

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

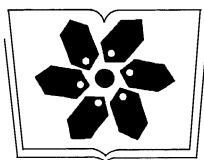
Acta Ecologica Sinica



第33卷 第3期 Vol.33 No.3 **2013**

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 33 卷 第 3 期 2013 年 2 月 (半月刊)

目 次

生态系统服务功能模拟与管理

- 保障自然资本与人类福祉:中国的创新与影响 Gretchen C. Daily, 欧阳志云, 郑 华, 等 (669)
- 建立我国生态补偿机制的思路与措施 欧阳志云, 郑 华, 岳 平 (686)
- 区域生态合作机制下的可持续农户生计研究——以“稻改旱”项目为例 梁义成, 刘 纲, 马东春, 等 (693)
- 生态系统服务功能管理研究进展 郑 华, 李屹峰, 欧阳志云, 等 (702)
- 白洋淀流域生态系统服务评估及其调控 白 杨, 郑 华, 庄长伟, 等 (711)
- 汶川地震灾区生物多样性热点地区分析 徐 佩, 王玉宽, 杨金凤, 等 (718)
- 土地利用变化对生态系统服务功能的影响——以密云水库流域为例 李屹峰, 罗跃初, 刘 纲, 等 (726)
- 森林生态效益税对陕西省产业价格水平的影响 黎 洁, 刘峥男, 韩秀华 (737)
- 海南岛生态系统土壤保持功能空间特征及影响因素 饶恩明, 肖 燧, 欧阳志云, 等 (746)
- 居民对文化林生态系统服务功能的认知与态度 高 虹, 欧阳志云, 郑 华, 等 (756)
- 青海省三江源自然保护区生态移民补偿标准 李屹峰, 罗玉珠, 郑 华, 等 (764)
- 张家界武陵源风景区自然景观价值评估 成 程, 肖 燧, 欧阳志云, 等 (771)
- 国家生态保护重要区域植被长势遥感监测评估 侯 鹏, 王 桥, 房 志, 等 (780)
- 都江堰市水源涵养功能空间格局 傅 斌, 徐 佩, 王玉宽, 等 (789)
- 汶川地震重灾区生态系统碳储存功能空间格局与地震破坏评估 彭 怡, 王玉宽, 傅 斌, 等 (798)

前沿理论与学科综述

- “波特假说”——生态创新与环境管制的关系研究述评 董 颖, 石 磊 (809)
- 生态环境保护与福祉 李惠梅, 张安录 (825)
- 丛枝菌根真菌最新分类系统与物种多样性研究概况 王宇涛, 辛国荣, 李韶山 (834)

个体与基础生态

- “蒸发悖论”在秦岭南北地区的探讨 蒋 冲, 王 飞, 刘思洁, 等 (844)
- 内蒙古荒漠草原主要草食动物食性及其营养生态位 刘贵河, 王国杰, 汪诗平, 等 (856)
- 基于面向对象及光谱特征的植被信息提取与分析 崔一娇, 朱 琳, 赵力娟 (867)
- 桉树叶片光合色素含量高光谱估算模型 张永贺, 陈文惠, 郭乔影, 等 (876)
- 枫杨幼苗对土壤水分“湿-干”交替变化光合及叶绿素荧光的响应 王振夏, 魏 虹, 吕 茜, 等 (888)
- 模拟淹水对杞柳生长和光合特性的影响 赵竑绯, 赵 阳, 张 驰, 等 (898)
- 梨枣花果期耗水规律及其与茎直径变化的相关分析 张琳琳, 汪有科, 韩立新, 等 (907)
- 基于上部叶片 SPAD 值估算小麦氮营养指数 赵 犇, 姚 霞, 田永超, 等 (916)

种群、群落和生态系统

- 我国南亚热带几种人工林生态系统碳氮储量 王卫霞, 史作民, 罗 达, 等 (925)

低效柏木纯林不同改造措施对水土保持功能的影响..... 黎燕琼,龚固堂,郑绍伟,等 (934)

浙江紧水滩水库浮游植物群落结构季节变化特征..... 张 华,胡鸿钧,晁爱敏,等 (944)

黑龙江凤凰山国家级自然保护区野猪冬季容纳量及最适种群密度 孟根同,张明海,周绍春 (957)

云南苍山火烧迹地不同恢复期地表蜘蛛群落多样性..... 马艳滢,李 巧,冯 萍,等 (964)

景观、区域和全球生态

基于综合气象干旱指数的石羊河流域近 50 年气象干旱特征分析 张调风,张 勃,王有恒,等 (975)

基于 CLUE-S 模型的湟水流域土地利用空间分布模拟 冯仕超,高小红,顾 娟,等 (985)

研究简报

三大沿海城市群滨海湿地的陆源人类活动影响模式..... 王毅杰,俞 慎 (998)

洋河水库富营养化发展趋势及其关键影响因素..... 王丽平,郑丙辉 (1011)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 350 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 36 * 2013-02



封面图说:卧龙自然保护区核桃坪震后——汶川大地震是新中国成立以来破坏性最强、波及范围最大的一次地震,地震的强度、烈度都超过了 1976 年的唐山大地震。在这次地震中,震区的野外大熊猫受到不同程度的影响,卧龙自然保护区繁育中心的赠台大熊猫团团、圆圆居住的屋舍上方巨石垮塌,房舍全部毁坏,只因两只熊猫在屋外玩耍逃过一劫。不过,圆圆一度因惊恐逃走,失踪 5 天后才被找回来。由于繁育基地两面山体滑坡,竹子短缺等原因,繁育基地只能将大熊猫全部转移下山。

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

DOI: 10.5846/stxb201205280787

李屹峰, 罗跃初, 刘纲, 欧阳志云, 郑华. 土地利用变化对生态系统服务功能的影响——以密云水库流域为例. 生态学报, 2013, 33(3): 0726-0736.
Li Y F, Luo Y C, Liu G, Ouyang Z Y, Zheng H. Effects of Land Use change on ecosystem services, a case study in Miyun reservoir watershed. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(3): 0726-0736.

土地利用变化对生态系统服务功能的影响 ——以密云水库流域为例

李屹峰¹, 罗跃初², 刘 纲¹, 欧阳志云¹, 郑 华^{1,*}

(1. 中国科学院生态环境研究中心 城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085; 2. 中国地质环境监测院 北京 100081)

摘要: 生态系统服务功能与人类福利息息相关, 土地利用变化是生态系统服务功能退化的主要驱动力之一, 以人地关系紧张, 生态系统服务功能变化剧烈的密云水库流域为对象, 分析流域 1990—2009 年土地利用的变化, 采用空间显式的生态系统服务功能评估软件 InVEST 中的“产水量”、“土壤保持”、“水质净化”模型, 研究流域土地利用变化对生态系统服务功能的影响。结果表明 1990—2009 年密云水库流域土地利用变化剧烈, 农田、草地和水体的面积分别减少了 30%、48%、61%, 林地、建筑用地和裸地的面积增加, 增幅分别为 30%、230%、282%。随着土地利用变化, 生态系统服务功能相应产生着显著变化, 研究期内, 土壤保持功能和固碳服务分别增加 46% 和 19%, 但水资源供给服务和水质净化功能分别减少了 3% 和 25%。农田面积的减少和森林的扩张改善了土壤保持服务, 森林面积的增加同时也改善了固碳服务, 但会削弱水资源供给服务, 建筑用地的扩张会大幅度削弱水质净化功能, 为维持和改善流域整体的生态系统服务功能, 应加强对森林和建筑用地的控制。其研究为密云水库流域土地利用科学管理决策提供参考。

关键词: 生态系统服务功能; 土地利用; InVEST 模型

Effects of land use change on ecosystem services: a case study in Miyun reservoir watershed

LI Yifeng¹, LUO Yuechu², LIU Gang¹, OUYANG Zhiyun¹, ZHENG Hua^{1,*}

1 State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

2 China Institute of Geo-environmental Monitoring, Beijing 100081, China

Abstract: Ecosystem services are the goods and services provided by ecosystems to people. Ecosystem services are important basis of human existence and strongly related to human well-being, and the sustainable provision of multiple services is essential for the sustenance of human societies. There are a series of factors driving ecosystem services, one of which is the change of land use pattern, and it is drawing more and more attention of ecologists.

Miyun reservoir, which is the only surface water source for domestic water in Beijing, plays the key role for the ecological security of the capital. Miyun reservoir watershed is a vital water source region of Beijing city, and it has many important ecosystem services. The water yield and water quality of reservoir strongly depend on Miyun reservoir watershed's condition, therefore, the conservation and improvement of ecosystem services in Miyun reservoir watershed has vital significance for local and Beijing's ecological security. However, how the land use change influenced ecosystem services during the past decades is not clear yet, which may block the comprehensive development of watershed.

基金项目: 中国主要陆地生态系统服务功能与生态安全(2009CB421105); 国土资源部公益性行业科研专项项目(201011018); 中国科学院国际合作项目(GJHZ0948); 戈登和贝蒂摩尔基金

收稿日期: 2012-05-28; 修订日期: 2012-10-23

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhenghua@rcees.ac.cn

So we take Miyun reservoir watershed as example, analyze the change of land use and ecosystem services between 1990 and 2009. We set up a two-grade classify system of land use and interpreted the remote sensing images of 1990, 2000 and 2009 respectively, and then apply Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs (InVEST model), which is a space explicit model and based on land use, to map the ecosystem services, and analyze the influence of Land Use to ecosystem services during study period. The sub models we apply in this research contain “Water Yield”, “Sediment Retention” and “Water Purification”, and before running these sub models, we verify them with observed data.

The results of image interpretation show that farmland, forest and grassland are main type of land use of watershed, and these areas account for more than 95% of the whole watershed. There are sharp changes of land use during study period, and conversion of land use types distributed more widely after 2000. The general trend in study period is farmland and grassland decreased by 30%, 48% respectively, when forest increased by 30%, and another change cannot be neglected is residential area expanded by more than 280% during the past 20 years.

The changes of land use have affect on the pattern of ecosystem services and there are trade-offs among different ecosystem services in question. During the study period, the decreasing of farmland and increasing of forest and grassland improved the ability of sediment retention, and this service increased by 46% in the past 20 years. But forest expansion caused more evapotranspiration, which reduced water yield of watershed by 3% at the same time. Because the nutrient loading of residential area is much higher than other types of land use, the large-scale expansion of residential area decreased water purification service sharply after 2000 although the expansion of forest and decrease of farmland can improve this service to a certain degree, and this service declined by 55% in the past 20 years. With the expansion of forest, carbon sequestration service increased about 19%. So with the goal to get overall improvement of ecosystem services in watershed, we suggest that manages should strengthen the control of forest and residential areas.

Understanding the relationship between land use and ecosystem services, the department of decision-making can control and reduce the trade-off between ecosystem services and achieve the sustainable development through appropriate land use plan. Although the approach and process of evaluation still need more improvement, our research can provide scientific foundation for decision-making in Miyun reservoir watershed.

Key Words: ecosystem services; land use; InVEST model

生态系统服务功能是指生态系统形成和所维持的人类赖以生存和发展的环境条件与效用,是人类赖以生存的基础,与人类福利息息相关^[1-4],随着人们对生态系统服务功能重要性的理解逐渐加深,众多研究者在生态系统服务的产生原因、影响因素、管理措施等方面开展了大量的研究^[5-8]。土地利用变化蕴含大量人类活动的信息,可以通过改变生态系统类型、格局以及生态过程直接影响生态系统服务功能,是生态系统服务功能变化的重要驱动力^[9-11],随着土地利用变化成为全球变化的焦点,其对生态系统服务功能的影响也受到越来越多的关注^[12-14]。定量评估土地利用变化与生态系统服务功能变化之间的关系成为当前生态学研究热点^[15-16]。

潮白河属于海河水系的五大河之一,密云水库是潮白河上最重要的水库,密云水库流域是北京市重要水源地,流域人地关系紧张,生态环境脆弱。随着人类活动干扰进一步加剧,流域内的地类覆盖发生了一系列变化,进而对水生态产生了一系列影响,国内学者对此展开了一定的研究:李子君^[17]的研究表明流域径流量逐年减少,20世纪90年代的径流量仅为60年代的75%;密云水库入库径流的富营养化水平也在逐渐加剧^[18];耕地和林草地的分布直接影响对流域的水土保持^[19];郑江坤^[20]的研究也表明流域土地利用的变化对生态服务价值有明显的影响。然而目前流域土地利用变化对生态系统服务影响尚缺乏系统的研究,这在一定程度上阻碍了进一步的管理决策,不利于流域的可持续发展规划。基于此,本研究分析了密云水库流域1990—2009年的土地利用变化,并引入基于土地利用变化的空间显式模型(InVEST模型)来模拟流域内多种生态系统服

务功能的变化,探讨土地利用变化对生态系统服务功能的影响,以期将服务功能的研究结果纳入决策体系,为流域的土地管理决策和生态系统服务功能保育提供科学依据。

1 研究区概况

密云水库流域是指潮白河流域密云水库所控制的上游部分,由潮、白河两大水系组成(图1),地理位置40°19′—41°38′N, 115°25′—117°35′E,总面积约1.52万km²,流域北接内蒙古高原,南邻华北平原,地跨北京市的密云、怀柔、延庆以及河北省的滦平、丰宁、赤城等10个区县。流域属于暖温带季风型大陆性半湿润半干旱气候,四季分明,干旱冷暖变化明显,全年平均气温9—10℃,全年降雨量约为490mm,年际变化大,年内分布也不均,降雨绝大多数集中在汛期,降雨所形成的地表径流是河流的主要补给形式。流域内土壤分为褐土、棕壤、草甸土和栗钙土四大类,流域内植被以原始次生林和人工林为主,天然次生林树种以阔叶混交杂木林为主,人工林主要包括油松、侧柏、刺槐和落叶松。

密云水库全面积约188km²,最大库容量为43.75亿m³,每年向北京市供水3—4亿m³,是北京市唯一的地表水源,直接影响北京市的用水安全。水库的水量水质受到上游区域的直接影响,因而上游区域生态系统服务功能的维持和改善对当地以及北京市的生态安全具有重要的意义,而且随着水资源日益紧缺,这种重要性越来越凸显。

2 研究方法

2.1 土地利用分析

以研究区1990年、2000年、2009年的Landsat TM影像(像元大小30m×30m,轨道号为23031、23032、24031、24032)为基础,以研究区DEM、坡度坡向图、“国家科学数据共享工程——地球系统科学共享网”提供的土地覆盖数据等为辅数据,根据流域实际情况建立二级分类体系(表1),结合野外调查的GPS点作为地表特征参照,利用ERDAS9.1软件进行监督分类,并利用复查的地面验证点进行验证,精度达到75%,输出分类图像,并利用GIS的“Tabulate area”工具获得流域不同时期的土地利用转移矩阵。

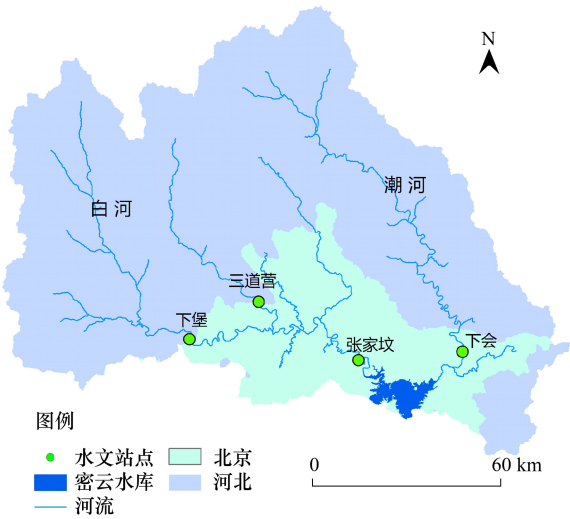


图1 密云水库流域

Fig. 1 Miyun reservoir watershed

表1 土地利用分类体系

Table 1 Land use classification system

一级地类 Class 1	二级地类 Class 2	一级地类 Class 1	二级地类 Class 2
农田 Farmland	旱地 Dry land; 水田 Paddy land; 园地 Orchard	森林 Forest	针叶林 Conifer; 阔叶林 Broad leaf; 针阔混交林 Mixed; 灌木林 Shrub
草地 Grassland	灌丛草地 Shrub grassland; 草地 Grass	建筑用地 Residential land	城镇 City; 乡村 Rural; 交通用地 Traffic land
水体 Water	河流 River; 水库湖泊 Reservoir and lake	裸地 Bare land	裸地 Bare land; 未利用地(工矿地) Unexploited land

裸地面积不超过流域总面积的0.5%,且主要由裸地和未利用地组成,工矿用地比例很小,同时近年来流域内对工矿用地的发展有较大的限制,故并为一类

2.2 数据收集

本研究收集的气象数据包括密云站、北京站等6个气象站1980—2009年的月温度数据;降雨数据包括下会、张家坟等16个雨量站点1980—2009年的月降雨量;水文数据包括下会、张家坟2个水文站1980—2009年的径流量数据,下会、张家坟2个水文站1980—2009年的水体泥沙含量数据,辛庄、大关桥2个站点1980—2009年的水体总氮含量数据。模型所需的其他数据均来自于相关文献和资料。

2.3 模型原理以及校验

InVEST 模型是由斯坦福大学(Stanford University)开发,大自然保护协会(The Nature Conservancy)和世界自然基金会(World Wide Fund For Nature)联合支持的生态系统服务功能评估模型(<http://invest.ecoinformatics.org/>),该模型基于 GIS,模拟土地覆盖对生态系统服务功能的影响,结合土地利用情景,能够在不同地理尺度和社会经济尺度上检测生态系统服务功能供给的潜在变化以及服务功能之间的权衡。本研究所使用的模型版本为 InVEST 2.1 Beta,该版本所包括海岸、生境、固碳、土壤侵蚀、水质、传粉等一系列模块,根据流域的实际情况,本研究选取了“产水量”、“土壤保持”、“水质净化”一共 3 个子模型。

“产水量”模型基于一个简化的水文循环模型,忽略地下水的影响,模拟一定区域内的地表产水量,产水量越多,水资源供给服务就越多。水量通过以下模型进行计算:

$$Y_{jx} = (1 - \frac{AET_{xj}}{P_{xj}}) \cdot P_{xj}$$

式中, Y_{xj} 为第 j 土地利用类型栅格 x 的产水量; AET_{xj} 为第 j 土地利用类型栅格 x 的每年实际水分蒸散量; P_{xj} 为第 j 类土地利用类型栅格 x 的年降雨量。该模块需要的数据主要包括年降水量、潜在蒸散量、土地利用图、土壤深度、根系深度、植物可利用水含量和蒸散系数等。其中年降雨量是将各雨量站的原始数据在 Arc-GIS 平台中利用“克里金法”进行插值而得到;潜在蒸散量的计算则是先根据 Modified-Hargreaves 法求得各气象站点的潜在蒸散量,再在 Arc-GIS 平台中利用“泰森多边形法”进行插值而得到;其他模型输入由收集的流域相关数据按照模型的要求换算单位并整理成合适的格式。

“土壤保持”模型用通用土壤流失方程模拟一定区域的土壤侵蚀速率,土壤侵蚀量越小,土壤保持功能越好。土壤流失量用下列方程计算:

$$USLE_x = R_x \cdot K_x \cdot LS_x \cdot C_x \cdot P_x$$

式中, $USLE_x$ 表示栅格 x 的土壤侵蚀量,影响土壤侵蚀量的因子包括: R_x 为降雨侵蚀力因子, K_x 为土壤可蚀性因子, LS_x 为坡度、坡长因子, C_x 为植被覆盖因子, P_x 为管理因子。在输入数据中,降雨侵蚀力因子先利用 Wischmeier 建立的方法计算出各雨量站点的值,然后在 Arc-GIS 平台中利用“克里金法”进行插值而得到;土壤可蚀性因子由土壤图利用诺谟方程计算得出;其他模型输入由收集的流域相关数据按照模型的要求换算单位并整理成合适的格式。

“水质净化”模型是用水体中总氮的含量来表征水质状况,忽略其他污染源,只考虑非点源污染,总氮输出越高,水质净化功能就越少,此种服务的评价主要基于属于系数途径进行评价,评价方法为:

$$ALV_x = HSS_x \cdot pol_x$$

式中, ALV_x 为栅格 x 调节的载荷值, pol_x 为栅格 x 的输出系数, HSS_x 为栅格 x 的水文敏感得分值。该模块的主要参数是土地利用类型、总氮输出负荷、DEM、产水量数据等。产水量数据由“产水量”模型的结果提供,其他模型输入由收集的流域相关数据按照模型的要求换算单位并整理成合适的格式。

“固碳”服务是按照不同的土地利用类型所对应的固碳速率来进行计算,且只考虑农田、森林和草地的固碳服务。结合流域的实际情况,参考 Lu^[21]、方瑜^[22]、白杨^[23]、郭然^[24]、周玉荣^[25] 的数据,得到不同土地利用类型所对应的不同碳库的固碳速率(表 2),在 Arc-GIS 中利用“栅格计算器”计算出不同土地利用方式中的生态系统固碳量,并输出固碳量的空间分布图,然后利用空间分析工具计算出流域总的碳储量,即流域的固碳服务。

表 2 不同地类的固碳速率

Table 2 Carbon sequestration rate of different land use types

地类 Land use type	旱地 Dry land	水田 Paddy land	果园 Orchard	针叶林 Conifer	阔叶林 Broad leaf	混交林 Mixed	灌木林 Shrub	灌草 Shrub grassland	草地 Grass
固碳速率/($t \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$) Carbon sequestration rate	0.047	0.072	0.237	3.800	4.570	4.219	2.465	0.402	0.332

将初步模拟的数据与实际观测值进行对比,并参考相关的文献和数据,微调参数,对模型进行校检,最终校验的结果显示模拟结果与实测数据之间的决定系数 R^2 均超过 0.65 (图 2)。用检验确定的参数运行模型,并输出结果。为了明确土地利用变化对生态系统服务功能的影响,与降雨量、温度有关的模型输入均采用流域多年(1980—2009 年)的平均值,以消除气候因子的影响。

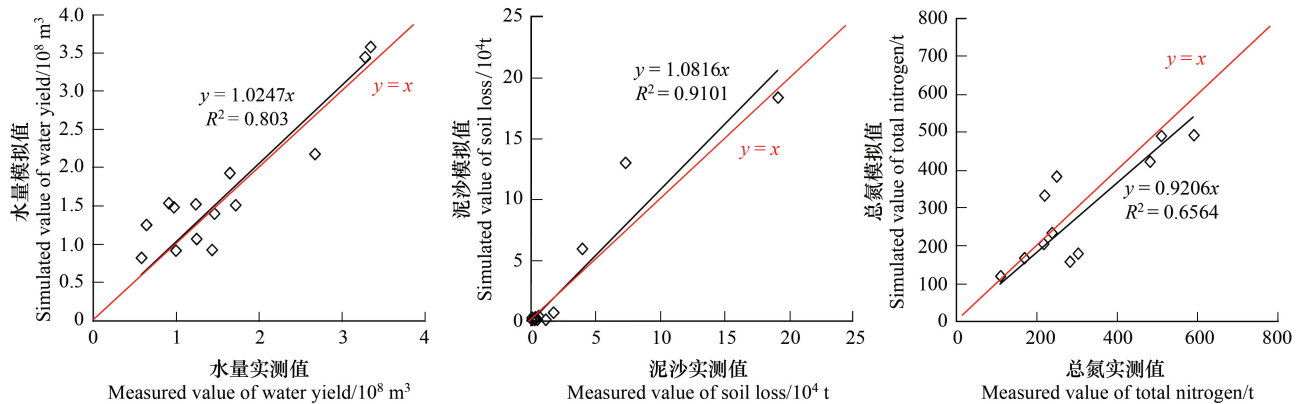


图 2 模型验证结果

Fig. 2 The results of model validation

3 研究结果

3.1 密云水库流域土地利用的数量变化

流域 1990、2000、2009 年不同土地利用类型的面积如图 3 所示。1990—2000 年间,农田面积减少了 15%,草地面积增加了 20%,水体面积也增加了 34%,林地的面积变化并不大,仅减少了 2%,建筑用地和裸地面积的变化幅度同样很小;2000—2009 年间,林地面积出现大幅度的增加,增幅达到 33%,同时建筑用地面积也增加了 281%,裸地面积也有 314% 的增幅,草地和水体有较大比例的减少,减幅分别达到 56% 和 70%,农田面积也减少了 17%。总的来看,在整个研究期内,农田、草地和水体的面积减少,减幅分别为 30%、48%、61%,林地、建筑用地和未利用地的面积增加,增幅分别为 30%、230%、282%。各个时期流域土地利用变化都十分剧烈,而且无论在哪个时期,林地、草地和农田都占据了流域绝大多数的面积,是整个流域的景观基质,对整体景观有较大的贡献。

3.2 密云水库流域土地利用的相互转化

土地利用转移矩阵可以全面具体地刻画区域土地利用在一定时期内变化的结构特征,有助于研究者了解研究初期各类型土地的去向^[26-27],能够解释研究期间各土地类型面积的相互转化情况,流域研究期内土地转移矩阵如表 3 所示。

1990—2000 年间,分别有约 7% 和 9% 的农田转变为森林和草地,森林和草地之间存在高频度的相互转化,约有 16% 的森林转成草地,同时 27% 的草地转成森林,这表明草地是发生土地利用变化非常频繁的地类,而且在林地-农田的转变过程中可能起着过渡地类的作用。2000—2009 年间,流域地类转化更加明显,其中农田向其他地类转变的幅度明显增大,约有 31% 的农田转成森林,所占比例最大,19% 的农田转成草地,同时还有 6% 的农田转成建筑用地,该时期内另一个明显的变化是草地向森林的转变,约有 66% 的草地转成了森林,

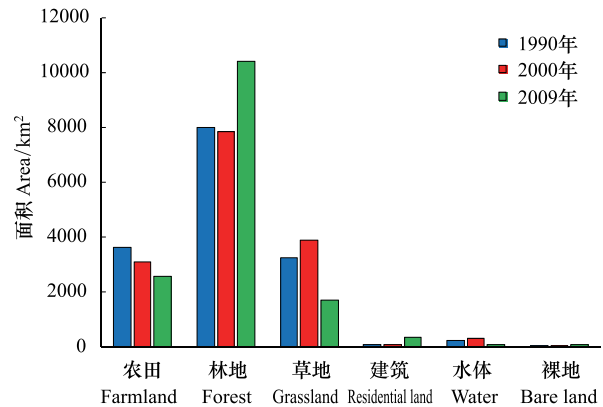


图 3 不同年份地类的面积

Fig. 3 The area of different land use types in different years

这也是该时期内草地面积大幅度减少的重要原因,同时还有 15% 的草地转成农田,2% 的草地转成了建筑用地,草地和农田向建筑用地的转变是该时期内建筑用地面积大幅度增加的主要原因。

总的来看,在 1990—2009 年间,流域内分别有 36%、19%、5% 的农田转成森林、草地和建筑用地;一部分森林也发生了向农田和草地的转变,所占的比例分别为 7% 和 6%;草地向其他地类的转变是最为剧烈的,多达 65% 的草地转变成了森林,还有 15% 转成了农田;同时该时期内约有 70% 的水体转变成了其他地类,这表明流域内的地表水资源经历了一个较为明显的衰减过程,河道和湿地的干涸使得原有的水体变成裸地或者是被改造为建筑用地。这一系列的变化表明在 1990—2009 年,密云水库流域林地-草地-农田这 3 种地类之间存在较为频繁的相互转变,包括农业、森林管理等一系列人类活动还是流域土地利用变化的重要影响因素。

表 3 流域土地利用转移矩阵

Table 3 land use transition matrix in watershed

年代 Period	地类 Land use type	末期农田 Final farmland	末期森林 Final forest	末期草地 Final grassland	末期建筑地 Final residential land	末期水体 Final water	末期裸地 Final bare land
1990—2000	初期农田 Primary farmland	82.90	7.26	8.81	0.19	0.83	0.00
	初期森林 Primary forest	0.39	83.31	16.09	0.04	0.16	0.00
	初期草地 Primary grassland	1.50	27.45	69.93	0.06	1.06	0.00
	初期建筑地 Primary residential land	1.12	9.42	3.41	80.86	5.18	0.01
	初期水体 Primary water	0.57	1.99	1.03	0.09	96.31	0.00
	初期裸地 Primary bare land	0.04	0.13	0.80	0.00	0.02	99.02
2000—2009	初期农田	42.73	31.17	18.73	5.85	0.17	1.35
	初期森林	7.01	86.14	6.28	0.37	0.03	0.17
	初期草地	15.14	66.24	15.85	2.04	0.08	0.64
	初期建筑地	26.72	18.82	3.95	47.52	0.23	2.75
	初期水体	27.80	28.27	5.42	6.22	26.29	6.00
	初期裸地	25.07	19.25	39.00	6.92	0.46	9.30
1990—2009	初期农田	38.87	35.76	18.54	5.36	0.21	1.27
	初期森林	7.29	86.43	5.76	0.34	0.02	0.17
	初期草地	14.65	64.84	17.07	2.32	0.42	0.70
	初期建筑地	25.46	26.55	3.85	39.69	1.91	2.54
	初期水体	31.26	18.84	6.73	6.80	29.24	7.13
	初期裸地	25.84	19.03	38.06	7.11	0.42	9.54

表中数字表示初期地类有百分之多少转变成末期地类

4.3 密云水库流域生态系统服务功能的响应

随着土地利用的变化,密云水库流域生态系统服务功能也相应发生着显著的变化。密云水库流域产水量的变化如图 4 所示,1990、2000、2009 年,流域的产水量分别为 3.99、4.20、3.87 亿 m^3 ,总体来看整个研究期内减少了 3%,流域约有 48% 的区域产水量减少(图 5)。2009 年的产水量最小,这是因为该时期的土地利用中林地的面积最大,包括针叶林、阔叶林等在内的森林地类具有更大的水分蒸散能力,单位面积的林地比农田草地能散失掉更多的水分,因此 2000—2009 年大范围扩张的林地使得产水量减小,流域产水量出现衰减的区域超过总面积的 41%,尤其是中部地区和水库周边地区出现非常明显的产水量衰退。而 1990—2000 年间,流域内耗水量相对较大的农田面积减少,同时水分蒸散能力相对较小的草地面积出现一定程度的增加,这一系列的变化使得该时期内流域的产水量出现增幅,产水量变化的空间分布也表明流域约有 31% 的区域产水增加。

密云水库流域的泥沙输出量在研究期内逐渐减少,1990、2000、2009 年的输出量分别为 6.05、5.61、3.26 万 t(图 4),这表明研究期内流域土壤保持功能持续得到改善,2009 年比 1990 年增加了 46%,从空间上来看,

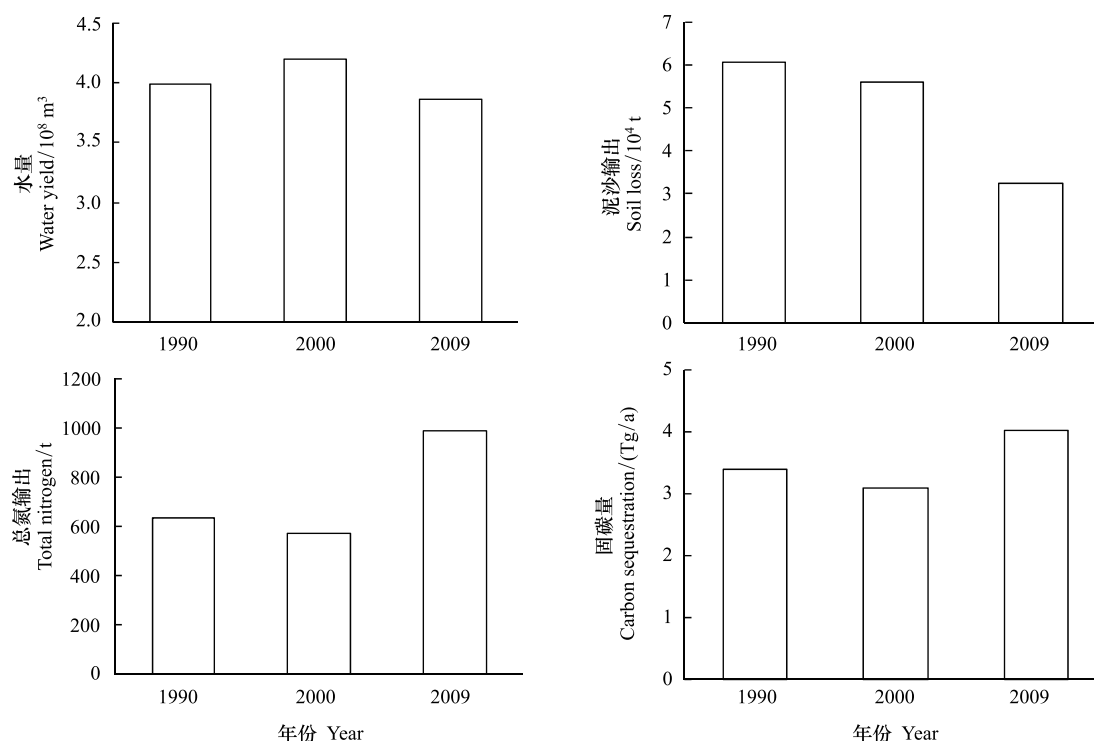


图4 不同年份的模型输出结果

Fig.4 Outputs of model in different years

有 37% 的区域土壤保持服务得到改善。受到地形以及耕作特征的影响,农田具有比其他土地覆盖类型更高的泥沙输出负荷,因此在过去的 20a 间,流域内农田面积的持续减少使得整体的泥沙输出量持续减少。而在 2000—2009 年间流域泥沙输出量减幅比前 10 更加明显,这是由该时期内林地面积的大幅度增加引起的,森林地表的生物多样性较高,植被覆盖度也相对较好,因而不仅自身泥沙输出负荷小,而且还有较好的泥沙截留能力,该时期森林面积的大规模扩张使得流域土壤保持服务的增幅更大,空间分布图也显示该时间段内流域土壤保持服务出现增加的区域超过流域总面积的一半,达到 64% (图 5)。

1990—2009 年,流域总氮输出呈先减少后增加的趋势,3 期的输出量分别为 634、571、987t,总体来看有较明显的增幅(图 4),这表明的 20a 间,流域的水质净化功能衰减了 55%。1990—2000 年间,农田的面积持续减少,由农业活动导致的面源污染也随之减少,从而在该时期内流域的总氮输出略有减少,但总体变化并不十分显著。在 2000—2009 年间,农田面积持续减少并且林地出现大面积扩张,前者能直接减少流域面源污染,后者由于林地有较好的氮素吸收去除能力,也能在一定程度上减少流域的总氮输出,但该时期内流域总氮输出量还是出现显著的增加。其原因在于城镇的快速扩张,在这一时期内,建筑用地面积扩张了 280%,该种地类具有极高的氮素输出负荷,而且一般建筑用地都临近河道,这种地类产生的氮素难以经过植物吸收去除而直接进入水体,故虽然其面积净增幅不大,但对流域总氮输出的增加却十分明显。虽然在该时期内流域有 60% 的区域水质净化服务增加(图 5),但是由于城镇的高氮素输出负荷,流域总体的水质净化服务还是出现了显著的衰退。

研究期内,流域的总固碳量也呈现出先减少再增加的变化趋势(图 4),3 期的固碳量分别为 3.38×10^6 、 3.08×10^6 、 4.03×10^6 t,总的来看碳储量增加了 0.64×10^6 t,增幅达 19%,表明流域的固碳服务有较大的改善。1990—2000 年,流域林地面积减少是该时间段内固碳量减少的主要原因,森林生态系统的固碳速率远高于其他类型的生态系统,因此林地向农田和草地的转化会使得流域的固碳服务出现衰减。2000—2009 年间,由于林地的大面积扩张,固碳速率有明显的增加,同时农田的持续减少进一步增加了流域总固碳量,该时间段内虽然建筑用地和裸地的大幅度扩张会在一定程度上减少固碳量,但相比于林地面积的增幅和农田面积的减幅,

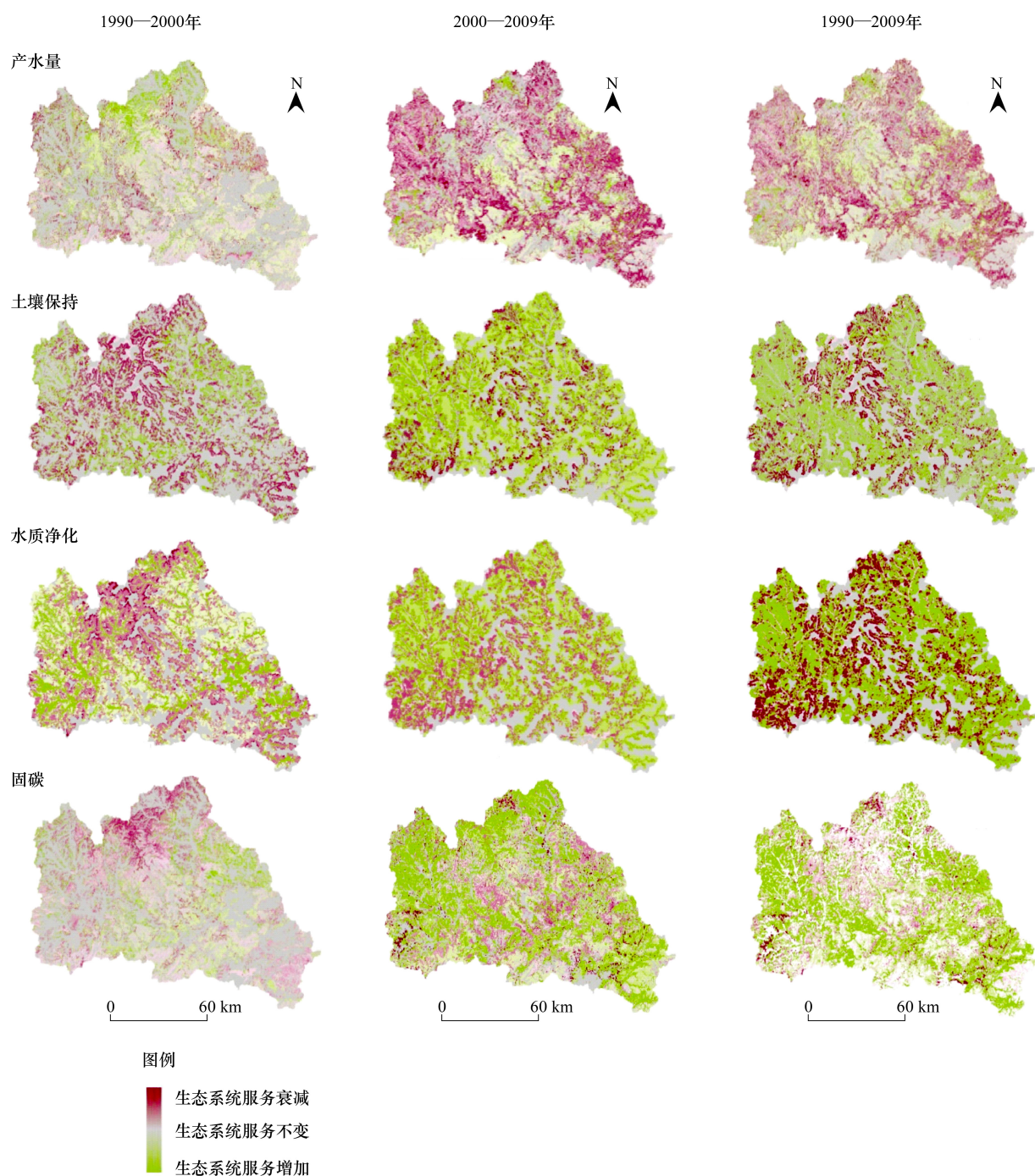


图5 不同时期生态系统服务变化的空间分布

Fig. 5 Maps of change in ecosystem services in different periods

这种变化还很微小,因而流域固碳服务在该时间段内增加了31%(图5)。

4 讨论

随着人口增长、经济发展以及一系列国家/地方政策的实施,密云水库流域土地利用发生了剧烈的变化,过去20a的基本趋势表现为流域林地、建筑用地和裸地增加,农田、草地以及水体减少。从土地利用转移变化来看,随着退耕还林还草政策的持续施行,密云水库流域内的农田持续向草地和森林转变,而且在后10a,随着流域内大规模的植树造林工程,森林扩张的趋势十分明显,与之相对应的是农田面积与草地面积的减少。农田、森林和草地三者之间处于高速的相互转换之中。同时,在2000—2009年,流域内建筑用地的大规模扩

张占用的主要是农田和草地的面积。

总的来看,森林的蒸散量要高于其他的土地覆盖类型,因此在气候条件一致的情况下,流域内水资源供给服务随着森林面积的扩张而出现衰退,众多研究也表明林地面积的扩张会明显减少河流径流量^[28-29]。流域1990—2009年水资源供给服务衰减幅度为3%,比2000—2009年间要小,但是两个时间段内林地面积的变化相差不大,这是因为流域内蒸散水分的能力由高到低分别是森林、农田和草地,而1990年的农田变成2009年的森林时,在2000年一般都是草地,故在2000—2009年间流域产水量的衰减更加明显。流域的泥沙输出主要受农田面积的影响,随着农田面积的持续减少,泥沙输出也逐渐减少,同时林地的扩张有利于水土保持,林地面积的大幅度增加使得泥沙输出在2000年后大幅度下降,因此土壤保持功能得到了较明显的改善。林地面积的增加虽然能改善水质净化功能,但是该种服务功能主要受到建筑用地的影响,建筑用地的扩张虽然总面积并不大,但是对水质净化功能的损害是及其显著的。固碳服务则表现出与森林面积较强的相关性,随着森林面积的增加,固碳服务出现明显的增幅。

如何采取合理的管理措施来对多种生态系统服务功能进行综合管理,进而实现最优化的发展一直是研究者关注的焦点^[30-34],Bennett^[35]认为针对不同生态系统服务功能之间共同的驱动力采取措施能有效促进多种服务功能的协同发展。本研究关注的服务之间的共同驱动力是土地利用变化,因而在明确地类变化对服务功能影响的基础上,决策者能通过制定合适的土地利用规划来实现可持续管理^[36-38]。结合流域的实际情况来看,管理生态系统服务的关键在于合理配置林地、草地和农田的分布格局。流域内林地的大面积扩张很好的改善了调节服务,但是对产水量的损害也是明显的,在流域水资源供需矛盾日益尖锐的情况下,进一步增加林地面积不仅对服务功能的改善有限,还有可能会进一步加剧流域缺水的现状。因此在未来的规划中可以选取合适的区域进行林地改造利用,同时加强关键区域的保护来保证水质,从而实现不同生态系统服务之间的协同发展。譬如大量的研究表明建设80m宽的河岸带能够较好地控制土壤元素流失,能有效减少50%—70%的沉积物^[39-41]。除了上述地类的分布格局之外,城镇区域极高的氮素输出负荷也暗示着在区域发展规划中,需要加大对城镇污染的治理,降低该种地类的单位面积污染输出负荷,从而减少对整体生态系统服务的负面影响,在城市化进程加快的大背景下,这一点的重要性愈发凸显。

本研究用中所涉及的生态系统服务功能种类相对较少,结果具有一定的局限性,但本研究依旧表明基于土地利用变化的生态系统服务功能研究方法是一种可行的研究范式,有助于将科学研究的结果纳入流域管理决策。在进一步的研究中,需要对评估方法进行完善,模拟更多的生态系统服务功能,并对模拟结果进行综合,用直观透明的指标来显示结果,从而使研究结果更易于接受和应用。

References:

- [1] Daily G C. *Nature's services: societal dependence on natural ecosystems*. Washington D C: Island Press, 1997.
- [2] Costanza R, d'Arge R, deGroot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, Oneill R V, Paruelo J, Raskin R G, Sutton P, vandenBelt M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997,387(6630):253-260.
- [3] Ouyang Z Y, Wang R S, Zhao J Z. Ecosystem services and their economic valuation. *Chinese Journal Of Applied Ecology*, 1999,10(5):635-640.
- [4] MA, *Ecosystems and Human well-being*. Washington D C: Island Press, 2005.
- [5] Gascoigne W R, Hoag D, Koontz L, Tangen B A, Shaffer T L, Gleason R A. Valuing ecosystem and economic services across land-use scenarios in the Prairie Pothole Region of the Dakotas, USA. *Ecological Economics*, 2011,70(10):1715-1725.
- [6] Daily G C, Matson P A. Ecosystem services: from theory to implementation. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 2008,105(28):9455-6.
- [7] Battin J, Wiley M W, Ruckelshaus M H, Palmer R N, Korb E, Bartz K K, Imaki H. Projected impacts of climate change on salmon habitat restoration. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 2007,104(16):6720-5.
- [8] Polasky S, Segerson K. Integrating Ecology and Economics in the Study of Ecosystem Services: Some Lessons Learned. *Annual Review of Resource Economics*, 2009,1:409-434.
- [9] Polasky S, Nelson E, Pennington D, Johnson K A. The Impact of Land-Use Change on Ecosystem Services, Biodiversity and Returns to Landowners: A Case Study in the State of Minnesota. *Environmental & Resource Economics*, 2011,48(2):219-242.

- [10] Nelson E, Sander H, Hawthorne P, Conte M, Ennaanay D, Wolny S, Manson S, Polasky S. Projecting global land-use change and its effect on ecosystem service provision and biodiversity with simple models. *PLoS One*, 2010,5(12):e14327.
- [11] Wardrop D H, Glasmeier A K, Peterson-Smith J, Eckles D, Ingram H, Brooks R P. Wetland ecosystem services and coupled socioeconomic benefits through conservation practices in the Appalachian Region. *Ecological Applications*, 2011,21(3):S93-S115.
- [12] Folke C, Carpenter S, Elmqvist T, Gunderson L, Holling C S, Walker B. Resilience and sustainable development: Building adaptive capacity in a world of transformations. *Ambio*, 2002,31(5):437-440.
- [13] Daily G C, Polasky S, Goldstein J, Kareiva P M, Mooney H A, Pejchar L, Ricketts T H, Salzman J, Shallenberger R. Ecosystem services in decision making: time to deliver. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2009,7(1):21-28.
- [14] Swetnam R D, Fisher B, Mbilinyi B P, Munishi P K T, Willcock S, Ricketts T, Mwakilila S, Balmford A, Burgess N D, Marshall A R, Lewis S L. Mapping socio-economic scenarios of land cover change: A GIS method to enable ecosystem service modelling. *Journal of Environmental Management*, 2011,92(3):563-574.
- [15] Du Z, Shen Y, Wang J, Cheng W. Land-use change and its ecological responses: a pilot study of typical agro-pastoral region in the Heihe River, northwest China. *Environmental Geology*, 2009,58(7):1549-1556.
- [16] Li T, Li W, Qian Z. Variations in ecosystem service value in response to land use changes in Shenzhen. *Ecological Economics*, 2010,69(7):1427-1435.
- [17] Li Z J, Li X B. Trend and causation analysis of runoff variation in the upper reach of Chaobaihe River Basin in northern China during 1961—2005. *Journal of Beijing Forestry University*, 2008, (S2):82-87.
- [18] Chen Y, Ma Q Y, Wang Y T, Kang F F, Tian P, Lu J F. Water chemical properties of Miyun Reservoir, Beijing and the main rivers flowing into the reservoir. *Journal of Beijing Forestry University*, 2007, (3):105-111.
- [19] Pang J P, Liu C M, Xu Z X. Impact of land use change on runoff and sediment yield in the Miyun reservoir catchment. *Journal of Beijing Normal University(Natural Science)*, 2010, (3):290-299.
- [20] Zheng J K, Yu X X, Jia G D, Xia B. Dynamic evolution of the ecological service value based on LUCC in Miyun Reservoir Catchment. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2010, (9):315-320.
- [21] Lu F, Wang X K, Han B, Ouyang Z Y, Duan X N, Zheng H, Miao H. Soil carbon sequestrations by nitrogen fertilizer application, straw return and no-tillage in China's cropland. *Global Change Biology*, 2009,15(2):281-305.
- [22] Fang Y, Ouyang Z Y, Xiao Y, Zheng H, Xu W H, Bai Y, Jiang B. Evaluation of the Grassland Ecosystem Services of the Haihe River Basin, China. *Journal of Natural Resources*, 2011, (10):1694-1706.
- [23] Bai Y, Ouyang Z Y, Zheng H, Xu W H, Jiang B, Fang Y. Evaluation of the forest ecosystem services in Haihe River Basin, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, (7):2029-2039.
- [24] Guo R, Wang X K, Lu F, Duan X N, Ouyang Z Y. Soil carbon sequestration and its potential by grassland ecosystems in China. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, (2):862-867.
- [25] Zhou Y R, Yu Z L, Zhao S D. Carbon storage and budget of major chinese forest types. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, (5):518-522.
- [26] Zhen L, Xie G D, Yang L, Cheng S K, Guo G M. Land-Use Change Dynamics, Driving Forces and Policy Implications in Jinghe Watershed of Western China. *Resources Science*, 2005, (4):33-37.
- [27] Gao C Y, Xu Y M. Study on Relationship between Economic Development and Land-use-A Case about Baoding Hebei. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2011, (4):392-396.
- [28] Chisholm R A. Trade-offs between ecosystem services: Water and carbon in a biodiversity hotspot. *Ecological Economics*, 2010,69(10):1973-1987.
- [29] van Dijk A I J M, Keenan R J. Planted forests and water in perspective. *Forest Ecology and Management*, 2007,251(1/2):1-9.
- [30] Schluter M, Leslie H, Levin S. Managing water-use trade-offs in a semi-arid river delta to sustain multiple ecosystem services: a modeling approach. *Ecological Research*, 2009,24(3):491-503.
- [31] Tallis H, Kareiva P, Marvier M, Chang A. An ecosystem services framework to support both practical conservation and economic development. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2008,105(28):9457-9464.
- [32] Wendland K J, Honzak M, Portela R, Vitale B, Rubinoff S, Randrianarisoa J. Targeting and implementing payments for ecosystem services: Opportunities for bundling biodiversity conservation with carbon and water services in Madagascar. *Ecological Economics*, 2010,69(11):2093-2107.
- [33] Ziv G, Baran E, Nam S, Rodriguez-Iturbe I, Levin S A. Trading-off fish biodiversity, food security, and hydropower in the Mekong River Basin. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2012,109(15):5609-5614.
- [34] Wardrop D H, Glasmeier A K, Peterson-Smith J, Eckles D, Ingram H, Brooks R P. Wetland ecosystem services and coupled socioeconomic

- benefits through conservation practices in the Appalachian Region. *Ecological Applications*, 2011, 21(3):S93-S115.
- [35] Bennett E M, Peterson G D, Gordon L J. Understanding relationships among multiple ecosystem services. *Ecology Letters*, 2009, 12(12): 1394-1404.
- [36] Ooba M, Wang Q, Murakami S, Kohata K. Biogeochemical model (BGC-ES) and its basin-level application for evaluating ecosystem services under forest management practices. *Ecological Modelling*, 2010, 221(16):1979-1994.
- [37] Farley K A, Jobbagy E G, Jackson R B. Effects of afforestation on water yield: a global synthesis with implications for policy. *Global Change Biology*, 2005, 11(10):1565-1576.
- [38] Southern A, Lovett A, O'Riordan T, Watkinson A. Sustainable landscape governance: Lessons from a catchment based study in whole landscape design. *Landscape and Urban Planning*, 2011, 101(2):179-189.
- [39] Cooper J R, Gilliam J W, Daniels R B, Robarge W P. Riparian areas as filters for agricultural sediment. *Soil Science Society of America Journal*, 1987, 51(2):416-420.
- [40] Lowrance R, McIntyre S, Lance C. Erosion and deposition in a field forest system estimated using cesium-137 activity. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1988, 43(2):195-199.
- [41] Zhu Q, Yu K J, Li D H. The width of ecological corridor in landscape planning. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, (9):2406-2412.

参考文献:

- [3] 欧阳志云, 王如松, 赵景柱. 生态系统服务功能及其生态经济价值评价. *应用生态学报*, 1999, (5):635-640.
- [17] 李子君, 李秀彬. 潮白河上游 1961—2005 年径流变化趋势及原因分析. *北京林业大学学报*, 2008, (S2):82-87.
- [18] 陈圆, 马钦彦, 王玉涛, 康峰峰, 田平, 卢俊峰. 北京密云水库及入库径流水化学特征分析. *北京林业大学学报*, 2007, (3):105-111.
- [19] 庞靖鹏, 刘昌明, 徐宗学. 密云水库流域土地利用变化对产流和产沙的影响. *北京师范大学学报(自然科学版)*, 2010, (3):290-299.
- [20] 郑江坤, 余新晓, 贾国栋, 夏兵. 密云水库集水区基于 LUCC 的生态服务价值动态演变. *农业工程学报*, 2010, (9):315-320.
- [22] 方瑜, 欧阳志云, 肖焱, 郑华, 徐卫华, 白杨, 江波. 海河流域草地生态系统服务功能及其价值评估. *自然资源学报*, 2011, (10): 1694-1706.
- [23] 白杨, 欧阳志云, 郑华, 徐卫华, 江波, 方瑜. 海河流域森林生态系统服务功能评估. *生态学报*, 2011, (7):2029-2039.
- [24] 郭然, 王效科, 逯非, 段晓男, 欧阳志云. 中国草地土壤生态系统固碳现状和潜力. *生态学报*, 2008, (2):862-867.
- [25] 周玉荣, 于振良, 赵士洞. 我国主要森林生态系统碳贮量和碳平衡. *植物生态学报*, 2000, (5):518-522.
- [26] 甄霖, 谢高地, 杨丽, 成升魁, 郭广猛. 泾河流域土地利用变化驱动力及其政策的影响. *资源科学*, 2005, (4):33-37.
- [27] 高彩云, 许月明. 经济发展与土地利用关系研究——以保定市为例. *中国农学通报*, 2011, (4):392-396.
- [41] 朱强, 俞孔坚, 李迪华. 景观规划中的生态廊道宽度. *生态学报*, 2005, (9):2406-2412.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 3 February, 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Ecosystem Service Simulation and Management

- Securing Natural Capital and Human Well-Being: Innovation and Impact in China Gretchen C. Daily, Ouyang Zhiyun, Zheng Hua, et al (677)
- Establishment of ecological compensation mechanisms in China: perspectives and strategies OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua, YUE Ping (686)
- Regional cooperation mechanism and sustainable livelihoods: a case study on paddy land conversion program (PLCP) LIANG Yicheng, LIU Gang, MA Dongchun, et al (693)
- Progress and perspectives of ecosystem services management ZHENG Hua, LI Yifeng, OUYANG Zhiyun, et al (702)
- Ecosystem services valuation and its regulation in Baiyangdian basin: Based on InVEST model BAI Yang, ZHENG Hua, ZHUANG Changwei, et al (711)
- Identification of hotspots for biodiversity conservation in the Wenchuan earthquake-hit area XU Pei, WANG Yukuan, YANG Jinfeng, et al (718)
- Effects of land use change on ecosystem services: a case study in Miyun reservoir watershed LI Yifeng, LUO Yuechu, LIU Gang, et al (726)
- Impacts of forest eco-benefit tax on industry price levels in Shaanxi Province, China LI Jie, LIU Zhengnan, HAN Xiuhua (737)
- Spatial characteristics of soil conservation service and its impact factors in Hainan Island RAO Enming, XIAO Yi, OUYANG Zhiyun, et al (746)
- Perception and attitudes of local people concerning ecosystem services of culturally protected forests GAO Hong, OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua, et al (756)
- Standard of payments for ecosystem services in Sanjiangyuan Natural Reserve LI Yifeng, LUO Yuzhu, ZHENG Hua, et al (764)
- Natural landscape valuation of Wulingyuan Scenic Area in Zhangjiajie City CHENG Cheng, XIAO Yi, OUYANG Zhiyun, et al (771)
- Satellite-based monitoring and appraising vegetation growth in national key regions of ecological protection HOU Peng, WANG Qiao, FANG Zhi, et al (780)
- Spatial Pattern of Water Retention in Dujiangyan County FU Bin, XU Pei, WANG Yukuan, et al (789)
- Spatial distribution of carbon storage function and seismic damage in wenchuan earthquake stricken areas PENG Yi, WANG Yukuan, FU Bin, et al (798)

Frontiers and Comprehensive Review

- The Porter Hypothesis: a literature review on the relationship between eco-innovation and environmental regulation DONG Ying, SHI Lei (809)
- Ecological protection and well-being LI Huimei, ZHANG Anlu (825)
- An overview of the updated classification system and species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi WANG Yutao, XIN Guorong, LI Shaoshan (834)

Autecology & Fundamentals

- Evaporation paradox in the northern and southern regions of the Qinling Mountains JIANG Chong, WANG Fei, LIU Sijie, et al (844)
- The diet composition and trophic niche of main herbivores in the Inner Mongolia Desert steppe LIU Guihe, WANG Guojie, WANG Shiping, et al (856)
- Abstraction and analysis of vegetation information based on object-oriented and spectra features CUI Yijiao, ZHU Lin, ZHAO Lijuan (867)
- Hyperspectral estimation models for photosynthetic pigment contents in leaves of *Eucalyptus* ZHANG Yonghe, CHEN Wenhui, GUO Qiaoying, et al (876)
- Response of photosynthesis and chlorophyll fluorescence characteristics of *Pterocarya stenoptera* seedlings to submergence and drought alternation WANG Zhenxia, WEI Hong, LÜ Qian, et al (888)

Effect of flooding stress on growth and photosynthesis characteristics of <i>Salix integra</i>	
.....	ZHAO Hongfei, ZHAO Yang, ZHANG Chi, et al (898)
Water consumption of pear jujube trees (<i>Ziziphus jujuba</i> Mill.) and its correlation with trunk diameter during flowering and fruit development periods	ZHANG Linlin, WANG Youke, HAN Lixin, et al (907)
Estimation of nitrogen nutrient index on SPAD value of top leaves in wheat	
.....	ZHAO Ben, YAO Xia, TIAN Yongchao, et al (916)
Population, Community and Ecosystem	
Carbon and nitrogen storage under different plantations in subtropical south China	
.....	WANG Weixia, SHI Zuomin, LUO Da, et al (925)
Impact on water and soil conservation of different bandwidths in low-efficiency cypress forest transformation	
.....	LI Yanqiong, GONG Gutang, ZHENG Shaowei, et al (934)
Seasonal changes of phytoplankton community structure in Jinshuitan Reservoir, Zhejiang, China	
.....	ZHANG Hua, HU Hongjun , CHAO Aimin, et al (944)
Winter carrying capacity and the optimum population density of wild boar in fenghuang Mountains National Nature Reserve of Heilongjiang Province	MENG Gentong, ZHANG Minghai, ZHOU Shaochun (957)
Diversity of ground-dwelling spider community in different restoring times of post-fire forest, Cangshan Mountain, Yunnan Province	
.....	MA Yanyan, LI Qiao, FENG Ping, et al (964)
Landscape, Regional and Global Ecology	
Drought characteristics in the shiyang river basin during the recent 50 years based on a composite index	
.....	ZHANG Tiaofeng, ZHANG Bo, WANG Youheng, et al (975)
Land use spatial distribution modeling based on CLUE-S model in the Huangshui River Basin	
.....	FENG Shichao, GAO Xiaohong, GU Juan, et al (985)
Research Notes	
Patterns of terrestrial anthropogenic impacts on coastal wetlands in three city clusters in China	WANG Yijie, YU Shen (998)
Eutrophication development and its key affected factors in the Yanghe Reservoir	WANG Liping, ZHENG Binghui (1011)

《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 33 卷 第 3 期 (2013 年 2 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 3 (February, 2013)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元