



ระบบพืชน้ำผสมผสานเพื่อบำบัดน้ำเสียชุมชนที่มีสารเภสัชกรรมตกค้าง

โดย

นางสาวมนัสนันท์ แยมมนัส

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ปีการศึกษา 2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ระบบพืชน้ำผสมผสานเพื่อบำบัดน้ำเสียชุมชนที่มีสารเภสัชกรรมตกค้าง

โดย

นางสาวมนัสนันท์ แยมมนัส



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ปีการศึกษา 2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

HYBRID AQUATIC SYSTEM FOR TREATMENT OF DOMESTIC
WASTEWATER CONTAINING PHARMACEUTICAL RESIDUALS

BY

MISS MANASSANUN YAMMANAS



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS

FOR THE DEGREE OF ENGINEERING CIVIL ENGINEERING

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

THAMMASAT UNIVERSITY

ACADEMIC YEAR 2018

COPYRIGHT OF THAMMASAT UNIVERSITY

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

วิทยานิพนธ์

ของ

นางสาวมนัสนันท์ แยมมนัส

เรื่อง

ระบบพีชน้ำผสมผสานเพื่อบำบัดน้ำเสียชุมชนที่มีสารเภสัชกรรมตกค้าง

ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติ ให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา)

เมื่อ วันที่ 9 กรกฎาคม พ.ศ. 2562

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



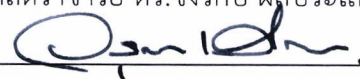
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุนิสา สมิตาการ)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์



(ศาสตราจารย์ ดร.จรัล วัฒนประเสริฐ)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์



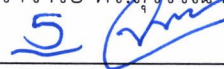
(อาจารย์ ดร.วรรณศักดิ์ เลี่ยมแหลม)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(รองศาสตราจารย์ ดร.สุวรรณา บุญตานนท์)

คณบดี



(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีร เจียศิริพงษ์กุล)

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ระบบพืชน้ำผสมผสานเพื่อบำบัดน้ำเสียชุมชนที่มีสาร เภสัชกรรมตกค้าง
ชื่อผู้เขียน	นางสาวมนัสนันท์ แยมมนัส
ชื่อปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา)
ภาควิชา/คณะ/มหาวิทยาลัย	วิศวกรรมโยธา วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ศาสตราจารย์ ดร.จรงค์ษ์ ผลประเสริฐ
ปีการศึกษา	2561

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้มุ่งหมายศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียและการลดสารเภสัชกรรมตกค้างของระบบพืชน้ำผสมผสาน เนื่องจากในปัจจุบันประชากรไทยส่วนใหญ่มักบริโภคยาปฏิชีวนะทั้งในรูปแบบของยารักษาโรคและยาบำรุงร่างกายเป็นกิจวัตร เมื่อมีการขับถ่ายหรือมีการทิ้งยาลงในระบบบำบัดน้ำเสีย จะส่งผลให้เกิดปัญหาตกค้างในแหล่งน้ำธรรมชาติ จึงได้สร้างระบบพืชน้ำผสมผสานจำลองขึ้นมาเพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียและการลดสารเภสัชกรรมตกค้างในน้ำเสียชุมชน โดยสร้างบ่อบำบัดจำลองขึ้นมาจำนวน 4 บ่อ กำหนดให้ OLR ประมาณ 12-50 กก.-ซีโอดี/เฮกตาร์-วัน โดยบรรจุตัวกลางพลาสติกปริมาณ 50 ม.²/ม.³ และใส่แหนบประมาณ 0.63 กก./ม.² ดำเนินการโดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ช่วง ในช่วงที่หนึ่งทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของบ่อบำบัดจำลองที่มีระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียเท่ากับ 5, 10 และ 20 วัน พบว่าระบบบำบัดจำลองมีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี 36.11, 40.74 และ 76.85 % ตามลำดับ ช่วงที่สองทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียด้วยแหนบระหว่างบ่อบำบัดจำลองที่บรรจุและไม่บรรจุตัวกลางพลาสติกที่ติดตั้งหลอดไฟแอลอีดี (LED) สีแดงให้มีค่าความเข้มของแสงประมาณ 150 ไมโครโมล/ตร.ม.-วินาที และมีระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียเท่ากับ 10 วัน พบว่าบ่อบำบัดจำลองที่บรรจุตัวกลางพลาสติกมีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีมากกว่าในบ่อบำบัดจำลองที่ไม่บรรจุตัวกลางพลาสติกอย่างมีนัยสำคัญ และช่วงที่สามทำการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดสารเภสัชกรรมตกค้างในบ่อบำบัดจำลองที่บรรจุตัวกลางพลาสติกและติดตั้งหลอดไฟแอลอีดีสีแดงและมีระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียเท่ากับ 10 วัน โดยนำซัลฟาเมโทซาโซลซึ่งเป็นยาปฏิชีวนะที่ย่อยสลายได้ยาก

มาผสมในน้ำเสียเข้าเพื่อจำลองให้น้ำเสียในระบบบำบัดมีสารเภสัชกรรมตกค้าง พบว่าระบบบำบัด
จำลองมีประสิทธิภาพในการบำบัดซัลฟาเมโทซาโซลได้มากกว่า 99%

คำสำคัญ: ระบบพืชน้ำผสมผสาน, น้ำเสียชุมชน, สารเภสัชกรรมตกค้าง, ซัลฟาเมโทซาโซล, หลอดไฟ
แอลอีดี (LED) สีแดง



Thesis Title	HYBRID AQUATIC SYSTEM FOR TREATMENT OF DOMESTIC WASTEWATER CONTAINING PHARMACEUTICAL RESIDUALS
Author	Miss Manassanun Yammanas
Degree	Master of Engineering (Civil Engineering)
Department /Faculty/University	Civil Engineering Engineering Thammasat University
Thesis Advisor	Professor Chongrak Polprasert, Ph.D.
Academic Years	2018

ABSTRACT

This thesis aims to study about the efficiency of wastewater treatment and reducing pharmaceutical residuals by a hybrid aquatic system. Four laboratory-scale reactors, each filled duckweed of 0.63 kg/m^2 , were operated at the Organic Loading Rate (OLR) of $12\text{-}50 \text{ kg COD/ha-day}$ and illuminated with red LED at the light intensity of $150 \mu\text{mol}/(\text{m}^2\text{-sec})$. Three reactors, each filled with plastic media at the specific area of $50 \text{ m}^2/\text{m}^3$, were fed with domestic wastewater at the hydraulic retention times (HRT) of 5, 10 and 20 days; the fourth reactor was operated at the HRT of 10 days, but without plastic media. The experimental results showed the COD removal efficiencies of 36.11, 40.74 and 76.85% at HRT of 5, 10 and 20 days, respectively; while the reactor without plastic media had less COD removed efficiency. The hybrid aquatic system was also effective in removing sulfamethoxazole, a common anti-biotic drug, from the influent wastewater more than 99%.

Keywords: Hybrid Aquatic System, Domestic Wastewater, Pharmaceutical Residuals, Sulfamethoxazole, Red LED

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณา และการชี้แนะที่เป็นประโยชน์จากกรรมการวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สุนิสา สมิตาการ ประธานกรรมการวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร.วรุณศักดิ์ เลี่ยมแหลม กรรมการวิทยานิพนธ์ และ รองศาสตราจารย์ ดร.สุวรรณา บุญตานนท์ ที่ให้ความกรุณาสละเวลามาเป็นกรรมการภายนอก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ศาสตราจารย์ ดร.จรงค์ษ์ ผลประเสริฐ กรรมการและที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ภายในที่ คอยแนะนำแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ และชี้แนะให้คำปรึกษา ผู้ศึกษาขอกราบขอบพระคุณทุกท่าน เป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ที่อนุเคราะห์ให้เข้าใช้ห้องปฏิบัติการทางสิ่งแวดล้อมและอุปกรณ์ในการวิจัย ขอขอบคุณ นางสาวพิชญา ปิยะวิริยะกุล ที่สละเวลาให้ความรู้และให้ความช่วยเหลือต่าง ๆ

ขอขอบพระคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ที่ได้มอบทุนสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณ นายชวลิต ชัยวงศ์ และ นายสิทธิกร คำงาม ที่ให้ข้อเสนอแนะดี ๆ และ กำลังใจในการศึกษา ทำยที่สุดขอขอบพระคุณครอบครัวที่คอยสนับสนุนและเป็นกำลังใจ

หากผลการศึกษานี้มีข้อบกพร่องประการใด ผู้ศึกษาขอน้อมรับไว้เพื่อปรับปรุง แก้ไขในการศึกษาครั้งต่อไป

นางสาวมนัสนันท์ แยมมนัส

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(1)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(3)
กิตติกรรมประกาศ	(4)
สารบัญตาราง	(11)
สารบัญภาพ	(12)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ในการศึกษา	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	2
บทที่ 2 เอกสารและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 น้ำเสีย (Wastewater)	3
2.2 น้ำเสียชุมชน (Domestic Wastewater)	4
2.2.1 องค์ประกอบของน้ำเสียชุมชน	4
2.2.1.1 สารอินทรีย์	4
2.2.1.2 สารอนินทรีย์	5
2.2.1.3 โลหะหนักและสารพิษ	5
2.2.1.4 น้ำมันและสารลอยน้ำต่าง ๆ	5
2.2.1.5 ของแข็ง	5

2.2.1.6 สารก่อให้เกิดฟองหรือสารซักฟอก	5
2.2.1.7 จุลินทรีย์	5
2.2.1.8 ธาตุอาหาร	5
2.2.1.9 กลิ่น	6
2.3 น้ำเสียและของเสียอันตรายจากบ้านเรือน (Wastewater and Household Hazardous Waste)	7
2.4 มาตรฐานคุณภาพน้ำ	8
2.4.1 มาตรฐานการระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน	8
2.5 ดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำ	9
2.5.1 ตัวแปรคุณภาพน้ำทางกายภาพ	10
2.5.1.1 อุณหภูมิ (Temperature)	10
2.5.1.2 ความขุ่น (Turbidity)	10
2.5.1.3 สี (Color)	10
(1) สีที่แท้จริง (True Colour / Specific Colour)	11
(2) สีที่ปรากฏ (Apparent Colour)	11
2.5.2 ตัวแปรคุณภาพน้ำทางเคมี	11
2.5.2.1 ความเป็นกรดต่าง (pH)	11
2.5.2.2 ค่าออกซิเจนละลาย (DO)	11
2.5.2.3 ค่าบีโอดี (BOD ₅)	12
2.5.2.4 ค่าซีโอดี (COD)	12
2.5.3 ตัวแปรคุณภาพน้ำทางชีวภาพ	12
2.5.3.1 สารอินทรีย์	12
2.5.3.2 สารอนินทรีย์	12
2.5.3.3 ธาตุอาหาร	13
2.6 ระบบการบำบัดน้ำเสียชุมชน	13
2.6.1 ประเภทของเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียชุมชน	13
2.6.1.1 ระบบบ่อบำบัดน้ำเสีย (Lagoon Treatment)	13
(1) บ่อดกตะกอน	13
(2) บ่อผึ่ง	13
(3) บ่อปรับสภาพ	14

2.6.1.2 ระบบพืชและหญ้ากรองน้ำเสีย (Plant and Grass Filtration)	14
2.6.1.3 ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม (Constructed Wetland)	15
2.6.1.4 ระบบแปลงพืชป่าชายเลน (Mangrove Forest Filtration)	15
2.7 คุณสมบัติและหลักการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบพืชน้ำผสมผสาน	17
2.8 ลักษณะสำคัญของพรรณไม้น้ำ	17
2.8.1 ประเภทพรรณไม้น้ำ	18
2.8.1.1 พืชใต้น้ำ (Submerged Plants)	18
2.8.1.2 พืชโผล่เหนือน้ำ (Emergent Plants)	19
2.8.1.3 พืชลอยน้ำ (Floating Plants)	19
2.9 แหน (Duckweed)	19
2.9.1 สกุลของแหน	19
2.9.1.1 สกุล <i>Lemna</i>	19
(1) <i>Lemna minor</i> L.	19
(2) <i>Lemna perpusilla</i> Torr.	20
(3) <i>Lemna trisulca</i> L.	20
2.9.1.2 สกุล <i>Spirodela</i>	20
2.9.1.3 สกุล <i>Wolffia</i>	20
2.10 พลาสติ๊ก	23
2.10.1 คุณสมบัติต่าง ๆ ของพลาสติ๊ก	23
2.11 ยาปฏิชีวนะ	24
2.11.1 ประเภทของยาปฏิชีวนะ	24
2.11.1.1 กลุ่มยา Penicillins	25
2.11.1.2 กลุ่มยา Cephalosporins	25
2.11.1.3 กลุ่มยา Fluoroquinolones	25
2.11.1.4 กลุ่มยา Macrolides	25
2.11.1.5 กลุ่มยา Tetracyclines	25
2.11.1.6 กลุ่มยา Aminoglycosides	25
2.11.1.7 กลุ่มยา Sulfonamides (ยาซัลฟา)	25
2.12 ซัลฟาเมโทซาโซล (Sulfamethoxazole)	26

2.12.1	สรรพคุณของซัลฟาเมโทซาโซล	27
2.12.2	ผลข้างเคียงของซัลฟาเมโทซาโซล	27
2.12.2.1	ผลต่อระบบทางเดินอาหาร	27
2.12.2.2	ผลต่อระบบการเผาผลาญพลังงานของร่างกาย	27
2.12.2.3	ผลต่อระบบการทำงานของหัวใจ	28
2.12.2.4	ผลต่อผิวหนัง	28
2.12.3	ปฏิกิริยาระหว่างซัลฟาเมโทซาโซล กับยาตัวอื่น ๆ	28
2.12.3.1	การใช้ยาซัลฟาเมโทซาโซลร่วมกับยาต้านการแข็งตัวของเลือด	28
2.12.3.2	การใช้ยาซัลฟาเมโทซาโซลร่วมกับยา Sodium Nitrite	28
2.12.3.3	การใช้ยาซัลฟาเมโทซาโซลร่วมกับยาลดความดันโลหิตกลุ่ม ACE Inhibitors	28
2.13	แสงและการเจริญเติบโตของพืช	28
2.13.1	การสังเคราะห์ด้วยแสง	29
2.13.1.1	กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง	29
2.13.2	ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ด้วยแสง	30
2.13.2.1	แสง	30
(1)	ความยาวคลื่นของแสง	30
(2)	ความเข้มของแสง	31
(3)	ช่วงระยะเวลาที่ได้รับแสง	31
2.13.2.2	ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์	31
2.13.2.3	อุณหภูมิ	32
2.13.2.4	ออกซิเจน	32
2.13.2.5	น้ำ	32
2.13.2.6	อายุของพืช	33
2.13.3	Light Emitting Diode (LED)	33
2.13.4	ประโยชน์ของหลอดไฟแอลอีดีในการเจริญเติบโตของพืช	33
2.14	ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	34
2.14.1	อันตรายจากยาดก้างในสิ่งแวดล้อม	34
2.14.1.1	การแก้ไขปัญหายาดก้าง	35

(1) การสนับสนุนให้ใช้ยาอย่างสมเหตุสมผล (Rational Drug Use)	35
(2) การทำลายยาหมดอายุหรือยาที่ใช้หมดให้ถูกวิธี	35
(3) การพัฒนาระบบการบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพและการ เฝ้าระวังระบบบำบัดน้ำเสีย	35
2.14.2 การใช้พืชน้ำในกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ	36
2.14.3 ไดโอดเปล่งแสงสีอะไรเหมาะสมกับการปลูกพืช	38
2.14.3.1 การทำงานของไดโอดเปล่งแสง	38
2.14.3.2 ประโยชน์ของแสงในการผลิตพืช	38
2.14.3.3 การประยุกต์ไดโอดเปล่งแสงกับการเจริญเติบโตของพืช	39
บทที่ 3 แนวทางการศึกษา	41
3.1 แนวทางการศึกษา	41
3.2 ขั้นตอนการศึกษาและดำเนินงาน	41
3.2.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง	41
3.2.2 ศึกษาตัวแปรต่าง ๆ ในการวิเคราะห์และวิธีการทดสอบคุณภาพน้ำ	42
3.2.3 ทำการสร้างแบบจำลองและดำเนินการทดลอง	42
3.2.3.1 สร้างแบบจำลอง	42
3.2.3.2 ดำเนินการทดลอง	43
(1) เติมน้ำเสียและควบคุม HRT ที่แตกต่างกัน	43
(2) ติดตั้งหลอดไฟ LED สีแดงรอบบ่อบำบัดจำลอง	43
(3) เติมสารซัลฟาเมโทซาโซลในน้ำเสียที่ HRT เท่ากับ 10 วัน ในบ่อบำบัดจำลองที่ติดตั้งหลอดไฟ LED สีแดง	44
3.2.4 วิเคราะห์และประมวลผลการทดลอง	44
3.3 รวบรวมข้อกำหนดและมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง	45
3.3.1 มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคาร	45
3.4 การเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ	45
3.4.1 การเก็บข้อมูลเบื้องต้น	45
3.4.2 วิเคราะห์คุณภาพน้ำ	45

3.5 แผนผังการดำเนินงาน	46
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	48
4.1 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยแหนด	48
4.1.1 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยแหนดที่บรรจุและไม่บรรจุตัวกลางพลาสติก	48
4.1.2 การวิเคราะห์น้ำหนักของแหนดที่เพิ่มขึ้นในระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง	50
4.1.3 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยแหนดที่บรรจุและไม่บรรจุตัวกลางพลาสติกที่ติดตั้งหลอดไฟแอลอีดี (LED) สีแดง	51
4.1.4 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียชุมชนที่มีสารเภสัชกรรมตกค้างด้วยแหนดและตัวกลางพลาสติกที่ติดตั้งหลอดไฟแอลอีดีสีแดง	52
4.2 ศักยภาพการผลิตแหนดและการนำน้ำที่บำบัดแล้วกลับมาใช้ใหม่	57
4.2.1 ศักยภาพการผลิตแหนด	57
4.2.2 การนำน้ำที่บำบัดแล้วกลับมาใช้ใหม่	57
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	58
รายการอ้างอิง	59
ประวัติผู้เขียน	63

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 อัตราการเกิดน้ำเสียต่อคนต่อวัน	3
2.2 อัตราการเกิดน้ำเสียของแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทชุมชน	4
2.3 ลักษณะน้ำเสียชุมชน	6
2.4 มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน	9
2.5 หลักการทำงานของส่วนต่าง ๆ ของฟิซน้ำที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย	18
2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างสีของแสง ความยาวคลื่นแสง และประโยชน์ต่อพืช	39
3.1 วิธีการวิเคราะห์	46
3.2 แผนผังการดำเนินงาน	47
4.1 ค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำจากบ่อบำบัดจำลองด้วยแทนที่บรรจุและไม่บรรจุตัวกลาง พลาสติก	48
4.2 ค่าเฉลี่ยน้ำหนักของแทนจากบ่อบำบัดจำลองด้วยแทนที่บรรจุและไม่บรรจุ ตัวกลางพลาสติก	50
4.3 ค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำจากบ่อบำบัดจำลองด้วยแทนบรรจุและไม่บรรจุตัวกลาง พลาสติกที่ติดตั้งหลอดไฟแอลอีดีสีแดงระยะเวลาการเก็บกักน้ำเสีย 10 วัน	51
4.4 ความเข้มข้นเฉลี่ยของซัลฟาเมโทซาโซลจากบ่อบำบัดจำลองด้วยแทนและ ตัวกลาง	53

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 แหนเล็ก	20
2.2 แหนใหญ่	21
2.3 ไข่น้ำหรือฝำ	21
2.4 ใบของแหน	22
2.5 ลำดับการแตกหน่อของแหนเล็ก	22
2.6 โครงสร้างทางเคมีของซิลฟามีโทซาโซล	27
2.7 กราฟแสดงประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงโดยเฉลี่ยของพืชและช่วงสเปกตรัมที่ วัดการแผ่รังสีที่ใช้งานด้วยแสงสังเคราะห์ (PAR) และลูเมน	31
2.8 แหล่งที่มาและวัฏจักรของปัญหาตักค้างในธรรมชาติ	34
3.1 บ่อบำบัดจำลอง	42
3.2 ตัวกลางพลาสติก	42
3.3 บ่อบำบัดจำลองติดตั้งหลอดไฟแอลอีดีสีแดง	43
3.4 เครื่องมือวัดความเข้มของแสง	44
4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นต่าง ๆ ของสารมาตรฐานและพื้นที่ใต้ พีค (Peak Area)	53
4.2 สาหร่ายชนิด <i>Sphaerocystis</i> ในบ่อบำบัดจำลอง	55
4.3 สาหร่ายชนิด <i>Mougeotia</i> ในบ่อบำบัดจำลอง	55
4.4 สาหร่ายชนิด <i>Navicula</i> ในบ่อบำบัดจำลอง	55
4.5 โปรโตชีวในน้ำเสียเข้าระบบ	56
4.6 โปรโตชีวในน้ำที่ออกจากบ่อบำบัดจำลองที่ติดตั้งหลอดไฟแอลอีดีสีแดงบรรจุ แหน	56
4.7 โปรโตชีวในน้ำที่ออกจากบ่อบำบัดจำลองที่ติดตั้งหลอดไฟแอลอีดีสีแดงบรรจุ แหนและตัวกลางพลาสติกโดยเติมยาซิลฟามีโทซาโซล	56

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในอดีตมนุษย์สามารถนำทรัพยากรน้ำจากแหล่งน้ำตามธรรมชาติมาใช้ประโยชน์ได้อย่างมากมายต่างจากปัจจุบันที่เกิดปัญหาด้านคุณภาพของน้ำหรือเกิดมลพิษทางน้ำจนไม่สามารถนำน้ำจากแหล่งน้ำตามธรรมชาติมาใช้ได้ (ลูกซ์ รอยัล, 2558)

หนึ่งในสาเหตุหลักของการเกิดมลพิษทางน้ำคือน้ำทิ้งและสิ่งปฏิกูลจากแหล่งชุมชนที่เกิดจากการใช้น้ำจากกิจกรรมต่าง ๆ ในชีวิตประจำวันถูกปล่อยทิ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติซึ่งเป็นน้ำทิ้งจากการอุปโภคและบริโภคส่วนมากจะเป็นน้ำทิ้งจากส้วมและการชำระ ซักล้าง โดยไม่ได้ผ่านกระบวนการบำบัดอย่างต่อเนื่องจนเป็นเรื่องปกติในประเทศไทย รวมทั้งการที่ประชากรไทยส่วนใหญ่มักบริโภคยาปฏิชีวนะทั้งในรูปแบบของยารักษาโรคและยาบำรุงร่างกายเป็นกิจวัตร เมื่อมีการขับถ่ายหรือมีการทิ้งยาลงในระบบบำบัดน้ำเสีย ดินหรือชักโครก จะส่งผลให้เกิดปัญหาขาดแคลนในแหล่งน้ำธรรมชาติ เนื่องจากยาจะกระจายตัวและปนเปื้อนลงสู่สิ่งแวดล้อม มีผลกระทบต่อระบบนิเวศของสิ่งมีชีวิตและเป็นห่วงโซ่มาয়งมนุษย์ได้ เช่น น้ำในแม่น้ำที่ถูกนำมาผลิตเป็นน้ำประปา หรือ ดินที่นำมาใช้ทำเกษตรกรรม ซึ่งท้ายที่สุดแล้วมนุษย์อาจได้รับอันตรายจากยาในที่สุด (ปานฟ้า คำนาสิก, 2561)

เพื่อเป็นการแก้ไขบรรเทาความเสื่อมโทรมและภาวะมลพิษจากสารเภสัชกรรมตกค้างในแหล่งน้ำธรรมชาติ ระบบฟิชน้ำผสมผสานเป็นระบบบำบัดที่สมาชิกในชุมชนสามารถทำได้ โดยมีวิธีการบำบัดที่ไม่ยุ่งยากและซับซ้อน สามารถหาวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบบำบัดได้ตามท้องถิ่น โดยเน้นการนำกระบวนการทางธรรมชาติเข้ามามีส่วนช่วยในการบำบัดน้ำเสียชุมชน จากเหตุผลที่พืชสามารถดูดซับธาตุอาหารที่มีอยู่ในน้ำเสียที่มาจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์เพื่อนำไปใช้ในการเจริญเติบโตของพืช และใช้ตัวกลางพลาสติกจากขวดน้ำที่ใช้แล้วเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียหรือแหล่งน้ำธรรมชาติ

เพื่อเป็นการประหยัดพื้นที่ในการติดตั้งและเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดให้แก่ระบบบำบัดน้ำเสีย จึงได้ทำการติดตั้งหลอดไฟแอลอีดี (LED) สีแดง เพื่อเร่งการเจริญเติบโตของสาหร่ายและแบคทีเรียไบโอฟิล์ม (Biofilm) ที่จะเกิดขึ้นบนตัวกลางพลาสติกในระบบบำบัดน้ำเสีย

จากปัญหาดังกล่าวจึงมีการศึกษาระบบฟิชน้ำผสมผสานเพื่อบำบัดน้ำเสียชุมชนที่มีสารเภสัชกรรมตกค้างด้วยแหนและบรรจุตัวกลางพลาสติก (Media) จากขวดน้ำที่ใช้แล้ว (Chawalit

Chaiwong, Thammarat Koottatep, Nawatch Surinkul and Chongrak Polprasert, 2019, 2355-2363) เพื่อลดสารตกค้างเภสัชกรรมและผลกระทบที่พบในน้ำเสียชุมชน

1.2 วัตถุประสงค์ในการศึกษา

1.2.1 เพื่อบำบัดน้ำเสียและลดสารตกค้างเภสัชกรรมและผลกระทบของน้ำเสียต่อชุมชนด้วยระบบพืชน้ำผสมผสานของแห่น สาหร่าย และแบคทีเรีย

1.2.2 เพื่อศึกษาค่าสัมประสิทธิ์ของระบบพืชน้ำผสมผสานในการบำบัดน้ำเสียชุมชน

1.2.3 เพื่อศึกษาศักยภาพการผลิตแหนและการนำน้ำที่บำบัดแล้วกลับมาใช้ใหม่

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 ศึกษารวบรวมข้อมูลคุณสมบัติและหลักการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบพืชน้ำผสมผสาน

1.3.2 ศึกษารวบรวมข้อมูลคุณสมบัติและประโยชน์ของแห่น (*Lemna minor* L.)

1.3.3 ศึกษาสารตกค้างเภสัชกรรมและผลกระทบในน้ำเสียชุมชน

1.3.4 ศึกษาเฉพาะเจาะจงในตัวยาซัลฟาเมโทซาโซล (Sulfamethoxazole)

1.3.5 ติดตั้งหลอดไฟแอลอีดี (LED) สีแดงรอบบ่อบำบัดน้ำเสียจำลอง เพื่อให้มีค่าความเข้มของแสงประมาณ 150 ไมโครโมล/ตร.ม.-วินาที

1.3.6 เติมน้ำเสียเข้าระบบเพื่อให้เกิดการไหลแบบท่อไหล (Plug Flow)

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.4.1 ได้ทราบถึงคุณสมบัติและหลักการทำงานของระบบพืชน้ำผสมผสานในการบำบัดน้ำเสียและกำจัดสารตกค้างเภสัชกรรม

1.4.2 เพื่อลดสารตกค้างเภสัชกรรมและผลกระทบที่พบในน้ำเสียชุมชนด้วยระบบบำบัดน้ำเสียแบบพืชน้ำผสมผสาน

1.4.3 สามารถนำระบบบำบัดน้ำเสียแบบพืชน้ำผสมผสานไปใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของน้ำในแหล่งน้ำต่าง ๆ ได้

1.4.4 สามารถนำแหนและน้ำที่บำบัดแล้วไปใช้ประโยชน์ด้านต่าง ๆ ต่อได้

บทที่ 2

วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

น้ำเสีย หมายถึง น้ำที่มีสิ่งเจือปนต่าง ๆ มากมาย จนกระทั่งกลายเป็นน้ำที่ไม่เป็นที่ต้องการ และน่ารังเกียจของคนทั่วไป ไม่เหมาะสมสำหรับใช้ประโยชน์อีกต่อไปหรือถ้าปล่อยลงสู่ลำน้ำธรรมชาติก็จะทำให้คุณภาพน้ำของธรรมชาติเสียหายได้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2560)

2.2 น้ำเสียชุมชน (Domestic Wastewater)

น้ำเสียชุมชน หมายถึง น้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมประจำวันของประชาชนที่อาศัยอยู่ในชุมชนและกิจกรรมที่เป็นอาชีพ ได้แก่ น้ำเสียที่เกิดจากการประกอบอาหารและชำระล้างสิ่งสกปรกทั้งหลายภายในครัวเรือนและอาคารประเภทต่าง ๆ เป็นต้น มีอัตราการเกิดน้ำเสียต่อคนต่อวันและอัตราการเกิดน้ำเสียของแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทชุมชนดังแสดงในตารางที่ 2.1 และ 2.2

ตารางที่ 2.1

อัตราการเกิดน้ำเสียต่อคนต่อวัน

ภาค	อัตราการเกิดน้ำเสีย (ลิตร/คน-วัน)					
	2536	2540	2545	2550	2555	2560
กลาง	160-214	165-242	170-288	176-342	183-406	189-482
เหนือ	183	200	225	252	282	316
ตะวันออกเฉียงเหนือ	200-253	216-263	239-277	264-291	291-306	318-322
ใต้	171	195	204	226	249	275

หมายเหตุ. จาก คู่มือระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน, โดย กรมควบคุมมลพิษ, 2560, สืบค้นจาก <http://infofile.pcd.go.th/water/Wstwatersystem.pdf?CFID=1275181&CFTOKEN=238010>

ตารางที่ 2.2

อัตราการเกิดน้ำเสียของแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทชุมชน

ประเภทแหล่งกำเนิด	หน่วย	อัตราการเกิดน้ำเสีย (ลิตร/หน่วย-วัน)
บ้านพักอาศัย	คน	150
อาคารชุด	ห้อง	385
โรงแรม	ห้อง	526
โรงพยาบาล	เตียง	1,360
ร้านอาหาร	ตารางเมตร	27
	ที่นั่ง	113
ห้างสรรพสินค้า	ตารางเมตร	5.0
อาคารสำนักงาน	ตารางเมตร	3.0

หมายเหตุ. จาก คู่มือระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน, โดย กรมควบคุมมลพิษ, 2560, สืบค้นจาก <http://infofile.pcd.go.th/water/Wstwatersystem.pdf?CFID=1275181&CFTOKEN=23801081>

น้ำเสียชุมชนเกิดจากบ้านพักอาศัยประกอบไปด้วยน้ำเสียจากกิจกรรมต่าง ๆ ในชีวิตประจำวัน จึงทำให้มีองค์ประกอบของน้ำเสียชุมชนดังต่อไปนี้และมีลักษณะน้ำเสียชุมชนดังแสดงในตารางที่ 2.3

2.2.1 องค์ประกอบของน้ำเสียชุมชน

2.2.1.1 สารอินทรีย์

ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เช่น เศษข้าว ก๋วยเตี๋ยว น้ำแกง เศษใบตอง พืชผัก ขึ้นเนื้อ เป็นต้น ซึ่งสามารถถูกย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนทำให้ระดับออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen, DO) ลดลงเกิดสภาพเน่าเหม็นได้ ปริมาณของสารอินทรีย์ในน้ำนิยมนวัดด้วยค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand, BOD₅) เมื่อค่าบีโอดีในน้ำสูงแสดงว่ามีสารอินทรีย์ปะปนอยู่มากและสภาพเน่าเหม็นจะเกิดขึ้นได้ง่าย

2.2.1.2 สารอินทรีย์

ได้แก่ แร่ธาตุต่าง ๆ ที่อาจไม่ทำให้เกิดน้ำเน่าเหม็นแต่อาจเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต ได้แก่ คลอไรด์, ซัลเฟต เป็นต้น

2.2.1.3 โลหะหนักและสารพิษ

อยู่ในรูปของสารอินทรีย์หรืออนินทรีย์และสามารถสะสมอยู่ในวงจรอาหารเกิดเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต เช่น พรอท โคเรเมียม ทองแดง ปกติจะอยู่ในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมและสารเคมีที่ใช้ในการกำจัดศัตรูพืชที่ปนมากับน้ำทิ้งจากการเกษตร สำหรับในเขตชุมชนอาจมีสารมลพิษนี้มาจากอุตสาหกรรมในครัวเรือนบางประเภท เช่น ร้านซูปโลหะ ตู้ซ่อมรถ และน้ำเสียจากโรงพยาบาล เป็นต้น

2.2.1.4 น้ำมันและสารลอยน้ำต่าง ๆ

เป็นอุปสรรคต่อการสังเคราะห์แสงและกีดขวางการกระจายของออกซิเจนจากอากาศลงสู่ น้ำ นอกจากนั้นยังทำให้เกิดสภาพไม่น่าดู

2.2.1.5 ของแข็ง

เมื่อจมตัวสู่ก้นลำน้ำ ทำให้เกิดสภาพไร้ออกซิเจนที่ท้องน้ำทำให้แหล่งน้ำตื้นเขิน มีความขุ่นสูงและมีผลกระทบต่อ การดำรงชีพของสัตว์น้ำ

2.2.1.6 สารก่อให้เกิดฟองหรือสารชักฟอง

ได้แก่ ผงซักฟอกและสบู่ โดยฟองของผงซักฟอกและสบู่จะกีดกันการกระจายตัวของออกซิเจนในอากาศสู่ น้ำและอาจเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ

2.2.1.7 จุลินทรีย์

น้ำเสียจากโรงฟอกหนัง โรงฆ่าสัตว์หรือโรงงานอาหารกระป๋อง จะมีจุลินทรีย์เป็นจำนวนมากจุลินทรีย์เหล่านี้ใช้ออกซิเจนในการดำรงชีวิตสามารถลดระดับของออกซิเจนละลายน้ำทำให้เกิดสภาพเน่าเหม็น นอกจากนี้จุลินทรีย์บางชนิดอาจเป็นเชื้อโรคที่เป็นอันตรายต่อประชาชน เช่น จุลินทรีย์ในน้ำเสียจากโรงพยาบาลและบ้านเรือน

2.2.1.8 ธาตุอาหาร

ได้แก่ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส เมื่อมีปริมาณสูงจะทำให้เกิดการเจริญเติบโตและเพิ่มปริมาณอย่างรวดเร็วของสาหร่าย (Algae Bloom) ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญทำให้ระดับออกซิเจนในน้ำลดลงต่ำมากในช่วงกลางคืน อีกทั้งยังทำให้เกิดวัชพืชน้ำ ซึ่งเป็นปัญหาแก่การสัญจรทางน้ำ

2.2.1.9 กลิ่น

เกิดจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และแอมโมเนีย เป็นต้น ซึ่งเกิดจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจนหรือกลิ่นอื่น ๆ จากโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น โรงงานทำปลาป่น โรงฆ่าสัตว์ เป็นต้น

ตารางที่ 2.3

ลักษณะน้ำเสียชุมชน

พารามิเตอร์	หน่วย	ความเข้มข้น		
		น้อย	ปานกลาง	มาก
1.ของแข็งทั้งหมด (Total Solids, TS)	มก./ล.	350	720	1200
ของแข็งละลายน้ำ (Dissolved Solids)	มก./ล.	250	500	850
ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids, SS)	มก./ล.	100	220	350
2.ปริมาณตะกอนหนัก (Settleable Solids)	มล./ล.	5	10	20
3.ค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand; BOD ₅)	มก./ล.	110	220	400
4.ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand; COD)	มก./ล.	250	500	1000
5.ไนโตรเจนทั้งหมด (TN)	มก./ล.	20	40	85
อินทรีย์ไนโตรเจน (Organic)	มก./ล.	8	15	35
แอมโมเนีย (Free ammonia)	มก./ล.	12	25	50
6.ฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP)	มก./ล.	4	8	15
สารอินทรีย์ (Organic)	มก./ล.	1	3	5
สารอนินทรีย์ (Inorganic)	มก./ล.	3	5	10
7. คลอไรด์ (Chloride) ⁽¹⁾	มก./ล.	30	50	100
8.ซัลเฟต (Sulfate) ⁽¹⁾	มก./ล.	20	30	50
9.สภาพด่าง (Alkalinity as CaCO ₃)	มก./ล.	50	100	200

ตารางที่ 2.3

ลักษณะน้ำเสียชุมชน (ต่อ)

พารามิเตอร์	หน่วย	ความเข้มข้น		
		น้อย	ปานกลาง	มาก
10.ไขมัน (Grease)	มก./ล.	50	100	150
11.Total Coliforms	MPN/100ml	10^6 - 10^7	10^7 - 10^8	10^7 - 10^9

หมายเหตุ. จาก ระบบบำบัดน้ำเสีย, โดย กรมควบคุมมลพิษ, 2560, สืบค้นจาก

http://www.pcd.go.th/info_serv/water_wt.html ⁽¹⁾ เป็นค่าที่เพิ่มจากค่าที่ตรวจพบในน้ำใช้ปกติ

2.3 น้ำเสียและของเสียอันตรายจากบ้านเรือน (Wastewater and Household Hazardous Waste)

ของเสียที่เกิดจากบ้านเรือนที่พักอาศัยและอาคารต่าง ๆ ภายในแหล่งชุมชน นอกจากจะเป็นน้ำเสียที่เกิดจากการชักล้าง ทำครัว อาบน้ำ และส้วม ที่ระบายลงสู่ท่อระบายน้ำหรือแหล่งน้ำแล้ว ยังมีของเสียประเภทอื่นที่อาจถูกระบายทิ้งปนเปื้อนกับน้ำเสีย โดยที่หลายคนอาจไม่ได้คำนึงถึงหรือไม่ทราบมาก่อน ของเสียที่กล่าวถึงก็คือ "ของเสียอันตรายจากบ้านเรือน (Household Hazardous Waste)" ซึ่งส่วนใหญ่จะเกิดจากการใช้อุปกรณ์หรือเครื่องใช้ต่าง ๆ ภายในบ้านเรือนหรืออาคาร ซึ่งเมื่อปนเปื้อนมากับน้ำเสียและถูกระบายลงสู่แหล่งน้ำจะโดยตรงหรือทางอ้อมก็ตาม จะยิ่งก่อให้เกิดผลกระทบต่อแหล่งน้ำ ตลอดจนแหล่งน้ำดิบเพื่อผลิตประปา คุณภาพชีวิตของมนุษย์ และคุณภาพสิ่งแวดล้อมมากยิ่งขึ้น

ของเสียอันตรายบางชนิดจุดติดไฟได้ง่าย บางชนิดมีฤทธิ์ในการกัดกร่อน บางชนิดสามารถทำปฏิกิริยากับสารอื่นได้ง่ายและก่อให้เกิดอันตราย บางชนิดสามารถระเบิดได้ง่ายในสภาวะปกติ และบางชนิดมีความเป็นพิษในตัวเอง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องได้รับการกำจัดด้วยวิธีที่เหมาะสมและถูกต้อง เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะมีต่อสุขภาพอนามัยและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ในชีวิตประจำวันรอบตัวเรานี้มีการใช้วัสดุอุปกรณ์เพื่ออำนวยความสะดวกและใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ มากมายภายในบ้านเรือน ได้แก่ กระจกป้องกันเนอร์ แบตเตอรี่รถยนต์ หลอดไฟฟ้าฟลูออเรสเซนต์ น้ำยาทำความสะอาดต่าง ๆ ผลิตภัณฑ์น้ำยาขัดโลหะและสารทำละลาย ยาฆ่าเชื้อโรค น้ำมันต่าง ๆ น้ำยาล้างสี สี กาว ยากำจัดวัชพืช ยาฆ่าแมลง สารทำละลายต่าง ๆ ที่ใช้ในการทำความสะอาด และอื่น ๆ ซึ่งวัสดุอุปกรณ์เครื่องใช้เหล่านี้จะมีส่วนประกอบของของเสียอันตรายอยู่

ด้วย และหากมีการจัดการที่ไม่ถูกต้องหรือไม่เหมาะสมแล้ว ของเสียเหล่านี้อาจปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมได้โดยการทิ้งลงท่อระบายน้ำในบ้านเรือนหรืออาคารที่พักอาศัย ทิ้งหรือฝังกลบในพื้นที่ข้างเคียง ทั้งรวมกับขยะชุมชนทั่ว ๆ ไปโดยไม่มีการคัดแยก ซึ่งของเสียอันตรายเหล่านี้ส่งผลทำให้เกิดอันตรายต่อสุขอนามัยของประชาชนที่อาศัยอยู่ในชุมชน ซึ่งต้องมีการสัมผัสกับของเสียอันตรายดังกล่าว และเป็นสาเหตุของโรคต่าง ๆ เช่น มะเร็ง ความผิดปกติในทารกแรกเกิด เป็นต้น

การกำจัดของเสียอันตรายจากบ้านเรือนด้วยวิธีที่ไม่ถูกต้องเหมาะสมจะก่อให้เกิดปัญหาต่อชุมชน ในที่สุด เนื่องจากของเสียอันตรายบางประเภทอาจเกิดระเบิดหรือติดไฟได้ตลอดเวลา แม้แต่การระเบิดภายในท่อระบายน้ำเสียหรือรถเก็บขนขยะเกิดไฟลุกไหม้ จากสาเหตุเพียงเพราะขาดความระมัดระวังในการทิ้งของเสียที่ติดไฟง่ายหรือของเสียที่เกิดปฏิกิริยากับสารอื่นได้ง่ายเท่านั้น

สิ่งที่ควรคำนึงถึงและระมัดระวัง คือ ไม่ควรทิ้งของเสียอันตรายเหล่านี้ลงท่อระบายน้ำเสีย อีกทั้งระบบบำบัดน้ำเสียรวมของชุมชนไม่ได้ออกแบบให้สามารถรองรับหรือบำบัดของเสียอันตรายเหล่านี้ได้ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียที่มีการใช้จุลินทรีย์ในการลดสารอินทรีย์ในน้ำเสีย จนอาจทำให้การทำงานของระบบล้มเหลวได้หรือแม้แต่การนำของเสียอันตรายไปกำจัดรวมกับขยะมูลฝอยชุมชนด้วยวิธีฝังกลบที่ไม่ถูกต้องและเหมาะสม ก็อาจเกิดปัญหามลพิษต่อแหล่งน้ำผิวดิน แหล่งน้ำใต้ดินและคุณภาพอากาศได้ด้วย (กรมควบคุมมลพิษ, 2560)

2.4 มาตรฐานคุณภาพน้ำ

การกำหนดมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม มาตรา 32 แห่งพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2561 บัญญัติให้คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติกำหนดมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2561) เพื่อเป็นเป้าหมายในการรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมให้อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม ซึ่งมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อมนี้จะต้องอาศัยหลักวิชาการและหลักการทางวิทยาศาสตร์เป็นพื้นฐาน โดยจะต้องคำนึงถึงความเป็นไปได้ในเชิงเศรษฐกิจ สังคม และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง มีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นแนวทางการรักษาคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำที่คงสภาพดีเหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์ด้านต่าง ๆ และฟื้นฟูคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำที่เสื่อมโทรมหรือมีแนวโน้มของการเสื่อมโทรมให้มีสภาพที่ดีขึ้น

2.4.1 มาตรฐานการระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน

ระบบบำบัดน้ำเสียรวมของชุมชน หมายความว่า ระบบบำบัดน้ำเสียที่กระทรวง ทบวง กรม หรือส่วนราชการที่เรียกชื่ออย่างอื่นและมีฐานะเป็นกรมราชการส่วนภูมิภาค ราชการส่วน

ท้องถิ่น รัฐวิสาหกิจที่ตั้งขึ้นโดยพระราชบัญญัติหรือพระราชกฤษฎีกาหรือผู้รับจ้างให้บริการจัดให้มีขึ้น เพื่อวัตถุประสงค์หลักในการให้บริการบำบัดน้ำเสียที่รวบรวมจากชุมชน

การตรวจสอบค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียรวมของชุมชนให้เป็นไปตาม Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater ฉบับล่าสุด ซึ่ง American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), และ Water Environment Federation (WEF), (2017) ร่วมกันกำหนดไว้หรือตามวิธีอื่นที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษประกาศในราชกิจจานุเบกษา ทั้งนี้ให้เลือกใช้วิธีวิเคราะห์ตามความเหมาะสมกับลักษณะและสภาพของตัวอย่างน้ำ

มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียรวมของชุมชนต้องมีค่า ดังแสดงตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4

มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน

พารามิเตอร์	มาตรฐาน
1.ความเป็นกรดและด่าง (pH)	5.5 - 9.0
2. บีโอดี (BOD ₅)	ไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร
3. ของแข็งแขวนลอย (SS)	ไม่เกิน 30 มิลลิกรัมต่อลิตร
4. น้ำมันและไขมัน (Fat, Oil and Grease)	ไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อลิตร
5. ฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP)	ไม่เกิน 2 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร
6. ไนโตรเจนทั้งหมด (TN)	ไม่เกิน 20 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร

หมายเหตุ. จาก มาตรฐานคุณภาพน้ำ. โดย กรมควบคุมมลพิษ, สืบค้นจาก

http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_water04.html

2.5 ดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำ

ดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำ (Indicator) เป็นตัวบ่งชี้คุณภาพน้ำทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ ซึ่งการรายงานผลคุณภาพน้ำใด ๆ ต้องสามารถบอกระดับคุณภาพความสกปรกได้ว่าอยู่ในขั้นไหน ในแหล่งน้ำส่วนใหญ่จะไม่มีลักษณะที่มีสภาพเป็นเนื้อเดียวกัน ทั้งในแนวของพื้นผิวและในระดับความลึกต่าง ๆ ลักษณะของน้ำสามารถระบุได้จากค่าตัวแปรคุณภาพน้ำ

การติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำ จำเป็นที่ต้องมีการกำหนดตัวชี้วัด (พารามิเตอร์) ดังแสดงในตารางที่ 2.3 ในการติดตามตรวจสอบโดยควรเลือกตัวชี้วัดที่มีความสำคัญหรือบ่งชี้ถึงคุณภาพน้ำได้ รวมทั้งยังต้องคำนึงถึงศักยภาพ งบประมาณ บุคลากร และสภาพแวดล้อมของท้องถิ่น โดยจะนำเสนอวิธีตรวจวัดคุณภาพน้ำที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน สามารถตรวจวัดทันที เพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการเฝ้าระวังการเปลี่ยนแปลงสิ่งแวดล้อม

2.5.1 ตัวแปรคุณภาพน้ำทางกายภาพ

2.5.1.1 อุณหภูมิ (Temperature)

เป็นการวัดระดับของความร้อน-เย็นของน้ำ อุณหภูมิมีความสำคัญต่อระบบนิเวศวิทยาของแหล่งน้ำ เพราะอุณหภูมิจะมีผลต่อกระบวนการต่าง ๆ ในแหล่งน้ำ ทั้งในเชิงกายภาพ ชีวภาพ และเคมี ซึ่งอุณหภูมินี้ยังจะมีผลต่อการแพร่กระจายของสิ่งมีชีวิต ความหนาแน่นของน้ำและการละลายของธาตุและก๊าซในน้ำ และมีผลต่อปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ ในน้ำปฏิกิริยาเคมีจะเกิดขึ้นได้ดีเมื่อน้ำมีอุณหภูมิสูงหรือกล่าวได้ว่าอุณหภูมิเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในน้ำ ซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในน้ำ การเปลี่ยนของอุณหภูมิในน้ำสามารถเปลี่ยนพฤติกรรมการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำได้

2.5.1.2 ความขุ่น (Turbidity)

ความขุ่นของน้ำเป็นผลของอนุภาคแขวนลอยพวกสารอินทรีย์และของแข็งที่เป็นสารอินทรีย์ เช่น ดินเหนียว ดินโคลน อนุภาคคาร์บอนेट แพลงค์ตอน และสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ในน้ำ พวกของแข็งแขวนลอยเหล่านี้จะเป็นสาเหตุให้แสงที่ส่องลงไปใต้น้ำเกิดการกระจายออกของน้ำ และการดูดซึมแสงบางส่วนเอาไว้ ทำให้แสงที่ส่องลงไปใต้น้ำที่ระดับความลึกมากขึ้นมีปริมาณลดลง ความขุ่นเป็นตัวชี้วัดที่สำคัญในน้ำใช้ทั้งชุมชน และในโรงงานอุตสาหกรรม ความขุ่นมีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคของคลอรีน ความขุ่นจะไปขัดขวางการจับตัวกันของจุลินทรีย์กับคลอรีน ทำให้คลอรีนไม่สามารถฆ่าเชื้อโรคได้เต็มที่ ความขุ่นมีความสำคัญต่อการผลิตน้ำประปาในแง่ต้นทุนน้ำใช้

2.5.1.3 สี (Color)

สีของน้ำเกิดจากการสะท้อนแสงของสารแขวนลอยในน้ำ เช่น น้ำตามธรรมชาติจะมีสีเหลืองซึ่งเกิดจากกรดอินทรีย์ น้ำในแหล่งน้ำที่มีใบไม้ทับถมจะมีสีน้ำตาล หรือถ้ามีตะไคร่น้ำก็จะมีสีเขียว

สีของน้ำแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

(1) สีที่แท้จริง (True Colour / Specific Colour)

เป็นสีที่เกิดจากการละลายของสารเข้าไปอยู่ในน้ำเช่น ในแหล่งน้ำที่มีสีน้ำตาลเทา - ดำ จะมีสารละลายพวก Humic Acid สารที่มีสีเขียว เป็นสารประกอบพวกแคลเซียมคาร์บอเนต สีที่แท้จริงของน้ำถ้าเรานำมากรองแล้วก็ยังคงเกิดสีเช่นเดิม

(2) สีที่ปรากฏ (Apparent Colour)

เป็นสีที่เกิดจากการสะท้อนแสงของสารแขวนลอย ในน้ำหรือพื้นท้องน้ำ เช่น ไดอะตอมทำให้น้ำเป็นสีเหลืองหรือน้ำตาล

2.5.2 ตัวแปรคุณภาพน้ำทางเคมี

2.5.2.1 ความเป็นกรดต่าง (pH)

ค่าความเป็นกรดต่าง เป็นสมบัติทางเคมีของน้ำที่สำคัญ ซึ่งจะบอกถึงความเป็นกรดต่างของน้ำ และมีผลต่อความเป็นพิษของสารประกอบต่าง ๆ เช่น ไฮโดรโซยานด์ การทราบค่าความเป็นกรดต่าง ของน้ำมีความสำคัญ เช่นในระบบปรับปรุงคุณภาพของน้ำผิวดินเพื่อทำน้ำประปา ค่า pH มีผลต่อกระบวนการทำให้เกิดการรวมตัวเป็นตะกอน นอกจากนี้ยังมีผลต่อการฆ่าเชื้อโรค การควบคุมการกัดกร่อนของน้ำ ซึ่งน้ำที่มีค่าความเป็นกรดต่าง 6 - 8 คลอรีนจะสามารถฆ่าเชื้อ *E.coli* ได้ดี และค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 7 เป็นค่าที่เหมาะสมในการควบคุมการกัดกร่อนของระบบท่อน้ำ การกัดกร่อนของท่อน้ำในระบบจ่ายน้ำจะมีการปนเปื้อนของโลหะหนักมาก เช่น ทองแดง ตะกั่ว สังกะสี และแคดเมียม โดยธรรมชาติของน้ำผิวดิน ค่าความเป็นกรดต่าง อยู่ระหว่าง 6.5 - 8.5 ส่วนบริเวณน้ำที่ตื้นๆหรือปากแม่น้ำ ค่าความเป็นกรดต่าง จะมีความเปลี่ยนแปลงมาก ดังนั้นการกำหนดค่าความเป็นกรดต่าง ที่เหมาะสมจึงเป็นการรองรับการปล่อยของเสีย เช่น ทองแดง ตะกั่ว สังกะสี และแคดเมียม หากค่าความเป็นกรดต่างเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยก็สามารถเกิดความเป็นพิษได้

2.5.2.2 ค่าออกซิเจนละลาย (DO)

การหาปริมาณออกซิเจนซึ่งละลายอยู่ในน้ำ เป็นลักษณะสำคัญที่จะบอกให้ทราบว่าน้ำนั้นมีความเหมาะสมเพียงใดต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในน้ำ และแนวการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในน้ำว่าเป็น แบบใช้ออกซิเจนอิสระ (Aerobic) หรือไม่ใช้ออกซิเจนอิสระ (Anaerobic) ปริมาณออกซิเจนซึ่งละลายในน้ำมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิของน้ำ, ความดันบรรยากาศ, สิ่งเจือปนในน้ำ (Impurities) ออกซิเจนเป็นก๊าซที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ทั้งที่อาศัยอยู่บนพื้นดินและในน้ำ สิ่งมีชีวิตในน้ำได้รับออกซิเจนจากการสังเคราะห์

แสงของพืชที่ปล่อยออกซิเจนอิสระออกมาละลายอยู่ในน้ำและจากการแพร่ของออกซิเจนจากบรรยากาศลงสู่พื้นน้ำ ออกซิเจนเป็น ก๊าซที่ละลายน้ำได้น้อยมากและไม่ทำปฏิกิริยาทางเคมีกับน้ำ การละลายของ ออกซิเจนขึ้นอยู่กับความดัน อุณหภูมิและปริมาณของแข็งละลายในน้ำ ปริมาณออกซิเจนในน้ำธรรมชาติและน้ำเสียขึ้นอยู่กับลักษณะทางเคมี กายภาพ และกระบวนการชีวเคมีในสิ่งมีชีวิต ค่าออกซิเจนละลายมีความสำคัญใช้บอกให้ทราบได้ว่าน้ำนั้นมีความเหมาะสมเพียงใดต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในน้ำและใช้ในการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียและมลภาวะทางน้ำ

2.5.2.3 ค่าบีโอดี (BOD₅)

ปริมาณของออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ในเวลา 5 วัน ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มีหน่วยเป็น มิลลิกรัม/ลิตร ค่าบีโอดีเป็นค่าที่มีความสำคัญอย่างมากในการออกแบบและควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ โดยใช้บ่งบอกถึงค่าภาระอินทรีย์ (Organic Loading) ใช้ในการหาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียและใช้สำหรับการตรวจสอบคุณภาพของน้ำตามแหล่งน้ำต่าง ๆ

2.5.2.4 ค่าซีโอดี (COD)

ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ต้องการใช้เพื่อออกซิเดชันสารอินทรีย์ในน้ำให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ โดยใช้หลักการว่า สารประกอบอินทรีย์อินทรีย์เกือบทุกชนิดจะถูกออกซิไดซ์ด้วย Strong Oxidizing Agents ($K_2Cr_2O_7$) ภายใต้สภาวะที่เป็นกรด ค่าซีโอดีมักจะมีค่าสูงกว่าบีโอดี เนื่องจากซีโอดีไม่สามารถแยกความแตกต่างระหว่างสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายทางชีวภาพและสารที่ยากต่อการย่อยสลายทางชีวภาพได้ แต่มีข้อดีคือ ใช้เวลาในการวิเคราะห์เพียง 3 ชม. เท่านั้น ค่าซีโอดีมีความสำคัญในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทั้ง การควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียและการตรวจสอบคุณภาพของน้ำในแหล่งน้ำเช่นเดียวกับค่าบีโอดี

2.5.3 ตัวแปรคุณภาพน้ำทางชีวภาพ

2.5.3.1 สารอินทรีย์

ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน ซึ่งสามารถย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจน ทำให้ระดับการใช้ออกซิเจนละลายลดลงจนเกิดสภาพเน่าเสียสามารถวัดได้ในรูปบีโอดี

2.5.3.2 สารอนินทรีย์

ได้แก่ กรด ต่าง เกลือชนิดต่าง ๆ โลหะและสารอื่น ๆ ไม่ทำให้น้ำเน่าเหม็นแต่ทำให้สภาพน้ำปนเปื้อนและอาจเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต

2.5.3.3 ธาตุอาหาร

ได้แก่ เกลือของสารประกอบไนโตรเจนและฟอสเฟต เมื่อมีปริมาณสูง และเป็นสัดส่วนที่เหมาะสมจะทำให้สาหร่ายเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว ปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) หรือ แอลจีบลูม (Algae Bloom) ทำให้ระดับออกซิเจนในน้ำลดลงตอนกลางคืน และน้ำเน่าเสียเนื่องจากการตายของสาหร่าย (สมทิพย์ ด้านธีรวิชัย และคณะ, 2553)

2.6 ระบบการบำบัดน้ำเสียชุมชน

โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียที่เรียบง่ายและใช้ธรรมชาตินี้ จากทฤษฎีและแนวคิดธรรมชาติช่วยธรรมชาติตามแนวพระราชดำริ ได้ศึกษาออกแบบการใช้เทคโนโลยีในการบำบัดน้ำเสียอย่างเรียบง่ายและหาได้ตามท้องที่

2.6.1 ประเภทของเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียชุมชน

ระบบการบำบัดน้ำเสียชุมชน ได้แบ่งเทคโนโลยีการบำบัดออกเป็น 4 ระบบ (สำนักงานคณะกรรมการพิเศษเพื่อประสานงานโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ, 2552)

2.6.1.1 ระบบบ่อบำบัดน้ำเสีย (Lagoon Treatment)

เป็นระบบที่อาศัยการกักน้ำเสียไว้ในระยะเวลาที่เหมาะสมกับปริมาณความสกปรกของน้ำ การเติมออกซิเจนด้วยกระบวนการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอน และสาหร่ายอาศัยแรงลมช่วยในการพลิกน้ำเติมอากาศ การย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยจุลินทรีย์ และระยะเวลากักน้ำจะช่วยให้ฆ่าเชื้อโรค ระบบบ่อบำบัดน้ำเสียของโครงการฯ ประกอบด้วย ระบบบ่อบำบัดน้ำเสีย 3 ประเภท จำนวน 5 บ่อ ในการออกแบบโดยการสร้างบ่อดิน 3 ประเภท ความลาดชัน 1 : 1000 ต่อต้นแบบอนุกรม ให้น้ำเสียเต็มเต็มทุกวันแล้วปล่อยน้ำที่ไหลผ่านข้ามสู่บ่อถัดไป

(1) บ่อดกตะกอน

มีจำนวน 1 บ่อ มีความลึกประมาณ 2.5 เมตร เป็นบ่อบำบัดรับน้ำเสียจากชุมชนโดยตรงเบื้องต้น จะมีตะกอนที่ตกขนาดใหญ่จะถูกบำบัดก่อน ส่วนน้ำใส ๆ จะไหลผ่านสู่บ่อที่ 2 ที่เป็นบ่อผึ่ง

(2) บ่อผึ่ง

มีจำนวน 3 บ่อหรือตามความจำเป็นของขนาดพื้นที่ บ่อนี้จะสาหร่ายจะเจริญเติบโตและสังเคราะห์แสงให้ออกซิเจนเพิ่มพลังแก่จุลินทรีย์กักกินอาหารของเสียที่อยู่ในน้ำ บ่อนี้ น้ำเสียจะถูกบำบัด 85 – 90 % จึงต้องหาทางให้อากาศถ่ายเทได้ดี

(3) บ่อปรับสภาพ

มีจำนวน 1 บ่อ เป็นบ่อบำบัดแบบใช้อากาศ ความลึก 1.7 เมตร ทำหน้าที่ปรับแต่งปรับสภาพ เพื่อกำจัดสาหร่าย น้ำที่ผ่านบ่อนี้ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติได้ปลอดภัย บ่อบำบัดน้ำเสียนี้อย่างทดลองเลี้ยงปลาได้ พบว่าปลาเจริญเติบโตได้ดีและบริโภคปลอดภัย เช่น ปลานิล

การก่อสร้างบ่อบำบัดน้ำเสียแต่ละประเภทแต่ละบ่อ จะต้องเชื่อมต่ออย่างเป็นอนุกรม สามารถรองรับปริมาณน้ำเสียสูงสุดได้ 10,000 ลูกบาศก์เมตร/วัน โดยน้ำเสียจะถูกลำเลียงเข้าสู่บ่อตกตะกอน แล้วผ่านไปยังบ่อฝั ง 1 2 และ 3 ตามลำดับ จากนั้นเข้าสู่บ่อปรับสภาพ คุณภาพน้ำเป็นขั้นสุดท้าย ทั้งนี้ น้ำเสียแต่ละบ่อจะไหลผ่านอาคารระบายน้ำด้านบนและเชื่อมต่อกันทางตอนล่างของบ่อถัดไปเป็นลำดับ

หลักการของระบบบ่อบำบัดน้ำเสีย ระบบนี้ใช้หลักการบำบัดน้ำเสียโดยอาศัยกลไกให้สาหร่ายสังเคราะห์แสงเพื่อให้ออกซิเจนแก่จุลินทรีย์สำหรับการหายใจและย่อยสลายกีดกั้นของเสีย โดยมีลมพัดช่วยเติมอากาศลดอุณหภูมิและแสงแดดเป็นตัวช่วยฆ่าเชื้อโรคอีกทางหนึ่ง ระบบนี้เหมาะสำหรับเมืองในเขตร้อน เช่น ประเทศไทยลดความสกปรกในรูปของบีโอดีได้ถึงร้อยละ 85-90

2.6.1.2 ระบบพืชและหญ้ากรองน้ำเสีย (Plant and Grass Filtration)

เป็นระบบที่ให้พืชช่วยดูดซับธาตุอาหารจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ เป็นสารอนินทรีย์ที่พืชต้องการของจุลินทรีย์ในดิน การปลดปล่อยออกซิเจนจากกระบวนการสังเคราะห์แสงจากระบบราก สาหร่าย และแพลงค์ตอน โดยการปล่อยให้น้ำเสียไหลผ่านแปลงพืชหรือหญ้า โดยน้ำเสียจะไหลผ่านผิวดินและต้นพืชหรือหญ้าเป็นระยะทางอย่างน้อย 50 เมตร ระดับความสูงของน้ำเสียที่กักขังบริเวณท้ายแปลงเท่ากับ 30 เซนติเมตร สำหรับระยะเวลาเก็บกักที่เหมาะสม คือ ขังน้ำเสียไว้ 5 วัน แล้วปล่อยให้แห้ง 2 วัน เพื่อให้จุลินทรีย์ได้พักตัว สำหรับพืชและหญ้าที่ใช้ในการบำบัดแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ หญ้าอาหารสัตว์ ได้แก่ หญ้าคาร์ลลา หญ้าโคสโครอส และหญ้าสตาร์ พืชทั่วไป ได้แก่ ฐปฤชา กกกลม (กกจันทบูร) และหญ้าแฝกพันธุ์อินโดนีเซีย เมื่อครบระยะเวลา 45 วัน (ยกเว้นฐปฤชา 90 วัน) จะตัดพืชและหญ้าเหล่านั้นออก เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ ซึ่งหญ้าเหล่านั้นนำไปใช้ในการเลี้ยงสัตว์ได้ เนื่องจากการปนเปื้อนของมลสารไม่เกินมาตรฐานสำหรับสัตว์ ส่วนพืชทั่วไปนำไปใช้ในการจักสานได้เป็นอย่างดี

หลักการของระบบนี้ให้พืชกักกักน้ำ คือ รากอยู่ในน้ำลำต้นอยู่บนบก เช่น ฐปฤชา กกกลม เป็นต้น รวมถึงพืชหญ้าต่าง ๆ ที่เป็นอาหารสัตว์และหญ้าทั่วไป ด้วยการดึงออกซิเจนผ่านใบพืชสู่ลำต้นและดินรากเพื่อเพิ่มออกซิเจนให้กับจุลินทรีย์บริเวณรอบ ๆ รากพืชโดยให้ดินเป็นตัวกรองของเสีย และจุลินทรีย์ในดินทำหน้าที่ย่อยของเสีย ของเสียที่ย่อยแล้วพืชจะดูดเอาไป

เป็นอาหารเจริญเติบโตต่อไป ทำให้ของเสียเปลี่ยนเป็นมวลชีวภาพ น้ำจะมีคุณภาพดีและสามารถระบายสู่แหล่งน้ำธรรมชาติได้การบำบัดน้ำเสียด้วย

ระบบนี้อาศัยหลักการใช้ดินเป็นตัวกรองของเสียและจุลินทรีย์ในดินทำหน้าที่เป็นตัวย่อยของเสีย ของเสียที่ย่อยแล้วพืชจะเป็นตัวดูดเอาไปใช้ในการเติบโต ทำให้ของเสียเปลี่ยนเป็นมวลชีวภาพ น้ำเสียที่ผ่านระบบจะมีคุณภาพดีและสามารถระบายสู่แหล่งน้ำธรรมชาติได้

2.6.1.3 ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม (Constructed Wetland)

เป็นระบบที่ใช้หลักการและกลไกในการบำบัดน้ำเสียเช่นเดียวกับระบบพืชและหญ้ากรอง จะแตกต่างกันที่วิธีการ กล่าวคือ การปล่อยให้น้ำเสียขังในแปลงพืชน้ำ ที่ระดับความสูง 30 เซนติเมตรจากพื้นแปลง โดยให้น้ำเสียมีระยะเวลาพักอย่างน้อย 1 วัน ใช้การเติมน้ำเสียใหม่ลงสู่ระบบให้ได้ระดับ 30 เซนติเมตร ซึ่งเท่ากับปริมาณน้ำเสียที่สูญหายไปโดยกระบวนการระเหยในแต่ละวัน อีกวิธีการหนึ่งคือ การเติมน้ำเสียใหม่ลงสู่ระบบอย่างต่อเนื่องตลอดวัน โดยที่อัตราความเร็วของน้ำเสียเท่ากับปริมาณน้ำเสียใหม่ที่สามารถผลักดันให้น้ำเสียเก่าออกจากระบบหมดในเวลา 1 วัน สำหรับพืชที่ใช้ในการบำบัดคือ ธูปฤาษี และกกกลม เมื่อครบระยะเวลาจะตัดพืชเหล่านั้นออก เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ ระยะเวลาที่เหมาะสม คือ ต้องตัดใน 90 วัน สำหรับธูปฤาษี และ ตัดใน 45 วัน สำหรับกกกลม พืชเหล่านี้นำไปใช้ในการจักสาน เยื่อกระดาษ และเชื้อเพลิงชีวได้

หลักการของระบบนี้คล้ายกับระบบที่ 2 คือ ใช้พืชหรือหญ้ากรองน้ำเสียเป็นระบบเติมออกซิเจน ในดินจากใบสู่รากเช่นเดียวกับระบบที่ 2 แต่ต่างที่การกักน้ำเสียให้ขังอยู่ที่แปลงพืชให้น้ำเสียเกิดการระเหยและปล่อยน้ำเสียใหม่ให้ผลักดันน้ำเสียเก่าออกไปจากระบบพืชน้ำ โดยทั่วไปมีความสามารถในการปรับตัวอยู่ในสภาพน้ำขังได้โดยการดึงเอาออกซิเจนจากอากาศส่งผ่านระบบเนื้อเยื่อในส่วนลำต้นลงสู่ระบบลำต้นใต้ดินและราก ซึ่งอากาศในส่วนนี้จะปลดปล่อยออกไปสู่บริเวณรอบรากพืชทำให้จุลินทรีย์ในดินสามารถย่อยของเสียที่ถูกดินกรองได้แล้วเปลี่ยนไปเป็นสารที่พืชรวมถึงสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

2.6.1.4 ระบบแปลงพืชป่าชายเลน (Mangrove Forest Filtration)

เป็นระบบเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียตามแนวพระราชดำรินั้น พระองค์ทรงต้องการให้เป็นเทคโนโลยีที่ง่าย สะดวกและเป็นวิธีการที่อาศัยธรรมชาติให้ช่วยเหลือธรรมชาติด้วยตนเอง โดยอาศัยการเจือจางน้ำเสียด้วยน้ำทะเล การผสมน้ำเร่งการตกตะกอน การกักน้ำเสียที่ผสมกับน้ำทะเล ระบบรากของพืชป่าชายเลนช่วยในการเติมออกซิเจนให้กับน้ำเสีย กรองหรือฟอกน้ำให้สะอาดขึ้น นอกจากนี้พืชป่าชายเลนจะดูดซับอาหารและสิ่งปนเปื้อนที่มีอยู่ในน้ำเสีย ทั้งยังช่วยการทำงานของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ อันเป็นการใช้ประโยชน์จากพืชป่าชายเลนอีกทาง

หนึ่ง นอกเหนือจากการเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยที่หลบภัย แหล่งอาหาร แหล่งอนุบาลตัวอ่อนของสัตว์น้ำ เป็นการลดค่าใช้จ่าย ในการดำเนินงานบำบัดน้ำเสียที่ไม่ต้องลงทุนสูงเหมือนที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน เทคโนโลยีตามแนวพระราชดำริด้วยการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบแปลงพืชป่าชายเลน เป็นอีกเทคโนโลยีหนึ่งที่อาศัยหลักการ ที่ให้ธรรมชาติช่วยเหลือธรรมชาติด้วยการเก็บกักน้ำเสียในแปลงป่าชายเลน และการเจือจางด้วยน้ำทะเลในระยะเวลาที่น้ำทะเลขึ้น อาศัยการปลดปล่อยออกซิเจนของพืชที่ได้จากการสังเคราะห์แสง กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ในดิน การดูดซึมสารอาหารของพืช เพื่อใช้ในการเจริญเติบโต และการกรองสิ่งปนเปื้อนของพืชป่าชายเลนและดินร่วมกัน สำหรับสัดส่วนในการผสมระหว่างน้ำเสียและน้ำทะเลจะมีสัดส่วนเล็กน้อยเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับค่าเฉลี่ยความสกปรกของน้ำเสียในรูปบีโอดีที่ตรวจวัดได้

รูปแบบเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบแปลงพืชป่าชายเลนที่โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาขึ้น ยึดหลักการตามแนวพระราชดำริ โดยการทำแปลงเพื่อกักเก็บน้ำทะเลและน้ำเสียที่รวบรวมได้จากชุมชน และปลูกป่าชายเลนด้วยพันธุ์ไม้ 2 ชนิด คือ ต้นโกงกาง และต้นแสม ช่วยในการบำบัดน้ำเสีย อาศัยการเจือจางระหว่างน้ำทะเลกับน้ำเสีย การเร่งตกตะกอนของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ระยะเวลาการกักพักของน้ำ ระบบรากของพืชป่าชายเลนช่วยการปลดปล่อยก๊าซออกซิเจนให้กับน้ำเสีย และช่วยในการย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยจุลินทรีย์ในดิน เพื่อให้การบำบัดน้ำเสียมีประสิทธิภาพมากขึ้น สำหรับเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นจะมีการกักน้ำทะเลที่เข้าสู่แปลงในช่วงเวลาที่น้ำขึ้นสูงสุดในรอบวัน (การขึ้นลงปกติของน้ำทะเลจะมีการขึ้นลงวันละ 2 ครั้ง) ทำการเก็บกักและเพื่อหาสัดส่วน ปริมาณการให้น้ำเสียในการบำบัด เมื่อเติมน้ำเสียตามสัดส่วนแล้วปล่อยให้น้ำผสมมีการกักพักไว้ระยะเวลาหนึ่ง (ตั้งแต่ช่วงเวลาที่น้ำขึ้นครั้งแรก จนกระทั่งถึงเวลาน้ำลงครั้งที่สองในรอบวัน) จึงระบายน้ำฝนที่ผ่านการผสม (น้ำที่ผ่านการบำบัด) ออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติต่อไป

หลักการของระบบนี้อาศัยตามแบบธรรมชาติตามการขึ้นลงของน้ำทะเลในแต่ละวัน โดยการกักน้ำเสียกับน้ำทะเลเข้าด้วยกันในระยะเวลาหนึ่ง หรือให้มีการตกตะกอนของน้ำเสีย ใช้หลักการเจือจางระหว่างน้ำเสียกับน้ำทะเล โดยใช้พันธุ์ไม้โกงกางใบใหญ่และแสม ซึ่งเป็นพืชป่าชายเลนที่มีคุณสมบัติคล้ายพืชน้ำ สามารถดำรงชีพอยู่ในสภาวะน้ำท่วมขังได้ โดยมีรากปรับตัวตามสภาพน้ำและดิน ในการทำงานของระบบธรรมชาตินี้ เกิดจากการส่งผ่านออกซิเจนจากการสังเคราะห์แสงของใบ ส่งต่อโดยระบบรากพืชให้กับจุลินทรีย์ในดิน เพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์และสาหร่ายในน้ำ รวมทั้งการกรองน้ำเสียของดิน การเจือจางของน้ำระหว่างน้ำเสียกับน้ำทะเลในช่วงเวลาน้ำขึ้นน้ำลง หลังจากการบำบัดน้ำเสียและปล่อยน้ำดีลงสู่ทะเลทำให้ป่าชายเลนถูกปลูกขึ้น ทำให้แผ่นดินงอกโดยน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจะมีอินทรีย์วัตถุ ธาตุอาหาร แพลงค์ตอน จึงเหมาะสมที่สิ่งมีชีวิตนาไปใช้ประโยชน์ ช่วยให้สภาพแวดล้อมและระบบนิเวศน์ชายฝั่งดีขึ้น สัตว์ทะเลมาวางไข่มากขึ้น ทำให้พื้นที่

กลายเป็นแหล่งทำมาหากิน สร้างอาชีพสร้างรายได้กับชาวบ้านเพิ่มมากขึ้น นำความอุดมสมบูรณ์ ความหลากหลายทางชีวภาพกลับคืนสู่ธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

2.7 คุณสมบัติและหลักการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบพืชน้ำผสมผสาน

ระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้พืชน้ำเป็นระบบบำบัดน้ำเสียโดยวิธีธรรมชาติอาศัยพืชน้ำ จุลินทรีย์และดินเป็นตัวบำบัด มีกลไกในการบำบัดน้ำเสียคือ ในการลดปริมาณบีโอดี สารอินทรีย์ที่ตกตะกอนได้จะจมตัวลงสู่ก้นบึงเกิดการย่อยสลายแล้วซึมลงดิน ส่วนสารละลายอินทรีย์ถูกกำจัดโดยจุลินทรีย์ทั้งที่เกาะติดอยู่กับพืชน้ำและแขวนลอยอยู่ในน้ำ สารแขวนลอยส่วนใหญ่จะจมตัวอยู่ในช่วงต้น ๆ ของระบบการลดปริมาณไนโตรเจนจะเป็นไปตามกระบวนการ Nitrification และ Denitrification ซึ่งแอมโมเนียจะถูกเปลี่ยนเป็นไนเตรทโดย Nitrifying Bacteria ในสภาพที่มีออกซิเจนแล้วไนเตรทจะถูกเปลี่ยนเป็นแก๊สไนโตรเจนในสภาพที่ไร้ออกซิเจน โดย Denitrifying Bacteria ส่วนการลดปริมาณฟอสฟอรัส มักจะเกิดที่ชั้นดินส่วนพื้นบึง และพืชน้ำที่ใช้ในการบำบัดจะใช้พืชพื้นเมืองที่มีอยู่แล้วในพื้นที่นั้น ๆ เพื่อช่วยบำบัดน้ำเสีย โดยน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วจะอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งที่อาจซึมลงดินเพื่อเพิ่มน้ำในดิน หรือระบายลงสู่แหล่งน้ำใกล้เคียง นอกจากนี้การดูแลรักษาระบบนี้ง่ายและเสียค่าใช้จ่ายน้อย ดังนั้นระบบบำบัดน้ำเสียด้วยพืชน้ำนี้ จึงเป็นที่นิยมและได้รับการพัฒนาอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน

2.8 ลักษณะสำคัญของพรรณไม้น้ำ

พรรณไม้น้ำหรือพืชน้ำ ตรงกับภาษาอังกฤษว่า Aquatic Plants, Water Plants หรือ Hydrophytes หมายถึง พืชที่ขึ้นอยู่ในน้ำ โดยพืชขึ้นน้ำอาจจะเจริญลอยที่ผิวน้ำ เจริญอยู่ใต้ผิวน้ำ เจริญโผล่ขึ้นเหนือน้ำหรือเจริญอยู่ตามชายน้ำ ริมตลิ่งหรือริมคูคลอง และรวมถึงพืชที่ชอบเจริญอยู่ตามตลิ่งน้ำ ชังแฉะ (สุชาติดา ศรีเพ็ญ, 2542)

พรรณไม้น้ำหรือพืชน้ำมีบทบาทสำคัญต่อระบบนิเวศแหล่งน้ำมาก นอกจากนี้ยังมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องทั้งทางตรงและทางอ้อมในการเป็นอาหารของสัตว์ต่าง ๆ เป็นที่หลบภัยของสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำ ปลาต่าง ๆ รวมทั้งสัตว์ปีกที่มีความสำคัญทางด้านเศรษฐกิจ สำหรับข้าวซึ่งเป็นอาหารที่สำคัญของมนุษย์ส่วนใหญ่จัดได้ว่าเป็นพืชน้ำชนิดหนึ่ง พืชน้ำอีกหลายอย่างใช้เป็นอาหารพืชและสัตว์ เช่น กระเจ็บ บัว ผักบุ้ง ผักกระเฉด บางอย่างใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับกระบวนการด้านอุตสาหกรรม พืชลอยน้ำหรือพืชใต้น้ำมีคุณสมบัติในการดูดซึมแร่ธาตุที่ละลายอยู่ในน้ำและเพิ่ม

ปริมาณออกซิเจนในระหว่างกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง คุณสมบัติต่าง ๆ เหล่านี้มีความสัมพันธ์และให้ประโยชน์ต่อมนุษย์มาก เพราะเป็นส่วนช่วยให้แหล่งน้ำนั้นสะอาด และช่วยแปรสภาพน้ำให้มีคุณภาพดีขึ้นได้

พรรณไม้น้ำเป็นกลุ่มพืชที่มีการเจริญเติบโตได้ในแหล่งน้ำที่แตกต่างกันไป เช่น บางชนิดเจริญเติบโตที่ระดับผิวน้ำ บางชนิดเจริญเติบโตอยู่ใต้น้ำ เป็นต้น

2.8.1 ประเภทพรรณไม้น้ำ

2.8.1.1 พืชใต้น้ำ (Submerged Plants)

พรรณไม้น้ำประเภทนี้เป็นพวกที่มีการเจริญเติบโตอยู่ใต้น้ำทั้งหมด โดยอาจจะมีรากยึดเกาะกับพื้นใต้น้ำหรือไม่ยึดเกาะก็ได้ บางชนิดทั้งลำต้นและรากเจริญอยู่ในพื้นดินใต้ส่วนลำต้นและใบเจริญอยู่ใต้อัตระดับน้ำ บางครั้งพืชพวกนี้จะส่งดอกขึ้นมาเจริญที่ผิวน้ำหรือเหนือน้ำ และมีหลักการทำงานของส่วนต่าง ๆ ของพืชน้ำที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5

หลักการทำงานของส่วนต่าง ๆ ของพืชน้ำที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย

ส่วนของพืช	หลักการทำงานของพืช
ราก และ/หรือก้าน หรือลำต้นที่อยู่ในน้ำ	ดูดซับสารพิษและสารอาหาร เป็นพื้นผิวให้จุลินทรีย์อาศัยและเจริญเติบโต เป็นตัวกลางในการกรอง และดูดซับตะกอน และของแข็งที่ลอยอยู่ในน้ำ ทำให้ความเข้มข้นของ แสงแดดที่ส่องตรงสู่ผิวน้ำลดลง ดังนั้นจึงช่วยป้องกันการเติบโตของสาหร่ายที่อยู่ในน้ำ
ก้าน ลำต้น และ/หรือใบที่อยู่เหนือน้ำ	ลดผลของลมที่มีต่อน้ำ เช่น การพัดและทำให้ตะกอนจมอยู่สูงขึ้น ทำให้การส่งผ่านของก๊าซและความร้อนระหว่างบรรยากาศและน้ำลดลง

หมายเหตุ. จาก ระบบบำบัดแบบธรรมชาติสำหรับการควบคุมมลพิษและการนำของเสียกลับมาใช้ใหม่. โดย จงรักษ์ ผลประเสริฐ, 2543. วารสารวิทยาศาสตร์, 54(5), 272-287.

2.8.1.2 พืชโผล่เหนือน้ำ (Emergent Plants)

พรรณไม้น้ำประเภทนี้เป็นพวกที่มีการเจริญเติบโตอยู่ใต้น้ำบางส่วนและเหนือน้ำบางส่วน โดยที่มีรากหรือทั้งรากและลำต้นเจริญอยู่ในพื้นดินใต้น้ำแล้วส่งส่วนใบและดอกขึ้นมาเจริญเหนือน้ำ พืชพวกนี้ เช่น บัวต่าง ๆ กกบางชนิด ต้นเทียนนา เป็นต้น พืชประเภทนี้บางชนิดตามโคนมีเนื้อเยื่อโปรง ทำหน้าที่เก็บอากาศเพื่อช่วยในการหายใจ เช่น ต้นเทียนนา

2.8.1.3 พืชลอยน้ำ (Floating Plants)

พรรณไม้น้ำประเภทนี้เป็นพวกที่เจริญลอยอยู่ระดับน้ำ โดยมีรากห้อยลอยอยู่ในน้ำ ส่วนต้น ใบ และดอกเจริญที่เหนือน้ำ พรรณไม้น้ำประเภทนี้บางอย่างถ้าให้น้ำตื้น รากจะหยั่งพื้นดินใต้น้ำ นอกจากนี้พวกที่มีขนาดเล็กมักลอยตัวได้เป็นอิสระ พืชลอยน้ำส่วนใหญ่มักจะมีส่วนหนึ่งส่วนใดเปลี่ยนไปเป็นทุ่นเพื่อพยุงลำต้นให้ลอยน้ำได้ เช่น ต้นผักตบชวา มีส่วนของก้านใบพองตัวเป็นทุ่น ต้นผักบุ้งมีส่วนลำต้นที่ภายในกลวงเป็นช่องอากาศใหญ่ ช่วยให้ลำต้นเลื้อยทอดลอยไปตามผิวน้ำได้ เป็นต้น

2.9 แหน (Duckweed)

แหนเป็นพืชลอยน้ำขนาดเล็ก เจริญเติบโตและแพร่พันธุ์ได้ดีในน้ำนิ่ง เช่น หนอง บึง หรือสระน้ำทั่วไป ที่มีธาตุอาหารและอินทรีย์วัตถุอุดมสมบูรณ์ ค่าความเป็นกรด - เบสของน้ำค่อนข้างเป็นกลาง

2.9.1 สกุลของแหน

แหนที่พบในประเทศไทยจัดอยู่ในวงศ์ *Lemnaceae* มี 3 สกุล

2.9.1.1 สกุล *Lemna*

สกุล *Lemna* มี 3 ชนิด คือ

(1) *Lemna minor* L.

แหนเล็ก หรือเรียกโดยทั่วไปว่าแหนเป็ดเล็ก (ภาพที่ 2.1) จัดเป็นวัชพืชที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง มีโปรตีนประมาณ 20 - 40 % ใยประมาณ 4 - 6 % และยังเป็นพืชที่มีกรดไขมันอิสระอยู่อย่างสมบูรณ์ นิยมนำไปตากแห้งทำเป็นปุ๋ย เป็นอาหารเลี้ยงสัตว์หรือผสมในอาหารของสัตว์ เช่น อาหารของเป็ด ห่าน ปลา ไก่ นกกระทา และสุกร เป็นต้น เนื่องจากแหนเป็ดเล็กเจริญเติบโตและขยายพันธุ์ได้รวดเร็วจึงมีผู้ศึกษา ประสิทธิภาพในการใช้บำบัดน้ำเสีย เช่น การบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มเป็ด พบว่าในระยะเวลา 100 วัน สามารถดูดซับค่าปริมาณ

ไนโตรเจนทั้งหมด (TKN) ได้สูงที่สุดถึง 49.10 % ดังนั้นจึงนิยมนำแหนเป็ดเล็กมาใช้เป็นอาหารโปรตีนราคาถูกลำหรับเลี้ยงเป็ดเทศ

(2) *Lemna perpusilla* Torr.

กาแหน หรือ แหน (ภาพที่ 2.2) มีชื่อสามัญเรียกว่า “Lesser duckweed”

(3) *Lemna trisulca* L.

จอกแหน

2.9.1.2 สกุล *Spirodela*

มี 1 ชนิด คือ *Spirodela polyrrhiza* (L.) Schleid., กาแหน และ แหนแดง หรือ แหนใหญ่ (ภาพที่ 2.3) มีชื่อสามัญเรียกว่า “Large duckweed”

2.9.1.3 สกุล *Wolffia*

มี 1 ชนิด คือ *Wolffia globosa* (Roxb.), Hartog & Plas, ไข่น้ำ และ ไข่แหน หรือ ผำ มีชื่อสามัญเรียกว่า “Water me”

แหนเป็นพืชที่ไม่มีราก ลำต้น และใบที่แท้จริง ใบมีรูปรีเป็นเกล็ดเล็กประมาณ 0.2 ซม. สีเขียวเป็นมันวาว อยู่เดี่ยว ๆ หรือเชื่อมติดกันเป็น กระจุก 2 – 4 ใบ ใต้ ใบมีรากฝอยเล็ก ๆ ดอกออกเป็นช่อเกิดอยู่ในช่องตรงขอบใบและมีเยื่อบางล้อมรอบช่อดอกไว้ (ภาพที่ 2.4) แหนขยายพันธุ์เพิ่มจำนวนได้ทั้งแบบอาศัยเพศและไม่อาศัยเพศ แต่ส่วนใหญ่จะขยายพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศโดยการแตกหน่อหรือแตกแผ่นใบใหม่ (ภาพที่ 2.5) ทำให้เจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนได้อย่างรวดเร็ว

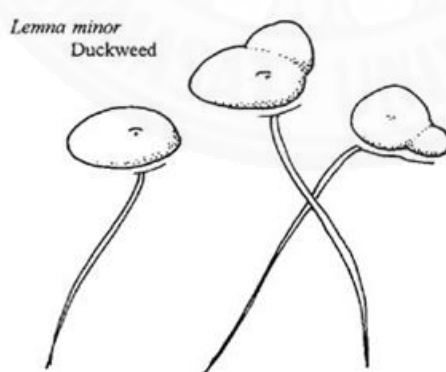
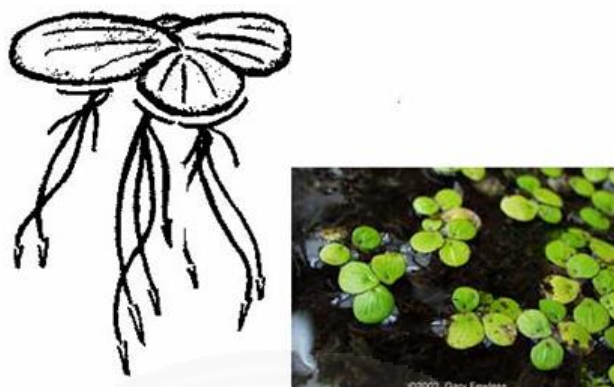


illustration provided by
IFAS, Center for Aquatic Plants
University of Florida, Gainesville, 1990



ภาพที่ 2.1 แหนเล็ก. จาก แหน (Duckweed), โดย วิลาส รัตนานุกุล, 2553, สืบค้นจาก <http://biology.ipst.ac.th/?p=880>.



ภาพที่ 2.2 แหนใหญ่จาก แหน (*Duckweed*), โดย วิลาส รัตนานุกูล, 2553, สืบค้นจาก <http://biology.ipst.ac.th/?p=880>.



ภาพที่ 2.3 ไข่น้ำหรือฝำ. จาก แหน (*Duckweed*), โดย วิลาส รัตนานุกูล, 2553, สืบค้นจาก <http://biology.ipst.ac.th/?p=880>.



ภาพที่ 2.4 ใบของแหน. จาก แหน (Duckweed), โดย วิลาส รัตนานุกุล, 2553, สืบค้นจาก <http://biology.ipst.ac.th/?p=880>.

ลำดับที่ 1	ลำดับที่ 2	ลำดับที่ 3
		
ลำดับที่ 4	ลำดับที่ 5	ลำดับที่ 6
		
ลำดับที่ 7	ลำดับที่ 8	ลำดับที่ 9
		

ภาพที่ 2.5 ลำดับการแตกหน่อของแหนเล็ก. จาก แหน (Duckweed), โดย วิลาส รัตนานุกุล, 2553, สืบค้นจาก <http://biology.ipst.ac.th/?p=880>.

2.10 พลาสติก

พลาสติกที่ใช้ทำขวดน้ำดื่มชนิดใส หรือที่เราเรียกกันโดยทั่วไปว่าขวดเพท PET หรือ (Poly Ethylene Terephthalate) เป็นโพลิเอสเตอร์ซึ่งมีประวัติการพัฒนาที่ยาวนานกว่า 70 ปี ในช่วงแรก PET ถูกนำมาผลิตและใช้งานในรูปของเส้นใยก่อน โดยในปี ค.ศ. 1941 บริษัทเล็ก ๆ ในประเทศอังกฤษได้ผลิตเส้นใยโพลิเอสเตอร์ขึ้น ใช้ชื่อทางการค้าว่าเทรลีน (Terylene) และถูกพัฒนาต่อโดยบริษัทดูปองท์ ประเทศสหรัฐอเมริกาในชื่อเส้นใยแดครอน (Dacron) เสื้อผ้าที่ผลิตจากเส้นใย PET มีสมบัติที่ดีคือไม่ยับง่ายทำให้ไม่ต้องรีดมากนัก ไม่หดและแห้งเร็ว ต่อมาบริษัทดูปองท์จึงได้พัฒนาเทคนิคการผลิตฟิล์มพลาสติกที่มีความแข็งแรงสูงจาก PET ขึ้นโดยใช้ชื่อว่าไมลาร์ (Mylar®) ในปี ค.ศ. 1952 เพื่อนำมาใช้แทนฟิล์มเซลลูลอสสำหรับห่ออาหาร ทำลูกโป่ง แผ่นฟิล์ม X-ray และเทปสำหรับบันทึกเสียงเพลง ในปี ค.ศ. 1967 PET จึงถูกนำมาผลิตเป็นขวดพลาสติกที่ทนแรงกระแทก ไม่เปราะแตกง่าย ใสสามารถมองเห็นสิ่งที่บรรจุอยู่ภายในจึงนิยมใช้บรรจุน้ำดื่ม น้ำมันพืช และเครื่องสำอาง และเนื่องจาก PET มีสมบัติป้องกันการแพร่ผ่านของก๊าซได้ดีกว่าพลาสติกทั่วไป จึงได้รับความนิยมนำมาผลิตเป็นขวดสำหรับบรรจุน้ำอัดลมด้วย

PET เป็นโพลิเมอร์ที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์โพลิเมอร์แบบควบแน่น 2 ขั้นตอน ในขั้นตอนแรกเกิดจากปฏิกิริยาการเตรียมเอสเตอร์ (Esterification) โดยใช้ กรดเทเรพทาติก (Terephthalic Acid) และ เอทิลีนไกลคอล (Ethylene Glycol) เป็นสารตั้งต้น หรือใช้ปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนหมู่เอสเตอร์ (Transesterification) โดยใช้ไดเมทิล เทเรพทาเลท (Dimethyl Terephthalate) ร่วมกับเอทิลีนไกลคอล ที่อุณหภูมิ 275-285°C ได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารไดเอสเตอร์ (Di-Ester) เมื่อผ่านเข้าสู่กระบวนการสังเคราะห์โพลิเมอร์ จะได้โพลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลไม่สูงมาก โครงสร้างเป็นอสัณฐาน และมีค่าความหนืด (Intrinsic Viscosity, IV) ประมาณ 0.58-0.67 dL/g ซึ่งเหมาะสำหรับนำมาใช้ผลิตเป็นเส้นใยสำหรับอุตสาหกรรมสิ่งทอ

2.10.1 คุณสมบัติต่าง ๆ ของพลาสติก

PET นิยมนำมาผลิตเป็นขวดสำหรับเครื่องดื่ม แต่แนวโน้มในการใช้เป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับเครื่องอุปโภคต่าง ๆ มีเพิ่มขึ้น ฟิล์ม PET ที่เป็น Biaxial Orientation มีสมบัติในการป้องกันการแพร่ผ่านของกลิ่นได้ดี และสามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้โดยการเคลือบผิวฟิล์มวัสดุอื่นเช่น Polyvinylidene Chloride อะลูมิเนียม หรือ ซิลิกอนไดออกไซด์ นอกจากนี้ PET ยังมีสมบัติป้องกันการแพร่ผ่านของแก๊สออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดี เนื่องจากกระบวนการผลิตเป็น Biaxial Orientation (ยูเนียนทอย, 2556)

โดยทั่วไปการผลิตขวดพลาสติก PET มักใช้กระบวนการเป่าแบบดึงยืด (Stretch Blow Moulding) ซึ่งเป็นการผลิต 2 ขั้นตอน โดยเริ่มจากกระบวนการฉีดเม็ดพลาสติกให้เป็นพรีฟอร์ม และเป่าพรีฟอร์มให้เป็นขวดน้ำตามลำดับ ขั้นตอนสำคัญของกระบวนการผลิตเริ่มจากการอบไล่ความชื้น เนื่องจาก PET มักดูดความชื้นจากอากาศได้สูง (Hygroscopic Plastics) โดยปกติเม็ดพลาสติก PET มักมีความชื้นประมาณ 0.05 % จึงต้องอบไล่ความชื้นในเม็ดพลาสติกให้เหลืออยู่ไม่สูงเกิน 0.005 % ก่อนถูกทำให้หลอมเพื่อฉีดเป็นพรีฟอร์ม ในขั้นตอนการเปลี่ยนรูปร่างของพรีฟอร์มให้เป็นขวดเริ่มจากการทำให้พรีฟอร์มร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 70 องศาเซลเซียส จนพรีฟอร์มเริ่มนิ่ม ก่อนนำเข้าสู่กระบวนการเป่าแบบดึงยืดใน 2 ทิศทาง เพื่อให้ผนังพรีฟอร์มขยายตัวไปกระทบผนังแม่พิมพ์รูปขวด เมื่อพลาสติกเย็นตัวลงจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นขวดพลาสติกใส การควบคุมปริมาณผลึกในพรีฟอร์ม และขวดเป็นสิ่งสำคัญเพื่อให้ได้ขวดที่มีสมบัติตามต้องการ บริเวณคอ และตัวของพรีฟอร์มควรใสและเป็นอสังฐาน แต่ส่วนที่เป็นจุดที่ฉีดพลาสติกเข้าแม่พิมพ์จะเป็นส่วนที่ขุ่น และมีผลึกแบบ Spherulitic ภายหลังการเป่าแบบดึงยืดต้องทำให้พลาสติกมีปริมาณผลึกสูงสุด เพื่อให้ขวดมีความแข็งแรง การป้องกันการแพร่ผ่านของก๊าซและทาสารเคมีได้ดี

Plastic Media เป็นหนึ่งในอุปกรณ์บำบัดน้ำเสียที่ได้รับการพัฒนาขึ้นโดยวิศวกรสิ่งแวดล้อม ตัวกลางพลาสติกนี้ทำหน้าที่เสมือนบ้านพักให้แบคทีเรียภายในระบบบำบัดน้ำเสียเกาะอาศัย (เพิ่มระยะเวลาและปริมาณแบคทีเรีย) ทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียให้มีปริมาณลดลง ตัวกลางนี้ยังป้องกันไม่ให้แบคทีเรียเหล่านี้หลุดออกมาพร้อมน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว (อาควา นิชิฮาร่า คอร์ปอเรชั่น, 2560)

2.11 ยาปฏิชีวนะ

ยาปฏิชีวนะเป็นกลุ่มยาที่ถูกนำมาใช้รักษาโรคติดเชื้อหลาย ๆ โรคที่เกิดจากแบคทีเรีย โดยที่ยาเหล่านี้ไม่สามารถใช้รักษาโรคติดเชื้อที่เกิดจากเชื้อรา หรือโรคติดเชื้อที่เกิดจากไวรัส เช่น ไข้หวัดธรรมดา หรือ ไข้หวัดใหญ่ ได้ แต่อย่างไรก็ตามยังมียาอีกหลายประเภทที่ถูกผลิตขึ้นมาเพื่อใช้รักษาโรคติดเชื้อที่เกิดจากเชื้อราหรือไวรัส (ออนสต็อคส์, 2560)

2.11.1 ประเภทของยาปฏิชีวนะ

ยาปฏิชีวนะได้ถูกจำแนกไว้หลายประเภท ดังต่อไปนี้

2.11.1.1 กลุ่มยา Penicillins

ได้แก่ Amoxil® Augmentin® (Amoxicillin) และ Unasyn® (Ampicillin)

2.11.1.2 กลุ่มยา Cephalosporins

ได้แก่ Cefdinir, Rocephin® (Ceftriaxone) และ Keflex® (Cephalexin)

2.11.1.3 กลุ่มยา Fluoroquinolones

ได้แก่ Levaquin® (Levofloxacin), Cipro® (Ciprofloxacin), และ Avelox® (Moxifloxacin)

2.11.1.4 กลุ่มยา Macrolides

ได้แก่ Zithromax® หรือ Z-pak® (Azithromycin); Ery-Tab®, Akne-Mycin®, E.E.S.®, Eryc®, และ Pediamycin® (Erythromycin); Cleocin®, Cleocin T®, ClindaGel®, และ Clinda-Derm® (Clindamycin)

2.11.1.5 กลุ่มยา ซัลฟาเมโทซาโซล

ได้แก่ ซัลฟาเมโทซาโซล และ Vibramycin® (Doxycycline)

2.11.1.6 กลุ่มยา Aminoglycosides

ได้แก่ amikacin; Genoptic® และ Gentak® (Gentamicin); Aktob®, Bethkis®, Kitabis Pak®, Tobin®, TobinPodhaler®, Tobradex® และ Tobrex® (Tobramycin); Neo-Fradin® (Neomycin)

2.11.1.7 กลุ่มยา Sulfonamides (ยาซัลฟา)

ได้แก่ Septra® และ Bactrim® (Sulfamethoxazole with Trimethoprim)

โดยยาปฏิชีวนะในแต่ละประเภทต่างมีกลไกในการกำจัดเชื้อโรคแตกต่างกัน ยาปฏิชีวนะบางประเภทสามารถฆ่าแบคทีเรียได้โดยตรง (Bactericidal) ในขณะที่บางประเภททำได้แค่เพียงให้แบคทีเรียหยุดการเพิ่มจำนวน (Bacteriostatic) ยกตัวอย่างเช่น กลุ่มยา Penicillins, Cephalosporins และ Aminoglycosides เป็นประเภทที่สามารถฆ่าแบคทีเรียได้โดยตรง ในขณะที่กลุ่ม Macrolides, ซัลฟาเมโทซาโซล, Sulfonamides เป็นประเภทที่ทำให้แบคทีเรียหยุดการเพิ่มจำนวน

2.12 ซัลฟาเมโทซาโซล (Sulfamethoxazole)

ซัลฟาเมโทซาโซล เป็นยาในกลุ่มซัลฟา (Sulfa Drug) ใช้เป็นยาปฏิชีวนะเพื่อต่อต้านเชื้อแบคทีเรียทั้งชนิดแกรมบวกและลบ เหมาะที่จะนำมารักษาโรคติดเชื้อระบบทางเดินปัสสาวะ โรคติดเชื้อของหลอดลมหรือหลอดลมอักเสบและโรคติดเชื้อของต่อมลูกหมาก เริ่มแรกมีการใช้ยานี้ในอเมริกาเมื่อปี พ.ศ. 2504 แต่ถูกเพิกถอนไปสักระยะหนึ่ง ปัจจุบันวงการแพทย์ได้นำยานี้กลับมาใช้ใหม่โดยนำมาผสมร่วมกับยา Trimethoprim และมีการใช้ชื่อย่อว่า SMX-TMP หรือ SMZ-TMP (Sulfamethoxazole and Trimethoprim) รูปแบบของยาแผนปัจจุบันของยานี้มีทั้งยาชนิดรับประทานและยาฉีด (อภัย ราษฎร์วิจิตร, 2556)

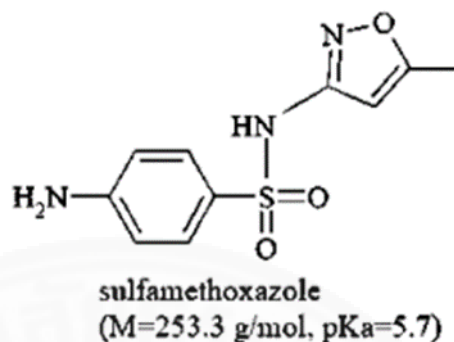
เมื่อตัวยาซัลฟาเมโทซาโซลเข้าสู่กระแสเลือด จะเกิดการรวมตัวเข้ากับพลาสมาโปรตีนประมาณ 70 % ตัวจะเป็นอวัยวะที่คอยเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและทำลายยาซัลฟาเมโทซาโซลอย่างต่อเนื่อง ร่างกายมนุษย์ต้องใช้เวลาประมาณ 10 ชั่วโมงขึ้นไปในการกำจัดยานี้ออกจากกระแสเลือด และผ่านทิ้งไปกับปัสสาวะ ธรรมชาติของยาซัลฟาเมโทซาโซลสามารถซึมผ่านเข้าไปได้ทั่วเนื้อเยื่อของอวัยวะต่าง ๆ ในร่างกายและยานี้ยังสามารถผ่านรกได้อีกด้วย นอกจากนั้นสามารถตรวจพบยานี้กระจายตัวอยู่ในน้ำหล่อเลี้ยงหูชั้นกลาง พบในเสมหะ รวมถึงน้ำที่หล่อเลี้ยงบริเวณช่องคลอดอีกด้วย

ปัจจุบันยาซัลฟาเมโทซาโซลเป็นหนึ่งในรายการยาที่บรรจุอยู่ในบัญชียาหลักแห่งชาติของไทยโดยต้องผสมกับตัวยา Trimethoprim และมีรูปแบบผลิตภัณฑ์ทางการค้าทั้งที่เป็นยาชนิดเม็ด ยาแคปซูล ยาน้ำแขวนตะกอนชนิดรับประทาน รวมถึงยาฉีดที่ปราศจากเชื้อ

ซัลฟาเมโทซาโซลเป็นยาซัลโฟนาไมด์ (Sulfonamide) มีโครงสร้างแบบแอนะล็อก (Analog) ของกรดพารา - อะมิโนเบนโซอิก (Para - Aminobenzoic Acid, PABA) มีสูตรทางเคมีคือ $C_{10}H_{11}N_3O_3S$ น้ำหนักประมาณ 273.3 กรัม/โมล มีชื่อทางเคมีคือ 4-amino-N-(5-methylisoxazol-3-yl)-benzenesulfonamide (Aissaoui, S., Sifour, M., Ouled-Haddar, H., Sghaier, H. and Jamoussi, B., 2017, 2147-2153) สารประกอบนี้เป็นกลุ่มสารประกอบอินทรีย์ที่รู้จักกันในชื่อ Aminobenzenesulfonamides เหล่านี้เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีส่วนผสมของเบนซีนซัลโฟนาไมด์ (Benzenesulfonamide) ที่มีกลุ่มเอมีนติดอยู่กับวงแหวนเบนซีน (ภาพที่ 2.6) มีจุดหลอมเหลวอยู่ที่ 167 องศาเซลเซียส และมีความสามารถในการละลายน้ำ 610 ม.ก./ล. ที่ 37 องศาเซลเซียส (drugbank, 2005)

ซัลฟาเมโทซาโซล มีสัมประสิทธิ์การดูดซับต่ำ ($K_d = 0.3 - 36$ ลิตร/กิโลกรัม) (Franklin, A. M., Williams, C. F. & Watson, J. E., 2018, 1347-1355) ส่วนใหญ่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียจากการขับถ่ายของมนุษย์ในรูปแบบของ SMX 13 - 15 %, Acetyl - SMX 43 - 55 % และ

N-SMX-glucuronide 10 – 13 % (Müller, E., Schüssler, W., Horn, H. & Lemmer, H., 2013, 969-978)



ภาพที่ 2.6 โครงสร้างทางเคมีของซัลฟาเมโทซาโซล. จาก “A very fast and simple method for the determination of sulfonamide residues in seawaters”, โดย Białk-Bielińska, A., Siedlewicz, G., Stepnowski, P., Pazdro, K., Fabiańska, A., and Kumirska, J., 2011, Analytical Methods, 3, p. 1371-1378. Copyright 2011 by The Royal Society of Chemistry, DOI: 10.1039/c0ay00763c

2.12.1 สรรพคุณของซัลฟาเมโทซาโซล

โรคที่ยังใช้ยาซัลฟาได้ผลคือ โรคติดเชื้อในทางเดินปัสสาวะ โดยเฉพาะจากเชื้ออี.โคไล (E.Coli) ใช้รักษาโรคติดเชื้อดวงตา (Trauchoma) กามโรคพวกแผลริมอ่อน (Chancroid) และฝีมะม่วงที่เกิดจากเชื้อลิมโฟแกรนูโลมา เวเนอเรียม (Lymphogranuloma Ve - Nerium) และใช้ระงับเชื้อในทางเดินอาหาร โดยเลือกยาซัลฟาที่ไม่ดูดซึม นอกจากนี้ยังใช้ภายนอกในรูปของยาหยอดตาและยาเหน็บช่องคลอด

2.12.2 ผลข้างเคียงของซัลฟาเมโทซาโซล

อาการข้างเคียงที่สามารถพบได้บ่อยเมื่อมีการใช้ยาซัลฟาเมโทซาโซลคือ คลื่นไส้ อาเจียน เบื่ออาหาร ผื่นคัน หรือกรณีที่รุนแรงอาจเกิดภาวะ Stevens - Johnson Syndrome

2.12.2.1 ผลต่อระบบทางเดินอาหาร

มีอาการคลื่นไส้ อาเจียน เบื่ออาหาร ท้องเสีย เกิดแผลในลำคอ

2.12.2.2 ผลต่อระบบการเผาผลาญพลังงานของร่างกาย

ก่อให้เกิดภาวะน้ำตาลในเลือดต่ำ ไทรอยด์ฮอร์โมนต่ำ

2.12.2.3 ผลต่อระบบการทำงานของหัวใจ

เกิดภาวะหัวใจเต้นเร็วผิดปกติ

2.12.2.4 ผลต่อผิวหนัง

เกิดภาวะผื่นคัน ลมพิษ สีมัวซีดจาง

2.12.3 ปฏิกิริยาระหว่างซัลฟาเมโทซาโซลกับยาตัวอื่น ๆ

2.12.3.1 การใช้ยาซัลฟาเมโทซาโซลร่วมกับยาต้านการแข็งตัวของเลือด

เช่น Warfarin จะทำให้การทำงานของยาต้านการแข็งตัวของเลือดมีฤทธิ์นานขึ้น หากจำเป็นต้องใช้ยาร่วมกันแพทย์จะปรับขนาดรับประทานให้เหมาะสมกับผู้ป่วยเป็นรายบุคคลไป

2.12.3.2 การใช้ยาซัลฟาเมโทซาโซลร่วมกับยา Sodium Nitrite

อาจทำให้มีภาวะ Methemoglobinemia (โลหิตจางชนิดหนึ่ง) เกิดขึ้นภายในไม่กี่ชั่วโมงหลังจากใช้ยาร่วมกัน ซึ่งจะทำให้ความสามารถในการขนส่งออกซิเจนของเลือดเพื่อไปเลี้ยงอวัยวะต่างๆของร่างกายด้อยประสิทธิภาพลงไป อาจสังเกตพบอาการผิวหนังซีดคล้ำ คลื่นไส้ ปวดศีรษะ วิงเวียน อ่อนเพลีย หายใจลำบาก เป็นต้น หากไม่มีความจำเป็นใด ๆ ควรหลีกเลี่ยงการใช้ยาร่วมกัน

2.12.3.3 การใช้ยาซัลฟาเมโทซาโซลร่วมกับยาลดความดันโลหิตกลุ่ม ACE Inhibitors

จะทำให้ระดับโพแทสเซียมในเลือดสูงมากขึ้น แพทย์จะปรับขนาดรับประทานให้เหมาะสมในผู้ป่วยเป็นกรณีไป

2.13 แสงและการเจริญเติบโตของพืช

แสงมีความสำคัญและจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ สามารถอธิบายได้ในเชิงปริมาณ (ความเข้มของแสง) และในเชิงคุณภาพ (ความยาวคลื่นของแสง) การวัดปริมาณของแสงหรือจำนวนพลังงานรวมที่แสงผลิตออกมาจะอยู่ในรูปของพลังงานต่อพื้นที่ มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2) หรือเทอมของจำนวนโฟตอน (Moles of Photons) หน่วยเป็นไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที ($\mu\text{mol/m}^2\text{s}^{-1}$) แสงธรรมชาติที่มาจากดวงอาทิตย์ ประกอบด้วยสเปกตรัมของแสง (Light Spectrum) ในช่วงความยาวคลื่นแสงระหว่าง 250 – 3,000 นาโนเมตร (nm) การที่แสงมีความยาวคลื่นแตกต่างกันทำให้เกิดสีที่แตกต่างกันไปด้วย

2.13.1 การสังเคราะห์ด้วยแสง

การสังเคราะห์ด้วยแสง (Photosynthesis) เป็นกระบวนการทางชีวเคมีที่สำคัญอย่างหนึ่ง ซึ่งทำให้พืช สาหร่าย และแบคทีเรียบางชนิดสามารถเปลี่ยนพลังงานจากแสงอาทิตย์ให้กลายเป็นพลังงานทางเคมีได้ สิ่งมีชีวิตแทบทั้งหมดล้วนอาศัยพลังงานที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงเพื่อการเจริญเติบโตทั้งทางตรงและทางอ้อม นอกจากนี้ยังมีการผลิตออกซิเจน ซึ่งมีเป็นองค์ประกอบในสัดส่วนที่มากของบรรยากาศโลกด้วย สิ่งมีชีวิตที่สร้างพลังงานจากกระบวนการสังเคราะห์แสงได้ เรียกว่า "Phototrophs" โดยโมเลกุลที่มีความสามารถในการดูดกลืนแสงที่มีอยู่ในพืชและสิ่งมีชีวิตนี้ คือ รงควัตถุ (Pigment)

2.13.1.1 กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง เป็นปฏิกิริยาเคมีที่พืชสร้างอาหารจำพวกคาร์โบไฮเดรตซึ่งได้แก่ แป้ง และน้ำตาล จากวัตถุดิบ คือ น้ำ (H_2O) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) โดยมีคลอโรฟิลล์และแสงสว่างเป็นเครื่องช่วย ผลจากการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช นอกจากจะได้อาหารจำพวกคาร์โบไฮเดรตแล้วยังได้ก๊าซออกซิเจน (O_2) และน้ำเกิดขึ้นอีกด้วย ดังสมการที่ (2.1) และแบคทีเรียในระบบจะใช้ก๊าซออกซิเจนจากสมการที่ (2.1) ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ดังสมการที่ (2.2)



อาหารจำพวกคาร์โบไฮเดรตซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาการสังเคราะห์ด้วยแสง คือ น้ำตาลกลูโคส (Glucose) เนื่องจากพืชจะทำการสังเคราะห์ด้วยแสงได้เฉพาะในเวลากลางวัน เมื่อมีแสงสว่างเท่านั้น ดังนั้น น้ำตาลที่พืชสร้างขึ้น จะถูกเปลี่ยนเป็นแป้งเก็บสะสมไว้ชั่วคราวในเซลล์ ในเวลากลางคืนไม่มีแสงสว่างพืชจึงหยุดทำการสังเคราะห์ด้วยแสง ดังนั้น แป้งที่เก็บสะสมไว้จึงถูกเปลี่ยนเป็นน้ำตาลลำเลียงไปสู่ส่วนต่าง ๆ

คลอโรฟิลล์ของพืชส่วนใหญ่จะพบบริเวณใบ ดังนั้น การสังเคราะห์ด้วยแสงส่วนมากจะเกิดขึ้นที่ใบ อย่างไรก็ตาม นอกจากใบแล้วส่วนอื่นของพืชก็สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้ เช่น ลำต้น ราก ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงคลอโรฟิลล์จะดูดพลังงานจากแสงอาทิตย์นำไปใช้ในปฏิกิริยาเคมีระหว่างน้ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยพืชจะดูดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศเข้าทางปากใบซึ่งโดยเฉลี่ยอากาศจะมีก๊าซนี้ประมาณ 0.03 – 0.04 เปอร์เซ็นต์ ส่วนน้ำที่ใช้

ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงพืชจะได้จากดิน โดยมีขบวนการทำหน้าที่ดูดน้ำจากดินด้วยวิธีออสโมซิส แล้วลำเลียงส่งมาตามท่อในราก ลำต้นและใบ (เบญจวรรณ เรื่องขจร, 2557)

2.13.2 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ด้วยแสง

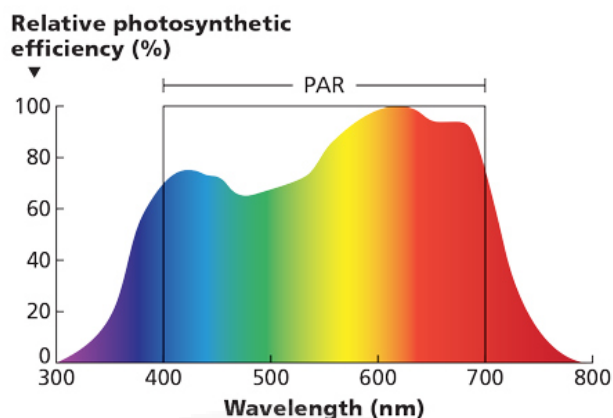
2.13.2.1 แสง

แสงเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญที่ก่อให้เกิดการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชขึ้น การที่พืชแต่ละชนิดจะมีการสังเคราะห์ด้วยแสงเกิดขึ้นได้มากหรือน้อยนั้นเกี่ยวข้องกับแสงสว่างอยู่ 3 ประการ คือ

(1) ความยาวคลื่นของแสง

แสงจากดวงอาทิตย์ที่พืชสามารถรับพลังงานมาใช้ในการกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงนั้นเป็นแสงสีขาวซึ่งคนเรามองเห็นได้เมื่อนำมาผ่านปริซึม (Prism) หรือสเปกโตรสโคป (Spectroscope) จะแยกออกเป็นแถบสีต่าง ๆ เรียกว่า Visible Spectrum มีอยู่ 7 สี คือ ม่วง คราม น้ำเงิน เขียว เหลือง แสดและแดง ซึ่งมีความยาวคลื่น ระหว่าง 400 - 760 มิลลิเมตร แสงที่มีความยาวคลื่นมากกว่าแสงสีแดง (Infrared) กับแสงที่มีความยาวคลื่นน้อยกว่าแสงสีม่วง (Ultraviolet) นั้นเป็นแสงที่คนเรามองไม่เห็นและพืชรับพลังงานมาใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงได้น้อยมากหรือไม่ได้เลย จากการศึกษาพบว่า แสงที่มีความยาวคลื่นต่างกันทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชที่เกิดขึ้นได้ไม่เท่ากัน ทั้งนี้เพราะรงควัตถุในพืชมีความสามารถในการดูดแสงและสีต่าง ๆ ได้ไม่เท่ากัน โดยแสงที่รงควัตถุของพืชโดยทั่วไปดูดได้ดีที่สุดคือ แสงสีม่วงและน้ำเงิน จึงทำให้พืชที่ได้รับแสงในช่วงคลื่นดังกล่าวนี้มีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงกว่าแสงสีอื่น ๆ แต่ในการทดลองกับพบว่าสาหร่ายบางชนิดกลับมีการสังเคราะห์ด้วยแสงเกิดขึ้นมากที่สุดตรงช่วงแสงสีแดง รองลงมาคือ สีม่วง น้ำเงิน ส่วนสีเขียวมีการสังเคราะห์ด้วยแสงเกิดขึ้นน้อยที่สุด แสดงให้เห็นว่าแสงที่มีความยาวคลื่นต่างกันมีอิทธิพลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชแต่ละชนิดได้แตกต่างกัน

แสงที่พืชนำมาใช้ประโยชน์ในการสังเคราะห์ด้วยแสงเพื่อการเจริญเติบโตสร้างใบ ดอก และผล คือ แสงในช่วงที่มนุษย์มองเห็น (Visible Light) ซึ่งเป็นแสง ที่มีความยาวคลื่น 380 - 770 นาโนเมตร แต่จะมีช่วงแสงเฉพาะที่พืชใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง ที่เรียกว่า Photo synthetically Active Radiation (PAR) อยู่ในช่วงความยาวคลื่น 400 - 700 นาโนเมตร ซึ่งสำคัญมากต่อพืชในการใช้พลังงานเพื่อสังเคราะห์ด้วยแสง จากภาพที่ 2.7 พบว่าพืชจะดูดซึมแสงเพื่อสร้างคลอโรฟิลล์ ชนิด a และ b (Chlorophyll Molecules Type a & b) ได้ดีที่สุดระหว่างความยาวคลื่น 400 - 480 นาโนเมตร (แสงสีน้ำเงิน) และระหว่าง 630 - 680 นาโนเมตร (แสงสีแดง)



ภาพที่ 2.7 กราฟแสดงประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงโดยเฉลี่ยของพืชและช่วงสเปกตรัมที่วัดการแผ่รังสีที่ใช้พลังงานด้วยแสงสังเคราะห์ (PAR) และลูเมน. จาก Understand energy efficiency of LED horticultural lighting systems (MAGAZINE), 2017 โดย Josh Gerovac สืบค้นจาก <https://www.ledsmagazine.com/articles/print/volume-14/issue-4/features/horticultural-lighting/understand-energy-efficiency-of-led-horticultural-lighting-systems.html>

(2) ความเข้มของแสง

การสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชจะเกิดได้เมื่อได้รับแสงที่มีความเข้มเหมาะสมซึ่งจะแตกต่างกันไปตามชนิดของพืช แต่โดยทั่วไปแล้วความเข้มของแสงที่เหมาะสมกับพืชมีค่าเฉลี่ยประมาณ 2,000 - 5,000 ฟุตแรงเทียน พืชซึ่งชอบอยู่ในที่ชุ่มชื้นมีร่มเงามากจะต้องการแสงที่มีความเข้มต่ำกว่าพืชที่เจริญในบริเวณกลางแจ้ง อย่างไรก็ตามพบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มของแสงให้สูงขึ้นจะทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชสูงขึ้นตามไปด้วยจนถึงจุดหนึ่งจะมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงสุด เรียกว่า จุดอิ่มแสง (Light Saturation Point) ซึ่งจะแตกต่างกันไปตามชนิดของพืชเช่นกัน

(3) ช่วงระยะเวลาที่ได้รับแสง

การสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชจะเกิดขึ้นมากขึ้นน้อยขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่พืชได้รับแสงอีกด้วย พืชโดยทั่วไปจะสังเคราะห์ด้วยแสงได้ดีเมื่อได้รับแสงเป็นเวลานานติดต่อกัน แต่พืชบางชนิดเมื่อได้รับแสงเป็นเวลานานจนเกินไป จะมีอัตราการสังเคราะห์แสงลดลงได้เช่นเดียวกัน

2.13.2.2 ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ตามปกแล้วคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศมีอยู่ประมาณ 0.03 - 0.04 เปอร์เซ็นต์ น้อยกว่าในมหาสมุทรซึ่งมีการแพร่ของ

คาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศลงสู่ทะเล และมีคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเกิดจากการหายใจและการย่อยสลายซากของสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ในทะเลจึงมีปริมาณมากเพียงพอกับความต้องการของพืชและสาหร่ายที่อยู่ในน้ำ

2.13.2.3 อุณหภูมิ

อุณหภูมิ เป็นปัจจัยอย่างหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช โดยทั่วไปอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น 10 – 35 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นกว่านี้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจะลดลงตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงที่อุณหภูมิสูง ๆ ยังขึ้นอยู่กับเวลาอีกปัจจัยหนึ่งด้วย กล่าวคือ ถ้าอุณหภูมิสูงคงที่ เช่น ที่ 40 องศาเซลเซียส อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจะลดลงตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะเอนไซม์ทำงานได้ดีในช่วงอุณหภูมิที่พอเหมาะ ถ้าสูงเกิน 40 องศาเซลเซียส เอนไซม์จะเสื่อมสภาพทำให้การทำงานของเอนไซม์ชะงักลง ดังนั้นอุณหภูมิจึงมีความสัมพันธ์ต่อการสังเคราะห์แสงด้วย เรียกปฏิกิริยาเคมีที่มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิว่า ปฏิกิริยาเทอร์โมเคมีคอล (Thermochemical reaction)

2.13.2.4 ออกซิเจน

ออกซิเจน (O_2) เป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชและใช้ในกระบวนการหายใจของสิ่งมีชีวิตโดยทั่วไป ปริมาณของออกซิเจนในบรรยากาศนั้นมักจะคงที่ประมาณ 21 เปอร์เซ็นต์ และไม่มีผลกระทบต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงมากนักยกเว้นในกรณีที่มีปริมาณออกซิเจนอยู่ในเซลล์พืชมากเกินไป อาจก่อให้เกิดโฟโตเรสพिरชัน ซึ่งทำให้เกิดอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง

2.13.2.5 น้ำ

น้ำ (H_2O) เป็นวัตถุดิบที่จำเป็นสำหรับการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช แต่พืชมีความต้องการน้ำเพื่อการสังเคราะห์ด้วยแสงในปริมาณน้อยเพียง 1 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น พืชส่วนใหญ่จึงไม่ค่อยประสบปัญหาที่เกิดจากน้ำมากนัก อย่างไรก็ตาม หากพืชขาดน้ำแล้วก็อาจจะมีผลกระทบต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชได้ ทั้งนี้เพราะน้ำเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาการถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักร การขาดน้ำจะทำให้เซลล์ปากใบปิดเพื่อลดการสูญเสียน้ำ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศจึงแพร่เข้าสู่ใบได้น้อยลง อัตราการสังเคราะห์แสงจึงลดลง นอกจากนี้ การขาดน้ำยังทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชลดลงอีกด้วย

2.13.2.6 อายุของพืช

อายุของพืช ใบพืชที่มีอายุมากหรือน้อยไป จะมีประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ด้วยแสงต่ำ ทั้งนี้เพราะใบที่แก่เกินไปนั้นจะมีการสลายตัวของแกรนูล ส่วนใบที่อ่อนก็มีคลอโรพลาสต์ที่ยังไม่เจริญเต็มที่ ต้นพืชที่งอกใหม่และพืชที่กำลังจะตายจึงมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงต่ำกว่าพืชที่เจริญเติบโตเต็มที่แล้ว

2.13.3 Light Emitting Diode (LED)

ไดโอดเปล่งแสง (Light Emitting Diode, LED) หรือแอลอีดี เป็นแสงอิเล็กทรอนิกส์ โทลูมิเนสเซนซ์ขนาดเล็ก ไฟ LED เป็นพลังงานที่มีประสิทธิภาพและพวกเขาปล่อยความร้อนน้อยถึงไม่มีเลย ไฟเหล่านี้มีรูปร่างและขนาดแตกต่างกันมากมายและมีการใช้งานที่หลากหลาย ไฟ LED ได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นเมื่อปลูกหลอดไฟในพื้นที่ของพืชสวนโดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับฟาร์มในเมืองและห้องปลูก

ปัจจุบันผู้ใช้งานสามารถเลือกใช้ไดโอดเปล่งแสงได้ทุกสี และมีการนำมาใช้งานทดแทนแหล่งกำเนิดแสงแบบเดิม เช่น หลอดมีไส้ (Incandescent Lamp) หลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent Lamp) หรือหลอดฮาโลเจน (Halogen Lamp) เพราะว่าไดโอดเปล่งแสงนั้นใช้กำลังไฟฟ้าต่ำกว่าที่ค่าความส่องสว่างเท่ากัน มีขนาดเล็กติดตั้งได้ง่าย ในขณะทำงานจะแผ่รังสีความร้อนน้อยกว่า และมีการสูญเสียกำลังไฟฟ้าต่ำกว่า มีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่า 50,000 ชั่วโมง และมีราคาต่ำกว่า

2.13.4 ประโยชน์ของหลอดไฟแอลอีดีในการเจริญเติบโตของพืช

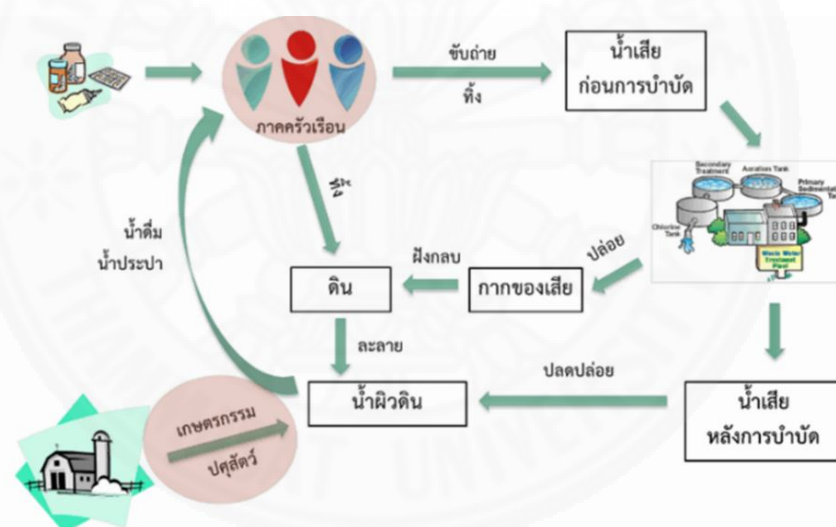
การใช้แหล่งกำเนิดแสงจากไดโอดเปล่งแสงยังช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้มากกว่าการใช้แหล่งกำเนิดแสงชนิดอื่นอย่างมาก โดยไดโอดเปล่งแสงมีข้อได้เปรียบที่สำคัญ คือ ใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำกว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์ร้อยละ 81 - 90 และมีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่า 50,000 - 100,000 ชั่วโมง ในขณะที่หลอดฟลูออเรสเซนต์มีอายุการใช้งานเพียง 2,000 - 3,000 ชั่วโมง ในอนาคตจะมีการประยุกต์ใช้ไดโอดเปล่งแสง เพื่อการผลิตพืชในระบบปิดมากยิ่งขึ้นเพราะสามารถ ควบคุมสภาพแวดล้อมได้โดยไม่ต้องพึ่งพาแสงจากธรรมชาติ และได้ผลผลิตที่มีปริมาณและคุณภาพสูง ส่งผลให้ผลผลิตมีราคาสูงตามไปด้วย (นภัทร วัจนเทพินทร์ และไชยยันต์ บุญมี, 2560, 158-176)

2.14 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศึกษาบทความที่เกี่ยวข้องเพื่อเป็นประโยชน์และแนวทางในการดำเนินงาน

2.14.1 อันตรายจากยาตกค้างในสิ่งแวดล้อม

ยาตกค้างในธรรมชาติ คือ ยาที่ปนเปื้อนหรือปรากฏในแหล่งธรรมชาติบนโลกของเราตามที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น ซึ่งก็คือยารักษาโรคที่มีการใช้ทั่วไปในชีวิตประจำวัน สาเหตุหลักของยาตกค้างในธรรมชาติ คือ การใช้ยาในภาคครัวเรือน เมื่อประชาชนบริโภคยาเข้าสู่ร่างกาย ยาจะถูกกำจัดออกทางปัสสาวะหรืออุจจาระและผ่านเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียก่อนออกสู่น้ำลำคลองต่อไป นอกจากนี้ยาจะตกค้างในพื้นดินจากการทิ้งหรือฝังกลบยา ซึ่งจะสามารถละลายออกและซึมออกสู่น้ำลำคลองเช่นกัน



ภาพที่ 2.8 แหล่งที่มาและวัฏจักรของปัญหายาตกค้างในธรรมชาติ. จาก อันตรายจากยาตกค้างในสิ่งแวดล้อม, โดย บรมพจน์ พฤตวินาสสันต์ และ ลีณา สุนทรสุข, 2560, สืบค้นจาก <http://www.pharmacy.mahidol.ac.th/th/service-knowledge-article-info.php?id=390>

ผลกระทบของยาตกค้าง ยาตกค้างที่ปนเปื้อนในธรรมชาติมีปริมาณน้อยมาก ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะไม่ส่งผลโดยตรงต่อร่างกายมนุษย์ แต่ปัญหาที่สำคัญ คือ ยาตกค้างมีผลกระทบต่อระบบนิเวศและสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในระบบนิเวศนั้น และสามารถส่งผลกระทบกลับมายังมนุษย์ได้

เนื่องจากยาที่ถูกกำจัดยังคงมีฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา ตัวอย่างผลกระทบที่เกิดจากยาตกค้างต่อสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศรอบตัวเราที่ถูกรายงาน ได้แก่ การตายลงของนกแร้งจากยาต้านการอักเสบที่มีใช้สเตียรอยด์ (Non-Steroidal Anti-Inflammatory Drugs, NSAIDs) การเปลี่ยนเพศและการลดการแสดงออกของลักษณะทางเพศในลูกปลาที่ได้รับยากลุ่มฮอร์โมนเพศ การเกิดความผิดปกติของระบบภูมิคุ้มกันจากยาที่มีผลในการกดระบบภูมิคุ้มกัน เช่น สเตียรอยด์ หรือ ทาม็อกซิเฟน

กระบวนการสะสมของยาในร่างกายของสิ่งมีชีวิต (Bioaccumulation) โดยเฉพาะสัตว์น้ำเพื่อการบริโภค เช่น กุ้ง หอย ปู ปลา ที่ได้รับหรือสัมผัสกับยาปฏิชีวนะเป็นปัญหาทางการแพทย์ที่มีสาเหตุมาจากยาตกค้างในแหล่งน้ำ การรับประทานอาหารที่ปรุงจากสัตว์น้ำเหล่านี้ทำให้มนุษย์ได้รับยาที่ไม่พึงประสงค์ได้ และสุดท้ายจะเกิดปัญหาการดื้อต่อยาปฏิชีวนะ เชื้อจุลินทรีย์สามารถเกิดการดื้อยาได้เนื่องจากการได้รับหรือสัมผัสกับยาปฏิชีวนะที่ตกค้างในปริมาณต่ำ ๆ อย่างต่อเนื่อง ซึ่งหากมนุษย์ป่วยและติดเชื้อที่ดื้อยาจะทำให้การรักษาไม่ได้ประสิทธิภาพ

2.14.1.1 การแก้ไขปัญหายาตกค้าง

การแก้ไขปัญหายาตกค้างที่ได้ผลที่สุดคือ การงดใช้ยาเพื่อป้องกันยาปนเปื้อนลงสู่ธรรมชาติ แต่ในความเป็นจริงแล้ว เราไม่สามารถทำได้เนื่องจากความจำเป็นที่ต้องใช้ยาในการรักษาความเจ็บป่วยที่เกิดขึ้นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้

(1) การสนับสนุนให้ใช้ยาอย่างสมเหตุผล (Rational Drug Use)

เช่น การไม่ใช้ยาปฏิชีวนะในอาการหวัดที่ติดเชื้อไวรัส เป็นต้น แนวทางดังกล่าวสามารถช่วยลดอัตราการใช้ยา ซึ่งทำให้ปริมาณยาที่ต้องถูกกำจัดออกจากร่างกายได้สู่ธรรมชาติลดลงได้

(2) การทำลายยาหมดอายุหรือยาที่ใช้หมดให้ถูกวิธี

แนวทางดังกล่าวเป็นอีกหนึ่งหนทางที่สามารถลดโอกาสการปลดปล่อยยาออกสู่ธรรมชาติโดยตรง

(3) การพัฒนาระบบการบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพและการเฝ้าระวังระบบบำบัดน้ำเสีย

เป็นเสมือนปราการด่านสุดท้ายของน้ำทั้งก่อนการระบายออกสู่ธรรมชาติ ระบบบำบัดที่มีประสิทธิภาพย่อมสามารถขจัดยาตกค้างออกจากน้ำได้หมด อย่างไรก็ตามระบบการกำจัดน้ำเสียที่มีในปัจจุบันยังไม่สามารถขจัดยาตกค้างออกจากน้ำทิ้งได้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้นการพัฒนา ระบบบำบัดของเสียให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นจึงยังเป็นที่ต้องการอย่างยิ่ง การพัฒนาระบบที่ดีควรทำควบคู่ไปพร้อม ๆ กับการตรวจเฝ้าระวังปริมาณยาตกค้างในน้ำทิ้ง ดังนั้นความจำเป็นในการพัฒนาวิธี

วิเคราะห์สำหรับการตรวจปริมาณยาตกค้างจึงยังคงมีความสำคัญอยู่สำหรับการพัฒนาระบบน้ำทิ้งอย่างต่อเนื่อง

จะเห็นได้ว่าทุกวันนี้เราเผชิญหน้ากับปัญหายาตกค้างตามแหล่งธรรมชาติ แม้ว่าปริมาณยาตกค้างที่พบเจอจะไม่มีผลต่อมนุษย์เรา แต่ยาตกค้างก็ยังคงเป็นอันตรายต่อระบบนิเวศ ซึ่งท้ายที่สุดแล้วความไม่สมดุลของระบบนิเวศนี้เองจะส่งผลกระทบกลับมาเป็นลูกโซ่สู่มนุษย์ การปรับพฤติกรรมการใช้ยาและการทำลายทิ้งยา เป็นสิ่งที่ทุกคนสามารถเริ่มต้นทำได้ง่ายๆ เพื่อพัฒนาสังคมให้น่าอยู่และปลอดภัยจากปัญหายาตกค้าง (บรมพจน์ พงศ์วินาสันต์ และลีณา สุนทรสุข, 2560)

2.14.2 การใช้พืชน้ำในกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ

ปัญหาเกี่ยวกับมลภาวะทางน้ำเป็นปัญหาสำคัญที่พบได้ทั่วไป ได้แก่ ปัญหาน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมหรือแม้แต่ น้ำทิ้งจากบ้านเรือนที่มีโลหะหนักปนก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดปัญหามลภาวะทางน้ำทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณสารที่สะสมซึ่งมีผลต่อสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศ เช่น โรคมินามาตะจากพิษปรอท และโรคอิไต-อิไตจากพิษแคดเมียม การกำจัดโลหะหนักจากน้ำทิ้งทำได้หลายวิธี เช่น การตกตะกอนโดยการเติมปูนขาว โซดาไฟลงในแม่น้ำทำให้ไอออนของโลหะหนักตกตะกอน การแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้เรซินที่มีคุณสมบัติในการเลือกจับไอออนของโลหะบางชนิด การเติมโอโซนโดยใช้ร่วมกับแสงอัลตราไวโอเล็ตซึ่งสามารถกำจัดโลหะหนักได้ การสกัดตัวทำละลายโดยใช้สารเคมีที่มีคุณสมบัติเลือกสกัดไอออนของโลหะบางชนิด วิธีการที่กล่าวมาล้วนเป็นวิธีการที่ยุ่งยากและเสียค่าใช้จ่ายสูง นอกจากนี้การกำจัดโลหะหนักสามารถใช้วิธีการทางชีวภาพโดยใช้สิ่งมีชีวิต อาจเป็นพวกสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า เช่น สาหร่ายสีเขียวหรือพืชชั้นสูงที่มีราก ลำต้น และใบที่แท้จริง เช่น พืชน้ำ ซึ่งเป็นวิธีการที่ได้รับความนิยมเนื่องจากเป็นวิธีการที่เสียค่าใช้จ่ายน้อยและหลีกเลี่ยงการใช้สารเคมี พืชน้ำที่นิยมใช้ในการบำบัดน้ำเสีย ได้แก่ ธูปฤาษี ผักตบชวา กก และผักกระเฉด เป็นต้น

พืชน้ำหลายชนิดโดยเฉพาะที่รู้จักกันดีคือวัชพืชที่อยู่ในน้ำ สามารถนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียได้ทั้งสิ้นแต่การนำพืชมาใช้ให้เกิดประโยชน์นั้นจะต้องคัดเลือกพืชให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อม สภาพของน้ำที่เสียมากหรือเสียน้อยและลักษณะของแหล่งน้ำ ไม่ว่าจะเป็นสระน้ำ อ่างเก็บน้ำ แม่น้ำ ลำคลอง คลองส่งน้ำ คลองระบายน้ำ หรือคลองธรรมชาติ บางแห่งมีสภาพเป็นน้ำนิ่ง บางแห่งน้ำไหลเอื่อย ๆ บางแห่งน้ำไหลแรง ซึ่งปัจจัยแวดล้อมเหล่านี้จะเป็นตัวกำหนดในการวางแผนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั้งสิ้น

ระบบบำบัดน้ำเสียโดยพืชน้ำ โดยทั่วไปประกอบด้วยบ่อสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีความลึกไม่เกิน 2 เมตร ภายในบ่ออาจมีการปลูกพืชชนิดเดียวกันหรือมากกว่าหนึ่งชนิด บ่อนี้ทำหน้าที่รองรับและกักน้ำเสียเพื่อการบำบัด กระบวนการในการปรับปรุงคุณภาพน้ำโดยใช้พืชน้ำ เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นร่วมกันระหว่างปฏิกิริยาทางชีววิทยา ปฏิกิริยาทางฟิสิกส์และลักษณะของพืชที่นำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียโดยพืชน้ำอาศัยปัจจัยหลักคือ การเจริญเติบโตโตของพืชน้ำเองและจุลินทรีย์ซึ่งอาศัยอยู่บริเวณรากของพืช ซึ่งจะทำหน้าที่เสมือนเป็นที่ยึดเกาะของจุลินทรีย์ เพื่อให้จุลินทรีย์สามารถทำงานได้ จุลินทรีย์ในระบบการบำบัดน้ำเสียแบบนี้จะใช้รากและลำต้นของพืชน้ำเป็นที่อยู่อาศัย ออกซิเจนซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับจุลินทรีย์ในการย่อยสลายของเสียแบบใช้ออกซิเจน ซึ่งได้มาจากการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชน้ำ ก๊าซออกซิเจนจะถูกส่งต่อไปยังรากและลำต้น เพื่อให้แบคทีเรียย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยวิธีการทางชีวภาพ การบำบัดน้ำเสียด้วยพืชน้ำสามารถลดค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (BOD) ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ ต้องการใช้เพื่อออกซิเดชันสารอินทรีย์ในน้ำให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ (COD) ปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมด (TSS) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (TKN) นอกจากนี้พืชน้ำยังมีหน้าที่ช่วยในการดูดซับสารอาหาร และแร่ธาตุต่าง ๆ เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โลหะหนัก (Heavy Metals) เป็นต้น เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบอื่น ๆ ที่ต้องใช้เครื่องจักรและพลังงานเชื้อเพลิงในการบำบัด เช่น ระบบลานกรอง (Trickling Filter) ระบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge) ระบบคลองวนเวียน (Oxidation Ditch)

สำหรับการศึกษาเกี่ยวกับการกำจัดไนโตรเจนในน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่ผ่านการบำบัดแบบไร้ออกซิเจนในระบบบึงประดิษฐ์แบบผสมผสานด้วยรูปถ่ายและกนกสามเหลี่ยม พบว่าพืชทั้งสองชนิดมีประสิทธิภาพในการบำบัดได้ดี โดยบำบัดไนโตรเจนรวมได้ 85 – 92 % สำหรับค่าบีโอดี, ซีโอดี, ทีเอสเอส, ฟอสฟอรัสละลายทั้งหมด และพีคอลไคลฟอร์มแบคทีเรีย สามารถบำบัดได้ 93 - 99% และยังพบว่ารูปถ่ายมีการสะสมไนโตรเจนได้ดีกว่ากนกสามเหลี่ยม โดยจะสะสมมากที่ใบต้น และ ราก ตามลำดับ

พืชน้ำหลายชนิดมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียได้ เช่น รูปถ่าย กนก ผักตบชวา บอน และแห่นเป็ด เป็นต้น โดยพบว่าพืชชนิดดังกล่าวสามารถบำบัดบีโอดีและซีโอดีอยู่ในช่วง 64 – 92 % ทีเอสเอส อยู่ในช่วง 70 – 97 % $\text{NO}_3\text{-N}$ อยู่ในช่วง 47 – 83 % นอกจากนี้สามารถบำบัดโลหะหนัก ได้แก่ปรอท เหล็ก ทองแดง และสังกะสีได้ถึง 99.8, 76.7, 41.62 และ 33.9% ตามลำดับ การใช้พืชน้ำในการบำบัดน้ำเสียมีข้อดี คือ เป็นวิธีการที่ค่อนข้างง่ายลงทุนต่ำ โดยเฉพาะถ้าได้มีการนำมาใช้ในระดับชุมชนขนาดเล็กและใช้ควบคู่กับการปรับปรุงคุณภาพน้ำระบบอื่น ๆ ก็จะเป็นการลดต้นทุนในการปรับปรุงคุณภาพน้ำได้แต่วิธีการนี้มีข้อจำกัด คือ น้ำเสียที่จะบำบัด

ต้องผ่านกระบวนการบำบัดทางเคมีและทางกายภาพก่อนจึงสามารถบำบัดโดยใช้พืชน้ำได้ (ดา
ริกา วสุนธรากุล และ สุตสาคร พุกงาม, 2548, 44-55)

2.14.3 ไดโอดเปล่งแสงสีอะไรเหมาะสมกับการปลูกพืช

ไดโอดเปล่งแสง (light emitting diodes, LEDs) หรือแอลอีดี เป็นวัสดุสารกึ่งตัวนำทางแสงที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ชีวิตของมนุษย์ โดยเฉพาะด้านการติดต่อสื่อสาร ที่อยู่อาศัย การประหยัดพลังงานเพื่ออนุรักษ์สิ่งแวดล้อม เพราะว่าอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างและอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีจอแสดงผลในปัจจุบันล้วนใช้เทคโนโลยีของไดโอดเปล่งแสงทั้งสิ้น

2.14.3.1 การทำงานของไดโอดเปล่งแสง

ไดโอดเปล่งแสงมีโครงสร้างประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำสองชนิด คือ สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (N - type semiconductor) และสารกึ่งตัวนำชนิดพี (P-type semiconductor) ประกบเข้าด้วยกัน มีผิวข้างหนึ่งเรียบคล้ายกระจก เมื่อส่งไฟฟ้ากระแสตรงผ่านไดโอดเปล่งแสงโดยจ่ายไฟบวกให้ขาแอนโนด (A) และจ่ายไฟลบให้ขาแคโทด (K) ทำให้อิเล็กตรอนที่สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นมีพลังงานสูงจนสามารถวิ่งข้ามรอยต่อจากสารชนิดเอ็นไปรวมกับโฮล (Hole) ในสารกึ่งตัวนำชนิดพี การที่อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ผ่านรอยต่อ พี - เอ็น จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหล ส่งผลให้ระดับพลังงานของอิเล็กตรอนเปลี่ยนไปและจะคายพลังงานออกมาในรูปคลื่นแสง

แสงสีต่าง ๆ ที่เกิดจากรอยต่อ พี - เอ็น นั้น จะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่นำมาใช้ในการสร้างไดโอดเปล่งแสงทั้งชนิดที่เป็นของเหลวและก๊าซ เช่น ใช้แกเลียม-ฟอสไฟด์ (Gallium Phosphide, GaP) ทำให้เกิดแสงสีแดง ใช้แกเลียม-อาซีนิด-ฟอสไฟด์ (Gallium Arsenide Phosphide, GaAsP) เกิดแสงสีเหลืองและเขียว การควบคุมปริมาณแสงสว่างทำได้โดยการควบคุมกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านไดโอดเปล่งแสง หากกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านสูงหลอดจะมีความสว่างมาก แต่ถ้ากระแสไฟฟ้าสูงมากเกินไปจะทำให้บริเวณรอยต่อของสารกึ่งตัวนำเกิดความร้อนปริมาณมากจนทำให้โครงสร้างไดโอดเปล่งแสงเสียหายจนไม่สามารถใช้งานได้

2.14.3.2 ประโยชน์ของแสงในการผลิตพืช

แสงมีความสำคัญและจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ แสงสามารถอธิบายได้ในเชิงปริมาณ (ความเข้มของแสง) และในเชิงคุณภาพ (ความยาวคลื่นของแสง) การวัดปริมาณของแสง หรือจำนวนพลังงานรวมที่แสงผลิตออกมา จะอยู่ในรูปของพลังงานต่อพื้นที่มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2) หรือเทอมของจำนวนโฟตอน (moles of photons) หน่วยเป็นไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) แสงธรรมชาติที่มาจากดวงอาทิตย์

ประกอบด้วยสเปกตรัมของแสง (light spectrum) ในช่วงความยาวคลื่นแสงระหว่าง 250-3000 นาโนเมตร (nm) การที่แสงมีความยาวคลื่นแตกต่างกันทำให้เกิดสีที่แตกต่างกันไปด้วย

แสงที่พืชนำมาใช้ประโยชน์ในการสังเคราะห์ด้วยแสงเพื่อการเจริญเติบโต สร้างใบ ดอก และผล คือ แสงในช่วงที่มนุษย์มองเห็น (Visible Light) ซึ่งเป็นแสงที่มีความยาวคลื่น 380 - 770 นาโนเมตร แต่จะมีช่วงแสงเฉพาะที่พืชใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง ที่เรียกว่า Photo Synthetically Active radiation (PAR) อยู่ในช่วงความยาวคลื่น 400 - 700 นาโนเมตร ซึ่งสำคัญมากต่อพืชในการใช้พลังงานเพื่อสังเคราะห์ด้วยแสง พืชต้องการแสงเหล่านั้นในช่วงเวลาใดบ้าง และต้องการแสงสีอะไรบ้าง เพื่อใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง การเพาะเมล็ด และการสร้างดอก ใบ และผลที่ดีที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6

ความสัมพันธ์ระหว่างสีของแสง ความยาวคลื่นแสง และประโยชน์ต่อพืช

ช่วงคลื่น (นาโนเมตร)	สี	มีประโยชน์ต่อพืช
380 - 436	ม่วง	ไม่แน่นอน อาจมีผลมาจากแสงใกล้สีน้ำเงินที่มีความยาวคลื่นใกล้กับ 436 นาโนเมตร
436 - 495	น้ำเงิน	ความเข้มต่ำ มีความจำเป็นในการเพาะเมล็ดและการอนุบาลพืช
495 - 566	เขียว	ไม่มีความจำเป็น แต่มีส่วนช่วยในการสังเคราะห์ด้วยแสง
566 - 589	เหลือง	ไม่มีความจำเป็น แต่มีส่วนช่วยในการสังเคราะห์ด้วยแสง
589 - 627	ส้ม	ดีที่สุด สำหรับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงสุด
627 - 770	แดง	ดีที่สุด ทำให้เกิดกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงสุด ช่วยเร่งดอก ลำต้น (อัตราส่วนของ แสงสีแดง : แดงไกล มีความสำคัญมาก)

2.14.3.3 การประยุกต์ไดโอดเปล่งแสงกับการเจริญเติบโตของพืช

การเจริญเติบโตของพืช หมายถึง การที่พืชมีการเพิ่มความสูง เพิ่มขนาด และมีการเปลี่ยนแปลงอวัยวะต่าง ๆ ไปตามขั้นตอนของพืชนั้น ๆ เช่น เมล็ดที่สมบูรณ์เมื่อได้รับความชื้นที่เหมาะสมจะเริ่มงอกรากและสร้างต้นอ่อน แล้วเติบโตเป็นต้นกล้า ต้นกล้าจะเติบโตเป็นต้น

ใหญ่ที่มีใบและกิ่งก้านสาขามากขึ้นและมีขนาดใหญ่ขึ้น จนกระทั่งเจริญเติบโตเต็มที่จึงออก ดอกและผลต่อไป เกณฑ์การวัดการเจริญเติบโตของพืชประกอบด้วยการวัดความสูงของพืชการนับจำนวนโครงสร้างที่เพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างพืชและการวัดน้ำหนักแห้งของพืช ลักษณะที่แสดงว่าพืชมีการเจริญเติบโตนั้นอาจสังเกตได้จากเมล็ดมีการงอกไปเป็นต้นอ่อน รากจะยาวและใหญ่ขึ้น จำนวนรากที่งอกมีเพิ่มขึ้น มีการแตกแขนงของรากมากขึ้น ลำต้นจะสูงและใหญ่ขึ้น มีการผลิตตาทั้งตาทิ้ง ตาใบ และตาดอก ดอกจะใหญ่ขึ้นหรือดอกเปลี่ยนแปลงไปเป็นผล ใบ และผลจะมีขนาดใหญ่ขึ้น เป็นต้น โดยทั่วไปแบ่งการเจริญเติบโตของพืชออกเป็น 3 ระยะ คือ (1) ระยะการเพาะกล้า (2) ระยะการเจริญเติบโต และ (3) ระยะการออกดอกและแพร่พันธุ์

นอกจากนี้การใช้แหล่งกำเนิดแสงจากไดโอดเปล่งแสงยังช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้มากกว่าการใช้แหล่งกำเนิดแสงชนิดอื่นอย่างมาก โดยไดโอดเปล่งแสงมีข้อได้เปรียบที่สำคัญ คือ ใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำกว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์ร้อยละ 81 - 90 และมีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่า 50,000 - 100,000 ชั่วโมง ในขณะที่หลอดฟลูออเรสเซนต์มีอายุการใช้งานเพียง 2,000 - 3,000 ชั่วโมง ในอนาคตจะมีการประยุกต์ใช้ไดโอดเปล่งแสงเพื่อการผลิตพืชในระบบปิดมากยิ่งขึ้น เพราะสามารถควบคุมสภาพแวดล้อมได้โดยไม่ต้องพึ่งพาแสงจากธรรมชาติและได้ผลผลิตที่มีปริมาณและคุณภาพสูง ส่งผลให้ผลผลิตมีราคาสูงตามไปด้วย (นภัทร วัจนเทพินทร์ และไชยยันต์ บุญมี, 2560, 158-176)

บทที่ 3

วิธีการวิจัย

3.1 แนวทางการศึกษา

ในการศึกษาวิทยานิพนธ์ระบบพืชน้ำผสมผสานเพื่อบำบัดน้ำเสียชุมชนที่มีสารเภสัชกรรมตกค้าง โดยเลือกใช้แหน สกุล *Lemna minor* L. เป็นพืชน้ำในระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง จะดำเนินการโดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ช่วง คือ ช่วงที่ 1 สร้างบ่อบำบัดจำลองขนาดเท่ากันจำนวน 3 บ่อ ที่มีระยะเวลาการเก็บกักน้ำเสียในระบบ (Hydraulic Retention Time, HRT) ที่แตกต่างกัน คือที่ 5, 10 และ 20 วัน (Krishna & Polprasert, 2017) และทำการบรรจุตัวกลางพลาสติกลงในบ่อบำบัดจำลองทั้ง 3 บ่อ และสร้างบ่อบำบัดจำลองอีกจำนวน 1 บ่อ โดยไม่บรรจุตัวกลางพลาสติกที่มีระยะเวลาการเก็บกักน้ำเสียเท่ากับ 10 วัน ซึ่งใช้เป็นบ่อควบคุมการทดลอง โดยบ่อบำบัดจำลองทั้ง 4 บ่อ บรรจุแหนในปริมาณที่เท่ากัน เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยระบบพืชน้ำผสมผสาน และหาค่าสัมประสิทธิ์ (k_T) ในการบำบัดน้ำเสียสำหรับซีโอดีจากการทดลอง ช่วงที่ 2 ติดตั้งหลอดไฟ LED สีแดงรอบบ่อบำบัดจำลองและบ่อควบคุมการทดลองที่มีระยะเวลาการเก็บกักน้ำเสียเท่ากับ 10 วัน เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพระบบบำบัดน้ำเสียแบบติดตั้งและไม่ติดตั้งหลอดไฟ LED และช่วงที่ 3 ดำเนินการเติมด้วยยาฆ่าฟามะโทซาโซลงไปในบ่อบำบัดจำลอง เพื่อจำลองให้ตัวอย่างน้ำเสียนั้นมีการปนเปื้อนสารเภสัชกรรม และทำการวัดปริมาณสารเภสัชกรรมตกค้างในน้ำที่ออกจากระบบ จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลการทดลองและสรุปผลการทดลอง

3.2 ขั้นตอนการศึกษาและดำเนินงาน

ขั้นตอนการศึกษาและการดำเนินงานมี 4 ขั้นตอน ได้แก่

3.2.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

ทำการศึกษาและรวบรวมข้อมูลรวมถึงการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์ เช่น ศึกษาคุณสมบัติและหลักการทำงานของระบบพืชน้ำผสมผสาน ศึกษาลักษณะและประโยชน์ของแหนและสรรพคุณและโทษของยาฆ่าฟามะโทซาโซล เป็นต้น

3.2.2 ศึกษาตัวแปรต่าง ๆ ในการวิเคราะห์และวิธีการทดสอบคุณภาพน้ำ

ศึกษาตัวแปรต่าง ๆ และวิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ เช่น ซีโอดี สารแขวนลอย โคลิฟอร์มแบคทีเรีย และทีเคเอ็น โดยเก็บตัวอย่างน้ำจากบ่อบำบัดจำลองทั้ง 4 บ่อ

3.2.3 ทำการสร้างบ่อบำบัดจำลองและดำเนินการทดลอง

3.2.3.1 สร้างบ่อบำบัดจำลอง

สร้างบ่อบำบัดจำลองขึ้นมาจำนวน 4 บ่อ ทำมาจากตู้อะคริลิก ขนาด $20 \times 40 \times 30$ ซม. (กว้าง×ยาว×สูง) ดังภาพที่ 3.1 โดยบรรจุตัวกลางพลาสติกปริมาณ $50 \text{ ม.}^2/\text{ม.}^3$ ดังภาพที่ 3.2 และใส่แชนปริมาณ $0.63 \text{ กก.}/\text{ม.}^2$ ในบ่อบำบัดจำลองจำนวน 3 บ่อ อีก 1 บ่อ บรรจุเพียงแชนในปริมาณที่เท่ากัน ซึ่งเป็นบ่อควบคุมการทดลอง เพื่อใช้ตรวจสอบประสิทธิภาพของตัวกลางพลาสติก



ภาพที่ 3.1 บ่อบำบัดจำลอง



ภาพที่ 3.2 ตัวกลางพลาสติก

3.2.3.2 ดำเนินการทดลอง

กำหนดให้อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate, OLR) ประมาณ 12 - 50 กก. - ซีโอดี/(เฮกตาร์(ha) - วัน) และดำเนินการตามถังปฏิกรณ์แบบท่อไหล (Plug Flow) โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ช่วง คือ

(1) เติมน้ำเสียและควบคุมระยะเวลาการเก็บกักน้ำเสียที่แตกต่างกัน

ทำการเติมน้ำเสียและควบคุมให้ระยะเวลาการเก็บกักน้ำเสียแตกต่างกัน คือ 5, 10 และ 20 วัน ในบ่อบำบัดจำลองทั้ง 3 บ่อ และควบคุมระยะเวลาการเก็บกักน้ำเสียเท่ากับ 10 วัน ในบ่อบำบัดจำลองที่ใส่เพียงแหน (บ่อควบคุมการทดลอง) เพื่อเปรียบเทียบความสามารถและประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียในถังกลางพลาสติก, เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ (k_T) ในการบำบัดน้ำเสีย สำหรับซีโอดี

(2) ติดตั้งหลอดไฟแอลอีดีสีแดงรอบบ่อบำบัดจำลอง

ทำการติดตั้งหลอดไฟแอลอีดีสีแดงรอบบ่อบำบัดจำลองและบ่อควบคุมการทดลอง ดังภาพที่ 3.3 มีค่าความเข้มของแสงประมาณ 150 ไมโครโมล/ตร.ม. - วินาที ดังภาพที่ 3.4 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้แก่บ่อบำบัดจำลองในการบำบัดน้ำเสียชุมชน และทำการเติมน้ำเสียและควบคุมระยะเวลาการเก็บกักน้ำเสียเท่ากับ 10 วัน เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพระบบบำบัดน้ำเสียแบบติดตั้งและไม่ติดตั้งหลอดไฟแอลอีดีสีแดง



ภาพที่ 3.3 บ่อบำบัดจำลองติดตั้งหลอดไฟแอลอีดีสีแดง



ภาพที่ 3.4 เครื่องมือวัดความเข้มของแสง

(3) เติมสารซัลฟาเมโทซาโซลในน้ำเสียที่ระยะเวลาการเก็บกักน้ำเสียเท่ากับ 10 วัน ในบ่อบำบัดจำลองที่ติดตั้งหลอดไฟแอลอีดีสีแดง

ทำการเติมหาซัลฟาเมโทซาโซลในน้ำเสียปริมาณ 35.60 ไมโครกรัม/ล. ควบคุมระยะเวลาการเก็บกักน้ำเสียเท่ากับ 10 วัน และทำการวัดปริมาณการตกค้างของสารเภสัชกรรม

3.2.4 วิเคราะห์และประมวลผลการทดลอง

ทำการวิเคราะห์และประมวลผลตัวอย่างน้ำจากแบบจำลองทั้ง 4 บ่อ เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ในการบำบัดน้ำเสีย จากสมการที่ (3.1) และ (3.2) (Polprasert & Kootatep, 2017) และประสิทธิภาพการกำจัดสารเภสัชกรรมตกค้างด้วยวิธีการ LC-MS/MS โดยทำการวิเคราะห์ที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา

จากขนาดของบ่อบำบัดจำลอง คือ 20×40×30 ซม. (กว้าง×ยาว×สูง) โดยดำเนินการให้เงื่อนไขเป็นไปตามถึงปฏิกิริยาแบบท่อไหล (Plug Flow)

$$\frac{C_0}{C_e} = e^{-k_T t} \quad (3.1)$$

$$k_T = k_{20} (1.06)^{T-20} \quad (3.2)$$

เมื่อ

C_0 = ความเข้มข้นของน้ำเสียเข้าระบบ, มก./ล.

C_e = ความเข้มข้นของน้ำเสียออกระบบ, มก./ล.

t = ระยะเวลาที่เก็บน้ำเสียอยู่ในระบบ, วัน

k_T = ค่าสัมประสิทธิ์ ขึ้นกับอุณหภูมิ T , วัน⁻¹

k_{20} = ค่าสัมประสิทธิ์ ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส (°C)

T = อุณหภูมิของน้ำ, องศาเซลเซียส (°C)

3.3 รวบรวมข้อกำหนดและมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง

ศึกษาและรวบรวมข้อกำหนดมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง

3.3.1 มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคาร

มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด มีการแบ่งประเภทอาคารเป็นประเภท ก - จ โดยมีค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด ตามประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (กรมควบคุมมลพิษ, 2537)

3.4 การเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

3.4.1 การเก็บข้อมูลเบื้องต้น

ในการศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดจำลองในการบำบัดน้ำเสีย จะทำการเก็บตัวอย่างน้ำจากบ่อบำบัดจำลองทั้ง 4 บ่อ มาวิเคราะห์คุณภาพน้ำโดยใช้พารามิเตอร์ คือ ซีไอดี สารแขวนลอย โคลิฟอร์มแบคทีเรีย และ ทีเคเอ็น

ในการทดลองนี้ดำเนินการเป็นระยะเวลา 7 เดือน (กันยายน 2561 - เมษายน 2562) โดยเก็บตัวอย่างน้ำจากบ่อบำบัดจำลองสัปดาห์ละ 1 ครั้ง เพื่อนำมาวิเคราะห์คุณภาพน้ำตามพารามิเตอร์ที่กำหนดไว้ และเก็บแชนครึ่งหนึ่งของบ่อบำบัดจำลองมาชั่งน้ำหนักเปียกสัปดาห์ละ 1 ครั้ง เพื่อวัดและเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของแชนในระยะเวลาการเก็บกักน้ำเสียที่แตกต่างกัน

3.4.2 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

นำตัวอย่างน้ำจากบ่อบำบัดจำลองทั้ง 4 บ่อ มาทดสอบคุณภาพน้ำ ซึ่งมีวิธีการวิเคราะห์ ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1

วิธีการวิเคราะห์

ดัชนี	วิธีการวิเคราะห์
COD	วิธีรีฟลักซ์แบบปิด (Closed reflux)
DO	Portable Dissolved Oxygen Meter
SS	Gravimetric Method
TKN	Semi-Micro-Kjeldahl
Coliform Bacteria	Test Kit Microbial “Compact Dry EC” for E. coli and Coliform
<i>E. coli</i>	Test Kit Microbial “Compact Dry EC” for E. coli and Coliform
ความเข้มข้นของแสงจากหลอดไฟแอลอีดีสี แดงที่ใช้ในการการทดลอง	MQ - 200 Apogee® quantum meter, USA
ความเข้มข้นของยา	LC - MS/MS
ชนิดของสาหร่ายและโปรโตซัว	กล้องจุลทรรศน์ ชนิด 2 ตา Binocular Microscope รุ่น Primo Star ยี่ห้อ Carl Zeiss, Germany กำลังขยาย 40 – 100 X
น้ำหนักเปียกของเห่น	เครื่องชั่งน้ำหนัก Sartorius, Germany

3.5 แผนผังการดำเนินงาน

การดำเนินงานวิทยานิพนธ์ได้มีการวางแผนจะดำเนินการตามตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2

แผนผังการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ปีการศึกษา 2561 (พ.ศ.2561 – พ.ศ.2562)				
	ก.ค. - ส.ค. 2561	ก.ย. - ต.ค. 2561	พ.ย. - ธ.ค. 2561	ม.ค. - ก.พ. 2562	มี.ค. - เม.ย. 2562
1.ศึกษาและรวบรวม ข้อมูลที่เกี่ยวข้อง					
2.ศึกษาตัวแปรต่าง ๆ ในการวิเคราะห์คุณภาพ น้ำ					
3.สร้างแบบจำลองบ่อ บำบัด					
4.ทำการวิเคราะห์และ ประมวลผลตัวอย่างน้ำ					
5.รวบรวมข้อมูลและ สรุปผลการศึกษา					

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยแหนด

จากการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียชุมชนจากบ่อบำบัดจำลองด้วยแหนดและตัวกลางพลาสติก เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนระหว่างบ่อบำบัดจำลองด้วยแหนดที่บรรจุและไม่บรรจุตัวกลางพลาสติก

4.1.1 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยแหนดที่บรรจุและไม่บรรจุตัวกลางพลาสติก

จากการทดลองเติมน้ำเสียชุมชนที่มีความเข้มข้นเท่ากันเข้าสู่ระบบบำบัดจำลองด้วยแหนดที่บรรจุตัวกลางพลาสติก ในระยะเวลาการเก็บกักน้ำเสียต่างกันคือ 5, 10 และ 20 วัน และทดลองเติมน้ำเสียชุมชนที่มีความเข้มข้นเท่ากันเข้าสู่ระบบบำบัดจำลองด้วยแหนดเพียงอย่างเดียว ในระยะเวลาการเก็บกักน้ำเสีย 10 วัน เมื่อนำน้ำที่ออกจากระบบมาวัดคุณภาพน้ำพบว่าในแต่ละบ่อมีประสิทธิภาพในการลดซีไอดี สารแขวนลอย โคลิฟอร์มแบคทีเรีย และ ทีเคเอ็น แตกต่างกัน ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1

ค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำจากบ่อบำบัดจำลองด้วยแหนดที่บรรจุและไม่บรรจุตัวกลางพลาสติก

พารามิเตอร์	น้ำเสียเข้า	น้ำที่ออกจากระบบ		
		ระยะเวลาการเก็บกักน้ำเสีย (HRT), วัน		
		5	10	20
ซีไอดี (COD, filtered), มก./ล.	110±15	70±16	65±36 (75)*	25±6
สารแขวนลอย (SS), มก./ล.	22±18	8±1	6±3 (35)*	5±6

ตารางที่ 4.1

ค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำจากบ่อบำบัดจำลองด้วยแทนที่บรรจุและไม่บรรจุตัวกลางพลาสติก (ต่อ)

พารามิเตอร์	น้ำเสียเข้า	น้ำที่ออกจากระบบ		
		ระยะเวลาการเก็บกักน้ำเสีย (HRT), วัน		
		5	10	20
โคลิฟอร์มแบคทีเรีย (Coliform Bacteria), ซีเอฟยู/100 มล.	875	798	246 (325)*	62
ไนโตรเจนในรูป ทีเคเอ็น (TKN), มก.ไนโตรเจน/ล.	6	ไม่พบ	ไม่พบ (2)*	ไม่พบ

หมายเหตุ. * ค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำจากบ่อบำบัดจำลองด้วยแทนที่ไม่บรรจุตัวกลางพลาสติก

จากตารางที่ 4.1 พบว่าระบบบำบัดจำลองที่ระยะเวลาการเก็บกักน้ำเสีย (HRT) ต่างกันคือ 5, 10 และ 20 วัน มีประสิทธิภาพในการลดซีโอดีเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บกักน้ำเสียที่เพิ่มขึ้น คือ 36.11, 40.74 และ 76.85 % มีประสิทธิภาพในการลดสารแขวนลอย 63.64, 72.73 และ 77.27 % ประสิทธิภาพในการลดโคลิฟอร์มแบคทีเรีย 8.80, 71.88 และ 92.91 % ตามลำดับ และสามารถลดค่าทีเคเอ็นได้ทั้งหมด เนื่องจากแทนสามารถดูดซับธาตุอาหารในน้ำเสียไปใช้ในการเจริญเติบโตโดยสารอินทรีย์ในน้ำเสียจะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรีย (ปิยะฉัตร เยี่ยมฉวี, 2546) ซึ่งสอดคล้องกับ Iqbal (1999) ที่พบว่าแทนสามารถช่วยปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียได้โดยส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากแบคทีเรียและจุลินทรีย์ในระบบที่เกาะอยู่ที่รากของแทนสามารถแปรสภาพธาตุอาหารจากสารอินทรีย์ให้มาอยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ นอกจากนี้ยังมีสาหร่ายที่เกิดขึ้นเองในระบบที่สามารถดูดซับธาตุอาหารในน้ำเสียได้เช่นกัน สอดคล้องกับผลการวิจัยของนิภาพร เครือสนธิ, ชีวิน อรรถสาสน์ และ ปิยะบุตร วานิชพงษ์พันธุ์ (2558)

ผลการวิเคราะห์น้ำเสียชุมชนที่ผ่านการบำบัดในบ่อบำบัดจำลองด้วยแทนโดยไม่บรรจุตัวกลางพลาสติกที่ระยะเวลาการเก็บกักน้ำเสีย 10 วัน มีประสิทธิภาพในการลดซีโอดี โคลิฟอร์มแบคทีเรีย และ ทีเคเอ็น 31.82, 66.67 และ 62.86 % ตามลำดับ มีความเข้มข้นของสารแขวนลอยในระบบเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากในบ่อควบคุมการทดลองไม่มีตัวกลางพลาสติกซึ่งทำหน้าที่เพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสแก่จุลินทรีย์และสารแขวนลอยในบ่อบำบัดจำลอง อีกทั้งตะกอนจากการตายของแทนและสาหร่ายที่กระจายในน้ำเสีย ส่งผลให้ในระบบมีความเข้มข้นของสารแขวนลอยสูงขึ้น

กลไกหลักในการลดค่าซีโอดีของระบบพืชน้ำผสมผสานเป็นไปตามสมการที่ (2.2) คือ แบคทีเรียใช้ออกซิเจนที่เกิดจากการสังเคราะห์แสงจากแหนและสาหร่ายดังสมการที่ (2.1) ในการย่อยสลายสารอินทรีย์หรือค่าซีโอดี

จากผลการทดลองสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์ของแหนในการบำบัดน้ำเสียได้ โดยดำเนินการให้เงื่อนไขเป็นไปตามถึงปฏิกิริยาแบบท่อไหล (Plug Flow) จากสมการที่ (3.1) และ (3.2) จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ของการบำบัดซีโอดีที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส (k_{30}) เท่ากับ 0.071 วัน^{-1} และ ค่าสัมประสิทธิ์ของการบำบัดซีโอดีที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส (k_{20}) เท่ากับ 0.040 วัน^{-1} ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าสัมประสิทธิ์ของการบำบัดซีโอดีที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส โดยระดมอากาศน้ำเสียชุมชนที่มีค่าเท่ากับ 0.70 วัน^{-1} (พรชัย สีสานภาพ, 2535) แต่ระบบดังกล่าวจะมีค่าใช้จ่ายพลังงานในการเติมอากาศสูง และค่าสัมประสิทธิ์เหล่านี้สามารถนำมาใช้ในการออกแบบระบบพืชน้ำผสมผสานเพื่อบำบัดน้ำเสียชุมชนได้

4.1.2 การวิเคราะห์น้ำหนักของแหนที่เพิ่มขึ้นในระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง

จากการทดลองเติมน้ำเสียชุมชนที่มีความเข้มข้นเท่ากันเข้าสู่ระบบบำบัดจำลองด้วยแหนที่บรรจุตัวกลางพลาสติก ในระยะเวลาการเก็บกักน้ำเสียต่างกันคือ 5, 10 และ 20 วัน และ บ่อบำบัดจำลองด้วยแหนที่ไม่บรรจุตัวกลางพลาสติก ในระยะเวลาการเก็บกักน้ำเสียที่ 10 วัน เมื่อนำแหนในระบบบำบัดน้ำเสียจำลองมาชั่งน้ำหนักเปียก พบว่าในแต่ละบ่อมีน้ำหนักของแหนเพิ่มขึ้นที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2

ค่าเฉลี่ยน้ำหนักของแหนจากบ่อบำบัดจำลองด้วยแหนที่บรรจุและไม่บรรจุตัวกลางพลาสติก

พารามิเตอร์	ระยะเวลาการเก็บกักน้ำเสีย (HRT), วัน		
	5	10	20
น้ำหนักเปียกของแหนก่อนการบำบัด, กก./ม ² .	0.63	0.63 (0.63)*	0.63
น้ำหนักเปียกของแหนหลังการบำบัด, กก./ม ² .	0.70	0.65 (0.73)*	0.60

หมายเหตุ. * ค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำจากบ่อบำบัดจำลองด้วยแหนโดยไม่บรรจุตัวกลางพลาสติก

จากตารางที่ 4.2 พบว่าระบบบำบัดจำลองด้วยแหวนและบรรจุตัวกลางพลาสติก ที่ระยะเวลาการเก็บกักน้ำเสีย 5, 10 และ 20 วัน แหวนมีน้ำหนักรวมเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บกักน้ำเสียที่น้อยลง เนื่องจากในระยะเวลาการเก็บกักน้ำเสียที่ 5 วัน มีการเติมน้ำเสียเข้าสู่ระบบในปริมาณมากที่สุด จึงมีสารอาหารให้แก่แหวนเป็นจำนวนมาก ทำให้น้ำหนักเฉลี่ยของแหวนที่ระยะเวลาการเก็บกักน้ำเสีย 5 วัน มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นมากที่สุด ในทางกลับกันระยะเวลาการเก็บกักน้ำเสีย 20 วัน มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นน้อยที่สุด เนื่องจากการเติมน้ำเสียเข้าสู่ระบบในปริมาณน้อยที่สุดและมีระยะเวลายาวนาน สารอาหารอาจไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของแหวนและสาหร่าย ทำให้น้ำหนักเฉลี่ยของแหวนที่ระยะเวลาการเก็บกักน้ำเสีย 20 วัน มีน้ำหนักลดลง เนื่องจากอาจมีการตายของแหวน และพบว่าระบบบำบัดจำลองด้วยแหวนที่ไม่บรรจุตัวกลางพลาสติกที่ระยะเวลาการเก็บกักน้ำเสีย 10 วัน มีน้ำหนักของแหวนเพิ่มขึ้นมากที่สุดเมื่อเทียบกับในระบบบำบัดจำลองด้วยแหวนและบรรจุตัวกลางพลาสติก เนื่องจากในระบบไม่มีตัวกลางพลาสติกที่เป็นแหล่งยึดเกาะให้กับสาหร่ายหรือแบคทีเรียไบโอฟิล์ม สารอาหารที่ได้รับมาจากการเติมน้ำเสียเข้าสู่ระบบจึงไม่ถูกแบ่งไปให้สิ่งมีชีวิตบนตัวกลางพลาสติก ส่งผลให้แหวนมีการเจริญเติบโตได้ดี

4.1.3 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยแหวนที่บรรจุและไม่บรรจุตัวกลางพลาสติกที่ติดตั้งหลอดไฟแอลอีดี (LED) สีแดง

จากการทดลองเติมน้ำเสียชุมชนที่มีความเข้มข้นเท่ากันเข้าสู่ระบบบำบัดจำลองที่ติดตั้งหลอดไฟ LED สีแดงด้วยแหวนที่บรรจุและไม่บรรจุตัวกลางพลาสติกในระยะเวลาการเก็บกักน้ำเสียที่ 10 วัน เมื่อนำน้ำที่ออกจากระบบมาวัดคุณภาพน้ำพบว่าในแต่ละบ่อมีประสิทธิภาพในการลดซีโอดี สารแขวนลอย โคลิฟอร์มแบคทีเรีย และ ทีเคเอ็น แตกต่างกัน ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3

ค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำจากบ่อบำบัดจำลองด้วยแหวนบรรจุและไม่บรรจุตัวกลางพลาสติกที่ติดตั้งหลอดไฟแอลอีดีสีแดงระยะเวลาการเก็บกักน้ำเสีย 10 วัน

พารามิเตอร์	น้ำเสียเข้า	น้ำที่ออกจากระบบ
ซีโอดี (COD, filtered), มก./ล.	164±41	48±6 (74±9)*
สารแขวนลอย (SS), มก./ล.	31±4	11±4 (19±5)*

ตารางที่ 4.3

ค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำจากบ่อบำบัดจำลองด้วยเหินบรรจุและไม่บรรจุตัวกลางพลาสติกที่ติดตั้งหลอดไฟแอลอีดีสีแดงระยะเวลาการเก็บกักน้ำเสีย 10 วัน (ต่อ)

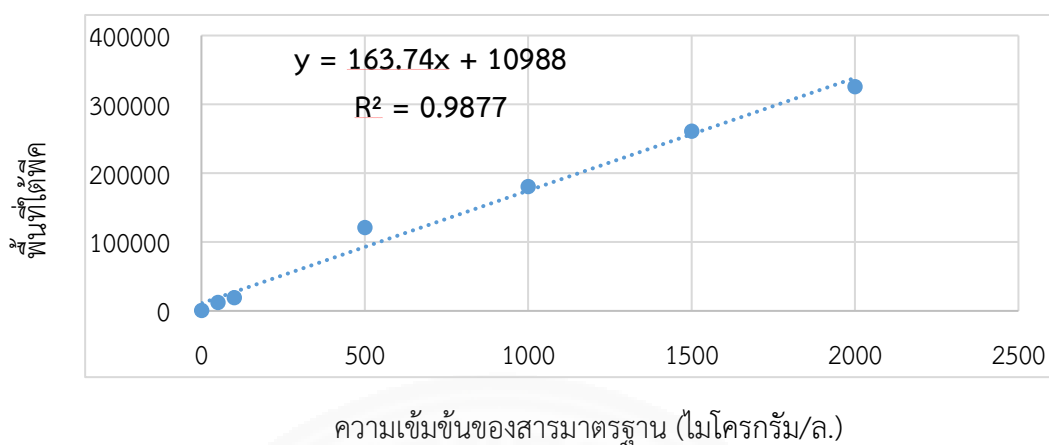
พารามิเตอร์	น้ำเสียเข้า	น้ำที่ออกจากระบบ
โคลิฟอร์มแบคทีเรีย (Coliform Bacteria), ซีเอฟยู/100 มล.	163	83 (108)*
ไนโตรเจนในรูป ทีเคเอ็น (TKN), มก.ไนโตรเจน/ล.	5.6	ไม่พบ

หมายเหตุ. * ค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำจากบ่อบำบัดจำลองด้วยเหินโดยไม่บรรจุตัวกลางพลาสติก

จากตารางที่ 4.3 พบว่าน้ำเสียชุมชนที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบพืชน้ำผสมผสานที่ติดตั้งหลอดไฟแอลอีดีสีแดง ทั้งบรรจุและไม่บรรจุตัวกลางพลาสติกที่ระยะเวลาการเก็บกักน้ำเสียเท่ากับ 10 วัน พบว่าระบบบำบัดจำลองที่ติดตั้งหลอดไฟแอลอีดีสีแดง มีประสิทธิภาพในการลดซีไอดี 70.07 % และ 54.88 % ตามลำดับ ซึ่งมีประสิทธิภาพในการลดซีไอดีได้มากกว่าถึง 23 - 29% เมื่อเทียบกับบ่อบำบัดจำลองที่ไม่ติดตั้งหลอดไฟแอลอีดีสีแดงที่ระยะเวลาการเก็บกักน้ำเสียเดียวกัน เนื่องจากหลอดไฟแอลอีดีสีแดง มีความเข้มข้นของแสงและความยาวคลื่นที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์แสงของพืช ทำให้มีปริมาณของเหินและสาหร่ายที่ดูดซับอาหารจากน้ำเสียได้มากขึ้น รวมทั้งการผลิออกซิเจน และรากของพืชซึ่งเป็นที่อยู่อาศัยของจุลินทรีย์ จึงทำให้มีจำนวนจุลินทรีย์เพิ่มมากขึ้นและมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้มากขึ้น

4.1.4 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียชุมชนที่มีสารเภสัชกรรมตกค้างด้วยเหินและตัวกลางพลาสติกที่ติดตั้งหลอดไฟแอลอีดีสีแดง

การวิเคราะห์ความเข้มข้นของตัวยาฆ่าพยาธิโซล ใช้วิธี LC - MS/MS โดยมีกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นต่าง ๆ ของสารมาตรฐานและพื้นที่ใต้พีค (Peak Area) ดังแสดงในภาพที่ 4.1 ได้กราฟมาตรฐานเป็นสมการเส้นตรง คือ $y = 163.74x + 10988$ และได้ค่า Correlation Coefficient (R^2) เท่ากับ 0.9877



ภาพที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นต่าง ๆ ของสารมาตรฐานและพื้นที่ใต้พีค (Peak Area)

จากการทดลองเติมยาซัลฟาเมโทซาโซลในน้ำเสียปริมาณ 35.60 ไมโครกรัม/ล. ควบคุม ระยะเวลาการเก็บกักน้ำเสียที่ 10 วัน และทำการวัดปริมาณการตกค้างของตัวยาในบ่อบำบัด จำลองที่ติดตั้งหลอดไฟแอลอีดีสีแดง บรรจุแวนและตัวกลางพลาสติก เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการ ลดสารเภสัชกรรมตกค้าง และเมื่อเวลาผ่านไป 7 วัน นำน้ำที่ออกจากระบบมาวัดความเข้มข้นของตัวยาซัลฟาเมโทซาโซล พบว่าระบบพืชน้ำผสมผสานสามารถลดสารเภสัชกรรมตกค้างได้ดี ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4

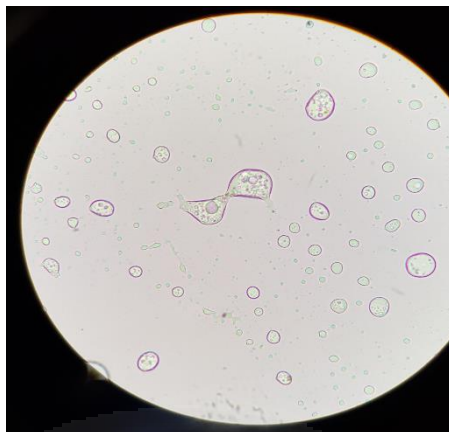
ความเข้มข้นเฉลี่ยของซัลฟาเมโทซาโซลจากบ่อบำบัดจำลองด้วยแวนและตัวกลางพลาสติกที่ติดตั้งหลอดไฟแอลอีดีสีแดง

พารามิเตอร์	น้ำเสียเข้า	น้ำที่ออกจากระบบ
ความเข้มข้นของตัวยาซัลฟาเมโทซาโซล, ไมโครกรัม/ล.	35.60	0.02

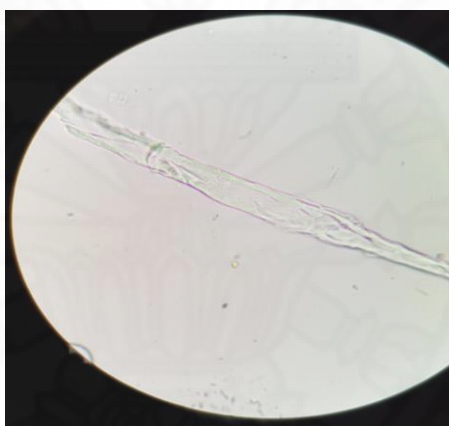
จากตารางที่ 4.4 เมื่อเติมยาซัลฟาเมโทซาโซลในน้ำเสียปริมาณ 35.60 ไมโครกรัม/ล. ควบคุมระยะเวลาการเก็บกักน้ำเสียที่ 10 วัน ลงในบ่อบำบัดจำลองที่ติดตั้งหลอดไฟ แอลอีดีสีแดง บรรจุแวนและตัวกลางพลาสติก พบว่าน้ำที่ออกจากระบบมีค่าความเข้มข้น ของซัลฟาเมโทซาโซลลดลง เนื่องจากในระบบมีการติดตั้งหลอดไฟแอลอีดีสีแดงตลอด 24 ชั่วโมง ซึ่ง

สามารถลดความเข้มข้นของยาได้รวดเร็วยิ่งขึ้น จึงทำให้ระบบพืชน้ำผสมผสานนี้มีประสิทธิภาพในการลดสารเภสัชกรรมตกค้างได้มากกว่า 99 % ซึ่งกลไกหลักในการย่อยสลายยาซัลฟาเมโทซาโซลเกิดจากปฏิกิริยาของแบคทีเรียตามสมการที่ (2.2) นอกจากนี้ยังมีกลไกอื่น ๆ เช่น การดูดซับของแวนและสาหร่าย รวมถึงการตกตะกอนของยาซัลฟาเมโทซาโซล

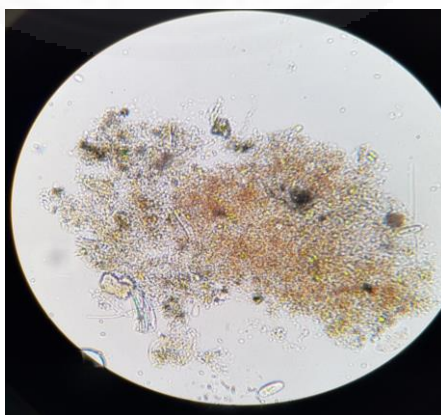
จากการทดลองเติมยาซัลฟาเมโทซาโซลในระบบบำบัดจำลองที่ติดตั้งหลอดไฟแอลอีดีสีแดง พบว่ามีสาหร่ายเติบโตในระบบเป็นจำนวนมาก จึงได้ทำการวิเคราะห์ค่า VSS ของสาหร่ายในระบบบำบัดจำลอง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 10.61 กรัม/ลิตร และตรวจสอบสาหร่ายและโปรโตซัวในระบบบำบัดจำลองด้วยกล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 40 – 100 เท่า พบว่าในระบบบำบัดจำลองมีสาหร่ายชนิดต่าง ๆ ได้แก่ *Sphaerocystis* sp. ดังภาพที่ 4.2 *Mougeotia* sp. ดังภาพที่ 4.3 และ *Navicula* sp. ดังภาพที่ 4.4 และพบโปรโตซัวในปริมาณที่แตกต่างกันคือ ในน้ำเสียเข้าระบบพบโปรโตซัวชนิด *Arcella* sp., *Paramecium* sp., *Peranema pleururum* Skuja, *Euglena* sp. และ *Menoidium pellucidum* Perty ดังภาพที่ 4.5 น้ำที่ออกจากบ่อบำบัดจำลองที่ติดตั้งหลอดไฟแอลอีดีสีแดงบรรจุแวน พบโปรโตซัวชนิด *Scyphidia* sp. และ *Euglena tripteris* ดังภาพที่ 4.6 และ น้ำที่ออกจากบ่อบำบัดจำลองที่ติดตั้งหลอดไฟแอลอีดีสีแดงบรรจุแวนและตัวกลางพลาสติกโดยเติมยาซัลฟาเมโทซาโซล พบโปรโตซัวชนิด *Tintinnopsis radix* และ *Cephalodella* sp. ดังภาพที่ 4.7 พบว่าโปรโตซัวในน้ำที่ออกจากบ่อบำบัดจำลองที่ติดตั้งหลอดไฟแอลอีดีสีแดงบรรจุแวนและตัวกลางพลาสติกโดยเติมยาซัลฟาเมโทซาโซล โดยภาพรวมมีจำนวนน้อยมากเมื่อเทียบกับจำนวนของโปรโตซัวในน้ำเสียเข้าระบบและน้ำที่ออกจากบ่อบำบัดจำลองที่ติดตั้งหลอดไฟแอลอีดีสีแดงบรรจุแวนและไม่เติมตัวยาสัลฟาเมโทซาโซล ซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้สาหร่ายมีจำนวนมากขึ้นในระบบบำบัดจำลองที่เติมตัวยาสัลฟาเมโทซาโซล และสันนิษฐานว่ายาซัลฟาเมโทซาโซลมีความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของโปรโตซัว ทำให้มีปริมาณสาหร่ายเพิ่มขึ้นแต่ไม่มีผลกระทบต่อผลการเจริญเติบโตของแวน แต่การสันนิษฐานนี้ควรมีการทดลองเพิ่มเติมเพื่อยืนยันผลการวิจัย (Zhang et al., 2017)



ภาพที่ 4.2 สำหรับชนิด *Sphaerocystis* ในบ่อบำบัดจำลอง



ภาพที่ 4.3 สำหรับชนิด *Mougeotia* ในบ่อบำบัดจำลอง



ภาพที่ 4.4 สำหรับชนิด *Navicula* ในบ่อบำบัดจำลอง



ภาพที่ 4.5 โปรโตซัวในน้ำเสียเข้าระบบ



ภาพที่ 4.6 โปรโตซัวในน้ำที่ออกจากบ่อบำบัดจำลองที่ติดตั้งหลอดไฟแอลอีดีสีแดงบรรจุแทน



ภาพที่ 4.7 โปรโตซัวในน้ำที่ออกจากบ่อบำบัดจำลองที่ติดตั้งหลอดไฟแอลอีดีสีแดงบรรจุแทนและ
ตัวกลางพลาสติกโดยเติมยาฆ่าฟามะโทซาโซล

4.2 ศักยภาพการผลิตแทนและการนำน้ำที่บำบัดแล้วกลับมาใช้ใหม่

4.2.1 ศักยภาพการผลิตแทน

จากการทดลองเติมน้ำเสียในระบบบำบัดจำลองด้วยแทนและตัวกลางพลาสติก เมื่อเวลาผ่านไปพบว่าแทนมีปริมาณเพิ่มขึ้นดังตารางที่ 4.2 เมื่อทำการเก็บเกี่ยวแทนที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียแล้ว สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างมากมาย เช่น อาหารเป็ด ห่าน และปลา เป็นต้น และนอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงและปุ๋ยหมักชีวภาพได้

4.2.2 การนำน้ำที่บำบัดแล้วกลับมาใช้ใหม่

จากการทดลองเมื่อนำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมาตรวจคุณภาพ พบว่าน้ำที่บำบัดแล้วอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้ง ประเภท ก สามารถนำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมาใช้ทำความสะอาด และรดน้ำต้นไม้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียชุมชนจากบ่อบำบัดจำลองด้วยแหนและตัวกลางพลาสติก จำนวน 3 บ่อ ขนาด $20 \times 40 \times 30$ ซม. (กว้าง×ยาว×สูง) ในระยะเวลาการเก็บกักน้ำเสีย (HRT) ต่างกันคือ 5, 10 และ 20 วัน กำหนดให้อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate, OLR) ประมาณ 12 - 50 กก.-ชีโอดี/(เฮกตาร์-วัน) โดยบรรจุตัวกลางพลาสติกปริมาณ $50 \text{ ม.}^2/\text{ม.}^3$ และใส่แหนประมาณ $0.63 \text{ กก.}/\text{ม.}^2$ ส่วนอีก 1 บ่อ บรรจุเพียงแหนในปริมาณที่เท่ากัน ซึ่งเป็นบ่อควบคุมการทดลอง

จากผลการทดลองมีข้อสรุป ดังนี้

1. ระบบบำบัดน้ำเสียจำลองด้วยแหนและตัวกลางพลาสติกจะมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียตามระยะเวลาการเก็บกักน้ำเสียที่ 5, 10 และ 20 วัน และมีประสิทธิภาพในการลดชีโอดี 36.11, 40.74 และ 76.85% มีประสิทธิภาพในการลดสารแขวนลอย 63.64, 72.73 และ 77.27% และมีประสิทธิภาพในการลดโคลิฟอร์มแบคทีเรีย 8.80, 71.88 และ 92.91 % ตามลำดับ
2. แหนในระบบบำบัดน้ำเสียจำลองมีน้ำหนักไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญในระหว่างการทดลอง ซึ่งแหนสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่าง ๆ ต่อได้ เช่น อาหารสัตว์ หรือ ปุ๋ยหมัก เป็นต้น
3. ค่าสัมประสิทธิ์ของการบำบัดชีโอดีที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส (k_{20}) ได้เท่ากับ 0.040 วัน^{-1} ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียได้
4. ระบบบำบัดน้ำเสียจำลองที่ติดตั้งหลอดไฟแอลอีดีสีแดง ระยะเวลาการเก็บกักน้ำเสียที่ 10 วัน มีประสิทธิภาพในการลดชีโอดีได้มากกว่าระบบบำบัดน้ำเสียจำลองที่ไม่ได้ติดตั้งหลอดไฟแอลอีดีสีแดง 23 – 29 % และสามารถลดสารเภสัชกรรมตกค้างได้มากกว่า 99 %
5. ระบบบำบัดน้ำเสียจำลองด้วยแหนและตัวกลางพลาสติกที่ติดตั้งหลอดไฟแอลอีดีสีแดง มีข้อดี คือ สามารถทำได้ง่าย ช่วยลดขยะประเภทขวดพลาสติกได้ และสามารถนำไปใช้กับสถานที่ที่มีพื้นที่จำกัดและสามารถติดตั้งในอาคารได้

รายการอ้างอิง

หนังสือและบทความในหนังสือ

- พรชัย ลีลานุภาพ . (2535). ค่า K ของน้ำเสียบางประเภทในประเทศไทยที่บำบัดโดยสระเติมอากาศ.
กรุงเทพมหานคร : ฐานข้อมูลวิทยานิพนธ์ไทย.
- สมทิพย์ ด้านธีรวิชัย และคณะ. (2553). คุณภาพน้ำและการจัดการ. สงขลา : ศูนย์ความเป็นเลิศ
แห่งชาติด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตรายศูนย์เครือข่าย
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- สุชาติ ศรีเพ็ญ. (2542). พรรณไม้น้ำในประเทศไทย. กรุงเทพฯ: อมรินทร์บุ๊คเซนเตอร์.

บทความวารสาร

- จรงค์ ผลประเสริฐ. (กันยายน-ตุลาคม 2543). ระบบบำบัดแบบธรรมชาติสำหรับการควบคุมมลพิษ
และการนำของเสียกลับมาใช้ใหม่. วารสารวิทยาศาสตร์, 54(5), 272-287.
- ดริกา วสุนธรากุล และ สุตสาคร พุกงาม. (กรกฎาคม-ธันวาคม 2548). การใช้พืชน้ำในกระบวนการ
บำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ. วารสารวิทยาศาสตร์ทักษิณ, 2(2), 44-55.
- นภัทร วัจนเทพินทร์ และไชยยันต์ บุญมี. (มกราคม-กุมภาพันธ์ 2560). ไดโอดเปล่งแสงสีอะไร
เหมาะสมกับการปลูกพืช ?. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 25(1), 158-176.
- นิภาพร เครือสนธิ, ชีวิน อรรถสาสน์ และ ปิยะบุตร วานิชพงษ์พันธุ์. (2558). การใช้แหนเป็ด
(*Lemnaceae minor*) ในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงปลานิลในระบบน้ำหมุนเวียน. การ
ประชุมสัมมนาวิชาการนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติและนานาชาติ เครือข่ายบัณฑิตศึกษา
มหาวิทยาลัยราชภัฏภาคเหนือ ครั้งที่ 15, มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์, จ.นครสวรรค์,
63-70.

วิทยานิพนธ์

- ปิยะฉัตร เยี่ยมฉวี. (2546). การใช้แหนเป็ดเล็ก (*Lemna perpusilla* Torr.) ช่วยปรับปรุงคุณภาพน้ำ
ทิ้งชุมชนที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียขั้นที่สอง. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต).
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.

สื่ออิเล็กทรอนิกส์

กรมควบคุมมลพิษ. (2560). คู่มือระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน. สืบค้นจาก

<http://www.oic.go.th/FILEWEB/CABINFOCENTER3/DRAWER056/GENERAL/DATA0000000973.PDF>

กรมควบคุมมลพิษ. (2553). มาตรฐานคุณภาพน้ำ. สืบค้นจาก

http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_water04.html

กรมควบคุมมลพิษ. (2561). ระบบบำบัดน้ำเสีย. สืบค้นจาก

http://www.pcd.go.th/info_serv/water_wt.html

กรมควบคุมมลพิษ. (2537). กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและ

บางขนาด. สืบค้นจาก http://infofile.pcd.go.th/law/3_1_water.pdf?CFID=2684291&CFTOKEN=99616771

บรมพจน์ พญินาสน์ และ ลีณา สุนทรสุข. (2560). อันตรายจากยาตกค้างในสิ่งแวดล้อม. สืบค้น

จาก <http://www.pharmacy.mahidol.ac.th/th/service-knowledge-article-info.php?id=390>

เบญจวรรณ เรืองขจร. (2557). การสังเคราะห์ด้วยแสง. สืบค้นจาก

<https://sites.google.com/site/kawfangjaa/home>

ปานฟ้า คำนาสิก. (2561). ยาน้ำที่เหลือเมื่อผู้ป่วยกลับบ้านจะมีวิธีทิ้งหรือกำจัดอย่างไร. สืบค้นจาก

http://prachanath.su.ac.th/DIS/uti_uti/answerq/ansform.php?Q_id=282

ยูเนียนทอย. (2556). คุณสมบัติต่าง ๆ ของขวดพลาสติก. สืบค้นจาก

<http://www.uniontoy.com/%20articles/42072148/คุณสมบัติต่างๆ-ของขวดพลาสติก.html>

ลูกซ์ รอยัล. (2558). สาเหตุและผลกระทบจากมลพิษทางน้ำ. สืบค้นจาก [https://www.lux.co.th](https://www.lux.co.th/cpt_blog/cause-and-impact-of-water-pollution/)

[/cpt_blog/cause-and-impact-of-water-pollution/](https://www.lux.co.th/cpt_blog/cause-and-impact-of-water-pollution/)

วิลาส รัตนานุกุล. (2553). แหน (Duckweed). สืบค้นจาก <http://biology.ipst.ac.th/?p=880>

สำนักงานคณะกรรมการพิเศษเพื่อประสานงานโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ. (2552). การ

บำบัดน้ำเสียโดยใช้ธรรมชาติ. สืบค้นจาก <http://km.rdpb.go.th/Knowledge/View/76>

สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2561). พระราชบัญญัติส่งเสริมและ

รักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (ฉบับที่ 2) พ.ศ.2561. สืบค้นจาก

https://www.lux.co.th/cpt_blog/cause-and-impact-of-water-pollution/

อภัย ราษฎร์วิจิตร. (2556). ซัลฟาเมโทซาโซล(Sulfamethoxazole). สืบค้นจาก

[http://haamor.com /th/ซัลฟาเมโทกซาโซน/](http://haamor.com/th/ซัลฟาเมโทกซาโซน/)

อเนตต์ออส. (2560). ยาปฏิชีวนะ. สืบค้นจาก <https://www.honestdocs.co/44-th-what-are-antibiotics>

อควา นิชิฮาร่า คอร์ปอเรชั่น. (2560). *Plastic Media – ตัวกลางพลาสติก*. สืบค้นจาก

<http://www.aqua.co.th/product/plastic-media-ตัวกลางพลาสติก/>

Books and Book Articles

APHA, AWWA, WEF. (2017). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (23rd ed.). United Book Press. The United States of America.

Iqbal, S., (1999). Duckweed aquaculture potentials: Possibilities and limitations for combined wastewater treatment and animal feed production in developing countries. EAWAG, SANDEC Report No. 6/99.

Polprasert & Koottatep. (2017). Organic Waste Recycling: Technology, Management and Sustainability (4th ed.). London: IWA Publishing.

Articles

Aissaoui, S., Sifour, M., Ouled-Haddar, H., Sghaier, H. & Jamoussi, B., (2017), Microbial Removal of Sulfamethoxazole by Pure Bacterial Cultures Isolated from the Environment, JMES, 8(6), 2147-2153.

Białk-Bielińska, A., Siedlewicz, G., Stepnowski, P., Pazdro, K., Fabiańska, A., & Kumirska, J., (2011), A very fast and simple method for the determination of sulfonamide residues in seawaters, *Analytical Methods*, 3, 1371-1378.

Chawalit Chaiwong, Thammarat Koottatep, Nawatch Surinkul & Chongrak Polprasert, Performance and kinetics of algal-bacterial photobioreactor (AB-PBR) treating septic tank effluent, (2019), *Water Science & Technology*, 78(11), 2355-2363.

- Franklin, A. M., Williams, C. F. & Watson, J. E., (2018), Assessment of Soil to Mitigate Antibiotics in the Environment Due to Release of Wastewater Treatment Plant Effluent. *J. Environ. Qual.* 47, 1347-1355. DOI:10.2134/jeq2018.02.0076
- Müller, E., Schüssler, W., Horn, H. & Lemmer, H., (2013), Aerobic biodegradation of the sulfonamide antibiotic sulfamethoxazole by activated sludge applied as co-substrate and sole carbon and nitrogen Source, *Chemosphere*, 92, 969–978.
- Krishna, B. and Chongrak Polprasert, (2008). An Integrated Kinetic Model for Organic and Nutrient Removal by Duckweed-Based Wastewater Treatment (DUBWAT) System. *Ecological Engineering: Vol. 34*, 243-250.
- Zhang, Q., Agatha, S., Zhang, W., Dong, J., Yu, Y., Jiao, N, & Gong, J., (2017), Three rDNA Loci-Based Phylogenies of Tintinnid Ciliates (Ciliophora, Spirotrichea, Choreotrichida). *Journal of Eukaryotic Microbiology* 64(2), 226–241.

Electronic Media

- Josh Gerovac. (2017). *Understand energy efficiency of LED horticultural lighting systems [MAGAZINE]*. Retrieved from <https://www.ledsmagazine.com/articles/print/volume-14/issue-4/features/horticultural-lighting/understand-energy-efficiency-of-led-horticultural-lighting-systems.html>
- Drugbank. (2005). *Sulfamethoxazole*. Retrieved from <https://www.drugbank.ca/drugs/DB01015>

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นางสาวมนัสนันท์ แย้มมนัส
วันเดือนปีเกิด	26 มกราคม 2538
วุฒิการศึกษา	ปีการศึกษา 2560: วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมโยธาและการบริหารการก่อสร้าง) มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ทุนการศึกษา	ปีงบประมาณ 2562: ทุนสนับสนุนการวิจัยประเภทวิจัย ทั่วไปสำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา กองทุนวิจัย มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ผลงานทางวิชาการ

Manassanun Yammanas, Akeanan Jongsrisupat, Phattarasin Choontanom, Warunsak Liamlaem and Chongrak Polprasert. (November 2018). Efficiency of Morning Glory (*Ipomoea aquatica*) in domestic wastewater treatment and reuse as human or animal foods. *The 3rd Environment and Natural Resources International Conference (ENRIC 2018)*, Chonburi, Thailand.