

การติดตามการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดินบางประการและพืชทดลอง ที่ได้รับน้ำเสียโรงพยาบาลชุมชนในร่องซึม

Monitoring for changing of some soil properties and plants by domestic hospital wastewater in absorption trench

ชัยชนา สุวรรณวิวัฒน์¹, วิทยา ตรีโลเกศ^{1*} และ ชัชชาย แจ่มใส²

Chanchanad Suwannawiwat¹, Vidhaya Trelo-ges^{1*} and Chatchai Jamsai²

บทคัดย่อ: การกำจัดน้ำเสียที่ได้รับความนิยมวิธีหนึ่ง คือ การซึมได้ผิวดิน น้ำเสียทั้งหมดที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นมาแล้ว เมื่อนำมาปล่อยเข้าสู่ดินชั้นบนเพื่อทำลายนั้น เป็นผลให้มีสารตกค้างจากน้ำเสียจำนวนมากในดิน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินเมื่อได้รับน้ำเสียตัวอย่าง ซึ่งเป็นน้ำเสียจากโรงพยาบาลชุมชน โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD 3 ซ้ำ 3 ดำรับการทดลอง (ปลูกข้าวโพด ปลูกหญ้าแฝก และไม่ปลูกพืชเป็นชุดควบคุม) ทำการทดลองเป็นเวลา 12 สัปดาห์ ในขณะที่ทำการทดลองปล่อยน้ำเสียตัวอย่างตลอดเวลา ผลการทดลองพบว่า ดินที่ได้รับน้ำตัวอย่าง มีปริมาณธาตุอาหารพืช (N P K) ในรูปไนโตรเจนรวม ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ มีค่าเพิ่มขึ้นทุกหน่วยทดลอง โดยในชุดควบคุมมีการเพิ่มขึ้นมากที่สุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P < 0.01$ ส่วนข้าวโพดและหญ้าแฝกที่ปลูกในหน่วยทดลองพบว่า หญ้าแฝกมีมวลชีวภาพมากกว่าข้าวโพด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P < 0.01$ ซึ่งสภาพดังกล่าวเป็นผลมาจากหน่วยทดลองที่ปลูกพืชนั้น พืชทดลองได้ดูดใช้ธาตุอาหาร จึงทำให้พบมีปริมาณต่ำกว่าชุดควบคุม

คำสำคัญ: ดิน, น้ำเสีย, การกำจัดน้ำเสีย, การซึมได้ผิวดิน

ABSTRACT: One of wastewater treatment is soil permeability. Wastewater, processed by primary treatment was applied to surface soil for research work. The objective of this study was to monitor soil physical properties and plants biomass analysis after domestic hospital wastewater application. Completely randomized design was used in 3 treatments (maize, vetiver grass and control, no planted) and 3 replications. Wastewater was continuously applied to experimental plots duration 12 weeks. The results found that all treatments had more macronutrients content (N P K) in total N, available P and exchangeable K than after wastewater application which control treatment has the most content, at the significant different of $P < 0.01$. For experimental plants (vetiver and maize), it was found that the vetiver grass has more biomass than maize at the significant different of $P < 0.01$. Macronutrient contents in the plants plot were less than those in control plot owing to plants nutrient uptake.

Keywords: soil, wastewater, wastewater treatment, permeability

¹ สาขาวิชาทรัพยากรที่ดินและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ.ขอนแก่น 40002

Land Resources and Environment section, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen, 40002, Thailand

² สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม อาชีวอนามัยและความปลอดภัย คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ.ขอนแก่น 40002
Environmental Health Science and Occupational Health and Safety, Faculty of Public Health, Khon Kaen University, Khon Kaen, 40002, Thailand

* Corresponding author: vidtre@kku.ac.th

บทนำ

บริเวณที่มีประชากรอาศัยอยู่จะต้องมีน้ำเสียเกิดขึ้นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ เพราะน้ำเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดในการดำรงชีวิตของลงมาจากอากาศ แหล่งน้ำสำหรับชุมชนส่วนใหญ่อยู่ไม่ไกลจากชุมชนนั้นมากนัก เป็นเหตุให้เมื่อชุมชนใช้น้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติแล้วกลายเป็นน้ำเสียซึ่งถูกปนเปื้อนด้วยของเสียรวมทั้งเชื้อก่อโรค จำเป็นต้องปล่อยออกสู่ภายนอกเคหะสถาน (เกรียงศักดิ์, 2552) ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น ซึ่งรายงานไว้โดย กรมควบคุมมลพิษ (2554) สำหรับชุมชนตัวอย่างภาคกลาง มีค่าระหว่าง 176 - 342 ลิตร/คน/วัน และถ้าเป็นปริมาณของสิ่งขับถ่าย (พิรัชมา และคณะ, 2551) รายงานว่ามีปริมาณ 0.25 ตัน/คน/ปี หรือ 0.68 กิโลกรัม/คน โดยทั้งสิ้นจะกลายเป็นน้ำเสียชุมชน ถ้าสภาพเช่นนั้นไปประกอบกับการจัดการน้ำเสียไม่ดี น้ำเสียเหล่านี้จะไหลบ่าไปลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้และทำให้ของเสียออกสู่สิ่งแวดล้อมเป็นจำนวนมาก (ลัฐกา และชาญชัย, 2552) ด้วยเหตุนี้ชุมชนเกือบทุกชุมชนจึงต้องพยายามหาแนวทางจัดการกับน้ำเสียที่เกิดขึ้นอย่างเร่งด่วน เนื่องจากน้ำเสียเหล่านี้จะส่งผลกระทบต่อสุขภาพและทัศนียภาพ ดังเช่นการรายงานของ (จำเนียร, 2552) ว่า จังหวัดขอนแก่นมีโรคระบาดเกี่ยวกับระบบทางเดินอาหารสูงมากในปี 2550 โดยมีอัตราป่วยสูงถึง 2,115 คน/ประชากร 100,000 คน และยิ่งไปกว่านั้น ถ้าชุมชนที่เป็นแหล่งกำเนิดน้ำเสียเป็นน้ำเสียจากสถานพยาบาล เพราะชุมชนที่เป็นโรงพยาบาลหรือสถานพยาบาลต่าง ๆ นั้น น้ำเสียมีของเสียเจือปนในอัตราสูงกว่ารวมทั้งมีเชื้อก่อโรคมมากกว่าน้ำเสียจากชุมชนทั่วไป (อภิญา, 2554) ดังนั้น การจัดการน้ำเสียที่นิยมนำมาใช้เพื่อป้องกันผลกระทบจากน้ำเสียดังกล่าวได้แก่ การบำบัดน้ำเสียเพื่อให้ น้ำเสียมีคุณภาพที่ดีขึ้นก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมหรือแหล่งรับน้ำธรรมชาติ แต่การจัดทำระบบจัดการน้ำเสียแบบระบบบำบัดน้ำเสียมีค่าใช้จ่ายในการจัดทำสูง ในพื้นที่ชนบทจึงมักไม่นิยมใช้วิธีการจัดการน้ำเสียในรูปแบบการบำบัดน้ำเสีย แต่เป็นการจัดการแบบการกำจัดน้ำเสีย (wastewater disposal) ซึ่งรูปแบบนี้นิยมใช้เป็นรูปแบบของการซึมได้ผิวดิน โดย (Tyler et al., 1991) ได้รายงานไว้ว่า การซึมได้ผิวดินขึ้นอยู่กับลักษณะของเนื้อดินและโครงสร้างดินบริเวณนั้น อีกทั้งสภาพการซึมได้

ผิวดินยังขึ้นอยู่กับความสูงต่ำของพื้นที่รับการซึมด้วย (Hammond et al, 1991) เพราะในแนวทางนี้ น้ำเสียทั้งหมดจะต้องถูกนำเข้าสู่ระบบดินเพื่อกำจัดในชั้นผิวดินเพื่อให้ปริมาณน้ำเสียที่ปล่อยออกมานั้นซึมลึกลงไป (ชัชชาย, 2554) น้ำเสียจะไม่ปรากฏให้เห็นบนชั้นผิวดิน จึงลดผลกระทบได้เป็นอันมากโดยเฉพาะในด้านทัศนียภาพและสาธารณสุข

จากสภาพการกำจัดน้ำเสียในดินบริเวณชั้นผิวดิน ซึ่งเป็นชั้นรากพืชส่งผลให้น้ำเสียถูกกำจัดหมดไป (ปรีดา, 2534) วิธีการดังกล่าวจึงได้รับความนิยมเป็นอันมาก ซึ่งผลของการจัดการนั้นเป็นการนำของเสียทั้งหมดเข้าสู่ระบบดิน แต่น้ำเสียจะต้องผ่านการบำบัดมาแล้วขั้นหนึ่งก่อน เพราะน้ำเสียจากครัวเรือนมีค่าบีโอดี (BOD; Biological Oxygen Demand) เฉลี่ย 230 mg/l COD 52 mg/l และ TSS 152 mg/l (Ziebell et al., 1973) โดยมีช่วงระหว่าง 92 - 225 mg/l BOD 157 - 388 mg/l COD (Hargett et al, 1981) แต่เมื่อน้ำเสียนั้นผ่านการบำบัดขั้นต้นมาแล้ว น้ำเสียนั้นจะมีลักษณะดีขึ้นโดยมี บีโอดีระหว่าง 118 - 189 mg/l ตะกอนแขวนลอย 38 - 85 mg/l ซึ่งสภาพเช่นนั้นน้ำเสียจะมีลักษณะใสขึ้น มีของเสียต่าง ๆ น้อยลง เป็นสภาพของน้ำที่จะนำไปซึมลงใต้ผิวดินได้อีกทั้งสารแขวนลอยจะไม่อุดตันช่องว่างระหว่างอนุภาคดิน แต่น้ำเสียนั้นถูกบำบัดมาจนเป็นน้ำทิ้งแล้วนำมาซึมลงในดิน ของเสียอินทรีย์ที่เกิดจากกิจกรรมของชุมชนย่อมทำให้ระบบดินมีปริมาณของเสียซึ่งเป็นสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง (พรชัย, 2559) สภาพเช่นนี้ในช่องว่างระหว่างอนุภาคดินย่อมมีสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนไปกับน้ำเสียเกิดการสะสมอยู่ในช่องว่างระหว่างอนุภาคดินมากขึ้น (วิไลวัล, 2555) ซึ่งตามสภาพของการปฏิบัติ การกำจัดน้ำทิ้งและน้ำเสียในดินจึงคล้ายกับการเพิ่มปริมาณสารอินทรีย์ให้กับระบบดินเพราะน้ำเสียชุมชนมีสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบหลัก ควรส่งผลดีในด้านความอุดมสมบูรณ์ให้กับดินได้ดี โดยเฉพาะกรณีของธาตุอาหารพืชในดิน เช่น ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม (ชัชชาย, 2549) เนื่องจากดินส่วนใหญ่ในประเทศไทยเป็นดินร่วนที่มีธาตุอาหารต่างๆ เหล่านี้อยู่มาก เมื่อเทียบกับความต้องการของพืช

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นกล่าวได้ว่า การกำจัดน้ำเสียโดยการปล่อยน้ำเสียเข้าสู่ระบบดินเปรียบเสมือนเป็นการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้กับดินก็ตาม แต่ในด้าน

ของผลกระทบต่าง ๆ ของดินยังมีผู้ศึกษาอยู่น้อยมาก ประกอบกับมีนักวิชาการหลายคนให้ความสนใจ เพราะน้ำที่ปล่อยเข้าสู่ระบบดินเป็นน้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมของการดำรงชีวิตและยิ่งไปกว่านั้นถ้าเป็นน้ำเสียชุมชนจากโรงพยาบาล ของเสียที่เหลือจากการบำบัดมาแล้วชั้นตอนหนึ่ง ยังมีของเสียปนอยู่สูง (ณัฐภูมิ, 2551) แม้ว่าการบำบัดน้ำเสียเหล่านั้นมาแล้วก่อนปล่อยเข้าสู่ชั้นดินก็ตาม น้ำเสียและน้ำทิ้งนั้นย่อมมีสารต่าง ๆ หลงเหลืออยู่เป็นจำนวนมากไม่น้อย (Venhuizen, 2011) อีกทั้งการที่ดินได้รับสารอินทรีย์ตกค้างอยู่อย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานย่อมส่งผลในทางกลับกันอย่างแน่นอน ดังเช่น การสะสมสารอินทรีย์ต่าง ๆ ในดิน ซึ่งจะส่งผลต่อสภาพทางเคมีและชีวภาพของดินในทิศทางที่ไม่มีใครทราบหรืออาจส่งผลกระทบต่อลักษณะทางฟิสิกส์ของดิน ทำให้ดินที่รับน้ำอยู่นั้นเกิดการอุดตันจนดินเสียสภาพการซึมน้ำได้ เพราะประสิทธิภาพการซึมผ่านได้ผิวดินขึ้นอยู่กับโครงสร้างของดินเป็นสำคัญ (Scherer, 2006) ซึ่งสภาพเหล่านี้จะเป็นปัญหาอย่างหนักกับการแก้ไขทรัพยากรดินให้กลับคืนสภาพเดิมได้ ดังนั้น การศึกษาผลกระทบต่าง ๆ ในดินเมื่อต้องใช้ดินเป็นที่รองรับของเสียต้องศึกษาให้มีความชัดเจนว่า การแก้ไขปัญหเกี่ยวกับปริมาณน้ำเสียหรือการจัดการน้ำเสียโดยดินจะไม่เป็นการสร้างปัญหาใหม่ที่ขนาดใหญ่มากขึ้นมาทดแทน หรือจะไม่สามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้เลย นอกจากนั้น ถ้าสภาพดินเกิดปัญหาย่อมส่งผลถึงพืชที่ปลูกไว้บนดินอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ เนื่องจากพืชที่ขึ้นอยู่ต้องอาศัยดินเป็นที่เจริญเติบโตและใช้ธาตุอาหารในการเติบโตจากดินตลอดอายุพืช อีกทั้งถ้าดินมีปัญหาในด้านธาตุอาหารพืชและเกิดสภาพเป็นพิษเนื่องจากการรับของเสียมากเกินไปแล้ว ย่อมเป็นการทำลายทรัพยากรดินและพืชไปพร้อม ๆ กันอย่างยั่งยืน และยิ่งถ้าไม่มีการศึกษาวิจัยให้ชัดเจนว่าผลกระทบของการปล่อยน้ำที่มีของเสียปนเปื้อนต่อดินและพืชเป็นอย่างไรแล้ว จะมีผลต่อการใช้ประโยชน์ที่ดินอย่างยิ่ง

ดังนั้น ในการศึกษาวิจัยนี้จึงได้กำหนดวัตถุประสงค์การวิจัยเพื่อศึกษาลักษณะดินในหน่วยทดลองที่เปลี่ยนไป เมื่อได้รับน้ำตัวอย่างที่เป็นน้ำเสียโรงพยาบาลชุมชน และศึกษามวลชีวภาพพืชในหน่วยทดลองที่เปลี่ยนไปเมื่อปลูกอยู่ในหน่วยทดลองที่ได้รับน้ำตัวอย่างที่เป็นน้ำเสียโรงพยาบาลชุมชน

วิธีการศึกษา

การทดลองนี้วางแผนการทดลองแบบ CRD (Completely Randomize Design) มี 3 ตำรับการทดลอง (treatment) 3 ซ้ำ (replication) ตำรับการทดลองประกอบด้วยหน่วยทดลองที่ปลูกด้วยข้าวโพด หน่วยทดลองที่ปลูกด้วยหญ้าแฝก และหน่วยควบคุมเป็นหน่วยทดลองที่ไม่ปลูกพืช วิเคราะห์ผลการทดลองแบบ ANOVA (Analysis of Variance) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแต่ละตำรับการทดลองโดย LSD (Least Significant Different) โดยในการทดลองจัดทำหน่วยทดลองในพื้นที่ทดลองที่เป็นพื้นที่ข้างอาคารวิธา แยมเจริญวงศ์ เป็นพื้นที่ทดลองของโครงการวิจัยน้ำเสียด้วยดินและวัชพืช คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ทำการทดลองระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2558 ถึงเดือนมกราคม 2559 ลักษณะหน่วยทดลองแสดงใน (Figure 1) ซึ่งเป็นหน่วยกำจัดน้ำเสียแบบร่องซึมมาตรฐานขนาดกว้าง 0.40 เมตร ยาว 2.10 เมตร และสูงจากพื้นดิน 0.50 เมตร จำนวน 9 หน่วยทดลอง ตำรับละ 3 หน่วยทดลอง จำนวน 3 ตำรับ ภายในหน่วยทดลองใส่ด้วยดินตัวอย่างที่เก็บมาจากหน่วยบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาลโนนไทย อำเภอโนนไทย จังหวัดนครราชสีมา ลักษณะดินที่นำมาทดลองแสดงไว้ใน (Table 1) นำน้ำเสียตัวอย่างที่มีลักษณะดังกล่าว (Table 2) ปล่อยผ่านหน่วยทดลอง โดยปล่อยบริเวณผิวดินในหน่วยทดลองให้กระจายทั่วทั้งหน่วยทดลองให้มีอัตราการไหล เท่ากับ 0.12 ลิตร/นาที ในช่วงเวลากลางวัน 12 ชั่วโมง ให้ผ่านไป 3 วัน ผิวดินในหน่วยทดลองจะชุ่มน้ำ จากนั้นนำพืชทดลอง ได้แก่ ข้าวโพดและหญ้าแฝก โดยข้าวโพดปลูกด้วยเมล็ดหุลุมละ 5 ต้น ถอนคัดเลือกกล้าออกให้เหลือหุลุมละ 2 ต้น เมื่อข้าวโพดมีความสูงเฉลี่ย 0.30 เมตร จึงนำกล้าหญ้าแฝกที่มีความสูงเฉลี่ย 0.20 เมตร ปลูกในหน่วยทดลอง พืชทั้งสองมีน้ำหนักสดใกล้เคียงกันเฉลี่ยประมาณ 200 กรัม/ต้น จึงเริ่มทำการเก็บตัวอย่างดินในหน่วยทดลองมาวิเคราะห์ในแผนการทดลองที่กำหนดไว้ โดยขุดให้ลึกลงไปจากผิวดิน 0.20 เมตร เก็บตัวอย่างดินจำนวน 0.25 ลิตร จำนวน 3 จุด แล้วกลบหลุมเก็บตัวอย่างไว้เช่นเดิม นำตัวอย่างดินมาผึ่งให้แห้งเพื่อนำไปวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการ จำนวน 5 ครั้ง

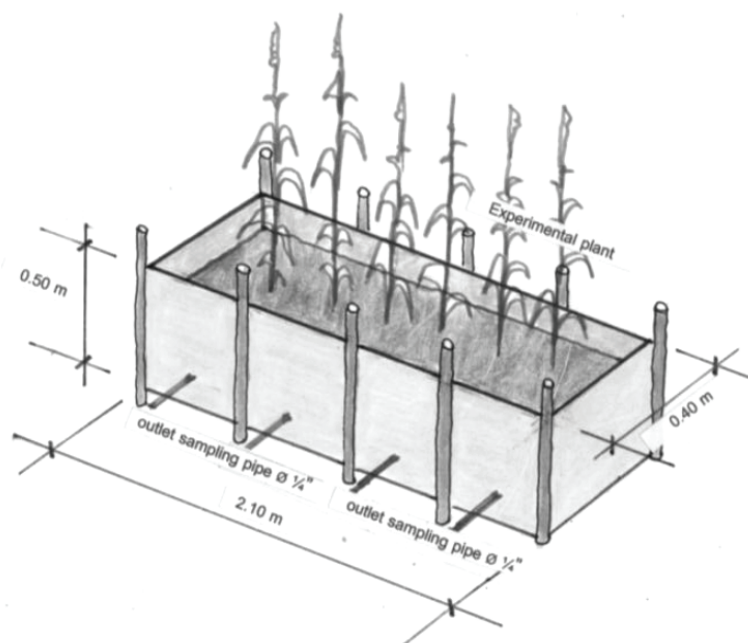


Figure 1 Experimental unit characteristic.

Table 1 Characteristics of soil sample

Parameters	Quantity	Unit
Bulk Density ; BD	1.46	g/cm ³
Porosity ; E	38.00	%
Total Nitrogen ; TN	0.010	%
Available Phosphorus ; Avail-P	16	ppm-P
Exchangeable Potassium ; Exch-K	79	ppm-K
Organic Matter ; OM	0.06	%

Table 2 Characteristics of wastewater sample

Parameters	Quantity	Unit
Chemical Oxygen Demand ; COD	130.5	mg/l
Total Suspended Solid ; TSS	43.42	mg/l
Total Dissolved Solid ; TDS	391.8	mg/l
Nitrate ; NO ₃ ⁻	40.25	mg/l
Phosphate ; PO ₄ ³⁻	54.42	mg/l

ผลการศึกษา

1. การเปลี่ยนแปลงลักษณะของดินตัวอย่าง

1.1 การเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารพืชในดินในหน่วยทดลอง

กรณีของไนโตรเจนรวม (total N) ในดินในหน่วยทดลองที่เป็นหน่วยควบคุมซึ่งไม่ปลูกพืชทดลอง เมื่อดินนั้นได้รับตัวอย่างน้ำเสีย ผลแสดงให้เห็นชัดเจนว่า ค่าดังกล่าวมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อย ๆ โดยดินก่อนรับน้ำตัวอย่างไนโตรเจนรวมในดินมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.010% สิ้นสุดการทดลอง ค่านี้เพิ่มขึ้นถึง 0.124% เมื่อพิจารณาในทุกหน่วยทดลองมีการเพิ่มขึ้นของไนโตรเจนรวมทุกหน่วย แต่มีความแตกต่างของการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นคือในหน่วยทดลองที่เป็นหน่วยควบคุมนั้นเมื่อสิ้นสุดการทดลองค่าไนโตรเจนรวมพบมีค่ามากที่สุด ส่วนหน่วยทดลองที่ปลูกด้วยหญ้าแฝกพบค่า ไนโตรเจนรวมน้อยที่สุด แตกต่างจากในหน่วยทดลองที่ปลูกด้วยข้าวโพดพบค่าไนโตรเจนรวมต่ำกว่าหน่วยควบคุมเท่ากับ 0.055% เมื่อสิ้นสุดการทดลองแล้วเปรียบเทียบความแตกต่างของหน่วยทดลองที่ปลูกด้วยหญ้าแฝกพบค่า ไนโตรเจนรวมต่ำกว่าหน่วยควบคุมเท่ากับ 0.064% และในหน่วยทดลองที่ปลูกด้วยพืชทดลองทั้งสองชนิดนั้นมีค่าไนโตรเจนรวมต่ำกว่าปริมาณที่พบในหน่วยควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P < 0.01$

ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available P) ที่ตรวจสอบในดินของหน่วยทดลองเมื่อดินในหน่วยทดลองได้รับน้ำตัวอย่างพบว่า ทุกหน่วยทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยทุก

หน่วยทดลองมีค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้นเฉลี่ย 16 ppm-P เมื่อเวลาผ่านไปปริมาณฟอสฟอรัสที่พบในดินของหน่วยทดลองมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยในหน่วยทดลองที่ไม่ปลูกพืชทดลองมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณฟอสฟอรัสมากที่สุด ส่วนหน่วยทดลองที่ปลูกด้วยพืชทดลองทั้งสองชนิด ได้แก่ หญ้าแฝกและข้าวโพดพบค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินของหน่วยทดลองน้อยกว่าในดินของหน่วยทดลองที่เป็นหน่วยควบคุม (ดินไม่ปลูกพืชทดลอง) ในดินของหน่วยทดลองที่ปลูกด้วยหญ้าแฝกมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์น้อยกว่าหน่วยควบคุมตลอดการทดลองเท่ากับ 10 ppm-P ส่วนในดินของหน่วยทดลองที่ปลูกด้วยข้าวโพดพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์น้อยกว่าหน่วยควบคุมตลอดการทดลองเท่ากับ 5 ppm-P เช่นเดียวกับปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable K) ที่แสดงให้เห็นชัดเจนว่า เมื่อดินตัวอย่างของหน่วยทดลองได้รับน้ำตัวอย่างแล้ว ปริมาณของโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินดังกล่าวมีปริมาณเพิ่มขึ้นทุกหน่วยทดลอง และมีค่าเพิ่มขึ้นของหน่วยทดลองที่เป็นหน่วยควบคุมมากกว่าที่พบของหน่วยทดลองที่ปลูกด้วยพืชทดลองในดินของหน่วยทดลองที่ปลูกด้วยพืชทดลองทั้งสองชนิดนั้น ในดินของหน่วยทดลองที่ปลูกด้วยหญ้าแฝกพบปริมาณของโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้น้อยที่สุด ส่วนในดินของหน่วยทดลองที่ปลูกด้วยข้าวโพดพบปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์นั้นมากกว่าหน่วยทดลองที่ปลูกด้วยหญ้าแฝกแต่น้อยกว่าหน่วยทดลองที่เป็นหน่วยควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P < 0.01$

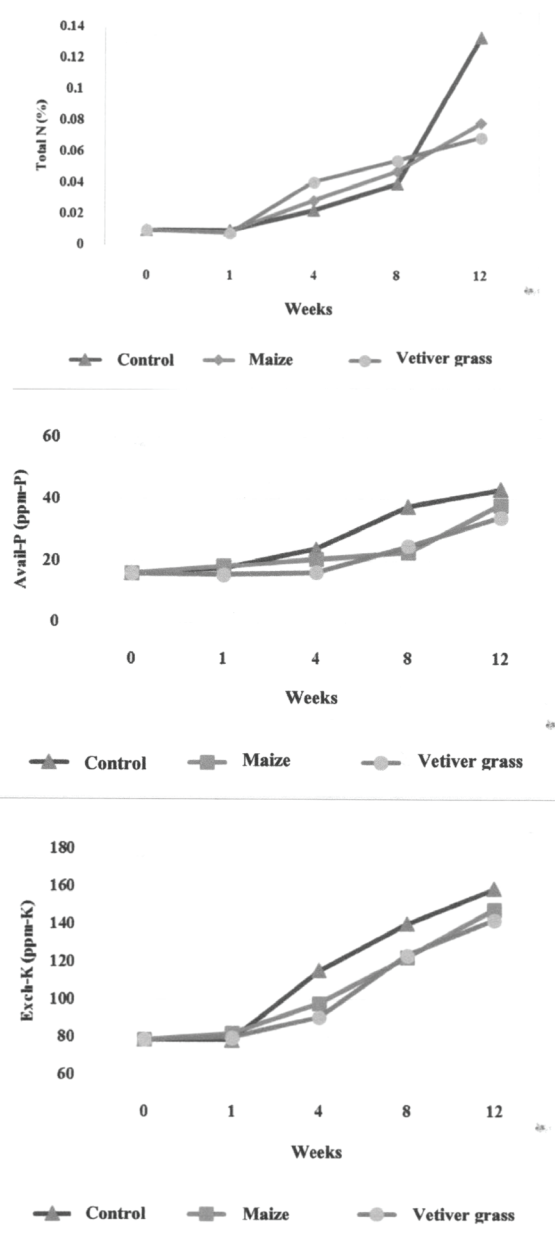


Figure 2 Trend of Total Nitrogen (TN) Available Phosphorus (avail.-P) and Exchangeable Potassium (exch.-K) in experimental soil.

1.2 การเปลี่ยนแปลงอินทรีย์วัตถุในดินของหน่วยทดลอง

ในหน่วยทดลองที่เป็นชุดควบคุม (หน่วยทดลองที่ไม่ปลูกพืช) มีปริมาณของอินทรีย์วัตถุเพิ่มขึ้นมากที่สุดโดยมีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นถึง 1.01% เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ส่วนในหน่วยทดลองที่ปลูกด้วยข้าวโพดและหญ้าแฝก

พบว่า การเพิ่มขึ้นของปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินของหน่วยทดลองเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลองเพียง 0.66% และ 0.57% ตามลำดับ การเปลี่ยนแปลงปริมาณดังกล่าวพบว่า ในดินของหน่วยทดลองที่ปลูกด้วยพืชทดลองนั้น มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของอินทรีย์วัตถุน้อยกว่าที่พบในดินของหน่วยทดลองที่เป็นหน่วยควบคุม

Table 3 Changed of organic matter in experimental soil

Treatment	Soil organic matter (%)				
	Weekly				
	0	1	4	8	12
Control	0.06	0.08a	0.20c	0.48a	1.07a
Soil planted corn	0.06	0.08a	0.27b	0.40b	0.72b
Soil plated grass	0.06	0.06a	0.30a	0.40b	0.63b
%CV	-	23.27	5.64	3.75	6.3
LSD	-	0.05	0.01	0.01	0.01

Mean in the same column followed by different letters were different significantly by LSD = 0.05

1.3 การเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นรวมและความพรุนของดินในหน่วยทดลอง

ในดินของหน่วยทดลองก่อนการทดลองมีความหนาแน่นรวมของดินเฉลี่ยเท่ากับ 1.40 g/cm³ เมื่อการทดลองดำเนินไป ดินของหน่วยทดลองที่ได้รับน้ำเสียเป็นน้ำตัวอย่างแล้ว ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าความหนาแน่นรวมของดินลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะหน่วยทดลองที่ปลูกด้วยหญ้าแฝกทำให้ดินมีความหนาแน่นรวมต่ำที่สุด และหน่วยทดลองที่ปลูกด้วยพืชทดลองทั้งข้าวโพดและหญ้าแฝกนั้น ทำให้ดินของหน่วยทดลอง

มีค่าความหนาแน่นรวมต่ำกว่าดินของหน่วยทดลองที่เป็นหน่วยควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P < 0.01$ ส่วนความพรุนของดินนั้น ผลการทดลองแสดงให้เห็นชัดเจนว่า ในหน่วยทดลองที่ปลูกด้วยพืชทดลองทั้งสองชนิดและหน่วยควบคุมมีค่าความพรุนเปลี่ยนแปลงไปไม่แตกต่างกันทางสถิติเมื่อสิ้นสุดการทดลอง แต่ค่าความพรุนของทุกหน่วยทดลองมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของทุกหน่วยทดลอง ซึ่งในดินของหน่วยทดลองทุกหน่วยทดลองมีค่าความพรุนเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 1.5%

Table 4 Changed of bulk density in experimental soil

Treatment	Bulk density(g/cm ³)				
	Weekly				
	0	1	4	8	12
Control	1.46	1.42 a	1.37 a	1.31a	1.26a
Soil planted corn	1.46	1.43 a	1.35 a	1.30a	1.20a
Soil plated grass	1.46	1.45 a	1.31 a	1.15b	1.07b
%CV	-	2.38	3.54	2.52	3.23
LSD	-	0.05	0.05	0.01	0.01

Mean in the same column followed by different letters were different significantly by LSD = 0.05

Table 5 Changed of soil porosity in experimental soil

Treatment	Porosity (%)				
	Weekly				
	0	1	4	8	12
Control	38.0	48.357 a	49.070 a	50.000 a	50.083 a
Soil planted corn	38.0	49.343 a	49.940 a	50.013 a	50.247 a
Soil plated grass	38.0	49.767 a	50.060 a	50.300 a	51.917 a
%CV	-	1.82	1.18	1.97	2.82
LSD	-	0.05	0.05	0.05	0.05

Mean in the same column followed by different letters were different significantly by LSD = 0.05

2. การเปลี่ยนแปลงมวลชีวภาพของพืชทดลอง

ในชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียประกอบด้วยหน่วยทดลองปลูกข้าวโพดและหญ้าแฝก โดยมีหน่วยทดลองที่ไม่ปลูกพืชเป็นหน่วยควบคุม ก่อนการทดลองของหน่วยทดลองปลูกด้วยพืชทดลองทั้ง 2 ชนิดนั้น มีน้ำหนักสดใกล้เคียงกัน (เฉลี่ยทั้งหน่วยทดลองเท่ากับ 216.17 กรัม เป็น 2,175.90 กรัม/หน่วยทดลอง (น้ำหนักสด) และมีค่าเปลี่ยนแปลงน้ำหนักแห้งจาก 15.86 กรัม เป็น 236.67

กรัม/หน่วยทดลอง ซึ่งแตกต่างจากหน่วยทดลองที่ปลูกด้วยหญ้าแฝก พบน้ำหนักสดหลังการทดลองเฉลี่ยเท่ากับ 2,980.0 กรัม/หน่วยทดลอง มากกว่าน้ำหนักสดของข้าวโพดที่พบต่อหน่วยทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P < 0.01$ ในขณะที่หน่วยทดลองไม่ปลูกพืชที่เป็นหน่วยควบคุมก่อนการทดลองไม่พบพืช แต่เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า มีวัชพืชขึ้นอยู่ในหน่วยทดลอง พบมีค่าเฉลี่ยต่อหน่วยทดลอง 95.00 กรัม/หน่วยทดลอง

Table 6 Changed of experimental plant biomass which received wastewater sample

Treatment	Biomass (g)			
	Fresh weight		Dry weight	
	Before	After	Before	After
Control	0b	95.0c	0b	8.30c
Soil planted corn	216.67a	2175.90b	15.86a	236.67b
Soil plated grass	234.33a	2980.20a	18.02a	511.67a
%CV	4.27	9.41	11.25	25.12
LSD	0.01	0.01	0.01	0.01

Mean in the same column followed by different letters were different significantly by LSD = 0.05

วิจารณ์

การเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารพืชกรณี N P K ในรูปไนโตรเจนรวม ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้นั้น มีปริมาณเพิ่มขึ้นในดินของหน่วยทดลองอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาของการทดลอง โดยปริมาณธาตุอาหารในดินในหน่วยทดลองที่ปลูกด้วยพืชทดลองทั้งสองชนิดมีการเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารหลักทั้ง 3 ในแนวโน้มที่ต่ำกว่าที่พบในดินในหน่วยทดลองที่เป็นชุดควบคุม ดังเช่นกรณีของไนโตรเจนรวมนั้นพบสูงสุดตลอดการทดลองถึง 0.079% ในช่วงสุดท้ายของการทดลอง ซึ่งปริมาณดังกล่าวนี้มีค่าสูงเมื่อเทียบกับปริมาณที่พบได้ในดินทั่วไป เนื่องจากปริมาณของไนโตรเจนรวมในดินระหว่าง 0.6 - 1.0% เป็นปริมาณที่สูงตามเกณฑ์ที่พบในดินและไม่อยู่ในระดับที่เป็นพิษต่อพืช เช่นเดียวกันกับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์พบมีค่าตลอดการทดลองระหว่าง 16.0 - 43.3ppm-P เป็นปริมาณที่พบในดินสูง ส่วนกรณีของโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้นั้น พบมีค่าระหว่าง 79.0 - 158.7ppm-K และพบในดินสูงเช่นเดียวกัน ธาตุอาหารพืช ทั้ง 3 ชนิดนั้นตลอดการทดลองอยู่ในระดับที่เป็นประโยชน์สูงต่อพืชทดลอง (สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน, 2547)

สภาพเช่นนี้กล่าวได้ว่า หน่วยทดลองที่ปลูกด้วยพืชทดลอง พืชทดลองนั้นจะต้องใช้ธาตุอาหารไปในการเจริญเติบโตตลอดเวลาของการทดลอง จึงเป็นผลให้ในดินของหน่วยทดลองเหลือธาตุอาหารต่ำกว่าในดินในหน่วยทดลองซึ่งเป็นชุดควบคุม แต่ตลอดการทดลองปริมาณธาตุอาหารทั้ง 3 สูงขึ้นในทุกหน่วยทดลอง เพียงแต่ในหน่วยทดลองที่มีพืชทดลองปลูกอยู่นั้นมีการสูญเสียธาตุอาหารจากดินไปสู่พืชทดลอง เนื่องจากในน้ำตัวอย่างซึ่งเป็นน้ำเสียนั้น มีของเสียตกค้างอยู่เป็นจำนวนมากถึงแม้ว่าน้ำเสียนั้นจะบำบัดมาแล้วในขั้นต้นก็ตาม ปริมาณของเสียยังคงตกค้างอยู่เป็นจำนวนมากเมื่อดินในหน่วยทดลองได้รับน้ำดังกล่าวจึงทำให้ดินมีธาตุอาหารเพิ่มขึ้น ซึ่งเกี่ยวกับเรื่องนี้ Koupai et al. (2006) ได้ทดลองใช้น้ำเสียและน้ำทิ้งกลับมาใช้เพื่อการเกษตรแล้วพบว่า ในดินในหน่วยทดลองนั้นมีค่าธาตุอาหารพืชหลักทั้ง 3 นั้นสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องเช่นกัน

การเปลี่ยนแปลงอินทรีย์วัตถุ ก่อนการทดลอง ดินตัวอย่างยังไม่ได้รับน้ำตัวอย่างที่เป็นน้ำเสีย พบมีค่าสารอินทรีย์เท่ากับ 0.06% แต่เมื่อหน่วยทดลองได้รับน้ำตัวอย่างแล้ว ปริมาณของสารอินทรีย์มีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเมื่อเวลาการทดลองผ่านไป 4 สัปดาห์ค่าดังกล่าวเพิ่มขึ้นทุกหน่วยทดลอง 0.20% ในหน่วย

ควบคุม 0.27% ในหน่วยทดลองที่ปลูกด้วยข้าวโพด และ 0.30% ในหน่วยทดลองที่ปลูกด้วยหญ้าแฝก เมื่อสิ้นสุดการทดลอง หน่วยทดลองที่ปลูกด้วยหญ้าแฝกมีอินทรีย์วัตถุในดินต่ำที่สุด 0.63% ในขณะที่หน่วยควบคุมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.07% และ 0.72% ในหน่วยทดลองที่ปลูกด้วยข้าวโพด ซึ่งในหน่วยทดลองที่ปลูกด้วยพืชมีค่าดังกล่าวแตกต่างจากหน่วยทดลองที่เป็นหน่วยควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P < 0.01$ และการเพิ่มขึ้นในหน่วยทดลองที่ปลูกพืชทุกตัวรับการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ

จากสภาพการเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน สามารถกล่าวได้ว่า น้ำตัวอย่างซึ่งเป็นน้ำเสียและส่วนใหญ่เป็นของเสียอินทรีย์ เมื่อนำมาทดลอง โดยการปล่อยน้ำนั้นเข้าสู่ดินที่นำมาทดลอง เปรียบเหมือนการปล่อยอินทรีย์สารเข้าสู่ดิน อีกทั้งระยะเวลาการทดลองใช้เวลานาน จึงทำให้ปริมาณของสารอินทรีย์ในดินสูงขึ้น ดังเช่นการศึกษาของ Montiel et al. (1996) ได้ศึกษาดินหลังจากได้รับน้ำชลประทานซึ่งเป็นน้ำเสียชุมชน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ดินนั้นมีค่าของสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น โดยในดินที่ทดลองมีค่า OM สูงสุด $0.72 \pm 0.02\%$ ส่วนดินที่เปรียบเทียบมีค่าเพียง $0.59 \pm 0.01\%$ เท่านั้นส่วนกรณีของค่าความหนาแน่นรวม (BD) และความพรุน (E) ของดินนั้นพบว่ามีการเปลี่ยนแปลง โดยค่าความหนาแน่นรวมมีค่าต่ำลงเรื่อยๆ ในขณะที่ค่าความพรุนมีค่าสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง เป็นผลมาจากปริมาณของอินทรีย์วัตถุในดินที่เพิ่มขึ้น เมื่อดินมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงขึ้นจะทำให้อนุภาคของดินจับตัวกันเป็นเม็ดดิน ในปริมาตรของดินเท่าเดิมซึ่งจะทำให้ดินมีความโปร่งและร่วนซุยมากขึ้น และเกี่ยวกับเรื่องนี้ Vogeler (2009) ได้รายงานไว้ว่า การศึกษาผลระยะยาวของการใช้น้ำเสียต่อลักษณะทางฟิสิกส์ของดินพบว่าในดินนั้นมีค่า SOM (Soil Organic Matter) เพิ่มขึ้นหรือ % OM มีค่าเพิ่มขึ้น แต่ค่า BD ลดลง ในขณะที่ค่า E ของดินตัวอย่างเพิ่มขึ้น (วิทยา, 2545) โดยค่า BD ของดินทดลองมีค่าระหว่าง $0.75-1.0 \text{ gm/cm}^3$ ส่วนในดินของหน่วยควบคุมมีค่าระหว่าง $0.84 - 1.22 \text{ g/cm}^3$ และค่า E ของดินตัวอย่างมีค่าระหว่าง 58 - 71% ในขณะที่ในดินของหน่วยควบคุมมีค่าเพียง 56 - 68% เท่านั้น

การเปลี่ยนแปลงมวลชีวภาพของพืชทดลอง ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ถ้าเปรียบเทียบมวลชีวภาพของพืชทดลองทุกหน่วยทดลองแล้ว หญ้าแฝกมีมวลชีวภาพมาก

ที่สุด มากกว่ามวลชีวภาพของข้าวโพด ส่วนมวลชีวภาพของวัชพืชในหน่วยควบคุมซึ่งไม่ได้ปลูกพืชก่อนการทดลอง แต่หลังการทดลองมีวัชพืชขึ้นอยู่นั้น สาเหตุมาจากการนำดินตัวอย่างมาใส่ในหน่วยทดลองนั้น เป็นดินชั้นผิวดินซึ่งมีวัชพืชเจริญเติบโตอยู่แล้ว เมื่อนำมาทดลองวัชพืชนั้นก็เติบโตขึ้นมาอีก ซึ่งการเก็บเกี่ยว พืชทดลองนั้น ทำการเก็บเกี่ยวทั้งหมดจากแปลง รวมทั้งวัชพืชด้วย อีกทั้งการเจริญเติบโตของพืชและวัชพืชในหน่วยทดลองเมื่อได้รับน้ำตัวอย่างซึ่งเป็นน้ำเสียนั้น เป็นผลมาจากในน้ำเสียที่นำมาเป็นน้ำตัวอย่างมีการตกค้างของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์โดยเฉพาะธาตุอาหารหลักของพืช จึงส่งผลให้พืชนั้นเจริญเติบโตได้

สรุป

1. การเปลี่ยนแปลงลักษณะดินตัวอย่าง ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และปริมาณโพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ในดินในหน่วยทดลองทุกหน่วยทดลองเพิ่มขึ้น โดยในดินในหน่วยทดลองที่ปลูกพืชทดลองมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของธาตุอาหารทั้ง 3 ชนิด ต่ำกว่าในดินของหน่วยทดลองที่เป็นหน่วยควบคุมซึ่งไม่ปลูกพืช เนื่องจากในหน่วยทดลองที่ปลูกพืชทดลอง พืชทดลองได้ดูดใช้ธาตุอาหารที่ปนมากับน้ำตัวอย่างซึ่งเป็นน้ำเสียไปใช้ในการสร้างมวลชีวภาพ ทำให้ธาตุอาหารที่พบในดินที่มีพืชทดลองพบต่ำกว่าในดินในหน่วยทดลองที่ไม่ปลูกพืช อีกทั้งหน่วยทดลองที่พบมวลชีวภาพของพืชทดลองมากจะพบปริมาณของธาตุอาหารในดินในหน่วยทดลองน้อยกว่า ส่วนความหนาแน่นรวมและความพรุนของดินนั้นพบว่าเมื่อดินในหน่วยทดลองได้รับตัวอย่างน้ำเสียแล้วค่าความหนาแน่นรวมของดินลดลง แสดงให้เห็นว่า ดินนั้นร่วนซุยขึ้นและมีค่าความพรุนที่สูงขึ้น แสดงว่าดินนั้นมีช่องว่างระหว่างดินมากขึ้นอันเนื่องมาจากการได้รับสารอินทรีย์จากน้ำตัวอย่างเข้าสู่ระบบดินอย่างต่อเนื่อง

2. การเปลี่ยนแปลงมวลชีวภาพของพืช ได้แก่ ข้าวโพดและหญ้าแฝก พบว่าหญ้าแฝกมีการเจริญเติบโตได้ดีกว่าข้าวโพด หลังการทดลองพบมวลชีวภาพของหญ้าแฝกมากกว่ามวลชีวภาพของข้าวโพดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P < 0.01$

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณ นพ.บุญชัย ธนบัตรชัย ผู้อำนวยการโรงพยาบาลโนนไทย โครงการศึกษาสภาพปัญหาแนวทางการแก้ไข การควบคุมดูแลระบบบำบัดน้ำเสียและแนวเฝ้าระวังการนำน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วกลับมาใช้ในโรงพยาบาลชุมชน ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ คณะสาธารณสุขศาสตร์ และกลุ่มวิจัยดินปัญหาในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่สนับสนุนงบประมาณการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2552. การบำบัดน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 3. [ม.ป.พ.], นนทบุรี.
- จำเนียร มูลเทพ. 2552. ผลกระทบต่อสุขภาพจากการจัดการสิ่งปฏิกูลของเทศบาลตำบลบ้านค้อ อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น. วารสารอนามัยสิ่งแวดล้อม. 11(4): 14–20.
- ซัชชชาย แจ่มใส. 2549. ความเหมาะสมของการนำตะกอนน้ำเสียโรงพยาบาลชุมชนเพื่อใช้ในการปลูกข้าวโพด. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาปฐพีศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ซัชชชาย แจ่มใส. 2554. รายงานการวิจัย การกำจัดน้ำเสียโดยระบบการซึมผ่านใต้ผิวดินโรงพยาบาลตระการพืชผล อำเภอตระการพืชผล จังหวัดอุบลราชธานี. คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.
- ณัฐภูมิ สุตแก้ว. 2551. ขับถ่ายอย่างไรไม่เป็นภาระ. วารสารเกษตรกรรมธรรมชาติ. 11(8): 38-45.
- พรชัย ศรีเชียงสา. 2559. วิทยานิพนธ์ปริญญาสาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิตสาขานามัยสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- พิรัชมา วาสนานุกูล, ปรัชญา ธัญญาดี และสุภาพร จันรุ่งเรือง. 2551. การแปรสภาพสิ่งขับถ่ายของเสียของคน เป็นปุ๋ยอินทรีย์เพื่อปรับปรุงบำรุงดิน. วารสารเกษตรกรรมชาติ. 11(8): 54–58.
- ลัฐกา จันทร์จิต และ ชาญชัย เกษจันทร์. 2552. การจัดการเรื่องส้วมและสิ่งปฏิกูลตามกฎหมายไทย. วารสารอนามัยสิ่งแวดล้อม. 11(2): 3–13.
- วิทยา ตรีโลเทศ. 2545. หลักการทางฟิสิกส์ของดิน. ภาควิชาทรัพยากรที่ดินและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- วิลโลว์ ศรีสุโพธิ์. 2555. ปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรียในดินที่ผ่านระบบกำจัดน้ำเสียแบบร่องซึมกรณีถึงเกราะที่มีระยะพักตัวแตกต่างกัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาสาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิตสาขานามัยสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน. 2547. ฟอสฟอรัสในดินระดับที่เป็นพิษ. แหล่งข้อมูล: <https://goo.gl/Y595mg>. ค้นเมื่อ 4 กันยายน 2560.
- อภิญา จันทวัฒน์. 2554. การตรวจหา Coliform bacteria และ E. coli. แหล่งข้อมูล: <https://goo.gl/ZW4izv>. ค้นเมื่อ 26 มีนาคม 2559.
- Hammond, C., Tyson and Tony. 1991. Septic tank design and construction. Athens, GA: University of Georgia, Cooperative Extension Service, Georgia.
- Hargett, D., L. Tyler, and R.L. Siegrist.. 1981. Soil Infiltration Capacity as Affected by Septic Tank Effluent Application Strategies. Onsite Sewage Treatment Symposium Chicago. [n.p.], Illinois.
- Koupai, J.A., B.M. Fard, M. Atyuni, and M.R. Bagheri. 2006. Effect of treated wastewater on soil chemical and physical properties in an arid region. Plant Soil. Environ. 8(8): 344–355.
- Montiel, O.V., N.J. Horan, and D.D. Mara. 1996. Management of Domestic Wastewater for reuse in irrigation Wat. Sci. 33(10): 355-362.
- Scherer, T.F. 2006. Individual home sewage treatment systems. North Dakota State University. [n.p.].
- Tyler, E.J., E.M. Drozd, and J.O. Peterson. [n.d.]. Estimating wastewater loading rates using soil morphological descriptions. Wisconsin of University, Madison.
- Venhuizen, D.P.E. 2011. An analysis of the potential impacts on groundwater quality of on site wastewater management using alternative management practices. Available: <https://goo.gl/y77nLk>. Accessed Jul 17, 2010.
- Vogeler, I. 2009. Effect of long-term wastewater application on physical soil properties. Water Air Soil Pollut. 196: 385-392.
- Ziebell, W, A., R.J. Otis, and J. Bouma. 1973. An Evaluation of two Experimental Household Wastewater Treatment and Disposal Systems in Southeastern Wisconsin. Wisconsin of University, Madison.