ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ปัจจัยอุตุนิยมวิทยา และปริมาณเชื้อราในอากาศในสภาพแวดล้อมเขตเมือง

Association between $PM_{2.5}$ concentration, meteorological factors, and airborne fungal levels in an urban environment

ณัฏฐ์นรี นิสิตสุขเจริญ[1], เฟื่องฟ้า อุตรารัชต์กิจ[2] และ พีรยา เอกจริยาวัฒน์[3*]

Natnaree Nisitsukjoren[1], Fuangfa Utrarachkij[2], and Peeraya Ekchariyawat[3*]

[1] นักศึกษาระดับปริญญาโท, วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาโรคติดเชื้อและวิทยาการระบาดทางการสาธารณสุข, ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

[1] Graduate student, Master of Science (Public Health Infectious Diseases and Epidemiology), Department of Microbiology, Faculty of Public Health, Mahidol University.

[2] รองศาสตราจารย์ ดร. ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

[2] Associate Professor, PhD, Department of Microbiology, Faculty of Public Health, Mahidol University.

[3] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

[3] Assistant Professor, PhD, Department of Microbiology, Faculty of Public Health, Mahidol University.

[*]**Corresponding author** Email: peeraya.ekc@mahidol.ac.th

บทคัดย่อ

ฝุ่นละอองขนาดเล็ก ($PM_{2.5}$) เป็นหนึ่งในมลพิษทางอากาศที่สำคัญในเขตเมือง และอาจมีบทบาทต่อการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางชีวภาพในบรรยากาศ เช่น จุลชีพและสปอร์เชื้อรา อย่างไรก็ตาม ข้อมูลเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่าง $PM_{2.5}$ และจุลชีพในอากาศในพื้นที่เขตร้อนยังมีจำกัด การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระดับของ $PM_{2.5}$ กับปริมาณเชื้อราในอากาศและประเมินอิทธิพลของปัจจัยด้านอุตุนิยมวิทยาต่อการเปลี่ยนแปลงของเชื้อราในอากาศ โดยเป็นการวิจัยเชิงภาคตัดขวาง โดยเก็บตัวอย่างอากาศจำนวน 237 ตัวอย่างตลอดระยะเวลา 12 เดือน ครอบคลุมฤดูกาลต่าง ๆ ปริมาณเชื้อราในอากาศวิเคราะห์ด้วยวิธีการเพาะเลี้ยงและรายงานผลเป็น CFU/m³ ข้อมูล PM2.5 และปัจจัยด้านอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม ถูกนำมาวิเคราะห์ร่วมกัน การวิเคราะห์ทางสถิติประกอบด้วยสถิติเชิงพรรณนา การวิเคราะห์ Spearman correlation และ Kruskal–Wallis test ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณเชื้อราในอากาศมีค่าระหว่าง 21-1413 CFU/m³ โดยมีค่าเฉลี่ย 479±364 CFU/m³ ระดับ $PM_{2.5}$ มีค่าเฉลี่ย 32.31±14.94 µg/m³ ผลการวิเคราะห์พบว่า $PM_{2.5}$ มีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณเชื้อราในอากาศอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($r = -0.253$, $p = 0.0002$) นอกจากนี้ปริมาณเชื้อราในอากาศมีความแตกต่างกันตามฤดูกาล โดยพบค่าสูงสุดในฤดูฝน ($p < 0.05$) ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าปริมาณเชื้อราในอากาศมีความสัมพันธ์กับระดับ $PM_{2.5}$ และปัจจัยด้านอุตุนิยมวิทยาบางประการ แม้ว่าความสัมพันธ์จะอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง แต่ข้อมูลดังกล่าวมีความสำคัญต่อความเข้าใจพลวัตของละอองชีวภาพในสภาพแวดล้อมเขตร้อน และอาจเป็นประโยชน์ต่อการประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพจากมลพิษทางอากาศ

คำสำคัญ: ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$), เชื้อราในอากาศ, คุณภาพอากาศ

Abstract

Fine particulate matter ($PM_{2.5}$) is a major air pollutant in urban environments and may influence the biological components of the atmosphere, including airborne microorganisms and fungal spores. However, information on the relationship between $PM_{2.5}$ and airborne bioaerosols in tropical environments remains limited. This study aimed to investigate the relationship between $PM_{2.5}$ concentrations and airborne fungal levels and to evaluate the influence of meteorological factors on bioaerosol variability. A cross-sectional study was conducted using 237 air samples collected over a 12-month period covering different seasons. Airborne fungi were quantified using culture-based methods and reported as colony-forming units per cubic meter (CFU/m³). Environmental variables including $PM_{2.5}$ concentration, temperature, relative humidity, and wind speed were recorded. Statistical analyses included descriptive statistics, Spearman correlation analysis, and Kruskal–Wallis test. Airborne fungal concentrations ranged from 21 to 1413 CFU/m³, with a mean of 479±364 CFU/m³. The average $PM_{2.5}$ concentration was 32.31±14.94 µg/m³. Spearman correlation analysis revealed a significant negative association between $PM_{2.5}$ and airborne fungal concentration ($r = -0.253$, $p = 0.0002$). Seasonal variation was also observed, with the highest fungal concentrations detected during the rainy season ($p < 0.05$). The findings indicate that airborne fungal concentrations are associated with $PM_{2.5}$ levels and certain meteorological factors. Although the correlations were relatively weak, these results contribute to understanding bioaerosol dynamics in tropical environments and may provide useful information for assessing environmental and public health risks related to air pollution.

Keywords: $PM_{2.5}$, Airborne fungi, Air quality

บทนำ

มลพิษทางอากาศในเขตเมืองเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมและสาธารณสุขที่สำคัญของหลายประเทศทั่วโลก โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีความหนาแน่นของประชากรสูง การจราจรหนาแน่นและกิจกรรมทางเศรษฐกิจจำนวนมาก หนึ่งในมลพิษทางอากาศที่ได้รับความสนใจอย่างมากในปัจจุบันคือ ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมโครเมตร ($PM_{2.5}$) ซึ่งสามารถแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศเป็นเวลานาน และสามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจส่วนลึกของมนุษย์ได้ การสัมผัส $PM_{2.5}$ ในระดับสูงมีความเกี่ยวข้องกับปัญหาสุขภาพหลายประการ เช่น โรคระบบทางเดินหายใจ โรคหัวใจและหลอดเลือด และการเสียชีวิตก่อนวัยอันควร (World Health Organization, 2024)

ในเขตเมือง แหล่งกำเนิดของ $PM_{2.5}$ มักเกี่ยวข้องกับกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การจราจร การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล กิจกรรมก่อสร้าง และการปล่อยฝุ่นจากพื้นผิวถนน นอกจากองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละอองแล้ว อนุภาคแขวนลอยในบรรยากาศยังสามารถมีองค์ประกอบทางชีวภาพที่เรียกว่า bioaerosol ซึ่งประกอบด้วยจุลชีพหลายชนิด เช่น แบคทีเรีย เชื้อรา ไวรัส รวมถึงชิ้นส่วนของสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ที่สามารถแพร่กระจายผ่านอากาศได้ (Després et al., 2012)

เชื้อราในอากาศ (airborne fungi) เป็นองค์ประกอบสำคัญของ bioaerosol ที่พบได้ทั่วไปในสิ่งแวดล้อม โดยสปอร์ของเชื้อราสามารถฟุ้งกระจายจากดิน พืชพรรณ เศษอินทรียวัตถุ และพื้นผิวต่าง ๆ เข้าสู่บรรยากาศได้อย่างต่อเนื่อง ในพื้นที่เมือง แหล่งกำเนิดของเชื้อราในอากาศอาจเกี่ยวข้องกับพื้นที่สีเขียว ระบบระบายน้ำ สิ่งปลูกสร้าง และกิจกรรมของมนุษย์ การสัมผัสเชื้อราในอากาศในระดับสูงอาจมีความสัมพันธ์กับโรคภูมิแพ้ โรคระบบทางเดินหายใจ และโรคติดเชื้อในผู้ที่มีภูมิคุ้มกันบกพร่อง (Fröhlich-Nowoisky et al., 2016)

ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา มีการศึกษาเกี่ยวกับ ความสัมพันธ์ระหว่างอนุภาคฝุ่นละอองและจุลชีพในบรรยากาศ เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากอนุภาคฝุ่นสามารถทำหน้าที่เป็นตัวพาหะ (carrier) สำหรับจุลชีพและสปอร์ของเชื้อราในอากาศได้ งานวิจัยบางส่วนรายงานว่าองค์ประกอบและความเข้มข้นของ bioaerosol อาจมีความสัมพันธ์กับระดับของฝุ่นละอองในบรรยากาศ (Cao et al., 2014; Wei et al., 2016) อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาจากพื้นที่ต่าง ๆ ยังมีความแตกต่างกัน เนื่องจากได้รับอิทธิพลจากหลายปัจจัย เช่น แหล่งกำเนิดมลพิษ สภาพภูมิอากาศ ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน และกิจกรรมในพื้นที่เมือง

ประเทศไทยยังคงเป็นหนึ่งในประเทศที่มีมลพิษทางอากาศสูงในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยมีค่าเฉลี่ย $PM_{2.5}$ 19.8 µg/m³ ซึ่งเกินค่ามาตรฐานขององค์การอนามัยโลก (WHO) อย่างมีนัยสำคัญ ในส่วนของเมืองหลวงอย่างกรุงเทพมหานครมีค่าเฉลี่ย $PM_{2.5}$ 18.9 µg/m³ และมีช่วงเวลาที่คุณภาพอากาศอยู่ในระดับดีเพียงประมาณ 3 เดือนต่อปี โดยส่วนใหญ่เกิดขึ้นในช่วงฤดูฝน (มิถุนายน-สิงหาคม) (IQAir, 2024)

ในบริบทของประเทศไทยซึ่งมีสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น (tropical climate) และมีการขยายตัวของเมืองอย่างต่อเนื่อง ระดับความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ในประเทศไทยมีความผันแปรตามฤดูกาลและปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา (กรมควบคุมมลพิษ, 2023) นอกจากนี้ในบางช่วงฤดูกาลประเทศไทยยังได้รับอิทธิพลจากหมอกควันข้ามแดน การเผาชีวมวลในภาคการเกษตร และไฟป่า ซึ่งส่งผลให้ระดับ $PM_{2.5}$ เพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (Pani et al., 2019) การศึกษาบางส่วนในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทยรายงานว่า ในช่วงที่เกิดเหตุการณ์หมอกควันและมีระดับ $PM_{2.5}$ สูง องค์ประกอบของจุลชีพในอากาศอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ (Yabueng et al., 2025) อย่างไรก็ตาม แม้ว่าจะมีการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับมลพิษทางอากาศและจุลชีพในบรรยากาศเพิ่มมากขึ้น แต่ข้อมูลเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา และปริมาณเชื้อราในอากาศในบริบทของเขตเมืองในเขตร้อนยังมีค่อนข้างจำกัด

ดังนั้น การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ ประเมินความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และปริมาณเชื้อราในอากาศในพื้นที่เมือง รวมทั้งศึกษาบทบาทของปัจจัยด้านอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม ต่อการเปลี่ยนแปลงของเชื้อราในบรรยากาศ ผลการศึกษานี้คาดว่าจะช่วยเพิ่มความเข้าใจเกี่ยวกับพลวัตของละอองชีวภาพในสภาพแวดล้อมเมือง และอาจเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพที่เกี่ยวข้องกับมลพิษทางอากาศในอนาคต

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อหาปริมาณของเชื้อราในอากาศในพื้นที่เขตเมือง
2. เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของเชื้อราในอากาศตามฤดูกาล
3. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเชื้อราในอากาศกับปัจจัยสิ่งแวดล้อม ได้แก่ $PM_{2.5}$ อุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลม

แนวคิด ทฤษฎี กรอบแนวคิด

ในสภาพแวดล้อมของเขตเมือง อนุภาคฝุ่นละอองขนาดเล็ก $PM_{2.5}$ เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์หลายแหล่ง เช่น การจราจร การเผาไหม้เชื้อเพลิง การก่อสร้าง และกิจกรรมในพื้นที่ชุมชน โดยอนุภาคเหล่านี้สามารถแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศและมีปฏิสัมพันธ์กับองค์ประกอบต่าง ๆ ในอากาศ รวมถึง จุลชีพในอากาศหรือ bioaerosol ซึ่งประกอบด้วยแบคทีเรีย เชื้อรา และสปอร์ของจุลชีพหลายชนิด ปัจจัยด้านอุตุนิยมวิทยา เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม มีบทบาทสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงของทั้งระดับ $PM_{2.5}$ และการกระจายตัวของจุลชีพในบรรยากาศ โดยอุณหภูมิและความชื้นสามารถส่งผลต่อการเจริญเติบโตและการปลดปล่อยสปอร์ของเชื้อรา ขณะที่ความเร็วลมมีผลต่อการพัดพาและการกระจายตัวของอนุภาคในอากาศ

ในขณะเดียวกัน อนุภาค $PM_{2.5}$ อาจทำหน้าที่เป็น ตัวพาหะของจุลชีพในอากาศ โดยช่วยให้สปอร์ของเชื้อราและจุลชีพสามารถเกาะติดและแพร่กระจายไปในบรรยากาศได้ อย่างไรก็ตาม ปฏิสัมพันธ์ระหว่าง $PM_{2.5}$ และ bioaerosol อาจมีลักษณะซับซ้อน เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีของอนุภาค สภาพแวดล้อม และปัจจัยอุตุนิยมวิทยาอาจมีผลต่อความสามารถในการอยู่รอดของจุลชีพในบรรยากาศ การเปลี่ยนแปลงของ bioaerosol ในอากาศเมืองจึงเป็นผลจากการทำงานร่วมกันของหลายปัจจัย ทั้งแหล่งกำเนิดอนุภาค มลพิษทางอากาศ และสภาพภูมิอากาศ

การสัมผัสทั้ง $PM_{2.5}$ และ bioaerosol ในบรรยากาศเมืองอาจมีผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชน โดยเฉพาะต่อระบบทางเดินหายใจ การสัมผัสอนุภาคขนาดเล็กสามารถทำให้เกิดการอักเสบของระบบทางเดินหายใจ ขณะที่การสัมผัสสปอร์เชื้อราในอากาศอาจเกี่ยวข้องกับโรคภูมิแพ้ โรคหอบหืด และโรคติดเชื้อในผู้ที่มีภูมิคุ้มกันบกพร่อง ดังนั้น กรอบแนวคิดของการศึกษานี้จึงพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่าง $PM_{2.5}$ ปัจจัยด้านอุตุนิยมวิทยา และปริมาณเชื้อราในอากาศในบริบทของเขตเมือง ซึ่งอาจนำไปสู่ผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนในพื้นที่เมือง

วิธีดำเนินการวิจัย

รูปแบบการศึกษา

การศึกษานี้เป็นการวิจัยเชิงภาคตัดขวาง (cross-sectional study) เพื่อประเมินความสัมพันธ์ระหว่างระดับฝุ่นละอองขนาดเล็ก ($PM_{2.5}$) กับปริมาณเชื้อราในอากาศรวมถึงปัจจัยด้านอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม ที่อาจมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของจุลชีพในบรรยากาศ การเก็บตัวอย่างอากาศดำเนินการระหว่างเดือนมกราคมถึงธันวาคม 2567 อย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 12 เดือน เพื่อให้ครอบคลุมความแปรผันตามฤดูกาล โดยแบ่งข้อมูลตามฤดูกาล ได้แก่ ฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาว

พื้นที่เก็บตัวอย่างอากาศ

ตัวอย่างอากาศถูกเก็บบริเวณคณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ซึ่งอยู่ห่างจากบริเวณอนุสาวรีย์ชัยสมรภูมิประมาณ 500 เมตร พื้นที่ดังกล่าวเป็นศูนย์กลางการคมนาคมสำคัญของกรุงเทพมหานครและมีความหนาแน่นของการจราจรสูง โดยมีการสัญจรของรถโดยสารประจำทาง รถตู้ รถยนต์ส่วนบุคคลและรถจักรยานยนต์อย่างต่อเนื่อง พื้นที่โดยรอบประกอบด้วยโรงพยาบาล อาคารที่พักอาศัย และแหล่งค้าขายริมทาง

การเก็บตัวอย่างอากาศและการวิเคราะห์เชื้อรา

การเก็บตัวอย่างอากาศดำเนินการในวันทำการราชการ (วันจันทร์-วันศุกร์) เพื่อให้สะท้อนสภาพแวดล้อมในช่วงวันทำงาน (working days) ซึ่งมีลักษณะกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การจราจร การใช้ยานพาหนะ และกิจกรรมในพื้นที่เมืองที่มีความหนาแน่นสูงกว่าวันหยุด ต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 12 เดือน โดยเก็บตัวอย่างวันละ 2 ช่วงเวลา ได้แก่ ช่วงเช้าเวลา 07.00-08.00 น. และช่วงบ่ายเวลา 13.00-14.00 น.

ตัวอย่างอากาศถูกเก็บโดยใช้เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศสำหรับการตรวจวิเคราะห์จุลชีพ BioStage single-stage impactor (QuickTake 30 (SKC Inc., USA) ซึ่งทำงานตามหลักการ impaction โดยให้อากาศผ่านเข้าสู่อาหารเลี้ยงเชื้อที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของเชื้อรา Potato dextrose agar (PDA) ที่อัตราการไหล 28.3 ลิตรต่อนาที เป็นเวลา 5 นาทีต่อการเก็บตัวอย่างแต่ละครั้ง โดยเครื่องเก็บอากาศจะวางที่ความสูงประมาณ 1.5 เมตรเหนือพื้นผิวดาดฟ้า ซึ่งสอดคล้องกับระดับการหายใจของมนุษย์ที่ใช้กันทั่วไปในการศึกษาคุณภาพอากาศ หลังจากเก็บตัวอย่างแล้ว ตัวอย่างอากาศที่เก็บบนอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA จะถูกบ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน จากนั้นทำการนับจำนวนโคโลนีและคำนวณปริมาณเชื้อราในอากาศเป็น colony-forming units per cubic meter of air (CFU/m^3) โดยใช้สูตรการคำนวณตามมาตรฐานของเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศ

$$C = \frac{N \times 1000}{T \times V}$$

โดย C คือความเข้มข้นของเชื้อรา (CFU/m^3), N คือจำนวนโคโลนี, T คือเวลาที่เก็บตัวอย่าง (นาที), V คืออัตราการไหลของอากาศ (ลิตร/นาที)

การรวบรวมข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อม $PM_{2.5}$

ข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อมที่นำมาวิเคราะห์ร่วมกับปริมาณเชื้อราในอากาศได้แก่ ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็ก $PM_{2.5}$ (µg/m^3) อุณหภูมิอากาศ (°C) ความชื้นสัมพัทธ์ (%) และความเร็วลม (m/s) ช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่าง ข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ จะถูกวัดและบันทึกด้วย Temperature Humidity Meter (UT361, Uni-Trend Technology, China) และความเร็วลม Anemometer (UT361, Uni-Trend Technology, China) ข้อมูล $PM_{2.5}$ ได้ฐานข้อมูลตรวจวัดคุณภาพอากาศจากสถานีคณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล เขตราชเทวี ของกรมควบคุมมลพิษและกรุงเทพมหานคร ที่อยู่ใกล้กับจุดเก็บตัวอย่าง เพื่อให้สอดคล้องกับช่วงเวลาที่มีการเก็บตัวอย่างอากาศ (https://aqhi.mahidol.ac.th/)

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ข้อมูลทั้งหมดถูกนำมาวิเคราะห์โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่ออธิบายลักษณะทั่วไปของข้อมูล ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเชื้อราในอากาศและตัวแปรด้านสิ่งแวดล้อมวิเคราะห์ด้วย Spearman correlation analysis เนื่องจากข้อมูลบางตัวแปรมีการกระจายแบบไม่ปกติ การเปรียบเทียบปริมาณเชื้อราในอากาศระหว่างฤดูกาลวิเคราะห์ด้วย Kruskal–Wallis test โดยกำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.05$ การวิเคราะห์ข้อมูลและการสร้างกราฟดำเนินการโดยใช้โปรแกรม R statistical software version 4.5.2 (R Core Team, 2025) และ RStudio version 2026.1.1.403 (Posit Software, 2026)

ผลการวิจัย

ลักษณะทั่วไปของข้อมูล

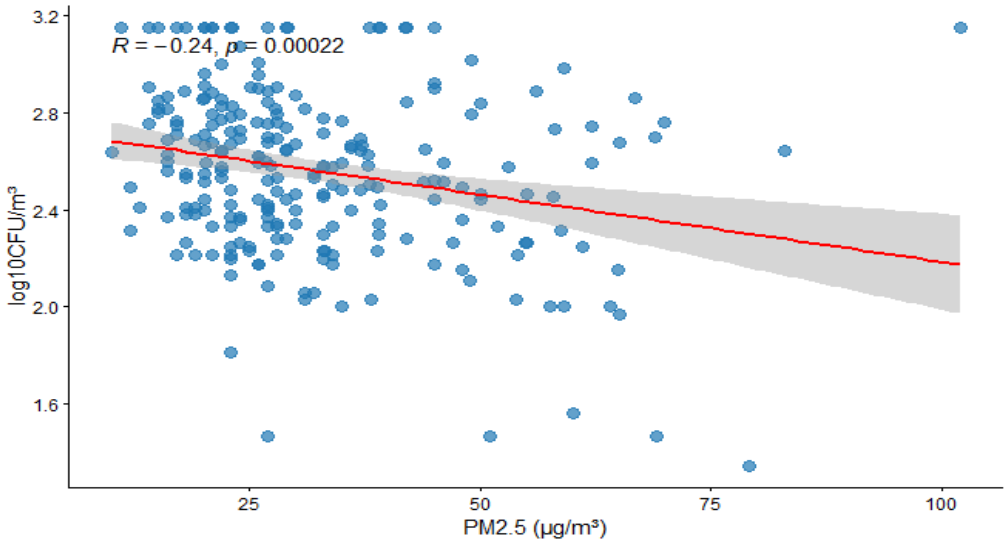
จากการเก็บตัวอย่างอากาศทั้งหมด 237 ตัวอย่าง พบว่าปริมาณเชื้อราในอากาศมีค่าระหว่าง 21-1413 CFU/m³ โดยมีค่าเฉลี่ย 479±364.46CFU/m³ แสดงให้เห็นว่าปริมาณเชื้อราในอากาศมีความแปรผันค่อนข้างสูงในช่วงเวลาการศึกษา ขณะที่ระดับ PM2.5 มีค่าเฉลี่ยประมาณ 32.31±14.94 µg/m³ โดยมีค่าต่ำสุด 10 µg/m³ และค่าสูงสุด 102 µg/m³ สำหรับปัจจัยด้านอุตุนิยมวิทยา พบว่าอุณหภูมิมีค่าเฉลี่ย 35.21±5.45 °C ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 55.37±14.71 g/m³ ความเร็วลมเฉลี่ย 1.83±1.05 m/s (ตารางที่ 1) ข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าพื้นที่ศึกษาเป็นสภาพแวดล้อมเขตร้อนที่มีการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยสิ่งแวดล้อมค่อนข้างมาก ซึ่งอาจส่งผลต่อการกระจายตัวของเชื้อราในอากาศ

ตารางที่ 1 สถิติเชิงพรรณนาของปริมาณเชื้อราในอากาศและปัจจัยสิ่งแวดล้อม

ตัวแปร	ต่ำสุด	สูงสุด	ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ปริมาณเชื้อรา (CFU/m³)	21	1413	479±364.46
$PM_{2.5}$ (µg/m³)	10	102	32.31±14.94
อุณหภูมิ (°C)	23.4	49.4	35.21±5.45
ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	2.9	84.6	55.37±14.71
ความเร็วลม (m/s)	0	6.3	1.83±1.05

ความสัมพันธ์ระหว่าง $PM_{2.5}$ และปริมาณเชื้อราในอากาศ

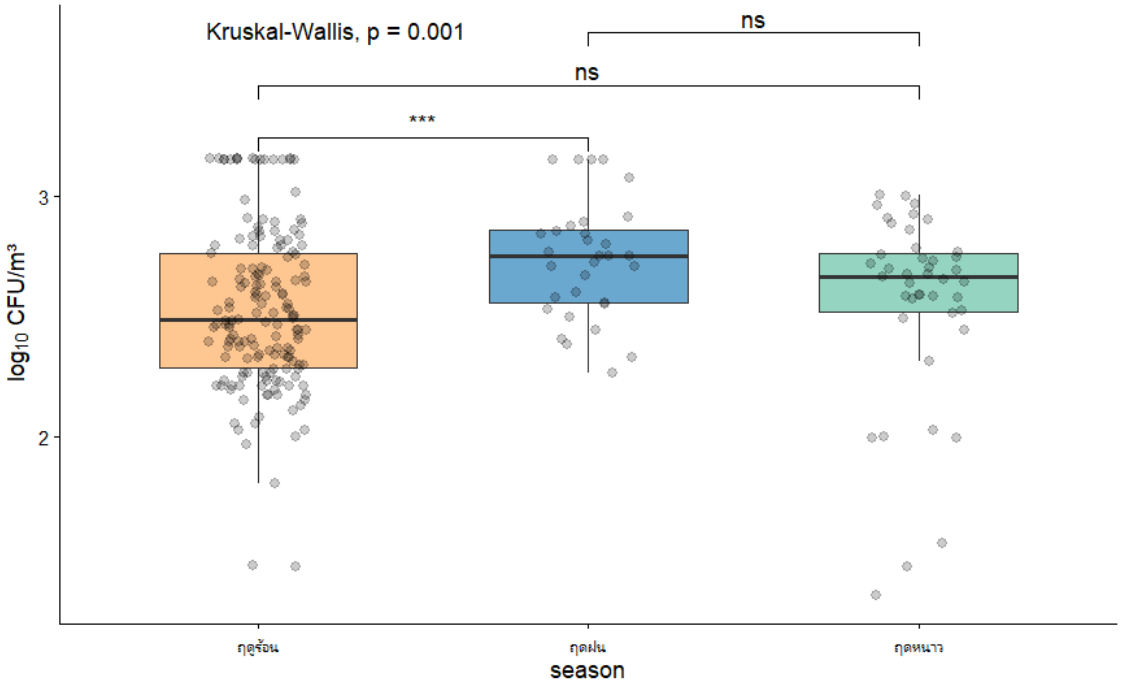
ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ กับปริมาณเชื้อราในอากาศ (CFU/m³) แสดงในภาพที่ 1 พบว่าการกระจายของปริมาณเชื้อรามีความแปรผันค่อนข้างกว้างในแต่ละระดับของ $PM_{2.5}$ ผลการวิเคราะห์ Spearman correlation พบว่า $PM_{2.5}$ มีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณเชื้อราอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติ ($r = -0.238$, $p = 0.0002$) แสดงให้เห็นว่าเมื่อระดับ $PM_{2.5}$ เพิ่มขึ้น ปริมาณเชื้อราในอากาศมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย โดยระดับความสัมพันธ์อยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง (weak to moderate correlation)



ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็ก $PM_{2.5}$ (µg/m³) และปริมาณเชื้อราในอากาศ (CFU/m³) โดยจุดแต่ละจุดแสดงค่าที่ตรวจวัดได้จากแต่ละช่วงเวลา เส้นแนวโน้ม (regression line) แสดงแนวโน้มของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสอง

การเปลี่ยนแปลงของเชื้อราในอากาศตามฤดูกาล

เมื่อจำแนกข้อมูลตามฤดูกาล พบว่าปริมาณเชื้อราในอากาศเฉลี่ยในฤดูฝน (มิถุนายน-กันยายน) มีค่าสูงสุด (630 CFU/m^3) รองลงมาคือ ฤดูหนาว (ตุลาคม-มกราคม) มีจำนวนเชื้อราเฉลี่ย 470 CFU/m^3 และฤดูร้อน (กุมภาพันธ์-พฤษภาคม) มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด (450 CFU/m^3) ผลการทดสอบ Kruskal-Wallis test พบว่าปริมาณเชื้อราในอากาศแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างฤดูกาล ($p < 0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ปริมาณเชื้อราในอากาศ (log_{10} CFU/m^3) จำแนกตามฤดูกาล ได้แก่ ฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาว โดยกล่องแสดงช่วงควอไทล์ (interquartile range) เส้นกลางแสดงค่ามัธยฐาน

ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยสิ่งแวดล้อมและปริมาณเชื้อราในอากาศ

เพื่อประเมินความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเชื้อราในอากาศ (CFU/m^3) และปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม ได้แก่ ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ (µg/m^3) อุณหภูมิ (°C) ความชื้นสัมพัทธ์ (%) และความเร็วลม (m/s) ได้ทำการวิเคราะห์สหสัมพันธ์และแสดงผลในตาราง 2

ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์สหสัมพันธ์ (Spearman correlation) ระหว่างปริมาณเชื้อราในอากาศ (CFU/m^3) ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และปัจจัยด้านอุตุนิยมวิทยา

ตัวแปร	ปริมาณเชื้อรา	$PM_{2.5}$	อุณหภูมิ	ความชื้นสัมพัทธ์	ความเร็วลม
ปริมาณเชื้อรา	1.000	-0.238*	-0.117	-0.039	-0.026
$PM_{2.5}$	-0.238***	1.000	0.031	-0.240*	0.215*
อุณหภูมิ	-0.117	0.031	1.000	-0.763*	0.024
ความชื้นสัมพัทธ์	-0.039	-0.240*	-0.763*	1.000	-0.163*
ความเร็วลม	-0.026	0.215*	0.024	-0.163*	1.000

หมายเหตุ *p < 0.05, ** p < 0.01, *** p < 0.001

ผลการวิเคราะห์พบว่า $PM_{2.5}$ มีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณเชื้อราในอากาศอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (r = -0.238, p < 0.001) ในขณะที่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม แสดงความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณเชื้อราในอากาศ (r = -0.117, -0.039 และ -0.026 ตามลำดับ) แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p > 0.05)

นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรด้านสิ่งแวดล้อมด้วยกันเอง พบความสัมพันธ์เชิงลบอย่างมีนัยสำคัญสูงระหว่างอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ($r = -0.763$, $p < 0.001$) ซึ่งสะท้อนลักษณะของสภาพภูมิอากาศที่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ความชื้นสัมพัทธ์มักลดลง นอกจากนี้ยังพบว่า $PM_{2.5}$ มีความสัมพันธ์เชิงลบกับความชื้นสัมพัทธ์ ($r = -0.240$, $p < 0.001$) และมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความเร็วลม ($r = 0.215$, $p < 0.001$)

สรุปและอภิปรายผล

ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าปริมาณเชื้อราในอากาศมีความแปรผันค่อนข้างสูงตลอดช่วงเวลาการศึกษา โดยพบค่าระหว่าง 21-1413 CFU/m^3 ซึ่งอยู่ในช่วงที่รายงานในงานศึกษาด้านละอองชีวภาพในพื้นที่เขตร้อนและกึ่งเขตร้อนหลายพื้นที่ทั่วโลก (Fang et al., 2005; Bowers et al., 2012) ปริมาณเชื้อราในอากาศมักได้รับอิทธิพลจากปัจจัยสิ่งแวดล้อมหลายประการ เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และกิจกรรมของมนุษย์ ซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโต การปลดปล่อย และการกระจายตัวของสปอร์เชื้อราในบรรยากาศ

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์พบว่า $PM_{2.5}$ มีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณเชื้อราในอากาศอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($r = -0.238$, $p < 0.001$) แม้ว่าความสัมพันธ์จะอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง ผลลัพธ์ดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยบางส่วนที่รายงานว่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กอาจมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบจุลชีพในบรรยากาศ (Wei et al., 2016; Cao et al., 2014) โดยในบางสภาพแวดล้อมพบว่าเมื่อระดับมลพิษทางอากาศสูงขึ้น ความหลากหลายและปริมาณของละอองชีวภาพอาจลดลง เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีของ $PM_{2.5}$ ที่ประกอบด้วยสารมลพิษหลายชนิด เช่น โลหะหนัก (heavy metals) สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) และสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ซึ่งเป็นสารที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลชีพหรือก่อให้เกิดความเครียดต่อเซลล์ (oxidative stress) ส่งผลให้สปอร์เชื้อราลดลง นอกจากนี้ยังสามารถก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในบรรยากาศ โดยการสร้างอนุมูลอิสระ (reactive oxygen species; ROS) ซึ่งมีผลต่อโครงสร้างของผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์ของจุลชีพ ทำให้เกิดความเสียหายต่อเซลล์และลดความสามารถในการเกิดของสปอร์เชื้อราได้ นอกจากนี้ การสะสมของสารพิษบนพื้นผิวของอนุภาคฝุ่นยังอาจรบกวนกระบวนการเมแทบอลิซึมของจุลชีพ ส่งผลให้ปริมาณเชื้อราในอากาศลดลงในสภาวะที่มีมลพิษสูง (Kelly & Fussell, 2012; Shi et al., 2017)

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยหลายฉบับยังรายงานผลที่แตกต่างกัน โดยพบว่าอนุภาคฝุ่นละอองสามารถทำหน้าที่เป็นพาหะ (carrier) สำหรับจุลชีพและสปอร์ของเชื้อราในอากาศได้ ซึ่งอาจส่งผลให้ความเข้มข้นของละอองชีวภาพเพิ่มขึ้นในบางพื้นที่ (Després et al., 2012; Fröhlich-Nowoisky et al., 2016) ความแตกต่างของผลการศึกษาระหว่างพื้นที่อาจเกิดจากความแตกต่างของแหล่งกำเนิดฝุ่น องค์ประกอบทางเคมีของอนุภาค สภาพภูมิอากาศ และลักษณะของระบบนิเวศจุลชีพในบรรยากาศ

ปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา โดยเฉพาะอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ มีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตและการกระจายตัวของเชื้อราในอากาศ และอาจมีอิทธิพลมากกว่าปัจจัยด้านมลพิษในบางบริบท ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรบางประการที่พบในการศึกษานี้อาจแตกต่างจากที่รายงานในงานวิจัยก่อนหน้า เช่น ความสัมพันธ์ระหว่าง $PM_{2.5}$ และความเร็วลม ซึ่งโดยทั่วไปคาดว่าจะเป็นความสัมพันธ์เชิงลบ ความแตกต่างดังกล่าวอาจสะท้อนถึงลักษณะเฉพาะของพื้นที่ศึกษา แหล่งกำเนิดมลพิษ และ

สภาพแวดล้อมในช่วงเวลาที่ทำการเก็บตัวอย่าง ดังนั้น ผลการศึกษานี้จึงอาจสะท้อนถึงผลกระทบร่วมของหลายปัจจัยในระบบสิ่งแวดล้อม โดยที่ $PM_{2.5}$ เป็นเพียงหนึ่งในองค์ประกอบที่มีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของเชื้อราในอากาศ

นอกจากนี้ ผลการศึกษายังพบว่าปริมาณเชื้อราในอากาศมีแนวโน้มสูงที่สุดในฤดูฝน ซึ่งสอดคล้องกับรายงานจากหลายประเทศในเขตร้อนที่พบว่าความชื้นและปริมาณฝนมีบทบาทสำคัญต่อการเพิ่มจำนวนของสปอร์เชื้อราในบรรยากาศ (Grinn-Gofroń & Strzelczak, 2013; Oliveira et al., 2009) ความชื้นสูงช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของเชื้อราในดิน พืช และพื้นผิวต่าง ๆ ทำให้มีการปลดปล่อยสปอร์เข้าสู่บรรยากาศเพิ่มขึ้น ขณะที่ในฤดูร้อนที่มีอุณหภูมิสูงและสภาพอากาศแห้ง ปริมาณเชื้อราในอากาศอาจลดลง

เนื่องจากข้อมูลในงานวิจัยนี้ครอบคลุมระยะเวลา 12 เดือน การวิเคราะห์ในเชิงฤดูกาลอาจช่วยอธิบายความแปรผันของปริมาณเชื้อราและ $PM_{2.5}$ ได้ชัดเจนยิ่งขึ้น การศึกษาครั้งต่อไปควรพิจารณาการวิเคราะห์ข้อมูลแยกตามฤดูกาลเพื่อเพิ่มความลึกของการตีความผล

ผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยสิ่งแวดล้อม ยังแสดงให้เห็นความสัมพันธ์เชิงลบที่ค่อนข้างสูงระหว่างอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งเป็นลักษณะทั่วไปของสภาพภูมิอากาศในเขตร้อน นอกจากนี้ $PM_{2.5}$ ยังมีความสัมพันธ์เชิงลบกับความชื้นสัมพัทธ์ และมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความเร็วลม ซึ่งอาจสะท้อนถึงบทบาทของสภาพอุตุนิยมวิทยาต่อการสะสม และการกระจายตัวของอนุภาคแขวนลอยในบรรยากาศ

โดยสรุป ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าปริมาณเชื้อราในอากาศมีความสัมพันธ์กับปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมหลายประการ แม้ว่าระดับความสัมพันธ์ของตัวแปรเดี่ยวจะอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง แต่ผลลัพธ์ดังกล่าวสะท้อนให้เห็นถึงบทบาทของสภาพแวดล้อมต่อพลวัตของจุลชีพในบรรยากาศ ดังนั้นการติดตามคุณภาพอากาศควรพิจารณา ทั้งมลพิษทางกายภาพและองค์ประกอบทางชีวภาพร่วมกัน เพื่อให้สามารถประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของประชาชนได้อย่างครอบคลุมมากยิ่งขึ้น ผลการศึกษานี้สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาระบบเฝ้าระวัง bioaerosol และมลพิษทางอากาศ ในพื้นที่เมือง โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีระดับ $PM_{2.5}$ สูงอย่างต่อเนื่อง การบูรณาการข้อมูลด้านจุลชีพในอากาศกับข้อมูลด้านอุตุนิยมวิทยาและคุณภาพอากาศ อาจช่วยให้สามารถประเมินความเสี่ยงต่อโรคระบบทางเดินหายใจ ภูมิแพ้ และโรคติดเชื้อทางอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ข้อเสนอแนะ

สำหรับการศึกษาวิจัยในอนาคต ควรมีการเก็บตัวอย่างในระยะเวลาที่ต่อเนื่องยาวนานขึ้น และเพิ่มจำนวนจุดเก็บตัวอย่าง เพื่อให้สามารถวิเคราะห์รูปแบบการเปลี่ยนแปลงของละอองชีวภาพในระดับพื้นที่ได้อย่างละเอียดมากขึ้น นอกจากนี้ การศึกษาควรพิจารณาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างจุลชีพในอากาศกับอนุภาคฝุ่นในหลายช่วงขนาด เช่น PM_{10}, PM_1 และ $PM_{0.1}$ เพื่อทำความเข้าใจบทบาทของขนาดอนุภาคต่อการแพร่กระจายของจุลชีพในบรรยากาศได้ดียิ่งขึ้น อีกทั้งควรมีการจำแนกชนิดของเชื้อราในระดับสายพันธุ์ (species identification) โดยใช้วิธีทางโมเลกุล เช่น DNA sequencing หรือ metagenomic analysis เพื่อให้สามารถระบุองค์ประกอบของชุมชนจุลชีพในอากาศได้อย่างแม่นยำ และช่วยประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพที่เกี่ยวข้องกับเชื้อราที่ก่อโรคหรือก่อภูมิแพ้ได้ชัดเจนยิ่งขึ้น นอกจากนี้ควรมีศึกษาความสัมพันธ์แยกแต่ละฤดูเพื่อเข้าใจถึงความสัมพันธ์ของเชื้อรา และ$PM_{2.5}$เพิ่มมากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนบางส่วนจากบัณฑิตวิทยาลัย และสมาคมศิษย์เก่าบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล และการนำเสนอผลงานในการประชุมครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล

เอกสารอ้างอิง

Ahmad, M., Manjantrarat, T., Rattanawongsa, W., Muensri, P., Saenmuangchin, R., Klamchuen, A., Aueviriyavit, S., Sukrak, K., Kangwansupamonkon, W., & Panyametheekul, S. (2022). Chemical Composition, Sources, and Health Risk Assessment of PM2.5 and PM10 in Urban Sites of Bangkok, Thailand. International journal of environmental research and public health, 19(21), 14281.

Bowers, R. M., McCubbin, I. B., Hallar, A. G., & Fierer, N. (2012). Seasonal variability in airborne bacterial and fungal communities. Atmospheric Environment, 50, 41–49.

Cao, C., Jiang, W., Wang, B., Fang, J., Lang, J., Tian, G., Jiang, J., & Zhu, T. (2014). Inhalable microorganisms in Beijing's PM2.5 and PM10 pollutants during a severe smog event. Environmental Science & Technology, 48(3), 1499-1507.

Després, V. R., Huffman, J. A., Burrows, S. M., Hoose, C., Safatov, A. S., Buryak, G., et al. (2012). Primary biological aerosol particles in the atmosphere: A review. Tellus B, 64, 15598.

Fang, Z., Ouyang, Z., Hu, L., Wang, X., Zheng, H., & Lin, X. (2005). Culturable airborne fungi in outdoor environments in Beijing, China. Science of the Total Environment, 350(1-3), 47-58.

Fröhlich-Nowoisky, J., Kampf, C. J., Weber, B., Huffman, J. A., Pöhlker, C., Andreae, M. O., et al. (2016). Bioaerosols in the Earth system: Climate, health, and ecosystem interactions. Atmospheric Research, 182, 346–376.

Grinn-Gofroń, A., & Strzelczak, A. (2013). Changes in concentration of airborne fungal spores during summer storms. International Journal of Biometeorology, 57, 759-768.

IQAir. (2025). 2024 IQAir World Air Quality Report. Retrieved from https://www.iqair.com/newsroom/waqr-2024-pr

Kelly, F. J., & Fussell, J. C. (2012). Size, source and chemical composition as determinants of toxicity attributable to ambient particulate matter. Atmospheric Environment, 60, 504–526.

Oliveira, M., Ribeiro, H., Delgado, J. L., & Abreu, I. (2009). Seasonal and intradiurnal variation of allergenic fungal spores in urban and rural areas. Aerobiologia, 25, 85-98.

Pani, S. K., Wang, S. H., Lin, N. H., Chantara, S., Lee, C. T., & Thepnuan, D. (2019). Black

carbon over an urban atmosphere in northern peninsular Southeast Asia: Characteristics, source apportionment, and associated health risks. Atmospheric Environment, 212, 97–109.

Posit Team. (2026). RStudio: Integrated development environment for R. Boston, MA: Posit Software. http://www.posit.co/

R Core Team. (2025). R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. https://www.r-project.org/

Shi, Y., Matsunaga, T., Hara, K., et al. (2017). Premise of airborne bacterial/fungal survival under oxidative stress conditions. Atmospheric Environment, 150, 1–9.

Wei, M., Xu, C., Xu, X., Zhu, C., Li, J., & Lv, G. (2016). Characteristics of atmospheric bacterial and fungal communities in PM2.5 and PM10 particles in Beijing. Atmospheric Environment, 144, 172-179.

World Health Organization. (2024). Ambient (outdoor) air pollution. Retrieved from https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health

Yabueng, N., Sansupa, C., Noirungsee, N., Chantara, S., & Pani, S. K. (2025). Characterization of airborne microbial communities in northern Thailand: Impacts of smoke haze versus non-haze conditions. Environmental Pollution.

กรมควบคุมมลพิษ. (2566). รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทยปี 2566. สืบค้นจาก https://www.pcd.go.th/publication/32171/