

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第31卷 第21期 Vol.31 No.21 **2011**

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



生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

中国科学院科学出版基金资助出版

第 31 卷 第 21 期 2011 年 11 月 (半月刊)

目 次

基于景观格局理论和理想风水模式的藏族乡土聚落景观空间解析——以甘肃省迭部县扎尕那村落为例·····	史利莎,严力蛟,黄璐,等 (6305)
武夷山风景名胜区景观生态安全度时空分异规律·····	游巍斌,何东进,巫丽芸,等 (6317)
旅游地道路生态持续性评价——以云南省玉龙县为例·····	蒋依依 (6328)
城市空间形态紧凑度模型构建方法研究·····	赵景柱,宋瑜,石龙宇,等 (6338)
丹顶鹤多尺度生境选择机制——以黄河三角洲自然保护区为例·····	曹铭昌,刘高焕,徐海根 (6344)
西南喀斯特区域水土流失敏感性评价及其空间分异特征·····	凡非得,王克林,熊鹰,等 (6353)
流域尺度海量生态环境数据建库关键技术——以塔里木河流域为例·····	高凡,闫正龙,黄强 (6363)
雌雄异株植物鼠李的生殖分配·····	王娟,张春雨,赵秀海,等 (6371)
长白山北坡不同年龄红松年表及其对气候的响应·····	王晓明,赵秀海,高露双,等 (6378)
不同高寒退化草地阿尔泰针茅种群的小尺度点格局·····	赵成章,任珩,盛亚萍,等 (6388)
残存银杏群落的结构及种群更新特征·····	杨永川,穆建平, TANG Cindy Q, 等 (6396)
濒危植物安徽羽叶报春两种花型的繁育特性及其适应进化·····	邵剑文,张文娟,张小平 (6410)
神农架海拔梯度上 4 种典型森林的乔木叶片功能性状特征·····	罗璐,申国珍,谢宗强,等 (6420)
不同植被恢复模式下煤矸石山复垦土壤性质及煤矸石风化物的变化特征·····	王丽艳,韩有志,张成梁,等 (6429)
火烧对黔中喀斯特山地马尾松林分的影响·····	张喜,崔迎春,朱军,等 (6442)
内蒙古高原锦鸡儿属植物的形态和生理生态适应性·····	马成仓,高玉葆,李清芳,等 (6451)
古尔班通古特沙漠西部梭梭种群退化原因的对比分析·····	司朗明,刘彤,刘斌,等 (6460)
白石砬子国家级自然保护区天然林的自然稀疏·····	周永斌,殷有,殷鸣放,等 (6469)
黑龙江省东完达山地区东北虎猎物种群现状及动态趋势·····	张常智,张明海 (6481)
基于 GIS 的马铃薯甲虫扩散与河流关系研究——以新疆沙湾县为例·····	李超,张智,郭文超,等 (6488)
2010 年广西兴安地区稻纵卷叶螟发生动态及迁飞轨迹分析·····	蒋春先,齐会会,孙明阳,等 (6495)
B 型烟粉虱对寄主转换的适应性·····	周福才,李传明,顾爱祥,等 (6505)
利用 PCR-DGGE 方法分析不同鸡群的盲肠微生物菌群结构变化·····	李永洙, Yongquan Cui (6513)
鸡粪改良铜尾矿对 3 种豆科植物生长及基质微生物量和酶活性的影响·····	张宏,沈章军,阳贵德,等 (6522)
铜绿微囊藻对紫外辐射的生理代谢响应·····	汪燕,李珊珊,李建宏,等 (6532)
10 种常见甲藻细胞体积与细胞碳、氮含量的关系·····	王燕,李瑞香,董双林,等 (6540)
冬季太湖表层底泥产毒蓝藻群落结构和种群丰度·····	李大命,孔繁翔,于洋,等 (6551)
城市机动车道颗粒物扩散对绿化隔离带空间结构的响应·····	蔺银鼎,武小刚,郝兴宇,等 (6561)
新疆城镇化与土地资源产出效益的空间分异及其协调性·····	杨宇,刘毅,董雯,等 (6568)
山东潍坊地下水硝酸盐污染现状及 $\delta^{15}\text{N}$ 溯源·····	徐春英,李玉中,李巧珍,等 (6579)
增温对宁夏引黄灌区春小麦生产的影响·····	肖国举,张强,张峰举,等 (6588)
一种估测小麦冠层氮含量的新高光谱指数·····	梁亮,杨敏华,邓凯东,等 (6594)
黄河上游灌区稻田 N_2O 排放特征·····	张惠,杨正礼,罗良国,等 (6606)
专论与综述	
植物源挥发性有机物对氮沉降响应研究展望·····	黄娟,莫江明,孔国辉,等 (6616)
植物种群更新限制——从种子生产到幼树建成·····	李宁,白冰,鲁长虎 (6624)
研究简报	
遮荫对两个基因型玉米叶片解剖结构及光合特性的影响·····	杜成凤,李潮海,刘天学,等 (6633)
学术信息与动态	
科学、系统与可持续性——第六届工业生态学国际大会述评·····	石海佳,梁赛,王震,等 (6641)
期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 340 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 37 * 2011-11	



封面图说: 鹤立——丹顶鹤是世界 15 种鹤数量极小的一种,主要栖息在沼泽、浅滩、芦苇塘等湿地,以捕食小鱼虾、昆虫、蛙蚺、软体动物为主,也吃植物的根茎、种子、嫩芽。善于奔驰飞翔,喜欢结群生活。丹顶鹤属迁徙鸟类,主要在我国的黑龙江、吉林、俄罗斯西伯利亚东部、朝鲜北部以及日本等地繁殖。在长江下游一带越冬。在中国文化中有“仙鹤”之说。被列为中国国家一级重点保护野生动物名录,濒危野生动植物种国际贸易公约绝对保护的 CITES 附录一物种名录。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

徐春英,李玉中,李巧珍,王利民,董一威,贾小妨. 山东潍坊地下水硝酸盐污染现状及 $\delta^{15}\text{N}$ 溯源. 生态学报, 2011, 31 (21): 6579-6587.

Xu C Y, Li Y Z, Li Q Z, Wang L M, Dong Y W, Jia X F. Nitrate contamination and source tracing from NO_3^- - $\delta^{15}\text{N}$ in groundwater in Weifang, Shandong Province. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31 (21): 6579-6587.

山东潍坊地下水硝酸盐污染现状及 $\delta^{15}\text{N}$ 溯源

徐春英¹, 李玉中^{1,*}, 李巧珍¹, 王利民², 董一威¹, 贾小妨³

(1. 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所/农业部旱作节水农业重点开放实验室, 北京 100081;

2. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081; 3. 北京市通州区张家湾镇政府, 北京 101113)

摘要:采用均匀布点选取了山东潍坊居民区、粮田和蔬菜种植区等区域地下水为研究对象,分析了地下水硝态氮含量及污染来源,结果表明:潍坊地区地下水硝态氮平均含量为 28.1 mg/L,按照国家地下水质量标准 (GB/T 14848—93) 属于Ⅲ类水;饮用井水硝态氮平均含量为 23.3 mg/L,最高值达到了 150 mg/L,对国家饮用水标准 (10 mg/L) 超标率高达 73.5%,严重超标率达 50%;不同土地利用方式下地下水硝态氮含量不同,设施蔬菜种植区最高,其次是露地蔬菜种植区,小麦-玉米种植区地下水硝态氮含量较低,但都超过了 WHO 饮用水中硝酸盐的最大允许含量 50 mg/L 的规定 (折合为硝态氮 11.3 mg/L);硝酸盐与水质离子之间的相关性以及水质分析相关的派珀图分析显示地下水硝酸盐污染与氮肥施用有关;根据硝酸盐 $\delta^{15}\text{N}$ 的稳定同位素溯源分析,潍坊地区地下水硝酸盐 41.5% 来自于化肥,14.6% 来自于生活污水,其他是来自化肥、生活污水和家畜粪尿的混合污染。综上,潍坊市地下水硝酸盐污染非常严重,已经对当地居民的身体健康造成了潜在的威胁;因此,亟需从源头控制做起,减少肥料的过量投入和生活污水的随意排放,以控制硝酸盐的继续污染及改善当地水环境。

关键词:地下水;硝态氮;污染; $\delta^{15}\text{N}$;溯源

Nitrate contamination and source tracing from NO_3^- - $\delta^{15}\text{N}$ in groundwater in Weifang, Shandong Province

XU Chunying¹, LI Yuzhong^{1,*}, LI Qiaozhen¹, WANG Limin², DONG Yiwei¹, JIA Xiaofang³

1 Key Laboratory of Dryland Agriculture, Ministry of Agriculture in China, Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China

2 Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China

3 Zhangjiawan Township Government, Tong Zhou District, Beijing 101113, China

Abstract: People in many regions worldwide are entirely dependent on groundwater resources for their water supply. More than 1.5 billion people rely mainly on groundwater for drinking water. In China, groundwater is a necessary and irreplaceable resource, which is important for quality of life as well as for economic and social development. In some cities and rural areas, groundwater is often the only source of drinking water, especially in north China such as Shandong Province.

Contamination by various pollutants might render groundwater unsuitable for consumption and therefore have negative consequences for human and animal life as well as the whole environment. Nitrate is the most frequent pollutant introduced into groundwater systems, and high nitrate levels exceeding 50 mg/L can damage human health. Nitrate pollution usually originates from non-point sources, such as intensive agriculture areas and unsewered sanitation in densely populated regions, or point sources such as irrigation of land by sewage effluent. To protect groundwater as a drinking water source

基金项目:国家重大专项课题 (2008ZX07425-001); 国家科技支撑课题 (2011BAD32B03); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目; JICA 可持续农业技术项目

收稿日期: 2010-12-31; 修订日期: 2011-06-20

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: liyz@ieda.org.cn

and provide a reference that can be used to improve the water environment, we investigated nitrate pollution in Weifang Shandong province, which is famous as protected land where vegetables are produced in China.

We used a uniform sampling method to collect ground water in residential areas, grain and vegetable planting areas and others areas in Weifang district, Shandong Province. The nitrate content of the water was analyzed and the source identified. The results showed that the average NO_3^- -N content of groundwater from 56 wells was 28.1 mg/L, which therefore belong to Class III according to national water quality standards (GB/T 14848—93). The average NO_3^- -N content in drinking water was 23.3 mg/L, which exceeded the maximum permissible nitrate limit for drinking water of 50 mg/L (11.3 mg/L nitrate-nitrogen) recommended by the World Health Organization (WHO). The maximum nitrate-nitrogen content reached 150 mg/L. Compared with the Chinese drinking water standard (10 mg/L), the proportion exceeding the standard value was up to 73.5%, and 50% of the drinking water exceeded 20 mg/L in drinking wells. There was variation in the content of nitrate-nitrogen among different land uses including greenhouse vegetable planting areas, open-field vegetable planting areas and wheat/maize planting areas. The average nitrate-nitrogen was 62.4 mg/L. It was highest in the greenhouse vegetable planting fields, which was almost twice the average value in open-field vegetable planting areas, and lowest in the wheat-corn cropping fields. However, the average for all of the land use types exceeded the maximum permissible limit for drinking water recommended by the WHO. There was a highly significant correlation between NO_3^- and Ca^{2+} , and a significant correlation between NO_3^- and Mg^{2+} . This indicates that the nitrate source was associated with excessive nitrogen fertilizer use in the fields. The Piper diagram obtained from the ions of the water also indicated that the nitrate was associated with human activities, such as fertilizer application and sewage discharge. The $\delta^{15}\text{N}$ in nitrate was analyzed, and the results showed that 41.5% of nitrate was from fertilizer, and 14.6% from sewage, and the remainder from fertilizer, sewage and livestock manure in the groundwater in Weifang district. The nitrate contamination of groundwater in Weifang is a serious problem which has compromised the health of the local population. Therefore, it is very urgent to decrease the contamination and particularly the excessive fertilizer inputs to improve the local water environment. Our results suggest that there is a need to develop eco-friendly approaches for the protection of the water environment.

Key Words: groundwater; nitrate-nitrogen; contamination; $\delta^{15}\text{N}$; source tracing; Weifang

地下水是我国经济和社会发展以及人民生活所必需的、不可替代的重要资源^[1]。全世界超过 15 亿的人口主要依靠地下水作为饮用水^[2]。我国部分城市和广大农村地区,地下水往往是唯一的供水水源^[3-4]。近些年来,硝态氮污染地下水已是国际上普遍关注的问题。欧美许多国家和地区都存在地下水硝态氮含量严重超标的现象,尤其是在集约化农区^[5-8]。我国许多地区也在不同程度上受到了硝态氮的污染,尤其是农村地区硝态氮污染非常普遍,且有日益严重的趋势^[9-13]。硝态氮本身对人体虽无直接危害,但被还原为亚硝态氮后却可诱发高铁血红蛋白症、消化系统癌症等疾病而威胁人体健康^[14-16]。因此,为保证供水安全,有效治理被污染的地下水,确定地下水中硝态氮污染的来源非常重要。

已有研究表明:农业生产尤其是蔬菜种植与地下水硝态氮含量超标有很大的联系^[17-24],潍坊市是山东半岛经济开放区,是山东省农副产品的集中产区之一,包括寿光在内是我国重要的蔬菜生产基地,因此了解潍坊地区地下水硝酸盐污染状况非常重要。本文就整个潍坊市地下水硝态氮含量情况及污染来源进行了分析,为进行硝酸盐污染治理及改善当地水环境、保障当地饮用水安全提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

以华北平原典型集约化农作物种植区——山东省潍坊市为研究区域。潍坊市位于山东半岛中部,地跨北纬 $35^{\circ}41'$ 至 $37^{\circ}26'$,东经 $118^{\circ}10'$ 至 $120^{\circ}01'$,总面积 1.58 万 km^2 。全市地势南高北低,南部是山区和丘陵,中部是平原,北部是沿海滩涂,总耕地面积 70.27 万 hm^2 。全境属暖温带季风区大陆性气候,四季分明,年平均

气温 $12.3\text{ }^{\circ}\text{C}$, 无霜期 200 d 左右, 年积温 $4700\text{ }^{\circ}\text{C}$, 年平均降雨量 650 mm 以上, 自然条件良好。主要种植作物为小麦、玉米、大棚蔬菜、露地蔬菜等。

1.2 样品的采集

2009 年 9 月至 10 月, 在潍坊市辖四区及 8 个郊区县选择集约化农业种植程度高的粮田、蔬菜种植区为调查对象, 采用均匀布点的网格法取样, 共取样 56 个, 包括饮用水井和灌溉水井。主要采集地下水样本(图 1), 进行硝酸盐污染状况研究, 并选择取样周边农户进行调查。样品采集利用 GPS 系统精确定位, 并填写登记表, 注明编号、日期、采样时间、井深、周围主要种植分布等相关说明, 以便进行分析。取样时, 用细绳拴着不锈钢的小吊桶沉入水井中, 取上层水(水面以下 0—1 m 内), 水样取出后立即放入 500 mL 深色塑料瓶中, 密封, 标签标记, 带回实验室放入冰箱中冻存, 待测定。

1.3 样品测定

测定前一天, 将样品取出解冻, 若有浑浊, 则用滤纸过滤直至澄清。采用连续流动注射分析法(FLOW INJECTION ANALYSIS, FIA)测定水样中的 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量; 采用离子色谱仪(戴安 ICS3000)测定钠离子、钾离子、钙离子、镁离子、氯离子、硫酸根离子; 碳酸氢根离子采用稀硫酸-甲基橙滴定方法测定; NO_3^- 通过离子交换色层法转化为 AgNO_3 后, 经 TC-EA 在线转化为 N_2 引进同位素比值质谱仪(Elementar-Isoprime100)进行 $\delta^{15}\text{N}\text{-NO}_3^-$ 的测定具体步骤见参考文献^[25]。

1.4 评价标准

地下水硝态氮污染评价标准: WHO 对饮用水中硝酸盐的最大允许含量规定为 50 mg/L(折合为硝态氮 11.3 mg/L), 中华人民共和国国家标准地下水质量标准(GB/T 14848-93)中规定了硝态氮(mg/L)的分级标准如下: ≤ 2.0 为 I 类水, ≤ 5.0 为 II 类水, ≤ 20 为 III 类水, ≤ 30 为 IV 类水, > 30 为 V 类水。为使饮用水硝态氮含量的评估标准与国际标准接轨, 根据刘宏斌等的分级方法^[26], 依硝态氮含量(mg/L)将地下水质量分为如下 5 个等级: ≤ 2.0 为优级, 2—5 为良级, 5—10 为达标, > 10 为超标, 其中 > 20 为严重超标(国标)。在本文中超标率按照 WHO 标准计算, 严重超标率按照国标计算。

1.5 数据处理

采用 SPSS16.0 统计软件和 Excel 进行数据处理与统计分析。

2 结果与分析

2.1 潍坊市地下水硝酸盐污染状况

2.1.1 硝态氮含量分布特征

从调查结果来看, 潍坊市农村地区地下水硝态氮污染已经非常严重(表 1), 56 眼调查井水的硝态氮含量平均为 28.1 mg/L, 超过 WHO 制定的硝酸盐 50 mg/L 的限量标准含量(折合硝态氮 11.3 mg/L), 最小值是 1.82 mg/L, 最高值为 150 mg/L。按照 2.3 所述标准, 达标率为 26.8%, 其中 3.6% 的水质达到优级, 14.3% 的水质达到良级, 8.9% 的水质达到达标水平; 超标率为 73.2%, 严重超标率为 48.3%。按照中国地下水含量安全饮用标准, 地下水水质较差, 达标率为 51.7%, 其中 I 类、II 类、III 类、IV 类、V 类水分别为 3.6%、14.3%、33.9%、14.3%、33.9%; 而且 III 类水已经高达 33.9%, 如果农田面源污染控制不合理, 这部分水很容易向 IV 类转化。56 个样品中, 饮用水井有 34 个, 硝态氮平均含量为 23.3 mg/L, 有 25 个超过 10 mg/L, 超标率达 73.5%, 严重超标率达 50%, 饮用水硝态氮污染非常严重, 对当地居民的身体健康造成了严重的威胁。

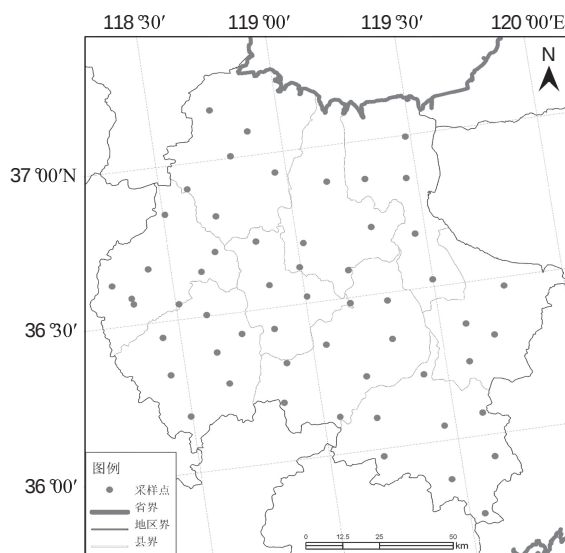


图 1 地下水样采集图(潍坊)

Fig. 1 The map of sampling locations (In Weifang)

表 1 不同用途水井及不同土地利用类型地下水硝态氮含量

Table 1 NO₃-N content of groundwater under different farmlands and different wells

类型 Type	取样个数 Sample number	硝态氮平均值 Average of NO ₃ -N content /(mg/L)	标准差 SD	变异系数 CV%	最大值 Max. /(mg/L)	硝态氮含量分布频率 Distribution frequency of NO ₃ -N content/%			
						≤ 2 /(mg/L)	2—5 /(mg/L)	5—10 /(mg/L)	>10 (>20 mg/L)
灌溉井水 Irrigating water	26 *	33.1	36.3	109.7	150.0	3.8	15.4	7.7	73.1(46.2)
饮用井水 Drinking water	34 *	23.3	29.4	126.3	150.0	5.9	11.8	8.8	73.5(50)
露地蔬菜 Open field vegetables	12	32.1	14.0	43.7	51.3	0.0	0.0	0.0	100.0(66.7)
温室蔬菜 Greenhouse vegetables	13	61.4	38.3	62.4	150.0	0.0	0.0	0.0	100.0(92.3)
小麦-玉米种植 Wheat-maize cropping	19	11.4	7.6	66.6	26.2	5.3	21.1	15.8	57.9(15.8)
其他 Others	12	14.7	15.3	104.0	55.1	8.3	25.0	16.7	50.0(33.3)
总计/平均值 Total/average	56	28.1	29.0	103.0	150.0	3.6	14.3	8.9	73.2(48.2)

* 表示有的水井既是灌溉水井也是饮用水井;表中括号中的数值指硝态氮大于 20 mg/L 样品的分布频率

2.1.2 不同土地利用方式与硝态氮含量关系

取样过程中同时对土地利用方式做了调查,地下水样品采集区主要土地利用方式有露地蔬菜种植区,设施蔬菜种植区,小麦-玉米种植区,因大豆、棉花、果树等的种植区以及畜禽养殖区、居民生活区等区域取样较少,故在此统一列为其他方式。分析这些方式下地下水硝态氮含量(表 1),发现设施蔬菜和露地蔬菜这两种种植方式下地下水硝态氮含量全部超标,平均硝态氮含量最高的是设施蔬菜种植方式,高达 61.4 mg/L,并且变化幅度较大,变异系数为 62.4%,最小值是 39 mg/L,最大值是 150 mg/L;其次是露地蔬菜,地下水硝态氮平均含量高达 32.1 mg/L;其他方式平均硝态氮含量达到了 14.7 mg/L,最大值是果树区的地下水硝态氮含量 55.1 mg/L,而一个养鸡场的地下水硝态氮含量达到了 39.0 mg/L,取于饭店的样品其硝态氮含量是 26.5 mg/L,原因可能是果树栽培的高施肥量、畜禽粪尿以及居民区的生活污水影响了地下水硝态氮含量;小麦-玉米种植方式下地下水硝态氮含量最低,为 11.4 mg/L,但也超过了 WHO 对饮用水中硝态氮的允许含量 11.3 mg/L 的规定,19 个样品中有 11 个超标,超标率高达 57.9%,严重超标率达 15.8%,这说明在潍坊地区小麦-玉米种植方式下地下水也存在不同程度的硝态氮污染。这些结果与前人的研究结果趋势是一致的,但也存在差异^[22-24]。

2.2 地下水硝态氮污染来源分析

在人类活动影响下,地下水硝态氮来源复杂^[27-29],既有天然源,又有人为源,一般认为地下水中大量的硝酸盐氮主要来源于居民生活污水与垃圾粪便、化肥、工业废水、大气氮氧化物干湿沉降以及污水灌溉等。判断地下水 NO₃-N 污染源的方法很多,主要包括水质解析法、氮氧稳定同位素比值等方法。但是,由于使用一种方法很难判断特定的污染原因,所以要根据地域特征,并结合几种合适的方法来分析。

2.2.1 硝酸盐含量与水质离子的相关性分析

利用离子色谱仪分析了样品的钠离子、钾离子、钙离子、镁离子、碳酸氢根离子、氯离子、硫酸根离子、硝酸根离子,分析这些离子之间的关系,形成相关性矩阵(表 2)。从表 2 可以看出,钙离子与硝酸盐浓度极显著相关,相关系数是 0.687;镁离子、硫酸根离子与硝酸盐浓度显著相关,相关系数分别是 0.272 和 0.232;钠离子、钙离子、镁离子、氯离子都与硫酸根离子极显著相关,钠离子、钙离子、镁离子与氯离子极显著相关;这可能与当地农民大量施用硫酸铵、硫酸镁、硝酸铵、钙镁磷肥等肥料有关^[20,30],过量施用的肥料,尤其是氮肥不能被植物充分吸收,造成了土壤养分盈余,导致土壤中 NO₃⁻、SO₄²⁻、Cl⁻等在土壤中残留^[30],而这些离子经雨水与灌溉很容易发生淋洗污染地下水,这与这些离子之间显著相关是相吻合的,因此,可以推断出硝酸盐超标与氮肥

过量施用有关。

表 2 不同离子相关性分析

Table 2 The analysis of correlation between different ions

	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-
$\text{NO}_3^- - \text{N}$	-0.72	0.06	0.687 **	0.272 *	0.143	0.232 *	-0.005
Na^+		0.193	-0.049	0.669 **	0.796 **	0.714 **	-0.025
K^+			0.189	0.090	0.313 *	0.102	0.188
Ca^{2+}				0.318 **	0.343 **	0.432 **	-0.38
Mg^{2+}					0.740 **	0.745 **	-0.004
Cl^-						0.705 **	0.04
SO_4^{2-}							-0.068

2.2.2 地下水中各盐分离子特征解析

派珀图法也是水质调查分析中常用的一种直观的分析方法。派珀图是个网状的菱形,将菱形的各个边做轴表示所调查水样中各种溶解离子的百分数,该百分数是用当量的百分比表示。一般而言,地下水在地层流动的过程中其成分组成会受到外界的不同程度的各种影响。受人为活动影响小的时候是顺着图中 I 的方向,受人为影响大的时候多是顺着 III 的方向变化,因此,可以根据地下水质的空间性、时间性的变化进行解析,从而推断污染原因^[31]。将样品中钠离子、钾离子、钙离子、镁离子、碳酸氢根离子、氯离子、硫酸根离子、硝酸根离子浓度换算成当量百分比绘制派珀图(图 2)。从图 2 可以看出,多数样品的成分组成是顺着 III 的方向变化,因此可以推断多数地下水样品受人为活动影响较大,而在农业区域,人为活动较多是施肥(包括化肥和畜禽粪便等有机肥)与生活污水的排放,也就是说所取地下水样品多数受农业施肥与生活污水的影响较大。

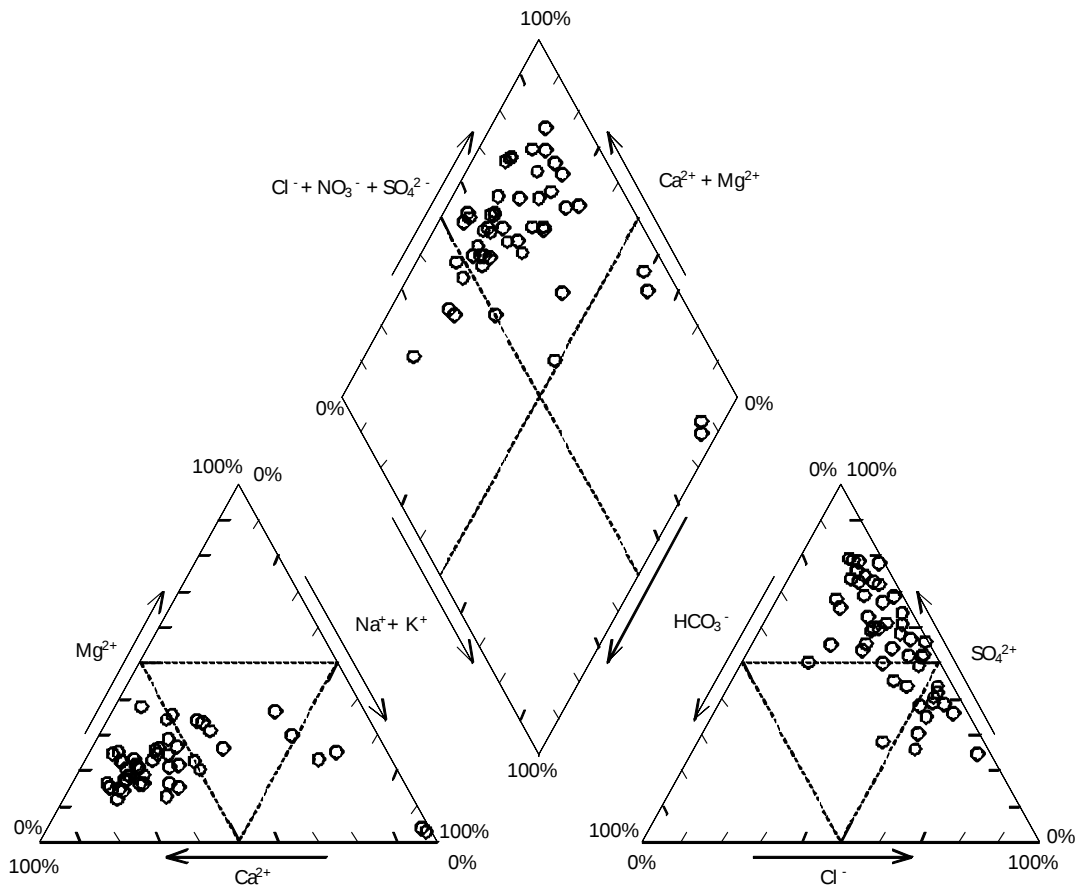


图 2 潍坊地区地下水派珀图

Fig. 2 The piper plot of groundwater in Weifang

2.2.3 硝态氮氮同位素组成特征及溯源

氮元素有两种稳定同位素:常见的 ^{14}N 和稀有的 ^{15}N ,在物理、化学和生物反应过程中它们因质量不同而发生同位素分馏。不同的污染源具有显著的氮同位素特征。56个样品中有41个硝态氮含量超过10 mg/L,根据2.2的方法,将这41个样品中的硝态氮转化为硝酸银,利用高温元素分析仪-稳定同位素质谱仪进一步分析氮稳定同位素 $\delta^{15}\text{N}$ 值,通过 $\delta^{15}\text{N}$ 值来确定硝态氮的污染来源。地下水 NO_3^--N 和 $\delta^{15}\text{N}$ 之间的关系见图3,地下水中硝酸盐的 $\delta^{15}\text{N}$ 值范围落在4.80‰—14.66‰

之间,平均值为7.83‰,标准偏差是2.2‰,变异系数为28.0%,而硝态氮含量和 $\delta^{15}\text{N}$ 值没有显著的相关关系。

根据以往的研究结果,不同来源的硝态氮其 $\delta^{15}\text{N}$ 范围大致为:降水-8‰—2‰,化学肥料-7.4‰—6.8‰,家畜粪尿为10‰—22‰,生活污水为8‰—15‰^[31];进一步可以理解为, $\delta^{15}\text{N}$ 介于10‰—15‰之间属于家畜粪尿和生活污水的混合污染, $\delta^{15}\text{N}$ 介于6.8‰—8‰之间属于降水、化学肥料、家畜粪尿、生活污水等的混合污染。

潍坊地区潜在的硝态氮污染源主要包括化学肥料(尿素、复合肥、二铵等)、生活污水、家畜粪尿(主要当作有机肥用)等。潍坊地区地下水56个样品中有41个硝态氮含量超过10 mg/L,其中有17个样品 $\delta^{15}\text{N}$ 值小于6.8‰,8个样品 $\delta^{15}\text{N}$ 值介于10‰—15‰之间,6个样品 $\delta^{15}\text{N}$ 介于8‰—10‰之间,10个样品 $\delta^{15}\text{N}$ 值介于6.8‰—8‰之间;根据这些不同人为来源硝酸盐污染源的 $\delta^{15}\text{N}$ 特征值以及测定的地下水中硝酸盐 $\delta^{15}\text{N}$ 值,结合研究区的农作物种植、施肥状况和周边环境,得出如下结论:潍坊区域地下水硝酸盐有41.5%来自于化肥,14.6%来自于生活污水,19.5%是家畜粪尿和生活污水的混合污染,24.4%是化肥、家畜粪尿、生活污水等的混合污染。综合以上结果认为潍坊地区地下水硝酸盐主要来自于化肥(贡献率是41.5%),生活污水和家畜粪尿有一定贡献,并且生活污水的贡献要大于家畜粪尿的贡献。

3 讨论

地下水是我国北方农业生产和当地居民生活饮用水的主要水源,一旦受到污染,将危及人民健康安全,且治理起来决非易事。这是因为进入地下水的硝酸盐污染物相当稳定,这种化学物质可以在浅层地下水中保留数十年。因此,加强预防,源头控制总是高于先污染后治理。源头控制是欧美等国对农业硝酸盐污染控制的主要措施。欧美等国家的经验显示,控制农业硝酸盐污染最有效的对策是切实抓好污染的源头控制。

从调查结果来看,潍坊地区56眼调查井水的硝态氮含量在1.82—150 mg/L之间,平均值是28.1 mg/L,超标率为73.2%,严重超标率为48.3%。饮用水硝态氮平均含量为23.3 mg/L,超标率达73.5%,严重超标率达50%,由此可见地下水硝态氮污染非常严重,对当地居民的身体健康造成了严重的威胁。分析不同土地利用方式与硝态氮含量关系表明,设施蔬菜种植区地下水硝态氮污染最严重,其次是露地蔬菜,第三是其他方式,最小是小麦-玉米种植区,这些不同土地利用方式下地下水平均硝态氮含量都超过了WHO对饮用水中硝态氮的允许含量11.3 mg/L的规定,设施蔬菜区硝态氮含量几乎是露地蔬菜区的两倍。据调查研究,潍坊设施蔬菜区化肥和有机肥的年投入量均远远高于露地栽培^[20,30],可能使得一些未被作物吸收利用的营养及肥料的副成分大量残留于土壤中,同时,设施栽培条件下温度高,水分易蒸发,因此灌溉量要大于露地栽培,这就使得大量的土壤盈余养分及肥料的副成分发生淋洗,污染了地下水,从而导致设施蔬菜区地下水硝态氮污染要远远超过露地蔬菜区。其他方式由于存在果园种植区和居民生活区,一方面果园种植区施肥量也较多,另一方面居民生活区的生活污水也是造成地下水硝态氮超标的原因^[23]。本研究中小麦-玉米种植区地下水硝态氮超标率高达57.9%,严重超标率达15.8%,超标率要远远高于Du、Song等的研究结果^[22-24],而与Liu等

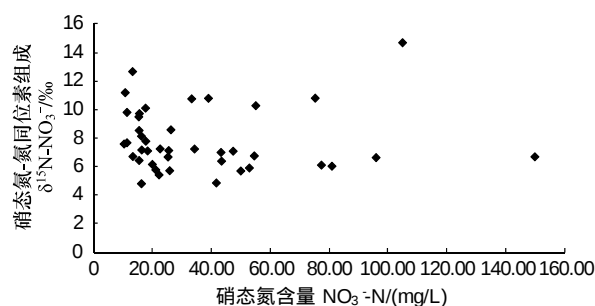


图3 硝态氮含量和氮同位素组成之间的关系

Fig. 3 Relationship between the content of NO_3^--N and $\delta^{15}\text{N}$

的研究结果相吻合^[32],这一方面可能是由于取样点存在差异,另一方面可能与地下水运移、补给等自然因素有关。GD Liu 认为地下水中硝态氮浓度的升高是一种多因子共同作用的结果^[32],因此,影响地下水中硝酸盐污染的自然和人为的因素都应该考虑和分析。

Kou 等研究表明小麦-玉米轮作、大棚蔬菜和果园种植体系下土壤中均有大量氮素盈余,并且均表现出硝酸盐的明显淋洗^[22];Liu 等研究表明设施蔬菜土壤中的碱解氮以硝态氮为主,土壤中大量硝酸盐积累,容易造成土壤盐渍化及土壤硝酸盐的淋洗,污染地下水^[20]。通过分析硝酸盐与水质各离子之间的相关性以及水质分析相关的派珀图,都可以推断出潍坊地区地下水硝酸盐超标与人为活动(主要是施肥)关系密切,这一结论与前人研究是相吻合的^[17-24,32-33];进一步通过超标地下水样品中的 NO_3^- - $\delta^{15}\text{N}$ 与不同来源的硝态氮 $\delta^{15}\text{N}$ 范围分析比较,结合研究区的农作物种植、施肥状况和周边环境,可以认为潍坊地区地下水硝酸盐污染主要来自于化肥污染(贡献率是 41.5%),生活污水和家畜粪尿有一定贡献,并且生活污水的贡献要大于家畜粪尿的贡献。

尽管在许多情况下利用 $\delta^{15}\text{N}$ 值能够有效识别不同来源的 NO_3^- ,但是该方法也有一定的局限性。首先,部分不同 NO_3^- 源的 $\delta^{15}\text{N}$ 特征值范围过大,存在一定重叠,如家畜粪尿为 10‰—22‰,生活污水为 8‰—15‰,因此有时仅凭 NO_3^- 的 $\delta^{15}\text{N}$ 值不能区分这两种截然不同的来源^[34];其次,在土壤环境中各种各样的反应和混合,氨的挥发、有机物和铵的硝化、硝态氮的脱氮等,这些现象都会使 $\delta^{15}\text{N}$ 值发生变化,从而影响有效识别 NO_3^- 源。近年来发展起来的 NO_3^- 的氧同位素溯源技术,尽管研究时间较短,不同来源 NO_3^- 的 $\delta^{18}\text{O}$ 特征值的研究还很有限,但在许多情况下仍可以弥补仅利用 NO_3^- 的 $\delta^{15}\text{N}$ 值识别其来源的不足。另外,应加大样品量与取样密度,这样可以更系统、全面地了解潍坊地区地下水硝酸盐污染状况与来源。

4 结论

(1)从调查结果来看,潍坊地区地下水硝态氮污染已经非常严重,56 眼调查井水的硝态氮含量平均为 28.1 mg/L,变化范围是 1.82 mg/L—150 mg/L 之间。饮用水井平均含量为 23.3 mg/L,超标率达 73.5%,严重超标率达 50%,污染非常严重,对当地居民的身体健康造成了严重的威胁。

(2)不同土地利用方式下地下水硝态氮含量不同,最高的是设施蔬菜种植区,其次是露地蔬菜种植区,小麦-玉米种植区地下水硝态氮含量较低,但都超过了 WHO 对饮用水中硝态氮的最大允许含量 11.3 mg/L 的规定(硝酸盐含量 50 mg/L)。

(3)采用离子相关性及水质派珀图分析都表明,地下水硝酸盐超标与氮肥施用有密切关系;采用硝酸盐 $\delta^{15}\text{N}$ 的稳定同位素溯源分析表明潍坊地区地下水硝酸盐主要来自于化肥(贡献率是 41.5%),生活污水和家畜粪尿有一定贡献,并且生活污水的贡献要大于家畜粪尿的贡献。因此,要降低地下水硝酸盐继续污染的风险,必须从源头控制做起,减少肥料(包括化学肥料和有机肥)的投入,同时也要规范与有效处理排放的生活污水。

References:

- [1] Xue Y Q, Zhang Y K. Twofold significance of groundwater pollution prevention in China's water pollution control. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2009, 29(3): 474-481.
- [2] Alley W M, Healy R W, LaBaugh J W, Reilly T E. Flow and storage in groundwater systems. *Science*, 2002, 296(5575): 1985-7990.
- [3] Jiang J J, Wen D G. Exploitation of groundwater resources reasonable to alleviate water shortage. *China Water Resources*, 2005, (13): 36-39.
- [4] Dai X Q, Liu C M, Li L J. Discussion and countermeasures on safe drinking water in the rural areas of China. *Acta Geographica Sinica*, 2007, 62(9): 907-912.
- [5] Goss M J, Barry D A J, Rudolph D L. Contamination in Ontario farmstead domestic wells and its association with agriculture: 1. Results from drinking water wells. *Journal of Contaminant Hydrology*, 1998, 32(3/4): 267-293.
- [6] Rajmohan N, Elango L. Nutrient chemistry of groundwater in an intensively irrigated region of southern India. *Environmental Geology*, 2005, 47(6): 820-830.
- [7] Thorburn P J, Biggs J S, Weier K L, Keating B A. Nitrate in groundwaters of intensive agricultural areas in coastal Northeastern Australia.

- Agriculture, Ecosystems and Environment, 2003, 94(1): 49-58.
- [8] Babiker I S, Mohamed M A A, Terao H, Kato K, Ohta K. Assessment of groundwater contamination by nitrate leaching from intensive vegetable cultivation using geographical information system. *Environment International*, 2004, 29(8): 1009-1017.
- [9] Zhang W L, Tian Z X, Zhang N, Li X Q. Investigation of nitrate pollution in ground water due to nitrogen fertilization in agriculture in north China. *Plant Nutrition and Fertilizing Science*, 1995, 1(2): 80-87.
- [10] Lu D Q, Tong Y A, Sun B H, Emteryd O. Study on effect of nitrogen fertilizer use on environment pollution. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 1998, 4(1): 8-15.
- [11] Ju X T, Kou C L, Zhang F S, Christie P. Nitrogen balance and groundwater nitrate contamination: comparison among three intensive cropping systems on the North China Plain. *Environmental Pollution*, 2006, 143(1): 117-125.
- [12] Liu H B, Li Z H, Zhang Y G, Zhang W L, Lin B. Nitrate contamination of groundwater and its affecting factors in rural areas of Beijing plain. *Acta Pedologica Sinica*, 2006, 43(3): 405-413.
- [13] Liu B X, Wang X Q, Liang C W, He W X. Survey on hygienic status of rural drinking water projects in Weifang City. *Occupation and Health*, 2009, 25(17): 1868-1869.
- [14] Gulis G, Czompolyova M, Cerhan J R. An ecologic study of nitrate in municipal drinking water and cancer incidence in Trnava District, Slovakia. *Environmental Research*, 2002, 88(3): 182-187.
- [15] Fu H M, Wang H H. Study on groundwater nitrate pollutions. *Journal of Luoyang Institute of science and technology(Natural Science Edition)*, 2009, 19(2): 13-16.
- [16] Zhang Q L, Wang H, Zhang L Q, Li J, Tang X Q. Influence on nitrate nitrogen pollution to health in the drinkable water. *Ground Water*, 2008, 30(1): 57-60.
- [17] Ramos C, Agut A, Lidón A L. Nitrate leaching in important crops of the Valencian Community region(Spain). *Environmental Pollution*, 2002, 118(2): 215-223.
- [18] Waddell J T, Gupta S C, Moncrief J F, Rosen C J, Steele D D. Irrigation-and nitrogen-management impacts on nitrate leaching under potato. *Journal of Environmental Quality*, 2000, 29(1): 251-261.
- [19] Stites W, Kraft G J. Nitrate and chloride loading to groundwater from an irrigated north-central U. S. sand-plain vegetable fields. *Journal of Environmental Quality*, 2001, 30(4): 1176-1184.
- [20] Liu Z H, Jiang L H, Zhang W J, Zheng F L, Wang M, Lin H T. Changes of soil nutrients in vegetable-greenhouse and its pollution to underground water. *Chinese Journal of Soil Science*, 2008, 39(2): 293-298.
- [21] Dong Z H, Li J, Sun L M. Nitrate contamination in the groundwater of intensive vegetable cultivation areas in Shouguang City, Shandong Province, China. *Journal of Agro-Environment Science*, 2005, 24(6): 1139-1144.
- [22] Kou C L, Ju X T, Zhang F S. Nitrogen balance and its effects on nitrate-N concentration of groundwater in three intensive cropping systems of north China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(4): 660-667.
- [23] Du L F, Zhao T K, Zhang C J, An Z Z, Wu Q, Liu B C, Li P, Ma M T. Investigation on nitrate pollution in soils, ground water and vegetables of three typical farmlands in Beijing Region. *Scientia Agricultura Sinica*, 2009, 42(8): 2837-2843.
- [24] Song X Z, Zhao C X, Li J, Wang X L, Wu G, Jaleel C A. Dynamic variation of nitrate-nitrogen content in groundwater under two different agricultural cropping systems. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(11): 5513-5520.
- [25] Jia X F, Li Y Z, Xu C Y, Li Q Z, Ni X J. A method for preparation nitrate in water samples for $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{18}\text{O}$ analysis-ion exchange chromatography. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2010, 26(16): 99-102.
- [26] Liu H B, Zhang Y G, Li Z H, Zhang W L, Lin B. Nitrate contamination of deep groundwater in rural plain areas of Beijing. *Acta Pedologica Sinica*, 2005, 42(3): 411-418.
- [27] Goss M J, Barry D A J, Rudolph D L. Contamination in Ontario farmstead domestic wells and its association with agriculture: 1. Results from drinking water wells. *Journal of Contaminant Hydrology*, 1998, 32(3/4): 267-293.
- [28] Fukada T, Hiscok K M, Dennis P F. A dual-isotope approach to the nitrogen hydrochemistry of an urban aquifer. *Applied Geochemistry*, 2004, 19(5): 709-719.
- [29] Hudak P F. Regional trends in nitrate content of Texas groundwater. *Journal of Hydrology*, 2000, 228(1/2): 37-47.
- [30] Zeng X B, Bai L Y, Su S M, Li L F. Acidification and salinization in greenhouse soil of different cultivating years from Shouguang City, Shandong. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(7): 1853-1859.
- [31] Zhao J C, Li Y Z, Ichiji Y, Xu C Y, Li Q Z, Jia X F. Summary on deduction and trace the source methods for ground water nitrate contamination. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2010, 26(18): 374-378.
- [32] Liu X Q, Xu J Y, Jiang L H, Huang J X, Wang L M, Liu J, Zou J Q. Spatial variability and distribution pattern of groundwater nitrate pollution in

farming regions of Shandong Province, China. *Journal of Agro-Environment Science*, 2010, 29(6): 1172-1179.

- [33] Liu G D, Wu W L, Zhang J. Regional differentiation of non-point source pollution of agriculture-derived nitrate nitrogen in groundwater in northern China. *Agriculture Ecosystem & Environment*, 2005, 107(2/3): 211-220.
- [34] Deng L, Cao Y Q, Wang W K. An overview of the study on nitrogen and oxygen isotopes of nitrate in groundwater. *Advances in Earth Science*, 2007, 22(7): 716-724.

参考文献:

- [1] 薛禹群, 张幼宽. 地下水污染防治在我国水体污染控制与治理中的双重意义. *环境科学学报*, 2009, 29(3): 474-481.
- [3] 姜建军, 文冬光. 合理开发利用地下水缓解水资源紧缺状况. *中国水利*, 2005, (13): 36-39.
- [4] 戴向前, 刘昌明, 李丽娟. 我国农村饮水安全问题探讨与对策. *地理学报*, 2007, 62(9): 907-912.
- [9] 张维理, 田哲旭, 张宁, 李晓齐. 我国北方农用氮肥造成地下水硝态氮污染的调查. *植物营养与肥料学报*, 1995, 1(2): 80-87.
- [10] 吕殿青, 同延安, 孙本华, Emteryd O. 氮肥施用对环境污染影响的研究. *植物营养与肥料学报*, 1998, 4(1): 8-15.
- [12] 刘宏斌, 李志宏, 张云贵, 张维理, 林葆. 北京平原农区地下水硝态氮污染状况及其影响因素研究. *土壤学报*, 2006, 43(3): 405-413.
- [13] 刘本先, 王晓倩, 梁成武, 贺维雪. 潍坊市农村饮水工程卫生现状调查. *职业与健康*, 2009, 25(17): 1868-1869.
- [15] 浮海梅, 王宏华. 浅谈地下水的硝酸盐污染. *洛阳理工学院学报(自然科学版)*, 2009, 19(2): 13-16.
- [16] 张庆乐, 王浩, 张丽青, 李静, 唐心强. 饮水中硝态氮污染对人体健康的影响. *地下水*, 2008, 30(1): 57-60.
- [20] 刘兆辉, 江丽华, 张文君, 郑福丽, 王梅, 林海涛. 设施菜地土壤养分演变规律及对地下水威胁的研究. *土壤通报*, 2008, 39(2): 293-298.
- [21] 董章杭, 李季, 孙丽梅. 集约化蔬菜种植区化肥施用对地下水硝酸盐污染影响的研究——以“中国蔬菜之乡”山东省寿光市为例. *农业环境科学学报*, 2005, 24(6): 1139-1144.
- [22] 寇长林, 巨晓棠, 张福锁. 三种集约化种植体系氮素平衡及其对地下水硝酸盐含量的影响. *应用生态学报*, 2005(4): 660-667.
- [23] 杜连凤, 赵同科, 张成军, 安志装, 吴琼, 刘宝存, 李鹏, 马茂亨. 京郊地区3种典型农田系统硝酸盐污染现状调查. *中国农业科学*, 2009, 42(8): 2837-2843.
- [24] 宋效宗, 赵长星, 李季, 王小兰, 吴钢, Jaleel C A. 两种种植体系下地下水硝态氮含量变化. *生态学报*, 2008, 28(11): 5513-5520.
- [25] 贾小妨, 李玉中, 徐春英, 李巧珍, 倪秀菊. 水样硝酸盐离子交换色层法氮、氧同位素分析预处理条件试验. *中国农学通报*, 2010, 26(16): 99-102.
- [26] 刘宏斌, 张云贵, 李志宏, 张维理, 林葆. 北京市平原农区深层地下水硝态氮污染状况研究. *土壤学报*, 2005, 42(3): 411-418.
- [30] 曾希柏, 白玲玉, 苏世鸣, 李莲芳. 山东寿光不同种植年限设施土壤的酸化与盐渍化. *生态学报*, 2010, 30(7): 1853-1859.
- [31] 赵解春, 李玉中, Ichiji Y, 徐春英, 李巧珍, 贾晓妨. 地下水硝酸盐污染来源的推断与溯源方法概述. *中国农学通报*, 2010, 26(18): 374-378.
- [32] 刘兴权, 许晶玉, 江丽华, 黄健熙, 王利民, 刘佳, 邹金秋. 山东省种植区地下水硝酸盐污染空间变异及分布规律研究. *农业环境科学学报*, 2010, 29(6): 1172-1179.
- [34] 邓林, 曹玉清, 王文科. 地下水中 NO_3^- 氮与氧同位素研究进展. *地球科学进展*, 2007, 22(7): 716-724.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 21 November, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Landscape spatial analysis of a traditional tibetan settlement based on landscape pattern theory and feng-shui theory; the case of Zhagana, Diebu, Gansu Province	SHI Lisha, YAN Lijiao, HUANG Lu, et al (6305)
Temporal-spatial differentiation and its change in the landscape ecological security of Wuyishan Scenery District	YOU Weibin, HE Dongjin, WU Liyun, et al (6317)
Evaluation of eco-sustainability of roads in a tourism area; a case study within Yulong County	JIANG Yiyi (6328)
Study on the compactness assessment model of urban spatial form	ZHAO Jingzhu, SONG Yu, SHI Longyu, et al (6338)
A multi-scale analysis of red-crowned crane's habitat selection at the Yellow River Delta Nature Reserve, Shandong, China	CAO Mingchang, LIU Gaohuan, XU Haigen (6344)
Assessment and spatial distribution of water and soil loss in karst regions, southwest China	FAN Feide, WANG Kelin, XIONG Ying, et al (6353)
Construction of an eco-environmental database for watershed-scale data; an example from the Tarim River Basin	GAO Fan, YAN Zhenglong, HUANG Qiang (6363)
Reproductive allocation in dioecious shrub, <i>Rhamnus davurica</i>	WANG Juan, ZHANG Chunyu, ZHAO Xiuhai, et al (6371)
Age-dependent growth responses of <i>Pinus koraiensis</i> to climate in the north slope of Changbai Mountain, North-Eastern China	WANG Xiaoming, ZHAO Xiuhai, GAO Lushuang, et al (6378)
Fine-scale spatial point patterns of <i>Stipa krylovii</i> population in different alpine degraded grasslands	ZHAO Chengzhang, REN Heng, SHENG Yaping, et al (6388)
Community structure and population regeneration in remnant <i>Ginkgo biloba</i> stands	YANG Yongchuan, MU Jianping, TANG Cindy Q., et al (6396)
Reproductive characteristics and adaptive evolution of pin and thrum flowers in endangered species, <i>Primula merrilliana</i>	SHAO Jianwen, ZHANG Wenjuan, ZHANG Xiaoping (6410)
Leaf functional traits of four typical forests along the altitudinal gradients in Mt. Shennongjia	LUO Lu, SHEN Guozhen, XIE Zongqiang, et al (6420)
Reclaimed soil properties and weathered gangue change characteristics under various vegetation types on gangue pile	WANG Liyan, HAN Youzhi, ZHANG Chengliang, et al (6429)
Influence of fire on stands of <i>Pinus massoniana</i> in a karst mountain area of central Guizhou province	ZHANG Xi, CHUI Yingchun, ZHU Jun, et al (6442)
Morphological and physiological adaptation of <i>Caragana</i> species in the Inner Mongolia Plateau	MA Chengcang, GAO Yubao, LI Qingfang, et al (6451)
A comparative study on reasons of degenerated of <i>Haloxylon ammodendron</i> population in the western part of Gurbantunggut desert	SI Langming, LIU Tong, LIU Bin, et al (6460)
Self-thinning of natural broadleaved forests in Baishilazi Nature Reserve ...	ZHOU Yongbin, YIN You, YIN Mingfang, et al (6469)
Population status and dynamic trends of Amur tiger's prey in Eastern Wandashan Mountain, Heilongjiang Province	ZHANG Changzhi, ZHANG Minghai (6481)
The relationship between the occurrence of Colorado Potato Beetle, <i>Leptinotarsa decemlineata</i> , and rivers based on GIS: a case study of Shawan Country	LI Chao, ZHANG Zhi, GUO Wenchao, et al (6488)
Occurrence dynamics and trajectory analysis of <i>Cnaphalocrocis medinalis</i> Guenée in Xing'an Guangxi Municipality in 2010	JIANG Chunxian, QI Huihui, SUN Mingyang, et al (6495)
Adaptability of B-biotype <i>Bemisia tabaci</i> (Gennadius) to Host Shift	ZHOU Fucui, LI Chuanming, GU Aixiang, et al (6505)
Structural change analysis of cecal bacterial flora in different poultry breeds using PCR-DGGE ...	LI Yongzhu, Yongquan Cui (6513)
Effect of chicken manure-amended copper mine tailings on growth of three leguminous species, soil microbial biomass and enzyme activities	ZHANG Hong, SHEN Zhangjun, YANG Guide, et al (6522)
Physiological response of <i>Microcystis</i> to solar UV radiation	WANG Yan, LI Shanshan, LI Jianhong, et al (6532)
Relationship between cell volume and cell carbon and cell nitrogen for ten common dinoflagellates	WANG Yan, LI Ruixiang, DONG Shuanglin, et al (6540)
The community structure and abundance of microcystin-producing cyanobacteria in surface sediment of Lake Taihu in winter	LI Daming, KONG Fanxiang, YU Yang, et al (6551)
Influence of green belt structure on the dispersion of particle pollutants in street canyons	LIN Yinding, WU Xiaogang, HAO Xingyu, et al (6561)
Spatio-temporal variation analysis of urbanization and land use benefit of oasis urban areas in Xinjiang	YANG Yu, LIU Yi, DONG Wen, et al (6568)
Nitrate contamination and source tracing from NO_3^- - $\delta^{15}\text{N}$ in groundwater in Weifang, Shandong Province	XU Chunying, LI Yuzhong, LI Qiaozhen, et al (6579)
The impact of rising temperature on spring wheat production in the Yellow River irrigation region of Ningxia	XIAO Guoju, ZHANG Qiang, ZHANG Fengju, et al (6588)
A new hyperspectral index for the estimation of nitrogen contents of wheat canopy	LIANG Liang, YANG Minhua, DENG Kaidong, et al (6594)
The feature of N_2O emission from a paddy field in irrigation area of the Yellow River	ZHANG Hui, YANG Zhengli, LUO Liangguo, et al (6606)
Review and Monograph	
Research perspective for the effects of nitrogen deposition on biogenic volatile organic compounds	HUANG Juan, MO Jiangming, KONG Guohui, et al (6616)
Recruitment limitation of plant population: from seed production to sapling establishment	LI Ning, BAI Bing, LU Changhu (6624)
Scientific Note	
Response of anatomical structure and photosynthetic characteristics to low light stress in leaves of different maize genotypes	DU Chengfeng, LI Chaohai, LIU Tianxue, et al (6633)

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 21 期 (2011 年 11 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 21 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		



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