

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

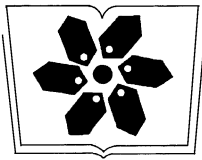
Acta Ecologica Sinica



第32卷 第18期 Vol.32 No.18 **2012**

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 32 卷 第 18 期

2012 年 9 月 (半月刊)

目 次

亚热带典型树种对模拟酸雨胁迫的高光谱响应.....	时启龙,江 洪,陈 健,等 (5621)
珠江三角洲地面风场的特征及其城市群风道的构建.....	孙 武,王义明,王越雷,等 (5630)
粤北山地常绿阔叶林自然干扰后冠层结构与林下光照动态.....	区余端,苏志尧 (5637)
四种猎物对南方小花蝽生长发育和繁殖的影响.....	张昌容,鄧军锐,莫利锋 (5646)
普洱季风常绿阔叶林次生演替中木本植物幼苗更新特征.....	李帅锋,刘万德,苏建荣,等 (5653)
喀斯特常绿落叶阔叶混交林物种多度与丰富度空间分布的尺度效应.....	张忠华,胡 刚,祝介东,等 (5663)
格氏栲天然林土壤养分空间异质性.....	苏松锦,刘金福,何中声,等 (5673)
种植香根草对铜尾矿废弃地基质化学和生物学性质的影响.....	徐德聪,詹 婧,陈 政,等 (5683)
灌溉对三种荒漠植物蒸腾耗水特性的影响.....	单立山,李 毅,张希明,等 (5692)
真盐生植物盐角草对不同氮形态的响应.....	聂玲玲,冯娟娟,吕素莲,等 (5703)
鹿泉沟自然保护区寒温性针叶林演替优势种格局动态分析.....	张钦弟,毕润成,张金屯,等 (5713)
不同水肥条件下 AM 真菌对丹参幼苗生长和营养成分的影响.....	贺学礼,马 丽,孟静静,等 (5721)
垄沟覆膜栽培冬小麦田的土壤呼吸.....	上官宇先,师日鹏,韩 坤,等 (5729)
不同方式处理牛粪对大豆生长和品质的影响.....	郭立月,刘雪梅,战丽杰,等 (5738)
基于大气沉降与径流的乌鲁木齐河源区氮素收支模拟.....	王圣杰,张明军,王飞腾,等 (5747)
基于能值理论的循环复合农业生态系统发展评价——以福建省福清星源循环农业产业示范基地为例.....	钟珍梅,翁伯琦,黄勤楼,等 (5755)
低温暴露和恢复对棘胸蛙雌性亚成体生存力及能量物质消耗的影响.....	凌 云,邵 晨,颜志刚,等 (5763)
暗期干扰对棉铃虫两个不同地理种群滞育抑制作用的比较.....	陈元生,涂小云,陈 超,等 (5770)
水土流失治理措施对小流域土壤有机碳和全氮的影响.....	张彦军,郭胜利,南雅芳,等 (5777)
不同管理主体对泸沽湖流域生态系统影响的比较分析.....	董仁才,苟亚青,李思远,等 (5786)
连江鱼类群落多样性及其与环境因子的关系.....	李 捷,李新辉,贾晓平,等 (5795)
溶氧水平对鲫鱼代谢模式的影响.....	张 伟,曹振东,付世建 (5806)
象山港人工鱼礁区的网采浮游植物群落组成及其与环境因子的关系.....	江志兵,陈全震,寿 鹿,等 (5813)
填海造地导致海湾生态系统服务损失的能值评估——以套子湾为例.....	李睿倩,孟范平 (5825)
城市滨水景观的视觉环境质量评价——以合肥市为例.....	姚玉敏,朱晓东,徐迎碧,等 (5836)
专论与综述	
生态基因组学研究进展.....	施永彬,李钧敏,金则新 (5846)
海洋酸化生态学研究进展.....	汪思茹,殷克东,蔡卫君,等 (5859)
纺锤水蚤摄食生态学研究进展.....	胡思敏,刘 胜,李 涛,等 (5870)
河口生态系统氨氧化菌生态学研究进展.....	张秋芳,徐继荣,苏建强,等 (5878)
嗜中性微好氧铁氧化菌研究进展.....	林超峰,龚 骏 (5889)
典型低纬度海区(南海、孟加拉湾)初级生产力比较.....	刘华雪,宋星宇,黄洪辉,等 (5900)
植物叶片最大羧化速率及其对环境因子响应的研究进展.....	张彦敏,周广胜 (5907)
中国大陆鸟类栖息地选择研究十年.....	蒋爱伍,周 放,覃 玥,等 (5918)
研究简报	
孵化温度对赤链蛇胚胎代谢和幼体行为的影响.....	孙文佳,俞 霄,曹梦洁,等 (5924)
不同培肥茶园土壤微生物量碳氮及相关参数的变化与敏感性分析.....	王利民,邱珊莲,林新坚,等 (5930)
施肥对两种莧菜吸收积累镉的影响.....	李凝玉,李志安,庄 萍,等 (5937)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 322 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 36 * 2012-09



封面图说: 冬天低空飞翔的丹顶鹤——丹顶鹤是鹤类中的一种,因头顶有“红肉冠”而得名。是东亚地区特有的鸟种,因体态优雅、颜色分明,在这一地区的文化中具有吉祥、忠贞、长寿的象征,是传说中的仙鹤,国家一级保护动物。丹顶鹤具备鹤类的特征,即三长——嘴长、颈长、腿长。成鸟除颈部和飞羽后端为黑色外,全身洁白,头顶皮肤裸露,呈鲜红色。丹顶鹤每年要在繁殖地和越冬地之间进行迁徙,只有在日本北海道等地是留鸟,不进行迁徙,这可能与冬季当地人有组织地投喂食物,食物来源充足有关。

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

DOI: 10.5846/stxb201108171205

王圣杰, 张明军, 王飞腾, 李忠勤. 基于大气沉降与径流的乌鲁木齐河源区氮素收支模拟. 生态学报, 2012, 32(18): 5747-5754.

Wang S J, Zhang M J, Wang F T, Li Z Q. Nitrogen budget modelling at the headwaters of Urumqi River Based on the atmospheric deposition and runoff. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(18): 5747-5754.

基于大气沉降与径流的乌鲁木齐河源区氮素收支模拟

王圣杰¹, 张明军^{1,2,*}, 王飞腾², 李忠勤^{2,1}

(1. 西北师范大学地理与环境科学学院, 兰州 730070;

2. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所冰冻圈科学国家重点实验室/天山冰川站, 兰州 730000)

摘要:选取天山乌鲁木齐河源区作为自然状态下内陆河源区的代表,将区域氮循环简化为大气沉降输入与径流输出,模拟了该区域内的氮素收支状况,得出结论:(1) 乌鲁木齐河源区(总控制水文点以上区域)的年均氮素干湿沉降量为 17.0 t/a,且以有机氮为主,其次为铵态氮与硝态氮;年均氮素沉降通量为 $5.92 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,明显小于下游受人类活动影响更为强烈的地区。(2) 河源区氮素的径流输出主要包括大气沉降直接随径流流失、冰川融水流失与泥沙输移流失等,在总控制水文点以上区域以泥沙输移为主,其次为大气沉降直接随径流流失,冰川融水携带氮量相对较少。(3) 河源区氮素的输入量普遍小于输出量,该区域表现为一个氮源;在仅计算大气沉降与径流的情况下,总控制水文点以上区域的年均氮素净通量为 $-2.64 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,若将生物固氮与反硝化作用纳入考虑则氮源效应更加显著。

关键词:乌鲁木齐河源区;氮循环;氮素收支;内陆河;冰川区

Nitrogen budget modelling at the headwaters of Urumqi River Based on the atmospheric deposition and runoff

WANG Shengjie¹, ZHANG Mingjun^{1,2,*}, WANG Feiteng², LI Zhongqin^{2,1}

1 College of Geography and Environmental Sciences, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China

2 State Key Laboratory of Cryospheric Sciences/Tianshan Glaciological Station, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China

Abstract: In order to investigate the nitrogen cycle at the headwaters of endorheic rivers in a natural situation, the Urumqi River originated from the northern slope of Chinese Tianshan Mountains was chosen as a typical region in the Northwest China. The regional nitrogen system was simplified into the atmospheric deposition (input) and runoff (output), and the nitrogen budget was modeled according to the chemical data of precipitation, runoff, soil and glacier. The headwaters of Urumqi River were defined as the upward area of the Main Control Hydrological Station (3408 m above sea level). The Glacier No. 1 Hydrological Station (3659 m above sea level) and the Empty Cirque Hydrological Station (3805 m above sea level) at the headwaters were applied for observing the differences between glacier area and non-glacier area, respectively. The results indicated: (1) The annual atmospheric deposition (including wet and dry deposition) of total nitrogen (inorganic and organic nitrogen) at the headwaters of Urumqi River was 17.0 t/a, which was dominated by organic nitrogen (10.1 t/a), along with ammonium nitrogen ($\text{NH}_4^+\text{-N}$, 4.88 t/a) and nitrate nitrogen ($\text{NO}_3^-\text{-N}$, 2.03 t/a). The annual atmospheric deposition flux at the Main Control Hydrological Station, the Glacier No. 1 Hydrological Station and the Empty

基金项目:国家自然科学基金项目(41161012, 41171057, 40701035);教育部新世纪优秀人才支持计划项目(NCET-10-0019);国家重点基础研究发展计划(973)项目(2010CB951003);中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-EW-311);冰冻圈科学国家重点实验室项目(SKLCS-ZZ-2010-04);中国科学院寒旱所青年人才成长基金(51Y251B51)

收稿日期:2011-08-17; 修订日期:2012-03-26

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: mjzhang2004@163.com

Cirque Hydrological Station was $5.92 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, $4.60 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ and $4.80 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, respectively. The atmospheric deposition of nitrogen at the headwaters was much less than that at the downstream, which was influenced by the anthropogenic activities. (2) The regional nitrogen output in runoff was composed of three main sections as below: runoff loss directly from atmospheric deposition, glacier melt loss and sand transportation loss. At the headwaters of the Urumqi River, the nitrogen output was dominated by sand transportation loss (16.2 t/a , accounting for 66% of the total), followed with the runoff loss directly from atmospheric deposition (5.94 t/a , accounting for 24%) and glacier melt loss (2.52 t/a , accounting for 10%). At the Glacier No. 1 Hydrological Station, the glacier melt loss of nitrogen (38% of the total) took a principal role of nitrogen loss, due to its marked glacier cover percentage. At the Empty Cirque Hydrological Station, 55% of nitrogen loss was attributed to the sand transportation, instead of the direct lost from atmospheric deposition (45%). (3) The nitrogen budget showed that the nitrogen input was less than the nitrogen output at the headwaters of Urumqi River. The study area was a regional nitrogen source. Modeled based on the atmospheric deposition and runoff, the annual net flux of nitrogen at the Main Control Hydrological Station, the Glacier No. 1 Hydrological Station and the Empty Cirque Hydrological Station were $-2.64 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, $-1.39 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ and $-3.67 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, respectively. The nitrogen loss flux was less significant in glacier area (observed at the Glacier No. 1 Hydrological Station) than that in non-glacier area (observed at the Empty Cirque Hydrological Station), which was generally caused by the low content of nitrogen in the embryonic soil near modern glacier. With a consideration of the biological nitrogen fixation and denitrification additionally in the regional nitrogen cycle, the nitrogen output was more significant than the modelling result.

Key Words: headwaters of Urumqi River; nitrogen cycle; nitrogen budget; endorheic river; glacier area

对流域尺度下的氮循环过程进行定量研究从而建立氮素收支模式,可以明确区域性氮素的输入与输出途径,指示自然与人为因素对生态系统的影响^[1-2]。中国的氮排放与氮平衡一直是区域生物地球化学循环研究的重要内容^[3-6],近年来学者们开展了一系列不同流域尺度的氮素收支评估。对长江、黄河、珠江等流域的研究表明,人类产生的氮量(如化肥、氮氧化物排放等)已经远远超过陆地生物固定的氮量^[7]。来源于农业非点源化肥氮和土壤氮流失、点源工业废水和生活污水排放的总氮分别占到长江口氮输出通量的 15.4% 与 17.1%^[8]。1980 年长江流域氮素输入中,化肥来源的比例为 32%,1990 年则升至 44%^[9]。在珠江的北江流域也发现,化肥氮、人畜排泄物与工业污水占流域氮素输入的 64%^[10]。福建九龙江流域内,化肥、饲料来源的氮素甚至占氮素输入的 86%—92%^[11]。在上述受到人类活动强烈影响的区域,氮素输入普遍大于输出。但是,自然状态下的氮素收支情况与非自然状态下显然存在着很大差别^[12]。张金霞等^[13]分析了青藏高原海北地区的高寒草甸生态系统氮素收支情况,发现区域氮素输出大于输入。肖桐等^[14]基于降水与径流资料研究了长江源区的氮素收支,也证实氮素输入量大约只有损失量的一半。

然而,早期流域尺度下的氮素收支评估多开展于外流河,对内陆河氮循环过程仍缺乏深入研究。内陆河在西北干旱区广泛分布,且多发源于高海拔山区,评估河源区氮素的收支状况有助于对自然状态下的氮循环过程形成完整的认识。因此,本文选取天山乌鲁木齐河源区作为研究对象,估算该区域的氮素收支状况,从而为评估内陆河源区氮素源汇变迁提供依据。

1 研究区概况

乌鲁木齐河发源于天山山脉北坡喀拉乌成山,流域地势西南高、东北低,水源由上游山地降水与冰雪融化补给^[15]。1959—2000 年间的气象记录表明,河源区年平均气温 $-5.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$,负温月长达 7—8 个月,最冷月(1 月)平均气温为 $-15.6 \text{ }^{\circ}\text{C}$,最热月(7 月)为 $4.9 \text{ }^{\circ}\text{C}$,年平均降水量修正值为 524.2 mm ^[16]。土壤类型从低到高呈现灰褐色森林土、高山草原土(山地棕钙土)、高山草甸土与高山寒漠土的分布带谱^[17]。植被带垂直变化明显,由下而上依次为森林和草原植被、亚高山和高山灌丛草甸、高山垫状植被和高山稀疏植被、高山砾石带和高山冰川积雪带^[17]。

本文选取乌鲁木齐河流域内总控制水文点以上的河源区作为研究对象,该区域在天山山区,乃至整个西北干旱区具有一定的代表性^[18](图 1)。总控制水文点(43°07'N,86°52'E)位于大西沟与罗布道沟汇合处,海拔 3408 m。此外,为了细化不同下垫面的差异,还在总控制水文点上游增加了 1 号冰川水文点(43°07'N,86°49'E,海拔 3659 m)与空冰斗水文点(43°07'N,86°50'E,海拔 3805 m),进行冰川区与非冰川区的对比。

2 数据与方法

2.1 基本原理

自然界中氮的生物地球化学循环十分复杂,在计算流域内氮素收支平衡时可以将其看作一个整体,从而简化氮素收支的过程^[14, 19-20]。参考之前在长江源区^[14]的研究,本文将乌鲁木齐河源区氮循环简化为氮素的大气沉降输入与径流输出,于是得到区域净氮量(ΔN)为:

$$\Delta N = D - R - G - S \quad (1)$$

式中, D 为氮素的大气干湿沉降量(kg/a), R 为氮素沉降量直接进入径流的损失量(kg/a), G 为冰川融水导致的氮素损失量(kg/a), S 为泥沙输移导致的氮素损失量(kg/a)。

2.2 氮素的干湿沉降量

氮素的湿沉降量容易通过对降水(雨雪)的采样与测定获知,而干沉降量可以利用干湿沉降的比例换算得到^[21]。本文将整个研究区划分为若干个栅格(30 m×30 m),根据每个栅格内的降水量与降水中无机氮含量计算该栅格内的沉降量,最后将所有栅格数据相加得到区域内的氮素沉降总量。小区域内的降水量可以在已知气象数据的基础上根据降水量高程梯度,结合高精度的数字高程模型(digital elevation model,简称 DEM)资料进行计算。第*i*行第*j*列栅格内的降水量(P_{ij})为:

$$P_{ij} = P_0 + k_H(h_{ij} - H_0) \quad (2)$$

式中, P_0 为参考站(大西沟气象站,43°06'N,86°50'E,海拔 3539 m)的年降水量修正值(mm), k_H 为降水量高程梯度(mm/m),即海拔每升高 1 m 的降水量变化值,参考杨大庆等^[22]在河源区的研究取 0.22 mm/m, h_{ij} 是每个栅格的海拔(m), H_0 为参考站的海拔(m)。高程资料利用先进星载热发射和反射辐射仪(ASTER)的全球数字高程模型(Global Digital Elevation Model,简称 GDEM)第一版本数据加工而来,空间分辨率为 30 m×30 m,来源于中国科学院计算机网络信息中心国际科学数据镜像网站(<http://datamirror.csdb.cn>)。

由于研究区降水化学数据一般不分析有机氮(TON),因而先计算无机氮(total inorganic nitrogen,简称 TIN)的沉降量,再根据有机氮与无机氮沉降量的比例进行换算。区域内无机氮的湿沉降量(D_w)为:

$$D_w = \Delta S \sum_{i=1, j=1}^n C_{w_{ij}} P_{ij} \quad (3)$$

式中, ΔS 为每个栅格的面积(m²),即 900 m², $C_{w_{ij}}$ 为每个栅格内湿沉降中的无机氮含量(mg/L), P_{ij} 为每个栅格的降水量(mm)。湿沉降中的无机氮含量根据中国科学院天山冰川站高山站(43°06'N,86°50'E,海拔 3551 m)^[23]与 1 号冰川雪冰采样场(43°06'N,86°49'E,海拔 4130 m)^[24]实测资料的梯度变化率计算得到。

区域内氮素的干湿沉降总量(D)为:

$$D = D_w / k_w k_{DI} \quad (4)$$

式中, D_w 为无机氮湿沉降量(kg/a), k_w 为无机氮湿沉降量在无机氮干湿沉降总量中的比例(%),参考 Zhao

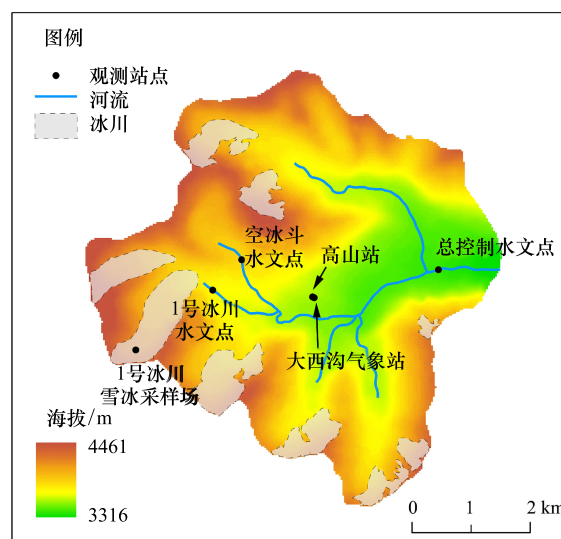


图 1 乌鲁木齐河源区及观测站点分布示意图

Fig. 1 Map of the headwaters of Urumqi River and the observation sites

等^[23]在河源区的研究 NO_3^- 取 94%, NH_4^+ 取 97%, k_{DI} 为无机氮沉降量在总氮量中的比例 (%), 参考贾钧彦^[25]的相关研究取 41%。

2.3 氮素的径流直接损失量

氮素的径流直接损失量 (R), 即氮素的湿沉降量直接随径流输出的部分:

$$R = k_p W \sum_{i=1, j=1}^n (C_{\text{Wij}} P_{ij} / \sum_{i=1, j=1}^n P_{ij}) / k_{\text{RI}} \quad (5)$$

式中, k_p 为降水占径流量的比例 (%) ^[26], W 为年径流量 (m^3/a) ^[27-29], C_{Wij} 为研究区每个栅格内大气湿沉降中氮素含量 (mg/L), P_{ij} 为每个栅格的降水量 (mm), k_{RI} 为径流中无机氮量在总氮量中的比例 (%) ^[30]。

2.4 氮素的冰川融水损失量

氮素的冰川融水损失量 (G) 为:

$$G = k_G W C_G / k_{\text{RI}} \quad (6)$$

式中, k_G 为冰川融水占径流量的比例 (%) ^[26], W 为年径流量 (m^3) ^[27-29], C_G 为冰层中的无机氮含量 (g/mL), 据 1 号冰川雪冰采样场实测数据, k_{RI} 为径流中无机氮量在总氮量中的比例 (%) ^[30]。

2.5 氮素的泥沙输移损失量

河道泥沙输移的总氮量 (S) 为:

$$S = C_s W k_s \quad (7)$$

式中, C_s 为河道含沙量 (kg/m^3) ^[31], W 为年径流量 (m^3) ^[27-29], k_s 为土壤中氮素的平均含量 (%) ^[32]。

3 结果与讨论

3.1 流域氮素的输入

Liu 等^[33]对 21 世纪初中国大气中 NH_3 与 NO_2 等含氮气体含量的统计分析表明, 大气中的氮含量存在空间分布差异。我国内陆河多分布于西部地区, 氮素的大气沉降量低于东部地区。此外, 内陆河源区往往海拔较高, 生态环境较少地受到人类活动的影响, 因而氮素沉降量普遍保持在较低的水平。根据天山乌鲁木齐河源区的长期资料, 可以得到总控制水文点以上区域氮素的年均干湿沉降量为 17.0 t/a (图 2)。其中, 硝态氮 ($\text{NO}_3^- \text{-N}$) 为 2.03 t/a , 铵态氮 ($\text{NH}_4^+ \text{-N}$) 为 4.88 t/a , 有机氮 (TON) 为 10.1 t/a 。不同水文点控制区内的各组分氮素普遍表现出有机氮 > 铵态氮 > 硝态氮的趋势。乌鲁木齐河源区的年均氮素沉降通量相差不大, 总控制水文点、1 号冰川水文点与空冰斗水文点控制区域的年均氮素沉降通量分别为 $5.92 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 、 $4.60 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 与 $4.80 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 总控制水文点的年均氮素沉降通量略大于后二者。

氮素的大气沉降量受到降水量与氮浓度的影响。一般来说, 河谷地区随着海拔的升高, 降水量也随之增加; 由于低海拔处受人类活动影响普遍更为强烈, 氮浓度随着海拔的升高而降低。乌鲁木齐河源区海拔高, 且有冰川分布, 受人类活动的影响比下游小得多, 降水中的氮浓度比起乌鲁木齐河流域内低海拔地区也明显较低 (图 3)。Zhao 等^[23]比较了天山冰川站高山站 (海拔 3551 m) 及其下游方向的基本站 (海拔 2119 m) 降水化学特征, 发现高山站的氮素湿沉降通量低于基本站的湿沉降通量。如果计算下游的乌鲁木齐市大气氮素沉降量^[34-35], 则可能比上述站点的沉降量更大, 因为乌鲁木齐市作为新疆维吾尔自治区的首府, 工农业相对发达, 大气污染程度高于河源区。

3.2 流域氮素的输出

根据乌鲁木齐河源区的环境状况, 本研究将氮素的径流输出进一步划分为干湿沉降直接随径流流失、冰川融水流失与泥沙输移流失 3 个组成部分 (表 1)。以总控制水文点以上区域为例, 氮素的泥沙输移损失量最大, 占径流氮素损失总量的 66%, 其次为大气沉降直接随径流损失量 (24%), 最后是冰川融水损失量 (10%)。由于下垫面的差异, 不同水文点控制区的氮素损失途径比例存在一定差别。1 号冰川水文点以上区域的氮素径流损失以冰川融水为主, 占到了径流损失总量的 38%, 大气沉降直接损失量与泥沙输移损失量比例相差不大。空冰斗水文点以上区域没有冰川融水的输出, 泥沙输移损失的氮素占径流损失量的 55%, 其余

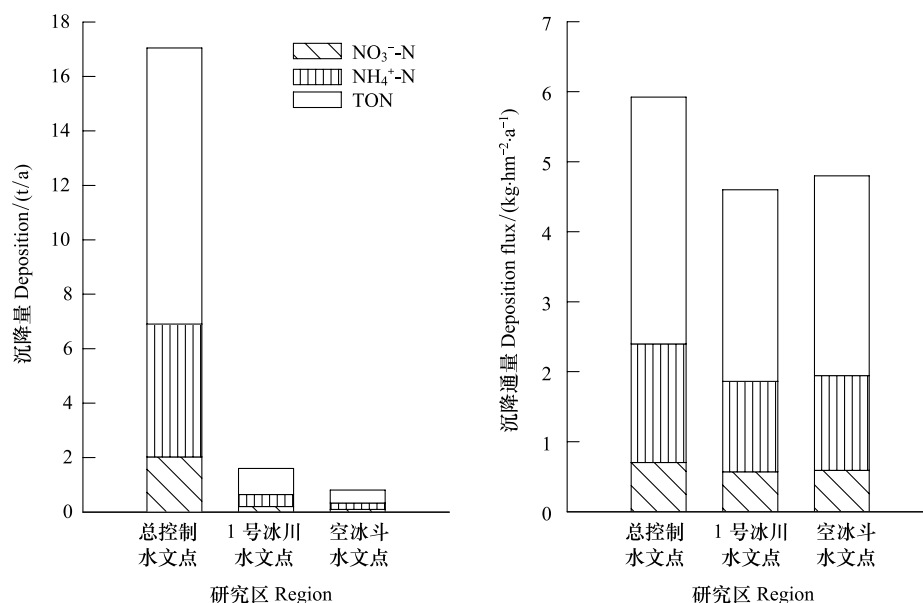


图2 乌鲁木齐河源区氮素的干湿沉降量与沉降通量

Fig. 2 Atmospheric deposition and its flux of nitrogen at the headwaters of Urumqi River

为大气沉降的氮素直接随径流损失量。

之所以没有直接使用径流化学数据(即河水中可溶性含氮离子的浓度)对径流氮素的流失量进行评估,是因为水沙将大量颗粒物输送到流域控制断面以外的区域,如果仅计算溶解在水中的化学成分,则可能在很大程度上低估径流导致的氮素输出。以总控制水文点为例,假设通过河道径流的氮素流失量(利用径流化学数据^[36-37]计算)除大气沉降直接随径流流失、冰川融水流失外,均为泥沙输移流失,则该区域氮素随泥沙输移的损失量为4.04 t/a。但是根据水沙估算,随径流带走的泥沙中氮素则高达16.2 t/a。这种差异与氮素的溶解性与样品的代表性都有关系。之前对长江流域的研究发现,在不同的河段与时期(枯水期或丰水期),河湖水总溶解氮占总氮的比例存在着明显的波动(61%—96%)^[30],而长江源头土壤氮素在河道中的溶解率则在7%—15%之间^[14]。

3.3 流域氮素的收支状况

根据上述的分析,可以得到大气沉降与径流作用下乌鲁木齐河源区的氮素收支状况(图4)。通过对河源区氮素输入和输出的计算,该区域表现为一个氮源。总控制水文点、1号冰川水文点与空冰斗水文点控制区的年均氮素净通量分别为 $-2.64 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 、 $-1.39 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 与 $-3.67 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。其中,总控制水文点以上区域氮素的输入量约占输出量的70%。对比青藏高原的早期氮素收支研究^[13-14]可以发现,受人类活动影响较小的高寒区普遍表现为氮源。包括内陆河源区在内的高亚洲地区在生态环境中具有重要的意义,特别是在氮循环过程中起着氮素输出的作用。

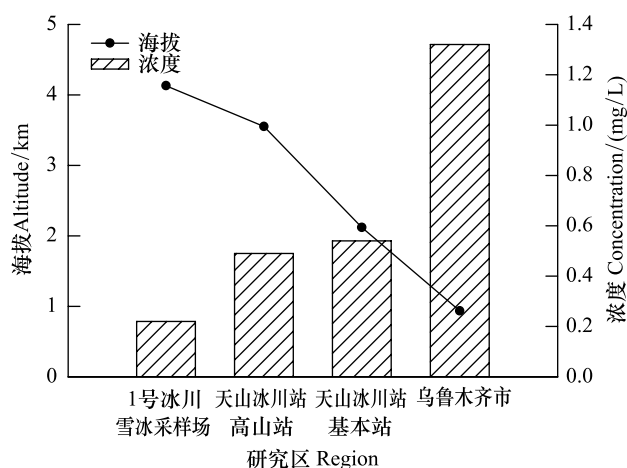
图3 乌鲁木齐河流域湿降水无机氮浓度(体积加权)与海拔的关系^[23-24,34]Fig. 3 Inorganic nitrogen concentration (volume weighted) in wet deposition and its altitude of the Urumqi River Basin^[23-24,34]

表 1 乌鲁木齐河源区氮素输出量
Table 1 Output of nitrogen at the headwaters of Urumqi River

研究区 Region	沉降直接随径流损失量/(t/a) Direct runoff loss from deposition	冰川融水损失量/(t/a) Glacial melt loss	泥沙输移损失量/(t/a) Sand transportation loss
总控制水文点控制区 Main Control Hydrological Station	$\text{NO}_3^- \text{-N}$ 0.716 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 1.78 TON 3.45	$\text{NO}_3^- \text{-N}$ 0.444 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 0.613 TON 1.46	16.2
1 号冰川水文点控制区 Glacier No. 1 Hydrological Station	$\text{NO}_3^- \text{-N}$ 0.079 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 0.185 TON 0.365	$\text{NO}_3^- \text{-N}$ 0.138 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 0.191 TON 0.454	0.671
空冰斗水文点控制区 Empty Cirque Hydrological Station	$\text{NO}_3^- \text{-N}$ 0.080 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 0.190 TON 0.373	$\text{NO}_3^- \text{-N}$ 0 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 0 TON 0	0.791

就冰川对区域氮平衡的影响而言,冰川区的氮素损失通量要小于非冰川区。冰川区土壤中含氮量普遍比非冰川区要低,从而导致由泥沙输送的氮素较少。自 1 号冰川末端向下游至总控制水文点,植物群落的演替与土壤类型的发育存在明显的差异。在 1 号冰川水文点控制区,多为最新冰碛物上发育的原始土壤以及小冰期冰碛物上形成的石灰寒冻正常新成土,虽然藻类群落不断进行光合作用和滞留水分,但原始土壤有机质储存量很低,全氮含量仅为 0.017%—0.021%,小冰期石灰寒冻正常新成土氮素含量有所增加但仍不高;而与之对比的空冰斗水文点控制区多为新冰期冰碛物上发育的石灰寒冻正常新成土,土壤含氮量相对较高^[32]。

需要指出的是,除大气沉降与径流外,生物固氮和反硝化作用等也会对区域氮素的交换产生影响。虽然在乌鲁木齐河源区没有相关的实测数据,但是在青藏高原的早期研究已经发现,高寒区生物固氮量明显小于反硝化作用导致的氮素损失量,甚至存在数量级差异^[13-14]。乌鲁木齐河源区的生态景观主要为高山稀疏植被、砾石与冰川积雪,植被覆盖率相对不高,且豆科植物分布有限,生物固氮量应比青藏高原的报道值要低。因此,如果考虑到生物固氮和反硝化作用等因素,乌鲁木齐河源区的氮源效应则可能更为显著。

4 结论

本研究基于天山乌鲁木齐河源区的降水、径流、土壤与雪冰化学资料,评估了该区域内大气沉降输入与径流输出作用下的氮素收支状况,得到如下结论。

(1) 乌鲁木齐河源区的氮素干湿沉降量为 17.0 t/a,且以有机氮为主,其次为铵态氮与硝态氮。总控制水文点、1 号冰川水文点与空冰斗水文点控制区域的年均氮素沉降通量分别为 5.92 kg·hm⁻²·a⁻¹、4.60 kg·hm⁻²·a⁻¹ 与 4.80 kg·hm⁻²·a⁻¹。河源区的氮素沉降量普遍小于下游受人类活动影响更为强烈的地区。

(2) 河源区氮素的径流输出主要包括大气沉降直接随径流流失、冰川融水流失与泥沙输移流失 3 部分,在总控制水文点以上区域以泥沙输移为主,其次为大气沉降直接随径流流失,冰川融水携带氮量相对较少。对比 1 号冰川水文点与空冰斗水文点发现,冰川区泥沙输移的氮量小于非冰川区。

(3) 河源区氮素的输入量普遍小于输出量,该区域表现为一个氮源,这一特征与高亚洲地区的其他研究基本一致。在考虑大气沉降与径流的情况下,总控制水文点以上区域的年均氮素净通量为-2.64 kg·hm⁻²·a⁻¹,若将生物固氮与反硝化作用等纳入考虑则氮源效应更加显著。

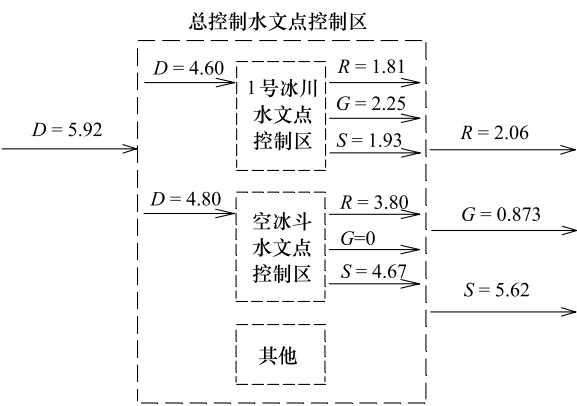


图 4 乌鲁木齐河源区氮素通量迁移模拟(kg·hm⁻²·a⁻¹)
Fig. 4 Nitrogen flux transportation modelling at the headwaters of Urumqi River

致谢:中国科学院天山冰川观测试验站的全体野外观测人员对本研究给予帮助,特此致谢。

References:

- [1] Li X A, Yu Z M, Song X X, Cao X H, Yuan Y Q. Nitrogen and phosphorus budgets of the Changjiang River estuary. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 2011, 29(4): 762-774.
- [2] Rock L, Mayer B. Nitrogen budget for the Oldman River Basin, southern Alberta, Canada. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2006, 75(1/3): 147-162.
- [3] Yan W J, Mayorga E, Li X Y, Seitzinger S P, Bouwman A F. Increasing anthropogenic nitrogen inputs and riverine DIN exports from the Changjiang River basin under changing human pressures. *Global Biogeochemical Cycles*, 2010, 24: GB0A06, doi: 10.1029/2009GB003575.
- [4] Ohara T, Akimoto H, Kurokawa J, Horii N, Yamaji K, Yan X, Hayasaka T. An Asian emission inventory of anthropogenic emission sources for the period 1980—2020. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2007, 7(3): 4419-4444.
- [5] Zhang Q, Streets D G, He K B, Wang Y X, Richter A, Burrows J P, Uno I, Jang C J, Chen D, Yao Z L, Lei Y. NO_x emission trends for China, 1995—2004: the view from the ground and the view from space. *Journal of Geophysical Research*, 2007, 112: D22306, doi: 10.1029/2007JD008684.
- [6] Cai H, Xie S D. Estimation of vehicular emission inventories in China from 1980 to 2005. *Atmospheric Environment*, 2007, 41(39): 8963-8979.
- [7] Xing G X, Zhu Z L. Regional nitrogen budgets for China and its major watersheds. *Biogeochemistry*, 2002, 57/58(1): 405-427.
- [8] Shen Z L, Liu Q, Zhang S M, Miao H, Zhang P. A nitrogen budget of the Changjiang River catchment. *Ambio*, 2003, 32(1): 65-69.
- [9] Bao X, Watanabe M, Wang Q X, Hayashi S, Liu J Y. Nitrogen budgets of agricultural fields of the Changjiang River basin from 1980 to 1990. *Science of the Total Environment*, 2006, 363(1/3): 136-148.
- [10] Chen F J, Jia G D. Nitrogen budgets of the Beiji River Basin. *Tropical Geography*, 2009, 29(1): 11-15.
- [11] Chen N W, Hong H S, Zhang L P. Preliminary results concerning the spatio-temporal pattern and mechanism of nitrogen sources and exports in the Jiulong River watershed. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2009, 29(4): 830-839.
- [12] Hodson A, Roberts T J, Engvall A C, Holmén K, Mumford P. Glacier ecosystem response to episodic nitrogen enrichment in Svalbard, European High Arctic. *Biogeochemistry*, 2010, 98(1/3): 171-184.
- [13] Zhang J X, Cao G M. The nitrogen cycle in an alpine meadow ecosystem. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19(4): 509-513.
- [14] Xiao T, Qi Y Q, Wang J B. Nitrogen budget estimation based on precipitation and runoff in the source of Yangtze River. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(19): 5404-5412.
- [15] Zhu D Q. *China Water System Dictionary (Revised edition)*. Qingdao: Qingdao Press, 2007: 652-660.
- [16] Jiao K Q, Jing Z F, Han T D, Yang H A, Ye B S, Li Z Q. Variation of the Glacier No. 1 at the headwaters of the Urumqi River in the Tianshan Mountains during the past 42 years and its trend prediction. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2004, 26(3): 253-260.
- [17] Liu G X, An L Z, Chen G C. *Research on Relationship between Vegetation and Environment in the Upper Reaches of Urumchi River*. Lanzhou: Lanzhou University Press, 2004: 1-96.
- [18] Kang E S, Cheng G D, Dong Z C. *Glacier-Snow Water Resources and Mountain Runoff in the Arid Area of Northwest China*. Beijing: Science Press, 2002: 1-304.
- [19] Likens G E, Bormann F H. *Biogeochemistry of A Forested Ecosystem*. 2nd ed. New York: Springer-Verlag, 1995: 1-4.
- [20] Huang L M, Yang J L, Zhang G L. Nitrogen budgets and source-sink characteristics of watershed in the hilly area of subtropical China. *Environmental Science*, 2010, 31(12): 2981-2987.
- [21] Jia J Y, Zhang Y, Cai X B, Liu X J. A dynamic changes of wet deposition of nitrogen in southeast Tibet: taking Linzhi experiment station as an example. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(4): 1907-1913.
- [22] Yang D Q, Jiang T, Zhang Y S, Kang E S. Analysis and correction of errors in precipitation measurement at the head of Urumqi River, Tianshan. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 1988, 10(4): 384-399.
- [23] Zhao Z P, Tian L D, Fischer E, Li Z Q, Jiao K Q. Study of chemical composition of precipitation at an alpine site and a rural site in the Urumqi River Valley, Eastern Tien Shan, China. *Atmospheric Environment*, 2008, 42(39): 8934-8942.
- [24] Wang S J, Zhang M J, Wang F T, Li Z Q. Atmospheric nitrogen deposition in the glacier regions of Northwest China: a case study of Glacier No. 1 at the headwaters of Urumqi River, Tianshan Mountains. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(3): 777-785.
- [25] Jia J Y. *Study of Atmospheric Wet Deposition of Nitrogen in Tibetan Plateau [D]*. Nyingchi: Tibet University, 2008.
- [26] Li Z Q. *Progress and Application of Research on Glacier No. 1 at Headwaters of Urumqi River, Tianshan, China*. Beijing: China Meteorological Press, 2011: 82-109.
- [27] Han T D. Instruction of hydrological and meteorological data of Tianshan Glaciological Station (2004/2005) // Li Z Q. *Annual Report of Tianshan Glaciological Station, CAREERI, CAS (Vol 18, 2005—2006)*. Lanzhou: Tianshan Glaciological Station, 2009: 24-39.
- [28] Han T D. Instruction of hydrological and meteorological data of Tianshan Glaciological Station (2005/2006) // Li Z Q. *Annual Report of Tianshan Glaciological Station, CAREERI, CAS (Vol 18, 2005—2006)*. Lanzhou: Tianshan Glaciological Station, 2009: 40-55.
- [29] Han T D, Ye B S. Instruction of hydrological and meteorological data of Tianshan Glaciological Station (2004) // Li Z Q. *Annual Report of Tianshan Glaciological Station, CAREERI, CAS (Vol 17, 2003—2004)*. Lanzhou: Tianshan Glaciological Station, 2007: 205-220.
- [30] Shen Z L, Liu Q, Zhang S M. Distribution, variation and removal patterns of total nitrogen and organic nitrogen in the Changjiang River.

Oceanologia Et Limnologia Sinica, 2003, 34(6): 577-585.

- [31] Gao W H. Study on total dissolved solid and suspended sediment in the glacier runoff at the headwaters of Urumqi River [D]. Lanzhou: Northwest Normal University, 2011.
- [32] Hu S X, Zhang J E, Ma Y Z, Wang N A, Zhang Y T, Liu C H. Formation and evolution of alpine soils and the glacier environment changes of Central Tianshan Mountains. Acta Pedologica Sinica, 1998, 35(2): 243-253.
- [33] Liu X J, Duan L, Mo J M, Du E Z, Shen J L, Lu X K, Zhang Y, Zhou X B, He C E, Zhang F S. Nitrogen deposition and its ecological impact in China: an overview. Environmental Pollution, 2011, 159(10): 2251-2264.
- [34] Xu M, Lü A H, Xu F, Wang B. Seasonal chemical composition variations of wet deposition in Urumchi, Northwestern China. Atmospheric Environment, 2008, 42(5): 1042-1048.
- [35] Li J G, Li J. Analysis on chemic characteristics of atmospheric precipitation in Urumqi. Arid Environmental Monitoring, 2006, 20(4): 227-230.
- [36] Liu F J, Williams M, Cheng G D, Zhu S S, Wang C Z, Han T D. Hydrochemical process of snowmelt and stream water in Urumqi River, Tianshan Mountains. Journal of Glaciology and Geocryology, 1999, 21(3): 213-219.
- [37] Sun J Y, Qin D H, Ren J W, Li Z Q, Hou S G. A study of water chemistry and aerosol at the headwaters of the Urumqi River in the Tianshan Mountains. Journal of Glaciology and Geocryology, 2002, 24(2): 186-191.

参考文献:

- [10] 陈法锦, 贾国东. 北江流域氮收支估算. 热带地理, 2009, 29(1): 11-15.
- [11] 陈能汪, 洪华生, 张珞平. 九龙江流域氮的源汇时空模式与机理初探. 环境科学学报, 2009, 29(4): 830-839.
- [13] 张金霞, 曹广民. 高寒草甸生态系统氮素循环. 生态学报, 1999, 19(4): 509-513.
- [14] 肖桐, 齐永青, 王军邦. 基于降水和径流的长江源头氮素收支研究. 生态学报, 2010, 30(19): 5404-5412.
- [15] 朱道清. 中国水系辞典 (修订版). 青岛: 青岛出版社, 2007: 652-660.
- [16] 焦克勤, 井哲帆, 韩添丁, 杨惠安, 叶柏生, 李忠勤. 42a 来天山乌鲁木齐河源 1 号冰川变化及趋势预测. 冰川冻土, 2004, 26(3): 253-260.
- [17] 刘光琇, 安黎哲, 陈桂琛. 乌鲁木齐河上游植被与环境关系研究. 兰州: 兰州大学出版社, 2004: 1-96.
- [18] 康尔泗, 程国栋, 董增川. 中国西北干旱区冰雪水资源与出山径流. 北京: 科学出版社, 2002: 1-304.
- [20] 黄来明, 杨金玲, 张甘霖. 我国亚热带丘陵地区流域氮素的平衡与源汇特征. 环境科学, 2010, 31(12): 2981-2987.
- [21] 贾钧彦, 张颖, 蔡晓布, 刘学军. 藏东南大气氮湿沉降动态变化——以林芝观测点为例. 生态学报, 2009, 29(4): 1907-1913.
- [22] 杨大庆, 姜彤, 张寅生, 康尔泗. 天山乌鲁木齐河源降水观测误差分析及其改正. 冰川冻土, 1988, 10(4): 384-399.
- [24] 王圣杰, 张明军, 王飞腾, 李忠勤. 中国西北典型冰川区大气氮素沉降量的估算——以天山乌鲁木齐河源 1 号冰川为例. 生态学报, 2012, 32(3): 777-785.
- [25] 贾钧彦. 西藏高原大气氮湿沉降研究 [D]. 林芝: 西藏大学, 2008.
- [26] 李忠勤. 天山乌鲁木齐河源 1 号冰川近期研究与应用. 北京: 气象出版社, 2011: 82-109.
- [27] 韩添丁. 天山冰川观测试验站水文气象资料整编说明 (2004/2005) // 李忠勤. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所天山冰川观测试验站年报 (第 18 卷, 2005—2006 年). 兰州: 天山冰川观测试验站, 2009: 24-39.
- [28] 韩添丁. 天山冰川观测试验站水文气象资料整编说明 (2005/2006) // 李忠勤. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所天山冰川观测试验站年报 (第 18 卷, 2005—2006 年). 兰州: 天山冰川观测试验站, 2009: 40-55.
- [29] 韩添丁, 叶柏生. 天山冰川观测试验站水文气象资料整编说明 (2004) // 李忠勤. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所天山冰川观测试验站年报 (第 17 卷, 2003—2004 年). 兰州: 天山冰川观测试验站, 2007: 205-220.
- [30] 沈志良, 刘群, 张淑美. 长江总氮和有机氮的分布变化与迁移. 海洋与湖沼, 2003, 34(6): 577-585.
- [31] 高文华. 乌鲁木齐河源冰川径流中总可溶性固体和悬移质泥沙研究 [D]. 兰州: 西北师范大学, 2011.
- [32] 胡双熙, 章家恩, 马玉贞, 王乃昂, 张宇田, 刘潮海. 天山中段冰川环境变迁与高山土壤的形成演化. 土壤学报, 1998, 35(2): 243-253.
- [35] 李建刚, 李军. 乌鲁木齐市大气降水的化学特征分析. 干旱环境监测, 2006, 20(4): 227-230.
- [36] 刘风景, Williams M, 程国栋, 朱守森, 王纯足, 韩添丁. 天山乌鲁木齐河融雪和河川径流的水文化学过程. 冰川冻土, 1999, 21(3): 213-219.
- [37] 孙俊英, 秦大河, 任贾文, 李忠勤, 侯书贵. 乌鲁木齐河源区水体和大气气溶胶化学成分研究. 冰川冻土, 2002, 24(2): 186-191.

CONTENTS

Hyperspectral characteristics of typical subtropical trees at different levels of simulated acid rain	SHI Qilong, JIANG Hong, CHEN Jian, et al (5621)
Wind fields and the development of wind corridors in the urban metropolis of the Pearl River Delta	SUN Wu, WANG Yiming, WANG Yuelei, et al (5630)
Dynamics of canopy structure and understory light in montane evergreen broadleaved forest following a natural disturbance in North Guangdong	OU Yudian, SU Zhiyao (5637)
The influence of 4 species of preys on the development and fecundity of <i>Orius similis</i> Zheng	ZHANG Changrong, ZHI Junrui, MO Lifeng (5646)
Woody seedling regeneration in secondary succession of monsoon broad-leaved evergreen forest in Puer, Yunnan, Southwest China	LI Shuaifeng, LIU Wande, SU Jianrong, et al (5653)
Scale-dependent spatial variation of species abundance and richness in two mixed evergreen-deciduous broad-leaved karst forests, Southwest China	ZHANG Zhonghua, HU Gang, ZHU Jiedong, et al (5663)
The spatial heterogeneity of soil nutrients in a mid-subtropical <i>Castanopsis kawakamii</i> natural forest	SU Songjin, LIU Jinfu, HE Zhongsheng, et al (5673)
Effects of <i>Vetiveria zizanioides</i> L. growth on chemical and biological properties of copper mine tailing wastelands	XU Decong, ZHAN Jing, CHEN Zheng, et al (5683)
Effects of different irrigation regimes on characteristics of transpiring water-consumption of three desert species	SHAN Lishan, LI Yi, ZHANG Ximing, et al (5692)
The response of euhalophyte <i>Salicornia europaea</i> L. to different nitrogen forms	NIE Lingling, FENG Juanjuan, LÜ Sulian, et al (5703)
Dynamic analysis on spatial pattern of dominant tree species of cold-temperate coniferous forest in the succession process in the Pangquangou Nature Reserve	ZHANG Qindi, BI Runcheng, ZHANG Jintun, et al (5713)
Effects of AM fungi on the growth and nutrients of <i>Salvia miltiorrhiza</i> Bge. under different soil water and fertilizer conditions	HE Xueli, MA Li, MENG Jingjing, et al (5721)
The dynamics of soil respiration in a winter wheat field with plastic mulched-ridges and unmulched furrows	SHANGGUAN Yuxian, SHI Ripeng, HAN Kun, et al (5729)
Cattle dung composted by different methods had different effects on the growth and quality of soybean	GUO Liyue, LIU XueMei, ZHAN Lijie, et al (5738)
Nitrogen budget modelling at the headwaters of Urumqi River Based on the atmospheric deposition and runoff	WANG Shengjie, ZHANG Mingjun, WANG Feiteng, et al (5747)
Evaluating the ecosystem sustainability of circular agriculture based on the energy theory: a case study of the Xingyuan circular agriculture demonstration site in Fuqing City, Fujian	ZHONG Zhenmei, WENG Boqi, HUANG Qinlou, et al (5755)
Effects of cold exposure and recovery on viability and energy consumption in the sub-adult female giant spiny frogs (<i>Paa spinosa</i>)	LING Yun, SHAO Chen, XIE Zhigang, et al (5763)
A comparison of night-interruption on diapause-averting among two populations of the cotton bollworm, <i>Helicoverpa armigera</i>	CHEN Yuansheng, TU Xiaoyun, CHEN Chao, et al (5770)
Effects of soil erosion control measures on soil organic carbon and total nitrogen in a small watershed	ZHANG Yanjun, GUO Shengli, NAN Yafang, et al (5777)
Comparative analysis of Lugu Lake watershed ecosystem function under different management authorities	DONG Rencai, GOU Yaqing, LI Siyuan, et al (5786)
Relationship between fish community diversity and environmental factors in the Lianjiang River, Guangdong, China	LI Jie, LI Xinhui, JIA Xiaoping, et al (5795)
Effect of dissolved oxygen level on metabolic mode in juvenile crucian carp	ZHANG Wei, CAO Zhendong, FU Shijian (5806)
Community composition of net-phytoplankton and its relationship with the environmental factors at artificial reef area in Xiangshan Bay	JIANG Zhibing, CHEN Quanzhen, SHOU Lu, et al (5813)
Emergency appraisal on the loss of ecosystem service caused by marine reclamation: a case study in the Taozi Bay	LI Ruiqian, MENG Fanping (5825)
Assessing the visual quality of urban waterfront landscapes: the case of Hefei, China	YAO Yumin, ZHU Xiaodong, XU Yingbi, et al (5836)
Review and Monograph	
Advances in ecological genomics	SHI Yongbin, LI Junmin, JIN Zexin (5846)
Advances in studies of ecological effects of ocean acidification	WANG Siru, YIN Kedong, CAI Weijun, et al (5859)
Advances in feeding ecology of <i>Acartia</i>	HU Simin, LIU Sheng, LI Tao, et al (5870)
Research progress on ammonia-oxidizing microorganisms in estuarine ecosystem	ZHANG Qiufang, XU Jirong, SU Jianqiang, et al (5878)
Recent progress in research on neutrophilic, microaerophilic iron(II)-oxidizing bacteria	LIN Chaofeng, GONG Jun (5889)
A comparison study on primary production in typical low-latitude seas (South China Sea and Bay of Bengal)	LIU Huaxue, SONG Xingyu, HUANG Honghui, et al (5900)
Advances in leaf maximum carboxylation rate and its response to environmental factors	ZHANG Yanmin, ZHOU Guangsheng (5907)
10-years of bird habitat selection studies in mainland China: a review	JIANG Aiwu, ZHOU Fang, QIN Yue, et al (5918)
Scientific Note	
The effects of incubation temperature on embryonic metabolism and hatchling behavior in the Red-banded Snake, <i>Dinodon rufonotatum</i>	SUN Wenjia, YU Xiao, CAO Mengjie, et al (5924)
Sensitivity analysis and dynamics of soil microbial biomass carbon, nitrogen and related parameters in red-yellow soil of tea garden with different fertilization practices	WANG Limin, QIU Shanlian, LIN Xinjian, et al (5930)
Effect of fertilizers on Cd uptake of two edible amaranthus herbs	LI Ningyu, LI Zhian, ZHUANG Ping, et al (5937)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究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;新书评介和学术、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,300 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 32 卷 第 18 期 (2012 年 9 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 18 (September, 2012)

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:1000717	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 70.00 元