บทที่ 2

การตรวจสอบเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความสำคัญของป่าชายเลน

ความหมายและประโยชน์ของป่าชายเลน

ป่าชายเลนหมายถึง กลุ่มสังคมพืชซึ่งส่วนใหญ่เป็นไม้ไม่ผลัดใบ มีถิ่นกำเนิดอยู่ในเขตร้อนแถบศูนย์สูตรตามบริเวณชายฝั่งทะเล ปากแม่น้ำ ทะเลสาบ อ่าว และ เกาะ เป็นป่าที่จัดอยู่ในจำพวกทนแล้งเพราะไม่สามารถใช้น้ำเค็มให้เป็นประโยชน์ได้ พันธุ์ไม้เด่นและสำคัญคือ พันธุ์ไม้ในวงศ์ Rhizophoraceae ซึ่งได้แก่ไม้โกงกาง (เทียมใจ คมกฤส, 2536)

ป่าชายเลนเป็นแหล่งผลิตอาหารและพลังงานที่สำคัญสำหรับมนุษย์ และสิ่งมีชีวิตในน้ำ เป็นที่เพาะฟัก แหล่งหลบภัย และอนุบาลสัตว์น้ำหลายชนิด ไม้ในป่าชายเลนใช้เชื้อเพลิงในรูปของฟืนหรือถ่าน และไม้บางชนิดใช้ทำสมุนไพร นอกจากนี้ประโยชน์ที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือ ป้องกันการพังทลายของดิน โดยการต้านทานแรงคลื่นลม ช่วยรักษาและปรับปรุงคุณภาพน้ำชายฝั่ง ทำหน้าที่เป็นแหล่งสะสม เปลี่ยนแปลงธาตุอาหารและสารเคมีที่ปนเปื้อนซึ่งมีผลต่อคุณภาพน้ำและผลผลิตของระบบนิเวศ (Reddy และ Patrick, 1993)

Hammer และ Bastian (1989) กล่าวว่าพืชจะสามารถบำบัดและขจัดธาตุอาหารซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดน้ำเสียได้ เพราะรากพืชจะสามารถดูดซับธาตุอาหารในรูปอิออนต่างๆ แล้วส่งต่อไปให้พืชสังเคราะห์เป็นสารอินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโต หรือทำให้มวลชีวภาพเพิ่มขึ้น และการใช้พืชที่มีอยู่ในธรรมชาติในการบำบัดน้ำเสียจะเป็นข้อดี เพราะพืชเหล่านั้นได้มีการปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมนั้นได้ดีแล้ว จึงมีแนวโน้มที่จะประสบความสำเร็จในการบำบัดคุณภาพน้ำได้ดีกว่าพื้นที่ชุ่มน้ำที่ถูกก่อสร้างขึ้น (constructed wetland)

แนวโน้มในการใช้ประโยชน์จากป่าชายเลนเพื่อบำบัดน้ำเสียนั้น Nedwell (1974) รายงานว่าป่าชายเลนน่าจะมีประโยชน์ในการบำบัดน้ำเสีย โดยมีแนวความคิดที่ว่าระบบนิเวศป่าชายเลนมีความทนทานต่อการสะสมของธาตุอาหารมากกว่าระบบนิเวศชายฝั่งอื่นๆ เช่น ระบบนิเวศปะการัง อีกทั้งการทิ้งน้ำเสียสู่ป่าชายเลนจะเป็นการช่วยลด Eutrophication ที่จะเกิดต่อน้ำชายฝั่งได้

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ด้วย จากการศึกษาโดยปล่อยน้ำเสียสู่บริเวณเอสทูรีพบว่าปริมาณอนินทรีย์ไนโตรเจน,ไนเตรท และแอมโมเนียมลดลง 56, 30 และ 63 % ตามลำดับ นอกจากนี้ สิทธิชัย ตันธนะสฤษดิ์ (2538) ได้ศึกษาการใช้ดินตะกอนภาคพื้นสมุทรร่วมกับพืชในลักษณะจำลองสภาพพื้นที่ชุ่มน้ำธรรมชาติเพื่อบำบัดน้ำเสียชุมชน โดยปล่อยให้ดินอยู่ในสภาพน้ำขังสลับกับการปล่อยน้ำออก ซึ่งมีลักษณะเหมือนสภาพธรรมชาติของป่าชายเลน พบว่าจะทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงขึ้นโดยจะเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของจุลินทรีย์ในดิน และปฏิกิริยาอื่นๆในดินด้วย

ระบบนิเวศป่าชายเลนมักถูกจำกัดด้วยธาตุอาหารโดยเฉพาะไนโตรเจนและฟอสฟอรัส และเนื่องจากน้ำทิ้งจากแหล่งต่างๆ ที่ปล่อยลงป่าชายเลน เช่น น้ำทิ้งชุมชน น้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้ง จะมีไนโตรเจนและฟอสฟอรัสอยู่สูง จึงมีการกล่าวถึงธาตุอาหาร 2 ชนิดนี้กันอย่างกว้างขวาง (Clough, Boto และ Attiwill, 1993) ความสามารถของป่าชายเลนในการดูดซับ เปลี่ยนรูปสารต่างๆ ขึ้นกับหลายปัจจัยเช่น ชนิดของสาร คุณลักษณะของดิน ชนิดของพืช ลักษณะที่ตั้งของป่าชายเลน การหมุนเวียนของน้ำ และระยะเวลาในการศึกษา (Woodroffe,1992 อ้างถึงใน Robertson และ Philips, 1995) ระบบป่าชายเลนประกอบด้วย ดิน พืช และน้ำที่อยู่ในสภาพ Aerobic/Anaerobic ไม่เพียงแต่ทนทานต่อมลพิษ อีกทั้งยังสามารถลดสารอาหารต่างๆ โลหะหนัก และมลสารอื่นๆในน้ำเสียแต่ยังไม่มีการศึกษาถึงกลไกต่างๆอย่างชัดเจน (Tam และ Wong,1995)

ลักษณะทั่วไปและความสำคัญของโกงกางใบเล็ก

ป่าชายเลนประกอบด้วยพืชหลายชนิด ไม้ที่ขึ้นอยู่ในป่านี้จะมีลักษณะพิเศษจากต้นไม้ในป่าชนิดอื่นๆโดยทั่วไปคือสามารถขึ้นได้ในดินเลนที่น้ำทะเลท่วมถึงเป็นครั้งคราว หรือเป็นประจำทุกวัน พันธุ์ไม้ที่เด่นและสำคัญคือ พันธุ์ไม้ในวงศ์ Rhizophoraceae ซึ่งได้แก่ไม้โกงกาง (เทียมใจ คมกฤส, 2536) จากการศึกษาลักษณะโครงสร้าง และผลผลิตของป่าชายเลนบริเวณ จ.ระนอง พบว่าพันธุ์ไม้ที่ขึ้นอยู่ในป่าชายเลนมี 24 ชนิด โดยมีพันธุ์ไม้เด่นคือ โกงกางใบเล็ก โกงกางใบใหญ่ ถั่วดำ ถั่วขาว และโปรงแดง ซึ่งพันธุ์ไม้เหล่านี้จะขึ้นอยู่เป็นแนวเขตจากชายฝั่งเข้าไปสู่พื้นดินในป่า (โสภณ หะวานนท์, รักชาติ สุขสำราญ และมงคล ไข่มุกด์, 2538) นอกจากนี้โกงกางใบเล็กยังมีผลผลิตมวลชีวภาพสูงอีกด้วย เช่นจากการศึกษาการเจริญเติบโตของพันธุ์ไม้ป่าชายเลนที่ปลูกบนพื้นที่นากุ้งร้าง จ. ระนอง พบว่าโกงกางใบเล็กมีผลผลิตมวลชีวภาพรวมสูงสุดเท่ากับ 3.04 กิโลกรัมต่อต้น รองลงมาคือโกงกางใบใหญ่ ถั่วขาว และโปรงแดง เท่ากับ 2.34, 0.66 และ 0.40 กิโลกรัมต่อต้น ตามลำดับ (พูลศรี เมืองสง และสนิท อักษรแก้ว, 2540) ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่ต้องศึกษาถึงความสามารถของในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งของไม้ชนิดนี้

ไม้ในป่าชายเลนไม่มีระบบรากแก้วจะมีรากแผ่กระจายออกไปทางด้านข้างเจริญไปในแนวนอนขนานไปกับผิวดินตื้นๆ เรียกว่า cable roots จากนั้นจะมีรากเล็กๆ แตกแขนงต่อไปอีกโดยจะเกิดทางด้านล่างของ cable roots เพื่อทำหน้าที่ยึดเกาะเรียกว่า anchoring roots และจะมีรากเล็กๆ เกิดต่อไปอีกโดยลดขนาดลงตามลำดับ ส่วนที่มีขนาดเล็กละเอียดเป็นฝอยจะช่วยในการดูดซึมน้ำและสารต่างๆที่ละลายน้ำเรียกว่า nutritive roots นอกจากนี้โกงกางใบเล็กยังมีรากค้ำจุนจำนวนมากแทรกออกจากส่วนของลำต้น เนื่องจากเป็นไม้ที่มักพบอยู่บริเวณนอกสุด หรือริมฝั่งทะเล และแม่น้ำที่เป็นดินเลน จึงต้องมีรากค้ำจุนช่วยให้สามารถต้านลมพายุและคลื่นได้ พันธุ์ไม้ป่าชายเลนมีการปรับตัวทั้งทางโครงสร้างภายนอกและภายใน โดยมีการปรับระบบรากเพื่อให้มีการถ่ายเทอากาศได้ดี มีการพัฒนาเซลล์พวก aerenchyma ขึ้นมาทำหน้าที่เคลื่อนย้ายกาซจากยอดไปยังรากและรากไปยังยอด ทำให้เกิด rhizosphere (Guntenspergen et al., 1989) โดยทั้งรากเหนือดิน และรากใต้ดินของโกงกางใบเล็กมีส่วนช่วยในการเก็บอากาศไว้ภายใน และมี lenticel เกิดขึ้นในส่วนของรากเพื่อช่วยในการแลกเปลี่ยนกาซ และมีเซลที่มีช่องว่างระหว่างเซลจำนวนมากเรียงตัวกันหลวมๆ ให้กาซผ่านเข้าออกได้ โดยช่องอากาศของรากใต้ดินมีขนาดใหญ่มากและใหญ่กว่าที่พบในรากเหนือดิน เพราะในดินมีการขาดออกซิเจนมากกว่าเนื่องจากถูกน้ำท่วม ซึ่งอาจเป็นบางเวลาหรือตลอดเวลา โดยจะพบลักษณะเช่นเดียวกันในพืชที่มีน้ำขังหรือพืชที่ขึ้นในน้ำ รากใต้ดินยังมี multiple epidermis และไม่มีรากขนอ่อน เนื่องจาก multiple epidermis จะช่วยทำหน้าที่ดูดน้ำและแร่ธาตุแทน และยังทำหน้าที่เป็น ultrafilter ในการกรองสารละลายจากน้ำทะเลอีกด้วย (สนิท อักษรแก้ว, 2532) ในรากค้ำจุนของโกงกางใบเล็กจะมี xylem จำนวนน้อย ดังนั้นหน้าที่หลักของรากค้ำจุนจึงไม่เกี่ยวข้องกับการลำเลียงน้ำมากนัก และจะพบ sclereid และ fiber จำนวนมากทั้งในรากใต้ดินและรากค้ำจุนก็เพื่อช่วยให้ความแข็งแรงและมั่นคงยิ่งขึ้น และรากค้ำจุนยังสามารถช่วยดักกรองตะกอนต่างๆ ได้อย่างดีด้วย ระบบรากของไม้โกงกางเป็นระบบรากตื้น ส่วนใหญ่จะกระจายอยู่หนาแน่นที่ระดับความลึก 50-100 เซนติเมตรจากผิวดินซึ่งจะทำให้การแพร่ของกาซต่างๆเช่น ออกซิเจน ดีกว่าพืชระบบรากลึก (Gill และ Tomlinson, 1977)

นอกจากนี้โกงกางใบเล็กมีการปรับตัวให้เหมาะสมกับสิ่งแวดล้อมที่ต้องอยู่ในน้ำเค็มตลอดเวลาโดยมีระบบรากที่มีการคัดเลือกการดูดเกลือ มีใบที่มีลักษณะเป็นมันวาวเคลือบที่ผิวใบเพื่อป้องกันการคายน้ำ และมีความทนทานต่อสภาวะแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงได้ดี เช่นอุณหภูมิสูง ความเค็มที่เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอด การเปลี่ยนแปลงระหว่าง Aerobic/Anaerobic ของดิน (Por, 1984) ซึ่งลักษณะต่างๆที่สำคัญเหล่านี้จะทำให้พืชป่าชายเลนมีความสามารถในการดูดซับน้ำเสียได้ดีกว่าพืชอื่นๆ

2.2 กลไกการบำบัดน้ำเสียของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำ

กระบวนการในการลดสารอาหารของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำจะอาศัย พืช ดิน และจุลินทรีย์ร่วมกัน โดยอาศัยกลไกทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ ซึ่งมีประสิทธิภาพในการลดธาตุอาหารได้แตกต่างกันขึ้นกับชนิดของพืช และผลผลิตขั้นปฐมภูมิ สมบัติของดิน และปฏิสัมพันธ์ระหว่างพืช ดิน และน้ำ (Wong et al., 1995)

1. กลไกทางกายภาพ ได้แก่ การตกตะกอน (Sedimentation), การกรอง (Filtration), การดูดซับ (Absorption) และการระเหย (Volatilization)

2. กลไกทางเคมี ได้แก่ การตกตะกอน (Precipitation), การดูดซับ (Absorption) , ไฮโดรไลซีส (Hydrolysis) และ ออกซิเดชั่น-รีดักชั่น (Oxidation-Reduction)

3. กลไกทางชีวภาพ ได้แก่ เมตาบอลิซึมของแบคทีเรีย (Bacterial Metabolism), เมตาบอลิซึมของพืช (Plant Metabolism), การดูดซับของพืช (Plant absorption) และการตายโดยธรรมชาติ (Natural Die off)

บทบาทของพืช ดิน และจุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำเสีย

1. บทบาทของพืช

การกำจัดมลสารขึ้นกับความสามารถของรากพืชที่จะดูดซึมสารต่างๆ และ กระบวนการทางชีวเคมีภายในของพืชเอง รากพืชจะช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสำหรับเป็นที่ยึดเกาะให้จุลินทรีย์ ช่วยเคลื่อนย้ายกาซต่างๆ รวมทั้งออกซิเจนจากยอดลงสู่ราก ทำให้เกิดออกซิเจนเป็นฟิล์มบางๆ เรียกว่า Rhizosphere รอบๆ ราก ดังภาพที่ 2.1 ซึ่งทำให้จุลินทรีย์สามารถเปลี่ยนรูปสารอาหาร อิออนโลหะ และ สารประกอบอื่นๆ ได้ (Kadlec และ Knight, 1996) ดังนั้นพืชที่มีรากฝอยจำนวนมากจะมีส่วนช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวที่จะเกิดปฏิกริยาแบบใช้ออกซิเจน จึงทำให้น้ำมีคุณภาพดีขึ้น

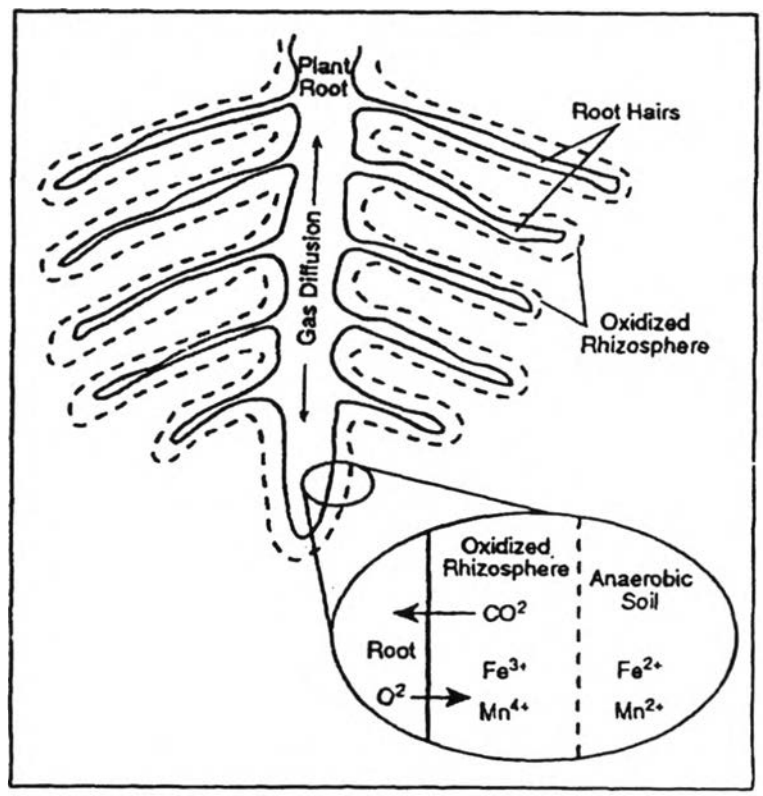
2. บทบาทของดิน

ลักษณะทางกายภาพของดินมีความสำคัญในการบำบัดน้ำเสียซึ่งจะบอกประสิทธิภาพ และความสามารถของดินในการกำจัดหรือลดสารปนเปื้อนในน้ำเสีย ดินยังเป็นที่อยู่อาศัยของจุลินทรีย์ และช่วยบำบัดน้ำเสียโดยกระบวนการทางกายภาพและเคมี การที่ดินจะกำจัดหรือเคลื่อนย้ายสารต่างๆ ในน้ำเสียขึ้นอยู่กับประจุของดิน ซึ่งกระบวนการที่สำคัญคือ กระบวนการแลกเปลี่ยนอิออน (Ion exchange), การดูดซับ (Adsorption), การตกตะกอน (Precipitation) และการเกิดสารเชิงซ้อน (Complexation)

3. บทบาทของจุลินทรีย์

จุลินทรีย์ที่ยึดเกาะบนตัวกลางและจุลินทรีย์ที่ลอยอิสระจะช่วยขจัดมลสารในน้ำเสียโดยเกิดกระบวนการใน 2 สภาวะ คือแบบใช้ออกซิเจน และไม่ใช้ออกซิเจน โดย

ทำให้เกิดกระบวนการต่างๆ คือ การดูดซึม (Assimilation) , การเปลี่ยนรูป (Transformation) และการหมุนเวียนของสารในน้ำเสีย ซึ่งจุลินทรีย์สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์และอนินทรีย์ในน้ำเสียได้



ภาพที่ 2.1 แสดงบริเวณรากที่มีการแลกเปลี่ยนออกซิเจน (rhizosphere)

2.3 ปริมาณและการหมุนเวียนธาตุอาหารในป่าชายเลน

แหล่งที่มาและปริมาณธาตุอาหารในป่าชายเลน

ปริมาณธาตุอาหารในป่าชายเลนมีแหล่งกำเนิดจาก 2 แหล่งใหญ่ คือ

1. แหล่งที่มาจากป่าชายเลนเอง (autochtonous sources)

2. แหล่งที่มาจากภายนอกป่าชายเลน (allochtonous sources) (สนิท อักษรแก้ว, 3532)

ปริมาณอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารในป่าชายเลน ส่วนใหญ่ได้มาจากการร่วงหล่นของเศษใบไม้ เศษไม้ ซึ่ง Aksornkoae et al. (1979) พบว่าการร่วงหล่นของใบไม้ป่าชายเลนโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 932.2 $g/m^2/yr$ ในขณะเดียวกันระบบนิเวศป่าชายเลนก็ได้รับสารอาหารที่มาจากน้ำซึ่งไหลเข้าป่าชายเลน โดยเฉพาะในฤดูฝนธาตุอาหารจากภายนอกจะมีปริมาณสูงกว่าธาตุอาหารที่ได้รับจากป่าชายเลนเอง ทำให้เกิดการหมุนเวียนของธาตุอาหาร และการไหลถ่ายทอดพลังงานเกิดขึ้นภายในระบบนิเวศตลอดเวลา

การถ่ายเทแลกเปลี่ยนธาตุอาหารระหว่างป่าชายเลน และน้ำทะเลชายฝั่งเป็นไปตามวัฏจักรการขึ้นลงของน้ำทะเล โดยทั่วไปจะมีการขนถ่ายธาตุอาหาร ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสจากป่าชายเลนสู่น้ำทะเลชายฝั่ง (กัลยา วัฒยากร และ สนิท อักษรแก้ว, 2538)

การกระจายของธาตุอาหารนั้น (Aston, 1976 อ้างถึงในสุภาพร รักเขียว, 2533) กล่าวว่าการกระจายของธาตุอาหารที่ละลายน้ำในเอสทูรีจะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ ซึ่งจะอยู่ภายใต้การควบคุมของการหมุนเวียนของน้ำ การผสมผสานระหว่างน้ำจืดและน้ำทะเล กระบวนการทางชีวภาพ และเมตาบอลิซึม ตลอดจนกระบวนการทางเคมีอีกด้วย

นอกจากนี้ Siripong (1980) อ้างถึงในสุภาพร รักเขียว (2533) ได้ศึกษาการกระจายของธาตุอาหารในอ่าวพังงา ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ พบว่าความเข้มข้นของธาตุอาหารจะสูงสุดเมื่อเวลาน้ำลงและต่ำสุดเมื่อเวลาน้ำขึ้น ส่วนความเค็มจะมีปริมาณสูงสุดเมื่อเวลาน้ำขึ้นและต่ำสุดเมื่อเวลาน้ำลง การกระจายตามแนวดิ่งพบว่ามีลักษณะเหมือนกันทั้งเวลาน้ำขึ้นและน้ำลง ยกเว้นบางบริเวณที่มีปัจจัยทางภูมิประเทศและอุตุนิยมทำให้เกิดความแตกต่างกันระหว่างสองระดับ สามารถสรุปได้ว่าการเปลี่ยนแปลง และการกระจายของธาตุอาหารและเกลือขึ้นกับ น้ำขึ้นน้ำลง ภูมิประเทศ ผลของน้ำจืดที่ไหลเข้ามา กิจกรรมของมนุษย์ และผลทางอุตุนิยมวิทยา

การหมุนเวียนไนโตรเจนในป่าชายเลน

ธาตุอาหารไนโตรเจนอาจพบอยู่ในรูปของกาซไนโตรเจน สารประกอบอนินทรีย์และอินทรีย์ไนโตรเจน รูปแบบที่สำคัญในน้ำที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้คือ ไนเตรทอิออน (NO_3^-) ไนไตรท์อิออน (NO_2^-) และแอมโมเนียมอิออน (NH_4^+) (สุภาพร รักเขียว, 2533) กระบวนการสำคัญในการหมุนเวียนไนโตรเจนในน้ำคือ กระบวนการตรึงไนโตรเจน (Nitrogen fixation) กระบวนการดิไนตริฟิเคชัน (Denitrification) และกระบวนการทางชีวภาพเป็นกระบวนการที่สำคัญต่อการกระจายของไนโตรเจนในน้ำ ส่วนไนโตรเจนในดินส่วนใหญ่จะอยู่ในอินทรีย์วัตถุซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วมีอินทรีย์ไนโตรเจนประมาณ 5% (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2535)

แหล่งที่มาของไนโตรเจนในป่าชายเลนได้แก่

1. จากการตรึงไนโตรเจนจากอากาศโดยจุลินทรีย์ที่อยู่อิสระในดิน ซึ่งพบว่าจุลินทรีย์พวกนี้สามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศ ปริมาณไนโตรเจนที่เกิดจากกระบวนการนี้ประมาณ 300 กิโลกรัมต่อเฮกแตร์ต่อปี ในรูปไนเตรทอิออน

2. มากับฝน การเกิดฟ้าแลบหรือฟ้าร้อง กาซไนโตรเจนในอากาศจะถูกออกซิไดซ์กลายเป็นไนตรัสออกไซด์ (N_2O) และไนตริกออกไซด์ (NO) จะละลายน้ำฝนที่ตกลงมา พบว่าการเกิดไนโตรเจนจากกระบวนการนี้ประมาณ 4.5 ปอนด์ต่อเอเคอร์ต่อปี ในรูปของแอมโมเนียมอิออน และ 1.5 ปอนด์ต่อเอเคอร์ต่อปี ในรูปของไนเตรทอิออน

3. การขับถ่ายของสิ่งมีชีวิตในป่าชายเลน

4. จากกิจกรรมของมนุษย์ เช่นการปล่อยน้ำทิ้งจากการเกษตรกรรม และน้ำทิ้งชุมชน

Alongi et al. (1992) กล่าวว่าไนโตรเจนทั้งในน้ำและดินบริเวณป่าชายเลนจะพบอยู่ในรูปอนินทรีย์ไนโตรเจนเพียงเล็กน้อย และส่วนใหญ่อนินทรีย์ไนโตรเจนจะพบในรูปของสารประกอบแอมโมเนียม ซึ่งเป็นแหล่งไนโตรเจนที่สำคัญสำหรับพืช วัฏจักรของไนโตรเจนบริเวณที่ลุ่มน้ำเค็มที่ประเทศอังกฤษพบว่าการสูญเสียไนโตรเจนไปจากการขึ้นลงของน้ำและปฏิกริยาดีไนตริฟิเคชั่นมีค่าใกล้เคียงกับปฏิกริยา Nitrogen fixation ซึ่งเป็นสภาวะสมดุลย์ (Abd. Aziz และ Nedwell, 1986) และยังมีรายงานว่าในบริเวณที่ลุ่มชื้นแฉะที่ได้รับอิทธิพลจากน้ำทะเลในประเทศอังกฤษมีการตรึงไนโตรเจน และกระบวนการไนตริฟิเคชั่นในตะกอนที่อยู่ในสภาพไร้ออกซิเจนเพียงเล็กน้อย ไนโตรเจนส่วนใหญ่จะหมุนเวียนอยู่ภายในระบบระหว่างอินทรีย์ไนโตรเจนและส่วนของสารประกอบแอมโมเนีย (Abd. Aziz และ Nedwell ,1979) ซึ่งปฏิกริยาไนตริฟิเคชั่นจะเกิดได้ง่ายบริเวณผิวดิน ราก และบริเวณผิวน้ำ ส่วนที่ปฏิกริยาดีไนตริ-ฟิเคชั่นจะเกิดขึ้นในสภาวะที่ดินและน้ำขาดออกซิเจน วัฏจักรไนโตรเจนในป่าชายเลนมักจะหยุดที่

การเกิดแอมโมเนียมอิออน เพราะป่าชายเลนมีสภาพที่ขาดออกซิเจน (Delaune et al., 1983)

การหมุนเวียนฟอสฟอรัสในป่าชายเลน

แหล่งที่มาของฟอสฟอรัสในป่าชายเลนได้แก่

1. การสลายตัวของแร่ธาตุต่างๆ เช่น แร่ apatite

2. การละลายของสารประกอบฟอสเฟตที่ตกตะกอนหรือฟอสเฟต ที่ถูกดินดูดซับไว้ เช่น อลูมิเนียมฟอสเฟต แคลเซียมฟอสเฟต

3. การขับถ่ายของสิ่งมีชีวิตในป่าชายเลน

4. การย่อยสลายของสารอินทรีย์ฟอสเฟต

5. กิจกรรมของมนุษย์ เช่นการปล่อยน้ำทิ้งจากการเกษตรกรรมและน้ำทิ้งชุมชน

ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำบริเวณป่าชายเลนมีปริมาณน้อยมาก และฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำส่วนใหญ่อยู่ในรูปของฟอสเฟตแอนอิออนซึ่งพืชจะนำไปใช้ประโยชน์ได้ ส่วนฟอสฟอรัสในดินบริเวณป่าชายเลน ส่วนใหญ่อยู่ในรูปอินทรีย์ฟอสฟอรัสประมาณ 75-80% (Hesse, 1963 อ้างถึงใน Alongi et al., 1992) แต่อนินทรีย์ฟอสฟอรัสในดินมักจะถูกดูดซับด้วย Ca, Fe และ Al ซึ่งทำให้ไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ ดินในป่าชายเลนมีสภาพเป็นกรดอ่อน เหล็กไฮดรอกไซด์หรืออลูมิเนียมไฮดรอกไซด์จะทำปฏิกริยาจับกับไอออนฟอสเฟตได้ง่าย ซึ่งสารประกอบที่เกิดขึ้นมักจะละลายน้ำได้ยากทำให้ความเป็นประโยชน์ของฟอสเฟตต่ำ (Viner, 1982) จากการศึกษาของลัดดา แก้วศรีประกาย (2528) พบว่าชนิดและปริมาณของดินตะกอนแขวนลอย ความเป็นกรดด่างและความเค็มของน้ำมีผลต่อการดูดซับและการปลดปล่อยของฟอสเฟตและซิลิเกตจากผิวตะกอน

การเปลี่ยนรูปของฟอสฟอรัสบริเวณเอสทูรี แบ่งเป็น 2 กระบวนการคือ

1. กระบวนการที่ผ่านสิ่งมีชีวิต เช่นการดูดซึม,การขับถ่าย

2. กระบวนการที่ผ่านสิ่งไม่มีชีวิต เช่น การตกตะกอน การดูดซับ (D' Elia และ Wiebe, 1990)

Woodwell et al. (1979) ได้แสดงด้นทุนของฟอสฟอรัสสำหรับที่ลุ่มชื้นแฉะและน้ำท่วมถึงในนิวยอร์คตลอดทั้งปีพบว่าการได้รับและสูญเสียค่อนข้างสมดุลย์ แต่ฤดูกาลจะเป็นตัวกำหนดการรับ และการสูญเสียฟอสฟอรัสของพื้นชุ่มน้ำและน้ำท่วมถึง

การผันแปรของความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในรอบปีนั้น สุภาพร รักเขียว (2533) กล่าวว่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในช่วงฤดูฝนมากกว่าฤดูแล้ง น้ำระดับล่างมีความเข้มข้นฟอสฟอรัสสูงกว่าที่ผิวน้ำ เพราะน้ำระดับล่างมีตะกอนแขวนลอยของฟอสฟอรัสสูงและฟอสฟอรัสอยู่ในรูปตะกอนแขวนลอยมากกว่ารูปละลายน้ำ นอกจากนี้พบว่าความเข้มข้นของไนโตรเจนรวม

บริเวณคลองหงาว จ.ระนอง ในช่วงฤดูฝนมีค่าสูงกว่าฤดูแล้ง การกระจายตามแนวดิ่งของไนโตรเจนรวมระหว่างน้ำระดับผิวหน้ากับน้ำระดับล่างแตกต่างกัน โดยน้ำระดับล่างจะมีความเข้มข้นมากกว่าน้ำระดับผิว เพราะน้ำระดับล่างมีปริมาณอินทรีย์และอนินทรีย์ไนโตรเจนในรูปตะกอนสารแขวนลอย และสิ่งมีชีวิตมากกว่าน้ำระดับผิวหน้า

ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้ธาตุอาหารและการสร้างผลผลิตขั้นปฐมภูมิของป่าชายเลน

1. ค่า Redox potential

Clough et al. (1983) กล่าวว่าค่า Rodox potential ในป่าชายเลนจะมีค่าไม่เกิน +100 mv ซึ่งในสภาพที่น้ำท่วมขังจะทำให้ค่า Redox potential ต่ำ ทำให้ไนเตรทในดินลดลง เนื่องจากไนเตรทถูกรีดิวส์เป็นกาซไนโตรเจน แต่ในสภาพ Redox potential ต่ำและ pH ที่น้อยกว่า 7 ฟอสฟอรัสในดินจะถูกดูดซับด้วย Al, Fe และ Ca ให้อยู่ในรูปที่พืชไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (Patrick และ Mahapatra, 1968) ถ้าป่าชายเลนที่มีค่า Redox potential ต่ำมากจะเกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์ขึ้น ซึ่งจะทำให้รากพืชดูดน้ำและธาตุอาหารได้น้อยลง ถ้ามีไฮโดรเจนซัลไฟด์มากกว่า 0.002 ppm พืชอาจตายได้ จากการศึกษาของ Thibudeau และ Nickerson (1986) พบว่าไม้แสมและ ไม้โกงกางที่ปลูกในดินที่มีไฮโดรเจนซัลไฟด์ จะมีการเจริญเติบโตน้อยกว่าการปลูกในดินที่ไม่ได้รับไฮโดรเจนซัลไฟด์ และสรุปว่าไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อผลผลิตขั้นปฐมภูมิของป่าชายเลน

2. ความเค็ม

พืชในป่าชายเลนสามารถเจริญเติบโตได้ตั้งแต่ความเค็ม 0-90 ppt (Clough, 1992) แต่อย่างไรก็ตามความเค็มที่สูงเกินไปทำให้การลำเลียงน้ำเริเวณรากพืชเป็นไปยากขึ้น เพราะพืชได้รับน้ำจากดินโดยผ่านรากขนอ่อน (root hair) พร้อมกับแร่ธาตุต่างๆ เพื่อใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง เมื่อการลำเลียงน้ำเกิดขึ้นได้น้อยทำให้การสังเคราะห์แสงเกิดขึ้นน้อย ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของผลผลิตขั้นปฐมภูมิจึงน้อยด้วย

3. ลักษณะภูมิอากาศ

Clough (1992) กล่าวว่าพืชในป่าชายเลนที่อยู่ในสภาพภูมิอากาศแบบศูนย์สูตรจะมีผลผลิตขั้นปฐมภูมิสูงกว่าภูมิอากาศแบบอื่น ทั้งนี้เนื่องจากมีความเข้มแสง ความยาวช่วงแสง อุณหภูมิและปริมาณน้ำในดินที่มีความเหมาะสมกว่า ดังจะเห็นได้ว่าพืชในเขตป่าดิบชื้นมีผลผลิตขั้นปฐมภูมิประมาณ 2,200 $g/m^2/yr$ ในขณะที่พืชเขตทะเลทรายมีผลผลิตขั้นปฐมภูมิประมาณ 90 $g/m^2/yr$ (Salisbury และ Ross, 1991) ส่วนการศึกษาในป่าชายเลน Komiyama et al. (1988) กล่าวว่าไม้โกงกางที่อยู่ในเขตอุณหภูมิสูงและปริมาณน้ำฝนมาก เช่นป่าชายเลนบริเวณภาคใต้ของประเทศไทย

มีการสะสมมวลชีวภาพ 397.8 ตันต่อเฮกแตร์ ซึ่งมากกว่าเขตที่มีอุณหภูมิต่ำและปริมาณน้ำฝนน้อย เช่นบริเวณป่าชายเลนในประเทศเปอร์โตริโกซึ่งมีการสะสมมวลชีวภาพ 79.2 ตันต่อเฮกแตร์

4.ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง

ค่าความเป็นกรดด่างจะมีผลต่อการเปลี่ยนรูปของธาตุอาหารให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ อย่างไรก็ตามยังไม่มีการทดลองใดที่ยืนยันอย่างแน่ชัดเกี่ยวกับผลอันเนื่องมาจากความเป็นกรดเป็นด่างของดินที่มีต่อการเจริญเติบโตของพืช (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2535)

5. ปริมาณธาตุอาหาร

พืชจำเป็นต้องได้รับธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตครบทุกธาตุในปริมาณ และสัดส่วนที่เหมาะสม จึงจะทำให้การเจริญเติบโตเป็นไปอย่างปกติ ถึงแม้พืชจะได้รับธาตุอาหารครบทุกธาตุแต่ไม่ได้สัดส่วนกัน การเจริญเติบโตของพืชจะถูกจำกัดโดยธาตุอาหารที่มีปริมาณน้อยที่สุด

2.4 การสร้างมวลชีวภาพของโกงกางใบเล็ก

การประมาณหามวลชีวภาพโดยอาศัยวิธีการทางแอลโลเมตรี

มวลชีวภาพ (biomass) หมายถึง มวลหรือน้ำหนักที่พืชได้สร้างขึ้นโดยเปลี่ยนพลังงานจากแสงอาทิตย์มาเป็นพลังงานทางเคมี นำธาตุอาหารจากดินเพื่อสร้างเนื้อเยื่อโดยกระบวนการสังเคราะห์แสงเรียกว่าผลผลิตมวลชีวภาพ (biomass production) ซึ่งวัดออกมาเป็นน้ำหนักต่อพื้นที่ต่อเวลา

Komiyama et al. (1986) กล่าวว่าการประมาณหามวลชีวภาพของพืชมี 3 วิธีคือ

1. วิธีการตัดต้นไม้ทั้งหมดในแปลง (clear clipping) โดยการตัดต้นไม้ทุกต้นในแปลงทดลองแยกเป็นส่วนต่างๆ ชั่งน้ำหนักหามวลชีวภาพ จากนั้นนำไปประมาณหาค่าต่อพื้นที่ทั้งหมดในป่า
2. วิธีการเลือกตัดโดยหาค่าเฉลี่ย (mean tree) ใช้ได้ดีกับต้นไม้ที่มีรูปแบบเดียวกัน
3. วิธีการหาความสัมพันธ์แบบแอลโลเมตรี (allometric relationship)

ซึ่งมักนิยมใช้ dimension analysis เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของไม้ และมวลชีวภาพ โดยการเลือกไม้ตัวอย่างขนาดต่างๆกันที่กระจายในแปลงเป็นตัวแทนในการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของไม้ และมวลชีวภาพ ผลรวมของมวลชีวภาพที่ประมาณได้จากไม้ทุกขนาดจะเป็นค่ามวลชีวภาพของหมู่ไม้นั้นๆ วิธีการนี้ได้นำมาประยุกต์ใช้ในการหามวลชีวภาพของป่า ต่อมาได้นำมาใช้ประมาณหามวลชีวภาพของลำต้น กิ่ง ใบ และราก โดยอาศัยสมการแอลโลเมตรีจากความสัมพันธ์ของตัวแปรสองตัวจากต้นไม้ตัวอย่างในรูปของ

$$y = Ax^{h} \quad \text{หรือ}$$

$$\log y = \log A + h\log x$$

เมื่อ y คือ ปริมาณมวลชีวภาพส่วนต่างๆของไม้

x คือ ตัวแปรอิสระ ซึ่งใช้ในการประมาณหาปริมาณมวลชีวภาพ

(พงษ์ศักดิ์ สหุนาพุ, 2538)

การสะสมมวลชีวภาพและการเจริญเติบโตของโกงกางใบเล็ก

การสะสมมวลชีวภาพของพืชแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ

- มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (above ground biomass)
- มวลชีวภาพใต้พื้นดิน (below ground biomass)

โกงกางใบเล็กที่อายุน้อย และมีขนาดเล็กจะมีมวลชีวภาพส่วนของรากค้ำจุน กิ่ง และใบมากกว่ามวลชีวภาพส่วนของลำต้น ส่วนโกงกางใบเล็กที่อายุมาก และมีขนาดใหญ่จะมีมวลชีวภาพส่วนของลำต้นมากกว่า 70% เช่นการศึกษาของพูลศรี เมืองสง และสนิท อักษรแก้ว (2540) ได้ประมาณมวลชีวภาพของโกงกางใบเล็กอายุ 2 ปี ที่ปลูกบนพื้นที่นากุ้งร้าง มีมวลชีวภาพรวมเท่ากับ 3.04 กิโลกรัมต่อต้น ซึ่งประกอบด้วยมวลชีวภาพของใบ ราก กิ่ง และลำต้น เท่ากับ 31.90% 27.30% 22.70% และ 18.09% ตามลำดับ ส่วนโกงกางใบเล็กที่มีขนาดใหญ่ Komiyama et al. (1988) ได้ศึกษาการเจริญเติบโต และมวลชีวภาพของโกงกางใบเล็กบริเวณป่าชายเลนในประเทศอินโดนีเซีย พบว่าโกงกางใบเล็กมีผลผลิตมวลชีวภาพของส่วนที่เป็นลำต้นมากที่สุด 73% รากเหนือดิน กิ่ง ใบ และผล เท่ากับ 13% 12% และ 2% ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ (Gong และ Ong, 1990) พบว่ามวลชีวภาพของโกงกางใบเล็กอายุต่างๆที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.5-77.0 เซนติเมตร บริเวณป่าชายเลนในประเทศมาเลเซีย พบว่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินคิดเป็น 91.5% ของมวลชีวภาพทั้งหมด โดยส่วนที่เป็นลำต้น รากเหนือดิน กิ่ง และใบ คิดเป็น 55%, 16%, 12% และ 8.5% ของมวลชีวภาพทั้งหมดตามลำดับ ส่วนมวลชีวภาพใต้พื้นดินคิดเป็น 8.5%ของมวลชีวภาพทั้งหมด

โสภณ หะวานนท์, มงคล ไข่มุกด์ และรักชาติ สุขสำราญ (2538) ศึกษาการเจริญเติบโตและมวลชีวภาพของโกงกางใบเล็กในพื้นที่ที่ผ่านการทำเหมืองแร่ จ. ระนอง โดยใช้สมการความสัมพันธ์ในรูปแอลโลเมตรีเพื่อประมาณผลผลิตมวลชีวภาพ พบว่า ไม้โกงกางใบเล็กอายุ 5 ปี และ 6 ปี มีผลผลิตมวลชีวภาพรวมเท่ากับ 1.382 และ 2.253 ตันต่อไร่ ตามลำดับ คิดเป็นอัตราการเพิ่มพูนเท่ากับ 0.871 ตันต่อไร่ต่อปี และมีผลผลิตมวลชีวภาพของส่วนที่เป็นลำต้นมากที่สุด รองลงมาได้แก่ ส่วนของรากค้ำยัน กิ่ง และใบ ตามลำดับ

ไพศาล ธนะเพิ่มพูล (2532) ศึกษาการเจริญเติบโตและมวลชีวภาพของโกงกางใบเล็กอายุ 5 และ 6 ปีที่ จ. ปัตตานีมีผลผลิตมวลชีวภาพรวมเท่ากับ 3.650 และ 5.083 ตันต่อไร่ ตามลำดับ คิดเป็นอัตราเพิ่มพูน 1.433 ตันต่อไร่ต่อปี ซึ่งผลผลิตมวลชีวภาพส่วนที่เป็นลำต้นมากที่สุด รองลงไปได้แก่ ส่วนของรากค้ำยัน กิ่ง และใบ ตามลำดับ

2.5 วิวัฒนาการการเลี้ยงกุ้งในประเทศไทย

การเลี้ยงกุ้งแบบต่างๆ ในประเทศไทย

ในประเทศไทยการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลได้เกิดขึ้นมาหลายสิบปีแล้ว โดยเริ่มต้นมีการเลี้ยงแถบอ่าวไทยบริเวณจังหวัดสมุทรสงคราม และสมุทรสาคร ต่อมาได้แพร่หลายมาสู่ภาคตะวันออก และภาคใต้ โดยเริ่มแรกเป็นการเลี้ยงแบบอาศัยธรรมชาติ แล้วจึงเปลี่ยนมาเป็นการเลี้ยงแบบพัฒนา ซึ่งได้เกิดขึ้นอย่างแพร่หลายในประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2532 (Lin, 1995 อ้างถึงใน Boonsong, 1997) เนื่องจากประเทศไทยเร่งพัฒนาในด้านการเกษตรกรรมซึ่งสามารถนำมาเป็นวัตถุดิบให้แก่ภาคอุตสาหกรรมต่างๆ การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำนับเป็นเกษตรกรรมอีกสาขาหนึ่งที่ได้รับความสนใจ และส่งเสริมโดยเฉพาะการเลี้ยงกุ้งทะเล เนื่องจากสามารถนำมาเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมแช่แข็งสัตว์น้ำ เพื่อการบริโภคภายในประเทศและส่งออกต่างประเทศ โดยเฉพาะประเทศญี่ปุ่นและอเมริกา ประกอบกับปริมาณกุ้งที่จับได้จากธรรมชาติลดน้อยลง ซึ่งเป็นผลมาจากความเสื่อมโทรมของธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้กรมประมงสามารถผลิตลูกกุ้งได้เองจากโรงเพาะฟัก และมีการพัฒนาสูตรอาหารกุ้งเพื่อการเพาะเลี้ยงขึ้น จึงมีการเปลี่ยนแปลงระบบการเลี้ยงจากการเพาะเลี้ยงกุ้งแบบธรรมชาติมาเป็นการเพาะเลี้ยงกุ้งแบบกึ่งพัฒนา และแบบพัฒนาในระยะต่อมา เพราะสามารถให้ผลผลิตสูง และผลตอบแทนคุ้มค่าต่อการลงทุนมากกว่า แสดงไว้ในตารางที่ 2.1

การเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนา หมายถึงการเลี้ยงที่มีการนำลูกกุ้งมาจากโรงเพาะฟักมาเลี้ยงอย่างเดียวโดยมีเงื่อนไขเกี่ยวกับความหนาแน่นของลูกกุ้งที่นำมาปล่อย การให้อาหารและการใช้เครื่องตีน้ำเพื่อเพิ่มออกซิเจน ครบทั้ง 3 กรณี ดังนี้

1. จำนวนลูกกุ้งที่ปล่อย 24,000 ตัวขึ้นไป หรือ 15 ตัวขึ้นไปต่อตารางเมตร
2. ให้อาหารกุ้งทุกวันๆละ 3-5 มื้อ
3. ในช่วงเดือนที่ 3-4 ของการเลี้ยงมีการใช้เครื่องตีน้ำ 1 เครื่องต่อเนื้อที่ผิวน้ำ 1-2 ไร่

(สำนักงานสถิติแห่งชาติ, 2533 อ้างถึงใน ศิริพร วรกุลดำรงชัย, 2540)

ตารางที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบลักษณะการเลี้ยงกุ้งแบบต่างๆ

Description	Extensive (แบบดั้งเดิม)	Semi-intensive (แบบกึ่งพัฒนา)	Intensive (แบบพัฒนา)
Pond size (ha)	5-20	1-5	0.5-1
Stocking density (pls/m^2)	0.5-2	5-10	10-50
Source of fry	wild/hatchery	hatchery	hatchery
Stocking size	> PL 30	PL 25	PL 15
Water management	tidal/pump	pump	pump
Aeration	no	some	yes
Central drain	no	no	some
Feed	fertilization	fresh/pellet	pellet/fresh
Culture period (month)	3-6	4-5	4-5
Servival rate(%)	80	80	70
Production(tons/ha/yr)	0.3-1.2	2.5-5.0	5-20

Source: Kongkeo (1990)

การเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนาหากขั้นตอนการเลี้ยงมีการจัดการเรื่องอาหารไม่ดี เศษอาหารส่วนที่เหลือรวมทั้งของเสียต่างๆ จากตัวกุ้งจะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ซึ่งจะมีผลต่อดินพื้นบ่อและคุณภาพน้ำโดยตรง จะทำให้ปริมาณสารอินทรีย์ และสารอาหารต่างๆ ที่ได้จากการย่อยสลายมีปริมาณความเข้มข้นมากขึ้น นอกจากนี้การระบายน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยไม่มีการปรับปรุงคุณภาพน้ำก่อนเป็นสาเหตุทำให้เกิดปัญหาการเสื่อมคุณภาพน้ำชายฝั่ง

2.6 ผลกระทบของน้ำทิ้งการเลี้ยงกุ้ง

คุณลักษณะของน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนา

น้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้ง หมายถึงน้ำที่ใช้ในกิจกรรมต่างๆ ของบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำและถูกถ่ายลงสู่คลองระบายน้ำสาธารณะหรือแหล่งน้ำธรรมชาติ โดยคุณสมบัติของน้ำบางอย่างเปลี่ยนไปทั้งทางด้านเคมี ฟิสิกส์ และชีวภาพ ซึ่งน้ำที่ปล่อยออกมาอาจจะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (คณิต ไชยาคำ และ พุทธ ส่องแสงจินดา, 2535)

น้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่หนึ่งเป็นตะกอนหรือดินเลน ส่วนที่สองได้แก่น้ำทิ้งจากการเปลี่ยนถ่ายน้ำประกอบด้วย สารอินทรีย์ แพลงค์ตอน สารพิษ โลหะหนัก, ยา (Oxytetracyclin), สารเคมี (Oxolinic acid), ซีโอไลท์, ฟอร์มาลีน และอื่นๆ (คณิต ไชยาคำ และ พุทธ ส่องแสงจินดา, 2535)

Macintosh และ Phillips (1992) รายงานว่าองค์ประกอบของน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ส่วนที่เป็นของแข็ง (solid matter) ได้แก่ เศษอาหารที่เหลือจากการให้อาหารกุ้งมากเกินไป ขี้กุ้ง แพลงค์ตอน และแบคทีเรีย อีกส่วนหนึ่งคือส่วนที่เป็นของเหลว (dissolved matter) ได้แก่ แอมโมเนีย ยูเรีย คาร์บอนไดออกไซด์ และฟอสฟอรัส

Briggs และ Funge-Smith (1994) กล่าวว่าปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพน้ำในการเพาะเลี้ยง ได้แก่ สภาพอากาศ การถ่ายเทน้ำ การจัดการบ่อ ชนิดของบ่อเลี้ยง ชนิดและคุณภาพอาหาร ปุ๋ยและสารเคมีต่างๆ อัตราความหนาแน่นของกุ้งที่ปล่อย ชนิดพันธุ์กุ้ง การพัฒนาการในระยะต่างๆของกุ้ง ระยะเวลาในการเลี้ยง และอื่นๆ

Lin (2536) กล่าวว่าน้ำทิ้งที่ออกมาจากฟาร์มเลี้ยงกุ้งที่ผลิตกุ้ง 1 ตัน จะมีสารอินทรีย์ปะปนอยู่ 1250 กิโลกรัม สารประกอบไนโตรเจน 87 กิโลกรัม และฟอสฟอรัส 28 กิโลกรัม

Boyd (1989) รายงานว่าของเสียจากบ่อเลี้ยงกุ้งประกอบด้วย อะมิโน แอซิด โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไฟเบอร์ แร่ธาตุ และแบคทีเรีย

ดุสิต ตันวิไลย และคณะ (2536) ได้ศึกษาปริมาณมลสารที่ปลดปล่อยทั้งหมดตลอดการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาในบ่อขนาด 2 ไร่ มีค่ามลสารที่ปลดปล่อยได้แก่ แอมโมเนีย, ไนไตรท์,ไนเตรท, อนินทรีย์ไนโตรเจนที่ละลายน้ำ, ฟอสฟอรัสรวม, คลอโรฟิลล์ เอ, BOD_5 และตะกอนแขวนลอยที่ตกตะกอนได้ทันที เท่ากับ 19.67, 0.20, 0.43, 20.3, 50.2, 1.27, 86.87 และ 1666 กิโลกรัมต่อบ่อ ซึ่งปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจน และฟอสฟอรัสที่เกิดจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาในแต่ละครั้งมีปริมาณมาก เมื่อปล่อยน้ำทิ้งลงสู่บริเวณแหล่งน้ำธรรมชาติจะทำให้เกิดความเสื่อมโทรมของแหล่งน้ำได้

แหล่งที่มาของสารอาหารในบ่อเลี้ยงกุ้ง

ธาตุอาหารในบ่อเลี้ยงกุ้งส่วนใหญ่เกิดจากอาหารที่ใช้เลี้ยงกุ้ง ซึ่งไนโตรเจน 95% และฟอสฟอรัส 71% ที่อยู่ในบ่อเลี้ยงกุ้งเกิดจากอาหาร และปุ๋ย (Briggs และ Funge-Smith, 1994) ในอาหารกุ้งมีส่วนประกอบของโปรตีน 40-50 % ไขมัน 6-7.5% และฟอสฟอรัส 1.5-2 %ของน้ำหนักแห้งของอาหาร (Lin, 2536) แต่กุ้งจะใช้โปรตีนในอาหารที่ให้เพียง 20% เท่านั้น ส่วนที่เหลือจะละลายอยู่ในน้ำและตกตะกอนอยู่บริเวณก้นบ่อ (New, 1990) ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสที่กุ้งสามารถ

นำไปใช้จากอาหารมีเพียง 9% เท่านั้น (Muthuwan, 1991) ; Max (2533) สรุปว่าอาหารที่ให้กุ้งมีเพียง 25-35% เท่านั้นที่กุ้งสามารถกินและนำไปใช้ประโยชน์ได้

นอกจากอาหารและปุ๋ยซึ่งเป็นปัจจัยหลักแล้ว สิ่งที่ทำให้เกิดธาตุอาหารสะสมในบ่อเลี้ยงกุ้งได้แก่สิ่งขับถ่ายจากตัวกุ้งและพวกแพลงค์ตอนต่างๆ อีกด้วย ซึ่งการเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนามีการให้อาหารซึ่งอยู่ในรูปไนโตรเจน 1868 กิโลกรัมต่อเฮกแตร์ต่อปี ฟอสฟอรัส 433 กิโลกรัมต่อเฮกแตร์ต่อปี และมีการใส่ปุ๋ยในรูปไนโตรเจน 62 กิโลกรัมต่อเฮกแตร์ต่อปี ฟอสฟอรัส 17 กิโลกรัมต่อเฮกแตร์ต่อปี (Robertson และ Phillips, 1995)

ผลกระทบของน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งต่อป่าชายเลน

การเลี้ยงกุ้งต้องมีการระบายน้ำออกจากบ่อเฉลี่ยประมาณวันละ 35 % ของปริมาณน้ำที่เก็บกักทั้งหมด (บริษัทเจริญโภคภัณฑ์อาหารสัตว์, 2534) ซึ่งคุณภาพของน้ำที่ปล่อยออกมาจะแตกต่างกันขึ้นกับช่วงระยะเวลาในการเลี้ยง และทำให้คุณภาพน้ำใกล้แหล่งเพาะเลี้ยงมีการเปลี่ยนแปลงดังแสดงในตารางที่ 2.2 จากการศึกษาพบว่าคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำใกล้บริเวณนากุ้งชายฝั่งทะเล อ. ระโนด จ. สงขลา และอ.หัวไทร จ. นครศรีธรรมราช พบว่าอยู่ในสภาวะมีธาตุอาหารเกินสมดุลย์ธรรมชาติ (พุทธ ส่องแสงจินดา และคณะ, 2536) นอกจากนี้ พิพัฒน์ พัฒนผลไพบูลย์ และคณะ (2538) รายงานว่า กิจกรรมการทำนากุ้งในบริเวณจังหวัดตราด ทำให้ธาตุอาหารในน้ำ ได้แก่ แอมโมเนีย-ไนโตรเจน และไนเตรท-ไนโตรเจน ในบริเวณป่าชายเลนที่อยู่ใกล้พื้นที่ทำนากุ้งมีค่าสูงกว่าป่าชายเลนที่อยู่ไกลออกไป การปล่อยสารอาหารพวกอินทรีย์ที่ละลายในน้ำได้ (ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส) จากฟาร์มเลี้ยงปลาและกุ้งที่หนาแน่น เป็นสาเหตุให้เกิดสภาวะสารอาหารที่สมบูรณ์ (Eutrophication) และการเพิ่มผลผลิตเบื้องต้นของแหล่งน้ำ นำไปสู่ปัญหาการเสื่อมโทรมของคุณภาพแหล่งน้ำ และเมื่อสารประกอบอินทรีย์รวมกับสารประกอบอื่นๆ เช่น วิตามิน อาจก่อให้เกิดการเจริญเติบโตของแพลงค์ตอนพืชที่มีพิษในแหล่งน้ำ (toxic algal bloom) (Gowen และ Bradbury, 1987) การลดปริมาณสารอาหารเหล่านี้สามารถทำได้โดยการบำบัดน้ำทิ้งก่อนการปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ, การเลี้ยงกุ้งโดยใช้ระบบน้ำหมุนเวียน ซึ่งจะมีต้นทุนค่อนข้างสูง และยังอยู่ในขั้นตอนการพัฒนาระบบ การปล่อยน้ำทิ้งเหล่านี้ลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติซึ่งบางครั้งน้ำทิ้งเหล่านี้จะลงสู่บริเวณป่าชายเลน ธาตุอาหารเหล่านี้พืชในป่าชายเลนสามารถนำไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตได้จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ แต่ยังไม่มีการศึกษาอย่างแน่ชัดว่าพืชในป่าชายเลนจะสามารถนำธาตุอาหารเหล่านี้ไปใช้ได้เท่าไร

ตารางที่ 2.2 แสดงคุณภาพน้ำจากบ่อเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนาในระยะเวลาการเลี้ยง 5 เดือน

Parameter	ค่าเฉลี่ย
Pond size (ha)	0.48-0.56
Pond depth (m)	1.5-1.8
Salinity (ppt)	10-35
Temperature (°C)	22-31
pH	7.5-8.9
Total Phosphorus (mg/l)	0.05-0.40
Total Nitrogen (mg/l)	0.50-3.4
Total ammonia-nitrogen (mg/l)	0.05-0.65
Dissolved oxygen (mg/l)	4-7.5
Chlorophyll (mg/l)	20-250
Total suspended solids (mg/l)	30-190
water exchange frequency(%/day)	5-40

source: Phillips et al.(1993)

1. ผลกระทบต่อคุณภาพน้ำในป่าชายเลน

จากการศึกษาของชนินทร์ อัมพรสถิร (2536) พบว่าการทำนากุ้งมีผลโดยตรงต่อคุณภาพน้ำบริเวณป่าชายเลนและชายฝั่งทะเล โดยทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำมากกว่า 8 ซึ่งตามธรรมชาติแล้วดินบริเวณพื้นที่ป่าชายเลนจะมีสภาพเป็นกรดอ่อน นอกจากนี้ยังมีการเพิ่มขึ้นของแอมโมเนียไนโตรเจนบริเวณพื้นที่ป่าชายเลน และริมฝั่งทะเล เมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำมีค่าสูงกว่า 8.2 จะพบแอมโมเนียในรูปแอมโมเนียอิสระ(unionized ammonia, NH_3) ซึ่งจะเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ

2. ผลกระทบต่อคุณภาพดินในป่าชายเลน

จากการศึกษาของ ชฎา ฉรงค์ฤทธิ์ (2535) พบว่าการเปลี่ยนพื้นที่ป่าชายเลนมาเป็นบ่อเลี้ยงกุ้งจะทำให้สารประกอบกำมะถัน (pyrite) ในดินตะกอนชั้นล่างถูกเคลื่อนย้ายขึ้นมาสัมผัสกับอากาศเกิดเป็นกรดกำมะถันทำให้ค่าปฏิกริยาดินลดลงอยู่ในระดับเป็นกรดอย่างรุนแรง ทั้งยังทำให้สูญเสียแหล่งให้อินทรีย์วัตถุแก่ดิน และมีความสัมพันธ์กับการลดลงของฟอสฟอรัสปริมาณความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกในดิน นอกจากนี้การปล่อยน้ำเสียลงสู่ป่าชายเลนมาก

เกินไปอาจทำให้สมดุลย์ของ Acrobic-Anaerobic System ของแบคทีเรียในดินเสียสมดุลย์และเปลี่ยนไปเป็น Anaerobic System ซึ่งมีประสิทธิภาพในการหมุนเวียนธาตุอาหารต่ำ (Robertson และ Phillips, 1995)

3. ผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในป่าชายเลน

- ผลกระทบต่อพืชในป่าชายเลน

จากการศึกษาปริมาณ และคุณสมบัติของดินตะกอนของน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งมีผลกระทบต่อโครงสร้างและการเจริญเติบโตของไม้ชายเลน บริเวณอ่าวคุ้งกระเบน จังหวัดจันทบุรี คือพบชนิดพันธุ์ไม้น้อยลง และทำให้การขึ้นอยู่ของพรรณไม้เปลี่ยนแปลงไป กล่าวคือ ไม้ตะบูนจะขึ้นอยู่ห่างจากริมอ่าวมากขึ้น ความหนาแน่นของพันธุ์ไม้ไม่มีความแตกต่าง การสืบพันธุ์ตามธรรมชาติโดยรวมลดลง สำหรับการเจริญเติบโตพบว่าพันธุ์ไม้ส่วนใหญ่มีการเจริญเติบโตค่อนข้างดี (ศิริพร วรกุลดำรงชัย, 2540)

- ผลกระทบต่อแพลงค์ตอนและสัตว์หน้าดินในป่าชายเลน

แพลงค์ตอนพืชและแพลงค์ตอนสัตว์สามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำได้ ถ้าจำนวนชนิดของแพลงค์ตอนน้อย แต่ละชนิดมีปริมาณสูงและค่า diversity index ต่ำ แสดงว่าแหล่งน้ำนั้นมีคุณภาพต่ำหรือเน่าเสีย (Angsupanich, 1994)

ศรินทร์ ตันติพุกนนท์ และณิฏฐารัตน์ ปภาวสิทธ์ (2534) พบว่าปริมาณและชนิดของแพลงค์ตอนสัตว์ในบริเวณป่าชายเลนที่มีการทำนากุ้ง ต.อ่างศิลา จ.ชลบุรี มีจำนวนลดลงทั้งชนิดและปริมาณ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความอุดมสมบูรณ์ของป่าชายเลนลดลงด้วย นอกจากนั้นของเสียพวกอินทรีย์ที่ปล่อยลงสู่ทะเลทำให้เกิดการเพิ่มจำนวนของแพลงค์ตอนพืช ซึ่งจะมีผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำและส่งผลกระทบต่อปริมาณสัตว์น้ำ

การทำนากุ้งทำให้เกิดผลกระทบต่อพวกครัสตาเซียนที่อาศัยอยู่บริเวณป่าชายเลนทำให้มีจำนวนลดน้อยลง โดยการทำลายวงจรชีวิตของสัตว์น้ำวัยอ่อน เช่น ปู กุ้ง กั้ง ตั๊กแตน (ไพบูลย์ นัยเนตร, 2534)

นอกจากนี้ เริงชัย ตันสกุล (2538) กล่าวว่า ผลกระทบของการทำนากุ้งบริเวณ จ.สงขลา และจ.นครศรีธรรมราช ทำให้เกิด Eutrophication ในเขตชายฝั่ง แพลงค์ตอน-สัตว์และสัตว์หน้าดินมี species diversity ต่ำ แต่มวลชีวภาพมากขึ้น และไม่กระทบต่อ species diversity ของปลาเศรษฐกิจที่จับได้