

中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国 60 年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

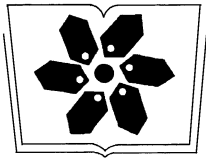
(Shengtai Xuebao)

第 31 卷 第 5 期
Vol.31 No.5
2011



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 31 卷 第 5 期 2011 年 3 月 (半月刊)

目 次

盐胁迫下 3 种滨海盐生植物的根系生长和分布·····	弋良朋,王祖伟 (1195)
蕙兰病株根部内生细菌种群变化·····	杨 娜,杨 波 (1203)
森林不同土壤层全氮空间变异特征·····	张振明,余新晓,王友生,等 (1213)
基于生态位模型的秦岭山系林麝生境预测·····	罗 翀,徐卫华,周志翔,等 (1221)
黑河胜山自然保护区红松和红皮云杉生长释放判定及解释·····	王晓春,赵玉芳 (1230)
两种大型真菌菌丝体对重金属的耐受和富集特性·····	李维焕,于兰兰,程显好,等 (1240)
2005—2009 年浙江省不同土地类型上空对流层 NO ₂ 变化特征 ·····	程苗苗,江 洪,陈 健,等 (1249)
关帝山天然次生针叶林林隙径高比 ·····	符利勇,唐守正,刘应安 (1260)
鄱阳湖湿地水位变化的景观响应·····	谢冬明,郑 鹏,邓红兵,等 (1269)
模拟氮沉降对华西雨屏区撑绿杂交竹凋落物分解的影响·····	涂利华,戴洪忠,胡庭兴,等 (1277)
喷施芳香植物源营养液对梨树生长、果实品质及病害的影响 ·····	耿 健,崔楠楠,张 杰,等 (1285)
不同覆膜方式对旱砂田土壤水热效应及西瓜生长的影响 ·····	马忠明,杜少平,薛 亮 (1295)
干旱胁迫对玉米苗期叶片光合作用和保护酶的影响 ·····	张仁和,郑友军,马国胜,等 (1303)
不同供水条件下冬小麦叶与非叶绿色器官光合日变化特征 ·····	张永平,张英华,王志敏 (1312)
水分亏缺下紫花苜蓿和高粱根系水力学导度与水分利用效率的关系 ···	李文娆,李小利,张岁岐,等 (1323)
美洲森林群落 Beta 多样性的纬度梯度性 ·····	陈圣宾,欧阳志云,郑 华,等 (1334)
水体泥沙对菖蒲和石菖蒲生长发育的影响·····	李 强,朱启红,丁武泉,等 (1341)
蚯蚓在植物修复芫污染土壤中的作用·····	潘声旺,魏世强,袁 馨,等 (1349)
石榴园西花蓟马种群动态及其与气象因素的关系·····	刘 凌,陈 斌,李正跃,等 (1356)
黄山短尾猴食土行为·····	尹华宝,韩德民,谢继峰,等 (1364)
扎龙湿地昆虫群落结构及动态·····	马 玲,顾 伟,丁新华,等 (1371)
浙江双带蝠蛾发生与土壤关系的层次递进判别分析·····	杜瑞卿,陈顺立,张征田,等 (1378)
低温导致中华蜜蜂后翅翅脉的新变异 ·····	周冰峰,朱翔杰,李 月 (1387)
双壳纲贝类 18S rRNA 基因序列变异及系统发生 ·····	孟学平,申 欣,程汉良,等 (1393)
基于物理模型实验的光倒刺鲃生态行为学研究 ·····	李卫明,陈求稳,黄应平 (1404)
中国铁路机车牵引能耗的生态足迹变化 ·····	何吉成 (1412)
城市承载力空间差异分析方法——以常州市为例·····	王 丹,陈 爽,高 群,等 (1419)
水资源短缺的社会适应能力理论及实证——以黑河流域为例 ·····	程怀文,李玉文,徐中民 (1430)
寄主植物叶片物理性状对潜叶昆虫的影响·····	戴小华,朱朝东,徐家生,等 (1440)
专论与综述	
C ₄ 作物 FACE (free-air CO ₂ enrichment) 研究进展 ·····	王云霞,杨连新,Remy Manderscheid,等 (1450)
研究简报	
石灰石粉施用剂量对重庆酸雨区受害马尾松林细根生长的影响·····	李志勇,王彦辉,于澎湃,等 (1460)
女贞和珊瑚树叶片表面特征的 AFM 观察 ·····	石 辉,王会霞,李秧秧,刘 肖 (1471)

2005—2009 年浙江省不同土地类型上空对流层 NO₂ 变化特征

程苗苗¹, 江 洪^{1,2,*}, 陈 健², 郭 徵²

(1. 南京大学国际地球系统科学研究所, 南京 210093; 2. 浙江农林大学国际空间生态与生态系统生态研究中心, 临安 311300)

摘要: 利用 OMI (Ozone Monitoring Instrument, OMI) 2005 年 1 月—2009 年 12 月对流层 NO₂ 柱浓度月平均值卫星遥感资料以及浙江省 2005 年 1 月—2008 年 3 月由 NO₂ 污染指数数据计算得出的地面 NO₂ 日均值质量浓度, 分析了浙江省对流层 NO₂ 的时空分布特征和变化趋势; 此外, 结合由时间序列的 MODIS-EVI 数据所获取的浙江省土地利用图, 分析不同土地利用类型上空对流层 NO₂ 柱浓度的变化差异。研究发现在 2005—2009 年间, 浙江省对流层 NO₂ 柱浓度呈现显著的增长趋势和季节变化特征, 其中 NO₂ 柱浓度最高值出现在冬季, 最低值出现在夏季。从区域分布来看, 对流层 NO₂ 柱浓度的最高值分布在靠近上海大都市的杭州-嘉兴-湖州平原和宁波地区以及人口密集的西部和东部沿海城市区。此外不同土地利用类型上 NO₂ 柱浓度分布差异显著。农田、水体和城市地区 NO₂ 柱浓度较高, 其中城市用地上空的 NO₂ 柱浓度明显高于其他土地利用类型上空的 NO₂ 柱浓度; 森林上空 NO₂ 柱浓度值最低。NO₂ 柱浓度逐年增加趋势主要表现为: 在农田、水体和城市居民用地类型上空污染严重的 NO₂-I 类别增加显著, 而在森林和草地类型上空, 则表现为污染较轻的 NO₂-III 类别增加显著。

关键词: 对流层 NO₂; OMI; 时空动态; 土地利用

Characters of the OMI NO₂ column densities over different ecosystems in Zhejiang Province during 2005—2009

CHENG Miaomiao¹, JIANG Hong^{1,2,*}, CHEN Jian², GUO Zheng²

¹ International Institute for Earth System Science, Nanjing University, Nanjing 210093, China

² International Research Center of Spatial Ecology and Ecosystem Ecology, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, China

Abstract: Measurements of the global distribution of tropospheric NO₂ column densities have become available with the Ozone Monitoring Instrument (OMI) which is launched in September 2004 on board the Aura satellite. The spatial and temporal characters of NO₂ over Zhejiang Province is analyzed using monthly averaged tropospheric NO₂ column densities from OMI measurement from January 2005 to December 2009. In addition, with the NO₂ (2005—2009) column densities data and the land-use map of Zhejiang province, the characters of NO₂ concentration over different ecosystem have been analyzed in Zhejiang Province. The results indicated that the tropospheric NO₂ column densities in Zhejiang increased distinctly from 2005 to 2009, and it showed distinct regional and seasonal variation characteristics. It has the highest concentration in winter while lowest in summer. It also presents zonal distribution and decreasing from northern to southern. Under the influence of the urbanization process, the highest NO₂ column densities appeared at cities and metropolis which are located in the Hangzhou-Jiaxing-Huzhou plain, northern area of Ningbo as well as the west and east of Zhejiang. Moreover the lowest column densities appeared at the forest areas which are in the south and west of Zhejiang. The Tropospheric NO₂ column densities have been significantly distinction over different ecosystems. In addition, it has the higher NO₂ column density over urban, cropland and water while lower values over forest. There are different performance

基金项目: 科技部 973 项目 (2002CB111504, 2002CB410811, 2005CB422208); 科技部数据共享平台建设项目 (2006DKA32300-08); 浙江省社科技专项 (2006C12060) 共同资助

收稿日期: 2009-12-30; **修订日期:** 2011-02-21

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: hongjiang1.china@gmail.com

characteristics in five land use types along with the NO_2 column densities increasing year by year. The serious pollution of NO_2 -I type increased significantly over the troposphere of cropland, water bodies and urban land, while the performance of less contaminated NO_2 -III type increased significantly over the troposphere of forest and grass land.

Key Words: tropospheric NO_2 column densities; temporal and spatial dynamics; land use; regional characters

大气中的氮氧化物在对流层化学结构当中扮演着重要角色^[1],它是生成对流层臭氧及其他光化学二次污染物(如 PAN、二次气溶胶等)最重要的前体物之一,是形成硝酸性酸雨、酸雾以及光化学烟雾的主要污染物^[1-2]。二氧化氮(NO_2)是大气中能以比较稳定的状态存在的氮氧化物之一,其来源可分为自然源和人为源两部分,其中自然源包括:闪电过程、平流层光化学过程、土壤和海洋释放以及自然燃烧释放等^[3];人为源指由人为使用化石燃料和生物质的燃烧以及人类工农业活动释放等^[1,3-4]。随着人类社会的发展,人类活动产生的 NO_2 成为对流层 NO_2 的主要来源^[2]。

近地面不同区域人为活动强度以及土地利用类型对对流层 NO_2 浓度影响具有显著差异。因此考虑到 NO_2 来源分布以及其在大气中化学寿命较短的因素,对流层 NO_2 柱浓度在一定程度上反映了其下垫面所释放的 NO_2 总量^[5]。不同的土地利用类型对对流层 NO_2 柱浓度的贡献不尽相同。城市作为人类活动最为强烈的地区之一,对其上空对流层 NO_2 贡献包括许多方面,如:汽车尾气排放、工业释放、火电厂排放等,其中汽车尾气排放对大气污染的影响日趋显著^[2]。而在人类干扰较小的地区,如森林、草地等,其对流层 NO_2 的主要来源为污染地区的大气传输和自然排放源^[1]。此外农业用地中大量含 N 肥料的使用也极大促进了农田对含 N 气体的排放^[6],同时,这些地区的生物质燃烧也是其对流层 NO_2 主要来源之一。

人为活动产生的 NO_2 进入大气层后通过干沉降和湿沉降的方式又回到陆地和海洋生态系统。大气氮沉降作为营养源和酸源,其数量的急剧变化对陆地及海洋生态系统的生产力和稳定性产生重要影响^[7]。在缺氮的生态系统中,通过大气沉降输入到该生态系统的氮可以增加系统的初级生产力以及生物量和土壤有机物质的积累;而在氮饱和的生态系统中,沉降的氮非但不会起到营养作用,反而会加速陆地生态系统氮的流失和水体富营养化^[8]。综上所述,针对不同土地利用类型来研究其对对流层 NO_2 柱浓度的变化趋势具有重要意义。

自 1995 年起,卫星遥感可以长时间在全球范围内直接测量氮氧化物的浓度分布^[9],这些遥感数据为研究对流层 NO_2 分布及化学变化提供了可能。通过星上搭载的多种高光谱分辨率大气成分探测仪的观测,欧美科学家已经获得了全球长时间序列的 NO_2 时空分布情况^[9-14]。而臭氧层观测仪 OMI 卫星资料于 2004 年 9 月底才发射上空,利用 OMI 卫星数据分析对流层 NO_2 柱浓度变化的研究才刚刚起步。K. Pickering 等利用模型和观测数据评价了 OMI 大气产品的可靠性^[15]。K. F. Boersma 等利用 OMI 卫星资料获取对流层 NO_2 柱浓度的算法^[16]。S. A. Carn 等利用 OMI 卫星资料分析了由于火山喷发而引起的平流层 NO_2 浓度变化^[17]。K. F. Boersma 等利用 OMI 卫星资料和 GEOS-Chem 模型估算了美国南部和墨西哥地区对流层 NO_2 的排放^[9]。张彦君等利用 OMI 卫星数据分析中国城市对流层 NO_2 的变化趋势^[18]。

近 20a 来,浙江省作为中国经济发展最快的区域之一,人为排放的污染物,如工矿企业排放的烟气,城镇居民燃煤的煤烟和机动车排放的废气,对农林业生产以及区域气候的影响引起广泛关注^[19]。由于大气污染物在不同地理条件和地表植被分布具有很大差异^[20],因此本文针对浙江省不同的地理区域与生态系统,选择 2005—2009 年 OMI 卫星数据 OMNO₂,分析了该地区不同土地利用类型中大气对流层 NO_2 柱浓度时空变化,为浙江省生态环境、大气环境研究和空气质量控制提供一定的科学依据。

1 材料和方法

1.1 数据来源

本文所涉及的 NO_2 卫星数据来源于美国国家航空航天局(NASA)提供的对流层垂直柱密度 OMI L3 NO_2 全球产品。该产品是由搭载在 Aura 卫星上的臭氧层观测仪(Ozone Monitoring Instrument, OMI)所提供。其波

段范围为 270—500 nm,光谱分辨率约为 0.5 nm,空间分辨率为 24km×13km,视场大小为 114°,相应的地面扫描幅宽为 2 600 km。关于 OMNO₂垂直柱密度的算法和反演技术以及误差分析已有报道^[16-17]。

近地面观测数据来源于浙江省环保局公布空气污染指数(API)计算得出,根据表 1 中 NO₂污染指数对应的浓度限值和污染指数的计算方法,推导下列分段函数,通过 NO₂污染指数计算地面 NO₂日均质量浓度值(μg/m³),如表 1。各城市 API 的计算方法为:

1)先求出某污染物在每一观测站点的日平均浓度值;

2)然后再求该污染物在全市的日均值;

3)分别将各种污染物代入 API 计算式可得到每项污染物的 API 值;

4)选取 API 值最大的污染物作为该市的空气污染指数。

这种计算方法使得发布的 API 指数是一个面上的量,适合与卫星观测数据进行比较验证^[4]。浙江省各城市除了给出城市空气污染指数外,还给出了各污染物的 API 分指数,可以直接从中获得 NO₂的空气污染指数,通过公式转化为日均浓度值,并计算其月平均值。

土地利用数据为 NASA-EOS 数据中心提供的 2005—2009 年的 MODIS 地表反射率 8d 合成数据 MOD09。由于 EVI 对植被类型季节性变化较 NDVI 更为敏感,而且克服了一些 NDVI 的不足^[21],因此本文采用多时相 EVI 植被指数作为波谱物候特征。考虑到本区各类别在地形上的差异,地形特征选用了中国 1km 格网的 DEM(地面数字高程模型)影像:

$$EVI = G \frac{\rho_{NIR} - \rho_{Red}}{\rho_{NIR} + C_1 \rho_{Red} - C_2 \rho_{Blue} + L} \quad (1)$$

式中, ρ_{NIR} 、 ρ_{Red} 、 ρ_{Blue} 分别为经过大气校正的近红外波段、红光波段和蓝光波段反射值; $L=1$,为土壤调节参数; $C_1=6$,为大气修正红光校正参数; $C_2=7.5$,为大气修正蓝光校正参数; $G=2.5$,为增益系数。

1.2 数据处理

本文利用 Matlab R2007a 软件,从 OMNO₂原始数据中提取出 NO₂柱浓度,然后输出为带有地理坐标 Shape 格式数据。为了便于分析,利用 ArcGIS 9.2 Desktop 软件中的反距离权重(Inverse Distance Weighted, IDW)插值法将其插值成等长宽、空间分辨率为 0.83 度的 tif 格式文件。

MODIS-EVI 影像首先进行地理几何校正与重采样,采样方法为邻近法,投影体系为双标准纬线等积圆锥投影(ALBERS),椭球为 Krovosky 体系,分辨率统一到 250m,最终影像大小为 4725 列×5543 行。利用 ENVI 软件构建专家分类系统,对处理后影像进行分类^[22],得到 2005—2009 年土地利用类型图,数据格式为 tif 格式。土地利用类型分类按照国家土地资源分类系统大类分为耕地、林地、草地、水域和城市居民用地(图 1)。

1.3 研究区概况

浙江位于我国东部沿海(图 2),属典型的亚热带季风气候区。浙江大陆总面积 10.18 万 km²,境内地形起伏较大,浙江西南、西北部地区群山峻岭,中部、东南地区以丘陵和盆地为主,东北地区地势较低,以平原为主。浙江省大气环境质量总体较好,但受到上海和江苏南部大都市圈的影响,再加上浙江省经济发展水平提高,其部分城市和地区的大气污染有日益严重的趋势。大气中主要污染物为烟尘和 NO₂,而近几年氮氧化物则呈上升趋势。在这些酸性物质的影响下,酸雨污染较为严重,酸雨发生频率有所升高,对大气环境、生态环境和人体健康都有严重危害。

表 1 API 向质量浓度转换公式

Table 1 The conversion formula of API to mass concentration

分段公式 Subsection formulas	阈值范围 Threshold range
$C = 1.6I$	$0 < I \leq 50$
$C = 0.8I + 40$	$50 < I \leq 100$
$C = 1.6I - 40$	$100 < I \leq 200$
$C = 2.85I - 290$	$200 < I \leq 300$
$C = 1.85I + 10$	$300 < I \leq 400$
$C = 1.9I - 10$	$400 < I \leq 500$

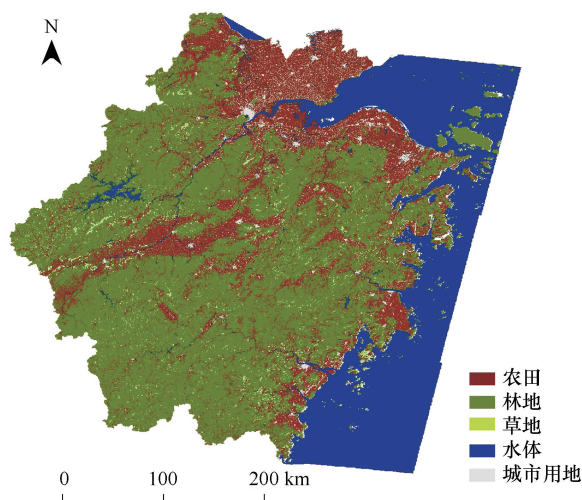


图1 浙江省土地利用类型图

Fig. 1 Types of land use in Zhejiang province

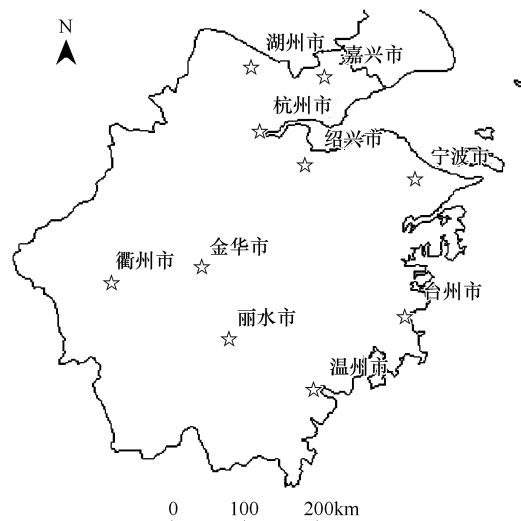


图2 研究区示意图

Fig. 2 Study area and the main cities in Zhejiang province

2 结果与分析

2.1 地面观测数据对 OMI 卫星数据的验证

利用长期的浙江省地面观测 NO_2 质量浓度数据和 NASA 发布的 OMI 传感器监测的大气对流层 NO_2 柱浓度月均值进行验证分析。选取浙江省湖州、嘉兴、杭州、宁波、丽水、台州、温州、金华等 8 个城市地区的空气污染指数计算得出该地区地面 NO_2 日均值质量浓度,其时间尺度为 2005 年 1 月—2008 年 3 月。值得注意的是地面观测数据为多时多点的平均值,而卫星观测数据则是某一时刻的观测范围内对流层垂直总量信息。虽然二者在观测尺度和时间上有一定差异,但对流层 NO_2 来源主要是近地面的源排放,因此,二者具有一定的可比性^[4]。

本文首先根据浙江环境监测网站所公布 API 数据中,挑选出首要污染物为 NO_2 的城市和日期,然后提取相应城市和时间的对流层 NO_2 柱浓度,二者进行比较验证,以检验卫星产品的准确性。结果如图 3 所示。大气中的 NO_2 主要存在于排放源的附近以及低层对流层中,其日均质量浓度反映了局地地面大气 NO_2 污染程度, NO_2 柱浓度值则反映了局地低层大气 NO_2 污染程度。由图可见,2005 年 1 月至 2008 年 3 月的卫星观测与地面观测在趋势上有较好的一致性。

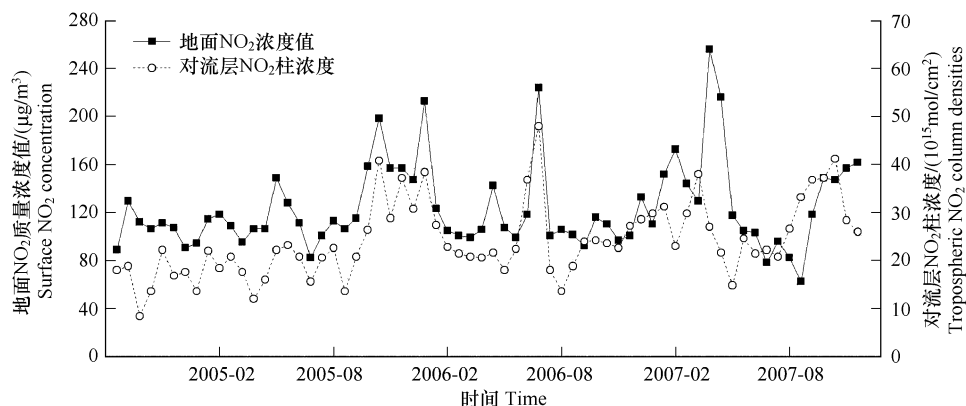
图3 对流层 NO_2 柱浓度与地面观测数据的比较Fig. 3 The comparison between the column densities of tropospheric NO_2 and the concentration of near surface NO_2

图 4 为 2005 年 1 月—2008 年 3 月浙江省城市地区 NO₂ 柱浓度日均值与地面 NO₂ 质量浓度日均值的相关性分析图。从图中可以看出,两者呈现较好的正相关关系,相关系数 R^2 达 0.85。因此可以利用该卫星遥感资料来分析浙江省大气对流层 NO₂ 时空分布特征。

2.2 浙江省对流层 NO₂ 柱浓度时空分布特征

图 5 是利用 OMI 卫星数据给出的 2005—2009 年浙江省上空对流层 NO₂ 柱浓度平均值分布。由图可以看出,浙江省 NO₂ 污染最严重的高值区出现在浙江省北部的杭州-嘉兴-湖州平原地区和宁波地区。其北部地区 (30°—31°N, 119.5°—122°E) 和南部地区 (27°—28°N, 119.5°—122°E) 形成明显反差,北部地区近 4 a 的 NO₂ 柱浓度平均值为 $2.5 \times 10^{16} \text{ mol/cm}^2$,是南部地区 $2.6 \times 10^{15} \text{ mol/cm}^2$ 近 10 倍。此外在西部的金衢盆地和东部沿海的台州和温州地区也形成一个 NO₂ 浓度的高值区。

这些地区人口密集,城市分布集中,汽车使用量高,人类活动频繁,尤其是浙江省北部地区靠近上海大都市,其汽车尾气排放、工业排放、飞机和轮船排放以及农业烧荒都增加对流层 NO₂ 的含量^[9]。

为了定量地描述 NO₂ 柱浓度的月均值变化特征,采用正弦曲线模型^[23]:

$$Y_t = A + BX_t + C_{\sin} \left(2 \frac{\pi}{D} X_t + E \right) \quad (2)$$

式中, $A + BX_t$ 描述 2005 年 1 月至 2009 年 12 月对流层 NO₂ 柱浓度的线性变化趋势, $C_{\sin} \left(2 \frac{\pi}{D} X_t + E \right)$ 描述其季节性循环规律; X_t 代表月份, Y_t 代表 X_t 月对流层 NO₂ 柱浓度。 A 、 B 、 C 、 D 、 E 为模型参数, B 代表月平均变化趋势, C 代表季节性变化的振幅, D 代表变化的周期。利用公式 2 对 2005 年 1 月—2009 年 12 月浙江省对流层 NO₂ 柱浓度的月均值进行拟合,拟合结果如图 6。

从图 6 中的趋势线可以看出在本文研究时间尺度内 (2005—2009 年) 浙江省上空对流层 NO₂ 柱浓度月均值总体呈现增加趋势。从正弦模型拟合结果来看,浙江省对流层 NO₂ 柱浓度也呈现一定的季节循环特征,但模型拟合精度较低 ($R^2 = 0.505$)。有研究表明,在人类活动较小的地区,对流层 NO₂ 的来源主要以自然源为主,其季节变化规律较为显著,模型拟合效果较好^[24];而在人类活动干扰强烈的地区,如本文的研究区域浙江省地区,对流层 NO₂ 的来源主要以人为源为主,受人类活动影响其季节变化规律不明显,模型拟合效果较差^[24]。在本研究区其对流层 NO₂ 来源受人为因素干扰强烈,模型模拟精度较低。

由于受季节气象特征影响,NO₂ 呈现明显的季节变化规律^[9]。图 7 给出不同季节 (春季 3—5 月;夏季 6—8 月;秋季 9—11 月;冬季 12—2 月) NO₂ 柱浓度的变化趋势。从年际变化来看,2007 年 NO₂ 污染最严重,春、秋和冬季 NO₂ 浓度大幅增加,夏季增加趋势较小。与之相比,2008 年秋、冬季节 NO₂ 柱浓度下降趋势明显。2009 年浙江省 NO₂ 柱浓度总体大于 2008 年,其季节变化趋势为夏季具有最低值,冬季具有最高值。大气中 NO₂ 浓度受局部地区源排放、大气扩散和太阳辐射影响^[1]。在本研究期间浙江省年际大气条件和太阳辐射基本一致,但 NO₂ 源排放量却有很大差别。统计资料显示^[25],在本研究期间浙江省机动车保有量持续上升,机动车污染成为城市的主要污染源之一。2005—2008 年浙江省机动车保有量分别是 728.2、798.6、873.1、929.6 万辆^[25],其中 2007 年增长幅度较大。此外在燃料燃烧废气排放方面,2005—2009 年的排放量分别为 8148、9216、11542、10824 万 t^[25],其中 2007 年浙江省的排放量远大于其他年份。这些都使得 NO₂ 的排放量大大增加,因此同时期比较 2007 年浙江省 NO₂ 污染较严重。因缺少 2009 年统计数据,在此 2009 年未作分析。

研究发现中国的人口分布与 NO₂ 的浓度分布密切相关,人口多、人为活动频繁的地区都是 NO₂ 的高值

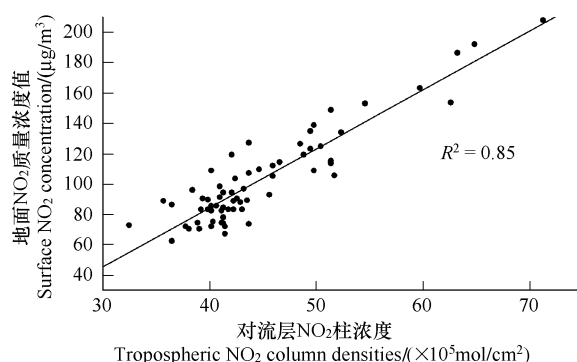


图 4 对流层 NO₂ 柱浓度与地面观测数据的相关性分析

Fig. 4 The analysis of relationship between the column densities of tropospheric NO₂ and the concentration of near surface NO₂

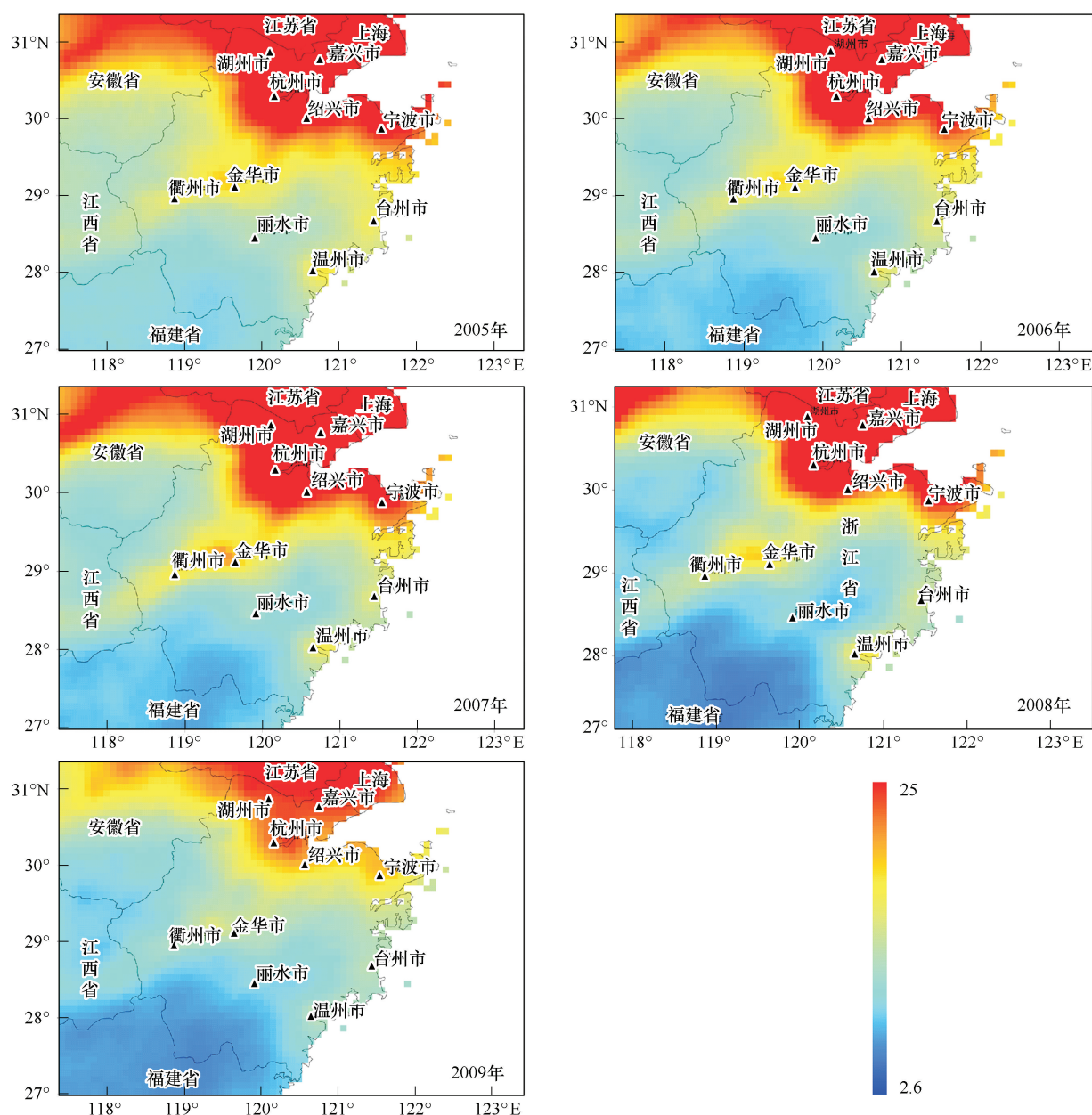


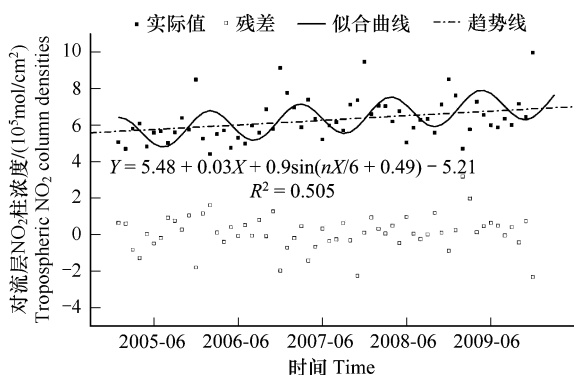
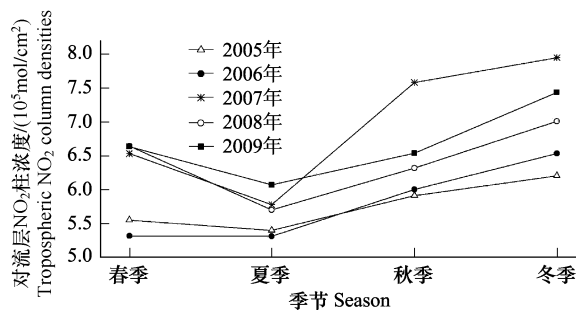
图5 浙江省对流层 2005—2009 年 NO_2 柱浓度年平均值分布图

Fig. 5 Distribution of the tropospheric NO_2 column average densities from 2005 to 2009 in Zhejiang Province ($\times 10^{15} \text{ mol/cm}^2$)

区^[2]。浙江省地处长三角经济发达地区,毗邻上海、江苏南部城市群,其人口密度大,人为活动剧烈, NO_2 人为源排放量较大,再加上冬季太阳辐射较弱,其气象因子不利于大气扩散,污染物可以长时间留存在对流层中^[1],因此冬季对流层 NO_2 柱浓度值较高,一般最高值出现在冬季;而浙江省地区春、夏季节太阳辐射较强,光化学反应较强,对流层中的 NO_2 很快被氧化,并以干湿沉降的方式回到地面^[26],因此春、夏两季的 NO_2 柱浓度值较低,一般最低值出现在夏季。

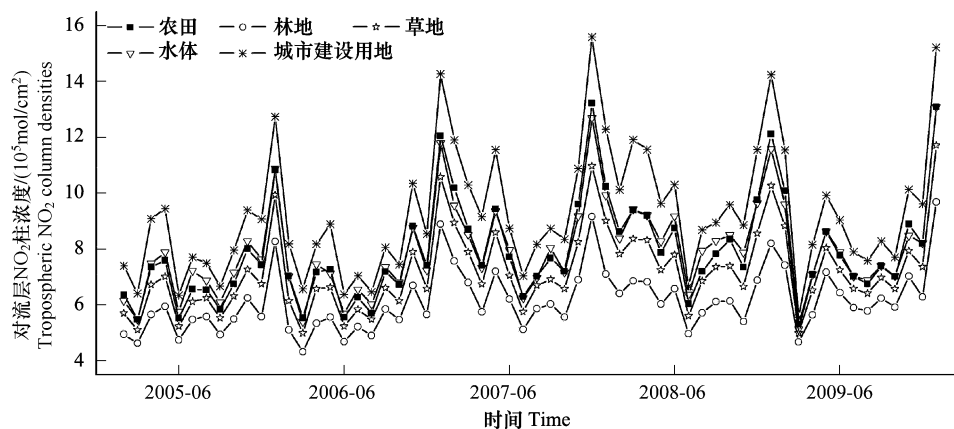
2.3 不同土地利用类型上空对流层 NO_2 柱浓度分布特征

由于不同的区域环境特征和污染排放来源,对流层 NO_2 浓度具有显著不同特征^[9]。本文根据 MODIS 植被增强型指数得到 2005—2009 年土地利用类型数据,并分析其上空对流层 NO_2 柱浓度分布特征。

图6 2005—2009 年浙江省对流层 NO₂柱浓度正弦模型拟合结果Fig. 6 Fitted results using sine model in tropospheric column densities of NO₂ in Zhejiang during 2005—2009图7 2005—2009 年浙江省对流层 NO₂柱浓度季节变化Fig. 7 The seasonal change of tropospheric NO₂ column densities in Zhejiang

2.3.1 不同类型土地上空对流层 NO₂柱浓度的月变化分析

由图8可见各土地利用类型上空的 NO₂柱浓度变化趋势与浙江省总的 NO₂柱浓度变化趋势一致,随着时间的增加呈现上升趋势和明显的季节变化特征。其中城市用地上空 NO₂柱浓度上升趋势明显,而森林上空 NO₂柱浓度则无明显上升趋势。二者均呈现明显的季节变化特征。对比不同土地利用类型上空 NO₂柱浓度月均值可以看到,城市用地上空具有 NO₂柱浓度的最高值,森林上空则出现最低值。在不同土地利用类型中 NO₂柱浓度呈现城市用地>水体和农田>草地>森林的规律,其中水体和农田上空 NO₂柱浓度值较接近。人类活动已经成为增加对流层 NO₂浓度的主要来源之一^[4],其中城市地区废气排放尤其是汽车尾气排放影响最为严重,因此城市用地上空 NO₂柱浓度具有最高值。农田和水体中的微生物过程以及农业烧荒等产生的 NO₂也是对流层 NO₂的主要来源^[27],农田和水体上空 NO₂柱浓度也较高,仅次于城市用地,此外由于大气条件的影响,城市地区排放的 NO₂有可能输送到农田和水体地区,对农田和水体地区上空 NO₂的柱浓度产生一定影响。

图8 不同土地类型上空对流层 NO₂柱浓度的月均值变化Fig. 8 Trends of monthly column densities of tropospheric NO₂ in five land use types during 2005—2009a

2.3.2 不同土地利用类型上空对流层 NO₂柱浓度的季节变化分析

不同土地利用类型上空对流层 NO₂柱浓度均有一致的季节变化(图9)。各土地利用类型对流层 NO₂柱浓度均有增加现象,且冬春季节增加显著。值得注意的是秋季 NO₂柱浓度都呈现先增加后减少趋势,2007 年具有最大值;而其他 3 个季节 NO₂柱浓度均呈线性增加。2005 年和 2006 年各土地利用类型上空对流层 NO₂柱浓度增加趋势不明显,且基本表现为冬季>秋季>春季>夏季。2007 年 NO₂柱浓度显著上升,各土地利用类

型上空均表现为秋季>冬季>春季>夏季。与 2007 年相比,2008 年 NO₂柱浓度增加趋势不明显,且各土地利用类型上空均表现为冬季>春季>秋季>夏季。2009 年其各土地利用类型上空 NO₂ 柱浓度变化趋势与 2008 年一致。

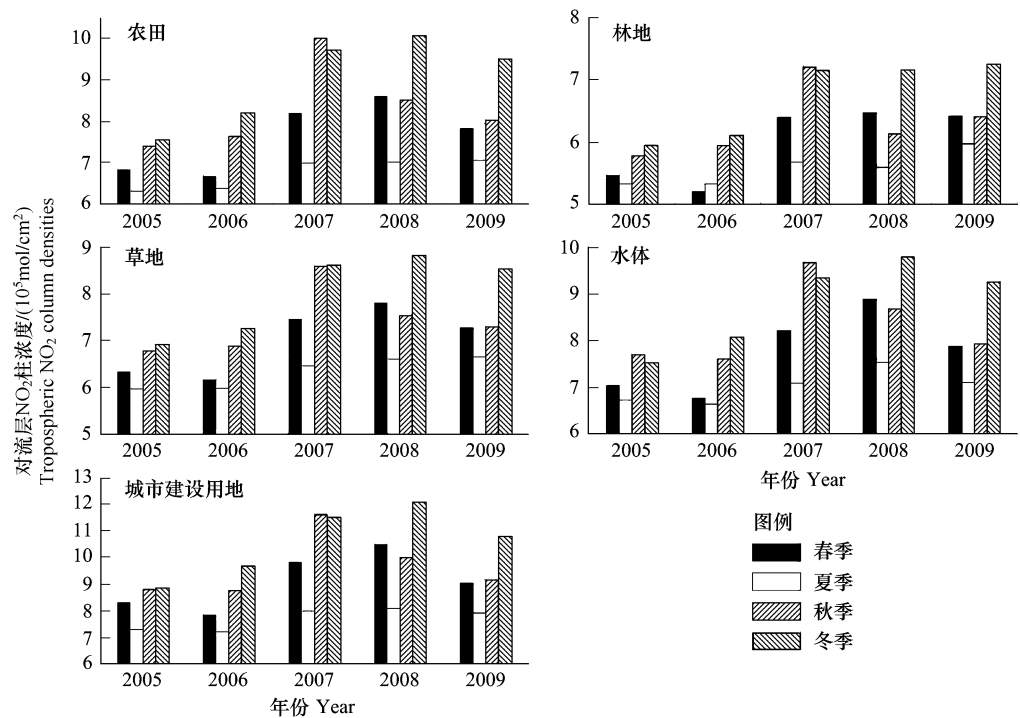


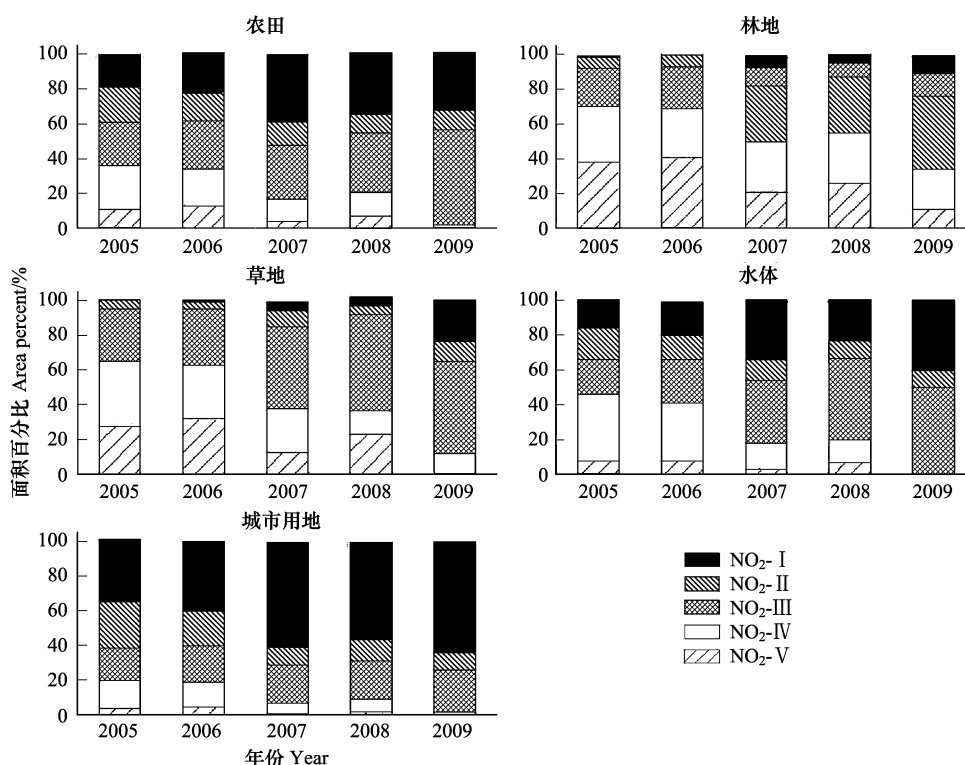
图 9 不同土地利用类型上空对流层 NO₂柱浓度季节变化特征

Fig. 9 Character of seasonal column densities of tropospheric NO₂ in five land use types

2.3.3 不同土地利用类型与其 NO₂柱浓度之间的动态变化

为了分析不同土地利用类型上空 NO₂柱浓度的分布结构,本研究将 NO₂柱浓度分为 5 个等级(表 2)。由于对 NO₂柱浓度的等级划分没有先例可循,本文在划分等级时主要是通过统计软件对 NO₂柱浓度值范围进行 5 等级划分,然后取整数而得出的结果。其中 NO₂-I 为 NO₂柱浓度最高、污染最严重等级,NO₂-V 为 NO₂柱浓度最低、污染最轻等级。2005—2009 年间,不同土地利用类型上 NO₂柱浓度等级发生了显著的变化(图 10)。对比不同土地利用类型可见,NO₂在其面积上的等级分布特征主要分成两类:一类表现为污染较重的 NO₂-I、NO₂-II 和 NO₂-III 为主体,包括农田、水体和城市居民用地;另一类表现为 NO₂-IV 和 NO₂-V 等级为主体,包括森林和草地。2005—2009 年间,分布在污染最严重 NO₂-I 上的面积在农田、水体和城市用地上的比例不断升高。其中城市用地表现最为显著,由 36% 上升到 60%(图 10)。随着 NO₂柱浓度的增加,它们具有共同的变化特征:分布在 NO₂-I 上的面积显著增加,NO₂-III 上面积基本不变,分布在其他等级的面积则不同程度减少(水体在 NO₂-III 上面积呈现增加现象),在 NO₂污染最严重时期(2007 年)NO₂-V 缺失。分布在森林和草地的 NO₂等级主要为 NO₂-IV 和 NO₂-V,在污染较轻的时期(2005—2006 年)NO₂-I 缺失。随着 NO₂柱浓度的增加,NO₂-I、NO₂-II 和 NO₂-III 面积逐渐增加,其中 NO₂-III 的面积增加最为显著,而 NO₂-IV 和 NO₂-V 面积则逐渐减少。

表 2 NO ₂ 柱浓度等级划分	
Table 2 scale of column densities of NO ₂ in five grades	
等级 Grades	NO ₂ 柱浓度
	NO ₂ column densities/($\times 10^{15}$ mol/cm ²)
NO ₂ -V	<4.5
NO ₂ -IV	4.5—5.5
NO ₂ -III	5.5—7.5
NO ₂ -II	7.5—9.4
NO ₂ -I	>9.4

图 10 不同土地利用类型上 NO₂ 柱浓度等级分布结构Fig. 10 NO₂ grade Structure of five land use types

由此可见,随着 NO₂ 柱浓度的增加,在农田、水体和城市居民用地类型上空 NO₂-I 所占的面积增加最为显著;而在森林和草地类型上空则表现为 NO₂-III 所占面积增加最为显著。

3 结论与讨论

本文利用 OMI 卫星所提供的对流层 NO₂ 柱浓度数据和 MODIS-EVI 数据所获得的土地利用类型,研究了浙江省对流层 NO₂ 柱浓度的时空分布特征以及在不同土地利用类型上的变化趋势,得出以下结论:

(1) 在 2005—2009 年间,浙江省对流层 NO₂ 柱浓度呈现显著的增长趋势,同时也呈现明显的季节变化特征,其中 NO₂ 柱浓度最高值出现在冬季,而最低值则出现在夏季。在区域上对流层 NO₂ 柱浓度的最高值分布在靠近上海大都市的杭州-嘉兴-湖州平原和宁波地区以及人口密集的西部和沿海城市区。

(2) 研究发现不同土地利用类型上 NO₂ 柱浓度分布差异显著。农田、水体和城市地区 NO₂ 柱浓度较高,其中城市用地明显高于其他土地利用类型;森林上空 NO₂ 柱浓度值最低。对流层 NO₂ 柱浓度逐年增加的主要表现为,在农田、水体和城市居民用地类型上主要表现为污染严重 NO₂-I 类别增加显著;而在森林和草地类型上,则表现为污染程度较轻的 NO₂-III 增加显著。

文本仅对不同土地利用上空对流层 NO₂ 柱浓度时空分布特征进行分析,得出以上结论。进一步的工作将围绕不同土地利用类型上空对流层 NO₂ 柱浓度的变化原因,以及土地利用类型对对流层 NO₂ 柱浓度的影响进行研究,此外,对流层 NO₂ 柱浓度的变化对不同的地表生态系统的影响也是下一步研究内容。

致谢:感谢 NASA/OMI 研究人员提供的对流层 NO₂ 卫星资料。

References:

- [1] Jiang W H, Ma J Z, Yan P, Richter A, Burrows J P, Nüß H. Characterization of NO₂ pollution changes in Beijing using GOME satellite data. Journal of Applied Meteorological Science, 2006, 17(1): 67-72.
- [2] Zhang X Y, Zhang P, Zhang Y, Li X J, Qiu H. The trend, characterize and source analysis of tropospheric NO₂ in China in 1997—2006 [J].

- Science in China (Series D), 2007, 37(10): 1409-1416.
- [3] Fang S X, Mu Y J. NO_x fluxes from several typical agricultural fields during summer-autumn in the Yangtze Delta, China. *Atmospheric Environment*, 2009, 43(16): 2665-2671.
- [4] Qi J. Retrieval of nitrogen dioxide total column over China from SCIAMACHY/ENVISAT data. Beijing: Chinese Academy of Meteorological Sciences, 2007.
- [5] Richter A, Burrows J P, Nüß H, Granier C, Niemeier U. Increase in tropospheric nitrogen dioxide over China observed from space. *Nature*, 2005, 437(7055): 129-132.
- [6] Fang S X, Mu Y J. Surface-exchange of NO_x above a typical wheat land in the Yangtze delta, China. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2006, 26(12): 1955-1963.
- [7] Zheng L X, Liu X J, Zhang F S. Atmospheric deposition of organic nitrogen: a review. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(9): 3829-3834.
- [8] Nixon S W. Coastal marine eutrophication: a definition, social causes, and future concerns. *Ophelia*, 1995, 41: 199-219.
- [9] Boersma K F, Jacob D J, Bucsela E J, Perring A E, Dirksen R, van der A R J, Yantosca R M, Park R J, Wenig M O, Bertram T H, Cohen R C. Validation of OMI tropospheric NO₂ observations during INTEx-B and application to constrain NO_x emissions over the eastern United States and Mexico. *Atmospheric Environment*, 2008, 42(19): 4480-4497.
- [10] Leue C, Wenig M, Klimm O, Wagner T, Platt U, Jähne B. Quantitative analysis of NO_x emissions from Global Ozone Monitoring Experiment satellite image sequences. *Journal of Geophysical Research*, 2001, 106(D6): 5493-5505.
- [11] Richter A K, Burrows J P. Tropospheric NO₂ from GOME measurements. *Advances in Space Research*, 2002, 29(11): 1673-1683.
- [12] Richter A, Burrows J P, Granier C, Nüß H, Niemeier U. Increase in tropospheric nitrogen dioxide over China observed from space. *Nature*, 2005, 473(7055): 129-132.
- [13] Irie H, Sudo K, Akimoto H, Richter A, Burrows J P, Wanger T, Wenig M, Beirle S, Kondo Y, Sinyakov V P, Goutail F. Evaluation of long-term tropospheric NO₂ data obtained by GOME over East Asia in 1996—2002. *Geophysical Research Letters*, 2005, 32: L11810.
- [14] van der A R J, Peters D H M U, Eskes H, Boersma K F, van Roozendaal M, De Smedt I, Kelder H M. Detection of the trend and seasonal variation in tropospheric NO₂ over China. *Journal of Geophysical Research*, 2006, 111: D12317.
- [15] Pickering K. Exploration of OMI products for air quality applications through comparisons with models and observations. *Geophysical Research Abstracts*, 2006: 02422.
- [16] Boersma K F, Eskes H J, Veeckind J P, Brinkma E J, van der A R J, Sneep M, van den Oord G H J, Levelt P F, Stammes P, Gleason J F, Bucsela E J. Near-real time retrieval of tropospheric NO₂ from OMI. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, 2007, 7: 2103-2118.
- [17] Carn S A, Krotkov N A, Yang K, Hoff R M, Prata A J, Krueger A J, Loughlin S C, Levelt P F. Extended observations of volcanic SO₂ and sulfate aerosol in the stratosphere. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, 2007, 7: 2857-2871.
- [18] Zhang Y J, Niu Z, Wang L, Chang C Y. Study on Tropospheric NO₂ change trend in cities using OMI Satellite data. *Geography and Geo-Information Science*, 2008, 24(3): 96-99.
- [19] Chameides W L, Yu H, Liu S C, Bergin M, Zhou X, Mearns L, Wang G, Kiang C S, Saylor R D, Luo C, Huang Y, Steiner A, Giorgi F. Case study of the effects of atmospheric aerosols and regional haze on agriculture: an opportunity to enhance crop yields in china through emission controls? *The National Academy of Sciences*, 1999, 96(24): 13626-13633.
- [20] Xu J, Bergin M H, Greenwald R, Russell P B. Direct aerosol radiative forcing in the yangtze delta region of China: observation and model estimation. *Journal of Geophysical Research*, 2003, 108(D2): 4060.
- [21] Wang Z X, Liu C, Alfredo H. From AVHRR-NDVI to MODIS-EVI: advances in vegetation index research. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(5): 979-987.
- [22] Xu Y M, Liu Y H, Wei M, Lu J J. Land cover classification of the Yangtze River delta using MODIS data. *Acta Geographica Sinica*, 2007, 62(6): 640-648.
- [23] Weatherhead E C, Reinsel G C, Tiao G C, Meng X L, Choi D, Cheang W K, Keller T, DeLuisi J, Wuebbles D J, Kerr J B, Miller A J, Oltmans S J, Frederick J E. Factors affecting the detection of trends: statistical considerations and applications to environmental data. *Journal of Geophysical Research*, 1998, 103(D14): 17149-17161.
- [24] Wang Y Q, Jiang H, Zhang X Y, Zhou G M, Yu S Q, Xiao Z Y. Study on Tropospheric NO₂ temporal and spatial distribution characteristics for last three years based on OMI Satellite Data. *Research of Environmental Sciences*, 2009, 22(8): 932-937.
- [25] Zhejiang Statistical Yearbook. Beijing: China Statistics Press, 2009.
- [26] Huang Y. The exchange of C and N in surface-atmosphere system-from experiment to model. Beijing: China Meteorological Press, 2003: 24-25.
- [27] Akimoto H, Ohara T, Kurokawa J, Horii N. Verification of energy consumption in China during 1996—2003 by using satellite observational data. *Atmospheric Environment*, 2006, 40(40): 7663-7667.

参考文献:

- [1] 江文华, 马建中, 颜鹏. 利用 GOME 卫星资料分析北京大气 NO₂ 污染变化. 应用气象学报, 2006, 17(1): 67-72.
- [2] 张兴赢, 张鹏, 张艳, 李晓静, 邱红. 近 10a 中国对流层 NO₂ 的变化趋势、时空分布特征及其来源解析. 中国科学: D 辑, 2007, 37(10): 1409-1416.
- [4] 齐瑾. 利用 SCIAMACHY/ENVISAT 资料开展中国区域 NO₂ 反演试验研究. 北京: 中国气象科学研究院, 2007.
- [6] 方双喜, 牟玉静. NO_x 在长江三角洲地区冬小麦农田与大气间的交换. 环境科学学报, 2006, 26(12): 1955-1963
- [7] 郑利霞, 刘学军, 张福锁. 大气有机氮沉降研究进展. 生态学报, 2007, 27(9): 3829-3834
- [18] 张彦军, 牛铮, 王力, 常超一. 基于 OMI 卫星数据的城市对流层 NO₂ 变化趋势研究. 地理与地理信息科学, 2008, 24(3): 96-99.
- [22] 徐永明, 刘勇洪, 魏鸣, 吕晶晶. 基于 MODIS 数据的长江三角洲地区土地覆盖分类. 地理学报, 2007, 62(6): 640-648.
- [24] 王跃启, 江洪, 张秀英, 周国模, 余树全, 肖钟湧. 基于 OMI 卫星遥感数据的中国对流层 NO₂ 时空分布. 环境科学研究, 2009, 22(8): 932-937.
- [25] 浙江统计年鉴 2009. 北京: 中国统计出版, 2009.
- [26] 黄耀. 地气系统碳氮交换——从实验到模型. 北京: 气象出版社, 2003: 24-25.

CONTENTS

Root system characters in growth and distribution among three littoral halophytes	YI Liangpeng, WANG Zuwei (1195)
Population dynamics of endophytic bacteria isolated from the roots of infected <i>Cymbidium faberi</i>	YANG Na, YANG Bo (1203)
Spatial variability of forest soil total nitrogen of different soil layers	ZHANG Zhenming, YU Xinxiao, WANG Yousheng, et al (1213)
Habitat prediction for forest musk deer (<i>Moschus berezovskii</i>) in Qinling mountain range based on niche model	LUO Chong, XU Weihua, ZHOU Zhixiang, et al (1221)
Growth release determination and interpretation of Korean pine and Koyama spruce in Shengshan National Nature Reserve, Heilongjiang Province, China	WANG Xiaochun, ZHAO Yufang (1230)
Growth tolerance and accumulation characteristics of the mycelia of two macrofungi species to heavy metals	LI Weihuan, YU Lanlan, CHENG Xianhao, et al (1240)
Characters of the OMI NO ₂ column densities over different ecosystems in Zhejiang Province during 2005—2009	CHENG Miaomiao, JIANG Hong, CHEN Jian, et al (1249)
The forest gap diameter height ratio in a secondary coniferous forest of Guan Di Mountain	FU Liyong, TANG Shouzheng, LIU Ying'an (1260)
Landscape responses to changes in water levels at Poyang Lake wetlands	XIE Dongming, ZHENG Peng, DENG Hongbing, et al (1269)
Effect of simulated nitrogen deposition on litter decomposition in a <i>Bambusa pervariabilis</i> × <i>Dendrocalia mopsis</i> plantation, Rainy Area of West China	TU Lihua, DAI Hongzhong, HU Tingxing, et al (1277)
Effect of aromatic plant-derived nutrient solution on the growth, fruit quality and disease prevention of pear trees	GENG Jian, CUI Nannan, ZHANG Jie, et al (1285)
Influences of different plastic film mulches on temperature and moisture of soil and growth of watermelon in gravel-mulched land	MA Zhongming, DU Shaoping, XUE Liang (1295)
Effects of drought stress on photosynthetic traits and protective enzyme activity in maize seedling	ZHANG Renhe, ZHENG Youjun, MA Guosheng, et al (1303)
Photosynthetic diurnal variation characteristics of leaf and non-leaf organs in winter wheat under different irrigation regimes	ZHANG Yongping, ZHANG Yinghua, WANG Zhimin (1312)
The root system hydraulic conductivity and water use efficiency of alfalfa and sorghum under water deficit	LI Wenrao, LI Xiaoli, ZHANG Suiqi, et al (1323)
Latitudinal gradient in beta diversity of forest communities in America	CHEN Shengbin, OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua, et al (1334)
Influence of silts on growth and development of <i>Acorus calamus</i> and <i>Acorus tatarinowii</i> in turbid water	LI Qiang, ZHU Qihong, DING Wuquan, et al (1341)
Roles of earthworm in phytoremediation of pyrene contaminated soil	PAN Shengwang, WEI Shiqiang, YUAN Xin, et al (1349)
Population dynamics of <i>Frankliniella occidentalis</i> (Thysanoptera: Thripidae) along with analysis on the meteorological factors influencing the population in pomegranate orchards	LIU Ling, CHEN Bin, LI Zhengyue, et al (1356)
Geophagy of <i>Macaca Thibetana</i> at Mt. Huangshan, China	YIN Huabao, HAN Demin, XIE Jifeng, et al (1364)
The structure and dynamic of insect community in Zhalong Wetland	MA Ling, GU Wei, DING Xinhua, et al (1371)
Analysis of layer progressive discriminant relations between the occurrence of <i>Bipectilus zhejiangensis</i> and soil	DU Ruiqing, CHEN Shunli, ZHANG Zhengtian, et al (1378)
New mutations in hind wing vein of <i>Apis cerana cerana</i> (Hymenoptera: Apidae) induced by lower developmental temperature	ZHOU Bingfeng, ZHU Xiangjie, LI Yue (1387)
18S rRNA gene variation and phylogenetic analysis among 6 orders of Bivalvia class	MENG Xueping, SHEN Xin, CHENG Hanliang, et al (1393)
Laboratory study on ethology of <i>Spinibarbus hollandi</i>	LI Weiming, CHEN Qiuwen, HUANG Yingping (1404)
Dynamic change in ecological footprint of energy consumption for traction of locomotives in China	HE Jicheng (1412)
Approach to spatial differences analysis of urban carrying capacity; a case study of Changzhou City	WANG Dan, CHEN Shuang, GAO Qun, et al (1419)
Social adaptive capacity for water resource scarcity in human systems and case study on its measuring	CHENG Huaiwen, LI Yuwen, XU Zhongmin (1430)
Effects of physical leaf features of host plants on leaf-mining insects	DAI Xiaohua, ZHU Chaodong, XU Jiasheng, et al (1440)
Review and Monograph	
Progresses of free-air CO ₂ enrichment (FACE) researches on C ₄ crops; a review	WANG Yunxia, YANG Lianxin, Remy Manderscheid, et al (1450)
Scientific Note	
Influence of limestone powder doses on fine root growth of seriously damaged forests of <i>Pinus massoniana</i> in the acid rain region of Chongqing, China	LI Zhiyong, WANG Yanhui, YU Pengtao, et al (1460)
Leaf surface microstructure of <i>Ligustrum lucidum</i> and <i>Viburnum odoratissimum</i> observed by Atomic force microscopy (AFM)	SHI Hui, WANG Huixia, LI Yangyang, LIU Xiao (1471)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊*

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

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 31 卷 第 5 期 (2011 年 3 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 5 2011

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	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
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		

