

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第34卷 第6期 Vol.34 No.6 **2014**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 34 卷 第 6 期 2014 年 3 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 全球气候变暖对凋落物分解的影响..... 宋 飘,张乃莉,马克平,等 (1327)
- 从系统到景观:区域物质流分析的景观取向 张晓刚,曾 辉 (1340)
- 论湿地生态系统服务的多维度价值评估方法..... 宋豫秦,张晓蕾 (1352)
- 保幼激素在昆虫中的分子作用机理..... 金敏娜,林欣大 (1361)
- 岩画和壁画类文物微生物病害研究进展..... 李 强,葛琴雅,潘晓轩,等 (1371)
- 基于 3S 技术的图们江流域湿地生态安全评价与预警研究 朱卫红,苗承玉,郑小军,等 (1379)
- 跨界保护区网络构建研究进展..... 王 伟,田 瑜,常 明,等 (1391)

个体与基础生态

- 速生树种尾巨桉和竹柳幼苗耗水特性和水分利用效率..... 邱 权,潘 昕,李吉跃,等 (1401)
- 三种增温情景对入侵植物空心莲子草形态可塑性的影响..... 褚延梅,杨 健,李景吉,等 (1411)
- 气象要素及土壤理化性质对不同土地利用方式下冬夏岩溶作用的影响 刘 文,张 强,贾亚男 (1418)
- 施用纳米碳对烤烟氮素吸收和利用的影响..... 梁太波,尹启生,张艳玲,等 (1429)
- 基于 Voronoi 图的林分空间模型及分布格局研究 刘 帅,吴舒辞,王 红,等 (1436)
- 近自然毛竹林空间结构动态变化..... 仇建习,汤孟平,沈利芬,等 (1444)
- 基于种实性状的无患子天然群体表型多样性研究..... 刁松峰,邵文豪,姜景民,等 (1451)
- 不同林分起源的相容性生物量模型构建..... 符利勇,雷渊才,孙 伟,等 (1461)

种群、群落和生态系统

- 毛竹材用林林下植被群落结构对多花黄精生长的影响..... 樊艳荣,陈双林,杨清平,等 (1471)
- 温度和 CO₂ 浓度升高下转 *Bt* 水稻种植对土壤活性碳氮和线虫群落的短期影响
..... 陈 婧,陈法军,刘满强,等 (1481)
- 中国东北地区近 50 年净生态系统生产力的时空动态 李 洁,张远东,顾峰雪,等 (1490)
- 遥感与 GIS 支持下的盘锦湿地水禽栖息地适宜性评价..... 董张玉,刘殿伟,王宗明,等 (1503)
- 秦岭火地塘林区土壤大孔隙分布特征及对导水性能的影响..... 陆 斌,张胜利,李 侃,等 (1512)
- 磷浓度对铜绿微囊藻、大型溞和金鱼藻三者相互作用的影响..... 马剑敏靳 萍,郭 萌,等 (1520)
- 普生轮藻浸提液对两种淡水藻类的化感抑制作用及其数学模型..... 何宗祥,刘 璐,李 诚,等 (1527)
- 北京永定河-海河干流河岸带植物的区系分析 修 晨,欧阳志云,郑 华 (1535)
- 基于河流生境调查的东河河流生境评价..... 王 强,袁兴中,刘 红,等 (1548)

景观、区域和全球生态

应用 SWAT 模型研究潮河流域土地利用和气候变化对径流的影响 郭军庭,张志强,王盛萍,等 (1559)

长白山不同海拔树木生长对气候变化的响应差异..... 陈 力,尹云鹤,赵东升,等 (1568)

石家庄市空气花粉散布规律及与气候因子的关系..... 李 英,李月丛,吕素青,等 (1575)

不同放牧梯度下呼伦贝尔草甸草原土壤碳氮变化及固碳效应..... 闫瑞瑞,辛晓平,王 旭,等 (1587)

南四湖区农田土壤有机质和微量元素空间分布特征及影响因素..... 武 婕,李玉环,李增兵,等 (1596)

资源与产业生态

跨国土地利用及其生态影响 陆小璇 (1606)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 288 * zh * P * ¥ 90.00 * 1510 * 30 * 2014-03



封面图说: 图们江河流中段——图们江位于吉林省东南边境,发源于长白山东南部的石乙水,河流的绝大部分是中国与朝鲜的界河,下游很小一段为俄罗斯与朝鲜的界河,并由这里流入日本海,我国珲春距离日本海最近的地方仅有 15km。图们江是我国重要的国际性河流之一,随着我国经济的迅速崛起,图们江地区进入到多国合作联合开发阶段,湿地生态系统处于中度预警状态,并有向重度预警发展的趋势,生态安全面临的威胁越来越严重。对该区域进行湿地生态安全评价与预警研究,可为图们江流域生态环境的可持续发展提供依据。图中河道的远方为朝鲜、河道近方为中国。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@ 163.com

DOI: 10.5846/stxb201304180736

李英, 李月丛, 吕素青, 许清海. 石家庄市空气花粉散布规律及与气候因子的关系. 生态学报, 2014, 34(6): 1575-1586.

Li Y, Li Y C, Lü S Q, Xu Q H. The dispersion of airborne pollen and its relationship with major climatic parameters in Shijiazhuang. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(6): 1575-1586.

石家庄市空气花粉散布规律及与气候因子的关系

李 英, 李月丛*, 吕素青, 许清海

(河北师范大学资源与环境科学学院, 河北省环境演变与生态建设重点实验室, 石家庄 050024)

摘要: 石家庄市 2007—2009 连续两年空气花粉分析表明: 受植物花期影响, 春季以木本植物花粉为主, 夏、秋季以草本植物花粉为主, 不同类型花粉通量存在一定年际差异。松属、杨属、胡桃属等当地花粉含量占花粉组合的 80.0% 以上, 桦木属、栎属、虎榛子属等区域花粉含量低于 20.0%, 显示空气花粉能较好地反映周围植被, 但也受区域植被的影响。依据空气花粉通量变化规律, 石家庄市主要空气花粉类型通量从高到低排在前 5 位的依次为: 胡桃属、悬铃木属、蒿属、杨属、藜科, 均为高致敏类型, 花粉过敏症患者在花期或通量较高时期应早作防范。空气花粉百分含量与气候因子之间的 (CCA) 分析结果显示, 其主要受风速与水汽压影响; 不同季节主要花粉类型通量与气候因子的相关分析表明: 春季和秋季空气花粉通量主要受气温和水汽压的影响, 夏季主要受相对湿度和水汽压的影响, 冬季与气候因子相关较弱。

关键词: 石家庄市; 空气花粉组合; 气候因子; CCA 分析; 相关分析

The dispersion of airborne pollen and its relationship with major climatic parameters in Shijiazhuang

LI Ying, LI Yuecong*, LÜ Suqing, XU Qinghai

College of Resources and Environmental Sciences Hebei Normal University; Key Laboratory of Environmental Change and Ecological Development of Hebei Province, Shijiazhuang 050024, China

Abstract: The airborne pollen analysis results in Shijiazhuang indicate that the characteristics of airborne pollen assemblages are generally similar from 2007 to 2009 with arboreal pollen dominated pollen assemblages in spring and herbaceous pollen in summer and autumn. In pollen assemblages, local pollen types (e.g. *Juglans*, *Pinus*, *Populus*, *Platanus*, *Rosaceae*) account for sixty percent of total taxa, and more than eighty percent of pollen sum; while regional and extra-regional pollen types (e.g. *Betula*, *Quercus*, *Ostryopsis*) account for forty percent of total taxa, and less than twenty percent of pollen sum, suggesting that airborne pollen mainly coming from local vegetation, while influenced by regional vegetation. In addition, sorted by the change of pollen influxes from high to low, *Juglans*, *Platanus*, *Artemisia*, *Populus* and *Chenopodiaceae* occupied the top five positions in Shijiazhuang. If you are allergic to these pollen types, please take care in the periods of their high influx values. The CCA analysis results between pollen percentages and climatic parameters show that the pollen percentages of most taxa are obviously influenced by wind speed and vapor pressure. Wind speeds usually have significant positive correlations with the percentages of *Pinus*, *Quercus*, *Betula*, *Juglans*, *Platanus*, *Elaeagnus*, *Ostryopsis*, and significant negative correlations with the percentages of *Artemisia*, *Chenopodiaceae*, *Urtica* + *Humulus* and *Compositae*. Vapor pressures often have significant positive correlations with the percentages of *Leguminosae*, *Chenopodiaceae*, *Urtica* + *Humulus*, and significant negative correlations with the percentages of *Compositae* and *Juglans*.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41171166, 40672107, 40171132); 河北省自然科学基金 (D2013205038); 中国科学院战略性先导科技专项 (XDA05120202)

收稿日期: 2013-04-18; **修订日期:** 2013-11-07

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lyczhli@aliyun.com

Correlation analyses between major pollen taxa influxes and climatic parameters in different seasons indicate that pollen influxes are mainly influenced by air temperature and vapor pressure in spring and autumn and by relative humidity and vapor pressure in summer. No significant correlation can be found between pollen percentage and any climate parameters in winter. However, the influxes of different pollen taxa are controlled by different climatic parameters in different seasons. E. g., in the spring, the pollen influxes of *Populus* are only influenced by vapor pressure; while *Juglans*, *Platanus* show only significant positive correlations with the air temperature of February to April; *Pinus*, *Quercus* show significant positive correlations both the temperature and vapor pressure; Pollen influxes of Poaceae and Cereals show significant positive correlations with air temperature and wind speed. In summer, relative humidity show significant negative correlations with the influxes of *Pinus*, *Quercus*, *Platanus* and *Ostryopsis*, and vapor pressure show significant negative correlations with the influxes of *Juglans*, *Ostryopsis* and Rosaceae. In autumn, the pollen influxes of Poaceae, Cereals, *Artemisia*, Chenopodiaceae, *Urtica*+*Humulus* have significant positive correlations with temperature and vapor pressure.

Key Words: Shijiazhuang; airborne pollen assemblages; climatic parameters; CCA analysis; correlation analysis

孢粉作为古环境研究的代用指标,在恢复古气候、古植被方面具有不可替代的作用。现代花粉研究是利用孢粉资料重建古气候古植被的基础,对正确解释化石花粉谱具有重要意义。空气花粉作为现代花粉研究的重要组成部分^[1],是认识花粉传播和散布规律、探究花粉与植被定量关系的重要前提和基础^[2],同时也是预报农作物产量、评估大气环境的方法和指标之一^[3]。

关于空气花粉国内外已有较多研究,如花粉产量与花粉散布特征^[4-6]、致敏花粉调查^[7-8]、空气花粉浓度预报^[9-10]、空气花粉与气候因子之间的关系^[11-14]以及特殊天气对空气花粉的影响^[15-16]、空气花粉估算方法^[17-18]、花粉散布规律分析模型^[19-21]等方面。目前有关河北省石家庄市空气花粉散布规律及与气候关系研究资料不多,仅王刚生等^[22]、宗惠军等^[23]对 20 世纪 80 年代空气致敏花粉进行过简单研究,之后未见类似报道。时过 20a,石家庄市的绿化植物种类已经改变,因而研究现在空气花粉组成状况,不仅对了解花粉与植被和气候定量关系,而且对了解本区主要空气花粉类型意义重大。

本文以石家庄市为研究区,通过分析 2007—2009 年收集的空气花粉样品,试图揭示本区域空气花粉散布规律,探讨不同季节影响不同植物类型花粉通量的气候因子,确定空气花粉与气候的定量关系,为重建本地区古气候、古植被及正确解释化石孢粉组合提供现代过程依据,同时也为本地区花粉过敏症的预防提供参考。

1 研究区概况

石家庄市地处河北省中南部,位于北纬 37°27'—38°47',东经 113°30'—115°20'之间,平均海拔 77.9 m。地貌单元属太行山山前冲洪积平原^[24]。本区属于暖温带半湿润大陆性季风气候,四季变化明显,年平均气温 11—14 °C,年平均降水量 450—550 mm,降水季节差异明显,主要集中于夏季^[24]。自然植被区划属于暖温带落叶阔叶林^[25]。

采样点位于石家庄市东部原河北师范大学东校区(38°2'17"N, 114°31'57"E)内,院内主要木本植物有毛白杨(*Populus tomentosa*)、油松(*Pinus tabulaeformis*)、胡桃(*Juglans regia*)、法桐(*Platanus orientalis*)、雪松(*Cedrus deodara*)、白蜡(*Fraxinus chinensis*)、臭椿(*Ailanthus altissima*)等。草本植物主要为杂草禾本科(Poaceae)、莎草科(Cyperaceae)及三叶草(*Trifolium*)等。

石家庄市常见植物除以上提及的类型外,还包括大叶黄杨(*Buxus megistophylla*)、国槐(*Sophora japonica*)、侧柏(*Platycladus orientalis*)、丁香(*Syringa oblata*)、海棠(*Malus spectabilis*)、樱花(*Prunus serrulata*)、金叶女贞(*Ligustrum vicaryi*)、紫叶小檗(*Berberis thunbergii*)、月季(*Rosa chinensis*)、桧柏(*Sabina chinensis*)、泡桐(*Paulownia fortunei*)、龙爪槐(*Sophora japonica*)、玉兰(*Magnolia denudate*)、垂柳(*Salix babylonica*)、碧桃(*Prunus persica*)等^[26]。

市区周边多为栽培植被,主要种植小麦(*Triticum aestivum*)、玉米(*Zea mays*)、高粱

(*Sorghum vulgare*)、棉花(*Gossypium hirsutum*)等^[27];市区西部近山区保留有少量自然植被,在海拔 1500 m 以上生长有华北落叶松(*Larix principis rupprechtii*)、红桦(*Betula albo-sinensis*)、白桦(*Betula platyphylla*)、毛榛(*Corylus mandshurica*)等;海拔 800—1500 m 生长油松、蒙古栎(*Quercus mongolica*)等;海拔 800 m 以下主要为槐(*Sophora* spp.)、酸枣(*Ziziphus* spp.)、荆条(*Vitex negundo*)等^[26]。

2 研究方法

2.1 野外样品采集

空气花粉采用 Tauber 型花粉捕捉器收集。捕捉器高 30 cm,开口直径 5.2 cm,放置在一个四周开阔的建筑物楼顶(距地面约 10 m),设置 2 个平行取样点。自 2007 年 3 月 6 日到 2009 年 3 月 4 日,平均每 15 d 收放 1 次,共回收样品 86 个。

2.2 实验室处理和统计鉴定

花粉提取处理采用常规的 HCl-NaOH-HF 处理方法^[16],化学处理前每个样品加入 1 粒石松孢子片(27637 ± 563 粒/片),以计算花粉通量。

花粉统计鉴定在 400 倍日本 Olympus BX-51 光学生物显微镜下进行,每个样品鉴定统计花粉 400 粒以上或直至样品全部鉴定完。花粉鉴定主要参考《中国植物花粉形态》^[28]、《内蒙古草地现代植物花粉形态》^[29]以及河北师范大学现代花粉标本及图版,以确保鉴定的准确性。

2.3 花粉百分比和通量计算方法

由于放置的 2 个收集器的花粉组合和花粉通量相近,故取其平均值,两年共计有 43 组数据。花粉百分比和通量计算方法如下:

$$A = M_1 / M_2 \times 100\%$$

式中, A 为花粉百分比, M_1 为某一类型花粉数量, M_2 为同一样品鉴定出的花粉总数。

$$\Phi = (N \times I_1) / (I_2 \times S)^{[30-31]}$$

式中, Φ 为花粉通量(粒·cm⁻²·a⁻¹), N 为某一类型花粉数量; I_1 为加入的石松孢子数; I_2 为鉴定的石松孢子数; S 为花粉捕捉器开口面积。

为与本研究样品收集时间相对应,对公式进行以下变形^[16,32]:

$$B = \Phi \times (T/15)$$

式中, B 为花粉通量(粒·cm⁻²·15d⁻¹); T 为样品收集天数(因样品收集天数不一致,为统一时间单位除以 15)。

2.4 气象数据收集

本研究气象数据来自于中国气象科学数据共享服务网^[33],收集了 2007—2009 年石家庄市的气温、降水量、相对湿度、风速、水汽压等气象因子的日数据。分析时按照样品收集时间间隔,计算降水量的累加值,及其他因子的平均值。

2.5 数据处理

孢粉百分比图和通量图采用 Tilia 软件(version 1.7.16)绘制,并在 CorelDRAW 软件(version 12.0)中修改润色。利用 PC-ORD 软件(version 5.0)对数据进行多重响应置换过程分析(multi-response permutation procedures, MRPP),在 CANOCO 软件(version 4.5)进行典范对应分析(canonical correspondence analysis, CCA),在 SPSS 软件(version 17.0)中进行 Spearman 相关性分析。

3 研究结果

3.1 花粉百分比的基本特征及年际差异

86 个样品共鉴定出孢粉类型 82 个。其中,乔木花粉类型 26 个,以杨属(*Populus*) (0—93.6%, 平均 8.7%)、胡桃属(*Juglans*) (0—55.1%, 平均 7.8%)、悬铃木属(*Platanus*) (0—44.5%, 平均 4.6%)、松属(*Pinus*) (0—50%, 平均 5.6%)、栎属(*Quercus*) (0—18.5%, 平均 2.1%) 等为主;灌木花粉类型 12 个,以蔷薇科(*Rosaceae*) (0—40.3%, 平均 3.0%)、虎榛子属(*Ostryopsis*) (0—16.2%, 平均 0.9%)、胡颓子属(*Elaeagnus*) (0—5.7%, 平均 0.6%) 等为主;草本花粉类型 40 个,以蒿属(*Artemisia*) (0.2%—72.8%, 平均 22.2%)、藜科(*Chenopodiaceae*) (0.2%—61.4%, 平均 13.4%)、荨麻+葎草属(*Urtica*+*Humulus*) (0—38.1%, 平均 5.8%)、农作物禾本科(*Cereals*) (0—51.5%, 平均 5.1%)、杂草禾本科(*Poaceae*) (0—12.7%, 平均 3.8%)、菊科(*Compositae*) (0—16.4%, 平均 2.9%)、葡萄科(*Vitaceae*) (0—12.9%, 平均 2.0%)、豆科(*Leguminosae*) (0—32.7%, 平均 1.8%) 等为主;蕨类孢子类型 4 个,含量较低,最高不超过 20%(图 1)。

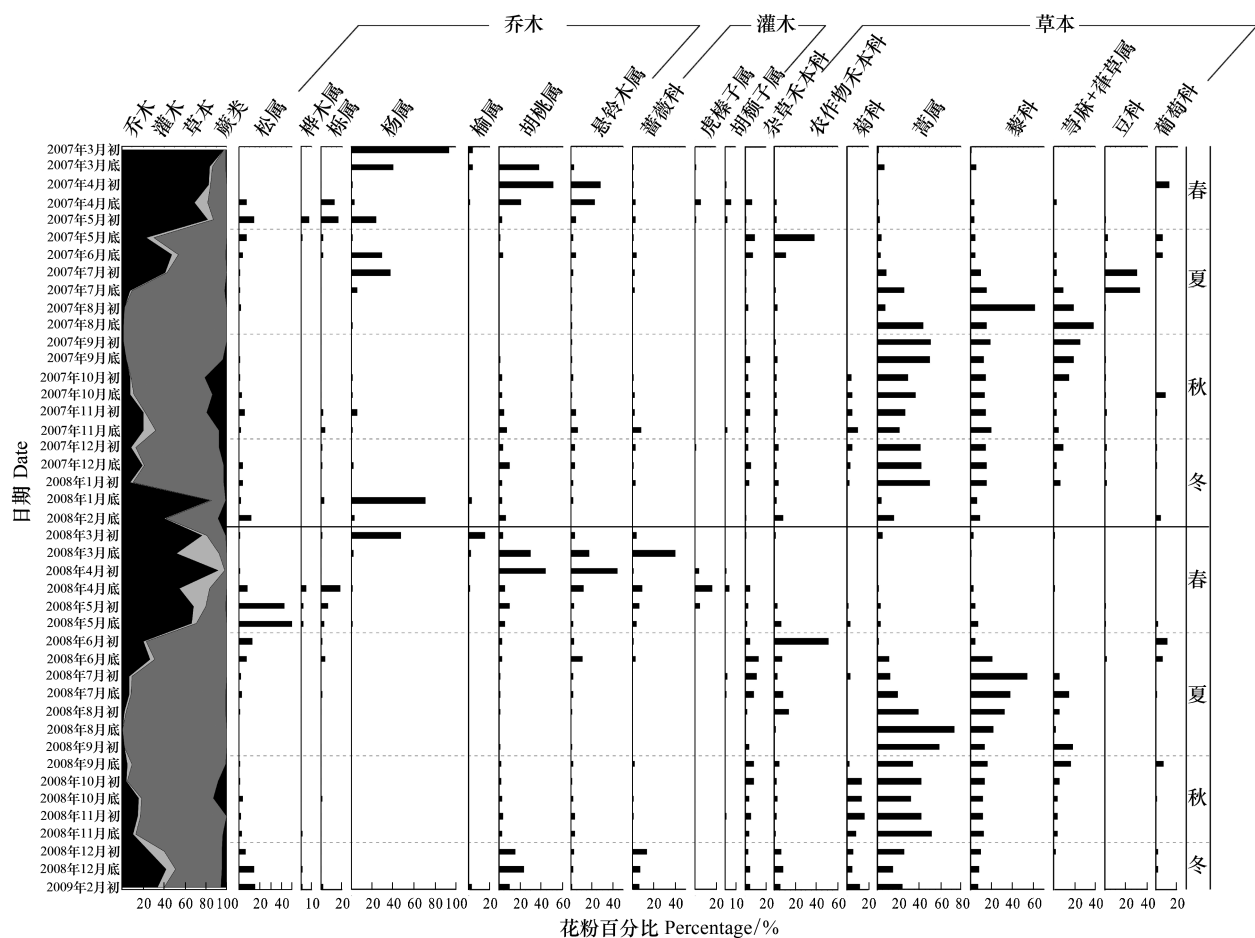


图 1 石家庄 2007—2009 年不同月份空气花粉百分比图

Fig.1 The airborne pollen percentages in different months from 2007 to2009 in Shijiazhang

两年中不同类型花粉百分比峰值及出现时间存在差异。2008—2009 年与 2007—2008 年相比, 杨属、胡桃属、藜科和荨麻+葎草属百分比峰值略有下降,其他则均有不同程度增加(表 1)。松属与荨麻+葎草属花粉百分比峰值出现时间较前一年推迟半个月,胡桃属、悬铃木属和农作物禾本科与前一年出现时间一致,其他均提前半月至 1 月。

表 1 2007—2008 年及 2008—2009 年主要花粉类型百分比和通量峰值及出现时间

花粉类型 Pollen taxa	百分比峰值/% Percentage maximum				通量峰值/(粒·cm ⁻² ·15d ⁻¹) Influx maximum			
	2007—2008 年		2008—2009 年		2007—2008 年		2008—2009 年	
	出现时间	峰值	出现时间	峰值	出现时间	峰值	出现时间	峰值
松属 <i>Pinus</i>	5 月初—5 月底	14.4	5 月底—6 月初	50.0	5 月初—5 月底	251	5 月初—5 月底	81
栎属 <i>Quercus</i>	5 月初—5 月底	16.5	4 月底—5 月初	18.5	5 月初—5 月底	287	4 月底—5 月初	178
杨属 <i>Populus</i>	3 月初—3 月底	93.6	1 月底—2 月底	72.0	3 月初—3 月底	449	3 月初—3 月底	330
胡桃属 <i>Juglans</i>	4 月初—4 月底	51.5	4 月初—4 月底	44.0	4 月初—4 月底	613	4 月初—4 月底	1213
悬铃木属 <i>Platanus</i>	4 月初—4 月底	28.6	4 月初—4 月底	44.5	4 月初—4 月底	340	4 月初—4 月底	1225
农作物禾本科 <i>Cereals</i>	5 月底—6 月底	37.9	6 月初—6 月底	51.5	5 月底—6 月底	162	6 月初—6 月底	54
蒿属 <i>Artemisia</i>	9 月初—9 月底	50.6	8 月底—9 月初	72.8	8 月底—9 月初	416	9 月初—9 月底	390
藜科 <i>Chenopodiaceae</i>	8 月初—8 月底	61.4	7 月初—7 月底	53.9	8 月底—9 月初	145	8 月底—9 月初	105
荨麻+葎草属 <i>Urtica+Humulus</i>	8 月底—9 月初	38.1	9 月初—9 月底	18.3	8 月底—9 月初	367	9 月初—9 月底	121

3.2 花粉通量变化的基本特征

3.2.1 不同季节花粉通量变化特征

2007—2009 两年中,木本花粉主要出现于春季的 3—5 月;草本花粉全年均有出现,以夏末秋初的 8—9 月数量最多(图 2)。2007—2008 年与 2008—2009 年春季花粉总通量分别达 4469 和 6288 粒·cm⁻²·15d⁻¹,主要以木本植物花粉为主,但不同乔木类型花粉通量峰值出现时间存在差异。初春(3—4 月)主要为杨属,仲春(4—5 月)主要为胡桃属和悬铃木属,晚春(5—6 月)主要为松属、桦木属和栎属。春季灌木花粉也出现年度峰值,2007—2008 年与 2008—2009 年分别达 105 和 695 粒·cm⁻²·15d⁻¹,以蔷薇科、虎榛子属和胡颓子属花粉为主。

夏季花粉通量明显低于春季。2007—2008 年与 2008—2009 年分别为 2149 和 922 粒·cm⁻²·15d⁻¹。主要以草本植物花粉为主,但不同草本类型花粉通量

峰值出现时间也有差别,5 月底至 7 月初以农作物禾本科为主;7 月底至 8 月底以蒿属、藜科和荨麻+蕨草属为主。

秋初花粉通量较高,之后迅速降低。2007—2008 年与 2008—2009 年秋季花粉总通量分别为 777 和 1206 粒·cm⁻²·15d⁻¹,主要为草本植物花粉,类型以蒿属、藜科和荨麻+蕨草属为主,木本花粉进一步减少。

冬季花粉通量全年最低,2007—2008 年与 2008—2009 年冬季花粉总通量分别为 302 和 159 粒·cm⁻²·15d⁻¹。花粉类型以蒿属和藜科为主。

两年不同季节总花粉通量对比显示,2008—2009 年总通量略高于 2007—2008 年,春季、秋季也表现为 2008—2009 年高于 2007—2008 年,但夏季、冬季则低于前一年。

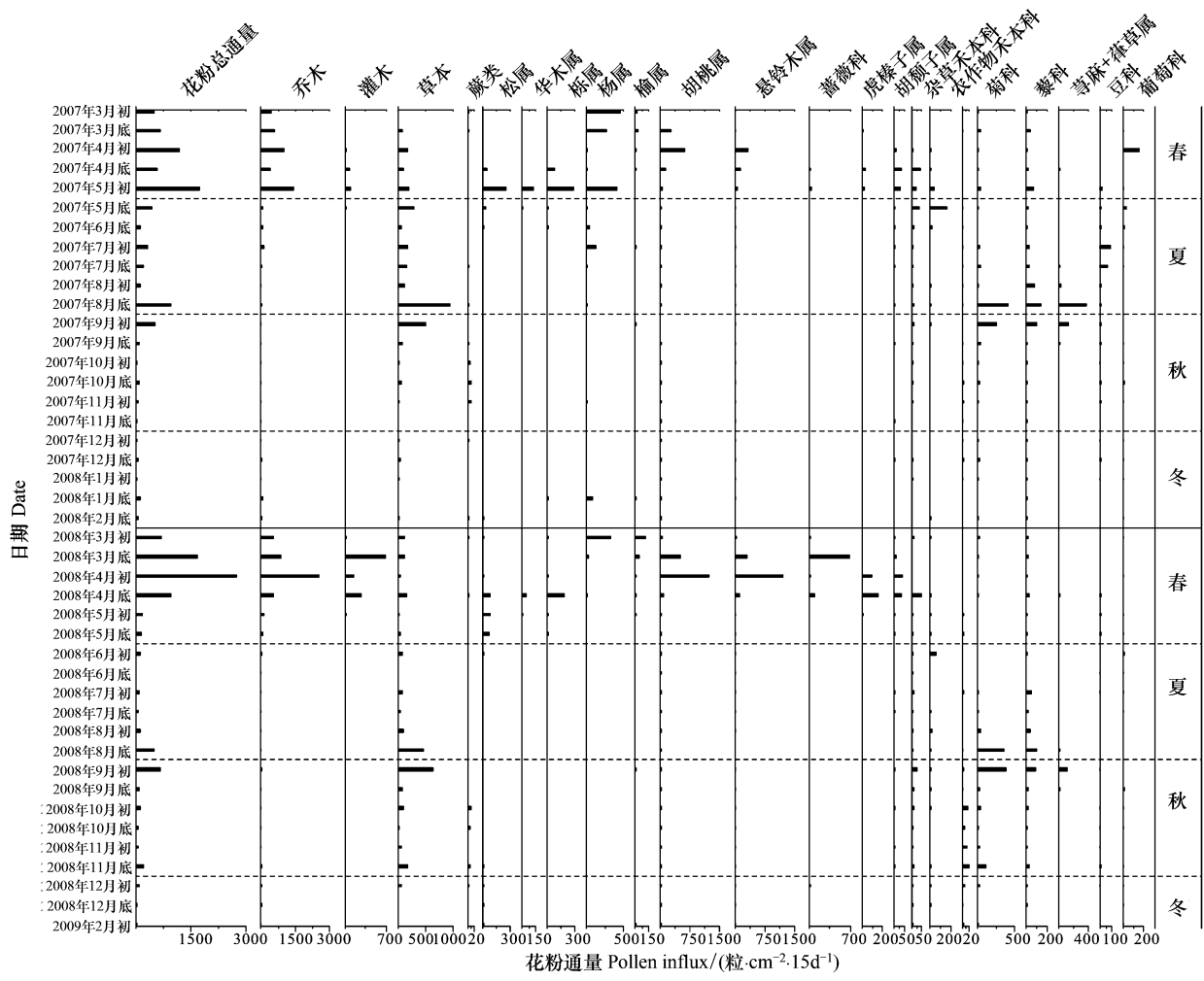


图 2 石家庄 2007—2009 年不同月份空气花粉通量图

Fig.2 Airborne pollen influxes in different months from 2007 to 2009 in Shijiazhang

3.2.2 花粉通量年际差异

2008—2009 年较 2007—2008 年多数花粉类型通量均有所降低(图 2),但胡桃属和悬铃木属花粉显著增加,花粉通量是上一年的近两倍。除栎属(提前半月)、蒿属(推迟半月)、荨麻+蕈草属(推迟半月)外,两年中主要花粉类型的通量峰值出现时间基本与前一年同期(表 1)。两年花粉通量对比结果还显示(图 3),春季和夏末秋初是两个花粉通量高峰期。2007—2008 年总花粉通量为 $7898 \text{ 粒} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot 15\text{d}^{-1}$, 该年春季出现两个峰值,第 1 个峰值出现在 4 月初,为 $1189 \text{ 粒} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot 15\text{d}^{-1}$,以胡桃属和悬铃木属为主,第 2 个峰值出现在 5 月初,为 $1740 \text{ 粒} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot 15\text{d}^{-1}$,以松属和栎属为主;夏末秋初的峰期出现在 8 月底,峰值为 $962 \text{ 粒} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot 15\text{d}^{-1}$,以蒿属、荨麻+蕈草属和藜科为主。2008—2009 年与 2007—2008 年相比,花粉总通量略有增高,为 $8646 \text{ 粒} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot 15\text{d}^{-1}$ 。但该年春季峰期仅出现在 4 月初,为 $2755 \text{ 粒} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot 15\text{d}^{-1}$,同样以胡桃属和悬铃木属为主,而在 5 月虽仍以松属和栎属为主,但通量较低,不形成明显峰值;该年夏末秋初的峰值出现时间略晚于前一年(9 月初),总通量也低于前一年($662 \text{ 粒} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot 15\text{d}^{-1}$),但主要花粉类型与前一年一致。

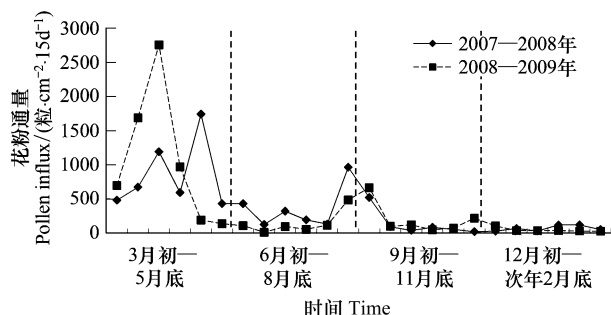


图3 石家庄 2007—2008 年与 2008—2009 年不同季节花粉总通量对比

Fig.3 Airborne pollen total influxes in different seasons from 2007 to 2009 in Shijiazhang

4 讨论

4.1 空气花粉组合与植被的关系

空气花粉来自于植物,并受到一定环境因素的影响。空气孢粉组合可以反映植物的花期,如春季出现的乔木花粉高峰期与夏末秋初出现的草本花粉高峰期均与植物花期相对应(图 3)。此外,空气孢粉组合还受到区域植被的影响^[34-35]。根据植被分布

情况,松属、杨属、胡桃属、悬铃木属、蔷薇科、蒿属、藜科、杂草禾本科、菊科、豆科和葡萄科等 49 个科属在采样点周围有分布,为当地花粉,占总鉴定类型的 59.8%,但在花粉组合中,占花粉总数的 80%以上,说明当地花粉是周围植被的真实反映;农作物禾本科、荨麻+蕈草属、桦木属、栎属、虎榛子属和胡颓子属等 33 个科属在采样点周围未见分布,为区域花粉,占总鉴定类型的 40.2%,但在花粉组合中,占花粉总数的 20%以下,其中农作物禾本科和荨麻+蕈草属等草本植物多见于市区周边农田,桦木属、栎属和虎榛子属等木本植物多见于西部山区,显示花粉组合主要受当地植被影响,但来自太行山等地的区域花粉对空气花粉组合有一定影响。

早在 20 世纪 80 年代,就有学者对石家庄市空气花粉散布规律进行调查研究。王刚生等^[22]和宗惠军等^[23]分别对 1985—1986、1986—1987 与 1988—1989 年石家庄市空气花粉组成进行了调查研究,均指出石家庄空气花粉出现春秋两个高峰。其中 1985—1986 年空气花粉含量较高的类型依次为:杨属(17.18%)、蒿属(12.87%)、禾本科(10.01%)、柳属(*Salix*)(7.96%)、大麻+蕈草属(*Cannabis* + *Humulus*)(7.5%)、藜科(6.85%)、松属(4.95%)、槐属(*Sophora*)(4.2%)、苔草属(*Carex*)(3.6%)、梧桐属(*Firmiana*)(3.15%),主要致敏花粉为蒿属、禾本科、藜科植物花粉^[22]。而目前石家庄市城市绿化植被已有较大改变,法国梧桐、蔷薇科等多种乔灌木等成为市区主要绿化树种,杨树、柳树等比例明显降低。本研究显示,按石家庄市 2007—2009 两年空气花粉通量由高到低排序,前 10 位依次为:胡桃属(17.87%)、悬铃木属(13.67%)、蒿属(13.29%)、杨属(10.86%)、藜科(6.68%)、蔷薇科(5.75%)、荨麻+蕈草属(5.02%)、松属(3.88%)、栎属(3.70%)、农作物禾本科(2.39%)。相较于 20a 前,胡桃属、悬铃木属花粉排序明显前移且含量增加,杨属、禾本科排位后移且含量下降,柳属、槐属含量降低,移出前 10 位,蒿属、藜科、松属基本持平。这与采样点周围植被的差异有关,但更主要的原因是绿化植物种类的改变。其中含量较高的悬铃木属、蒿属、藜科均为高致敏花粉类型^[36-37],其峰期分别出现在 4—5 月与 7—9 月,因此在这些月份花粉过敏症患者应引起足够重视,较少外出或外出时采取必要防护措施。

4.2 空气花粉组合与气候因子的关系

为更好理解气候因子对花粉组合的影响,根据空气花粉百分含量与出现频率,本文选取了 18 个主要花粉类型(占总百分含量的 94.67%),采用多响应置换过程分析方法(MRPP)探讨了主要花粉类型百分比与通量对不同季节不同气候因子的响应程度^[38]。结果表明,石家庄市不同季节空气花粉百分比与通量变化存在显著差异($P<0.0001$)。

为进一步探究主要类型花粉百分含量的受控气候因子,应用典范对应分析(CCA)研究两者的相互关系^[39]。结果显示(表 2),花粉百分含量主要受风速和相对湿度影响(与风速呈显著正相关,与相对湿度呈显著负相关),其次与气温、水汽压有一定的正

相关性,与降水量相关度不大。经蒙特卡罗(Monte Carlo)检验表明只有风速($P=0.002$)、水汽压($P=0.006$)与主要花粉类型百分含量存在显著相关,气温($P=0.468$)、降水量($P=0.928$)、相对湿度($P=0.582$)均未通过检验。因此本文选取风速、水汽压与主要花粉类型百分含量作 T -值双序图^[40](图 4),结果表明松属、栎属、桦木属、胡桃属、悬铃木属、胡颓子属、虎榛子属均与风速呈显著正相关,显示木本空气花粉组成受风速影响更为显著。蒿属、藜科、荨麻+蕨草属、菊科等草本植物均与风速呈显著负相关,其中藜科、荨麻+蕨草属还与水汽压呈显著正相关;菊科、胡桃属与水汽压呈显著负相关;其他类型对风速、水汽压的响应不显著。2008—2009 年度花

表 2 石家庄 2007—2009 年空气花粉百分比组合 CCA 分析结果
Table 2 CCA analysis results of air pollen percentage from 2007 to 2009 in Shijiazhang

排序轴 Axis	特征值 Eigenvalue	花粉类型和气候因子 与排序轴相关系数 Species-environment correlations	气候因子与排序轴相关系数 Inter set correlations of environmental variables with axes				
			气温 Temperature	降水量 Precipitation	相对湿度 Relative humidity	风速 Wind speed	水汽压 Vapor pressure
1	0.320	0.807	-0.178	-0.272	-0.590 *	0.710 *	-0.428
2	0.111	0.718	0.597 *	0.204	0.183	0.312	0.566 *
3	0.063	0.381	-0.122	-0.093	-0.207	0.072	-0.080
4	0.027	0.365	-0.136	0.012	0.109	0.013	-0.048

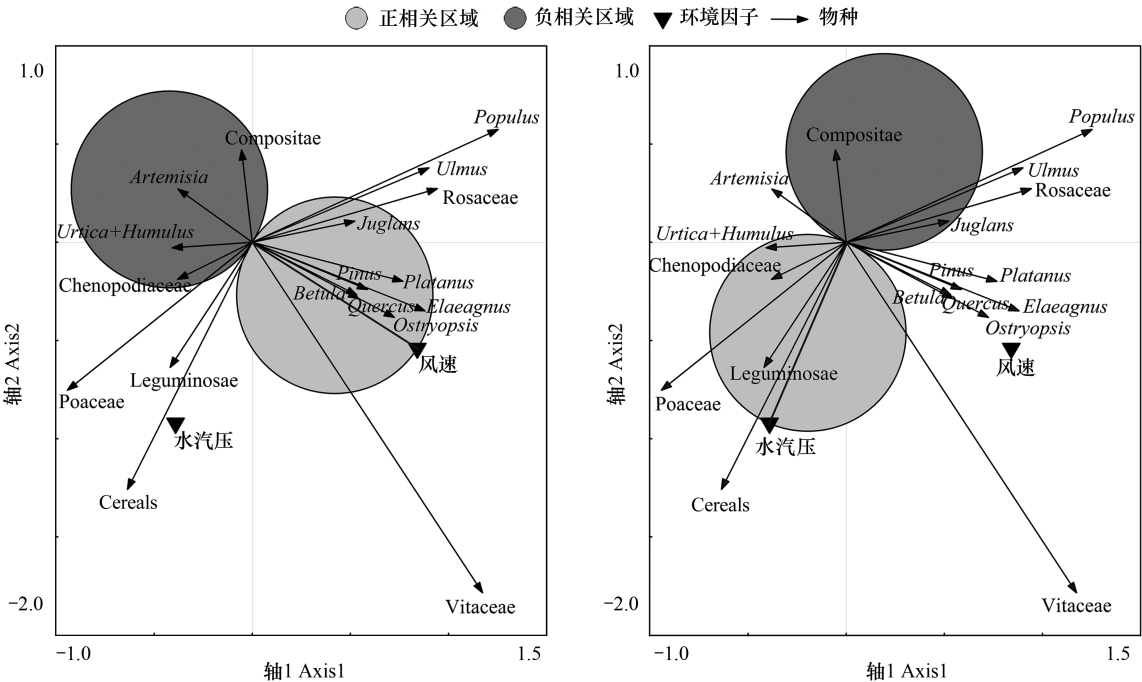


图 4 石家庄 2007—2009 年主要花粉类型与风速、水汽压的 T -value 双序图
Fig.4 T-value biplot of main pollen types and wind speed aqueous vapor pressure from 2007 to 2009 in Shijiazhang

粉通量略高于 2007—2008 年度的主要原因可能就与该年平均风速(1.5 m/s)略高于上一年(1.4 m/s)有关。此外,风速也是导致 2007 年春季花粉通量双峰值、2008 年单峰值的主要原因之一。2007 年 5 月平均风速(1.9 m/s)明显高于 2008 年同期(1.7 m/s),较低的风速不利于该时段开花的松属和栎属的花粉传播,使得其数量较少,峰值不明显。

为探讨不同季节不同花粉类型其受控气候因子,为此对石家庄市两年的主要花粉类型通量与不同季节气候因子进行了 Spearman 相关性分析,结果见表 3。

早春花期的杨属只与水汽压呈负相关;仲春花期的胡桃属和悬铃木属与 5 种气候因子均无显著相关关系。高祺等^[41]在研究气候变暖对石家庄春季物候的影响中提出,早春、仲春植物物候与 2—4 月气温相关性最大,晚春物候与春季气温相关性最大。为此,做了 2008 年 2—4 月份气温与春季乔木花粉通量的相关分析,发现胡桃属和悬铃木属与 2—4 月份气温、水汽压呈显著正相关。2008—2009 年度 2—4 月水汽压明显高于上一年同期(高 3.5 hPa),可能是该年胡桃属和悬铃木属花粉通量较高的主要原因。晚春花期的松属、栎属、虎榛子属与气温、水汽压呈正相关。2008—2009 年度晚春较低的温度(低 2.1 ℃)可能是松属和栎属花粉含量较低,且该年此时段乔木花粉峰值不明显的重要原因。此外,草本植物中的杂草禾本科、农作物禾本科与春季气温、风速也呈正相关,与吕素青等^[37]对黄土高原空气花粉

研究结果相似。

夏季空气花粉含量降低,草本植物花粉通量与气候因子关系不显著,仅荨麻+蕈草属与风速呈负相关。木本植物花粉通量反而受气候因子控制明显,其中松属、栎属、胡桃属和虎榛子属均与相对湿度呈负相关,胡桃属、蔷薇科和虎榛子属还与水汽压呈负相关,与前人研究结果一致^[42-43]。2008—2009 年夏季气温低(低 0.8 ℃)、降水量多(多 272.1 mm)、相对湿度高(高 2.8%),不利于花粉散布以及夏末秋初开花植物花粉囊的开裂^[42],这可能是导致 2008—2009 年度夏季花粉通量低于上一年且夏末秋初花粉通量峰期推后、峰值降低的主要原因。

秋季空气花粉中的草本植物花粉类型,如杂草禾本科、农作物禾本科、蒿属、藜科、荨麻+蕈草属均与气温、水汽压呈正相关。杂草禾本科和荨麻+蕈草属还与降水量呈正相关。前人^[44-45]对北京地区秋季空气花粉研究认为,秋季花粉通量主要与平均气温、水汽压、相对湿度、降水量呈正相关,与风速呈负相关。但本研究显示秋季花粉通量与相对湿度、风速相关不明显,可能与研究时段石家庄市秋季相对湿度变化不明显、风速较低有关。2008—2009 年秋季花粉总通量略高于 2007—2008 年与气候因子的影响密切相关,从两年的气象条件对比看出,该年秋季气温高(高 0.7 ℃)、水汽压高(高 0.1 hPa),这可能是造成这种现象的原因。

由于冬季空气中花粉含量低,主要花粉类型通量与冬季气象因子相关性均较差。

表 3 石家庄 2007—2009 年主要花粉类型不同季节花粉通量与对应时段气候因子的相关分析

Table 3 The correlation between the main pollen taxa influxes and the climate factors in different seasons from 2007 to 2009

花粉类型 Pollen taxa	春季 Spring					夏季 Summer				
	气温 Temperature	降水量 Precipitation	相对湿度 Relative humidity	风速 Wind speed	水汽压 Vapor pressure	气温 Temperature	降水量 Precipitation	相对湿度 Relative humidity	风速 Wind speed	水汽压 Vapor pressure
松属 <i>Pinus</i>	0.839 **	0.377	-0.231	0.549	0.790 **	-0.016	-0.495	-0.593 *	0.324	-0.473
栎属 <i>Quercus</i>	0.796 **	0.395	-0.207	0.61	0.760 *	-0.079	-0.107	-0.565 *	0.379	-0.396
杨属 <i>Populus</i>	-0.370	-0.129	-0.406	-0.061	-0.758 *	0.011	-0.232	-0.277	0.181	-0.153
胡桃属 <i>Juglans</i>	0.079	0.08	0.055	0.152	0.176	-0.462	-0.374	-0.703 **	0.379	-0.725 **
悬铃木属 <i>Platanus</i>	0.273	0.197	0.03	0.316	0.333	0.071	-0.275	-0.445	0.368	-0.335
蔷薇科 <i>Rosaceae</i>	0.321	0.326	-0.103	0.419	0.406	-0.316	-0.256	-0.534	0.484	-0.561 *
虎榛子属 <i>Ostryopsis</i>	0.685 *	0.178	0.067	0.438	0.867 **	-0.144	-0.558 *	-0.683 *	0.567 *	-0.598 *
胡颓子属 <i>Elaeagnus</i>	0.565	0.222	0.049	0.445	0.675 *	-0.022	0.036	-0.215	0.446	-0.293
杂草禾本科 <i>Poaceae</i>	0.663 *	-0.13	-0.463	0.684 *	0.506	0.159	-0.313	-0.192	-0.115	-0.143
农作物禾本科 <i>Cereals</i>	0.809 **	0.139	-0.681	0.793 **	0.462	-0.341	-0.324	-0.467	-0.088	-0.434

续表

花粉类型 Pollen taxa	春季 Spring					夏季 Summer				
	气温 Temperature	降水量 Precipitation	相对湿度 Relative humidity	风速 Wind speed	水汽压 Vapor pressure	气温 Temperature	降水量 Precipitation	相对湿度 Relative humidity	风速 Wind speed	水汽压 Vapor pressure
蒿属 <i>Artemisia</i>	-0.176	-0.258	-0.455	0.213	-0.333	-0.313	0.093	0.363	-0.28	0.121
藜科 <i>Chenopodiaceae</i>	0.455	0.049	-0.576	0.602	0.261	-0.209	-0.049	0.335	-0.385	0.126
荨麻+葎草属 <i>Urtica+Humulus</i>	0.345	0.049	-0.224	0.377	0.394	0.03	0.047	0.432	-0.564 *	0.432
花粉类型 Pollen taxa	秋季 Autumn					冬季 Winter				
	气温 Temperature	降水量 Precipitation	相对湿度 Relative humidity	风速 Wind speed	水汽压 Vapor pressure	气温 Temperature	降水量 Precipitation	相对湿度 Relative humidity	风速 Wind speed	水汽压 Vapor pressure
松属 <i>Pinus</i>	-0.758 *	-0.620	-0.345	0.212	-0.685 *	0.370	-0.119	-0.624	0.624	-0.273
栎属 <i>Quercus</i>	0.127	-0.325	-0.260	0.733 *	0.176	0.097	-0.448	-0.286	-0.036	-0.207
杨属 <i>Populus</i>	-0.117	0.118	0.350	0.153	0.092	0.178	-0.845 **	-0.608	0.171	-0.608
胡桃属 <i>Juglans</i>	-0.055	-0.006	-0.103	-0.103	-0.091	0.224	-0.300	-0.588	0.370	-0.394
悬铃木属 <i>Platanus</i>	-0.188	-0.288	-0.224	-0.188	-0.164	0.018	-0.375	-0.164	-0.188	-0.176
蔷薇科 <i>Rosaceae</i>	-0.669 *	-0.228	0.164	-0.219	-0.474	-0.030	0.420	0.365	-0.182	0.340
虎榛子属 <i>Ostryopsis</i>	-0.529	-0.642 *	-0.574	0.455	-0.693 *	0.000	0.151	0.109	-0.007	0.102
胡颓子属 <i>Elaeagnus</i>	0.387	0.491	0.153	-0.595	0.215	0.436	-0.101	0.202	-0.178	0.423
杂草禾本科 <i>Poaceae</i>	0.733 *	0.632 *	0.273	-0.273	0.697 *	0.176	0.263	0.079	0.236	0.055
农作物禾本科 <i>Cereals</i>	0.709 *	0.546	0.309	-0.091	0.758 *	0.236	-0.238	-0.697 *	0.564	-0.430
蒿属 <i>Artemisia</i>	0.842 **	0.620	0.236	-0.067	0.794 **	0.103	0.150	0.042	0.248	0.018
藜科 <i>Chenopodiaceae</i>	0.782 **	0.546	0.224	-0.067	0.782 **	0.018	-0.375	-0.345	0.055	-0.333
荨麻+葎草属 <i>Urtica+Humulus</i>	0.903 **	0.767 **	0.467	-0.236	0.903 **	-0.091	0.320	0.462	-0.377	0.450

* * 在 0.01 水平显著相关(双侧检验); * 在 0.05 水平显著相关(显著相关)

5 结论

(1) 石家庄市空气花粉组成受植物花期影响明显,花粉通量存在明显的季节差异,春季和夏末秋初分别出现以乔木花粉为主和以草本花粉为主的两个高峰期。空气花粉组成中,当地花粉占花粉总数 80% 以上,区域花粉占 20% 以下。

(2) 石家庄市空气花粉类型年际差异不大,但不同月份主要花粉类型存在差异。初春主要为杨属,仲春主要为胡桃属和悬铃木属,晚春主要为松属、桦木属、栎属,春末夏初主要为农作物禾本科,夏末秋初至次年春季伊始主要为蒿属、藜科、荨麻+葎草属。

(3) 随城市绿化树种的改变,石家庄市主要空气花粉类型的排序较 20a 前发生一定变化,排在前 10 位的依次为:胡桃属、悬铃木属、蒿属、杨属、藜科、荨麻+葎草属、松属、栎属、农作物禾本科。其中悬铃木属、藜科等高致敏花粉类型排序明显提前,蒿属持平,花粉过敏症患者在花期或通量较高时期应早作防范。

(4) 全年空气花粉组合受风速与水汽压影响明

显。其中多数乔木花粉与风速呈显著正相关;蒿属、藜科等常见草本花粉与风速呈显著负相关。豆科、藜科、荨麻+葎草属与水汽压呈显著正相关;菊科、胡桃属与水汽压呈显著负相关。

(5) 不同季节花粉通量与气候因子的相关分析显示,胡桃属、悬铃木属花粉与当年 2—4 月气温、水汽压呈正相关;松属、栎属花粉与春季气温、水汽压呈正相关。杂草禾本科、农作物禾本科与春季气温、风速呈正相关。夏季木本植物花粉与相对湿度、水汽压呈负相关。秋季草本植物花粉与气温、水汽压呈正相关。冬季花粉通量与气候因子相关性不显著。

References:

- [1] Xu Q H, Li Y C, Li Y, Yang X L, Zhang Z Q, Jia H J. A discuss about modern pollen and study of Quaternary environment. *Progress in Natural Science*, 2006, 16(6): 647-656.
- [2] Xu J X, Li Y N, Zhang D S. Advances in the variation of atmospheric pollen and its forecasting study. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(7): 3854-3863.
- [3] D'Amato G, Cecchi L, Bonini S, Nunes C, Annesi-Maesano I,

- Behrendt H, Liccardi G, Popov T, Van Cauwenberge P. Allergenic pollen and pollen allergy in Europe. *Allergy*, 2007, 62 (9): 976-990.
- [4] Wang X L, Li Y C, Xu Q H, Yang X L, Zhang Z Q, Jia H J, Cao X Y, Zhang L Y. Modern pollen distribution in the middle and north of Lüliang mountains, Shanxi Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(8): 3682-3690.
- [5] Bunting M J, Middleton R, Twiddle C L. Wetland records of a coastal cultural landscape in north-west Scotland: an application of the Multiple Scenario Approach to landscape reconstruction. *Archaeology from the Wetlands: Recent Perspectives (WARP Occasional Paper 18)*. Society of Antiquaries of Scotland Edinburgh, 2007: 109-117.
- [6] Gaillard M J, Sugita S, Bunting M J, Middleton R, Broström A, Caseldine C, Giesecke T, Hellman S E V, Hicks S, Hjelle K, Langdon C, Nielsen A B, Poska A, Stedingk H V, Veski S. The use of modelling and simulation approach in reconstructing past landscapes from fossil pollen data: a review and results from the POLLANDCAL network. *Vegetation History and Archaeobotany*, 2008, 17(5): 419-443.
- [7] Ouyang Z Y, Xin J N, Zheng H, Meng X S, Wang X K. Species composition, distribution and phenological characters of pollen-allergenic plants in Beijing urban area. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(9): 1953-1958.
- [8] D'Amato G, Spiekma F T M, Liccardi G, Jäger S, Russo M, Kontou-Fili K, Nikkels H, Wüthrich B, Bonini S. Pollen related allergy in Europe. *Allergy*, 1998, 53(6): 567-578.
- [9] Zhang D S, Hai Y L, Feng T, Wu Z L, He H J, Zhang S L, Chu W, Yuan G Z. Applied research on the 1—4 day pollen concentration forecast in Beijing area. *Meteorological Monthly*, 2010, 36(5): 128-132.
- [10] Wu Z L, Yuan G Z, Bai Y R, Duan L Y, Liu B X. Study of airborne pollen prediction model. *Meteorological Science and Technology*, 2007, 35(6): 832-836.
- [11] Gu D G, Liao K W. The relation between flower power diffusion and meteorological conditions in Urban Areas. *Meteorology Journal of Hubei*, 2003, 22(3): 36-37.
- [12] Huang C X, Cour P, Xu Q H, Yang X L, Liang W D. The study of airborne pollen and spores in Hailun of northeast China plain. *Progress in Geography*, 2001, 20(4): 371-377.
- [13] Zhang J, Xu X, Zhang Z X, Zhang Q, Yan S F. Allergic pollen characteristics in air and its relationship with meteorological factors in Nanjing. *Journal of Meteorology and Environment*, 2009, 25 (5): 67-71.
- [14] Koff T. Pollen influx into Tauber traps in Estonia in 1997—1998. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 2001, 117(1): 53-62.
- [15] Wang Z H, Xu Q H. Air pollen assemblage characteristics derived from duststorms and non-duststorms and its significance. *Geographical Research*, 2006, 25(2): 262-267.
- [16] Jiang S X, Li Y C, Xu Q H, Li Y, Liang J. Airborne palynological assemblages in suburb of Lanzhou and influence of special weather. *Journal of Palaeogeography*, 2010, 12 (5): 629-638.
- [17] Kawashima S, Clot B, Fujita T, Takahashi Y, Nakamura K. An algorithm and a device for counting airborne pollen automatically using laser optics. *Atmospheric Environment*, 2007, 41 (36): 7987-7993.
- [18] Rittenour W R, Hamilton R G, Beezhold D H, Greena B J. Immunologic, spectrophotometric and nucleic acid based methods for the detection and quantification of airborne pollen. *Journal of Immunological Methods*, 2012, 383(1/2): 47-53.
- [19] Sugita S. Theory of quantitative reconstruction of vegetation I: pollen from large sites REVEALS regional vegetation composition. *The Holocene*, 2007, 17(2): 229-241.
- [20] Sugita S. Theory of quantitative reconstruction of vegetation II: all you need is LOVE. *The Holocene*, 2007, 17(2): 243-257.
- [21] Chamecki M. An analytical model for dispersion of biological particles emitted from area sources: Inclusion of dispersion in the crosswind direction. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2012, 157: 30-38.
- [22] Wang G S, Guo W Y. Investigation and analysis of airborne pollens in Second Hospital of Hebei Medical College. *Acta Academiae Medicinae Hebei*, 1988, 9(4): 205-207.
- [23] Zong H J, Jia S L, Sun C C, Zhang L J, Xue H T, Du Z Y, Tian W C. Analysis of airborne pollen dispersal regulation in Shijiazhuang City. *Hebei Medical Journal*, 1990, 12 (5): 295-296.
- [24] Editorial Committee of Chorography of Hebei Province. *Chorography of Hebei Province*. Shijiazhuang: Hebei Scientific and Technical Publishers, 1993: 40-345.
- [25] Wu Z Y, Editorial Committee of Vegetation of China. *Vegetation of China*. Beijing: Science Press, 1980: 788-799.
- [26] Sun L Y, Ren X W. *Sylva of Hebei*. Beijing: China Forestry Publishing House, 1997: 1-5.
- [27] Pang R M, Xu Q H, Ding W, Zhang S R. Pollen assemblage of farmlands in central and southern Hebei Province. *Acta Geographica Sinica*, 2010, 65(11): 1345-1354.
- [28] Wang F X, Qian N F, Zhang Y L, Yang H Q. *Pollen Flora of China*. 2nd ed. Beijing: Science Press, 1995: 1-437.
- [29] Yuan T, Wei Z J, Yang J, Zhao S, Yan L, Zhang E H. *Modern Pollen Morphology of Grassland in Inner Mongolia*. Beijing: China Agriculture Press, 1999: 1-123.
- [30] Sun X J, Wu Y S. Modern pollen rain of mixed conifer forest in Changbai MT., Northeast China. *Acta Botanica Sinica*, 1988, 30 (5): 549-557.
- [31] Li Y C, Xu Q H, Cao X Y, Yang X L, Li Y Y, Zhou L P. Pollen influx and surface pollen assemblage on the northern slope of Taibai Mountain. *Geographical Research*, 2008, 27 (3):

- 536-546.
- [32] Lü S Q, Li Y C, Xu Q H, Li Y, Liu Y L, Liang J. Airborne pollen assemblages and their relationships with climate factors in the central Shaanxi Province of the Loess Plateau: a case in Xiaheimugou, Luochuan County. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32 (24): 7654-7666.
- [33] China Meteorological Data Sharing Service System. [2013-01-04]. <http://cdc.cma.gov.cn/>.
- [34] Wang M H. The observation and study of the law of the pollen distribution in the air over Changchun city. *YanTai Teachers' College Journal (Natural Science Edition)*, 1988, 4(2): 32-36.
- [35] Zhu Y, Chen F H, Liu H J, Cheng B, Huang X Z. Preliminary studies on the air-borne pollen in the Shiyang river drainage, arid China. *Journal of Lanzhou University (Natural Sciences)*, 2003, 39(2): 100-105.
- [36] Wan Y F, Xi Q C. Progress of research on platanus acerifolia pollen allergen. *Chinese Journal of Dermatovenereology of Integrated Traditional and Western Medicine*, 2008, 7(2): 128-130.
- [37] Wen Z H, Yin J. Correlation of the *Artemisia* and *Humulus scandens* pollen count in the air and the severity of asthma symptoms in patients with autumnal pollinosis. *Chinese Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 2012, 6(1): 10-17.
- [38] Ma X D, Zhang S J, Su Z Y, Qu Y D, Liu G. Community structure in relation to microtopography in a montane evergreen broadleaved forest in Chebaling National Nature Reserve. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(19): 5151-5160.
- [39] Li Q H, Han B P. Structure and dynamics of phytoplankton community based CCA analysis in a pumped storage reservoir. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(6): 2355-2364.
- [40] Li G Q, Wang X S, Guo H, Zhu Z H. Effects of ecological factors on plant communities of Ziwuling Mountain, Shaanxi Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(6): 2463-2471.
- [41] Gao Q, Miao Q L, Zhao S L. Effects of climate warming on spring phenophase in Shijiazhuang, Hebei province. *Journal of Meteorology and Environment*, 2010, 26(1): 21-26.
- [42] Yang Y. Study on Urban Trees' Pollen Dispersal Regulation and Affecting Factors in Beijing City [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2007: 46-60.
- [43] Wang B, Gao P, Liu J, Zhao S K, He L M, Zhang Y L, Xia H L, Mo B F, Cao W, Wang L Y. Airborne pollen in Southern-West area of Shanghai. *Chinese Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 2010, 4(3): 168-175.
- [44] He H J, Zhang D S, Qiao B S. Preliminary approach of the relationship between Airborne pollen amount and meteorological factors in Beijing urban area. *Chinese Journal of Microbiology and Immunology*, 2001, 21(Supplement): 31-33.
- [45] Zhang S L, Zhang D S, He H J. Analysis of weather conditions of pollen amount in Beijing urban area. *Meteorological Science and Technology*, 2003, 31(6): 406-408.
- 参考文献:**
- [1] 许清海, 李月丛, 李育, 阳小兰, 张振卿, 贾红娟. 现代花粉过程与第四纪环境研究若干问题讨论. *自然科学进展*, 2006, 16(6): 647-656.
- [2] 徐景先, 李耀宁, 张德山. 空气花粉变化规律和预测预报研究进展. *生态学报*, 2009, 29(7): 3854-3863.
- [4] 王学丽, 李月丛, 许清海, 阳小兰, 张振卿, 贾红娟, 曹现勇, 张丽艳. 山西西部吕梁山中北段现代花粉散布特征. *生态学报*, 2008, 28(8): 3682-3690.
- [7] 欧阳志云, 辛嘉楠, 郑华, 孟雪松, 王效科. 北京城区花粉致敏植物种类、分布及物候特征. *应用生态学报*, 2007, 18(9): 1953-1958.
- [9] 张德山, 海玉龙, 冯涛, 吴振玲, 何海娟, 张姝丽, 储伟, 苑公展. 北京地区 1—4 天花粉浓度预报的应用研究. *气象*, 2010, 36(5): 128-132.
- [10] 吴振玲, 苑公展, 白玉荣, 段丽瑶, 刘彬贤. 天津气传花粉预测模型研究. *气象科技*, 2007, 35(6): 832-836.
- [11] 谷德高, 廖可文. 城市花粉扩散与气象条件的关系. *湖北气象*, 2003, 22(3): 36-37.
- [12] 黄赐璇, Cour P, 许清海, 阳小兰, 梁文栋. 东北平原海伦空气孢粉分析. *地理科学进展*, 2001, 20(4): 371-377.
- [13] 张军, 徐新, 张增信, 张强, 闫少锋. 南京市空气中花粉特征及其与气象条件关系. *气象与环境学报*, 2009, 25(5): 67-71.
- [15] 王赞红, 许清海. 现代尘暴和非尘暴天气大气花粉特征及其环境意义——以北京地区为例. *地理研究*, 2006, 25(2): 262-267.
- [16] 蒋素雪, 李月丛, 许清海, 李育, 梁剑. 兰州郊区空气孢粉组合及特殊天气的影响. *古地志学报*, 2010, 12(5): 629-638.
- [22] 王刚生, 郭文友. 河北医学院第二医院空气中花粉的调查分析. *河北医学院学报*, 1988, 9(4): 205-207.
- [23] 宗惠军, 贾淑兰, 孙长春, 张丽娟, 薛海涛, 杜赞英, 田文彩. 石家庄市气传花粉飘散规律调查. *河北医药*, 1990, 12(5): 295-296.
- [24] 河北省地方志编纂委员会. 河北省志. 石家庄: 河北科学技术出版社, 1993: 40-345.
- [25] 吴征镒, 中国植被编辑委员会. 中国植被. 北京: 科学出版社, 1980: 788-799.
- [26] 孙立元, 任宪威. 河北树木志. 北京: 中国林业出版社, 1997: 1-5.
- [27] 庞瑞沼, 许清海, 丁伟, 张生瑞. 河北省中南部农田孢粉组合特征. *地理学报*, 2010, 65(11): 1345-1354.
- [28] 王伏雄, 钱南芬, 张玉龙, 杨惠秋. 中国植物花粉形态 (第二版). 北京: 科学出版社, 1995: 1-437.
- [29] 苑涛, 卫智军, 杨静, 赵晟, 燕玲, 张恩厚. 内蒙古草地现代植物花粉形态. 北京: 中国农业出版社, 1999: 1-123.
- [30] 孙湘君, 吴玉书. 长白山针叶混交林的现代花粉雨. *植物学报*, 1988, 30(5): 549-557.

- [31] 李月丛, 许清海, 曹现勇, 阳小兰, 李宜垠, 周力平. 太白山北坡花粉通量与表土花粉研究. 地理研究, 2008, 27(3): 536-546.
- [32] 吕素青, 李月从, 许清海, 李英, 刘耀亮, 梁剑. 陕西中部黄土高原地区空气花粉组成及其与气候因子的关系——以洛川县下黑木沟村为例. 生态学报, 2012, 32(24): 7654-7666.
- [33] 中国气象科学数据共享服务网. [2013-01-04]. <http://cdc.cma.gov.cn/>.
- [34] 王曼华. 长春市空气中花粉分布规律的观测和研究. 烟台师范学院学报(自然科学版), 1988, 4(2): 32-36.
- [35] 朱艳, 陈发虎, 刘虎俊, 程波, 黄小忠. 石羊河流域空气传播孢粉的初步研究. 兰州大学学报(自然科学版), 2003, 39(2): 100-105.
- [36] 万远芳, 刁庆春. 法国梧桐花粉及其变应原研究进展. 中国中西医结合皮肤性病学杂志, 2008, 7(2): 128-130.
- [37] 温志华, 尹佳. 蒿属、葎草花粉空气浓度与夏秋季花粉症患者哮喘症状严重程度的相关性. 中华临床免疫和变态反应杂志, 2012, 6(1): 10-17.
- [38] 马旭东, 张苏俊, 苏志尧, 区余端, 刘刚. 车八岭山地常绿阔叶林群落结构特征与微地形条件的关系. 生态学报, 2010, 30(19): 5151-5160.
- [39] 李秋华, 韩博平. 基于 CCA 的典型调水水库浮游植物群落动态特征分析. 生态学报, 2007, 27(6): 2355-2364.
- [40] 李国庆, 王孝安, 郭华, 朱志红. 陕西子午岭生态因素对植物群落的影响. 生态学报, 2008, 28(6): 2463-2471.
- [41] 高祺, 缪启龙, 赵世林. 气候变暖对石家庄春季物候的影响. 气象与环境学报, 2010, 26(1): 21-26.
- [42] 杨颖. 北京城区树木花粉飘散规律及影响因素研究 [D]. 北京: 北京林业大学, 2007: 46-60.
- [43] 王班, 高萍, 刘洁, 赵世坤, 何丽明, 张雨露, 夏红蕾, 莫斌峰, 曹威, 王莲芸. 上海市西南部空气中气传花粉调查. 中华临床免疫和变态反应杂志, 2010, 4(3): 168-175.
- [44] 何海娟, 张德山, 乔秉善. 北京城区空气中花粉含量与气象要素的关系初探. 中华微生物学和免疫学杂志, 2001, 21(增刊): 31-33.
- [45] 张姝丽, 张德山, 何海娟. 北京城区花粉数量天气条件分析. 气象科技, 2003, 31(6): 406-408.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.6 Mar., 2014 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Impacts of global warming on litter decomposition SONG Piao, ZHANG Naili, MA Keping, et al (1327)
- From system to landscape: the other orientation of regional material flow analysis ZHANG Xiaogang, ZENG Hui (1340)
- A multi-dimensional approach for wetland ecosystem service valuation SONG Yuqin, ZHANG Xiaolei (1352)
- Molecular mechanisms of the insect juvenile hormone JIN Minna, LIN Xinda (1361)
- Microbial deterioration in ancient cave and wall paintings LI Qiang, GE Qinya, PAN Xiaoxuan, et al (1371)
- Study on ecological safety evaluation and warning of wetlands in Tumen River watershed based on 3S technology
..... ZHU Weihong, MIAO Chengyu, ZHENG Xiaojun, et al (1379)
- A review of transboundary protected areas network establishment WANG Wei, TIAN Yu, CHANG Ming, et al (1391)

Autecology & Fundamentals

- Water consumption characteristics and water use efficiency of *Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus grandis* and bamboo-willow
seedlings QIU Quan, PAN Xin, LI Jiyue, et al (1401)
- Three warming scenarios differentially affect the morphological plasticity of an invasive herb *Alternanthera philoxeroides*
..... CHU Yanmei, YANG Jian, LI Jingji, et al (1411)
- The influence of meteorological factors and soil physicochemical properties on karst processes in six land-use patterns in summer
and winter in a typical karst valley LIU Wen, ZHANG Qiang, JIA Yanan (1418)
- Effects of nanocarbon application on nitrogen absorption and utilization of flue-cured tobacco
..... LIANG Taibo, YIN Qisheng, ZHANG Yanling, et al (1429)
- The stand spatial model and pattern based on voronoi diagram LIU Shuai, WU Shuci, WANG Hong, et al (1436)
- Dynamic analysis of spatial structure in a close-to-nature *Phyllostachys edulis* stands
..... QIU Jianxi, TANG Mengping, SHEN Lifen, et al (1444)
- Phenotypic diversity in natural populations of *Sapindus mukorossi* based on fruit and seed traits
..... DIAO Songfeng, SHAO Wenhao, JIANG Jingmin, et al (1451)
- Development of compatible biomass models for trees from different stand origin ... FU Liyong, LEI Yuancai, SUN Wei, et al (1461)

Population, Community and Ecosystem

- The impact of understory vegetation structure on growth of *Polygonatum cyrtoneura* in extensively managed *Phyllostachys edulis*
plantation FAN Yanrong, CHEN Shuanglin, YANG Qingping, et al (1471)
- Short-term effects of CO₂ concentration elevation, warming and transgenic *Bt* rice cropping on soil labile organic carbon and
nitrogen, and nematode communities CHEN Jing, CHEN Fajun, LIU Manqiang, et al (1481)
- Temporospatial variations in net ecosystem productivity in Northeast China since 1961
..... LI Jie, ZHANG Yuandong, GU Fengxue, et al (1490)
- Assessment of the habitat suitability for waterfowls in the Panjin, Liaoning with GIS and remote sensing
..... DONG Zhangyu, LIU Dianwei, WANG Zongming, et al (1503)
- Distribution of soil macropores and their influence on saturated hydraulic conductivity in the Huoditang forest region of the
Qinling Mountains LU Bin, ZHANG Shengli, LI Kan, et al (1512)

- Influences of phosphorus concentration on interactions among *Microcystis aeruginosa*, *Daphnia magna* and *Ceratophyllum demersum* ...
 MA Jianmin, JIN Ping, GUO Meng, et al (1520)
- Allelopathic inhibition and mathematical models of *Chara vulgaris* extracts on two freshwater algae species
 HE Zongxiang, LIU Lu, LI Cheng, et al (1527)
- Flora analysis of riparian vegetation in Yongding-Haihe river system, China XIU Chen, OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua (1535)
- Stream habitat assessment of Dong River, China, using *River Habitat Survey* method
 WANG Qiang, YUAN Xingzhong, LIU Hong, et al (1548)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Appling SWAT model to explore the impact of changes in land use and climate on the streamflow in a Watershed of Northern
 China GUO Juntong, ZHANG Zhiqiang, WANG Shengping, et al (1559)
- Climate response of tree growth along an altitudinal gradient in the Changbai Mountains, Northeast China
 CHEN Li, YIN Yunhe, ZHAO Dongsheng, et al (1568)
- The dispersion of airborne pollen and its relationship with major climatic parameters in Shijiazhuang
 LI Ying, LI Yuecong, LÜ Suqing, et al (1575)
- The change of soil carbon and nitrogen under different grazing gradients in Hulunber meadow steppe
 YAN Ruirui, XIN Xiaoping, WANG Xu, et al (1587)
- Spatial distribution and influencing factors of farmland soil organic matter and trace elements in the nansihu region
 WU Jie, LI Yuhuan, LI Zengbing, et al (1596)

Resource and Industrial Ecology

- Transnational land use and its potential environmental consequence LU Xiaoxuan (1606)

《生态学报》2014 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 薛建辉

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 34 卷 第 6 期 (2014 年 3 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 34 No. 6 (March, 2014)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel: (010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail: journal@ cspg. net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@ cspg. net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add: P.O.Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元