ความปลอดภัยอาหารด้านชีวภาพในการนำน้ำเสียมาใช้ประโยชน์ทางเกษตรกรรม
Biological Food Safety from the Use of Wastewater in Agriculture

ประเสริฐ มากแก้ว
สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อมและเทคโนโลยี สำนักวิชาสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
Prasert Makkaew
Department of Environmental Health and Technology, School of Public Health, Walailak University

บทคัดย่อ

ประชากรโลกกำลังประสบปัญหาวิกฤตภัยแล้ง การนำน้ำเสีย/ น้ำทิ้งมาใช้ในการเกษตรจึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจสำหรับการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ แต่อาจก่อให้เกิดความเสี่ยงทั้งด้านความปลอดภัยอาหารทางชีวภาพและสุขภาพมนุษย์ มีปัจจัยหลายอย่างที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยอาหารด้านชีวภาพจากการนำน้ำเสียมาใช้ในการเกษตร ได้แก่ คุณภาพด้านชีวภาพของน้ำที่ใช้ ระบบการให้น้ำพืช ชนิดและรูปร่างพืช ความสามารถในการคงอยู่ของจุลินทรีย์ และความสามารถในการนำเข้ามาภายในเซลล์พืชของจุลินทรีย์ ความเสี่ยงต่อสุขภาพมนุษย์ที่สำคัญ ได้แก่ ความเสี่ยงจากการติดเชื้อทางเดินอาหารเนื่องจากการรับประทานพืชที่ปนเปื้อนจุลินทรีย์ก่อโรคโดยไม่ผ่านการปรุงสุก และยังอาจก่อให้เกิดความเสี่ยงสุขภาพต่อเกษตรกรและชุมชนใกล้เคียงกับพื้นที่ที่ใช้น้ำเสียในการเพาะปลูกอีกด้วย ในหลายประเทศได้มีการควบคุมป้องกันปัญหานี้โดยการกำหนดค่ามาตรฐานของคุณภาพน้ำทางด้านชีวภาพเพื่อปกป้องสุขภาพของประชาชน สำหรับประเทศไทยนั้นการดำเนินงานในเรื่องนี้ยังมีจำกัด แต่จะจำเป็นมากขึ้นในอนาคตเพราะภัยแล้ง ดังนั้นหน่วยงานที่เกี่ยวข้องจึงต้องร่วมมือกันในการดำเนินงานโดยให้มีการจัดการน้ำเสียชุมชนอย่างมีประสิทธิภาพ สามารถเอื้อประโยชน์ให้กับภาคเกษตรกรรม ในขณะเดียวกันก็ต้องคำนึงถึงคุณภาพทางด้านชีวภาพของผลิตผลทางการเกษตรและผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ด้วย

คำสำคัญ : การใช้ประโยชน์น้ำเสียในการเกษตร ความปลอดภัยอาหารด้านชีวภาพ ความเสี่ยงต่อสุขภาพ

Abstract

World population is experiencing water shortage crisis; therefore, the use of wastewater / treated wastewater for agriculture is an interesting alternative for water resource management. However, it may pose risks in terms of biological food safety, and human health. There are many factors that contribute to the biological food safety from the application of wastewater for agriculture; the biological quality of the wastewater used, types of irrigation systems, types and morphology of plants, the persistence of microorganisms, and the internalization of microorganisms into the plant cells. The major human health risks are the risk of gastrointestinal infections due to eating uncooked pathogen contaminated crops. It may also pose a health risk to the farmers, and the vicinity communities where wastewater is used. In many countries, prevention of such problems has been prevented by establishing microbial water quality standards for wastewater used in agriculture to protect human health. In Thailand, the application is still limited, but it may be necessary in the future when Thailand more suffers from the drought. To prevent the potential upcoming problems, therefore, the concerned agencies must cooperate in the implementation of effective domestic wastewater management which could be also beneficial to the agricultural sector. Moreover, the biological quality of agricultural products and human health risks must be considered.

Keywords : Wastewater use in agriculture, Biological Food Safety, Health risk
Submitted 31/10/2018 *Accepted* 22/5/2019 *Published* 1/9/2019

บทนำ

จากสถานการณ์การเพิ่มขึ้นของประชากรโลกและการขยายตัวของความเป็นเมืองทำให้มีผลกระทบต่อปริมาณความต้องการการใช้น้ำที่มากขึ้น โดยเฉพาะน้ำจืด ได้มีการคาดการณ์ไว้ว่าจะมีความต้องการใช้น้ำจืดเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 55 ภายในปี พ.ศ.2593 โดยจะมีประชากรร้อยละ 60 ของประชากรโลกทั้งหมดประสบกับวิกฤตน้ำจืดไม่เพียงพอกับปริมาณความต้องการใช้ในอนาคต[1, 2] นั่นหมายถึงประชากรโลกกำลังเผชิญกับปัญหาภาวะขาดแคลนน้ำจืดสำหรับการอุปโภค-บริโภคในชีวิตประจำวัน จากรายงานของ World Resources Institute ระบุประเทศที่กำลังเผชิญกับวิกฤตการขาดแคลนทรัพยากรน้ำสูงสุด 33 ประเทศ ซึ่งเป็นประเทศในแถบภูมิภาคตะวันออกกลางถึง 14 ประเทศ และประเทศอื่นๆ ในภูมิภาคเอเชีย อเมริกา และยุโรป[3] ดังนั้นการจัดการทรัพยากรน้ำโดยการนำน้ำเสีย น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการบำบัดบางส่วน หรือน้ำทิ้งมาใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ จึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ ไม่ว่าจะเป็นการนำมาใช้ประโยชน์ทางอุตสาหกรรม นันทนาการ การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ หรือทางการเกษตรโดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาคการเกษตร

ซึ่งมีปริมาณความต้องการใช้น้ำจืดสูงถึงร้อยละ 70 ของปริมาณการใช้น้ำจืดทั้งหมด[4] โดยประเทศที่มีการนำน้ำเสีย/น้ำทิ้งมาใช้ในภาคเกษตรกรรมมากที่สุด 10 ประเทศ ได้แก่ เม็กซิโก อียิปต์ จีน ซีเรีย สเปน สหรัฐอเมริกา (รัฐแคลิฟอร์เนียและฟลอริดา) อิสราเอล อิตาลี ซาอุดิอาระเบีย คูเวต[5] การนำน้ำเสีย/น้ำทิ้งมาใช้ในการเกษตรได้รับความนิยมในเกษตรกรจากหลาย ๆ ประเทศทั่วโลกเนื่องจากในน้ำเสีย/น้ำทิ้งนั้นมีสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช สามารถลดต้นทุนในการใช้ปุ๋ยเคมี เพิ่มผลผลิตทางการเกษตร นอกจากนี้ยังนับว่าเป็นวิธีการจัดการทรัพยากรน้ำที่เหมาะสมอีกด้วย[6, 7] แต่ทั้งนี้ก็เป็นที่ทราบกันดีว่านอกจากประโยชน์แล้วอีกด้านหนึ่งการนำน้ำเสีย/น้ำทิ้งมาใช้รดพืชผลทางการเกษตรก็อาจจะมีผลกระทบทางด้านสุขภาพได้อันเนื่องมาจากการปนเปื้อนทางด้านจุลินทรีย์ในผลิตผลทางการเกษตร โดยเฉพาะผักสลัดหรือผักอื่น ๆ ที่รับประทานแบบไม่มีการปรุงสุก ดังนั้นบทความวิชาการฉบับนี้มีจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทบทวนผลการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการปนเปื้อนทางด้านชีวภาพจากการนำน้ำเสีย/น้ำทิ้งมาใช้ในระบบการให้น้ำทางการเกษตรโดยมุ่งเน้นในผักสลัดซึ่งเป็นกลุ่มผักที่มีความเสี่ยงสูง ผลกระทบต่อสุขภาพ มาตรการในการควบคุมป้องกัน เพื่อให้ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะต่อประเด็นการจัดการเกี่ยวกับประเด็นดังกล่าวในอนาคต

การปนเปื้อนทางด้านชีวภาพในผลิตผลทางการเกษตรจากการนำน้ำเสียมาประยุกต์ในระบบการให้น้ำเพื่อการเพาะปลูก

การนำน้ำเสีย/ น้ำทิ้งที่ไม่ได้มาตรฐานมาใช้ในระบบการให้น้ำในภาคเกษตรกรรมมีผลกระทบโดยตรงต่อคุณภาพทางด้านชีวภาพของผลิตผลทางการเกษตร แต่ทั้งนี้ปริมาณการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ในผลิตผลดังกล่าวยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องหลายประการ แต่ในบทความฉบับนี้ขอมุ่งเน้นไปที่ปัจจัยที่อาจจะส่งผลต่อการปนเปื้อนทางด้านชีวภาพที่อาจจะเกิดขึ้น ณ แหล่งเพาะปลูก ไม่รวมถึงปัจจัยที่จะส่งผลอันอาจจะเกิดขึ้นภายหลังการเก็บเกี่ยว (Postharvest) ดังต่อไปนี้

1. คุณภาพน้ำทางด้านชีวภาพที่นำมาใช้

ในน้ำเสียหรือน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการบำบัดที่ไม่มีประสิทธิภาพอาจประกอบไปด้วยจุลินทรีย์หลากหลายประเภท ไม่ว่าจะเป็น แบคทีเรีย ไวรัส โปรโตซัว และไข่พยาธิ[8] โดยจุลินทรีย์เหล่านี้มักถูกขับถ่ายออกมาพร้อมกับอุจจาระของผู้ติดเชื้อปนเปื้อนลงสู่ระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน หากกระบวนการบำบัดน้ำเสียไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ หรือมีการนำน้ำเสียที่ไม่ผ่านกระบวนการบำบัดไปใช้ในระบบการให้น้ำพืช ผู้บริโภคอาจจะเกิดโรคทางด้านอาหารได้จากการบริโภคพืชผักเหล่านี้เข้าไป นอกจากนี้ตัวเกษตรกรเองก็อาจจะเสี่ยงต่อการติดเชื้อจากละอองชีวภาพแขวนลอย (bioaerosols) จากระบบการให้นำแบบสปริงเกอร์ (sprinkler irrigation) ได้อีกด้วย[9] มีงานวิจัยจากหลายประเทศทั่วโลกที่แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของคุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ของพืชกับน้ำที่ใช้ เช่น ตัวอย่างงานวิจัยในประเทศจอร์แดน[10] ทดลองใช้น้ำที่มีสัดส่วนระหว่างน้ำสะอาดกับน้ำเสียที่ต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่ 0:1 1:0 1:1 และ 1:3 มาทำการให้น้ำมะเขือเทศผ่านระบบการให้น้ำแบบให้น้ำไหลไปตามร่องคู (furrow irrigation) ผลการทดลองพบว่าการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียโคลิฟอร์มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มสัดส่วนน้ำเสียต่อน้ำสะอาด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยในประเทศสหรัฐอเมริกา[11, 12] ที่ได้ใช้น้ำเสียสังเคราะห์เติม *Escherichia coli* O157:H7 ในการปลูกผักโขมและผักกาดสลัดผ่านระบบการให้น้ำแบบสปริงเกอร์ การทดลองพบว่าผักจะมีการปนเปื้อนเชื้อในปริมาณที่สูงเมื่อใช้น้ำที่มีความเข้มข้นของ

E. coli O157:H7 สูง นอกจากนี้ในประเทศบราซิล[13] ได้เปรียบเทียบคุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ของผักกาดสลัดกับผักสลัดร็อกเก็ตที่ปลูกด้วยระบบการให้น้ำแบบสปริงเกอร์ระหว่างการใช้น้ำทิ้งที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนกับน้ำทิ้งที่ไม่ได้ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีน พบการปนเปื้อนของแบคทีเรียโคลิฟอร์มในผักที่ปลูกโดยใช้น้ำทิ้งที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนต่ำกว่าผักที่ปลูกโดยใช้น้ำทิ้งที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีน

2. ประเภทของระบบการให้น้ำพืช

ระบบการให้น้ำพืชในการเกษตรมีหลากหลายรูปแบบด้วยกัน ที่สำคัญได้แก่ ระบบการให้น้ำแบบสปริงเกอร์ (sprinkler irrigation) แบบให้น้ำไหลไปตามร่องคู (furrow irrigation) และแบบน้ำหยด (drip irrigation) ซึ่งแบบหลังนี้สามารถแบ่งย่อยออกได้อีกเป็นแบบน้ำหยดเหนือผิวดิน (surface drip irrigation) และแบบน้ำหยดใต้ผิวดิน (sub-surface drip irrigation) ซึ่งระบบการให้น้ำรูปแบบที่ต่างกันก็จะส่งผลต่อคุณภาพทางด้านชีวภาพของพืชที่ต่างกันด้วย ได้มีการทดลองเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของการปนเปื้อน *Giardia* และ *Cryptosporidium* ในผลองุ่นและผลซูกินี ผ่านระบบการให้น้ำที่แตกต่างกันโดยใช้น้ำเสียชุมชน ได้แก่ ระบบสปริงเกอร์ ระบบน้ำหยดเหนือผิวดิน และระบบน้ำหยดใต้ผิวดินในประเทศอิสราเอล[14] ผลการทดลองพบว่าพบการปนเปื้อนของ *Giardia* และ *Cryptosporidium* สูงสุดในพืชที่ใช้ระบบการให้น้ำแบบสปริงเกอร์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยในสหรัฐอเมริกาที่พบว่ามีการปนเปื้อน *E. coli* K-12 สูงสุดในผักกาดคอสกับผักกาดแก้วที่ปลูกโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์เติม *E. coli* K-12 ผ่านระบบให้น้ำแบบสปริงเกอร์เปรียบเทียบกับระบบอื่น ๆ ซึ่ง ได้แก่ ระบบน้ำหยดใต้ผิวดินและแบบให้น้ำไหลไปตามร่องคู ซึ่งพบการปนเปื้อนเพียงแค่ 1 ตัวอย่างเท่านั้น[15] และงานวิจัยในออสเตรเลียที่พบการปนเปื้อน ของ *E. coli* ร้อยละ 100 ในตัวอย่างผักสลัดโอ๊ค ที่ปลูกโดยใช้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นที่สองโดยระบบให้น้ำแบบสปริงเกอร์ ในขณะที่ไม่พบการปนเปื้อนในทุกตัวอย่างที่ใช้ระบบการให้น้ำแบบน้ำหยดเหนือผิวดิน[16] ส่วนความแตกต่างของระบบการให้น้ำแบบหยดเหนือผิวดินกับใต้ดินนั้นได้มีการศึกษาด้วยเช่นเดียวกันในสหรัฐอเมริกา[17] โดยได้มีการทดลองปลูกมะเขือเทศและแตงกวาโดยใช้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นที่สองเติมไวรัสลงไป ซึ่งประกอบไปด้วย bacteriophage MS2 และ P22, Poliovirus type 1, Enteric virus 40 และ Hepatitis A virus ผลคือไม่พบการปนเปื้อนไวรัสใดใดในตัวอย่างของมะเขือเทศและแตงกวาที่ให้น้ำด้วยระบบหยดน้ำใต้ผิวดินเลย ซึ่งจากที่กล่าวมาทั้งหมดเกี่ยวกับความสำคัญของระบบการให้น้ำพืชต่อการปนเปื้อนจุลินทรีย์ในพืชก็พอที่จะสรุปได้ว่าระบบการให้น้ำแบบสปริงเกอร์มีความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนจุลินทรีย์สูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับระบบให้น้ำแบบอื่น ๆ และระบบการให้น้ำแบบน้ำหยดใต้ผิวดินก็เป็นรูปแบบที่มีความเสี่ยงน้อยที่สุด

3. ชนิดและรูปร่างของพืช

ชนิดหรือประเภทของพืชก็เป็นอีกองค์ประกอบหนึ่งที่มีผลต่อปริมาณการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ ในเขต El Azzouzia ประเทศโมร็อคโค ซึ่งเป็นเขตที่มีการใช้น้ำเสียในการปลูกผักอย่างแพร่หลายโดยระบบการให้น้ำแบบให้น้ำไหลไปตามร่องคู เมื่อมีการสุ่มตัวอย่างผักเพื่อตรวจวิเคราะห์การปนเปื้อนของ *Salmonella* พบว่าผักที่มีการเจริญอยู่บริเวณที่ติดกับพื้นผิวดินอย่างผักกาดสลัดและผักพาร์สลีย์จะพบการปนเปื้อนที่สูงกว่าผักชนิดที่ส่วนที่ใช้รับประทานได้เจริญเติบโตอยู่เหนือพื้นดินอย่างมะเขือเทศและพริกหวาน เป็นต้น[18] ผลการสำรวจดังกล่าวเป็นไปในลักษณะเดียวกันกับงานวิจัยในสหรัฐอเมริกาที่ได้ใช้น้ำเสียสังเคราะห์เติม

bacteriophage PRD1, *E. coli* และ *Clostridium perfringens* ในการปลูกผักและผลไม้ด้วยระบบการให้น้ำแบบน้ำหยดใต้ดินและแบบไหลไปตามร่องคู ผลการวิจัยพบว่าตรวจพบจุลินทรีย์ทั้ง 3 ชนิดข้างต้นในผักกาดสลัดและบนพื้นผิวของผลแคนตาลูป ในขณะที่ไม่พบการปนเปื้อนใด ๆ ในพริกหวาน[19] จากปรากฏการณ์ดังกล่าวสามารถอธิบายได้ว่าพืชที่มีการเจริญเติบโตอยู่บริเวณที่ติดกับพื้นผิวดินจะมีโอกาสสัมผัสโดยตรงกับน้ำเสีย และ/หรือดินที่มีการปนเปื้อนเมื่อใช้ระบบการให้น้ำแบบไหลไปตามร่องคูและระบบน้ำหยดใต้ผิวดิน ทำให้มีโอกาสสูงในการปนเปื้อนจุลินทรีย์เมื่อเปรียบเทียบกับพืชที่ส่วนที่ใช้รับประทานได้เจริญอยู่เหนือพื้นดิน ซึ่งมีโอกาสน้อยกว่าในการสัมผัสโดยตรงกับน้ำเสียและ/หรือดินที่มีการปนเปื้อน นอกจากนี้ลักษณะรูปร่างของพืชหรือใบพืชเองก็มีส่วนต่อปริมาณการปนเปื้อนจุลินทรีย์เช่นเดียวกัน ได้มีการทดลองในห้องปฏิบัติการในออสเตรเลียโดยจำลองวิธีการรดน้ำผักสลัด 3 ประเภท ได้แก่ ผักกาดแก้ว ผักสลัดคอส และผักสลัดโอ๊ค โดยใช้น้ำเสียชุมชน ผลการทดลองพบปริมาณการปนเปื้อน *E. coli* สูงสุดในผักสลัดโอ๊ค รองลงมาได้แก่ ผักสลัดคอส และผักกาดแก้ว ตามลำดับ ซึ่งเมื่อพิจารณาลักษณะของใบผักทั้ง 3 ชนิดพบว่าผักสลัดโอ๊คจะมีลักษณะที่เป็นพุ่มบาน ใบหยัก และแน่น มีความสามารถในการอุ้มและเก็บกักน้ำมากกว่าผักกาดแก้วที่มีลักษณะแบบใบปิดงุ้มเข้าหากัน มีความสามารถในการเก็บกักน้ำเสียได้น้อยกว่า ทำให้ปริมาณ *E. coli* ที่พบในผักสลัดโอ๊คสูงกว่าในผักกาดแก้ว[16, 20]

4. ความสามารถในการคงอยู่ของจุลินทรีย์

จุลินทรีย์มีความสามารถในการคงอยู่ (persistence) เป็นช่วงระยะเวลาหนึ่งบนพื้นผิวของพืชหลังจากการสัมผัสกับน้ำเสียหรือน้ำที่มีการปนเปื้อน โดยมีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ความชื้น อุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่างของน้ำที่ใช้ แสงแดด และชนิดของพืช[8] มีงานวิจัยหลายชิ้นที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับความสามารถในการคงอยู่ของจุลินทรีย์บนพื้นผิวของพืช โดยส่วนใหญ่จะเป็นการศึกษาในแบคทีเรีย คือ *E. coli* 0157:H7[10, 12, 21-25] กับ *Salmonella*[18, 26-28] โดยมีทั้งการวิจัยในห้องปฏิบัติการและในภาคสนาม งานส่วนใหญ่ใช้ระบบการให้น้ำแบบสปริงเกอร์เพื่อให้น้ำมีโอกาสสัมผัสกับพื้นผิวของพืชโดยตรง ผลการวิจัยในห้องปฏิบัติการพบว่า *E. coli* 0157:H7 มีความสามารถในการคงอยู่บนพื้นผิวของใบผักกาดสลัดภายหลังสัมผัสกับน้ำเสียหรือน้ำที่มีการปนเปื้อนนานถึง 6-30 วัน[11, 23-25] ในขณะที่ในการทดลองภาคสนาม *E. coli* 0157:H7 มีความสามารถในการคงอยู่บนพื้นผิวของใบผักกาดสลัดและผักพาร์สลีย์นาน 27-154 วัน[12, 21] และบนพื้นผิวของแครอทและหอมหัวใหญ่นาน 63-154 วัน[22] และ *Salmonella* มีความสามารถในการคงอยู่บนพื้นผิวของผักกาดสลัดและผักพาร์สลีย์นาน 3-231 วัน[18, 28] และบนพื้นผิวของแครอทและหัวไชเท้าแรดิชนาน 70-172 วัน[26, 27] จากผลดังกล่าวจะเห็นได้ว่าระยะเวลาในการคงอยู่ของจุลินทรีย์จะมีความแตกต่างกันมาก ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้นรวมถึงความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในน้ำเสียที่นำมาใช้ด้วย นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่อาจส่งผลต่อระยะเวลาในการคงอยู่ของจุลินทรีย์ เช่น การบาดเจ็บของพืชอันเนื่องมาจากแรงกระแทกทำให้พืชฉีกขาดหรือมีรอยตำหนิ จะทำให้จุลินทรีย์มีความสามารถในการคงอยู่สูงขึ้น และจะสามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาวะอุณหภูมิบรรยากาศปกติ[29]

5. ความสามารถของกระบวนการนำเข้ามาภายในเซลล์พืชของจุลินทรีย์

จากที่กล่าวมาข้างต้น การปนเปื้อนจุลินทรีย์ส่วนใหญ่จะเกิดที่บนพื้นผิวภายนอกของพืชอันเนื่องมาจากการสัมผัสกับน้ำที่นำมาใช้ แต่ที่จริงแล้วจุลินทรีย์บางชนิดยังมีความสามารถในการเข้าไปภายในเซลล์ของพืช (internalization) ได้

มีงานวิจัยหลายเรื่องที่ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาความสามารถของจุลินทรีย์ในการเข้ามาภายในเซลล์ของพืชจากการปลูกในดินที่ปนเปื้อนจุลินทรีย์หรือสัมผัสกับน้ำที่ปนเปื้อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในแบคทีเรีย *E. coli* O157:H7 และ *Salmonella* Typhimurium โดยที่แบคทีเรียเหล่านี้อาจจะเข้าไปในเซลล์พืช (internalize) ผ่านช่องเปิดโดยธรรมชาติของพืช เช่น ปากใบ รอยถลอกของลำต้นหรือใบพืช หรือรากแขนงของต้นอ่อน[30, 31] นอกจากนี้ยังพบการนำเข้าภายในเซลล์ของ Coxsackie B virus และ Canine calicivirus ในผักกาดสลัดที่ปลูกด้วยระบบการปลูกพืชไม่ใช้ดิน หรือที่รู้จักกันในนาม “ไฮโดรโปนิกส์ (hydroponics)”[32, 33] ทั้งนี้การศึกษาเกี่ยวกับเรื่องนี้ยังมีการถกเถียงกันอยู่และไม่ชัดเจนในหลายประเด็นที่ต้องมีการศึกษาวิจัยต่อไปในอนาคต เช่น ยังมีนักวิจัยบางกลุ่มที่ค้านว่าปรากฏการณ์เหล่านี้ไม่น่าจะเกิดขึ้น หรือมีโอกาสเกิดขึ้นน้อยมากในสถานการณ์จริง เนื่องจากการศึกษาเกี่ยวกับเรื่องเหล่านี้ส่วนใหญ่เป็นการศึกษาในห้องปฏิบัติการและมีการเติมเชื้อจุลินทรีย์ลงไปในน้ำเสียสังเคราะห์ในปริมาณที่สูงไม่ได้ใช้น้ำเสียหรือน้ำทิ้งจริง ๆ ซึ่งจะมีความเข้มข้นของปริมาณจุลินทรีย์ที่ต่ำกว่า[34]

ความเสี่ยงทางสุขภาพจากการใช้น้ำเสียในระบบการให้น้ำพืชเพื่อการเพาะปลูก

ความเสี่ยงสุขภาพที่สำคัญคือความเสี่ยงในผู้บริโภคที่รับประทานผักหรือผลไม้เข้าไป นอกจากนี้การใช้น้ำเสีย/น้ำทิ้งที่มีการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์ในการเกษตร ยังสามารถก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพทั้งตัวเกษตรกรและชุมชนบริเวณใกล้เคียงได้อีกด้วย แต่อย่างไรก็ตามความเสี่ยงต่อสุขภาพที่สำคัญที่สุด คือความเสี่ยงที่เกิดจากการรับประทานผักหรือผลไม้ที่ผ่านการเพาะปลูกโดยการใช้น้ำเสีย/ น้ำทิ้งที่ไม่ได้มาตรฐาน โดยเฉพาะการบริโภคผักหรือผลไม้สดที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการปรุงสุก[35, 36] ดังนี้

1. ความเสี่ยงทางสุขภาพต่อผู้บริโภค

ความเสี่ยงทางสุขภาพต่อผู้บริโภคที่สำคัญเกิดจากการบริโภคพืชที่มีการใช้น้ำเสียที่ไม่ผ่านการบำบัดมาใช้ในการเพาะปลูกและรับประทานดิบ[36] มีรายงานวิจัยและรายงานทางระบาดวิทยาจากหลายประเทศที่ยืนยันถึงความสัมพันธ์ระหว่างการเกิดโรคติดเชื้อทางเดินอาหารกับการใช้ประโยชน์น้ำเสียในการเกษตร ได้แก่ การติดเชื้อจากไข่พยาธิในประเทศเม็กซิโก แอฟริกาใต้ โมร็อกโค และอิสราเอล[36-39] อหิวาตกโรคและไข้ไทฟอยด์ในประเทศชิลี[40] โรคบิดชิเกลล่าในประเทศอิสราเอล[41]

2. ความเสี่ยงทางสุขภาพต่อเกษตรกรและชุมชนรายรอบ

นอกจากความเสี่ยงทางสุขภาพจากการรับประทานในกลุ่มผู้บริโภคที่เป็นความเสี่ยงหลักแล้ว การนำน้ำเสีย/น้ำทิ้งที่มีการปนเปื้อนเชื้อก่อโรคมาใช้ในการเกษตรก็ยังก่อให้เกิดความเสี่ยงในกลุ่มเกษตรกรและครอบครัว รวมถึงประชาชนผู้อาศัยอยู่ในพื้นที่เกษตรกรรมหรือพื้นที่บริเวณใกล้เคียงได้อีกด้วย มีรายงานวิจัยที่แสดงให้เห็นว่าอัตราการติดเชื้อของโรคทางเดินอาหารในกลุ่มเกษตรกรและประชากรที่อาศัยอยู่ในพื้นที่เกษตรที่มีการนำน้ำเสียมาใช้ในการเพาะปลูกจะสูงกว่าในกลุ่มเกษตรกรและประชากรที่ไม่ได้ใช้น้ำเสียในการเกษตร ไม่ว่าจะเป็นการติดเชื้อจากแบคทีเรีย[36, 42, 43] ไวรัส[44] โปรโตซัว[43, 45-47] หรือไข่พยาธิ[37-39, 48] นอกจากนี้ยังพบอีกว่าอัตราการติดเชื้อทางเดินอาหารในกลุ่มเด็กจะสูงกว่ากลุ่มอื่น ๆเมื่อมีการเปรียบเทียบในพื้นที่เดียวกัน[49-51] และมีการรายงานพบการติดเชื้อทางผิวหนังในกลุ่มเกษตรกรในประเทศกัมพูชาและเวียดนามจากการรับสัมผัสน้ำที่ใช้ในการเกษตรที่ไม่ได้ผ่านการบำบัดอย่างมีประสิทธิภาพ[52, 53]

นอกจากความเสี่ยงทางสุขภาพจากการติดเชื้อทางเดินอาหารและทางผิวหนังแล้ว ยังมีการศึกษาความเสี่ยงในการติดเชื้อจากละอองฝอยชีวภาพ (ทั้งแบคทีเรียและไวรัส) จากการได้รับสัมผัสผ่านระบบสปริงเกอร์ด้วย แต่ผลจากการศึกษาพบว่าความเสี่ยงในการติดเชื้อยังไม่มีความแตกต่างของเกษตรกรและประชากรที่อยู่ในบริเวณพื้นที่เกษตรที่มีการใช้น้ำเสียกับกลุ่มเกษตรกรและประชากรในเขตพื้นที่ที่ไม่ได้มีการใช้น้ำเสียในการเกษตร[54-56]

มาตรการในการควบคุมป้องกัน

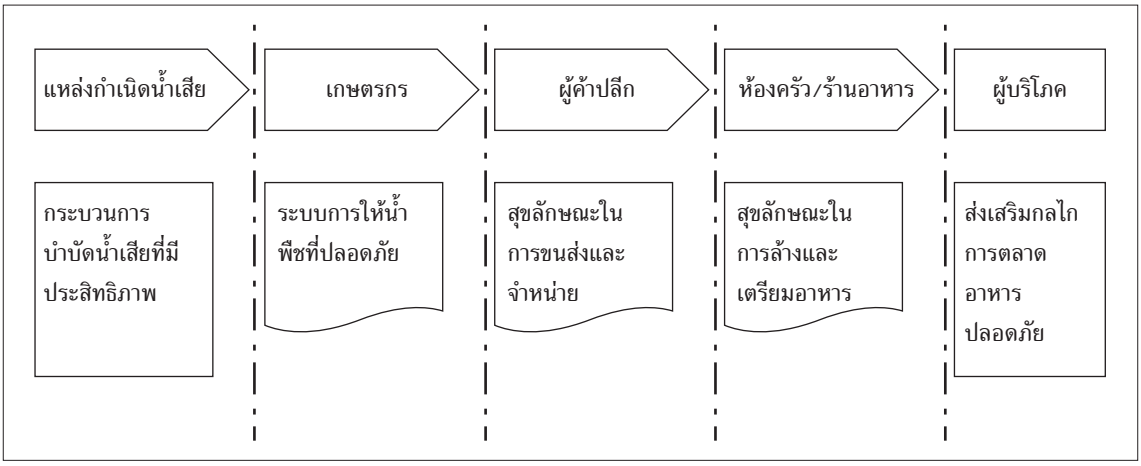
จากอันตรายและความเสี่ยงทางสุขภาพที่เกิดขึ้นจากการนำน้ำเสียมาใช้ในการเกษตร ทำให้หลายประเทศทั่วโลกตื่นตัวและหันมาให้ความสำคัญกับเรื่องนี้มากขึ้น โดยในแต่ละประเทศได้มีการตั้งมาตรฐานหรือข้อเสนอแนะของคุณภาพน้ำทางด้านจุลินทรีย์ของน้ำเสียที่จะนำมาใช้ในการเกษตร โดยรัฐแคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นที่แรกที่ได้ดำเนินการเรื่องนี้ ในปัจจุบันองค์การอนามัยโลกได้ออกข้อเสนอแนะว่าด้วยการใช้ประโยชน์จากน้ำเสียในการเกษตรอย่างปลอดภัย (WHO guidelines for the safe use of wastewater, excreta and grey water Volume II: Wastewater use in agriculture)[8] ซึ่งประเทศต่าง ๆ ทั่วโลกก็ได้นำข้อเสนอแนะนี้เป็นแนวทางในการพัฒนาข้อกำหนดมาตรฐาน หรือข้อเสนอแนะสำหรับประเทศตนเอง[57] โดยมาตรฐานหรือข้อเสนอแนะทางด้านชีวภาพส่วนใหญ่จะใช้แบคทีเรียชี้วัดในกลุ่มโคลิฟอร์มเป็นหลัก และมีบางประเทศที่อาจจะมีมาตรฐานของไข่พยาธิร่วมด้วย ตัวอย่างมาตรฐาน/ข้อเสนอแนะของคุณภาพน้ำเสียทางด้านจุลินทรีย์ที่จะนำมาใช้ในการเกษตรของบางประเทศแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 มาตรฐาน/ข้อเสนอแนะของคุณภาพน้ำเสียทางด้านชีวภาพที่นำมาใช้ในการเกษตรในบางประเทศ[58]

ประเทศ	จุลินทรีย์			
	Total coliforms (CFU/100 mL)	Faecal coliforms (CFU/100 mL)	*E. coli* (CFU/100 mL)	ไข่พยาธิ Nematode (no./L)
โอมาน	-	2.2×10^2	-	<1
อิสราเอล	-	10	-	-
ออสเตรเลีย	10	-	-	-
อิตาลี	-	-	10^2	-
สเปน	-	-	10^2	<1

นอกจากนี้ข้อเสนอแนะองค์การอนามัยโลกที่ว่าด้วยการใช้ประโยชน์จากน้ำเสียในการเกษตรอย่างปลอดภัย (WHO guidelines for the safe use of wastewater, excreta and grey water Volume II: Wastewater use in agriculture) ยังได้เสนอแนะหลักการประเมินความเสี่ยงด้านจุลินทรีย์เชิงปริมาณ (Quantitative Microbial Risk Assessment; QMRA) มาใช้ในการประเมินความเสี่ยง

ทางสุขภาพจากการรับประทานพืชที่ผ่านการเพาะปลูกโดยใช้น้ำเสีย ซึ่งเป็นการประยุกต์หลักการของการประเมินความเสี่ยงในการประเมินผลที่ตามมาของการเจ็บป่วยอันเนื่องมาจากเชื้อจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่ในอาหาร[8] นอกจากนี้ได้มีการแนะนำหลักการ Multi-barrier approach ซึ่งเป็นวิธีการในการปฏิบัติที่ดีในการที่จะลดผลกระทบทางสุขภาพอันจะเกิดจากการนำน้ำเสียมาใช้ในการเกษตร โดยได้พิจารณาในภาพรวมตลอดทั้งเส้นทางการผลิตของห่วงโซ่อาหาร ตั้งแต่ต้นทางคือแหล่งกำเนิดน้ำเสียไปยังเกษตรกรในพื้นที่เพาะปลูก ผู้ค้าปลีก ร้านอาหาร/ห้องครัว และผู้บริโภค โดยได้วางมาตรการต่าง ๆ ในแต่ละขั้นตอน ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 หลักการ Multi-barrier approach เพื่อลดผลกระทบทางสุขภาพจากการนำน้ำเสียมาใช้ในการเกษตร (ดัดแปลงจาก Ilic และคณะ, 2010[59])

บทสรุปและข้อเสนอแนะในบริบทของประเทศไทย

จากวิกฤตภัยแล้งที่ประชากรโลกกำลังเผชิญอยู่ ทำให้การนำน้ำเสียมาใช้ประโยชน์ในภาคการเกษตรในปัจจุบันมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากในน้ำเสียมีธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของพืช ลดปริมาณการใช้สารเคมีในการเพาะปลูก สามารถบริหารจัดการทรัพยากรน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่การกระทำดังกล่าวก็ก่อให้เกิดความเสี่ยงตามมาหากมีการดำเนินการที่ไม่ดีพอ โดยเฉพาะอย่างยิ่งความเสี่ยงทางด้านสุขภาพต่อผู้บริโภคอันเนื่องมาจากคุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ของผักผลไม้ที่เพาะปลูกดังที่ได้มีรายงานวิจัยต่าง ๆ ในหลาย ๆ ประเทศทั่วโลก อย่างไรก็ตามสำหรับประเทศไทยนั้นงานวิจัยหรือการดำเนินงานในเรื่องนี้ยังมีน้อยมาก ส่วนหนึ่งอาจเนื่องมาจากว่าประเทศไทยนั้นยังมีปริมาณน้ำจืดที่ยังเพียงพอต่อภาคการเกษตรเมื่อเปรียบเทียบกับประเทศในเขตแห้งแล้งที่มีการนำน้ำเสียหรือน้ำทิ้งมาใช้ อย่างเช่นในประเทศออสเตรเลียที่มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อปีอยู่ที่ประมาณ 504.06 มิลลิเมตร[60] ในขณะที่ประเทศไทยมีประมาณ 1,587.5 มิลลิเมตร[61] แต่ทั้งนี้ใช่ว่าประเทศไทยจะไม่ประสบกับปัญหาขาดน้ำจืดที่จะนำมาใช้ในภาคการเกษตรในอนาคต เนื่องจากว่าในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา (พ.ศ.2547-พ.ศ.2557) ประเทศไทยมีปริมาณความต้องการ

ใช้น้ำที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาคการเกษตรที่มีความต้องการใช้น้ำคิดเป็นร้อยละ 70 ของปริมาณการใช้น้ำทั้งหมด นอกจากนี้แหล่งน้ำผิวดินก็มีแนวโน้มเสื่อมโทรมมากขึ้นอันเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรและการขยายตัวของชุมชนโดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขตชุมชนที่ตั้งอยู่ริมน้ำ[62] การใช้ประโยชน์น้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนมาใช้ในทางการเกษตรจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจในปัจจุบันเนื่องจากพบว่าในประเทศไทยส่วนใหญ่น้ำเสียชุมชน ทั้งที่ไม่ได้รับการบำบัดและนำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วมีการปล่อยสู่แม่น้ำลำคลองโดยตรง[63] แต่จากบทความทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าการดำเนินงานเกี่ยวกับเรื่องนี้เป็นเรื่องที่ค่อนข้างซับซ้อนและมีหลายหน่วยงานที่เกี่ยวข้องทั้งในเรื่องของประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชน คุณภาพด้านชีวภาพของผลผลิตทางการเกษตร และความเสี่ยงต่อสุขภาพที่อาจจะเกิดขึ้นต่อผู้บริโภคและตัวเกษตรกรเอง ดังนั้นผู้เขียนจึงขอเสนอแนะแนวทางโดยอาศัยกรอบ Multi-barrier approach (ภาพที่ 1) เพื่อการดำเนินงานดังนี้

1. แหล่งกำเนิดน้ำเสีย - หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดน้ำเสียชุมชน ได้แก่ กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมการปกครองส่วนท้องถิ่น และองค์การจัดการน้ำเสีย กระทรวงมหาดไทย ควรวางแผนร่วมมือกันในการพัฒนาประสิทธิภาพระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนให้มีศักยภาพและมาตฐานเพียงพอในการนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรได้ และร่วมมือกันวางแผนกับกรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ในการสร้างประโยชน์ให้กับพื้นที่เกษตรกรรม

2. เกษตรกร/ แหล่งผลิต – กรมวิชาการเกษตร สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ในฐานะหน่วยงานหลักทางด้านวิชาการเกษตรควรให้ความรู้และข้อเสนอแนะในเรื่องระบบการให้น้ำพืชที่ปลอดภัย รวมถึงข้อคิดเห็นหรือข้อเสนอแนะเรื่องความปลอดภัยอาหารด้านชีวภาพ หรือพัฒนาระบบการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี (Good Agricultural Practice; GAP) ของพืชอาหาร ที่จำเพาะต่อแหล่งผลิตที่ใช้น้ำเสีย/ น้ำทิ้งในการเพาะปลูก

3. ผู้ค้าปลีก (รวมถึงการขนส่ง) ร้านอาหาร/ห้องครัว และผู้บริโภค - กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข ในฐานะหน่วยงานหลักที่สำคัญในการปกป้องคุ้มครองสุขภาพประชาชนควรออกมาตรการมาตรฐาน หรือข้อแนะนำเกี่ยวกับสุขลักษณะของการขนส่ง จำหน่าย เตรียม ผลิตผลทางการเกษตรที่มาจากฟาร์มหรือแหล่งผลิตที่ใช้น้ำเสีย รวมถึงกลไกการส่งเสริมการตลาดอาหารปลอดภัย โดยในเรื่องของการขนส่งนั้น อาจจะต้องร่วมมือกันกับกรมการขนส่งทางบกในการพัฒนาคุณภาพการขนส่งสินค้าแบบควบคุมอุณหภูมิเพื่อความปลอดภัยทางด้านชีวภาพและลดความเสี่ยงทางสุขภาพที่จะเกิดขึ้นต่อผู้บริโภค

จากข้อเสนอแนะดังกล่าวข้างต้น จะเห็นได้ว่ามีหลายหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ดังนั้นอาจจะต้องมีหน่วยงานหลักในการขับเคลื่อน เช่น สำนักส่งเสริมและสนับสนุนอาหารปลอดภัย กระทรวงสาธารณสุข เป็นหน่วยงานกลางในการบูรณาการขับเคลื่อนนโยบายนำไปสู่การปฏิบัติ ประสานงาน ควบคุมกำกับการดำเนินงานของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้การดำเนินงานเรื่องการนำน้ำเสียมาใช้ประโยชน์ในทางเกษตรกรรมเกิดประสิทธิภาพสูงสุด

เอกสารอ้างอิง

1. UN-Water. The United Nations World Development Report 2015: Water for a sustainable world. Paris: UNESCO; 2015.
2. Sato T, Qadir M, Yamamoto S, Endo T,

Zahoor A. Global, regional, and country level need for data on wastewater generation, treatment, and use. Agric Water Manag. 2013;130:1-13.

3. World Resources Institute. Ranking the World's Most Water-Stressed Countries in 2040. Available from:https://www.wri.org/blog/2015/08/ranking-world-s-most-water-stressed-countries-2040. (05/04/2019)
4. Jiménez B, Asano T. Water reclamation and reuse around the world. In: Jiménez B, Asano T, editors. Water reuse: an international survey of current practice, issues and needs. London: IWA Publishing; 2008.
5. Asano T, Burton F, Leverenz H, Tsuchihashi R, Tchobanoglous G. Water reuse: Issues, technologies, and applications. New York: McGraw Hill; 2007.
6. Toze S. Reuse of effluent water—benefits and risks. Agric Water Manag. 2006;80(1):147-59.
7. Adrover M, Farrús E, Moyà G, Vadell J. Chemical properties and biological activity in soils of Mallorca following twenty years of treated wastewater irrigation. J Environ Manage. 2012;95: 188-92.
8. WHO. WHO guidelines for the safe use of wastewater, excreta and grey water (Volume II: Wastewater use in agriculture): World Health Organization; 2006.
9. Haas CN, Rose JB, Gerba CP. Quantitative microbial risk assessment. Toronto: John Wiley & Sons; 1999.
10. Al-Lahham O, El Assi N, Fayyad M. Impact of treated wastewater irrigation on quality attributes and contamination of tomato fruit. Agric Water Manag. 2003;61(1):51-62.
11. Solomon EB, Pang HJ, Matthews KR. Persistence of *Escherichia coli* O157:H7 on Lettuce Plants following Spray Irrigation with Contaminated Water. J Food Prot. 2003;66(12):2198-202.
12. Erickson MC, Webb CC, Diaz-Perez JC, Phatak SC, Silvoy JJ, Davey L, et al. Surface and internalized *Escherichia coli* O157: H7 on field-grown spinach and lettuce treated with spray-contaminated irrigation water. J Food Prot. 2010;73(6):1023-9.
13. Nikaido M, Tonani KA, Julião FC, Trevilato TM, Takayanagui AM, Sanches SM, et al. Analysis of bacteria, parasites, and heavy metals in lettuce (*Lactuca sativa*) and rocket salad (*Eruca sativa* L.) irrigated with treated effluent from a biological wastewater treatment plant. Biological trace element research. 2010;134(3):342-51.
14. Armon R, Gold D, Brodsky M, Oron G. Surface and subsurface irrigation with effluents of different qualities and presence of *Cryptosporidium* oocysts in soil and on crops. Wat Sci Tech. 2002;46(3):115-22.
15. Fonseca JM, Fallon SD, Sanchez CA,

Nolte KD. *Escherichia coli* survival in lettuce fields following its introduction through different irrigation systems. J Appl Microbiol. 2011;110(4):893-902.

16. Makkaew P, Miller M, Fallowfield HJ, Cromar NJ. Microbial risk in wastewater irrigated lettuce: Comparing *Escherichia coli* contamination from an experimental site with a laboratory approach. Wat Sci Tech. 2016;74(3):749-55.
17. Alum A, Enriquez C, Gerba CP. Impact of drip irrigation method, soil, and virus type on tomato and cucumber contamination. Food Environ Virol. 2011;3(2):78-85.
18. Ait Melloul A, Hassani L, Rafouk L. *Salmonella* contamination of vegetables irrigated with untreated wastewater. World J Microbiol Biotechnol. 2001;17(2):207-9.
19. Song I, Stine SW, Choi CY, Gerba CP. Comparison of crop contamination by microorganisms during subsurface drip and furrow irrigation. J Environ Eng. 2006;132(10):1243-8.
20. Makkaew P, Miller M, Cromar N, Fallowfield H. The influence of the microbial quality of wastewater, lettuce cultivars and enumeration technique when estimating the microbial contamination of wastewater-irrigated lettuce. J Water Health. 2017;15(2):228-38.
21. Islam M, Doyle MP, Phatak SC, Millner P, Jiang X. Persistence of enterohemorrhagic *Escherichia coli* O157:H7 in soil and on leaf lettuce and parsley grown in fields treated with contaminated manure composts or irrigation water. J Food Prot. 2004;67(7):1365-70.
22. Islam M, Doyle MP, Phatak SC, Millner P, Jiang X. Survival of *Escherichia coli* O157:H7 in soil and on carrots and onions grown in fields treated with contaminated manure composts or irrigation water. Food Microbiol. 2005;22(1):63-70.
23. Solomon EB, Potenski CJ, Matthews KR. Effect of irrigation method on transmission to and persistence of *Escherichia coli* O157:H7 on lettuce. J Food Prot. 2002;65(4):673-6.
24. Wood J, Bezanson G, Gordon R, Jamieson R. Population dynamics of *Escherichia coli* inoculated by irrigation into the phyllosphere of spinach grown under commercial production conditions. Int J Food Microbiol. 2010;143(3):198-204.
25. Oliveira M, Viñas I, Usall J, Anguera M, Abadias M. Presence and survival of *Escherichia coli* O157: H7 on lettuce leaves and in soil treated with contaminated compost and irrigation water. Int J Food Microbiol. 2012;156(2):133-40.
26. Kisluk G, Yaron S. Presence and persistence of *Salmonella enterica* serotype Typhimurium in the phyllosphere and rhizosphere of spray-irrigated parsley. Appl Environ Microbiol. 2012;78(11):4030-6.
27. Islam M, Morgan J, Doyle MP, Phatak

SC, Millner P, Jiang X. Fate of *Salmonella enterica* Serovar Typhimurium on Carrots and Radishes Grown in Fields Treated with Contaminated Manure Composts or Irrigation Water. Appl Environ Microbiol. 2004;70(4):2497-502.

28. Islam M, Morgan J, Doyle MP, Phatak SC, Millner P, Jiang X. Persistence of *Salmonella enterica* serovar typhimurium on lettuce and parsley and in soils on which they were grown in fields treated with contaminated manure composts or irrigation water. Foodborne Pathog Dis. 2004;1(1):27-35.
29. Uyttendaele M, Jaykus LA, Amoah P, Chiodini A, Cunliffe D, Jacxsens L, et al. Microbial Hazards in Irrigation Water: Standards, Norms, and Testing to Manage Use of Water in Fresh Produce Primary Production. Compr Rev Food Sci Food Saf. 2015;14(4):336-56.
30. Erickson MC. Internalization of fresh produce by foodborne pathogens. Annual review of food science and technology. 2012;3:283-310.
31. Deering AJ, Mauer LJ, Pruitt RE. Internalization of *E. coli* O157: H7 and *Salmonella* spp. in plants: a review. Food Res Int. 2012;45(2):567-75.
32. Urbanucci A, Myrmel M, Berg I, von Bonsdorff CH, Maunula L. Potential internalisation of caliciviruses in lettuce. Int J Food Microbiol. 2009;135(2):175-8.
33. Carducci A, Ciurli A, Verani M, editors. Deep viral contamination of lettuce through root absorbtion. the 16th International symposium on health-related water microbiology; 2011; Rotorua, Newzealand.
34. Pachepsky Y, Shelton DR, McLain JE, Patel J, Mandrell RE. Irrigation waters as a source of pathogenic microorganisms in Produce: A Review. Adv Agron. 2011;113:73.
35. Scheierling SM, Bartone C, Mara DD, Drechsel P. Improving wastewater use in agriculture: An emerging priority. Available from: https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/3897/WPS5412.pdf?sequence=1. (15/05/2012)
36. Shuval HI, Yekutiel P, Fattal B. Epidemiological evidence for helminth and cholera transmission by vegetables irrigated with wastewater: Jerusalem - A case study. Wat Sci Tech. 1984;17(4-5):433-42.
37. Blumenthal UJ, Cifuentes E, Bennett S, Quigley M, Ruiz-Palacios G. The risk of enteric infections associated with wastewater reuse: The effect of season and degree of storage of wastewater. Trans R Soc Trop Med Hyg. 2001;95(2):131-7.
38. Gumbo JR, Malaka EM, Odiyo JO, Nare L. The health implications of wastewater reuse in vegetable irrigation: A case study from Malamulele, South Africa. Int J Environ Health Res. 2010;20(3):201-11.

39. Habbari K, Tifnouti A, Bitton G, Mandil A. Geohelminthic infections associated with raw wastewater reuse for agricultural purposes in Beni-Mellal, Morocco. Parasitol Int. 2000;48(3):249-54.
40. Shuval HI. Investigation of typhoid fever and cholera transmission by raw wastewater irrigation in Santiago, Chile. Wat Sci Tech. 1993;27(3-4):167-74.
41. Porter B, Schinder E, Nagar H, Gilad Y, Torek V. An outbreak of shigellosis in an ultra-orthodox Jewish community. Soc Sci Med. 1984;18(12):1061-2.
42. Melloul AA, Hassani L. *Salmonella* infection in children from the wastewater- spreading zone of Marrakesh city (Morocco). J Appl Microbiol. 1999;87(4):536-9.
43. Trang DT, Hien BTT, Mølbak K, Cam PD, Dalsgaard A. Epidemiology and aetiology of diarrhoeal diseases in adults engaged in wastewater-fed agriculture and aquaculture in Hanoi, Vietnam. Trop Med Int Health. 2007;12(2):23-33.
44. Margalith M, Morag A, Fattal B. Antibodies to polioviruses in an Israeli population and overseas volunteers. J Med Virol. 1990;30(1):68-72.
45. Ensink JHJ, van der Hoek W, Amerasinghe FP. *Giardia duodenalis* infection and wastewater irrigation in Pakistan. Trans R Soc Trop Med Hyg. 2006;100(6):538-42.
46. El Kettani S, Azzouzi E, Boukachabine K, El Yamani M, Maata A, Rajaoui M. Intestinal parasitosis and use of untreated wastewater for agriculture in Settat, Morocco. 2008.
47. Srikanth R, Naik D. Prevalence of Giardiasis due to wastewater reuse for agriculture in the suburbs of Asmara City, Eritrea. Int J Environ Health Res. 2004;14(1):43-52.
48. Pham-Duc P, Nguyen-Viet H, Hattendorf J, Zinsstag J, Phung-Dac C, Zurbruegg C, et al. *Ascaris lumbricoides* and *Trichuris trichiura* infections associated with wastewater and human excreta use in agriculture in Vietnam. Parasitol Int. 2013;62(2):172-80.
49. Cifuentes E, Gomez M, Blumenthal U, Tellez-Rojo MM, Romieu I, Ruiz-Palacios G, et al. Risk factors for *Giardia intestinalis* infection in agricultural villages practicing wastewater irrigation in Mexico. Am J Trop Med Hyg. 2000;62(3):388-92.
50. Shuval HI, Fattal B, Yekutiel P. State of the art review: An epidemiological approach to the health effects of wastewater reuse. Wat Sci Tech. 1986;18(9):147-62.
51. Hien BTT, Do TT, Scheutz F, Phung DC, Mølbak K, Dalsgaard A. Diarrhoeagenic *Escherichia coli* and other causes of childhood diarrhoea: A case-control study in children living in a wastewater-use area in Hanoi, Vietnam. J Med Microbiol. 2007;56(8):1086-96.
52. Anh VT, van der Hoek W, Ersbøll AK,

Vicheth C, Cam PD, Dalsgaard A. Peri-urban aquatic plant culture and skin disease in Phnom Penh, Cambodia. J Water Health. 2009;7:302–11.

53. Anh VT, van der Hoek W, Ersbøll AK, Thuong NV, Tuan ND, Cam PD. Dermatitis among farmers engaged in peri-urban aquatic food production in Hanoi, Vietnam. Trop Med Int Health. 2007;12:59–65.
54. Linnemann Jr CC, Jaffa R, Gartside PS, Scarpino PV, Clark CS. Risk of infection associated with a wastewater spray irrigation system used for farming. J Occup Med. 1984;26(1):41-4.
55. Fattal B, Bercovier H, Derai-Cochin M, Shuval HI. Wastewater reuse and exposure to *Legionella* organisms. Water Res. 1985;19(6):693-6.
56. Shuval HI, Wax Y, Yekutiel P, Fattal B. Transmission of enteric disease associated with wastewater irrigation: A prospective epidemiological study. Am J Public Health. 1989;79(7):850-2.
57. Navarro I, Chavez A, Barrios J, Maya C, Becerril E, Lucario S, et al. Wastewater Reuse for Irrigation—Practices, Safe Reuse and Perspectives. 2015.
58. Becerra-Castro C, Lopes AR, Vaz-Moreira I, Silva EF, Manaia CM, Nunes OC. Wastewater reuse in irrigation: A microbiological perspective on implications in soil fertility and human and environmental health. Environ Int. 2015;75:117-35.
59. Ilic, S., Drechsel, P., Amoah, P., & LeJeune, J. T. (2010). Applying the multiple-barrier approach for microbial risk reduction in the post-harvest sector of wastewater-irrigated vegetables. In P. Dreschsel, C. A. Scott, L. Raschid-Sally, M. Redwood, & A. Bahri (Eds.), *Wastewater Irrigation and Health: Assessing and Mitigation Risk in Low-Income Countries* (pp. 239). London: Earthscan.
60. Australian Government Bureau of Meteorology. Annual climate statement. Available from: http://www.bom.gov.au/climate/current/annual/aus/. (29/October/2018)
61. กรมอุตุนิยมวิทยา. แผนภูมิข้อมูลภูมิอากาศ. เข้าถึงได้จาก: https://www.tmd.go.th/en/climate.php?FileID=7. (29 ตุลาคม 2561)
62. สุจริต คูณธนกุลวงศ์, ทวนทัน กิจไพศาลสกุล, ปิยธิดา เรืองรัศมี, พงษ์ศักดิ์ สุทธินนท์, สุภัทรา วิเศษศร, ดาว สุวรรณแสง จั่นเจริญ. รายงานการวิเคราะห์สถานการณ์น้ำของประเทศไทย: ทรัพยากรน้ำกับการพัฒนาเศรษฐกิจ. คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2559.
63. Pariyada Chokewinyoo and Pornsiri Khanayai. Wastewater Production, Treatment, and Use in Thailand. Available from: http://www.ais.unwater.org/ais/pluginfile.php/501/mod_page/content/87/report_thailand.pdf. (29/October/ 2018)