

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第33卷 第8期 Vol.33 No.8 **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 8 期 2013 年 4 月 (半月刊)

目次

城市生态系统研究专题

- 城市生态系统:演变、服务与评价——“城市生态系统研究”专题序言 王效科 (2321)
- 城市生态景观建设的指导原则和评价指标 孙然好,陈爱莲,李 芬,等 (2322)
- 城市绿色空间格局的定量化方法研究进展 陶 宇,李 锋,王如松,等 (2330)
- 城市土地利用变化对生态系统服务的影响——以淮北市为例 赵 丹,李 锋,王如松 (2343)
- 基于市政综合监管信息的城市生态系统复杂性分析 董仁才,苟亚青,刘 昕 (2350)
- 原位生物技术对城市重污染河道底泥的治理效果 柳 敏,王如松,蒋 莹,等 (2358)
- 北京城区道路沉积物污染特性 任玉芬,王效科,欧阳志云,等 (2365)
- 绿地格局对城市地表热环境的调节功能 陈爱莲,孙然好,陈利顶 (2372)
- 北京城区气传花粉季节分布特征 孟 龄,王效科,欧阳志云,等 (2381)

个体与基础生态

- 三江源区高寒草甸退化对土壤水源涵养功能的影响 徐 翠,张林波,杜加强,等 (2388)
- 土壤砷植物暴露途径的土壤因子模拟 线 郁,王美娥,陈卫平 (2400)
- 不同寄主植物对马铃薯甲虫的引诱作用 李 超,程登发,郭文超,等 (2410)
- 蒙古栎、白桦根系分解及养分动态 靳贝贝,国庆喜 (2416)
- 干旱和坡向互作对栓皮栎和侧柏生长的影响 王 林,冯锦霞,王双霞,等 (2425)
- 不同郁闭度下胸高直径对杉木冠幅特征因子的影响 符利勇,孙 华,张会儒,等 (2434)
- 驯化温度与急性变温对南方鲢幼鱼皮肤呼吸代谢的影响 鲜雪梅,曹振东,付世建 (2444)

种群、群落和生态系统

- 五鹿山国家级自然保护区物种多样性海拔格局 何艳华,闫 明,张钦弟,等 (2452)
- 玉龙雪山白水 1 号冰川退缩迹地的植被演替 常 丽,何元庆,杨太保,等 (2463)
- 五花米草海向入侵对土壤有机碳组分、来源和分布的影响 王 刚,杨文斌,王国祥,等 (2474)
- 南亚热带人工针叶纯林近自然改造早期对群落特征和土壤性质的影响 何友均,梁星云,覃 林,等 (2484)
- 入侵植物黄顶菊生长、再生能力对模拟天敌危害的响应 王楠楠,皇甫超河,李玉浸,等 (2496)
- 小兴安岭白桦次生林叶面积指数的估测 刘志理,金光泽 (2505)
- 草地植物群落最优分类数的确定——以黄河三角洲为例 袁 秀,马克明,王 德 (2514)
- 多毛类底栖动物在莱州湾生态环境评价中的应用 张 莹,李少文,吕振波,等 (2522)
- 马尾松人工林火烧迹地不同恢复阶段中小型土壤节肢动物多样性 杨大星,杨茂发,徐 进,等 (2531)

景观、区域和全球生态

- 极端干旱区大气边界层厚度时间演变及其与地表能量平衡的关系 张 杰,张 强,唐从国 (2545)

基于多源遥感数据的景观格局及预测研究..... 赵永华,贾 夏,刘建朝,等 (2556)

城市化流域生态系统服务价值时空分异特征及其对土地利用程度的响应.....

..... 胡和兵,刘红玉,郝敬锋,等 (2565)

资源与产业生态

碳汇目标下农户森林经营最优决策及碳汇供给能力——基于浙江和江西两省调查.....

..... 朱 臻,沈月琴,吴伟光,等 (2577)

基于 GIS 的缓坡烟田土壤养分空间变异研究..... 刘国顺,常 栋,叶协锋,等 (2586)

春玉米最大叶面积指数的确定方法及其应用..... 麻雪艳,周广胜 (2596)

城乡与社会生态

广州市常见行道树种叶片表面形态与滞尘能力 刘 璐,管东生,陈永勤 (2604)

研究简报

桔梗种子萌发对低温、干旱及互作胁迫的响应..... 刘自刚,沈 冰,张 雁 (2615)

基质养分对寄生植物南方菟丝子生长的影响 张 静,李钧敏,闫 明 (2623)

学术信息与动态

人类活动对森林林冠的影响——第六届国际林冠学大会述评..... 宋 亮,刘文耀 (2632)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 316 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 34 * 2013-04



封面图说: 互花米草近景——互花米草是多年生高大禾本科植物,植株健壮而挺拔,平均株高约 1.5m,最高可达 3.5m,茎秆直径可达 1cm 以上。原产于大西洋沿岸,是一种适应海滩潮间带生长的耐盐、耐淹植物。我国于 1979 年开始引入,原意主要是用于保滩护堤、促淤造陆和改良土壤等。但是,近年来,互花米草迅速扩散,在一些区域里,已经完全郁闭,形成了单优种群,严重排挤了本土物种的生长,并且还在以指数增长的速度逐年增加,对海岸湿地土著物种和迁徙鸟类造成的危害日益严重,已经列为必须严格控制的有害外来入侵物种。

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

DOI: 10.5846/stxb201201100048

胡和兵, 刘红玉, 郝敬锋, 安静. 城市化流域生态系统服务价值时空分异特征及其对土地利用程度的响应. 生态学报, 2013, 33(8): 2565-2576.

Hu H B, Liu H Y, Hao J F, An J. Spatio-temporal variation in the value of ecosystem services and its response to land use intensity in an urbanized watershed. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(8): 2565-2576.

城市化流域生态系统服务价值时空分异特征 及其对土地利用程度的响应

胡和兵^{1,2}, 刘红玉^{1,*}, 郝敬锋¹, 安 静¹

(1. 南京师范大学地理科学学院, 南京 210046; 2. 池州学院 资源环境与旅游系, 池州 247000)

摘要:以南京市九乡河流域为研究区域,以 2003 与 2009 年 2 景 QuickBird 影像数据为基本信息源,应用空间自相关模型,结合 GIS 空间分析技术,定量探讨了城市化流域生态系统服务价值时空分异特征,以及土地利用程度对生态服务价值空间分异的影响。结果表明:2003—2009 年,九乡河流域生态系统服务总价值减少了 2.59%,而流域生态系统服务价值的空间聚集性增强;生态服务价值的高-高区域主要集中在流域上游,低-低区域主要集中在流域下游的仙林大学城一带;九乡河流域生态系统服务价值空间分异发生了明显变化,下游仙林大学城一带低-低分布区快速扩张,而高-高分布区仅在九乡河源头及下游的局部区域有所增加;流域生态服务价值空间自相关表现出明显的尺度效应,随着研究尺度增大,生态服务价值的空间自相关性逐渐增强;九乡河流域生态服务价值的空间分异及其变化主要是由土地开发利用引起,流域土地利用程度对生态服务价值存在明显的负效应。

关键词:生态系统服务价值;时空分异;空间自相关;土地利用程度

Spatio-temporal variation in the value of ecosystem services and its response to land use intensity in an urbanized watershed

HU Hebing^{1,2}, LIU Hongyu^{1,*}, HAO Jingfeng¹, AN Jing¹

1 College of Geographical Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210046, China

2 Department of Resources Environmental and Tourism, Chizhou College, Chizhou 247000, China

Abstract: Ecosystem services have been described as the direct and indirect benefits people obtain from ecological systems. Maintenance and conservation of functioning ecosystem services is the basis for achieving sustainable development. This anthropocentric view has led to increased efforts to identify, quantify, and place a monetary value on ecosystem services. In recent years, with the gradual deepening of this field of study as well as the development of 3S technology, more research has begun to focus on spatial ecosystem patterns and factors influencing the value of ecosystem services while achieving a series of impressive results. However, most previous studies lack quantitative analysis which includes the study of how accumulation rules, association patterns of the value of ecosystem services vary spatially, and few studies focus on the how the intensity of land use effects the value of ecological services. Studying the spatial variation of the value of ecosystem services and factors affecting the value helps us to gain an in-depth understanding of the characteristics of regional ecosystems and reveal the mechanisms driving changes in the value of the ecosystem services they provide.

Exploring the spatio-temporal variations in the value of ecosystem services is critical to a thorough understanding of

基金项目:国家自然科学基金项目(41071119);江苏省“青蓝工程”项目(184080H10240);江苏省高校优势学科建设工程项目;国家自然科学基金项目(41071337);安徽省自然科学研究项目(KJ2012A208)

收稿日期:2012-01-10; 修订日期:2012-10-26

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: liuhongyu@njnu.edu.cn

typical urbanized watersheds. The Jiuxiang River watershed in the city of Nanjing is used here as a case study to estimate the spatial distribution and dynamics of ecosystem services, based on QuickBird imagery collected in 2003 and 2009, a spatial autocorrelation model and geographic information system technology. A study of the impacts of how urbanization changes land use patterns and the effect on the value of ecosystem services was conducted. Results show a decline in the value of ecosystem services from 0.230 to 0.224 billion yuan from 2003 to 2009, respectively, in the study watershed, which indicated the value of the watershed's ecosystem services decreased 2.59% because of land use change caused by urbanization. Also, a trend toward spatial clustering of ecosystem service values was enhanced; the areas of high value ecosystem service were mainly concentrated in the upstream portions of the watershed and the low value areas were mainly concentrated in Xianlin University City in the downstream areas; the change of spatial distribution of ecosystem service value was significant in the Jiuxiang River watershed. The low value area has experienced rapid expansion around Xianlin University City in the downstream portion of the watershed, and the high value area increased only in local areas of the Jiuxiang River headwaters and upstream areas. The spatial autocorrelation of watershed ecosystem service value showed significant scale effects; the value of ecosystem services gradually increased as the scale increased. The spatial distribution and the corresponding change in the value of ecosystem services were mainly caused by land development and use patterns; the higher levels of land use in the watershed had a significantly negative effect on value of ecological services, which shows the ecological service value decreased as the intensity of land use increased. Therefore, we should consider appropriate land use options to adapt future land use patterns in light of impacts to ecological services, based on past and present land use changes. Most importantly, land use planners should strive to protect water bodies, wetlands, vegetation, and environmentally sensitive areas. Also, the density of construction land should be restrained, and appropriate engineering and mitigation measures should be initiated to repair degraded areas, including urban afforestation, pollution control, and so on.

Key Words: ecosystem services value; land use; spatio-temporal heterogeneity; spatial autocorrelation analysis

维持和保育生态系统服务是实现可持续发展的基础^[1]。生态系统服务是指生态系统与生态过程所形成及所维持的人类赖以生存的自然环境条件与效用^[2]。它不仅为人类提供了食品医药及其他生产生活原料,还创造和维持了地球生命支持系统,形成了人类生存所必须的环境条件^[3],是人类社会的关键自然资本^[4]。对其价值进行定量评估是高效、合理配置竞争性需要环境资源的基础^[5],也是制定生态环境建设补偿政策的重要前提^[6]。自 1997 年 Costanza^[7] 等开展全球生态服务价值评估以来,国内外学者针对全球或区域^[7-8]、流域^[9-10]以及城市^[11]等不同尺度,森林^[12-13]、湿地^[14-15]、河流^[16-17]以及农田^[18]等不同类型的生态系统服务价值展开了广泛而深入的研究。近年来,随着研究的逐步深入以及 3S 技术的发展,越来越多的学者开始注重对生态服务价值空间分布格局及其影响因素的探讨,并取得了一系列成果^[18-23]。但以往的相关研究,大多侧重于研究区生态系统服务价值分布格局的空间展示,缺乏对生态系统服务价值在空间上的聚集规律、关联模式等分布特征的定量研究,专门关于土地利用程度对生态服务价值影响的研究也较少。研究区域生态系统服务价值的空间分异特征及其影响因素,对揭示生态系统服务价值变化的驱动机制,深入了解区域生态系统特征具有重要意义。

空间自相关分析是定量研究空间关系问题,分析空间格局的重要方法和有效手段^[24-26]。生态系统服务价值和区域的自然地理要素分布、社会经济发展状况直接相关。这些因素在空间上均具有随机性和结构性,具有地学特征,因此生态系统服务价值和各种地理实体一样,存在着一定的空间关联性,可以运用空间自相关分析等地学统计分析方法^[23]。

本研究选择快速城市化的南京市九乡河流域为研究区,以 2003 年和 2009 年遥感影像为基础数据,应用空间自相关模型,结合 GIS 技术分析九乡河流域生态系统服务价值的时空分异特征,以及土地利用程度对生

态系统服务价值空间分异的影响,以期为城市化区域土地利用规划管理、生态服务价值的保育与恢复提供理论参考。

1 研究区域概况

九乡河流域(118°52′—119°1′E,32°1′—32°10′N)位于南京市东郊(图1),南北长18.50 km,东西平均宽约5.74 km,总面积106.21 km²。地势南高北低,南部丘陵、岗地连绵起伏,北部沿江平原,地势低平,汛期常受洪水威胁,是南京市重点防洪区之一。北部的仙林大学城是南京市重要的科技和人才集中区,栖霞山风景区被誉为“金陵第一明秀山”。中部和南部农业基础雄厚,是南京市重要的农副产品生产基地。2003 年以前,该地区是比较典型的农业景观,在近几年,随着南京仙林新市区的不断扩展,北部大量的自然和农业景观类型被改造成非农业景观类型,景观结构逐渐显示出强烈的快速城市化色彩,区域生态系统所承受的人为改造压力不断增加^[20]。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源及处理

首先获取了研究区2003年6月和2009年6月2景全色 Quick Bird 影像数据(星下点空间分辨率为0.61 m)。为消除大气等因素对遥感解译的影响,本研究利用6S模型对2景影像进行大气校正。同时以南京市1:50000地形图作为参考,在ArcGIS9.2中分别对2景影像进行配准,然后在ArcGIS环境下,先对2009年的影像进行人机交互判读解译,再将解译结果叠加于2003年影像,修改土地利用变化的区域,获得2003年的解译结果,以保证解译结果边界一致性和可比性。经过多次实地调查和反复纠正后检验,最后2景的影像总体分类精度在98%以上。参照全国土地利用分类方法,将研究区的土地利用分为耕地、林地、水域、建设用地、草地、城市绿地和未利用地7种类型,得到2003和2009年土地利用图。初步分析表明,从2003至2009

年,九乡河流域土地利用发生了较大变化,其中耕地面积减少17.33%,其它各土地利用类型面积都有所增加,最为明显的是未利用地,增加了20.77%,其次是建设用地和城市绿地,分别增加了19.92%和19.80%。

通过对1:50000南京市地形图进行数字化,获得该区域的DEM数据,然后使用ArcGIS9.2的Hydrology模块完成流域分割,获取流域范围。

2.2 研究方法

2.2.1 生态系统服务价值计算

Costanza 等提出的生态系统服务价值评估体系是迄今为止应用最为广泛的方法^[7]。谢高地等^[27]依据Costanza 的评估方法,制定了中国陆地生态系统服务价值当量因子表。本研究运用谢高地等^[27]的研究成果,结合研究区的实际情况进行了如下调整:(1)增加了城市绿地这一土地利用类型。为确定城市绿地的价值当量,本研究将城市绿地简化为由林地、草地(草坪)以及景观水域组成,并假定林地、草地和水域的面积比例为5:4:1^[28]。由此确定城市绿地的价值当量为: $V_{\text{城市绿地}} = 0.5V_{\text{林地}} + 0.4V_{\text{草地}} + 0.1V_{\text{水域}}$ 。由于城市绿地一般不具有提供原材料和食物生产功能^[28],故将城市绿地以上两种功能的价值当量调整为荒漠的价值当量,而将提供美学景观的价值当量调整为等同于水域的价值当量。(2)对单位当量因子的价值进行了调整。依据南京市2003—2008年粮食平均产量(5986.20 kg/hm²),江苏省粮食的平均收购价格(1.71 元/kg),再考虑没有人力投入的自然生态系统提供的经济价值是现有单位面积农田提供的食物生产服务经济的1/7^[20],计算出九乡河

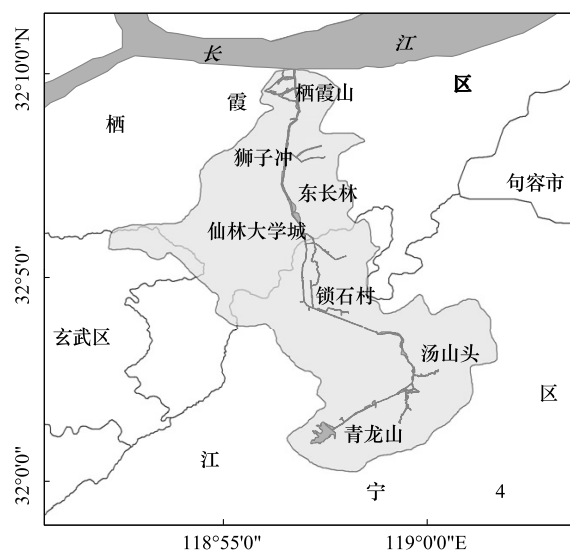


图1 研究区位置示意图

Fig.1 The location of Jiuxiang River watershed

流域 1 个当量因子的价格为 1462.3 元。在此基础上,进一步计算出研究区各土地类型的价值系数。生态系统服务价值的估算模型为:

$$ESV = \sum A_k \times VC_k \quad (1)$$

式中, ESV 为研究区生态系统服务总价值,元; A_k 为第 k 种土地利用类型的面积 hm^2 , VC_k 为第 k 种土地利用类型的价值系数,元 $\cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。

根据研究区范围大小以及斑块的平均大小 ($0.01\text{--}0.02\text{km}^2$),利用 ArcGIS 技术,采用 $0.1\text{km} \times 0.1\text{km}$ 的正方形格网单元覆盖研究区的两期土地利用图,计算出每个格网的生态系统服务价值,形成两期生态系统服务价值的空间分布图。

2.2.2 土地利用程度指数

土地利用程度在一定程度上反映着人为活动的干扰程度。人为活动的作用结果使土地这一自然综合体的原始自然属性不断降低,不同的土地利用类型代表着不同的人类活动或土地利用程度特征。参照刘纪远等提出的计算方法^[29],给出土地利用程度指数:

$$L = 100 \times \sum_{i=1}^n A_i P_i / A_T \quad (2)$$

式中, L 为研究区域土地利用程度综合指数; n 为土地利用类型的数量,本研究将土地利用类型的数量分为 7 类,故 n 取 7; A_i 为第 i 类土地利用类型的面积; A_T 为研究区域总面积; P_i 为不同类型的土地利用程度参数,反映不同土地利用类型的人类参与、管理、改造的强度和属性特征。将 Delphi 打分法和 Leopold 矩阵法相结合^[30],通过取二者均值的方法确定流域土地利用程度参数 P_i 值(表 1)。

表 1 不同土地利用类型的土地利用程度参数(P_i)设置

Table 1 Determination of land use degree (P_i) for different land use classes

耕地 Cropland	林地 Woodland	水域 Water body	草地 Grassland	建设用地 Construction land	城市绿地 Urban green space	未利用地 Unused land
0.545	0.114	0.120	0.215	0.936	0.267	0.063

2.2.3 空间自相关分析方法

空间自相关分析是用于衡量空间变量的分布是否具有集聚性,主要通过空间自相关指数来度量,可分为全局空间自相关分析和局部空间自相关分析。表示空间自相关的指标和方法很多,其中最常用的是 Moran's I 指数^[25]。

(1) 全局空间自相关

全局空间自相关可反映观测变量在整个研究区域内空间相关性的总体趋势^[26]。本研究采用全局 Moran's I 指数,计算公式为:

$$\text{Moran's } I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x}) (x_j - \bar{x})}{\left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \right) \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (3)$$

式中, n 为空间单元的数量, x_i 和 x_j 分别代表变量 x 在第 i 和 j 个空间单元的观测值, $\bar{x}$ 为 x 的均值, w_{ij} 为空间权重矩阵, x_i 和 x_j 相邻时为 1,不相邻为 0。Moran's I 指数的取值在 -1 和 1 之间,小于 0 时表示负相关,等于 0 表示不相关,大于 0 表示正相关。其值越大,表示观测值在空间分布上的关联性越大,聚集性越强。

(2) 局部空间自相关

虽然全局空间自相关分析可以揭示区域空间单元的总体依赖程度,但不能反映局部区域单元的空间自相关性^[26]。本文采用局部 Moran's I_i 指数(LISA)测度单元 i 和 j 之间空间要素的异质性,计算公式为:

$$\text{Moran's } I_i = \frac{(x_i - \bar{x})}{m_0} \sum_j w_{ij} (x_j - \bar{x}) \quad (4)$$

式中, $m_0 = \sum_i (x_i - \bar{x})^2 / n$; x_i, x_j, w_{ij} 以及 $\bar{x}$ 的含义同上。Moran' I_i 的值大于 0, 表示空间单元高-高值或低-低值的空间聚集, Moran' I_i 的值小于 0, 表示空间单元高-低或低-高值的空间聚集。对 Moran' I_i 的显著性检验可用公式(5)进行。

$$Z(I_i) = \frac{I_i - E(I_i)}{\sqrt{\text{VAR}(I_i)}} \quad (5)$$

式中, $Z(I_i)$ 表示空间自相关的显著水平, $E(I_i)$ 表示 Moran' I_i 的数学期望, $\text{VAR}(I_i)$ 表示方差。

3 结果分析

3.1 流域生态系统服务价值时空变化总体特征

从表 2 可以看出, 2003—2009 年九乡河流域生态系统服务总价值、网格的平均值均有所减少, 但下降的幅度不大, 其中生态系统服务总价值下降了 2.59%。变异系数较 2003 年有所增加, 说明随着流域生态系统在城市化过程中人为干扰程度的加大, 流域生态系统服务价值的总体离散程度增加。

表 2 九乡河流域生态系统服务价值描述性统计

Table 2 Descriptive statistics of ecosystem services value in Jiuxiang River watershed

年份 Year	格网数目 Count /个	最小值/万元 Minimum	最大值/万元 Maximum	平均值/万元 Mean	标准差 Standard Deviation	变异系数 CV/%	总价值/万元 Total
2003	10202	0.932	6.339	2.258	1.536	68.025	23036.116
2009	10202	0.845	6.339	2.200	1.701	77.318	22440.319

图 2 为流域生态服务价值全局趋势分析示意图。x 轴表示正东方向, y 轴表示正北方向, z 值表示生态系统服务价值大小。图 2 显示, 流域生态系统服务价值具有明显的趋势效应: 在东西方向(x 轴)呈现出东高西低的凸形曲线, 在南北方向(y 轴)呈南北高中间低的凹形曲线。说明在东西方向, 流域东部的生态系统服务价值较高; 在南北方向上, 流域上游和下游的生态系统服务价值较高, 而中游较低。在东西方向, 由于流域西部靠近南京市主城区, 受城市化影响明显, 尤其是近年来仙林大学城的迅速扩张, 使流域西部的生态系统服务价值不断下降; 而在流域的东部, 大小丘陵、岗地连绵起伏, 离主城区相对较远, 受城市化影响小, 生态服务价值也相对较高。在南北方向, 流域上游分布有青龙山和龙尚湖风景区, 在下游分布有栖霞山风景区以及羊山等低山, 这些区域的植被保护较好, 生态完整性高, 生态服务价值也较高; 而流域中部是广大的农业种植区, 受人为扰动较大, 而且中游的面积也相对较小, 因此中游的生态系统服务价值较低。

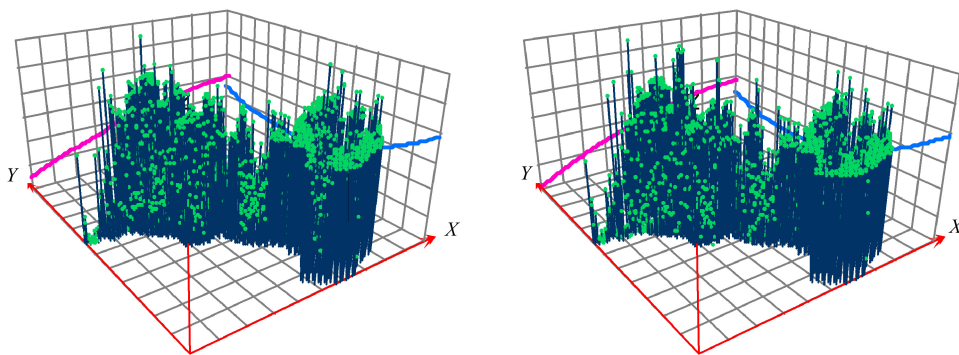


图 2 九乡河流域生态系统服务价值趋势面

Fig. 2 The trend surface of ecosystem services value in Jiuxiang River watershed

3.2 流域生态系统服务价值空间自相关分析

3.2.1 流域生态系统服务价值的全局空间自相关及其对尺度的响应

为揭示不同尺度上九乡河流域生态系统服务价值空间自相关性特征, 在现有 0.1km×0.1km(尺度 I) 格

网的基础上,利用 ArcGIS 软件,继续生成流域 $0.2\text{km}\times 0.2\text{km}$ (尺度 II) 以及 $0.3\text{km}\times 0.3\text{km}$ (尺度 III) 2 种尺度的正方形格网,然后采用不同的间隔距离,计算出 3 种尺度下不同年代生态服务价值的 Moran' I 指数 (图 3)。

可以看出,2003 年和 2009 年九乡河流域生态服务价值的 Moran' I 均大于 0,说明流域生态服务价值整体呈正的空间自相关关系,流域生态服务价值在空间分布上并非表现完全的随机性,而是表现出一定的空间聚集性:生态服务价值高的区域趋于相邻,生态服务价值较低的区域也趋于相邻。从不同尺度 Moran' I 值的大小可以看出,2009 年该值整体上较 2003 年大,表明从 2003 至 2009 年,九乡河流域生态系统服务价值相近的区域在空间上趋于集中分布,生态系统服务价值的空间差异变小,空间趋同性增强。

图 3 显示,在 2003 年和 2009 年,九乡河流域生态服务价值表现出明显的尺度效应:随着研究尺度的增加流域生态服务价值空间自相关性逐渐增强。在各尺度上,2003 年的空间自相关性总体上较 2009 年弱。

3.2.2 流域生态系统服务价值局部空间自相关分析

(1) Moran 散点图

由于全局 Moran' I 指数是一种总体统计指标,只能显示某一区域与其周边地区空间差异的平均程度,这在一定程度上掩盖了区域的局部空间特征^[26],不能全面反映流域内部生态系统服务价值的空间关系。因此,需要借助 Moran 散点图进一步分析九乡河流域生态服务价值的空间特征。

Moran 散点图可用来表达生态系统服务价值的标准化向量 ESV (横轴) 与它的空间滞后向量 W_ESV (纵轴) 之间的相关关系。每个格网生态服务价值的空间滞后即为该格网观测值与周围格网观测值的加权平均,并通过标准化的空间加权矩阵加以定义。应用 GeoDA 软件进行局域空间自相关指标计算,获得 2003 和 2009 年的 Moran 散点图 (图 4)。

从图 4 可以看出,2003 年和 2009 年生态服务价值散点主要分布在第一和第三象限 (约占全部格网数的 89%),第二、四象限散点分布较少。说明流域生态服务价值具有显著的正空间自相关,生态服务价值相近的格网在空间上呈聚集分布状态。其中第三象限的点最为集中,表明在生态服务价值低值区各格网间的差异较小。而第一象限的点最为离散,说明在生态服务价值较高的区域各格网间差别较大;相比 2003 年,2009 年沿趋势线方向散点数量也明显增加,表明随着城市化过程的推进,在生态服务价值的高值区,有部分格网的生态服务价值增加且明显高于其他格网。第二和第四象限的变化不大,但均出现了少数的离群点,说明在生态服务价值高低交错分布的区域中,仍有少数的格网生态服务价值与周边格网差别较大。

(2) LISA 集聚图

LISA 是衡量空间单元属性与周围单元的相近 (正相关) 和相异 (负相关) 程度及其显著性的指标,可以由 LISA 集聚图来表现 (图 5,图 6) (其他尺度的结果相似,限于篇幅,仅以 $0.1\text{km}\times 0.1\text{km}$ 为例说明)。从图 5 可以看出,九乡河流域生态系统服务价值的高值区主要集中在上游,低值区主要集中在下游。从 2003—2009 年,九乡河流域生态系统服务价值空间分布格局发生了较大的变化。流域的上游和下游变化比较明显,而中游的广大农业种植区变化不大。在流域下游,受城市化过程的影响,低-低类型区分布的范围迅速扩张,从仙林大学城一直向北扩张至狮子冲,向南延伸至灵山,向东跨过九乡河蔓延至东长林,并逐渐连成一片;而高-高类型区的变化主要集中在九乡河的源头以及仙林大学城附近,这主要是由于在 2004 年分别在九乡河源头和仙林大学城附近修建了龙尚湖水库和羊山水库,致使这两个区域的生态服务价值升高。而低—高以及高—低类型区的范围很小且变化不大。

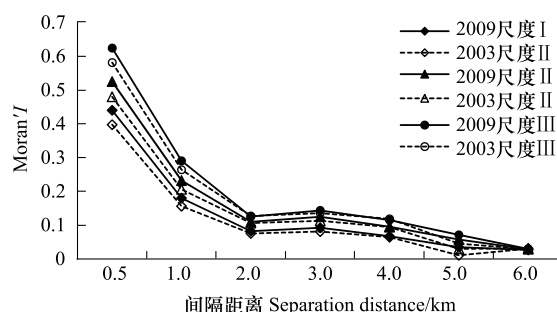


图 3 九乡河流域生态系统服务价值空间自相关的尺度响应

Fig. 3 The spatial autocorrelation change by scale of ecosystem services in Jiuxiang River watershed

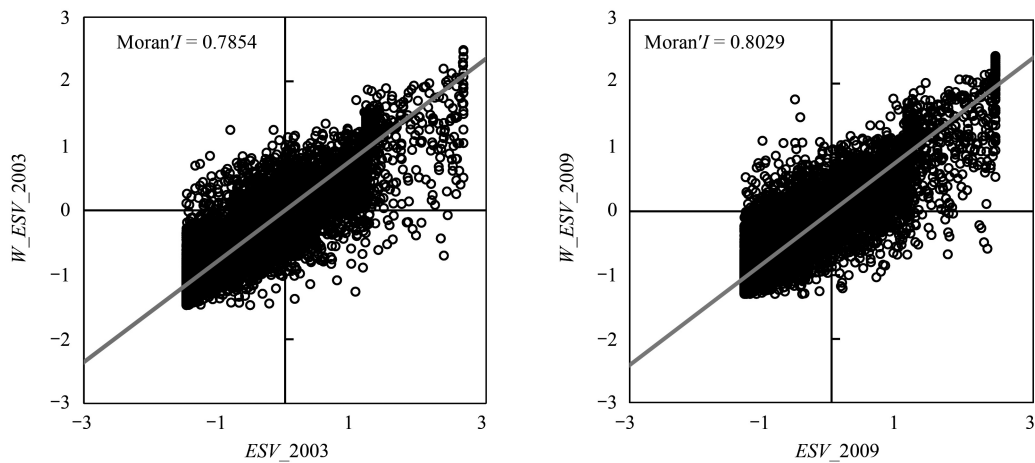


图4 2003与2009年九乡河流域生态服务价值 Moran 散点图

Fig. 4 Moran scatter of ecosystem services value in Jiuxiang River watershed

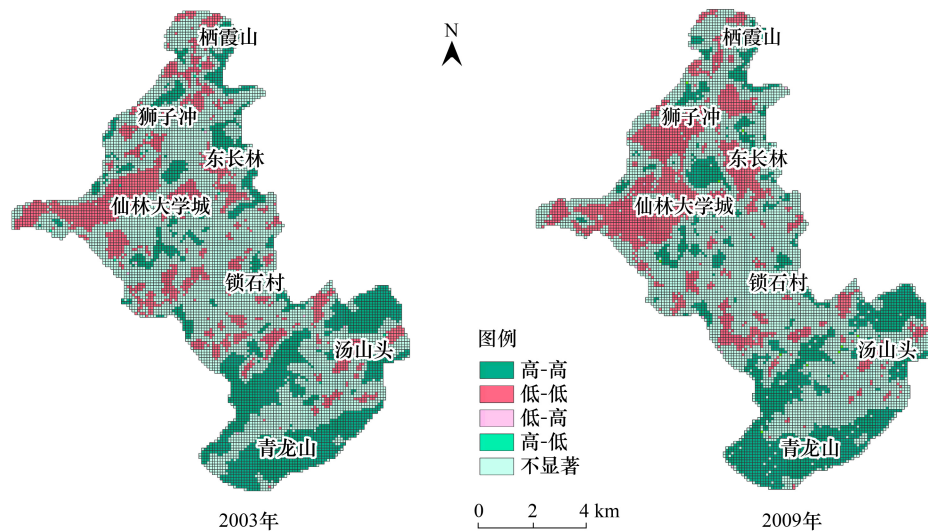


图5 九乡河流域2个时期生态系统服务价值 LISA 聚集图

Fig. 5 The LISA cluster graph of ecosystem services value in Jiuxiang River watershed

流域生态系统服务价值局部自相关显著性水平随空间分布格局也发生明显的变化(图6)。2009年达到显著水平($P=0.05$)的面积明显大于2003年的面积,这种变化主要发生在下游的仙林大学城及上游源头一带。从空间分布上看,流域大部分区域相关性不显著,主要在高-高类型区以及低-低类型区表现出较高的显著性水平,说明这些区域生态系统服务价值表现出强烈的空间正相关性($P=0.05$);这些区域的生态服务价值高,相邻地区的生态服务价值也高,这些区域的生态服务价值低,相邻地区的生态服务价值也低。在局部区域达到了0.001的显著性水平,这在下游仙林大学城一带的低-低类型区的中心区域表现最为明显,呈集中分布,表明这一区域生态服务价值在空间分布上差异性较小,空间趋同性强,从而表现出很强烈的正相关性。

3.3 流域土地利用程度对生态系统服务价值的影响

为探测流域土地利用程度对生态系统服务价值空间分异的影响,本文选用 $1\text{km}\times 1\text{km}$ 的格网分别对两期土地利用类型分布图进行覆盖全区的系统采样,各获得68个完整网格,分别计算每个网格的生态系统服务价值和土地利用程度指数值,然后绘制生态系统服务价值和土地利用程度之间的散点图(图7)。图7显示,随着土地利用程度的增加,生态系统服务价值总体上呈现出下降趋势。这表明,土地利用程度对生态系统服务价值存在负效应:土地利用程度越大,流域的生态系统服务价值越低。

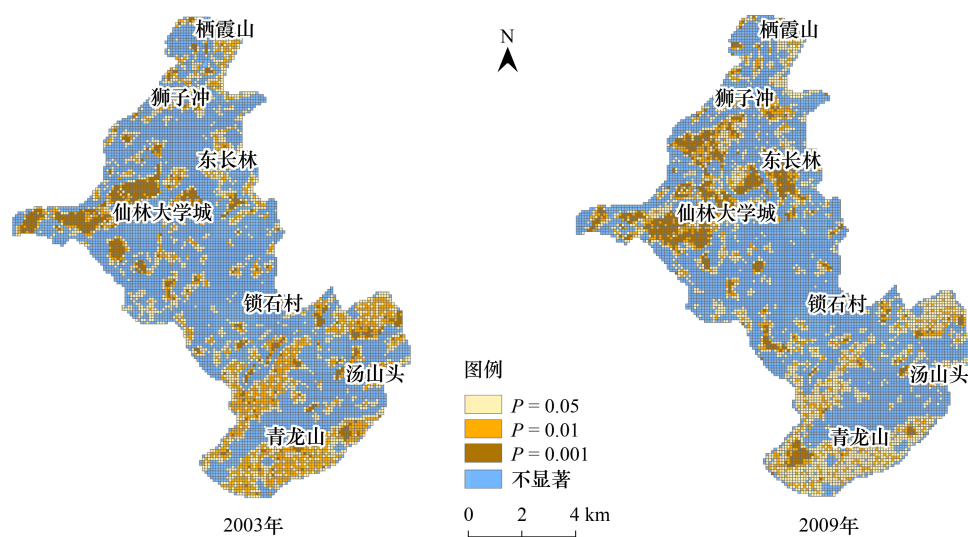


图6 九乡河流域2个时期生态系统服务价值LISA显著性水平

Fig. 6 The LISA significance level of ecosystem services value in Jiuxiang River watershed

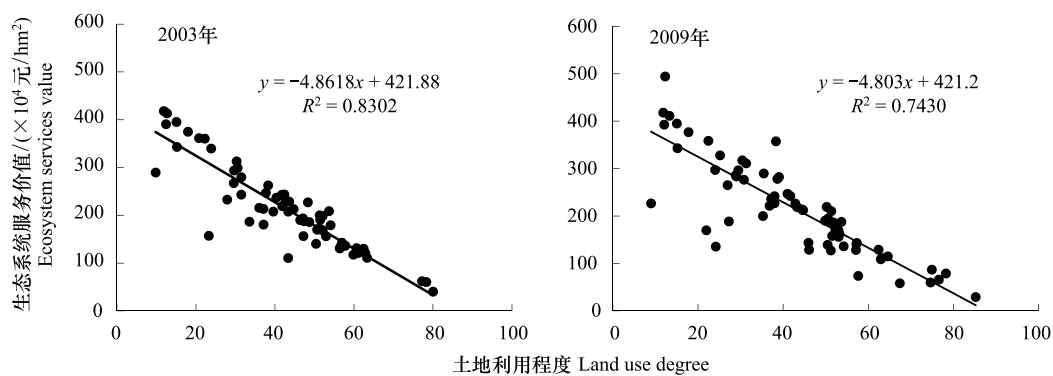


图7 流域土地利用程度对生态系统服务价值的影响

Fig. 7 Impact of land use degree on ecosystem services value in Jiuxiang River watershed

4 讨论

4.1 流域生态系统服务价值空间自相关特征

采用空间自相关模型可以有效分析生态系统服务价值空间聚集规律和空间关联模式的动态变化,揭示研究区生态系统服务价值空间分异特征。相比于传统的生态服务价值空间格局分析方法^[20],该方法能定量识别出生态服务价值关键的“热点”区(高-高类型)和“冷点”区(低-低类型)^[23]。本研究中,流域生态系统服务价值表现出较明显的空间聚集特征:“热点”区位于上游的青龙山一带,这一带由于受人为干扰小,生态完整性先好,生态系统服务价值最高;“冷点”区位于下游的仙林大学城一带,这一区域受城市化影响最为明显,土地利用程度高,生态系统服务价值相应较低;而中游的广大农业种植区没有表现出明显的聚集性。6a来,随着流域城市化过程的推进,“冷点”区明显扩展,使整个流域表现出空间自相关性增强,而“热点”区变化不大。这两个区域应是将来流域生态系统服务保育和恢复的重点区域。

流域生态系统服务价值的空间自相关也表现出明显的尺度效应特征:随着空间尺度的增大,空间自相关逐渐增强。说明流域生态系统服务价值的空间自相关性与尺度密切相关^[23]。这与相关研究的结论一致^[25,31]。这是由于生态系统的服务功能依赖于不同空间和时间尺度上的生态与地理系统过程^[32]。也可能与数据平均时的滤波特性和 Moran 'I 系数对距离的非线性特征有关^[25,33]。因此,研究中确定生态系统服务功能的特征尺度就成为能否科学揭示研究对象本质一个不可或缺的重要环节^[34]。本文依据2期土地利用类

型斑块的平均面积(0.01—0.02km²之间),结合多次实验,确定基本研究尺度为0.1km×0.1km,然后在此基础上派生出尺度Ⅱ和尺度Ⅲ的数据。从研究结果来看,该尺度较客观的反映了九乡河流域生态系统服务价值的空间分异特征。但在尺度推绎上(尺度Ⅱ和尺度Ⅲ)仍然存在一定的主观性,因此,如何更科学的确定流域生态系统服务价值的空间尺度还有待于深入研究。

4.2 流域生态系统服务价值时空分异的主要影响因素

生态系统服务价值的变化受自然和人为等多种因素的影响^[21]。生态系统服务价值的空间分异也是随机性因素(人为)和结构性因素(自然)共同作用的结果。它们对空间总异质性的相对贡献呈负相关关系^[35]。其中随机性因素如土地利用开发等人为活动,往往减弱生态系统服务价值空间变异的结构性,使生态系统服务价值的空间分布朝均一化发展,这在局部小区域如仙林大学城一带表现更为明显。由于受快速城市化过程中人类活动的影响,仙林大学城一带的土地利用变化迅速,生态系统服务价值低值区呈明显的连片聚集态势,均质化明显。而结构性因素如气候、地形地貌以及土壤类型等是生态系统服务价值空间变异的内在驱动力,有利于提高生态服务价值空间变异的结构性,这在整个流域尺度上表现更为明显。本文的研究时段较短,研究区的地势较为平坦,土壤类型等相对均一,使得结构性因素对生态系统服务价值的变异性影响较小。因此,对快速城市化的九乡河流域而言,人类活动主导下土地利用变化是影响流域生态系统服务价值时空变异的主要因素。相关研究也表明,城市土地利用方式的变化与生态系统服务价值之间存在密切联系^[21,23,28]。而城市建设用地扩张引起生态用地的减少往往是导致生态服务总价值损失的主要原因^[20,36]。因此,制定严格的生态规划,限定人为开发的强度和规模,保护好林地、水域等重要生态用地,开展已开发区域的近自然恢复是保育和恢复九乡河流域生态系统服务的有效途径。

4.3 流域生态系统服务价值对土地利用程度的响应

土地利用变化对生态系统服务影响的研究已引起广泛的关注^[37]。已有的研究表明,土地利用/覆盖的变化影响生态系统的结构和功能^[33],进而对生态系统维持其服务功能产生影响^[34-35]。但对影响的过程和机理认识仍然不足^[38]。本研究表明,土地利用程度对流域生态系统服务总价值存在负效应,这与黄静等^[36]、黄云凤等^[39]以及高莉洁等^[40]的研究结果一致,但与石龙宇等^[38]的研究相反。进一步分析发现,以上相关研究的数据来源、研究区域等基本相同,仅在生态服务价值评估方法上有所差别:黄静、黄云凤及高莉洁等的生态服务价值核算是基于 Costanza^[7]、谢高地等^[27]的价值量方法,在结合研究区实际对价值系数进行调整的基础上,核算了9种生态服务功能的价值;而石龙宇的生态服务价值核算是基于物质质量和价值量相结合的方法,在生态服务功能辨识的基础上,获得研究区生态系统服务的12种功能类型对应的物质质量,然后利用直接市场技术将其分别折算成相应的价值量。本文从易于空间化的角度考虑,选择了国内广泛应用的 Costanza、谢高地等的评估方法。由于生态系统服务价值评估尚未形成一整套完备的评价理论、指标体系、实施原则^[41]。不同的生态服务价值评估方法,在计算模型、参数确定以及区域生态系统分类等方面不同^[38,41],其价值评估结果往往会存在较大的差异^[5]。即便对完全相同的生态系统的价值评估,评价结论可能相差甚远。如对全球生态系统服务价值的评价,Pimentel^[42]和 Constanza^[7]的结论产生了数量级的差异。黄静等^[36]与石龙宇等^[38]基于不同方法估算的2007年厦门市生态系统服务价值相差也达5倍多。因此,生态服务价值评估方法的差异可能是导致上述研究结果不一致的主要原因。

此外,研究中较少的样本数量可能对二者间的关系也存在一定影响。受数据来源的限制,以上相关研究的结论都是基于5—6个样本(5—6期遥感影像)的分析获得,样本数量明显偏少,而过少的样本数量,可能会使统计分析结果出现较大偏差。本文采用空间采样方法,通过对2期土地利用图的系统采样,各获得68个样本,以此为基础分析土地利用程度和生态服务价值间的关系,较好的克服了有限数据的影响,有助于更准确的凸显规律,也是解决上述问题的一种较好的思路和方法。

由于上述因素的存在,再加上研究区域间固有的差异性^[38],致使土地利用程度对生态服务价值影响的评价结论不尽一致。但本文基于流域尺度的研究结果,可为城市化地区维护、恢复和改善生态系统服务提供一

定的参考,同时也是探究人类干扰下生态系统服务响应特征的一种有益尝试。今后还需加强生态系统服务价值评估方法的研究,以及不同评估方法下生态服务价值与土地利用程度间关联关系的对比研究,以深入揭示土地利用变化对生态系统服务的影响过程。

5 结论

2003 至 2009 年,九乡河流域生态系统服务总价值减少 2.59%,而流域生态服务价值的空间聚集性增强;流域生态生态系统服务价值空间自相关表现出较明显的尺度效应,随着研究尺度的增大生态服务价值空间自相关性增强。

流域生态服务价值的空间分异明显,高-高分布区主要在上游的青龙山一带,低-低分布区主要在下游的仙林大学城一带;下游的低-低分布区向周边快速扩展,而高-高分布区仅在九乡河源头和下游局部区域有所增加。

流域土地利用程度对生态系统服务价值存在负效应,土地利用程度越高,生态服务价值越低。随着仙林新市区建设的不断推进,九乡河流域快速的城市化过程将不可避免,因此,依据流域生态服务功能现状以及未来的用地需求,制定严格的生态规划,加强已开发区域生态系统的近自然恢复,是恢复和保育九乡河流域生态系统服务的有效途径。

References:

- [1] Ou Y Z Y, Wang X K, Miao H. A primary study on Chinese terrestrial ecosystem services and their ecological-economic values. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19(5):607-613.
- [2] Daily G C. *Natures Service; Social Dependence on Nature Ecosystems*. Washington: Island Press, 1997.
- [3] Ou Y 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] Xie G D, Lu C X, Cheng S K. progress in evaluating the global ecosystem services. *Resources science*, 2001, 23(6):5-9.
- [5] Li J C, Wang W L, Hu G Y, Wei Z H. Impacts of land use and cover changes on ecosystem service value in Zoige Plateau. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(12):3451-3459.
- [6] Ou Y Z Y, Wang R S, Zhao J Z. Ecosystem services and their economic valuation *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1999, 10(5):635-640.
- [7] Xie G D, Lu C X, Cheng S K. progress in evaluating the global ecosystem services. *Resources science*, 2001, 23(6):5-9.
- [8] Li J C, Wang W L, Hu G Y, Wei Z H. Impacts of land use and cover changes on ecosystem service value in Zoige Plateau. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(12):3451-3459.
- [9] Liu J H, Gao J X. Measurement and dynamic change of ecosystem services value in the farming-pastoral ecotone of northern China. *Journal of Mountain Science*, 2008, 26(2):145-153.
- [10] Costanza R, d'Arge R, de Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'Neill R V, Paruelo J, Raskin R G, Sutton P, vanden Belt M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997, 387(15):253-260.
- [11] *Millennium Ecosystem Assessment: Frameworks*. Washington D C: World Resources Institute, 2005.
- [12] Xu Z Q, Li W H, Min Q W, Xu Q. Research on changes in value of ecosystem services in Xilin River Basin. *Journal of Natural Resources*, 2005, 20(1):99-104.
- [13] Pauutanayak S K. Valuing watershed services: concepts and empirics from Southeast Asia. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2004, 104:171-184.
- [14] Li F, Ye Y P, Song B W, Wang R S. Spatial structure of urban ecological land and its dynamic development of ecosystem services: a case study in Changzhou City, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(19):5623-5631.
- [15] Bai Y, Ou Y 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, 31(7):2029-2039.
- [16] Lal P. Economic valuation of mangroves and decision-making in the Pacific. *Ocean & Coastal Management*, 2003, 46:823-846.
- [17] Zhang X Y, Lü X G, Shen S P. Dynamic changes of Ruergai Plateau wetland ecosystem service value, *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20(5):1147-1152.
- [18] Turner R, Bergh, Jereon C. Ecological economic analysis of wetlands: scientific integration for management and policy. *Ecological Economics*, 2000, 35:7-23.
- [19] Zhang Z M, Liu J G, Shen B F, Liu P B, Wei W, Gao P J, Zhang Y. Evaluation of ecosystem services of the Yongding River in Beijing, *Acta*

- Scientiae Circumstantiae, 2011, 31(9):1851-1857.
- [20] Loomis J, Kent P, Strange L. Measuring the economic value of restoring ecosystem services in an impaired river basin: results from a contingent valuation survey. *Ecological Economics*, 2000, 33: 103-117.
- [21] Yue D X, Du J, Gong J, Jiang T C, Zhang J J, Guo J J, Xiong Y C. Dynamic analysis of farmland ecosystem service value and multiple regression analysis of the influence factors in Minqin Oasis. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(9): 2567-2575.
- [22] Pei S, Xie G D, Lu C X, Zhang Y S, Cheng L. Cumulative effects of cascade hydropower development on river ecosystem services: a case study of the Maotiaohe River. *Resources Science*, 2011, 33(8): 1469-1474.
- [23] Hu H B, Liu H Y, Hao J F, An J. The effects of urbanization on the spatial heterogeneity of watershed ecosystem services value: a case study of Jiuxiang River watershed in Nanjing city. *Journal of Natural Resources*, 2011, 26(10): 1713-1725.
- [24] Cai B C, Lu G F, Song L J, Huang H P, Han S F, Chen K L. Variation of ecosystem services' value of Kunshan based on the land use change. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(9): 3005-3010.
- [25] Li Y F, Zhu X D, Sun X, Wang F. Landscape effects of environmental impact on bay-area wetlands under rapid urban expansion and development policy: a case study of Lianyungang, China. *Landscape and Urban Planning*, 2010, 94 (3/4): 218-227.
- [26] Xu B S, Zhou Y, Xu L, Yu L, Wu W B. Spatial characteristics analysis of ecological system service value in Qianjiang City of Hubei Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(24): 7379-7387.
- [27] Zhao X F, Huang X J, Zhang X Y, Zhu D M, Lai L, Zhong T Y. Application of spatial autocorrelation analysis to the COD, SO₂ and TSP emission in Jiangsu Province. *Environmental Science*, 2009, 30(6): 1580-1587.
- [28] Qiu B W, Wang Q M, Chen C C, Chi T H. Spatial autocorrelation analysis of multi-scale land use in Fujian Province. *Journal of Natural Resources*, 2007, 22(2): 311-320.
- [29] Guan Wei, Zhu H F. Spatio-temporal analysis of inter-county economic differences in Liaoning Province based on ESDA. *Geographical Research*, 2011, 30(11): 2008-2016.
- [30] Xie G D, Zhen L, Lu C X, Xiao Y, Chen C. Expert knowledge based valuation method of ecosystem Services in China. *Journal of Natural Resources*, 2003, 18(2): 182-188.
- [31] Cheng L, Li F, Deng H F. Dynamics of land use and its ecosystem services in China's megacities. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(20): 6194-6203.
- [32] Zhuang D F, Liu J Y. Study on the model of regional differentiation of land use degree in China. *Journal of Natural Resources*, 1997, 12(2): 105-111.
- [33] Chen F, Ge X P, Chen G, Peng B Z. Spatial different analysis of landscape change and human impact in urban fringe. *Scientia Geographica Sinica*, 2001, 21(3): 210-216.
- [34] Liu J P, Lu X G, Cui W W. Spatial autocorrelation analysis of multi-scale changes in Bielehong River basin wetlands. *Advances in Water Science*, 2010, 21(3): 392-398.
- [35] Li S C, Liu J L, Zhang C Y, Zhao Z Q. The research trends of ecosystem services and the paradigm in geography. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(12): 1618-1630.
- [36] Xie H L, Liu L M, Li B, Zhang X H. Spatial autocorrelation analysis of multi-scale land-use changes: a case study in Ongniud Banner, Inner Mongolia. *Acta Geographica Sinica*, 2006, 61(4): 389-400.
- [37] Xu L H, Yue W Z, Cao Y. Spatial scale effect of urban land use landscape pattern in Shanghai City. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(12): 2827-2834.
- [38] Hao F H, O Y W, Li P, Zeng A Y, Yue Y. Temporal and spatial variability of nitrogen in soil in the Wulate irrigation district of the Hetao irrigation area in Inner Mongolia. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2008, 28(5): 845-85.
- [39] Huang J, Cui S G, Li F Y, Qiu Q Y, Ma K M. Ecological sensitivity of Xiamen City to land use changes. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(24): 7441-7449.
- [40] Kumar P. Payment for ecosystem services: Emerging lessons. *Ecological Economy*, 2008, (4): 2-14.
- [41] Shi L Y, Cui S H, Yin K, Liu J. The impact of land use/cover change on ecosystem service in Xiamen. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 65(6): 708-714.
- [42] Huang Y F, Cui S H, Shi L Y. Response of ecosystem services to land use/cover change, in Peri-urban area: a case study of Jimei District, Xiamen. *Progress in Geography*, 2012, 31(5): 551-560.
- [43] Gao L J, Shi L Y, Cui S H, Lin T, Yin K. Response of ecosystem services to land use change in Xiamen Island. *ecological science*. 2009, 28(6): 551-556.
- [44] Zhao J, Yang K. Valuation of ecosystem services: characteristics, issues and prospects. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(1): 346-356.

- [45] Pimental D, Wilson C, McCullum A. Economic and Environmental benefits of biodiversity. *Bioscience*, 1997, 47(11): 747-757.

参考文献:

- [1] 欧阳志云, 王效科, 苗鸿. 中国陆地生态系统服务功能及其生态经济价值的初步研究. *生态学报*, 1999, 19(5): 607-613.
- [3] 欧阳志云, 王如松, 赵景柱. 生态系统服务功能及其经济价值评价. *应用生态学报*, 1999, 10(5): 635-640.
- [4] 谢高地, 鲁春霞, 成升魁. 全球生态系统服务评价研究进展. *资源科学*, 2001, 23(6): 5-9.
- [5] 李晋昌, 王文丽, 胡光印, 魏振海. 若尔盖高原土地利用变化对生态系统服务价值的影响. *生态学报*, 2011, 31(12): 3451-3459.
- [6] 刘军会, 高吉喜. 北方农牧交错带生态系统服务价值测算及变化. *山地学报*, 2008, 26(2): 145-153.
- [9] 许中旗, 李文华, 闵庆文, 许晴. 锡林河流域生态系统服务价值变化研究. *自然资源学报*, 2005, 20(1): 99-104.
- [11] 李锋, 叶亚平, 宋博文, 王如松. 城市生态用地的空间结构及其生态系统服务动态演变——以常州市为例. *生态学报*, 2011, 31(19): 5623-5631.
- [12] 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, 31(7): 2029-2039.
- [14] 张晓云, 吕宪国, 沈松平. 若尔盖高原湿地生态系统服务价值动态. *应用生态学报*, 2009, 20(5): 1147-1152.
- [16] 张振明, 刘俊国, 申碧峰. 永定河(北京段)河流生态系统服务价值评估. *环境科学学报*, 2011, 31(9): 1951-1857.
- [18] 岳东霞, 杜军, 巩杰, 降同昌, 张佳静, 郭建军, 熊友才. 民勤绿洲农田生态系统服务价值变化及其影响因子的回归分析. *生态学报*, 2011, 31(9): 2567-2575.
- [19] 裴厦, 谢高地, 鲁春霞. 水利工程梯级开发对河流生态系统服务累积影响浅析——以猫跳河为例. *资源科学*, 2011, 33(8): 1469-1474.
- [20] 胡和兵, 刘红玉, 郝敬锋, 安静. 城市化对流域生态系统服务价值空间异质性的影响——以南京市九乡河流域为例. *自然资源学报*, 2011, 26(10): 1713-1725.
- [21] 蔡邦成, 陆根法, 宋莉娟, 黄和平, 韩尚富, 陈克亮. 土地利用变化对昆山生态系统服务价值的影响. *生态学报*, 2006, 26(9): 3005-3010.
- [23] 许倍慎, 周勇, 徐理, 于雷, 吴文斌. 湖北省潜江市生态系统服务功能价值空间特征. *生态学报*, 2011, 31(24): 7379-7387.
- [24] 赵小风, 黄贤金, 张兴榆, 朱德明, 赖力, 钟太洋. 区域 COD、SO₂ 及 TSP 排放的空间自相关分析: 以江苏省为例. *环境科学*, 2009, 30(6): 1580-1587.
- [25] 邱炳文, 王钦敏, 陈崇成, 池天河. 福建省土地利用多尺度空间自相关分析. *自然资源学报*, 2007, 22(2): 311-320.
- [26] 关伟, 朱海飞. 基于 ESDA 的辽宁省县际经济差异时空分析. *地理研究*, 2011, 30(11): 2008-2016.
- [27] 谢高地, 甄霖, 鲁春霞, 肖玉, 陈操. 一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法. *自然资源学报*, 2008, 23(5): 911-915.
- [28] 程琳, 李锋, 邓华锋. 中国超大城市土地利用状况及其生态系统服务动态演变. *生态学报*, 2011, 31(20): 6194-6203.
- [29] 庄大方, 刘纪远. 中国土地利用程度的区域分异模型研究. *自然资源学报*, 1997, 12(2): 105-111.
- [30] 陈浮, 葛小平, 陈刚, 彭补拙. 城市边缘区景观变化与人为影响的空间分异研究. *地理科学*, 2001, 21(3): 210-216.
- [31] 刘吉平, 吕宪国, 崔炜炜. 别拉洪河流域湿地变化的多尺度空间自相关分析. *水科学展*, 2010, 21(3): 392-398.
- [32] 李双成, 刘金龙, 张才玉, 赵志强. 生态系统服务研究动态及地理学研究范式. *地理学报*, 2011, 66(12): 1618-1630.
- [33] 谢花林, 刘黎明, 李波, 张新时. 土地利用变化的多尺度空间自相关分析——以内蒙古翁牛特旗为例. *地理学报*, 2006, 61(4): 389-400.
- [34] 徐丽华, 岳文泽, 曹宇. 上海市城市土地利用景观的空间尺度效应. *应用生态学报*, 2007, 18(12): 2827-2834.
- [35] 郝芳华, 欧阳威, 李鹏, 曾阿妍, 岳勇. 河套灌区不同灌季土壤氮素时空分布特征分析. *环境科学学报*, 2008, 28(5): 845-852.
- [36] 黄静, 崔胜辉, 李方一, 邱全毅, 马克明. 厦门市土地利用变化下的生态敏感性. *生态学报*, 2011, 31(24): 7441-7449.
- [38] 石龙宇, 崔胜辉, 尹锴, 刘江. 厦门市土地利用/覆被变化对生态系统服务的影响. *地理学报*, 2010, 65(6): 708-714.
- [39] 黄云凤, 崔胜辉, 石龙宇. 半城市化地区生态系统服务对土地利用/覆被变化的响应: 以厦门市集美区为例. *地理科学进展*, 2012, 31(5): 551-560.
- [40] 高莉洁, 石龙宇, 崔胜辉, 吝涛, 尹锴. 厦门岛生态系统服务对土地利用变化的响应. *生态科学*, 2009, 28(6): 551-556.
- [41] 赵军, 杨凯. 生态系统服务价值评估研究进展. *生态学报*, 2007, 27(1): 346-356.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 8 April, 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Special Topics in Urban Ecosystems

- Guidelines and evaluation indicators of urban ecological landscape construction SUN Ranhao, CHEN Ailian, LI Fen, et al (2322)
- Research progress in the quantitative methods of urban green space patterns TAO Yu, LI Feng, WANG Rusong, et al (2330)
- Effects of land use change on ecosystem service value: a case study in Huaibei City, China ZHAO Dan, LI Feng, WANG Rusong (2343)
- Urban ecosystem complexity: an analysis based on urban municipal supervision and management information system DONG Rencai, GOU Yaqing, LIU Xin (2350)
- A case study of the effects of *in-situ* bioremediation on the release of pollutants from contaminated sediments in a typical, polluted urban river LIU Min, WANG Rusong, JIANG Ying, et al (2358)
- The pollution characteristics of Beijing urban road sediments REN Yufen, WANG Xiaoke, OUYANG Zhiyun, et al (2365)
- Effects of urban green pattern on urban surface thermal environment CHEN Ailian, SUN Ranhao, CHEN Liding (2372)
- Seasonal dynamics of airborne pollen in Beijing Urban Area MENG Ling, WANG Xiaoke, OUYANG Zhiyun, et al (2381)

Autecology & Fundamentals

- Impact of alpine meadow degradation on soil water conservation in the source region of three rivers XU Cui, ZHANG Linbo, DU Jiaqiang, et al (2388)
- Predicting the plant exposure to soil arsenic under varying soil factors XIAN Yu, WANG Meie, CHEN Weiping (2400)
- Attraction effect of different host-plant to Colorado potato beetle *Leptinotarsa decemlineata* LI Chao, CHENG Dengfa, GUO Wenchao, et al (2410)
- Root decomposition and nutrient dynamics of *Quercus mongolica* and *Betula Platyphylla* JIN Beibei, GUO Qingxi (2416)
- The interaction of drought and slope aspect on growth of *Quercus variabilis* and *Platycladus orientalis* WANG Lin, FENG Jinxia, WANG Shuangxia, et al (2425)
- Effects of diameter at breast height on crown characteristics of Chinese Fir under different canopy density conditions FU Liyong, SUN Hua, ZHANG Huiru, et al (2434)
- Effects of temperature acclimation and acute thermal change on cutaneous respiration in juvenile southern catfish (*Silurus meridionalis*) XIAN Xuemei, CAO Zhendong, FU Shijian (2444)

Population, Community and Ecosystem

- Altitudinal pattern of plant species diversity in the Wulu Mountain Nature Reserve, Shanxi, China HE Yanhua, YAN Ming, ZHANG Qindi, et al (2452)
- Vegetation succession on Baishui No. 1 glacier foreland, Mt. Yulong CHANG Li, HE Yuanqing, YANG Taibao, et al (2463)
- The effects of *Spartina alterniflora* seaward invasion on soil organic carbon fractions, sources and distribution WANG Gang, YANG Wenbin, WANG Guoxiang, et al (2474)
- Community characteristics and soil properties of coniferous plantation forest monocultures in the early stages after close-to-nature transformation management in southern subtropical China HE Youjun, LIANG Xingyun, QIN Lin, et al (2484)
- Response of invasive plant *Flaveria bidentis* to simulated herbivory based on the growth and reproduction WANG Nannan, HUANGFU Chaohe, LI Yujin, et al (2496)
- Estimation of leaf area index of secondary *Betula platyphylla* forest in Xiaoxing'an Mountains LIU Zhili, JIN Guangze (2505)
- Optimal number of herb vegetation clusters: a case study on Yellow River Delta YUAN Xiu, MA Keming, WANG De (2514)
- Application of polychaete in ecological environment evaluation of Laizhou Bay ZHANG Ying, LI Shaowen, LÜ Zhenbo, et al (2522)
- Soil meso-and micro arthropod community diversity in the burned areas of *Pinus massoniana* plantation at different restoration stages YANG Daxing, YANG Maofa, XU Jin, et al (2531)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Temporal variety of boundary layer height over deep arid region and the relations with energy balance ZHANG Jie, ZHANG Qiang, TANG Congguo (2545)
- Analysis and forecast of landscape pattern in Xi'an from 2000 to 2011 ZHAO Yonghua, JIA Xia, LIU Jianchao, et al (2556)
- Spatio-temporal variation in the value of ecosystem services and its response to land use intensity in an urbanized watershed HU Hebing, LIU Hongyu, HAO Jingfeng, et al (2565)

Resource and Industrial Ecology

- Household optimal forest management decision and carbon supply: case from Zhejiang and Jiangxi Provinces ZHU Zhen, SHEN Yueqin, WU Weiguang, et al (2577)
- Spatial variability characteristics of soil nutrients in tobacco fields of gentle slope based on GIS LIU Guoshun, CHANG Dong, YE Xiefeng, et al (2586)
- Method of determining the maximum leaf area index of spring maize and its application MA Xueyan, ZHOU Guangsheng (2596)

Urban, Rural and Social Ecology

- Morphological structure of leaves and dust-retaining capability of common street trees in Guangzhou Municipality LIU Lu, GUAN Dongsheng, CHEN Yongqin David (2604)

Research Notes

- Morphological responses to temperature, drought stress and their interaction during seed germination of *Platycodon grandiflorum* LIU Zigang, SHEN Bing, ZHANG Yan (2615)
- Effects of nutrients on the growth of the parasitic plant *Cuscuta australis* R. Br. ZHANG Jing, LI Junmin, YAN Ming (2623)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索自然奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,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

本期责任副主编 吕永龙

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 8 期 (2013 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 8 (April, 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