

## ความสัมพันธ์ระหว่างฤดูกาลและการสัมผัส PM 2.5 ต่ออาการกำเริบของเด็กโรคหืด ในโรงพยาบาลเทพรัตน์นครราชสีมา

### The Relationship Between Seasonal Variations, PM<sub>2.5</sub> Exposure, and Asthma Exacerbations in Children at Debaratana Nakhon ratchasima Hospital.

(Received: January 20,2026 ; Revised: January 24,2026 ; Accepted: January 28,2026)

กาญจนา ชยติมาพันธ์<sup>1</sup>

Kranjana Chayutimaphan<sup>1</sup>

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างฤดูกาลและระดับการสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM<sub>2.5</sub>) ต่อการเกิดอาการกำเริบของโรคหืดในผู้ป่วยเด็กที่เข้ารับการรักษา ณ โรงพยาบาลเทพรัตน์นครราชสีมา การวิจัยเป็นการศึกษาแบบย้อนหลังเชิงอนุกรมเวลา (Time-series study) โดยใช้ข้อมูลผู้ป่วยเด็กอายุต่ำกว่า 15 ปี ที่ได้รับการวินิจฉัยโรคหืด (ICD-10: J45-J46) รวมทั้งสิ้น 479 ราย และข้อมูลสิ่งแวดล้อมจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษระหว่างเดือนมกราคม พ.ศ. 2563 ถึง ธันวาคม พ.ศ. 2567

ผลการศึกษา: พบว่าอัตราการกำเริบของโรคหืดในเด็กสูงสุดในช่วงฤดูหนาวและฤดูฝน โดยเฉพาะในเดือนธันวาคมถึงกุมภาพันธ์ ซึ่งมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ PM<sub>2.5</sub> เกินมาตรฐานองค์การอนามัยโลก (WHO) หลายวันต่อเนื่อง หลังปรับควบคุมปัจจัยด้านเวลาแล้ว ทั้งฤดูฝนและฤดูหนาวมีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของการกำเริบของโรคหืดเมื่อเทียบกับฤดูร้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ฤดูฝน: IRR = 1.26, 95% CI = 1.07-1.48, p = 0.005; ฤดูหนาว: IRR = 1.18, 95% CI = 1.01-1.40, p = 0.041) ในด้านการสัมผัสมลพิษพบว่าในกลุ่มเด็กอายุต่ำกว่า 5 ปี ระดับ PM<sub>2.5</sub> ในวันเดียวกันมีความสัมพันธ์กับการเข้ารับการรักษาในโรงพยาบาล (OR = 1.05, 95% CI = 1.00-1.09, p = 0.032) ขณะที่ในกลุ่มอายุ 5-15 ปี ไม่พบความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญ (p > 0.05) การวิเคราะห์ (Multivariable Logistic Regression) แสดงให้เห็นว่า ระดับ PM<sub>2.5</sub> ในช่วง 3 วันก่อนหน้า (3-day lag) มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการเกิดอาการหืดระดับปานกลางถึงรุนแรงในผู้ป่วยเด็ก (Adjusted OR = 1.03, 95% CI = 1.00-1.06, p = 0.040)

**คำสำคัญ (Keywords):**โรคหืดในเด็ก, ฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM<sub>2.5</sub>), ฤดูกาล, การกำเริบของโรคหืด

#### Abstract

This study was investigate to the relationship between seasonal variations and exposure levels of fine particulate matter less than 2.5 micrometers in diameter (PM<sub>2.5</sub>) on asthma exacerbations among pediatric patients admitted to Debaratana Nakhon ratchasima Hospital. This study employed a retrospective time-series design using data of pediatric patients under 15 years of age diagnosed with asthma (ICD-10: J45-J46), totaling 479 cases, and environmental data obtained from air quality monitoring stations of the Pollution Control Department between January 2020 and December 2024.

Results: The incidence of asthma exacerbations among children was highest during the winter and rainy seasons, particularly from December to February, during which mean PM<sub>2.5</sub> concentrations exceeded the World Health Organization (WHO) guideline on multiple consecutive days. After adjustment for temporal factors, both the rainy and winter seasons were significantly associated with an increased incidence of asthma exacerbations compared with the summer season (rainy season: incidence rate ratio [IRR] = 1.26, 95% confidence interval [CI] = 1.07-1.48, p = 0.005; winter season: IRR = 1.18, 95% CI = 1.01-1.40, p = 0.041). Regarding air pollution exposure, among children aged <5 years, same-day PM<sub>2.5</sub> concentrations were significantly associated with hospital admission (odds ratio [OR] = 1.05, 95% CI = 1.00-1.09, p = 0.032), whereas no significant association was observed among children aged 5-15 years (p > 0.05). Multivariable logistic regression analysis further demonstrated that PM<sub>2.5</sub>

<sup>1</sup> กุมารแพทย์ สาขาโรคภูมิแพ้และภูมิคุ้มกัน โรงพยาบาลเทพรัตน์นครราชสีมา E-mail: chytmphn@gmail.com

concentrations averaged over the preceding 3 days (3-day lag) were positively associated with moderate-to-severe asthma exacerbations in pediatric patients (adjusted OR = 1.03, 95% CI = 1.00–1.06, p = 0.040)

**Keywords:** Pediatric asthma, PM<sub>2.5</sub>, seasonal variation, asthma exacerbation

## บทนำ

โรคหืด (Asthma) เป็นโรคระบบทางเดินหายใจเรื้อรังที่เกิดจากภาวะการอักเสบของหลอดลมซึ่งมีความซับซ้อนและสัมพันธ์กับการตอบสนองต่อสิ่งกระตุ้นในสิ่งแวดล้อม ทำให้เกิดภาวะหลอดลมตีบแคบชั่วคราว ส่งผลให้ผู้ป่วยมีอาการหอบ หายใจมีเสียงวี๊ด แน่นหน้าอก และไอ โดยเฉพาะในเวลากลางคืนหรือเช้ามืด โรคหืดเป็นปัญหาสาธารณสุขสำคัญของประเทศไทยและทั่วโลก โดยองค์การอนามัยโลก (WHO) ประมาณว่ามีผู้ป่วยโรคหืดทั่วโลกมากกว่า 262 ล้านคน และเสียชีวิตมากกว่า 455,000 รายต่อปี<sup>1</sup> เด็กเป็นกลุ่มที่มีความเปราะบางสูง เนื่องจากระบบภูมิคุ้มกันและระบบทางเดินหายใจยังไม่พัฒนาเต็มที่ จึงมีแนวโน้มที่จะตอบสนองต่อมลพิษทางอากาศและสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงได้ง่ายกว่าผู้ใหญ่<sup>2</sup>

มลพิษทางอากาศ โดยเฉพาะฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM<sub>2.5</sub>) ได้รับการยืนยันว่าเป็นปัจจัยเสี่ยงสำคัญที่กระตุ้นให้เกิดอาการกำเริบของโรคหืด (asthma exacerbation) ในเด็ก งานวิจัยหลายชิ้นระบุว่า การเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของ PM<sub>2.5</sub> มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับการเพิ่มขึ้นของการเข้ารับการรักษาในโรงพยาบาลจากโรคหืด<sup>3</sup> ในการศึกษาในประเทศไทยพบว่า ค่าเฉลี่ย PM<sub>2.5</sub> ที่ระดับเพียง 12 µg/m<sup>3</sup> ก็สามารถกระตุ้นให้เกิดอาการหืดเฉียบพลันภายในสามวันหลังสัมผัส โดยมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับความรุนแรงของอาการ<sup>4</sup> กลไกทางพยาธิสรีรวิทยาที่ PM<sub>2.5</sub> มีผลต่อการกำเริบของโรคหืดเกี่ยวข้องกับการกระตุ้นการอักเสบของเยื่อหลอดลมผ่านสัญญาณ JAK-STAT6 ซึ่งส่งผลให้เกิดการหลั่งไซโตไคน์กลุ่ม Th2 ได้แก่ IL-5, IL-13 และ IL-1β เพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการหดตัวของหลอดลม การสร้างเมือก และภาวะอักเสบของเนื้อเยื่อปอด<sup>5</sup> งานวิจัยในระดับเซลล์พบว่า PM<sub>2.5</sub>

สามารถกระตุ้นเส้นทาง Notch1-GATA3 ซึ่งเกี่ยวข้องกับการสร้างเซลล์ภูมิคุ้มกันชนิด Th2 ที่มีบทบาทสำคัญในโรคหืด และ microRNA-139-5p อาจมีบทบาทในการยับยั้งการอักเสบจาก PM<sub>2.5</sub><sup>6</sup> ข้อมูลจากประเทศจีนยังพบว่าความเข้มข้นของ PM<sub>2.5</sub> ส่งผลให้การทำงานของปอด (FEV<sub>1</sub> และ FVC) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะในฤดูร้อนและฤดูใบไม้ผลิ<sup>7</sup>

นอกจากมลพิษทางอากาศแล้วปัจจัยทางฤดูกาล (seasonal variation) มีความสัมพันธ์กับการกำเริบของโรคหืดอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีรายงานว่าฤดูฝนและฤดูหนาวเป็นช่วงที่มีอัตราการเข้ารับการรักษาสูงที่สุด เนื่องจากสภาพอากาศเย็นและความชื้นสูงเป็นตัวกระตุ้นการหดเกร็งของหลอดลมและเพิ่มโอกาสการติดเชื้อทางเดินหายใจส่วนบน<sup>8</sup> การศึกษาของ Kim และคณะ (2021) พบว่าค่าการไหลสูงสุดของอากาศขณะหายใจออก (PEFR) ของเด็กโรคหืดลดลงอย่างมีนัยสำคัญในช่วงเดือนเมษายนและตุลาคม ซึ่งสอดคล้องกับช่วงที่มีค่าฝุ่นละอองสูงในหลายพื้นที่<sup>9</sup>

จังหวัดนครราชสีมาเป็นจังหวัดที่มีพื้นที่ขนาดใหญ่ มีทั้งเขตเมืองที่มีการจราจรหนาแน่นและเขตอุตสาหกรรม และพื้นที่ที่มีการเผาในที่โล่ง โดยเฉพาะในช่วงเดือนธันวาคมถึงเมษายนของทุกปี ทำให้ระดับ PM<sub>2.5</sub> สูงเกินค่ามาตรฐานหลายวันต่อเนื่อง สภาพอากาศดังกล่าวอาจเพิ่มโอกาสการกำเริบของโรคหืดในเด็กซึ่งเป็นกลุ่มอ่อนไหวทางสุขภาพมากที่สุด<sup>10</sup> ดังนั้นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างฤดูกาลและระดับการสัมผัส PM<sub>2.5</sub> ต่ออาการกำเริบของโรคหืดในเด็กในจังหวัดนครราชสีมา โดยเฉพาะในโรงพยาบาลเทพรัตนนครราชสีมา จึงมีความสำคัญต่อการทำความเข้าใจรูปแบบการเกิดโรคในบริบทท้องถิ่น เพื่อเป็นข้อมูลเชิงประจักษ์ในการกำหนดมาตรการเฝ้าระวังและป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพ

เด็กในระดับชุมชนและระดับนโยบาย อันจะนำไปสู่การพัฒนาาระบบบริการสุขภาพและการบริหารจัดการคุณภาพอากาศที่เหมาะสมกับลักษณะภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อมของพื้นที่อย่างยั่งยืน

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างฤดูกาลต่ออาการกำเริบของเด็กโรคหืด ในโรงพยาบาลเพชรรัตน นครราชสีมา

2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการสัมผัส PM 2.5 ต่ออาการกำเริบของเด็กโรคหืด ในโรงพยาบาลเพชรรัตน นครราชสีมา

### วิธีการวิจัย

#### รูปแบบการวิจัย

การศึกษานี้เป็นการวิจัยเชิงสำรวจแบบภาคตัดขวาง (Survey Research by Cross-sectional study) อนุกรมเวลา (Time-series study) เพื่อประเมินผลกระทบระยะสั้นของการสัมผัส PM2.5 ต่ออาการกำเริบของผู้ป่วยเด็กโรคหืด โรงพยาบาลเพชรรัตน จังหวัดนครราชสีมา

#### ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรเป้าหมายในการศึกษานี้คือเด็กอายุต่ำกว่า 15 ปี ที่อาศัยอยู่ในจังหวัดนครราชสีมา ซึ่งมีการกำเริบของโรคหืด (Asthma Exacerbation) และเข้ารับการรักษาในโรงพยาบาลในช่วงระยะเวลาที่ศึกษา (1 มกราคม พ.ศ. 2563 - 31 ธันวาคม พ.ศ. 2567)

กลุ่มตัวอย่างคือเด็กที่ได้รับการวินิจฉัยว่าเป็นโรคหืด (Asthma) โดยอ้างอิงตามรหัส ICD-10 (J45-J46) และมีข้อมูลการเข้ารับการรักษาในโรงพยาบาลเพชรรัตน ที่สามารถตรวจสอบได้จากฐานข้อมูลของโรงพยาบาล อย่างไรก็ตามการศึกษาครั้งนี้ไม่ได้คำนวณขนาดตัวอย่างเพราะเป็นการศึกษาแบบ Time-series study จึงใช้ประชากรทั้งหมดในช่วงระยะเวลาที่ศึกษา (1 มกราคม พ.ศ. 2563 - 31 ธันวาคม พ.ศ. 2567)

**เกณฑ์การคัดเลือก (Inclusion Criteria)** 1) ผู้ป่วยเด็กอายุต่ำกว่า 15 ปีที่มีอาการกำเริบของโรค

หืด (Asthma Exacerbation) 2) อาการกำเริบเฉียบพลันของโรคหืด โดยครอบคลุมรูปแบบการรับบริการทางการแพทย์อย่างน้อย 1 ใน 3 ลักษณะต่อไปนี้ การเข้ารับการรักษาที่แผนกฉุกเฉิน (Emergency Room; ER) และสามารถกลับบ้านได้ภายใน 24 ชั่วโมงหลังการรักษา, การเข้ารับการรักษาหรือพ่นยาขยายหลอดลมในรูปแบบผู้ป่วยนอก (Outpatient treatment) ,การเข้ารับการรักษาโดยจำเป็นต้องนอนโรงพยาบาล (Inpatient admission) เพื่อรับการดูแลอย่างต่อเนื่อง 3) อาศัยอยู่ในจังหวัดนครราชสีมา(ตามที่อยู่ประวัติผู้ป่วย) 4) ข้อมูลทางการแพทย์สมบูรณ์ เช่น วันที่เข้ารับการรักษา ประเภทการรักษา และการวินิจฉัย

#### เกณฑ์การคัดออก (Exclusion Criteria) 1)

ผู้ป่วยที่มีการวินิจฉัยโรคทางเดินหายใจชนิดอื่นที่ไม่ใช่โรคหืด 2) ผู้ป่วยที่อาศัยอยู่นอกจังหวัดนครราชสีมาในช่วงเวลาที่ศึกษา

#### เครื่องมือการวิจัย

**1. ข้อมูลสุขภาพ** ข้อมูลสุขภาพได้มาจากฐานข้อมูลของ โรงพยาบาลเพชรรัตน นครราชสีมา ซึ่งเป็นโรงพยาบาลทั่วไปขนาดใหญ่ในสังกัดกระทรวงสาธารณสุข ให้บริการผู้ป่วยในจังหวัดนครราชสีมา และพื้นที่ใกล้เคียง โดยดึงข้อมูลย้อนหลังในช่วงระยะเวลาที่ทำการศึกษา จากระบบสารสนเทศโรงพยาบาล (Hospital Information System: HIS) ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลผู้ป่วยเด็กอายุไม่เกิน 15 ปี ที่ได้รับการวินิจฉัยโรคหืด (รหัส ICD-10: J45-J46)

**2. ข้อมูลสิ่งแวดล้อม** ข้อมูลสิ่งแวดล้อมด้านคุณภาพอากาศได้รับจาก สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษ (Pollution Control Department: PCD) และ สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศในจังหวัดนครราชสีมา โดยรวบรวมค่าฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM<sub>2.5</sub>) รายวัน ตลอดช่วงระยะเวลาศึกษาใช้ค่า เฉลี่ยรายวันของ PM<sub>2.5</sub> (Daily Mean Concentration) เป็นตัวแปรหลักในการวิเคราะห์ เพื่อสะท้อนระดับการสัมผัสมลพิษของประชากรในแต่ละวัน ในกรณีที่มีข้อมูลบางวันขาดหาย (Missing Data) จะใช้วิธีการ

ประมาณค่าทดแทน (Imputation Method) โดยใช้ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving Average) หรือค่ามัธยฐานของวันก่อนหน้าและวันถัดไป เพื่อให้ข้อมูลมีความต่อเนื่องและลดความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์

### สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์เชิงพรรณนาใช้เพื่ออธิบายลักษณะพื้นฐานของผู้ป่วย โดยตัวแปรเชิงคุณภาพ ได้แก่ เพศ ฤดูกาล ระดับความรุนแรงของอาการอาการทางคลินิก และการมีโรคร่วม รายงานเป็นจำนวนและร้อยละ ส่วนตัวแปรเชิงปริมาณ ได้แก่ อายุและดัชนีมวลกาย ประเมินลักษณะการแจกแจงของข้อมูล หากข้อมูลมีการแจกแจงใกล้เคียงปกติจะรายงานเป็นค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน แต่หากไม่เป็นปกติจะรายงานเป็นค่ามัธยฐานและช่วงพิสัยควอไทล์ การเปรียบเทียบลักษณะพื้นฐานระหว่างกลุ่มผู้ป่วยที่ต้องนอนรักษาในโรงพยาบาลและกลุ่มที่ไม่ต้องนอนโรงพยาบาล ใช้ Chi-square test หรือ Fisher's exact test สำหรับตัวแปรเชิงคุณภาพ และใช้ independent t-test หรือ Mann-Whitney U test สำหรับตัวแปรเชิงปริมาณตามความเหมาะสม

ความสัมพันธ์ระหว่างฤดูกาลกับจำนวนผู้ป่วยเด็กโรคหืดที่มีอาการกำเริบ การวิเคราะห์อนุกรมเวลาโดยใช้แบบจำลองเชิงเส้นทั่วไป (Generalized Linear Model; GLM) ด้วยการแจกแจงแบบ Poisson และฟังก์ชันเชื่อมโยงแบบลอการิทึม (log link) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างฤดูกาลกับจำนวนผู้ป่วยเด็กโรคหืดที่มีอาการกำเริบรายวัน โดยปรับควบคุมตัวแปรด้านเวลา ได้แก่ ลำดับวัน (day), เดือน (month), ปี (year) และวันในสัปดาห์ (day of week) เพื่อควบคุมอิทธิพลของแนวโน้มเชิงเวลาและความแปรปรวนตามปฏิทิน และใช้ robust standard errors เพื่อแก้ปัญหา overdispersion

การประเมินความสัมพันธ์ระหว่างการสัมผัส PM<sub>2.5</sub> กับการนอนรักษาในโรงพยาบาล วิเคราะห์ด้วยการถดถอยโลจิสติก (Binary logistic regression) แยกตามกลุ่มอายุ (<5 ปี และ 5–15 ปี)

โดยประเมินผลของ PM<sub>2.5</sub> ในแต่ละช่วงเวลา (Lag 0–4 วัน) และรายงานค่า Odds Ratio (OR) พร้อมช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกพหุปัจจัย (Multivariable logistic regression) เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการเกิดอาการที่ระดับปานกลางถึงรุนแรง โดยตัวแปรอิสระหลักคือค่าเฉลี่ย PM<sub>2.5</sub> ย้อนหลัง 3 วัน (3-day lag) ฤดูกาล อายุ (Age), เพศ (Sex), ดัชนีมวลกาย (BMI), การมีโรคร่วม (Co-morbid), อาการไอ (Cough), อาการหอบเหนื่อย (Dyspnea), อาการไข้ (Fever), และอาการมีน้ำมูก (Runny nose) เพื่อควบคุมอิทธิพลของปัจจัยร่วมทางคลินิกและลักษณะพื้นฐานของผู้ป่วย ผลการวิเคราะห์ทางสถิติทั้งหมดรายงานพร้อมค่าช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และกำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ p-value < 0.05

### จริยธรรมการวิจัย

การศึกษานี้ผ่านการรับรองจาก

คณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดนครราชสีมา เลขที่โครงการวิจัย NRPH001 ลงวันที่รับรอง 6 มกราคม 2568

### ผลการศึกษา

จากข้อมูลผู้ป่วยเด็กโรคหืดที่มีอาการกำเริบซึ่งมารับการรักษาที่โรงพยาบาลเทพรัตนนครราชสีมา ระหว่างปี พ.ศ. 2563–2567 จำนวนทั้งหมด 479 ราย แบ่งเป็นกลุ่มที่ไม่ต้องนอนโรงพยาบาล 279 ราย (58.2%) และกลุ่มที่ต้องนอนรักษาในโรงพยาบาล 200 ราย (41.8%) ค่าเฉลี่ยอายุของผู้ป่วยทั้งหมดอยู่ที่  $6.54 \pm 3.27$  ปี ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างสองกลุ่ม ( $p = 0.65$ ) เพศชายมีสัดส่วนสูงกว่าเพศหญิงด้านภาวะร่วม (Comorbidity) พบว่า กลุ่มที่ไม่ต้องนอนโรงพยาบาลมีภาวะโรคร่วมสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ (31.5% เทียบกับ 18.5%;  $p < 0.01$ ) ส่วนอาการที่พบบ่อยในขณะมารับการรักษาคือ ไอ (ร้อยละ 65.4) และ หอบเหนื่อย (ร้อยละ 65.8) โดยพบอัตราการมีอาการไอและหอบในในกลุ่มที่ต้องนอนโรงพยาบาลสูงกว่ากลุ่มไม่ต้องนอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.01$ ) เมื่อ

พิจารณาความรุนแรงของโรค พบว่ากลุ่มนอนโรงพยาบาลมีสัดส่วนของอาการระดับ รุนแรงถึงปานกลางสูงถึงร้อยละ 97 ในขณะที่กลุ่มไม่ต้องนอนโรงพยาบาลส่วนใหญ่มีอาการระดับเล็กน้อยถึงปานกลาง ( $p < 0.01$ ) ดังแสดงในตารางที่ 1

แนวโน้มรายเดือนและฤดูกาลของการกำเริบของโรคหืด (Seasonal Trend of Exacerbations) จาก ภาพที่ 1 แสดงแนวโน้มจำนวนผู้ป่วยเด็กโรคหืดที่มีอาการกำเริบรายเดือน พบว่าอัตราการมารับการรักษามีแนวโน้มสูงสุดในช่วง เดือนธันวาคมถึงกุมภาพันธ์ ซึ่งเป็นช่วงฤดูหนาวของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และมีแนวโน้มต่ำสุดในช่วงเดือนเมษายนถึงมิถุนายน เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลตามฤดูกาลผลการวิเคราะห์พบว่า หลังการปรับควบคุมตัวแปรด้านเวลาแล้ว ทั้งฤดูฝนและฤดูหนาวมีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของอัตราการเกิดอาการกำเริบของโรคหืดในเด็กอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับฤดูร้อน (Incidence Rate Ratio; IRR = 1.26, 95% CI = 1.07–1.48,  $p = 0.005$ ) (IRR = 1.18, 95% CI = 1.01–1.40,  $p = 0.041$ ) ตามลำดับ (ตารางที่ 2) ผลดังกล่าวสอดคล้องกับค่าความเข้มข้นเฉลี่ย

ของฝุ่น PM<sub>2.5</sub> รายเดือนจาก ภาพที่ 2 ซึ่งพบว่ามีแนวโน้มสูงสุดในช่วงเดือนธันวาคมถึงมีนาคม โดยเฉลี่ยเกิน 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ซึ่งสูงกว่าค่ามาตรฐานขององค์การอนามัยโลก (WHO) ที่กำหนดไว้ 15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

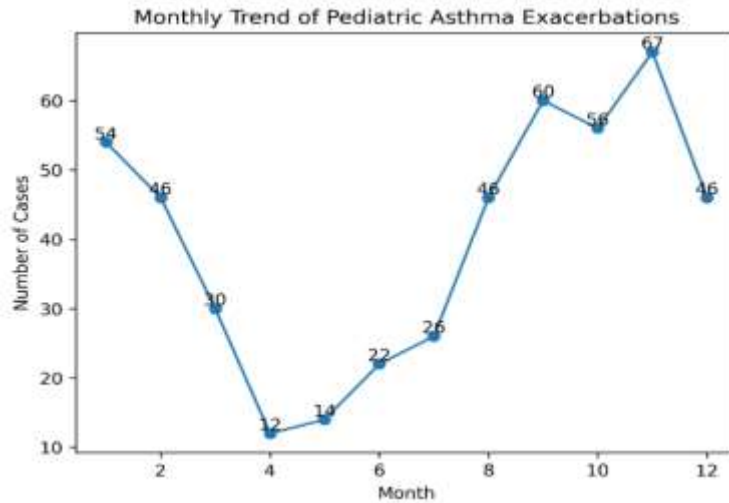
เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างระดับฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM<sub>2.5</sub>) กับการนอนรักษาในโรงพยาบาลในกลุ่มผู้ป่วยเด็กโรคหืดพบว่า ในกลุ่มเด็กอายุต่ำกว่า 5 ปี ระดับ PM<sub>2.5</sub> ในวันเดียวกัน (Lag 0) มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการเข้ารับการรักษาในโรงพยาบาลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยทุกการเพิ่มขึ้นของ PM<sub>2.5</sub> 1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ทำให้ (Odds Ratio; OR) ของการนอนโรงพยาบาลเพิ่มขึ้นร้อยละ 5 (OR = 1.05, 95% CI = 1.00–1.09;  $p = 0.032$ ) (ตารางที่ 3)

ผลการวิเคราะห์ถดถอยโลจิสติกพหุปัจจัยพบว่า ระดับฝุ่น PM<sub>2.5</sub> ในช่วง 3 วันก่อนหน้า มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการเกิดอาการหืดระดับปานกลางถึงรุนแรงในผู้ป่วยเด็ก (OR = 1.03, 95% CI = 1.00–1.06,  $p = 0.040$ ) หลังปรับควบคุมตัวแปรด้านอายุ เพศ ดัชนีมวลกาย โรคร่วม และอาการทางคลินิกอื่นแล้ว ดังตารางที่ 4

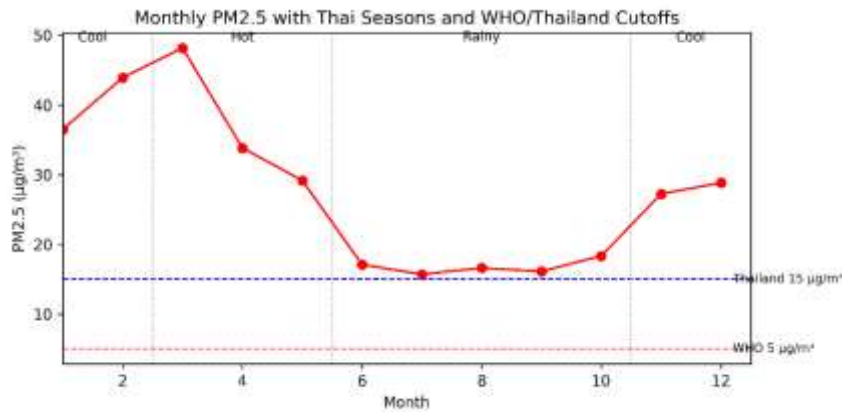
**ตารางที่ 1** ลักษณะพื้นฐานของผู้ป่วยเด็กโรคหืดที่มีอาการกำเริบ แยกตามการนอนรักษาในโรงพยาบาล ระหว่างปี พ.ศ. 2563–2567

ตัวแปร	ไม่ต้องนอนรักษาในโรงพยาบาล (n = 279)	นอนรักษาในโรงพยาบาล (n = 200)	p-value
Age(years), mean $\pm$ SD	6.59 $\pm$ 3.13	6.46 $\pm$ 3.43	0.65
Sex,n(%)			0.58
Male	203 (72.76)	150 (75.0)	
female	76 (27.24)	50 (25.0)	
BMI, mean $\pm$ SD	19.26 $\pm$ 5.27	19.30 $\pm$ 8.02	0.94
Co-morbid	88 (31.54)	37 (18.50)	<0.01
อาการที่พบ			
ไอ	154 (55.20)	158 (79.00)	<0.01
หอบ	152 (54.48)	159 (79.50)	<0.01
ไข้	57 (20.43)	78 (39.0)	<0.01
น้ำมูก	51 (18.28)	31 (15.50)	0.42

ฤดูกาลที่กำลัง			0.34
ฤดูร้อน	45 (16.13)	23 (11.50)	
ฤดูฝน	117 (41.94)	91 (45.50)	
ฤดูหนาว	117 (41.94)	86 (43.0)	
ระดับอาการ			<0.01
เล็กน้อย	83 (29.75)	6 (3.0)	
ปานกลาง	179 (64.16)	88 (44.0)	
รุนแรง	17 (6.09)	106 (53.0)	



ภาพที่ 1 แนวโน้มการเกิดอาการกำเริบของโรคหืดในผู้ป่วยเด็กจำแนกรายเดือน ระหว่างปี พ.ศ. 2563-2567



ภาพที่ 2 การเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยความเข้มข้นฝุ่นละออง PM<sub>2.5</sub> รายเดือนตลอดช่วงระยะเวลาศึกษา

ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างฤดูกาลกับการเกิดอาการกำเริบของโรคหืดในเด็ก โดยการวิเคราะห์อนุกรมเวลา โดยใช้แบบจำลองเชิงเส้นทั่วไป (Generalized Linear Model; GLM) ด้วยการแจกแจงแบบ Poisson

Season	IRR	95% CI	p-value
ฤดูร้อน	-	-	-
ฤดูฝน	1.26	1.07-1.48	<0.01
ฤดูหนาว	1.18	1.01-1.40	0.04

**ตารางที่ 3** ความสัมพันธ์ระหว่างระดับการสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM<sub>2.5</sub>) กับการนอนรักษาในโรงพยาบาลของผู้ป่วยเด็กโรคหืด จำแนกตามกลุ่มอายุ

Variable	under 5 years			5-15 years		
	OR	95% CI	p-value	OR	95% CI	p-value
PM <sub>2.5</sub> ในวันเดียวกัน (Lag 0)	1.05	1.00–1.09	0.032	0.98	0.94–1.03	0.416

**ตารางที่ 4** การวิเคราะห์ multiple logistic regression ของปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการเกิดอาการหืดระดับปานกลางถึงรุนแรงในผู้ป่วยเด็กโรคหืด

ตัวแปร	Adjust OR	(95% CI)	p-value
ระดับฝุ่น PM <sub>2.5</sub> ช่วง 3 วันก่อนหน้า	1.03	1.00 – 1.06	0.040
ฤดูฝน เทียบฤดูร้อน	0.63	0.25 – 1.62	0.338
ฤดูหนาว เทียบฤดูร้อน	0.73	0.34 – 1.58	0.424

\*หมายเหตุ: แบบจำลองถดถอยโลจิสติกพหุปัจจัยได้ปรับควบคุมตัวแปร อายุ (Age), เพศ (Sex), ดัชนีมวลกาย (BMI), การมีโรคร่วม (Co-morbid), อาการไอ (Cough), อาการหอบเหนื่อย (Dyspnea), อาการไข้ (Fever), และอาการมีน้ำมูก (Runny nose) เพื่อควบคุมอิทธิพลของปัจจัยร่วมทางคลินิกและลักษณะพื้นฐานของผู้ป่วย

### สรุปและอภิปรายผล

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างฤดูกาลและระดับการสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM<sub>2.5</sub>) ต่อการเกิดอาการกำเริบของโรคหืดในเด็กที่เข้ารับการรักษา ณ โรงพยาบาลเพชรรัตนนครราชสีมา ระหว่างปี พ.ศ. 2563–2567 ผลการศึกษาพบว่า อัตราการกำเริบของโรคหืดในเด็กมีแนวโน้มสูงสุดในฤดูหนาวและฤดูฝน โดยเฉพาะเดือนธันวาคมถึงกุมภาพันธ์ ซึ่งเป็นช่วงที่มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ PM<sub>2.5</sub> เกินมาตรฐานองค์การอนามัยโลก (WHO) ที่กำหนดไว้ 15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  อย่างต่อเนื่องหลายวัน

การวิเคราะห์เชิงปริมาณโดยใช้แบบจำลองเชิงเส้นทั่วไปสำหรับข้อมูลอนุกรมเวลา (Poisson GLM) หลังปรับควบคุมปัจจัยด้านเวลา ได้แก่ ลำดับวันเดือนปี และวันในสัปดาห์ พบว่า ทั้งฤดูฝนและฤดูหนาวมีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของการเกิดอาการกำเริบของโรคหืดในเด็กเมื่อเทียบกับฤดูร้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยฤดูฝนมีค่าอัตราอุบัติการณ์สัมพัทธ์เพิ่มขึ้นร้อยละ 26 (IRR = 1.26, 95% CI = 1.07–1.48, p = 0.005) และฤดูหนาวมีค่าอัตราอุบัติการณ์สัมพัทธ์เพิ่มขึ้นร้อยละ 18 (IRR =

1.18, 95% CI = 1.01–1.40, p = 0.041) ผลดังกล่าวสะท้อนว่า เมื่อควบคุมความผันผวนตามปฏิทินและแนวโน้มเชิงเวลาแล้ว อิทธิพลของฤดูกาลต่อการกำเริบของโรคหืดในเด็กมีความชัดเจนมากขึ้น สอดคล้องกับ Bilheem et al. (2022)<sup>11</sup> ที่ศึกษาเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยามลพิษทางอากาศ และอัตราการมารับบริการของผู้ป่วยโรคหืดในจังหวัดสงขลาซึ่งศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมกับอัตราการเกิดโรคหืดในจังหวัดสงขลาโดยพบว่าอัตราการมารับบริการของผู้ป่วยโรคหืดสูงสุดในช่วงเดือนมิถุนายนถึงธันวาคม ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝน อาจอธิบายได้จากอิทธิพลร่วมของความชื้นสัมพัทธ์สูง การเพิ่มขึ้นของการติดเชื้อทางเดินหายใจ และสารก่อภูมิแพ้ในอากาศที่กระตุ้นการอักเสบของหลอดลมอย่างต่อเนื่อง และสอดคล้องกับ Abate Bekele Belachew<sup>12</sup> ฤดูหนาวที่หนาวเย็นโดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำกว่าปกติ เพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหอบหืด อย่างไรก็ตามอากาศเย็นสามารถกระตุ้นการหดเกร็งของกล้ามเนื้อหลอดลม เพิ่มความไวของทางเดินหายใจต่อสิ่งกระตุ้น และลดประสิทธิภาพของกลไกการป้องกันในระบบทางเดินหายใจ นอกจากนี้ ในบริบทของภาค

ตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ฤดูหนาวยังเป็นช่วงที่มีการสะสมของมลพิษทางอากาศ โดยเฉพาะฝุ่นละอองขนาดเล็กจากการเผาในที่โล่งและการจราจร ซึ่งอาจทำงานร่วมกับปัจจัยด้านอุณหภูมิในการเพิ่มความเสี่ยงต่อการกำเริบของโรคหืดในเด็ก

ผลการศึกษายังพบว่าในกลุ่มเด็กอายุต่ำกว่า 5 ปี ระดับ PM<sub>2.5</sub> ในวันเดียวกัน (Lag 0) มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการเข้ารับการรักษาในโรงพยาบาล (OR = 1.05, 95% CI = 1.00–1.09, p = 0.032) ขณะที่ในกลุ่มอายุ 5–15 ปี ไม่พบความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญ (p > 0.05) สอดคล้องกับ ซึ่งศึกษาผลของการสัมผัส PM<sub>2.5</sub> ระยะสั้นต่อการกำเริบของโรคหืดในเด็กอายุต่ำกว่า 9 ปีในรัฐแมสซาชูเซตส์ สหรัฐอเมริกา พบว่า เด็กที่มีน้ำหนักแรกเกิดต่ำ ซึ่งเป็นกลุ่มที่ระบบทางเดินหายใจยังพัฒนาไม่สมบูรณ์ มีความเสี่ยงต่อการกำเริบของโรคหืดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (OR = 1.08, 95% CI = 1.01–1.15) แม้ในพื้นที่ที่ระดับ PM<sub>2.5</sub> ค่อนข้างต่ำก็ตาม<sup>13</sup> สอดคล้องกับ hen และคณะ (2025) ซึ่งศึกษาในเมืองเฉิงตู ประเทศจีน พบว่าการเพิ่มขึ้นของค่า PM<sub>2.5</sub> เฉลี่ย 10 µg/m<sup>3</sup> ภายใน 5 วันก่อนหน้า (lag 0–4) เพิ่มการเข้ารับการรักษาในโรงพยาบาลจากโรคหืดในเด็กถึง 2.07% โดยเฉพาะในกลุ่มอายุต่ำกว่า 7 ปี<sup>14</sup> ในทางการแพทย์เด็ก สามารถอธิบายได้ว่า ระบบทางเดินหายใจของเด็กเล็กมีลักษณะเฉพาะคือ ขนาดของหลอดลมที่แคบกว่า ความยาวของระบบทางเดินหายใจสั้นกว่า และมีอัตราการหายใจต่อมวลกายสูงกว่าผู้ใหญ่ ส่งผลให้ ปริมาณฝุ่นละอองที่เข้าสู่ปอดต่อวันสูงกว่าเมื่อเทียบกับน้ำหนักตัว นอกจากนี้ เยื่อหลอดลมของเด็กเล็กยังมีความไวต่อการอักเสบ และระบบภูมิคุ้มกันยังไม่พัฒนาเต็มที่ ทำให้เมื่อได้รับอนุภาคฝุ่น PM<sub>2.5</sub> ซึ่งมีขนาดเล็กพอที่จะทะลุถึงระดับถุงลม เกิดการอักเสบเฉียบพลันและการหดเกร็งของกล้ามเนื้อหลอดลมได้ง่ายกว่าเด็กโต ผลดังกล่าวสะท้อนว่า กลุ่มเด็กเล็กจึงเป็นช่วงวัยที่เปราะบางต่อผลกระทบของ PM<sub>2.5</sub>

ผลการวิเคราะห์ถดถอยโลจิสติกหุปัจจัยในครั้งนี้พบว่า ระดับ PM<sub>2.5</sub> ในช่วง 3 วันก่อนหน้า (3-day lag) มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการเกิดอาการหืดระดับปานกลางถึงรุนแรง (Adjusted OR = 1.03, 95% CI = 1.00–1.06, p = 0.040) หลังควบคุมตัวแปรอายุ เพศ ดัชนีมวลกาย โรคหืด และอาการทางคลินิก ซึ่งผลนี้จากหลักฐานดังกล่าว แสดงให้เห็นว่า PM<sub>2.5</sub> เป็นปัจจัยแวดล้อมที่มีบทบาทสำคัญในการกระตุ้นการกำเริบของโรคหืดในเด็ก ทั้งในระดับประเทศกำลังพัฒนาและประเทศพัฒนาแล้ว โดยผลกระทบมีลักษณะชัดเจนภายในช่วงเวลาไม่กี่วันหลังการสัมผัส (lag effect) ซึ่งสอดคล้องกับกลไกทางสรีรวิทยาที่ PM<sub>2.5</sub> สามารถกระตุ้นการอักเสบของหลอดลมและเพิ่มความไวต่อสารก่อภูมิแพ้ได้ภายใน 24–72 ชั่วโมงหลังการสัมผัส

#### ข้อจำกัดของการศึกษา

1. การศึกษามีลักษณะเป็นแบบย้อนหลัง (Retrospective) ทำให้ไม่สามารถระบุความเป็นเหตุและผลได้โดยตรง
2. การใช้ข้อมูล PM<sub>2.5</sub> เฉลี่ยรายวันอาจไม่สะท้อนการสัมผัสเฉพาะบุคคล เนื่องจากไม่ได้วัดในพื้นที่อยู่อาศัยของผู้ป่วยโดยตรง
3. ปัจจัยสิ่งแวดล้อมอื่น เช่น โอโซน (O<sub>3</sub>), ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO<sub>2</sub>), หรือสภาพอุตุนิยมวิทยา (อุณหภูมิ ความชื้น ลม) ไม่ได้ถูกรวมในแบบจำลอง
4. ไม่สามารถควบคุมความแตกต่างทางพฤติกรรมของผู้ปกครองและการใช้ยาควบคุมโรคหืดของผู้ป่วยแต่ละรายได้

#### สรุป

ในเชิงนโยบายสาธารณสุข ควรนำผลการศึกษานี้ไปใช้เป็นฐานข้อมูลเชิงประจักษ์ในการพัฒนาและดำเนินการระบบเฝ้าระวังและเตือนภัยคุณภาพอากาศสำหรับเด็กโรคหืดในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา โดยให้ความสำคัญเป็นพิเศษในช่วงฤดูฝนและฤดูหนาว ซึ่งเป็นฤดูกาลที่มีความเสี่ยงสูงต่อการเกิดอาการกำเริบของโรคหืด การบูรณาการข้อมูลด้านฤดูกาลและระดับฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5

ไมครอน (PM<sub>2.5</sub>) เข้ากับระบบบริการสุขภาพจะช่วย  
ให้สามารถวางแผนการป้องกันและการดูแลผู้ป่วยเชิง  
รุกได้อย่างมีประสิทธิภาพ อาทิ การจัดทำระบบแจ้ง  
เตือนล่วงหน้าสำหรับผู้ปกครองและสถานพยาบาล  
การปรับแผนการรักษาและการติดตามอาการใน  
ช่วงเวลาที่มีความเสี่ยงสูง รวมถึงการให้คำแนะนำ  
ด้านพฤติกรรมเพื่อลดการสัมผัสมลพิษทางอากาศใน  
เด็ก นอกจากนี้ควรกำหนดมาตรการคุ้มครองกลุ่ม  
เสี่ยงสูงได้แก่ เด็กอายุต่ำกว่า 5 ปีและเด็กที่มีความไว  
ต่อสิ่งกระตุ้นเป็นพิเศษ เนื่องจากกลุ่มดังกล่าวมีความ  
เสี่ยงต่อการเกิดอาการรุนแรงมากกว่ากลุ่มอื่น ผล  
การศึกษาค้นคว้านี้จึงสะท้อนให้เห็นถึงบทบาทสำคัญ  
ของปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมและฤดูกาลต่อสุขภาพ  
ระบบทางเดินหายใจของเด็ก และสามารถใช้เป็น  
ข้อมูลอ้างอิงในการจัดสรรทรัพยากรทางการแพทย์  
การวางแผนกำลังคน และการกำหนดมาตรการเฝ้า

ระวังด้านมลพิษทางอากาศในระดับพื้นที่ได้อย่าง  
เหมาะสม โดยมีเป้าหมายเพื่อยกระดับการป้องกัน  
ลดความรุนแรงของโรค และลดภาระโรคหืดในเด็ก  
อย่างยั่งยืน

### ข้อเสนอแนะ

ควรมีการศึกษาติดตามแบบกลุ่มตัวอย่างใน  
อนาคต (Prospective Cohort Study) เพื่อยืนยัน  
ความสัมพันธ์เชิงเหตุผลระหว่าง PM<sub>2.5</sub> และการ  
กำเริบของโรคหืดในเด็ก รวมทั้งควรรวมตัวแปรด้าน  
สภาพอุตุนิยมวิทยาและสารมลพิษอื่นในแบบจำลอง  
เช่น PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> และ O<sub>3</sub> นอกจากนี้การใช้  
เทคโนโลยีติดตามการสัมผัสมลพิษแบบรายบุคคล  
(Personal exposure monitoring) และการวัด  
Biomarkers ของการอักเสบ เช่น IL-5, IL-13, eNO  
จะช่วยอธิบายกลไกทางชีวภาพได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

### เอกสารอ้างอิง

1. Asthma [Internet]. [cited 2026 Jan 15]. Available from: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/asthma>
2. Aithal SS, Sachdeva I, Kurmi OP.(2023). Air quality and respiratory health in children. *Breathe*. 2023 Jun;19(2):230040.
3. Zhang Y, Xu X, Zhang G, Li Q, Luo Z.(2023). The association between PM<sub>2.5</sub> concentration and the severity of acute asthmatic exacerbation in hospitalized children: A retrospective study in Chongqing, China. *Pediatr Pulmonol*. 2023 Oct;58(10):2733–45.
4. Chankaew K, Sinitkul R, Manuyakorn W, Roekworachai K, Kamalapor H.(2022). Spatial Estimation of PM<sub>2.5</sub> Exposure and its Association with Asthma Exacerbation: A Prospective Study in Thai Children. *Ann Glob Health*. 2022;88(1):15.
5. Yang Y, Li X, An X, Zhang L, Li X, Wang L, et al.(2020). Continuous exposure of PM<sub>2.5</sub> exacerbates ovalbumin-induced asthma in mouse lung via a JAK-STAT6 signaling pathway. *Adv Clin Exp Med Off Organ Wroclaw Med Univ*. 2020 Jul;29(7):825–32.
6. Huang J, Hu Y, Wang Y, Jin Z.(2024). Activation of Notch1-GATA3 pathway in asthma bronchial epithelial cells induced by acute PM<sub>2.5</sub> exposure and the potential protective role of microRNA-139-5p. *J Asthma Off J Assoc Care Asthma*. 2024 Sep;61(9):959–69.
7. Zhou J, Lei R, Xu J, Peng L, Ye X, Yang D, et al.(2022). The Effects of Short-Term PM<sub>2.5</sub> Exposure on Pulmonary Function among Children with Asthma-A Panel Study in Shanghai, China. *Int J Environ Res Public Health*. 2022 Sep 9;19(18):11385.
8. Hwang JK, Na JY, Lee KS, Oh JW, Choi YJ.(2023). Seasonal differences in the effects of local concentrations of atmospheric substances and meteorological elements on asthma exacerbation of children in metropolitan area, Korea: A 13-year retrospective single-center study. *Front Pediatr [Internet]*. 2023 Apr 28 [cited 2026 Jan

- 15];11. Available from:  
<https://www.frontiersin.org/journals/pediatrics/articles/10.3389/fped.2023.1028901/full>
9. Kim M, Kim YM, Lee JY, Yang HK, Kim H, Ahn S, et al.(2021). Seasonal and monthly variation in peak expiratory flow rate in children with asthma. *Asia Pac Allergy*. 2021 Apr;11(2):e19.
  10. สำนักงานป้องกันควบคุมโรคที่ 9 จังหวัดนครราชสีมา.(2566). รายงานประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2566. นครราชสีมา; 2566.
  11. Bilheem S, Choosong T, Sriplung H, Eungpoonsawat W, Kongkamol C, Ingviya T, et al.(2021). The Spatio-temporal Epidemiology of Asthma Patient Visits in Relation to Meteorological Parameters and Air Pollution Factors as a Result of Seasonal Change in Songkhla Province. *J Health Sci Med Res*. 2021 Nov 5;40(1):67–84.
  12. Belachew AB, Rantala AK, Jaakkola MS, Hugg TT, Ruuhela R, Kukkonen J, et al.(2023). Effect of cold winters on the risk of new asthma: a case-crossover study in Finland. *Occup Environ Med*. 2023 Dec 1;80(12):702–5.
  13. Khalili R, Bartell SM, Hu X, Liu Y, Chang HH, Belanoff C, et al.(2018). Early-life exposure to PM2.5 and risk of acute asthma clinical encounters among children in Massachusetts: a case-crossover analysis. *Environ Health*. 2018 Feb 21;17:20.
  14. Chen Z, Zhang L, Ai T, Fan Y, Liu Y, Wang L, et al.(2025). Air Pollution and Childhood Asthma Hospitalizations in Chengdu, China: A Time-Series Study. *J Asthma Allergy*. 2025 Feb 17;18:229–43.