บทที่ 1
บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

กุ้งเป็นสัตว์เศรษฐกิจที่สำคัญมีมูลค่าการส่งออกสูง สร้างรายได้ให้กับประเทศผู้ผลิตสูงมาก เป็นอุตสาหกรรมที่สามารถเจริญเติบโตได้ต่อไปตามกระแสนิยมการบริโภคอาหารทะเลที่สูงขึ้น ด้วยเหตุนี้ประเทศที่มีศักยภาพเพียงพอจึงพยายามส่งเสริมและพัฒนาประสิทธิภาพการผลิตอย่างจริงจังเพื่อครองส่วนแบ่งในตลาดที่มีมูลค่ามหาศาลนี้ (สุริยา, 2547) ประเทศไทยเป็นแหล่งผลิตกุ้งที่สำคัญแหล่งหนึ่งของโลก ในปี พ.ศ. 2547 มีผลผลิตกุ้งถึง 360,000 ตัน อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าการเลี้ยงกุ้งเป็นอาชีพที่สร้างรายได้แก่ผู้ประกอบกิจการสูงมากในอดีต แต่การเลี้ยงกุ้งในปัจจุบันซึ่งเป็นแบบพัฒนาก็ประสบปัญหาต่างๆ มากมาย เช่น ปัญหาโรคระบาด มลภาวะในแหล่งเลี้ยง การกีดกันทางการค้า ทำให้ผู้เลี้ยงขาดทุนและหยุดเลี้ยงเป็นจำนวนมาก

ปัจจัยสำคัญที่จะทำให้การเลี้ยงกุ้งประสบความสำเร็จคือสิ่งแวดล้อมในบ่อกุ้ง หากจัดการดินและน้ำให้เหมาะสมกุ้งจะแข็งแรง เติบโตดี ทำให้ได้ผลผลิตดี ตรงกันข้ามหากดินและน้ำในบ่อมีปัญหา เกิดมลภาวะ ตัวกุ้งเครียด ทำให้กุ้งอ่อนแอ ขาดความต้านทานโรคและสภาพน้ำในบ่อกุ้งเกิดภาวะเหมาะสมต่อการระบาดของโรคทำให้ต้องใช้ยารักษาโรคกุ้งกันต่อไป จุดที่ควรให้ความสำคัญที่สุดคือพื้นก้นบ่อต้องสะอาด เนื่องจากการเลี้ยงกุ้งในปัจจุบันเป็นการเลี้ยงระบบพัฒนาและเป็นระบบปิดที่ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ อินทรียวัตถุที่ใส่เข้าไปเท่าไรก็อยู่ในบ่อหมดตลอดการเลี้ยง ที่สำคัญคือเกษตรกรมักปล่อยกุ้งหนาแน่นสูงแบบเผื่อตาย จึงมีการให้อาหารมากและอัตราการรอดตายต่ำ ทำให้มีสารอินทรีย์จากเศษอาหาร สิ่งขับถ่ายของกุ้งและซากกุ้งอยู่ในบ่อและพื้นบ่ออยู่มาก ทำให้สมบัติของน้ำเปลี่ยนแปลงและเสื่อมลงไม่เหมาะสมแก่การอยู่อาศัยของกุ้ง ในที่สุดเกิดน้ำเสียและกุ้งในบ่อเลี้ยงเป็นโรคและตาย (สิริ, 2541)

แบคทีเรียในวัฏจักรไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบกลุ่มสำคัญในระบบนิเวศบ่อกุ้ง มีบทบาทที่สำคัญในกระบวนการการย่อยสลายของเสียในบ่อกุ้งโดยเฉพาะตะกอนก้นบ่อเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนาที่มีอินทรีย์ไนโตรเจนสะสม (Hargreaves, 1998) การย่อยสลายสารอินทรีย์ไนโตรเจนให้เป็นหน่วยย่อย เช่น กรดอะมิโนเกิดขึ้นโดยแบคทีเรียย่อยโปรตีน (proteolytic bacteria) จากนั้นมีการย่อยสลายต่อได้แอมโมเนียหรือแอมโมเนียม (ammonification) ซึ่งอาศัย ammonifying bacteria (ammonifiers) ในสภาวะที่มีอากาศแอมโมเนียมถูกออกซิไดซ์เป็นไนไตรท์และไนเตรทผ่านกระบวนการ nitrification โดย nitrifying bacteria (nitrifiers) แต่เมื่อเกิดสภาวะขาดอากาศไนเตรทถูกรีดิวซ์เป็นก๊าซไนโตรเจน (denitrification) โดย denitrifying bacteria (denitrifiers) (ดวงพร, 2545)

ถึงแม้ว่าการเลี้ยงกุ้งเป็นธุรกิจที่ทำรายได้ให้แก่เจ้าของธุรกิจและประเทศ แต่ขณะเดียวกันการเลี้ยงกุ้งก็ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะการเลี้ยงกุ้งทะเลที่บริเวณชายฝั่งก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมชายฝั่ง เช่น ทำให้สูญเสียป่าชายเลน ปัญหามลภาวะชายฝั่ง เช่น เกิดขี้ปลาวาฬ เกิดภาวการณ์ขาดสมดุลในระบบนิเวศวิทยาชายฝั่ง เนื่องจากมีการใช้ยาและสารเคมีในการเพาะเลี้ยงกันอย่างแพร่หลาย ทำให้มีสารตกค้างในตะกอนก้นบ่อแล้วถ่ายเทออกสู่แหล่งน้ำชายฝั่งและปัญหาการขยายตัวของพื้นที่เลี้ยงที่ไม่เหมาะสมทำให้พื้นที่เลี้ยงเกินจุดสมดุลทางระบบนิเวศวิทยา (สิริ, 2541) การรายงานของมูลนิธิความยุติธรรมด้านสิ่งแวดล้อมหรือกลุ่มอีเจเอฟ (Environmental Justice Foundation, EJF) กล่าวถึงการขยายตัวอย่างรวดเร็วของบรรดาฟาร์มเลี้ยงกุ้งในประเทศกำลังพัฒนาของประเทศแถบเอเชียว่าก่อให้เกิดการทำลายป่าโกงกางและพื้นที่ชุ่มน้ำที่มักถูกลักลอบทำเป็นฟาร์มเลี้ยงกุ้ง อีกทั้งยังมีการใช้สารเคมีอันตรายจำนวนมากรวมถึงยาปฏิชีวนะซึ่งส่งผลให้เกิดการสะสมของสารพิษในสภาพแวดล้อม เช่นในประเทศไทย การสะสมของมลพิษทำให้ต้องทิ้งพื้นที่ไว้ระยะหนึ่งและไม่สามารถใช้พื้นที่ดังกล่าวเพื่อการเกษตรได้อีก ดังนั้นรัฐบาลของนานาประเทศจะต้องยุติการกระทำเช่นนี้เพราะไม่เช่นนั้นอาจก่อให้เกิดหายนะในระยะยาว (ผู้จัดการ, 2548)

ผลกระทบด้านลบจากการเลี้ยงกุ้ง นอกจากส่งผลโดยตรงต่อสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะอย่างยิ่งสิ่งแวดล้อมทางทะเลแล้วยังเป็นข้อต่อรองด้านการค้าอีกด้วย เนื่องจากกระแสการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมทวีความรุนแรงขึ้น ในปัจจุบันบรรดาประเทศต่างๆ มากกว่า 30 ประเทศ นำมาตรฐานว่าด้วยระบบการจัดการสิ่งแวดล้อมหรือ ISO 14000 มาใช้ในการจัดผลิตภัณฑ์ต่างๆ โดยเน้นเรื่องการผลิตที่ไม่ให้มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นพิเศษ (สิริ, 2546) นอกจากนี้ผู้บริโภคผลิตภัณฑ์อาหารต่างตระหนักถึงสุขอนามัย ต้องการอาหารที่สะอาด ปลอดภัย ปราศจากสารปนเปื้อน ซึ่งสารนี้อาจมาจากสิ่งแวดล้อมได้ เช่น กรณีการเลี้ยงกุ้ง จึงเกิดกระแสการต่อต้านการใช้สารเคมีเพื่อฆ่าเชื้อโรคทั้งในส่วนที่ใช้กับน้ำและยาปฏิชีวนะที่ผสมอาหารให้กุ้งกินได้เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเกรงว่าจะมีสารตกค้างในส่วนของเนื้อกุ้งที่นำมาบริโภค รวมทั้งการตกค้างในธรรมชาติซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมในระยะยาว (ออลเวท, 2547) และเช่นกันกับเรื่องผลกระทบจากการเลี้ยงกุ้งที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ประเทศคู่ค้านำมาเป็นข้อต่อรองด้านการค้า การค้ากุ้งในปัจจุบันมีการนำเรื่องความปลอดภัยของอาหาร (food safety) มาเป็นเงื่อนไขสำคัญด้วย เช่น สหภาพยุโรปกำหนดนโยบาย zero tolerance หรือกฎสารตกค้างต้องเป็นศูนย์ คือต้องไม่มีสารตกค้างเลยสำหรับอาหารที่นำเข้า ในการประเมินการตลาดกุ้งโลก ปี พ.ศ. 2545 ของสมาคมผู้เลี้ยงกุ้งทะเลไทย กล่าวถึงเรื่องนี้ว่า การที่ผลผลิตกุ้งโลกเพิ่มขึ้นจากประเทศผู้ผลิตที่มีมากขึ้น ส่งผลให้เกิดภาวะ “ตลาดเป็นของฝ่ายประเทศผู้ซื้อ” อำนาจการต่อรองของประเทศผู้ซื้อจะเพิ่มขึ้นต่อเนื่องตามปริมาณผลผลิต โดยเงื่อนไขการต่อรองแตกต่างกันตามนโยบายด้านเศรษฐกิจของแต่ละประเทศ โดยกลุ่มสหภาพยุโรป (อียู) มีเงื่อนไข

นำคือ คุณภาพ ความปลอดภัยและสุขอนามัย และเงื่อนไขสุขอนามัย/คุณภาพ ซึ่งกำหนดโดยสหรัฐอเมริกา การเน้นความปลอดภัยของอาหารตั้งแต่วัตถุดิบจนถึงอาหารที่เรียกว่า “from farm to table” หรือในการเพาะเลี้ยงกุ้งที่เรียกว่า “from pond to plate” จึงเป็นหลักการสำคัญที่มุ่งป้องกันและแก้ไขปัญหาความไม่ปลอดภัยของอาหารที่เกิดขึ้นในทุกๆ ช่วงให้ครบวงจรตลอดทั้งห่วงโซ่อาหาร (food chain) โดยต้องดูแลตลอดทั้งห่วงโซ่อาหารมากกว่าที่จะตรวจสอบเพียงผลิตภัณฑ์สำเร็จที่ปลายทาง เป็นแนวทางที่เริ่มนำมาใช้ในปัจจุบันเนื่องจากอันตรายในอาหารหลายๆ อย่างไม่สามารถกำจัดจากอาหารได้ในขั้นท้ายของห่วงโซ่ แต่จะต้องป้องกันไม่ให้เกิดขึ้นตั้งแต่ต้นเท่านั้น

ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นถึงปัญหาสิ่งแวดล้อมและการเน้นความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์อาหารของผู้บริโภค จะเห็นว่าการเลี้ยงกุ้งแบบเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมคือไม่ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมหรือเกิดน้อยที่สุดเป็นแนวทางที่เกษตรกรควรยึดถือปฏิบัติมากขึ้น โดยหลีกเลี่ยงการใช้สารเคมีหรือยาปฏิชีวนะในการเลี้ยงกุ้งหรือใช้ในปริมาณที่จำเป็นเท่านั้นและจัดการสภาพแวดล้อมภายในบ่อกุ้งให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่เป็นมิตรต่อกุ้งจะเป็นการสร้างภูมิคุ้มกันและป้องกันไม่ให้กุ้งเกิดโรคแทนการรักษาด้วยยาหรือสารเคมีเมื่อกุ้งเกิดอาการแล้ว การเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนามีการเติมสารเคมีลงไปในบ่อเลี้ยงเพื่อควบคุมสมบัติของดินและน้ำ เช่น เติมปุ๋ยเพื่อกระตุ้นการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอน ใส่ปูนขาวเพื่อปรับ pH ของดินและน้ำ ใส่ซีโอไลต์เพื่อลดปริมาณแอมโมเนีย ยังมีการเติมแคลเซียมไฮโปคลอไรต์ ฟอร์มาลิน สารฆ่าเชื้อและยาปฏิชีวนะลงไปเพื่อกำจัดศัตรูและโรคกุ้ง ซึ่งยาและสารเคมีเหล่านี้นอกจากสะสมและตกค้างในตัวกุ้งและเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ได้โดยการผ่านห่วงโซ่อาหารและสะสมในดินก้นบ่อจนเมื่อถูกถ่ายเทออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ทำให้เกิดภาวการณ์เสียสมดุลของระบบนิเวศวิทยาแล้ว สารเคมีที่ปนเปื้อนและตกค้างในบ่อกุ้งอาจส่งผลให้เกิดสภาวะที่ไม่เอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโตและการทำงานของแบคทีเรียในวัฏจักรไนโตรเจนโดยเฉพาะพวก nitrifiers (Klaver and Matthews, 1994) นอกจากนี้การใช้ปูนขาวในบ่อกุ้งส่งผลให้ประชากรและกิจกรรมของแบคทีเรียมีการเปลี่ยนแปลงเพราะเป็นผลจากค่า pH ที่สูงทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของสมดุลของ CO_2-HCO_3-CO_3 โดย Ganguly, *et al*. (2000) พบว่าปริมาณของ heterotrophic bacteria, ammonifiers, denitrifiers, แบคทีเรียย่อยเซลลูโลส และแบคทีเรียที่ละลายฟอสเฟต มีปริมาณลดลง 30 – 90 % เมื่อใช้ปูนขาวในบ่อกุ้งในอัตรา 1,000 กก./เฮกแทร์ และการใช้ปูนขาวในอัตรา 2,000 กก./เฮกแทร์ ทำให้แบคทีเรียเหล่านี้ลดลงถึง 51 – 91% ปกติในธรรมชาตินั้นมีจุลินทรีย์แต่ละกลุ่มในปริมาณที่พอเหมาะทำให้วัฏจักรไนโตรเจนครบวงจรได้โดยที่บางกลุ่มไวต่อการเปลี่ยนแปลงต้องอยู่ในสภาพที่ค่อนข้างสะอาดและมีออกซิเจนเพียงพอ เช่น nitrifiers (เช่น *Nitrosomonas* sp. และ *Nitrobacter* sp.) ในธรรมชาติมีแบคทีเรียกลุ่มนี้ในปริมาณ 10^3 CFU/ml

เพียงพอที่จะทำให้เกิดความสมดุลของวัฏจักรไนโตรเจนเพียงแต่ต้องอาศัยเวลาในการเพิ่มปริมาณ เนื่องจากแบคทีเรียกลุ่มนี้มีการเจริญเติบโตช้ามาก(ศิริรัตน์, 2539)

การศึกษาปริมาณของแบคทีเรียในแต่ละกลุ่มในวัฏจักรไนโตรเจนของพื้นบ่อกุ้ง นอกจากจะเป็นข้อมูลประกอบในการจัดการคุณภาพดินในการเพาะเลี้ยงกุ้ง ซึ่งจะมีผลกระทบต่อสุขภาพกุ้ง อันนำมาซึ่งเหตุผลที่ต้องใช้สารฆ่าเชื้อหรือยาปฏิชีวนะในการป้องกันและรักษาโรคกุ้ง การทราบถึงปริมาณของแบคทีเรียกลุ่ม nitrifiers ซึ่งเป็นกลุ่มที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงรวมถึงสภาวะเป็นพิษจะสามารถบ่งบอกถึงสภาวะมลพิษในบ่อเลี้ยงกุ้งได้ กระบวนการต่างๆ ในวัฏจักรไนโตรเจนมีประโยชน์ในแง่ที่เป็นตัวบ่งชี้ถึงผลจากภาวะมลพิษที่มีต่อระบบนิเวศของดินได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกระบวนการ nitrification ที่จะเกิดขึ้นได้จากกิจกรรมของแบคทีเรียบางกลุ่มที่มีจำนวนน้อยชนิดมาก สาเหตุหลักที่ใช้แบคทีเรียในกระบวนการ nitrification เป็นตัวบ่งชี้สถานการณ์มลพิษทางดินได้ดีเนื่องจากเป็นแบคทีเรียที่ส่วนใหญ่อาศัยอยู่ในดิน มีความสำคัญในการหมุนเวียนของสารไนโตรเจน ไวต่อสารก่อมลพิษและใช้เวลานานในการฟื้นตัว

ดังนั้นการศึกษาปริมาณของแบคทีเรียในแต่ละกลุ่มในวัฏจักรไนโตรเจนของพื้นบ่อซึ่งมีบทบาทสำคัญในการควบคุมสมบัติทางเคมี-กายภาพของพื้นบ่อและคุณภาพน้ำของบ่อเลี้ยงซึ่งจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของกุ้ง (Ostrensky and Wasielesky, 1995) จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง 2 ปัจจัย คือทางจุลชีววิทยาและทางเคมี-กายภาพของบ่อเลี้ยงที่มีอายุการใช้งานต่างกัน อาจนำมาซึ่งข้อมูลหรือปัญหาที่อาจพบเพื่อหาแนวทางการแก้ไข นำไปสู่การเพาะเลี้ยงที่ยั่งยืนและเป็นข้อมูลประกอบในการประเมินสถานการณ์มลพิษทางดิน

การตรวจเอกสาร

ลักษณะโดยทั่วไปของบ่อกุ้งที่เป็นการเลี้ยงแบบพัฒนา (หนาแน่น)

1. โดยส่วนใหญ่มีขนาดพื้นที่ประมาณ 3-6 ไร่

2. บ่อลึกประมาณ 2 เมตร ขุดเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าหรือสี่เหลี่ยมจัตุรัส โดยมีคันล้อมรอบกว้าง 3-4 เมตร มีประตูระบายน้ำเข้าและประตูระบายน้ำออกขนาดกว้าง 1 เมตร

3. ความลึกของบ่อเลี้ยงเมื่อปล่อยน้ำลงบ่อแล้วระดับน้ำในบ่อสูงสุดประมาณ 1.60 เมตร และอยู่ในระดับที่สูงกว่าระดับน้ำทะเลสูงสุดประมาณ 40-50 เซนติเมตร และในขณะที่น้ำทะเลลดต่ำสุดพื้นบ่อจะสูงกว่าระดับน้ำทะเล เพื่อสามารถระบายน้ำในบ่อเลี้ยงออกให้หมดได้รวดเร็ว

4. การนำน้ำกร่อยหรือน้ำเค็มเข้าบ่อเพื่อเลี้ยงกุ้ง จะสูบน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติ ได้แก่ แม่น้ำ ลำคลอง หรือทะเล เข้าไปในบ่อพักน้ำอย่างน้อยประมาณ 3-5 วัน เพื่อให้พวกสารอินทรีย์ต่างๆ ตกตะกอน แล้วจึงเปิดน้ำเข้าไปตามคูส่งน้ำและเข้าสู่บ่อเลี้ยงต่อไป

5. อัตราการปล่อยกุ้งในบ่อเลี้ยงประมาณ 15-20 ตัวต่อตารางเมตร

6. อาหารหลักที่ใช้เลี้ยง คือ อาหารเม็ดสำเร็จรูปและมีการให้อาหารพวกปลาสด หอยสับละเอียดเสริม (ชูศักดิ์, มปป)

ปัญหาในการเลี้ยงกุ้ง

ในปัจจุบันการเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนาประสบปัญหาต่างๆ มากบ้าง น้อยบ้าง ขึ้นอยู่กับฤดูกาลและท้องที่ที่เลี้ยงกุ้ง นอกจากนั้นแล้วการเลี้ยงยังก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอีกหลายประการ

ปัญหาในการเลี้ยงกุ้ง มีดังนี้

1. ปัญหาเรื่องมลภาวะภายในบ่อเลี้ยง

ในแหล่งเพาะเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนาจะมีปัญหาเรื่องมลภาวะอยู่มาก ทั้งนี้เพราะการเลี้ยงในช่วง 10 ปีที่ผ่านมาถึงปัจจุบันเกษตรกรมักปล่อยกุ้งหนาแน่น มีการให้อาหารมากและอัตราการรอดตายต่ำ ทำให้มีสารอินทรีย์จากเศษอาหารและสิ่งขับถ่ายจากตัวกุ้งอยู่ในบ่อและพื้นก้นบ่ออยู่มาก ทำให้คุณสมบัติน้ำเปลี่ยนแปลงและเสื่อมลงไม่เหมาะสมแก่การอยู่อาศัยของกุ้ง ในที่สุดเกิดน้ำเสียและกุ้งในบ่อเลี้ยงเป็นโรคและตาย

2. ปัญหาโรคระบาด

ปัญหาโรคระบาดเป็นปัญหาใหญ่ทำให้เกษตรกรสูญเสียและเกิดการขาดทุน ปัญหาโรคระบาด ซึ่งสืบเนื่องมาจากคุณภาพน้ำเสื่อม เกิดมลภาวะ ตัวกุ้งเครียด ทำให้กุ้งอ่อนแอ

ขาดความต้านทานโรคและสภาพน้ำในบ่อกุ้งเกิดภาวะเหมาะสมต่อการระบาดของโรค โรคกุ้งที่ก่อความเสียหายอย่างใหญ่หลวง ได้แก่ โรคที่เกิดจากไวรัส ซึ่งปัจจุบันยังไม่มีวิธีป้องกันและรักษาได้

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการเพาะเลี้ยงกุ้ง

การเพาะเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนาก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมชายฝั่งหลายประการด้วยกัน เช่น

1. การสูญเสียป่าชายเลน โดยเกษตรกรได้บุกรุกทำลายป่าชายเลน เพื่อขุดบ่อเลี้ยง ถึงแม้ปัจจุบันได้พิสูจน์โดยภาพถ่ายดาวเทียมแล้วว่าสาเหตุใหญ่ที่ทำให้เกิดการทำลายป่าชายเลนไม่ใช่มาจากการเพาะเลี้ยงกุ้งก็ตาม

2. น้ำทิ้งมีสารอินทรีย์และสิ่งมีชีวิตจำพวกแพลงก์ตอนพืชอยู่สูง ทำให้เกิดปัญหามลภาวะชายฝั่ง เช่น เกิดขี้ปลาวาฬหรือเกิดภาวะแพลงก์ตอนเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วตามกระบวนการ eutrophication ซึ่งจะนำไปสู่การเกิดภาวะน้ำเสีย

3. มีการใช้ยาและสารเคมีในการเพาะเลี้ยงกันอย่างแพร่หลาย ทำให้มีสารตกค้างในตัวกุ้ง ตะกอนก้นบ่อและถ่ายเทออกสู่แหล่งน้ำชายฝั่ง ยาและสารเคมีจะมีส่วนทำให้เกิดภาวการณ์ขาดสมดุลในระบบนิเวศวิทยาชายฝั่ง

4. ขาดการจัดระบบพื้นที่ชายฝั่งอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการ ทำให้มีการขยายตัวของพื้นที่เลี้ยงอย่างไม่เหมาะสม และพื้นที่เลี้ยงเกินจุดสมดุลทางระบบนิเวศวิทยา (Over carrying capacity) (สิริ, 2541)

สมบัติของดินและน้ำที่มีผลต่อการเพาะเลี้ยงกุ้ง

ดิน (Soil)

ดินประกอบด้วยส่วนที่เป็นของแข็งและส่วนที่เป็นช่องว่าง ส่วนที่เป็นของแข็งทำหน้าที่เป็นโครงสร้างและให้ธาตุอาหารแก่พืช เกิดจากการสลายตัวของหิน แร่ และซากพืช ซากสัตว์ ส่วนที่เป็นช่องว่างจะเป็นที่อยู่ของอากาศและน้ำ ทำหน้าที่ให้กิจกรรมต่างๆ ของสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในดินและบนดินดำเนินกิจการไปได้ (คณาจารย์ภาควิชาธรณีศาสตร์, 2528) ดินก้นบ่อในบ่อเลี้ยงกุ้งนับว่าเป็นปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมในบ่อเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนาที่มีความสำคัญมาก นอกจากถูกใช้เป็นที่อยู่อาศัยของกุ้งยังเป็นบริเวณที่มีการสะสมของของเสียที่เป็นทั้งสิ่งขับถ่ายจากกุ้ง ซากกุ้ง เศษอาหารที่เหลือตกค้างอยู่ภายในบ่อตลอดช่วงระยะเวลาที่เลี้ยง และซากตายของแพลงก์ตอน รวมทั้งตะกอนสารอินทรีย์ที่ปะปนมากับน้ำและสิ่งขับถ่ายจากสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ดินที่ก้นบ่อโดยเฉพาะบริเวณกลางบ่อที่มีการตั้งเครื่องตีน้ำแบบรวมเลนนั้นจะมีแบคทีเรียและจุลินทรีย์เจริญเติบโตเพื่อย่อยสารอินทรีย์ใน

สภาพที่มีออกซิเจน สารอินทรีย์ที่ถูกย่อยโดยกระบวนการ ammonification จะทำให้เกิดแอมโมเนีย และกระบวนการ nitrification ทำให้แอมโมเนียเปลี่ยนเป็นไนไตรท์และไนเตรท และละลายอยู่ในน้ำที่แทรกอยู่ในระหว่างช่องว่างของเม็ดดินแล้วค่อยๆ แพร่ออกมาอยู่ในน้ำที่บริเวณก้นบ่อ ในชั้นดินที่ขาดออกซิเจนจะมีแบคทีเรียที่ใช้ไนเตรท ไนไตรท์ แทนออกซิเจนในการหายใจ เรียกว่า denitrifying bacteria (denitrifiers) โดยผ่านกระบวนการ denitrification ได้ก๊าซไนโตรเจนสู่บรรยากาศ (พุทธ, 2547)

ตะกอนดิน (Sediment)

ตะกอนดินเป็นส่วนที่อยู่ระหว่างดิน (soil) กับน้ำผิวดิน (surface water) ตะกอนดินประกอบด้วยสสารที่ถูกน้ำกัดกร่อน เช่น ทราย ดินเหนียว นอกจากนั้นยังประกอบด้วยสารอินทรีย์และแร่ธาตุต่างๆ ที่ถูกชะล้างลงสู่แหล่งน้ำ และอนุภาคต่างๆ ที่เกิดขึ้นในแหล่งน้ำเอง เช่น ซากแพลงก์ตอน รวมถึงสิ่งมีชีวิตอื่นๆ การย่อยสลายสารอินทรีย์บริเวณตะกอนดินเกิดขึ้นจากการที่สัตว์หน้าดินและจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในตะกอนดินกินอนุภาคเหล่านี้เป็นอาหารแล้วเปลี่ยนสารอินทรีย์ให้กลายเป็นแร่ธาตุ ซึ่งแร่ธาตุเหล่านี้มีการสะสมและแลกเปลี่ยน (โดยการไหลของสารผ่านเข้า-ออกผิวหน้าตะกอน (flux : ฟลักซ์) ระหว่างมวลน้ำและตะกอนดินที่บริเวณผิวสัมผัสของน้ำ-ตะกอนดิน (water-sediment interface) (พุทธและคณะ, 2543) คุณลักษณะของตะกอนดินยังสามารถบ่งชี้ถึงความเสื่อมโทรมของสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะการปนเปื้อนของสารต่างๆได้ดีกว่าการใช้คุณลักษณะของน้ำเป็นตัวชี้ เพราะนอกจากจะเป็นแหล่งกักเก็บสารในลำดับท้ายแล้วคุณลักษณะของตะกอนดินจะผันแปรตามเวลาน้อยกว่าน้ำ นอกจากนี้ตะกอนดินยังเป็นแหล่งเก็บสะสม (sink) และสร้างใหม่ (source) ของธาตุอาหาร ซึ่งกระบวนการเหล่านี้มีความสำคัญต่อระบบนิเวศของแหล่งน้ำ (นิคมและชัชวาล, 2546) ตะกอนดินในบ่อเลี้ยงกุ้งเป็นบริเวณที่มีการสะสมของสารประกอบไนโตรเจนตลอดระยะเวลาเลี้ยง จากการศึกษาดุลไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ พบว่าตลอดการเลี้ยงไนโตรเจนมีการสะสมอยู่ในตะกอนดินประมาณ 27% โดยไนโตรเจนที่ละลายและแขวนลอยอยู่ในน้ำมีประมาณ 45% (พุทธและคณะ, 2543 อ้างถึง Vorathep and Lin, 1996) และพุทธและคณะ (2542) ชี้ให้เห็นถึงบทบาทของตะกอนดินก้นบ่อในการควบคุมและเปลี่ยนแปลงสมบัติของน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งทะเล โดยทำการศึกษาฟลักซ์ของสารประกอบไนโตรเจนที่ผิวสัมผัสของน้ำ-ตะกอนดินในบ่อเลี้ยงกุ้งทะเล พบว่าแอมโมเนียและไนไตรท์มีการปลดปล่อยออกจากผิวดินเกือบตลอดระยะเวลาเลี้ยง โดยการปลดปล่อยไนไตรท์มีความสัมพันธ์กับปริมาณไนเตรทในดิน การดูดซับไนเตรทมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาเลี้ยงกุ้ง ตะกอนดินในบ่อเลี้ยงกุ้งมีการดูดซับและถ่ายเทแร่ธาตุ ก๊าซพิษต่างๆ กับน้ำอยู่ตลอดเวลา ตะกอนในบ่อเลี้ยงกุ้งนั้นประกอบด้วยองค์ประกอบต่างๆ คือ ดิน ซากแพลงก์ตอนพืช ซากแพลงก์ตอนสัตว์ เศษอาหารกุ้ง แอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเต

รท ตะกอนดินในบ่อเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนาเป็นบริเวณที่มีการสะสมและปลดปล่อยสารประกอบมากมาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารประกอบของไนโตรเจนที่เกิดจากการสลายตัวของอาหารกุ้ง สิ่งขับถ่ายของสิ่งมีชีวิต และซากแพลงก์ตอนอยู่ตลอดเวลาการเลี้ยง ดังนั้นอัตราการดูดซับแอมโมเนีย ไนไตรท์และไนเตรท จึงมีความสัมพันธ์โดยตรงกับระยะเวลาการเลี้ยง การสะสมตะกอนสารอินทรีย์ที่ก้นบ่อกุ้งที่มีการเลี้ยงแบบหนาแน่น ตะกอนเหล่านี้จะไม่ถ่ายเทจนกว่าจะมีการจับกุ้ง อาหารที่เหลือตกค้างที่ก้นบ่อจึงทำให้ตะกอนดินเป็นแหล่งของแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรทและสารอินทรีย์ไนโตรเจนอื่นๆ การเปลี่ยนแปลงของอนินทรีย์ไนโตรเจนในตะกอนดินจะเกิดขึ้น โดยแบคทีเรียผ่านกระบวนการnitrification และ denitrification การแลกเปลี่ยนสารประกอบไนโตรเจนเกิดขึ้นบริเวณผิวสัมผัสน้ำ-ตะกอน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท ในมวลน้ำและตะกอนดิน ส่งผลต่อการลดลงของออกซิเจน กระบวนการเปลี่ยนสารประกอบไนโตรเจนเป็นไนไตรท์และไนเตรท จำเป็นต้องใช้จุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจน (ออลเวท, 2547)

ความเป็นกรดและด่างของดิน (pH)

ความเป็นกรดและด่างของดิน (pH ของดิน) เป็นสมบัติทางเคมีที่มีความสำคัญต่อความอุดมสมบูรณ์ของดินมาก เนื่องจากเป็นตัวควบคุมปฏิกิริยาต่างๆ ในดิน ที่มีผลต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืช มีผลต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ดินที่ควบคุมการแปรรูปของธาตุอาหารพืชหลายชนิด ระดับ pH ของดินมีผลกระทบต่อกิจกรรมและปริมาณของจุลินทรีย์ในดิน เช่น แบคทีเรียทำงานได้ดีเมื่อดินมีระดับ pH เป็นกรดเล็กน้อยหรือเป็นกลาง เมื่อดินเป็นกรดมากขึ้นกิจกรรมของจุลินทรีย์จะน้อยลงตามลำดับ (มุกดา, 2544) ในดินอินทรีย์ความเป็นกรดเพิ่มมากขึ้นจากการสลายตัวผุพังของอินทรียวัตถุโดยจุลินทรีย์ชนิดที่ต้องการออกซิเจนในการสร้างพลังงาน pH ของดินประเภทนี้จะต่ำมาก คือต่ำมากกว่า 4.5 ลงไปถึง 3.0 นับว่ามีความเป็นกรดรุนแรง ดินอินทรีย์หรือดินที่มีอินทรียวัตถุมากเกินเมื่ออยู่ในสภาพมีออกซิเจนจะถูกย่อยสลายเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซที่ได้จากการสลายของอินทรียวัตถุด้วยการกระทำของจุลินทรีย์นี้ทำให้เกิดไฮโดรเจนอิออนและคาร์บอเนตในสารละลายดิน ในขณะเดียวกันมีจุลินทรีย์ในดินบางชนิดได้แก่ แบคทีเรียบางกลุ่มจะเจริญเติบโตได้ดีในช่วง pH 5.5 แต่เมื่ออยู่ในสภาพขาดออกซิเจน เช่น ในสภาพน้ำขังหรือขาดออกซิเจนทำให้เกิด NH_4^+ และ H_2S ในสภาพที่เหมาะสมสารทั้งสองชนิดนี้ภายใต้สภาวะมีออกซิเจนจะถูกออกซิไดซ์ให้เป็นกรดแก่ (strong inorganic acid) ได้แก่กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) pH ของดินยังเป็นตัวการสำคัญในการชี้บ่งความสามารถของดินที่จะเปลี่ยนแอมโมเนียม (NH_4^+) ให้กลายเป็นรูปไนเตรท (NO_3^-) กระบวนการ nitrification แทบไม่เกิดขึ้นเลยเมื่อดินมี pH 5 หรือต่ำกว่า เพราะแบคทีเรียพวก nitrifiersไม่สามารถเจริญได้และถึงแม้ pH อยู่ในช่วง 5.0 – 5.4 แบคทีเรียยังคงดำเนินการเปลี่ยนแอมโมเนียมไปเป็นไนเตรทได้แต่ช้ามาก (อภิรดี, 2536) ในบ่อกุ้ง pH ของน้ำผัน

แปรตาม pH ของดินบริเวณนั้น คือถ้าดินมีสภาพเป็นกรด น้ำก็มีสภาพเป็นกรดตามไปด้วย โดยทั่วไปนั้น pH ในบ่อกุ้งจะมีค่าระหว่าง 7.5-8.5 ซึ่งเป็นระดับ pH ของน้ำทะเลทั่วไปและเหมาะสำหรับการเจริญเติบโตของกุ้ง pH ยังมีผลต่อการละลายของแร่ธาตุที่ก้นบ่อ แพลงก์ตอนพืชจะนำไปใช้ได้เพราะแพลงก์ตอนพืชไม่มีรากไปดูดสารอาหารจากดินโดยตรง pH กับการละลายของแร่ธาตุมีสัมพันธ์กันแบบตรงข้าม ซึ่งถ้า pH ลดลงการละลายของแร่ธาตุในดินจะสูงขึ้นแต่การเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตจะลดลงตาม pH ที่ลดลง นอกจากนี้ pH ยังมีผลต่อรูปของกลุ่มสารที่ละลายในน้ำ เช่น สารกลุ่มแอมโมเนีย ถ้า pH สูงสารกลุ่มนี้จะอยู่ในรูป NH_3 เป็นส่วนใหญ่และมีพิษสูง แต่ถ้า pH ต่ำลงมา NH_3 ก็จะเปลี่ยนอยู่ในรูป NH^+_4 ซึ่งไม่มีความเป็นพิษดังนี้

$$NH_4^+ \rightleftharpoons NH_3 + H^+$$

pH ต่ำ (ไม่เป็นพิษ) pH สูง (เป็นพิษ)

ส่วนไฮโดรเจนซัลไฟด์หรือก๊าซไข่เน่า (H_2S) จะมีพิษมากเมื่อน้ำเป็นกรด แต่เมื่อ pH สูง H_2S จะเปลี่ยนไปอยู่ในรูป HS^- (ไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออน) ซึ่งมีความเป็นพิษต่ำ (หรือไม่เป็นพิษ)

$$H_2S \rightleftharpoons HS^- + H^+$$

pH ต่ำ (เป็นพิษ) pH สูง (ไม่เป็นพิษ)

จากการศึกษาของสุกัญญาและเสาวลักษณ์ (2533) พบว่า pH ของดินพื้นบ่อจะมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาที่เลี้ยง ซึ่งมีสาเหตุมาจากการสะสมของสารอินทรีย์และจะมีการปลดปล่อยไนโตรเจนในรูปไนเตรทและสภาพความเป็นกรดในดินพื้นบ่อจะลดลง (pH เพิ่ม) ตามอายุการเลี้ยงเมื่อมีการใช้ปูนขาว

อินทรียวัตถุ (Organic Matter)

อินทรียวัตถุในดินเกิดจากการสลายตัวของสิ่งมีชีวิตต่างๆ เช่น พืช สัตว์และจุลินทรีย์ จุลินทรีย์ในดินจะเป็นตัวการสำคัญที่ก่อให้เกิดการผุพังสลายตัวของสารอินทรีย์เหล่านี้ สารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นใหม่จากการสะสมจะมีสมบัติแตกต่างจากเศษซากของสิ่งมีชีวิตดั้งเดิมมาก เรียกสารอินทรีย์ชนิดใหม่นี้ว่า ฮิวมัส (humus) ซึ่งมีลักษณะสีดำคล้ำและมีโครงสร้างที่ซับซ้อน อินทรียวัตถุในดินเป็นส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญมีส่วนเกี่ยวข้องกับสมบัติทางชีวภาพของดิน โดยเป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ในดิน กล่าวคือทำหน้าที่เป็นแหล่งพลังงานของสิ่งมีชีวิตทุกชนิดทั้งเล็กและใหญ่ในดิน ซึ่งปริมาณของแบคทีเรีย แอคติโนมัยซิสและเชื้อราเกี่ยวข้องโดยตรงกับปริมาณของฮิวมัสในดินและอินทรียวัตถุเป็นตัวกำหนดสำหรับปฏิกิริยาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในดินทั้งทางกายภาพ ทางเคมีและชีวเคมี ซึ่งต้องอาศัยความเกี่ยวพันกันกับจุลินทรีย์ดินและสภาวะแวดล้อมต่างๆ ด้วย ปกติในดินทั่วๆ ไปจะมีฮิวมัสอยู่ในระดับ 1 - 5% และส่วนใหญ่อยู่ในรูปที่มีการรวมตัวกันอย่างคงที่กับส่วนที่เป็นอนินทรียสารของดิน และในสภาพธรรมชาตินั้นอินทรียวัตถุจะต้องประกอบด้วยสิ่งเหล่านี้ คือ

1. ส่วนประกอบที่เป็นองค์ประกอบหลักในเศษซากพืชหรือสัตว์ที่เติมลงไป
2. ผลที่เกิดขึ้นมาจากกระบวนการสลายตัวของเศษซากเหล่านั้นทั้งทางชีวะและเคมี
3. เซลล์ของจุลินทรีย์ทั้งที่มีชีวิตอยู่และตายไปแล้ว
4. ส่วนของจุลินทรีย์ดินที่สลายตัวไปแล้ว
5. ผลที่เกิดจากการรวมตัวกันของสารใดสารหนึ่งหรือทั้งหมดที่กล่าวมาแล้ว

การแปรสภาพของธาตุอาหารพืชในดินส่วนใหญ่เป็นผลจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพวกที่ต้องการใช้พลังงานและธาตุอาหารจากการสลายตัวของอินทรีย์สาร รวมทั้งการเปลี่ยนรูปของอนินทรียสารในดินจากรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ในกรณีของอินทรีย์สารที่ผสมคลุกเคล้าอยู่ในดินจะถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์ของจุลินทรีย์ซึ่งผลที่ได้จากการย่อยสลายคือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ กรดอินทรีย์ต่างๆ สารประกอบที่เป็นเมือก (slimy material) ธาตุอาหารต่างๆ (ปรัชญา, 2536)

แหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำมาจากเศษอาหารเหลือ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ การตายของแพลงก์ตอน และสิ่งขับถ่ายของสัตว์น้ำ รวมทั้งตะกอนที่มากับน้ำ ปริมาณสารอินทรีย์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึกของบ่อ โดยอินทรียวัตถุเหล่านี้ที่สะสมตกตะกอนเป็นจำนวนมาก และมีผลต่อกระบวนการออกซิเดชั่น-รีดักชั่น (oxidation-reduction) ที่ก้นบ่อ ซึ่งสามารถใช้ปริมาณอินทรียวัตถุในบ่อกุ้งเป็นดัชนีบอกมลภาวะในบ่อกุ้งได้ จากการศึกษาของสิริ (2532) พบว่าวิธีการเลี้ยงกุ้งที่ต่างกันจะทำให้ปริมาณอินทรียวัตถุที่ก้นบ่อต่างกัน ซึ่งผลการศึกษาพบว่าการทำนากุ้งแบบพัฒนาที่จังหวัดนครศรีธรรมราชมีค่าอินทรียวัตถุร้อยละ 0.75 ในขณะที่การทำนากุ้งแบบธรรมชาติมีค่าอินทรียวัตถุร้อยละ 0.27 สุวณิช (2540) ศึกษาปริมาณอินทรียวัตถุในดินเดิมกับดินพื้นบ่อที่เลี้ยงกุ้งในระยะเวลา 5, 6 และ 7 ปี และดินพื้นบ่อที่ปล่อยร้างเป็นระยะเวลา 3 5 และ 6 ปี ในบริเวณอ่าวไทยตอนใน พบว่า มีการสะสมของสารอินทรีย์ในบ่อที่ยังมีการเลี้ยงกุ้งอยู่เมื่อบ่อมีอายุมากขึ้น โดยพบในดินพื้นบ่อที่ระดับความลึก 5 - 15 เซนติเมตร ในกลุ่มบ่อเลี้ยงอายุ 7 ปี และในบ่อปล่อยร้างอายุ 5 และ 6 ปี พบการตกค้างของสารอินทรีย์ ส่วนกลุ่มบ่อร้างอายุ 3 ปี ปริมาณสารอินทรีย์ไม่แตกต่างจากดินเดิม

การศึกษาของคณะวิจัยศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ พบว่าในแหล่งเลี้ยงกุ้งเสื่อมโทรมมีสารอินทรีย์ตกค้างจำนวนมากที่สะสมอยู่ในดินพื้นบ่อ ในแหล่งน้ำข้างเคียงและในบ่อเลี้ยงกุ้ง เป็นสาเหตุทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดินและส่งผลต่อการเลี้ยงกุ้ง ปัญหาที่ทำให้พื้นที่เลี้ยงกุ้งเก่าจำนวนมากไม่สามารถให้ผลผลิตได้อีกต่อไปน่าจะมาจากสาเหตุหลักคือ การขาดการจัดการที่ดีเกี่ยวกับสารอินทรีย์ในบ่อ ทำให้มีการสะสมสารอินทรีย์ในดินพื้นบ่อและส่งผลให้คุณภาพน้ำเกิดความเป็นพิษ

จากสารอินทรีย์ที่เน่าสลายหรือทำให้กุ้งที่เลี้ยงอ่อนแอในสภาวะที่มีการแพร่ระบาดของโรคจนทำให้กุ้งตายยกบ่อ ทั้งนี้จากข้อมูลการวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างดินพื้นบ่อกุ้งร้างและดินเดิมพบว่าร้อยละ 90-100 ของบ่อเลี้ยงกุ้งที่ถูกทิ้งร้างมาเป็นระยะเวลา 3-6 ปี ยังมีค่าซีโอดีในระดับที่สูงกว่าดินเดิม นอกจากนี้ในบ่อร้างส่วนใหญ่ยังพบการสะสมของเหล็ก แมงกานีส ทองแดง สังกะสี โพแทสเซียมและแคลเซียมมีปริมาณเพิ่มขึ้น แต่มีปริมาณฟอสฟอรัสและโซเดียมลดลง อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณแร่ธาตุที่พบในดินบริเวณนี้ส่วนใหญ่ยังอยู่ในช่วงปกติ จากการวิเคราะห์ดินพื้นบ่อส่วนใหญ่ที่ยังคงมีการเลี้ยงกุ้งอยู่ก็พบการสะสมของสารอินทรีย์เช่นกัน ซึ่งหมายความว่าบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำเหล่านี้ยังมีปัญหาในการจัดการบ่อที่มีประสิทธิภาพไม่เพียงพอที่จะป้องกันการสะสมของสารอินทรีย์ได้ (สุริยา, 2547) การเพิ่มขึ้นของปริมาณอินทรียวัตถุในบ่อกุ้งแบบพัฒนาเป็นการเพิ่มขึ้นทีละน้อย เช่น บ่อกุ้งใหม่ในภาคใต้ของไทยมีปริมาณอินทรียวัตถุ 1.1 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในบ่อที่เพิ่งระบายน้ำออกไปมีปริมาณอินทรียวัตถุ 1.9 % เท่านั้น (Boyd, 2005) มีการศึกษาพบว่าอินทรียวัตถุสะสมในตะกอนดินชั้นบนความลึกระหว่าง 0 – 5 เซนติเมตร อินทรียวัตถุส่วนใหญ่ในชั้นความลึกนี้เป็นอินทรียวัตถุใหม่และมีการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์อย่างรวดเร็ว อินทรียวัตถุในตะกอนดินชั้นที่ลึกลงไปและในดินดั้งเดิมเป็นอินทรียวัตถุเก่าที่มีการย่อยสลายไปบางส่วนแล้วดังนั้นจึงมีการย่อยสลายช้ากว่าอินทรียวัตถุใหม่ ภาวการณ์ขาดออกซิเจนอาจเกิดขึ้นได้ในบางครั้งในตะกอนดินชั้นบนและมักมีสาเหตุจากการทับถมของอินทรียวัตถุใหม่ในช่วงการเลี้ยงกุ้งในขณะนั้นมากกว่าเกิดจากอินทรียวัตถุเก่า (Boyd, *et al*., 2001)

การนำไฟฟ้า (Electrical conductivity)

เนื่องจากเกลือประกอบด้วยอนุมูลที่มีประจุบวกและลบมาจับคู่กัน เช่น เกลือแกงหรือ Na^+Cl^- ซึ่งเป็นชนิดของเกลือหลักที่พบในน้ำทะเลและน้ำเค็มที่นำมาเลี้ยงกุ้ง เกลือแกงเมื่ออยู่ในสภาพน้ำเกลือจะอยู่แบบ อนุมูล Na^+ และ Cl^- เมื่ออยู่ในรูปประจุจึงมีสมบัติในการนำไฟฟ้า เมื่อเกลือมีความเค็มมาก ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายเกลือยิ่งมาก (สูง) ดังนั้นค่าการนำไฟฟ้าของดิน (soil paste) จึงนิยมนำมาเป็นตัวชี้วัดความเค็มของดินอย่างหนึ่งเพราะสามารถปฏิบัติได้ง่ายและได้ผลถูกต้องมากวิธีหนึ่ง (กรมพัฒนาที่ดิน, 2546) ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายเป็นปฏิภาคโดยตรงกับความเข้มข้นและชนิดของเกลือที่ละลายอยู่ในสารละลายนั้น สารละลายดินที่มีเกลือละลายอยู่มากเกินไปจะมีความดันออสโมติกสูงจนพืชไม่สามารถดูดธาตุอาหารมาใช้ประโยชน์ได้ (สมศักดิ์, 2537) ดังนั้นค่าการนำไฟฟ้าเป็นค่าที่บอกความเข้มข้นของเกลือที่ละลายอยู่ในน้ำในรูปแคตไอออนและแอนไอออนที่มีอยู่ในสารละลายดินอย่างหยาบๆ เนื่องจากการนำน้ำทะเลมาใช้เลี้ยงกุ้ง ค่าการนำไฟฟ้าที่วัดได้จากดินนากุ้งจึงถูกควบคุมโดยสารประกอบต่างๆ ที่มีอยู่ในน้ำทะเล ซึ่งน้ำทะเลจะมีส่วนประกอบของเกลือไอออนเป็นส่วนใหญ่ ได้แก่ โซเดียมไอออน (Na^+) และคลอไรด์

ไอออน (Cl^-) ซึ่งมีมากถึง 86% นอกจากนี้ก็ประกอบด้วยไอออนของซัลเฟต (SO_4^{2-}) แมกนีเซียม (Mg^{2+}) และโพแทสเซียม (K^+) รวมกันประมาณ 13% ที่เหลือคือสารประกอบอื่นๆ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พบว่า ค่าความเค็มของตะกอนดินในบ่อเลี้ยงกุ้ง ยิ่งอายุบ่อมากขึ้นความเค็มสะสมบริเวณผิวดินและใต้ดินก็เพิ่มขึ้น โดยจากการวิเคราะห์การแพร่ของความเค็มในแนวดิ่งจากพื้นบ่อเลี้ยงกุ้ง พบว่าส่วนใหญ่มีการสะสมเกลืออยู่ในระดับ 0 – 15 เซนติเมตร โดยในการสำรวจชั้นดินในระดับ 1 เมตรของบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงมาแล้ว 4 ครั้ง อายุประมาณ 2 ปี ที่จังหวัดนครนายก จำนวน 2 บ่อ พบการสะสมเกลือสูงสุดที่ระดับ 0 – 5 เซนติเมตร โดยอยู่ในช่วง 6.15 – 9.07 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร นอกนั้นอยู่ในระดับต่ำกว่า 4.10 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร ในระดับ 1 เมตรของบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงมาแล้ว 6 ครั้ง อายุประมาณ 3 ปี ในเขตอำเภอบ่อสร้าง ปราจีนบุรี จำนวน 2 บ่อ พบการสะสมเกลือสูงสุดที่ระดับ 0 – 5 เซนติเมตร โดยอยู่ในช่วง 6.32 – 7.56 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร ระดับ 5 – 10 เซนติเมตร อยู่ในช่วง 5.01 – 6.12 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร นอกนั้นอยู่ในระดับต่ำกว่า 4.53 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร อีกการศึกษาหนึ่งพบว่าในระดับ 1 เมตรของบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงมาแล้ว 10 ครั้ง อายุประมาณ 5 ปี ที่จังหวัดฉะเชิงเทราจำนวน 3 บ่อ พบการสะสมเกลือสูงสุดที่ระดับ 0 – 5 เซนติเมตร โดยอยู่ในช่วง 6.05 – 14.10 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร ระดับ 5 – 10 เซนติเมตร อยู่ในช่วง 4.20 – 6.5 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร นอกนั้นเกือบทั้งหมดอยู่ในระดับต่ำกว่า 4.00 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร การพบเกลือในปริมาณสูงที่บริเวณผิวดินระดับ 0 – 5 เซนติเมตร ของพื้นบ่อเลี้ยงกุ้ง น่าจะเนื่องมาจากปริมาณเกลือที่ตกค้างจากการระเหยของน้ำหลังจากจับกุ้ง ความเค็มนี้น่าจะลดลงเมื่อเติมน้ำจืดหรือน้ำที่มีความเค็มต่ำลงไปในบ่อ (สถาบันอาหาร, 2541)

สารประกอบไนโตรเจน

สารประกอบไนโตรเจนในแหล่งน้ำมีความสำคัญในวงจรชีวิตของพืชและสัตว์ ไนโตรเจนมีวาเลนซีได้หลายค่า การเปลี่ยนวาเลนซีนี้เกิดขึ้นโดยสิ่งมีชีวิต แบคทีเรียสามารถเปลี่ยนแปลงวาเลนซีของไนโตรเจนให้มากขึ้นหรือน้อยลงขึ้นอยู่กับสภาวะที่มีออกซิเจนหรือไม่มีออกซิเจน ในแง่ของอนินทรีย์เคมีสารประกอบไนโตรเจนมีได้มากมายหลายรูป ในวาเลนซีที่แตกต่างกันถึง 7 ค่า คือ NH_3(-3), N_2(0), N_2O(+1), NO(+2), N_2O_3(+3), NO_2(+4), N_2O_5(+5) สำหรับทางด้านประมงศึกษาไนโตรเจนใน 3 รูปแบบ คือ แอมโมเนีย (NH_3) ไนไตรท์ (NO_2^-) และไนเตรท (NO_3^-) สารประกอบพวกนี้อยู่ในรูปปุ๋ยหรือเกลือปัสสาวะ ส่วนสารประกอบพวกอินทรีย์ไนโตรเจน ได้แก่ โปรตีน กรดอะมิโน กรดนิวคลีอิก ซึ่งเป็นส่วนประกอบของร่างกายพืชและสัตว์ ในอุจจาระ ในปุ๋ยคอก สารเหล่านี้เข้ามามีความสำคัญในน้ำเนื่องจากสามารถเปลี่ยนรูปสารอินทรีย์ไปเป็นอนินทรียสาร

โดยกระบวนการที่เรียกว่า mineralization ซึ่งแบคทีเรียเป็นตัวสำคัญในการทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง นอกจากนี้อนินทรียสารในรูปต่างๆ ก็อาจเปลี่ยนกลับไปกลับมาได้โดยแบคทีเรีย โดยกระบวนการ ammonification, nitrification และ denitrification กระบวนการดังกล่าวมีความสำคัญเกี่ยวกับ วัฏจักรเคมีของน้ำ เพราะทำให้มีสารอาหารของพืชน้ำและสิ่งมีชีวิตเล็กๆ สามารถนำไปใช้ได้ (ประเทือง, 2534)

แอมโมเนีย

แอมโมเนียเป็นอนินทรีย์ไนโตรเจนที่เกิดจากการย่อยสลายอินทรีย์ไนโตรเจน การขับถ่ายของสิ่งมีชีวิต อาหารที่ตกค้าง การย่อยสลายยูเรีย แอมโมเนียเมื่อละลายน้ำมีอยู่ 2 รูปคือ รูปที่มีประจุ (NH_4^+) และไม่มีประจุ (NH_3)

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

แพลงก์ตอนพืชและพืชน้ำใช้แอมโมเนียเพื่อสร้างโปรตีน(กรดอะมิโน) ส่วนแอมโมเนียที่เกินความต้องการถูกปล่อยสู่แหล่งน้ำ ในสภาวะที่มีออกซิเจนแอมโมเนียในแหล่งน้ำถูกออกซิไดซ์โดย *Nitrosomonas* และ *Nitrobactor* ไปเป็นไนไตรท์ และไนเตรทตามลำดับ ดังสมการ

$$2NH_3 + 3O_2 \rightarrow 2NO_2^- + 2H^+ + 2H_2O$$

$$2NO_2^- + O_2 \rightarrow 2NO_3^-$$

ในแหล่งน้ำที่มีออกซิเจนสูง อัตราการเปลี่ยนแอมโมเนียไปเป็นไนไตรท์และจากไนไตรท์เป็นไนเตรทจะมีอัตราที่เท่ากัน ดังนั้นในแหล่งน้ำทั่วไปจึงมีไนไตรท์ค่อนข้างต่ำ ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน ไนเตรทจะถูกแบคทีเรียบางชนิดเปลี่ยนไปเป็นไนไตรท์ และก๊าซไนโตรเจนตามลำดับ ซึ่งกระบวนการดังกล่าวเรียกว่า denitrification

$$2HNO_3 \; 2HNO_2 \rightarrow N_2O \rightarrow N_2(g) \rightarrow \rightarrow$$

ความเป็นพิษของแอมโมเนียสัมพันธ์กับความเข้มข้นของแอมโมเนียรูปที่ไม่มีประจุซึ่งเป็นรูปที่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำ สัตว์น้ำส่วนใหญ่เมื่อสัมผัสกับแอมโมเนียรูปที่ไม่มีประจุ 1-2 mg-N/L นานประมาณหนึ่งชั่วโมงจะทำให้เกิดการตายอย่างฉับพลัน (นิคมและชัชวาล, 2546 อ้างถึง Boyd and Tucker, 1998) อย่างไรก็ตามความเป็นพิษของแอมโมเนียต่อสัตว์น้ำยังขึ้นกับปัจจัยอื่นๆ ด้วย โดยเฉพาะออกซิเจนละลาย ที่ความเข้มข้นเดียวกันแอมโมเนียที่ไม่มีประจุเป็นพิษมากขึ้นเมื่อมีความเข้มข้นของออกซิเจนละลายต่ำ แหล่งน้ำโดยทั่วๆ ไป พบแอมโมเนียรูปที่มีประจุเป็นส่วนใหญ่ สัดส่วนของแอมโมเนียรูปที่ไม่มีประจุและรูปที่มีประจุขึ้นกับค่า pH อุณหภูมิ และ ionic strength โดย pH มีอิทธิพลสูงสุด ส่วน ionic strength มีอิทธิพลต่อสัดส่วนดังกล่าวน้อยมาก

ผลของแอมโมเนียต่อกุ้งทะเล

กุ้งจะขับแอมโมเนีย โดยเลือดกุ้งจะพาเอาแอมโมเนียไปปล่อยออกจากร่างกายทางเหงือกกุ้งในระหว่างที่กุ้งมีการหายใจ น้ำที่มีแอมโมเนียน้อย (อาจจะใช้ระดับแอมโมเนียอิสระในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อกุ้ง 0.1 mg-N/L เป็นเกณฑ์เปรียบเทียบ) จะทำให้กุ้งสามารถขับถ่ายแอมโมเนียได้ดี และมีการเจริญเติบโตที่ดี ถ้าแอมโมเนียในน้ำมาก แอมโมเนียที่เป็นของเสียในน้ำจะสามารถแพร่ย้อนกลับเข้าไปในเลือดได้ การที่มีแอมโมเนียในเลือดกุ้งสูงจะทำให้ pH ในเลือดกุ้งสูงขึ้น ซึ่งจะทำให้แอมโมเนียในเลือดกุ้งมีความเป็นพิษมากขึ้น pH ของเลือดสูงผิดปกติ ทำให้เอนไซม์ในเลือดกุ้งทำงานไม่ปกติ ในสภาวะเช่นนี้จะทำให้กุ้งโตช้า (แอมโมเนียอิสระในช่วง 0.1 - 0.4 mg-N/L) แต่ถ้าแอมโมเนียมีความเข้มข้นสูงมากจะทำให้กุ้งเครียดจนอาจจะทำให้กุ้งตายได้ (แอมโมเนียอิสระมากกว่า 0.4 mg-N/L)

ไนไตรท์

ไนไตรท์เป็นสารประกอบระหว่างกลางในกระบวนการ nitrificationโดยทั่วไปไนไตรท์จะไม่สะสมอยู่ในแหล่งน้ำเพราะไนไตรท์ที่ได้จะเปลี่ยนไปเป็นไนเตรทอย่างรวดเร็ว แต่ในบางสภาวะหากอัตราการออกซิไดซ์แอมโมเนียเร็วกว่าอัตราการออกซิไดซ์ไนไตรท์ ก็จะเกิดการสะสมของไนไตรท์ขึ้นได้ บ่อเลี้ยงสัตว์น้ำที่เลี้ยงสัตว์น้ำด้วยความหนาแน่นสูงพบ ไนไตรท์ในความเข้มข้นที่สูง เพราะในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำมีการเติมไนโตรเจนในรูปของอาหารเม็ด ปุ๋ยเคมี หรือปุ๋ยคอกลงไปในบ่อ อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของไนไตรท์ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำมักจะต่ำ (<0.1 mg-N/L) เนื่องจากแอมโมเนียซึ่งเป็นสารตั้งต้นถูกแพลงก์ตอนพืชนำไปใช้ (นิคมและยงยุทธ, 2546)

ผลของไนไตรท์ต่อกุ้งทะเล

ไนไตรท์เป็นสารประกอบไนโตรเจนที่มีความเป็นพิษต่อกุ้งน้อยกว่าแอมโมเนีย มีรายงานว่าความเป็นพิษของไนไตรท์ขึ้นกับระดับของความเค็มในน้ำจืดไนไตรท์จะมีระดับความเป็นพิษที่สูงกว่าในน้ำเค็ม ระดับของไนไตรท์ที่ปลอดภัยต่อกุ้งที่ทดลองในห้องปฏิบัติการอยู่ที่ระดับ 10 mg-N/L ซึ่งเป็นระดับที่สูงมากและไม่ค่อยพบในบ่อเลี้ยงกุ้งทะเล โดยข้อเท็จจริง การพบไนไตรท์ในระดับ 0.5 - 1.0 mg-N/L ในบ่อเลี้ยงที่พบว่ามีปัญหากุ้งกินอาหารน้อยลง ในบ่อเลี้ยงกุ้งแบบปิดหมุนเวียนที่มีการรักษาออกซิเจนให้อยู่ในระดับที่พอเพียงต่อการเจริญเติบโตของกุ้ง (มากกว่า 4 mg/L) พบว่ามีปริมาณไนไตรท์สูง 0.5 mg-N/L ซึ่งสามารถเลี้ยงกุ้งโดยไม่มีปัญหา ดังนั้นจะเห็นได้ว่าผลที่เกิดขึ้นน่าจะไม่ได้มาจากความเป็นพิษของไนไตรท์โดยตรง ไนไตรท์ในระดับความเข้มข้นต่ำๆ จะเป็นพิษต่อสัตว์น้ำที่มีเลือดสีแดง เม็ดเลือดเป็นชนิดที่เรียกว่าฮีโมโกลบิน (haemoglobin) ไนไตรท์สามารถเข้าไปแย่งออกซิเจนจับกับเม็ดเลือดทำให้เกิดการขาดออกซิเจนได้ ถึงแม้ว่าในน้ำจะมีออกซิเจนละลายอยู่มากก็ตาม ในสัตว์ประเภทกุ้ง ปู ที่มีเลือดสีน้ำเงิน เม็ดเลือดเป็นชนิดที่เรียกว่า

ฮีโมไซยานิน (haemocyanin) ไนไตรท์จะเข้าจับกับเม็ดเลือดได้น้อยกว่า ไนไตรท์จึงมีความเป็นพิษต่อกุ้งน้อยลง นอกจากนี้ไนไตรท์ในเลือดกุ้งจะทำให้ระดับโปรตีน และ pH ของเลือดกุ้งลดลง ซึ่งจะทำให้ชีวเคมีในเลือดกุ้งเปลี่ยนแปลงไป เกิดการสะสมของยูเรียในเลือดกุ้ง และมีการดูดซึมน้ำมากทำให้สมดุลเกลือแร่เปลี่ยนไป ไนไตรท์จะเป็นสารประกอบไนโตรเจนที่พบในปริมาณน้อยในแหล่งน้ำธรรมชาติ ในการเลี้ยงกุ้งทะเลระบบเปิด (ถ่ายน้ำ) จะพบไนไตรท์ในระดับ 0.01 - 0.18 mg-N/L การสะสมของไนไตรท์ในบ่อเลี้ยงกุ้งระบบปิดแสดงให้เห็นว่าอาจจะมาจากการที่ออกซิเจนในบ่อเลี้ยงกุ้งอยู่ในระดับต่ำ แบคทีเรียทำงานไม่เต็มที่ หรือปริมาณการผลิตของไนไตรท์จากดินก้นบ่อมีมากเกินไป ดังนั้นถ้าสามารถจัดการให้มีออกซิเจนและแบคทีเรียเพียงพอ และมีของเสียที่ก้นบ่อน้อย เกษตรกรก็จะสามารถแก้ปัญหาการสะสมของไนไตรท์ในบ่อเลี้ยงกุ้งได้ (พุทธ, 2547)

ไนเตรท

ไนเตรทเป็นอนินทรีย์ไนโตรเจนที่พบเสมอในแหล่งน้ำธรรมชาติและในระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ซึ่งส่วนใหญ่ได้จากผลผลิตขั้นสุดท้ายของกระบวนการ nitrification แต่ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำไนเตรทอาจได้มาจากการใช้ปุ๋ยไนเตรทเพื่อกระตุ้นการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช หรือการใช้ปุ๋ยไนเตรทตามพื้นบ่อเพื่อป้องกันสภาวะที่เป็นรีดิวซ์ที่จะนำไปสู่การผลิตไฮโดรเจนซัลไฟด์ขึ้นมาจากการใช้ไนเตรท ผลของไนเตรทต่อสัตว์น้ำคล้ายคลึงกับไนไตรท์ กล่าวคือ ไปลดประสิทธิภาพในการขนส่งออกซิเจนของเลือดและทำลายเนื้อเยื่อของสัตว์น้ำ

การสะสมของไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงกุ้ง

จากการศึกษาวิจัยพบว่าไนโตรเจนเกือบทั้งหมด (97%) ที่เข้าสู่บ่อเลี้ยงกุ้งมาจากอาหารที่ให้กุ้งกิน กุ้งสามารถเก็บไนโตรเจนไว้ในเนื้อกุ้งได้ประมาณ 21.8% ไนโตรเจนอีกประมาณเกือบ 80% นั้นจะตกค้างอยู่ในบ่อในรูปของเศษอาหารและขี้กุ้งที่บริเวณก้นบ่อประมาณ 70% และในรูปของสิ่งขับถ่ายที่ละลายน้ำได้ เช่น อินทรีย์ไนโตรเจน แอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรทประมาณ 9% ไนโตรเจนที่สะสมอยู่ในบ่อจะมีการเปลี่ยนแปลงจากรูปที่สามารถเป็นอาหารของแบคทีเรียและสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก ให้อยู่ในรูปของสารประกอบที่เป็นพิษกับกุ้ง (แอมโมเนียและไนไตรท์) หมุนเวียนไปมาในระบบนิเวศของบ่อเลี้ยงกุ้ง บางส่วนจะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซไนโตรเจนและจะออกจากบ่อเลี้ยงกุ้งไป (พุทธ, 2547)

อัตราส่วนของคาร์บอนและไนโตรเจน (C/N ratio)

C/N ratio คืออัตราส่วนระหว่างอินทรีย์คาร์บอนกับไนโตรเจนทั้งหมด เป็นปัจจัยที่บ่งชี้ว่าในการย่อยสลายสารอินทรีย์เหล่านี้จะมีไนโตรเจนเพียงพอกับความต้องการของจุลินทรีย์และทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์ดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพได้หรือไม่ เช่น ฟางข้าวมีคาร์บอนประมาณ

40 – 50% และมีไนโตรเจนประมาณ 0.5% หรือมีค่า C/N ratio เท่ากับ 90 : 1 ถึง 100 : 1 เมื่อคลุกลงไปในดิน จุลินทรีย์จะดึงไนโตรเจนจากดิน ทำให้พืชหรือสาหร่ายขาดไนโตรเจน

C/N ratio จะเกี่ยวข้องกับกระบวนการ immobilization และ mineralization โดย

1. C/N ratio สูงกว่า 30 : 1 อัตราการ immobilization มากกว่า mineralization

2. C/N ratio อยู่ระหว่าง 30 : 1–20 : 1 อัตราการ immobilization เท่ากับ mineralization

3. C/N ratio น้อยกว่า 20 : 1 อัตราการ immobilization น้อยกว่า mineralization (สุริยา, 2547)

จุลินทรีย์ดิน

จุลินทรีย์ดินเป็นตัวการสำคัญในการย่อยสลายอินทรียวัตถุในดิน ส่วนใหญ่จะเจริญเติบโตได้ดีและทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดในช่วงระดับ pH ที่เป็นกลาง เช่น จุลินทรีย์ดินส่วนใหญ่จะทำการย่อยสลายอินทรียวัตถุในดินได้ดี และมีประสิทธิภาพสูงสุดในช่วง pH ของดินที่ค่อนข้างเป็นกรดเล็กน้อย 6.6 – 6.9 อย่างไรก็ตามในดินที่มีระดับ pH ลดต่ำลงมากกว่า 6.5 จุลินทรีย์ในดินอีกหลายชนิดยังคงทำงานอยู่ได้ แต่ทั้งนี้ไม่ควรต่ำกว่า pH 5.5 อย่างเช่น แบคทีเรีย *Azotobacter* ช่วง pH ของดินที่เหมาะสมต่อการตรึงไนโตรเจนและกระบวนการ nitrification จะต้องอยู่ในช่วงสูงกว่า 5.5 ถ้า pH ลดต่ำลงกว่านี้ จุลินทรีย์ดินหลายชนิดจะได้รับสารพิษที่ละลายได้ดีในช่วง pH ต่ำๆ และจากกรดอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นจนจุลินทรีย์ดินไม่สามารถแบ่งเซลล์เพื่อขยายพันธุ์ต่อไปได้ (อภิรดี, 2536) แบคทีเรียที่พบในน้ำและตะกอนดินมีหลายชนิดและปริมาณต่างๆ กันไป ดังตารางที่ 1 และตารางที่ 2

ตารางที่ 1 กลุ่มและจำนวนแบคทีเรียที่พบในน้ำและตะกอนดิน

แบคทีเรีย	ความหนาแน่น (จำนวนต่อมิลลิลิตร)	ที่อยู่
ตัวกลม ติดสีแกรมลบ	0.2- 0.6	น้ำ
ชอบความเค็ม	$10^4 – 10^6$	น้ำ
ให้แอมโมเนีย	2.2×10^3	น้ำ
สังเคราะห์แสง	$10^2 – 10^5$	น้ำ
ไนตริฟายอิง	0 – 36/100	น้ำ
	$10^1 – 10^3$	ตะกอนดิน
ตรึงไนโตรเจน	1 – 10	ตะกอนดิน
เมทธาโนเจน	$17 – 9.3 \times 10^3$	ตะกอนดิน

ที่มา : ศิริรัตน์, 2539 ดัดแปลงจาก Austin, B. 1988

ตารางที่ 2 จำนวนแบคทีเรียที่อยู่ในดิน 1 กรัม

	ชนิดดิน		
	ทุ่งนา	ทุ่งหญ้า	น้ำขัง
ความชื้น	18.1	7.0	37.2
แคลเซียมคาร์บอเนต	5.0	11.4	47.6
แบคทีเรียใช้น้ำตาล	3.5×10^6	3.0×10^5	1.7×10^6
แบคทีเรียใช้น้ำตาล (ไม่ใช้ออกซิเจน)	1.3×10^5	6.2×10^5	2.1×10^6
แบคทีเรียย่อยยูเรีย	8.5×10^4	5.2×10^3	2.5×10^3
ดีไนตริฟายอิง	4.0×10^0	8.5×10^2	3.7×10^2

ที่มา : ศิริรัตน์, 2539 ดัดแปลงจาก Pelezar, 1977

การศึกษาพบว่าการสะสมอินทรียวัตถุในตะกอนดินในแนวดิ่งของทะเลอาระเบียนพบว่าอินทรียวัตถุส่วนใหญ่สะสมอยู่ในตะกอนดินที่ความลึกมากกว่า 5 เซนติเมตร ซึ่งเป็นบริเวณที่มี

ปริมาณออกซิเจนและไนเตรทน้อยมากแต่ยังคงพบซัลเฟตอยู่ ในตะกอนดินที่ลึกระหว่าง 0 – 5 เซนติเมตรพบจุลินทรีย์จำนวนมากโดยที่จำนวนจะค่อยๆ ลดลง แต่จำนวนจุลินทรีย์จะลดลงอย่างรวดเร็วในตะกอนดินความลึกมากกว่า 5 เซนติเมตร ซึ่งเป็นบริเวณที่มีอินทรียวัตถุสะสมอยู่จำนวนมาก (Boetius, *et al*., 2005) การศึกษาแบคทีเรียในตะกอนดินของ East Frisian Wadden Sea พบว่าในตะกอนดินชั้นบน 0 – 5 เซนติเมตร มี total bacterial count สูงถึง 10^9 CFU/g sediment และที่ความลึก 50 เซนติเมตรพบ 10^7 CFU/g sediment (Beate, *et al*., 2003)

บทบาทจุลินทรีย์ต่อระบบนิเวศในบ่อกุ้ง

ในบ่อกุ้งมีสิ่งมีชีวิตหลายชนิดที่เกี่ยวข้องกับในระบบนิเวศ เช่น จุลินทรีย์ แพลงก์ตอนพืช แพลงก์ตอนสัตว์ สัตว์หน้าดิน ปลา กุ้ง หอย ปู เป็นต้น ความสัมพันธ์นี้ต่อเนื่องกันเป็นวงจรทั้งแบบพึ่งพาอาศัยกันและแก่งแย่งกัน โดยแพลงก์ตอนพืชเป็นอาหารปฐมภูมิในระบบให้แก่แพลงก์ตอนสัตว์ กุ้ง ปู ปลา และสิ่งมีชีวิตอื่นที่อยู่ในระดับห่วงโซ่อาหารที่สูงขึ้นไป เมื่อสิ่งมีชีวิตเหล่านี้ตายไป จุลินทรีย์ที่อยู่ในน้ำ ในดิน จะทำหน้าที่ย่อยสลาย มีรายงานพบจุลินทรีย์บนผิวหน้าดินลึกประมาณ 6 นิ้ว ในปริมาณ 1 ตันต่อ 1 ไร่ และจุลินทรีย์ 1 กรัมหายใจในอัตราที่เร็วกว่าเซลล์ของมนุษย์ถึง 100 เท่า ดังนั้นกิจกรรมของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายจึงมีประสิทธิภาพอย่างมาก จุลินทรีย์ในบ่อกุ้งมีหลายสกุลที่ทำหน้าที่ในวัฏจักรต่างๆ ส่วนใหญ่จุลินทรีย์สามารถหลั่งเอ็นไซม์ออกมานอกเซลล์ (extracellular enzyme) เช่น อะไมเลส โปรติเอส และไลเปส ที่ช่วยย่อยคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน ตามลำดับ จากโครงสร้างของสารที่ซับซ้อนให้ได้หน่วยย่อยที่เล็กลง เช่น กรดอินทรีย์ กรดไขมัน แอลกอฮอล์ เอสเทอร์ คาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน และไฮโดรเจนซัลไฟด์ กล่าวคือ จุลินทรีย์สามารถย่อยอาหารกุ้ง ซากกุ้ง และขี้กุ้ง โดยใช้เป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงานสำหรับการดำรงชีวิต ซึ่งอาจทำให้น้ำในบ่อมี pH และออกซิเจนละลายน้ำแปรปรวน เนื่องจากการใช้ออกซิเจนของจุลินทรีย์เหล่านี้ (ศิริรัตน์, 2539)

ปัจจัยที่ควบคุมการแพร่ขยายพันธุ์ของจุลินทรีย์ (บุญเชิญ, 2547)

1. อากาศ ออกซิเจนต้องมีเพียงพอไม่น้อยกว่า 1 mg/L ปัจจัยข้อนี้ ทำให้แบ่งจุลินทรีย์ออกเป็น 2 กลุ่ม

- กลุ่มแรก เป็นกลุ่มที่ต้องใช้ออกซิเจนจากอากาศหรือน้ำจึงจะสามารถมีชีวิตและแพร่ขยายพันธุ์ได้ เป็นจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในการย่อยสลายอินทรีย์สารหรือให้สารอาหารเป็นอาหารแก่แพลงก์ตอนพืชและแพลงก์ตอนสัตว์ เป็นจุลินทรีย์ที่อ่อนแออยู่ในสถานที่ค่อนข้างสะอาด และ pH ประมาณ 7 – 8

- กลุ่มสอง เป็นกลุ่มที่ไม่ต้องใช้ออกซิเจนจากอากาศและน้ำเพราะสามารถดึงเอาออกซิเจนจากสารประกอบที่มีออกซิเจนเป็นตัวประกอบมาใช้ในกิจกรรมการแพร่ขยายพันธุ์และ

การย่อยสลายในสภาพที่เลว เช่น pH สูงเกิน 8. 0 ขึ้นไป มีก๊าซพิษต่างๆ มาก และกลุ่มนี้มักจะเป็นโรคของกุ้งด้วย การย่อยสลายจะเกิดอยู่ตรงบริเวณที่มีของเสียสะสม คือ บริเวณก้นบ่อโดยเฉพาะตรงบริเวณกลางบ่อบริเวณนี้จำเป็นต้องมีออกซิเจนอย่างเพียงพอ

2. ก๊าซพิษอื่นๆ ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ แอมโมเนีย ไนไตรท์ ไฮโดรเจนซัลไฟด์

3. อุณหภูมิ เป็นตัวกระตุ้นการแพร่พันธุ์และเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ อุณหภูมิที่พอเหมาะคือ 30 -40 องศาเซลเซียส

4. สารพิษ ได้แก่ ปูนขาว กรด ยาฆ่าเชื้อนานาชนิด ยาปฏิชีวนะ และคลอรีน เป็นตัวฆ่าทำลายจุลินทรีย์ได้

5. แสงแดดและความชื้น

6. ธาตุอาหารต่างๆ

การแปรสภาพของไนโตรเจนโดยจุลินทรีย์

การแปรสภาพ (transformation) ของไนโตรเจนจากอินทรีย์ไนโตรเจนเป็นอนินทรีย์ไนโตรเจน (mineralization) ขณะที่อนินทรีย์ไนโตรเจนเป็นอินทรีย์ไนโตรเจน (immobilization) รวมถึงการออกซิไดซ์แอมโมเนียหรือแอมโมเนียมเป็นไนไตรท์หรือไนเตรท (nitrification) และ ไนไตรท์หรือไนเตรทเป็นก๊าซไนโตรเจน (denitrification) กระบวนการต่างๆ เหล่านี้เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นเนื่องจากกิจกรรมของจุลินทรีย์หรือเอนไซม์เป็นส่วนใหญ่ และผลของการแปรสภาพหรือการเกิดกระบวนการกระทบกระเทือนต่อสมบัติของดิน โดยเฉพาะสมบัติที่เกี่ยวข้องกับการเกษตรกรรมเป็นอย่างยิ่ง

การแปรสภาพจากอินทรีย์ไนโตรเจนเป็นอนินทรีย์ไนโตรเจน (Mineralization)

ไนโตรเจนที่มีอยู่ในดินชั้นบนโดยทั่วไปนั้น ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของอินทรีย์ไนโตรเจน ส่วนประกอบทางเคมีของอินทรีย์ไนโตรเจนเหล่านี้ยังไม่เป็นที่ทราบกันอย่างแน่นอน ทั้งนี้เพราะมีอินทรีย์ไนโตรเจนหลายชนิดที่รวมตัวกันอยู่กับสารอื่นในดินอย่างสลับซับซ้อน อย่างไรก็ตาม จากที่มีการสกัดหรือย่อยแล้ว ปรากฏว่ามีพวกกรดอะมิโนรวมตัวกันอยู่มากมาย ส่วนกรดอะมิโนที่อยู่อย่างอิสระนั้นมีอยู่น้อยมาก (0.2 - 40 ส่วนในล้านส่วน)

อินทรีย์ไนโตรเจนในรูปต่างๆ เหล่านี้สลายตัวอย่างรวดเร็วโดยอิทธิพลของจุลินทรีย์ในสภาพของห้องปฏิบัติการ แต่สลายตัวช้ามากในดิน สาเหตุที่อินทรีย์ไนโตรเจนสลายตัวช้าในดินนั้น เนื่องมาจากเหตุผลหลายประการด้วยกัน เช่น จากสมมติฐานที่ว่า โปรตีนสามารถรวมตัวอย่างสลับซับซ้อนกับส่วนที่ไม่ใช่ไนโตรเจนของฮิวมัส เป็น "lignin-protein complex" หรือ "ligno-protein complex" ทำให้โปรตีนทนทานต่อการสลายตัวโดยจุลินทรีย์ สมมติฐานอีกประการหนึ่งคือ การเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างผลึกของอนุภาคดินเหนียวของโปรตีน ประกอบกับเอนไซม์ที่ จะย่อย

(proteolytic enzyme) นั้นก็เป็นโปรตีนชนิดหนึ่ง จึงเข้าไปแทรกอยู่ในผลึกได้เช่นเดียวกันแต่ตำแหน่งไม่ตรงกับที่โปรตีนอยู่ ดังนั้น จึงทำให้กิจกรรมของเอนไซม์ลดลงหรือหยุดชะงักได้ อย่างไรก็ตาม กระบวนการแปรสภาพจากอินทรีย์ไนโตรเจนเป็นอนินทรีย์ไนโตรเจน ก็เกิดขึ้นได้ในดินโดยเฉพาะเมื่อมีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ มีสารอินทรีย์ชนิดอื่นๆ เพิ่มเติมลงไป

จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการ mineralization

จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการแปรสภาพของอินทรีย์ไนโตรเจนเป็นอนินทรีย์ไนโตรเจนมีอยู่จำนวนมากชนิดด้วยกันและเนื่องจากผลที่เกิดจากกระบวนการนี้ส่วนใหญ่เป็นแอมโมเนีย ดังนั้นจึงเรียกจุลินทรีย์เหล่านี้รวมๆ กันว่า ammonifiers จุลินทรีย์พวกนี้มีอยู่ในดินโดยทั่วไปประมาณ 10^5 - 10^7 เซลล์ต่อดินแห้ง 1 กรัม สารอินทรีย์ไนโตรเจนที่ใช้ได้ดี คือ กรดอะมิโนและโปรตีน เช่น casein, albumin และ gelatin ส่วนพวก chitin นั้นคงมีจุลินทรีย์เพียงส่วนน้อยที่สามารถใช้ได้ จุลินทรีย์ที่จัดเป็น ammonifiers ประกอบด้วย แบคทีเรีย รา และแอคติโนมายซีท ชนิดต่างๆ แบคทีเรียที่เป็น ammonifiers ตัวอย่างเช่น *Arthrobacter* spp., *Bacillus* spp.

ปัจจัยที่ควบคุมกระบวนการ mineralization

ปัจจัยที่ควบคุมการแปรสภาพจากอินทรีย์ไนโตรเจนเป็นอนินทรีย์ไนโตรเจนจะเป็นส่วนที่ควบคุมเฉพาะอัตราการเกิดเท่านั้น ซึ่งปัจจัยเหล่านั้นก็คือปัจจัยที่ควบคุมการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์โดยทั่วไป เช่น ความชื้น pH การถ่ายเทอากาศ อุณหภูมิ ธาตุอาหาร ชนิดของอนุภาคดินเหนียว

การแปรสภาพจากอนินทรีย์ไนโตรเจนเป็นอินทรีย์ไนโตรเจน (Immobilization)

การแปรสภาพจากอนินทรีย์ไนโตรเจนเป็นอินทรีย์ไนโตรเจนเป็นกระบวนการที่จุลินทรีย์ดินดูดเอาอนินทรีย์ไนโตรเจนในดินไปใช้ (assimilation) เพื่อสร้างเซลล์ใหม่ อนินทรีย์ไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนีย เป็นรูปที่ถูกดูดนำไปใช้โดยแบคทีเรีย แอคติโนมายซีทและรา ได้ดีที่สุด โดยเฉพาะแอมโมเนียมไอออนที่ละลายอยู่ในน้ำและดูดซับอยู่ที่ผิวของอนุภาคดินเหนียว ส่วนที่ถูกตรึงอยู่ระหว่างผลึกของอนุภาคดินเหนียวส่วนใหญ่แล้วจุลินทรีย์เหล่านี้จะนำไปใช้ไม่ได้ อย่างไรก็ตาม จุลินทรีย์ในดินโดยทั่วไปจะนำทั้งแอมโมเนียมและไนเตรทไปใช้สร้างเซลล์ได้ แต่มีแนวโน้มที่จะใช้แอมโมเนียมก่อน เมื่อแอมโมเนียมหมดแล้วจึงนำไนเตรทไปใช้

การแปรสภาพจากแอมโมเนียหรือแอมโมเนียม เป็นไนไตรท์หรือไนเตรท(Nitrification)

กระบวนการนี้เป็นกระบวนการที่เกิดต่อเนื่องจากกระบวนการแปรสภาพจากอนินทรีย์ไนโตรเจนรูปหนึ่งไปเป็นอนินทรีย์ไนโตรเจนอีกรูปหนึ่ง

จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการ nitrification

จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการแปรสภาพของไนโตรเจนในกระบวนการ nitrification ที่มักพบมีอยู่ในดินโดยทั่วไป เช่น *Nitrosomonas* และ *Nitrobacter* แบคทีเรียจำพวกแรกซึ่งสามารถออกซิไดซ์แอมโมเนียมเป็นไนไตรต์ ประกอบด้วย 3 species คือ *Nitrosomonas europaea, N. monocella* และ *N. oligocarbogenes* ส่วนแบคทีเรียจำพวกหลังซึ่งเป็นพวกที่เพิ่มออกซิเจนแก่ไนไตรท์เป็นไนเตรทมีอยู่ 2 species คือ *Nitrobacter winogradskyi* และ *Nitrobacter agilis*

ปัจจัยที่ควบคุมกระบวนการ nitrification

ปัจจัยที่นับได้ว่ามีความสำคัญต่อกระบวนการดังกล่าวนี้ คือ สมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน สมบัติดังกล่าวนี้เกี่ยวข้องกับกระบวนการ nitrification หลายกรณีด้วยกัน เช่น

- pH ที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการ nitrification คือ ช่วง 6.6 – 8.0 เช่น พบว่าอัตราการเกิดกระบวนการ nitrification ในดินลดลงอย่างมากเมื่อ pH ต่ำกว่า 6.0 และเมื่อ pH ต่ำกว่า 4.5 กระบวนการ nitrification จะเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย ที่ pH สูงๆ แอมโมเนียม (NH_4^+) ยับยั้งการแปรสภาพจากไนไตรท์ไปเป็นไนเตรท

- ออกซิเจน เพราะออกซิเจนเป็นสิ่งจำเป็นในการดำรงชีพของจุลินทรีย์กลุ่ม nitrifiers ออกซิเจนจึงเป็นสิ่งจำเป็นมากสำหรับกระบวนการ nitrification และที่สำคัญการแพร่ของออกซิเจนในดินจะถูกควบคุมโดยปัจจัยต่างๆ เช่น ความชื้นของดินและโครงสร้างของดิน

- อุณหภูมิ กระบวนการ nitrification จะเกิดขึ้นได้ช้าที่อุณหภูมิต่ำกว่า 5 องศาเซลเซียส และสูงกว่า 40 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่เหมาะสมคือประมาณ 30 – 35 องศาเซลเซียส

- อินทรียวัตถุ ในกระบวนการย่อยสลาย จุลินทรีย์ต้องการอนินทรีย์ไนโตรเจนและออกซิเจน (Paul, 1988)

การแปรสภาพจากไนไตรท์หรือไนเตรทเป็นก๊าซ (Denitrification)

ไนโตรเจนในดินที่อยู่ในรูปของไนไตรท์และไนเตรทอาจแปรสภาพเป็นก๊าซ และสูญเสียไปจากดิน (volatilization)ได้ ไม่ว่าจะโดยทางเคมีหรือชีวภาพ ในทางชีวภาพนั้น ไนเตรทหรือไนไตรท์ถูกลดออกซิเจนโดยการกระตุ้นของจุลินทรีย์ซึ่งเกิดขึ้นเป็นขั้น ๆ จนกลายเป็นก๊าซไนโตรเจนในที่สุด

จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการ denitrification

จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวน denitrification ประกอบด้วยสองพวกใหญ่ ๆ ด้วยกัน คือ พวกแรกเป็นพวกที่ไม่ขึ้นกับไนเตรทกล่าวคือสามารถที่จะเจริญอยู่ได้โดยไม่มีไนเตรท แต่มีความสามารถในย่อยสลายโปรตีนหรืออาศัยกระบวนการ ammonification พวกที่สองเป็นพวกที่มีชีวิตอยู่ได้โดยที่ต้องมีไนเตรทอยู่ในสภาพนั้น เช่น แบคทีเรียใน genera *Pseudomonas, Achromobacter, Bacillus, Micrococcus, Thiobacillus denitrificans* นอกจากนี้มีแบคทีเรียที่สามารถก่อให้เกิด

กระบวนการเป็นบางครั้งเมื่อสภาพเหมาะสม เช่น *Chromobacterium, Mycoplana, Serratia* และ *Vibrio*

ปัจจัยที่ควบคุมกระบวนการ denitrification

การแปรสภาพจากไนไตรท์หรือไนเตรทเป็นก๊าซนั้นถูกควบคุมโดยปัจจัยหลายปัจจัยด้วยกัน เช่น ความเข้มข้นของไนไตรท์หรือไนเตรท ธรรมชาติและปริมาณของอินทรีย์สาร การถ่ายเทอากาศ ความชื้น pH อุณหภูมิ ธาตุอาหารต่าง ๆ ฯลฯ

การตรึงไนโตรเจนแบบอิสระ (Non-symbiotic nitrogen fixation)

การตรึงไนโตรเจนแบบอิสระเป็นการตรึงไนโตรเจนหรือการจับก๊าซไนโตรเจนจากอากาศแล้วเปลี่ยนไปเป็นสารประกอบไนโตรเจนโดยจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่อย่างอิสระในดินหรือในน้ำ จุลินทรีย์ที่สามารถตรึงไนโตรเจนได้มีทั้งประเภทที่พึ่งพาอาศัยกับสิ่งมีชีวิตอื่น เช่น แบคทีเรียพวก *Rhizobium* spp. ที่เกิดบริเวณปมรากพืชตระกูลถั่วและพวกที่อยู่อิสระในดิน เช่น *Azotobacter* sp., *Azospirillum* spp., *Beijerinkia* spp., *Clostridium* sp. และ *Bacillus* sp. บางชนิด รวมทั้งพวกสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (Blue green algae)

แบคทีเรียที่เกี่ยวข้องกับการตรึงไนโตรเจนแบบอิสระ

Heterotrophic bacteria : แบคทีเรียในกลุ่มนี้เช่น *Achromobacter, Aerobacter, Azotobacter* เป็นต้น จุลินทรีย์ในกลุ่มของ heterotrophic bacteria นั้น แบคทีเรีย *Azotobacter* ดูเหมือนว่าจะมีความสำคัญมากที่สุด เพราะว่ามีปริมาณมาก มีอยู่ในดินโดยทั่วไปเป็นจำนวนมากและที่สำคัญมากที่สุดคือตรึงไนโตรเจนได้ในอัตราที่ค่อนข้างสูง *Azotobacter* ทุกชนิดต้องการอากาศในการหายใจ ใช้ไนโตรเจนได้แทบทุกรูป เช่น ก๊าซไนโตรเจน (ตรึงไนโตรเจน) แอมโมเนีย ไนเตรท ไนไตรท์ ยูเรีย และบางครั้งใช้อินทรีย์ไนโตรเจนด้วย จัดเป็นพวก mesophilic อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญประมาณ 30 องศาเซลเซียส ตรึงไนโตรเจนได้ในอัตราประมาณ 1,050 μg-N/ml และประมาณ 5 - 20 mg ของ N_2 ที่ตรึงได้ต่อ 1 กรัมของน้ำตาลที่ถูกใช้ไป

ปัจจัยควบคุมการตรึงไนโตรเจนแบบอิสระ

ปัจจัยควบคุมการตรึงไนโตรเจนแบบอิสระมีหลายปัจจัยด้วยกันแต่ที่สำคัญๆ คือ แอมโมเนีย ไนเตรทและสารประกอบไนโตรเจนอื่นๆ เป็นปัจจัยที่กระทบกระเทือนต่อการตรึงไนโตรเจนเป็นอย่างมาก ทั้งนี้เพราะในขณะใดก็ตามถ้ามีสารประกอบไนโตรเจนดังกล่าวอยู่ในดิน จุลินทรีย์จะไม่ตรึงไนโตรเจนจากอากาศแต่จะใช้สารประกอบไนโตรเจนแทนเพราะใช้ได้ง่ายกว่า จึงทำให้การตรึงไนโตรเจนชะงักลง ธาตุอาหารอื่นๆ ในดินก็เป็นปัจจัยที่ควบคุมการตรึงไนโตรเจนเช่นเดียวกัน ธาตุโมลิบดินัม แคลเซียม เหล็ก และฟอสฟอรัส มีบทบาทมากที่สุด ธาตุโมลิบดินัมนั้นมีส่วนเกี่ยวข้อง คือ เป็นส่วนของเอนไซม์ที่ลดออกซิเจนแก่ทั้งสารประกอบไนโตรเจนและก๊าซ

ไนโตรเจน ดังนั้นจะใช้สารประกอบไนโตรเจนหรือก๊าซไนโตรเจนได้ต้องมีโมลิบดินัมอย่างเพียงพอ ความต้องการโมลิบดินัมของเอนไซม์ที่ลดออกซิเจนแก่ก๊าซไนโตรเจนนั้นมากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับความต้องการในการลดออกซิเจนแก่สารประกอบไนโตรเจน ธาตุแคลเซียมเป็นธาตุที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการกระตุ้นกระบวนการต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการลดออกซิเจนแก่ก๊าซไนโตรเจนเป็นแอมโมเนียหรือที่เรียกว่าการตรึงไนโตรเจน ปัจจัยสำคัญอีกปัจจัยหนึ่ง ได้แก่ ความเป็นกรดเป็นด่างของดินกล่าวคือถ้าดินเป็นกรดสูงเกินไปแบคทีเรียที่สามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้จะไม่สามารถดำเนินกิจกรรมได้ตามปกติ ช่วง pH ของดินที่เหมาะสมต่อการตรึงไนโตรเจนจะต้องอยู่ในช่วงสูงกว่า 5.5 (อภิรดี, 2536)

การสะสมสารเคมีและยาปฏิชีวนะในตะกอนดินบ่อกุ้ง

สารเคมีบางชนิดที่ใช้ในบ่อกุ้ง เช่น สารประกอบ organotin สารประกอบทองแดง และสารประกอบประเภทอื่นๆ มีการจับตัวกับตะกอนดินอย่างถาวร ทำให้มีการตกค้างของสารพิษในแหล่งเลี้ยงและมีผลต่อระบบนิเวศใกล้เคียงด้วย (Graslund, *et al*., 2001) การศึกษาการตกค้างของยาออกซีเตตร้าซัยคลินในกุ้งกุลาดำและตะกอนดินจากฟาร์มขนาดต่างๆ ในจังหวัดสงขลา พบการตกค้างในตัวอย่างดินประมาณ 17.24 – 87.5 % ซึ่งมากกว่าการตรวจพบในกุ้ง (อุษณีย์และคณะ, 2538) สาเหตุหนึ่งที่ทำให้ยาปฏิชีวนะตกค้างในดินมากกว่าในตัวกุ้งคือมาจากอาหารผสมยาที่เหลือจากกุ้งกินและเป็นยาส่วนหนึ่งที่ละลายน้ำออกมา การใช้ยาปฏิชีวนะโดยการผสมกับอาหารให้สัตว์น้ำกินนั้น สัตว์น้ำจะได้รับยาเพียง 20 – 30% เท่านั้น ในขณะที่ยาอีก 70 – 80% จะสูญเสียลงในสิ่งแวดล้อมหรือตกค้างอยู่ในดินและน้ำ นอกจากนี้เนื่องมาจากความสามารถในการย่อยยาของกุ้งต่ำ การสะสมของยาในตะกอนดินอีกทางหนึ่งจึงได้มาจากการขับถ่ายของกุ้ง (Samuelson, 1989) การเลี้ยงกุ้งที่ผ่านมาแบบพัฒนาของประเทศต่างๆ รวมทั้งประเทศไทย พบว่ามีการใช้สารเคมีและผลิตภัณฑ์ชีวภาพมากกว่า 290 ชนิด ส่วนใหญ่เป็นสารเคมีเพื่อปรับสภาพดินและน้ำ ยาฆ่าแมลง ยาปฏิชีวนะ ซึ่งสารเคมีที่เติมลงไปนี้เป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้ใช้สารเคมีเอง เสี่ยงต่อความปลอดภัยด้านอาหารและมีผลกระทบต่อระบบนิเวศใกล้เคียง (Graslund, *et al*., 2003) ผลของการใช้ยาปฏิชีวนะไม่ถูกต้องนอกจากทำให้เชื้อดื้อยา ยาตกค้างในกุ้งซึ่งถ้ามีการบริโภคเข้าไปทำให้เกิดอันตราย และเกิดปัญหาการส่งออกกุ้งไปยังต่างประเทศได้

ผลของสารเคมีต่อแบคทีเรียในบ่อกุ้ง

พุทธและสำรอง (2546) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสารประกอบไนโตรเจนในน้ำทะเลจากการทดลองย่อยสลายอาหารกุ้ง พบว่าชุดการทดลองที่ใช้น้ำทะเลกรองและฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนที่ทำให้มีเชื้อจุลินทรีย์ลดลง มีการเปลี่ยนแปลงสารประกอบไนโตรเจนที่ช้ากว่าชุดที่ไม่ได้ฆ่าเชื้อและพบการสะสมของไนไตรท์ในชุดที่ใช้น้ำทะเลกรองและฆ่าเชื้อ ชี้ให้เห็นว่าแบคทีเรียในกลุ่มไนไตรท์ออก

ซิไดซิ่งจะได้รับผลกระทบจากการใช้สารเคมีมากกว่ากลุ่มแอมโมเนียออกซิดิวซิ่งจนไม่สามารถเติบโตขึ้นใหม่ได้เท่าเดิม กระบวนการ nitrification จึงเกิดขึ้นแบบไม่สมบูรณ์ Klaver and Matthews (1994) ศึกษาผลของยาปฏิชีวนะ oxytetracycline (OTC) ต่อ nitrifiers ในระบบจำลองที่มีดินทรายและน้ำจืดสังเคราะห์ พบว่า กระบวนการ nitrification ถูกยับยั้งที่ทุกระดับความเข้มข้นของ OTC (12.5 – 75.0 mg/L) และพบว่า OTC ที่มีความเข้มข้น 50.0 – 75.0 mg/L มีผลยับยั้งกระบวนการ nitrification โดยสมบูรณ์ภายใน 7 วัน ผลของ OTC ที่มีต่อกระบวนการ nitrification นี้จะนำไปสู่การเกิดสารพิษได้แก่ การสะสมแอมโมเนียและไนไตรท์ ต่อไป Yong, *et al.* (1997) ศึกษาผลของทองแดงและนิกเกิลต่อ strict nitrifiers (*Nitrosomonas* sp. และ *Nitrobacter* sp.) ใน continuous flow stirred tank reactors (CSTR) พบว่า *Nitrosomonas* sp. มีความไวต่อทองแดงและนิกเกิลเท่าๆ หรืออาจจะมากกว่า *Nitrobacter* sp.

วัตถุประสงค์

1. เพื่อทราบสมบัติทางเคมี-กายภาพของตะกอนดินบ่อกุ้งที่มีอายุการใช้งานต่างกัน 2. เพื่อทราบปริมาณของแบคทีเรียกลุ่มต่างๆ ในวัฏจักรไนโตรเจนของตะกอนดินบ่อกุ้งที่ระดับความลึกต่างกัน

3. เพื่อดูความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางเคมี-กายภาพกับชนิดและปริมาณแบคทีเรียในวัฏจักรไนโตรเจนของตะกอนดินบ่อกุ้ง