

ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

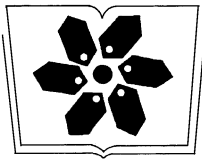
## Acta Ecologica Sinica



第32卷 第13期 Vol.32 No.13 **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



# 生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

中国科学院科学出版基金资助出版

第 32 卷 第 13 期 2012 年 7 月 (半月刊)

## 目 次

|                                                               |                         |
|---------------------------------------------------------------|-------------------------|
| 砂质潮间带自由生活海洋线虫对缺氧的响应——微型受控生态系研究.....                           | 华 尔, 李 佳, 董 洁, 等 (3975) |
| 植物种群自疏过程中构件生物量与密度的关系 .....                                    | 黎 磊, 周道玮, 盛连喜 (3987)    |
| 基于景观感知敏感度的生态旅游地观光线路自动选址.....                                  | 李继峰, 李仁杰 (3998)         |
| 基于能值的沼气农业生态系统可持续发展水平综合评价——以恭城县为例.....                         | 杨 谨, 陈 彬, 刘耕源 (4007)    |
| 内蒙古荒漠草原植被盖度的空间异质性动态分析.....                                    | 颜 亮, 周广胜, 张 峰, 等 (4017) |
| 典型草地的土壤保持价值流量过程比较.....                                        | 裴 厦, 谢高地, 李士美, 等 (4025) |
| 长沙市区马尾松人工林生态系统碳储量及其空间分布.....                                  | 巫 涛, 彭重华, 田大伦, 等 (4034) |
| 厦门市七种药用植物根围 AM 真菌的侵染率和多样性 .....                               | 姜 攀, 王明元 (4043)         |
| Cd、低 Pb/Cd 下冬小麦幼苗根系分泌物酚酸、糖类及与根际土壤微生物活性的关系 .....               | 贾 夏, 董岁明, 周春娟 (4052)    |
| 凉水保护区土壤产类漆酶-多铜氧化酶细菌群落结构 .....                                 | 赵 丹, 谷惠琦, 崔岱宗, 等 (4062) |
| 盐渍化土壤根际微生物群落及土壤因子对 AM 真菌的影响.....                              | 卢鑫萍, 杜 茜, 闫永利, 等 (4071) |
| 菌丝室接种解磷细菌 <i>Bacillus megaterium</i> C4 对土壤有机磷矿化和植物吸收的影响..... | 张 林, 丁效东, 王 菲, 等 (4079) |
| 闽江河口不同河段芦苇湿地土壤碳氮磷生态化学计量学特征.....                               | 王维奇, 王 纯, 曾从盛, 等 (4087) |
| 高山森林三种细根分解初期微生物生物量动态.....                                     | 武志超, 吴福忠, 杨万勤, 等 (4094) |
| 模拟降水对古尔班通古特沙漠生物结皮表观土壤碳通量的影响 .....                             | 吴 林, 苏延桂, 张元明 (4103)    |
| 铁皮石斛组培苗移栽驯化过程中叶片光合特性、超微结构及根系活力的变化 .....                       | 濮晓珍, 尹春英, 周晓波, 等 (4114) |
| 不同产量水平旱地冬小麦品种干物质累积和转移的差异分析.....                               | 周 玲, 王朝辉, 李富翠, 等 (4123) |
| 基于作物模型的低温冷害对我国东北三省玉米产量影响评估.....                               | 张建平, 王春乙, 赵艳霞, 等 (4132) |
| 黄土高原 1961—2009 年参考作物蒸散量的时空变异.....                             | 李 志 (4139)              |
| 莫莫格湿地芦苇对水盐变化的生理生态响应.....                                      | 邓春暖, 章光新, 李红艳, 等 (4146) |
| 不同蚯蚓采样方法对比研究.....                                             | 范如芹, 张晓平, 梁爱珍, 等 (4154) |
| 亚洲玉米螟成虫寿命与繁殖力的地理差异.....                                       | 涂小云, 陈元生, 夏勤雯, 等 (4160) |
| 黑河上游天然草地蝗虫空间异质性与分布格局.....                                     | 赵成章, 李丽丽, 王大为, 等 (4166) |
| 苦瓜叶乙酸乙酯提取物对斜纹夜蛾实验种群的抑制作用.....                                 | 骆 颖, 凌 冰, 谢杰峰, 等 (4173) |
| 长江口中国花鲈食性分析.....                                              | 洪巧巧, 庄 平, 杨 刚, 等 (4181) |
| 基于线粒体控制区序列的黄河上游厚唇裸重唇鱼种群遗传结构.....                              | 苏军虎, 张艳萍, 娄忠玉, 等 (4191) |
| 镉暴露对黑斑蛙精巢 ROS 的诱导及其蛋白质氧化损伤作用机理 .....                          | 曹 慧, 施蔡雷, 贾秀英 (4199)    |
| 北方草地牛粪中金龟子的多样性.....                                           | 樊三龙, 方 红, 高传部, 等 (4207) |
| 合肥秋冬季茶园天敌对假眼小绿叶蝉和茶蚜的空间跟随关系.....                               | 杨 林, 郭 骅, 毕守东, 等 (4215) |
| 植被、海拔、人为干扰对大中型野生动物分布的影响——以九寨沟自然保护区为例.....                     | 张 跃, 雷开明, 张语克, 等 (4228) |
| 基于社会网络分析法的生态工业园典型案例研究.....                                    | 杨丽花, 佟连军 (4236)         |
| 基于生命周期的户用沼气系统可用能核算——以广西恭城瑶族自治县为例.....                         | 齐 静, 陈 彬, 戴 婧, 等 (4246) |
| <b>专论与综述</b>                                                  |                         |
| 水文情势与盐分变化对湿地植被的影响研究综述 .....                                   | 章光新 (4254)              |
| 松嫩碱化草甸土壤种子库格局、动态研究进展 .....                                    | 马红媛, 梁正伟, 吕丙盛, 等 (4261) |
| 一种新的景观扩张指数的定义与实现 .....                                        | 武鹏飞, 周德民, 官辉力 (4270)    |
| <b>研究简报</b>                                                   |                         |
| 华山新麦草光合特性对干旱胁迫的响应.....                                        | 李 倩, 王 明, 王雯雯, 等 (4278) |
| 美丽海绵提取物防污损作用.....                                             | 曹文浩, 严 涛, 刘永宏, 等 (4285) |

期刊基本参数: CN 11-2031/Q \* 1981 \* m \* 16 \* 306 \* zh \* P \* ¥ 70.00 \* 1510 \* 37 \* 2012-07



封面图说: 涵养水源——在长白山南坡的峭壁上, 生长在坡面上的森林所涵养的水源还在汨汨地往下流个不停, 深红色的落叶掉在了苔藓上, 这里已经是长白山的深秋了。虽然雨季已经过去了很久, 但是林下厚厚的枯枝落叶层、腐殖质层、苔藓草本层所涵养的水分还在不间断地流淌, 细细的水线在壁下汇成了溪、汇成了河。涵养水源是森林的主要生态功能之一。

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

DOI: 10.5846/stxb201106090769

武鹏飞, 周德民, 宫辉力. 一种新的景观扩张指数的定义与实现. 生态学报, 2012, 32(13): 4270-4277.

Wu P F, Zhou D M, Gong H L. A new landscape expansion index: definition and quantification. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(13): 4270-4277.

# 一种新的景观扩张指数的定义与实现

武鹏飞<sup>1,2,3</sup>, 周德民<sup>1,2,3</sup>, 宫辉力<sup>1,2,3,\*</sup>

(1. 城市环境过程与数字模拟国家重点实验室培育基地, 北京 100048;

2. 教育部三维信息获取与应用重点实验室, 北京 100048; 3. 首都师范大学资源环境与旅游学院, 北京 100048)

**摘要:** 景观格局动态信息的定量表达始终是景观生态学研究的一个重要科学问题, 景观格局指数是其中的一种重要方法, 但其多是静态指数, 难以有效定量表达景观格局的动态信息。因此, 针对景观扩张过程以斑块扩张面积为基础提出了一种新的景观扩张指数, 来表达景观格局的动态信息。并以妫水河流域 1998—2009 年的景观农田化过程为例, 验证该指数的适用性, 结果表明: 该指数不仅能够定量表达斑块的空间扩张规模, 而且可以准确识别斑块的空间扩张模式。根据扩张斑块与原斑块的空间位置关系, 将景观的空间扩张模式划分为邻接扩张式和外部扩张式两种。提出的景观扩张指数在技术方法上计算简便, 易于实现, 完善了景观格局动态的量化表征科学方法。

**关键词:** 景观格局动态; 景观格局指数; 景观扩张指数; 空间扩张模式

## A new landscape expansion index: definition and quantification

WU Pengfei<sup>1,2,3</sup>, ZHOU Demin<sup>1,2,3</sup>, GONG Huili<sup>1,2,3,\*</sup>

1 Base of the State Laboratory of Urban Environmental Processes and Digital Modeling, Beijing 100048, China

2 Key Laboratory of 3D Information Acquisition and Application, Ministry of Education, Beijing 100048, China

3 College of Resource Environment and Tourism, Capital Normal University, Beijing 100048, China

**Abstract:** Landscape patterns, processes and functions are the main contents of landscape ecology, and they are interdependent and interacting. Landscape patterns and their dynamics has always been an important scientific issue of landscape ecology. Landscape pattern index is the most widely used method among the existing research methods in landscape patterns, despite its suffering from doubt and its limitations. The majority of the existing landscape pattern indices only explain landscape spatial characteristics in different scales from geometrical characteristics, they all fall into the category of static index, and can not indicate landscape dynamic information. Studies of landscape pattern dynamics are mainly through multi-temporal comparison of landscape pattern indices and variety of dynamic models. Landscape pattern indices can not independently indicate landscape dynamic information yet. So this paper presents a new landscape expansion index (*LEI*) to indicate landscape dynamic information, this index is based on expansion patch area and weak the impact of patch shape, and this *LEI* is calculated only with ArcGIS and EXCEL software. The spatial expansion patterns of landscape are divided into adjacent expansion pattern and external expansion pattern based on the spatial relationship between the expansion patch and the original patch. The fundamental difference between the external expansion pattern and the adjacent expansion pattern is the changes of patches area and number. The adjacent expansion pattern increases the area of patches, whereas the external expansion pattern increases the number of patches. *LEI*'s value can be used to accurately identify expansionary patches' spatial expansion patterns, only when  $A_0 = 0$  and the original patch that is adjacent to the expansion patch does not exist, the  $LEI = 1$ , and the spatial expansion pattern of patches are external expansion pattern; when the

**基金项目:** 国际科技合作项目(2010DFA92400); 北京市自然科学基金项目(8082010, 8101002)

**收稿日期:** 2011-06-09; **修订日期:** 2011-11-18

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: gonghl@263.net

*LEI* is equal to other values, the spatial expansion pattern is adjacent expanding pattern. Furthermore, this *LEI* is used to the process of landscape's changing to farmland in Guishui river basin from 1998 to 2009 to verify its applicability. Results show that this index can not only quantitatively indicate spatial expansion size of patches, but can also accurately identify the spatial expansion pattern of patches. Therefore, this paper argues that this landscape expansion index has a prospect for wide application.

**Key Words:** landscape pattern dynamics; landscape pattern index; landscape expansion index; spatial expansion patterns

景观结构、过程和功能是景观生态学的主要研究内容<sup>[1]</sup>,三者是相互依赖、相互作用的,其中,景观格局及其动态研究始终是景观生态学研究中的一个重要科学问题<sup>[2]</sup>。在现有的研究方法中,景观格局指数是其中应用最广泛的方法,在生境破碎化<sup>[3]</sup>、城市热环境<sup>[4]</sup>、环境变迁<sup>[5]</sup>、土壤侵蚀<sup>[6]</sup>、土地利用/覆被变化<sup>[7]</sup>和城市扩张<sup>[8]</sup>等方面都有广泛应用,尽管其饱受质疑,且自身也存在局限性<sup>[9]</sup>。目前,景观格局指数的计算软件以 Fragstats 软件为主,它是由美国俄勒冈州立大学森林科学系开发的一款针对专题数据进行景观计算的软件,栅格版可以计算 277 个景观指数,其中斑块水平指数 22 个,斑块类型水平指数 123 个,景观水平指数 132 个<sup>[10]</sup>。纵观这些景观指数,绝大多数景观指数仅是从几何特性解释景观在不同尺度上的空间特征,而无法解释景观结构与功能特性,即无法描述存在于生物与环境之间的各种生态过程<sup>[11-13]</sup>,对景观格局动态的描述更是无能为力。景观格局的动态信息的直接表达一直是景观格局指数方法的缺陷,很少有景观指数能够直接实现景观动态信息的表达<sup>[14]</sup>,其相关研究一直是国内外学者研究的重点。景观格局的动态研究是景观格局研究必不可少的部分,以往的方法多是通过动态模型<sup>[15]</sup>或是多时相景观格局指数的对比<sup>[16]</sup>来实现,模型本身就是对真实过程的一种简化<sup>[17]</sup>,不能反映真实的生态过程,另外,部分动态模型相对复杂,要求参数较多<sup>[18]</sup>,多时相景观格局指数的对比是基于景观静态指数的研究方法,本质上并未实现景观格局指数的动态化,且其主要是从数量的角度进行比较,对景观空间过程的关注很少。

为了克服景观格局指数的局限性,使其能够表达景观格局的动态信息,有学者提出了景观动态指数。刘小平等<sup>[19-20]</sup>提出两种相似的景观扩张指数(表 1),来描述景观格局的动态过程,一种是以扩张斑块的最小矩形包围盒为统计单元,另一种是以扩张斑块的缓冲区为统计单元,统计单元内部的扩张斑块面积、原斑块面积和空白区域面积是这两种指数计算公式的主要参量。这两种指数的问题主要存在于以下三方面:①扩张斑块的形状直接影响到最小矩形包围盒和缓冲区等统计单元形状,进而对统计单元内部的扩张斑块面积、原斑块面积和空白区域面积产生影响,当扩张斑块的面积固定时,不同的斑块扩张形状会使景观扩张指数有不同的

表 1 刘小平等提出的景观扩张指数信息  
Table 1 Information of landscape expansion indices proposed by Liu Xiaoping

|                             | $LEI_1^{[19]}$                                                  | $LEI_2^{[20]}$                                               |
|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| 计算公式<br>Calculation formula | $LEI = 100 \times \frac{A_0}{A_E - A_P}$                        | $LEI = 100 \times \frac{A_0}{A_0 + A_v}$                     |
| 参数<br>Parameters            | $A_E$ 为扩张斑块的最小矩形包围盒面积, $A_P$ 为新增斑块本身的面积, $A_0$ 为最小包围盒内原有景观的面积。  | $A_0$ 为缓冲区与原斑块的重合面积, $A_v$ 为缓冲区面积与 $A_0$ 的差值                 |
| 基本原理 Basic principle        | 以扩张斑块的最小矩形包围盒为基础                                                | 以扩张斑块的缓冲区为基础                                                 |
| 影响因素 Influencing factors    | 扩张斑块形状                                                          | 扩张斑块形状                                                       |
| 取值范围 Value range            | [0,100]                                                         | [0,100]                                                      |
| 实现方式 Realization mode       | Visual Basic 6.0 编程实现                                           | Visual Basic 6.0 编程实现                                        |
| 扩张模式 Expansion patterns     | 50< $LEI$ ≤100 填充式扩张<br>2≤ $LEI$ ≤50 边缘式扩张<br>0≤ $LEI$ <2 飞地式扩张 | 50< $LEI$ ≤100 填充式扩张<br>0< $LEI$ ≤50 边缘式扩张<br>$LEI$ =0 飞地式扩张 |

数值;② $LEI$  的数值只能用来识别斑块的空间扩张模式,不能定量表达斑块的空间扩张规模;③在面对一些特殊形状的扩张斑块时,这两种指数不能准确识别其空间扩张模式,按照表 1 中  $LEI_1$  的计算公式,图 1 中的  $A_0 = 1450 \text{ m}^2$ ,  $A_E = 2250 \text{ m}^2$ ,  $A_P = 200 \text{ m}^2$ , 根据  $LEI_1$  的计算公式计算得到  $LEI_1 = 70.73$ , 根据  $LEI_1$  的定义其空间扩张模式属于填充式扩张,实际上其空间扩张模式属于飞地式扩张, $LEI_2$  同样存在类似的错分问题。虽然这两种景观扩张指数在景观格局动态信息表达方面做出了尝试,并取得了一定的成果,但这两种景观扩张指数仍然存在一定的缺陷。

景观扩张指数是对景观扩张规模的定量表达,应更多的考虑扩张斑块面积对景观扩张指数的作用。本文基于扩张斑块面积及空间拓扑关系提出一种新的景观扩张指数 (Landscape Expansion Index,  $LEI$ ), 定量描述景观扩张规模,识别景观空间扩张模式,探讨景观扩张与原景观格局的关系,实现景观格局的动态表达。该指数克服了扩张斑块形状对  $LEI$  的影响,并能够利用  $LEI$  的数值准确识别斑块的空间扩张模式,一定程度上弥补了现有方法的不足,丰富了景观格局指数的研究方法体系。

## 1 景观空间扩张模式的类型

景观扩张规模和空间扩张模式是景观扩张过程的主要特征,景观扩张规模是由扩张斑块和原斑块的面积大小决定的,可以通过景观扩张指数对其进行定量表达;景观扩张模式决定了景观要素的空间组合规律,而景观要素的空间组合形式对各种生态过程又有重要影响<sup>[21]</sup>,因此景观扩张模式对于了解景观扩张过程意义重大。

景观格局动态的空间模式和空间过程是密不可分的,空间模式是空间过程作用的结果,一种空间模式可以是多种空间过程共同作用的结果<sup>[22]</sup>。Forman<sup>[23]</sup>将景观格局动态的空间过程划分为穿孔、分割、破碎化、缩小和消失等五种类型,而这些空间过程主要是针对景观退化而言的;他还将景观格局动态的空间模式划分为边缘式、廊道式、单核心式、多核心式和散布式等五种类型,这些空间模式主要描述的是原斑块类型向其他斑块类型的转化模式,而不是针对景观的空间扩张过程提出的动态模式,因此,其在表达景观扩张过程中存在一定的局限性。目前,景观空间扩张模式的相关研究主要集中在城市扩张研究领域。张金兰等<sup>[24]</sup>将城镇建设用地的空间扩张模式归结为填充型、蔓延型和跳跃型 3 种模式(图 2),刘小平等<sup>[19-20]</sup>将景观空间的扩张模式也划分为 3 种:填充式、边缘式和飞地式。实际上内部填充式和边缘扩张式都是邻接扩张式的一种形式,区别只在于斑块的扩张方向是向内还是向外。斑块数量和斑块面积是扩张结果差异的直接体现,邻接扩张式增加了斑块面积,外部扩张式增加了斑块数量。因此本文根据扩张斑块与原斑块的邻接与否,将景观的空间扩张模式划分为邻接扩张式和外部扩张式两种(图 2)。

## 2 景观扩张指数 ( $LEI$ ) 的定义与实现

### 2.1 斑块水平的 $LEI$ 定义

斑块水平的  $LEI$  计算:

$$LEI = \frac{A_p - A_0}{A_p + A_0} \quad (1)$$

式中, $LEI$  为斑块水平的景观扩张指数, $A_p$  为扩张斑块面积, $A_0$  为与扩张斑块处于相邻关系的斑块面积,可以理解为原斑块。

由式 1 可知, $LEI$  的取值范围为  $(-1, 1]$ , 只有当  $A_0 = 0$  时,也就是与扩张斑块处于相邻关系的原斑块不存在时,这时  $LEI = 1$ , 景观的空间扩张模式为外部扩张式;当  $LEI$  值处于  $(-1, 1)$  区间时,景观的空间扩张模式则为邻接扩张式,利用  $LEI$  的取值范围可以准确识别斑块的空间扩张模式。在  $(-1, 1)$  区间内, $LEI$  值越大,扩张

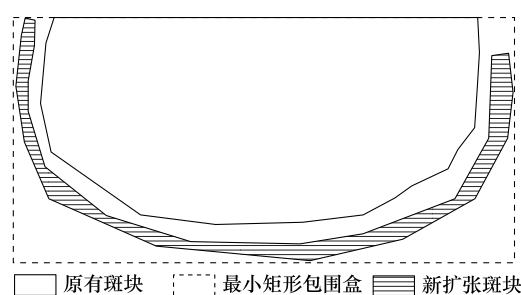


图 1 特殊扩张斑块形状对  $LEI$  的影响

Fig. 1 Influence of special expansion patch shape on  $LEI$

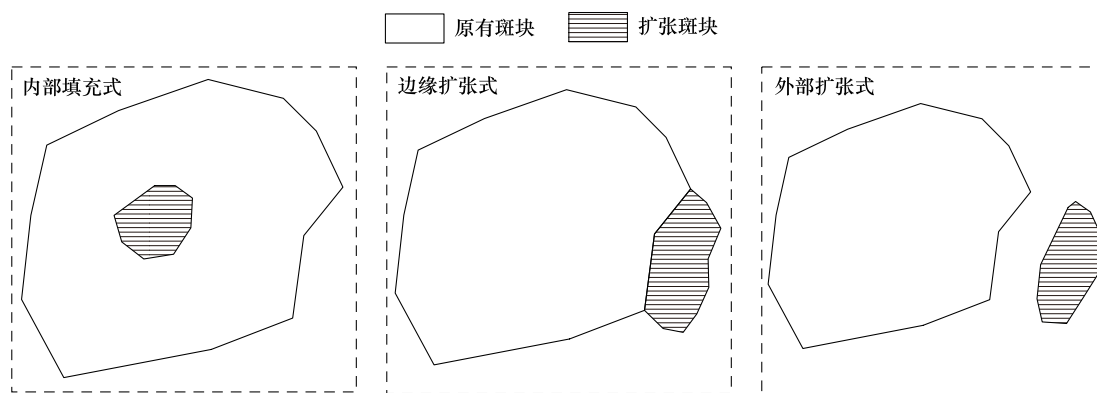


图2 景观空间扩张模式

Fig. 2 Patterns of spatial landscape expansion

斑块的扩张面积相对于原斑块而言越大,景观扩张规模相对越大。当  $LEI < 0$  时,表明扩张斑块的扩张面积小于原斑块面积;当  $LEI = 0$  时,表明扩张斑块的扩张面积与原斑块面积相等;当  $LEI > 0$  时,表明扩张斑块的扩张面积大于原斑块面积。

## 2.2 斑块类型水平的 $LEI$ 定义

$LEI$  只是对斑块水平的景观扩张过程进行定量表达,本文定义了平均景观扩张指数 ( $MLEI$ ) 用于表达斑块类型水平的景观扩张过程:

$$MLEI = \sum_{i=1}^n LEI_i / n \quad (2)$$

式中,  $MLEI$  为斑块类型水平的景观扩张指数,  $LEI_i$  为第  $i$  个扩张斑块的景观扩张指数,  $n$  为该斑块类型内所有扩张斑块的数量。

由式1和式2可知,  $MLEI$  的取值范围同样为  $(-1, 1]$ , 当  $MLEI = 1$  时,表明该斑块类型中所有扩张斑块的空间扩张模式均为外部扩张式,当  $MLEI$  等于其他值时,表明斑块类型中斑块的空间扩张模式可能全部是邻接扩张式,也可能是两种空间扩张模式的组合。由于外部扩张式斑块的  $LEI = 1$ ,外部扩张式的斑块数量对  $MLEI$  的数值大小有重要影响,因此  $MLEI$  只能在一定程度上反映斑块类型整体的空间扩张过程。一般情况下,  $MLEI$  的数值越大,外部扩张式斑块的数量越多,在扩张斑块总数量和外部扩张式斑块数量都基本相同的情况下,  $MLEI$  的数值越大,该斑块类型整体的空间扩张规模相对越大。

## 2.3 斑块类型水平面积加权的 $LEI$ 定义

$LEI$  和  $MLEI$  只是相对于扩张斑块自身来定义景观扩张指数,没有考虑到单个扩张斑块在斑块类型整体扩张中的地位 and 作用,因此本文定义面积加权平均景观扩张指数:

$$AWLEI = \sum_{i=1}^n (LEI_i \times \frac{a_i}{A}) \quad (3)$$

式中,  $AWLEI$  为斑块类型水平的面积加权景观扩张指数,  $LEI_i$  为第  $i$  个扩张斑块的景观扩张指数,  $a_i$  为第  $i$  个扩张斑块的面积,  $A$  为该斑块类型所有斑块的扩张总面积,  $n$  为该斑块类型内所有扩张斑块的数量。

由式3可知,  $AWLEI$  的取值范围同样为  $(-1, 1]$ ,  $AWLEI = 1$  时,表明整个斑块类型中只有一个扩张斑块,且其空间扩张模式为外部扩张式。当  $AWLEI$  处于  $(-1, 1)$  区间时,斑块类型整体的扩张过程是很复杂的,斑块数量、斑块扩张面积和空间扩张模式等都会对  $AWLEI$  的数值产生影响,一般情况下,斑块数量越多,  $AWLEI$  的数值越小,斑块扩张面积越大,  $AWLEI$  的数值越大,外部扩张式斑块数量越多,  $AWLEI$  的数值越大。  $AWLEI$  的数值大小可以在一定程度上表达斑块类型整体的空间扩张过程,一般情况下,  $AWLEI$  的数值越大,斑块类型整体的扩张规模相对越大,外部扩张式的斑块数量相对越多。

2.4 景观扩张指数(LEI)的实现

本文提出的景观扩张指数计算简单,易于实现,仅需要 ArcGIS 的空间分析功能即可完成,不需要编程操作,大大节省了工作量。首先,对特定斑块类型的两期分布图进行 Erase 操作,提取扩张斑块的面积和空间分布信息;然后,利用 Spatial join 工具将扩张斑块分别与后期和前期的斑块分布图进行连接,即可确定与扩张斑块处于相邻关系的斑块面积;最后,将属性表导出,在 EXCEL 软件中即可实现对 LEI、MLEI 和 AWLEI 等指数的计算。

3 景观扩张指数(LEI)的应用研究

本文以妫水河流域 1998—2009 年自然景观农田化过程为例,验证该景观扩张指数(LEI)表达景观扩张规模的能力以及识别斑块空间扩张模式的准确性,评价该景观扩张指数(LEI)在表达景观动态过程中的适用性。

3.1 研究区概况

妫水河流域位于北京市西北部,是海河流域的一部分,地处华北平原北部,主要县级行政区包括北京市延庆县、河北省张家口市怀来县和涿鹿县等,研究区的经纬度范围为:39°32'13"—41°8'6"N,114°55'19"—116°37'37"E,海拔高度在 469—2381 m 之间,总面积为 2387.47 km<sup>2</sup>,具体位置如图 3 所示。

3.2 基础数据及处理

以采集于 1998 年 9 月份和 2009 年 9 月份的两期 Landsat TM 影像为基础数据,影像采集时天气条件较好,天空平均云量均小于 5%。在波段组合、图像增强、几何校正、辐射校正、边界裁剪等预处理工作后,利用目视解译结合决策树分类方法提取两个时期的农田信息,本文中的农田包括水田和旱地、田间树木以及田间道路和水渠等<sup>[25]</sup>。

3.3 景观扩张指数计算

为了验证景观扩张指数的适用性,本文仅以两期农田数据为例,对该指数的实现、特点、变化规律等进行说明。农田景观的空间扩张结果如图 4a 所示,根据 2.4 中论述的实现方法以及公式(1)、公式(2)和公式(3)分别计算农田景观斑块水平的 LEI、斑块类型水平的 LEI(MLEI)以及面积加权的 LEI(AWLEI)。其中,MLEI=-0.922,AWLEI=-0.628,对 LEI 的结果按其数值分布区间进行统计,结果如表 2 所示。

3.4 结果分析

由表 2 可知,1998—2009 年间农田景观共有 605 个扩张斑块,其中 593 个扩张斑块的 LEI 处于(-1,1)区间内,表明这 593 个扩张斑块的空间扩张模式为邻接扩张式,如图 4b 所示,扩张斑块 4 和 5 的空间扩张模式均为邻接扩张式。扩张斑块 4 的  $A_0=554882\text{ m}^2$ ,  $A_p=4951076\text{ m}^2$ ,扩张斑块 5 的  $A_0=3892\text{ m}^2$ ,  $A_p=$

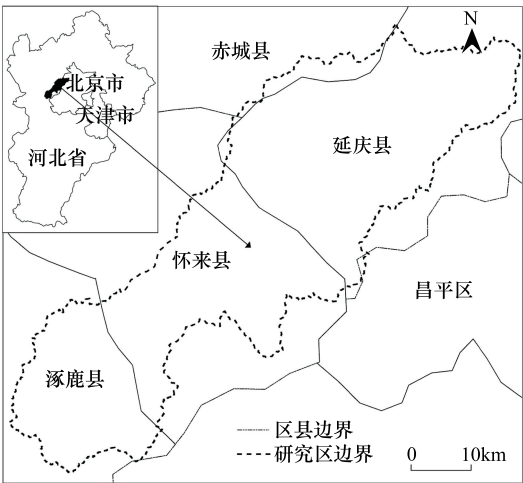


图3 研究区位置示意图  
Fig.3 Schematic diagram of study area

| 表2 LEI 的区间分布结果统计                                             |                         |                     |                            |
|--------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------------|----------------------------|
| Table 2 Distribution statistic of LEI on different intervals |                         |                     |                            |
| 景观扩张模式<br>Landscape<br>expansion<br>pattern                  | LEI 区间<br>LEI intervals | 斑块数<br>Patch number | 斑块比例/%<br>Patch proportion |
| 邻接扩张式<br>Adjacent expansion<br>pattern                       | -1—-0.8                 | 563                 | 93.06                      |
|                                                              | -0.8—-0.6               | 15                  | 2.48                       |
|                                                              | -0.6—-0.4               | 4                   | 0.66                       |
|                                                              | -0.4—-0.2               | 2                   | 0.33                       |
|                                                              | -0.2—0                  | 3                   | 0.50                       |
|                                                              | 0—0.2                   | 2                   | 0.33                       |
|                                                              | 0.2—0.4                 | 3                   | 0.50                       |
|                                                              | 0.4—0.6                 | 0                   | 0.00                       |
|                                                              | 0.6—0.8                 | 1                   | 0.17                       |
|                                                              | 0.8—1                   | 0                   | 0.00                       |
| 外部扩张式<br>External expansion<br>pattern                       | 1                       | 12                  | 1.98                       |

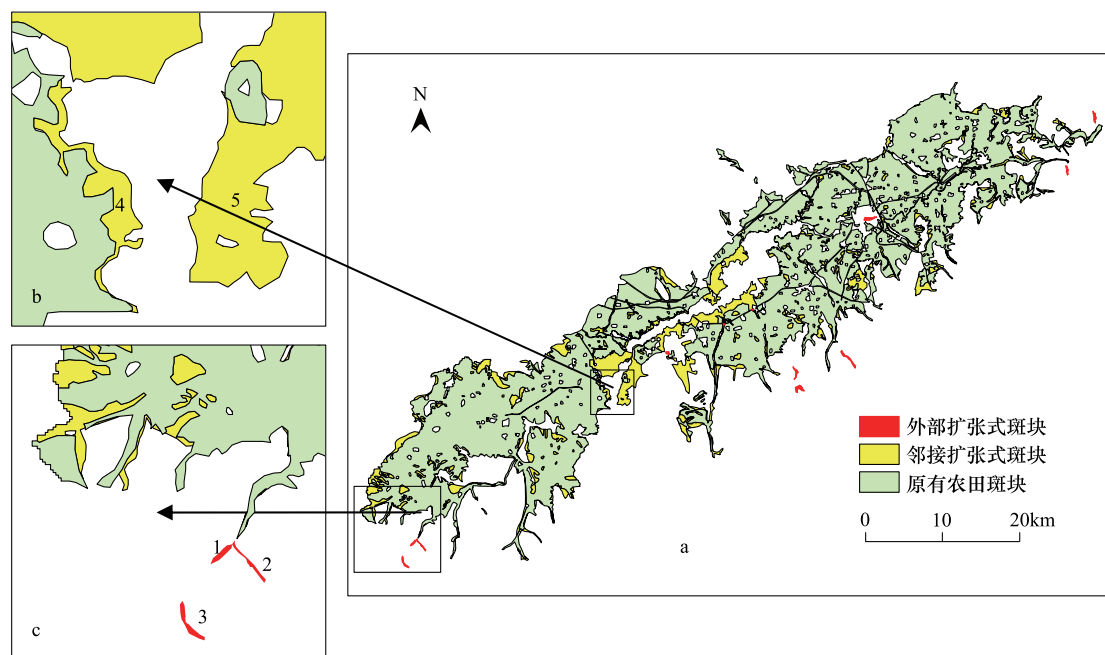


图4 妣水河流域 1998—2009 年农田景观扩张结果

Fig. 4 Result of farmland expansion in Guishui river basin from 1998 to 2009

341924057 m<sup>2</sup>, 经计算, 扩张斑块 4 的  $LEI = -0.993$ , 扩张斑块 5 的  $LEI = 0.878$ 。当  $LEI$  数值处于  $(-1, 1)$  区间时, 扩张斑块的空间扩张模式为邻接扩张式, 因此, 扩张斑块 4 和 5 的空间扩张模式为邻接扩张式。 $LEI$  的数值大小可以在一定程度上表达扩张斑块相对于原斑块的空间扩张规模,  $LEI$  为负数表明扩张斑块的扩张面积小于原斑块面积, 且数值越小表明扩张斑块的扩张面积与原斑块面积相差越大; 当  $LEI$  为正数时, 表明扩张斑块的扩张面积大于原斑块面积, 数值越大表明扩张斑块的扩张面积与原斑块面积相差越大。扩张斑块 4 的  $LEI = -0.993$ , 表明扩张斑块 4 的扩张面积远远小于原斑块面积, 扩张斑块 5 的  $LEI = 0.878$ , 表明扩张斑块的面积远远大于原斑块面积。另外, 有 12 个扩张斑块的  $LEI = 1$ , 表明这 12 个斑块的空间扩张模式为外部扩张式, 如图 4c 所示, 扩张斑块 1、2、3 的空间扩张模式均为外部扩张式, 利用 ArcGIS 软件的空间分析功能没有找到与扩张斑块 1、2、3 处于相邻关系的原斑块, 因此他们的空间扩张模式为外部扩张式,  $LEI = 1$ 。在所有扩张斑块中, 有 563 个扩张斑块的  $LEI$  处于  $(-1, -0.8)$  区间内, 占有扩张斑块数量的 93.06%, 表明 1998—2009 年间农田景观的扩张主要是通过大量小规模邻接扩张式实现的。MLEI 和 AWLEI 的数值也都是负值, 这也在一定程度上表明农田景观整体的扩张规模相对较小。

本文提出的景观扩张指数在技术方法上计算简便, 易于实现, 仅需要 ArcGIS 和 EXCEL 软件即可实现对该景观扩张指数的计算, 大大节省了工作量; 其次,  $LEI$  的数值可以在一定程度上定量表达斑块的相对扩张规模; 最后, 利用  $LEI$  的数值可以准确识别扩张斑块的空间扩张模式。本文提出的景观扩张指数不仅能够准确识别景观的空间扩张模式, 而且可以定量表达景观空间扩张规模, 描述景观格局的空间动态, 与传统方法相比有本质的区别, 为景观格局动态信息的表达提供了一种新方法。通过以上实例分析, 本文认为可以将该景观扩张指数推广使用, 该指数可应用于城市景观格局<sup>[26]</sup>、景观农田化<sup>[27]</sup>、自然景观恢复<sup>[28]</sup>等相关研究领域。

#### 4 结论

本文在前人研究的基础上提出一种新的景观扩张指数 ( $LEI$ ), 并以妣水河流域景观农田化过程为例, 对该指数的适用性进行验证, 主要的研究结论如下:

(1) 本文提出的景观扩张指数是完全基于扩张斑块面积的, 克服了扩张斑块形状差异对指数数值的影响。本文提出的  $LEI$  计算简便、易于实现, 仅需要 ArcGIS 和 EXCEL 软件进行简单的空间分析与统计计算即

可完成,大大节省了工作量。当  $LEI$  值处于  $(-1,1)$  区间时, $LEI$  值越大,表明扩张板块的扩张规模相对原斑块而言越大。

(2) 根据扩张斑块与原斑块相邻与否,本文将景观空间扩张模式划分为邻接扩张式和外部扩张式两种。利用  $LEI$  的数值可以准确识别斑块的空间扩张模式,当  $LEI=1$ ,景观的空间扩张模式为外部扩张式;当  $-1 < LEI < 1$  时,景观的空间扩张模式则为邻接扩张式。

(3) 本文以妫水河流域 1998—2009 年的景观农田化过程为例,对该指数的适用性进行验证,结果表明:该指数不仅能定量表达斑块的空间扩张规模,还能准确识别斑块的空间扩张模式,该指数可以准确表达景观的空间扩张过程。

## References:

- [ 1 ] Fu B J, Lv Y H, Chen L D, Su C H, Yao X L, Liu Y. The latest progress of landscape ecology in the world. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(2): 799-804.
- [ 2 ] Robert H. Gardner, Dean L. Urban. Neutral models for testing landscape hypotheses. *Landscape Ecology*, 2007, 22(1): 15-29.
- [ 3 ] Wagner H H, Fortin M J. Spatial analysis of landscape: concepts and statistics. *Ecology*, 2005, 86: 1975-1987.
- [ 4 ] Weng Q H, Lu D S, Jacquelyn Schubring. Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sensing of Environment*, 2004, 89: 467-483.
- [ 5 ] Gong H L, Jiao C C, Zhou D M, Li N. Scale Issues of Wetland Classification and Mapping Using Remote Sensing Images: A Case of Honghe National Nature Reserve in Sanjiang Plain, Northeast China. *Chinese Geographical Science*, 2011 21(2): 238-248.
- [ 6 ] Liu Y, Lv Y H, Fu B J. Implication and limitation of landscape metrics in delineating relationship between landscape pattern and soil erosion. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(1): 267-275.
- [ 7 ] Kok Chooi Tan, Hwee San Lim, Mohd Zubir MatJafri, Khiruddin Abdullah. Landsat data to evaluate urban expansion and determine land use/land cover changes in Penang Island Malaysia. *Environmental Earth Sciences*, 2010, 60(7): 1509-1521.
- [ 8 ] Yang Z S, Cai J M, Wen H. Urban Expansion and Landscape Characteristics of Land Use in Zhengzhou City Dring 2001—2007. *Scientia Geographica Sinica*, 2010, 30(4): 600-605.
- [ 9 ] Lv Y H, Chen L D, Fu B J. Analysis of the Integrating Approach on Landscape Pattern and Ecological Processes. *Progress in Geography*, 2007, 26(3): 1-10.
- [ 10 ] Yu X X, Li X B, Xia B. Forest landscape patterns and LUCC on Ecohydrological response. Beijing: Science Press, 2010.
- [ 11 ] Li H B, Wu J G. Use and misuse of landscape indices. *Landscape Ecology*, 2004, 19: 389-399.
- [ 12 ] Wu J G, Shen W J, Sun W Z, Tueller P T. Empirical patterns of the effects of changing scale on landscape metrics. *Landscape Ecology*, 2002, 17: 761-782.
- [ 13 ] David J B, Weaver K, Frank S, Ajith H P. Sensitivity of landscape pattern indices to input data characteristics on real landscapes: implications for their use in natural disturbance emulation. *Landscape Ecology*, 2004, 19: 255-271.
- [ 14 ] Zhang H Y, Zhou D M, Wang Y H. The Changing Process of Wetland Landscape in Honghe National Nature Reserve and Surrounding Farms in Sanjiang Plain. *Remote Sensing Technology and Application*, 2009, 24(1): 57-62.
- [ 15 ] Fu C L, Song G L, E Y. Landscape Changes of the Wetland in Yueqing Bay Based on Markov Model. *Journal of Northeast Forestry University*, 2009, (9): 117-119.
- [ 16 ] Gao Y, Su F Z, Sun X Y, Xue Z S. On Changes in Landscape Pattern of Coastal Wetland around the Pearl River Estuary in Past Two Decades. *Tropical Geography*, 2010, 30(3): 215-220, 226.
- [ 17 ] Robin B M, Nigel G G, Alan R, Polhill J G, Nick M G. Agent-based land-use models: a review of applications. *Landscape Ecology*, 2007, 22(10): 1447-1459.
- [ 18 ] Xu Y D, Fu B J, Lv Y H. Research on landscape pattern and ecological processes based on landscape models. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(1): 212-220.
- [ 19 ] Liu X P, Li X, Chen Y M, Qin Y, Li S Y, Chen M H. Landscape Expansion Index and Its Applications to Quantitative Analysis of Urban Expansion. *Acta Geographica Sinica*, 2009, 64(12): 1430-1438.
- [ 20 ] Liu X P, Li X, Chen Y M, Tan Z Z, Li S Y, Ai B. A new landscape index for quantifying urban expansion using multi-temporal remotely sensed data. *Landscape Ecology*, 2010, 25: 671-682.
- [ 21 ] Kent M. Biogeography and landscape ecology. *Progress in Physical Geography*, 2007, 31(3): 345-355.

- [22] Chen W B, Xiao D N, Li X Z. The Characteristics and Contents of Landscape Spatial Analysis. *Acta Ecologica Sinica*, 2002,22(7):1135-1142.
- [23] Forman R T T. Some general principles of landscape and regional ecology. *Landscape Ecology*, 1995, 10(3): 133-142.
- [24] Zhang J L, Ouyang T P, Zhu Z Y, Bai Y. Analysis on the expansion mode of Guangzhou s urban built-up land based on landscape ecology. *Ecology and Environmental Sciences*, 2010,19(2): 410-414.
- [25] Peng J, Wang Y L, Zhang Y, Ye M T, Wu J S. Research on the Influence of Land Use Classification on Landscape Metrics. *Acta Geographica Sinica*,2006,61(2):157-168.
- [26] Yang B L, Fang Y, Feng H H, Chen H S. Construction Land Expansion in Urbanization Process of Dongguan City. *Journal of Geo-Information Science*,2009,11(5):684-690.
- [27] Zhou Z Q, Liu T. The Current Status, Threats and Protection Way of Sanjiang Plain Wetland, Northeast China. *Journal of Forestry Research*, 2005, 16(2): 148-152
- [28] Chen Y, Yu, J. and Khan, S.. Spatial sensitivity analysis of multi-criteria weights in GIS-based land suitability evaluation. *Environmental Modelling & Software*, 2010,25:1582-1591.

#### 参考文献:

- [1] 傅伯杰,吕一河,陈利顶,苏常红,姚雪玲,刘宇. 国际景观生态学研究新进展. *生态学报*,2008,28(2):799-804.
- [6] 刘宇,吕一河,傅伯杰. 景观格局-土壤侵蚀研究中景观指数的意义解释及局限性. *生态学报*,2011,31(1): 267-275.
- [8] 杨振山,蔡建明,文辉. 郑州市 2001—2007 年城市扩张过程中城市用地景观特征分析. *地理科学*,2010,30(4):600-605.
- [9] 吕一河,陈利顶,傅伯杰. 景观格局与生态过程的耦合途径分析. *地理科学进展*, 2007, 26(3):1-10.
- [10] 余新晓,李秀彬,夏兵. 森林景观格局与土地利用/覆被变化及其生态水文响应. 北京:科学出版社,2010.
- [14] 张海英,周德民,王一涵. 三江平原洪河自然保护区及周边地区湿地景观变化过程研究. *遥感技术与应用*,2009,24(1):57-62.
- [15] 付春雷,宋国利,鄂勇. 马尔科夫模型下的乐清湾湿地景观变化分析. *东北林业大学学报*,2009,(9):117-119.
- [16] 高义,苏奋振,孙晓宇,薛振山. 珠江口滨海湿地景观格局变化分析. *热带地理*, 2010,30(3):215-220,226.
- [18] 徐延达,傅伯杰,吕一河. 基于模型的景观格局与生态过程研究. *生态学报*,2010,30(1):212-220.
- [19] 刘小平,黎夏,陈逸敏,秦雁,李少英,陈明辉. 景观扩张指数及其在城市扩展分析中的应用. *地理学报*,2009,64(12): 1430-1438.
- [22] 陈文波,肖笃宁,李秀珍. 景观空间分析的特征和主要内容. *生态学报*,2002,22(7):1135-1142.
- [24] 张金兰,欧阳婷萍,朱照宇,柏杨. 基于景观生态学的广州城镇建设用地扩张模式分析. *生态环境学报*,2010,19(2): 410-414.
- [25] 彭建,王仰麟,张源,叶敏婷,吴健生. 土地利用分类对景观格局指数的影响. *地理学报*,2006,61(2):157-168.
- [26] 杨宝龙,方元,冯微微,陈红顺. 东莞市城镇用地扩张的时空特征分析. *地球信息科学学报*,2009,11(5):684-690.

CONTENTS

|                                                                                                                                                                                                                      |                                                         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Responses of sandy beach nematodes to oxygen deficiency: microcosm experiments .....                                                                                                                                 | HUA Er, LI Jia, DONG Jie, et al (3975)                  |
| Allometric relationship between mean component biomass and density during the course of self-thinning for <i>Fagopyrum esculentum</i> populations .....                                                              | LI Lei, ZHOU Daowei, SHENG Lianxi (3987)                |
| Automatic site selection of sight-seeing route in ecotourism destinations based on landscape perception sensitivity .....                                                                                            | LI Jifeng, LI Renjie (3998)                             |
| Emergy evaluation for sustainability of Biogas-linked agriculture ecosystem: a case study of Gongcheng county .....                                                                                                  | YANG Jin, CHEN Bin, LIU Gengyuan (4007)                 |
| Spatial heterogeneity of vegetation coverage and its temporal dynamics in desert steppe, Inner Mongolia .....                                                                                                        | YAN Liang, ZHOU Guangsheng, ZHANG Feng, et al (4017)    |
| Soil conservation value flow processes of two typical grasslands .....                                                                                                                                               | PEI Sha, XIE Gadi, LI Shimei, et al (4025)              |
| Spatial distribution of carbon storage in a 13-year-old <i>Pinus massoniana</i> forest ecosystem in Changsha City, China .....                                                                                       | WU Tao, PENG Chonghua, TIAN Dalun, et al (4034)         |
| Colonization rate and diversity of AM fungi in the rhizosphere of seven medicinal plants in Xiamen .....                                                                                                             | JIANG Pan, WANG Mingyuan (4043)                         |
| Effects of Cd, Low Concentration Pb/Cd on the contents of phenolic acid and simple glucides exuding from winter wheat seedlings root and the relationship between them and rhizosphere soil microbial activity ..... | JIA Xia, DONG Suiming, ZHOU Chunjuan (4052)             |
| The community structure of laccase-like multicopper oxidase-producing bacteria in soil of Liangshui Nature Reserve .....                                                                                             | ZHAO Dan, GU Huiqi, CUI Daizong, et al (4062)           |
| Effects of soil rhizosphere microbial community and soil factors on arbuscular mycorrhizal fungi in different salinized soils .....                                                                                  | LU Xinping, DU Qian, YAN Yongli, et al (4071)           |
| The effects of inoculation with phosphate solubilizing bacteria <i>Bacillus megaterium</i> C4 in the AM fungal hyphosphere on soil organic phosphorus mineralization and plant uptake .....                          | ZHANG Lin, DING Xiaodong, WANG Fei, et al (4079)        |
| Soil carbon, nitrogen and phosphorus ecological stoichiometry of <i>Phragmites australis</i> wetlands in different reaches in Minjiang River estuary .....                                                           | WANG Weiqi, WANG Chun, ZENG Congsheng, et al (4087)     |
| Dynamics of soil microbial biomass during early fine roots decomposition of three species in alpine region .....                                                                                                     | WU Zhichao, WU Fuzhong, YANG Wanqin, et al (4094)       |
| Effects of simulated precipitation on apparent carbon flux of biologically crusted soils in the Gurbantunggut Desert in Xinjiang, Northwestern China .....                                                           | WU Lin, SU Yangui, ZHANG Yuanming (4103)                |
| Changes in photosynthetic properties, ultrastructure and root vigor of <i>Dendrobium candidum</i> tissue culture seedlings during transplantation .....                                                              | PU Xiaozhen, YIN Chunying, ZHOU Xiaobo, et al (4114)    |
| Analysis of dry matter accumulation and translocation for winter wheat cultivars with different yields on dryland .....                                                                                              | ZHOU Ling, WANG Zhaohui, LI Fucui, et al (4123)         |
| Impact evaluation of low temperature to yields of maize in Northeast China based on crop growth model .....                                                                                                          | ZHANG Jianping, WANG Chunyi, ZHAO Yanxia, et al (4132)  |
| Spatiotemporal variations in the reference crop evapotranspiration on the Loess Plateau during 1961—2009 .....                                                                                                       | LI Zhi (4139)                                           |
| Eco-physiological responses of <i>Phragmites australis</i> to different water-salt conditions in Momoge Wetland .....                                                                                                | DENG Chunnuan, ZHANG Guangxin, LI Hongyan, et al (4146) |
| Comparative study of different earthworm sampling methods .....                                                                                                                                                      | FAN Ruqin, ZHANG Xiaoping, LIANG Aizhen, et al (4154)   |
| Geographic variation in longevity and fecundity of the Asian corn borer, <i>Ostrinia furnacalis</i> Guenée (Lepidoptera: Crambidae) .....                                                                            | TU Xiaoyun, CHEN Yuansheng, XIA Qinwen, et al (4160)    |
| Analysis on grasshopper spatial heterogeneity and pattern of natural grass in upper reaches of Heihe .....                                                                                                           | ZHAO Chengzhang, LI Lili, WANG Dawei, et al (4166)      |
| Inhibition effects of ethyl acetate extracts of <i>Momordica charantia</i> leaves on the experimental population of <i>Spodoptera litura</i> .....                                                                   | LOU Ying, LING Bing, XIE Jiefeng, et al (4173)          |
| Feeding habits of <i>Lateolabrax maculatus</i> in Yangtze River estuary .....                                                                                                                                        | HONG Qiaoqiao, ZHUANG Ping, YANG Gang, et al (4181)     |
| Genetic structure of <i>Gymnodontichus pachycheilus</i> from the upper reaches of the Yellow River as inferred from mtDNA control region .....                                                                       | SU Junhu, ZHANG Yanping, LOU Zhongyu, et al (4191)      |
| Toxicity mechanism of Cadmium-induced reactive oxygen species and protein oxidation in testes of the frog <i>Rana nigromaculata</i> .....                                                                            | CAO Hui, SHI Cailei, JIA Xiuying (4199)                 |
| The diversity of scarab beetles in grassland cattle dung from North China .....                                                                                                                                      | FAN Sanlong, FANG Hong, GAO Chuanbu, et al (4207)       |
| Spatial relationships among <i>Empoasca vitis</i> (Gothé) and <i>Toxoptera aurantii</i> (Boyer) and natural enemies in tea gardens of autumn-winter season in Hefei suburban .....                                   | YANG Lin, GUO Hua, BI Shoudong, et al (4215)            |
| Effects of vegetation, elevation and human disturbance on the distribution of large- and medium-sized wildlife: a case study in Jiuzhaigou Nature Reserve .....                                                      | ZHANG Yue, LEI Kaiming, ZHANG Yuke, et al (4228)        |
| Research of typical EIPs based on the social network analysis .....                                                                                                                                                  | YANG Lihua, TONG Lianjun (4236)                         |
| Exergy-based life cycle accounting of household biogas system: a case study of Gongcheng, Guangxi .....                                                                                                              | QI Jing, CHEN Bin, DAI Jing, et al (4246)               |
| <b>Review and Monograph</b>                                                                                                                                                                                          |                                                         |
| The effects of changes in hydrological regimes and salinity on wetland vegetation: a review .....                                                                                                                    | ZHANG Guangxin (4254)                                   |
| Advances in research on the seed bank of a saline-alkali meadow in the Songnen Plain .....                                                                                                                           | MA Hongyuan, LIANG Zhengwei, LÜ Bingsheng, et al (4261) |
| A new landscape expansion index: definition and quantification .....                                                                                                                                                 | WU Pengfei, ZHOU Demin, GONG Huili (4270)               |
| <b>Scientific Note</b>                                                                                                                                                                                               |                                                         |
| Response of photosynthetic characteristics of <i>Psathyrostachys huashanica</i> Keng to drought stress .....                                                                                                         | LI Qian, WANG Ming, WANG Wenwen, et al (4278)           |
| The antifouling activities of <i>Callyspongia</i> sponge extracts .....                                                                                                                                              | CAO Wenhao, YAN Tao, LIU Yonghong, et al (4285)         |

## 《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13期 (2012年7月)

**ACTA ECOLOGICA SINICA**  
(Semimonthly, Started in 1981)  
Vol. 32 No. 13 (July, 2012)

|                     |                                                                                                                         |                        |                                                                                                                                                                                            |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>编辑</b>           | 《生态学报》编辑部<br>地址:北京海淀区双清路 18 号<br>邮政编码:100085<br>电话:(010)62941099<br>www. ecologica. cn<br>shengtaixuebao@ rcees. ac. cn | <b>Edited</b>          | by Editorial board of<br>ACTA ECOLOGICA SINICA<br>Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China<br>Tel: (010) 62941099<br>www. ecologica. cn<br>Shengtaixuebao@ rcees. ac. cn |
| <b>主编</b>           | 冯宗炜                                                                                                                     | <b>Editor-in-chief</b> | FENG Zong-Wei                                                                                                                                                                              |
| <b>主管</b>           | 中国科学技术协会                                                                                                                | <b>Supervised</b>      | by China Association for Science and Technology                                                                                                                                            |
| <b>主办</b>           | 中国生态学学会<br>中国科学院生态环境研究中心<br>地址:北京海淀区双清路 18 号<br>邮政编码:100085                                                             | <b>Sponsored</b>       | by Ecological Society of China<br>Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS<br>Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China                                        |
| <b>出版</b>           | <b>科 学 出 版 社</b><br>地址:北京东黄城根北街 16 号<br>邮政编码:100077                                                                     | <b>Published</b>       | by Science Press<br>Add: 16 Donghuangchenggen North Street,<br>Beijing 100717, China                                                                                                       |
| <b>印刷</b>           | 北京北林印刷厂                                                                                                                 | <b>Printed</b>         | by Beijing Bei Lin Printing House,<br>Beijing 100083, China                                                                                                                                |
| <b>发行</b>           | <b>科 学 出 版 社</b><br>地址:东黄城根北街 16 号<br>邮政编码:100717<br>电话:(010)64034563<br>E-mail: journal@ cspg. net                     | <b>Distributed</b>     | by Science Press<br>Add: 16 Donghuangchenggen North<br>Street, Beijing 100717, China<br>Tel: (010) 64034563<br>E-mail: journal@ cspg. net                                                  |
| <b>订购</b>           | 全国各地邮局                                                                                                                  | <b>Domestic</b>        | All Local Post Offices in China                                                                                                                                                            |
| <b>国外发行</b>         | 中国国际图书贸易总公司<br>地址:北京 399 信箱<br>邮政编码:100044                                                                              | <b>Foreign</b>         | China International Book Trading<br>Corporation<br>Add: P. O. Box 399 Beijing 100044, China                                                                                                |
| <b>广告经营<br/>许可证</b> | 京海工商广字第 8013 号                                                                                                          |                        |                                                                                                                                                                                            |

ISSN 1000-0933

9 771000 093125

1 3>