

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第32卷 第8期 Vol.32 No.8 **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 8 期

2012 年 4 月 (半月刊)

目 次

东北地区 5 种阔叶树苗木对火烧的生理响应.....	王 荣, 胡海清 (2303)
梭梭木虱发生规律及其影响因子.....	李粉莲, 吴雪海, 王佩玲, 等 (2311)
基于遥感降尺度估算中国森林生物量的空间分布.....	刘双娜, 周 涛, 舒 阳, 等 (2320)
流域景观格局与河流水质的多变量相关分析.....	赵 鹏, 夏北成, 秦建桥, 等 (2331)
内蒙古达赉湖地区赤狐生境选择及生境景观特征分析.....	张洪海, 李成涛, 窦华山, 等 (2342)
雅鲁藏布江流域底栖动物多样性及生态评价.....	徐梦珍, 王兆印, 潘保柱, 等 (2351)
用组合模型综合比较的方法分析气候变化对朱鹮潜在生境的影响.....	翟天庆, 李欣海 (2361)
2010 年牧区 2 代草地螟成虫迁飞的虫源分析	张 丽, 张云慧, 曾 娟, 等 (2371)
基于细胞色素 b 基因的中国岩羊不同地理种群遗传差异分析.....	李楠楠, 刘振生, 王正寰, 等 (2381)
喀斯特峰丛洼地不同退耕还林还草模式的土壤微生物特性.....	鹿士杨, 彭晚霞, 宋同清, 等 (2390)
永定河沿河沙地杨树人工林生态系统呼吸特征.....	方显瑞, 张志强, 查同刚, 等 (2400)
基于湿地植物光谱的水体总氮估测.....	刘 克, 赵文吉, 郭逍宇, 等 (2410)
背瘤丽蚌 F 型线粒体基因组全序列分析	陈 玲, 汪桂玲, 李家乐 (2420)
流域“源-汇”景观格局变化及其对磷污染负荷的影响——以天津于桥水库流域为例	李崇巍, 胡 婕, 王 飒, 等 (2430)
线虫群落对抚顺煤矸石山周边土壤可溶性盐污染的响应.....	张伟东, 吕 莹, 肖 莹, 等 (2439)
地上竞争对林下红松生物量分配的影响.....	汪金松, 范秀华, 范 娟, 等 (2447)
湿地松和马尾松人工林土壤甲烷代谢微生物群落的结构特征.....	王 芸, 郑 华, 陈法霖, 等 (2458)
马尾松和杉木树干韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值对气象因子的响应	卢钰茜, 王振兴, 郑怀舟, 等 (2466)
沙坡头人工植被演替过程的土壤呼吸特征.....	高艳红, 刘立超, 贾荣亮, 等 (2474)
豫西刺槐能源林的热值动态.....	谭晓红, 刘诗琦, 马履一, 等 (2483)
铁皮石斛种子的室内共生萌发	吴慧凤, 宋希强, 刘红霞 (2491)
红光与远红光比值对温室切花菊形态指标、叶面积及干物质分配的影响	杨再强, 张继波, 李永秀, 等 (2498)
扑草净对远志幼苗根系活力及氧化胁迫的影响.....	温银元, 郭平毅, 尹美强, 等 (2506)
地表臭氧浓度增加和 UV-B 辐射增强及其复合处理对大豆光合特性的影响	郑有飞, 徐卫民, 吴荣军, 等 (2515)
AMF 对喀斯特土壤枯落物分解和对宿主植物的养分传递	何跃军, 钟章成, 董 鸣 (2525)
传统豆酱发酵过程中细菌多样性动态.....	葛菁萍, 柴洋洋, 陈 丽, 等 (2532)
定位施肥对紫色菜园土磷素状况的影响.....	孙倩倩, 王正银, 赵 欢, 等 (2539)
基于生态需水保障的农业生态补偿标准.....	庞爱萍, 孙 涛 (2550)
保障粮食安全造成的生态价值损失评估模型及应用.....	芦蔚叶, 姜志德, 张应龙, 等 (2561)
专论与综述	
疏浚泥用于滨海湿地生态工程现状及在我国应用潜力.....	黄华梅, 高 杨, 王银霞, 等 (2571)
问题讨论	
厌氧氨氧化菌群体感应系统研究.....	丁 爽, 郑 平, 张 萌, 等 (2581)
基于形态结构特征的洞庭湖湖泊健康评价.....	帅 红, 李景保, 夏北成, 等 (2588)
研究简报	
黄土高原不同树种枯落叶混合分解效应.....	刘增文, 杜良贞, 张晓曦, 等 (2596)
不同经营类型毛竹林土壤活性有机碳的差异.....	马少杰, 李正才, 王 斌, 等 (2603)
干旱对辣椒光合作用及相关生理特性的影响	欧立军, 陈 波, 邹学校 (2612)
硅和干旱胁迫对水稻叶片光合特性和矿质养分吸收的影响	陈 伟, 蔡昆争, 陈基宁 (2620)



封面图说: 红树林粗大的气生根——红树林是热带、亚热带海湾及河口泥滩上特有的常绿灌木或乔木群落。由于海水环境条件特殊, 红树林植物具有一系列特殊的生态和生理特征。其中之一就是气根, 红树从根部长出许多指状的气生根露出海滩地面, 以便在退潮时甚至潮水淹没时用以通气, 故称呼吸根。在中国, 红树林主要分布在海南、广西、广东和福建省沿海, 它一般分布于高潮线与低潮线之间的潮间带, 往往潮差越大, 红树的呼吸根就长得越高越粗大。

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

DOI: 10.5846/stxb201112151924

李崇巍, 胡捷, 王飒, 李璐. 流域“源-汇”景观格局变化及其对磷污染负荷的影响——以天津于桥水库流域为例. 生态学报, 2012, 32(8): 2430-2438.

Li C W, Hu J, Wang S, Li L. The source-sink landscape pattern change and its effect on phosphorus pollution in Yuqiao watershed. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(8): 2430-2438.

流域“源-汇”景观格局变化及其对磷污染负荷的影响 ——以天津于桥水库流域为例

李崇巍*, 胡 捷, 王 飒, 李 璐

(天津师范大学城市与环境科学学院, 天津 300387)

摘要: 基于 1999 年和 2009 年天津于桥水库流域两期 TM 遥感影像, 应用遥感解译和空间分析的方法, 分析了于桥水库流域“源-汇”景观格局变化特征, 通过磷污染过程模型对流域不同景观格局下的磷污染负荷进行空间模拟, 并采用情景模拟方法对磷污染空间变化进行了研究。结果表明: (1) 10a 来, 于桥水库流域“汇”型景观格局(林地和灌草地)面积比例减少了 18.44%, “源”型景观格局(耕地、园地、村镇及建筑)面积有不同程度的增加, 面积比例上升了 12.34%。(2) 流域不同的“源-汇”景观格局总磷污染负荷模拟值有明显差异。从 1999 年的 1.00 (kg/km²) 上升至 2009 年的 1.12 (kg/km²), 上升比例达 11%。“源”型景观格局总磷污染量, 由 1999 年的 0.98 (kg/km²) 上升至 2009 年的 1.49 (kg/km²), 上升幅度达 51.5%。(3) 3 个子流域对磷污染影响存在较大的空间异质性。其中淋河流域总磷负荷最高为 1.26 (kg/km²), 沙河流域总磷负荷为 1.14 (kg/km²), 黎河流域的总磷负荷量最低为 1.10 (kg/km²)。“源”型景观格局中淋河、沙河和黎河流域中农田景观的总磷量分别为 1.93 (kg/km²)、1.85 (kg/km²) 和 1.65 (kg/km²)。

关键词: 流域; 景观格局; 磷污染; 模拟

The source-sink landscape pattern change and its effect on phosphorus pollution in Yuqiao watershed

LI Chongwei*, HU Jie, WANG Sa, LI Lu

College of Urban and Environment Sciences, Tianjin Normal University, Tianjin 300387, China

Abstract: The relationship between source-sink landscape pattern and phosphorus pollution in Yuqiao watershed (Tianjin) was revealed by use of digital elevation model and phosphorus pollution spatial simulation model on the basis of remote sensing (RS) images interpretation. DEM data at the scale of 1:50000 were used to extract surface features, identify flow direction, calculate flow accumulation and extract river network in the whole basin using the hydrology module in the ArcGIS spatial analyst tool. Maximum like hood classification algorithm was used to extract land cover information for Yuqiao watershed from the TM images of 1999 and 2009 on which basis landscape change from 1999 to 2009 was statistically analyzed. Spatial distribution of phosphorus pollution in Yuqiao watershed under different landscape patterns were simulated by scenario approach. It is found that the area ratio of sink landscape types of forest, shrub and grass decreased 18.44% whereas that of source landscape types of cultivated land, orchard, built-up increased 12.34%. For the main sub-basins in Yuqiao watershed, namely, Li River, Sha River and Lin River, the area ratio of source landscape types to sink landscape types were 2.81:1, 1.82:1 and 0.85:1, respectively in 2009. The total phosphorus pollution of Yuqiao

基金项目: 国家自然科学基金项目(30970505); 天津应用基础研究计划资助项目(10JCZJC24500)

收稿日期: 2011-12-15; **修订日期:** 2012-03-15

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yllcw13@126.com

watershed increased significantly from 1.00 (kg/km^2) up to 1.12 (kg/km^2) from 1999 to 2009 when the total phosphorus pollution of source landscape has increased 51.5% from 0.98 (kg/km^2) to 1.49 (kg/km^2). Significant spatial heterogeneity of phosphorus pollution existed among the three sub-basins with the total phosphorus load in Lin River, Sha River and Li River being 1.26 (kg/km^2), 1.14 (kg/km^2) and 1.10 (kg/km^2), respectively. In sum, there were significant temporal and spatial heterogeneity between source-sink landscape pattern and phosphorus pollution in Yuqiao watershed.

Key Words: watershed; landscape; phosphorus pollution; model simulate

景观格局与生态过程的关系是景观生态学研究的主要议题。异质景观内不同的土地利用格局深刻影响着流域的径流和污染产生的过程,非点源污染物在异质性景观中的迁移过程受不同“源”、“汇”景观斑块的影响和控制。不同“源”、“汇”景观的数量比例和空间布局对地表水环境产生影响^[1-3]。异质性的景观格局对污染物起着截留调控的作用。污染物穿越不同的景观斑块进入河道过程中,植被不仅阻碍污染运输,还对污染进行持续滞留^[4]。在景观水平和斑块类型水平的不同尺度,斑块类型水平上景观格局对水质影响更为明显^[5]。不同的斑块特征对流域的水质的影响也有不同,“源”景观斑块(城市斑块)破碎化程度越高则对水质负面影响越大,而“源”景观斑块(林地)越为集中则越有利于促进水质改善^[6]。此外,“源”、“汇”景观的优势程度、聚集程度和破碎程度也显著地影响流域内水体质量^[7]。这些研究探索了流域尺度上景观格局与河流水质的关系,但对于较长时间尺度上异质性景观格局对流域地表水的污染过程的研究较为不足。近几年来,流域模拟模型与 GIS 的结合越来越被重视,这是流域水质模拟的重要发展趋势。在国内 SWAT 和 HSPF 模型用于流域水文模拟的研究较多,但在流域水质模拟方面和景观格局的集成应用较少,对于模型的本地化和改进还需进一步探索。此外,模型模拟也多集中于区域土地利用变化所引起的水文效应,而对环境效应的研究尚不够深入^[1, 8]。

天津于桥水库流域位于蓟运河的上游,于桥水库是引滦入津工程中的重要调蓄水库。磷污染为此流域的主要污染因子,对该流域的磷污染的研究也逐渐深入。从野外的小尺度的试验研究到大尺度的模型模拟,及点与面结合景观对比指数^[2, 9-11]。这些研究对流域异质性景观格局与磷污染过程的关系进行了探讨,但对于流域“源”、“汇”景观格局的演变及其对磷污染的影响研究还不够深入。本研究基于“3S”技术和模型模拟的方法,对天津于桥水库流域“源-汇”景观格局特征及其磷污染负荷的主要过程进行模拟,旨在探讨流域异质性景观格局演变对流域磷污染物输出和削减的变化研究,为揭示流域景观格局变化与磷污染过程之间关系奠定基础。

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区概况

于桥水库位于燕山山脉南麓,处天津市蓟县城东 4km,距离天津市区 115km。于桥水库流域位于蓟运河上游($39^{\circ}56' - 40^{\circ}23' \text{N}$, $117^{\circ}26' - 118^{\circ}12' \text{E}$)^[10]。于桥水库流域东西长 66km,南北宽 50km,总面积 2060.0 km^2 。于桥水库流域属于中国燕山纬向构造体系。流域地形、地势从东北向西南呈阶梯级下降,西北部是中山区;中山区向南,海拔逐渐降低成低山丘陵区;中部为平原,中道山在平原的中部将其分隔成北山、北川、中山、南川、南山的“三山两川”地貌格局。于桥水库流域由小面积的中山、大面积的低山丘陵和不连续的平原组成,以流水剥蚀地貌为主^[11]。于桥水库流域属温带大陆性季风型半湿润气候,流域内多年平均降水量大部分区域在 700mm 以上,兴隆县挂兰峪为流域暴雨中心,多年平均降水量为 769mm^[12]。沙河、黎河和淋河为流域内的三大主要汇水河流。流域内土壤类型有棕壤、褐土和潮土三大类型,在全国土壤分区中属褐土地区。

1.2 数据来源与处理

1.2.1 数据来源

研究主要的的数据有:(1) 美国陆地资源卫星 5 号(LANDSAT5)于 1999 年 8 月和 2009 年 8 月 TM 遥感影

像数据,空间分辨率为 30 m。(2)地类控制点野外调查(GPS)数据。(3)1:5 万矢量地形数据来源于国家基础地理信息数据库,1:5 万数字高程模型对于桥水库流域汇水特征进行分析。(4)于桥水库流域及其周边 47 个雨量站(其中流域内 13 个雨量站)的 2008 年降雨数据。(5)流域 1:25 万土壤类型图,河北省第二次土壤普查数据等相关资料^[13]。

1.2.2 数据处理

利用 ERDAS 9.2 软件对以上两期 8 月成像的 TM 遥感数据进行几何校正和假彩色合成,用由 DEM 生成的流域边界进行图像裁剪,得到研究区。结合地面 GPS 采样点,运用 ERDAS 9.2 进行无监督分类和监督分类结合的方法,并利用 ArcGIS 进行分类后处理,解译结果经精度评价后,形成平均总分类精度达到 85% 以上的景观类型图(图 1)。影像解译过程中,结合于桥水库流域实地景观类型和遥感影像将流域划分为:居民点及工矿用地、耕地、水域、未利用土地、林地、灌草地、园地。

基于坡面径流模拟原理对于桥水库流域地表形态进行水文分析。在 ArcGIS9.3 环境下,以 1:5 万的 DEM 数据为基础数据,通过模拟研究流域的水流方向、汇流累积量、流域河网的提取、子流域边界划分提取了于桥水库上游流域的水文特征,确定了流域的水系分布及于桥水库上游流域的淋河、沙河、黎河三大支流的流域边界。

以于桥水库流域及其周边 47 个雨量站(其中流域内 13 个雨量站)的 2008 年月降雨量为基础,进行空间插值。由 ARCGIS9.3 软件提供空间分析模块中的“IDW 插值”命令将雨量站月降雨量数据在区域进行表面化,用流域边界裁切后,得到全流域的月降雨量等值线栅格图。分别选取 1999 年和 2009 年的遥感影像数据为模型参数,采用情景模拟法,模拟流域不同时间尺度景观格局下的磷负荷空间分布情况并分析景观格局变化后对磷污染负荷的影响。

1.3 磷污染模型及其参数空间离散化过程

磷污染空间模拟包括溶解态磷污染负荷模拟和吸附态磷污染负荷模拟。磷污染发生机理过程主要包括:降雨径流、土壤侵蚀、污染物迁移 3 个过程。降雨-径流过程是造成磷污染输出的源动力。水土流失是磷污染发生的主要形式,水土流失也是磷污染物的迁移载体。本研究选用美国土壤保持局(SCS)径流曲线法进行径流量模拟,运用美国通用土壤流失方程进行土壤侵蚀量模拟。在此基础上,结合磷输出模型进行磷空间分布模拟^[14-15]。

1.3.1 径流量计算 SCS 曲线方程

研究采用了曲线方程法来估算年径流量,该方法是由美国农业部土壤保持局,即现在的自然资源保持局发展起来的用于估算农业流域降雨径流的方法,降雨径流量采用下式计算:

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S} \quad (1)$$

式中, Q 为径流量(mm), P 为降雨量(mm), S 为径流开始潜在的最大滞留量或称蓄留指数(mm), I_a 为初始截留量(mm)。

初始截留与最大储留指数间存在如下关系:

$$\begin{aligned} I_a &= 0.2S \\ \begin{cases} Q = (P - 0.2S)^2 / (P + 0.8S) & P > 0.2S \\ Q = 0 & P \leq 0.2S \end{cases} & \quad (2) \\ S &= (25400/CN) - 254 \end{aligned}$$

CN 是用来综合反映降雨前流域特征的一个综合参数,它与流域前期土壤湿润状况、植被、坡度、农业耕作方式、水文条件、土地利用和土壤类型等因素有关^[15]。

1.3.2 土壤侵蚀量模型

研究选用修正的通用土壤流失方程模拟土壤侵蚀量。通用土壤侵蚀方程有很广泛的应用性,AGNPS、

SWAT 模型中的土壤侵蚀均选用该方程为基础。其表达式为^[14]:

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (3)$$

式中, A 为年平均土壤侵蚀量($\text{t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$); R 为降水侵蚀力因子($\text{MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$); K 为土壤可蚀性因子($\text{t} \cdot \text{h} \cdot \text{MJ}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$); L 为坡长因子; S 为坡度因子; C 为地表植被覆盖因子, 其中 NDVI 因子来自 TM 影像; P 为水土保持因子。根据该区域的相关研究资料选择 R, K 因子的参数^[13, 16-17]。

1.3.3 污染物输出估算

(1) 溶解态磷污染负荷模型

参照洪华生, 沈珍瑶^[14, 15]等研究, 输出负荷模型为:

$$LD_{kt} = CD_{kt} \times Q_{kt} \times TD_{kt} / 100 \quad (4)$$

式中, LD_{kt} 为溶解态污染物负荷(kg/km^2), CD_{kt} 为径流溶解态污染浓度(mg/kg), Q_{kt} 为年径流量(mm), TD_{kt} 为迁移系数

TD_{kt} 表示溶解态污染物从地面向流域出口迁移的百分比, 本研究探讨可溶态污染物的空间分异, 不考虑其迁移过程中的转化, 此系数设为 1。径流溶解态磷浓度 CD_{kt} 值依据野外调查资料和参考相关研究^[15], 对解译的 6 种景观类型赋值, 值范围在 0—0.25(kg/km^2)之间。

(2) 吸附态磷污染负荷模型

参照洪华生, 沈珍瑶等^[14, 15]研究结果, 磷输出负荷模型为:

$$LS_{kt} = CS_{kt} \times X_{kt} \times TS_{kt} \times Sd / 100 \quad (5)$$

式中, LS_{kt} 为颗粒态磷污染负荷(kg/km^2), CS_{kt} 为土壤磷污染物浓度(%), X_{kt} 为土壤流失量(t/km^2), TS_{kt} 为污染物富集比; Sd 为流域泥沙迁移比

本研究仅探讨磷空间分异, 不考虑磷的化学迁移转化过程, 因此 TS_k 和 Sd 皆取 1^[15]。 CS_{kt} 通过流域基础土壤资料得到流域不同土壤类型下的 CS_{kt} 值, 值范围在 0—0.116 之间。

2 结果与分析

2.1 于桥水库流域“源-汇”景观格局变化分析

从 1999 年到 2009 年于桥水库流域异质性景观类型没有明显改变(图 1)。1999 年景观面积最大两个类

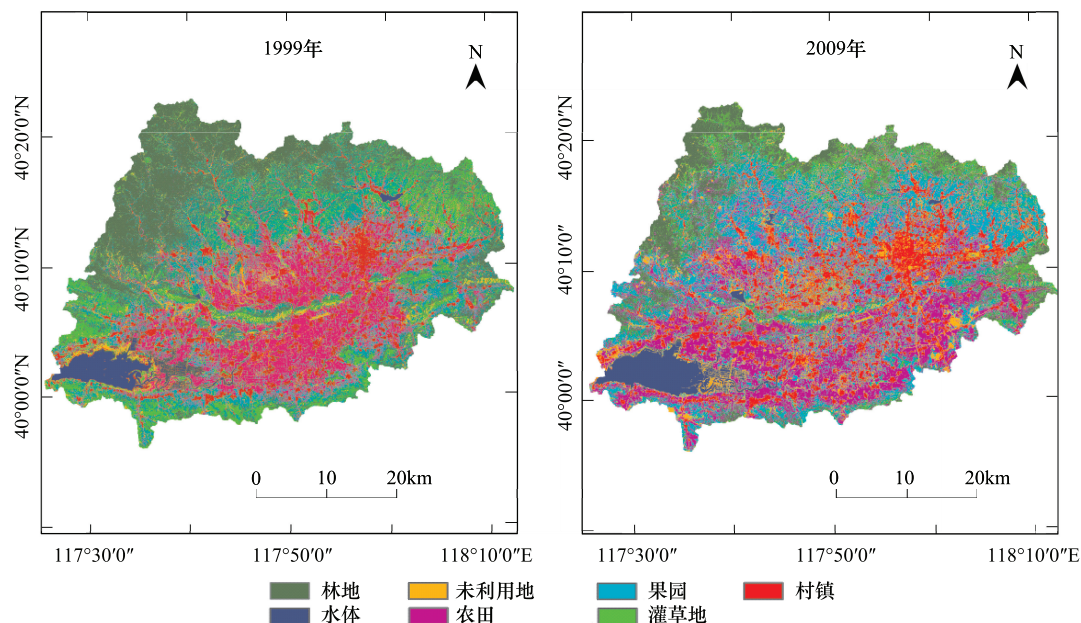


图 1 于桥水库流域 1999 年和 2009 年景观类型图

Fig. 1 Distribution of landscape patterns of Yuqiao watershed from 1999 to 2009

型是“汇”型景观类型(林地和灌丛草地),“源”型景观类型(耕地、村镇用地和园地)面积之和为 36898 km²,其余两类面积比例较小(表 1)。整个景观的分布格局是小景观组分镶嵌分布在大景观组分当中。从景观面积变化值上看,1999 年至 2009 年“汇”型景观(灌草地和林地)面积及比重显著下降,面积比由 44.43% 下降到 25.98%。其中以林地的减少最多,平均每年以 2734.27 km² 的速度减少。“源”型景观面积上升了 12.43%。其中耕地增加速度较快,水域、未利用土地、园地和居民点及工矿用地随着城镇化进程的加快也有不同程度的增加。大景观组分被分解、重组,农田上升成为大景观组分,林地以及灌草地的变化,主要是由城镇化过程造成,包括砍伐原生森林,开垦荒草地为耕地和为旅游业服务的农家院及其他建筑工矿用地等。未利用土地包括沙地、裸岩、裸地,未利用土地面积在近 10a 里增加明显,面积将近增加 1 倍。水域景观形状趋于规则,水域面积略有增加,这得益于对于桥水库治理管理加强以及引滦入津工程的实施。实地考察中发现,虽然整个于桥水库流域水域面积有所增加,但原来该流域的一些河流、水库却大面积的减少,当地的水源涵养和保护任务仍然艰巨。此外园地面积也有所增加,随着经济的发展,促使当地大量的天然林改变为经济效益高的人工果园,在山区此现象十分明显。于桥水库流域整体来看,与 1999 年相比,2009 年部分景观类型斑块数增加明显,说明此阶段,许多大斑块被割裂开,景观破碎度增加。

表 1 于桥水库流域“源-汇”景观格局变化

Table 1 The source-sink landscape pattern change of Yuqiao watershed

景观类型 Landscape type	1999		2009		变化值 Change	
	面积 Area/km ²	面积比/% Percentage of total area	面积 Area/km ²	面积比/% Percentage of total area	面积 Area/km ²	变化比率% Change percentage
农田 Farmland	41184.6	19.97	55441.7	26.89	14257.1	34.6
园地 Orchard	35114.1	17.03	40695.7	19.74	5581.6	15.9
村镇及建筑 Village and town	22337.6	10.83	28136.4	13.65	5798.8	26
林地 Woodland	53186.3	25.80	25843.6	12.53	-27342.7	-51.4
灌草地 Brush and grassland	38415.6	18.63	27732.8	13.45	-10682.8	-27.8
未利用土地 Bare land	9943.5	4.82	19699.6	9.55	9756.1	98.1
水体 Water	6001.5	2.91	8650.7	4.20	2649.2	44.1

2.2 流域土壤侵蚀模型各因子的空间模拟

根据流域基础空间信息数据库及该区域相关的数据资料,对于桥水库流域土壤侵蚀各因子进行数据的空间模拟(图 2)。土壤侵蚀因子表征土壤对降雨侵蚀力的敏感性,土壤可蚀性大,说明对外来侵蚀力的抵抗能力差。根据门明新等人对河北省土壤可蚀性的研究资料,采用诺谟图法对流域土壤侵蚀因进行了估算^[17],流域土壤侵蚀因子在 0 至 0.36[t·hm²·h/km²·MJ⁻¹·mm⁻¹)]之间,其平均值为 0.29[t·hm²·h/km²·MJ⁻¹·mm⁻¹]

基于流域 1:5 万 DEM 并结合修正后的 LS 因子计算方法,对于桥水库流域 LS 因子进行了空间模拟,于桥流域的 LS 因子平均值为 2.42,流域内三大子流域:淋河为 4.17,沙河为 2.82,黎河为 2.45。这与三大流域高程密切相关,淋河流域平均高程为 384.54m,黎河流域高程为 137.75m。研究以 2009 年的 TM 影像、土地利用图和相关资料为基础,对 2009 年的流域 C 因子和 P 因子进行了空间模拟(图 2)。流域的 P 因子的平均值为 0.56,C 因子的平均值为 0.78。

2.3 于桥水库流域土壤侵蚀量及磷污染负荷的空间模拟

流域年降雨侵蚀量的模拟以 2009 年 4 月—10 月的降雨侵蚀为基础,基于 1999 年、2009 年的 TM 遥感影像和土地利用图。分别推算 1999、2009 年流域 C 因子和 P 因子。采用情景模拟方法,模拟在 2009 年降雨条件下的不同年代景观格局下的流域土壤侵蚀量(图 3)。流域 1999 景观格局年均土壤侵蚀模数为 628.22 t·km⁻²·a⁻¹,流域 2009 年景观格局年均土壤侵蚀模数为 77.17t·km⁻²·a⁻¹,这与流域“源”型景观类型面积大幅增加密切相关。

于桥水库流域磷污染负荷包括:溶解态磷污染负荷模拟和吸附态磷污染负荷模拟。根据径流计算-SCS

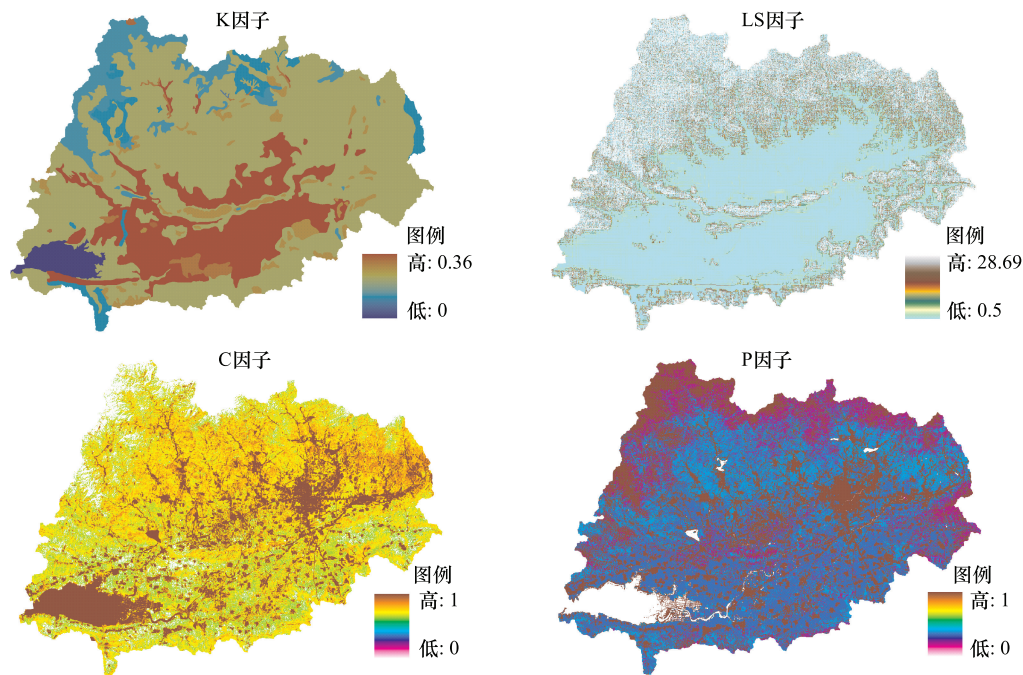


图2 于桥水库流域土壤侵蚀因子空间分布图

Fig. 2 Spatial distribution of soil erosion factor of Yuqiao watershed

曲线方程,模拟了降雨侵蚀期的径流量,溶解态磷污染负荷、吸附态磷污染负荷和流域总磷污染负荷空间分布。结果表明:2009 年流域降雨侵蚀期(4—10 月)的总径流量平均为 695.62mm。流域溶解态磷负荷平均为 0.15kg/km²,吸附态磷污染负荷平均为 0.96kg/km²,流域总磷污染负荷平均为 1.12kg/km²。

2.5 流域“源-汇”景观格局对磷污染时空变异的影响

目前关于不同景观类型对水土流失和养分流失的影响研究很多^[18-19]。一般认为,农田、菜地、果园和城市建设用地是非点污染物流失的主要地区,而有林地、灌丛和草地可以截留坡面流失的养分或非点源污染物,在一定程度上起到了“汇”的作用。但是由于不同土地利用类型的性质和人类干扰程度不同,他们在养分流失和截留方面的作用差异较大。

表2 流域“源-汇”景观格局变化对磷污染负荷的影响

Table 2 Phosphorus pollution change on different source and sink landscape pattern

景观类型 Landscape type	总磷/(kg/km ²) Total phosphorus		溶解态磷/(kg/km ²) Dissolve phosphorus		颗粒态磷/(kg/km ²) Particulate phosphorus	
	1999	2009	1999	2009	1999	2009
农田 Farm land	1.00	1.77	0.10	0.06	0.89	1.71
园地 Orchard	0.97	1.05	0.14	0.13	0.84	0.92
村镇及建筑 Village and town	0.98	1.66	0.01	0.13	0.85	1.65
林地 Woodland	0.78	0.89	0.37	0.49	0.40	0.43
灌草地 Brush and grassland	0.74	0.73	0.09	0.10	0.63	0.63
流域均值 Average of watershed	1.00	1.12	0.15	0.16	0.84	0.96

流域 1999 年及 2009 年不同景观格局对总磷污染负荷的影响,全流域总磷污染负荷有明显的上升,从 1999 年的 1.00kg/km² 上升至 2009 年的 1.12kg/km²,上升比例达 11%。其中溶解态磷负荷变化不大,1999 年和 2009 年分别为 0.15kg/km² 和 0.16kg/km²,颗粒态的磷污染负荷上升明显从 1999 年的 0.84kg/km² 至 2009 年的 0.96kg/km²。整个流域中的“汇”型景观格局总磷污染量,由 1999 年的 0.76kg/km² 上升至 2009 年

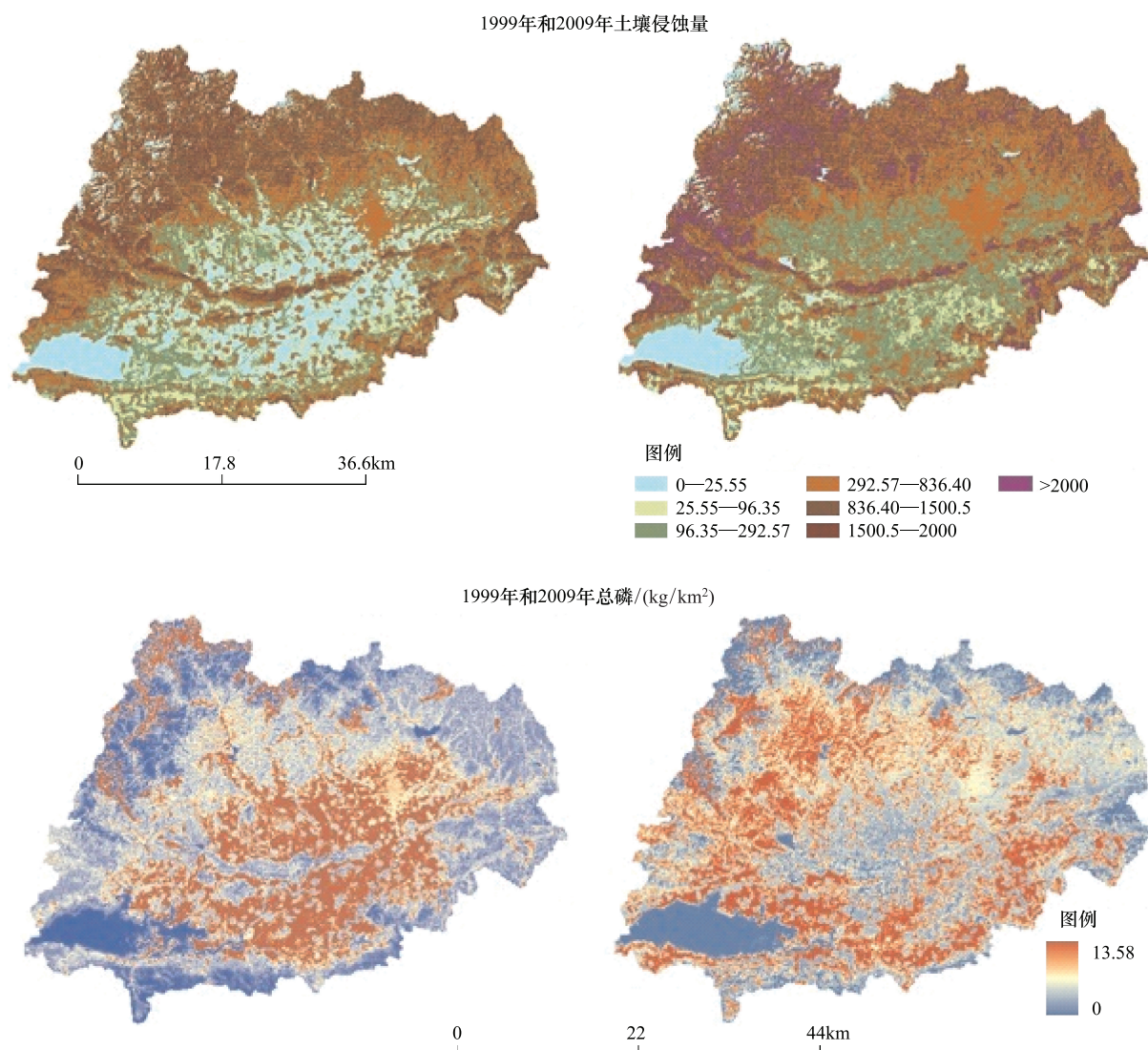


图3 于桥水库流域土壤侵蚀及磷污染负荷模拟

Fig.3 Soil erosion and phosphorus pollution simulation of Yuqiao watershed

的 $0.82\text{kg}/\text{km}^2$ ，“源”型景观格局总磷污染量，由1999年的 $0.98\text{kg}/\text{km}^2$ 上升至2009年的 $1.49\text{kg}/\text{km}^2$ ，上升幅度达51.5%（表2）。

“源-汇”景观格局的磷污染空间异质性同样差异也很明显，基于2009年流域总磷污染负荷的模拟结果，将于桥水库3大子流域与磷污染负荷进行空间叠加分析，可以看出3个子流域对磷污染影响存在较大的空间异质性。其中淋河流域总磷负荷最高为 $1.26\text{kg}/\text{km}^2$ ，沙河流域总磷负荷为 $1.14\text{kg}/\text{km}^2$ ，黎河流域的总磷负荷量最低为 $1.10\text{kg}/\text{km}^2$ 。三大子流域“源-汇”景观格局比例分别为2.81:1、1.82:1和0.85:1。3个流域中的“汇”型景观格局中均为林地的总磷污染负荷最高，淋河流域中林地景观的总磷负荷值最高，其值为 $1.12\text{kg}/\text{km}^2$ ；黎河、淋河和沙河流域的“源”景观格局总磷污染负荷分别为 1.19 、 $1.33\text{kg}/\text{km}^2$ 和 $1.43\text{kg}/\text{km}^2$ 。3个流域中的“源”景观格局中均为农田的总磷污染负荷量最高，其中淋河流域中农田景观的总磷量最高为 $1.93\text{kg}/\text{km}^2$ ，沙河和黎河流域农田景观的总磷量分别为 $1.85\text{kg}/\text{km}^2$ 和 $1.65\text{kg}/\text{km}^2$ 。（图4）

3. 结论与讨论

基于遥感解译、空间分析及磷污染空间负荷模拟的方法，并结合于桥水库流域及当地相关研究资料选用模型参数，对比于桥水库流域不同的“源-汇”景观格局，以及其磷污染过程负荷模拟。结果表明：（1）由于流

域“源-汇”景观分布格局改变引起了土壤侵蚀量的变化。随着城镇化进程的加快,耕地、园地和居民点及工矿用地等“源”型景观面积上升了 12.43%。模型计算 10 年来全流域土壤侵蚀量由 $628.21 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 上升至 $677.17 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。(2)磷污染负荷模型中,溶解态磷受流域景观格局的影响,颗粒态的磷和土壤侵蚀量密切相关,“源-汇”景观空间格局改变,引发全流域总磷污染负荷有明显的上升,从 1999 年的 $1.00 \text{ kg}/\text{km}^2$ 上升至 2009 年的 $1.12 \text{ kg}/\text{km}^2$,上升比例达 11%。其中“源”型景观总磷污染量变化显著,由 $0.98 \text{ kg}/\text{km}^2$ 上升至 $1.49 \text{ kg}/\text{km}^2$ 。(3)于桥水库 3 个子流域的景观格局空间异质性引发磷污染的空间负荷的异质性。其中淋河流域总磷负荷最高为 $1.26 \text{ kg}/\text{km}^2$,沙河流域总磷负荷为 $1.14 \text{ kg}/\text{km}^2$,黎河流域的总磷负荷量最低为 $1.10 \text{ kg}/\text{km}^2$ 。三大子流域“源-汇”景观格局比例由 2.81:1 上升至 0.85:1。“源”景观格局中淋河、沙河和黎河流域中农田景观的总磷量分别为 1.93 、 $1.85 \text{ kg}/\text{km}^2$ 和 $1.65 \text{ kg}/\text{km}^2$ 。

目前采用 SWAT、AGNPS 模型进行农业非点源污染研究较多,模型主要以水文、土壤侵蚀和化学物质迁移 3 大模型为基础,但模型综合考虑了氮和磷的矿化过程,模型复杂且需要参数较为冗繁,如:AnnAGNPS 模型中,根系重量、植被覆盖率、曼宁粗糙系数及田间操作和管理等参数均影响泥沙输出,模型校准调试某些参数较为困难。此外,模型输出的不确定性较高,缺乏有效的监测数据对输入参数进行率定^[18]。本研究主要探讨流域“源-汇”格局中的磷污染负荷的时空变化特征,模型考虑了磷污染发生三大主要机理过程,结合该区域的相关研究优化了模型参数,如:在磷污染负荷计算中主要考虑空间分异,不考虑其迁移过程中的转化^[15],其中 TD_{kt} 、 TS_k 和 S_d 皆取 1。降水侵蚀力因子 R 采用了门明新等人基于河北省 373 气象站资料的降雨侵蚀量算法^[16]。土壤可蚀性 k 值为对河北省土壤的研究结果,门明新等人采用诺谟图法对河北省土壤侵蚀因子进行了估算^[17],刘宝元等^[19]在北京怀柔 and 延庆标准小区研究发现这两个点的诺谟图法估算的 K_{mm} 比其标准小区的 K 值偏大。由于于桥水库流域土壤可蚀性资料相对较少,研究还是应用诺谟图法估算的土壤侵蚀因子。

近 10a 来随着“源”型景观格局增加,流域磷污染量上升明显。说明该流域应加强坡耕地的管理,缩减“源”型景观的面积,增加林地等“汇”型景观的比例,优化“源-汇”景观格局。目前关于流域“源-汇”景观格局对磷污染影响已有研究,但以流域作为研究单元,在不同尺度上开展景观格局与水环境的量化研究还有待深入^[1,3,8]。本研究探讨了流域十年来“源-汇”景观格局变化所引发的磷污染空间变化的效应。但对流域“汇”型景观格局如何通过生态水文过程(植被冠层截留、流域蒸发散和土壤水分蓄留)的调控,来减缓河流的污染及这些生态调控过程的空间模拟有待深入研究。

References:

- [1] Liu L J, Li X Y, He X Y. Advances in the studying of the relationship between landscape pattern and river water quality at the watershed scale. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(19):5460-5465.
- [2] Chen L D, Fu B J, Zhao W W. Source-sink landscape theory and its ecological significance. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(5):1444-1449.
- [3] Easton Z M, Walter M T, Schneiderman E M, Zion M S, Steenhuis T S. Including Source-Specific Phosphorus Mobility in a Nonpoint Source Pollution Model for Agricultural Watersheds, *Journal of Environmental Engineering* 2009, 135:25-35.
- [4] Ouyang W, Wang X L, Hao F H, Srinivasan R. Temporal-spatial dynamics of vegetation variation on non-point source nutrient pollution. *Ecological Modelling*, 2009, 220(20): 2702-2713.

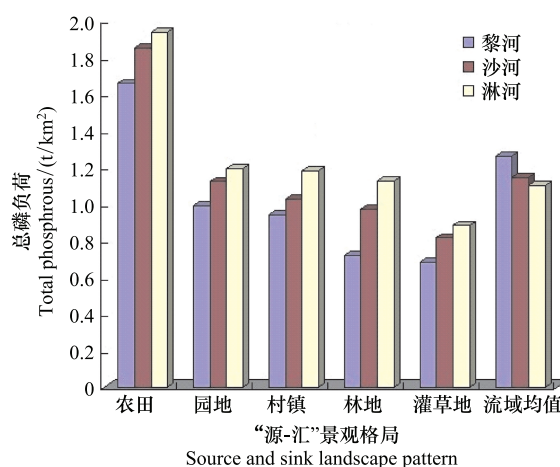


图4 流域“源-汇”景观格局磷污染的空间异质性

Fig.4 Spatial heterogeneity of phosphorus pollution of different source and sink landscape pattern

- [5] Amiri B J, Nakane J. Modeling the linkage between river water quality and landscape metrics in the Chugoku District of Japan. *Water Resources Management*, 2009, 23(5): 931-956.
- [6] Lee S W, Hwang S J, Lee S B, Hwang H S, Sung H C. Landscape ecological approach to the relationships of land use patterns in watersheds to water quality characteristics. *Landscape and Urban Planning*, 2009, 92(2): 80-89.
- [7] Yue J, Wang Y L, Li G C, Wu J S, Xie M M. Relationships between landscape pattern and water quality at western reservoir area in Shenzhen City. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(1): 203-207.
- [8] Zhao J, Yang K, Tai J, Shan F Z. Review of the relationship between regional landscape pattern and surface water quality. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(11): 3180-3189.
- [9] Li P W, Yao Y J. Studies on the relationship between topography and slope and nitrogen and phosphorus. *Journal Of Tianjin Normal University*, 1994, 14(4): 50-54.
- [10] Wang X H, Yin C Q, Shan B Q. Control of runoff and retention of Diffuse P-pollutants by sink landscape structures of agricultural watershed. *Acta Scientiae circumstantiae*. 2005, 25(3): 293-299.
- [11] Zhang S R, Chen L D, Fu B J. Pollution controlling regionalization of agricultural non-point phosphorous in Yuqiao reservoir watershed. *Scientia Geographica Sinica*, 2004, 24(2): 232-237.
- [12] Liu Y W. Trend analysis of Yuqiao reservoir inflow. *Water Resources Protection*. 2009, 25(5): 54-57.
- [13] Li C X. Soil of Hebei province. Hebei: Hebei Science and Technology Press, 1990.
- [14] Shen Z Y, Liu R M, Ye M, Ding X W, Xu Q G, Jia H Y. Non-point source pollution in the upper reaches of Yangtze River and its variation characteristics. Beijing: Science Press, 2008: 98-102.
- [15] Hong H S, Huang J L, Chao W Z. Mechanism and control of agricultural non-point source pollution in the Jiulong river watershed. Beijing: Science Press, 2008, 203-205.
- [16] Men M X, Yu Z R, Xu H. Study on the spatial pattern of rainfall erosivity based on geostatistics of Hebei province. *Scientia Agricultura Sinica*. 2006, 39(11): 2270-2277.
- [17] Men M X, Zhao T K, Peng Z P, Yu Z R. Study on the Soil Erodibility Based on the Soil Particle-size Distribution in Hebei Province. *Scientia Agricultura Sinica*. 2004, 37(11): 1647-1653.
- [18] Tian Y W, Huang Z L, Xiao W F. Assessment of non-point source pollution export from Zigui county in the Three Gorges Reservoir area using the AnnAGNPS model. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(16): 4568-4578.
- [19] Liu B Y, Bi X G, Fu S H. Beijing Soil Loss Equation. Beijing: Science Press, 2010: 58-71.

参考文献:

- [1] 刘丽娟, 李小玉, 何兴元. 流域尺度上的景观格局与河流水质关系研究进展. *生态学报*, 2011, 31(19): 5460-5465.
- [2] 陈利顶, 傅伯杰, 赵文武. “源”“汇”景观理论及其生态学意义. *生态学报*, 2006, 26(5): 1444-449.
- [7] 岳隽, 王仰麟, 李贵才, 吴健生, 谢苗苗. 深圳市西部库区景观格局与水质的关联特征. *应用生态学报*. 2008, 19(1): 203-207.
- [8] 赵军, 杨凯, 邵俊, 单福征. 区域景观格局与地表水环境质量关系研究进展. *生态学报*, 2011, 31(11): 3180-3189.
- [9] 李佩武, 姚玉君. 于桥水库以上流域地形、坡度与 N, P 输出的关系初探. *天津师范大学学报*. 1994, 14(4): 50-54.
- [10] 王夏晖, 尹澄清, 单保庆. 农业流域“汇”型景观结构对径流调控及磷污染物截留作用的研究. *环境科学学报*, 2005, 25(3): 293-299.
- [11] 张淑荣, 陈利顶, 傅博杰. 于桥水库流域农业非点源磷污染控制区划研究. *地理科学*, 2004, 24(2): 232-237.
- [12] 刘玉伟, 于桥水库入库水量变化趋势分析. *水资源保护*. 2009, 25(5): 54-57.
- [13] 李承绪. 河北省土壤. 河北科学出版社, 1990.
- [14] 沈珍瑶, 刘瑞民, 叶闽, 丁晓雯, 许其功, 贾海燕. 长江上游非点源污染特征及其变化规律. 北京: 科学出版社, 2008: 98-102.
- [15] 洪华生, 黄金良, 曹文志. 九龙江流域农业非点源污染机理与控制研究. 北京: 科学出版社, 2008: 203-205.
- [16] 门明新, 宇振荣, 许峰. 基于地统计学的河北省降雨侵蚀力空间格局研究. *中国农业科学*, 2006, 39(11): 2270-2277.
- [17] 门明新, 赵同科, 彭正萍, 宇振荣. 基于土壤粒径分布模型的河北省土壤可蚀性研究. *中国农业科学*. 2004, 37(11): 1647-1653.
- [18] 田耀武, 黄志霖, 肖文发. 基于 AnnAGNPS 模型的三峡库区秭归县非点源污染输出评价. *生态学报*, 2011, 31(16): 4568-4578.
- [19] 刘宝元, 毕小刚, 符素华. 北京土壤流失方程. 北京: 科学出版社, 2010: 58-71.

CONTENTS

Physiological responses of five deciduous broad-leaved tree seedlings in the Northeast Area of China to burning	WANG Rong, HU Haiqing (2303)
The occurrence regularity of psyllid in <i>Haloxylon</i> spp and its influencing factors	LI Fenlian, WU Xuehai, WANG Peiling, et al (2311)
The estimating of the spatial distribution of forest biomass in China based on remote sensing and downscaling techniques	LIU Shuangna, ZHOU Tao, SHU Yang, et al (2320)
Multivariate correlation analysis between landscape pattern and water quality	ZHAO Peng, XIA Beicheng, QIN Jianqiao, et al (2331)
Red fox habitat selection and landscape feature analysis in the Dalai Lake Natural Reserve in Inner Mongolia	ZHANG Honghai, LI Chengtao, DOU Huashan, et al (2342)
Research on assemblage characteristics of macroinvertebrates in the Yalu Tsangpo River Basin	XU Mengzhen, WANG Zhaoyin, PAN Baozhu, et al (2351)
Climate change induced potential range shift of the crested ibis based on ensemble models	ZHAI Tianqing, LI Xinhai (2361)
Analysis of the sources of second generation meadow moth populations that immigrated into Chinese pastoral areas in 2010	ZHANG Li, ZHANG Yunhui, ZENG Juan, et al (2371)
Genetic diversity based on cytochrome <i>b</i> gene analysis of different geographic populations of blue sheep in China	LI Nannan, LIU Zhensheng, WANG Zhenghuan, et al (2381)
Soil microbial properties under different grain-for-green patterns in depressions between karst hills	LU Shiyang, PENG Wanxia, SONG Tongqing, et al (2390)
Ecosystem and soil respiration of a poplar plantation on a sandy floodplain in Northern China	FANG Xianrui, ZHANG Zhiqiang, ZHA Tonggang, et al (2400)
Estimating total nitrogen content in water body based on reflectance from wetland vegetation	LIU Ke, ZHAO Wenji, GUO Xiaoyu, et al (2410)
Analysis on complete F type of mitochondrial genome in <i>Lamprotula leai</i>	CHEN Ling, WANG Guiling, LI Jiale (2420)
The source-sink landscape pattern change and its effect on phosphorus pollution in Yuqiao watershed	LI Chongwei, HU Jie, WANG Sa, et al (2430)
Responses of soil nematode communities to soluble salt contamination around Gangue hill in Fushun	ZHANG Weidong, LV Ying, XIAO Ying, et al (2439)
Effect of aboveground competition on biomass partitioning of understory Korean pine (<i>Pinus koraiensis</i>)	WANG Jinsong, FAN Xiuhua, FAN Juan, et al (2447)
Research of methane metabolic microbial community in soils of slash pine plantation and Masson pine plantation	WANG Yun, ZHENG Hua, CHEN Falin, et al (2458)
$\delta^{13}\text{C}$ values of stem phloem water soluble sugars of <i>Pinus massoniana</i> and <i>Cunninghamia lanceolata</i> response to meteorological factors	LU Yuxi, WANG Zhenxing, ZHENG Huaizhou, et al (2466)
Soil respiration patterns during restoration of vegetation in the Shapotou area, Northern China	GAO Yanhong, LIU Lichao, JIA Rongliang, et al (2474)
Dynamics of caloric value of <i>Robinia pseudoacacia</i> L. energy forest in the west of Henan Province	TAN Xiaohong, LIU Shiqi, MA Luyi, et al (2483)
<i>Ex-situ</i> symbiotic seed germination of <i>Dendrobium catenatum</i>	WU Huifeng, SONG Xiqiang, LIU Hongxia (2491)
Effects of red/far red ratio on morphological index, leaf area and dry matter partitioning of cut chrysanthemum flower	YANG Zaiqiang, ZHANG Jibo, LI Yongxiu, et al (2498)
Effect of prometryne on root activity and oxidative stress of <i>Polygala tenuifolia</i> Willd. seedling roots	WEN Yinyuan, GUO Pingyi, YIN Meiqiang, et al (2506)
Combined effects of elevated O_3 concentration and UV-B radiation on photosynthetic characteristics of soybean	ZHENG Youfei, XU Weimin, WU Rongjun, et al (2515)
Nutrients transfer for host plant and litter decomposition by AMF in Karst soil	HE Yuejun, ZHONG Zhangcheng, DONG Ming (2525)
The dynamics of bacteria community diversity during the fermentation process of traditional soybean paste	GE Jingping, CHAI Yangyang, CHEN Li, et al (2532)
Effect of site-specific fertilization on soil phosphorus in purple garden soil	SUN Qianqian, WANG Zhengyin, ZHAO Huan, et al (2539)
A method of determining standards for ecological compensation in agricultural areas, giving priority to environmental flows in water allocation	PANG Aiping, SUN Tao (2550)
The loss of ecosystem services value caused by food security assessment model and its application	LU Weiye, JIANG Zhide, ZHANG Yinglong, et al (2561)
Review and Monograph	
Review of the current situation of coastal ecological engineering using dredged marine sediments and prospects for potential application in China	HUANG Huamei, GAO Yang, WANG Yinxia, et al (2571)
Discussion	
Quorum sensing in anaerobic ammonium oxidation bacteria	DING Shuang, ZHENG Ping, ZHANG Meng, et al (2581)
Health evaluation of Dongting Lake based on morphological characters	SHUAI Hong, LI Jingbao, XIA Beicheng, et al (2588)
Scientific Note	
Effects of mix-leaf litter decomposition of different trees in the Loess Plateau	LIU Zengwen, DU Liangzhen, ZHANG Xiaoxi, et al (2596)
Changes in soil active organic carbon under different management types of bamboo stands	MA Shaojie, LI Zhengcai, WANG Bin, et al (2603)
Effects of drought stress on photosynthesis and associated physiological characters of pepper	OU Lijun, CHEN Bo, ZOU Xuexiao (2612)
Effects of silicon application and drought stress on photosynthetic traits and mineral nutrient absorption of rice leaves	CHEN Wei, CAI Kunzheng, CHEN Jining (2620)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,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,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 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 8 期 (2012 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 8 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