

สารเสพติด มลสารชนิดใหม่ในน้ำ

Illicit Drugs, an Emerging Pollutants in Aquatic Environment

วรวิทย์ วงศ์นิรามัยกุล^{1,2,3*} และ อารีย์ ชูดำ^{3,4}

Worawit Wongniramaikul^{1,2,3*} and Aree Choodum^{3,4}

บทคัดย่อ

บทความนี้จะกล่าวถึงยาเสพติด ซึ่งถือเป็นมลสารชนิดใหม่ (Emerging Pollutant) ที่มีการตรวจพบการปนเปื้อนในแหล่งน้ำ ซึ่งมีที่มาจาก การขับถ่ายของกลุ่มผู้เสพยาเสพติด โดยของเสียจากการขับถ่ายจะถูกปล่อยลงสู่ระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนก่อนที่จะปล่อยออกไปสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ชนิดของสารเสพติดที่พบจะแตกต่างกัน ขึ้นกับประเภทและที่ตั้งของแหล่งน้ำ โดยสารเสพติดเหล่านี้ มีปริมาณค่อนข้างต่ำ ทำให้มีความจำเป็นต้องมีระบบการวิเคราะห์ที่มีประสิทธิภาพ การเก็บตัวอย่างน้ำนิยมใช้ทั้งแบบจ้วงตัก (Grab Sampling) และแบบผสม (Composite Sampling) และทำการเตรียมตัวอย่างโดยใช้วิธีการสกัดด้วยของแข็ง (Solid Phase Extraction) ซึ่งใช้ตัวดูดซับชนิด Hydrophilic-lipophilic Balance (HLB) และ/หรือ Mixed Mode Sorbent (MCX) โดยปรับสภาพของน้ำให้เป็นกรดก่อนการสกัด หลังจากทำให้ตัวอย่างมีความเข้มข้นมากขึ้นแล้ว จึงนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องโครมาโทกราฟของเหลวชนิดตัวตรวจวัดแบบเทนเด็มแมสสเปกโตรมิเตอร์ (Liquid Chromatograph – tandem Mass Spectrometer: LC-MSMS) ซึ่งจากรายงานพบว่าเป็นที่นิยมในการวิเคราะห์

สารเสพติดในแหล่งน้ำ ถึงแม้ว่าจะมีการตรวจพบสารเสพติดในแหล่งน้ำธรรมชาติ แต่ก็เป็นไปได้น้อยมากที่จะพบในน้ำดื่ม เนื่องจากความมีประสิทธิภาพสูงของระบบการผลิตน้ำประปาและความเข้มข้นต่ำของสารเสพติดในแหล่งน้ำดิบ อย่างไรก็ตาม บทความนี้จะเน้นประโยชน์ต่อการวิจัยทางด้านสิ่งแวดล้อมและนิติวิทยาศาสตร์ต่อไป

คำสำคัญ: การวิเคราะห์ ยาเสพติด มลสารชนิดใหม่ แหล่งน้ำ

Abstract

This article presents illicit drugs as an emerging pollutant detected in different kinds of water resources. After being consumed, some narcotic substances are excreted and released to the municipal wastewater treatment system before being eventually released to natural water resources. Different narcotic substances were found depending on locations and types of water sources. Since the amount of the substances found was very small, the high performance analytical system is needed for

¹ อาจารย์ คณะเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต

² ศูนย์ความเป็นเลิศแห่งชาติด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย (ศสอ.) กรุงเทพมหานคร

³ สถานวิจัยการวิเคราะห์สารปริมาณน้อยและไบโอเซนเซอร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

⁴ อาจารย์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

* Corresponding Author, Tel. 0-7627-6482, E-mail: worawit.won@phuket.psu.ac.th

drug detection. Grab and composite samplings are commonly used for sample collection. Solid phase extraction was employed for sample preparation, using hydrophilic-lipophilic balance (HLB) and/or mixed mode sorbent (MCX). Collected water sample had to be necessarily acidified. Then the sample substance had to be concentrated and analyzed by Liquid Chromatograph – tandem Mass Spectrometer: LC-MSMS reported as a popular instrument used for analyzing narcotic substances in water sources. Although drug substances could be detected in natural water resources, finding them in drinking water was in little possibility due to the high efficiency of water supply production system and the low concentration of drugs in natural water resources. The information presented in this article may be useful for future environmental and forensic science investigations.

Keywords: Analysis, Illicit Drugs, Emerging Pollutant, Water Source

1. บทนำ

มลสารชนิดใหม่ (Emerging Pollutants) หมายถึง สารที่ยังไม่สามารถระบุได้แน่ชัดถึงผลกระทบของมันที่มีต่อสิ่งแวดล้อม แต่ด้วยคุณสมบัติเฉพาะตัวบางประการ เช่น มีความเป็นพิษสูง สามารถสะสมและทนทานในสิ่งแวดล้อม เป็นต้น จึงมีความเป็นไปได้ที่มันจะสามารถสร้างความเสียหายให้แก่สิ่งแวดล้อมได้ [1] ปัจจุบันมีสารหลายประเภทที่จัดเป็นมลสารชนิดใหม่ ซึ่งได้รับความสนใจจากนักวิจัยทางสิ่งแวดล้อมอย่างมาก เช่น ผลิตภัณฑ์ทางยา เวชภัณฑ์เครื่องสำอาง และสารรบกวนการทำงานของฮอร์โมน เป็นต้น เมื่อเร็วๆ นี้ มีสารอีกกลุ่มหนึ่งซึ่งถูกจัดให้เป็นมลสารชนิดใหม่ นั่นคือยาเสพติด [2]

มีรายงานการตรวจยาเสพติดในน้ำผิวดินครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ. 2005 โดย Zuccato และคณะ [3] โดยตรวจพบโคเคนและเมทาบอลไลท์หลักของมัน (ได้แก่ สาร Benzoyl-

gonine) ในแม่น้ำโปของอิตาลี หลังจากนั้นการวิเคราะห์ยาเสพติดในสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะอย่างยิ่งในน้ำผิวดินและ/หรือ ในน้ำเสียก็ได้รับความสนใจจากนักวิจัยด้านสิ่งแวดล้อมอย่างมากในฐานะของมลสารชนิดใหม่ในน้ำ โดยในอนาคตยาเสพติดนี้อาจถูกจัดให้อยู่ในรายการสารมลพิษ (Priority Substance) ของ EU Water Framework Directive (WFD) [4]

สำหรับในประเทศไทย ถึงแม้จะไม่มีรายงานการตรวจพบสารเสพติดในแหล่งน้ำธรรมชาติ แต่จากสถานการณ์การค้าและการเสพยาที่รุนแรงขึ้นทุกปี ดังจะเห็นได้จากสถิติการจับกุมผู้เกี่ยวข้องกับยาเสพติดที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องนับจากปี พ.ศ. 2551 – 2553 (จำนวนเพิ่มจาก 66,115 คน เป็น 76,156 คนและ 103,119 คน ในปี 51 52 และ 53 ตามลำดับ) [5] ทำให้มีความเป็นไปได้สูงที่จะพบสารเสพติดปนเปื้อนในแหล่งน้ำจากการที่มีปริมาณผู้เสพยาและการใช้ยาเสพติดที่เพิ่มสูงขึ้น

ดังนั้น บทความนี้จึงรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ยาเสพติดในน้ำผิวดินและน้ำเสีย เพื่อเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจ นักวิจัยทางสิ่งแวดล้อมและผู้เกี่ยวข้องเพื่อใช้ในการวางแผนการวิจัย การควบคุมปริมาณยาเสพติดในแหล่งน้ำของประเทศไทยเพื่อลดผลกระทบของยาเสพติดที่อาจส่งผลกระทบต่อห่วงโซ่อาหารในระบบนิเวศ รวมถึงการใช้ประโยชน์จากผลการวิจัยเพื่อการประเมินปริมาณการใช้ยาเสพติดในชุมชน โดยในบทความนี้จะแบ่งออกเป็น 5 ส่วน ได้แก่ การปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม (น้ำเสียและน้ำผิวดิน) ของยาเสพติด วิธีวิเคราะห์ยาเสพติด (การเก็บตัวอย่าง การเตรียมตัวอย่าง การแยกและการตรวจวัด) ชนิดและปริมาณที่มีการตรวจพบในน้ำ ความเป็นไปได้ของการปนเปื้อนในน้ำดื่ม และงานวิจัยที่ต้องการในอนาคต

2. การปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมของยาเสพติด

หลังจากที่มีการเสพยาเสพติดด้วยวิธีการต่างๆ เช่น การกิน การสูดดม การฉีดเข้าเส้นเลือด และอื่นๆ กระบวนการในร่างกายจะขับยาเสพติดออกมาผ่านระบบขับถ่าย โดยอาจขับออกมาในรูปแบบที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของยาเสพติด เช่น เมื่อผู้เสพยาบ้าเข้าสู่

ร่างกายภายใน 24 ชั่วโมง สารออกฤทธิ์ในยาบ้า ได้แก่ เมทแอมเฟตามีน จะถูกขับออกจากร่างกายผ่านปัสสาวะประมาณ 62% [6] ในขณะที่แอมเฟตามีนจะถูกขับออกมาประมาณ 30-40% [7] โดยสารเสพติดทั้งสองชนิดนี้มักจะถูกขับมาในรูปเดิม (Intact Drug) [8] ในขณะที่ยาเสพติดบางตัวจะถูกขับออกมาในรูปของเมทาบอลไลต์หลัก เช่น โคเคน เมื่อผ่านระบบร่างกายแล้ว จะถูกขับออกมาพร้อมกับปัสสาวะในรูปของสาร Benzoylcegonine ประมาณ 45% (เมื่อเสฟโดยการสูดดม) ของปริมาณที่เสฟเข้าไป [9]

เมื่อสารเสพติดเหล่านี้ถูกขับออกมากับปัสสาวะ (ทั้งในรูปเดิมและรูปเมทาบอลไลต์) มันจะปนเปื้อนสู่ระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน ทำให้สารเสพติดเหล่านี้มีโอกาสที่จะปนเปื้อนต่อไปสู่น้ำผิวดิน หากระบบบำบัดน้ำเสียนั้นๆ ไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ โดยเฉพาะอย่างยิ่งชุมชนขนาดเล็กที่ไม่มีระบบบำบัดเป็นของตนเองและปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยตรง ทำให้สารเสพติดเหล่านี้แพร่เข้าสู่สิ่งแวดล้อมมากขึ้น หรือถ้าผู้เสฟขับถ่ายของเสียในรูปแบบอุจจาระหรือของแข็งชีวภาพ (Biosolid) อื่นๆ สารเสพติดที่ปนเปื้อนในของแข็งชีวภาพดังกล่าว อาจปนเปื้อนเข้าสู่น้ำใต้ดินผ่านการรั่วซึมของหลุมฝังกลบ (Landfill Seepage) ได้ [2], [10]

เนื่องจากในปัจจุบัน การใช้และการแพร่หลายของยาเสพติดสูงมาก จากรายงานของหน่วยงานเฝ้าระวังยาเสพติดและการติดยาเสพติดของสหภาพยุโรป (The European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction) พบว่ากัญชา โคเคนและเฮโรอีน เป็นยาเสพติดที่มีการใช้มากที่สุดในยุโรป [11] โดยประชากรประมาณ 4% ของยุโรป (ประมาณ 12 ล้านคน) เคยใช้โคเคน และมีแนวโน้มการใช้เพิ่มขึ้น [12] ในขณะที่รายงานของสำนักงานว่าด้วยยาเสพติดและอาชญากรรมแห่งสหประชาชาติ (United Nations Office on Drugs and Crime: UNODC) ประจำปี ค.ศ. 2010 พบว่าการผลิตยาเสพติดของตลาดยาเสพติดโลกเติบโตขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีจำนวนผู้ใช้สารเสพติดกลุ่มฝิ่นและอนุพันธ์ของฝิ่นทั่วโลกระหว่าง 12.8 ถึง 21.9 ล้านคน [13] นอกจากนี้ยังมีรายงานการผลิตสารกระตุ้นประสาทกลุ่มแอมเฟตามีนในปี ค.ศ. 2007 ประมาณ 230

ถึง 640 ตัน [14] เมื่อผ่านการซื้อขาย การเสฟ และกระบวนการย่อยในร่างกาย ยาเสพติดทั้งหมดนี้จะเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น ดังนั้นจะมีปริมาณยาเสพติดชนิดต่างๆ ที่ปะปนอยู่ในน้ำเสียสูงมาก หากระบบบำบัดน้ำเสียไม่มีประสิทธิภาพหรือมีการลักลอบปล่อยน้ำเสีย ยาเสพติดเหล่านี้จะปนเปื้อนเข้าสู่ น้ำผิวดินหรือน้ำใต้ดินและอาจเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารในระบบนิเวศได้ในท้ายที่สุด

3. วิธีวิเคราะห์

3.1 การเก็บตัวอย่าง

จากรายงานการตรวจวิเคราะห์ยาเสพติดในน้ำประเภทต่างๆ เช่น น้ำผิวดิน (น้ำจากแม่น้ำและทะเลสาบ) น้ำเข้าและออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย พบว่ามีการใช้วิธีการเก็บตัวอย่างที่แตกต่างกันออกไป จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าวิธีการเก็บตัวอย่างมีด้วยกัน 3 ประเภท ได้แก่ 1) การเก็บแบบเฉพาะหรือแบบจ้วง (Grab Sample) ซึ่งเป็นการเก็บแบบครั้งเดียว 2) การเก็บแบบผสมรวม 24 ชั่วโมง (24 Hours Composite Sample) ซึ่งจะเก็บตัวอย่างเป็นระยะๆ เป็นเวลา 24 ชั่วโมงและนำตัวอย่างทั้งหมดมารวมกัน ซึ่งผลวิเคราะห์ที่ได้จะเป็นค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของยาเสพติดใน 24 ชั่วโมง 3) การเก็บแบบพาสซีฟ (Passive Sample) ซึ่งใช้หลักการความแตกต่างของความเข้มข้นของยาเสพติดในน้ำและในวัสดุที่ใช้เก็บตัวอย่าง (เช่น เยื่อแผ่น) กล่าวคือ หากมียาเสพติดปนเปื้อนอยู่ในน้ำ ยาเสพติดในน้ำที่มีความเข้มข้นสูงกว่าก็จะแพร่กระจายเข้ามาอยู่ในวัสดุตัวอย่างซึ่งมีความเข้มข้นของยาเสพติดที่ต่ำกว่า และเมื่อเก็บตัวอย่างไประยะเวลาหนึ่งก็จะนำยาเสพติดไปแยกจากวัสดุที่ใช้เก็บตัวอย่างด้วยกระบวนการบางอย่างเพื่อทำการวิเคราะห์ต่อไป โดยทั่วไปแล้ววัสดุที่ใช้เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟสำหรับยาเสพติดมักใช้อุปกรณ์ชนิด Polar Organic Chemical Integrative Sampler (POCIS) ซึ่งภายในจะบรรจุเยื่อแผ่นชนิด Hydrophilic Polyethersulfone ซึ่งถูกปิดทับด้วยตัวดูดซับชนิด Hydrophilic-lipophilic Balance (HLB) เมื่อเก็บตัวอย่างเสร็จแล้วก็จะสกัดสารออกมาโดยใช้ตัว

ทำละลายเมทานอล [10], [15] การเลือกใช้วิธีการเก็บตัวอย่างแบบใดนั้น ขึ้นกับลักษณะของข้อมูลที่ต้องการนำไปใช้และอุปกรณ์ที่มีอยู่ของผู้วิจัย

3.2 การเตรียมตัวอย่าง

หลังจากที่เก็บตัวอย่างยาเสพติดมาแล้ว จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการเตรียมตัวอย่างให้พร้อมสำหรับการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือต่างๆ ต่อไป โดยทั่วไปแล้วการเตรียมตัวอย่างยาเสพติดในน้ำจะใช้วิธีการสกัดด้วยของแข็ง (Solid Phase Extraction: SPE) ซึ่งมีการเลือกใช้ตัวดูดซับของแข็ง

ได้หลากหลายชนิด เช่น ตัวดูดซับชนิด Hydrophilic-lipophilic Balance (HLB) และ/หรือ Mixed-mode Sorbent (MCX) ขึ้นอยู่กับยาเสพติดที่สนใจวิเคราะห์ โดยส่วนใหญ่แล้วการเตรียมตัวอย่างจะเป็นแบบออฟไลน์ (Off-line) กล่าวคือตัวอย่างที่เก็บมาได้จะถูกนำมาผ่านกระบวนการเตรียมตัวอย่างก่อน จากนั้นผู้ทำการวิเคราะห์จะต้องนำตัวอย่างที่ได้มาเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์ต่อไป [15] มีเพียง 1 รายงานการวิจัยที่มีใช้การสกัดด้วยของแข็งแบบออนไลน์ (On-line SPE) โดยเลือกใช้ตัวดูดซับของแข็งชนิด Cross-linked Styrene-divinylbenzene Polymer [17] วิธีนี้

ตารางที่ 1 การเก็บตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ยาเสพติดในน้ำ [2]

| แหล่งของตัวอย่าง | ชนิดของตัวอย่างน้ำ | วิธีการเก็บตัวอย่าง | เอกสารอ้างอิง |
|------------------------------------|---|--|---------------|
| แม่น้ำโป อิตาลี | น้ำผิวดิน | ผสมรวม 24 ชั่วโมง (ทุก 20 นาที) | [9] |
| อิตาลีและสวิตเซอร์แลนด์ | น้ำเข้าและน้ำออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย | ผสมรวม 24 ชั่วโมง (ทุก 20 นาที) | [16] |
| เมืองบาเซิลเนา สเปน | น้ำเข้าและน้ำออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย | ผสมรวม 24 ชั่วโมง (ทุก 20 นาที) | [17] |
| ทางเหนือของสเปน | น้ำเข้าและน้ำออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย | ผสมรวม 24 ชั่วโมง (ทุก 20 นาที) | [18] |
| เบลเยียม | น้ำเข้าและน้ำออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย | ผสมรวม 24 ชั่วโมง (ทุก 20 นาที) | |
| | น้ำผิวดิน | แบบเฉพาะหรือแบบจ้วง | [19] |
| แม่น้ำในอิตาลีและอังกฤษ | น้ำผิวดินจากแม่น้ำและทะเลสาบ | ผสมรวม 2 ชั่วโมง (ทุก 20 นาที) | [20] |
| แม่น้ำทาฟฟี เวลส์ อังกฤษ | น้ำผิวดินซึ่งอยู่บนและล่างโรงบำบัดน้ำเสีย | แบบเฉพาะหรือแบบจ้วง | [21] |
| แม่น้ำทาฟฟี เวลส์ อังกฤษ | น้ำผิวดินซึ่งอยู่บนและล่างโรงบำบัดน้ำเสีย | แบบเฉพาะหรือแบบจ้วง | |
| | น้ำเข้าและน้ำออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย | ผสมรวม 24 ชั่วโมง (ทุก 20 นาที) | [22] |
| เมืองเนบราสก้า สหรัฐอเมริกา | น้ำผิวดินซึ่งอยู่บนและล่างโรงบำบัดน้ำเสีย | พาสซีฟ (7 วัน) | |
| | น้ำออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย | | [15] |
| เมืองเนวาดา ยูทาห์ แคลิฟอร์เนียใต้ | น้ำออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย | พาสซีฟ (30 วัน) | [10] |
| แม่น้ำโลบริกต์ สเปน | น้ำเข้าและน้ำออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย | ผสมรวม 24 ชั่วโมง (ทุก 20 นาที) | |
| | น้ำผิวดิน | แบบเฉพาะหรือแบบจ้วง | [23] |
| ทางตะวันออกเฉียงเหนือของสเปน | น้ำเข้าและน้ำออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย | แบบเฉพาะหรือแบบจ้วงในช่วงแรกหลังจากนั้นเก็บแบบ | |
| | | ผสมรวม 24 ชั่วโมง (ทุก 20 นาที) | [24] |
| เมืองคาสเทลลอน สเปน | น้ำเข้าและน้ำออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย | ผสมรวม 24 ชั่วโมง (ทุก 20 นาที) | [25] |
| สหรัฐอเมริกา | น้ำเข้าระบบบำบัดน้ำเสีย | ผสมรวม 24 ชั่วโมง (ทุก 20 นาที) | [26] |
| เคนทักกี สหรัฐอเมริกา | น้ำผิวดินซึ่งอยู่บนและล่างโรงบำบัดน้ำเสีย | แบบเฉพาะหรือแบบจ้วง | [27] |

เมื่อผู้ทำการวิเคราะห์นำตัวอย่างที่เก็บมาเข้าสู่กระบวนการเตรียมตัวอย่าง เครื่องมือวิเคราะห์จะนำตัวอย่างที่เตรียมเสร็จแล้วเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์หัตถ์โนมิติ นอกจากนี้ยังมีรายงานการเตรียมตัวอย่างโดยใช้วิธีอื่นๆ เช่น การใช้ Accelerated Solvent Extraction (ASE) เพื่อสกัดยาเสพติดออกจากของแข็งชีวภาพ (Biosolid) [28] หรือ การฉีดน้ำตัวอย่างโดยตรงในปริมาณมากเข้าเครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูงเพื่อหลีกเลี่ยงกระบวนการเตรียมตัวอย่าง [26] โดยกระบวนการเตรียมตัวอย่างและสภาวะที่ใช้ในการสกัดยาเสพติดจากตัวอย่างน้ำได้มีการสรุปไว้ในตารางที่ 2 ซึ่งจะเป็นข้อมูลที่จะเป็นประโยชน์ต่อผู้สนใจ สามารถใช้เป็นแนวทางในการกำหนดสภาวะของการเตรียมตัวอย่างที่เหมาะสมกับงานของตนเองได้

อย่างไรก็ตาม ก่อนที่จะทำการสกัดด้วยของแข็ง

ตัวอย่างน้ำฝิวดินหรือน้ำเสียจะต้องผ่านการกรองอนุภาคแขวนลอยขนาดเล็กในน้ำออกเสียก่อน เพื่อป้องกันไม่ให้อนุภาคเหล่านี้ไปอุดตันหรือทำลายตัวดูดซับของแข็งได้โดยทั่วไปแล้ว มักนิยมใช้วิธีการกรองด้วยตัวกรองที่มีรูพรุนขนาดใหญ่ก่อนและจึงนำตัวอย่างที่ผ่านการกรองนั้นมากรองซ้ำด้วยตัวกรองที่มีขนาดรูพรุนเล็กลงเรื่อยๆ ตัวกรองที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ยาเสพติดในน้ำได้แก่ตัวกรองใยแก้ว Whatman GF/A ขนาด 1.6 ไมครอน [16], [19], [23],[24], Whatman GF/F ขนาด 0.7 ไมครอน [21], [22] หรือการใช้ตัวกรองใยแก้ว Whatman GF/B ขนาด 1 ไมครอน ตามด้วย Nylon Membrane Filter ขนาด 0.45 ไมครอน [17] เป็นต้น อย่างไรก็ตาม มีบางงานวิจัยที่ใช้การปั่นแยก (Centrifuge) ด้วยความเร็ว 7100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที แทนการกรอง [26]

หลังจากนั้นจะต้องปรับสภาวะของน้ำตัวอย่างให้

ตารางที่ 2 กระบวนการเตรียมตัวอย่างและสภาวะที่ใช้ในการสกัดยาเสพติดจากตัวอย่างน้ำ

| ชนิดของยาเสพติด | ชนิดของตัวอย่างน้ำ | ตัวดูดซับของแข็ง | การปรับสภาวะตัวดูดซับ (Conditioning) | การสกัดยาเสพติดจากตัวดูดซับ (Elution) | เอกสารอ้างอิง |
|-------------------------------|--------------------|------------------|--------------------------------------|--|---------------|
| โคเคนและเมทาบอลิต์ | น้ำฝิวดิน | MCX | 37% HCl to pH 2 | 2 mL MeOH; 2 mL 2% NH ₃ in MeOH | [3] |
| ยาเสพติด 16 ชนิด | น้ำเสีย | MCX | 37% HCl to pH 2 | 3 mL MeOH; 3 mL 2% NH ₃ in MeOH | [16] |
| ยาเสพติด 17 ชนิด | น้ำเสีย | HLB | - | Acetonitrile/water (LC mobile phase) | [17] |
| ยาเสพติด 16 ชนิด | น้ำฝิวดิน น้ำเสีย | HLB | - | Acetonitrile/water (LC mobile phase) | [33] |
| ยาเสพติด 11 ชนิด | น้ำเสีย น้ำฝิวดิน | HLB | - | 8 mL MeOH | [18] |
| ยาเสพติด 11 ชนิด | น้ำเสีย น้ำฝิวดิน | HLB | - | 8 mL MeOH | [34] |
| โคเคนและเมทาบอลิต์ | น้ำเสีย น้ำฝิวดิน | HLB | NH ₄ OH to pH 6 | MeOH | [19] |
| ยาเสพติด 9 ชนิด | น้ำเสีย | HLB; MCX | 6 M HCl to pH 2 | 4 mL MeOH; 4 mL 2% NH ₃ in MeOH | [29] |
| ยาเสพติด 16 ชนิด | น้ำฝิวดิน | MCX | 37% HCl to pH 2 | 3 mL MeOH; 3 mL 2% NH ₃ in MeOH | [20] |
| แอมเฟตามีน โคเคนและเมทาบอลิต์ | น้ำฝิวดิน | MCX | acidified | 5% NH ₄ OH in MeOH | [21] |
| แอมเฟตามีน โคเคนและเมทาบอลิต์ | น้ำฝิวดิน | MCX | acidified | 5% NH ₄ OH in MeOH | [22] |
| ยาเสพติด 20 ชนิด | น้ำเสีย | POCIS (HLB) | - | 20 mL MeOH | [15] |
| ยาบ้า ยาอี | น้ำเสีย น้ำฝิวดิน | POCIS (HLB) | - | MeOH | [10] |
| ยาเสพติด 6 ชนิด | น้ำเสีย น้ำฝิวดิน | HLB | - | 6 mL MeOH | [23] |
| ยาเสพติด 6 ชนิด | น้ำเสีย น้ำฝิวดิน | HLB HLB | - | 6 mL MeOH | [32] |
| ยาเสพติด 11 ชนิด | น้ำฝิวดิน น้ำเสีย | MCX | formic acid to pH 2 | 8 mL 2% NH ₃ in MeOH | [25] |
| ยาบ้า ยาอี | น้ำเสีย | HLB | 12 M HCl to pH < 3 | 4x 5 mL MeOH/1% acetic acid | [27] |

เหมาะสมกับการสกัดด้วยของแข็ง เช่น การเติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 37% เพื่อปรับค่าพีเอชของตัวอย่างน้ำเป็นพีเอช 2 [16], [20], [23],[24], [27] ซึ่งเป็นพีเอชที่สารเสพติดอยู่ในรูปที่สามารถจับกับตัวดูดซับได้ดี ดังนั้นเมื่อนำตัวอย่างน้ำไปผ่านกระบวนการสกัดด้วยของแข็งต่อไป จะทำให้สามารถสกัดสารเสพติดออกจากตัวอย่างน้ำได้ในปริมาณที่สูงขึ้น

ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นแล้วว่า ตัวดูดซับของแข็งที่นิยมใช้มี 2 ชนิด คือ HLB และ MCX โดยตัวดูดซับชนิด HLB เป็นตัวดูดซับชนิด Reversed-phase ซึ่งสามารถใช้ดูดซับสารหลายชนิด โดยทำมาจากการโพลีเมอไรเซชันของ Divinylbenzene ซึ่งมีสมบัติ Lipophilic กับ N-vinylpyrrolidine ซึ่งมีสมบัติ Hydrophilic ทำให้สามารถสกัดทั้งสารที่เป็นกรด ด่าง หรือสารที่เป็นกลาง ทั้งที่มีสมบัติมีขั้วและไม่มีขั้ว ในขณะที่ตัวดูดซับชนิด MCX เกิดจากการนำหมู่ฟังก์ชัน Sulfate มาต่อกับ HLB จึงมีส่วนที่เป็น Benzenesulfonic Acid ซึ่งมีค่า pKa น้อยกว่า 1 ทำให้มีสมบัติทั้ง Cationic-exchange และ Reversed-phase ในขณะเดียวกัน ซึ่งจะช่วยเพิ่มความจำเพาะ (Selectivity) ได้มากขึ้น โดยส่วนใหญ่แล้วการใช้ตัวดูดซับชนิด MCX จะต้องมีการปรับสภาวะของตัวอย่างน้ำให้เป็นกรด (พีเอช <3) ในขณะที่ตัวดูดซับชนิด HLB จะสามารถปรับสภาวะของตัวอย่างน้ำได้ทั้งที่เป็นกรด และเป็นกลาง (พีเอช 7) แต่จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าพีเอชที่เป็นกรดให้ประสิทธิภาพการสกัดสูงกว่า [29]

นอกจากตัวดูดซับชนิด HLB และ MCX ที่กล่าวมาข้างต้นแล้ว ปัจจุบันได้มีการนำ Molecular Imprinted Polymer (MIP) ซึ่งมีความจำเพาะต่อยาเสพติดมาใช้มากขึ้น [30],[31] อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันมีเฉพาะตัวดูดซับชนิด MIP ของแอมเฟตามีนเท่านั้นที่มีขายในเชิงพาณิชย์ ทำให้มีรายงานการใช้ MIP ในการวิเคราะห์ยาเสพติดอยู่ในวงจำกัด จากการศึกษาพบว่าตัวดูดซับชนิด MIP สำหรับแอมเฟตามีนมีความจำเพาะเจาะจงกับสารในกลุ่มแอมเฟตามีนมากกว่า MCX และ HLB ทำให้สามารถตรวจวิเคราะห์สารกลุ่มดังกล่าวในระดับความเข้มข้นที่ต่ำมาก (0.8 ng/L สำหรับแอมเฟตามีนและ 2.7 ng/L สำหรับ

เมทแอมเฟตามีน [30]) ถึงแม้ว่าตัวดูดซับชนิดนี้สามารถกำจัดผลจากตัวรบกวนอื่นๆ และสามารถวิเคราะห์หา ยาเสพติดที่สนใจในระดับความเข้มข้นต่ำมากได้ แต่เนื่องจาก MIP จะเลือกจับเฉพาะสารที่มีโครงสร้าง/รูปร่างที่ใกล้เคียงกับต้นแบบที่ใช้ในการ Imprinted หรือจับโดยการจดจำพันธะไฮโดรเจน (H-bonding Recognition) ทำให้ตัวดูดซับชนิดนี้ไม่เหมาะกับการใช้งานที่มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการทราบจำนวนชนิดของยาเสพติดที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำ เนื่องจากตัวดูดซับชนิดนี้จะเลือกจับเฉพาะยาเสพติดที่เป็นต้นแบบเท่านั้น ทำให้ยาเสพติดชนิดอื่นๆ ที่ปนเปื้อนอยู่สูญเสียไป

3.3 การแยกและการตรวจวัด

จากรายงานการวิเคราะห์ยาเสพติดในน้ำผิวดินและน้ำเสีย เทคนิคที่นิยมใช้กันมากที่สุด ได้แก่ เทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลว ควบคู่กับตัวตรวจวัดชนิดเทนเดียมแมสสเปกโตรมิเตอร์ (Liquid Chromatography-tandem Mass Spectrometry: LC-MSMS) โดยส่วนใหญ่ใช้คอลัมน์ Reversed-phase C18 ในการแยกสารเช่น Water Xterra MS C18, Restek Allure C18, Merck Purospher Star RP-18e เป็นต้น โดยใช้การตรวจวัดของแมสสเปกโตรมิเตอร์แบบ Multiple Reaction Monitoring: (MRM) และ Selected Reaction Monitoring (SRM) และมักนิยมใช้ระบบ Electrospray Ionization (ESI) ในการทำให้โมเลกุลของยาเสพติดถูกทำให้เป็นไอออน มีเพียงบางรายงานเท่านั้นที่ใช้ Collision Induced Dissociation (CID) [10]

นอกจากนี้ยังมีรายงานการใช้เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟีร่วมกับตัวตรวจวัดชนิดเทนเดียมแมสสเปกโตรมิเตอร์ (Gas Chromatography-tandem Mass Spectrometry: GC-MSMS) ซึ่งมีข้อดีเหนือกว่า LC-MSMS ในแง่ของราคาที่ดีกว่าและไม่มีปัญหาจากการกลายเป็นไอออนของเมตริกซ์ ซึ่งสามารถส่งผลกระทบต่อสารเสพติดที่เราสนใจได้ [4] และเมื่อเร็วๆ นี้ทางกลุ่มวิจัยของเราได้พัฒนาวิธีการตรวจวัดยาเสพติดในน้ำผิวดินโดยใช้เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟีร่วมกับตรวจวัดชนิดแมสสเปกโตรมิเตอร์ (GC-MS) ซึ่งมีราคาถูกลงกว่า

GC-MSMS มาก ซึ่งเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยด้านนี้ต่อไปในอนาคต [31]

4. ชนิดของยาเสพติดและปริมาณที่ตรวจพบในน้ำ

จากรายงานการตรวจพบสารเสพติดชนิดต่างๆ ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 3 พบว่า ปริมาณการปนเปื้อนในตัวอย่างน้ำมีความแตกต่างกัน ขึ้นกับชนิดของแหล่งน้ำ โดยน้ำเสียเข้าระบบบำบัดน้ำเสียจะมีปริมาณยาเสพติดที่สูงกว่าน้ำเสียออกและน้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติ โดยสารเสพติดที่มีรายงานการตรวจพบสูงสุด คือ สาร Benzoylcegoine ซึ่งมีการพบสูงสุดถึง 10,500 ng/L ในน้ำเสียชุมชนก่อนเข้าระบบบำบัด และ 345 ng/L ในแหล่งน้ำผิวดิน ชนิดและปริมาณของสารเสพติดที่พบในน้ำผิวดินและน้ำเสียจากแหล่งต่างๆ สรุปได้ดังตารางที่ 3

5. ความเป็นไปได้ของการปนเปื้อนในน้ำดื่ม

จากที่มีรายงานการตรวจพบการปนเปื้อนของยาเสพติดในน้ำผิวดิน จึงเกิดคำถามถึงความเป็นไปได้ในการปนเปื้อนของยาเสพติดในน้ำดื่ม เนื่องจากน้ำผิวดินเป็นแหล่งของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำดื่ม จากการศึกษาพบว่ายาเสพติดกระตุ้นประสาทกลุ่มแอมเฟตามีน (ยกเว้น Ecstasy; MDMA) ถูกกำจัดออกอย่างสมบูรณ์ (100%) ในระหว่างการเติมคลอรีน (Pre-chlorination) การรวมตะกอน (Flocculation) และการกรองด้วยทราย (Sand Filtration) ของกระบวนการผลิตน้ำประปา ในขณะที่โคเคนถูกกำจัดโดยกระบวนการดูดซับด้วย Granulated Activated Carbon ได้ 100% และเมทาบอลไลท์หลักของโคเคน (หรือสาร Benzoylcegonine) จะถูกกำจัดได้ 72% ในขณะที่ยาอีสามารถถูกกำจัดได้ 88% และเมื่อเข้าสู่กระบวนการเติมคลอรีนรอบหลัง (Post-chlorination) เมทาบอลไลท์หลักของโคเคน Benzoylcegonine จะสามารถกำจัดได้ 90% แต่เมทาบอลไลท์ของโคเคนชนิด Cotinine

ตารางที่ 3 ชนิดของยาเสพติดและปริมาณที่ตรวจพบในน้ำ (ng/L)

| ชนิดของตัวอย่างน้ำ | AM* | MA* | COC* | BE* | MOR* | MDMA* | MDA* | nor-THC* | เอกสารอ้างอิง |
|--------------------|-----------|-------------|-------------|---------------|------------|------------|---------|-----------|---------------|
| น้ำผิวดิน | - | - | 1.2±0.2 | 25±5 | - | - | - | - | [3] |
| น้ำเสีย(เข้า) | 14.7±10.6 | 16.2±7.1 | 421.4±83.3 | 1132.1±197.2 | 83.3±11.8 | 14.2±14.5 | 4.6±7.3 | 62.7±5 | [16] |
| น้ำเสีย (เข้า) | 41.1±9.1 | 18.2±5.8 | 860.9±213.6 | 4225.7±1142.8 | 162.9±20.0 | 133.6±29.8 | - | 4.3±4.8 | [17] |
| น้ำผิวดิน | 1.6-12.1 | 0.3-0.7 | 0.4-59.2 | 1.4-346.0 | 6.5-10.8 | 0.2-11.8 | - | 5.5 | [33] |
| น้ำผิวดิน | - | - | - | - | 5-6.3 | - | - | 16.4-34.1 | [18] |
| น้ำผิวดิน | - | - | - | - | 1.5-12.2 | - | - | <3.0-14.7 | [34] |
| น้ำเสีย (เข้า) | 3-414 | <1-16 | 11-325 | 37-897 | - | 1-103 | - | - | [19] |
| น้ำเสีย (เข้า) | - | - | 87-158 | 321-410 | - | - | - | - | [29] |
| น้ำผิวดิน | <0.65 | <0.41 | 1.7±1.2 | 21.8±11.9 | 3.0±1.4 | 1.0±0.4 | 1.0±0.4 | 0.5±0.4 | [20] |
| น้ำผิวดิน | <1-13 | - | <0.3-7 | <1-123 | - | - | - | - | [21] |
| น้ำผิวดิน | <1-13 | - | <0.3-4 | <1-92 | - | - | - | - | [22] |
| น้ำเสีย (ออก) | ND | 350.17±78.3 | - | - | - | - | - | - | [15] |
| น้ำเสีย (ออก) | - | ND-1.3 | - | - | - | ND-0.5 | - | - | [10] |
| น้ำเสีย (เข้า) | 8-550 | ND-2000 | 72-350 | 38-2800 | - | ND-70 | ND-7 | - | [26] |
| น้ำผิวดิน | D* | | 6 | 77 | - | - | - | - | [23] |
| น้ำเสีย (เข้า) | ND-1400 | D* | 500-820 | 60-10,500 | - | - | - | D* | [25] |
| น้ำเสีย (เข้า) | 8-35 | - | - | - | - | ND-10 | - | - | [27] |

* AM = Amphetamine, MA = Methamphetamine, COC = Cocaine, BE = Benzoylcegonine, MOR = Morphine, MDMA = 3,4-methylenedioxyamphetamine, MDA = 3,4-methylenedioxyamphetamine, nor-THC = 11-nor-carboxy- Δ^9 -tetrahydrocannabinol, D=ปริมาณสูงกว่าขีดจำกัดการตรวจวัดของการวิเคราะห์ (LOD) แต่ต่ำกว่าขีดจำกัดการวัดเชิงปริมาณ (LOQ)

จะถูกกำจัดได้เพียง 74% [32] อย่างไรก็ตามเมทาบอลไลต์ของยาเสพติดเหล่านี้จะมีความเป็นพิษลดลง เมื่อเทียบกับยาเสพติดเริ่มต้น เช่น Benzoylcegonine มีพิษลดลงจากโคเคนถึง 30 เท่า เป็นต้น ซึ่งจากการคำนวณเทียบมวลพบว่าหากเราดื่มน้ำที่มีเมทาบอลไลต์หลักของโคเคนปนเปื้อนอยู่ที่ความเข้มข้น 130 ng/L (ซึ่งเป็นความเข้มข้นสูงสุดที่มีการตรวจพบในน้ำที่ผ่านกระบวนการผลิตน้ำดื่มแล้ว) ตลอดชีวิต (อายุเฉลี่ย 70 ปี ดื่มน้ำ 2 ลิตรต่อวัน) จะได้รับสารดังกล่าวเพียง 6 mg ซึ่งน้อยกว่าปริมาณการเสพยาโคเคนต่อหนึ่งครั้ง (100 mg/ครั้ง) ถึง 20 เท่า [32] ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้น้อยมากที่จะตรวจพบยาเสพติดในน้ำดื่ม แต่อาจพบการปนเปื้อนของเมทาบอลไลต์ของยาเสพติดบางชนิดได้ในปริมาณที่ไม่สูงนัก

6. งานวิจัยที่ต้องการในอนาคต

จากการรวบรวมงานวิจัยในบทความนี้ เห็นได้ว่ายังมีความต้องการงานวิจัยในอนาคตอีกหลายด้าน งานวิจัยด้านการบำบัดน้ำเสียเพื่อให้สามารถกำจัดยาเสพติดและเมทาบอลไลต์ได้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาผลกระทบของยาเสพติดที่ตรวจพบในแม่น้ำต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำและห่วงโซ่อาหารในระบบนิเวศ การตรวจวิเคราะห์การสะสมของยาเสพติดในดินตะกอนท้องน้ำ ถึงแม้ว่ายาเสพติดเหล่านี้ปนเปื้อนอยู่ในปริมาณน้อยมาก แต่ไม่ควรจะมองข้ามความเสี่ยงที่อาจจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งแวดล้อมเนื่องจากยาเสพติดเหล่านี้สามารถออกฤทธิ์และส่งผลเสียต่อระบบร่างกายของมนุษย์ได้

นอกจากนี้แล้ว ยังไม่มีรายงานการตรวจวิเคราะห์หาเมทาบอลไลต์ของยาเสพติดมักถูกขับมาในรูปแบบ (Intact Drugs) เช่น เมทาบอลไลต์หลักของเมทแอมเฟตามีน; ยาบ้า (ได้แก่ *p*-hydroxymethamphetamine Sulfate และ *p*-hydroxymethamphetamine Glucuronide) และยังมีรายงานเกี่ยวกับการวิเคราะห์ยาเสพติดในน้ำใต้ดินบริเวณใกล้เคียงหลุมฝังกลบ ถึงแม้ว่ามีรายงานการตรวจพบแอมเฟตามีนและเมทแอมเฟตามีนในของแข็งชีวภาพ (Biosolid) ซึ่งมักถูกกำจัดโดยใช้วิธีฝังกลบ และอาจถูก

ชะออกมาและเข้าสู่น้ำใต้ดินได้

จากการค้นคว้างานวิจัยที่มีรายงานในวารสารทางวิชาการพบว่า ประเทศไทยยังไม่มียานวิจัยด้านนี้ แม้ว่าการใช้ยาเสพติดในประเทศไทยเพิ่มขึ้นทุกปี รวมทั้งมีชุมชนหลายชุมชนปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำโดยไม่ผ่านการบำบัด ดังนั้นจึงมีโอกาที่จะตรวจพบยาเสพติดในน้ำผิวดินและน้ำเสีย งานวิจัยดังกล่าวนอกจากจะทำให้เราทราบข้อมูลเบื้องต้นเพื่อใช้ในการวางแผน จัดการกับปัญหาได้อย่างเหมาะสม และยังสามารถทำให้เรามีข้อมูลการใช้สารเสพติดในชุมชน ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่องานทางด้านนิติวิทยาศาสตร์ได้อีกด้วย

7. สรุป

ยาเสพติดเป็นมลสารชนิดใหม่ที่มีการตรวจพบการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะตามแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่ต่าง ๆ ของโลก ยาเสพติดเหล่านี้มีแหล่งที่มา 2 ส่วน ได้แก่ จากการใช้โดยถูกกฎหมาย เช่น การใช้เพื่อการวิจัย การใช้ในโรงพยาบาล เป็นต้น และจากการใช้โดยผิดกฎหมาย เช่น การเสพยาของประชากรในชุมชน เป็นต้น โดยมันจะปนเปื้อนในรูปของเสียที่ถูกขับถ่ายออกจากร่างกายผู้เสพยาเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนนั้น ๆ เมื่อประสิทธิภาพการบำบัดไม่เพียงพอที่จะกำจัดได้ทั้งหมด หรือมีการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยไม่ผ่านการบำบัด จึงมีการตรวจพบสารเสพติดตามแหล่งน้ำธรรมชาติบริเวณใกล้เคียง ชนิดของสารเสพติดที่มีการตรวจพบมีหลากหลายชนิด เช่น Amphetamine, Methamphetamine, Cocaine, Benzoylcegonine, Morphine, 3,4-methylenedioxyamphetamine, 3,4-methylenedioxyamphetamine และ 11-nor-carboxy- Δ^9 -tetrahydrocannabinol เป็นต้น ขึ้นอยู่กับแหล่งน้ำที่ทำการตรวจวัด โดยปริมาณที่พบจะอยู่ในระดับต่ำ (นาโนกรัมต่อลิตร (ppt) ถึงไมโครกรัมต่อลิตร (ppb)) ทำให้การศึกษาริวิจัยทางด้านนี้ต้องการระบบการวิเคราะห์สารที่มีประสิทธิภาพสูง ซึ่งส่วนใหญ่แล้วจะนิยมใช้การสกัดด้วยของแข็ง (Solid Phase Extraction) ในการเตรียมตัวอย่างและใช้เทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวควบคู่กับตัวตรวจวัดชนิดเทนเดียมแมสสเปกโทรมิเตอร์

(Liquid Chromatography – tandem Mass Spectrometry) ในการตรวจวิเคราะห์สารเสพติด ตัวดูดซับที่นิยมใช้ในกระบวนการดูดซับด้วยของแข็งมี 3 ชนิด ได้แก่ Hydrophilic-lipophilic Balance (HLB) Mixed-mode Sorbent (MCX) และ Molecularly Imprinted Polymers (MIPs) ซึ่ง MIPs จะมีความเฉพาะเจาะจงสูงที่สุด แต่ยังมีข้อจำกัดในเรื่องการขยายในเชิงพาณิชย์ แม้จะมีการตรวจพบยาเสพติดปนเปื้อนในแหล่งน้ำดื่มที่ใช้ในการผลิตน้ำประปา แต่ก็เป็นความเป็นไปได้ต่ำที่จะพบสารเหล่านี้ในน้ำดื่ม

สำหรับประเทศไทย แม้ว่าจะมีสถิติการค้าและการเสพยาเสพติดที่สูงขึ้นทุกปี แต่ก็ยังขาดแคลนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาการปนเปื้อนของยาเสพติดในสิ่งแวดล้อม ซึ่งงานวิจัยเหล่านี้ นอกจากจะประโยชน์ในการวางแผนจัดการรับมือปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมแล้วยังจะเป็นข้อมูลที่สำคัญที่ใช้ในการประเมินการใช้ยาเสพติดในชุมชนซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่องานด้านนิติวิทยาศาสตร์อีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

- [1] United States Environmental Protection Agency: Great Lakes National Program Office, “Glossary of Technical Terms That Appear in the LaMPS,” [Online]. Available: http://www.great-lakes.net/humanhealth/about/words_e.html.
- [2] T. H. Boles and M. J. M. Wells, “Analysis of amphetamine and methamphetamine as emerging pollutants in wastewater and wastewater-impacted streams,” *J. Chromatogr. A.*, vol. 1217, no. 16, pp. 2561, 2010.
- [3] E. Zuccato, C. Chiabrando, S. Castiglioni, D. Calamari, R. Bagnati, S. Schiarea, and R. Fanelli, “Cocaine in surface waters: a new evidence-based tool to monitor community drug abuse,” *Environ. Health*, vol. 4, pp. 14, 2005.
- [4] I. González-Mariño, J.B. Quintana, I. Rodríguez, and R. Cela, “Determination of drugs of abuse in water by solid-phase extraction, derivatisation and gas chromatography-ion trap-tandem mass spectrometry,” *J. Chromatogr. A.*, vol. 1217, no. 11, pp. 1748, 2010.
- [5] สำนักงานคณะกรรมการป้องกันและปราบปรามยาเสพติด. 2554. (21 ก.ค. 2554) จำนวนผู้เกี่ยวข้องกับยาเสพติดถูกดำเนินการตามกระบวนการยุติธรรม, [ออนไลน์]. เข้าถึง: http://moc.oncb.go.th/index.php?option=com_content&task=category§ionid=14&id=11&Itemid=26
- [6] RxList: The Internet Drug Index, “Desozyn (methamphetamine hydrochloride),” [Online]. Available: <http://www.rxlist.com/desoxyn-drug.htm>
- [7] RxList: The Internet Drug Index, “Adderall XR (amphetamine),” [Online]. Available: http://www.rxlist.com/adderall_xr_capsules-drug.htm.
- [8] R. C. Baselt, *Disposition of Toxic Drugs and Chemicals in Man*, California: Biomedical Publications, 2004.
- [9] E. Zuccato, C. Chiabrando, S. Castiglioni, R. Bagnati, and R. Fanelli, “Estimating Community Drug Abuse by Wastewater Analysis,” *Environ. Health Perspect.*, vol. 116, pp. 1027, 2006.
- [10] T. L. Jones-Lepp, D. A. Alvarez, J. D. Petty, and J. N., Huckins, “Polar Organic Chemical Integrative Sampling and Liquid Chromatography-Electrospray/Ion-Trap Mass Spectrometry for Assessing Selected Prescription and Illicit Drugs in Treated Sewage Effluents,” *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, vol. 47, pp. 427, 2004.
- [11] The European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addition (EMCDDA), *Annual report 2009: The state of drugs problem in Europe*, Lisbon. 2009.
- [12] The European Monitoring Centre for Drugs



- and Drug Addition (EMCDDA). *The Annual report 2007: The state of the drug problem in the European Union and Norway*, Lisbon. 2007.
- [13] United Nations Office of Drug and Crime, "World Drug Report 2010," [Online]. Available: http://www.unodc.org/documents/wdr/WDR_2010/World_Drug_Report_2010_lo-res.pdf.
- [14] United Nations Office of Drug and Crime, "World Drug Report 2009," [Online]. Available: http://www.unodc.org/documents/wdr/WDR_2009/WDR2009_eng_web.pdf.
- [15] S. L. Bartelt-Hunt, D. D. Snow, T. Damon, J. Shockley, and K. Hoagland, "The occurrence of illicit and therapeutic pharmaceuticals in wastewater effluent and surface waters in Nebraska," *Environ. Pollut.*, vol. 157, no. 3, pp. 786, 2009.
- [16] S. Castiglioni, E. Zuccato, E. Crisci, C. Chiabrando, R. Fanelli, and R. Bagnati, "Identification and Measurement of Illicit Drugs and Their Metabolites in Urban Wastewater by Liquid Chromatography-Tandem Mass Spectrometry," *Anal. Chem.*, vol. 78, pp. 8421, 2006.
- [17] C. Postigo, M. J. Lopez de Alda, and D. Barcelo, "Fully Automated Determination in the Low Nanogram per Liter Level of Different Classes of Drugs of Abuse in Sewage Water by On-Line Solid-Phase Extraction-Liquid Chromatography-Electrospray-Tandem Mass Spectrometry," *Anal. Chem.*, vol. 80, pp. 3123, 2008.
- [18] M. R. Boleda, M. T. Galceran, and F. Ventura, "Trace determination of cannabinoids and opiates in wastewater and surface waters by ultra-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry," *J. Chromatogr. A*, vol. 1175, no. 1, pp. 38, 2007.
- [19] A. L. N. van Nuijs, B. Pecceu, L. Theunis, N. Dubois, C. Charlier, P. G. Jorens, L. Bervoets, R. Blust, H. Neels, and A. Covaci, "Spatial and temporal variations in the occurrence of cocaine and benzoylecgonine in waste- and surface water from Belgium and removal during wastewater treatment," *Water Res.* vol. 43, no. 5, pp. 1341, 2009.
- [20] E. Zuccato, S. Castiglioni, R. Bagnati, C. Chiabrando, P. Grassi, and R. Fanelli, "Illicit drugs, a novel group of environmental contaminants," *Water Res.*, vol. 42, no.4-5, pp. 961, 2008.
- [21] B. Kasprzyk-Hordern, R. M. Dinsdale, and A. J. Guwy, "The occurrence of pharmaceuticals, personal care products, endocrine disruptors and illicit drugs in surface water in South Wales, UK," *Water Res.* vol. 42, no. 13, pp. 3498, 2008.
- [22] B. Kasprzyk-Hordern, R. M. Dinsdale, and A. J. Guwy, "The removal of pharmaceuticals, personal care products, endocrine disruptors and illicit drugs during wastewater treatment and its impact on the quality of receiving waters," *Water Res.* vol. 43, no. 2, pp. 363, 2009.
- [23] M. Huerta-Fontela, M. T. Galceran, and F. Ventura, "Ultrapformance Liquid Chromatography - Tandem Mass Spectrometry Analysis of Stimulatory Drugs of Abuse in Wastewater and Surface Waters," *Anal. Chem.*, vol. 79, pp. 3821, 2007.
- [24] M. Huerta-Fontela, M. T. Galceran, J. Martin-Alonso, and F. Ventura, "Occurrence of psychoactive stimulatory drugs in wastewaters in north-eastern Spain," *Sci. Total Environ.*, vol. 397, no. 1 - 3, pp. 31, 2008.

- [25] L. Bijlsma, J. V. Sancho, E. Pitarch, M. Ibáñez, and F. Hernández, “Simultaneous ultra-high-pressure liquid chromatography-tandem mass spectrometry determination of amphetamine and amphetamine-like stimulants, cocaine and its metabolites, and a cannabis metabolite in surface water and urban wastewater,” *J. Chromatogr. A*, vol. 1216, no.15, pp. 3078, 2009.
- [26] A. C. Chiaia, C. Banta-Green, and J. Field, “Eliminating Solid Phase Extraction with Large-Volume Injection LC/MS/MS: Analysis of Illicit and Legal Drugs and Human Urine Indicators in US Wastewaters,” *Environ. Sci. Technol.*, vol. 42, no. 23, pp. 8841, 2008.
- [27] B. Loganathan, M. Phillips, H. Mowery, and T. L. Jones-Lepp, “Contamination profiles and mass loadings of macrolide antibiotics and illicit drugs from a small urban wastewater treatment plant,” *Chemosphere*, vol. 75, no. 1, pp. 70. 2009.
- [28] T. L. Jones - Lepp and R. Stevens, “Pharmaceuticals and personal care products in biosolids/ sewage sludge: the interface between analytical chemistry and regulation,” *Anal. Bioanal. Chem.*, vol. 387, pp. 1173. 2007.
- [29] A. L. N. van Nuijs, I. Tarcomnicu, L. Bervoets, R. Blust, P. G. Jorens, H. Neels, and A. Covaci, “Analysis of drugs of abuse in wastewater by hydrophilic interaction liquid chromatography-tandem mass spectrometry,” *Anal. Bioanal. Chem.* vol. 395, pp. 819, 2009.
- [30] I. González-Mariño, J. B. Quintana, I. Rodríguez, R. Rodil, J. González-Peñas, and R. Cela, “Comparison of molecularly imprinted, mixed-mode and hydrophilic balance sorbents performance in the solid-phase extraction of amphetamine drugs from wastewater samples for liquid chromatography-tandem mass spectrometry determination,” *J. Chromatogr. A*, vol. 1216, no. 48. pp. 8435. 2009.
- [31] W. Wongniramaikul, A. Choodum, and N. Daeid, “Determination of amphetamine and methylamphetamine in river water samples by solid phase extraction (SPE) using hydrophilic balance sorbent (HLB) and molecular imprinted polymers (MIPs) and gas chromatography-mass spectrometry,” *J. Chromatogr. A* (Submitted).
- [32] M. Huerta-Fontela, M. T. Galceran, and F. Ventura, “Stimulatory Drugs of Abuse in Surface Waters and Their Removal in a Conventional Drinking Water Treatment Plant,” *Environ. Sci. Technol.*, vol 42, no. 18, pp. 6809, 2008.
- [33] C. Postigo, M. J. López de Alda, and D. Barceló, “Drugs of abuse and their metabolites in the Ebro River basin: Occurrence in sewage and surface water, sewage treatment plants removal efficiency, and collective drug usage estimation,” *Environ. Int.*, vol. 36, no. 1, pp. 75, 2010.
- [34] M. R. Boleda, M. T. Galceran, and F. Ventura, “Monitoring of opiates, cannabinoids and their metabolites in wastewater, surface water and finished water in Catalonia, Spain,” *Water Res.*, vol. 43, no.4, pp1126, 2009.