณภาพน้ำ

คุณภาพน้ำ หมายถึง ความเหมาะสมของน้ำเพื่อใช้ในกิจกรรมของมนุษย์ คุณภาพน้ำตามแหล่งน้ำธรรมชาติจะเปลี่ยนแปลงไปมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยทางสภาพแวดล้อมเป็นสำคัญ ได้แก่ สภาพภูมิประเทศ ภูมิอากาศ ลักษณะทางธรณีวิทยา พืชพรรณธรรมชาติ รวมถึงกิจกรรมของมนุษย์และสิ่งอื่นๆ ที่เจือปนในน้ำ (เกษม จันทรแก้ว, 2526) สิ่งเจือปนในน้ำมีหลายชนิด เช่น จุลินทรีย์ เชื้อโรค ธาตุอาหาร ตะกอน อินทรีย์วัตถุ และอนินทรีย์วัตถุ ยาฆ่าแมลง เป็นต้น ซึ่งสิ่งเจือปนดังกล่าว จะมีผลกระทบ กระเทือนต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ และทำให้คุณภาพน้ำลดต่ำลง (Stocker และ Seager, 1976)

การศึกษาคุณภาพน้ำทั้งทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ จึงเป็นปัจจัยสำคัญยิ่งสำหรับการนำน้ำนั้นมาใช้ประโยชน์ในกิจกรรมต่างๆ

2.2.1 คุณภาพน้ำทางกายภาพ

1. อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิของน้ำมีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำมากโดยปกติแล้วอุณหภูมิของน้ำตามธรรมชาติ ในแหล่งน้ำจะผันแปรตามอุณหภูมิของอากาศ ขึ้นกับระดับความสูง ฤดูกาล และสภาพภูมิประเทศ (EPA, 1973) นอกจากนี้ยังขึ้นกับ ความเข้มแสงของดวงอาทิตย์ ความลึก กระแสลม ปริมาณสารแขวนลอย หรือความขุ่นของน้ำ (ไมตรี และจรรยาพร, 2528)

สำหรับอุณหภูมิของน้ำในแม่น้ำลำคลอง และแหล่งน้ำธรรมชาติของประเทศไทยนั้น เกษม จันทรแก้ว (2536) กล่าวว่า มีค่าอยู่ในช่วง 20 – 35 องศาเซลเซียส ดังการศึกษาของสำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (2532) ว่า ในปี 2529 – 2531 อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในแม่น้ำในแม่น้ำแม่กลองอยู่ในช่วง 23.1 – 29.6, 27.7 – 31.5 องศาเซลเซียส และ 25.5 – 30.5 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และในปี 2533, 2535 และ 2536 อุณหภูมิของน้ำในแม่น้ำมีค่าอยู่ในช่วง 30.1 – 31.1, 26.3 – 31.5 และ 29.5 – 31.9 องศาเซลเซียส ตามลำดับ (มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2536) ซึ่งจะเห็นว่าแต่ละปีมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย และยังมีค่าใกล้เคียงกับแหล่งน้ำอื่นๆ เช่น แม่น้ำมูล มีอุณหภูมิระหว่าง 23.6 – 27.6 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิเฉลี่ย 26.04 องศาเซลเซียส (ชาญณรงค์ แก้วเล็ก, 2532) และแม่น้ำชี มีอุณหภูมิเฉลี่ย 27.3 องศาเซลเซียส (สุรจิต สุขกันตะ, 2530)

อุณหภูมิของน้ำแปรผันตามฤดูกาล ดังสถิติกรมอุทกวิทยา พ.ศ. 2499 – 2534 ของจังหวัดกาญจนบุรี และจังหวัดราชบุรี ช่วงเดือน มกราคม มีอุณหภูมิเฉลี่ย 25.4 องศาเซลเซียส และเดือนมิถุนายน มีอุณหภูมิเฉลี่ย 28.8 องศาเซลเซียส (บริษัท พอล คอนซัลแตนท์ จำกัด, สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย และบริษัท วอเตอร์ แอนด์ เอ็นไวรอนเมนท์ จำกัด, 2536)

สำหรับแหล่งน้ำธรรมชาติที่มีสภาพแวดล้อมต่างกัน และมีการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน อาจจะทำให้อุณหภูมิของน้ำผันแปรต่างกันไปได้ ดังการศึกษาของเอ็อน ทองทับ (2528) ซึ่งพบว่า ลุ่มน้ำซึ่งมีป่าไม้ปกคลุมร้อยละ 70-79 กับลุ่มน้ำที่ใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อการเกษตร อุณหภูมิของน้ำแตกต่างกันแต่ไม่มากนัก คืออยู่ในช่วง 21.3 – 25.9 องศาเซลเซียส

2. การนำไฟฟ้า (Conductivity)

ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำธรรมชาติโดยทั่วไปจะมีค่าระหว่าง 0.1 – 5.0 ไมโครโมลล์/เซนติเมตร (Todd, 1959) ส่วนไมตรี ดวงสวัสดิ์ และ จารุวรรณ สมศิริ (2528) รายงานว่า จะมีค่าการนำไฟฟ้าอยู่ระหว่างอยู่ระหว่าง 150 – 300 ไมโครโมลล์/เซนติเมตร แต่ในบางแห่งก็อาจมีค่าสูงกว่านี้จนถึง 5,000 ไมโครโมลล์/เซนติเมตร

จากการศึกษาของจำเนียร ธนสีสังกูร (2523) และพนัส สินธุเทพรัตน์ (2528) ได้ทำการศึกษาในบริเวณลุ่มแม่น้ำกลาง จังหวัดเชียงใหม่ และลำธารห้วยวนศาสตร์ และห้วยตาอยู่ สถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราช โดยพบว่า ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำมีแนวโน้มสูงขึ้นในฤดูฝน และลดลงในฤดูแล้ง นอกจากนี้ ชูชาติ หุตะเจริญ (2527) พบว่าฤดูกาลเป็นปัจจัยสำคัญในการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำบริเวณลุ่มน้ำย่อยแม่กลาง และลุ่มน้ำย่อยแม่กลาง จังหวัดเชียงใหม่

3. ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

โดยปกติแหล่งน้ำธรรมชาติจะมีค่าความเป็นกรด-ด่าง ระหว่าง 5.0 - 9.0 (กรมควบคุมมลพิษ, 2538) เช่นเดียวกับ Warren (1971) ซึ่งรายงานว่าน้ำธรรมชาติมีค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ระหว่าง 6.5 – 8.5 แต่ส่วนใหญ่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง มักต่ำ ค่อนข้างเป็นกรดเล็กน้อย เนื่องจากมีไบคาร์บอเนตละลายอยู่เพียงเล็กน้อย 6.5 – 8.5 ความแตกต่างของค่าความเป็นกรด-ด่างของแหล่งน้ำธรรมชาติขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิประเทศ และสภาพแวดล้อมอื่นๆ เช่น ลักษณะพื้นดิน และหิน ปริมาณน้ำฝน ตลอดจนการใช้ที่ดินบริเวณแหล่งน้ำนั้น (ไมตรี ดวงสวัสดิ์ และ จารุวรรณ สมศิริ, 2528)

จากการศึกษาของจุฑาธิป อยู่เย็น (2523), สุชิน พจนานภาศิริ (2523), ธีระศักดิ์ (2526) และ จำเนียร ธนสีสังกูร และนิวัติ เรืองพานิช (2524) พบว่าในพื้นที่ไร่ร้าง ค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยของน้ำในลำธารมีค่าประมาณ 6.0 พื้นที่เกษตรกรรม และพื้นที่ผสมเกษตรกรรม มีค่าประมาณ 7.0 และพื้นที่ป่าธรรมชาติมีค่าประมาณ 6.8 และพบว่าระดับค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำผันแปรตามฤดูกาลโดยค่าความเป็นกรด-ด่างจะสูงขึ้นในฤดูฝน ลดลงในฤดูแล้ง นอกจากนี้

ไฟป่าที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ หรือเกิดจากการกระทำของมนุษย์ มีผลทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำสูงขึ้นได้ (สามัคคี บุญยะวัฒน์ และคณะ, 2527)

2.2.2 คุณภาพน้ำทางเคมี

1. ปริมาณออกซิเจนละลาย (Dissolved Oxygen)

โดยทั่วไปความเข้มข้นของออกซิเจนละลายในน้ำที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในน้ำ คือ 5 มิลลิกรัม/ลิตร และถ้า ออกซิเจนละลายมีค่าต่ำกว่า 3 มิลลิกรัม/ลิตร จะเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ (นันทนา คชเสนี, 2539)

Holden (1970) พบว่า ในช่วงต้นฤดูฝนปริมาณออกซิเจนละลายมีค่าต่ำกว่าในฤดูแล้ง ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อเริ่มมีฝนตก น้ำฝนจะชะล้างจุลินทรีย์และอินทรีย์สารลงสู่แหล่งน้ำทำให้มีการออกซิเดชันทางชีวเคมีสูงปริมาณออกซิเจนจึงต่ำ แต่เมื่อฝนตกต่อเนื่องไประยะหลังๆ ปริมาณจุลินทรีย์และอินทรีย์สารในแหล่งน้ำจะลดลง เนื่องจากถูกพัดพาไปกับน้ำช่วงแรกๆ ทำให้ปริมาณออกซิเจนเพิ่มขึ้น ส่วนสาเหตุอีกประการหนึ่งซึ่งมีผลทำให้ออกซิเจนในฤดูฝนมีค่าน้อยเนื่องจากขณะที่ฝนตกทำให้น้ำมีการไหลบ่าของน้ำเป็นผลทำให้น้ำในแม่น้ำขุ่นเนื่องจากการชะเอาสารต่างๆ ของหน้าดินและตะกอนลงสู่แหล่งน้ำ ซึ่งความขุ่นนี้มีผลทำให้ออกซิเจนละลายลดลง นอกจากนี้ ศุภพร ภูเกษมวรารังกูร (2538) ยังกล่าวว่า ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความสามารถในการละลายของปริมาณออกซิเจนในน้ำ คือ อุณหภูมิ คือ ถ้าอุณหภูมิของน้ำต่ำจะทำให้ออกซิเจนละลายได้มากขึ้น

จากรายงานสถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อมของประเทศไทย สำนักงานคณะกรรมการแห่งชาติ (2534) สรุปว่า แม่น้ำแม่กลองมีปริมาณออกซิเจนละลายในปี พ.ศ. 2530 – 2533 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.2, 5.5, 4.2, 5.6 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ กรมควบคุมมลพิษ (2538) สรุปสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย พ.ศ. 2538 พบว่า ปริมาณออกซิเจนละลายเฉลี่ยของแม่น้ำแม่กลอง มีค่าเท่ากับ 6.3 มิลลิกรัม/ลิตร

2. คลอไรด์ (Cholide)

คลอไรด์พบอยู่ทั่วไปในน้ำธรรมชาติ น้ำธรรมชาติอาจได้รับคลอไรด์เพิ่มขึ้นหลายทาง เนื่องจากความสามารถในการละลายของน้ำ ทำให้สามารถละลายคลอไรด์จากชั้นดินต่างๆ สิ่งขับถ่ายของมนุษย์โดยเฉพาะปัสสาวะจะมีคลอไรด์อยู่ในปริมาณเท่ากับคลอไรด์ที่บริโภคเข้าไปกับอาหาร และน้ำ จะมีปริมาณเฉลี่ย 6 กรัม/คน/วัน ซึ่งทำให้น้ำในแม่น้ำลำธารมีปริมาณคลอไรด์สูงขึ้นได้ (กรรณิการ์ สิริสิงห, 2525)

3. ฟอสเฟต (phosphate)

ฟอสเฟต เป็นธาตุที่สำคัญและจำเป็นในการเจริญเติบโตของพืช และสัตว์ โดยปกติปริมาณของฟอสเฟตในแหล่งน้ำจะมีน้อย แต่ถ้ามีมากเกินไปอาจก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางน้ำขึ้นได้ โดยเฉพาะที่เกิดร่วมกับไนเตรท ที่เรียกว่า eutrophication และสาเหตุที่พบฟอสเฟตในแหล่งน้ำนั้นได้มีหลายสาเหตุ เช่น พื้นที่ได้ถูกเปลี่ยนไปเป็นพื้นที่ทางการเกษตร จึงก่อให้เกิดการกัดเซาะพังทลายของตะกอน และปล่อยฟอสเฟตลงสู่แหล่งน้ำ (Hynes, 1971) หรือ มีการซักเสื้อผ้า อาบน้ำ ตลอดจนล้างภาชนะต่างๆ ด้วยสบู่ หรือผงซักฟอก ซึ่งสิ่งเหล่านี้เป็นสาเหตุสำคัญที่จะทำให้ปริมาณฟอสเฟตในแหล่งน้ำนี้มีปริมาณเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ Fogg (1971) รายงานว่า ปริมาณฟอสเฟตในแม่น้ำลำธารนอกจากผันแปรตามประเภทการใช้ที่ดินแล้ว ยังแปรผันตามฤดูกาลด้วย

Fair และคณะ (1971) ได้รายงานว่ ในแหล่งน้ำที่มีธาตุอาหารพืชมากเกินไป จะมีฟอสเฟตอยู่ระหว่าง 0.01 – 0.05 มิลลิกรัม/ลิตร และในแม่น้ำที่เกิดมลภาวะจะมีฟอสเฟตอยู่ 0.6 มิลลิกรัม/ลิตร ในน้ำทิ้งบ้านเรือนมีฟอสเฟตอยู่ระหว่าง 9 – 10 มิลลิกรัม/ลิตร เพราะฉะนั้นในการควบคุมและป้องกันปัญหาการเสื่อมโทรมของแหล่งน้ำ จึงกำหนดมาตรฐานไว้โดยไม่ควรเกิน 0.03 มิลลิกรัม/ลิตร

4. ไนโตรเจน

ไนโตรเจนมีความสำคัญต่อระบบนิเวศวิทยาในแหล่งน้ำมาก โดยปกติจะพบในธรรมชาติในน้อย สิ่งมีชีวิตจะนำไปใช้ได้ต้องอยู่ในรูปของไนเตรท โดยปกติในแหล่งน้ำธรรมชาติจะพบไนเตรทปริมาณน้อยมาก และ fogg (1971) ยังรายงานว่ ปริมาณไนเตรทในแม่น้ำลำธารนอกจากผันแปรตามประเภทการใช้ที่ดินแล้ว ยังแปรผันตามฤดูกาลด้วย ซึ่งสอดคล้องกับ ขูชาติ

หุดะเจริญ (2527) ว่า ฤดูกาลเป็นปัจจัยสำคัญในการเปลี่ยนความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำ เช่นเดียวกับนิวัติ เรืองพานิช (2524) และ Feth (1966) ได้รายงานว่าปริมาณความเข้มข้นของธาตุอาหารพืชมีแนวโน้มที่มีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของน้ำในลำธาร ว่าในฤดูหนาวจะพบไนเตรทในน้ำผิวดินที่มีความเข้มข้นสูง และลดต่ำลงในฤดูร้อน

5. ความเป็นต่าง

ความเป็นต่าง เป็นความสามารถของน้ำที่จะรับโปรตอน ในน้ำธรรมชาติ ความเป็นต่างจะพบอยู่ในรูปของคาร์บอเนต และไบคาร์บอเนต เป็นส่วนมาก โดยทั่วไปพบอยู่ในช่วง 10-200 มิลลิกรัม/ลิตร (นันทนา คชเสนี, 2539)

6. ความกระด้าง

ความกระด้าง หมายถึง ปริมาณของสารแคลเซียม และแมกนีเซียมในน้ำ ระดับความกระด้างของน้ำขึ้นกับปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตในน้ำ (นันทนา คชเสนี, 2539)

0-60 มิลลิกรัม/ลิตร CaCO_3	=	น้ำอ่อน
61 – 120 มิลลิกรัม/ลิตร CaCO_3	=	น้ำกระด้างปานกลาง
121 – 180 มิลลิกรัม/ลิตร CaCO_3	=	น้ำกระด้าง
181 → มิลลิกรัม/ลิตร CaCO_3	=	น้ำกระด้างมาก

จากการศึกษาของอนันตศักดิ์ สองพราย (2525) พบว่าความกระด้างของน้ำในลำธารในพื้นที่ตั้งถิ่นฐานมนุษย์ มีค่ามากกว่าพื้นที่เกษตรกรรม และป่าปลูกธรรมชาติ ส่วนพื้นที่ป่าดิบธรรมชาติมีค่าน้อยที่สุด มั่นสิน ตันฑุลเวศม์ (2526) ได้อ้างถึงมาตรฐานน้ำดื่มขององค์การอนามัยโลกว่า ความกระด้างของน้ำระดับสูงสุดที่ควรมีได้ 100-500 มิลลิกรัม/ลิตร

2.2.3 คุณภาพน้ำทางชีวภาพ

1. โคลิฟอร์มแบคทีเรีย และฟิคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย

โคลิฟอร์มแบคทีเรียจัดอยู่ใน Family Enterobacteria ซึ่งเป็นกลุ่มพวก aerobic และ facultative anaerobic เป็นแบคทีเรียรูปแท่ง แกรมลบ ไม่มีสปอร์ สามารถใช้น้ำตาลแลคโทส และให้ก๊าซภายในเวลา 48 ชั่วโมง เมื่อบ่มไว้ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส (APHA, 1971)

แบคทีเรียที่มีคุณสมบัติดังกล่าว ได้แก่ ยีสต์ *Escherichia* ซึ่งอาศัยอยู่ในทางเดินอาหารของคน และสัตว์เลือดอุ่น และแบคทีเรียยีสต์ *Enterobacter* ซึ่งนอกจากจะพบได้ในทางเดินอาหารแล้ว ยังพบได้ในดิน และปนเปื้อนมากับพืชผักต่างๆได้ นอกจากนี้ยังรวมถึง บางสายพันธุ์ของแบคทีเรียยีสต์ *Serratia, Citrobacter* และ *Klebsiella*

โคลิฟอร์มแบคทีเรียที่ปนเปื้อนจากอุจจาระโดยตรงเรียกว่า ฟีคัลโคลิฟอร์ม ได้แก่ *E.coli* ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่มีแหล่งอาศัยปกติในท่อทางเดินอาหารของคน และสัตว์เลือดอุ่น การตรวจพบ *E.coli* จึงแสดงว่ามีการปนเปื้อนของอุจจาระโดยตรง ส่วนแบคทีเรียโคลิฟอร์มอื่นๆ เช่น *Enterobacter aerogenes* ซึ่งไม่อาจใช้เป็นดัชนีแสดงการปนเปื้อนได้โดยตรง เรียกว่า นัน-ฟีคัลโคลิฟอร์ม ฟีคัลโคลิฟอร์มมีคุณสมบัติเช่นเดียวกับโคลิฟอร์มแบคทีเรีย แต่ต่างกันตรงที่ฟีคัลโคลิฟอร์มสามารถใช้น้ำตาลแล็กโทสได้ และให้ก๊าซที่อุณหภูมิ 47 องศาเซลเซียส (Mitchell, 1972)

จากการรายงานของ นฤมล สังขประดิษฐ์ (2541) พบว่า ปริมาณฟีคัลโคลิฟอร์มจะพบมากขึ้นตรงจุดที่มีแหล่งน้ำทิ้งชุมชนปล่อยลงสู่แม่น้ำ และแม่น้ำแม่กลองที่ผ่านชุมชนขนาดเล็กจะตรวจพบว่ามีปริมาณฟีคัลโคลิฟอร์มสูงกว่าชุมชนขนาดใหญ่

2.3 การศึกษาคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำสำคัญต่างๆ ในประเทศไทย

2.3.1 น้ำผิวดิน

สุภาภรณ์ ศิริโสภณา (2524) ได้ทำการศึกษาคูณภาพน้ำบริเวณสถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกกราชซึ่งเป็นพื้นที่แบบผสมผสาน คือ เกษตรกรรมผสมป่าดิบแล้ง และที่อยู่อาศัย พบว่าปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนมีค่าเฉลี่ย 0.03 มิลลิกรัม/ลิตร โดยมีค่าต่ำสุด 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร และค่าสูงสุด 0.5 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนปริมาณฟอสเฟตพบว่ามีค่าต่ำมากจนตรวจไม่พบ โดยมีค่าสูงสุด 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร

ดารณี หันหาบุญ (2526) ได้ทำการศึกษาคูณภาพน้ำในแม่น้ำประแสร์ และแม่น้ำเวฬุ พบว่าในแม่น้ำประแสร์มีปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนมีค่าเฉลี่ย 0.13 มิลลิกรัม/ลิตร โดยมีค่าต่ำสุด 0.03 มิลลิกรัม/ลิตร และค่าสูงสุด 0.37 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนปริมาณฟอสเฟตพบว่ามีค่าเฉลี่ย 0.03 มิลลิกรัม/ลิตร โดยมีค่าต่ำสุด 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร และค่าสูงสุด 0.11 มิลลิกรัม/ลิตร สำหรับแม่น้ำเวฬุ พบว่าปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนมีค่าเฉลี่ย 0.06 มิลลิกรัม/ลิตร โดยมีค่าต่ำสุด 0.02

มิลลิกรัม/ลิตร และค่าสูงสุด 0.18 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนปริมาณฟอสเฟตพบว่า มีค่าเฉลี่ย 0.02 มิลลิกรัม/ลิตร โดยมีค่าต่ำสุด 0.00 มิลลิกรัม/ลิตร และค่าสูงสุด 0.05 มิลลิกรัม/ลิตร

ธรรมบุญ โจรณะบุรานนท์ และคณะ (2526) ได้ศึกษาคุณภาพน้ำในแม่น้ำลำคลองของกรุงเทพฯ รวมทั้งคลองสามเสนในช่วงเวลาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2521-2526 สรุปได้ว่าอุณหภูมิของน้ำในคลองอยู่ในช่วง 28.7-31.6 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 5-8-7.8 ปริมาณออกซิเจนละลายมีค่า 0.9-2.5 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนมีค่าระหว่าง 1.58-4.34 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณคลอไรด์มีค่าระหว่าง 20.58-57.64 มิลลิกรัม/ลิตร และสูงขึ้นไปถึง 80.98 มิลลิกรัม/ลิตรในฤดูน้ำน้อย ค่าโคลิฟอร์มแบคทีเรียของน้ำคลองมีค่า $10^4 - 10^{14}$ MPN/100 มิลลิตร

โสภณ พวงเพชร (2526) ได้ทำการศึกษาคุณภาพน้ำที่ตอขุย พบว่าปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนมีค่าเฉลี่ย 0.04 มิลลิกรัม/ลิตร โดยมีค่าต่ำสุด 0.02 มิลลิกรัม/ลิตร และค่าสูงสุด 0.08 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนปริมาณฟอสเฟตพบว่า มีค่าเฉลี่ย 0.05 มิลลิกรัม/ลิตร โดยมีค่าต่ำสุด 0.03 มิลลิกรัม/ลิตร และค่าสูงสุด 0.09 มิลลิกรัม/ลิตร

วีรเกียรติ์ ลิกขากุล (2528) ได้ทำการศึกษาคุณภาพน้ำในลุ่มแม่น้ำปิง และแม่น้ำวัง พบว่าปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนมีค่าเฉลี่ย 0.02 มิลลิกรัม/ลิตร โดยมีค่าต่ำสุด 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร และค่าสูงสุด 0.11 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนปริมาณฟอสเฟตพบว่า มีค่าเฉลี่ย 0.02 มิลลิกรัม/ลิตร โดยมีค่าต่ำสุด 0.00 มิลลิกรัม/ลิตร และค่าสูงสุด 0.09 มิลลิกรัม/ลิตร สำหรับแม่น้ำวัง พบว่าปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนมีค่าเฉลี่ย 0.03 มิลลิกรัม/ลิตร โดยมีค่าต่ำสุด 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร และค่าสูงสุด 0.04 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนปริมาณฟอสเฟตพบว่า มีค่าเฉลี่ย 0.02 มิลลิกรัม/ลิตร โดยมีค่าต่ำสุด 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร และค่าสูงสุด 0.05 มิลลิกรัม/ลิตร

สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (2528) ได้รายงานคุณภาพของแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่างเกี่ยวกับปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนมีค่าเฉลี่ย 0.62 มิลลิกรัม/ลิตร โดยมีค่าต่ำสุด 0.11 มิลลิกรัม/ลิตร และค่าสูงสุด 3.10 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนปริมาณฟอสเฟตนี้ เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต (2525) พบว่า มีค่าเฉลี่ย 0.54 มิลลิกรัม/ลิตร โดยมีค่าต่ำสุด 0.15 มิลลิกรัม/ลิตร และค่าสูงสุด 1.610 มิลลิกรัม/ลิตร

วิจิตร บัวขวัญ (2530) ได้ทำการศึกษาคุณภาพน้ำบริเวณลุ่มน้ำชี พบว่า ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนเฉลี่ยในชั้นลุ่มน้ำ 1 ถึง 5 มีค่าเท่ากับ 0.171, 0.101, 0.085, 0.086 และ 0.065 มิลลิกรัม/ลิตร และปริมาณไนโตรเจนเฉลี่ยในชั้นลุ่มน้ำ 1 ถึง 5 มีค่าเท่ากับ 0.003, 0.002, 0.003, 0.003 และ 0.024 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนปริมาณฟอสเฟตเฉลี่ยในชั้นลุ่มน้ำ 1 ถึง 5 มีค่าเท่ากับ 0.023, 0.041, 0.046, 0.086 และ 0.024 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ

สุธี ควนสุวรรณ (2531) ได้ทำการศึกษาคุณภาพน้ำของแม่น้ำบางปะกง พบว่า ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนมีค่าเฉลี่ย 0.13 มิลลิกรัม/ลิตร โดยมีค่าต่ำสุด 0.15 มิลลิกรัม/ลิตร และค่าสูงสุด 0.31 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนปริมาณฟอสเฟต พบว่า มีค่าเฉลี่ย 0.13 มิลลิกรัม/ลิตร โดยมีค่าต่ำสุด 0.02 มิลลิกรัม/ลิตร และค่าสูงสุด 0.57 มิลลิกรัม/ลิตร

เพ็ญศรี วงศ์สวัสดิสกุล (2532) ได้ทำการศึกษาคุณภาพน้ำของแม่น้ำตาปี-พุมดวง พบว่า ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนมีค่าเฉลี่ย 0.38 มิลลิกรัม/ลิตร โดยมีค่าสูงสุด 5.96 มิลลิกรัม/ลิตร และค่าต่ำสุดพบว่ามีน้อยมากไม่สามารถวัดปริมาณได้ ส่วนปริมาณฟอสเฟต พบว่า มีค่าเฉลี่ย 0.28 มิลลิกรัม/ลิตร โดยมีค่าต่ำสุด 0.09 มิลลิกรัม/ลิตร และค่าสูงสุด 3.80 มิลลิกรัม/ลิตร

พิทักษ์ วงศ์ชาติ (2534) ได้ทำการศึกษาคุณภาพน้ำบริเวณลุ่มน้ำชลบุรี ระยอง และจันทบุรี พบว่า ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนมีค่าเฉลี่ย 0.33 มิลลิกรัม/ลิตร โดยมีค่าต่ำสุด 0.20 มิลลิกรัม/ลิตร และค่าสูงสุด 0.50 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนปริมาณฟอสเฟต พบว่า มีค่าเฉลี่ย 0.21 มิลลิกรัม/ลิตร โดยมีค่าต่ำสุด 0.09 มิลลิกรัม/ลิตร และค่าสูงสุด 0.40 มิลลิกรัม/ลิตร

ธีรวรรค์ วรรณศิริกุล (2535) ได้ทำการศึกษาคุณภาพน้ำของลุ่มน้ำเมย จังหวัดตาก พบว่า ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนเฉลี่ยในชั้นลุ่มน้ำ 1 ถึง 5 มีค่าเท่ากับ 0.172, 0.184, 0.169, 0.228 และ 0.235 มิลลิกรัม/ลิตร และปริมาณไนโตรเจนเฉลี่ยในชั้นลุ่มน้ำ 1 ถึง 5 มีค่าเท่ากับ 0.003, 0.002, 0.003, 0.003 และ 0.024 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนปริมาณฟอสเฟตเฉลี่ยในชั้นลุ่มน้ำ 1 ถึง 5 มีค่าเท่ากับ 0.020, 0.009, 0.007, 0.003 และ 0.020 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ

อัจฉรา ศิริอังกาฐ (2535) ได้ทำการศึกษาคุณภาพน้ำในบึงมักกะสัน พบว่า ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนเฉลี่ย มีค่าเท่ากับ 0.05 มิลลิกรัม/ลิตร โดยมีค่าต่ำสุด 0.008 มิลลิกรัม/

ลิตร และมีค่าสูงสุด 0.12 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนปริมาณฟอสเฟตเฉลี่ย มีค่าเท่ากับ 1.58 มิลลิกรัม/ลิตร โดยมีค่าต่ำสุด 0.50 มิลลิกรัม/ลิตร และมีค่าสูงสุด 2.72 มิลลิกรัม/ลิตร

วีระวัฒน์ พัฒนเจริญ (2536) ได้ทำการศึกษาคุณภาพน้ำของกลุ่มน้ำเลย พบว่า ปริมาณไนโตรเจนเฉลี่ยในชั้นลุ่มน้ำ 1 ถึง 5 มีค่าเท่ากับ 6.16, 3.88, 4.44, 6.27 และ 33.38 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสเฉลี่ยในชั้นลุ่มน้ำ 1 ถึง 5 มีค่าเท่ากับ 20.10, 25.66, 36.88, 36.33 และ 25.77 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ

ธรรพร บุศย์น้ำเพชร (2541) ได้ทำการศึกษาคุณภาพน้ำในแม่น้ำเพชรบุรี โดยเก็บ ตัวอย่าง 4 บริเวณ คือ แม่น้ำเพชรบุรี น้ำทะเลชายฝั่ง ท่อระบายน้ำเสีย และบ่อบำบัดน้ำเสียของ โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ พบว่าในแม่น้ำเพชรบุรีปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนเฉลี่ยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.14 – 0.27 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วน ปริมาณฟอสเฟตเฉลี่ยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.33 – 0.49 มิลลิกรัม/ลิตร สำหรับน้ำทะเลชายฝั่ง พบว่า ปริมาณไนเตรทเฉลี่ยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.04 – 0.39 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนปริมาณฟอสเฟตเฉลี่ยมีค่า อยู่ระหว่าง 0.15 – 0.67 มิลลิกรัม/ลิตร สำหรับน้ำเสียในท่อระบายน้ำ พบว่า ปริมาณไนเตรทเฉลี่ย มีค่าอยู่ระหว่าง 0.03 – 0.63 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนปริมาณฟอสเฟตเฉลี่ยมีค่าอยู่ระหว่าง 2.39 – 2.90 มิลลิกรัม/ลิตร และในบ่อบำบัดน้ำเสีย พบว่า ปริมาณไนเตรทเฉลี่ยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.06 – 0.18 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนปริมาณฟอสเฟตเฉลี่ยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.94 – 4.07 มิลลิกรัม/ลิตร

นฤมล สังขประดิษฐ์ (2541) ได้ทำการศึกษาคุณภาพน้ำในแม่น้ำแม่กลองตอน บน โดยพารามิเตอร์ที่ศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิ ออกซิเจนละลาย และพีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย ทำ การศึกษา 2 ช่วงเวลา คือ เดือนมิถุนายน 2540 และ มกราคม 2541 พบว่า เดือนมิถุนายน อุณหภูมิเฉลี่ยมีค่าอยู่ระหว่าง 30.3 – 30.7 องศาเซลเซียส ส่วนในเดือนมกราคม 2541 พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยมีค่าอยู่ระหว่าง 28.8 – 29.6 องศาเซลเซียส ส่วนค่าออกซิเจนละลายเฉลี่ยมีค่าอยู่ ะหว่าง 5.1 – 5.6 และ 5.5 – 6.6 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ส่วนปริมาณพีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย เฉลี่ยมีค่าอยู่ระหว่าง 1,182 – 4,982 MPN/100 มิลลิลิตร และ 1,100 – 24,080 MPN/100 มิลลิลิตร ตามลำดับ

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าปริมาณไนเตรทในน้ำผิวดินยังไม่เกินระดับมาตรฐานขององค์การอนามัยโลกซึ่งกำหนดไว้ว่าไม่ควรเกิน 10 มิลลิกรัม/ลิตรไนโตรเจน และไม่ควรถเกิน 45 มิลลิกรัม/ลิตรไนเตรท

2.3.2 น้ำใต้ดิน

กรมทรัพยากรธรณี อ้างถึงใน กิตติ เกษตรกรรม (2535) ได้พบว่าจังหวัดมหาสารคามมีการปนเปื้อนไนเตรทในแหล่งน้ำผิวดิน และน้ำบาดาลเกินมาตรฐานที่กำหนดไว้ ดังนี้

ตารางที่ 1 ข้อมูลปริมาณสารไนเตรทที่สูงเกินมาตรฐานในจังหวัดมหาสารคาม พ.ศ. 2520 - 2532

อำเภอ	จำนวนบ่อ	ปริมาณไนเตรท (มิลลิกรัม/ลิตร ไนเตรท)	
		ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
เขียงยืน	20	84	1270
โกสุมพิสัย	24	105	1230
เมือง	22	70	1110
บรบือ	10	92	1110
นาเชือก	7	80	437
กันทรวิชัย	10	140	425
นาคูน	11	63	357
แกดำ	4	100	996
วาปีปทุม	5	50	538
พยัคฆภูมิพิสัย	3	186	568

2.3 วัฏจักรไนโตรเจน

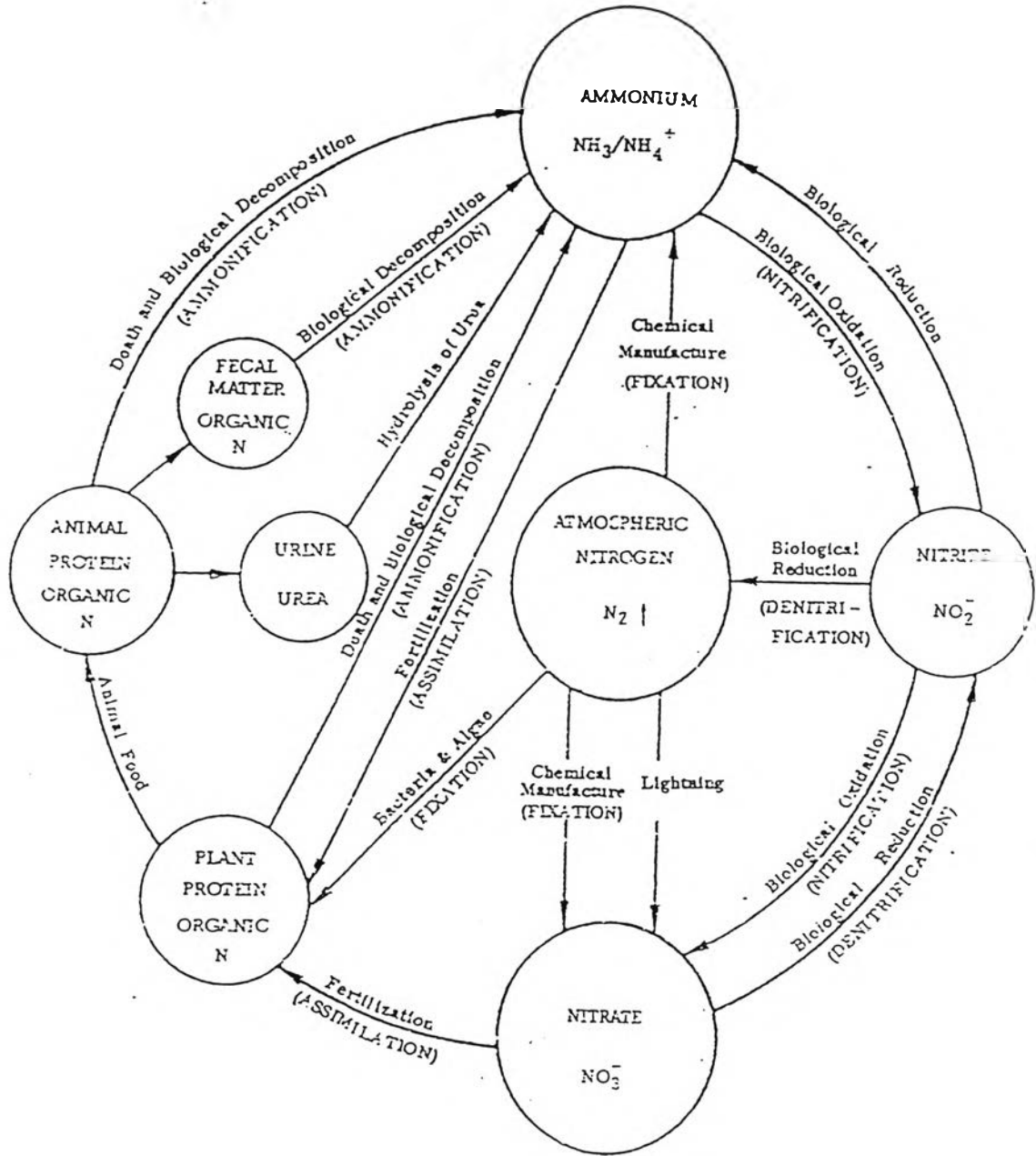
ไนโตรเจนจัดเป็นธาตุที่มีความสำคัญกับสิ่งมีชีวิตโดยเป็นองค์ประกอบของกรดอะมิโนซึ่งเป็นหน่วยย่อยของโปรตีน และกรดนิวคลีอิก แต่ธาตุไนโตรเจนส่วนมากอยู่ในบรรยากาศซึ่งมีถึง 79 เปอร์เซ็นต์ สิ่งมีชีวิตโดยทั่วไปไม่สามารถนำไปใช้ได้โดยตรง ส่วนใหญ่ต้องอยู่ในรูปของแอมโมเนีย ไนไตรท์ หรือไนเตรทจึงจะนำไปใช้ได้ แต่ไนโตรเจนในบรรยากาศอยู่ในรูปที่เสถียร การที่จะเปลี่ยนรูปแบบนั้นจำเป็นต้องใช้พลังงานสูงพอที่จะเปลี่ยนไนโตรเจนในอากาศให้อยู่ในรูปสารประกอบที่สิ่งมีชีวิตนำไปใช้ได้ เช่น ปฏิกิริยาการถล่มฟ้าแลบ ฟ้าผ่า แต่มีปริมาณน้อยมาก แต่การที่ระบบนิเวศของเรามีสารประกอบไนโตรเจนเพียงพอ และอยู่ในสภาวะที่สมดุล ก็เนื่องมาจากมี

จุลินทรีย์จำนวนมากที่เกี่ยวข้องกับการหมุนเวียนไนโตรเจน โดยปฏิกิริยาที่ตรึงก๊าซไนโตรเจนจากบรรยากาศมาสู่ระบบนิเวศได้แก่พวก Nitrogen Fixing Bacteria เช่น *Rhizobium*, *Azotobacter*, *Clostridium*, *Rhodospirillum*, *Bacillus* นอกจากนี้ยังมีสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน เช่น *Anabaena*, *Nostoc*, *Tolypothrix*, *Thrichodesmium*, *Oscillatoria*, *Lyngbya* และยีสต์ เช่น *Rhodotorula*, *Pullularia* เป็นต้น เมื่อมนุษย์และสัตว์รับประทานพืชเป็นอาหาร โปรตีนในพืชจะถูกนำไปใช้สร้างโปรตีนในมนุษย์และสัตว์ เมื่อสิ่งมีชีวิตเหล่านี้ขับถ่ายของเสีย หรือตายไป ของเสียเหล่านี้จะเกิดการเน่าเปื่อยและเปลี่ยนรูปเป็นแอมโมเนีย โดยกระบวนการ ammonification โดยการกระทำของแบคทีเรียชนิดแอมโมเนียแบคทีเรีย เช่น *Pseudomonas* ซึ่งพืชก็จะนำไปใช้เป็นอาหารต่อไป ส่วนแอมโมเนียที่เหลือใช้จากพืชหากสภาวะแวดล้อมมีออกซิเจนไม่เพียงพอจะถูกออกซิไดซ์โดยแบคทีเรียประเภทออโตโทรฟิกไนตริฟายอิงค์แบคทีเรีย (autotrophic nitrifying bacteria) โดยกระบวนการ nitrification เกิดเป็นสารประกอบไนโตรท์ โดยแบคทีเรียพวก nitrosomonas และสารประกอบไนเตรท โดยแบคทีเรียพวก nitrobacter ต่อไปนี้ที่สุด และเพื่อให้สัดส่วนของไนโตรเจนในบรรยากาศอยู่ในสภาพสมดุล มีการเปลี่ยนไนเตรทให้กลายเป็นก๊าซไนโตรเจนกลับคืนสู่บรรยากาศโดยกระบวนการ Denitrification โดยแบคทีเรียพวกดีไนตริฟายอิงค์แบคทีเรีย (Denitrifying Bacteria) เช่น *Pseudomonas* และ *Thiobacillus* เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 1 และ 2

2.4 ชนิดของสารประกอบไนโตรเจนที่มีอยู่ในแหล่งน้ำ

โดยทั่วไปสารประกอบไนโตรเจนที่มีอยู่ในแหล่งน้ำมีอยู่ 4 ชนิดดังนี้

1. สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน (organic-nitrogen compounds) หมายถึง สารอินทรีย์ที่มีธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ โปรตีน และยูเรีย
2. สารแอมโมเนียไนโตรเจน (ammonia-nitrogen compounds) หมายถึง ไนโตรเจนทั้งหมดที่มีอยู่ในรูปแอมโมเนีย หรือสารประกอบแอมโมเนีย
3. สารประกอบไนโตรท์ (nitrite-nitrogen compounds) หมายถึง สารประกอบที่อยู่ในรูปของไนโตรท์ (NO_2^-) ซึ่งเกิดจากการออกซิเดชันที่ยังไม่สมบูรณ์ของสารประกอบไนโตรเจนอื่น
4. สารประกอบไนเตรท (nitrate-nitrogen compounds) หมายถึง สารประกอบที่อยู่ในรูปของไนเตรท (NO_3^-) ซึ่งเกิดจากการออกซิเดชันที่สมบูรณ์ของสารประกอบไนโตรเจนอื่น และหากสภาวะแวดล้อมมีออกซิเจนในปริมาณมากเกินพอแล้ว สารประกอบไนเตรทนี้จัดได้ว่าเป็นสารประกอบไนโตรเจนที่มีความเสถียรมากที่สุด



รูปที่ 1. วงจรไนโตรเจน (US.EPA., 1975)

น้ำเสียที่มาจากแหล่งชุมชนที่เพิ่งถูกปล่อยทิ้งออกมาจะมีสารประกอบอินทรีย์ในโตรเจนมากที่สุด และมีสารประกอบไนโตรเจน และไนเตรทน้อยที่สุด แต่เมื่อเวลาผ่านไปและอยู่ในสภาวะที่เหมาะสมสารประกอบอินทรีย์ในโตรเจนจะเปลี่ยนรูปเป็นสารประกอบแอมโมเนีย สารประกอบไนโตรเจน และสารประกอบไนเตรทตามลำดับ

ในการกำจัดปริมาณสารประกอบไนโตรเจนที่มีอยู่ในแหล่งน้ำเหล่านี้ สามารถกระทำได้หลายวิธีด้วยกันทั้งวิธีการทางฟิสิกส์ เคมี และชีวภาพ แต่ในปัจจุบันพบว่าการใช้กระบวนการทางชีวภาพเป็นวิธีที่ประหยัด และเหมาะสมที่สุด และในที่นี่จะกล่าวถึงเฉพาะการกำจัดไนเตรทด้วยกระบวนการทางชีวภาพ แบบ เฮเทอโรโทรฟิค ดีไนตริฟิเคชัน (Heterotrophic denitrification) เท่านั้น ดังจะกล่าวต่อไป

2.5 ผลกระทบของสารประกอบไนเตรตในแหล่งน้ำต่อสิ่งแวดล้อม

1. ทำให้เกิด Eutrophication

สารประกอบของไนโตรเจนมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิต โดยเฉพาะสารประกอบไนเตรท เนื่องจากไนโตรเจนในรูปไนเตรท เป็นรูปที่พืชใช้เป็นสารอาหารได้ดีมาก แต่ถ้ามีอยู่ในแหล่งน้ำมากเกินไปจะเกิดเป็นสารมลพิษ โดยไนเตรทจะช่วยกระตุ้นให้เกิดการเจริญเติบโตของสาหร่ายและพืชน้ำตื้นต่างๆ โดยเฉพาะในแหล่งน้ำที่เป็นน้ำขังนิ่ง เช่น ปากอ่าว หรือตามชายฝั่ง การเติบโตอย่างรวดเร็วทำให้เกิดปัญหาน้ำเขียว ชุมดุสกรปรก เมื่อสาหร่ายและพืชน้ำตื้นสะสมตัวกันมากขึ้น และตายลงก็จะเกิดการเน่าเสียของแหล่งรับน้ำ จนสิ่งมีชีวิตอื่นไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้

2. ผลต่อสุขภาพของมนุษย์

ไนเตรทก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของผู้บริโภคโดยตรง โดยเฉพาะเด็กทารกที่มีอายุน้อยกว่า 3 เดือน เมื่อได้รับน้ำที่มีการปนเปื้อนไนเตรทสูงมากเกินไปเข้าสู่ร่างกาย ทั้งนี้เพราะไนเตรท จะถูกรีดิวส์เป็นไนโตรทในกระเพาะอาหารของทารก เกิดปฏิกิริยาของไนโตรท และส่งผลให้เกิดการสร้างสาร methemoglobin ในเลือด ทำให้เกิดโรคเกี่ยวกับเม็ดเลือดขาดออกซิเจน (methemoglobinemia) เนื่องจากฮีโมโกลบินในเม็ดเลือดแดงไม่สามารถรับส่งออกซิเจนได้ ผลที่เกิดขึ้นคือ เด็กทารกขาดออกซิเจนทำให้มีอาการหายใจไม่ออก ตัวเขียวคล้ำ (blue babies) และ

อาจเสียชีวิตได้ (St. Amant and McCarty, 1969; Anderson and Ibrahim, 1978; Richard et al., 1980; Bittton, 1994)

สำหรับบุคคลทั่วไปไนเตรทอาจรวมตัวกับเอมีน (amines) เป็นไนโตรซามีน (nitrosamines) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง ได้มีรายงานที่โคลัมเบียว่าในน้ำที่มีการปนเปื้อนไนเตรทปริมาณสูง ทำให้เกิดมะเร็งที่กระเพาะอาหาร (gastric cancer) นอกจากนี้ยังมีรายงานอีกว่าไนเตรทอาจมีผลต่อหัวใจ และพฤติกรรมในสัตว์ทดลอง (มันซิน ตันซูลเวสม์ และ กิตติ เกษตรกรรม, 2536;)

2.6 การกำจัดไนเตรทด้วยกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน

กระบวนการดีไนตริฟิเคชัน เป็นกระบวนการลดสารประกอบไนเตรทในน้ำ โดยการแปลงรูปไนเตรทให้เป็นไนไตรท์ และก๊าซไนโตรเจนตามลำดับ โดยการใช้ไนเตรททำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอนแทนออกซิเจน ในการออกซิเดชันสารประกอบคาร์บอนโดยแบคทีเรียประเภทดีไนตริไฟเออร์แบคทีเรีย ดังนั้นปฏิกิริยาเหล่านี้จึงจัดว่าเป็นปฏิกิริยาของการหายใจแบบไร้ออกซิเจน เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นโดยกระบวนการหายใจของดีไนตริไฟเออร์แบคทีเรีย และแบคทีเรียที่ทำให้เกิดกระบวนการดังกล่าว อาจเป็นประเภทที่ใช้ออกซิเจน หรือไม่ใช้ก็ได้ ตัวอย่างเช่น *Achromobacter* (ธีระ เกตรอด, 2534) *Acinotobacter*, *Alcaligenes*, *Aerobacter*, *Bacillus*, *Chromobacterium*, *Flavobacterium*, *Micrococcus*, *Proteus*, *Pseudomonas* (US.EPA, 1975; Knowler, 1982) *Dinitrobacillus*, *Spirillum* (Anderson and Ibrahim, 1978)

2.6.1 กระบวนการรีดิวส์สารประกอบไนเตรท (Alexander, 1977)

กระบวนการดีไนตริฟิเคชันจัดเป็นกระบวนการรีดิวส์สารประกอบออกไซด์ของไนโตรเจนที่สำคัญได้แก่ ไนเตรท ซึ่งกระบวนการรีดิวส์ไนเตรทมีอยู่ 2 แบบ คือ

1. Assimilation nitrate reduction

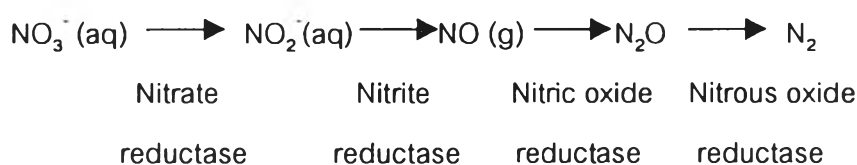
เป็นการนำสารประกอบอนินทรีย์ไปใช้ในการสังเคราะห์สารประกอบอินทรีย์ ซึ่งเป็นส่วนประกอบของเซลล์ โดยการเปลี่ยนไนเตรทไปเป็นไนไตรท์จากนั้นจึงได้แอมโมเนีย พืชและจุลินทรีย์สามารถเกิดปฏิกิริยาเหล่านี้ได้ ซึ่งจะนำไปเป็นส่วนประกอบของโปรตีนและกรดนิวคลีอิก

ปฏิกริยานี้เป็นการสังเคราะห์เซลล์ (biosynthesis) เอนไซม์ที่เร่งปฏิกริยาเหล่านี้ไม่ได้รับผลกระทบจากออกซิเจน

2. Dissimilation nitrate reduction (Denitrification)

เป็นกระบวนการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนโดยอาศัยไนเตรทเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายแทนออกซิเจน จากนั้นไนเตรทจะถูกรีดิวส์เป็น ไนไตรท์ ไนตริกออกไซด์ ไนตรัสออกไซด์ จนกระทั่งเป็น ก๊าซไนโตรเจน เชื้อแบคทีเรียที่เกี่ยวข้องกับปฏิกริยาดีไนตริฟิเคชันมักจะเป็น aerobic autotroph หรือ aerobic heterotroph microorganism แต่สามารถเจริญเติบโตในสภาวะไร้ออกซิเจนแต่มีไนเตรทอยู่ได้ ถึงแม้ว่าพลังงานที่ได้จากการใช้ไนเตรทรับอิเล็กตรอนจะได้เพียง 67-71% แต่ไนเตรทก็ละลายน้ำได้ดีกว่าออกซิเจน (Casella and Payne, 1996) แต่เนื่องจากเป็นปฏิกริยารับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายเช่นเดียวกับออกซิเจนจึงได้รับผลกระทบเมื่อมีออกซิเจนอยู่ด้วย

ปฏิกริยาดีไนตริฟิเคชันมีลำดับการเกิดดังนี้



รูปที่ 2 แสดงลำดับและเอนไซม์ในปฏิกริยาดีไนตริฟิเคชัน (Bitton, 1994)

จากปฏิกริยา NO , N_2O , N_2 มีสถานะเป็นก๊าซ สามารถแยกตัวออกจากน้ำหรือหนีออกจากระบบได้ แต่การเปลี่ยนสารประกอบไนเตรทให้เป็นก๊าซไนโตรเจนได้จะเป็นการดีที่สุด เพราะจะทำให้สิ่งแวดล้อมเสียหายน้อยที่สุด ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อชนิดของผลผลิตสุดท้ายที่สร้างขึ้นคือ ชนิดของจุลินทรีย์ และพีเอชของตัวกลาง ค่าพีเอชที่ต่ำกว่า 7.3 จะทำให้การผลิต N_2O มากขึ้น (ยงยุทธ วงศ์ประภาวิวัฒน์, 2539) แต่อย่างไรก็ตามโดยทั่วไปแล้วผลของปฏิกริยาดีไนตริฟิเคชันมักจะได้ก๊าซไนโตรเจนเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นในการออกแบบระบบจึงถือปฏิกริยาของดีไนตริฟิเคชันคือ ก๊าซไนโตรเจนเพียงอย่างเดียวเท่านั้น

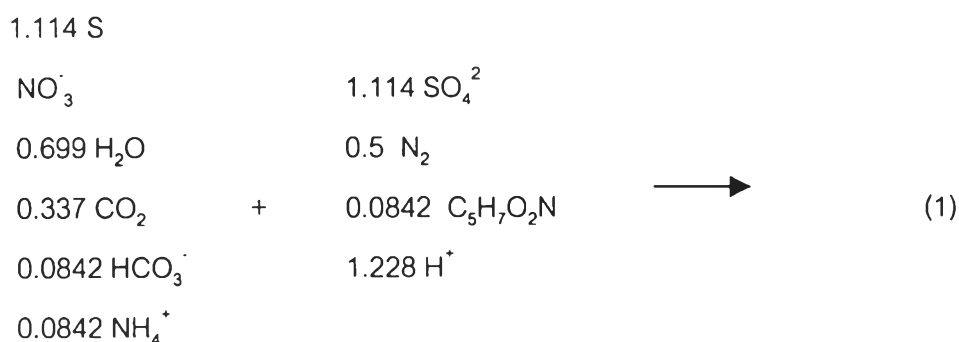
2.6.2 ประเภทของกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (มันลิน ตันททุลเวศม์ และกิตติ เกษตรกรรม, 2536)

กระบวนการดีไนตริฟิเคชันแบ่งได้ 2 ประเภท

1. Autotrophic denitrification

การกำจัดไนเตรทด้วยกระบวนการ Autotrophic denitrification ต้องอาศัย Autotrophic bacteria เป็นแบคทีเรียที่สามารถสร้างอาหารเองได้ ได้แก่ Thiobacillus denitrificans ซึ่งเป็น obligate autotroph, motile, facultative anaerobe, gram-negative, non-spore forming rod แบคทีเรียชนิดนี้สามารถรีดิวส์ไนเตรทให้กลายเป็นไนโตรเจน พร้อมกับออกซิโดซัลเฟอร์ และสารประกอบซัลเฟอร์เพื่อสร้างพลังงานสำหรับดำรงชีวิตได้ การกำจัดไนเตรทด้วยวิธีนี้ ใช้แหล่งคาร์บอนจากสารอนินทรีย์หลายชนิด เช่น CO_2 , CaCO_3 เป็นต้น ในการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย จึงไม่ต้องการเติมสารอินทรีย์เหมือน Heterotrophic denitrification

ปฏิกิริยาชีวเคมีของ Autotrophic denitrification สามารถแสดงได้ด้วยสมการที่ 1 ดังนี้



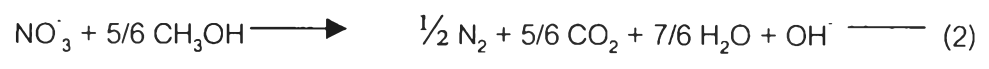
(Driscoll, C.T. และ Bisogni, J.J., 1978)

2. Heterotrophic denitrification

การกำจัดไนเตรทด้วยกระบวนการ Heterotrophic denitrification ต้องอาศัย Heterotrophic bacteria ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่ไม่สามารถสร้างอาหารเองได้ ได้แก่ Acromobacter, Aerobacter, Alcaligenes, Bacillus, Micrococcus, Pseudomonas, เป็นต้น ในการเปลี่ยน

ไนเตรทให้เป็นก๊าซไนโตรเจน แบคทีเรียดังกล่าวต้องอาศัยสารอินทรีย์เป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงานในการเจริญเติบโต แต่เนื่องจากน้ำผิวดิน หรือน้ำใต้ดิน มักมีสารอินทรีย์น้อยมาก การกำจัดไนเตรทด้วยวิธีนี้จึงต้องเติมสารอินทรีย์ เช่น เอทานอล เมทานอล หรือน้ำตาล เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงาน การกำจัดไนเตรทด้วยวิธีนี้เป็นที่นิยมใช้กันมาก

ปฏิกิริยาชีวเคมีของ Heterotrophic denitrification สามารถแสดงได้ด้วยสมการที่ 2 ดังนี้



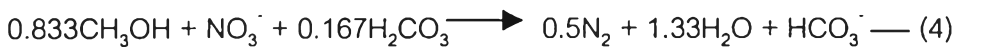
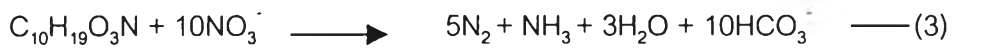
ในงานวิจัยด้านน้ำเสียมักจะเป็นกระบวนการดีไนตริฟิเคชันที่ใช้เฮเทอโรโทรป ต่อไปจะกล่าวถึงเฉพาะกระบวนการดีไนตริฟิเคชันที่ใช้เฮเทอโรโทรป

2.6.3 การกำจัดไนเตรทด้วยกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (มันสิน ตันทกุลเวศม์, 2530)

กระบวนการดีไนตริฟิเคชันที่ใช้เฮเทอโรโทรป สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ตามชนิดของสารอินทรีย์คาร์บอน ดังนี้

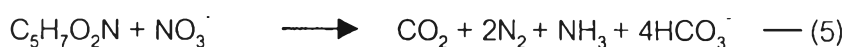
1. Substrate Nitrate Denitrification

เป็นดีไนตริฟิเคชันแบบที่ใช้สารอินทรีย์คาร์บอนจากแหล่งใดก็ได้ที่ไม่ใช่คาร์บอนในเซลล์จุลินทรีย์ สารอินทรีย์คาร์บอนอาจเป็นซีโอดี/บีโอดีที่อยู่ในน้ำเสีย (สมการ 3) หรือเป็นสารเคมีที่เติมลงไปแหล่งน้ำก็ได้ สารอินทรีย์คาร์บอนที่นิยมเติมให้กับน้ำควรเป็นสารที่ย่อยง่าย (เป็นสารประกอบที่มีคาร์บอนเดี่ยว) โดยทั่วไปมักใช้ เมทานอล (สมการ 4) และใช้ออกซิเจนในไนเตรทเป็นตัวรับอิเล็กตรอน



2. Endogenous Nitrate Denitrification

เป็นดีไนตริฟิเคชันแบบที่ใช้แหล่งคาร์บอนภายในเซลล์ของจุลินทรีย์เอง เนื่องจากขาดแคลนแหล่งคาร์บอนภายนอก ดีไนตริฟิเคชันยังเกิดขึ้นได้ ดังสมการ (5) ผลจากการวิจัยพบว่ากระบวนการนี้มีอัตราการกำจัดไนเตรตต่ำมาก



เมื่อพิจารณาปฏิกิริยาทั้งสองประเภทจะเห็นได้ว่า Substrate Nitrate Denitrification เป็นปฏิกิริยาของการเจริญเติบโตของเซลล์แบบปกติที่ได้ออกซิเจนจากไนเตรต ส่วน Endogenous Nitrate Denitrification เป็นการย่อยสลายตัวเอง ซึ่งทั้งสองปฏิกิริยาเกิดขึ้นภายใต้สภาวะที่มีไนเตรตเป็นแหล่งรับอิเล็กตรอน จะเห็นได้ว่าคล้ายกับกรณีของปฏิกิริยาของแอโรบิกที่มีออกซิเจนเป็นแหล่งรับอิเล็กตรอน

2.7 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการศึกษาดีไนตริฟิเคชัน

ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการศึกษาดีไนตริฟิเคชัน และมีบทบาทสำคัญมากในการเจริญเติบโตของแบคทีเรียดีไนตริฟายเออร์ และการกำจัดไนเตรต ปัจจัยต่างๆ มีดังต่อไปนี้

1. ความเข้มข้นของไนเตรต

ไนเตรตเป็นสารอาหารตัวหนึ่งของกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน และถูกใช้เป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย ไนเตรตจึงมีผลกระทบต่ออัตราการเกิดและอัตราเร็วของกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน โดยมีผลต่อการเจริญเติบโตของดีไนตริฟายเออร์แบคทีเรีย และการกำจัดไนเตรต โดยจะเกิดขึ้นได้ด้วยอัตราเร็วสูงสุดถ้าไนเตรตมีความเข้มข้นอยู่ในระดับสูงอย่างเกินพอ (มันสิน ตันกุลเวศม์, 2538; Bitton, 1994)

2. สารอินทรีย์คาร์บอน

เป็นสารอาหารอีกตัวของกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน โดยกระบวนการดีไนตริฟิเคชันที่เกิดจากแบคทีเรียพวกเฮเทอโรโทรฟิกนั้นจะต้องมีการเติมสารอินทรีย์คาร์บอน เพื่อใช้ในการสร้างและเป็นส่วนประกอบของเซลล์ ได้มีการศึกษาสารประกอบอินทรีย์จำนวนมากจากแหล่ง

ต่างๆ ว่ามีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันอย่างไร ทั้งที่เป็นสารบริสุทธิ์ซึ่งมีหลายชนิด เช่น น้ำตาล (Soares, Belkin และ Abeliovich, 1988) เมธานอล (US.EPA, 1975) เอทานอล (Richard et al., 1980) กรดอะซิติก (Dahab and Lee, 1988) และน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม และตะกอนต่างๆ (US.EPA, 1975; Anderson and Ibrahim, 1978)

มีรายงานโดย Christensen และ Haremoes ในปี 1977 ว่าการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันขึ้นกับการอัตราส่วนของสารอินทรีย์และไนเตรทด้วย โดยพบว่าอัตราส่วนของเมธานอล ต่อไนเตรทที่ให้ลดไนเตรทในน้ำได้ดีที่สุดคือ 2.5 และในบางครั้งพบว่าชนิดของอาหารมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาดังเช่นกัน เช่น การศึกษาการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันใน static culture ของ *paracoccus denitrificans* พบว่าถ้าเลี้ยงใน nutrient broth จะเกิดก๊าซไนโตรเจนโดยไม่เกิดการสะสมของไนโตรทรีนในอาหาร ซึ่งคาดว่าเกิดจากความสมดุลย์ของระบบเอนไซม์ของเชื้อ แต่ถ้าเลี้ยงใน minimal liquid เช่น ใส่เฉพาะเมธานอล อะซิเตรท หรือ เอทานอล จะเกิดการสะสมของไนโตรทรีนถึง 70 เปอร์เซ็นต์ และการรีดิวส์ไนโตรทรีนจะเกิดเมื่อการรีดิวส์ไนเตรทเสร็จสมบูรณ์แล้ว (Blaszczyk, 1993)

สารอินทรีย์คาร์บอนจึงมีผลเช่นเดียวกับไนเตรท โดยมีผลต่อการเจริญเติบโตของดีไนตริฟายเออร์ และการกำจัดไนเตรท โดยจะเกิดขึ้นได้ด้วยอัตราเร็วสูงสุด ถ้ามีปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนในระดับสูงอย่างเกินพอ อย่างไรก็ตามเมื่อความเข้มข้นของสารตัวใดตัวหนึ่ง หรือของทั้งสองตัวลดต่ำลงจนถึงระดับหนึ่งแล้ว อัตราเร็วของปฏิกิริยาจะขึ้นอยู่กับระดับความเข้มข้นของสารทั้งสองชนิด (มันสิน ตันกุลเวศม์, 2538)

3. ออกซิเจนละลาย

ปริมาณออกซิเจนละลายมีผลต่อปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน เมื่อออกซิเจนละลายเพิ่มขึ้นจะทำให้ไนโตรเจนออกไซด์รีดักเตส (Nitrogen Oxide Reductase) ทำงานได้น้อยลง (Knowler, 1982) ออกซิเจนทำให้ปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันชะงักหรือเกิดในอัตราที่ช้าลง เนื่องจากออกซิเจนสามารถแข่งขันกับไนเตรทเพื่อเป็นอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายได้ และแบคทีเรียสามารถใช้ออกซิเจนได้ดีกว่าไนเตรท (US.EPA, 1975) มีการศึกษาว่าปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันที่เกิดขึ้นใน active sludge floc และ biofilm ซึ่งมีออกซิเจนได้ในระดับต่ำได้ดีกว่าใน bulk liquid ซึ่งมีออกซิเจนสูงกว่า (Bitton, 1994) หรืออาจกล่าวได้ว่าอัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชันจะสูงเมื่ออยู่ในสภาพแอนน็อกซิก (ชัยพร ภูประเสริฐ, 2538)

4. ค่าความเป็นกรด-ด่าง

อัตราเร็วของปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันจะเกิดได้ช้าหากความเป็นกรด-ด่างอยู่ในระดับที่สูงกว่า 8.0 และต่ำกว่า 6.0 ระดับความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมที่สุดควรอยู่ในช่วง 7.0-7.5 (US.EPA, 1975) แต่ได้มีการพบว่าปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันในน้ำเสียสามารถเกิดขึ้นได้ที่ความเป็นกรด-ด่าง 11 (Knowler, 1982) ในการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน ความเป็นด่างจะเพิ่มขึ้น ตามทฤษฎีแล้วการเกิดดีไนตริฟิเคชันจะผลิตแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) 3.6 มิลลิกรัม / ปริมาณไนเตรท 1 มิลลิกรัม ที่รีดิวส์ไปเป็นก๊าซไนโตรเจน

ตารางที่ 2 แสดงผลของ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่อ Bacterial Denitrification (Alexander, 1977)

	ค่าความเป็นกรด-ด่าง					
	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0
	(mg gas evolved/hr/g cell nitrogen)					
<i>Paracoccus denitrificans</i>	0	64	105	168	214	116
<i>Pseudomonas denitrificans</i>	0	15	196	138	92	0
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0	12	218	246	251	13
<i>Bacillus licheniformis</i>	4	4	108	125	102	60

5. อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งซึ่งมีผลกระทบต่อปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน ปฏิกิริยาจะเกิดได้ดีในอุณหภูมิช่วง 35-50 องศาเซลเซียส และยังสามารถเกิดได้ที่อุณหภูมิต่ำ (5-10 องศาเซลเซียส) แต่ปฏิกิริยาจะช้าลง (Bitton, 1994) และที่ 0 องศาเซลเซียส ปฏิกิริยาจะไม่เกิดเลย (St.Amznt และ McCarty, 1969) มีรายงานว่า ที่อุณหภูมิต่ำ (ต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส) จะส่งผลกระทบต่อปฏิกิริยาได้มากกว่าที่อุณหภูมิสูง เช่น ในน้ำเสียที่มีอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส จะเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันได้ประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ ของดีไนตริฟิเคชันที่ 20 องศาเซลเซียส (Anderson และ Ibrahim, 1978) และที่อุณหภูมิสูงถึง 60-65 องศาเซลเซียส ก็ยังสามารถเกิดปฏิกิริยาได้ แต่ถ้าอุณหภูมิสูงกว่านี้อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะลดลงอย่างรวดเร็วเช่นเดียวกัน (Knowler, 1982)

6. โลหะหนัก

โลหะหนักบางชนิดช่วยส่งเสริมการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน เช่น โมลิบดีนัม และ ซีลีเนียม ซึ่งช่วยในการสร้าง formate dehydrogenase ซึ่งเป็นเอนไซม์สำคัญในเมทาบอลิซึมของ เมธานอล และโมลิบดีนัมยังจำเป็นในการสังเคราะห์ nitrate reductase (Bitton, 1994)

2.8 ความสำคัญของชนิดและปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนที่มีต่อการกำจัดไนโตรเจน

นักวิจัยพบว่าอัตราเร็วของปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันขึ้นอยู่กับความยากง่ายในการย่อยสลายตามชนิดของสารอินทรีย์คาร์บอน อัตราเร็วของดีไนตริฟิเคชันมีค่าสูงประมาณ 0.05-0.07 ต่อวัน สำหรับสารอินทรีย์คาร์บอนที่ย่อยได้ง่ายอาจเป็นสารอินทรีย์คาร์บอนในน้ำเสีย หรือสารเคมีที่เติมลงไป และมีค่าต่ำประมาณ 0.02 ต่อวัน สำหรับสารอินทรีย์คาร์บอนภายในเซลล์จุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นในระบบบำบัดน้ำเสียซึ่งย่อยสลายยาก (ยงยุทธ วงศ์ประภาณีวัฒน์, 2539)

ดีไนตริฟิเคชันแบบที่เรีย เป็นสิ่งมีชีวิตที่พบได้หลายกลุ่มทั้งความหลากหลายทางสรีรวิทยา และอนุกรมวิธาน ไม่มีหลักเกณฑ์ที่แน่นอนในการบ่งชี้ว่าสิ่งมีชีวิตกลุ่มใดจะเป็นพวกดีไนตริฟิเคชันแต่พบว่า ในกลุ่ม Enterobacteria จะไม่มีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน เพราะการรีดิวส์ไนเตรทจะเป็นแบบ Assimilation แล้วได้แอมโมเนีย และพบว่าปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันที่สมบูรณ์ (รีดิวส์ไนเตรทจนได้ก๊าซไนโตรเจน) จะอยู่ในกลุ่มของแบคทีเรียเป็นกลุ่มใหญ่ (Zumft, 1997) ส่วนในกลุ่มของแอกติโนมัยซิส พบว่าเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันเช่นกันใน *Streptomyces violaceoruber* และ *S. nitrospoeus* พบว่าเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันแบบไม่สมบูรณ์โดยผลผลิตสุดท้ายได้แก่ Nitric oxide (NO) และ Nitrous oxide (N₂O) (Albercht et al., 1997) ส่วนราพบว่าราในกลุ่มของ *Fusarium* สามารถรีดิวส์ไนเตรทในสภาวะไร้ออกซิเจนแล้วเกิดไนตริกออกไซด์ ไนตรัสออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจน และในบางสายพันธุ์ก็สามารถรีดิวส์ไนเตรทได้เช่นกัน (Shoun et al., 1992)

จากการศึกษาเกี่ยวกับดีไนตริฟิเคชันแบบที่เรียกับสิ่งแวดล้อมมีรายงานว่า ดีไนตริฟิเคชันแบบที่เรียมีอยู่ประมาณ 10-15 เปอร์เซ็นต์ ของแบคทีเรียในแหล่งที่เกิดมลพิษ การบำบัดสภาพแวดล้อมในบริเวณที่มีออกซิเจนไปจะมี แอโรบิก แบคทีเรีย และรา ซึ่งบำบัดโดยการย่อยสลายสารอาหาร แต่ในบริเวณที่ไม่มีออกซิเจนดีไนตริฟิเคชันแบบที่เรียจะมีความสำคัญมากในการบำบัดน้ำเสียโดยย่อยสลายอินทรีย์ซึ่งจะเกิดได้ดีถ้ามีไนเตรทอยู่ด้วย (Casella and Payne, 1996)

2.9 ชานอ้อย

ชานอ้อยเป็นผลผลิตพลอยได้จากโรงงานอุตสาหกรรมทำน้ำตาล หลังจากนำอ้อยผ่านกระบวนการบีบน้ำอ้อยออกแล้ว ส่วนที่เหลือคือชานอ้อยจะมีประมาณ 12 เปอร์เซ็นต์ (Rangnekar, 1988) ส่วนใหญ่ประกอบด้วยน้ำ 46 - 52 เปอร์เซ็นต์ ไฟเบอร์ 43 - 52 เปอร์เซ็นต์ และมีสารที่ละลายน้ำได้ (soluble solid) 2 - 6 เปอร์เซ็นต์ ส่วนใหญ่เป็นน้ำตาลปนอยู่เล็กน้อย ส่วนประกอบเหล่านี้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของอ้อย การตัด และประสิทธิภาพของโรงงาน (เกษตรฯ พูลคำ, 2537) ส่วนที่เป็นไฟเบอร์จะไม่ละลายน้ำ ประกอบด้วย เซลลูโลส (Cellulose), เพนโตแซน (Pentosans) และ ลิกนิน (Lignin)

2.9.1 การใช้ประโยชน์จากชานอ้อย

ในปีหนึ่งๆ มีชานอ้อยที่ผลิตได้ในประเทศไทยไม่ต่ำกว่า 4 ล้านตัน ซึ่งร้อยละ 30 ของชานอ้อยเหล่านี้ใช้เป็นพลังงานความร้อนในโรงงานน้ำตาล ยังสามารถใช้ผลิตเป็นพลังงานในรูปแบบต่างๆ ได้ เช่น เป็นชานอ้อยอัดแท่ง ถ่านอัดแท่ง และผลิตเป็นเชื้อเพลิงเหลว นอกจากนี้ยังใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมการผลิตวัสดุอีกหลายประเภท เช่น การผลิตเยื่อกระดาษ การผลิตแผ่นไม้ประดิษฐ์ การทำ α -cellulose เพื่อผลิตเรยอน การทำพลาสติกจากลิกนินของชานอ้อย การสกัดไซทอล (เกษตรฯ พูลคำ, 2537) และใช้เป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง (ประธาน เสนีย์ ญ อยุธยา, 2536)

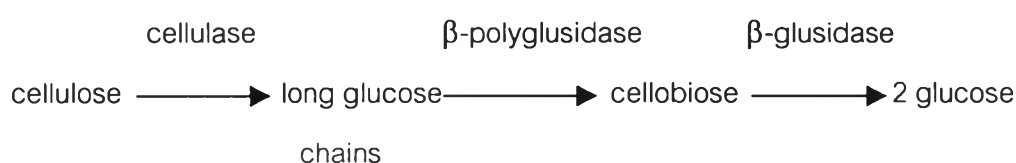
การนำเชื้อดีไนตริไฟอิงค์แบคทีเรียมาใช้ประโยชน์เพื่อการลดปริมาณไนเตรทนี้ มีรายงานว่ามีการนำกระดาษหนังสือพิมพ์ซึ่งมีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบมาใช้เป็นแหล่งอาหาร (Vолоkita et al., 1995 ; ศักดิ์ชัย ถวัลย์วรกิจ และ สุธา คงประเวชนนท์, 2540) ดังนั้นชานอ้อยซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรซึ่งเป็นเซลลูโลส จึงน่าจะนำมาประยุกต์ใช้เป็นแหล่งอาหารของเชื้อดีไนตริไฟอิงค์แบคทีเรียในการลดไนเตรทได้เช่นกัน

2.10 ดีไนตริไฟอิงค์ แบคทีเรีย (Denitrifying Bacteria) กับการบำบัดน้ำเสีย

กระบวนการดีไนตริฟิเคชันซึ่งเกิดขึ้นในคอลัมน์นั้น เป็นการลดสารประกอบไนเตรทในน้ำด้วยการลดออกซิเจนโดยการกระทำของจุลินทรีย์ซึ่งเกิดขึ้นเป็นลำดับขั้นจาก ไนเตรท เป็นไนไตรท์ และกลายเป็นก๊าซไนโตรเจนในที่สุด ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้ส่วนใหญ่เป็นพวกเฮเทอโรโทรป

คือต้องการอินทรีย์สารเป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงาน และในการทดลองได้ให้กากขานอ้อยซึ่งเป็นเซลลูโลสเป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงาน

กากขานอ้อยซึ่งเป็นเซลลูโลสนั้นไม่สามารถละลายน้ำ จึงไม่สามารถผ่านผนังเซลล์ของจุลินทรีย์เข้าไปภายในเซลล์ได้ จึงต้องทำการย่อยสลายให้มีโมเลกุลเล็กลงจึงจะผ่านผนังเซลล์เข้าไปได้ และจึงจะถูกนำไปใช้ในรูปของแหล่งคาร์บอนและพลังงาน การย่อยสลายเซลลูโลสในขั้นแรกนั้นเกิดจากการกระทำของเอนไซม์เซลลูเลส และต่อมาเป็นการกระทำของเอนไซม์อีกสองชนิด จนเกิดเป็นกลูโคส ดังแสดงในสมการ ดังนี้



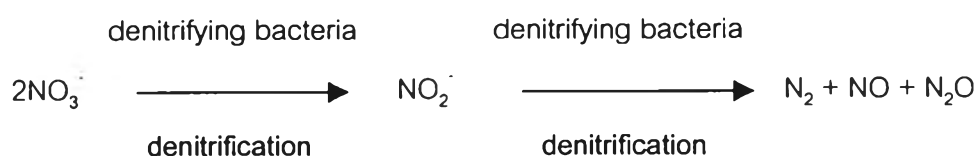
จากนั้นดีไนโตรไฟอิงค์แบคทีเรีย จะใช้กลูโคสเป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงาน และใช้ในเตอรทเป็นตัวรับอิเล็กตรอนแทนออกซิเจน ทำให้ไนเตรทเปลี่ยนสภาพเป็นไนโตรท์ และไนโตรเจนในที่สุด ซึ่งในขณะที่ทำการทดลองนั้นมีปฏิกิริยาเกิดขึ้นดังนี้

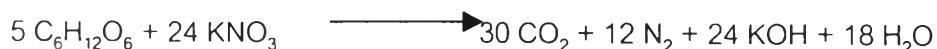
1. Assimilation nitrate reduction

จะเปลี่ยนไนเตรทเป็นแอมโมเนีย เป็นการสังเคราะห์เซลล์ (biosynthesis)

2. Dissimilation nitrate reduction

โดยจุลินทรีย์จะใช้ไนเตรทเป็นตัวรับอิเล็กตรอนแทนออกซิเจนในกระบวนการหายใจ หรือกระบวนการที่ให้พลังงานในสภาพที่ขาดออกซิเจน จะลดสารประกอบไนเตรทในน้ำไปเป็นไนโตรท์ และไนโตรเจนในที่สุด ดังสมการ





นอกจากนี้ถ้ามีการทดลองต่อไปอาจมีการใช้แหล่งคาร์บอนจากภายในเซลล์ของจุลินทรีย์เอง เนื่องมาจากมีการขาดแหล่งคาร์บอนภายนอก ซึ่งเป็นการย่อยสลายตัวเอง



2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กิตติ เกษตรกรรม (2535) ได้ทำการศึกษาการกำจัดไนเตรทจากน้ำด้วยกระบวนการออกซิโดโทรฟิก ดีไนตริฟิเคชัน โดยทำการทดลองกับน้ำดิบสังเคราะห์ที่เตรียมขึ้นมาจากโปแตสเซียมไนเตรท และสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียชนิด *Thiobacillus denitrificans* กำหนดให้ความเข้มข้นของไนเตรทประมาณ 25, 50 และ 75 มิลลิกรัม/ลิตร และระยะเวลาการกักเก็บน้ำเป็น 10 และ 20 ชั่วโมง พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัด 100 เปอร์เซ็นต์ แต่มีข้อเสียคือปริมาณซัลเฟต และความกระด้างในน้ำเพิ่มขึ้น

ศักดิ์ชัย ถวัลย์วรกิจ และ สุภา กงประเวชนนท์ (2540) ได้ศึกษาการกำจัดไนเตรทในน้ำด้วยวิธีทางชีวภาพ โดยทำการศึกษาในคอลัมน์ด้วยการบรรจุกระดาษหนังสือพิมพ์ ทำการเปรียบเทียบระหว่างกระดาษหนังสือพิมพ์ 3 ชนิด โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีปริมาณไนเตรท 50 มิลลิกรัม/ลิตร ที่อัตราการไหล 5.5 มิลลิลิตร/นาที พบว่าสามารถกำจัดไนเตรทได้ถึง 96.5 % คุณภาพน้ำหลังบำบัดใส ไม่มีตะกอนขุ่น เมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลเป็น 10 มิลลิลิตร/นาที พบว่าสามารถกำจัดไนเตรทได้ 93.6% แต่ที่ 10 มิลลิลิตร/นาที แต่คุณภาพน้ำหลังบำบัดน้ำมีความขุ่นและพบตะกอนในน้ำ

Boussaid, Martin และ Morvan (1988) ทำการศึกษาระบบการดีไนตริฟิเคชันในน้ำบาดาลด้วยสารประกอบของแข็งคาร์บอน โดยใช้ฟางข้าว และข้าวโพดเป็นแหล่งคาร์บอน โดยพบว่าการลดลงของไนเตรทในบ่อบาดาลเป็นไปอย่างรวดเร็วถึง 10 – 20 มิลลิกรัม/ลิตร ไนเตรท

Nurizzo และ Mezzanatte (1992) ทำการศึกษาระบบดีไนตริฟิเคชันในน้ำดื่มโดยทำการศึกษาในถังปฏิกรณ์ทรายที่มีจุลชีพเคลือบ เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีปริมาณไนเตรท 0.4 –

1.5 กิโลกรัม ไนโตรเจนไนโตรเจนต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน โดยกำหนดอัตราการไหล downflow ที่ 20 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง โดยพบว่าอัตราการกำจัดไนโตรเจนโดยใช้น้ำตาล หรือกลูโคสไซรัป เป็นแหล่งคาร์บอนจะมีประสิทธิภาพถึง 95 เปอร์เซ็นต์

AbuGhararah ZH (1996) ได้ทำการศึกษากระบวนการไบโโอลจิคอล ดีไนตริฟิเคชัน ของ น้ำดื่มที่มีการปนเปื้อนไนเตรตสูง โดยเปรียบเทียบการใช้แหล่งคาร์บอนที่แตกต่างกัน และโหลด ไนโตรเจนที่ระดับต่างๆ คาร์บอนที่ใช้ ได้แก่ เอทานอล เมทานอล และกรดอะซีติก และ ระดับ การโหลดไนโตรเจนอยู่ในช่วง 0.240 – 1.30 กิโลกรัมไนเตรต-ไนโตรเจน ต่อลูกบาศก์เมตร กัน พบว่าเมทานอลมีการกำจัดไนเตรตได้ดีที่สุด อย่างไรก็ตามพบว่ามีการสะสมของไนโตรท์

Natusck และ Welander (1996) ได้ทำการศึกษาถึงการใช้แหล่งคาร์บอนที่แตกต่างกัน และการเกิดดีไนตริฟิเคชันของ activated sludge bacteria ในการบำบัดน้ำเสีย โดยทำการศึกษา แบบกะในระยะเวลา พบว่า การใช้แหล่งคาร์บอนที่แตกต่างกัน ได้แก่กรดอะซีติก เมทานอล crude syrup, hydrolyzed starch นั้นมีผลต่ออัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชัน ดีไนตริฟิเคชันยิลด์ สลัดจ์ยิลด์ และแบคทีเรีย โดยกรดอะซีติก และเมทานอลจะมี ดีไนตริฟิเคชันยิลด์สูงกว่า แต่จะมี สลัดจ์ยิลด์ ต่ำกว่า และดีไนตริฟิเคชันแบคทีเรียมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ crude syrup และ hydrolyzed starch นอกจากนี้กรดอะซีติกจะมีอัตราการเจริญ และอัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชันสูงกว่าเมทานอล

Volokita และคณะ (1996) ได้ทำการศึกษาการกำจัดไนเตรตในน้ำดื่ม โดยใช้กระดาษ หนังสือพิมพ์ด้วยกระบวนการทางชีวภาพ โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีปริมาณไนเตรต 100 มิลลิกรัม/ลิตร ทำการศึกษา โดยใช้กระดาษหนังสือพิมพ์บรรจุลงในคอลัมน์เป็นแหล่งคาร์บอน และตัวค้ำจุนจุลินทรีย์ พบว่าสามารถกำจัดไนเตรตได้อย่างสมบูรณ์ และไม่มีไนโตรท์สะสมด้วย นอกจากนี้ยังพบว่ากำจัดขึ้นกับอุณหภูมิด้วย

Fuchs, Schatzmayr และ Braun (1997) ได้ทำการศึกษาการกำจัดไนเตรตในน้ำดื่มโดย ใช้ถึงปฏิกรณ์ที่มีจุลชีพเคลือบบนเมมเบรน โดยใช้น้ำดิบ 100 มิลลิกรัม/ลิตรในหน่วยไนเตรต อัตรา การเกิดดีไนตริฟิเคชันที่ดีที่สุดสามารถทำได้ถึง 1230 มิลลิกรัมไนเตรต-ไนโตรเจน/ตารางเมตร/วัน

Soares และ Abeliovich (1998) ได้ทำการศึกษากระบวนการไบโโอลจิคอล ดีไนตริฟิเคชันในน้ำดื่ม โดยทำการศึกษาในถังปฏิกรณ์ที่มีการบรรจุฟางข้าวเป็นแหล่งคาร์บอน พบว่าอัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชันสูงสุด 0.053 กรัมไนโตรเจน/ลิตร/วัน