การส่งผ่าน การตรวจหา และการกำจัดเชื้อไวรัสโคโรนาสายพันธุ์ใหม่ 2019 ในแหล่งน้ำ

Transmission, Detection and Disinfection of SARS-CoV-2 in Water Sources

สิทธิชัย ใจขาน[1] สมเจตน์ ทองดำรงธรรม[1] สุภาณี จันทร์ศิริ[1*]

Sitthichai Chaikhan[1] Somjate Thongdamrongtham[1] Supanee Junsiri[1*]

(Received: September 30, 2023; Revised: April 28, 2024; Accepted: May 10, 2024)

***Corresponding author: supanee.j@ubu.ac.th**

บทคัดย่อ

หลังจากมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับไวรัสโคโรนา 2019 (SARS-CoV-2) ที่มากขึ้น และการระบาดของเชื้อมีแนวโน้มลดลง แต่ยังคงมีการระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนาสายพันธุ์ใหม่ 2019 (COVID-19) ในประเทศไทย โดยเฉพาะช่วงเทศกาลสำคัญ เช่น เทศกาลสงกรานต์ประจำปี 2567 พบผู้ป่วยโรค COVID-19 ที่ต้องรักษาตัวในโรงพยาบาล จำนวน 1,004 ราย เฉลี่ย 143 รายต่อวัน บทความนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่ออธิบายการส่งผ่านของไวรัส SARS-CoV-2 ในแหล่งน้ำ และอธิบายวิธีการตรวจหาและกำจัดไวรัสในแหล่งน้ำ เนื่องจากเชื้อไวรัสนี้สามารถอยู่ในแหล่งน้ำที่ไม่ผ่านการบำบัดที่อุณหภูมิ 23°C ได้นาน 2-4 วัน หากนำน้ำที่มีการปนเปื้อนเชื้อไวรัสมาใช้ผ่านการดื่มและการสัมผัสกับน้ำโดยตรง สามารถนำไปสู่การเจ็บป่วยด้วยโรค COVID-19 ได้ มีผลการศึกษาพบว่า ชุมชนที่ขาดแคลนทรัพยากรสาธารณูปโภคมีอัตราการติดเชื้อ SARS-CoV-2 สูงกว่าชุมชนทั่วไป น้ำเสียจากชุมชนสามารถพบสารพันธุกรรมของเชื้อไวรัส SARS-CoV-2 ความเข้มข้น 0.33–149.90 copies/L/person การตรวจหา SARS-CoV-2 ในแหล่งน้ำด้วยวิธี Quantitative PCR (qPCR) ยังคงเป็นที่นิยมในการวัดปริมาณ RNA ของเชื้อไวรัส สำหรับวิธีการฆ่าเชื้อ SARS-CoV-2 ในน้ำที่ประชาชนทั่วไปสามารถทำได้ง่าย ได้แก่ การต้มน้ำที่อุณหภูมิอย่างน้อย 65°C นาน 30 นาที ต้มให้เดือดที่ 100°C เพียง 1 นาที และการใช้สารเคมีที่มีส่วนผสมของคลอรีน เช่น การใช้กรดคลอริกเข้มข้น ($HClO_2$) เพียง 0.41-0.74 mg/L สัมผัสเชื้อใช้เวลาแค่ 1 นาที หรือการใช้โซเดียมไฮโปคลอไรท์ (NaOCl) เข้มข้น 0.54 mg/L ก็สามารถทำลายเชื้อในน้ำได้ถึง 99% ดังนั้นการเฝ้าระวังเพื่อป้องกันและควบคุมการแพร่ระบาดของโรคยังคงเป็นสิ่งที่ต้องให้ความสำคัญ

คำสำคัญ: สุขภาพ โควิด-19 SAR-CoV-2 การฆ่าเชื้อ การเฝ้าระวังโรค

[1]กลุ่มวิชาสาธารณสุขศาสตร์ วิทยาลัยแพทยศาสตร์และการสาธารณสุข มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

[1]Public Health Sub Division, College of Medicine and Public Health, Ubon Ratchathani University

Abstract

After further studying the SARS-CoV-2 virus and observing a decreasing trend in its spread, there is still an ongoing outbreak of the novel coronavirus disease 2019 (COVID-19) in Thailand, especially during significant festivals such as the Songkran Festival of the year 2567. During this festival, 1,004 COVID-19 patients were hospitalized, averaging 143 daily cases. This article presents an examination of the transmission of the SARS-CoV-2 virus in water sources and describes methods for detecting and eliminating the virus in water. The virus can persist in untreated water at 23°C for 2-4 days. Contaminated water used for drinking or direct contact can lead to COVID-19 infection. Studies have found that communities lacking public resources have higher rates of SARS-CoV-2 infection than the general population. Wastewater from communities can contain genetic material of the SARS-CoV-2 virus at concentrations ranging from 0.33 to 149.90 copies/L/person. Quantitative PCR (qPCR) remains popular for detecting SARS-CoV-2 in water to measure RNA quantities of the virus. Common methods to kill the SARS-CoV-2 virus in water accessible to the general public include boiling water at a minimum temperature of 65°C for 30 minutes or boiling it at 100°C for 1 minute. Chemicals such as strong chlorine-based agents like concentrated hydrochloric acid ($HClO_2$) at 0.41-0.74 mg/L, with just 1 minute of contact time, or sodium hypochlorite (NaOCl) at a concentration of 0.54 mg/L, can destroy the virus in water by up to 99%. Therefore, vigilance to prevent and control the spread of the disease remains crucial.

Keywords: Health, Covid-19, SAR-CoV-2, Disinfection, Surveillance

1. บทนำ

ไวรัสโคโรนาสายพันธุ์ใหม่ 2019 นับเป็นเชื้อโคโรนาสายพันธุ์ที่ 7 ที่ก่อโรคในคน (Human coronavirus-HCoV) เชื้อไวรัสนี้สามารถแยกได้จากผู้ป่วยที่มีอาการปอดอักเสบคล้ายโรคซาร์ส ปัจจุบันจึงมีรายงานพบไวรัสโคโรนาที่ก่อโรคในคนประกอบด้วย กลุ่มก่อโรคไม่รุนแรงจำนวน 4 สายพันธุ์ ได้แก่ HCoV-229E, HCoV-OC43, HCoV-NL63 และ HCoV-HKU1 และกลุ่มก่อโรครุนแรงจำนวน 2 สายพันธุ์ ได้แก่ ไวรัสซาร์ส (Severe acute respiratory syndrome coronavirus: SARS-CoV) และ ไวรัสเมอร์ส (Middle East respiratory syndrome coronavirus: MERS-CoV) ซึ่งทั้งสองสายพันธุ์ถูกจัดอยู่ใน Betacoronavirus[1] องค์การอนามัยโลก หรือ World Health Organization (WHO) กำหนดชื่อสำหรับเรียกโรคทางเดินหายใจที่เกิดจากไวรัสโคโรนาสายพันธุ์ใหม่ว่า Coronavirus disease 2019 (COVID-19) กระทรวงสาธารณสุขของประเทศไทยเรียกว่า “โรคติดเชื้อไวรัสโคโรนาสายพันธุ์ใหม่ 2019” คณะกรรมการระหว่างประเทศว่าด้วยอนุกรมวิธานวิทยาของไวรัส (International Committee on Taxonomy of Viruses: ICTV) ได้กำหนดให้ใช้ severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 หรือ SARS-CoV-2 เป็นชื่อทางการของไวรัส[2]

จุดเริ่มต้นของการพบผู้ป่วย COVID-19 เกิดขึ้นในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2562 ได้มีการพบผู้ป่วยที่มีที่มีอาการปอดอักเสบคล้ายโรคซาร์สซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับตลาดค้าอาหารทะเลในเมืองอู่ฮั่น ประเทศจีน และเชื่อว่าไวรัสนี้อาจมีต้นกำเนิดจากค้างคาวและส่งต่อไปยังมนุษย์ผ่านสัตว์ชนิดอื่น หลังจากนั้นไวรัสได้แพร่กระจายอย่างรวดเร็วไปยังเมืองอื่นๆ รัฐบาลของประเทศจีนต้องใช้มาตรการขั้นรุนแรงด้วยการล็อกดาวน์เพื่อควบคุมการระบาดของโรค แต่ยังไม่เพียงพอต่อการควบคุมการระบาดของโรคและเกิดการแพร่ระบาด SARS-CoV-2 ในหลายประเทศทั่วโลก[3–6] องค์การอนามัยโลกจึงได้ประกาศว่า COVID-19 เป็นโรคระบาดครั้งใหญ่ระดับโลก (Pandemic) เมื่อวันที่ 30 เดือนมกราคม พ.ศ. 2563[7] คาดว่าเกิดการแพร่เชื้อไวรัส SARS-CoV-2 ไปยังประชากรโลกมากถึงร้อยละ 70[8] รายงานของ WHO เมื่อวันที่ 7 เมษายน พ.ศ. 2567 มีผู้ติดเชื้อรวมทั่วโลก 775 ล้านคน[9] กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุขระบุว่าในปี พ.ศ. 2566 พบผู้ป่วย COVID-19 ทั้งหมด 652,868 ราย เสียชีวิต 848 ราย จึงได้มีการคาดการณ์ว่าปี 2567 จะพบผู้ป่วยประมาณ 649,520 ราย[10]

การแพร่กระจายเชื้อไวรัส SARS-CoV-2 เกิดขึ้นผ่านทางละอองทางเดินหายใจที่เกิดขึ้นเมื่อผู้ติดเชื้อพูด ไอ หรือจาม เชื้อไวรัสสามารถแพร่กระจายผ่านการสัมผัสใกล้ชิดกับผู้ติดเชื้อหรือโดยการสัมผัสพื้นผิวหรือวัตถุที่มีเชื้อไวรัสแล้วสัมผัสใบหน้าของตนเอง จากข้อมูลของศูนย์ควบคุมและป้องกันโรค (CDC) ระบุว่าส่วนใหญ่เชื้อไวรัสชนิดนี้จะแพร่กระจายผ่านการสัมผัสใกล้ชิดกับผู้ติดเชื้อในระยะประมาณ 6 ฟุต และสามารถก่อให้เกิดการติดเชื้อไปยังผู้คนได้ง่ายเมื่อมีการแพร่กระจายทางอากาศในพื้นที่ที่มีการระบายอากาศไม่ดีและภายในอาคารที่มีผู้คนแออัด[11] นอกจากนี้เชื้อไวรัสยังสามารถอยู่รอดในน้ำเสียหรือแหล่งน้ำที่ไม่ผ่านการบำบัด เช่น ทะเลสาบหรือแม่น้ำ น้ำเสียและน้ำทิ้งหลังการบำบัดขั้นที่สองจากโรงพยาบาลที่ 23°C ได้นาน 2-4 วัน[12] การตรวจตัวอย่างน้ำเสียสามารถบ่งบอกการระบาดของ COVID-19 ในชุมชนได้ ผลการศึกษาชุมชนที่ขาดแคลนทรัพยากรในพอร์ตแลนด์ รัฐออริกอน ประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่า ชุมชนที่ขาดแคลนสาธารณูปโภคมีอัตราการติดเชื้อ SARS-CoV-2 รายสัปดาห์ 0-21.7% สูงกว่าชุมชนทั่วไปมีอัตราการติดเชื้อ 1.9–8.7% ของกลุ่มตัวอย่าง ผลการตรวจน้ำเสียจากชุมชนพบสารพันธุกรรมของเชื้อไวรัส SARS-CoV-2 ที่ความเข้มข้น 0.33–149.90 copies/L/person[13] การวิเคราะห์การถดถอยของอัตราการแพร่ระบาดเฉลี่ยมีความสัมพันธ์กับข้อมูลในน้ำเสีย (สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ = 0.63) ความเข้มข้นของเชื้อ SARS-CoV-2 ในน้ำเสียที่เพิ่มขึ้น 1 หน่วยต่อสัปดาห์สัมพันธ์กับจำนวนผู้ติดเชื้อ SARS-CoV-2 เพิ่มขึ้นเฉลี่ย 1-1.3 คน ต่อประชากร 100,000 คน[14] รายงานที่ระบุปริมาณ SARS-CoV-2 ในน้ำเสียของกรุงเทพมหานคร (24 แห่ง) และปริมณฑล (26 แห่ง) ในช่วงการระบาดของโรคเมื่อเดือนมิถุนายน-ธันวาคม 2563 พบปริมาณเฉลี่ยของ SARS-CoV-2 RNA ระหว่าง 31.3-967.9 copies/mL และ 24.3-877.3 copies/mL ตามลำดับ[15] รายงานผลการเฝ้า

ระวังตัวอย่างน้ำเสียชุมชนด้วยเทคนิค real-time PCR ระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2563 ถึงกุมภาพันธ์ 2565 จากสถานที่ 23 แห่งในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล จำนวน 215 ตัวอย่าง ยังคงพบ RNA ของ SARS-CoV-2 พบยีนส์จำนวน 3 ชนิด (N, E, and ORF1ab) จำนวน 102 ตัวอย่าง (42.5%) ประกอบสายพันธุ์ Alpha-Delta และ Delta-Omicron[16] นอกจากนี้ เชื้อไวรัส SARS-CoV-2 ยังสามารถมีชีวิตอยู่ในน้ำประปาที่อุณหภูมิ 23 °C นาน 10 วัน และที่อุณหภูมิ 4 °C นานมากกว่า 100 วัน[12] จึงอาจจะก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อผู้ใช้น้ำจากแหล่งธรรมชาติและน้ำประปาเพื่อการอุปโภคและบริโภค

บทความนี้จึงได้ทำการรวบรวมตัวอย่างผลการศึกษาจากงานวิจัยและรายงานของหน่วยงานด้านสาธารณสุขที่จะเป็นประโยชน์ต่อการเข้าใจกลไกการส่งผ่าน วิธีการตรวจหา และเทคนิคการกำจัดเชื้อ SARS-CoV-2 เพื่อนำไปใช้ในการเฝ้าระวังและการควบคุมการแพร่กระจายและส่งผ่านของเชื้อ SARS-CoV-2 โดยมีน้ำเป็นสื่อต่อไป

2. การแพร่กระจายของ SARS-CoV-2

การแพร่ระบาดขั้นต้น

การแพร่ระบาดขั้นต้นสันนิษฐานว่า ค้างคาวเป็นโฮสต์ตามธรรมชาติหลักของไวรัสโคโรนา รวมถึง SARS-CoV-2 ซึ่งเป็นไวรัสที่ทำให้เกิด COVID-19[17] นักวิจัยเชื่อว่าการแพร่กระจายครั้งแรกของ SARS-CoV-2 สู่มนุษย์อาจผ่านการบริโภคค้างคาวในตลาดขายส่งอาหารทะเลในเมืองอู่ฮั่น ประเทศจีน[3-4] เมื่อไวรัสได้พัฒนาความสามารถในการใช้ ACE2 ซึ่งเป็นตัวรับ (receptor) ในเซลล์เจ้าบ้าน จึงเพิ่มโอกาสที่เชื้อไวรัสจะสัมผัสและแพร่เชื้อในมนุษย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเป็นการสัมผัสของมนุษย์กับสัตว์ที่เป็นโฮสต์เป็นระยะเวลานาน[18-19] กลไกการแพร่เชื้อประกอบด้วยกลไกการแพร่เชื้อแบบปฐมภูมิและกลไกการแพร่เชื้อแบบ ทุติยภูมิ (รูปที่ 1)[20]

กลไกการแพร่เชื้อแบบปฐมภูมิ

กลไกการแพร่เชื้อหลักของ COVID-19 คือผ่านทางละอองทางเดินหายใจ เมื่อผู้ติดเชื้อไอ จาม พูด หรือหายใจ ละอองเหล่านี้สามารถเข้าไปในปากหรือจมูกของผู้ที่อยู่ใกล้เคียงหรือถูกสูดเข้าไปในปอดได้ จากนั้นไวรัสจะติดเชื้อในเซลล์เยื่อบุผิวในปอดเป็นหลักโดยการจดจำโปรตีน ACE2 ผ่านไกลโคโปรตีน S ของ SARS-CoV-2 โปรตีน ACE2 ส่วนใหญ่มักจะพบในเซลล์ถุงลม เซลล์เยื่อบุผิวทางเดินหายใจ ไฟโบรบลาสต์ เซลล์บุผนังหลอดเลือด และเซลล์ภูมิคุ้มกันต่างๆ[21]

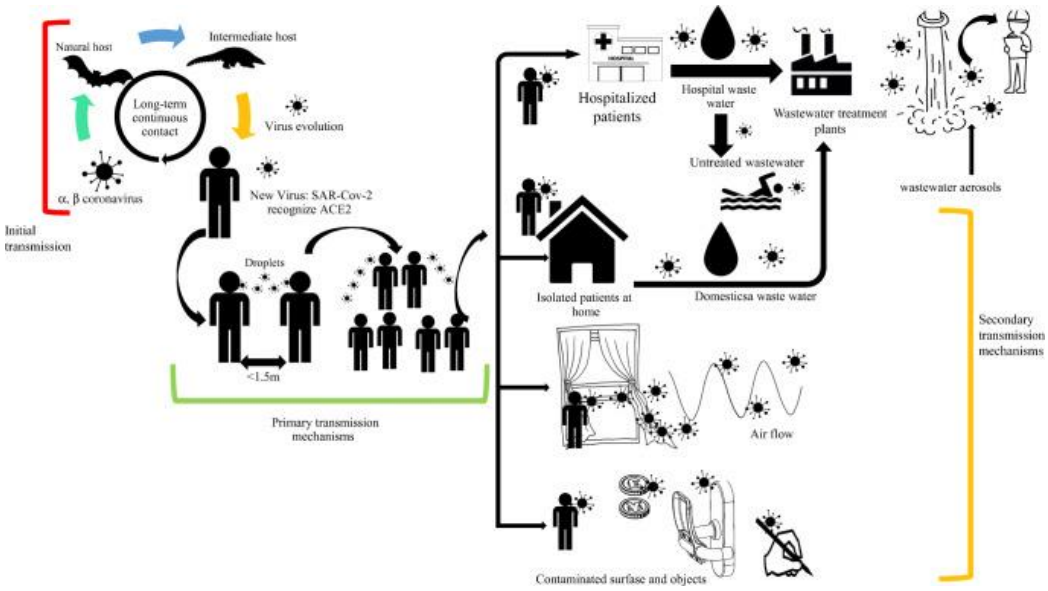
กลไกการแพร่เชื้อแบบทุติยภูมิ

กลไกการแพร่เชื้อทุติยภูมิโดยวิธีการที่ไวรัสสามารถแพร่เชื้อจากผู้ติดเชื้อหลักไปยังบุคคลอื่นโดยทางอ้อม ตัวอย่างของกลไกการแพร่เชื้อ ได้แก่ การสัมผัสพื้นผิวและเครื่องมือที่ปนเปื้อนไวรัสหรือการสัมผัสพื้นผิวที่ปนเปื้อนของเหลวในร่างกายของผู้ป่วยที่มีอาการหรือไม่แสดงอาการ เช่น ที่จับประตู ปุ่มลิฟต์ โต๊ะ และแก้วน้ำ สามารถกลายเป็นกลไกรองในการแพร่เชื้อได้[22] และยังสามารถแพร่กระจายผ่านกระบวนการทางการแพทย์ เช่น การส่องกล้องหรือการรักษาทางทันตกรรมสามารถแพร่เชื้อผ่านทางผิวหนัง ตา จมูก และปาก ซึ่งได้รับการยืนยันในห้องแยกของโรงพยาบาล นอกจากนี้ เชื้อไวรัส SARS-CoV-2 ยังถูกพบได้ในในอุจจาระที่ปนเปื้อนในน้ำเสียของโรงพยาบาล ไวรัสเหล่านี้สามารถอยู่รอดได้เมื่อถูกห่อหุ้มอยู่ในอุจจาระหรืออนุภาคแขวนลอย เมื่อสิ่งปฏิกูลถูกชะล้างไวรัสที่ติดอยู่ในน้ำสามารถฟุ้งกระจายไปกับละอองลอยของน้ำเสีย ซึ่งสามารถแพร่กระจายไปในอากาศได้[23] ในช่วงที่มีการแพร่ระบาดของไวรัสโควิด-19 มีการเก็บตัวอย่างจากโรงพยาบาลในเมืองปักกิ่ง พบ เชื้อไวรัส SARS-CoV-2 ในน้ำเสียที่ไม่ผ่านการบำบัดความเข้มข้น 100% และตัวอย่างน้ำเสียที่ผ่านการฆ่าเชื้อสามารถพบเชื้อเข้มข้น 30% ตามลำดับ ความเสี่ยงของการแพร่เชื้อจึงเพิ่มมากขึ้นในประเทศที่ไม่มีการบำบัดน้ำเสียหรือมีการบำบัดน้ำเสียที่ไม่มีประสิทธิภาพ[24]

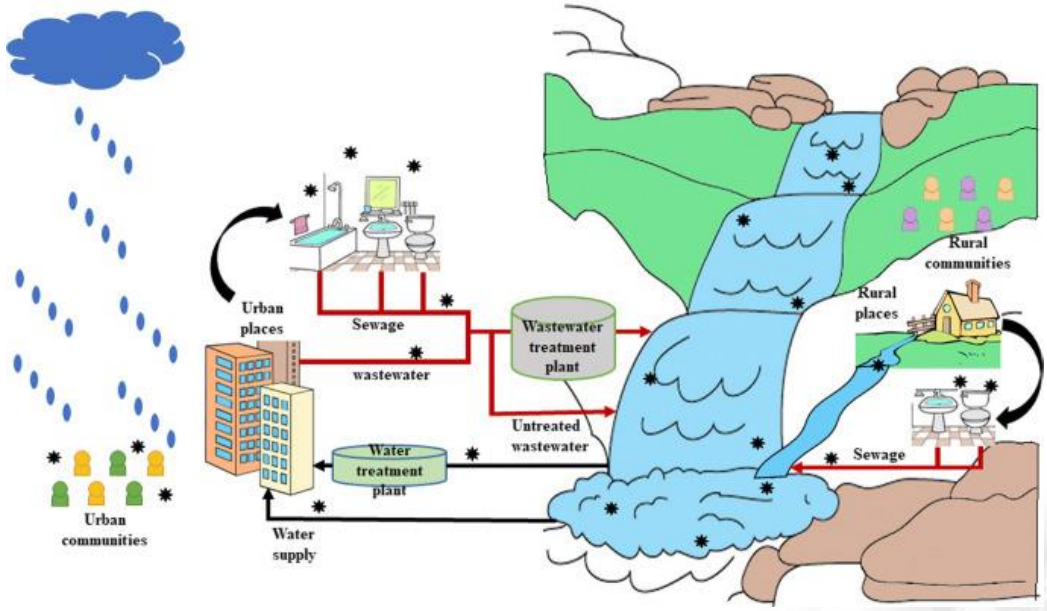
การส่งผ่านของ SARS-CoV-2 ในแหล่งน้ำ

เชื้อไวรัส SARS-CoV-2 สามารถสร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้เมื่ออยู่ในแหล่งน้ำ กล่าวคือ ไวรัสชนิดนี้สามารถคงอยู่ในระบบน้ำและถูกส่งผ่านไปยังแหล่งน้ำต่างๆ ได้ (รูปที่ 1) พบว่า SARS-CoV-2 สามารถอยู่รอดในน้ำได้โดยขึ้นอยู่กับสภาพความสกปรกและอุณหภูมิของน้ำ หากน้ำที่มีการปนเปื้อนเชื้อไวรัสนี้ถูกถ่ายเทไปยังแหล่งน้ำต่างๆ เช่น ห้องน้ำ ห้องส้วม ระบบบำบัดน้ำเสีย แหล่งน้ำผิวดิน

แหล่งน้ำดิบสำหรับผลิตน้ำดื่มหรือน้ำประปา (รูปที่ 2) หากไม่มีการฆ่าเชื้อโรคในน้ำอาจส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศทางน้ำได้ และสุขภาพของมนุษย์ที่สัมผัสกับน้ำที่มีการปนเปื้อน[11,25] กลไกการส่งผ่านของเชื้อไวรัส SARS-CoV-2 จากอุจจาระเข้าสู่ร่างกายของมนุษย์ผ่านการกิน ได้แก่ การดื่มน้ำที่ปนเปื้อนที่ไม่ผ่านการบำบัด การบริโภคอาหารทะเลสัตว์น้ำดิบ และอาหารที่ปรุงไม่ถูกหลักสุขาภิบาล ระบบการผลิตผักและการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่ใช้น้ำเสียโดยไม่ผ่านการบำบัด และการแพร่เชื้อโดยมีพาหะนำโรคจากแหล่งอุจจาระไปยังอาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากตลาดและแผงลอยริมถนน โดยเฉพาะในประเทศกำลังพัฒนาอาจพบการปนเปื้อนได้สูง สำหรับการปนเปื้อนของแหล่งน้ำดื่มสามารถเกิดขึ้นได้จากการไหลซึมจากระบบสุขาภิบาล (บ่อส้วมและบ่อเกรอะ) หรือน้ำชะจากหลุมฝังกลบขยะที่ไม่มีระบบป้องกันการรั่วซึมของน้ำใต้ดิน[26]



รูปที่ 1 กลไกการส่งผ่านของ SARS-CoV-2 ในสิ่งแวดล้อม[20]



รูปที่ 2 การส่งผ่านของ SARS-CoV-2 ในแหล่งน้ำของชุมชนเมืองและชนบท[25]

3. วิธีการตรวจหาเชื้อไวรัส SARS-CoV-2 ในผู้ป่วย

การตรวจวินิจฉัยทางห้องปฏิบัติการมีวิธีการวิเคราะห์หลายวิธีที่สามารถใช้เพื่อตรวจหา SARS-CoV-2 ซึ่งเป็นเชื้อไวรัสที่ทำให้เกิด COVID-19 นั้น องค์การอนามัยโลกแนะนำให้เก็บตัวอย่างสิ่งส่งตรวจจากระบบทางเดินหายใจส่วนบน (upper respiratory tract) เช่น nasopharyngeal swab oral pharyngeal swab และ/หรือ ระบบทางเดินหายใจส่วนล่าง (lower respiratory tract) เช่น Bronchoalveolar lavage (BAL) นอกจากนี้เลือดและอุจจาระอาจเป็นสิ่งส่งตรวจได้เช่นกัน[27] สำหรับวิธีการที่สามารถตรวจหาเชื้อไวรัส SARS-CoV-2 มีดังนี้

1. Reverse transcription polymerase chain reaction (RT-PCR): วิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการตรวจหา SARS-CoV-2 โดยแปลง RNA โมเลกุลเดี่ยวเป็น DNA โมเลกุลคู่ (cDNA) เพื่อตรวจจับเชื้อ ตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์มักเป็นสารคัดหลั่งจากระบบทางเดินหายใจ เช่น จมูกหรือคอ และขยายลำดับพันธุกรรมเฉพาะของไวรัสเพื่อตรวจหาการมีอยู่ของไวรัส RT-PCR ถือเป็นมาตรฐานสำหรับการตรวจจับ SARS-CoV-2 และมีความไวสูง มีความเฉพาะเจาะจง และเชื่อถือได้ แต่ก็มีข้อจำกัดบางประการ เช่น กระบวนการที่ใช้เวลานาน ค่าใช้จ่ายสูงและต้องการอุปกรณ์พิเศษและบุคลากรที่ผ่านการฝึกอบรมโดยเฉพาะ[11,28] ข้อจำกัดทางเทคนิคของ RT-PCR คือ ข้อผิดพลาดในข้อมูล เช่น ข้อมูลลำดับเท็จ, ลำดับ mRNA ไม่ตรงกับลำดับโปรตีน และ ขาดการตรวจสอบความถูกต้องก่อนยืนยันผล[29-30] การวิเคราะห์ข้อมูล RT-qPCR อาจทำให้เกิดอคติและความแม่นยำต่ำลง[31] ข้อแนะนำในการลดข้อจำกัด เช่น การใช้หลายตำแหน่งสำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่างเลือด และสร้างฐานข้อมูลที่มียีนอ้างอิงไมโตคอนเดรียหลายยีนเพื่อระบุชนิดพันธุกรรมที่เชื่อถือได้[32]

2. Antigen tests: การทดสอบเพื่อวินิจฉัยหรือตรวจหาโปรตีนของไวรัสที่เรียกว่า แอนติเจนบนพื้นผิวของไวรัส SARS-CoV-2 การทดสอบเหล่านี้ให้ผลอย่างรวดเร็ว มักใช้เวลาภายใน 15-20 นาที และดำเนินการได้ที่สถานพยาบาล มีความไวน้อยกว่าการทดสอบ RT-PCR มีความเฉพาะเจาะจงมากกว่า มีประโยชน์ในการระบุตัวบุคคลที่กำลังติดเชื้อไวรัส นอกจากนี้ยังสามารถใช้เพื่อคัดกรองบุคคลก่อนเข้าโรงเรียน สถานที่ทำงาน หรือพื้นที่แออัด[11,33] ข้อจำกัดของวิธีทดสอบแอนติเจน คือ การตรวจไม่พบแอนติเจน เนื่องจากเกิดการแทนที่กรดอะมิโนหลายตัวในโปรตีน ทำให้เกิดอคติในแปรผลการตรวจจับเชื้อได้[34] มักตรวจไม่พบเชื้อในผู้ติดเชื้อที่ยังไม่มีอาการ[35] และอัตราผลบวกลวงสูง ซึ่งส่งผลต่อการเฝ้าระวังที่มีประสิทธิผล[36]

3. Antibody tests: การทดสอบแอนติบอดีต่อ SARS-CoV-2 หรือการทดสอบทางเซรุ่มวิทยา คือ การตรวจวินิจฉัยเพื่อหาแอนติบอดีต่อไวรัส SARS-CoV-2 ในเลือดของบุคคล สามารถใช้เพื่อระบุการที่เคยติดเชื้อในร่างกาย แต่ไม่สามารถยืนยันการติดเชื้อที่กำลังทำงานอยู่ได้ การทดสอบแอนติบอดีมีหลายประเภท เช่น ELISA และ Rapid diagnostic test ซึ่งคล้ายกับการทดสอบการตั้งครรภ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงแรกของการติดเชื้อ เมื่อระดับของแอนติบอดียังต่ำอยู่ มีประโยชน์ในการระบุผู้ที่อาจติดเชื้อแต่ไม่แสดงอาการ[11,28] ข้อจำกัดของวิธีทดสอบแอนติบอดี คือ สามารถให้ผลลบที่ผิดพลาดได้ เนื่องจากความซับซ้อนของการตอบสนองทางภูมิคุ้มกันและความแปรปรวนของระดับแอนติบอดีเมื่อเวลาผ่านไป[37] เช่น ระดับแอนติบอดีสามารถลดลงอย่างมีนัยสำคัญหลังการติดเชื้อหรือการฉีดวัคซีน[38] ผู้ติดเชื้อบางรายมีการผลิตแอนติบอดีเพื่อตอบสนองต่อการติดเชื้อหรือการฉีดวัคซีนในปริมาณต่ำกว่าปกติ[39]

4. Isothermal amplification tests: ไอโซเทอร์มอล แอมพลิฟิเคชัน คือ การทดสอบการขยายตัวด้วยอุณหภูมิความร้อน ซึ่งขยาย RNA ของไวรัสโดยใช้ไพรเมอร์และเอนไซม์เฉพาะ และสามารถทำได้โดยใช้ไม้พันสำลีกวาดจมูกหรือคอ หรือตัวอย่างน้ำลาย การทดสอบนี้มีความไวน้อยกว่าการทดสอบ RT-PCR แต่มีข้อดี คือ ง่าย รวดเร็ว และดำเนินการได้นอกห้องปฏิบัติการ[40] ข้อจำกัด คือ ความไวในการวินิจฉัยลดลงในกลุ่มอายุบางกลุ่ม บุคคลที่ไม่มีอาการ และผู้ที่มีอาการเป็นระยะเวลานานขึ้น[41] รวมถึงกรณีที่บุคคลที่เพิ่งใช้ยาฆ่าเชื้อไวรัสในช่องปากหรือทางจมูกก่อนเก็บตัวอย่างและการเก็บตัวอย่างโดยการสวอบอย่างไม่ถูกต้อง[42]

5. Digital PCR (dPCR) และ Next-generation sequencing (NGS): การตรวจวินิจฉัยขั้นสูงที่ใช้ในการ

ตรวจหาไวรัส SARS-CoV-2 วิธี dPCR เป็นวิธีการที่มีความไวสูงและมีความเฉพาะเจาะจงในการตรวจหาสารพันธุกรรมของไวรัสโดยใช้เทคโนโลยี droplet digital PCR (ddPCR) ซึ่งจะแบ่งตัวอย่างออกเป็นหยดเล็กๆ หลายพันหยด ซึ่งแต่ละหยดจะทำหน้าที่เป็นปฏิกิริยา PCR แต่ละตัว ส่วนวิธี NGS เป็นเทคโนโลยีที่ช่วยให้สามารถวิเคราะห์สารพันธุกรรมได้อย่างรวดเร็วและครอบคลุม และสามารถให้ข้อมูลโดยละเอียดเกี่ยวกับองค์ประกอบทางพันธุกรรมของไวรัส และสามารถใช้เพื่อติดตามวิวัฒนาการของไวรัสเมื่อเวลาผ่านไป ทั้ง dPCR และ NGS ถือเป็นมาตรฐานการทดสอบวินิจฉัยและมีความไวสูงและเฉพาะเจาะจง ข้อจำกัดของทั้งสอง คือ วิธียังต้องใช้อุปกรณ์เฉพาะเจาะจง บุคลากรที่ผ่านการฝึกอบรมโดยเฉพาะ และผลการทดสอบใช้เวลานานกว่าการตรวจวินิจฉัยอื่นๆ นอกจากนี้ยังมีราคาแพง ส่วนใหญ่จึงใช้สำหรับการระบุลักษณะของไวรัสและการเฝ้าระวังทางระบาดวิทยา[11,27]

6. Quantitative PCR (qPCR): เป็นวิธีการที่ขยายและตรวจจับลำดับเป้าหมายเฉพาะในตัวอย่างแบบเรียลไทม์ ใช้โพรบเรืองแสงหรือสีย้อมที่จับกับลำดับเป้าหมายที่เฉพาะเจาะจงและส่งสัญญาณเมื่อมีการขยายสัญญาณ เครื่องตรวจวิเคราะห์สามารถพบสัญญาณและสามารถวัดปริมาณของลำดับเป้าหมายที่ขยายได้ สามารถตรวจจับกรดนิวคลีอิกจากตัวอย่างน้ำลายแทนสารคัดหลั่งในโพรงจมูกได้ เทคนิค qPCR จึงเป็นวิธีที่รวดเร็วในการตรวจจับและวัดปริมาณไวรัส SARS-CoV-2 ในตัวอย่างได้ จึงเป็นการทดสอบที่ใช้กันอย่างแพร่หลายที่สุด[43] ข้อจำกัด คือ ผลกระทบของตัวอย่างน้ำลายต่อการตรวจหา RNA ของไวรัส ส่งผลต่อความไวของการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการทดสอบวินิจฉัยอาจแตกต่างกัน[44] ทำให้ความไวที่แตกต่างสังเกตได้ระหว่างชุด RT-PCR กับ qPCR เชิงพาณิชย์ จึงควรเน้นการประเมินประสิทธิภาพของชุดทดสอบเพื่อหลีกเลี่ยงผลลบลวงที่จะเกิดขึ้น[45-46] ดังนั้น เทคนิค RT-PCR มักใช้เพื่อตรวจจับ และ แยกแยะ RNA ส่วนเทคนิค qPCR มักใช้เพื่อวัดปริมาณ RNA ทั้งนี้ ในบางบริบท "RT-PCR" อาจถูกใช้ โดยพ้องความหมาย เพื่อหมายถึง RT-PCR ร่วมกับ qPCR และคุณสมบัติต่างๆ เช่น ความไว ขีดจำกัดของการตรวจจับ (LOD) และเวลาในการตรวจจับ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 1[47]

ตารางที่ 1 วิธีการตรวจจับ SARS-CoV-2 และคุณสมบัติด้านต่างๆ[47]

วิธีตรวจ	ประเภทตัวอย่าง	ความไว	ขีดจำกัดการตรวจจับ	เวลาตรวจจับ
RT-qPCR	NP และ OP	95-100%	100-500 copies/reaction	4 ชั่วโมง
ddPCR	NP swab, sputum	94%	11.1-123.2 copies/reaction	5 ชั่วโมง
RT-LAMP	NP และ OP	93.5-97.5%	100-200 copies/reaction	30 นาที
Sequencing-based methods	NP swab	99%	4.08 ng/mL	24 ชั่วโมง
ELISA	เลือด/ซีรั่ม	80-85.7%	1.953-500 ng/mL	5 ชั่วโมง
LFA	NP swab, น้ำลาย	84%	0.65 ng/mL	15-30 นาที
CLIA	เลือด/ซีรั่ม	73.3% สำหรับ IgM, 76.7% สำหรับ IgG	10 AU/mL	40 นาที
Neutralization assays	เซลล์เยื่อบุผิวของมนุษย์	95-100%	3-5 วัน	สำคัญสำหรับการพัฒนาวัคซีน

คำอธิบายตัวย่อ: RT-qPCR, reverse-transcription polymerase chain reaction; ddPCR, droplet digital PCR; RT-LAMP: reverse-transcription loop-mediated isothermal amplification; ELISA, enzyme-link immunosorbent assay; LFA, lateral flow assay; CLIA, chemiluminescent immunoassay; NP, nasopharyngeal; OP, oropharyngeal; IgG, immunoglobulin G; IgM, immunoglobulin M; CRISPR, clustered regularly interspaced short palindromic repeats

ถึงแม้ว่าสถานการณ์โควิด 19 มีแนวโน้มที่ดีขึ้นในหลายพื้นที่ทั่วโลก รวมถึงกระทรวงสาธารณสุขของประเทศไทยได้กำหนดให้ภาวะโรคระบาด COVID-19 เป็นโรคประจำถิ่นแล้ว การเฝ้าระวังการระบาดของโรคโดยตรวจหาเชื้อหรือสารพันธุกรรมของเชื้อมีวิธีที่หลากหลายตามที่กล่าวข้างต้น สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (อย.) กำหนดเกณฑ์การพิจารณาชุดตรวจโควิด-19 ทั้งแบบ Professional และ Self ATK ต้องขึ้นทะเบียนและผ่านเกณฑ์การประเมินด้านผลการทดสอบทางคลินิกในประเทศ กำหนดความไวเชิงวินิจฉัยมากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 90 ความจำเพาะเชิงวินิจฉัยมากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 98 ความไม่จำเพาะน้อยกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 10 และมีเอกสารการทดสอบแสดงไว้อย่างชัดเจนในคู่มือการใช้ชุดตรวจ[48]

4. การตรวจหาเชื้อไวรัส SARS-CoV-2 ในแหล่งน้ำ

การตรวจหาเชื้อ SARS-CoV-2 ที่มากับแหล่งน้ำเป็นสิ่งสำคัญ เนื่องจากเป็นช่องทางส่งผ่านของเชื้อ โดยเฉพาะแนวโน้มผู้ป่วยเพิ่มสูงขึ้นหลังเทศกาลสงกรานต์ โดยในช่วงวันที่ 14 – 20 เมษายน 2567 พบผู้ป่วยโรคโควิด 19 ที่ต้องรักษาตัวในโรงพยาบาลจำนวน 1,004 ราย เฉลี่ย 143 รายต่อวัน และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น[49] การทราบวิธีตรวจหาเชื้อไวรัส SARS-CoV-2 ในแหล่งน้ำสามารถนำไปใช้ประกอบการเฝ้าระวังของโรคได้ การตรวจหา SARS-CoV-2 ในตัวอย่างแหล่งน้ำของสิ่งแวดล้อม ได้แก่ น้ำผิวดิน น้ำเสีย และน้ำใต้ดิน มีความสำคัญต่อการทำความเข้าใจการแพร่กระจายและการคงอยู่ของไวรัสในสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้ วิธี Quantitative PCR (qPCR) ยังคงเป็นวิธีที่ใช้นิยมที่สุดในการตรวจหา SARS-CoV-2 ในตัวอย่างน้ำจากสิ่งแวดล้อม สามารถสรุปได้ดังนี้[50]

1) การเก็บตัวอย่างน้ำ: เก็บตัวอย่างปริมาตร 1 ลิตร ถ่ายตัวอย่างน้ำไปยังขวดโพลีโพรพีลีนแบบสเตอไรส์ ขนาด 250 มล. ที่ทำความสะอาดด้วยเอธานอล 95% ก่อนนำไปแช่ในตู้เย็นและขนส่งไปยังห้องปฏิบัติการ

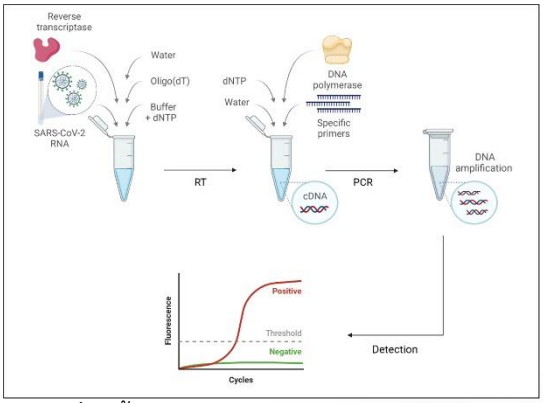
2) การเตรียมตัวอย่าง: กรองตัวอย่างน้ำผ่านเยื่อกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร เพื่อแยกอนุภาคไวรัสออกจากน้ำ ปริมาตรของตัวอย่างที่ถูกกรอง ตั้งแต่ 10-100 มล. ขึ้นอยู่กับความขุ่น หลังจากนั้นทำการกรอง นำเยื่อกรองแต่ละแผ่นใส่ในหลอดไมโครเซนติฟิวจ์ที่มีสารละลาย RNeasy RLT Plus ปริมาตร 850 ไมโครลิตร และเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส

3) การสกัด RNA: สกัด RNA จากอนุภาคไวรัสบนเมมเบรน โดยใช้วิธีการสกัด RNA ทั่วไป ตรวจสอบคุณภาพและปริมาณ RNA ที่สกัดได้

4) การแปลง RNA เป็น cDNA: แปลง RNA ที่สกัดได้โดยใช้เอนไซม์ Reverse transcriptase และตรวจสอบคุณภาพและปริมาณ cDNA ที่ได้

5) การทำ qPCR: เตรียม Master Mix สำหรับ qPCR โดยใช้ไพรเมอร์ (ไพรเมอร์ N1 และ N2 ซึ่งจับกับลำดับสองลำดับที่แยกกันภายในสาย DNA ของ SARS-CoV-2 นิวคลีโอแคปซิด (N)) และโพรบเฉพาะสำหรับสาย DNA เป้าหมายของ SARS-CoV-2 เช่น ORF1ab N gene หรือ S gene จากนั้น ตั้งค่าอุณหภูมิและจำนวนรอบของ qPCR ตามโปรโตคอลที่กำหนด (เช่น 10 นาที ที่ 50°C, 3 นาที ที่ 95°C, 43 รอบ 15 วินาที ที่ 95°C และ 30 วินาที ที่ 58°C พร้อมการเรืองแสงสะสม) ใส่ cDNA ลงในหลอด qPCR และรัน qPCR (รูปที่ 3)

6) การวิเคราะห์ผล: วิเคราะห์ผล qPCR โดยเปรียบเทียบค่า Ct (cycle threshold) ของตัวอย่างกับมาตรฐาน ซึ่งตัวอย่างที่มีค่า Ct ต่ำแสดงว่ามีปริมาณ SARS-CoV-2 สูง ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ขั้นตอนการทดสอบด้วยเทคนิค qPCR[50]

เนื่องจากวิธีการนี้เป็นวิธีที่มีความไวสูงและมีความเฉพาะเจาะจงที่สามารถตรวจหาไวรัสในตัวอย่างน้ำที่ระดับต่ำได้ ปริมาณความเข้มข้นของน้ำจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ควรนำมาพิจารณาในผลการตรวจหาเชื้อไวรัส หากตัวอย่างน้ำ

เป็นน้ำเสียที่ยังไม่ผ่านการบำบัดใช้ตัวอย่างไม่เกิน 100 มล. ก็เพียงพอที่จะตรวจหาไวรัสได้ แต่ในน้ำที่ค่อนข้างสะอาดปริมาณมากจะต้องมีการกรองและทำให้ตัวอย่างมีความเข้มข้นก่อนทำการทดสอบ และอาจใช้เวลามากสำหรับการรอผลการวิเคราะห์[51-52]

5. การลดเชื้อไวรัส SARS-CoV-2 ในน้ำ

การฆ่าเชื้อเป็นขั้นตอนสำคัญในการป้องกันการแพร่กระจายของ COVID-19 วิธีการฆ่าเชื้อ SARS-CoV-2 ในแหล่งน้ำมีกระบวนการที่นิยมประกอบด้วยกระบวนการทางเคมีและกระบวนการทางกายภาพ[40,53]

5.1 กระบวนการทางเคมี เป็นวิธีการที่นิยมใช้มากที่สุด สามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ การเติมคลอรีน การเติมโอโซน และการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV)

1) คลอรีน (Chlorine) เป็นสารฆ่าเชื้อทั่วไปและมีประสิทธิภาพที่ใช้ในโรงบำบัดน้ำเพื่อฆ่าเชื้อก่อโรคในน้ำดื่มและน้ำเสีย การเติมคลอรีน (Chlorination) อาจเติมลงในน้ำในรูปของก๊าซคลอรีนไดออกไซด์ (ClO_2) หรือในรูปของเหลวด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรต์ (NaOCl) หรือในรูปของแข็งด้วยแคลเซียมไฮโปคลอไรต์ ($CaCl_2O$) คลอรีนจะทำปฏิกิริยากับน้ำเพื่อสร้างกรดไฮโปคลอรัส (HOCl) และไฮโปคลอไรต์ไอออน (OCl^-) ซึ่งมีประสิทธิภาพในการทำลายจุลินทรีย์ต่างๆ ตัวอย่างเช่น การใช้สารประกอบคลอไรด์ในรูปของเหลวด้วยกรดคลอริกเข้มข้น ($HClO_2$) เพียง 0.41-0.74 มก./ล. สัมผัสเชื้อใช้เวลาแค่ 1 นาที ก็สามารถสามารถทำลายเชื้อในน้ำใช้ได้ 99% ซึ่งใกล้เคียงกับการใช้สาร NaOCl เข้มข้น 0.54 มก./ล.[54] สำหรับน้ำเสียสามารถใช้ก๊าซ ClO_2 ที่ความเข้มข้นที่สูงถึง 20 มก./ล. เพื่อลดปริมาณ SARS-CoV-2 ในน้ำเสีย[55] ทั้งนี้ องค์การอนามัยโลกแนะนำให้ใช้คลอรีนอิสระที่มีความเข้มข้นขั้นต่ำ 0.2 มก./ล. ระยะเวลาสัมผัสอย่างน้อย 30 นาที เพื่อยับยั้งไวรัสในน้ำดื่ม สำหรับน้ำเสียให้ใช้ที่ความเข้มข้นของคลอรีนอิสระขั้นต่ำ 0.5 มก./ล. ระยะเวลาสัมผัสอย่างน้อย 30 นาที[40]

2) โอโซน (Ozone; O_3) เป็นสารออกซิแดนท์ที่มีประสิทธิภาพ สามารถยับยั้งการเติบโตของจุลินทรีย์ได้หลายชนิด เช่น ไวรัส แบคทีเรีย และปรสิต การเติมโอโซน (Ozonation) ลงในน้ำ จะทำให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างโอโซนกับน้ำเพื่อสร้างอนุมูลไฮดรอกซิล (•OH) ซึ่งมีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาสูง มีความสามารถในการทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ของจุลินทรีย์และทำให้เชื้อเหล่านี้หยุดทำงานได้ มีผลการวิจัยพบว่าโอโซนสามารถยับยั้ง SARS-CoV-2 ในน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตัวอย่างเช่น การเติมโอโซนที่ความเข้มข้น 2.0 มก./ล. เป็นเวลา 10 นาที สามารถลดปริมาณไวรัสของ SARS-CoV-2 ในน้ำเสียได้ถึงร้อยละ 99.99[56] และการเติมโอโซนที่ความเข้มข้นของโอโซน 1.5-2.0 มก./ล. เป็นเวลา 15 นาที สามารถลด SARS-CoV-2 ในน้ำได้ร้อยละ 99.9[57]

5.2 กระบวนการทางกายภาพ สามารถใช้เพื่อยับยั้งไวรัสได้ เช่น การใช้ความร้อนที่อุณหภูมิและความดันสูงในรูปของน้ำเดือดหรือไอน้ำเพื่อฆ่าเชื้อในน้ำ และกระบวนการกรองเพื่อลดจำนวนเชื้อก่อโรคในน้ำ

1) ความร้อนที่เกิดจากการต้มน้ำหรือไอน้ำสามารถลดจำนวนไวรัส SARS-CoV-2 ได้ โดยการทำให้โปรตีนของไวรัสเสียสภาพและทำให้ไม่เกิดการติดเชื้อไปสู่มนุษย์ การต้มน้ำเป็นวิธีที่ง่ายและมีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อในน้ำ เชื้อไวรัสจะถูกทำลายเกือบหมดที่อุณหภูมิตั้งแต่ 65°C นานกว่า 3 นาที ที่อุณหภูมิ 55-60°C ต้องใช้ความร้อนนาน 5 นาทีขึ้นไป ที่อุณหภูมิ 50-55°C ต้องใช้ความร้อนนาน 20 นาทีขึ้นไป แนวทางขององค์การอนามัยโลก (WHO) ระบุว่าการใช้อุณหภูมิ 56°C นาน 30 นาที สามารถทำให้ไวรัสถูกกำจัดได้ (การใช้ความร้อนในอุณหภูมิเหล่านี้จะมีค่า log reduction ประมาณ 5-7)[58] โดยทั่วไปที่อุณหภูมิประมาณ 85-90°C ก็เพียงพอสำหรับการฆ่าเชื้อได้ แต่มีข้อจำกัด คือ ไม่เหมาะสำหรับการบำบัดน้ำขนาดใหญ่หรือการฆ่าเชื้อในน้ำที่มีแร่ธาตุที่ละลายอยู่ในระดับสูง สำหรับการฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำมักใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม เพื่อฆ่าเชื้ออุปกรณ์และพื้นผิว แต่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์พิเศษและมีความเฉพาะเจาะจง ตัวอย่างเช่น การใช้หม้อนึ่งความดันไอน้ำ (Autoclave) ที่อุณหภูมิ 121-132 °C แรงดันอากาศของไอน้ำประมาณ15 PSI ในระยะเวลา 15-20 นาที สามารถนำไปฆ่าเชื้อบนพื้นผิวอุปกรณ์ของห้องปฏิบัติการหรืออุปกรณ์ทางการแพทย์ได้อีกด้วย[27,59]

2) การกรอง (Filtration) มีหลายประเภทที่สามารถใช้ในลดจำนวนเชื้อ SARS-CoV-2 ในน้ำได้ เช่น การกรองแบบไมโครฟิลเตรชัน (MF) วิธีนี้ใช้ตัวกรองที่มีรูพรุนขนาดเล็ก (0.1-10 ไมครอน) และ การกรองแบบอัลตราฟิลเตรชัน (UF) ด้วยตัวกรองที่มีรูพรุนขนาดเล็กกว่า (0.01-0.1 ไมครอน) เพื่อยับยั้งและลดจำนวนอนุภาคหรือไวรัส (ขนาด 10-100 ไมครอน) ออกจากน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ ข้อจำกัดของการกรอง คือ การกรองเพียงอย่างเดียวอาจไม่มีประสิทธิภาพในการกำจัด SARS-CoV-2 ออกจากน้ำอย่างสมบูรณ์ ควรใช้ร่วมกับวิธีการฆ่าเชื้ออื่นๆ เช่น การฆ่าเชื้อด้วยสารเคมี การฆ่าเชื้อด้วยรังสียูวี หรือการฆ่าเชื้ออุณหภูมิและความดันสูง[27,59-60] สำหรับการกรองด้วยแรงดันสูงระดับนาโนฟิลเตรชัน (NF) และรีเวิร์สออสโมซิส (RO) โดยใช้เยื่อกึ่งซึมผ่านได้เพื่อกำจัดอนุภาคและไวรัสออกจากน้ำด้วยเยื่อกรองที่แน่นกว่า MF และ UF (ขนาดรูพรุน <2 นาโนเมตร) สามารถกำจัด SARS-CoV-2 ได้อย่างสมบูรณ์ อาจพิจารณาเลือกใช้ Membrane Bioreactors (MBRs) เพื่อให้สามารถกำจัดไวรัสได้หลากหลายและมากกว่า (สูงถึง 6.8 logs) เมื่อเปรียบเทียบกับการบำบัดเยื่อกรองแบบเดิม (3.6 logs)[61-63]

3) แสงอัลตราไวโอเลต (Ultraviolet (UV) light) เป็นวิธีการยับยั้งจุลินทรีย์ รวมถึง SARS-CoV-2 ในน้ำได้ โดยการให้น้ำสัมผัสกับแสง UV-C เพื่อรบกวนสารพันธุกรรมของจุลินทรีย์ จึงเกิดการป้องกันเชื้อเหล่านี้เกิดการแพร่พันธุ์และหยุดการทำงานของไวรัสได้ เช่น การใช้รังสียูวีปริมาณ 40 mJ/cm^2 สามารถลดปริมาณไวรัส SARS-CoV-2 ในน้ำเสียได้ร้อย 99.99 (4 log) และปริมาณรังสียูวี 30 mJ/cm^2 สามารถยับยั้ง SARS-CoV-2 ในน้ำได้ร้อยละ 99.9 ทั้งนี้ การฆ่าเชื้อด้วยรังสียูวีจำเป็นจะต้องมีการลดอนุภาคสิ่งกีดขวางในน้ำ เช่น ตะกอนดิน ของแข็งแขวนลอย หรือสิ่งสกปรกที่สามารถเกาะจับอยู่บนหลอดแสงยูวี และทำให้แสงยูวีไม่สามารถส่องผ่านได้เต็มที่ จึงมักใช้ร่วมกับกระบวนการบำบัดน้ำอื่น เช่น การกรอง เพื่อให้บำบัดน้ำอย่างมีประสิทธิภาพ[64]

กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข ของประเทศไทย ได้ให้คำแนะนำในการจัดจัดการด้านสุขาภิบาลน้ำบริโภค ได้แก่ การเลือกซื้อน้ำดื่มบรรจุขวดที่ได้รับการรับรองมาตรฐาน อย. หรือน้ำดื่มจากตู้น้ำหยอดเหรียญที่มีการดูแลรักษาความสะอาดอยู่เสมอ หากเป็นน้ำประปา ต้องมีคลอรีนอิสระคงเหลือในน้ำหรือได้กลิ่นอ่อนๆ ของคลอรีน กรณีที่ไม่มีน้ำที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงที่ได้มาตรฐาน ควรทำการฆ่าเชื้อโรคอย่างง่ายก่อนบริโภค เช่น ต้มให้เดือดที่ 100 °C นาน 1 นาที หรือ เติมคลอรีนน้ำ 2% (หยดทิพย์) 1 หยดต่อน้ำ 1 ลิตร ทิ้งไว้ 30 นาที เป็นต้น ภาชนะบรรจุน้ำใช้หรือน้ำดื่มต้องทำการฆ่าเชื้อโรคก่อนนำมาใช้งาน เช่น ต้มในน้ำเดือดนาน 1 นาที หรือ แช่ในน้ำคลอรีน เข้มข้น 100 มก./ล. นาน 2 นาที หรือ 200 มก./ล. นาน 1 นาที และหลีกเลี่ยงการแพร่กระจายของเชื้อไวรัสโดยแยกขวดดื่มเฉพาะตนเองและทำเครื่องหมายหรือสัญลักษณ์เฉพาะเพื่อไม่ให้ปะปนกับขวดของผู้อื่นและไม่ควรดื่มจากขวดโดยตรง ควรใช้หลอดดูดเพื่อความปลอดภัย[65]

6. บทสรุป

โรค COVID-19 ยังมีการระบาดสูงในช่วงเทศกาลที่เป็นวันหยุดยาวของประเทศไทย โดยเฉพาะเขตชุมชนที่มีประชากรหนาแน่นและมีระบบสาธารณูปโภคที่ไม่ถูกหลักสุขาภิบาล เป็นแหล่งที่มีความเสี่ยงในการพบผู้ป่วยจำนวนมาก เชื้อ SARS-CoV-2 สามารถปนเปื้อนในน้ำและส่งผ่านมาสู่มนุษย์ได้ผ่านการอุปโภคหรือบริโภคไม่ผ่านการบำบัดหรือฆ่าเชื้อที่ถูกต้อง การตรวจหาเชื้อไวรัสนี้ด้วยวิธี Quantitative PCR (qPCR) สามารถลดการปนเปื้อนของเชื้อในน้ำได้ ทั้งนี้ วิธีการที่สามารถนำไปใช้ในการฆ่าเชื้อในน้ำได้ง่ายด้วยการต้มน้ำที่อุณหภูมิอย่างน้อย 65°C นาน 30 นาที หรือต้มน้ำให้เดือดที่ 100°C เพียง 1 นาที และการใช้สารเคมีที่มีส่วนผสมของคลอรีน เช่น การใช้กรดคลอริกเข้มข้น ($HClO_2$) เพียง 0.41-0.74 มก./ล. หรือการใช้โซเดียมไฮโปคลอไรท์ (NaOCl) เข้มข้น 0.54 มก./ล. สัมผัสเชื้อใช้เวลาแค่ 1 นาที หรือ เติมคลอรีนน้ำ 2% จำนวน 1 หยดต่อน้ำ 1 ลิตร นาน 30 นาที ก็สามารถสามารถทำลายเชื้อในน้ำได้ถึง 99% ปัจจุบันสำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย ได้จัดทำ “คู่มือแนวทางการเฝ้าระวังการระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) ด้วยน้ำเสีย” ซึ่งหน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถนำไปประยุกต์เป็นประโยชน์ในการเฝ้าระวังการระบาดของโรคได้

7. เอกสารอ้างอิง

1. Li X, Luk H, Lau S, Woo P. Human coronavirus: General features. Biomedical Sciences 2019; B978-0-12-801238-3.95704-0.
2. World Health Organization. Naming the coronavirus disease (COVID-19) and the virus that causes it [Internet]. [cited 2023 Feb 26]. Available from: https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/technical-guidance/naming-the-coronavirus-disease-(covid-2019)-and-the-virus-that-causes-it
3. Lau H, Khosrawipour V, Kocbach P, Mikolajczyk A, Schubert J, Bania J, Khosrawipour T. The Positive Impact of Lockdown in Wuhan on Containing the COVID-19 Outbreak in China. J. Travel Med 2020; 27(3):1-7.
4. Roux J, Massonnaud C, Crépey P. COVID-19: One-Month Impact of the French Lockdown on the Epidemic Burden. medRxiv 2020; 20075705:1-29.
5. Gatto M, Bertuzzo E, Mari L, Miccoli S, Carraro L, Casagrandi R, Rinaldo A. Spread and Dynamics of the COVID-19 Epidemic in Italy: Effects of Emergency Containment Measures. Proc Natl Acad Sci USA 2020; 117(19):10484-10491.
6. Zhou P, Yang XL, Wang XG, Hu B, Zhang L, Zhang W, et al. A pneumonia outbreak associated with a new coronavirus of probable bat origin. Nature 2020; 579(7798):270-273.
7. Jee Y. WHO International Health Regulations Emergency Committee for the COVID-19 outbreak. Epidemiology and health 2020; 19(42):1-4.
8. Jangra S, Gill PS, Singh D, Sharma S, Bhatia S, Nandal K. Persistence and Prevalence of Clinical Symptoms in SARS-CoV-2 infected patients. Res J Pharm Technol 2023; 16(3):1428–32.
9. World Health Organization. Number of COVID-19 cases reported to WHO (cumulative total) World [Internet]. [cited 2024 Apr 24]. Available from: https://data.who.int/dashboards/covid19/cases
10. สำนักสื่อสารความเสี่ยงและพัฒนาพฤติกรรมสุขภาพ. กรมควบคุมโรค เผย 3 โรคระบาด ที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในปี 2567 พร้อมเตรียมรับมือและ เน้นย้ำมาตรการป้องกันอย่างเคร่งครัด [อินเตอร์เนต]. [สืบค้นเมื่อวันที่ 20 เมษายน 2567]. แหล่งข้อมูล https://ddc.moph.go.th/brc/news.php?news=39881&deptcode=brc
11. Centers for Disease Control and Prevention. How Coronavirus Spreads | CDC [Internet]. [cited 2023 Feb 26]. Available from: https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/prevent-getting-sick/how-covid-spreads.html
12. Gundy PM, Gerba CP, Pepper IL. Survival of Coronaviruses in Water and Wastewater. Food Environ Virol 2009; 1(1):10–4.
13. Lu Z, Brunton AE, Mohebnasab M, Deloney A, Williamson KJ, Layton BA, et al. Community-Based SARS-CoV-2 Testing Using Saliva or Nasopharyngeal Swabs to Compare the Performance of Weekly COVID-19 Screening to Wastewater SARS-CoV-2 Signals. ACS ES and T Water 2022; 2(10):1667–77.
14. Smith T, Holm RH, Keith RJ, Amraotkar AR, Alvarado CR, Banecki K, et al. Quantifying the relationship between sub-population wastewater samples and community-wide SARS-CoV-2 seroprevalence. Sci Total Environ 2022; 853:158567.

15. Leshan Wannigama D, Amarasiri M, Hurst C, Phattharapornjaroen P, Abe S, Hongsing P, et al. Tracking COVID-19 with wastewater to understand asymptomatic transmission. International Journal of Infectious Diseases 2021; 108:296–9.
16. Tangwangvivat R, Wacharapluesadee S, Pinyopornpanish P, Petcharat S, Hearn SM, Thippamom N, et al. SARS-CoV-2 Variants Detection Strategies in Wastewater Samples Collected in the Bangkok Metropolitan Region. Viruses 2023; 15(4):876.
17. Kitajima M, Ahmed W, Bibby K, Carducci A, Gerba CP, Hamilton KA., Haramoto E, & Rose JB. SARS-CoV-2 in wastewater: state of the knowledge and research needs. In Science of the Total Environment 2020; 739:139076.
18. Street R, Malema S, Mahlangeni N, Mathee A. Wastewater surveillance for Covid-19: an African perspective. Sci Total Environ. 2020; 2020; 743: 140719.
19. Platto S, Zhou J, Wang Y, Wang H, Carafoli E. Biodiversity loss and COVID-19 pandemic: the role of bats in the origin and the spreading of the disease. Biochem Biophys Res Commun 2020; 538: 2-13.
20. Girón-Navarro R, Linares-Hernández I, Castillo-Suárez LA. The impact of coronavirus SARS-CoV-2 (COVID-19) in water: potential risks. Environ Sci Pollut Res Int 2021; 28(38):52651-52674.
21. Belete TM. A review on promising vaccine development progress for COVID-19 disease. Vacunas (English Edition) 2020; 21(2):121–28.
22. Manigandan S, Wu MT, Ponnusamy VK, Raghavendra VB, Pugazhendhi A, Brindhadevi K. A systematic review on recent trends in transmission, diagnosis, prevention and imaging features of COVID-19 2020; 98:233–240.
23. Adelodun B, Ajibade FO, Ibrahim RG, Bakare HO, Choi K-S. Snowballing transmission of COVID-19 (SARS-CoV-2) through wastewater: any sustainable preventive measures to curtail the scourge in low-income countries? Sci Total Environ. 2020; 742(7):140680.
24. Kallem P, Hegab H, Alsafar H, Hasan SW, Banat F. SARS-CoV-2 detection and inactivation in water and wastewater: review on analytical methods, limitations and future research recommendations. Emerg Microbes Infect 2023; 12(2):2222850.
25. Bhowmick GD, Dhar D, Nath D, Ghangrekar MM, Banerjee R, Das S, Chatterjee J. Coronavirus disease 2019 (COVID-19) outbreak: some serious consequences with urban and rural water cycle. Npj Clean Water. 2020; 3(1):32.
26. Gwenzi W. Leaving no stone unturned in light of the COVID-19 faecal-oral hypothesis? A water, sanitation and hygiene (WASH) perspective targeting low-income countries. Sci Total Environ. 2021; 753:141751.
27. World Health Organization. Laboratory testing for coronavirus disease 2019 (COVID-19) in suspected human cases: Interim guidance [Internet]. [cited 2023 March 16]. Available from: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/331329/WHO-COVID-19-laboratory-2020.4-eng.pdf?sequence=1&isAllowed
28. Sivakumar B. COVID-19 and water. Stoch Env Res Risk 2021; 35(3): 531-34.
29. Maxeiner S, Krasteva-Christ G, Althaus M. Pitfalls of using sequence databases for

heterologous expression studies – a technical review. J Physiol 2023; 601(9):1611–23.

30. Borland EM, Hartman DA, Hopken MW, Piaggio AJ, Kading RC. Technical Limitations Associated With Molecular Barcoding of Arthropod Bloodmeals Taken From North American Deer Species. J Med Entomol 2020; 57(6):2002–2006.
31. Kuang J, Yan X, Genders AJ, Granata C, Bishop DJ. An overview of technical considerations when using quantitative real-time PCR analysis of gene expression in human exercise research. PLoS One 2018 ;13(5):e0196438.
32. Pipelers P, Clement L, Vynck M, Hellemans J, Vandesompele J, Thas O. A unified censored normal regression model for qPCR differential gene expression analysis. PLoS One 2017; 12(8): :e0182832.
33. Food and Drug Administration. FDA Emergency Use Authorized COVID-19 Antigen Tests [Internet]. [cited 2023 March 16]. Available from: https://www.fda.gov/emergency-preparedness-and-response/mcm-legal-regulatory-and-policy-framework/emergency-use-authorization#coviddrugs
34. Alvarez E, Bielska IA, Hopkins S, Belal AA, Goldstein DM, Slick J, et al. Limitations of COVID-19 testing and case data for evidence-informed health policy and practice. Health Res Policy Syst 2023; 21(1):11.
35. Mills W, Horney JA, Ladman B. Standing up testing. In: Horney J, editors. The COVID-19 response: the vital role of the public health professional. Academic Press; 2022. 53-68. https://doi.org/10.1016/C2021-0-01543-1
36. Del Vecchio C, Cracknell Daniels B, Brancaccio G, Brazzale AR, Lavezzo E, Ciavarella C, et al. Impact of antigen test target failure and testing strategies on the transmission of SARS-CoV-2 variants. Nat Commun 2022; 13(1):5870.
37. Kheiroddin P, Borchers N, Cibali E, Würfel T, Nowosadtko S, Kabesch M, et al. SARS-CoV-2 Detection Limits in Swab and Gargle Samples by Comparing Antigen and RT-qPCR Testing. COVID 2022; 2(6):752–58.
38. Amraotkar AR, Keith RJ, Palmer KE, Bhatnagar A. Using SARS-CoV-2 Antibody Testing in COVID-19 Research. Am J Med 2023; 136(6):501–03.
39. Fitzgerald ES, Jamieson AM. Comment on "SARS-CoV-2 suppresses anticoagulant and fibrinolytic gene expression in the lung." Elife 2022; 11;11:e74268.
40. Srivastava P, Prasad D. Isothermal nucleic acid amplification and its uses in modern diagnostic technologies. 3 Biotech 2023;13(6): 200.
41. Raddatz BW, Rabello FJ, Benedetti R, Steil GJ, Imamura LM, Kim EYS, et al. Clinical Validation of a Colorimetric Loop-Mediated Isothermal Amplification Using a Portable Device for the Rapid Detection of SARS-CoV-2. Diagnostics 2023; 13(7):1355.
42. Reyes Morales R, Segundo Ibañez P, Flores de Los Ángeles C, Vizcarra Ramos D, Ibañez Galeana D, Salas Cuevas G, et al. Reverse transcription loop mediated isothermal amplification has a high performance in the detection of SARS CoV 2 in saliva samples and nasal swabs from asymptomatic and symptomatic individuals. Exp Ther Med 2023; 26(2):398.
43. Celis JE, Espejo W, Paredes-Osses E, Contreras SA, Chiang G, Bahamonde P. Plastic residues

produced with confirmatory testing for COVID-19: classification, quantification, fate, and impacts on human health. Sci Total Environ 2021; 760:144167.

44. Ko HY, Li YT, Li YY, Chiang MT, Lee YL, Liu WC, et al. Optimization and Improvement of qPCR Detection Sensitivity of SARS-CoV-2 in Saliva. Microbiol Spectr 2023; 11(3):e04640-22.
45. Linkowska K, Bogiel T, Lamperska K, Marszałek A, Starzyński J, Szylberg Ł, et al. Commercially available SARS-CoV-2 RT-qPCR diagnostic tests need obligatory internal validation. Sci Rep 2023 ;13(1):6991.
46. Jiang F, Liu B, Yue Y, Tao Y, Xiao Z, Li M, et al. Direct Quantitation of SARS-CoV-2 Virus in Urban Ambient Air via a Continuous-Flow Electrochemical Bioassay. Advanced Science 2023; 10(22):2301222.
47. Alhamid G, Tombuloglu H, Rabaan AA, Al-Suhaimi E. SARS-CoV-2 detection methods: A comprehensive review. Saudi J Biol Sci 2022; 29(11):103465.
48. เยาวรักษ์ จูตระกูล. การประเมินความถูกต้อง ความไว และความจำเพาะของการตรวจ SARS-CoV-2 Antigen ด้วยชุดทดสอบแบบรวดเร็ว Rapid Antigen test และ Self-Antigen Test Kit, โรงพยาบาลอุดรธานี. วารสารการแพทย์โรงพยาบาลอุดรธานี 2566; 31(1):42–50.
49. กรมควบคุมโรค. กรมควบคุมโรค ชี้สถานการณ์โควิดเพิ่มขึ้นตามที่คาดการณ์ สายพันธุ์ไม่เปลี่ยนอาการคล้ายหวัดแนะกลุ่มเสี่ยงระมัดระวัง [อินเตอร์เนต]. [สืบค้นเมื่อวันที่ 20 เมษายน 2567]. แหล่งข้อมูล https://ddc.moph.go.th/brc/news.php?news=42475&deptcode=brc&news_views=3935.
50. Kazenelson J, Jefferson T, Rhodes RG, Cahoon LB, Frampton AR. Detection of SARS-CoV-2 RNA in wastewater from an enclosed college campus serves as an early warning surveillance system. PLoS One 2023; 18(7) :e0288808.
51. Haramoto E, Kitajima M, Hata A, Torrey JR, Masago Y, Sano D, Katayama H. A review on recent progress in the detection methods and prevalence of human enteric viruses in water. Water Res. 2018; 135: 168–86.
52. Medema G, Heijnen L, Elsinga G, Italiaander R, Brouwer A. Presence of SARS-Coronavirus-2 RNA in sewage and correlation with reported COVID-19 prevalence in the early stage of the epidemic in the Netherlands. Environ Sci Technol Lett 2020; 7(7):511–16.
53. Centers for Disease Control and Prevention. National Wastewater Surveillance System (NWSS) [Internet]. [cited 2024 March 16]. Available from: https://www.cdc.gov/nwss/wastewater-surveillance.html
54. Lawal-Ayinde BM, Morita T, Oda K, Nazmul T, Kurose M, Nomura T, et al. Virus purification highlights the high susceptibility of SARS-CoV-2 to a chlorine-based disinfectant, chlorous acid. PLoS One 2023; 18(7) e0288634.
55. Totaro M, Badalucco F, Costa AL, Tuvo B, Casini B, Privitera G, et al. Effectiveness of Disinfection with Chlorine Dioxide on Respiratory Transmitted, Enteric, and Bloodborne Viruses: A Narrative Synthesis. Pathogens 2021; 10(8):1017.
56. Kallem P, Hegab H, Alsafar H, Hasan SW, Banat F. SARS-CoV-2 detection and inactivation in water and wastewater: review on analytical methods, limitations and future research recommendations. Emerg Microbes Infect 2023; 12(2):2222850.

57. Sung Y, Kim D. Inactivation of SARS-CoV-2 in water using ozone. Journal of Environmental Science and Health 2020; 55(11): 1289-1293.
58. Abraham JP, Plourde BD, Cheng L. Using heat to kill SARS-CoV-2. Rev Med Virol 2020; 30(5):e2115.
59. Liu Y, Chen F, Li L, Chen H. The efficacy of different disinfection methods on SARS-CoV-2 in the air and on surfaces. Journal of Hospital Infection 20202; 104(3):246-251.
60. Wakid N, Li X. Filtration technologies for removing SARS-CoV-2 from water. Environmental Science and Pollution Research 20202; 27(30):39719-39725.
61. Lv W, Zheng X, Yang M, Zhang Y, Liu Y, Liu J. Virus removal performance and mechanism of a submerged membrane bioreactor. Process Biochemistry. 2006; 41(2):299–304.
62. Pendergast MM, Hoek EMV. A review of water treatment membrane nanotechnologies. Energy Environ Sci 2011; 4(6):1946–71.
63. Bodzek M, Konieczny K, Rajca M. Membranes in water and wastewater disinfection – review. Archives of Environmental Protection. Polish Academy of Sciences 2019; 45:3–18.
64. Yoon J, Kim J, Lee, H. Inactivation of SARS-CoV-2 in wastewater using ozone and UV-C. Journal of Water Reuse and Desalination 2020; 10(1):1-6.
65. กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. คำแนะนำในการจัดการสุขาภิบาลน้ำบริโภค สำหรับประชาชนในช่วงการเกิดโรคติดเชื้อไวรัสโคโรน่า 2019 (COVID – 19) [อินเตอร์เน็ต]. [สืบค้นเมื่อ 5 พฤษภาคม 2566]. แหล่งข้อมูล: https://covid19.anamai.moph.go.th/web-upload/2xdccaaf3d7f6ae30ba6ae1459eaf3dd66/m_document/6734/34110/file_download/70e647cbf8000297dbaa1accb39a2347.pdf