

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

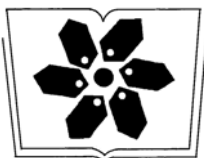
Acta Ecologica Sinica



第34卷 第3期 Vol.34 No.3 **2014**

中国生态学会
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 3 期

2014 年 2 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 灾后生态恢复评价研究进展 刘孝富,王文杰,李 京,等 (527)
- 基于生态能量视角的我国小水电可持续性分析 庞明月,张力小,王长波 (537)

个体与基础生态

- 北部湾北部海域夏季微型浮游动物对浮游植物的摄食压力 马 璐,曹文清,张文静,等 (546)
- 鲢鱼和胡子鲶的两性异形与雌性个体生育力 樊晓丽,林植华,丁先龙,等 (555)
- 环境温度对白头鹇代谢产热和蒸发失水的影响 林 琳,曹梦婷,胡益林,等 (564)
- 灌溉对沙拐枣幼苗生长及氮素利用的影响 黄彩变,曾凡江,雷加强,等 (572)
- PAHs 污染土壤植物修复对酶活性的影响 朱 凡,洪湘琦,闫文德,等 (581)
- 基于修正 RISKE 模型的重庆岩溶地区地下水脆弱性评价 魏兴萍,蒲俊兵,赵纯勇 (589)
- 排水沟蓄水条件下农田与排水沟水盐监测 潘延鑫,罗 纨,贾忠华,等 (597)

种群、群落和生态系统

- 高寒退化草地不同海拔梯度狼毒种群分布格局及空间关联性 高福元,赵成章,卓马兰草 (605)
- 捕食者对空心莲子草叶甲种群的生物胁迫 刘雨芳,李 菲,桂芳艳,等 (613)
- 夏、冬季南海北部浮游植物群落特征 马 威,孙 军 (621)
- 磨盘山天然次生林凋落物数量及动态 范春楠,郭忠玲,郑金萍,等 (633)
- 持续干旱对樱桃根际土壤细菌数量及结构多样性影响 刘方春,邢尚军,马海林,等 (642)
- 随机森林算法基本思想及其在生态学中的应用——以云南松分布模拟为例 张 雷,王琳琳,张旭东,等 (650)
- 基于水文平衡的湿地退化驱动因子定量研究 侯 鹏,申文明,王 桥,等 (660)
- 华北低丘山地人工林蒸散的控制因子 黄 辉,孟 平,张劲松,等 (667)
- 新疆天山高寒草原不同放牧管理下的 CO_2 , CH_4 和 N_2O 通量特征 贺桂香,李凯辉,宋 韦,等 (674)

景观、区域和全球生态

- 宁夏生态足迹影响因子的偏最小二乘回归分析 马明德,马学娟,谢应忠,等 (682)
- 引黄灌区土壤有机碳密度剖面特征及固碳速率 董林林,杨 浩,于东升,等 (690)
- 自养微生物同化 CO_2 的分子生态研究及同化碳在土壤中的转化 吴小红,简 燕,陈晓娟,等 (701)

资源与产业生态

- 基于能值分析法的矿区循环经济系统生态效率分析 孙玉峰,郭全营 (710)

基于 AD-AS 模型的海岸带生态系统综合承载力评估——以舟山海岸带为例 苏盼盼,叶属峰,过仲阳,等 (718)

城乡与社会生态

基于增强回归树和 Logistic 回归的城市扩展驱动力分析 李春林,刘 淼,胡远满,等 (727)

研究简报

陕西省不同生态区大气氮素干湿沉降的时空变异 梁 婷,同延安,林 文,等 (738)

不同覆盖方式对旱地果园水热特征的影响 刘小勇,李红旭,李建明,等 (746)

长白山苔原带土壤动物群落结构及多样性..... 王振海,殷秀琴,蒋云峰 (755)

最大可允许填海面积模拟——厦门西海域案例研究 林琛琛,饶欢欢,刘 岩,等 (766)

学术信息与动态

2013 年水文土壤学与自然资源可持续利用国际学术研讨会述评 张 骁,赵文武 (774)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 252 * zh * P * ￥90.00 * 1510 * 29 * 2014-02



封面图说: 云南松树冠——云南松为松科松属裸子植物,多生长在海拔 1000—3500m 的高山,喜光、耐干旱、耐瘠薄,适应酸性的红壤、黄壤,在其他树种不能生长的贫瘠石砾地或冲刷严重的荒山坡分布,易于天然更新。主要分布于四川西南部、云南、西藏东南部、贵州西部、广西西部,常形成大面积纯林,尤以云南分布最广,故有云南松之称。云南松树高可达 30m,胸径达 1m,树皮呈灰褐色,叶通常 3 针一束,鲜有两针,球果圆锥状卵圆形,种子近卵圆形或倒卵形。树干通直,木质轻软细密,是优质造纸、人造板原料,富含松脂是云南松的重要特点之一。

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/stxb201211011517

梁婷, 同延安, 林文, 乔丽, 刘学军, 白水成, 杨宪龙. 陕西省不同生态区大气氮素干湿沉降的时空变异. 生态学报, 2014, 34(3): 738-745.

Liang T, Tong Y A, Lin W, Qiao L, Liu X J, Bai S C, Yang X L. Spatial-temporal variability of dry and wet deposition of atmospheric nitrogen in different ecological regions of Shaanxi. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(3): 738-745.

陕西省不同生态区大气氮素干湿沉降的时空变异

梁 婷¹, 同延安^{1,*}, 林 文¹, 乔 丽⁴, 刘学军³, 白水成², 杨宪龙¹

(1. 西北农林科技大学资源环境学院, 杨凌 712100; 2. 陕西省气象局, 西安 710014;

3. 中国农业大学, 北京 100094; 4. 陕西省长安区气象局, 西安 710100)

摘要:为研究陕西省不同生态区大气氮素干湿沉降的时空变化规律,于2009年11月至2010年10月对4个生态区5个监测点的干湿沉降输入量进行为期1a的观测。结果表明:监测期内,榆林、洛川、西安、杨凌和安康地区总N沉降量分别为4.7、11.9、25.8、31.9和19.2 kg/hm²,其中N湿沉降量分别为2.9、10.4、24.8、27.7和16.3 kg/hm²,占总沉降的62%—96%,N干沉降量分别为1.8、1.5、1.0、4.1和2.9 kg/hm²,占4%—38%,且湿沉降与降雨量之间呈正相关关系,干沉降与之相反;各地区NH₄⁺-N沉降量分别为2.0、6.4、17.0、17.2和11.9 kg/hm²,占总沉降的44%—66%,NO₃⁻-N沉降量分别为2.6、5.5、8.8、14.7和7.3 kg/hm²,占34%—56%,除榆林地区外,其他地区以NH₄⁺-N沉降为主。

关键词:大气氮沉降; 不同生态区; 干沉降; 湿沉降

Spatial-temporal variability of dry and wet deposition of atmospheric nitrogen in different ecological regions of Shaanxi

LIANG Ting¹, TONG Yan'an^{1,*}, LIN Wen¹, QIAO Li⁴, LIU Xuejun³, BAI Shuicheng², YANG Xianlong¹

1 College of Resources and Environmental Sciences, Northwest A&F University, Yangling Shaanxi 712100, China

2 Weather Bureau of Shaanxi Province, Xi'an 710014, China

3 China Agricultural University, Beijing 100094, China

4 Weather Bureau of Chang'an District, Xi'an, 710100, China

Abstract: The objective of this experiment was to study the spatial-temporal variability of dry and wet deposition of atmospheric nitrogen in different ecological regions of Shaanxi Province. Measurements were made at five monitoring sites in four different ecological regions from November 2009 to October 2010. The amounts of total inorganic nitrogen (TIN) deposition were 4.7 kg/hm² at Yulin, 11.9 kg/hm² at Luochuan, 25.8 kg/hm² at Xi'an, 31.9 kg/hm² at Yangling, and 19.2 kg/hm² at Ankang. Wet deposition accounted for 62 to 96% of the TIN deposition, ranging from 2.9 kg/hm² at Yulin, 10.4 kg/hm² at Luochuan, 24.8 kg/hm² at Xi'an, 27.7 kg/hm² at Yangling, and 16.3 kg/hm² at Ankang. Dry deposition accounted for 4 to 38% of the TIN deposition, ranging from 1.8 kg/hm² at Yulin, 1.5 kg/hm² at Luochuan, 1.0 kg/hm² at Xi'an, 4.1 kg/hm² at Yangling, and 2.9 kg/hm² at Ankang. Wet deposition and rainfall were positively correlated, whereas dry deposition and rainfall were negatively correlated. Ammonium nitrogen (NH₄⁺-N) deposition amounts were 2.0 kg/hm² at Yulin, 6.4 kg/hm² at Luochuan, 17.0 kg/hm² at Xi'an, 17.2 kg/hm² at Yangling, and 11.0 kg/hm² at Ankang. These amounts accounted for 44 to 66% of the TIN deposition. Nitrate nitrogen (NO₃⁻-N) amounts were 2.6 kg/hm² at Yulin, 5.5 kg/hm² at Luochuan, 8.8 kg/hm² at Xi'an, 14.7 kg/hm² at Yangling, and 7.3 kg/hm² at Ankang. These amounts made up

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40675006)

收稿日期:2012-11-01; 修订日期:2013-04-18

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: tongyanan@nwsuaf.edu.cn

34 to 56% of the TIN deposition. Nitrogen deposition is mainly in the form of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ in all regions except Yulin.

Key Words: atmospheric nitrogen deposition; different ecological regions; dry deposition; wet deposition

受人为活动影响,大气氮沉降已成为普遍的自然现象。作为重要的酸源及养分资源,大气氮沉降可以为植物生长提供必需的养分^[1],但过量的氮沉降又会引发土壤酸化、水体富营养化和生物群落结构改变等生态环境问题^[2]。进入 20 世纪以来,工业化的快速发展及农业活动中化肥的大量施用引起大气氮素沉降量的迅速增加^[3]。研究表明,人类生产活动产生的活性氮已由 1860 年的 15 Tg N/a 增加到 2005 年的 187 Tg N/a^[4-5],增幅高达 12.5 倍,约为全球氮素临界负荷(100 Tg N/a)的 1.9 倍^[6]。据估计,全球每年沉降 to 各类生物群系及海洋表面的活性氮达 70.47 Tg N/a^[7]。我国现已成为世界三大氮沉降集中区之一^[5],近年来氮沉降量有增无减,尤其是人为活动剧烈的地区^[8]。张颖^[9]等研究表明北京地区大气氮素湿沉降的年沉降量为 32.5 kg/hm²,山东惠民和河北曲周两地为 23.6 kg/hm²。上海地区 1998—2003 年氮素湿沉降通量平均值为 58.1 kg·hm⁻²·a⁻¹^[10]。中南地区 1990—2003 年间干湿沉降最高值达 63.53 kg·hm⁻²·a⁻¹,平均值为 12.89 kg·hm⁻²·a⁻¹^[11]。有研究表明,1990—1991 年陕西黄土旱塬地区每年通过降水输入的氮量为 14.3—29.7 kg/hm²^[12];1990—1994 年陕西关中地区大气氮湿沉降量在 6.3—26.6 kg·hm⁻²·a⁻¹之间^[13];2006 年陕西黄土区降水降尘输入到农田土壤中的氮素量为 12.7—20.6 kg/hm²^[14];陕北典型农区大气氮素沉降量为 16.95—22.17 kg·hm⁻²·a⁻¹^[15]。陕西省位于我国东部湿润与西部干旱的交界处,水土流失严重,沙尘暴经常发生,生态环境较为脆弱,因此,陕西省大气氮沉降的观测研究对于丰富我国大气氮沉降研究现状、合理利用资源、提高环境质量、改善生态环境都具有非常重要的意义。本研究在陕西省四个不同生态区内选取五个监测点,采集各地降水降尘样品,通过分析,确定各地区氮素沉降量及时空变异特征,为陕西省及我国大气氮沉降现状研究、合理利用资源、改善生态环境提供重要的基础数据。

1 材料与方法

1.1 观测地点和时段

在陕西省 4 个不同生态区选取 5 个监测点(图 1),自北向南依次为:榆林(长城沿线风沙草原生态区)、洛川(黄土高原农牧生态区)、西安和杨凌(渭河谷地农业生态区)、以及安康(秦巴山地落叶阔叶和常绿阔叶混交林生态区)。除杨凌监测点设于国家黄土肥力与肥料效益监测基地外,其余各监测点均设在当地气象局设置的气象站内,各监测点的概况见表 1。各监测点均位于城郊区或郊外,周围有部分农田且无大的氮素污染源,随着城区的扩张建设,监测点周围基础建设及经济发展有所提升。监测时间为 2009 年 11 月至 2010 年 10 月。



图 1 陕西省五个监测点分布图(榆林、洛川、西安、杨凌和安康)

Fig.1 Location of the five monitoring sites(Yulin, Luochuan, Xi'an, Yangling and Ankang) in Shaanxi Province

1.2 样品采集与分析

各监测点利用武汉天虹智能仪表厂生产的 APS-2A 型降水降尘自动采样器进行干湿沉降样品

表 1 陕西省不同生态区大气氮素干湿沉降监测点概况

Table 1 Introduction of the atmospheric nitrogen deposition monitoring sites in different ecological regions of Shaanxi

监测点 Sites	定位 Location	平均海拔/m Average elevation	平均气温/℃ Average temperature	年降雨量/mm Precipitation
榆林	38°10'N, 109°28'E	1300	8.1	414
洛川	35°45'N, 109°25'E	1072	9.2	622
西安	34°26'N, 108°58'E	400	13.3	600
杨凌	34°17'N, 108°0'E	520	12.9	632
安康	32°41'N, 109°02'E	793	15.6	1007

的采集。该仪器为微电脑控制,运行可靠,能保证所采水样的真实性。该仪器对降水的灵敏度为 0.2 mm/h 雨量,降雨发生时自动打开,停止 10 min 后自动关闭,样品收集不受降尘和飘尘的影响。湿沉降收集桶直径为 300 mm,干沉降收集桶直径为 150 mm。湿沉降样品于每次发生降水的翌日 8:00—9:00 收集,采集时将雨水摇匀,测定总体积后取 50 mL 样品,于 4℃ 保存待测。干沉降收集时在收集桶内加入 70 mL 乙二醇和 100 mL 蒸馏水的混合液,用以保证桶内湿润,避免再次起尘和抑制细菌繁殖。每月第 1 天早 8:00 收集降尘,采集时用蒸馏水多次冲洗沉降桶,将样品与洗液一并倒入收集容器中,并浓缩定容至 50 mL,于 4℃ 保存待测。

采用全自动间断化学分析仪 Cleverchem200 测定样品中 NO_3^- -N、 NH_4^+ -N 含量,总无机氮 (TIN) 沉降量为 NH_4^+ -N 和 NO_3^- -N 沉降量之和。

1.3 数据处理

沉降通量可表示为: $F_N = P_r \times \rho_N / 100$, 式中 F_N 表示湿沉降氮素通量 (kg/hm^2), P_r 表示降水量 (mm), ρ_N 表示雨水样品中氮素的质量浓度 (mg/L)。

采用 Excel 2007 软件处理数据和制图。

2 结果与讨论

2.1 不同生态区大气氮素干湿沉降的空间变异

2009 年 11 月至 2010 年 10 月陕西省不同生态区的监测结果 (表 2) 表明,各监测点的年降雨量在 181—1173 mm 之间,榆林、洛川、西安、杨凌和安康地区氮素总沉降 TIN 量分别为 4.7、11.9、25.8、31.9 和 19.2 kg/hm^2 ,杨凌地区沉降量最大,榆林、洛川地区相对较小。

从沉降形式来看,榆林、洛川、西安、杨凌和安康地区湿沉降 TIN 量依次为 2.9、10.4、24.8、27.7 和 16.3 kg/hm^2 ,分别占总沉降的 62%、88%、96%、87%

和 85%;干沉降 TIN 量依次为 1.8、1.5、1.0、4.1 和 2.9 kg/hm^2 ,分别占总沉降的 38%、12%、4%、13% 和 15%。各地区大气氮沉降主要以湿沉降形式为主,其中西安地区尤为显著,湿沉降比例高达 96%。

从氮素形态来看,榆林、洛川、西安、杨凌和安康地区 NH_4^+ -N 沉降量依次为 2.0、6.4、17.0、17.2 和 11.9 kg/hm^2 ,分别占总沉降的 44%、54%、66%、54% 和 62%; NO_3^- -N 沉降量依次为 2.6、5.5、8.8、14.6 和 7.3 kg/hm^2 ,分别占总沉降的 56%、46%、34%、46% 和 38%。榆林和洛川地区 NH_4^+ -N 沉降量相对较小,其他 3 个地区较大;各地区 NO_3^- -N 沉降量表现出一定的地区差异性,其中杨凌地区远高于其他 4 个地区。

大气中铵态氮主要来自土壤、肥料和家畜粪便中铵态氮的挥发^[16]和含 N 有机物的燃烧^[17],硝态氮主要来自工业活动和汽车尾气的排放及 N 的自然氧化 (如雷击)^[18]。从空间变异上可以看出,陕西省大气氮沉降量的高低主要受当地工农业活动和气象条件的影响。本研究中,榆林地区 NO_3^- -N 沉降量比 NH_4^+ -N 高出 29%,可能是由于该地区矿产资源丰富,开发利用过程中造成了一定的工业污染;洛川地区矿产贫乏,农产和林木相对发达;西安和杨凌处于渭河谷地农业生态区,地势平坦,土地肥沃,是陕西省农业最为发达的地区;安康地区也是陕西省主要的农业产区,主要作物为水稻和油菜^[19],这四个地区相对发达的农业活动带来了氮肥的大量施用, NH_4^+ -N 沉降量分别达到 54%、66%、54% 和 62%。

不同地区气象条件、下垫面特性、工农业发展程度及污染水平等方面会存在差异,这些差异必然导致氮沉降量的空间差异^[19]。广东鼎湖山国家自然保护区的降水中氮沉降量达到 35.57 和 38.4 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ^[20-21];江西分宜县大冈山林场的杉木林和马尾松林中,降雨氮输入量则分别高达 60.6 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 和 57.0

$\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ^[22],这两个地区氮素沉降量均大于本研究各监测点结果。江西红壤地区大气 TIN 沉降量为 $31.4 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ^[1],华北平原农田生态系统大气氮

素混合沉降的平均值为 $28.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ^[9],这与本研究中西安、杨凌和安康地区观测结果相近。

表 2 陕西省不同生态区大气氮素干湿沉降量

监测点 Sites	降雨/mm Rainfall	湿沉降/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$) Wet deposition			干沉降/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$) Dry deposition			总沉降/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$) Total deposition		
		$\text{NH}_4^+\text{-N}$	$\text{NO}_3^-\text{-N}$	TIN	$\text{NH}_4^+\text{-N}$	$\text{NO}_3^-\text{-N}$	TIN	$\text{NH}_4^+\text{-N}$	$\text{NO}_3^-\text{-N}$	TIN
榆林	181.0	1.9	1.0	2.9	0.1	1.7	1.8	2.0	2.6	4.7
洛川	414.4	5.8	4.6	10.4	0.6	0.9	1.5	6.4	5.5	11.9
西安	532.3	16.7	8.1	24.8	0.3	0.7	1.	17.0	8.8	25.8
杨凌	620.5	15.8	11.9	27.7	1.3	2.8	4.1	17.2	14.7	31.9
安康	1173.6	9.7	6.6	16.3	2.2	0.7	2.9	11.9	7.3	19.2

由于仪器故障,榆林 2010 年 4、6 月湿沉降和 2、10 月干沉降,洛川 2009 年 11、12 月湿沉降均未收集到样品

2.2 不同生态区大气氮素干湿沉降的时间变异

2.2.1 大气氮湿沉降的月动态变化

各监测点大气氮湿沉降月动态变化如图 2 所示。氮素湿沉降量与降雨量之间呈正相关趋势,随着降水增多,TIN 和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 沉降通量明显增加。2009 年 12 月—2010 年 1 月降雨很少或无降雨,氮素湿沉降量很少;3 月份后随降雨增多,氮素湿

沉降量有所增加;特别是进入夏秋季(7—9 月),较大降雨量带来氮素湿沉降量的成倍增加,此段时期降雨量在 133.0—744.3 mm 之间,达全年降雨量的 59%—73%,同期内榆林、洛川、西安、杨凌和安康地区氮素湿沉降 TIN 量依次为 1.3、4.9、17.8、10.4 和 $10.0 \text{ kg}/\text{hm}^2$,分别占全年湿沉降量的 47%、47%、72%、38%和 61%。

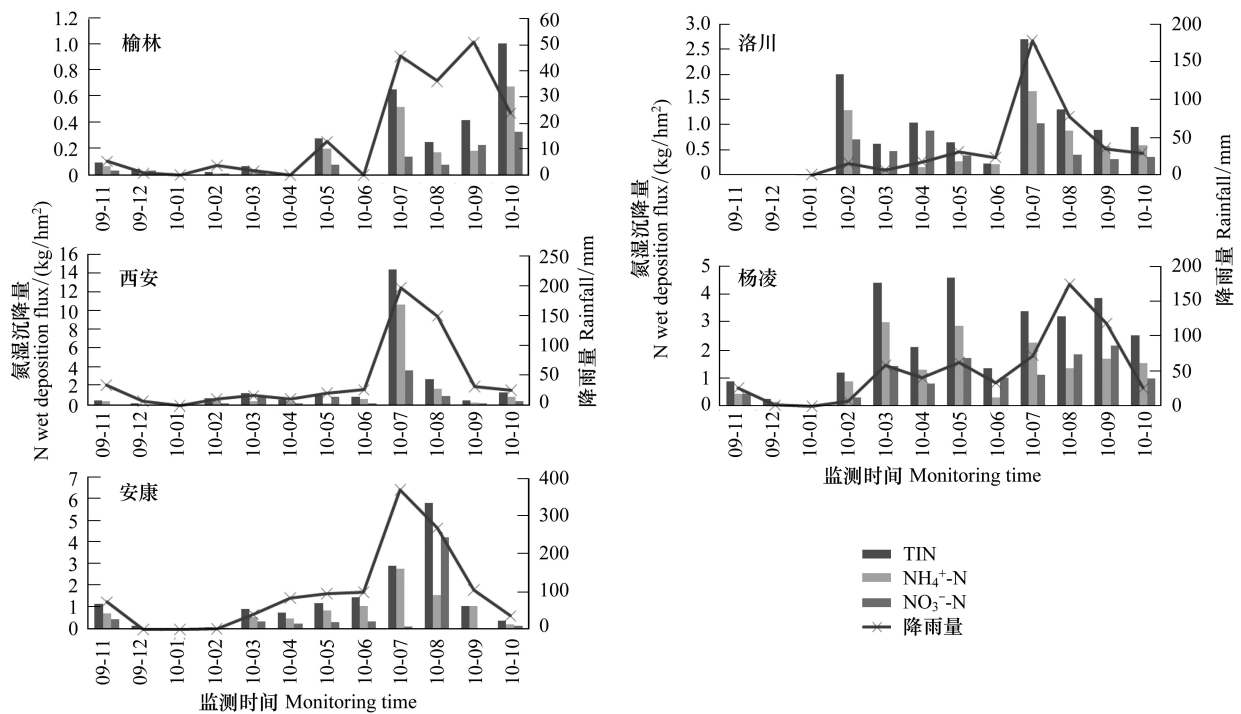


图 2 各监测点大气氮素湿沉降月动态变化

Fig.2 Monthly dynamic change of wet nitrogen deposition in each monitoring site

有研究表明,氮素的湿沉降量主要取决于每一时段的施肥量与降雨量,施肥量大,存在一定的降

雨,氮素湿沉降量就较大^[23]。陕西地区 6 月份正值玉米以及水稻等作物播种施用基肥时期,7—8 月是

作物追施氮肥时期,10月份又是小麦等作物播种时期,会有大量基肥施用^[19],因而氮素沉降量特别是 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 沉降量较大。此外,湿沉降N也受到空气温度、空气相对湿度、风和降雨频率等气象环境因子的影响。周静等^[24]对江西红壤区马唐2冬萝卜连作生态系统中湿沉降N特征研究发现,除降雨量外,风向、空气相对湿度、降雨频率是氮素湿沉降月变化的气象环境主导因子。

2.2.2 大气氮干沉降的月动态变化

干沉降主要包括气态的 NO_2 、 N_2O 、 NH_3 以及少量的 HNO_3 、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 和 NH_4NO_3 粒子以及吸附在其他粒子上的氮^[25]。受实验条件限制,本研究所收集的干沉降仅为自然降尘带来的颗粒物。研究表明(图3),降水多时干沉降较少,降水少时干沉降较多,即秋冬季高,夏秋季小。这与陕西省秋冬季频繁出现沙尘天气有关,也与夏秋季雨水冲刷作用强烈密切相关,铵盐与硝酸盐随降雨沉降到地面^[7]。各地区干沉降月动态变化趋势略有差异,榆林地区在4—9月份沉降量较高,且以 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 为主,同期内干沉降TIN量占到全年干沉降的80%,可能与该地区

较为频繁的工业活动以及气候干燥,降雨较小,雨水冲刷作用弱有关;洛川与西安两地与总体趋势保持一致;杨凌地区干沉降量则明显高于其他地区,其中 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 沉降量占68%,这与近年来杨凌地区小型工业的发展及逐渐发达的交通运输业密切相关^[26];安康地区干沉降主要集中在春季,秋雨季来临时节骤然降低,几乎为零,该地区干沉降以 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 为主,所占比例高达76%。

SHEN^[27]等对华北平原的干沉降(包括气态和颗粒态氮)监测表明,华北平原氮年均干沉降量可达 55 kg/hm^2 。PAN^[28]等研究显示,华北平原10个站点连续3a大气干湿沉降量平均值为 $60.6 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,其中60%是通过干沉降形式;与气态氮相比,颗粒态氮仅占干沉降总量的10%。中国仅 NO_2 气体沉降通量各省平均值就达到 $2.06\text{—}4.65 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ^[11]。江西鹰潭红壤农业生态站附近林地氮沉降中干沉降占67%,其中 NH_3 占干沉降的82%^[29]。这些研究结果均大于本研究观测值,鉴于干沉降的复杂性,对此有待进一步的观测研究。

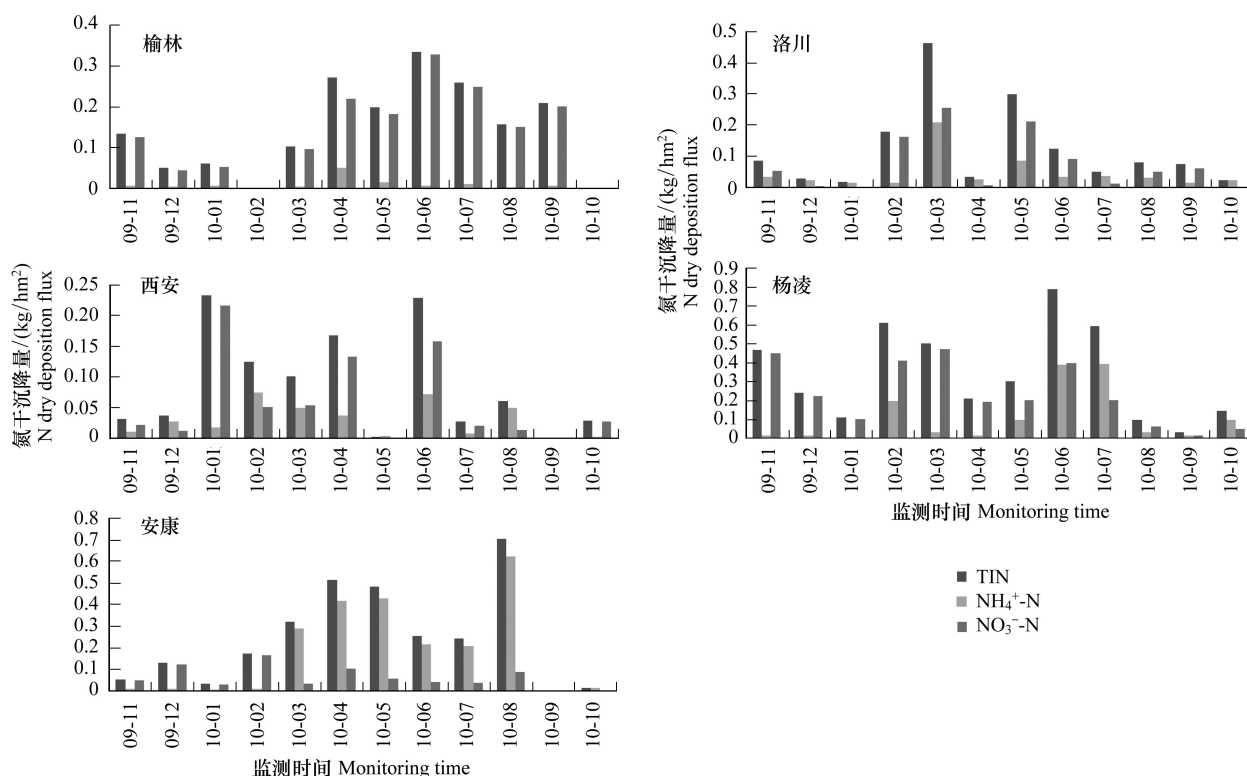


图3 各监测点大气氮素干沉降月动态变化

Fig.3 Monthly dynamic change of dry nitrogen deposition in each monitoring site

2.2.3 陕西省大气氮素沉降年际变化

对比近年研究结果(表3)^[14-15,19]可以看出各地区大气氮沉降在不同监测年限内变化不定。榆林地区2007年与2008年降雨量相当,而湿沉降量从21.1 kg/hm²降至6.6 kg/hm²,从而引起总沉降量大幅降低;洛川地区总沉降量2007年最高(17.0 kg/hm²),2008年最低(11.2 kg/hm²),2008年降雨量减少,湿沉降量相应降低,而干沉降量有所增多;西安地区2008年及本研究中总沉降TIN分别为14.9、25.8 kg/hm²,其中湿沉降量增加幅度较大,干沉降量反而有所降低;杨凌地区2006、2008年分别为20.6、16.1 kg/hm²,而本研究中高达31.9 kg/hm²,为历年监测最高值,干湿沉降均有所增多;与2008年相比,本研究中安康地区总沉降量略有增多,其中干湿沉降均有所增多。不同地区大气氮沉降的年际变化起伏不定,这主要与当地各监测时期内气候条

件及人为活动密切相关。

改革开放以来,陕西省社会经济持续高速发展,同时环境问题也变得越来越严峻。谢恒星^[30]等研究表明,陕西省车流量逐年增加,使得机动车尾气中氮氧化物排放量增大,大气中的二氧化氮浓度明显上升,2009年达历年最高值。西安、杨凌和安康地区社会经济较为发达,与2008年相比,西安和安康湿沉降中NO₃⁻-N沉降量分别增加63%、42%,杨凌地区干湿沉降中NO₃⁻-N沉降量分别增加28%、148%。张颖^[9]与LIU^[31]等研究表明铵态氮是农田系统氮沉降的主要形式,与2008年结果相比,洛川、西安、杨凌和安康地区大气氮素总沉降TIN中NH₄⁺-N分别增长了74%、98%、88%和19%,说明农业活动对大气环境影响越来越大,肥料投入加大产生农业污染,氨挥发增多使NH₄⁺-N沉降量增大。

表3 陕西省不同生态区历年大气氮素干湿沉降对比^[14-15,19]

Table 3 Comparison of atmospheric nitrogen dry and wet deposition in different ecological regions of Shaanxi over the years^[14-15,19]

地点 Sites	时间 Time	降雨量/mm Rainfall	湿沉降/(kg·hm ⁻² ·a ⁻¹) Wet deposition			干沉降/(kg·hm ⁻² ·a ⁻¹) Dry deposition			总沉降 Total deposition TIN
			NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	TIN	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	TIN	
榆林	2007-06—2008-05	379.0	—	—	21.1	—	—	1.1	22.2
	2008	373.9	2.8	3.8	6.6	0.3	1.4	1.7	8.3
	本研究	181.0	1.9	1.0	2.9	0.1	1.7	1.8	4.7
洛川	2006-06—2007-05	579.5	—	—	11.4	—	—	1.2	12.7
	2007-06—2008-06	545.0	—	—	15.3	—	—	1.6	16.6
	2008	333.7	3.3	6.0	9.3	0.4	1.6	1.9	11.2
西安	本研究	414.4	5.8	4.6	10.4	0.6	0.9	1.5	11.9
	2008	585.7	8.1	5.0	13.1	0.5	1.3	1.8	14.9
	本研究	532.3	16.7	8.1	24.8	0.3	0.7	1.0	25.8
杨凌	2006	507.8	—	—	19.1	—	—	1.5	20.6
	2008	509.8	8.6	4.8	13.4	0.6	2.2	2.7	16.1
	本研究	620.5	15.8	11.9	27.7	1.3	2.8	4.1	31.9
安康	2008	1020.9	9.8	4.7	14.4	0.2	1.0	1.2	15.6
	本研究	1173.6	9.7	6.6	16.3	2.2	0.7	2.9	19.2

表中降雨量均为监测期内当地降雨量

3 小结

(1)监测期内,榆林、洛川、西安、杨凌和安康地区氮素总沉降TIN量分别为4.7、11.9、25.87、31.9和19.2 kg/hm²,各地区大气氮沉降主要以湿沉降形式为主,分别占总沉降的62%、88%、96%、87%和85%。除榆林地区外,其他地区NH₄⁺-N沉降量高于NO₃⁻-N。

(2)各地区氮素湿沉降量与降雨量之间呈正相

关趋势,随降水的增多,TIN和NH₄⁺-N、NO₃⁻-N沉降通量均明显增加;干沉降月动态变化总体上表现为春冬季较高,夏秋季较小,各地区受人为活动干扰略有差异。

(3)随着社会经济的发展,人为活动对环境变迁的影响越来越大。近年来,西安、杨凌和安康地区大气氮沉降呈增长趋势,其中NH₄⁺-N、NO₃⁻-N沉降量均

有大幅增加。

长期以来由于受研究方法的限制,国际上对大气氮素沉降的研究多集中在无机态氮的沉降上,忽视了对有机态氮形式发生的沉降,因而造成了人们对大气氮素沉降总量的低估。近年来,我国氮沉降研究已逐步关注有机氮沉降,Zhang^[32]等 2005—2009 年观测结果显示,全国 32 个站点可溶性有机氮沉降量为 $1.01\text{--}19.7\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$,平均值为 $6.84\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$,达到氮素总沉降量的 28%;Fang^[33]等在南方热带森林研究结果显示,2004—2005 年由降水带入的可溶性无机氮为 $32\text{--}34\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$,其中观测到 2005 年可溶性有机氮高达 $18\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$;广州酸雨地区 2008、2009 年有机氮含量分别为 8.1 、 $8.4\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$,占到总沉降氮的 17—21%^[34]。可见,有机氮在大气氮沉降中的比重不容忽视,进一步加强对大气有机氮沉降的研究不仅对全面评价大气氮素沉降的数量有重要作用,同时也是全面评价大气沉降的生态环境效应所不可缺少的。因此,陕西省有机氮沉降有待进一步监测研究。

致谢:本试验榆林、洛川、西安和安康地区的沉降样品分别由榆阳区气象局、洛川气象局、西安气象局及安康气象局的工作人员采集,特此致谢。

References:

- [1] Wang T J, Liu Q, Zhao H, Zhou J, Fan J L. Atmospheric Nitrogen Deposition in Agrecosystem in Red Soil Region of Jiangxi Province. *Acta Pedologica Sinica*, 2008, 45(2): 280-287.
- [2] Chen N W, Hong H S, Zhang L P. Wet Deposition of Atmospheric Nitrogen in Jiulong River Watershed. *Environmental Science*, 2008, 29(1): 38-46.
- [3] Galloway J N, Dentener F J, Capone D G, Boyer E W, Howarth R W, Seitzinger S P, Asner G P, Cleveland C C, Green P A, Holland E A, Karl D M, Michaels A F, Porter J H, Townsend A R, Vöosmarty C J. Nitrogen cycles: past, present and future. *Biogeochemistry*, 2004, 70(2): 153-226.
- [4] Galloway J N, Aber J D, Erisman J W, Seitzinger S P, Howarth R W, Cowling E B, Cosby B J. The nitrogen cascade. *Bioscience*, 2003, 53(4): 341-356.
- [5] Galloway J N, Townsend A R, Erisman J W, Bekunda M, Cai Z C, Freney J R, Martinelli L A, Seitzinger S P, Sutton M A. Transformation of the nitrogen cycle: Recent trends, questions, and potential solutions. *Science*, 2008, 320(5878): 889-892.
- [6] Kaiser J. Environmental policy-The other global pollutant: nitrogen proves tough to curb. *Science*, 2001, 5545(294): 1268-1269.
- [7] Paerl H W. Coastal eutrophication in relation to atmospheric nitrogen deposition: Current perspectives. *Ophelia*, 1995, 41: 237-259.
- [8] Xie Y X, Zhang S Li, Feng W, Zhao X, Guo T C. Review of atmospheric nitrogen deposition research. *Chinese Journal of Eco-agriculture*, 2010, 18(4): 897-904.
- [9] Zhang Y, Liu X J, Zhang F S, Ju X T, Zou G Y, Hu K L. Spatial and temporal variation of atmospheric nitrogen deposition in North China Plain. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(6): 1633-1639.
- [10] Zhang X F. Atmospheric nitrogen wet deposition and its effects on wetland water environment of Shanghai area. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(6): 1099-1102.
- [11] Lü C Q, Tian H Q. Spatial and temporal patterns of nitrogen deposition in China: Synthesis of observational data. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 2007, 112(D22).
- [12] Li S X, Cun D G, Gao Y J, He H X, Li S Q. Mineral nitrogen introduced into soil by precipitation on Loess dry land. *Agricultural Research in the A rid Areas*, 1993, 11(S1): 83-92.
- [13] Li S Q, Li S X. Nitrogen Added to Ecosystems by Wet Deposition in Guanzhong Area in Shaanxi. *Agro-environmental Protection*, 1999, 18(3): 97-101.
- [14] Wang Z H, Zhang Y, Liu X J, Tong Y A, Qiao L, Lei X Y. Dry and wet nitrogen deposition in agricultural soils in the Loess area. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(7): 3295-3301.
- [15] Wei Y, Tong Y A, Duan M, Qiao L, Tian H W, Lei X Y, Ma W J. Atmospheric dry and wet nitrogen deposition in typical agricultural areas of North Shaanxi. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(1): 255-259.
- [16] Dentener F J, Crutzen P J. A three-dimensional model of the global ammonia cycle. *Journal of Atmospheric Chemistry*, 1994, 19(4): 331-369.
- [17] Jenk I N, Son D S. An introduction to the global nitrogen cycles. *Soil Use Man*, 1990, 6: 56-61.
- [18] Zhou W, Wang B, Li G T. Progress on the Impact of Atmospheric Nitrogen Deposition on Forest Ecosystems. *Journal of the Central University for Nationalities(Natural Sciences Edition)*, 2010, 19(1): 34-40.
- [19] Wei Y, Tong Y A, Qiao L, Liu X J, Li J. Preliminary Estimate of the Atmospheric Nitrogen Deposition in Different Ecological Regions of Shaanxi Province. *Journal of Agro-environment Science*, 2010, 29(4): 795-800.
- [20] MA X H. Effects of rainfall on the nutrient cycling in man-made forests of *Cunninghnia Lanceolata* and *Pinus Massoniana*. *Acta Ecologica Sinica*, 1998, 9(1): 15-20.
- [21] Environmental Protection Bureau of Fujian Province. *Environmental Quality report of Fujian (1996—2000)*. Fuzhou: Environmental Protection Bureau of Fujian Province, 2001, 70-75.
- [22] Zhuang S J. Acid rain situation, pollution wastage and control strategy in Fujian Province. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 2004, 1(23): 101-106.
- [23] Su C G, Yi B, Zhu Z L, Shen Q R. Ammonia volatilization loss of nitrogen fertilizer from rice field and wet deposition of atmospheric nitrogen in rice growing season. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(11): 1884-1888.

- [24] Zhou J, Cui J, Wang G Q, Ma Y H, Guan J. Characteristic of nitrogen wet deposition and its contribution to nitrogen balance of the graze-vegetable rotation ecosystem in upland red soil. *Ecology and Environment*, 2007, 16(6): 1714-1718.
- [25] Sheng W P, Yu G R, Fang H J, Jiang C M. Observation methods for atmospheric nitrogen deposition. *Chinese Journal of Ecology*, 2010, 29(8): 1671-1678.
- [26] National economic development and social statistical bulletin of Yangling Demonstration Zone, (2011-6-13) [2012-10-5]. http://fzggj.yangling.gov.cn/xxgk_info.jsp?urltype=egovinfo.EgovInfoContent&wbtreeid=1026&identifier=fzggj-02_Z%2F2011-0807001.
- [27] Shen J L, Tang A H, Liu X J, Fangmeier A, Goulding K T W, Zhang F S. High concentrations and dry deposition of reactive nitrogen species at two sites in the North China Plain. *Environmental Pollution*, 2009, 157(11): 1-8.
- [28] Pan Y P, Wang Y S, Tang G Q, Wu D. Wet and dry deposition of atmospheric nitrogen at ten sites in Northern China. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2012, 12(14): 6515-6535.
- [29] Fan J L, Hu Z Y, Zhuang S Y, Zhou J, Wang T J, Liu C Y. Observation of atmospheric nitrogen deposition into forestland. *China Environmental Science*, 2007, 27(1): 7-9.
- [30] Xie H X. Comprehensive evaluation of the quality of atmospheric environment in Shaanxi Province. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2012, 40(17): 9410-9411, 9532.
- [31] Liu X J, Ju X T, Zhang Y, He C E, Kopsch J, Zhang F S. Nitrogen deposition in agroecosystems in the Beijing area. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2006, 113(1/4): 370-377.
- [32] Zhang Y, Song L, Liu X J, Li W Q, Lü S H, Zheng L X, Bai Z C, Cai G Y, Zhang F S. Atmospheric organic nitrogen deposition in China. *Atmospheric Environment*, 2012, 46: 195-204.
- [33] Fang Y T, Gundersen P, Mo J M, Zhu W X. Input and output of dissolved organic and inorganic nitrogen in subtropical forests of South China under high air pollution. *Biogeosciences*, 2008, 5(2): 339-352.
- [34] Li J, Fang Y T, Yoh Muneoki, Wang X M, Wu Z Y, Kuang Y W, Wen D Z. Organic nitrogen deposition in precipitation in metropolitan Guangzhou city of southern China, *Atmospheric Research*, 2012, 113: 57-67.
- 境科学, 2008, 29(1): 38-46.
- [8] 谢迎新, 张淑利, 冯伟, 赵旭, 郭天财. 大气氮素沉降研究进展. *中国生态农业学报*, 2010, 18(4): 897-904.
- [9] 张颖, 刘学军, 张福锁, 巨晓棠, 邹国元, 胡克林. 华北平原大气氮素沉降的时空变异. *生态学报*, 2006, 26(6): 1633-1639.
- [10] 张修峰. 上海地区大气氮湿沉降及其对湿地水环境的影响. *应用生态学报*, 2006, 17(6): 1099-1102.
- [12] 李生秀, 寸待贵, 高亚军, 贺海香, 李世清. 黄土旱塬降水向土壤输入的氮素. *干旱地区农业研究*, 1993, 11(S1): 83-92.
- [13] 李世清, 李生秀. 陕西关中湿沉降输入农田生态系统中的氮素. *农业环境保护*, 1999, 18(3): 97-101.
- [14] 王志辉, 张颖, 刘学军, 同延安, 乔丽, 雷小鹰. 黄土区降水降尘输入农田土壤中的氮素评估. *生态学报*, 2008, 28(7): 3295-3301.
- [15] 魏样, 同延安, 段敏, 乔丽; 田红卫; 雷小鹰; 马文娟. 陕北典型农区大气干湿氮沉降季节变化. *应用生态学报*, 2010, 21(1): 255-259.
- [18] 周薇, 王兵, 李钢铁. 大气氮沉降对森林生态系统影响的研究进展. *中央民族大学学报(自然科学版)*, 2010, 19(1): 34-40.
- [19] 魏样, 同延安, 乔丽, 刘学军, 段敏, 李俊. 陕西省不同生态区大气氮沉降量的初步估算. *农业环境科学学报*, 2010, 19(4): 795-800.
- [20] 马雪华. 在杉木林和马尾松林中雨水的养分淋溶作用. *生态学报*, 1989, 9(1): 15-20.
- [21] 福建省环境保护局. 福建省环境质量报告书(1996—2000年). 福州: 福建省环境保护局, 2001, 70-75.
- [22] 庄世坚. 福建省酸雨形势与污染损耗及其控制对策. *台湾海峡*, 2004, 1(23): 101-106.
- [23] 苏成国, 尹斌, 朱兆良, 沈其荣. 稻田氮肥的氨挥发损失与稻季大气氮的湿沉降. *应用生态学报*, 2003, 14(11): 1884-1888.
- [24] 周静, 崔健, 王国强, 马友华, 关静. 红壤旱地湿沉降氮特征及其对马唐2冬萝卜连作系统氮素平衡的贡献. *生态环境*, 2007, 16(6): 1714-1718.
- [25] 盛文萍, 于贵瑞, 方华军, 姜春明. 大气氮沉降通量观测方法. *生态学杂志*, 2010, 29(8): 1671-1678.
- [26] 杨凌示范区国民经济发展与社会统计公报. (2011-6-13) [2012-10-5]. http://fzggj.yangling.gov.cn/xxgk_info.jsp?urltype=egovinfo.EgovInfoContent&wbtreeid=1026&identifier=fzggj-02_Z%2F2011-0807001.
- [29] 樊建凌, 胡正义, 庄舜尧, 周静, 王体健, 刘翠英. 林地大气氮沉降的观测研究. *中国环境科学*, 2007, 27(1): 7-9.
- [30] 谢恒星. 陕西省大气环境质量综合评价. *安徽农业科学*, 2012, 40(17): 9410-9411, 9532.

参考文献:

- [1] 王体健, 刘倩, 赵恒, 周静, 樊建凌. 江西红壤地区农田生态系统大气氮沉降通量的研究. *土壤学报*, 2008, 45(2): 280-287.
- [2] 陈能汪, 洪华生, 张珞平. 九龙江流域大气氮湿沉降研究. *环*

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.3 Feb., 2014 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Research advances and prospects of post-disaster ecological restoration assessment
..... LIU Xiaofu, WANG Wenjie, LI Jing, et al (527)
- The sustainability analysis of small hydropower plants in China based on ecological energetic accounting
..... PANG Mingyue, ZHANG Lixiao, WANG Changbo (537)

Autecology & Fundamentals

- An ecological study on zooplankton in the northern Beibu Gulf V: the effects of microzooplankton grazing on phytoplankton in summer
..... MA Lu, CAO Wenqing, ZHANG Wenjing, et al (546)
- Sexual size dimorphism and female individual fecundity of *Silurus asotus* and *Clarias fuscus*
..... FAN Xiaoli, LIN Zhihua, DING Xianlong, et al (555)
- Effect of environmental temperature on thermogenesis and evaporative water loss in Chinese bulbuls (*Pycnonotus sinensis*)
..... LIN Lin, CAO Mengting, HU Yilin, et al (564)
- Effects of irrigation on plant growth and nitrogen use characteristics of *Calligonum caput-medusae* Schrenk seedlings
..... HUANG Caibian, ZENG Fanjiang, LEI Jiaqiang, et al (572)
- Enzymatic activity during phytoremediation of polycyclic aromatic hydrocarbon impacted soil
..... ZHU Fan, HONG Xiangqi, YAN Wende, et al (581)
- Assessment of karst groundwater vulnerability in Chongqing based on revised RISKE model
..... WEI Xingping, PU Junbing, ZHAO Chunyong (589)
- Monitoring salt and water dynamics in farmland and drainage ditch in a saline environment under reduced drainage intensity
..... PAN Yanxin, LUO Wan, JIA Zhonghua, et al (597)

Population, Community and Ecosystem

- Spatial distribution and spatial association of *Stellera chamaejasme* population in the different altitude in degraded alpine grassland
..... GAO Fuyuan, ZHAO Chengzhang, ZHUO MA Lancuo (605)
- Biotic stress of predators on population of alligator weed flea beetle, *Agasicles hygrophila* (Col.: Chrysomelidae)
..... LIU Yufang, LI Fei, GUI Fangyan, et al (613)
- Characteristics of phytoplankton community in the northern South China Sea in summer and winter
..... MA Wei, SUN Jun (621)
- The amount and dynamics of litterfall in the natural secondary forest in Mopan Mountain
..... FAN Chunnan, GUO Zhongling, ZHENG Jinping, et al (633)
- Effects of continuous drought on soil bacteria populations and community diversity in sweet cherry rhizosphere
..... LIU Fangchun, XING Shangjun, MA Hailin, et al (642)
- The basic principle of random forest and its applications in ecology: a case study of *Pinus yunnanensis*
..... ZHANG Lei, Wang Linlin, ZHANG Xudong, et al (650)
- Quantitative analysis of driving factors for wetland degradation based on hydrology balance
..... HOU Peng, SHEN Wenming, WANG Qiao, et al (660)
- Stomatal and environmental control on evapotranspiration in a plantation in the lower mountain areas of North China
..... HUANG Hui, MENG Ping, ZHANG Jinsong, et al (667)
- The fluxes of carbon dioxide, methane and nitrous oxide in alpine grassland of the Tianshan Mountains, Xinjiang
..... HE Guixiang, LI Kaihui, SONG Wei, et al (674)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Analysis the relationship between ecological footprint (EF) of ningxia and influencing factors: Partial Least-Squares Regression (PLS)
..... MA Mingde, MA Xuejuan, XIE Yingzhong, et al (682)
- Profile distribution patterns of soil organic carbon and the rate of carbon sequestration in Ningxia Irrigation Zone
..... DONG Linlin, YANG Hao, YU Dongsheng, et al (690)
- Molecular mechanism on carbon dioxide assimilation of autotrophic microorganism and carbon translocation in agricultural soils
..... WU Xiaohong, JIAN Yan, CHEN Xiaojuan, et al (701)

Resource and Industrial Ecology

- Ecological efficiency analysis of the circular economy system in mining area based on emergy analytic approach
..... SUN Yufeng, GUO Quanying (710)
- Assessing synthetic carrying capacity based on AD-AS model: a case study in Coastal Zone, Zhoushan
..... SU Panpan, YE Shufeng, GUO Zhongyang, et al (718)

Urban, Rural and Social Ecology

- Driving forces analysis of urban expansion based on boosted regression trees and Logistic regression
..... LI Chunlin, LIU Miao, HU Yuanman, et al (727)

Research Notes

- Spatial-temporal variability of dry and wet deposition of atmospheric nitrogen in different ecological regions of Shaanxi
..... LIANG Ting, TONG Yan'an, LIN Wen, et al (738)
- The effects of different mulching way on soil water thermal characteristics in pear orchard in the arid area
..... LIU Xiaoyong, LI Hongxun, LI Jianming, et al (746)
- Structure and diversity of soil fauna communities in the tundra of the Changbai Mountains, China
..... WANG Zhenhai, YIN Xiuqin, JIANG Yunfeng (755)
- Modeling the total allowable area for coastal reclamation: a case study of Xiamen, China
..... LIN Chenchen, RAO Huanhuan, LIU Yan, et al (766)

《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

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 3 期 (2014 年 2 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 34 No. 3 (February, 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

国内外公开发刊

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元