



# Weed Pollen Grading Prediction in Summer and Autumn in Beijing -- A Modeling Based on Patients with Weed Pollen Allergy

Yuhui Ouyang<sup>1,2,3</sup>, Zhaoyin Yin<sup>4,5</sup>, Jun Yang<sup>2</sup>, Luo Zhang<sup>1,2,3,\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Allergy, Beijing Tongren Hospital, Capital Medical University, Beijing, China

<sup>2</sup>Beijing Key Laboratory of Nasal Diseases, Beijing Institute of Otolaryngology, Beijing, China

<sup>3</sup>Research Unit of Diagnosis and Treatment of Chronic Nasal Diseases, Chinese Academy of Medical Sciences, Beijing, China

<sup>4</sup>Institute of Urban Meteorology, China Meteorological Administration, Beijing, China

<sup>5</sup>Beijing Meteorological Service Center, Beijing, China

## Email address:

oyyuhui@sina.com (Yuhui Ouyang), unpc1986@163.com (Zhaoyin Yin), 38082626@qq.com (Jun Yang),

dr.luozhang@139.com (Luo Zhang)

\*Corresponding author

## To cite this article:

Yuhui Ouyang, Zhaoyin Yin, Jun Yang, Luo Zhang. Weed Pollen Grading Prediction in Summer and Autumn in Beijing -- A Modeling Based on Patients with Weed Pollen Allergy. *Science Discovery*. Vol. 11, No. 2, 2023, pp. 68-73. doi: 10.11648/j.sd.20231102.17

Received: March 16, 2023; Accepted: April 19, 2023; Published: April 23, 2023

**Abstract:** *Background:* Pollinosis is an allergic disease caused by pollen allergens, which has a high incidence in Northern China. Weed pollen allergy in summer and autumn is the main reason for the seasonal increase in hospital visits in many cities. *Objective:* To develop a grading model of weed pollen deposition based on the data of allergic patients to predict development in patient with pollen allergy. *Methods:* Weed pollen data from four pollen monitoring stations in Beijing and the number of weed pollen allergen positive cases detected by serum specific immunoglobulin E (sIgE) in Beijing Tongren Hospital from 2013 to 2016 were used to develop a statistical model of pollen deposition and provide optimized threshold values. *Results:* There was a logarithmic correlation between the number of patients with weed pollen allergy and weed pollen deposition, and the average pollen deposition for three consecutive days was most correlated with the number of allergic patients. Based on the threshold of the number of patients and the characteristics of weed pollen, a five-stage pollen deposition grading model was developed to predict the degree of pollen allergy. *Conclusions:* Graded prediction of weed pollen deposition provide guidance for allergen protection of people with pollen allergy, and also provide a time window for intervention treatment before pollen stage and allergy-related clinical research.

**Keywords:** Pollinosis, Weed Pollen, Pollen Deposition, Graded Prediction

## 北京夏秋季花粉沉降量分级预报—基于杂草花粉过敏患者的建模分析

欧阳昱晖<sup>1,2,3</sup>, 尹焯寅<sup>4,5</sup>, 杨军<sup>2</sup>, 张罗<sup>1,2,3,\*</sup>

<sup>1</sup>首都医科大学附属北京同仁医院鼻过敏科, 北京, 中国

<sup>2</sup>北京市耳鼻咽喉研究所, 北京市鼻疾病重点实验室, 北京, 中国

<sup>3</sup>中国医学科学院慢性鼻部疾病诊疗研究单位, 北京, 中国

<sup>4</sup>中国气象局城市气象研究所, 北京, 中国

<sup>5</sup>北京市气象服务中心, 北京, 中国

## 邮箱

oyuyhui@sina.com (欧阳昱晖), unpc1986@163.com (尹焰寅), 38082626@qq.com (杨军), dr.luozhang@139.com (张罗)

**摘要:** *背景:* 花粉症是由花粉过敏原引发的过敏反应, 在中国北方有较高的发病率。杂草类花粉过敏是北方多个城市的医院夏秋季就诊人数增高的主要原因。*目的:* 开发基于过敏患者数据的花粉沉降量分级模型, 为花粉过敏人群防护防御提供有效信息。*方法:* 利用北京市4个花粉监测站采集的花粉数据和2013 - 2016年北京市同仁医院血清特异性免疫球蛋白E (sIgE) 检测的杂草花粉变应原阳性患者数, 建立花粉沉积量阈值分级模型。*结果:* 杂草花粉过敏患者数与杂草花粉沉积量呈对数相关, 且连续3天平均花粉沉积量与变态反应患者数相关性最高。基于患者数量阈值和杂草花粉的特点, 建立了预测花粉过敏程度的五阶段花粉沉积分级模型。*结论:* 夏秋季杂草花粉分级标准为花粉过敏人群的过敏原防护提供指导, 也为花粉期前的干预治疗及花粉过敏相关的临床研究提供时间窗。

**关键词:** 花粉症, 杂草花粉, 花粉沉降量, 分级预测

## 1. 引言

过敏性鼻炎 (allergic rhinitis, AR) 是具有特应性遗传素质的个体吸入过敏原后, 产生的由特异性免疫球蛋白E (sIgE) 介导的鼻粘膜的非特异性炎症。花粉是引发AR的最主要的室外过敏原, 具有明显的季节性。每年植物花粉在环境中大量的播散, 不仅诱发AR, 还引发过敏性结膜炎、过敏性哮喘以及变应性皮炎, 也被称为花粉症。花粉症在世界范围均有较高的发病率, 欧洲大约15-25%的人口对花粉过敏[1], 儿童患病率达15-30%, 并且还有明显的增长趋势[2, 3]。我国的全国性流行病学调查显示, 中国北方地区花粉过敏患者比例显著高于南方, 仅蒿属花粉过敏就占的AR人群的33.6%-58.2%[4]。

先前的一些研究报道了花粉浓度与医院每日过敏性疾病的就诊人数密切相关[5, 6]。随着空气中花粉颗粒的播散, 过敏性疾病的症状常常被诱发加重, 增加门诊的就诊人数[6]。流行病学调查显示中国13个主要城市AR患者的就诊高峰期为每年8-9月, 超过45%的门诊过敏性疾病患者在这两个月内就诊[7], 夏秋季花粉过敏原暴露是这些城市夏秋季就医高峰的主要原因。大气花粉浓度预测可以预防或减少花粉过敏原对人群的影响。花粉浓度预测的方法多种多样。在许多国家都使用花粉相关服务的数据建模[8, 9]。也有研究将花粉建模扩展到症状相关的花粉浓度分级建模[10-12]。

本研究利用每日的过敏原检测花粉阳性的患者数据, 结合同时期花粉浓度数据, 开发了基于患者数据的花粉沉降量分级模型, 为花粉过敏人群防护防御提供有效信息。

## 2. 方法

### 2.1. 花粉数据

本文所使用的花粉数据来源于北京市气象局的市区四个监测站点, 包括朝阳站 (39°57'N, 116°30'E)、海淀站 (39°59'N, 116°17'E)、丰台站 (39°52'N, 116°15'E)、石景山站 (39°57'N, 116°12'E) 的Durham花粉采样器获取 (重力沉降法), 采样器距离地面平均高度10米, 采样时间为2016-2019年, 每年采样时间从3月1日开始到10月15日。采样用载玻片76x26mm、盖玻片24x50mm, 采样片

每24小时更换一次, 经碱性复红液染色染色后, 在显微镜 (10x) 下人工计数, 计数结果换算成单位截面积 (1000mm<sup>2</sup>) 下的花粉数量。四个采样点的每日花粉沉降量求均值以表征北京城区的日均花粉沉降量。

夏秋花粉期的起止日期根据文献方法确定[13]: 当夏秋杂草类花粉量达到当年杂草总量的2.5%, 确定为花粉期的起始日; 花粉量达到或超过总量的97.5%时, 确定为花粉期的结束日。

### 2.2. 患者数据

夏秋花粉过敏的患者数据来源于2016-2019年北京同仁医院的门诊确诊花粉过敏的患者, 诊断标准参照指南[14], 有明确过敏性鼻炎症状, 且血清特异性IgE (sIgE) 检测杂草花粉过敏原至少一项阳性。血清特异性IgE过敏原 (sIgE, EU-ROBlotOne, Beijing, China) 检测水平大于0.35kU/L确定为阳性结果, 夏秋杂草花粉过敏原包括菊科蒿属、豚草属、桑科葎草属和藜科藜草属。

### 2.3. 样本筛选

考虑到花粉过敏原在大气中存在的持续性[15], 且浓度变化易受气象因子影响[16], 故扩展花粉沉降量为连续2至5日滑动平均沉降量 (当天及前1至4日的均值沉降量), 以增加所有可能包含的花粉信息。

每日sIgE检测结果夏秋花粉过敏原阳性的患者量被用于样本分析。由于医院节假日和工作日的患者量存在差异, 所以研究剔除了所有节假日的患者过敏原样本。

### 2.4. 建模方法

将逐日夏秋花粉过敏原阳性的患者数视作因变量, 将花粉沉降量视作自变量, 利用spearman秩相关分析病例数同花粉沉降量之间的相关性, 选取高相关性数据作为建模样本。

将自变量按数值大小由低至高排序, 确定25分位, 50分位, 75分位的沉降量值, 作为初始花粉阈值划分; 然后构建自变量与因变量之间的拟合函数, 寻找可能存在的有意义的新阈值点, 将其与原始的3个阈值点结合, 划分沉降量等级。最后, 对拟合函数求一阶导数, 分析不同沉降量等级内因变量随自变量的变化情况。

3. 结果

3.1. 花粉日沉降量及秋季花粉sIgE阳性患者量

2016至2019年北京城区夏秋季日均花粉沉降量及对应夏秋季花粉sIgE阳性患者量如图1所示，均呈单峰型分布，且峰值出现时间一致，表明花粉沉降量增多可导致花粉过敏人群量增加。

2016-2019年夏秋季花粉期起始时间差异较大，分别在每年的第212、199、222和216天（7月31日、7月18日、8月10日

以及8月3日）；花粉期结束时间较为一致，分别在第263、264、268和271天（9月20日、21日、25日和27日）。4年夏秋季花粉总量分别为19883、8446、7354和5858粒，最终被作为统计样本的分别12973、4845、5051和3790粒。4年总夏秋花粉过敏原sIgE阳性患者分别为1001、1481、1827和1414位，最终被作为统计样本的分别有781、996、1218和1011位患者（图1），花粉样本和患者样本均剔除了可能影响结果的节假日样本。

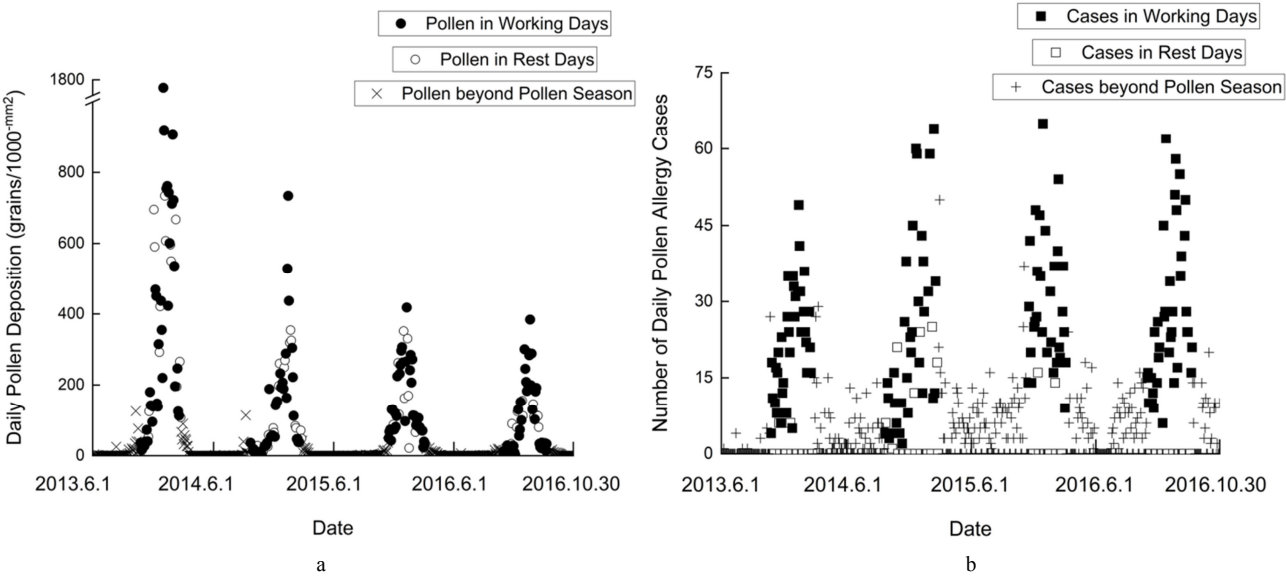


图1 2016至2019年北京城区夏秋季日均花粉沉降量及对应夏秋季花粉sIgE阳性患者量分布。a，4年夏秋季日均花粉沉降量；b，4年夏秋季杂草花粉sIgE阳性患者量。

由于花粉播散的持续性，我们扩展花粉沉降量到连续2至4日滑动平均沉降量（当天之前1至3日的均值沉降量）。并对当日和连续2-4日滑动花粉沉降量和夏秋花粉过敏原sIgE阳性患者数进行Pearson相关性检验，结果显示患者数

与当日和连续2-4日滑动花粉平均量均有相关性，其中与连续3日滑动花粉平均量相关性最强（ $r=0.576$ ）（表1）。且连续2-4日滑动花粉平均量与日过敏患者数的相关性均高于当日花粉量与日过敏患者数的相关性。

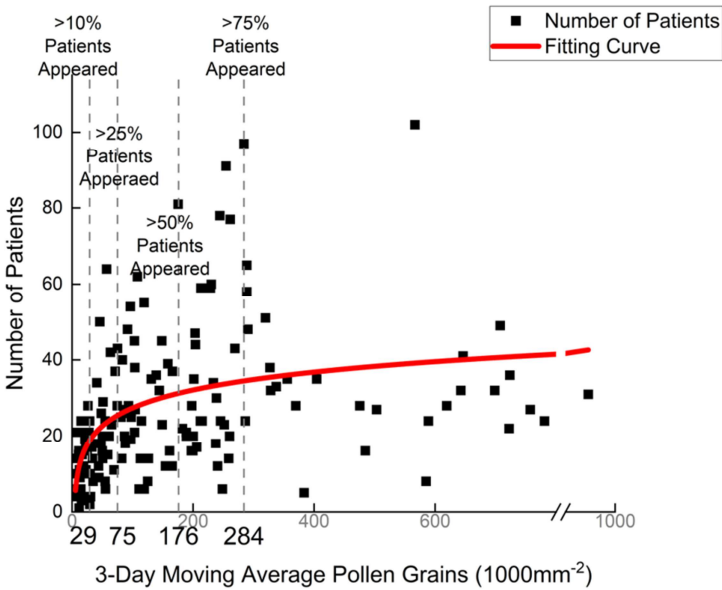


图2 根据连续3日滑动平均花粉沉降量与日花粉过敏原阳性人数的相关关系，确立的初始花粉阈值分级。

表1 日花粉沉降量与夏秋季花粉过敏原阳性人数的Pearson相关系数（样本量=155）。

	花粉日沉降量	2日滑动平均花粉沉降量	3日滑动平均花粉沉降量	4日滑动平均花粉沉降量
人数	0.443**	0.508**	0.576**	0.575**

\*\*通过0.01显著性水平检验

3.2. 初始阈值分级

根据连续3日滑动平均花粉沉降量与日花粉过敏原阳性人数的相关关系，确立了初始花粉阈值划分（图2）。当日均花粉沉降量分别达到75、176、284粒/1000mm<sup>2</sup>时，患者人数占比分别超过了25%、50%、75%。因此，75、176、284粒/1000mm<sup>2</sup>被视作初始的沉降量分级阈值。

3.3. 拟合模型与新阈值点的确定

根据日花粉过敏原阳性人数与连续3日滑动平均花粉沉降量的相关关系，进一步建立了二者的拟合方程，显示日花粉过敏原阳性人数随花粉沉降量呈对数型增长。即花粉量在一定范围，日花粉过敏原阳性人数迅速增加；但当花粉沉降量到达一定水平后，日花粉过敏原阳性人数的增幅减慢。因此，为了细化分析日花粉过敏原阳性人数的快

速增长期，我们把日花粉过敏原阳性人数增长至10%，所对应的花粉沉降量29粒/1000mm<sup>2</sup>作为新阈值点。因此，夏秋季致敏花粉沉降量的分级阈值分别为日花粉过敏原阳性人数10%、25%、50%和75%时对应的花粉沉降量29、75、176和284粒/1000mm<sup>2</sup>（表2）。

进一步为明确各级阈值间，花粉过敏原阳性人数随花粉沉降量的增长情况，对拟合方程求一阶导数，并计算各级阈值点附近，花粉沉降量增加1粒/1000mm<sup>2</sup>可引起的人数增长（表3）。当沉降量小于29粒/1000mm<sup>2</sup>时，增加1粒花粉就可以导致花粉过敏原阳性人数至少增加0.25人次，或花粉增加4粒/1000mm<sup>2</sup>，人数增加1人。但当花粉沉降量大于284粒/1000mm<sup>2</sup>时，增加1粒花粉最多增加花粉过敏原阳性人数0.02人。或者说花粉增加50粒/1000mm<sup>2</sup>，人数增加1人。

表2 连续3日滑动花粉沉降量与夏秋季花粉过敏原阳性人数的拟合方程、方程一阶导数以及沉降量阈值分级标准。

自变量	拟合方程	拟合方程一阶导数	阈值标准	花粉沉降量阈值 (1000mm <sup>2</sup> ·day <sup>-1</sup> )
3日滑动平均花粉沉降量	$f(x)=6.72 \times \ln(x-1.83)-3.43$	$f'(x)=6.72/(x-1.83)$	10%过敏原阳性人数	29
			25%过敏原阳性人数	75
			50%过敏原阳性人数	176
			75%过敏原阳性人数	284

表3 连续3日滑动花粉沉降量分级及引发过敏人数。

	秋季花粉等级I	花粉沉降量增加1可引起发病人数
3日滑动平均花粉沉降量	Level 1, Pollen Deposition $\in (0, 29]$	$\geq 0.25$
	Level 2, Pollen Deposition $\in (29, 75]$	$[0.09, 0.25)$
	Level 3, Pollen Deposition $\in (75, 176]$	$[0.04, 0.09)$
	Level 4, Pollen Deposition $\in (176, 284]$	$[0.02, 0.04)$
	Level 5, Pollen Deposition $\in (284, \infty)$	$< 0.02$

4. 讨论

本研究分析了北京2016-19年夏秋季日花粉沉降量与日杂草花粉过敏原阳性人数之间的相关性，发现连续3日滑动的平均花粉沉降量与花粉过敏原阳性人数的相关性最高，证实了花粉致敏原对过敏疾病人群的持续影响[15]。此外，连续2至4日平均沉降量的相关性也优于当日花粉沉降量，证明了花粉致敏原对人群的影响存在一定的滞后性[17]。

避免过敏原暴露是治疗过敏性鼻炎的首要手段。确定引发过敏的花粉沉降量等级，可以为过敏人群提供有效的防护信息[18, 19]。过去的研究单纯根据花粉沉降量分级，不考虑患者暴露过敏原后发病信息，缺少了临床客观性[20, 21]。本研究依据日花粉过敏原阳性人数的占比确定了杂草花粉的沉降量阈值，将花粉沉降量的分级与过敏人群

的发病密切联系，对于花粉过敏的防治具有实际的指导意义。另一方面，本研究通过拟合方程，发现花粉过敏人数随花粉沉降量呈对数型增长，而非线性增长，与Bastl K团队的研究结果一致[22, 23]。即花粉沉降量在一定范围，日花粉过敏原阳性人数迅速增加；但当花粉沉降量到达一定水平后，日花粉过敏原阳性人数的增幅减慢。因此，本研究在花粉沉降量初始增加过程中，在相应过敏人数达10%的交叉点设立了一个阈值点，用于描述低花粉量时，过敏人数快速增长的情况。也为花粉期前的临床干预治疗、过敏原特异性免疫治疗及临床药物研究提供准确的时间窗。

利用拟合方程，本研究定量给出了过敏人数随花粉沉降量增长的情况。在花粉沉降量增长初期，最多每增加花粉4粒/1000mm<sup>2</sup>，诱导过敏人数增加1人次。此结果与最近的杂草花粉研究一致[24-26]，研究报道菊科蒿草、桑科葎草花粉在低浓度时即可诱发过敏症状，说明杂草花粉具有

更强的致敏性。而当花粉沉降量处于高水平即花粉爆发期时, 每增加50粒以上的花粉诱导过敏人数增加1人次。这个结果产生的原因可能有两个: 1.一部分杂草花粉过敏人群在花粉爆发期前, 已经产生症状, 此时沉降量的增加不再快速增加人数; 2.已经出现过敏症状的人群已经用药控制, 也使得就诊过敏人数增幅放缓。

本研究的缺点为患者数据来源于单一医院, 虽然本医院的患者人数多, 且患者来源于多个科室, 包括耳鼻咽喉头颈外科、鼻过敏科、呼吸科和儿科, 将来的研究将考虑多医院多中心数据分析。另外本研究未进行多种环境因素的共同分析, 在未来的研究我们会进一步考虑环境中污染物和气象等因素的影响。

## 5. 结论

综上所述, 根据夏秋季花粉过敏人数与连续3日滑动平均花粉沉降量相关性, 我们确定了北京城区夏秋季花粉的分级阈值标准: 1级:连续3日滑动平均花粉沉降量小于29粒/1000mm<sup>2</sup>时, 10%的花粉过敏人群发病、2级:连续3日滑动平均花粉沉降量29-75粒/1000mm<sup>2</sup>时, 11-25%的花粉过敏人群发病、3级:连续3日滑动平均花粉沉降量75-176粒/1000mm<sup>2</sup>时, 26-50%的花粉过敏人群发病、4级:连续3日滑动平均花粉沉降量176-284粒/1000mm<sup>2</sup>时, 51-75%的花粉过敏人群发病、5级:连续3日滑动平均花粉沉降量大于等于284粒/1000mm<sup>2</sup>时, 75%以上的花粉过敏人群发病。希望此分级标准为北京城区花粉过敏人群的过敏原防护提供指导, 也为花粉期前的干预治疗及花粉过敏相关的临床研究提供时间窗。

## 基金项目

国家重点研发计划(2022YFC2504100), 北京市科委科技规划项目(Z191100009119013)。

## 参考文献

- [1] Wolf KL, Lam ST, McKeen JK, et al. Urban Trees and Human Health: A Scoping Review. *Int J Environ Res Public Health*. 2020; 17 (12): 4371.
- [2] Di Cicco ME, Ferrante G, Amato D, et al. Climate Change and Childhood Respiratory Health: A Call to Action for Paediatricians. *Int J Environ Res Public Health*. 2020; 17 (15): 5344.
- [3] D'Amato G, Chong-Neto HJ, Monge Ortega OP, et al. The effects of climate change on respiratory allergy and asthma induced by pollen and mold allergens. *Allergy*. 2020; 75 (9): 2219-2228.
- [4] Lou H, Ma S, Zhang L, et al. Sensitization patterns and minimum screening panels for aeroallergens in self-reported allergic rhinitis (AR) in China. *Sci Rep*. 2017; 24; 7 (1): 9286.
- [5] Erbas B, Jazayeri M, Lambert KA, et al. Outdoor pollen is a trigger of child and adolescent asthma emergency department presentations: A systematic review and meta-analysis. *Allergy*. 2018; 73 (8): 1632-1641.
- [6] Ouyang Y, Yin Z, Zhang L, et al. Associations among air pollutants, grass pollens, and daily number of grass pollen allergen-positive patients: a longitudinal study from 2012 to 2016. *Int Forum Allergy Rhinol*. 2019; 9 (11): 1297-1303.
- [7] Zheng M, Wang X, Zhang L, et al. Clinical characteristics of allergic rhinitis patients in 13 metropolitan cities of China. *Allergy*. 2021; 76 (2): 577-581.
- [8] Sanchez-Mesa JA, Galan C, Martinez-Heras JA, et al. The use of a neural network to forecast daily grass pollen concentration in a Mediterranean region: the southern part of the Iberian Peninsula. *Clin Exp Allergy*. 2002; 32 (11): 1606-12.
- [9] Rodríguez-Rajo FJ, Astray G, Ferreiro-Lage JA, et al. Evaluation of atmospheric Poaceae pollen concentration using a neural network applied to a coastal Atlantic climate region. *Neural Netw*. 2010; 23 (3): 419-25.
- [10] Berger U, Karatzas K, Jaeger S, et al. Personalized pollen-related symptom- forecast information services for allergic rhinitis patients in Europe. *Allergy*. 2013; 68 (8): 963-5.
- [11] Voukantsis D, Berger U, Tzima F, et al. Personalized symptoms forecasting for pollen-induced allergic rhinitis sufferers. *Int J Biometeorol*. 2015; 59 (7): 889-97.
- [12] de Weger LA, Beerthuis T, Hiemstra PS, et al. Development and validation of a 5-day-ahead hay fever forecast for patients with grass-pollen-induced allergic rhinitis. *Int J Biometeorol*. 2014; 58 (6): 1047-55.
- [13] Rasmussen A. The effects of climate change on the birch pollen season in Denmark. *Aerobiologia*. 2002; 18 (3): 253-265.
- [14] 中华耳鼻咽喉头颈外科杂志编辑委员会鼻科组. 变应性鼻炎的诊断和治疗指南. *中华耳鼻咽喉头颈外科志*, 2016, 51 (1): 6-24.
- [15] Celenk, S. Detection of reactive allergens in long-distance transported pollen grains: Evidence from Ambrosia. *Atmospheric Environment*. 2019; 209, 212-219.
- [16] Grewling Ł, Bogawski P, Kostecki Ł, et al. Atmospheric exposure to the major Artemisia pollen allergen (Art v 1): Seasonality, impact of weather, and clinical implications. *Sci Total Environ*. 2020; 713: 136611.
- [17] Berger M, Bastl K, Bastl M, et al. Impact of air pollution on symptom severity during the birch, grass and ragweed pollen period in Vienna, Austria: Importance of O<sub>3</sub> in 2010-2018. *Environ Pollut*. 2020; 263 (Pt A): 114526.
- [18] Pfaar O, Bastl K, Berger U, et al. Defining pollen exposure times for clinical trials of allergen immunotherapy for pollen-induced rhinoconjunctivitis - an EAACI position paper. *Allergy*. 2017; 72 (5): 713-722.
- [19] Toro A R, Córdova J A, Canales M, et al. Trends and threshold exceedances analysis of airborne pollen concentrations in Metropolitan Santiago Chile. *PLoS ONE*, 2015; 10 (5), e0123077.

- [20] Shin JY, Han MJ, Cho C, et al. Allergenic Pollen Calendar in Korea Based on Probability Distribution Models and Up-to-Date Observations. *Allergy Asthma Immunol Res.* 2020 Mar; 12 (2): 259-273.
- [21] Necib A, Boughediri L. Airborne pollen in the El-Hadjar town (Algeria NE). *Aerobiologia.* 2016; 32 (2), 277-288.
- [22] Bastl K, Kmenta M, Berger M, et al. The connection of pollen concentrations and crowd-sourced symptom data: new insights from daily and seasonal symptom load index data from 2013 to 2017 in Vienna. *World Allergy Organ J.* 2018; 11 (1): 24.
- [23] Bastl K, Bastl M, Bergmann KC, et al. Translating the Burden of Pollen Allergy Into Numbers Using Electronically Generated Symptom Data From the Patient's Hayfever Diary in Austria and Germany: 10-Year Observational Study. *J Med Internet Res.* 2020; 22 (2): e16767.
- [24] Oteros J, Bartusel E, Alessandrini F, et al. Artemisia pollen is the main vector for airborne endotoxin. *J Allergy Clin Immunol.* 2019; 143 (1): 369-377. e5.
- [25] Pablos I, Egger M, Vejvar E, et al. Similar Allergenicity to Different Artemisia Species Is a Consequence of Highly Cross-Reactive Art v 1-Like Molecules. *Medicina (Kaunas).* 2019; 55 (8): 504.
- [26] Kryukov AI, Bondareva GP, Severova EE, et al. The association between aeroallergenic structures and allergic rhinitis: a study on northern Vietnam. *Vestn Otorinolaringol.* 2021; 86 (1): 51-57.