

การสังเคราะห์งานวิจัยเกี่ยวกับการบำบัดฝุ่น PM 2.5 ด้วยการปลูกพืชพรรณและพื้นที่สีเขียว

Research Synthesis on PM2.5 Treatment by Planting Vegetation and Green Spaces

ฐาวรี ชันสำโรง ประ.ด. (วิทยาศาสตร์สุขภาพ)

จุฑามาศ เทพชัยศรี วท.ม. (จุลชีววิทยา)

สุภกรรณ์ จันทวงศ์ ส.ด. (สาธารณสุขศาสตร์)

วัชรินทร์ พอสม ส.ด. (สาธารณสุขศาสตร์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเวสเทิร์น

Thawari khansamrong Ph.D. (Health Science)

Chutamat Tapchaisri B.Sc. (Microbiology)

Supakan Jantavong Dr.P.H. (Public Health)

Watcharin Porsom Dr.P.H. (Public Health)

Graduate school, Western University

Received : August 23, 2022

Revised : January 21, 2023

Accepted : May 19, 2023

บทคัดย่อ

พืชพรรณและพื้นที่สีเขียวในเมืองต่าง ๆ ทั่วโลกได้รับการยอมรับมากขึ้นว่า เป็นพื้นฐานด้านสุขภาพและความเป็นอยู่ที่ดีของชาวเมืองด้วยการช่วยฟอกอากาศให้สะอาดและกำจัดมลพิษทางอากาศโดยเฉพาะฝุ่น PM2.5 ที่เป็นปัญหาทั่วโลก งานวิจัยนี้เป็นการสังเคราะห์งานวิจัยวิธีปริทัศน์แบบพรรณนาเพื่อจัดทำข้อเสนอแนะเชิงนโยบายในการบำบัดฝุ่น PM2.5 ด้วยพืชพรรณและพื้นที่สีเขียว ประชากรที่ศึกษาคือ งานวิจัยเกี่ยวกับการบำบัดฝุ่น PM2.5 ด้วยพืชพรรณและพื้นที่สีเขียว ช่วงปี 2555-2565 จำนวน 50 เรื่อง รวบรวมข้อมูลด้วยแบบบันทึก กระบวนการวิจัยประกอบด้วย การรวบรวมและประเมินข้อมูล การวิเคราะห์และสังเคราะห์ข้อมูล และการเขียนรายงาน ผลการวิจัยพบว่า กลไกของพืชพรรณ อาทิ การสังเคราะห์แสง การหายใจ การคายน้ำ การเปิดกว้างของปากใบ และการออกแบบของธรรมชาติที่ทำให้พืชพรรณมีความสามารถดักจับฝุ่น PM2.5 ต่างกัน การปลูกพืชพรรณที่มีใบเล็กหนาใบสาก ใบมีขน ใบรูปหอก/รูปไข่ ช่วยดักจับฝุ่น PM2.5 และฟอกอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงการเพิ่มพื้นที่สีเขียวด้วยไม้ยืนต้น ไม้พุ่ม ไม้เถาวัลย์ ไม้เลื้อย สนาทหญ้า ช่วยลดผลกระทบจากฝุ่น PM2.5 ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ข้อเสนอแนะเชิงนโยบายจากการวิจัยคือ รัฐควรเพิ่มนโยบายและแรงจูงใจการบำบัดฝุ่น PM2.5 ด้วยพืชพรรณที่มีศักยภาพดักจับฝุ่นขนาดเล็ก เพิ่มโครงสร้างสีเขียวในเขตเมืองและเขตอุตสาหกรรมรวมทั้งภาคครัวเรือนอย่างจริงจังและมีส่วนร่วม

คำสำคัญ: การปลูกพืชพรรณ พื้นที่สีเขียว ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน

Abstract

Vegetation and green space in cities worldwide have been recognized more and more. They are the fundamental health and well-being of the urban population, helping to purify the air and eliminate air pollution, especially the PM2.5 dust that is a worldwide problem. This study aimed to synthesize research using a narrative review on research features and find policy recommendations for PM2.5 dust treatment with plant cultivation and green spaces during 2012-2021. A total of 50 papers were selected and the record form was used as a research

tool. The research process consists of data collecting and evaluating, data analyzing and synthesizing, report research findings were research process. The results showed that plant mechanisms such as photosynthesis, respiration, transpiration, stomata opening and the design of nature that makes plants have different ability to trap PM2.5 dust helps to trap dust, PM2.5 and purify the air effectively. Including increasing green areas with lawns, vines, creepers, shrubs, perennials, helping to reduce the impact of PM2.5 dust sustainably. The research-based policy recommendations are: the government should increase the policies and campaigns for PM2.5 treatment by planting of potential ultrafine particulars absorbed trapping plants, increasing the green structure in urban and industrial areas as well as the household sector seriously and participatorily.

Keywords: Planting Vegetation, Green Spaces, PM2.5

บทนำ

ปัญหาฝุ่น PM2.5 (ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน) เป็นปัญหาที่เกิดขึ้นทั่วโลก มีผลกระทบต่อมนุษย์ทั้งในด้านสุขภาพ เศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม ซึ่งทวีความรุนแรงโดยเฉพาะในเขตเมือง ฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กนี้สามารถเคลื่อนที่ไปได้ไกลหลายพันกิโลเมตร และยังสามารถแขวนลอยอยู่ในชั้นบรรยากาศนานเป็นปี⁽¹⁾ และส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์อย่างมาก เนื่องจากสามารถผ่านเข้าไปในระบบทางเดินหายใจส่วนล่างไปถึงถุงลมในปอด ทำให้เกิดโรคระบบทางเดินหายใจ ระบบหัวใจและหลอดเลือด ระบบประสาทส่วนกลาง เพิ่มความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งปอด และเสียชีวิตก่อนวัยอันควร⁽²⁾ ผลกระทบด้านสุขภาพเหล่านี้ ส่งผลให้เกิดการศึกษาค้นคว้าอย่างจริงจัง และพบว่า พืชพรรณและพื้นที่สีเขียวในเมืองบรรเทาผลกระทบของมลพิษได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะมลพิษทางอากาศจากฝุ่น PM2.5 อาทิ การศึกษาของ Jeong, Han and Kim⁽³⁾ พบว่า พืชพรรณริมถนนในเมืองทำให้กระแสลมที่พัด PM2.5 เข้ามาสู่ทางเท้าเปลี่ยนแปลง พืชพรรณที่ปลูกระหว่างถนนและทางเท้าจึงมีประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นของ PM2.5 การศึกษาของ Wang, et al.⁽⁴⁾ พบว่า ต้น Silver birch ต้น Yew และต้น Elder บรรเทาผลกระทบจากอนุภาคขนาดเล็กมาก (Ultrafine particles: UFPs) ในสภาพแวดล้อมริมถนนในเมืองได้ร้อยละ 79, 71 และ 70.5 ตามลำดับ และการศึกษาของธนากรรัตนพันธุ์ มณีรัตน์ องค์กรวรรณดี และศิริมา ปัญญาเมธิกุล⁽⁵⁾

พบว่า พื้นที่ใบของต้นเฟิร์นประดิษฐ์ (ไม้ประดับในอาคาร) มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับค่าสัมประสิทธิ์การสูญหายของ PM2.5 ที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) พืชพรรณจึงเป็นทางเลือกที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาและคุ้มค่าในการบรรเทามลพิษจากฝุ่น PM2.5⁽⁶⁾ องค์การอนามัยโลก⁽⁷⁾ จึงแถลงอย่างชัดเจนว่า พืชพรรณและพื้นที่สีเขียวในเมืองต่าง ๆ ทั่วโลก เป็นพื้นฐานด้านสุขภาพและความเป็นอยู่ที่ดีของผู้ที่อาศัยในเมือง และเป็นวิธีแก้ปัญหาจากธรรมชาติอย่างสร้างสรรค์ ช่วยเพิ่มคุณภาพของอากาศในเมือง พืชพรรณจึงเป็นเครื่องมือเดียวที่มีประสิทธิภาพในการลดมลพิษทางอากาศ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสังเคราะห์งานวิจัยวิธีปฏิบัติแบบพรรณนาถึงคุณลักษณะงานวิจัย ข้อค้นพบจากการปลูกพืชพรรณและพื้นที่สีเขียวเพื่อบำบัดฝุ่น PM2.5 และจัดทำข้อเสนอแนะเชิงนโยบายสำหรับการบำบัดฝุ่น PM2.5 ด้วยการปลูกพืชพรรณและพื้นที่สีเขียว อันเป็นประโยชน์แก่หน่วยงานภาครัฐและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการป้องกันและลดผลกระทบจากฝุ่น PM2.5 โดยเฉพาะต่อสุขภาพ ด้วยการบำบัดฝุ่น PM2.5 ที่เป็วิธีแก้ปัญหาจากธรรมชาติ มีประสิทธิภาพ และยั่งยืน

วัตถุประสงค์การวิจัย

1) ศึกษาคุณลักษณะงานวิจัยเกี่ยวกับการบำบัดฝุ่น PM2.5 ด้วยการปลูกพืชพรรณและพื้นที่สีเขียว

2) สังเคราะห์ข้อค้นพบ/ข้อเสนอแนะในงานวิจัย และจัดทำข้อเสนอแนะเชิงนโยบายสำหรับการบำบัดฝุ่น PM2.5 ด้วยการปลูกพืชพรรณและพื้นที่สีเขียว

วิธีการวิจัย

แบบวิจัย เป็นการสังเคราะห์งานวิจัยวิธีปฏิบัติแบบพรรณนา (Narrative Review)

กลุ่มเป้าหมาย เป็นรายงานการวิจัย บทความวิจัย วิทยานิพนธ์ และงานวิจัยเผยแพร่ผ่านสื่อสาธารณะเกี่ยวกับการบำบัดฝุ่น PM2.5 ด้วยการปลูกพืชพรรณและพื้นที่สีเขียวที่เผยแพร่ตีพิมพ์ในประเทศและต่างประเทศ ในช่วงปี พ.ศ.2555-2565 สืบค้นงานวิจัยจากฐานข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ทั้งในประเทศและต่างประเทศ

เกณฑ์การคัดตัวอย่างเข้าโครงการวิจัย: (1) เป็นรายงานวิจัยที่ตีพิมพ์ด้วยภาษาไทยและภาษาอังกฤษเกี่ยวกับการบำบัดฝุ่น PM2.5 ด้วยการปลูกพืชพรรณและพื้นที่สีเขียว และ (2) เป็นรายงานวิจัยที่ตีพิมพ์ในฐานข้อมูลระหว่างปี พ.ศ. 2555 - 2565

เกณฑ์การคัดตัวอย่างออกจากโครงการวิจัย:

(1) เป็นรายงานวิจัยที่ไม่ผ่านการประเมินคุณภาพตามเกณฑ์ และ (2) เป็นรายงานวิจัยที่สืบค้นได้เฉพาะบทคัดย่อ

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือแบบบันทึกคุณลักษณะงานวิจัย ประกอบด้วย 8 ส่วน ได้แก่ (1) หัวข้อวิจัย (2) คณะผู้วิจัย (3) ปีที่พิมพ์ (4) ประเภทของงานวิจัย (5) วัตถุประสงค์ของงานวิจัย (6) ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง (7) ผลการวิจัย/ข้อค้นพบ และ (8) ข้อเสนอแนะในการวิจัย

การเก็บรวบรวมข้อมูลและการสังเคราะห์งานวิจัย

คณะผู้วิจัยใช้กลยุทธ์ PICO เป็นแนวทางดำเนินการวิจัยคือ (1) *P (Participant)* เป็นรายงานการวิจัย บทความวิจัย วิทยานิพนธ์ และงานวิจัยเผยแพร่ผ่านสื่อสาธารณะเกี่ยวกับการบำบัดฝุ่น PM2.5 ด้วยการปลูกพืชพรรณและพื้นที่สีเขียวที่เผยแพร่ตีพิมพ์ในประเทศและต่างประเทศ ในช่วงปี พ.ศ. 2555 - 2565

(2) *I (Intervention)* การใช้คำหรือข้อความ (Keyword) ในการค้นหาข้อมูล เช่น การบำบัดฝุ่น PM2.5 ผลกระทบต่อสุขภาพ พืชพรรณ พื้นที่สีเขียว PM2.5, reduce PM2.5, plant reduce PM2.5, water reduce PM2.5, water body reduce PM2.5, wind reduce PM2.5, plant species removal PM2.5, models for reduce PM2.5, tree position reduce PM2.5, Planting Vegetation, Green Spaces เป็นต้น สืบค้นงานวิจัยจากฐานข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ทั้งในประเทศและต่างประเทศ ได้แก่ TDC (Thai Digital Collection), TCI, Google Scholar, Scopus, ScienceDirect, PubMed, SpringerLink, BMC (BioMed Central), MDPI (Multidisciplinary Digital Publishing Institute) และ Public Library of Science (3) *C (Comparison)* ไม่มีการเปรียบเทียบ และ (4) *O (Outcome)* ข้อเสนอแนะเชิงนโยบายสำหรับการบำบัดฝุ่น PM2.5 ได้แก่ การลดปริมาณความเข้มข้นของฝุ่น PM2.5 การดักจับฝุ่น PM2.5 รูปแบบการปลูกต้นไม้ที่ดักจับฝุ่น PM2.5 และการใช้โครงสร้างพื้นฐานสีเขียว การเก็บรวบรวมและตรวจสอบข้อมูล มี 4 ขั้นตอน คือ

1) Identification: คณะผู้วิจัยร่วมกันระบุคำค้นและแหล่งข้อมูล แล้วกำหนดคำค้นและฐานข้อมูล

2) Selection & Evaluation: คณะผู้วิจัยทั้ง 4 คน สืบค้นงานวิจัยจากฐานข้อมูล คัดเลือกงานวิจัยเข้ามาเป็นกลุ่มตัวอย่างตามเกณฑ์คัดเข้าได้จำนวน 250 เรื่อง/ชิ้น จากนั้นลดความลำเอียง (Publication bias and Selection bias) โดยคณะผู้วิจัยร่วมกันประเมินคุณภาพงานวิจัยโดยใช้แบบประเมินคุณภาพงานวิจัยภาพรวมของบุญชม ศรีสะอาด⁽⁸⁾ ใน 6 ประเด็น ให้คะแนนแบบมาตราประมาณค่า (Rating scale) 5 ระดับคือ ดีเด่น ดีมาก ดีพอใช้ ปรับปรุง หลังจากคณะผู้วิจัย 4 คนให้คะแนนแล้ว นำคะแนนรวมของแต่ละงานวิจัยหาค่าเฉลี่ย แล้วคิดเปอร์เซ็นต์ตั้งแต่ร้อยละ 80 ขึ้นไป ได้จำนวน 50 เรื่อง/ชิ้น

3) Abstraction: คณะผู้วิจัยอ่านงานวิจัยและหาข้อสรุปร่วมกัน โดยถือเสียง 3 ใน 4 มีความเห็นสอดคล้องกัน

จึงบันทึกข้อมูลที่สกัดตามแบบบันทึกคุณลักษณะงานวิจัย 8 ส่วน กรณีมีความเห็นไม่มีเสียงข้างมาก คณะผู้วิจัยจะหารือที่ปรึกษางานวิจัย

4) Analysis: การวิเคราะห์และสังเคราะห์ข้อมูล คณะผู้วิจัยใช้แนวทางของนงลักษณ์ วิรัชชัย⁽⁹⁾ ดังนี้ (1) การสำรวจรวบรวมงานวิจัยและบันทึกคุณลักษณะงานวิจัยในแบบบันทึก (2) อ่านงานวิจัยในภาพรวมแล้วกำหนดกรอบแสดงความสัมพันธ์และสร้างความเชื่อมโยงระหว่างงานวิจัยที่สังเคราะห์ และ (3) แปลความหมายและสังเคราะห์การแปลความหมาย ในลักษณะของการสร้างทฤษฎีฐานราก (Grounded Theory) แล้วสรุปเขียนรายงานผลการวิจัย

การรับรองจริยธรรมการวิจัย ผ่านการรับรองจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ของมหาวิทยาลัยเวสเทิร์น เลขที่ WTU 2563-0065 รหัสโครงการ HE-WTU 542896 เมื่อวันที่ 8 ตุลาคม 2563

ผลการวิจัย

1) คุณลักษณะงานวิจัยเกี่ยวกับการบำบัดฝุ่น PM2.5 ด้วยการปลูกพืชพรรณและพื้นที่สีเขียว

กลุ่มตัวอย่างที่ศึกษามีจำนวนทั้งหมด 50 เรื่อง/ชิ้น เป็นงานวิจัยในประเทศ 10 เรื่อง (ร้อยละ 20.0) และต่างประเทศ 40 เรื่อง (ร้อยละ 80.0) พบว่า ปีที่ตีพิมพ์เผยแพร่มากที่สุดคือ ปีพ.ศ. 2564 ร้อยละ 26.0 รองลงมาคือ ปีพ.ศ. 2563 2565 และ 2559 ร้อยละ 16.0 14.0 และ 12.0 ตามลำดับ ประเภทการวิจัย มากที่สุดคือ บทความวิจัย ร้อยละ 88.0 รองลงมาคือ วิทยานิพนธ์ ร้อยละ 6.0 และบทความปริทัศน์ รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ และงานวิจัยเผยแพร่ผ่านสื่อสาธารณะ ร้อยละ 2.0 เท่ากัน และแบบวิจัยมากที่สุดคือ การวิจัยเชิงทดลอง (Experimental research) ร้อยละ 92.0 รองลงมาคือ การวิจัยเอกสาร (Documentary research) และงานวิจัยสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ (Computational Modeling Use) ร้อยละ 8.0 และ 16.0 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณลักษณะงานวิจัยเกี่ยวกับการบำบัดฝุ่น PM2.5 ด้วยการปลูกพืชพรรณและพื้นที่สีเขียว จำแนกตามแหล่งตีพิมพ์ ปีที่พิมพ์ ประเภทการวิจัย และแบบวิจัย (n=50)

คุณลักษณะงานวิจัย	จำนวน (ร้อยละ)
แหล่งตีพิมพ์	
- ต่างประเทศ	40 (80.0)
- ในประเทศ	10 (20.0)
ปีที่เผยแพร่ตีพิมพ์	
- พ.ศ. 2565	7 (14.0)
- พ.ศ. 2564	13 (26.0)
- พ.ศ. 2563	8 (16.0)
- พ.ศ. 2562	4 (8.0)
- พ.ศ. 2561	4 (8.0)
- พ.ศ. 2560	4 (8.0)
- พ.ศ. 2559	6 (12.0)
- พ.ศ. 2558	2 (4.0)
- พ.ศ. 2557	1 (2.0)
- พ.ศ. 2556	1 (2.0)

ตารางที่ 1 คุณลักษณะงานวิจัยเกี่ยวกับการบำบัดฝุ่น PM2.5 ด้วยการปลูกพืชพรรณและพื้นที่สีเขียว จำแนกตามแหล่งตีพิมพ์ ปีที่พิมพ์ ประเภทการวิจัย และแบบวิจัย (n=50) (ต่อ)

คุณลักษณะงานวิจัย	จำนวน (ร้อยละ)
ประเภทวิจัย	
- บทความวิจัย	44 (88.0)
- วิทยานิพนธ์	3 (6.0)
- บทความปริทัศน์	1 (2.0)
- รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์	1 (2.0)
- งานวิจัยเผยแพร่ผ่านสื่อสาธารณะ	1 (2.0)
แบบวิจัย	
- การวิจัยเชิงทดลอง (Experimental research)	39 (78.0)
- การวิจัยสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ (Computational Modeling)	7 (14.0)
- การวิจัยเอกสาร (Documentary research)	4 (8.0)

2) การสังเคราะห์ข้อค้นพบและข้อเสนอแนะในงานวิจัย

การสังเคราะห์ข้อค้นพบ แบ่งเป็น 2 ประการ คือ

(1) การใช้สายพันธุ์พืช คุณลักษณะของใบพืช สัตว์

วิทยาของใบพืช และรูปแบบการปลูกต้นไม้ดักจับฝุ่น PM2.5 อย่างมีประสิทธิภาพ และ (2) ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของฝุ่น PM2.5 ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการสังเคราะห์งานวิจัยเกี่ยวกับการบำบัดฝุ่น PM2.5 ด้วยการปลูกพืชพรรณและพื้นที่สีเขียว (n=50)

ผลการวิจัย/ ข้อค้นพบสำคัญ	เอกสารอ้างอิง
1) การใช้สายพันธุ์พืช คุณลักษณะของใบพืช สัตว์วิทยาของใบพืช และรูปแบบการปลูกต้นไม้ดักจับฝุ่น PM2.5 อย่างมีประสิทธิภาพ	
1.1) สายพันธุ์พืชที่ดักจับฝุ่น PM2.5 อย่างมีประสิทธิภาพ จำแนกได้ดังนี้	ธนากร รัตนพันธุ์ และคณะ ⁽⁵⁾ , Hukum Singh, et al. ⁽⁶⁾ , Hong Chen, et al. ⁽¹⁴⁾ , Erum Kazi, et al. ⁽¹⁷⁾
(1) ไม้ยืนต้น-พุ่มยอดเรือน ได้แก่ ต้น <i>Silver birch</i> ต้น <i>Yew</i> ต้น <i>Alstonia scholaris</i> ต้น <i>Neolamarckia cadamba</i> ต้น <i>Ficus religiosa</i> ต้น <i>Ficus benghalensis</i> ต้น <i>Pinus densiflora</i> ต้นตะขบฝรั่ง ต้นแปรงล้างขวด ต้นอินทนิล ต้นแคแสด ต้นทองอุไร ต้นกรรณิการ์	K.V. Abhijith & Prashant Kumar ⁽²⁰⁾ , Jiansheng Wu, et al. ⁽²⁴⁾ , Sunita Shrestha, et al. ⁽²⁶⁾ , Kei-Jung Kwon, et al. ⁽²⁹⁾ , Huixia Wang, et al. ⁽³³⁾ , Sudipta Mukherjee, et al. ⁽³⁴⁾ , Min-Gi Cho, et al. ⁽³⁹⁾ , K.V. Abhijith, et al. ⁽⁴⁰⁾ , Huseyin Ozdemir ⁽⁴³⁾ , กันติทัต ทับสุวรรณ และศิริเดช สุริต ⁽⁴⁹⁾ , วรญา ยุวะสุต ⁽⁵⁰⁾ , ชัยรัตน์ ตรีทรัพย์สุนทร และคณะ ⁽⁵¹⁾ , พาลินี สุนากร และคณะ ⁽⁵⁵⁾ , นฤพร ดวงจันทร์ ⁽⁵⁶⁾
(2) ไม้พุ่ม ได้แก่ ต้น <i>Buxus sinica</i> ต้น <i>Buxus megistophylla</i> ต้น <i>Ligustrum×vicaryi</i> ต้น <i>Ligustrum-lucidum</i> ต้น <i>Nerium oleander</i> ต้น <i>Viburnum odoratissimum var</i> ต้น <i>Elder</i> ต้น <i>Juniperus chinensis L.</i> ต้นกุยฮิมสม ต้นชาฮกเกี้ยน ต้นนีออน	

ตารางที่ 2 ผลการสังเคราะห์งานวิจัยเกี่ยวกับการบำบัดฝุ่น PM2.5 ด้วยการปลูกพืชพรรณและพื้นที่สีเขียว (n=50) (ต่อ)

ผลการวิจัย/ ข้อค้นพบสำคัญ	เอกสารอ้างอิง
(3) ไม้ดอก ได้แก่ ต้นแก้วมรกต ต้นพรมกำมะหยี่	ธนากร รัตนพันธุ์ และคณะ ⁽⁵⁾ , María Del Carmen Redondo-Bermúdez, et al. ⁽²²⁾ , Rocco Pace & Rüdiger Grote ⁽¹⁸⁾ , Udeshika Weerakkody, et al. ⁽³⁶⁾ , วรญา ยุวะสุด ⁽⁶⁰⁾ , นฤพร ดวงจันทร์ ⁽⁵⁶⁾
(4) ไม้ล้มลุก ได้แก่ ต้นคล้าแววมยุรา	
ต้นคล้ากาเหว่าลาย	
(5) เฟิร์น ได้แก่ ต้นเฟิร์นขนนก	Hong Chen, et al. ⁽¹⁴⁾ , Prashant Kumar, et al. ⁽¹⁵⁾ , Katarzyna Wróblewska & Byoung Ryong Jeong ⁽¹⁸⁾ , Mamatha Tomson, et al. ⁽¹⁹⁾ , María Del Carmen Redondo-Bermúdez, et al. ⁽²²⁾ , Sunita Shrestha, et al. ⁽²⁶⁾ , Dan Liang, et al. ⁽⁴²⁾
(6) ไม้เลื้อย ได้แก่ ต้นพลูปีกนก ต้นพลูอินโด	
ต้นสร้อยอินทนิล	
(7) ไม้อิงอาศัย ได้แก่ เคราฤาษี	กัณติทัต ทับสุวรรณ และศิริเดช สุริต ⁽⁴⁹⁾
1.2) คุณลักษณะของใบพืชที่ดักจับฝุ่น PM2.5 อย่างมีประสิทธิภาพ ได้แก่ ใบเข็มสน ใบที่มีขนาดกว้าง ใบขนาดเล็ก หยาด และมีพื้นผิว รูปใบหอกและรูปไข่ ใบสากและมีขน	
1.3) สันฐานวิทยาของใบพืชที่ดักจับฝุ่น PM2.5 อย่างมีประสิทธิภาพ ได้แก่ ร่องลึกและส่วนที่ยื่นออกมาร่อง (Grooves) สันเขา (Ridges)	
1.4) ไตรโคม (Trichomes) ความหนาแน่นของปากใบ ปริมาณขี้ผึ้งที่ปากทันทันต่อความแห้งแล้ง และประจุแม่เหล็กไฟฟ้าของผิวใบพืช	
1.5) รูปแบบการปลูกต้นไม้ที่ดักจับฝุ่น PM2.5 อย่างมีประสิทธิภาพ	Na-Ra Jeong, et al. ⁽³⁾ , KV. Abhijith & Prashant Kumar ⁽²⁰⁾ , Hukum Singh, et al. ⁽²⁷⁾ , Kei-Jung Kwon, et al. ⁽²⁹⁾ , KV. Abhijith & Prashant Kumar ⁽³¹⁾ , Huseyin Ozdemir ⁽³²⁾ , Riccardo Buccolieri, et al. ⁽³⁸⁾ , Min-Gi Cho, et al. ⁽³⁹⁾ , E.W. Bodnaruk, et al. ⁽⁴¹⁾ , Wissal Selmi, et al. ⁽⁴⁴⁾ , K.V. Abhijith & Sharad Gokhale ⁽⁴⁶⁾ , Sijia Jin, et al. ⁽⁴⁷⁾ , เอก เจริญศิลป์ และ นภัสวัลย์ เกิดนรินทร์ ⁽⁵²⁾
(1) การปลูกต้นไม้ริมถนนด้วยต้นไม้ชั้นเดียวหรือหลายชั้น ปลูกต้นไม้แบบหนาแน่นไม่มีช่องว่าง ปลูกต้นไม้ในอาคารสูง ปลูกต้นไม้ที่มีเรือนยอด (Tree crowns) ทรงพุ่มมีความพรุนสูง หนาแน่นต่ำ	Robert Popek, et al. ⁽¹⁰⁾ , Xin Guo, et al. ⁽²⁵⁾ , Kei-Jung Kwon, et al. ⁽²⁹⁾ , Riccardo Buccolieri, et al. ⁽³⁸⁾ , KV. Abhijith, et al. ⁽⁴⁰⁾ , เอก เจริญศิลป์ และ นภัสวัลย์ เกิดนรินทร์ ⁽⁵²⁾
(2) การปลูกไม้พุ่มหรือไม้พุ่มเตี้ย	Na-Ra Jeong, et al. ⁽³⁾ , Robert Popek, et al. ⁽¹⁰⁾ , เอก เจริญศิลป์ และนภัสวัลย์ เกิดนรินทร์ ⁽⁵²⁾
(3) การปลูกไม้ล้มลุกและทุ่งหญ้า	KV. Abhijith & Prashant Kumar ⁽²⁰⁾ , Kei-Jung Kwon, et al. ⁽²⁹⁾ , เอก เจริญศิลป์ และนภัสวัลย์ เกิดนรินทร์ ⁽⁵²⁾ , พาลินี สุนากร และคณะ ⁽⁵⁵⁾
(4) การปลูกไม้เถาวัลย์/ไม้เลื้อย	

ตารางที่ 2 ผลการสังเคราะห์งานวิจัยเกี่ยวกับการบำบัดฝุ่น PM2.5 ด้วยการปลูกพืชพรรณและพื้นที่สีเขียว (n=50) (ต่อ)

ผลการวิจัย/ ข้อค้นพบสำคัญ	เอกสารอ้างอิง
(5) การปลูกป่าแนว	ศิริพงศ์ สุขทวี และคณะ ⁽⁵³⁾
(6) การใช้โครงสร้างพื้นฐานสีเขียว (Green Infrastructure: GI) ได้แก่ กำแพงพืชพรรณ (Green wall) ตรอกต้นไม้ (Tree alley) และแผงกั้นพืชพรรณ (Green screens) หลังคาพืชพรรณ (Green roofs) แผงไม้เลื้อย รั้วทึบสีเขียว (Vegetation barriers) ที่มีรูปทรง และการจัดตั้งแถบสีเขียวของถนน (The establishment of the road green belt-RGB)	Na-Ra Jeong, et al. ⁽³⁾ , ธนากร รัตนพันธุ์ และคณะ ⁽⁵⁾ , Alibek Issakhov, et al. ⁽¹¹⁾ , Huiting Chen, et al. ⁽¹²⁾ , Katarzyna Wróblewska & Byoung Ryong Jeong ⁽¹⁸⁾ , María Del Carmen Redondo-Bermúdez, et al. ⁽²²⁾ , Jiansheng Wu, et al. ⁽²⁴⁾ , Sunita Shrestha, et al. ⁽²⁶⁾ , K. V. Abhijith & Prashant Kumar ⁽³⁰⁾ , Basu Arunima Sarkar, et al. ⁽³¹⁾ , KV. Abhijith & Prashant Kumar ⁽³⁷⁾ , KV. Abhijith, et al. ⁽⁴⁰⁾ , ชัยรัตน์ ตรีทรัพย์สุนทร และคณะ ⁽⁶¹⁾ , นพมาศ ทับแสง ⁽⁵⁴⁾ , ชัยรัตน์ ตรีทรัพย์สุนทร และคณะ ⁽⁵⁷⁾
2) ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการลดความเข้มข้นของฝุ่น PM2.5	
2.1) การใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ ได้แก่ โมเดล i-Tree Eco การวิเคราะห์พลศาสตร์ของไหลเวียน (Computational Fluid Dynamics: CFD) การคำนวณปริมาณ/ น้ำหนักอนุภาคขนาดเล็ก การศึกษาความสัมพันธ์พื้นที่ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม/มลพิษทางอากาศด้วยข้อมูลขนาดใหญ่ทางอินเทอร์เน็ต (Big data-based urban greenness)	Wenjie Wang, et al. ⁽¹³⁾ , Biao Zhang, et al. ⁽²¹⁾ , Pace R & Grote R ⁽²⁷⁾ , Basu Arunima Sarkar, et al. ⁽³⁰⁾ , E.W. Bodnaruk, et al. ⁽⁴⁰⁾ , Wissal Selmi, et al. ⁽⁴³⁾
2.2) การวัดค่าความเข้มข้นของฝุ่น PM2.5 ภายใต้ความเร็วลม การไหลของยานพาหนะ อุณหภูมิ ช่วงเวลา ฤดูกาล พืชศาสตร์ และภูมิประเทศที่แตกต่างกัน	Irene Vigevani, et al. ⁽²³⁾ , Jiansheng Wu, et al. ⁽²⁴⁾ , Udeshika Weerakkody, et al. ⁽³⁵⁾ , Min-Gi Cho, et al. ⁽³⁸⁾ , Zheming Tong, et al. ⁽⁴⁴⁾ , Peter E.J. Vos, et al. ⁽⁴⁷⁾
2.3) การวัดค่าความเข้มข้นของฝุ่น PM2.5 ที่ถูกสกัดกั้นโดยใบพืช (IPMC) ซึ่งแปรผกผันกับค่าความเข้มข้นของฝุ่น PM2.5	Carlos Zafra-Mejía, et al. ⁽¹⁶⁾ , Jiansheng Wu, et al. ⁽²⁴⁾
2.4) การวัดปริมาณการสะสมฝุ่น PM2.5 ในทางเดินหายใจ (Respiratory deposition doses: RDD) เพื่อวัดคุณภาพอากาศ	KV. Abhijith & Prashant Kumar ⁽²⁹⁾
2.5) การวัดปริมาณ PFR (Purging Flow Rate) และ NEV (Net Escape Velocity) วัดคุณภาพอากาศ หลังเพิ่มพื้นที่สีเขียว	Xin Guo, et al. ⁽²⁵⁾

3) ข้อเสนอแนะเชิงนโยบายสำหรับการบำบัดฝุ่น PM2.5 ด้วยการปลูกพืชพรรณและพื้นที่สีเขียว

3.1) รัฐควรเพิ่มเติมนโยบายและประชาสัมพันธ์การบำบัดฝุ่น PM2.5 ด้วยพืชพรรณที่มีศักยภาพสูงในการดักจับฝุ่นขนาดเล็ก ได้แก่ พืชพรรณที่มีใบเล็กหยาบ ใบสาก ใบรูปหอก ใบรูปไข่ ใบมีขน และพืชพรรณที่มีสัณฐานวิทยาลักษณะมีร่องลึกและส่วนที่ยื่นออกมา ร่อง (Grooves) สันเขา (Ridges) ไตรโคม (Trichomes) ความหนาแน่นของปากใบ ปริมาณขี้ผึ้งที่ปากใบ ความทนทานต่อความแห้งแล้งของปากใบ และประจุแม่เหล็กไฟฟ้าของผิวใบพืช เช่น ต้นฤๅษีผสม ต้นกัวมรดก ต้นชาฮกเกี้ยน ต้นพรมกำมะหยี่ ต้นคล้าแวมยुरา ต้นคล้ากาเหว่าลาย ต้นเฟิร์นขนนก ต้นพลูปีกนก ต้นพลูอินโด ต้นเศรษฐี ต้นสร้อยอินทนิล ต้นสนเข็ม ต้นตะขบฝรั่ง ต้นแปรงล้างขวด ต้นอินทนิล ต้นแคแสด ต้นทองอุไร ต้นกระถินกร์ ต้นน๊อสน เป็นต้น

3.2) รัฐควรส่งเสริมการลดความเข้มข้นของฝุ่น PM2.5 โดยการสนับสนุนทุกภาคส่วนปลูกพืชพรรณที่มีลำต้นและใบเจริญเติบโตในแนวตั้ง เพราะมีพื้นผิวสัมผัสมากสามารถดักจับฝุ่น PM2.5 ได้มากกว่าพืชพรรณเจริญเติบโตแนวราบ ได้แก่ ต้นไม้ที่มีเรือนยอด (Tree crowns) ทรงพุ่ม และไม้พุ่ม และสอดแทรกทุกพื้นที่ในเขตเมือง รวมทั้งใช้วิธีการธรรมชาติ อาทิ การใช้ราที่ย่อยสลาย PAHs (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons) เช่น รากลุ่มไซโกไมสท์ รากลุ่มบาสิดีโอไมสท์แบบ white rot เป็นต้น การใช้พืชดัดแปลงพันธุกรรม (Transgenic plant) และ การใช้จุลินทรีย์ เช่น แบคทีเรีย รา เป็นต้น เพิ่มศักยภาพดักจับฝุ่นขนาดเล็ก ความทนทานต่อมลพิษทางอากาศ กระตุ้นการเจริญเติบโตและการพัฒนาการของพืชพรรณ ตลอดจนสนับสนุนการใช้ปัจจัยที่ส่งผลต่อการดักจับฝุ่น PM2.5 ของใบพืช ได้แก่ สภาพพลศาสตร์ (ความเร็วลมและทิศทางลม) ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ ช่วงเวลา การไหลของยานพาหนะ และคุณสมบัติทางสรีรวิทยาอื่นของพืชพรรณ เช่น อัตราการสังเคราะห์แสงของใบ อัตราการคายน้ำของใบ ระดับการเปิดกว้างของปากใบ เป็นต้น ร่วมบรรเทาผลกระทบจากฝุ่น PM2.5 โดยเฉพาะบริเวณที่มีการจราจรหนาแน่นในเขตเมือง

อาทิ การปลูกต้นไม้และพุ่มไม้แบบกำแพงบนทางเท้าของถนน 4 เลนและ 6 เลน การปลูกต้นไม้และพุ่มไม้แบบขนานหรือตั้งฉากในที่จอดรถ

3.3) รัฐควรผลักดันนโยบายเพิ่มพื้นที่สีเขียวในเขตเมืองอย่างจริงจังและเร่งด่วน ร่วมกับการใช้ข้อมูลทางอินเทอร์เนตขนาดใหญ่ (Big data-based urban greenness) ในมุมมองถนน (Street view) และมุมมองถ่ายภาพ (Bird's eye view) วางแผนเพิ่มพื้นที่สีเขียวเชิงกลยุทธ์ และพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานสีเขียว (Green Infrastructure: GI) อย่างเป็นรูปธรรม โดยเฉพาะในเมืองใหญ่และพื้นที่อุตสาหกรรม เพราะเป็นเครื่องมือลดมลพิษทางอากาศที่ได้ผลเยี่ยม ในสัดส่วน GI ร้อยละ 15 ต่อพื้นที่ทั้งหมดหรือปรับผังเมืองเดิมที่มีข้อจำกัดร่วมกับการพัฒนา GI

3.4) รัฐควรส่งเสริมการมีส่วนร่วมของประชาชนในการลดปริมาณฝุ่น PM2.5 ผ่านการเรียนรู้และรณรงค์ปลูกพืชพรรณและเพิ่มพื้นที่สีเขียวภาคครัวเรือน ด้วยการปลูกไม้ยืนต้น ไม้เถาวัลย์/ไม้เลื้อย ไม้พุ่ม ไม้สนามหญ้า (ทุ่งหญ้า) โดยเฉพาะต้นไม้ดักจับฝุ่น PM2.5 (ข้อ 3.1) โดยคำนึงถึงการแพ้ (Allergy) ส่วนต่างๆ ของพืชพรรณร่วมด้วย

อภิปรายผล

ข้อค้นพบและข้อเสนอแนะเชิงนโยบายสำหรับการบำบัดฝุ่น PM2.5 ด้วยการปลูกพืชพรรณและพื้นที่สีเขียวมีดังนี้

1) การบำบัดฝุ่น PM2.5 ด้วยพืชพรรณที่มีศักยภาพสูงในการดักจับฝุ่นขนาดเล็ก ได้แก่ พืชพรรณที่มีใบเล็กหยาบ ใบสาก ใบรูปหอก ใบรูปไข่ ใบมีขน^(21,26,35) และพืชพรรณที่มีสัณฐานวิทยา ลักษณะมีร่องลึกและส่วนที่ยื่นออกมาร่อง (Grooves) สันเขา (Ridges) ไตรโคม (Trichomes) ความหนาแน่นของปากใบ ปริมาณขี้ผึ้งที่ปากใบ ความทนทานต่อความแห้งแล้งของปากใบ และประจุแม่เหล็กไฟฟ้าของผิวใบพืช^(17,18,41) สอดคล้องกับข้อสรุปของวรญา ยุวะสุด⁽⁴⁹⁾ ที่พบว่า พันธุ์ไม้ที่มีลักษณะผิวใบสากและมีขนดักจับฝุ่น PM2.5 ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และผลการศึกษาของ Mamatha และ

คณะ⁽¹⁹⁾ พบว่า ความสามารถในการลดมลพิษของพันธุ์พืชส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับสัณฐานวิทยาของพืชที่สัมพันธ์กับสภาพแวดล้อมทางกายภาพ และลักษณะเฉพาะของใบทางจุลสัณฐานบางประการมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการสะสมฝุ่น PM2.5 ได้แก่ ร่อง สันเขา ไตรโคม ความหนาแน่นของปากใบและปริมาณขี้ผึ้งที่ปากใบ

2) การลดความเข้มข้นของฝุ่น PM2.5 ด้วยการปลูกพืชพรรณที่มีลำต้นและใบเจริญเติบโตในแนวตั้งให้ผลดีกว่าพืชพรรณเจริญเติบโตแนวราบ เนื่องจากมีพื้นผิวสัมผัสของใบพืชมาก จึงสามารถดักจับฝุ่น PM2.5 ได้มากกว่าพืชพรรณเจริญเติบโตแนวราบ^(25,35,48) ได้แก่ ต้นไม้ที่มีเรือนยอด (Tree crowns) ทรงพุ่ม และไม้พุ่ม นอกจากต้นไม้ที่มีเรือนยอดทรงพุ่มจะมีลำต้นและใบเจริญเติบโตแนวตั้งแล้ว ยังมีความพรุนสูงและความหนาแน่นต่ำ จึงเพิ่มประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นของ PM2.5 ยิ่งขึ้นไปอีก⁽⁴⁵⁾ นอกจากนี้ การใช้วิธีการธรรมชาติ อาทิ การใช้พืชย่อยสลาย PAHs (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons) เช่น รากลุ่มไซโกไมสิท รากลุ่มบาลิติโอไมสิทแบบ white rot เป็นต้น การใช้พืชตัดแปลงพันธุกรรม (Transgenic plant) และ การใช้จุลินทรีย์ เช่น แบคทีเรีย รา เป็นต้น ช่วยเพิ่มศักยภาพดักจับฝุ่นขนาดเล็ก ความทนทานต่อมลพิษทางอากาศ และการเจริญเติบโตของพืชพรรณ⁽¹⁷⁾ และการนำปัจจัยที่ส่งผลต่อการดักจับฝุ่น PM2.5 ของใบพืช ได้แก่ อากาศพลศาสตร์ (ความเร็วลมและทิศทางลม)^(15,23,38,49) ปริมาณน้ำฝน^(15,49) อุณหภูมิ^(15,23) ช่วงเวลาการไหลของยานพาหนะ⁽²³⁾ และคุณสมบัติทางสรีรวิทยาอื่นของพืชพรรณ เช่น อัตราการสังเคราะห์แสงของใบ อัตราการคายน้ำของใบ ระดับการเปิดกว้างของปากใบ เป็นต้น^(41,53) สามารถบรรเทาผลกระทบจากฝุ่น PM2.5 ได้ดียิ่งขึ้นสอดคล้องกับการศึกษาของ Shrestha และคณะ⁽²⁶⁾ พบว่า การพิจารณาสายพันธุ์พืชที่มีความทนทานต่อมลพิษทางอากาศและศักยภาพในการดักจับฝุ่นละอองจะ

เป็นประโยชน์ต่อการออกแบบแนวเขตสีเขียวในเมืองและพื้นที่ที่มีการจราจรหนาแน่น

3) การเพิ่มพื้นที่สีเขียวในเขตเมืองร่วมกับการใช้ข้อมูลทางอินเทอร์เน็ตขนาดใหญ่ (Big data-based urban greenness) ในมุมมองถนน (Street view) และมุมมองถ่ายภาพ (Bird's eye view) ช่วยให้เกิดการวางแผนเพิ่มพื้นที่สีเขียวเชิงกลยุทธ์ เนื่องจากข้อมูลทางอินเทอร์เน็ตขนาดใหญ่สามารถระบุความสัมพันธ์ของความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและมลพิษทางอากาศจากมาตราส่วนมุมมองถนน (Street view scale) ซึ่งสามารถสนับสนุนการจัดการความเขียวขจีในเมืองได้อย่างมีประสิทธิภาพ⁽¹³⁾ นอกจากนี้การพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานสีเขียว (Green Infrastructure: GI) อย่างเป็นรูปธรรม โดยเฉพาะในเมืองใหญ่และพื้นที่อุตสาหกรรม ถือเป็นเครื่องมือลดมลพิษทางอากาศที่ได้ผล โดยสัดส่วนของ GI คือ ร้อยละ 15 ต่อพื้นที่ทั้งหมด และสามารถปรับผังเมืองเดิมที่มีข้อจำกัดร่วมกับการพัฒนา GI ดังผลการศึกษาของ Huiting Chen และคณะ⁽¹²⁾ เสนอว่า สัดส่วน GI ที่เหมาะสมคือ ร้อยละ 15 ของพื้นที่ทั้งหมด แต่อาจแตกต่างกันไปตามลักษณะเฉพาะของพื้นที่ เช่น พื้นที่อุตสาหกรรมมีความต้องการ GI ที่มากขึ้น เพราะต้องการการปรับปรุงคุณภาพอากาศและบรรเทาสภาวะอากาศร้อนที่มีมากกว่าพื้นที่อื่น ทั้งนี้ Li, Uyttenhove และ Eetvelde⁽⁵⁷⁾ ชี้ว่าความแตกต่างทางภูมิศาสตร์ทางกายภาพสภาพเศรษฐกิจและสังคมของแต่ละพื้นที่ ส่งผลให้ความต้องการ GI แตกต่างกันไป

การปลูกพืชพรรณและเพิ่มพื้นที่สีเขียวเป็นการบำบัดฝุ่น PM2.5 ด้วยกระบวนการทางธรรมชาติ ซึ่งเป็นหลักการและแนวทางบำบัดฝุ่น PM2.5 ที่ยั่งยืน ภาครัฐจึงควรเร่งรัดนโยบายบำบัดฝุ่น PM2.5 ด้วยการปลูกพืชพรรณและพื้นที่สีเขียวให้เกิดประโยชน์อย่างทันการณ์ทั้งในระยะสั้นและระยะยาว

เอกสารอ้างอิง

- Grantza DA, Garnerb JHB, Johnson DW. Ecological effects of PM. *Environ Int* 2003; 29: 213–39.
- วงศ์กร สุขาว์อินทร์. PM2.5: ผลกระทบต่อสุขภาพและกลไกการเกิดพิษ (อินเทอร์เน็ต). 2563 [เข้าถึงเมื่อ 8 มิถุนายน 2565]. เข้าถึงได้จาก: https://ccpe.pharmacycouncil.org/index.php?option=article_detail&subpage=article_detail&id=638
- Jeong NR, Han SW, Kim JH. Evaluation of vegetation configuration models for managing particulate matter along the urban street environment. *Forests* 2022; 13(1): 46.
- Wang H, Maher AB, Ahmed IA, Davison B. Efficient removal of ultrafine particles from diesel exhaust by selected tree species: implications for roadside planting for improving the quality of urban air. *Environ Sci Technol* 2019; 53(12): 6906–16.
- ธนากร รัตนพันธุ์, มณีรัตน์ องค์กรธรณี, ศิริมา ปัญญาเมธิกุล. การประเมินความสามารถของต้นไม้ประดับในการดักจับอนุภาคขนาดเล็กในอาคาร. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่* 2017; 24(3): 69–80.
- Singh H, Yadav M, Kumar N, Kumar A, Kumar M. Assessing adaptation and mitigation potential of roadside trees under the influence of vehicular emissions: A case study of *Grevillea robusta* and *Mangifera indica* planted in an urban city of India. *PLoS One* 2020; 15(1): e0227380.
- WHO. Urban green spaces: a brief for action. Regional Office for Europe, UN City, Marmorvej 51, DK-2100 Copenhagen Ø, Denmark; 2017.
- บุญชม ศรีสะอาด. การวิจัยเบื้องต้น. กรุงเทพฯ: สุวีริยาสาส์น; 2543.
- นางลักษณ์ วิรัชชัย. การสังเคราะห์งานวิจัยเกี่ยวกับคุณภาพการศึกษาไทย: การวิเคราะห์ห่อภิมาน. กรุงเทพฯ: สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ; 2552.
- Popek R, Pieniak BF, Chylinski F, Pawelkowicz M, Jan Bobrowicz, Chrzanowska D, et al. Not only trees matter—traffic-related PM accumulation by vegetation of urban forests. *Sustainability* 2022; 14(5): DOI: 10.3390/su14052973.
- Issakhov A, Tursynzhanov A, Abylkassymov A. Numerical study of air pollution exposure in idealized urban street canyons: porous and solid barriers. *Urban Clim* 2022; 43: 101112.
- Chen H, Wang N, Liu Y, Zhang Y, Lu Y, Li X, et al. A green infrastructure planning framework—guidance for priority, hubs and types. *Elsevier* 2022; 70: 127545.
- Wang W, Tian P, Zhang J, Agathokleous E, Xiao L, Koike T, et al. Big data-based urban greenness in Chinese megalopolises and possible contribution to air quality control. *Elsevier* 2022; 824(10): 153834.
- Chen H, Xia DS, Wang B, Liu H, Ma X. Pollution monitoring using the leaf-deposited particulates and magnetism of the leaves of 23 plant species in a semi-arid city, Northwest China. *Environ Sci Pollut Res Int* 2022; 29(23): 34898–911.
- Kumar P, Zavala-Reyes JC, Tomson M, Kalaiarasan G. Understanding the effects of roadside hedges on the horizontal and vertical distributions of air pollutants in street canyons. *Elsevier* 2022; 158: 106883.
- Zafra-Mejía C, Suárez-López J, Rondón-Quintana H. Analysis of particulate matter concentration intercepted by trees of a latin-american megacity. *Forests* 2021; 12: 723.

17. Kazi E, Shaikh IY, Tikle S, Beig G, Shaikh V, Kulkarni S, et al. Effect of air pollutants on urban roadside trees in Shivajinagar & Pashan Area, Pune City. *ES Food Agrofor* 2021; 5: 29–37.
18. Wróblewska K, Jeong RB. Effectiveness of plants and green infrastructure utilization in ambient particulate matter removal. *Environ Sci Eur* 2021; 33: 110.
19. Tomson M, Kumar P, Barwise Y, Perez P, Forehead H, French K, et al. Green infrastructure for air quality improvement in street canyons. *Environ Int* 2021; 146: 106288.
20. Abhijith KV, Kuma Pr. Quantifying particulate matter reduction and their deposition on the leaves of green infrastructure. *Elsevier* 2020; 265: 114884.
21. Zhang B, Xie Z, She X, Gao J. Quantifying the potential contribution of urban forest to PM_{2.5} removal in the city of Shanghai, China. *Atmosphere* 2021; 12: 1171.
22. Redondo-Bermúdez MDC, Gulenc IT, Cameron RW, Inkson BJ. ‘Green barriers’ for air pollutant capture: leaf micromorphology as a mechanism to explain plants capacity to capture particulate matter. *Environ Pollut* 2021; 1(288): 117809.
23. Vigevani I, Corsini D, Mori J, Pasquinelli A, Gibin M, Sebastien Comin, et, al. Particulate pollution capture by seventeen woody species growing in parks or along roads in two european cities. *Sustainability* 2022; 14: 1113.
24. Wu J, Luo K, Wang Y, Wang Z. Urban road greenbelt configuration: The perspective of PM_{2.5} removal and air quality regulation. *Elsevier* 2021; 157: 106786.
25. Guo X, Gao Z, Buccolieri R, Zhang M, Shen J. Effect of greening on pollutant dispersion and ventilation at urban street intersections. *Elsevier* 2021; 203: 108075.
26. Shrestha S, Baral B, Dhital NB, Yang HH. Assessing air pollution tolerance of plant species in vegetation traffic barriers in Kathmandu Valley, Nepal. *Sustain Environ Res* 2021; 31: 3.
27. Pace R, Grote R. Deposition and resuspension mechanisms into and from tree canopies: A study modeling particle removal of conifers and broadleaves in different cities. *Front For Glob Change* [Internet]. 2020 [Cited 2022 June 8]; 12: Available from: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/ffgc.2020.00026/full>
28. Kwon KJ, Urrutia O, Kim SY, Yang JC, Sung JW, Park BJ. Removal potential of particulate matter of 12 woody plant species for landscape planting. *J People Plants Environ.* 2020; 23(6): 647–54.
29. Abhijith KV, Kumar P. Evaluation of respiratory deposition doses in the presence of green infrastructure. *Air Qual Atmos hlth* 2021; 14: 911–24.
30. Sarkar BA, Bidroha B, Francesco P, Emily R. Investigating the effect of trees on urban quality in Dublin by combining air monitoring with i-tree eco model. *Elsevier* 2020; 61.
31. Ozdemir H. Effect of roadside trees on traffic related particulate pollution. *International Conference on Pollution Control & Sustainable Environment.* April 25–26, 2016 in Dubai, UAE; 2016.
32. Wang H, Maher BA, Ahmed IA, Davison B. Efficient removal of ultrafine particles from diesel exhaust by selected tree species: Implications for roadside planting for improving the quality of urban. *Air Environ Sci Technol* 2019; 53(12): 6906–16.
33. Mukherjee S, Sarkar P, Roy A. Dust removal capacity of some tree species from ambient air in an indian metropolitan city. *Environment Asia* 2019; 12(1): 120–6.

34. Brennan M, Mills G, Ningal T. Topographical structures in planting design of living walls affect their ability to immobilise traffic-based particulate matter. *Sci Total Environ* 2019; 660: 644-9.
35. Weerakkody U, Dover JW, Mitchell P, Reiling K. Quantification of the traffic-generated particulate matter capture by plant species in a living wall and evaluation of the important leaf characteristics. *Sci Total Environ* 2018; 1(635): 1012-24.
36. Abhijith KV, Kumar P. Field investigations for evaluating green infrastructure effects on air quality in open-road conditions. *Elsevier* 2019; 201(15): 132-47.
37. Buccolieri R, Jeanjean A, Gatto E, Leigh RJ. The impact of trees on street ventilation, NO_x and PM_{2.5} concentrations across heights in Marylebone Rd street canyon, central London. *Elsevier* 2018; 41: 227-41.
38. Cho MG, Jin EJ, Bae EJ, Lee KS, Moon HS, Huh MR. Absorption ability of particulate matter in leaves of street trees in Jinju City. *J Korean Soc People Plants Environ* 2017; 20(5): 431-40.
39. Abhijith KV, Kumar P, Gallagher J, McNabola A, Baldauf R, Pilla F, et, al. Air pollution abatement performances of green infrastructure in open road and built-up street canyon environments – A review. *Elsevier* 2017; 162: 71-86.
40. Bodnaruk EW, Kroll CN, Yang Y, Hirabayashi S, Nowak DJ, Endreny TA. Where to plant urban trees? A spatially explicit methodology to explore ecosystem service tradeoffs. *Elsevier* 2017; 157: 457-67.
41. Liang D, Ma C, Wang YQ, Wang YJ, Zhao CX. Quantifying PM_{2.5} capture capability of greening trees based on leaf factors analyzing. *Environ Sci Pollut Res* 2016; 23: 21176-86.
42. Ozdemir H. Mitigation impact of roadside trees on fine particle pollution. *Sci Total Environ* 2019; 1(659): 1176-85.
43. Selmi W, Weber C, Rivière E, Blonda N, Mehdi L, Nowak D. Air pollution removal by trees in public green spaces in Strasbourg city, France. *Environ Sci Pollut Res* 2016; 23: 21176-86.
44. Tong Z, Whitlow TH, MacRae PF, Landers AJ, Harada Y. Quantifying the effect of vegetation on near-road air quality using brief campaigns. *Environ Pollut* 2015; 201: 141-9.
45. Abhijith KV, Gokhale S. Passive control potentials of trees and on-street parked cars in reduction of air pollution exposure in urban street canyons. *Elsevier* 2015; 204: 99-108.
46. Jin S, Guo J, Wheeler S, Kan L. Evaluation of impacts of trees on PM_{2.5} dispersion in urban streets. *Atmos Environ* 2014; 99: 277-87.
47. Vos PEJ, Maiheu B, Vankerkom J, Janssen S. Improving local air quality in cities: To tree or not to tree?. *Environ Pollut* 2013; 183: 113-22.
48. กันติทัต ทับสุวรรณ, ศิริเดช สุริต. การดักจับฝุ่นละอองขนาดเล็กจากควันรถด้วยพืชในอาคาร. *วารสารสังคมศาสตร์และมนุษยวิทยาเชิงพุทธ* 2564; 6(12): 80-94.
49. วรญา ยุวะสุด. รูปแบบภูมิทัศน์ขนาดเล็กเพื่อลดปัญหาฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน. [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยแม่โจ้; 2564.
50. ชัยรัตน์ ตรีทรัพย์สุนทร, ไพทิพย์ อีร์เวชญาน, ประไพ รุทธิกิจ. การบำบัดแก๊สเบนซีนโดยใช้ไม้ประดับและวัสดุดูดซับจากพืช. *คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า;* 2559.

51. เอก เจริญศิลป์, นภัสวัลย์ เกิดนรินทร์. ศึกษาการใช้งานพื้นที่ไม้ช่วยลดมลภาวะทางอากาศเพื่อใช้ในโครงการคอนโดริกซ์สิ่งแวดล้อมในเมือง. งานประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยรังสิต ประจำปี 2563; 2563.
52. ศิรพงศ์ สุขทวี, อุดุลย์เดช ปัดภัย, สุธีระ บุญญาพิทักษ์, นิรัน เปี่ยมไย, ทศรัตน์ การิเวทย์, อนงค์ ชานะมูล. การศึกษาประสิทธิภาพการลดฝุ่นโดยป่าริเวศ. วารสารสิ่งแวดล้อม 2563; 24(3): 1-9.
53. นพมาศ ทับแสง. อิทธิพลของพื้นที่สีเขียวที่มีต่อมลภาวะฝุ่นละอองในเขตชุมชนเมือง กรณีศึกษาชุมชนเมืองสมุทรปราการ. [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์; 2561.
54. พาลินี สุนากร, งามอาจ ภาพรภาชี, พัชรียา บุญก้อแก้ว. การศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการจับฝุ่นละอองของพรรณไม้เลี้ยง. วารสารวิชาการคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 2559; 15(2): 175-86.
55. นฤพร ดวงจันทร์. การใช้ต้นแครกทูซี่ตรวจติดตามฝุ่นละอองรอบโรงแยกก๊าซ. [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]. สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์; 2559.
56. ชัยรัตน์ ตรีทรัพย์สุนทร, ไพทิพย์ อีร์เวชญาน, วรรัตน์ ศรีประพัฒน์. กำแพงต้นไม้บำบัดมลพิษสู่ฝุ่นจิ๋ว PM 2.5. มติชนบทเทคโนโลยีชาวบ้าน 2563; 33(733): 80-1.
57. Li L, Uyttenhove P, Eetvelde VV. Planning green infrastructure to mitigate urban surface water flooding risk – A methodology to identify priority areas applied in the city of Ghent. Elsevier 2020; 194: 103703.