

การปนเปื้อนโคลิฟอร์มแบคทีเรียในดินและผักบางชนิดที่ได้จากการกำจัดน้ำเสียจากถังเกรอะโดยร่องซึม

Contamination of coliform bacteria in soil and selected vegetables from absorption trench septage disposal

พรชัย ศรีเชียงสา^{1*}, ชัชชาย แจ่มใส¹ และ วิทยา ศรีโลเกศ²

Pornchai Srichiengsa^{1*}, Chatchai Jamsai¹ and Vidhaya Trelo-ges²

บทคัดย่อ: การศึกษาการปนเปื้อนโคลิฟอร์มแบคทีเรียในพืชตัวอย่าง 3 ชนิด ได้แก่ ผักคะน้า ผักกวางตุ้ง และผักโขมจีน โดยให้น้ำเสียและน้ำประปาปล่อยผ่านในหน่วยทดลองเป็นเวลา 6 สัปดาห์ มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบการปนเปื้อนโคลิฟอร์มแบคทีเรียในดินและมวลชีวภาพของพืชทดลองเมื่อเวลาผ่านไป ผลการทดลองพบว่า น้ำเสียและน้ำประปาเมื่อผ่านหน่วยทดลองแล้ว ปริมาณสารอาหารละลายที่วัดได้ในรูป ซีไอดี ทีเคเอ็น ฟอสฟอรัสละลายน้ำ และโพแทสเซียมละลายน้ำมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P < 0.05$ และ 0.01 ตลอดการทดลอง ซึ่งมีค่าลดลงมากที่สุด ในหน่วยทดลองที่ปลูกผักโขมจีน เช่นเดียวกับปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ส่วนการเปลี่ยนแปลงค่าความนำไฟฟ้า อินทรีย์วัตถุ ไนโตรเจนรวม ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในสารละลายดิน พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้น โดยมีค่ามากสุดในหน่วยทดลองที่ปลูกผักคะน้า นอกจากนี้การตรวจสอบปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรียในพืชตัวอย่างและดินทดลองพบว่า เมื่อเวลาผ่านไปมีการสะสมโคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมดและฟีคัลโคลิฟอร์มในดินและพืชมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยพบในหน่วยทดลองที่ปลูกผักโขมจีนมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 48,000 35,000 8,533 และ 4,667 MPN/100 มิลลิลิตร ตามลำดับ จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า เมื่อนำน้ำเสียไหลผ่านระบบดินที่ปลูกด้วยพืชทดลองทั้ง 3 ชนิด พบว่า น้ำเสียมีปริมาณสารอินทรีย์และแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มลดลง แต่กลับส่งผลให้ดินมีสารอินทรีย์สูงขึ้น รวมทั้งพืชทดลองมีโคลิฟอร์มแบคทีเรียเพิ่มมากขึ้น

คำสำคัญ: โคลิฟอร์มแบคทีเรีย, ผักคะน้า, ผักกวางตุ้ง, ผักโขมจีน, สารละลายดิน

ABSTRACT: The Study for coliform bacteria contaminated on study plant 3 types (*Brassica oleracer var. acephala* (DC) Alef, *Brassica chinensis var. chinensis* and *Brassica juncea* (L.) Coss. Var. *Sareptana Sinskaja*) which wastewater and water supply leaching flow through experimental unit, study 6 weeks. The objective are study on coliform bacteria contaminated in soil and plant biomass. The result show that when wastewater and water supply leaching flow through experimental unit the soluble organic (COD, TKN, Soluble-P, and Soluble-K) statistical decreasing on significant ($p < 0.05$ and 0.01). This is the largest decline in the experimental unit by the Chinese spinach grown in the last week likely the total suspended solid. The Ec, OM, Total Nitrogen, Available Phosphorus and Exchangeable potassium in soil solution were increasing. The increase in the experimental planting chinese kale. Coliform bacteria in study plant and study soil found that total coliform bacteria and fecal coliform more continuous accumulated increasing in soil and plant when more time for study. It was found in the experimental unit by the Chinese spinach most valuable finds 48,000 35,000 8,533 4,667 MPN/ 100 ml of sample, respectively. The result in this study can conclude that when wastewater flow through soil system which 3 study plating show that organic compounds and coliform bacteria in wastewater decreasing but organic compounds and coliform bacteria in soil increasing and study plant have coliform bacteria increasing too.

Keywords: Coliform bacteria, Chinese kale, *Brassica chinensis var. chinensis*, Chinese spinach, soil solution

¹ สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม อาชีวอนามัย และความปลอดภัย คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 40002 Environmental Health Occupational and Safety Division, Faculty of Public Health Khon Kaen University, 40002

² สาขาวิชาทรัพยากรที่ดินและสิ่งแวดล้อม ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 40002

Land Resources and Environment Division, Department of Plant Science and Agricultural Resources, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, 40002

* Corresponding author: dinotofa@gmail.com

บทนำ

ทรัพยากรน้ำที่นำมาใช้ในกิจกรรมประจำวันแล้วร้อยละ 80 จะกลายเป็นน้ำเสีย ซึ่งน้ำเสียดังกล่าวนี้นี้จำเป็นต้องมีการจัดการที่ดี (ธงชัย, 2537) เพราะน้ำเสียเหล่านี้มีสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบหลักซึ่งอาจมีเชื้อก่อโรคปนเปื้อนอยู่ ถ้าขาดการจัดการที่เหมาะสมตามหลักสุขาภิบาลแล้วปล่อยลงแหล่งน้ำธรรมชาติ จะทำให้แหล่งน้ำนั้นมีคุณภาพน้ำต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน อีกทั้งหากปล่อยทิ้งให้ซึมลงดิน ก็จะทำให้ส่งผลกระทบต่อดินและพืชบริเวณนั้นได้

ทุกชุมชนจึงมีความพยายามในการกำจัดและบำบัดน้ำเสีย เพื่อป้องกันการปล่อยมลพิษลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ เพราะในน้ำเสียจากครัวเรือนมีค่าความสกปรกที่สามารถวัดได้ในรูปบีโอดี ระหว่าง 110 ถึง 440 มิลลิกรัม/ลิตร และที่สำคัญคือโคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมด มีค่า 10^9 ถึง 10^{10} MPN/100 มิลลิลิตร ของน้ำเสีย และฟีคัลโคลิฟอร์มมีค่าระหว่าง 10^6 ถึง 10^9 MPN/100 มิลลิลิตร ของน้ำเสีย (เกรียงศักดิ์, 2552) ซึ่งการบำบัดน้ำเสียนั้น คือกระบวนการทำหรือปรับปรุงน้ำเสียให้มีคุณภาพดีขึ้น (พัฒนา, 2546) การกำจัดน้ำเสียเป็นการทำให้น้ำทั้งหมดไป และต้องไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ในส่วนการจัดน้ำเสียนั้น ปรีดา (2534) กล่าวถึง 2 รูปแบบ คือหลุมซึม (Seepage pit) และร่องซึม (Absorption trench) โดยเป็นหน่วยรองรับน้ำที่ผ่านจากหน่วยบำบัดขั้นต้นมาแล้ว เป็นการกำจัดน้ำเสียให้หายลงไปในระบบดิน เพราะในระบบดินที่มีช่องว่างระหว่างอนุภาคดิน (Soil pore) รองรับน้ำเสีย และมีอากาศ ทั้งยังมีสารอินทรีย์และจุลินทรีย์ที่จะคอยย่อยสลายของเสียที่เข้าสู่ระบบดิน ให้กลายเป็นสารอินทรีย์ที่มีขนาดเล็ก (Simple organic matters) แล้วถูกดูดซึมโดยรากพืช เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ (Tyler, Drozd and Peterson, 1991) รวมทั้งแบคทีเรียก่อโรคกลุ่มโคลิฟอร์มจะถูกส่งเข้าสู่ระบบดินด้วย

ดังนั้น หากนำน้ำเสียจากถังเกรอะไปใช้ในการเกษตร อาจมีผลตกค้างในดินและพืช โดยอาจมี

การปนเปื้อนของโคลิฟอร์มแบคทีเรียในดินและพืช ซึ่งจะมีผลกระทบทั้งในระบบดินและพืชเป็นอย่างมาก จึงจำเป็นและสำคัญอย่างยิ่งที่ต้องมีการศึกษา เพื่อเป็นข้อมูลและแนวทางในการป้องกันและจัดการน้ำเสียในเขตชุมชนเมืองและชนบทให้เหมาะสม ในกรณีที่ใช้ระบบซึมใต้ผิวดิน และมีการปลูกพืชผักสวนครัวหรือพืชที่สามารถนำมาบริโภคได้ ซึ่งหากมีการปนเปื้อนและกระจายตัวของเชื้อโคลิฟอร์มแบคทีเรียในดินและพืช เมื่อนำมาอุปโภคบริโภคจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพได้ เพราะฉะนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการปนเปื้อนของโคลิฟอร์มแบคทีเรียในดินและพืชที่รองรับน้ำเสียจากถังเกรอะที่ผ่านระบบกำจัดน้ำเสียแบบร่องซึม

วิธีการศึกษา

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) มี 3 ซ้ำ โดยการวิจัยมี 2 ส่วน คือ

1. ศึกษาการปนเปื้อนของโคลิฟอร์มแบคทีเรียในดินที่รับน้ำเสียจากถังเกรอะ ซึ่งเป็นระบบกำจัดน้ำเสียแบบร่องซึม ทริทเมนต์เป็นน้ำเสียและน้ำประปา
2. ศึกษาการปนเปื้อนของโคลิฟอร์มแบคทีเรียในพืชที่ปลูกบนดินที่เป็นระบบกำจัดน้ำเสียแบบร่องซึม ทริทเมนต์ คือ ผัก 3 ชนิด ได้แก่ ผักคะน้า กวางตุ้ง และโหระพา

การเตรียมหน่วยทดลอง

เตรียมถังพักน้ำเสียและน้ำประปาขนาด 100 ลิตร จำนวน 2 ถัง เพื่อเก็บกักน้ำก่อนต่อเข้าหน่วยกำจัดน้ำเสียแบบร่องซึมที่ใช้วงขอบคอนกรีตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.40 เมตร ภายในบ่อบรรจุด้วยชุดดินยโสธร มีความหนา 0.20 เมตร ถัดมาใส่หินขนาด $\frac{3}{4}$ นิ้ว และวางท่อพีอีขนาด 1 นิ้ว ที่มีการเจาะรูเยื้องลงด้านล่าง เพื่อให้ให้น้ำตัวอย่างไหลซึมลงในพื้นที่รับการซึม ชั้นนี้มีความหนา 0.10 เมตร หลังจากนั้นกลบทับด้วยดินหนา 0.05 เมตร ซึ่งมีจำนวน 3 ชุดๆ ละ 3 บ่อ รวมเป็น 9 บ่อ

ในชุดทดลองน้ำเสีย และมีชุดควบคุมที่ใช้น้ำประปาอีกจำนวน 9 บ่อ รวมทั้งสิ้น 18 หน่วยทดลอง ในแต่ละชุดปลูกผักต่างชนิดกัน (Figure 1) ซึ่งในการสูบน้ำเสียไปยังถังพักน้ำเสียจะใช้เครื่องสูบน้ำท่อส่ง ขนาด

1 นิ้ว กำลังสูบ 0.25 แรงม้า ควบคุมการสูบโดยเครื่องควบคุมเวลาวันละ 4 ครั้ง คือ เวลา 08.00 น., 10.00 น., 14.00 น. และ 16.00 น. ตลอดการทดลอง (Figure 2)

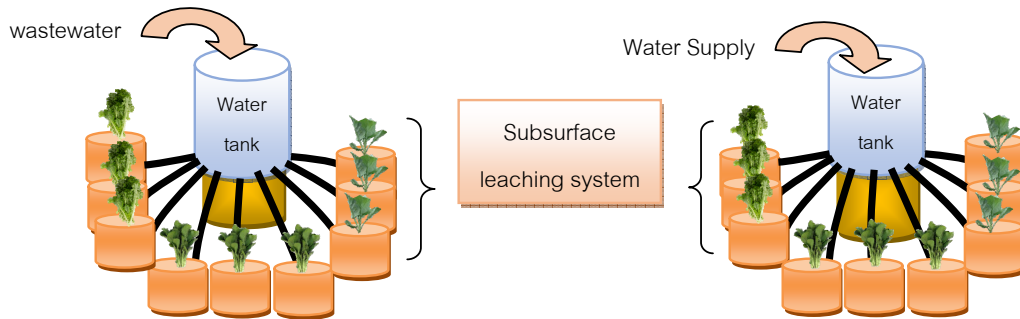


Figure 1 Part 1 and 2 experimental unit characteristic.

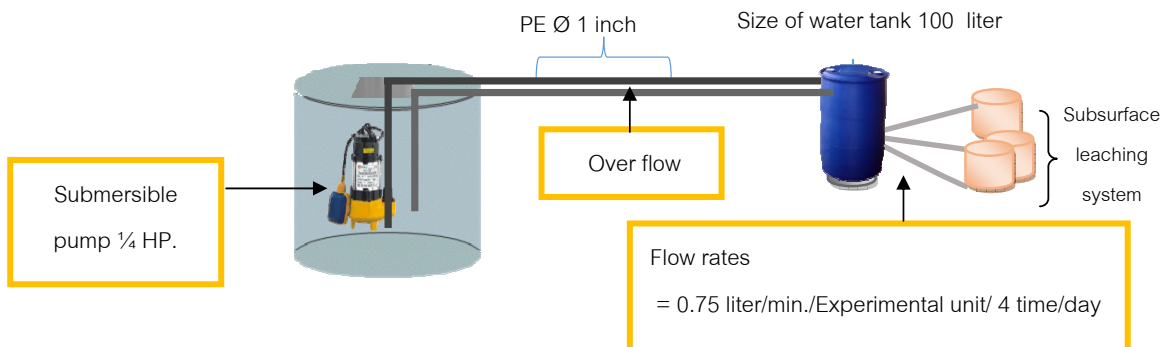


Figure 2 Pattern of wastewater discharge to experimental unit.

การดำเนินการทดลอง

เก็บตัวอย่างดินก่อนและหลังการทดลองไปวิเคราะห์หาค่า ความนำไฟฟ้า ความเป็นกรด-ด่าง อินทรีย์วัตถุ ไนโตรเจนรวม ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โปแตสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ โคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมด และฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย และเก็บตัวอย่างน้ำเสียก่อนและหลังผ่านหน่วยทดลองนำไปวิเคราะห์หาค่า ซีโอดี ของแข็งแขวนลอย ของแข็งละลายได้ทั้งหมด ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าความนำไฟฟ้า โคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมด และฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย ทั้งยังเก็บตัวอย่างพืช ได้แก่ ผักคะน้า ผัก

กวางตุ้งและผักโขมจีน ไปตรวจวิเคราะห์หา โคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมด และฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย โดยเก็บตัวอย่างทุกเช้าวันพุธ เวลา 08.00 น. ในแต่ละสัปดาห์เป็นเวลา 6 สัปดาห์

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ข้อมูลที่ได้จากการศึกษานำไปวิเคราะห์ผลการทดลองแบบ Analysis of Variance ของ CRD และทดสอบความแตกต่างรายคู่ของค่าเฉลี่ยที่พหุคูณด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ลักษณะของน้ำตัวอย่างที่นำมาใช้ในการทดลอง
น้ำเสียที่นำมาใช้ในการทดลองครั้งนี้เป็นน้ำเสียจากถังเกรอะห้องน้ำ-ห้องส้วมของอาคารปรีดา

แย้มเจริญวงศ์ มีอัตราการเกิดน้ำเสียเฉลี่ยเท่ากับ 8 ลูกบาศก์เมตร/วัน ส่วนน้ำประปามาจากการประปามหาวิทยาลัยขอนแก่น เมื่อนำมาวิเคราะห์พบมีค่าดังนี้ (Table 1)

Table 1 Average of wastewater and water supply in experimental characteristic.

Parameter	Wastewater	Water supply	Unit
COD	305	4.5	mg/l
pH	6.84	7.02	-
TSS	75	0	mg/l
TDS	1100	130	mg/l
EC	1650	180	μs/cm
TKN	68.33	0	mg/l
Soluble-P	136	0	mg/l
Soluble-K	23	0	mg/l
TCB	4.5×10^5	1.8	MPN/100 ml
FCB	3.5×10^5	1.8	MPN/100 ml

ลักษณะของดินที่นำมาใช้ในการทดลอง

ดินตัวอย่างที่นำมาใช้ในการทดลองครั้งนี้เป็นดินในมหาวิทยาลัยขอนแก่น ซึ่งเป็นชุดดินยโสธร จัดเป็นกลุ่มดินร่วนปนทราย

การเปลี่ยนแปลงของหน่วยทดลอง

การเปลี่ยนแปลงลักษณะของน้ำตัวอย่างเมื่อผ่านหน่วยทดลอง

เมื่อปล่อยน้ำตัวอย่างผ่านหน่วยทดลองอย่างต่อเนื่องด้วยอัตราการไหลเท่ากับ 1.08 ลูกบาศก์เมตร/วัน แล้วเก็บตัวอย่างน้ำที่ไหลผ่านหน่วยทดลองมาตรวจวิเคราะห์ทุกสัปดาห์เป็นเวลา 6 สัปดาห์ ได้ผลเป็นดังนี้

การเปลี่ยนแปลงโคลิฟอร์มแบคทีเรียในน้ำตัวอย่าง

เมื่อปล่อยน้ำเสียตัวอย่างไหลผ่านหน่วยทดลองที่ปลูกผักคะน้า กวางตุ้งและโสมจีนพบค่าปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมดในสัปดาห์สุดท้ายลดลงจาก 4.5×10^5 MPN/100 มิลลิลิตร เป็น 280,000,

310,000 และ 316,667 MPN/100 มิลลิลิตร ตามลำดับ ซึ่งลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ส่วนในน้ำประปากลับมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 1.8 MPN/100 มิลลิลิตรเพิ่มเป็น 25, 57.33 และ 65.33 MPN/100 มิลลิลิตร ในหน่วยทดลองที่ปลูกผักคะน้า กวางตุ้งและโสมจีนตามลำดับ (Table 2) เป็นการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) ส่วนการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟิโคลิฟอร์มแบคทีเรีย พบมีแนวโน้มคล้ายกันกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมดทั้งในน้ำเสียและน้ำประปา ทั้งนี้เนื่องจาก เมื่อนำน้ำตัวอย่างไหลผ่านดินในหน่วยทดลองซึ่งดินที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้เป็นดินร่วนปนทรายจึงมีช่องว่างระหว่างอนุภาคดินไม่มากและมีขนาดเล็ก ในชุดดินยโสธรนี้มีขนาดช่องว่างระหว่างดินอนุภาคน้อยกว่า 10 ไมครอน จึงทำให้โคลิฟอร์มที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำตัวอย่างมีจำนวนหนึ่งที่ไม่สามารถไหลผ่านช่องว่างดังกล่าวได้ ดังนั้นดินในหน่วยทดลองนี้จึงทำหน้าที่คล้ายกับเครื่องกรองจุลินทรีย์ธรรมชาติ จึงทำให้ปริมาณของเชื้อดังกล่าวลด

ลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรกและคงที่ในเวลาต่อมา เหตุผลที่สนับสนุนเรื่องนี้คือการศึกษาของ วิไลวัล (2555) ที่พบว่า เมื่อนำน้ำเสียไหลผ่านดินแล้ว พบว่า

ในสารละลายดินมีปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรียเพิ่มขึ้น แสดงว่าดินสามารถกรองแบคทีเรียไว้ได้นั่นเอง

Table 2 Trended of Total Coliform Bacteria in type of plant's experimental on wastewater and water supply.

Treatment	Week	Chinese kale	Brassica chinensis var. chinensis	Chinese spinach
Wastewater	0	450000 a	450000 a	450000 a
	1	246667 b	233333 b	246667 b
	2	250000 b	256667 b	283333 b
	3	263333 b	263333 b	283333 b
	4	270000 b	286667 b	303333 b
	5	276667 b	296667 b	303333 b
	6	280000 b	310000 b	316667 b
		LSD = 0.05	LSD = 0.05	LSD = 0.05
		C.V. % = 19.40	C.V. % = 18.01	C.V. % = 16.32
		Mean = 290952	Mean = 299524	Mean = 312381
Water Supply	0	1.80 d	1.80 d	1.80 d
	1	33.67 a	44.00 a	44.67 a
	2	41.67 a	65.00 b	67.67 ab
	3	107.00 b	176.67 c	170.00 c
	4	133.00 c	153.33 c	176.67 c
	5	52.00 ae	97.00 e	90.67 e
	6	25.00 f	57.33 bf	65.33 ab
		LSD = 0.01	LSD = 0.01	LSD = 0.01
		C.V. % = 66.15	C.V. % = 30.87	C.V. % = 25.19
		Mean = 56.31	Mean = 85.02	Mean = 88.12

การเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์ในน้ำตัวอย่าง

เมื่อนำตัวอย่างน้ำเสียไหลผ่านหน่วยทดลองแล้ว ตรวจพบค่า ซีโอดี และไนโตรเจนรวมในรูปที่เคเอ็นมีค่าลดลงมากที่สุด ในหน่วยทดลองที่ปลูกผักโขมจีน โดยค่าซีโอดีลดลงจาก 305 มิลลิกรัม/ลิตร เหลือเพียง 117.67 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) ส่วนค่าไนโตรเจนรวมในรูปที่เคเอ็น พบมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) จาก 68.33 มิลลิกรัม/ลิตร เป็น 10 มิลลิกรัม/ลิตร และในส่วนของคุณค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดพบ

ว่า มีแนวโน้มลดลงที่คล้ายคลึงกัน ทั้งนี้เนื่องจาก เมื่อน้ำไหลผ่านดินในหน่วยทดลอง ระบบดินซึ่งประกอบด้วยอนุภาคดินและช่องว่างระหว่างดิน จึงทำให้สารอินทรีย์ที่ปนอยู่ในน้ำเสียถูกกรองติดอยู่ระหว่างช่องว่างของดิน จึงทำให้ช่องว่างของดินลดลง จึงส่งผลให้ค่าของแข็งแขวนลอยลดลงเรื่อยๆ เช่นกัน ซึ่งหน่วยทดลองที่ปลูกด้วยผักโขมจีน ทำให้สารอินทรีย์ลดลงได้มากที่สุด เพราะผักโขมจีนมีระบบรากแขนง (Secondary root) และรากฝอย (Fibrous root) ที่มากกว่าผักคะน้า แต่ใกล้เคียงกับผักวางตุ้ง เพราะพืชทั้ง 3 ชนิด เป็นพืชในตระกูลเดียวกัน (กรมวิชาการเกษตร, 2555) ซึ่งพืช

จะใช้บริเวณรากเป็นบริเวณที่ดูดน้ำมากที่สุด รวมทั้งเป็นที่แลกเปลี่ยนไอออนของธาตุอาหารต่างๆ (สกุล, 2555) จึงทำให้ค่าสารอินทรีย์ในน้ำเสียตัวอย่างที่ผ่านหน่วยทดลองแล้วมีค่าลดลง

การเปลี่ยนแปลงของแข็งละลายได้ทั้งหมดในน้ำตัวอย่าง

เมื่อตรวจสอบค่าของแข็งละลายได้ทั้งหมดในน้ำตัวอย่างที่เป็นน้ำเสียพบว่า มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) จาก 1,100 มิลลิกรัม/ลิตร เหลือเพียง 415.30, 532 และ 459.70 มิลลิกรัม/ลิตร ในหน่วยทดลองที่ปลูกคะน้า กวางตุ้ง และโหระพา ตามลำดับ เพราะในระบบดินมีแร่ธาตุและมีประจุดินทั้งบวกและลบ แต่จะมีประจุลบมากกว่า จึงทำให้ผิวของอนุภาคดินสามารถดูดซับไอออนต่างๆ ในสารละลายดินไว้ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งไอออนบวก (สรสิทธิ์ และคณะ, 2535) ส่วนหน่วยทดลองที่ได้รับน้ำประปาพบว่า หน่วยทดลองที่ปลูกด้วยผักโหระพา มีค่าเฉลี่ยสูงชันเป็น 152 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งเป็นการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) ทั้งนี้เนื่องจาก ผักโหระพามีระบบรากแก้วที่ยาวและมีรากฝอยมากกว่าผักคะน้า และผักกวางตุ้ง จึงทำให้มีการปล่อยสารละลายจากรากพืช (Exudate) มากกว่า(พงศ์เทพ, 2556) ซึ่งสารดังกล่าวนี้ ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีประจุ กรดอะมิโน กรดคีโต วิตามิน และน้ำตาล (ดอเลาะ, 2559) จึงเกิดการชะล้าง (Leaching) สารประกอบดังกล่าวปนออกมากับตัวอย่างน้ำด้วย ทำให้ค่าสูงชัน ทั้งยังส่งผลต่อค่าความนำไฟฟ้าด้วย และงานวิจัยนี้ยังสอดคล้องกับการศึกษาของ มั่นสิน และมั่งรักษ์ (2547) ที่พบว่าปริมาณค่าของแข็งละลายได้ทั้งหมดจะมีค่าเท่ากับ 0.5 ถึง 0.9 ของค่าความนำไฟฟ้า

การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างในน้ำตัวอย่าง

หน่วยทดลองที่ได้รับตัวอย่างน้ำที่นำมาทดลองเป็นน้ำเสียและน้ำประปามีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงชันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ โดยในตัวอย่างน้ำเสียเพิ่มขึ้นจาก 6.84 เป็นเท่ากับ 7.12, 7.11 และ 7.13 ในชุด

ทดลองที่ปลูกผักคะน้า กวางตุ้งและโหระพา ตามลำดับ ส่วนหน่วยทดลองที่รับน้ำตัวอย่างที่เป็นน้ำประปาก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน เพราะว่าการที่น้ำน้ำผ่านเข้าไปในระบบดินที่มีอนุภาคดินรวมกันอยู่ โดยที่ผิวด้านนอกของอนุภาคดินมีประจุต่างๆ อยู่ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นประจุลบที่สามารถดูดจับประจุบวก (Cation) ต่างๆ ที่ผ่านเข้ามา อีกทั้งการชะล้างอยู่ตลอดเวลาจะทำให้ประจุลบ (Anion) หลุดออกมาจากผิวโดยรอบของอนุภาคดินแล้วละลายปนอยู่ในน้ำ ซึ่งประจุเหล่านั้นส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าประจุโดยรวมในน้ำที่ไหลผ่านดิน โดยเฉพาะการเพิ่มประจุลบทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นเล็กน้อยด้วย นอกจากนี้ยังมีการแลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจนในระบบดิน เพราะมีรากพืชเป็นตัวส่งผ่านก๊าซออกซิเจนที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยแสงแล้วส่งต่อไปยังรากที่อยู่ในดิน เพื่อให้จุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ที่รากพืช และที่อาศัยอยู่ในระบบดินใช้ในการย่อยสลายของเสียแบบใช้อากาศ (ดาริกา และสุทธสาคร, 2548) จึงทำให้ค่าดังกล่าวสูงขึ้น

การเปลี่ยนแปลงสารอาหารในน้ำตัวอย่าง

ปริมาณสารอาหารได้แก่ ค่าฟอสฟอรัสละลายและโพแทสเซียมละลายนั้น ในชุดการทดลองที่ปลูกผักโหระพามีค่าต่ำที่สุด โดยมีค่าลดลงจาก 136 มิลลิกรัม/ลิตร เหลือเพียง 18.67 มิลลิกรัม/ลิตร และลดลงจาก 23 มิลลิกรัม/ลิตร เหลือเท่ากับ 2.17 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากผักโหระพามีระบบรากที่มากและหนาแน่นกว่าพืชทดลองชนิดอื่นๆ ดังนั้น เมื่อน้ำเสียตัวอย่างที่มีทั้งฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมละลายอยู่ไหลผ่านระบบราก ผักโหระพามีระบบรากฝอยมากจึงสามารถดูดซึมน้ำและสารอาหารเข้าสู่ลำต้นและใบได้อย่างรวดเร็ว (บุญชัย, 2554) จึงทำให้ค่าสารอาหารในน้ำเสียที่ผ่านหน่วยทดลองนี้แล้วมีค่าลดลงต่ำสุด

การเปลี่ยนแปลงลักษณะดินในหน่วยทดลอง

เมื่อหน่วยทดลองได้รับน้ำตัวอย่าง 2 ประเภท คือ น้ำเสียและน้ำประปา เพื่อเปรียบเทียบการตกค้างของโคลิฟอร์มและลักษณะดินต่างๆ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า กรณีของค่าโคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมดในดินในหน่วยทดลองที่รับน้ำเสียเพิ่มขึ้น จากก่อนทดลอง

มีค่าเฉลี่ยระหว่าง 4.07 ถึง 5.63 MPN/100 มิลลิลิตร ของสารละลายดิน สูงขึ้นเป็น 15,000 ถึง 48,000 MPN/100 มิลลิลิตร ของสารละลายดิน ซึ่งพบตกค้าง สูงสุดในชุดทดลองที่ปลูกผักโขมจีน (มีค่า 48,000 MPN/100 มิลลิลิตร ของสารละลายดิน) ส่วนในน้ำ ตัวอย่างที่เป็นน้ำประปานั้น เมื่อไหลผ่านดินในหน่วย ทดลองแล้ว พบว่า โคลิฟอร์มทั้งหมดเพิ่มขึ้นจาก ค่าเฉลี่ย ระหว่าง 3.83 ถึง 5.10 MPN/100 มิลลิลิตร ของสารละลายดิน เป็น 81.00 ถึง 167.67 MPN/100 มิลลิลิตร ของสารละลายดิน ซึ่งในชุดการทดลองที่ปลูก ผักกวางตุ้งพบการตกค้างมากที่สุด (167.67 MPN/100 มิลลิลิตร ของสารละลายดิน) ส่วนพีคัลโคลิฟอร์มพบ ว่า หลังการทดลองมีการตกค้างของพีคัลโคลิฟอร์มใน ดินในหน่วยทดลองที่ได้รับน้ำเสียและน้ำประปามีค่า เฉลี่ยระหว่าง 11,200 ถึง 35,000 และ 22.60 ถึง 112.67 MPN/100 มิลลิลิตร ของสารละลายดิน ตาม ลำดับ สอดคล้องกับการศึกษาของวิไลวัล (2555) ที่พบ ว่า เมื่อนำน้ำเสียจากถังเกรอะเข้าสู่ระบบดินจะทำให้ ปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรียในดินเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ในช่วงแรก แต่หลังจากนั้นปริมาณจะเริ่มคงที่ ทั้งนี้ เพราะว่าเกิดการแก่งแย่งแข่งขันกันในระบบนิเวศของ จุลินทรีย์ในดิน โดยดินที่ได้รับจุลินทรีย์จากภายนอก มากกว่าจะส่งผลต่อจุลินทรีย์ประจำถิ่น อาจทำให้ จุลินทรีย์ประจำถิ่นดำรงชีวิตไม่ได้ แต่หากมีการรับ จุลินทรีย์เข้ามาจำนวนจำกัดจะทำให้จุลินทรีย์ประจำ ถิ่นสามารถดำรงชีวิตแข่งขันกับจุลินทรีย์แปลกปลอม ได้ จึงส่งผลต่อจุลินทรีย์แปลกปลอมขยายเพิ่มจำนวน ไม่ได้ (ชัชชาวย, 2549)

ส่วนการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างใน สารละลายดินก่อนและหลังการทดลองนั้นพบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างในสารละลายดินในหน่วย ทดลองที่รับน้ำเสียเพิ่มสูงขึ้นจาก 7.23 เป็นเท่ากับ 7.23 7.30 และ 7.43 ในชุดการทดลองที่ปลูกผักคะน้า ผักกวางตุ้ง และผักโขมจีน ตามลำดับ ส่วนหน่วย ทดลองที่รับน้ำประปาก็มีแนวโน้มเช่นเดียวกัน เกี่ยวกับ เรื่องนี้ สกุล (2555) ได้กล่าวไว้ว่า พืชจะมีการ แลกเปลี่ยนไอออนที่ผิวราก ซึ่งบริเวณผิวรากจะมี

แรงดึงดูดระหว่างประจุบวกและประจุลบ การแลก เปลี่ยนไอออนนี้จะทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ ในดินเปลี่ยนแปลงไป

กรณีของค่าความนำไฟฟ้า และปริมาณอินทรีย์ วัตถุในดินในหน่วยทดลองที่ปลูกผักคะน้า ผักกวางตุ้ง และผักโขมจีนที่ได้รับตัวอย่างน้ำเสียทำให้ค่าความนำ ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจากค่าเฉลี่ยระหว่าง 91.00 ถึง 98.33 เป็น 326.67 ถึง 446.33 ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร และค่า เฉลี่ยปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินอยู่ระหว่าง 0.55 ถึง 0.60 เป็น 0.61 ถึง 0.64 ตามลำดับ สอดคล้องกับการ ศึกษาของ บุญชัย (2554) ที่พบว่า การเพิ่มขึ้นของค่า ความนำไฟฟ้านั้นเกิดจากการตกค้างของธาตุอาหาร ต่างๆ เช่น ฟอสฟอรัส เป็นต้น ส่วนค่าอินทรีย์วัตถุใน สารละลายดินก็มีแนวโน้มเช่นเดียวกัน

ธาตุอาหารทั้งไนโตรเจนรวม ฟอสฟอรัสที่เป็น ประโยชน์ และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในชุดการ ทดลองที่เป็นน้ำเสีย พบดินในหน่วยทดลองมีธาตุ อาหารทั้งสามชนิดสูงขึ้นทุกชุดการทดลอง โดยพบมาก ที่สุดในชุดการทดลองที่ได้รับน้ำเสียที่ปลูกผักคะน้า ซึ่ง มากกว่าชุดทดลองที่ปลูกผักกวางตุ้งและโขมจีน อย่าง มีนัยสำคัญทางสถิติ และในชุดการทดลองที่ปลูกผัก โขมจีนทำให้ธาตุอาหารในดินในหน่วยทดลองเหลืออยู่ น้อยที่สุด เพราะในระบบรากของผักโขมจีนนั้น มีระบบ รากที่มากและยาวกว่า จึงทำให้มีประสิทธิภาพในการ ดูดใช้ธาตุอาหารได้สูงกว่าพืชอีกสองชนิด เพราะบริเวณ รากเป็นบริเวณที่มีการดูดน้ำมากที่สุด (สกุล, 2555)

การเปลี่ยนแปลงโคลิฟอร์มแบคทีเรียในพืช ทดลอง

การเปลี่ยนแปลงของค่าโคลิฟอร์มทั้งหมดในพืช ทดลองที่รับน้ำเสียและน้ำประปาพบว่า หน่วยทดลอง ที่ได้รับน้ำเสียในชุดการทดลองที่ปลูกผักโขมจีนมีการ ปนเปื้อนโคลิฟอร์มโดยค่าเฉลี่ยมากที่สุด (4,823.97 MPN/100 มิลลิลิตร ของน้ำตัวอย่างที่สกัดจากพืช) เช่น เดียวกับชุดการทดลองที่ได้รับน้ำตัวอย่างที่เป็นน้ำ ประปาพบปริมาณของโคลิฟอร์มทั้งหมดมากที่สุด ใน ชุดการทดลองที่ปลูกผักโขมจีนมีค่า 195.49 MPN/100 มิลลิลิตร ของน้ำตัวอย่างที่สกัดจากพืช การ

เปลี่ยนแปลงของการปนเปื้อนโคลิฟอร์มทั้งหมดในพืชทดลอง กรณีของชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียนั้นเมื่อเวลาผ่านไปการปนเปื้อนมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งการปนเปื้อนที่เพิ่มขึ้นนั้นแตกต่างจากปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมดที่ตรวจพบในน้ำเสียก่อนปล่อยไหลผ่านดินในหน่วยทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P < 0.01$ แต่ในน้ำประปามีการเพิ่มขึ้นแตกต่างกันหลังการทดลองผ่านไปอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

การเปลี่ยนแปลงพีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรียในพืชทดลอง พบว่าชุดทดลองที่ปลูกผักโขมจีนมีค่าพีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรียสูงสุด รองลงมาเป็นชุดทดลองที่ปลูกผักกวางตุ้งและผักคะน้าโดยค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,899.26 1,878.83 และ 886.46 MPN/100 มิลลิลิตร ของน้ำตัวอย่างที่สกัดจากพืช ตามลำดับ (Table 3) ซึ่งเพิ่มขึ้นจากก่อนการทดลองที่มีค่าเพียง 1.8 MPN/100 มิลลิลิตร ของน้ำตัวอย่างที่สกัดจากพืช การเปลี่ยนแปลงนั้นมาจากที่น้ำตัวอย่างที่เป็นน้ำเสีย

มีปริมาณพีคัลโคลิฟอร์มจำนวนมาก เมื่อไหลผ่านดินในหน่วยทดลองที่มีพืชทดลองปลูกอยู่ ทำให้แบคทีเรียดังกล่าวจับอยู่รากของพืชทดลองเป็นจำนวนมาก อีกทั้งแบคทีเรียดังกล่าวสามารถเจริญเติบโตในดินได้ด้วย เกี่ยวกับเรื่องนี้ Beuchat (1996) ได้ศึกษาผักและผลไม้ที่เจริญเติบโตอยู่ใกล้ๆ ระบบการซึมได้ผิวดิน แล้วตรวจสอบจุลินทรีย์หลายชนิด พบว่ามีกลุ่มที่เป็นเชื้อก่อโรคถึง 22 ชนิด รวมทั้ง Enterobacteriaceae สอดคล้องกับการศึกษาของ ดาริกา และสุตสาคร (2548) ที่รายงานว่า จุลินทรีย์จะอาศัยอยู่บริเวณรากพืช เพื่ออาศัยออกซิเจนในการย่อยสลายของเสียแบบใช้ออกซิเจน นอกจากนี้ยังพบว่า จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ในพืชและผลิตภัณฑ์จากพืช ซึ่งจุลินทรีย์ที่เติบโตได้นั้นจะเป็นเชื้อที่สามารถยึดเกาะอย่างหนาแน่นที่บริเวณผิวของพืชและผลิตภัณฑ์จากพืช โดยเชื้อจะไม่สามารถหลุดออกภายหลังจากการล้าง (บุษกร, 2545)

Table 3 Trended of Fecal Coliform Bacteria in type of plant's experimental on wastewater and water supply.

Treatment	Week	Chinese kale	Brassica chinensis var. chinensis	Chinese spinach
Wastewater	0	1.8 a	1.8 a	1.8 a
	1	176.7 b	197 b	203 b
	2	386.7c	487c	423 b
	3	480.0c	1667d	2000c
	4	1026.7d	2833e	2467c
	5	1633.3d	3333e	3533d
	6	2500.0e	4633f	4667e
		LSD = 0.01	LSD = 0.01	LSD = 0.01
		C.V. % = 78.26	C.V. % = 76.77	C.V. % = 76.74
		Mean = 886.46	Mean = 1878.83	Mean = 1899.26
Water Supply	0	1.80a	1.80a	1.80a
	1	7.6 b	7.17b	36.00b
	2	43.0c	32.10 c	48.67b
	3	91.7d	166.67d	170.00c
	4	173.3e	290.0e	390.00d
	5	49.0c	74.33f	27.00e
	6	8.5 b	25.67 c	19.20e
		LSD = 0.01	LSD = 0.01	LSD = 0.01
		C.V. % = 114.38	C.V. % = 69.70	C.V. % = 64.75
		Mean = 53.56	Mean = 85.39	Mean = 98.95

สรุปและข้อเสนอแนะ

ผลการทดลองในครั้งนี้พบว่า แแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งโคลิฟอร์มทั้งหมดและฟีคัลโคลิฟอร์มในน้ำเสียตัวอย่างมีปริมาณลดลงเมื่อผ่านหน่วยทดลองทุกหน่วย เนื่องจากการกรองด้วยอนุภาคดินในหน่วยทดลอง ส่วนดินที่อยู่ในหน่วยทดลองกลับมีการสะสมโคลิฟอร์มเพิ่มขึ้นอย่างแปรผันกลับกับการลดลงของโคลิฟอร์ม นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงปริมาณโคลิฟอร์มในพืชทดลองนั้นพบว่า โคลิฟอร์มในพืชมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากการสะสมแบคทีเรียดังกล่าวแปรผันโดยตรงกับมวลชีวภาพของพืชทดลอง เพราะแบคทีเรียจำนวนมากจะจับอยู่กับผิวของพืชที่นำมาทดลอง

ส่วนการเปลี่ยนสารอินทรีย์ในน้ำเสียนั้นพบว่า น้ำเสียที่นำมาทดลองมีสารอินทรีย์ลดลง โดยตรวจสอบจากพารามิเตอร์ซีไอดี ไนโตรเจนรวมในรูปของทีเคเอ็น ฟอสฟอรัสละลาย และโพแทสเซียมละลายในน้ำเสีย แต่กลับทำให้สารละลายดินนั้นมีการสะสมสารอาหารในรูปอินทรีย์ไนโตรเจน อินทรีย์ฟอสฟอรัส และอินทรีย์โพแทสเซียม ซึ่งมาจากของเสียในน้ำเสีย จึงพบปริมาณธาตุดังกล่าวเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อเวลาผ่านไป ดังนั้น หากจะบริโภคพืชผักที่ปลูกใกล้ระบบบำบัดน้ำเสียหรือบริเวณที่ติดตั้งถังเกรอะ ควรมีการล้างทำความสะอาดและปรุงให้สุกก่อนทุกครั้ง เพื่อความปลอดภัยจากเชื้อก่อโรค

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการกลาง สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม อาชีวอนามัยและความปลอดภัย คณะสาธารณสุขศาสตร์ ห้องปฏิบัติการภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรการเกษตร สาขาทรัพยากรที่ดินและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ และห้องปฏิบัติการโครงการวิจัยน้ำเสียอาคารปรีดาแย้มเจริญวงศ์ คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการปฏิบัติงาน

วิเคราะห์ตัวอย่างด้วยดี และเจ้าหน้าที่ในโครงการวิจัยน้ำเสียทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2555. ระเบียบกรมวิชาการเกษตรว่าด้วยการรับรองการผลิตพืชตามมาตรฐานระบบการจัดการคุณภาพการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีสำหรับพืช. ราชกิจจานุเบกษา. เล่มที่ 129 ตอนพิเศษ 172 ง. ลงวันที่ 14 พฤศจิกายน 2555.
- เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2552. การบำบัดน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 3, นนทบุรี
- ชัชชาย แจ่มใส. 2549. ความเหมาะสมของการนำตะกอนน้ำเสียโรงพยาบาลชุมชนเพื่อใช้ในการปลูกข้าวโพด. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาปฐพีศาสตร์. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.
- ดาริกา วสุนธรากุล และ สุดสาคร พุกงาม. 2548. การใช้พืชน้ำในกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ. วิทยาศาสตร์ ทักษิณ. 2(2): 44-55.
- ดอเลาะ ดาลี. 2559. ปฏิกริยาระหว่างกันของพืช/จุลินทรีย์-คุณประโยชน์. ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา.
- ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2537. คู่มือการออกแบบระบบระบายน้ำเสียและน้ำฝน. พิมพ์ครั้งที่ 4. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, กรุงเทพฯ.
- บุญชัย ไหลชลธาวา. 2554. ผลของการการุณยที่มีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักคะน้า (*Brassica alboglabra* Bailey). วิทยานิพนธ์ปริญญาเกษตรศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาส่งเสริมการเกษตรและสหกรณ์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.
- บุษกร อุดรภิชชาติ. 2545. จุลชีววิทยาทางอาหาร. ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ.
- ปรีดา แย้มเจริญวงศ์. 2534. การกำจัดอุจจาระและน้ำเสียสำหรับอาคารที่พักอาศัย และสถานประกอบการ. พิมพ์ครั้งที่ 2. ขอนแก่นการพิมพ์, ขอนแก่น.
- พัฒนา มูลพฤษ. 2546. อนามัยสิ่งแวดล้อม. พิมพ์ครั้งที่ 3 (ฉบับปรับปรุง). ชิกมา ดีไซน์กราฟิก, กรุงเทพฯ.
- พงศ์เทพ อันตะริกานนท์. 2559. จุลินทรีย์ อินทรีย์สาร กรดฮิวมัส ฮิวมัสและอินทรีย์วัตถุในดิน. ณ เดือน มกราคม พ.ศ. 2559. แหล่งข้อมูล: <https://goo.gl/2WRWiu>. ค้นเมื่อ 10 มกราคม 2559.
- มันสิน ตันทุลเวศม์ และ มันรัช ตันทุลเวศม์. 2547. เคมีวิทยาของน้ำและน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 2. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

- จิไลวัล ศรีสุโพธิ์. 2555. ปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรียในดินที่ผ่านระบบกำจัดน้ำเสียแบบร่องซึม กรณีถึงเกราะที่มีระยะพักตัวแตกต่างกัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาอนามัยสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.
- สกุล มูลแสงดง. 2555. หลักสูตรและสาระการเรียนรู้ชีววิทยา. คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง, กรุงเทพฯ. 545 หน้า.
- สรสิทธิ์ วัชรโรทยาน และคณะ. 2535. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 7. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- Beuchat, L.R. 1996. Do sewage pathogens & contaminants appear in fruits and vegetables grown near septic drainfields. [n.p.].
- Tyler, E.J., Drozd, E.M., and J.O. Peterson. 1991. Estimating wastewater loading rates using soil morphological descriptions. Wisconsin of University, Madison.