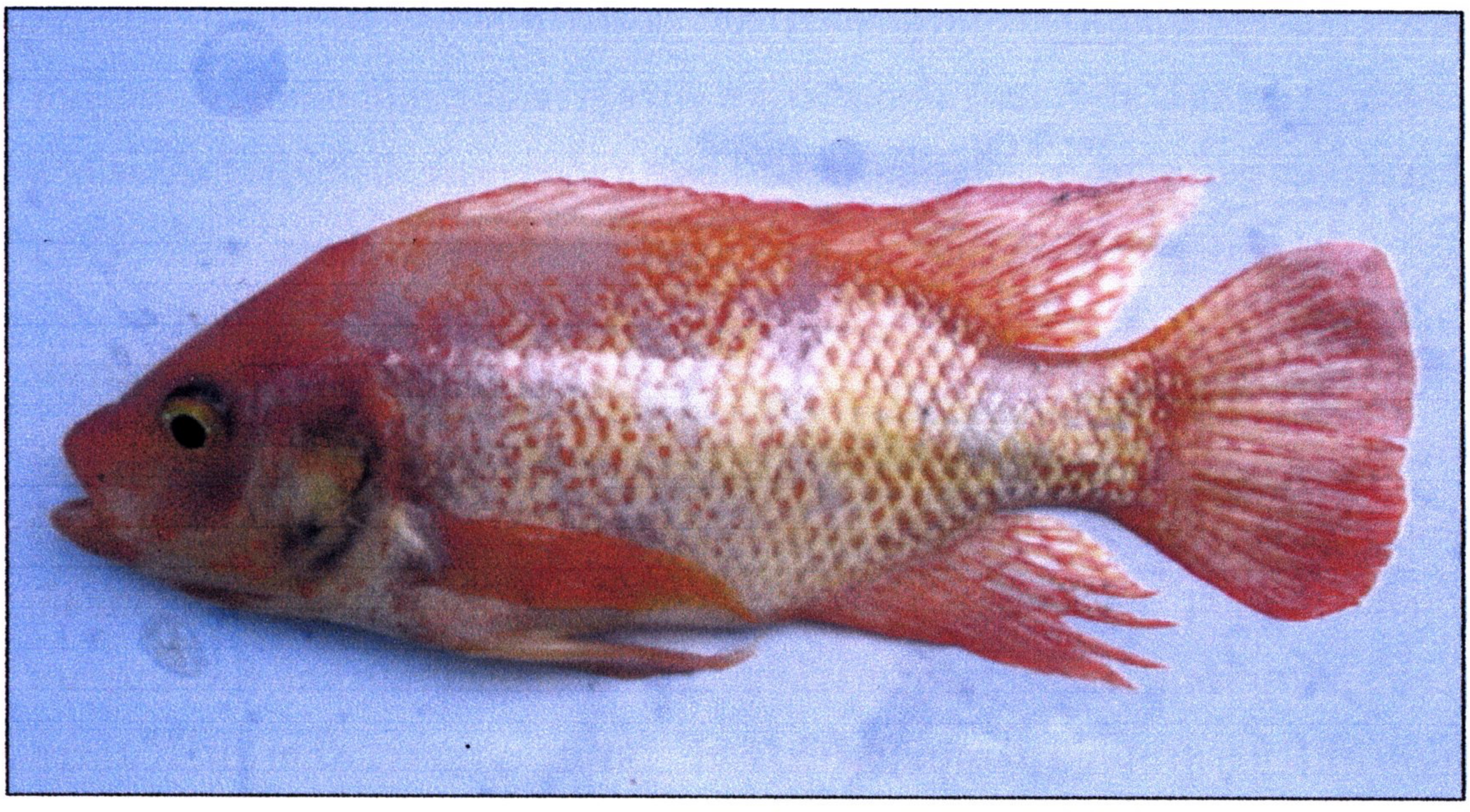
# บทที่ 2

# เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

## ปลานิลสีแดง

ปลานิลนำเข้ามาเพาะเลี้ยงในประเทศไทยเมื่อปี พ.ศ. 2508 โดยเจ้าฟ้าอากิฮิโต-มกุฏราชกุมารแห่งประเทศญี่ปุ่น ได้ทรงนำปลานิลจำนวน 50 ตัว ขึ้นทูลเกล้าฯ ถวายแด่พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว เมื่อวันที่ 8 มีนาคม 2508 และได้ทรงโปรดเกล้าฯ ให้เลี้ยงไว้ในบ่อดินขนาด 10 ตารางเมตร ในบริเวณสวนจิตรลดา พระราชวังสวนดุสิต และโปรดเกล้าพระราชทานชื่อปลาชนิดนี้ว่า "ปลานิล" อีก 1 ปี ต่อมาได้ทรงพระราชทานลูกปลาที่เกิดจากพ่อแม่ที่เลี้ยงไว้แก่กรมประมง เพื่อนำไปเลี้ยงและเพาะขยายพันธุ์ จากการเพาะพันธุ์ในระยะหลัง ปรากฏว่ามีลูกปลานิลจำนวนหนึ่งมีสีสันผิดไปจากเดิมอย่างเด่นชัด โดยเฉพาะสีลำตัว ซึ่งปกติเป็นสีเขียวปนน้ำตาลดำ ได้เปลี่ยนเป็นสีขาวอมชมพู เหลือง ส้ม หรือแดง จัดได้ว่าเป็นการผ่าเหล่า (mutant) ซึ่งพบครั้งแรกที่สถานีประมงจังหวัดอุบลราชธานีเมื่อ ปี พ.ศ. 2511 โดยพบปะปนอยู่ในบ่อเลี้ยงปลานิล มีลักษณะคล้ายคลึงกับปลานิลมาก ต่างกันตรงที่สีของลำตัว กล่าวคือในปลานิลธรรมดามีเม็ดสีดำ (melanin pigments) แต่ในปลาที่พบใหม่นี้มีเม็ดสีหลายชนิดเช่น สีแดง สีส้ม สีส้มเหลือง และ สีส้มแดง แต่บางตัวอาจมีเม็ดสีดำปนอยู่บ้างซึ่งกระจายอยู่ทั่วลำตัว และมีจุดสีแดงหรือสีส้มเรียงกันเป็นแถวจึงทำให้เห็นเป็นแถบสีส้มอยู่กระจาย (ภาพที่ 1) ซึ่งจะมีความต่างกับปลานิลที่มีลำตัวสีเขียว หรือเขียวเทาปนน้ำเงิน ลักษณะที่มีความแตกต่างกันที่เห็นได้อย่างชัดเจนคือ ในช่องท้องของปลานิลสีแดงจะมีปริมาณไขมันต่างกับปลานิล และสีบริเวณผนังช่องท้องของปลานิลสีแดงมีสีขาวเนื่องจากไม่มีเม็ดสีดำ ส่วนในปลานิลผนังช่องท้องจะมีสีดำ เนื่องจากมีเม็ดสีดังกล่าวปะปนอยู่ และในปี พ.ศ. 2527 สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ได้ทรงพระราชทานชื่อปลาชนิดนี้ว่า "ปลานิลสีแดง" แต่มักจะเรียกกันทั่วๆ ไปว่า "ปลานิลแดง" (พรรณศรี, 2531)



**ภาพที่ 1** รูปร่างลักษณะทั่วไปของปลานิลสีแดง (Red tilapia, *(Oreochromis niloticus)* X (*Oreochromis mossambicus*))

จากการตรวจสอบปลาในตระกูลปลานิลที่เลี้ยงในประเทศไทย กับการศึกษาถึงลักษณะภายนอกของปลานิลสีแดงสายพันธุ์ไทย และจากการตรวจสอบโดยวิธีอีเลคโตรโฟรีซีส (electrophoresis) โดยมหาวิทยาลัยสเตอร์ลิงประเทศอังกฤษและมหาวิทยาลัยฟิลิปปินส์ประเทศฟิลิปปินส์ สรุปได้ว่าปลานิลสีแดงสายพันธุ์ไทยในปัจจุบันเป็นลูกผสมระหว่างปลานิล (*Oreochromis niloticus*) และปลาหมอเทศ (*Oreochromis mossambicus*) โดยมีความถี่ของยีนส์ปลานิล 78 % และปลาหมอเทศ 22 % จะเห็นได้ว่าปลานิลสีแดงสายพันธุ์ไทยมีลักษณะของปลานิลและปลาหมอเทศรวมกัน กล่าวคือ ปากเฉียงขึ้นคล้ายปลาหมอเทศและลักษณะลำตัวคล้ายปลานิล (พรรณศรี, 2531) จำนวนก้านครีบแข็งและก้านครีบอ่อน และสัดส่วนบนลำตัวของปลาทั้งสองชนิดมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ปลานิลสีแดงมีลำตัวสีแดง ส้ม แดงส้ม ชมพู หรือขาว บางตัวมีเกล็ดสีแดงและสีเงินเป็นหย่อมๆ ปลานิลสีแดงมีเกล็ด 3 แถว ที่บริเวณแก้ม ครีบหลังมีอันเดียว ประกอบด้วยก้านครีบอ่อน 12-13 อัน ก้านครีบแข็ง 15-17 อัน ครีบอก มีเฉพาะก้านครีบอ่อน 13 อัน ครีบท้องมีก้านครีบอ่อน 5 อัน ก้านครีบแข็ง 1 อัน ครีบก้น มีก้านครีบอ่อน 9-11 อัน ก้านครีบแข็ง 3 อัน และครีบหางมีก้านครีบอ่อน 16-18 อัน จำนวนเกล็ดบนเส้นข้างลำตัว 28-33 เกล็ด และเกล็ดรอบคอดหาง 18-19 เกล็ด ปลานิลสีแดงเป็นปลาที่มีนิสัยก้าวร้าว เป็นทั้งปลาที่กินทั้งพืชและสัตว์ เช่นเดียวกับปลานิลธรรมดา แต่ค่อนข้างจะชอบกินสัตว์มากว่า คือ ปลานิลสีแดงจะกินปลาอื่นที่มีขนาดเล็กกว่า

พ่อแม่ปลาบางครั้งก็จะกินลูกปลาซึ่งลักษณะพฤติกรรมเช่นนี้ไม่ปรากฏในปลานิลธรรมดา มีการผสมพันธุ์และวางไข่เหมือนกับปลานิลธรรมดา คือ สามารถผสมพันธุ์และวางไข่ได้ปีละประมาณ 3-4 ครั้ง ตัวเมียจะเริ่มวางไข่เมื่อมีความยาวเฉลี่ย 6.5 เซนติเมตร น้ำหนักเฉลี่ย 200 - 250 กรัมจะให้ลูกรุ่นละ 500 - 1000 ตัว (มานพ และคณะ, 2527; พรรณศรี, 2531)

## ปลานิลแปลงเพศ

ปัจจุบันการเลี้ยงปลานิลในเชิงพาณิชย์มักนิยมเลี้ยงเฉพาะเพศผู้ เนื่องจากการเลี้ยงร่วมกันระหว่างเพศผู้และเพศเมีย มักจะมีปัญหาความหนาแน่นของลูกปลาและขนาดปลาเมื่อเก็บเกี่ยวผลผลิต เพราะปลานิลเพศเมียสามารถสืบพันธุ์วางไข่ได้ตั้งแต่อายุ 2 เดือน ทำให้มีลูกปลาหนาแน่นในบ่อ อีกทั้งปลานิลเพศเมียต้องสูญเสียพลังงานไปในการสร้างไข่และอนุบาลลูกปลาโดยการอมไว้ในปากเป็นเวลาประมาณ 10 วัน จึงทำให้แม่ปลาไม่ได้กินอาหารทำให้น้ำหนักลด ซึ่งแนวทางหนึ่งที่จะช่วยเพิ่มผลผลิตการเลี้ยงให้ได้ปลาที่มีขนาดใหญ่และใกล้เคียงกันเมื่อจับขาย คือการเลี้ยงปลานิลเพศผู้ทั้งหมดโดย ดีรี (2543) กล่าวถึงการแปลงเพศปลานิลโดยวิธีการการใช้ฮอร์โมนเพศโดยให้กินอาหารผสมฮอร์โมน 17–เมทธิลเทสโท สเตอร์โรน (17-methyltestosterone หรือ 17-MT) ความเข้มข้น 40-60 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม เป็นระยะเวลานาน 28-30 วัน แต่ขั้นตอนการผลิตลูกปลาแปลงเพศเหล่านี้ค่อนข้างยุ่งยาก ต้องมีความรู้ความชำนาญเพียงพอ อีกทั้งอาจเป็นอันตรายต่อผู้ผลิตลูกพันธุ์ปลา นอกจากนั้นฮอร์โมน 17–เมทธิลเทสโทสเตอร์โรนต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศ มีราคาแพง และเสื่อม คุณภาพได้ง่าย โดยเฉพาะในสภาพภูมิอากาศร้อนอย่างในประเทศไทย ทำให้ต้นทุนการผลิตปลาเพศผู้ในลักษณะนี้ค่อนข้างสูง และประสิทธิภาพการผลิตก็ไม่สม่ำเสมอ หากลูกปลากินอาหารผสมฮอร์โมนไม่ครบ ก็จะให้ผลผลิตเพศผู้ไม่ได้ 100 % อย่างไรก็ตามแม้ว่าฮอร์โมนเหล่านี้จะได้รับการยืนยันว่าไม่มีผลตกค้างในเนื้อปลา โดยเฉพาะในปลาที่มีขนาดจับขายได้ แต่ก็ยังมีผู้บริโภคบางส่วนที่ไม่ยอมบริโภคปลานิลที่ถูกเปลี่ยนเพศด้วยฮอร์โมนเหล่านี้

## ลักษณะน้ำในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ

น้ำในบ่อปลาประกอบด้วยสารละลาย สารแขวนลอยและก๊าซต่างๆ สารละลายในน้ำได้แก่ อิออนต่างๆ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ เช่น $HCO_3^-$ $Cl^-$ $SO_4^{2-}$ รวมทั้งสารอินทรีย์ต่างๆ สารแขวนลอยอาจเป็นได้ทั้งสารอินทรีย์และอนินทรีย์ จุดแบ่งแยกระหว่างสารละลาย และสารแขวนลอยไม่มีหลักเกณฑ์ตายตัว สิ่งที่ผ่านกระดาษกรองแบบ GF/C ขนาดรู 1.2 ไมครอน หรือ milliphore membrane ขนาดรู 0.45 ไมครอน ถือว่าเป็นสารละลาย สิ่งที่ติดค้างอยู่บนกระดาษกรองดังกล่าวถือ

เป็นสารแขวนลอยหรืออนุภาคของของแข็งมนุษย์มองไม่เห็นอนุภาคของสารละลายแต่อาจเห็นสีของสารละลาย และมองเห็นอนุภาคของของแข็งหรือสามารถรับรู้ได้ว่ามีตัวตน ก๊าซที่พบในน้ำธรรมชาติได้มากที่สุด คือ คาร์บอนไดออกไซด์ ออกซิเจน และไนโตรเจน นอกจากนี้ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน อาจพบก๊าซมีเทน ($CH_4$) และไฮโดรเจนซัลไฟด์ ($H_2S$) น้ำที่มีพีเอชสูงอาจพบก๊าซแอมโมเนียได้ง่าย (มั่นสิน และไพพรรณ, 2536)

แม้ว่าน้ำมีไอออนต่างๆ ละลายอยู่มากมาย แต่ไอออนที่พบมากที่สุดมีเพียงไม่กี่ตัวคือ แคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียม โปแตสเซียม ไบคาร์บอเนต คลอไรด์ และซัลเฟต สารที่อาจพบได้มากแต่ไม่ใช่อิออน คือ ซิลิกา ซึ่งถือว่าเป็นสารประกอบที่ไม่แตกตัวเป็นอิออน อิออนคาร์บอเนตก็พบในน้ำธรรมชาติบ้าง แต่ไม่มากเหมือนไบคาร์บอเนต

สารอินทรีย์หลายชนิดละลายอยู่ในน้ำ และมีกำเนิดมาจากสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในบ่อหรือมีสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในแหล่งรองรับน้ำฝน ตัวอย่างของสารละลายอินทรีย์ได้แก่ กรดอะมิโน โปรตีน น้ำตาล กรดไขมัน ไวตามินและกรดแทนนิน (tannin acid) สารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปของสารแขวนลอยได้แก่ แบคทีเรีย แพลงก์ตอนพืช และสัตว์ ซากจุลินทรีย์ที่เน่าเปื่อย ส่วนสารแขวนลอยอนินทรีย์ได้แก่อนุภาคคอลลอยด์ของดินเหนียวชนิดต่างๆ

สิ่งที่อยู่ในน้ำอาจจำแนกออกเป็นของแข็ง (solids) รูปต่างๆ ได้ดังนี้

Total Solids (TS) หมายถึง สารทั้งหมดที่มีอยู่ในน้ำทั้งที่มองเห็นและมองไม่เห็น เมื่อระเหยน้ำออกจากถ้วย สิ่งที่คงเหลืออยู่คือ TS หรือของแข็งทั้งหมด ความเข้มข้นวัดเป็นหน่วยมิลลิกรัม/ลิตร

Total Volatile Solide (TVS) หมายถึง ของแข็งทั้งหมดที่กลายเป็นไอได้ เมื่อนำเอาของแข็งทั้งหมด (หลังจากระเหยน้ำออกหมดแล้ว) มาเผาที่อุณหภูมิ 550 C° น้ำหนักที่หายไปของของแข็งทั้งหมด คือ TVS

Total Dissolved Solids (TDS) หมายถึงของแข็งที่ละลายน้ำได้ ในการปฏิบัติของแข็งที่สามารถทะลุผ่านกระดาษกรองที่มีรูขนาด 0.45-1.2 ไมครอนถือว่าเป็น TDS หรือของแข็งที่ละลายน้ำได้ TDS ไม่รวมถึงก๊าซชนิดต่างๆ

Dissolved Volatile Solids (DVS) หมายถึง TDS ที่ระเหยกลายเป็นไอได้

Suspended Solids (SS) หมายถึงตะกอนที่แขวนลอยอยู่ในน้ำซึ่งสามารถมองเห็นได้ในทางปฏิบัติ SS หมายถึงของแข็งที่ติดค้างอยู่บนกระดาษกรองที่มีรู ขนาด 0.45 ไมครอน ผลบวกของ SS และ TDS คือของแข็งทั้งหมด (TS) ที่อยู่ในน้ำ

Volatile Suspended Solids (VSS) หมายถึง SS ที่สามารถระเหยเป็นไอได้หรือของแข็งแขวนลอยที่เป็นสารอินทรีย์

สำหรับในบ่อปลาของแข็งที่มีความสำคัญและวัดอยู่เสมอคือ TDS และ VSS TDS ของบ่อปลาเป็นการตรวจวัดความเข้มข้นของปริมาณเกลือแร่ทั้งหมดที่ละลายอยู่ในน้ำ ส่วน VSS หมายถึงแพลงค์ตอนรวมทั้งของแข็งแขวนลอยอื่นๆ ที่เป็นสารอินทรีย์

## ระบบน้ำหมุนเวียนแบบปิด

ระบบน้ำหมุนเวียนแบบปิดจัดเป็นระบบการปรับปรุงคุณภาพน้ำระบบหนึ่ง เพื่อให้สามารถหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ได้อีก การปรับปรุงคุณภาพน้ำสามารถจำแนกเป็น 4 กระบวนการใหญ่ๆ (เกรียงศักดิ์, 2542) ดังนี้

1. กระบวนการทางกายภาพ (Physical unit processes) คือ การกำจัดของแข็งที่ไม่ละลายน้ำที่จมตัวหรือแขวนลอยอยู่ในน้ำออก ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนแรกของการปรับปรุงคุณภาพน้ำ โดยอาศัยหลักการกรองด้วยตะแกรง (screening) การตกตะกอน (sedimentation) การกวน (mixing) การทำให้ลอย (floatation) การกวาด (skimming) การแยกด้วยแรงเหวี่ยง (centrifugation) หรือโดยการอัดอากาศเข้าไปเพื่อให้ฟองอากาศยึดเกาะกับอนุภาคของสาร เป็นต้น

2. กระบวนการทางเคมี chemical unit processes) คือ วิธีการปรับปรุงคุณภาพน้ำโดยอาศัยปฏิกิริยาทางเคมี เช่นการทำให้เป็นกลาง (neutralization) การทำให้ตกตะกอน (precipitation) การกำจัดจุลินทรีย์ก่อโรค (disinfection) การปรับค่ากรด-ด่าง (pH adjustment) เป็นต้น แต่ข้อเสียของวิธีการทางเคมี คือ การเติมสารเคมีลงในน้ำแล้วอาจก่อให้เกิดผลกระทบในด้านอื่นๆได้ อีกทั้งมีความยุ่งยากและมีความซับซ้อน

3. กระบวนการทางชีวภาพ (Biological unit processes) กระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วยวิธีทางชีวภาพเป็นวิธีการที่ประหยัดและไม่ยุ่งยากเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการอื่นๆ จุดประสงค์ของกระบวนการทางชีวภาพ เพื่อกำจัดหรือเปลี่ยนสภาพของสารอินทรีย์ในน้ำ โดยอาศัยจุลินทรีย์ภายใต้สภาวะที่ใช้ออกซิเจน (aerobic) และสภาวะไร้ออกซิเจน (anaerobic) กระบวนการทางชีวภาพ ประกอบด้วย ระบบกรองไหลผ่าน (tricking filter) ระบบแผ่นหมุนชีวภาพ (rotating biological contractor, RBC) ระบบเอเอส (activated sludge) และระบบบ่อธรรมชาติ (natural pond) เป็นต้น

4. กระบวนการทางกายภาพเคมี (Physicochemical unit processes) คือ วิธีการที่อาศัยทั้งทางกายภาพและเคมีเพื่อกำจัดสารอนินทรีย์และอินทรีย์ที่ละลายในน้ำโดยวิธีนี้ต้องอาศัยเทคโนโลยีชั้นสูงขึ้นไป ได้แก่ การใช้สารดูดซับ (carbon adsorption) การแลกเปลี่ยนประจุ (ion exchange) การกรองแบบ ultrafiltration ออสโมซิสผันกลับ (reverse osmosis) การแยกด้วยไฟฟ้าและเยื่อกรอง (electrodialysis) เป็นต้น

การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำโดยระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดหรือระบบปิด (Closed or recirculating systems) เป็นระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีการปรับสภาพน้ำที่มีการใช้แล้วในบ่อเลี้ยงให้มีคุณภาพดีขึ้นเพื่อหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ใหม่ การปรับสภาพน้ำของการหมุนเวียนน้ำแบบปิดส่วนใหญ่ อาศัยขั้นตอนใหญ่ๆ ได้แก่ การกรองทางชีวภาพ (biological filtration) การกรองด้วยการใช้เครื่องกล (mechanical filtration) การกรองทางกายภาพ (physical filtration) และการกำจัดแบคทีเรียก่อโรค (disinfection) เป็นต้น

การกรองเป็นกระบวนการดักหรือแยกอนุภาคของสารแขวนลอยหรือตะกอนต่างๆ ที่มีสภาพเป็น Suspended Solid และพวกจุลชีพต่างๆ น้ำที่เข้าระบบกรองจะไหลผ่านช่องว่างของสารกรอง (Filter media) ซึ่งจับสารต่างๆไว้

ระบบการกรอง แบ่งตามลักษณะการกรอง ได้ 2 ลักษณะ คือ

1. แบ่งตามทิศทางการไหลของน้ำผ่านชั้นกรอง

- แบบไหลลง มีทิศทางการไหลของน้ำผ่านชั้นกรอง
- แบบไหลขึ้น มีทิศทางการไหลเข้าของน้ำผ่านชั้นกรองย้อนจากด้านล่างสู่ ด้านบน มีประสิทธิภาพในการดักตะกอนได้ดีกว่าแบบไหลลง เพราะต้องใช้แรงดันไหลขึ้นได้สะดวก จึงทำให้ตะกอนต่างๆ ที่ไหลมากับน้ำพยายามแทรกเข้าไปภายในของชั้นกรอง
- แบบไหลสองทาง เป็นระบบการกรองทั้งสองด้าน คือ มีทิศทางการไหลของน้ำเข้าสู่ระบบกรองน้ำ 2 ทาง ทั้งน้ำไหลขึ้นและน้ำไหลลง โดยมีการติดตั้งท่อระบายน้ำอยู่ในระดับกึ่งกลางของชั้นกรอง

2. แบ่งตามจำนวนของชั้นกรอง

- แบบสารกรองเดี่ยว มีลักษณะการจัดเรียงของสารกรองอยู่ 3 ลักษณะ คือ จัดเรียงสารกรองที่มีขนาดเล็กอยู่ด้านบนของชั้นกรอง และสารกรองที่มีขนาดใหญ่ขึ้น จัดวางอยู่ระดับล่างลงมาของชั้นกรอง ซึ่งจะทำให้มีอายุการกรองสั้นอุดตันเร็ว จัดเรียงสารกรองขนาดใหญ่อยู่ระดับบนของชั้นกรอง ชั้นต่อมาค่อยๆ เล็กลงตามลำดับและการจัดเรียงสารกรองขนาดใหญ่-เล็กวางปนกันไป ซึ่งประสิทธิภาพและอายุการใช้งานกรองขึ้นกับ ทิศทางการไหลของน้ำผ่านชั้นกรอง โดยการไหลของน้ำผ่านชั้นกรองที่มีช่องว่างมากไปสู่ชั้นกรองที่มีช่องว่างน้อยจะทำให้หลีกเลี่ยงการอุดตันของสารกรองได้ดีขึ้นโดยที่สามารถใช้งานได้มากขึ้น
- แบบสารกรองผสม ใช้สารกรองผสมกัน 2 ชนิด หรือมากกว่า ในการจัดเรียงชั้นสารกรองจะต้องเรียงจากชั้นที่มีขนาดใหญ่ไปสู่ชั้นที่มีขนาดเล็กตามทิศทางของการไหล

## แอมโมเนีย

เป็นสารพิษซึ่งเกิดจากการเน่าสลายของอินทรีย์ไนโตรเจน ซึ่งได้แก่ เศษอาหารเหลือ จำพวกโปรตีน ซากสิ่งมีชีวิต และสิ่งขับถ่ายของสัตว์ การเน่าสลายเกิดจากกิจกรรมของแบคทีเรีย โดยกระบวนการแอมโมนิฟีเคชัน แอมโมเนียที่ได้จากกระบวนการนี้อาจดูดซึมไป เป็นธาตุอาหาร ให้แก่แพลงก์ตอนพืชบางชนิด หรือถูกย่อยสลายให้เป็นไนไตรต์ และไนเตรต ต่อไป ด้วยพวกแบคทีเรีย

แอมโมเนียสามารถอยู่ในน้ำได้ 2 รูปแบบ คือ ก๊าซแอมโมเนียซึ่งไม่แตกตัว (unionized ammonia) กับแอมโมเนียไอออน ซึ่งแตกตัวได้ง่าย (ionized ammonia) แอมโมเนียทั้งสองรูปรวม กันเรียกว่า ปริมาณแอมโมเนียทั้งหมดในน้ำ (total ammonia) การแตกตัวของแอมโมเนียขึ้นอยู่กับ ค่าพีเอชและอุณหภูมิของน้ำ ดังสมการ

$$NH_3 + H_2O \rightleftharpoons NH_4OH \rightleftharpoons NH_4^+ + OH^-$$

$NH_3$ : unionized รูปแบบที่เป็นพิษ

$NH_4OH$ : ขึ้นอยู่กับ พีเอช และอุณหภูมิ

$NH_4^+$ : ionized รูปแบบที่ไม่เป็นพิษ

$$NH_3 + H_2O \rightleftharpoons NH_4^+ + OH^-$$

1.3% pH 7.5 98.7%

เมื่อน้ำมีพีเอชและอุณหภูมิสูงขึ้น แอมโมเนียจะอยู่ในรูปที่ไม่แตกตัว ($NH_3$) ซึ่งเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ (ตารางที่ 1) แต่ถ้าพีเอชและอุณหภูมิของน้ำต่ำลงแอมโมเนียจะแตกตัวให้แอมโมเนียมไอออนซึ่งไม่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำ ทั้งนี้เป็นเพราะว่าประจุบวกที่มีอยู่จะทำให้แอมโมเนียไม่สามารถผ่านเข้าไปภายใน เนื้อเยื่อบริเวณเหงือกของสัตว์น้ำได้ การคำนวณหาปริมาณความเข้มข้นของแอมโมเนียที่ไม่แตกตัว สามารถทำได้ โดยการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนียทั้งหมดในน้ำแล้วคำนวณหาปริมาณ แอมโมเนียที่ไม่แตกตัว เพื่อหาเปอร์เซ็นต์ของแอมโมเนียที่ไม่แตกตัวที่อุณหภูมิและพีเอชขณะนั้น นำค่าที่ได้ไปคูณกับปริมาณแอมโมเนียทั้งหมดในน้ำหารด้วย 100 ตามสูตร คือ

$$\text{แอมโมเนียที่ไม่แตกตัว (ppm)} = \frac{(\text{แอมโมเนียทั้งหมดในน้ำ (ppm)} \times \text{ร้อยละของแอมโมเนียที่ไม่แตกตัว})}{100}$$

**ตารางที่ 1** พิษเฉียบพลันของแอมโมเนียที่มีต่อปลาน้ำจืด

| ชนิด | 96-hr LC50 (มิลลิกรัม/ลิตร) |
|---|---|
| ปลาแชนเนลแคตฟิช | 1.50 to 3.210 |
| ลูกปลาหางนกยูง | 1.24 |
| ปลาลาร์จ์เมาท์แบสส์ | 0.72 to 1.20 |
| ปลาสแตปแบสส์ | 1.10 |
| ปลาบลูกิลล์ | 0.40 to 1.30 |
| ปลาสทิกเคิลแบก | 0.72 to 0.84 |
| ปลาคัตโทรตเทร้า | 0.43 to 0.66 |
| ปลาเรนโบว์เทร้า | 0.32 |

ที่มา : Parker (1995)

จากการศึกษาความเป็นพิษ พบว่า ปลาเทร้าที่เลี้ยงในน้ำที่มีแอมโมเนียในรูปที่ไม่แตกตัวเกิน 0.0125 ส่วนในล้านส่วน ผลผลิตจะลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจน อัตราการเจริญเติบโตลดลง เนื้อเยื่อของ เหงือก ไต และ ตับ ถูกทำลาย ในปลาแชนแนลแคตฟิชอัตราการเจริญเติบโตจะลดลงและเหงือก ถูกทำลาย เมื่อได้รับแอมโมเนียในรูปที่ไม่แตกตัว 0.12 ส่วนในล้านส่วน หรือมากกว่าในธรรมชาติ แหล่งน้ำทั่วไปจะมีแอมโมเนียอยู่ในรูปของแอมโมเนียทั้งหมดในน้ำอยู่ประมาณ 0.001-0.009 มิลลิกรัมต่อลิตร ระดับความปลอดภัยของแอมโมเนียที่เป็นที่ยอมรับและไม่เป็นอันตรายต่อปลา ไม่ควรมีค่าแอมโมเนียในรูปของแอมโมเนียที่ไม่แตกตัวเกิน 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร

วิธีการลดความเป็นพิษของแอมโมเนีย ในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ อาจใช้วิธีการควบคุมคุณภาพน้ำในด้านความเค็ม ปริมาณออกซิเจนในน้ำ อุณหภูมิ และพีเอชของน้ำ โดยเฉพาะพีเอชของน้ำจะมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงมาก เช่น เมื่อพีเอชของน้ำ เพิ่มขึ้นจาก 8.0 เป็น 9.0 ปริมาณแอมโมเนียในรูปที่ไม่แตกตัวจะเพิ่มขึ้นประมาณ 10 เท่า เป็นต้น จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ พบว่าสารประกอบจำพวกคลอไรด์ เช่น โซเดียมคลอไรด์ประมาณ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถลดพิษของแอมโมเนียได้ นอกจากนี้การใช้เครื่องตีน้ำเพื่อลดอุณหภูมิและเพิ่มปริมาณออกซิเจนให้แก่น้ำยังช่วยลดพิษแอมโมเนียได้อีกด้วย ออกซิเจนที่เพิ่มขึ้นจะช่วยส่งเสริมและเร่งกระบวนการ ออกซิเดชันของแบคทีเรียเพื่อให้แอมโมเนียถูกเปลี่ยนไปเป็นไนไตรท์และไนเตรตต่อไป (โชคชัย, 2548) โดยปกติการลดพิษของแอมโมเนีย สามารถเกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติโดยวิธีการทางชีวภาพ แบคทีเรียจำพวกไนตริไฟอิง (nitrifying bacteria) ซึ่งสามารถย่อยสลายแอมโมเนียให้เป็นไนไตรท แบคทีเรีย

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

กลุ่มนี้ ได้แก่ ไนโตรโซโมแนส (Nitrosomonas) และไนโตรแบคเตอร์ (Nitrobacter) ซึ่งโดยปกติแบคทีเรียเหล่านี้สามารถเจริญเติบโตได้ในบ่อ การลดพิษจึงอาจทำได้โดยการส่งเสริมให้แบคทีเรียกลุ่มนี้เจริญเติบโตได้ เช่น หลีกเลี่ยงการใช้ยาปฏิชีวนะ หรือยาฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ การใช้ปูนแคลเซียมคาร์บอเนต เพื่อควบคุมการเปลี่ยนแปลงพีเอช (Parker, 1995)

## ซีโอไลต์

Baron Axel Fredrick Cronstedt นักแร่ธาตุชาวสวีเดนค้นพบซีโอไลต์ ในปี พ.ศ. 1756 และตั้งชื่อว่าซีโอไลต์จากอักษรกรีก 2 คำ ซึ่งมีความหมายว่า “boiling stone” เพราะเมื่อให้ความร้อนหินชนิดนี้จะมีฟองผุดออกมา ซีโอไลต์ที่พบในธรรมชาติมีประมาณ 40 ชนิด และอีกหลายชนิดที่สังเคราะห์ขึ้นได้ในห้องปฏิบัติการ ซีโอไลท์จากธรรมชาติและจากการสังเคราะห์แต่ละชนิดมีความแตกต่างกันทั้งคุณภาพทางฟิสิกส์และทางเคมี การนำมาใช้จึงต้องคำนึงถึงคุณสมบัติที่แตกต่างกันด้วย

คณะกรรมการการจัดทำพจนานุกรมธรณีวิทยา (2530) ให้คำจำกัดความของซีโอไลต์ว่า

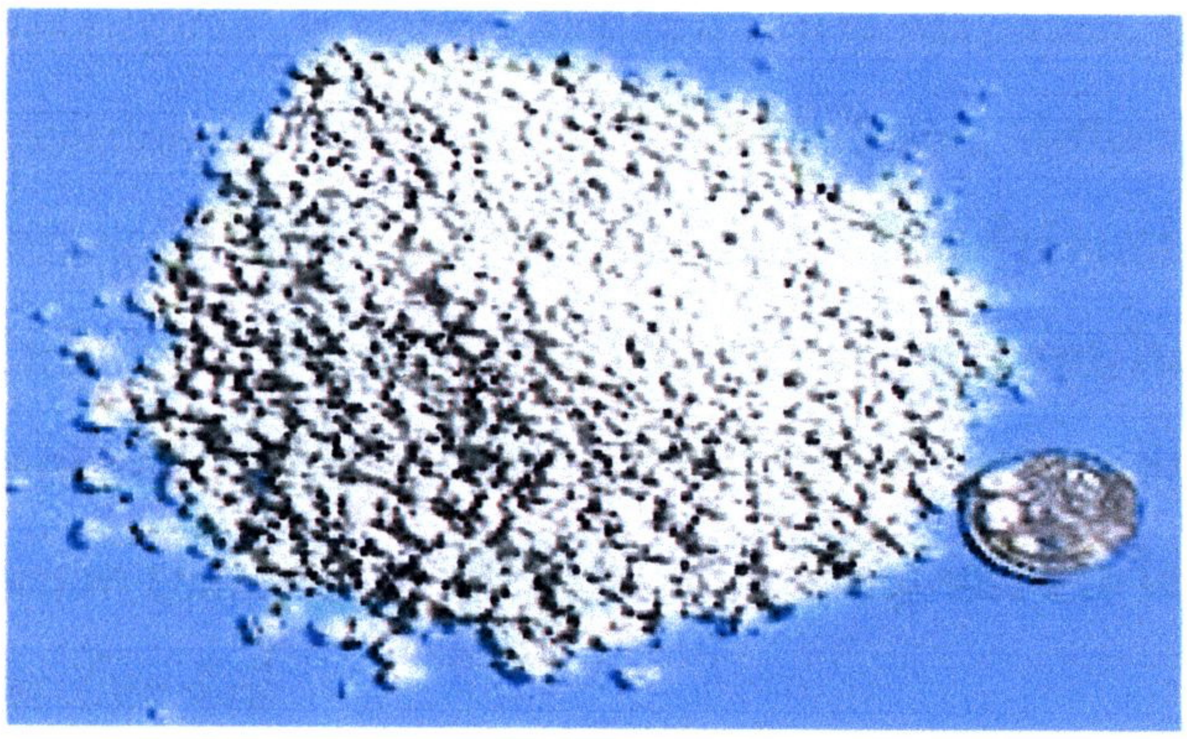
1. กลุ่มแร่ไฮดรัสอะลูมิโนซิลิเกต (hydrous aluminosilicates) ที่มีโซเดียม แคลเซียมหรือโพแทสเซียมประกอบ มีอัตราส่วน Al + Si : O (ในโครงสร้างซิลิเกต) เท่ากับ 1 : 2 แร่ธาตุกลุ่มนี้สามารถรับหรือปล่อยน้ำออกจากโครงสร้างของแร่ได้ง่าย ลักษณะสำคัญอีกประการหนึ่งของแร่กลุ่มนี้ คือ พบเป็นแร่เกิดกับที่ (authigenic mineral) อยู่ในหินตะกอนที่เกิดในทะเลสาบน้ำเค็มในทะเลลึกโดยเฉพาะหินทัฟฟ์ ผลึกสมบูรณ์พบอยู่ในโพรงหินบะซอลท์ (basalt)

2. สารซิลิเกตในธรรมชาติ เช่น กลอโคไนท์ หรือสารสังเคราะห์จำพวกอะลูมิโนซิลิเกตที่นำไปใช้ในการทำน้ำกระด้างให้เป็นน้ำอ่อนและใช้ดูดซึมก๊าซหรือทำให้สารแห้งตัวเร็ว และยังหมายรวมถึง กลุ่มสารประกอบอินทรีย์ต่างๆ เช่นสารประกอบซัลโฟเรต (sulforate) หรือพวกยางสน

### ลักษณะทั่วไปทางธรณีวิทยาของซีโอไลต์

ซีโอไลต์มักพบอยู่ในโพรงหินบะซอลท์ โดยพบร่วมกับแคลไซท์ (calcite) ดาโทไลท์ (detolite) อะโพฟิลไลท์ (apophyllite) และพรีไนท์ (prenite) องค์ประกอบโดยรวมของซีโอไลต์คล้ายคลึงกับเฟลสปาร์ (feldspars) ในส่วนที่เป็นอะลูมิโนซิลิเกตที่มีโซเดียม แคลเซียม และโพแทสเซียม ที่มีความถ่วงจำเพาะประมาณ 2.0-2.4 มีความแข็งปานกลาง คือ ประมาณ 3 1/2 - 5 1/2 ตาม Mohs scale โดยทั่วไปซีโอไลต์จะมีสีขาว (ภาพที่ 2) แต่อาจมีสีอื่นปนอยู่ด้วย เช่น ชมพูน้ำตาลแดง (Parker, 1984)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 22 ต.ค. 2555
เลขทะเบียน 249974
เลขเรียกหนังสือ



**ภาพที่ 2 ลักษณะของซีโอไลต์**

ซีโอไลต์เป็นผลึกของสารประกอบอะลูมิโนซิลิเกต (Crystalline aluminosilicate) โครงสร้างสามมิติเกิดจากการเชื่อมต่อระหว่างซิลิกอนเตตระออกไซด์ ($[SiO_4]^-$) และอะลูมิเนียมเตตระออกไซด์ ($[AlO_4]^-$) มีอะตอมของซิลิกอน (Silicon) และอลูมิเนียม (Aluminium) อยู่ตรงกลาง ซึ่งเป็นโครงสร้างปฐมภูมิ (Primary building unit) มีลักษณะเป็นทรงเหลี่ยมสี่หน้า (Tetrahedral) และมาเชื่อมต่อกันเป็นโครงสร้างทุติยภูมิ (Secondary building unit) แล้วมาเชื่อมต่อกันเป็นรูปทรงเหลี่ยมหลายหน้า (Polyhedral) โดยรูปแบบการเชื่อมต่อกันเป็นโครงสร้างทุติยภูมิและรูปทรงหลายเหลี่ยมที่แตกต่างกันทำให้ได้ซีโอไลต์ต่างชนิดกัน

โครงสร้างของซีโอไลต์มีลักษณะเป็นรูพรุน มีช่องว่างภายในที่มีรูปแบบที่แน่นอน โดยขนาดของช่องเปิดของโครงร่างผลึกขึ้นอยู่กับจำนวนออกซิเจนในวงแหวน (Ring) โครงสร้างปฐมภูมิมาต่อกันเป็นโครงสร้างหลายเหลี่ยม อาจมีจำนวนเท่ากับ 6 8 10 หรือ 12 และในบางกรณีโพรงภายในอาจมีเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เท่ากันหรืออาจมีขนาดสม่ำเสมอกันตลอด โดยผลึกของซีโอไลต์ที่สมบูรณ์ (Ideal crystal) จะมีลักษณะของโครงสร้างรูพรุนที่เป็นระเบียบ และมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรูต่ำสุดประมาณ 0.3-1.0 นาโนเมตร และขนาดของผลึกยังขึ้นอยู่กับชนิดของซีโอไลต์ จำนวนแคตไอออนและวิธีการปรับสภาพทางกายภาพ เช่น การเผาโดยใช้ความร้อน (Calcination) การชะด้วยของไหล (Leaching) และการปรับสภาพทางเคมี เป็นต้น

**ประโยชน์ของซีโอไลต์**

1. ใช้ในการเป็นสารดูดซับ (Adsorbent) ในกระบวนการแยก (Separation) โดยอาศัยสมบัติของการเป็น Molecular sieve กระบวนการทำสารให้บริสุทธิ์ (Purification) และกระบวนการทำให้แห้ง (Drying)

2. ใช้เป็นสารเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) ในกระบวนการ Alkylation, Cracking, Hydrocraking, Isomerization, Hydrogenation, Dehydrogenation, Hydroalkylation, Methanation และ Reforming

3. ใช้เป็นสารแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange) ในการกำจัดแอมโมเนียในน้ำทิ้งเพื่อแยกโลหะหนักออกจากน้ำเสีย แยกกากกัมมันตภาพรังสี และส่วนประกอบในปุ๋ยปรับปรุงคุณภาพดิน จากคุณสมบัติการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของซีโอไลต์ทำให้สามารถนำไปใช้เป็นเรซิน เพื่อแลกเปลี่ยนกับไอออนบวก Univalent หรือ Divalent Selectivity ของซีโอไลต์ของไอออนบวกที่เป็น Univalent จากมากไปหาน้อย ดังนี้

$$Ag^{+} > Ti^{+} > Na^{+} > K^{+} > NH_4^{+} > Rb^{+} > Li^{+} > Cs^{+}$$

สำหรับไอออนบวกที่เป็น Divalent มีดังนี้

$$Zn^{2+} > Sr^{2+} > Ba^{2+} > Ca^{2+} > Co^{2+} > Ni^{2+} > Hg^{2+} > Mg^{2+}$$

โดยพฤติกรรมการแลกเปลี่ยนไอออนบวกขึ้นอยู่กับ

- ธรรมชาติของไอออนบวก เช่น ขนาด ประจุ
- อุณหภูมิ
- ความเข้มข้นของไอออนบวกในสารละลาย
- ชนิดของไอออนบวกที่รวมตัวกับไอออนบวกในสารละลาย
- ตัวทำละลาย (การแลกเปลี่ยนส่วนมากเกิดขึ้นได้ดีใน Aqueous solution)
- ลักษณะโครงสร้างของซีโอไลต์

4. ใช้เป็นส่วนผสมในผงซักฟอก (Detergent binders) เนื่องจากซีโอไลต์ สามารถแลกเปลี่ยนไอออนบวกได้ปริมาณสูงและรวดเร็ว นอกจากนี้ยังสามารถใช้ซีโอไลต์แทนสารประกอบฟอสเฟตได้อีกด้วย เนื่องจากสารประกอบพวกฟอสเฟตที่ผสมในผงซักฟอกถ้าใช้ในปริมาณที่มากเกินจะทำให้เกิดปัญหามลภาวะได้ กล่าวคือ สารประกอบฟอสเฟตจะทำให้พืชน้ำ และสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กเจริญเติบโตรวดเร็ว ทำให้เกิดปัญหาในการกำจัดเมื่อมีการตายและทับถมมากเข้าจะทำให้แหล่งน้ำเน่าเสีย นอกจากนี้ยังทำให้ปริมาณสัตว์น้ำลดลงได้เนื่องจากการขาดออกซิเจน

5. ใช้เป็นอาหารสัตว์ (Animal nutrition) ใช้ซีโอไลต์เป็นอาหารเสริมสัตว์ปีก และสัตว์ที่กินหญ้าเป็นอาหาร จะช่วยให้เนื้อสัตว์มีคุณภาพดีขึ้น เพิ่มปริมาณไข่ของสัตว์ปีก ปริมาณนม และยังช่วยลดอาการท้องร่วง ลำไส้อักเสบ โรคทางเดินอาหารของสัตว์ได้ (คณัสนันท์ และอุทัยวรรณ, 2548)

6. ใช้ในการปรับปรุงดิน (Soil adjudment) ซีโอไลต์แลกเปลี่ยนไอออนและเก็บความชื้นได้ดี จึงนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดิน โดยซีโอไลต์ชนิด Clinoptilolite จะช่วยจับแอมโมเนียได้สูงและปล่อยออกมาช้าๆ จึงช่วยให้ดินยึดไนโตรเจนไว้ได้นาน (คณัสนันท์ และอุทัยวรรณ, 2548.)

การเลือกใช้ประโยชน์ซีโอไลต์เพื่อวัตถุประสงค์ หรือใช้ประโยชน์ด้านใด ต้องพิจารณาคุณสมบัติของซีโอไลต์ชนิดนั้นให้เหมาะสม เนื่องจากซีโอไลต์มีหลายชนิดมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันออกไป เนื่องมาจากองค์ประกอบ โครงสร้าง และการจัดเรียงตัวของโมเลกุลที่แตกต่างกัน เพื่อก่อให้เกิดประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์สูงสุดและคุ้มค่าต่อการประยุกต์ใช้

**การดูดซับ**

การดูดซับ เป็นขบวนการที่โมเลกุลของสารที่เรียกว่าตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) ซึ่งในตัวกลางใดๆ ไปเกาะบนผิวของสารอีกชนิดหนึ่งถูกนำไปอยู่ในตัวกลางนั้นเรียกว่า ตัวดูดซับ (Adsorbant) การดูดซับมี 2 ชนิด

1. Physical Adsorption เป็นการดูดซับที่สารถูกดูดซับเกาะที่ผิวของตัวดูดซับด้วยอันตรกิริยาที่อ่อน หรือแรงแวนเดอร์วาลส์ และ Electrostatic เกิดได้ง่ายใช้พลังงานในการทำให้เกิดน้อย สามารถเกิดได้ที่อุณหภูมิต่ำ

2. Chemical Adsorption เป็นการดูดซับทางเคมี ที่โมเลกุลของตัวดูดซับทำปฏิกิริยากับพื้นผิวของตัวถูกดูดซับ โดยสร้างพันธะเคมี ทำให้เกิดสารประกอบใหม่ขึ้นและเกี่ยวข้องกับการ Transfer of electron ระหว่างตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับ พลังงานที่ทำให้เกิดการดูดซับทางเคมีมีค่าสูงกว่าการดูดซับทางกายภาพ คือ ประมาณ -200 kJ/mol ปริมาณการดูดซับนั้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายประการ คือ พื้นที่จำเพาะของของแข็ง ความเข้มข้นที่สมดุลของสารละลายสามารถเกิดในอุณหภูมิสูงกว่าที่เกิด Physical adsorption และแรงที่เกี่ยวข้องก็มากกว่า (เรณู และวิภารัตน์, 2548)

**องค์ประกอบที่มีผลต่อการดูดซับ**

1. **พื้นที่ผิวจำเพาะของการดูดซับ**
2. การแลกเปลี่ยนใช้สารดูดซับต้องดูคุณสมบัติในการชอบสารประกอบโพลาร์ หรือนอนโพลาร์
3. **การดูดซับจะต้องไม่ทำปฏิกิริยา ทางเคมีกับก๊าซและสารละลายที่ต้องการจับ**
4. ความจุของสารดูดซับควรมีค่าแน่นอน และสูงกว่าปริมาณก๊าซและสารละลายที่ต้องการจับแต่หลังจากที่เต็มความจุของมันแล้ว ก๊าซและสารละลายจะดูดซับเพียงบางส่วนจนอิ่มตัวแล้วจะไม่ดูดซับก๊าซและสารละลาย
5. อุณหภูมิในการดูดซับ ประสิทธิภาพจะสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิต่ำ โดยเฉพาะก๊าซที่มีจุดเดือดต่ำ เช่น ไนโตรเจน ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และมีเทน ไม่สามารถดูดซับได้สมบูรณ์ที่อุณหภูมิสูง แต่การให้ความเย็นจะเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับได้ดี

## สาหร่ายหางกระรอก

สาหร่ายหางกระรอกเป็นสาหร่ายน้ำจืดชนิดหนึ่งในท้องถิ่น เรียกว่า ผักขี้เต่า หรือ hydrilla มีชื่อฟ้องว่า *Hydrilla alternifolive* (Mig) และ *Hydrilla dentate* (Casp.) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Hydrilla verticillata* (L.F.) Royle เป็นพืชใต้น้ำที่มีอายุข้ามปี พบว่ามีทั้งที่เป็นต้นแยกเพศหรือต้นที่มีทั้งสองเพศลำตัวเป็นสายกลมเรียวยาว แตกกิ่งก้านสาขา และมีลำต้นเป็นหัวอยู่ใต้ดิน เรียกว่า turion สำหรับสะสมอาหาร รากยึดดินใต้น้ำและมีรากตามข้อบ้าง ใบเดี่ยวแตกเป็นวงรอบข้อ 3-8 ใบ ไม่มีก้านใบ แผ่นใบรูปไข่ยาว หรือรูปไข่ขอบขนาน ใบยาว 7-30 มิลลิเมตร กว้าง 2-3 มิลลิเมตร ขอบใบหยักเป็นฟันเลื่อยละเอียด (ภาพที่ 3) ดอกเดี่ยวขนาดเล็กแยกเพศ ดอกเพศเมียมีกาบ

**ภาพที่ 3** ลักษณะทั่วไปของสาหร่ายหางกระรอก (hydrilla, *Hydrilla verticillata*)

หุ้มโคนก้านดอกลักษณะเรียวยาว ส่งดอกขึ้นมาบานที่ผิวน้ำ ประกอบด้วยกลีบเลี้ยง 3 กลีบ กลีบดอกสีขาว 3 กลีบ ภายในรังไข่มีเพียง 1 ช่อง ยอดเกสรเพศเมียมี 3 ดอกเพศผู้มีกาบหุ้มเช่นกัน ดอกมีขนาดเล็ก ก้านดอกสั้น เมื่อดอกแก่จะหลุดลอยขึ้นไปบานที่ผิวน้ำ กลีบเลี้ยง 3 กลีบและกลีบดอก 3 กลีบ จะบานกางกระดกกลีบลงล่าง เกสรตัวผู้ 3 อันชูเหนือน้ำ อับเกสรเพศผู้ 4 ช่อง เมื่อแก่แตกออกละอองเกสรจะปลิวฟุ้งกระจายไปตามลม เกิดการผสมเกสรระหว่างดอกเพศเมียที่ลอยที่ผิวน้ำ ผลขนาดเล็กรูปทรงกระบอกยาวประมาณ 7 มิลลิเมตร ภายในมีเมล็ด 2-6 เมล็ด เป็นวัชพืชน้ำที่สำคัญชนิดหนึ่ง พบในบึง บ่อ หนอง คลองชลประทานทั้งน้ำนิ่งและน้ำไหลทั่วไป นำมาเป็นประโยชน์โดยใช้เป็นอาหารสัตว์น้ำ และสัตว์บกหลายชนิด (ประภาพร, 2549)

**การใช้สาหร่ายเพื่อช่วยบำบัดคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ**

การใช้สาหร่ายช่วยดูดซับสารอินทรีย์ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ที่เกิดขึ้นในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ เช่นคณิตและดุสิต (2535) ใช้หอยแมลงภู่และสาหร่ายผมนาง บำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา พบว่า สามารถช่วยปรับปรุงคุณภาพน้ำได้

**การเลี้ยงสาหร่ายทะเลแบบผสมผสานกับการเลี้ยงสัตว์น้ำ**

การนำสาหร่ายเข้ามาเลี้ยงกับสัตว์น้ำแบบผสมผสานสาหร่ายจะใช้สารอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำที่มีการขับถ่ายของสัตว์ และการย่อยสลายเศษอาหารในบ่อซึ่งช่วยให้คุณภาพน้ำดีขึ้นและยังได้ผลผลิตสาหร่ายเป็นผลพลอยได้อีกด้วย การทดลองเลี้ยงสาหร่ายผมนางร่วมกับปลานิลแดงในบ่อซีเมนต์ พบว่า ได้ผลดี โดยในบ่อที่เลี้ยงปลาร่วมกับสาหร่ายให้ผลผลิตสูงกว่าบ่อที่เลี้ยงปลาและสาหร่ายเพียงอย่างเดียว (ยุวดี, 2546)

**หอยนางรม**

หอยนางรมมีชื่อสามัญ คือ *Oyster* ส่วนชื่อวิทยาศาสตร์ คือ *Crassostrea commercialis* พบอยู่ทั่วไปตามบริเวณน้ำตื้นชายเกาะ ชายฝั่งทะเล แหล่งน้ำที่มีอาณาเขตติดต่อกับทะเล หอยนางรมมีหลายชนิดที่พบในประเทศไทย ได้แก่ หอยนางรมปากจีบขนาดเล็ก และหอยนางรมพันธุ์โตที่มีชื่อว่า "หอยตะโกรม" พบมากในจังหวัดชลบุรี ระยอง จันทบุรี และสุราษฎร์ธานี

หอยนางรมเป็นหอยสองฝา ซึ่งฝาทั้งสองมีขนาดไม่เท่ากัน ด้านที่มีเนื้อ ฝังอยู่จะเว้าลึกลงไปคล้ายรูปถ้วย หรือจาน และยึดติดกับวัตถุแข็ง เช่น ก้อนหิน ไม้หลัก หรือเปลือกหอยที่จมอยู่ในทะเล ส่วนฝาปิดอีกด้านหนึ่งแบนบาง ขนาดความยาวประมาณ 5 เซนติเมตร เปลือกหอยนางรมประกอบด้วยหินปูนร้อยละ 95 (ภาพที่ 4)

**ภาพที่ 4** ลักษณะทั่วไปของหอยนางรม (*Oystre, Crassostrea commercialis*)

**ประโยชน์ของเปลือกหอยนางรม**

เปลือกหอยนางรม มีสารประกอบของแคลเซียมคาร์บอเนตสูง ($CaCO_3$) มีคุณสมบัติในการเป็นพีเอช บัปเฟอร์ (pH buffer) ลักษณะโครงสร้างเป็นรูพรุน ทำให้เปลือกหอยนางรมมีความสามารถในการดูดซับและปลดปล่อยสารประกอบคาร์บอเนตและปรับคุณสมบัติของน้ำให้ดีขึ้น

และเปลือกหอยยังใช้ทำปูนขาวซึ่งใช้ประโยชน์ในการก่อสร้าง การเกษตรกรรม อุตสาหกรรมหลายประเภท (ประภาพร, 2549)

## งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พุทธ และสำรอง (2546) ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งทะเลด้วยหอยนางรม *(crassostrea lugubris)* หอยแมลงภู่ *(perna viridis)* และสาหร่ายผมนาง *(Gracilaria fisheri)* ในถังไฟเบอร์ขนาด 1 ตัน ในสภาวะกลางแจ้งภายในถังประกอบด้วยกระบะควบคุมและกระบะทดลอง สำหรับวัดประสิทธิภาพในการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งในสภาวะที่น้ำทิ้งมีการไหลเข้าและไหลออกอย่างต่อเนื่องตลอดการทดลอง ทำการวิเคราะห์สารประกอบไนโตรเจน สารประกอบฟอสฟอรัส อินทรีย์คาร์บอนในอนุภาคตะกอนแขวนลอย (Particulate Organic Carbon) บีโอดี อนุภาคตะกอนแขวนลอยในน้ำและปริมาณคลอโรฟิลล์เอ จากน้ำที่ไหลเข้าและออกจากกระบะ คำนวณประสิทธิภาพในการปรับปรุงคุณภาพน้ำต่อน้ำหนักสิ่งมีชีวิตต่อชั่วโมง ผลการศึกษาพบว่าหอยแมลงภู่มีความสามารถในการบำบัดตะกอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และอินทรีย์คาร์บอนในอนุภาคตะกอนแขวนลอย และแพลงค์ตอนพืชในรูปคลอโรฟิลล์เอ ในน้ำทิ้งเฉลี่ยในอัตรา 50.14 มก.ก.นน. แห้ง/ชม. 0.190 มก.ไนโตรเจน/ก. นน. แห้ง/ชม. 0.507 มก. คาร์บอน/ก. นน. แห้ง/ชม. 0.009 มก. ฟอสฟอรัส/ก. นน. แห้ง/ชม. และ 26 มก./ก. นน. แห้ง/ชม. ตามลำดับซึ่งจะมีประสิทธิภาพดีกว่าการใช้หอยนางรม 2-57 เท่า และมีการปล่อยแอมโมเนียรวมและอนินทรีย์ ฟอสเฟตออกมา ในอัตรา 0.036 มก. ไนโตรเจน/ก.นน.แห้ง/ชม. และ -0.002 มก. ฟอสฟอรัส/ก.นน.แห้ง/ชม. ตามลำดับ ซึ่งจะมากกว่าหอยนางรมประมาณ 3-17 เท่า ส่วนสาหร่ายผมนางมีประสิทธิภาพในการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งทั้งการดูดซับแอมโมเนียรวม และอนินทรีย์ฟอสฟอรัส และทำให้เกิดการตกตะกอนของอนุภาคตะกอนเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

เกศริน และศิริวรรณ (2540) ทำการศึกษาการใช้สาหร่าย *Gracilaria fisheri* ลดปริมาณสารประกอบไนโตรเจน (แอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรท) ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งโดยใช้สาหร่ายที่มีความหนาแน่น 0 (ชุดควบคุม) 5, 10 และ 15 กรัมต่อลิตร แช่ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งเป็นเวลา 0, 6, 12, 24, 48 และ 72 ชั่วโมง แล้ววิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรทจากน้ำทิ้งพร้อมทั้งปริมาณไนโตรเจนรวมในสาหร่าย พบว่าสาหร่ายที่ความหนาแน่น 15 กรัมต่อลิตร สามารถลดปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรท ได้มากที่สุด รองลงมาคือ ที่ความหนาแน่น 10 และ 5 กรัมต่อลิตรตามลำดับ ส่วนปริมาณไนโตรเจนรวม ที่สะสมในสาหร่ายก่อนและหลังการดูดซับสารประกอบไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งพบว่า สาหร่ายที่ความหนาแน่น 5, 10 และ 15 กรัมต่อลิตร มีแนวโน้มการดูดซับเพิ่มขึ้น

กรรณิการ์ (2543) ศึกษาการใช้แบคทีเรียและซีโอไลต์ในการลดปริมาณแอมโมเนียและไนไตรท์ในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ โดยทดลองเลี้ยงกุ้งกุลาดำในบ่อซีเมนต์ขนาด 3 ลูกบาศก์เมตร ใช้ระยะเวลาในการเลี้ยง 18 สัปดาห์ วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด Completely Randomized Design แบ่งเป็น 4 ชุดการทดลองๆ ละ 3 ซ้ำ คือ ชุดการทดลองที่ 1 บ่อควบคุมหรือ Control ชุดการทดลองที่ 2 บ่อใส่เชื้อ *Bacillus* spp. ชุดการทดลองที่ 3 บ่อใส่เชื้อ *Bacillus* spp. และสาร Modified Zeolite ชุดการทดลองที่ 4 บ่อใส่เชื้อ *Bacillus* spp. และเชื้อ Nitrifying bacterium ผลการศึกษา พบว่าในสภาพที่น้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ มีปริมาณออกซิเจนละลายสูงเกินกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่า pH เป็นด่างเล็กน้อย (7.5-8.5) การใส่เชื้อ Nitrifying bacterium ร่วมกับเชื้อ *Bacillus* spp. มีผลต่อการลดปริมาณแอมโมเนียและไนไตรท์โดยกระบวนการชีวเคมีน้อยมากการใส่สาร Modified Zeolite ไม่มีผลแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญต่อการลดลงของแอมโมเนีย และไนไตรท์ในสภาพที่มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำอย่างพอเพียง เชื้อ *Bacillus* spp. มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำดีมากทำให้มีปริมาณแอมโมเนียในน้ำสูงเกินกว่าค่ามาตรฐาน (0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร) ตลอดระยะเวลาการเลี้ยง ปริมาณการเพิ่มของแอมโมเนียในน้ำมีผลทำให้อัตราการรอดตายลดลงและการเจริญเติบโตของกุ้งลดลง การใส่เชื้อ Nitrifying bacterium หรือสาร Modified Zeolite โดยใช้ร่วมกับเชื้อ *Bacillus* spp. มีผลทำให้แอมโมเนียถูกเปลี่ยนเป็นไนไตรท์เร็วขึ้นโดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตั้งแต่สัปดาห์ที่ 3 ของการทดลอง ในขณะที่บ่อควบคุมปริมาณไนไตรท์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตั้งแต่สัปดาห์ที่ 8 ไนไตรท์ที่เกิดขึ้นมีปริมาณต่ำมากไม่มีความเป็นพิษต่อกุ้งกุลาดำ สำหรับปริมาณไนเตรทที่เกิดจากการออกซิไดซ์แอมโมเนียและไนไตรท์มีแนวโน้มสูงขึ้นตั้งแต่สัปดาห์ที่ 11 และจะเริ่มลดลงเมื่อใกล้เก็บผลผลิต การใส่เชื้อจุลินทรีย์ Nitrifying bacterium และเชื้อ *Bacillus* spp. ทั้งสองกลุ่มลงในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำจะเกิดผลดีในการลดปริมาณแอมโมเนีย และไนไตรท์ ถ้าน้ำมีปริมาณออกซิเจนละลายต่ำและมีความเป็นกรดเล็กน้อย การดูดซับสารอินทรีย์และการถ่ายเทน้ำในบ่อเลี้ยงบ่อยครั้งเป็นวิธีลดปริมาณแอมโมเนียและไนไตรท์ที่ดีอีกวิธีหนึ่งด้วย

ฐิติมา (2542) ทำการศึกษาการดูดซับแอมโมเนียในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมแช่แข็งโดยใช้ซีโอไลต์ในปริมาณต่างๆ กัน เพื่อดูดซับแอมโมเนียซึ่งมีปริมาณแตกต่างกันในน้ำทิ้งแต่ละโรงงาน และได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่า pH ในตัวอย่างน้ำทิ้งก่อนและหลังเติมซีโอไลต์ พบว่าการเติมซีโอไลต์ในน้ำทิ้ง สามารถปรับค่า pH ให้สูงขึ้น และเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการดูดซับให้มากขึ้น จะทำให้ซีโอไลต์สามารถดูดซับแอมโมเนียได้สูงขึ้นด้วย

วิทยา (2543) ศึกษาการใช้ซีโอไลต์ธรรมชาติ ได้แก่ clinoptilolite, smectite และ pumice เพื่อกำจัดไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียไนโตรเจนและเจดาลห์ ไนโตรเจนในน้ำเสียจากฟาร์มสุกรด้วยกระบวนการแลกเปลี่ยนประจุและกระบวนการดูดซับกระทำโดยใช้รูปแบบการทดลองใน

ห้องปฏิบัติการ การทดลองในขั้นตอนแรกจะใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนขนาด 300 มก./ลิตร เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจน ผลการศึกษาพบว่า clinoptilolite สามารถทำงานในช่วง pH ที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง 3.0-8.0 เวลาในการทำปฏิกิริยาที่ 60 นาที สมการ adsorption isotherm ที่สอดคล้องกับผลการทดลองมากที่สุดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ pH 6.0 คือ สมการของ BET โดยที่ค่า q / m (ปริมาณของสารดูดซับ/ปริมาณของตัวดูดซับ ณ สภาวะสมดุล) จากสมการของ BET เท่ากับ 0.0011 มก. แอมโมเนียไนโตรเจน/มก. clinoptilolite ตามลำดับ สำหรับ smectite และ pumice ความสามารถในการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนจะแปรผันไปตามค่า pH โดยค่า pH 9.0 จะเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดในการกำจัดไนโตรเจน แต่การเพิ่มขึ้นของเวลาในการทำปฏิกิริยาจะช่วยลดแอมโมเนียไนโตรเจนได้น้อยมาก เมื่อใช้ปริมาณ smectite และ pumice สูงสุดที่ 120 กรัม/น้ำเสีย 0.5 ลิตร พบว่าประสิทธิภาพในการลดแอมโมเนียไนโตรเจนมีเพียงร้อยละ 35.13 และ 36.84 ตามลำดับ ในขณะที่ clinoptilolite สามารถลดแอมโมเนียไนโตรเจนได้ถึงร้อยละ 85.63 เมื่อเลือก clinoptilolite มาบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่มีความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจน 230.0 มก./ลิตร และ TKN 250.4 มก./ลิตร โดยใช้ปริมาณ clinoptilolite สูงสุดที่ 120 กรัม/น้ำเสีย 0.5 ลิตร โดยวิธีปรับ pH และไม่ปรับ pH ในน้ำเสียจริง (pH 7.4) ในกรณีที่ปรับ pH ให้เป็น 6.0 พบว่า clinoptilolite สามารถลดแอมโมเนียไนโตรเจน และ TKN ได้ร้อยละ 91.48 และ 87.70 ตามลำดับ เมื่อไม่มีการปรับ pH (pH 7.4) พบว่าสามารถลดสารดังกล่าว ได้ร้อยละ 93.00 และ 90.27 ตามลำดับ

สมาน (2538) ศึกษาประสิทธิภาพของสารเคมีและแบคทีเรียที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ การใช้ปูนขาวในอัตรา 160 กิโลกรัมต่อไร่หว่านพื้นบ่อที่มีดินปกติก่อนเติมน้ำ มีผลทำให้พีเอชของน้ำในช่วงสัปดาห์แรกสูงขึ้น และแอมโมเนียที่สะสมในช่วงสัปดาห์แรกอยู่ในระดับต่ำ แต่ไม่มีผลต่อคุณภาพน้ำในระยะยาว และไม่มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตและอัตรารอดตายของกุ้งทดลอง การใช้ปุ๋ยฟอสเฟตในอัตรา 0.64 กิโลกรัมต่อไร่ทุกๆ สัปดาห์ มีผลทำให้ปริมาณแพลงก์ตอนพืชเพิ่มมากขึ้นในช่วง 8 วันแรกซึ่งทำให้ปริมาณแอมโมเนียลดลง แต่หลังจากนั้นการใช้ปุ๋ยฟอสเฟตในอัตรานี้ไม่มีผลต่อคุณภาพน้ำ และไม่มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตและอัตรารอดตายของกุ้งกุลาดำ การใช้ซีโอไลต์ในอัตรา 20 กิโลกรัมต่อไร่ ทุกๆ 15 วัน สามารถลดแอมโมเนียให้ต่ำลงได้ในช่วง 8 วันแรก หลังจากนั้นไม่มีผลต่อปริมาณแอมโมเนียในบ่อเลี้ยง และการใช้ซีโอไลต์ในอัตรานี้ไม่มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายของกุ้งทดลอง ส่วนการใช้ผลิตภัณฑ์แบคทีเรีย 2 ชนิด ในระบบการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ไม่มีผลต่อคุณภาพน้ำ อัตราการเจริญเติบโต และอัตราการรอดตายของกุ้งกุลาดำ

อุษา และคณะ (2543) ศึกษาการดูดซับแอมโมเนียในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่แข็งในจังหวัดสงขลา โดยใช้ซีโอไลต์ พบว่าในการเติมซีโอไลต์ ในน้ำทิ้งสามารถปรับค่า pH ให้สูงขึ้น และเมื่อเพิ่มระยะเวลาและปริมาณของซีโอไลต์ในการดูดซับ ความสามารถ ในการดูดซับก็สูงขึ้นด้วย ซึ่งภาวะที่เหมาะสมขึ้นกับชนิดของน้ำตัวอย่าง ทั้งนี้จะเกิดการดูดซับจนกระทั่งอยู่ในภาวะที่เหมาะสมระหว่างพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ (ซีโอไลต์) กับตัวถูกดูดซับ (แอมโมเนีย) น้ำทิ้งที่ผ่านขบวนการผลิตส่วนใหญ่จะมีปริมาณแอมโมเนียเพิ่มขึ้น และค่า pH ต่ำต่ำลงจนมีสภาพเป็นกรด

Erdem และคณะ (2004) ศึกษาการดูดซับโลหะหนักด้วยซีโอไลต์ธรรมชาติ (clinoptilolite) ซึ่งพิจารณาค่า $Co^{+}$, $Cu^{2+}$, $Zn^{2+}$ และ $Mn^{2+}$ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้บำบัดน้ำเสีย เปอร์เซ็นต์การดูดซับ และค่าคงที่การกระจาย ($K_d$) เมื่อพิจารณาจากระบบการดูดซับ ซึ่งขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของตัวดูดซับ การหาค่าในการแลกเปลี่ยนไอออน หาจากทุกช่วงความเข้มข้นและอัตราส่วนการดูดซับระหว่าง clinoptilolite กับโลหะหนัก ได้จาก Langmuir Freundlich และ Dubinin-Kaganer-Radushkevich (DKR) isotherm รวมถึงค่าจำเพาะในการแลกเปลี่ยนแคทไอออนของโลหะหนักได้มาจากการคำนวณและพบว่าการดูดซับขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของประจุ และเส้นผ่าศูนย์กลางของ hydrated ion ตามหลักการสมดุลความสามารถในการเลือกการดูดซับเรียงตามลำดับได้ดังนี้ $Co^{+} > Cu^{2+} > Zn^{2+} > Mn^{2+}$ ผลจากการทดลองแสดงว่า ซีโอไลต์ธรรมชาติมีศักยภาพในการแลกเปลี่ยนแคทไอออนกับโลหะหนักในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม

Lee และคณะ (2002) ศึกษาการใช้ซีโอไลต์บำบัดน้ำเสียในสารชีวภาพ สรุปว่าซีโอไลต์ชนิด clinoptilolite มีการแลกเปลี่ยนแอมโมเนียในปริมาณสูง เนื่องจากไนโตรเจนจะย้ายไปอยู่ใน Bio film ของซีโอไลต์ชนิด Clinoptilolite นี้ และเกิดปฏิกิริยา Nitrification เพิ่มขึ้น ปริมาณไนไตรท์และไนเตรทจะเพิ่มขึ้น