

การใช้น้ำเสียชุมชนเพื่อการเพาะปลูกข้าวเจ้าพันธุ์ กข 31 (ปทุมธานี 80) Utilization of Community Wastewater in Rice Cultivation, RD 31 (Pathum Thani 80)

ณัฐสิมา โทชันธิ์^{1*} ชุติมาศ บุญไทย อิวาย² และอัษฎารพร สมภาร³
Natsima Tokhun,^{1*} Chuleemas Boonthai Iwai,² and Atcharaporn Sompam³

บทคัดย่อ

การนำน้ำเสียมาใช้ประโยชน์ในการเพาะปลูกข้าว เป็นทางเลือกหนึ่งในการจัดการน้ำเสีย และช่วยลดปัญหาการขาดแคลนน้ำในการเกษตร ซึ่งการศึกษาการใช้น้ำเสียชุมชนเพื่อเพาะปลูกข้าวพันธุ์ กข 31 (ปทุมธานี 80) เบื้องต้นคุณสมบัติของน้ำเสียของชุมชนมหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ มีความเป็นด่างเล็กน้อย (pH 7.88) และมีองค์ประกอบของสารอินทรีย์ (TS, BOD, TN และ TP) ค่อนข้างสูง สามารถนำมาใช้เพาะปลูกข้าวพันธุ์ กข 31 (ปทุมธานี 80) ที่ช่วงเวลา 132 วัน ได้โดยไม่มีความเป็นพิษ เมื่อนำน้ำเสียมาใช้เพาะปลูกข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0 (35 กิโลกรัม/ไร่) และ 46-0-0 (15 กิโลกรัม/ไร่) ในตัวแทนชุดดินองครักษ์ที่มีสภาพเป็นกรดอ่อน (pH 6.22) และคุณสมบัติของดินระดับปานกลาง ตามแผนการทดลองสุ่มแบบสมบูรณ์ (CRD) โดยแบ่งเป็น 5 กรรมวิธี ละ 4 ซ้ำ ผลการศึกษาพบว่า การใช้น้ำเสียร่วมกับปุ๋ยเคมีมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตที่ระยะต่างๆ (แตกกอ ตั้งท้อง ออกรวง และเก็บเกี่ยว) มวลชีวภาพสด-แห้ง จำนวนต้นข้าว จำนวนรวงข้าว และผลผลิตข้าวเฉลี่ยสูงสุด รองลงมาเป็นการรวมวิธีที่ใช้น้ำเสียร่วมกับปุ๋ยเคมีและปุ๋ยพืชสด การใช้น้ำเสียเพียงอย่างเดียว และการใช้น้ำประปา ตามลำดับ โดยกรรมวิธีดังกล่าวให้น้ำหนักแห้งของเมล็ดดี (27.00 กรัม/1,000 เมล็ด) มีค่าใกล้เคียงกับการเพาะปลูกปกติในนาชลประทาน (28.90 กรัม/1,000 เมล็ด) แต่อย่างไรก็ตาม ควรพิจารณาถึงสารมลพิษตกค้างในต้นข้าว เมล็ดข้าวและในดิน ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงระบบนิเวศดินในระยะยาวควบคู่ไปด้วย

คำสำคัญ : น้ำเสียชุมชน การเพาะปลูกข้าว ปุ๋ยพืชสด แหนแดง การจัดการน้ำเสีย

Abstract

Utilization of community wastewater in rice cultivation is alternative solution for wastewater management and water shortage in agriculture. The objective of this study aims to investigate the utilization of community wastewater in rice variety RD 31 (Pathum Thani 80) cultivation. The wastewater characteristic of Walaya Alongkorn Rajabhat University has shown slightly alkaline (pH 7.88) and high organic components (TS, BOD, TN and TP). It was feasible to use the wastewater in 132 days of rice cultivation and non-toxic. Use of the wastewater with chemical fertilizer 16-20-0 of 35 kg/rai (219 kg/ha) and 46-0-0 of 15 kg/rai (94 kg/ha) productions cultivated in Ongkharak soil series, that had slightly acid soil (pH 6.22) and moderate nutrient. This research was an experimental design (CRD) with 5 treatments and 4 replications. Result of the wastewater use with chemical fertilizers treatment was better height in growing stages (high, booting, heading and harvesting stages), larger amount of biomass, numbers of panicles per messy clump and yield than only green manure and only wastewater and tap water treatments,

¹ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จ.ปทุมธานี 13180

² ภาควิชาทรัพยากรที่ดินและสิ่งแวดล้อม และศูนย์วิจัยและพัฒนาการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำแบบบูรณาการ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ.ขอนแก่น 40002

³ สำนักวิชาศึกษาทั่วไป มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี จ.อุดรธานี 41000

*Corresponding author: E-mail: natsimat@gmail.com; natsima@vru.ac.th

respectively. Result of the wastewater use with chemical fertilizers treatment showed that grain weight (27.0 grams/1,000 kernels) was similar to irrigated rice (28.9 grams/1,000 kernels). However, pollutant residues in plant, yield, and soil ecosystem from wastewater utilization in rice cultivation will be considered in long-term.

Keywords: community wastewater, rice cultivation, green manure, azolla, wastewater management

คำนำ

ประชากรไทยส่วนใหญ่มีอาชีพเกษตรกรรมคิดเป็น 65% ของประชากรทั้งหมด 65.7 ล้านคน โดยมีระบบชลประทานสนับสนุนภาคการเกษตรเพียง 23.5 ล้านไร่ (17.8%) จากพื้นที่การเกษตร 320.7 ล้านไร่ ส่วนที่เหลืออีก 82.2% อาศัยน้ำฝนตามธรรมชาติ ซึ่งปริมาณฝนที่ตกมีความผันแปรระหว่าง 800-4,400 มิลลิเมตร/ปี (กรมปศุสัตว์, 2559; วิชัย, 2549) ทำให้เกิดปัญหาเรื่องน้ำที่แตกต่างกันและส่งผลกระทบต่อเกษตรกรมีความไม่แน่นอน โดยจากการสำรวจในปี 2557 พบปัญหาการขาดแคลนน้ำ (ภัยแล้ง) ทั่วประเทศ 44 จังหวัด คิดเป็น 18,355 หมู่บ้าน (สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร, 2557) นอกจากนี้ ประเทศไทยมีปัญหาเรื่องน้ำเสียที่ปล่อยเสียจากอาคารบ้านเรือนคิดเป็น 80-90% ของน้ำใช้ในแต่ละคน และสามารถสร้างปัญหาน้ำเสียได้รวดเร็วหากเป็นชุมชนขนาดใหญ่ ซึ่งการบำบัดน้ำเสียชุมชนจำเป็นต้องมีค่าใช้จ่ายสูงตามไปด้วย โดยวิธีที่สามารถลดต้นทุนในการแก้ปัญหา น้ำเสียชุมชนได้คือ การนำน้ำเสียกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่เพื่อการเกษตรกรรม เพราะน้ำเสียชุมชนมีธาตุอาหารหลักที่เป็นประโยชน์ต่อพืชและพบในดินน้อยไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช เช่น ความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจน (5-20 mg/L) อยู่ในรูปของแอมโมเนีย ($\text{NH}_3\text{-N}$) และไนเตรท ($\text{NH}_4\text{-N}$) และธาตุฟอสฟอรัส (0.5-2 mg/L) ในรูปของ Orthophosphate (PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , H_2PO_4^- , H_3PO_4) ซึ่งความต้องการของธาตุฟอสฟอรัสในการต้นข้าว 0.1-0.3% เมื่อเทียบกับไนโตรเจนที่พบสูงถึง 2-4% แต่ความสำคัญและความจำเป็นให้ผลผลิตของพืชมีค่าเท่าเทียมกัน (มูลนิธิมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และบริษัทปุ๋ยแห่งชาติ จำกัด, 2536) รวมทั้งช่วยลดปัญหาการขาดแคลนน้ำในการทำเกษตร และเป็นการนำทรัพยากรน้ำกลับมาใช้ประโยชน์ให้คุ้มค่ายิ่งขึ้น ในต่างประเทศมีการนำน้ำทิ้งมาใช้ประโยชน์ในหลายประเทศที่ประสบปัญหาการขาดแคลนน้ำ เช่น ประเทศออสเตรเลียใช้น้ำทิ้งประมาณ 440,000 ลูกบาศก์เมตร/วัน จากเทศบาลต่างๆ 50 แห่ง ไปใช้ในการปลูกหญ้าเพื่อเลี้ยงโคและแกะ ส่วนประเทศเม็กซิโกนำน้ำทิ้งจากระบบบำบัดขั้นต้น 3,800,000 ลูกบาศก์เมตร/วัน ไปใช้ในการเพาะปลูกข้าวโพด ข้าวโอ๊ต ถั่ว และอื่นๆ บนเนื้อที่กว่า 560,000 ไร่ (กรมควบคุมมลพิษ, 2546)

สำหรับประเทศไทยได้ศึกษาการใช้น้ำจากระบบบำบัดมหาวิทยาลัยเชียงใหม่เพื่อการเพาะปลูกข้าว พบว่าน้ำทิ้งมีผลต่อความสูง จำนวนหน่อ พื้นที่ใบ และน้ำหนักแห้ง/กอ เฉลี่ยสูงสุด เนื่องจากต้นข้าวได้รับธาตุไนโตรเจนจากการใช้น้ำเสียและน้ำทิ้งมากกว่าแปลงทดลองอื่นๆ จึงได้รับยืนยันว่าน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนสามารถนำมาใช้ในการเพาะปลูกได้ และระดับการปนเปื้อน (พยาธิ, แบคทีเรีย, โลหะหนัก) ของผลผลิตอยู่ในเกณฑ์อาหารปลอดภัย ตลอดจนเกษตรกรส่วนใหญ่ยอมรับการใช้น้ำทิ้งในนาข้าวและแปลงผักคิดเป็น 78.9 และ 95% ตามลำดับ (เสนีย์ และคณะ, 2545; 2550) เช่นเดียวกับความต้องการใช้น้ำเสียของเกษตรกรในเมืองอนูราปุระ ประเทศศรีลังกา เพื่อใช้เพาะปลูกพืชสูงถึง 51% ของเกษตรกรทั้งหมด (Koralagamage *et al.*, 2015) ในขณะที่กรมควบคุมมลพิษ (2543 อ้างใน กรมควบคุมมลพิษ, 2546) รายงานผลการสำรวจโรงบำบัดน้ำเสียชุมชน 19 แห่ง พบว่า ในช่วงฤดูแล้ง ความเข้มข้นของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำเสียอยู่ระหว่าง 1-13 mg/L และ 0.1-10 mg/L ตามลำดับ หากเกษตรกรนำน้ำดังกล่าวไปใช้ปลูกข้าว ผักคะน้า และดอกแอสเตอร์ จะลดการใช้ปุ๋ยเคมีลงได้อย่างแน่นอน แต่จะลดลงมากหรือน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งแต่ละเทศบาลแตกต่างกัน โดยให้ผลด้านการ

เจริญเติบโตของพืชไม่แตกต่างจากธรรมชาติ และมีความปลอดภัยในการนำพืชไปบริโภคได้แล้ว ตลอดจนกรรมวิธีการขังน้ำทิ้งในนาข้าวมีการสะสมโลหะหนักและธาตุอาหารในดิน (NPK) ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับการใช้น้ำธรรมชาติ ซึ่งการปลูกข้าวให้ผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อมต่ำสุด ในขณะที่การปลูกผักมีการใช้ปุ๋ยมากเกินความจำเป็น จึงถูกชะล้างในตรมมากเกิดการปนเปื้อนในบ่อน้ำตื้นทั้งแปลงที่ใช้น้ำทิ้งและน้ำธรรมชาติไม่แตกต่างกันทางสถิติ อย่างไรก็ตาม ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมทางการเกษตรที่สำคัญคือ การใช้น้ำทิ้งร่วมกับการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช ใช้ปุ๋ยเคมีในปริมาณมาก และเพาะปลูกอย่างสม่ำเสมอตลอดทั้งปี ย่อมส่งผลกระทบต่อการแพร่กระจายของสารมลพิษในดิน แหล่งน้ำผิวดิน น้ำใต้ดิน และการสะสมทางชีวภาพได้มากกว่าการปล่อยน้ำทิ้งสู่สิ่งแวดล้อมโดยตรง

ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อนำน้ำเสียชุมชนไปใช้สำหรับเพาะปลูกข้าว โดยทำการศึกษาคูณสมบัติของน้ำเสียบริเวณบ่อรวบรวมน้ำเสียขั้นต้น และนำไปใช้เพาะปลูกข้าวเจ้าพันธุ์ กข 31 (ปทุมธานี 80) ร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยพืชสด เพื่อเป็นทางเลือกในการจัดการน้ำเสียชุมชน และช่วยเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร

อุปกรณ์และวิธีการ

1. อุปกรณ์

ตัวอย่างน้ำเสียชุมชน (wastewater sampler) ได้จากการสุ่มเก็บตัวอย่างจากบ่อรวบรวมน้ำเสียขั้นต้นขนาด 3,734 ลูกบาศก์เมตร (พิกัด UTM 14°8'1"N และ 100°36'51"E) ของชุมชน มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ หมู่ 20 ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี ในเดือนกันยายน 2558 และทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำเสียตามวิธีมาตรฐาน APHA-AWWA-WEF (2012) ได้แก่ ค่าความเป็นกรดและด่าง (pH), อุณหภูมิ (temperature), ออกซิเจนละลายในน้ำ (dissolved oxygen: DO), การนำไฟฟ้า (electrical conductivity: EC), ของแข็งรวม (total solid: TS), ไนโตรเจนรวม (total nitrogen: TN), ฟอสฟอรัสรวม (total phosphorus: TP), ไนเตรต (nitrate: NO_3^-) และฟอสฟอรัสละลายน้ำ (orthophosphate: OP) ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (biochemical oxygen demand 5 days: BOD) (Table1)

ตัวอย่างดินเพาะปลูก (soil sampler) ได้จากการสุ่มเก็บตัวอย่างจากพื้นที่ทำนาของเกษตรกร หมู่ 7 ตำบลบึงคอไห อำเภอลำลูกกา จังหวัดปทุมธานี (พิกัด UTM 14°0'55"N และ 100°51'35"E) ที่ระดับความลึกจากผิวดิน 25 เซนติเมตร ในเดือนกันยายน 2558 หลังจากนั้นทำการตากให้แห้งและบดผ่านตะแกรงร่อนดินขนาด 2 มิลลิเมตร แล้วสุ่มตัวอย่างดินที่ได้ไปวิเคราะห์คุณสมบัติของดิน ตามวิธีวิเคราะห์ของ กรมพัฒนาที่ดิน (2547) ได้แก่ pH (1:2.5, Soil : H_2O), EC (1:5, Soil : H_2O), TN, TP, ฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (available phosphorus: avail. P), อินทรีย์วัตถุในดิน (organic matter: OM) และความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกในดิน (cation exchange capacity : CEC) (Table1)

Table 1 Analytical methods of wastewater and soil characteristics.

Parameters	Select method (references)
pH	Electrometric method (APHA, 2012)
DO	Membrane electric (on-site) (APHA, 2012)
BOD	5-Days BOD test, azide modification (APHA, 2012)
EC	Electrical conductivity method (APHA, 2012)
NO ₃ ⁻	Nitrogen-nitrate (colorimetric, brucine), (USEPA, 1971)
TS	Total solids dried at 103-105°C (APHA, 2012)
TN	Total Kjeldahl nitrogen, Semi-automated colorimetry (USEPA, 1993)
TP	Sulfuric acid-nitric acid digestion, ascorbic acid (APHA, 2012)
OP	Ascorbic acid method (APHA, 2012)
pH (1:2.5, Soil : H ₂ O)	Standard glass electrode (Beck, 1999)
EC (1:5, Soil : H ₂ O)	Conductivity meter (Cottenie, 1980)
CEC	NH ₄ OAc 1 M pH 7 (Chapman, 1965)
Texture	Hydrometer method (Bouyoucos, 1962)
TN	Kjeldahl method (Black, 1965)
TP	Vanado-molybdate method (Olsen and Sommers, 1982)
available P	Bray II (Bray and Kurtz, 1946)
OM	Walkley black modified acid-dichromate digestion, FeSO ₄ titration method (Walkley and Black, 1947)

ข้าวพันธุ์ กข 31 (ปทุมธานี 80) (RD 31 (PathumThani 80)) ได้จากสำนักงานพิพิธภัณฑสถานเกษตรเฉลิมพระเกียรติพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว (องค์การมหาชน) อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี ซึ่งเป็นข้าวเจ้าไม่ไวต่อช่วงแสง วิธีการปักดำมีอายุเก็บเกี่ยว 118 วัน เป็นที่นิยมปลูกของเกษตรกรในจังหวัดปทุมธานี

ปุ๋ยพืชสด (green manure) ได้จากແໜແຂງ (*Azolla* sp.) ช่วงอายุ 15 วัน ซึ่งเป็นช่วงเจริญเติบโตเต็มที่และโดยทั่วไปแนะนำให้ใช้ແໜແຂງในนาข้าวประมาณ 50-100 กิโลกรัม/ไร่ (นันทกร และสุกษัย, 2555; ประยูร สวัสดิ์, 2539; Khan, 1988) ซึ่งผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในແໜແຂງ 5.28 ± 0.03 และ 0.18 ± 0.01 % dry weight ตามลำดับ สำหรับการใส่ปุ๋ยเคมีที่มีองค์ประกอบของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม 2 ชนิดคือ สูตร 16-20-0 และสูตร 46-0-0 (พันธุ์ยศและนิตยา, 2556)

2. วิธีการ

การวางแผนทดลองเป็นแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design: CRD) มี 20 หน่วยทดลอง ทำการทดลอง 4 ซ้ำ มี 5 กรรมวิธี ได้แก่ ทดลอง 4 ซ้ำ ประกอบด้วย กรรมวิธีที่ 1 การใช้น้ำประปา (T1), กรรมวิธีที่ 2 การใช้น้ำเสีย (T2), กรรมวิธีที่ 3 การใช้น้ำเสียร่วมกับปุ๋ยเคมี (T3), กรรมวิธีที่ 4 การใช้น้ำเสียร่วมกับปุ๋ยพืชสด (T4) และกรรมวิธีที่ 5 การใช้น้ำเสียร่วมกับปุ๋ยเคมีและพืชสด (T5)

การเตรียมต้นกล้า โดยการนำเมล็ดข้าวแช่น้ำประปาประมาณ 24 ชั่วโมง นำเมล็ดห่อด้วยผ้าขาวบางเพื่อให้เมล็ดข้าวงอก หลังจากนั้นใส่เมล็ดลงในภาชนะเพาะเมล็ดจนต้นกล้ามีอายุประมาณ 25-30 วัน ทำการคัดต้นกล้าที่มีขนาดเท่ากันเพื่อนำไปปักดำในแต่ละหน่วยทดลอง

หน่วยทดลอง (experiment units) ได้จากการเตรียมกระถางทดลองก่อนการเพาะปลูก โดยชั่งตัวอย่างดินใส่ในกระถางๆ ละ 9 กิโลกรัม หลังจากนั้นเติมน้ำเสียจนดินอิ่มตัวด้วยน้ำและเหนื่อระดับผิวดิน 10 เซนติเมตร (ปริมาณน้ำเสีย 4.91 ลิตร) ปักดำต้นกล้าที่เตรียมไว้จำนวนกละ 4 ต้น/กระถาง ที่ระดับความลึกจากผิวดิน 2-3 เซนติเมตร ในการทดลองนี้จำเป็นต้องเติมน้ำเสีย 2 ครั้ง/สัปดาห์ๆ ละ 2 ลิตร เพื่อรักษาระดับน้ำ 10 เซนติเมตรเหนื่อระดับผิวดินจนถึงระยะเก็บเกี่ยว โดยใน 1 ช่วงฤดูกาลปลูก (Crop) มีปริมาณการใช้น้ำทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 32.91 ลิตร/หน่วยทดลอง

การใส่ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยพืชสด ภายหลังการปักดำได้ 5-7 วัน ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0 ปริมาณ 1.55 กรัม/กระถาง (35 กิโลกรัม/ไร่) และหลังการปักดำได้ 65 วัน หรือระยะการเกิดช่อดอกให้ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 ปริมาณ 0.67 กรัม/กระถาง (15 กิโลกรัม/ไร่) สำหรับปุ๋ยพืชสดจะผสมกับดินก่อนการปักดำและภายหลังการปักดำในอัตรา 1.55 และ 0.67 กรัมของน้ำหนักสด/กระถาง ตามลำดับ เช่นเดียวกับช่วงเวลาและปริมาณของการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยพืชในสัดส่วนครึ่งของปุ๋ยแต่ละชนิด

การเก็บข้อมูลตัวอย่างต้นข้าวในแต่ละกอ โดยทำการวัดอัตราการเจริญเติบโตและผลผลิตของต้นข้าวในระยะการแตกกอ ตั้งท้อง ออกรวง และระยะเก็บเกี่ยว ซึ่งแต่ละกอทำการวัดความสูง จำนวนต้น จำนวนรวง มวลชีวภาพ และน้ำหนักเมล็ดแห้ง สำหรับการเก็บตัวอย่างดินภายหลังการการเก็บเกี่ยวผลผลิตแล้วเสร็จภายใน 7 วัน หลังจากนั้นเตรียมตัวอย่างดิน เพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติของดิน ได้แก่ pH, EC, OM, TN, TP และ CEC

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติ (analysis of variance: ANOVA) ตามแผนการทดลอง CRD และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Least Significant Difference (LSD) ซึ่งรายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย (mean) $\pm$ ความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ย (standard error of the means: SEM) และค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (coefficient of variation: CV) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P < 0.05$) และ 99% ($P < 0.01$) โดยใช้โปรแกรม Statistix8 for windows (USDA and NRCS, 2007)

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. คุณสมบัติของน้ำเสียชุมชน

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของตัวอย่างน้ำเสียจากบ่อรวบรวมน้ำเสียขั้นต้นภายในชุมชนมหาวิทยาลัยราชภัฏวไลย-อลงกรณ์ฯ (Table 2) พบว่า น้ำเสียมีสีเขียว กลิ่นคาว มีความเป็นด่างเล็กน้อย (pH 7.88) ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำอยู่ในระดับพอใช้ (DO 4.27 mg/L) ที่อุณหภูมิน้ำเฉลี่ย 31°C โดยในน้ำเสียมีส่วนประกอบของปริมาณสารอินทรีย์คือ TS 517 mg/L และ BOD 195.38 mg/L และธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชคือ TN 2.72 mg/L, NO_3^- 0.07 mg/L, TP 2.06 mg/L และ OP 0.64 mg/L ซึ่งคุณภาพของน้ำเสียชุมชนดังกล่าว เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียรวมของชุมชนแล้วควรทำการบำบัดให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานก่อนปล่อยสู่ภายนอก (กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2553) เนื่องจากมีปริมาณความเข้มข้นของสารอินทรีย์ (BOD) และธาตุอาหาร (TP) มากกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้เล็กน้อย (BOD < 20 mg/L และ TP < 2 mg/L) ซึ่งคุณภาพน้ำเสียชุมชนดังกล่าว สามารถนำไปใช้ในการเพาะปลูกได้โดยไม่มีความเป็นพิษต่อพืช แต่อย่างไรก็ตามน้ำเสียจากบ่อรวบรวมน้ำเสียของมหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ฯ ได้มีการบำบัดเบื้องต้นโดยเครื่องเติมอากาศและพืชน้ำหลากหลายชนิด พบว่า การใช้หญ้าแฝกและแหนแดงสามารถลดค่า BOD, TP, TN และ OP ในน้ำเสียได้ประมาณ 20-100% ภายใน 60 วัน และเพิ่มมวลชีวภาพของแหนแดงได้ถึง 3.77 เท่า (ณัฐสิมา และคณะ, 2559) ส่วนการนำน้ำเสียจากชุมชนดังกล่าวไปใช้ประโยชน์ในการเพาะปลูกข้าวเพื่อทดแทนการใช้น้ำชลประทานหรือใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมีและปุ๋ยพืชสดที่ผ่านการใช้น้ำบำบัดน้ำเสียแล้วซึ่งยังไม่มีรายงาน

Table 2 Results of wastewater characteristics from community wastewater treatment plant.

Parameters	Wastewater, n=4 (mean $\pm$ SEM)	Effluent discharge standard of Thailand (ONEP, 2010)	Effluent quality for agriculture (WPCF, 1989; Karnchanawang <i>et al.</i> , 2002)
pH	7.88 $\pm$ 0.01	5.5 – 9.0	6.5 – 8.4
DO (mg/L)	4.27 $\pm$ 0.23	N/A	N/A
BOD (mg/L)	195.38 $\pm$ 16.00	< 20	<50
EC (μ S/cm)	541.08 $\pm$ 0.08	N/A	N/A
NO ₃ ⁻ (mg/L)	0.07 $\pm$ 0.01	N/A	N/A
TS (mg/L)	517.33 $\pm$ 5.10	N/A	N/A
TN (mg/L)	2.72 $\pm$ 0.16	< 20	<30
TP (mg/L)	2.06 $\pm$ 0.14	< 2	N/A
OP (mg/L)	0.64 $\pm$ 0.09	N/A	N/A

2. คุณสมบัติของดิน

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของดินที่ใช้ในการเพาะปลูกข้าวในครั้งนี้เป็นชุดดินองครักษ์ (Ongkharak series: Ok) มีส่วนประกอบของเนื้อดิน (sand) 5.60%, ททรายแป้ง (silt) 28.45% และดินเหนียว (clay) 65.95% คุณสมบัติของดินทางเคมีมีความเป็นกรดอ่อน (pH 6.22) ค่าการนำไฟฟ้าต่ำ (EC 172.53 μ S/cm) ส่วนประกอบของอินทรีย์วัตถุในดินค่อนข้างสูง (OM 3.14%) และความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกในดินสูงเช่นกัน (CEC 38.20 me/soil 100 g) ในขณะที่ในดินมีธาตุไนโตรเจน (TN 1,111 mg/kg) และฟอสฟอรัสในดิน (TP 65.12 mg/kg) มีปริมาณต่ำ (Table 3) แต่อย่างไรก็ตาม ดินที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ มีความอุดมสมบูรณ์ใกล้เคียงกับชุดดินองครักษ์ที่ทำการประเมินไว้โดย กรมพัฒนาที่ดิน (2553) รายงานว่า ที่ระดับความลึกของดิน 0-25 เซนติเมตร มีความอุดมสมบูรณ์อยู่ในระดับปานกลาง เนื่องจากมี OM ปานกลาง, CEC สูง ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available P) ต่ำ และการอิ่มตัวด้วยเบส (base saturation) ปานกลาง

สำหรับผลการวิเคราะห์ดินภายหลังการเพาะปลูกแล้ว พบว่าปริมาณธาตุ TN ตรวจพบสูงสุดในกรรมวิธีที่ 2 และ 3 ซึ่งใช้น้ำเสียและการใช้น้ำเสยรวมกับปุ๋ยเคมีแตกต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ส่วนปริมาณธาตุ TP ตรวจพบสูงสุดในกรรมวิธีที่ 4 การใช้น้ำเสยร่วมกับปุ๋ยพืชสดแตกต่างจากชุดควบคุม (น้ำประปา) อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P < 0.01$) ในขณะที่ปริมาณ OM ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (Table 3) สำหรับการใช้น้ำเสยเพาะปลูกข้าว พบว่า ทุกกรรมวิธีมีอิทธิพลต่อการเพิ่มค่า pH ในดินแตกต่างจากชุดควบคุมและดินก่อนเพาะปลูกข้าวเช่นเดียวกับค่า EC ที่เพิ่มขึ้น อาจเนื่องจากคุณสมบัติของน้ำเสยที่เป็นด่างเล็กน้อย (pH 7.88) และมีปริมาณสารอินทรีย์สูง (TS 517.33 mg/L และ BOD 195.38 mg/L) แต่อย่างไรก็ตาม การใช้น้ำเสยรวมกับปุ๋ยพืชสดมีอิทธิพลต่อค่า Available P และ TN ในดินเฉลี่ยต่ำสุด ซึ่งการให้แผนด่างเป็นปุ๋ยพืชสดที่มีส่วนประกอบของไนโตรเจน 80% (4.62 % N dry weight) ค่า C/N ratio ต่ำ (ประมาณ 12.97) จึงมีการสลายตัวค่อนข้างรวดเร็วและถูกปลดปล่อยออกมาภายใน 8 สัปดาห์ (กรมวิชาการเกษตร, 2553; ศิริลักษณ์, 2557) จึงทำให้ถูกใช้ไปในช่วงเวลาสั้นๆ ของการเพาะปลูกข้าวที่ใช้ระยะเวลานานถึง 132 วัน และส่งผลต่อปริมาณธาตุไนโตรเจนหลงเหลือในดินหลังการเพาะปลูกน้อยตามไปด้วย

Table 3 Results of soil characteristics between before and after planting in each treatment.

Parameters	Before planting	After planting, n=4 (mean)					LSD (0.05)	%CV
	n=4 (mean)	T1	T2	T3	T4	T5		
Soil texture		Clay (sand 5.60%, silt 28.45%, clay 65.95%)						
pH 1 : 2.5	6.22	6.24 c	6.36 b	6.32bc	6.34 b	6.62 a	**	0.83
EC 1 : 5 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	172.53	178.53 e	333.63 b	282.40 c	390.77 a	277.03 d	**	0.84
TN (mg/kg)	1,111	1,120 b	1,575 a	1,575 a	910 b	1,190 ab	*	17.11
TP (mg/kg)	65.12	43.60 b	52.09 ab	45.98 b	61.60 a	54.81ab	*	12.26
Available P (mg/kg)	41.60	15.83 c	31.05 b	39.79 a	27.73 c	37.41 b	**	7.86
CEC (me/soil 100 g)	38.20	26.30 ab	29.40 a	21.60 b	26.20 ab	28.40 a	*	10.22
OM (%)	3.14	2.86 a	2.81 a	2.77 a	2.74 a	2.53 a	ns	13.71

Remarks: 1) Treatments: T1= tap water only, T2= community wastewater only, T3= mix of wastewater and chemical fertilizers, T4= mix of wastewater and green manure, T5= mix of wastewater, chemical fertilizers and green manure.

2) Numbers in column followed by the same letter are not significantly different using least significant difference (LSD) at $P < 0.05$ (*), $P < 0.01$ (**) and $P > 0.05$ (ns).

3. การเจริญเติบโตและผลผลิตข้าว

ผลการวิเคราะห์การเจริญเติบโตด้านความสูงเฉลี่ยของต้นข้าวภายหลังการปักดำ 40, 65, 85 และ 132 วัน เป็นระยะแตกกอ ตั้งท้อง ออกรวง และเก็บเกี่ยว ตามลำดับ พบว่า การใช้น้ำเสียชุมชนร่วมกับปุ๋ยพืชสดและปุ๋ยเคมี ไม่มีผลต่อความสูงของต้นข้าวแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) เช่นเดียวกับจำนวนของต้นข้าวที่ระยะการแตกกอของต้นข้าวในขณะที่ยังมีการเก็บเกี่ยวของแต่ละกอมีจำนวนต้นข้าวและจำนวนรวงในกรรมวิธีที่ใช้น้ำเสียร่วมกับปุ๋ยเคมี (T3), ปุ๋ยพืชสด (T4) และปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยพืชสด (T5) มีค่าเพิ่มขึ้นและแตกต่างจากกรรมวิธีที่ใช้น้ำประปา (T1) และน้ำเสีย (T2) เพียงอย่างเดียวที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P < 0.05$) โดยความสูงเฉลี่ยของข้าวที่ระยะเก็บเกี่ยวในกรรมวิธีที่ T3, T4, T5 ใกล้เคียงกับการเพาะปลูกในนาเกษตรที่มีความสูงของต้นเฉลี่ย 117 เซนติเมตร (กรมการข้าว, 2555) ในขณะที่ช่วงเวลากการเพาะปลูกจนถึงเก็บเกี่ยวผลผลิตใช้เวลา 132 วัน ซึ่งยาวนานกว่าการปลูกแบบนาชลประทานที่ใช้เวลา 118 วัน (กรมวิชาการเกษตร, 2550) สำหรับการใช้น้ำเสียร่วมกับปุ๋ยเคมีส่งผลต่อความสูงเฉลี่ยสูงสุด ที่ระยะต่างๆ จำนวนต้นข้าวและจำนวนรวงโดยมีค่าความสูงเฉลี่ย 66.25 – 120.25 เซนติเมตร/กอ, จำนวนต้นข้าวที่ระยะเก็บเกี่ยว 27 ต้น/กอ และจำนวนรวงที่ให้ผลผลิตได้ 24 รวง/กอ (Table 4) เนื่องจากในน้ำเสีย ดินเพาะปลูก และปุ๋ยเคมีที่มีองค์ประกอบของธาตุไนโตรเจนที่ถูกเติมลงในหน่วยทดลองดังกล่าว มีอิทธิพลต่อการสร้างลำต้นและใบสูงตามจากรายงานการปลูกข้าวนาปรังและนาปีที่ใช้น้ำเสียจากมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มีผลต่อการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบสูงสุด และมากกว่าน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียและน้ำชลประทาน (เสนีย์ และคณะ, 2545)

Table 4 Growth stages of rice and numbers of panicles per clump.

Treatments	Mean of height in growth stages (cm) per clump, n=4 (mean)				Numbers of panicles per clump		Numbers of heading per clump
	Tillering	Booting	Heading	Harvesting	Tillering	Harvesting	
T1	58.50 a	73.00 a	106.75 b	107.25 b	11 ab	17 b	13 b
T2	59.25 a	72.25 a	102.50 b	109.00 b	8 b	16 b	15 b
T3	66.25 a	80.75 a	114.75 a	120.25 a	11 ab	27 a	24 a
T4	59.75 a	75.70 a	106.75 b	115.50 ab	11 ab	23 ab	24 a
T5	62.75 a	79.00 a	106.75 b	115.38 ab	15 a	23 ab	22 a
LSD (0.05)	ns	ns	ns	ns	ns	*	*
%CV	9.17	6.20	4.08	5.04	27.37	18.63	15.65

Remarks: 1) Treatments: T1= tap water only, T2= community wastewater only, T3= mix of wastewater and chemical fertilizers, T4= mix of wastewater and green manure, T5= mix of wastewater, chemical fertilizers and green manure.

2) Numbers in column followed by the same letter are not significantly different using least significant difference (LSD) at $P < 0.05$ (*) and $P > 0.05$ (ns).

ผลวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพของต้นข้าว โดยการชั่งน้ำหนักภายหลังการเก็บเกี่ยวแล้วพบว่า ทุกกรรมวิธีมีมวลชีวภาพของต้นข้าวไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่กรรมวิธีการใช้น้ำเสียร่วมกับปุ๋ยเคมี (T3) ให้น้ำหนักของตอซังสดและตอซังแห้งเฉลี่ยสูงสุด ตลอดจนมีมวลชีวภาพแห้งของน้ำหนักเมล็ดดีสูงสุด (44.33 กรัม/กอ) แตกต่างจากกรรมวิธีอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติยิ่ง ($P < 0.01$) ในขณะที่น้ำหนักเมล็ดลีบไม่แตกต่างจากกรรมวิธีอื่นๆ และน้ำหนักแห้งของเมล็ดดีเท่ากับ 27.00 กรัม/1,000 เมล็ด (Table 5) ซึ่งใกล้เคียงกับการปลูกข้าวในนาชลประทาน โดยทั่วไปที่ให้น้ำหนักของเมล็ดข้าวพันธุ์ กข 31 (ปทุมธานี 80) และข้าว กข 35 (รังสิต 80) เท่ากับ 28.90 และ 28.10 กรัม/1,000 เมล็ด ตามลำดับ และใกล้เคียงกับผลผลิตจากการใช้น้ำเสียและน้ำทิ้งปลูกข้าวนาปีพันธุ์ กข 6 และนาปรังพันธุ์หอมสุพรรณที่ให้ผลผลิตของเมล็ดดีเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 21.52 – 21.72 และ 26.28 – 26.62 กรัม/1,000 เมล็ด ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างจากการใช้น้ำชลประทานเพาะปลูกข้าวที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (กรมวิชาการเกษตร, 2550; เสนีย์และคณะ, 2545)

Table 5 Result of rice biomass yield analysis.

Treatments	Gram per messy clump of rice biomass, n=4 (mean)		Gram per messy clump of grain weight, n=4 (mean)		Grams per thousand kernels, n=1000 (mean)
	Fresh	Dry	Good grain shape	Grain blighted	
T1	156.48 ab	47.09 ab	11.85 c	2.85 bc	25.20 a
T2	132.47 b	36.49 b	29.81 b	1.35 c	25.40 a
T3	225.59 a	68.19 a	44.33 a	3.31 bc	27.00 a
T4	198.39 ab	51.76 ab	15.89 c	4.25 b	26.80 a
T5	168.50 ab	44.09 ab	22.77 bc	6.94 a	25.90 a
LSD (0.05)	ns	ns	**	**	ns
%CV	26.48	28.67	28.81	24.84	5.37

Remarks: 1) Treatments: T1= tap water only, T2= community wastewater only, T3= mix of wastewater and chemical fertilizers, T4= mix of wastewater and green manure, T5= mix of wastewater, chemical fertilizers and green manure.

2) Numbers in column followed by the same letter are not significantly different using least significant difference (LSD) at $P < 0.01$ (**) and $P > 0.05$ (ns).

สรุป

คุณภาพน้ำเสียชุมชน มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ฯ มีองค์ประกอบของสารอินทรีย์ค่อนข้างสูง (TS, BOD, TN และ TP) และสามารถนำมาใช้เพาะปลูกข้าวเจ้าพันธุ์ กข 31 (ปทุมธานี 80) โดยไม่พบสภาพความเป็นพิษของพืชในการใช้น้ำเสียชุมชนเพาะปลูก ซึ่งภายหลังการทดลองเพาะปลูกข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมีในตัวแทนชุดดินองครักษ์ที่มีความสมบูรณ์ของดินระดับปานกลาง และมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าวสูงสุด รองลงมาเป็นการใช้น้ำเสียร่วมกับปุ๋ยเคมีและปุ๋ยพืชสด การใช้น้ำเสียเพียงอย่างเดียว และการใช้น้ำประปา ตามลำดับ ในขณะที่ช่วงเวลาเพาะปลูกโดยใช้น้ำเสียใช้เวลายาวนานกว่านาชลประทานโดยทั่วไป นอกจากนี้ การใช้น้ำเสียช่วยลดการสูญเสียธาตุอาหารและความเป็นกรดในดินได้ สามารถช่วยเป็นทางเลือกในการจัดการน้ำเสียชุมชนและช่วยเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรได้ แต่อย่างไรก็ตาม การศึกษาในอนาคต ควรศึกษาเพิ่มเติมหลายช่วงฤดูกาลเพาะปลูกที่ระดับแปลงทดลอง ตลอดจนมีการติดตามตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อม และสารพิษตกค้างในผลผลิตในระยะยาวควบคู่ไปด้วย

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากศูนย์วิจัยและพัฒนาการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำแบบบูรณาการ ภาคตะวันออกเฉยงเหนือ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น และคณะผู้วิจัยขอขอบคุณ นางสาวรจนา ผดุงเวียง ผู้ช่วยนักวิจัย หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิตสิ่งแวดล้อม และศูนย์วิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี

เอกสารอ้างอิง

- กรมการข้าว. 2555. พันธุ์ข้าวรับรองปี 2550 (8 พันธุ์). แหล่งที่มา: http://brrd.in.th/main/images/stories/rice_variety_certified/2550/2550.pdf, 8 กันยายน 2559
- กรมควบคุมมลพิษ. 2546. เล่ม 4 เทคนิคการบำบัดน้ำเสียบางวิธี การนำน้ำทิ้งมาใช้ประโยชน์ และการทดสอบพิษวิทยาสำหรับน้ำทิ้ง. พิมพ์ครั้งที่ 1. สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. กรุงเทพฯ. 80 น.
- กรมพัฒนาที่ดิน. 2547. คู่มือการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน น้ำ ปุ๋ย พืช วัสดุปรับปรุงดิน และการวิเคราะห์เพื่อตรวจรับรองมาตรฐานสินค้า เล่ม 2. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน. กรุงเทพฯ. 255 น.
- กรมวิชาการเกษตร. 2550. ประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่องโฆษณาคำขอให้ออกหนังสือรับรองพันธุ์พืชขึ้นทะเบียนตามพระราชบัญญัติพันธุ์พืช พ.ศ.2518. แหล่งที่มา: http://www.doa.go.th/pvp/images/stories/indexpp2518/AnnoDOA/annodoa_publicno.10.pdf, 10 กันยายน 2559
- กรมวิชาการเกษตร. 2553. กสิกรรมธรรมชาติ: แหนแดง. น.ส.พ.กสิกรรม.83: 87-90.
- กรมปศุสัตว์. 2559. ประกาศกรมปศุสัตว์ เรื่อง แจ้งข้อมูลทางการปศุสัตว์. แหล่งที่มา: <http://www.zcooby.com/2559-thailand-information-number-statistics/>, 13 กันยายน 2559
- กรมพัฒนาที่ดิน. 2553. ลักษณะและสมบัติของชุดดินภาคกลาง: ชุดดินองครักษ์ (Ongkharak Series: Ok). แหล่งที่มา: http://oss101.ldd.go.th/web_thaisoils/pf_desc/central/Ok.htm, 13 กันยายน 2559
- กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2553. ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียรวมของชุมชน. ราชกิจจานุเบกษา, เล่ม 127 ตอนพิเศษ 29ง:27-28น.
- ณัฐสิมา ไทพันธ์, ชุติมา นุญไทย อิวาย และเมทินี กัญจน. 2016. ประสิทธิภาพของแหนแดงและหญ้าแฝกในการบำบัดน้ำเสียชุมชน. เกษตร.44: 991-998.
- นันทกร บุญเกิด และสุชัย ปิตุภูมิ. 2555. การใช้แหนแดงในแปลงนาเพิ่มผลผลิตข้าว. เอกสารเกร็ดความรู้การเกษตร AG-ALL-2555-004. 22: 1-3.
- ประยูร สวัสดิ์. 2539. การใช้ประโยชน์จากแหนแดง. เอกสารวิชาการเรื่อง ปุ๋ยชีวภาพ. กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพฯ. หน้า 148-166.

- พันธุ์ ศัมพันธ์พานิช และนิตยา รื่นสุข. 2556. ผลของพันธุ์ข้าวและชนิดของปุ๋ยต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา, 18: 105-115.
- มูลนิธิมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และบริษัทปุ๋ยแห่งชาติ จำกัด. 2536. ดินและปุ๋ย. พิมพ์ครั้งที่ 1. โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 225 น.
- วิชัย โสภาสิต. 2549. แนวคิดการพัฒนาทรัพยากรน้ำเพื่อการเกษตรกรรมชลประทาน. แหล่งที่มา: http://www.rid.go.th/thaicid/_5_article/2549/03Water_Agri.pdf, 4 กันยายน 2559
- ศิริลักษณ์ แก้วสุริยิต. 2557. แหนแดงโรงงานผลิตปุ๋ยในโตรเจนในนาข้าว. วารสารข้าว.3: 34-36.
- สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร. 2557. บันทึกเหตุการณ์ภัยแล้ง ปี 2556/2557. แหล่งที่มา: <http://www.thaiwater.net/current/drought57/drought57.html>, 4 กันยายน 2559
- เสนีย์ กาญจนวงศ์, วิไลลักษณ์ กิจจนะพานิช, สมใจ กาญจนวงศ์, ทรงเชาว์ อินสมพันธ์, โชคชัย ไชยมงคล, อุดมศิลป์ ประเสริฐ, ทิพวรรณ ประภาณพอล, รัชมี แก้ววิจิต, กัลยา ว่องวรวัทร และ สุรีย์ บุญญานุพงศ์. 2545. การนำน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนมาใช้เพื่อการเกษตรกรรม.สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ. กรุงเทพฯ. 528 น.
- เสนีย์ กาญจนวงศ์, วิไลลักษณ์ กิจจนะพานิช, สมใจ กาญจนวงศ์, ทรงเชาว์ อินสมพันธ์, โชคชัย ไชยมงคล, อุดมศิลป์ ประเสริฐ, ทิพวรรณ ประภาณพอล, รัชมี แก้ววิจิต, กัลยา ว่องวรวัทร และ สุรีย์ บุญญานุพงศ์. 2550. การนำน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนมาใช้เพื่อการเกษตรกรรม: ระยะที่ 2. สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ. กรุงเทพฯ. 580 น.
- APHA-AWWA-WEF. 2012. Standard method of examination of water and wastewater, 22th ed. APHA (American Public Health Association) / AWWA (American Water Works Association) / WEF (Water Environment , Washington DC, USA. pp. 1360.
- Beck, R. 1999. Soil analysis handbook of reference methods. Soil and Plant Analysis Council, Inc. CRC Press, USA. pp. 117-131.
- Black, C.A. 1965. Method of soil analysis: Part 1 physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 9.1: 54-72.
- Bouyoucos, G.H. 1962. Hydrometer method improved for making partial size analysis of soils. Agronomy. 54: 454-465.
- Bray R.H. and L.T. Kurtz. 1945. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soil. Soil Sci. 9: 234.
- Chapman, H.D. 1965. Cation-exchange capacity. In: C.A. Black (Ed.) Methods of soil analysis - chemical and microbiological properties. Agronomy. 9: 891-901.
- Cottenie, A.1980. Soil and plant testing as a basis of fertilizer recommendations. FAO Soil Bulletin 38/2. Differences de techniques. Fruits. 32: 151-166.
- Karnchanawong, S., K. Sopajaree, V. Kijjanapanich, S. Insomphun, C. Chaimongkol, A. Silprasert , T. Prapamontol, R. Keawvichit and S. Boonyanupong. Reuse of effluent from domestic wastewater treatment plant in agriculture. National Research Council of Thailand. Bangkok. pp. 528.
- Khan, M.M. 1988. Azolla agronomy. Institute of biological science of the University of the Philippines at Los Baños (IBS-UPLB) and the SEAMEO Regional Center for Graduate Study and Research in Agriculture (SEARCA). pp.143.
- Koralagamage, K.D.S., J.P.H.U. Jayaneththi and D.M.S.H. Dissanayake. 2015. Potential use of municipal wastewater for agriculture: a case study from Anuradhapura. International Research Symposium Rajarata University of Sri Lanka. pp. 113-118.
- Olsen, S.R. and L.E. Sommers. 1982. Phosphorus In: methods of soil analysis. Part 2: chemical and microbiological properties. A.L., Page (Ed.), 2nd Edition, American Society of Agronomy, Madison, WI, 9: 403-430.
- ONEP. 2010. Effluent discharge standard of Thailand. Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning, Bangkok, Thailand. pp. 27-28.
- USDA and NRCS. 2007. Statistix 8 user guide for the plant materials program. Available Source: http://www.um.es/jmpaz/tayga/IEGARH/Statistix-UserGuide-ver2_0.pdf, 10 January 2016.
- USEPA. 1971. Method 352.1: nitrogen, nitrate (colorimetric, brucine) by spectrophotometer. Available Source: https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-08/documents/method_352-1_1971.pdf, 10 December 2016.

- USEPA. 1993. Method 351.2, Revision 2.0: Determination of total Kjeldahl nitrogen by semi-automated colorimetry. Available Source: https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-08/documents/method_351-2_1993.pdf, 10 December 2016.
- Walkley, A. and I.A. Black. 1947. Chromic acid titration method for determination of soil organic matter. Soil Sc. Am. Proc. 63: 257
- WPCF. 1989. Water Reuse, 2nd Ed. Manual of Practice SM-3, Water Pollution Control Federation, Alexandria, Virginia, USA. pp. 215-226.