

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 33 卷 第 24 期 Vol.33 No.24 **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 24 期 2013 年 12 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 中国南方红壤生态系统面临的问题及对策 赵其国, 黄国勤, 马艳芹 (7615)
- 《生态学基础》: 对生态学从传统向现代的推进——纪念 E.P. 奥德姆诞辰 100 周年
..... 包庆德, 张秀芬 (7623)
- 食物链长度理论研究进展 张 欢, 何 亮, 张培育, 等 (7630)

个体与基础生态

- 天山盘羊夏季采食地和卧息地生境选择 李 叶, 余玉群, 史 军, 等 (7644)
- 松果梢斑螟对虫害诱导寄主防御的抑制作用 张 晓, 李秀玲, 李新岗, 等 (7651)
- 菹草附着物对营养盐浓度的响应及其与菹草衰亡的关系 魏宏农, 潘建林, 赵 凯, 等 (7661)
- 濒危高原植物羌活化学成分与生态因子的相关性 黄林芳, 李文涛, 王 珍, 等 (7667)
- 四年 O₃ 熏气对小麦根际土壤氮素微生物转化的影响 吴芳芳, 郑有飞, 吴荣军, 等 (7679)
- 重金属 Cd²⁺ 和 Cu²⁺ 胁迫下泥蚶消化酶活性的变化 陈肖肖, 高业田, 吴洪喜, 等 (7690)

种群、群落和生态系统

- 不同生境中橘小实蝇种群动态及密度的差异 郑思宁 (7699)
- 亚热带樟树-马尾松混交林凋落物量及养分动态特征 李忠文, 闫文德, 郑 威, 等 (7707)

景观、区域和全球生态

- 中国陆地生态系统通量观测站点空间代表性 王绍强, 陈蝶聪, 周 蕾, 等 (7715)
- 雅鲁藏布江流域 NDVI 变化与风沙化土地演变的耦合关系 李海东, 沈渭寿, 蔡博峰, 等 (7729)
- 高精度遥感影像下农牧交错带小流域景观特征的粒度效应 张庆印, 樊 军 (7739)
- 高寒草原土壤有机碳及土壤碳库管理指数的变化 蔡晓布, 于宝政, 彭岳林, 等 (7748)
- 芦芽山亚高山草甸、云杉林土壤有机碳、全氮含量的小尺度空间异质性
..... 武小钢, 郭晋平, 田旭平, 等 (7756)
- 湘中丘陵区不同演替阶段森林土壤活性有机碳库特征 孙伟军, 方 晰, 项文化, 等 (7765)
- 东北黑土区片蚀和沟蚀对土壤团聚体流失的影响 姜义亮, 郑粉莉, 王 彬, 等 (7774)
- 滇西北高原纳帕海湿地土壤氮矿化特征 解成杰, 郭雪莲, 余磊朝, 等 (7782)
- 红壤区桉树人工林炼山后土壤肥力变化及其生态评价 杨尚东, 吴 俊, 谭宏伟, 等 (7788)
- 2000—2010 年黄河流域植被覆盖的时空变化 袁丽华, 蒋卫国, 申文明, 等 (7798)
- 庐山森林景观格局变化的长期动态模拟 梁艳艳, 周年兴, 谢慧玮, 等 (7807)

暖温带-北亚热带生态过渡区物种生境相关性分析 袁志良,陈 云,韦博良,等 (7819)

不同生境和去趋势方法下的祁连山柏径向生长对气候的响应 张瑞波,袁玉江,魏文寿,等 (7827)

资源与产业生态

大小兴安岭生态资产变化格局 马立新,覃雪波,孙 楠,等 (7838)

生态环境移动数据采集系统研究与实现 申文明,孙中平,张 雪,等 (7846)

城乡与社会生态

城市遥感生态指数的创建及其应用 徐涵秋 (7853)

研究简报

大明竹属遗传多样性 ISSR 分析及 DNA 指纹图谱研究 黄树军,陈礼光,肖永太,等 (7863)

干旱胁迫下 4 种常用植物幼苗的光合和荧光特性综合评价 卢广超,许建新,薛 立,等 (7872)

基于 ITS2 和 16S rRNA 的西施舌群体遗传差异分析 孟学平,申 欣,赵娜娜,等 (7882)

两种浒苔无机碳利用对温度响应的机制 徐军田,王学文,钟志海,等 (7892)

北京山区侧柏林冠层对降雨动力学特征的影响 史 宇,余新晓,张建辉,等 (7898)

学术信息与动态

景观生态学研究:传统领域的坚守与新兴领域的探索——2013 厦门景观生态学论坛述评
..... 杨德伟,赵文武,吕一河 (7908)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 296 * zh * P * ¥ 90.00 * 1510 * 33 * 2013-12



封面图说:黄土丘陵农牧交错带——黄土丘陵是中国黄土高原的主要地貌形态,由于黄土质地疏松,加之雨季集中,降水强度较大,地表流水冲刷形成很多沟谷,斜坡所占的面积很大。这里千百年来的农牧交错作业,地表植被和生态系统均遭受了严重的破坏。利用高精度影像对小流域景观的研究表明,这里耕地、林地和水域景观相对比较规则简单,荒草地和人工草地景观比较复杂。农牧交错带小流域景观形态具有分形特征,各类景观斑块的分维数对粒度变化的响应不同,分维数随粒度的增大呈非线性下降趋势。

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/stxb201209051256

张庆印, 樊军. 高精度遥感影像下农牧交错带小流域景观特征的粒度效应. 生态学报, 2013, 33(24): 7739-7747.

Zhang Q Y, Fan J. Effects of higher resolution image and spatial grain size on landscape pattern in a small watershed of the farming-pastoral zone. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(24): 7739-7747.

高精度遥感影像下农牧交错带小流域 景观特征的粒度效应

张庆印¹, 樊 军^{1,2,*}

(1. 西北农林科技大学资源环境学院, 杨凌 712100;

2. 中国科学院水利部水土保持研究所黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 杨凌 712100)

摘要:在 GIS 和 RS 技术支持下,以农牧交错带六道沟小流域 2010 年的 WV-1 高精度遥感影像为基础,编制了小流域景观类型图,选取经典景观指数,在类型和整体景观的水平上,探讨了农牧交错带小流域景观格局指数随粒度变化的基本规律,并分析了各景观格局指数间的相关性。结果表明:在 1—50 m 粒度范围内,农牧交错带六道沟小流域景观格局指数的“临界粒度”现象明显,总体而言,在 0.5 m 分辨率下六道沟小流域的景观格局指数的“临界粒度”为 10 m,适宜计算的粒度范围为 5—10 m,所以在利用高精度影像对小流域景观进行预测、对比和评价等研究时,需注意粒度的影响并进行一定的粒度转换。农牧交错带小流域景观形态具有分形特征,各类景观斑块的分维数对粒度变化的响应不同,分维数随粒度的增大呈非线性下降趋势,表明景观类型边界趋于简单化。相关性分析一方面定量反映了所选景观指数受粒度变化影响的相关性程度,另一方面可为后续农牧交错带小流域因“退耕还林(草)”工程引起的景观格局变化研究提供参考。

关键词:农牧交错带;景观格局;粒度效应;临界粒度;相关分析

Effects of higher resolution image and spatial grain size on landscape pattern in a small watershed of the farming-pastoral zone

ZHANG Qingyin¹, FAN Jun^{1,2,*}

1 College of Resource and Environment, Northwest Agriculture & Forestry University, Yangling 712100, China

2 State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling 712100, China

Abstract: Effects of spatial grain size on landscape pattern, especially the study of critical grain size, has been developed during the last two decades to describe and quantify complex landscape patterns and to link landscape patterns and ecological processes. Scale is an important issue in both landscape ecology and remote sensing. Scale in landscape ecology involves both grain size and extent. However, past studies mainly used low spatial resolution images. Thus, it is necessary to identify the scale characteristics and appropriate grain extent of farming-pastoral zone in higher resolution images.

A high resolution image of a small watershed with areas of farming-pastoral zone was interpreted to create maps of landscape pattern. In the GIS and RS environment, the vector drawings were transformed into shutter drawings according to different spatial grain sizes. The landscape pattern was then converted to ArcGrid formats with grain sizes of 1, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50 m using ArcGIS Spatial Analyst. Landscape indexes were chosen and the relations between spatial grain size and these landscape indexes were determined by correlation analysis. Landscape indexes were examined at

基金项目:国家自然科学基金资助项目(41271239,51239009);中国科学院西部行动计划资助项目(KZCX2-XB3-13)

收稿日期:2012-09-05; **修订日期:**2013-03-21

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: fanjun@ms.iswc.ac.cn

the class-level including five Area/Perimeter /Density indexes, seven Shape indexes and eight Contag indexes; and landscape indexes were also chosen at the landscape-level including four Area/Perimeter /Density indexes, four Shape indexes, three Contag indexes and four Diversity indexes.

The results showed that the scale effects of selected landscape indexes were different in the farming-pastoral zone. The scale effects were apparent at both the class and the landscape levels. Critical grain sizes of landscape indexes of the farming-pastoral zone were evident, such as the grain size of 10 m for the PD, IJI and FARC-MN indexes in the watershed. An appropriate grain extent (5—10 m) was identified for calculating the landscape indexes of the farming-pastoral zone for the high resolution image. For these reasons, the scaling conversion should be taken into account in order to provide reference for studies such as forecasting landscape changes, comparison analyses and evaluations of the land use types based on landscape metrics. The various landscape type patches in the small watershed had a fractal character and the fractal dimensions of landscapes responded to scaling differently, such that fractal dimensions decreased nonlinearly with increasing grain size. Moreover, it indicated that at the border of landscape types there was a tendency towards simplification. This study should provide useful information about farming-pastoral zone effects on landscape mechanisms and the importance of scaling to these areas in high resolution image spatial models in future research.

Key Words: farming- pastoral zone; landscape pattern; effects of spatial grain size; critical grain size; correlation analysis

20 世纪 80 年代开始,为了测定景观格局对生态过程的影响^[1-2],必须用简单数字描述复杂的景观格局,因而产生了景观格局指数,而尺度问题一直是景观生态学界研究的核心问题之一,特别是对于景观格局分析而言,尺度选择直接关系到结果的可靠性^[3-4]。利用景观格局指数进行土地利用类型、土地利用格局空间分析的方法得到了广泛应用^[5-8],很多学者对景观格局指数的尺度效应研究表明景观指数尺度依赖性的普遍存在^[9-13]。前人研究结果已经证明,不同的景观有不同的格局特征,对尺度变化的响应也不一样,因此并不存在景观格局分析的最佳尺度,只有针对特定景观的合适尺度^[9],并且基于粒度效应的景观格局研究成了目前的研究热点,因为在对尺度研究时需对数据信息进行聚合以及各尺度之间信息转移^[14]。尺度域是指大多数格局和过程发生的尺度范围^[15],同一尺度域内格局及过程相似,推绎比较容易,当跨越多个尺度域时,由于过程在不同尺度上起作用,尺度推绎会变得复杂甚至不可能^[16-17]。陈利顶等^[18]指出,通过对多种景观格局指数的联合应用及定量研究景观格局演变与生态过程之间的关系,可以有效的解释景观生态过程。

遥感技术的飞速发展对相关研究提供了不同空间分辨率的影像数据资料,但合适空间分辨率的选择却成了一个棘手问题^[19-21]。对粒度效应的研究主要集中在低分辨率下景观格局指数随粒度的变化^[22-23],而对于农牧交错带小流域,高精度遥感影像下景观格局指数的粒度效应及其相关性研究较少。鉴于此,本研究综合相关景观格局指标选取的研究成果,从类型与景观 2 个水平上选取多个经典景观格局指数,主要测度农牧交错带小流域景观格局指数的粒度效应,并对所选景观指数分类后进行相关性分析。总结相同景观在不同粒度尤其是小粒度下的景观特征差异,验证景观格局指数在测度过程中的说服力。本研究可为高精度影像下农牧交错带小流域景观指数计算的适宜粒度选择及粒度推绎提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

六道沟小流域位于毛乌素沙地边缘和黄土丘陵区的过渡地带,属于典型的盖沙黄土丘陵地貌,处于晋、陕、蒙水蚀风蚀交错带强烈侵蚀中心区。该流域属窟野河水系二级支流,其主沟道长为 4.21 km,流域面积为 7.28 km²。该流域属于中温带半干旱气候区,年均气温为 8.4 ℃,多年平均降雨量为 437.4 mm。植被成分十分复杂,即以森林草原,灌丛草原成分为主,也有荒漠草原和沙地植被,这些成分均为地带性植被,是流域自然状况的体现。

1.2 数据来源与处理

以六道沟小流域全色波段遥感卫星影像(World View-1 卫星,2010 年 2 月拍摄,0.5 m 分辨率)为遥感数据,在 Erdas Imagine 9.2 中对遥感影像进行几何精校正,然后结合六道沟小流域的边界图对几何校正后的图像进行裁剪,从而得到研究区的数字影像地图。

根据研究区的地理特征和影像质量,结合实地勾绘和调查,本文将研究区土地分类为:1)耕地,包括坡耕地、梯田、沟坝地及沟谷地;2)荒草地;3)林地,包括果园用地、有林地和疏林地;4)人工草地;5)灌木地;6)建设用地,包括居民地和煤炭开采用地;7)水域;8)未利用地,包括沙地和裸露基岩等 8 种地类。分类采用计算机自动分类和人工分类相结合的方法,在 Erdas Imagine 9.2 环境下,先对影像进行监督分类,再结合地形图等辅助资料,人工目视解译修改分类结果,提高解译精度。经过精度评价,研究区 2010 年分类图总体分类精度为 88.5%,可以满足本文的精度要求。最后,在 ArcGIS 9.3 支持下,通过格式转换、空间叠加等处理,进行数据统计分析。

1.3 粒度与景观指数选择

常用的粒度推绎方法是把精微尺度上的观察、试验及模拟结果外推到较大尺度^[24],它是研究成果的“粗粒化”,即不断降低景观格局的空间分辨率^[23]。利用 ArcGIS9.3 软件中的空间分析模块,把研究区的土地利用类型图转为不同粒度的栅格数据,由于研究区面积较小,所以采用的粒度大小为 1—50 m,即 1、5、10、15、20、25、30、35、40、45、50 m,然后用 Fragstats 3.3 软件计算景观格局指数。

目前描述景观格局的指数很多,参考前人研究并结合研究区的景观特征,本文按照景观格局指数生态学意义(Fragstats 3.3 的分类标准)在类型水平上选取的景观指数包括 5 个面积/周长/密度指数,7 个形状指数,8 个蔓延度指数;景观水平上选取的景观指数包括 4 个面积/周长/密度指数,4 个形状指数,3 个蔓延度指数和 4 个多样性指数。各指数计算公式及生态学意义见参考文献^[25]

2 结果与分析

2.1 景观指数的空间粒度变化行为

2.1.1 类型水平景观指数的空间粒度变化行为

利用 Fragstats 3.3 软件分析的结果,进行类型水平上的土地景观特征对比分析。2010 年类型水平上土地景观类型特征的粒度效应如图 1。

空间粒度变化对一些景观格局指数有明显的影响,即同一景观不同粒度时,用同一种景观格局指数表示的结果不同。根据景观指数对空间粒度的响应情况和粒度效应关系,选取 20 个指数中的 14 个经典景观指数,分为 3 类,从地类景观单个指标特征曲线来看,其粒度效应有以下特征:

(1)第 1 类景观指数随着粒度的增加而减小,且具有比较明显的粒度效应关系,可预测性较强。这类景观指数主要有平均分维数、景观形状指数、平均形状指数、聚集度指数、相似临近比和聚合指数(图 1)。以聚合指数为例,聚合指数表示景观类型内部的团聚程度^[22],如果一个景观由许多离散的小斑块组成,其聚合指数较小;当景观中以少数大斑块为主或同一类型斑块高度相连时,其聚合指数较大^[26]。从聚合指数的变化趋势来看(图 1),除了未利用地,其它地类景观指数下降较为明显,其中下降最明显的是荒草地和水域,其次是耕地、林地,可见随着粒度的增加,类型景观的形状愈加简单,并且在 40 m 粒度时,建设用地、耕地和水域都出现了拐点。

(2)第 2 类景观指数随着粒度的增加呈现增加的趋势,同样具有比较明显的粒度效应关系,代表性指数有散步与并列指数和归一化形状指数(图 2)。散步与并列指数对那些受到某种自然条件严重制约的生态系统的分布特征反映显著,从图 2 可以看出,水域、灌木地和人工草地的散步与并列指数值较低,而林地、耕地、建设用地和荒草地的分散指数值相对较高。随粒度变化最明显的是耕地,增加幅度最大。而归一化形状指数随着粒度的增加,其曲线呈逐渐上升的趋势,可见随着粒度的增加景观类型的形状便越来越简单,由图 2 可以看出,荒草地的归一化形状指数都小于 0.1,表明研究区荒草类型景观形状比较复杂,而其他类型景观随着粒

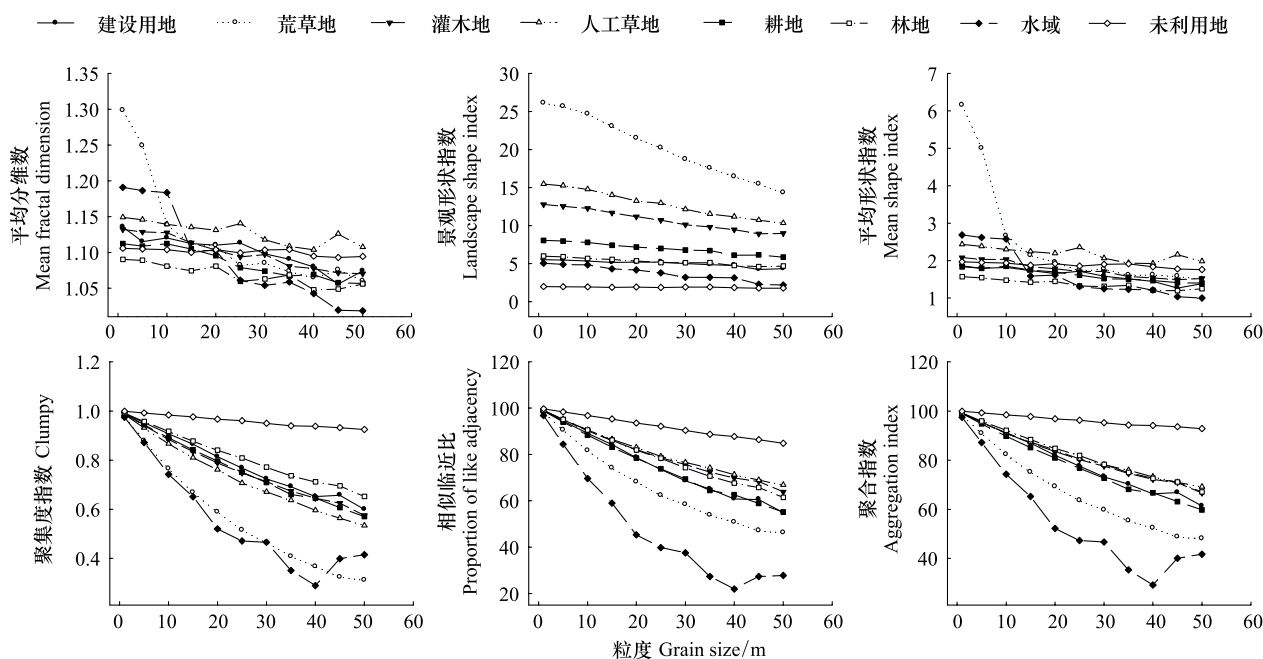


图1 类型水平景观特征指数的粒度变化曲线(减小趋势)

Fig.1 Change curves of land metrics of different types to grain sizes (Decreasing trend)

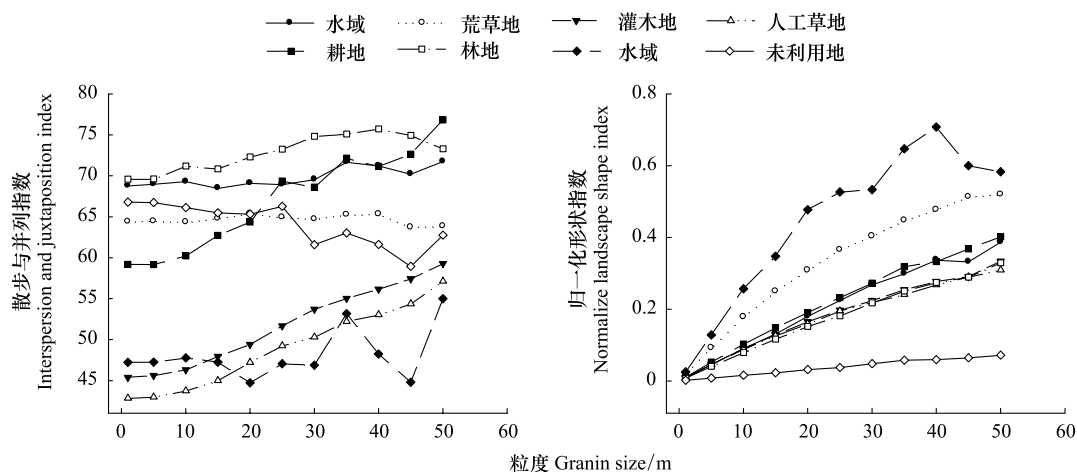


图2 类型水平景观特征指数的粒度变化曲线(增大趋势)

Fig.2 Change curves of land metrics of different types to grain sizes (Increasing trend)

度的增加边界曲线趋于平滑、规则。

(3)第3类景观格局指数随粒度的变化曲线差异较大,无明显规律,代表性指数如周长面积变异系数、斑块密度、景观形状变异系数、最大斑块指数、有效粒度面积和平均周长面积比(图3)。有效粒度面积用于比较斑块的平均面积大小。景观总面积不变时,有效粒度面积变大,反映该类型景观面积增加,其在景观中的比例加大^[9]。通过分析,粒度变化对荒草地、人工草地和灌木地的有效粒度面积指数影响最大,尤其在20—40 m 粒度其值变化较为剧烈,而其它地类的有效粒度面积指数随粒度的增加变化不明显。其他几类景观指数随粒度同样表现出不规律的变化。

2.1.2 整体水平景观指数的空间粒度变化行为

利用 Fragstats 3.3 软件分析的结果,进行整体水平上的景观特征对比分析。六道沟小流域2010年整体景观特征的粒度效应如图4所示。

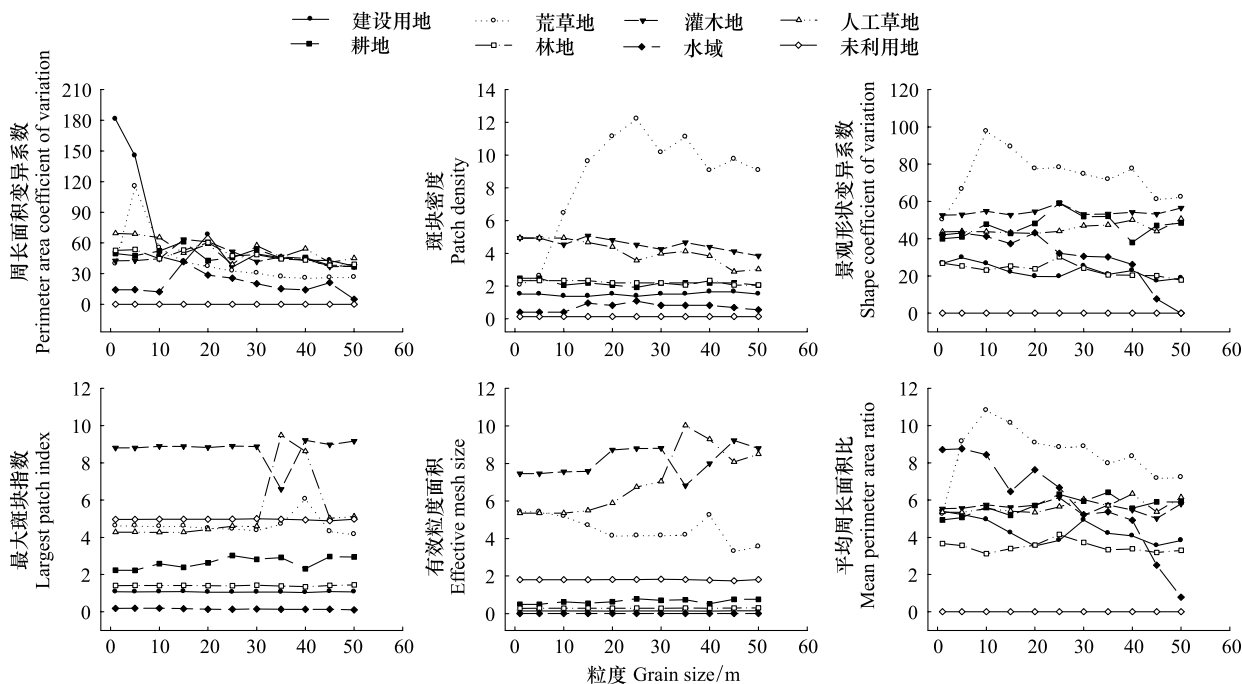


图3 类型水平景观特征指数的粒度变化曲线(无规则)

Fig.3 Change curves of land metrics of different types to grain sizes (Irregularity)

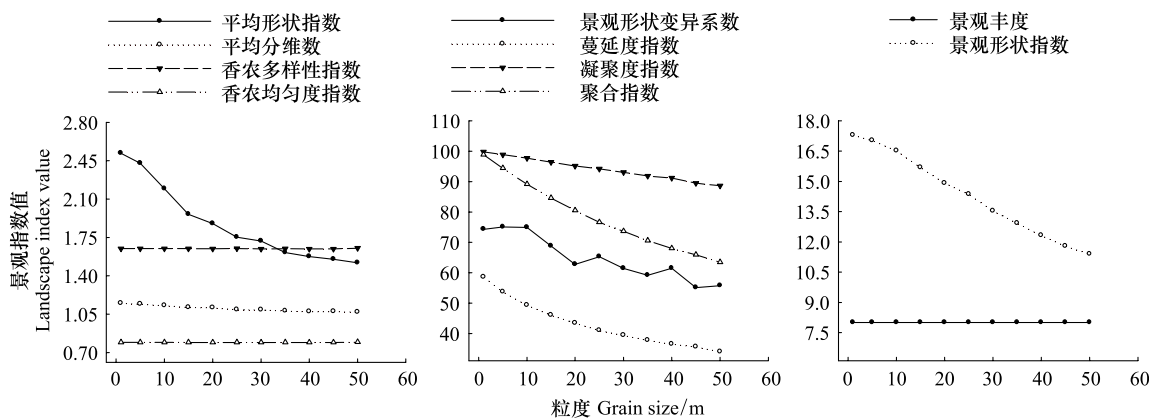


图4 整体水平景观特征指数的粒度变化曲线

Fig.4 Change curves of different landscape metrics to grain sizes

在整体水平上,选取特征较明显的10个景观指数进行分析,其粒度变化曲线如图4所示,2010年六道沟小流域的类型景观指数大部分随着粒度的增加呈现减小的趋势。图2中可以看出,平均形状指数、聚合指数和蔓延度指数的粒度效应曲线形状受空间格局特征的影响不大,主要表现为幂函数下降,也有少数情况下指数的粒度效应曲线表现为直线下降,如凝聚度、平均分维数和景观形状指数,可见景观中斑块形状逐渐规则,在10 m时,其曲线出现拐点,以上分析表明景观格局特征对这类指数值的大小有明显影响且有一定的规律。另外,景观形状变异系数随粒度的增加分阶段下降,但总体是下降趋势,只有景观丰度、香农多样性和香农均匀度指数随着粒度的增加基本无变化。

2.2 景观形态的自相似性及其对粒度效应的响应

在各种粒度下,六道沟小流域2010年各类景观斑块的平均分维数都大于1(表1),这说明各类景观形态都具有分形特征,呈现出一定的自相似性和复杂性。

表 1 各类景观斑块的分维数对粒度变化的响应

Table 1 Fractal dimension of different landscape types within different grains

粒度 Grain size/m	建设用地 Construction land	荒草地 Wild grassland	灌木地 Scrub land	人工草地 Artificial pasture	耕地 Farmland	林地 Forest land	水域 Water area	未利用地 Unused land
1	1.14	1.30	1.13	1.15	1.11	1.09	1.19	1.1
5	1.12	1.25	1.13	1.15	1.11	1.09	1.19	1.11
10	1.12	1.14	1.13	1.14	1.11	1.08	1.18	1.10
15	1.11	1.11	1.11	1.14	1.11	1.07	1.10	1.10
20	1.11	1.11	1.10	1.13	1.09	1.08	1.10	1.10
25	1.11	1.08	1.09	1.14	1.08	1.06	1.06	1.10
30	1.10	1.09	1.10	1.12	1.07	1.06	1.05	1.10
35	1.09	1.07	1.08	1.11	1.07	1.07	1.06	1.10
40	1.08	1.06	1.08	1.10	1.07	1.05	1.04	1.10
45	1.06	1.08	1.07	1.13	1.06	1.05	1.02	1.09
50	1.07	1.06	1.07	1.10	1.06	1.06	1.02	1.09
平均值 Average	1.10	1.12	1.10	1.128	1.09	1.07	1.09	1.10

从平均水平来看,耕地、林地和水域景观相对比较规则简单,荒草地和人工草地景观比较复杂,而建设用地、灌木地和未利用地景观介于他们之间,这也符合研究区的实际情况,因为:1) 神木县六道沟流域地处毛乌素沙地边缘和黄土丘陵区的交错过渡地带,环境恶劣,该区的荒草地主要位于各侵蚀沟的边缘地带,随着侵蚀沟的加速发展,荒草地的管理随之减少,从而导致草地景观比较复杂的格局;2) 1999 年退耕还林(草)政策的实施,使得耕地大面积减少,林草地大面积增加,并且得到了有序的种植和管理;3) 六道沟流域内由于居民点的转移和煤矿的建设,使得建设用地景观的形态格局复杂化程度接近于荒草地。表 1 还表明,各类景观斑块的分维数对粒度变化的响应不同,它们的分维数随着粒度的变化呈非线性下降趋势;在粒度较小时,各类景观斑块之间的分维数差异较大,而随着粒度增大,各类景观斑块之间的分维数差异减小。其中,荒草地和水域的分维数在 1—30 m 粒度内,具有明显的随粒度增加而减小的趋势,而超过 30 m 范围后则表现出在一定水平上的波动。其它类型景观的分维数在 1—40 m 粒度范围内变化较小,说明这些景观的形态结构在这一粒度范围内具有自相似性,当超过 40 m 粒度时各类型景观分维数略有波动,但整体呈下降趋势。

2.3 类型景观指数与粒度的相关分析

采用相关性分析,获得了 2010 年六道沟流域各地类景观指数与粒度的相关性(表 2)。

表 2 2010 年各地类景观指数与粒度的相关性

Table 2 Correlation between landscapes metrics and sizes at pattern scale in 2010

地类 Land use classes	散步与并列指数 Interspersion juxtaposition index	斑块数量 Number of patches	平均面积周长比 Mean perimeter area ratio	聚集度指数 Clumpy	归一化形状指数 Normalize landscape shape index	相似邻近比 Proportion of like adjacency	聚合指数 Aggregation index
建设用地 Construction land	0.81 **	0.52	-0.72 **	-0.99 **	0.99 **	-0.99 **	-0.99 **
荒草地 Wild grassland	0.73 **	0.66 *	-0.71 **	-0.99 **	0.99 **	-0.99 **	-0.99 **
灌木地 Scrub land	0.99 **	-0.83 **	-0.83 **	-0.99 **	0.99 **	-0.99 **	-0.99 **
人工草地 Artificial pasture	0.99 **	-0.92 **	-0.93 **	-0.99 **	0.99 **	-0.99 **	-0.99 **
耕地 Farmland	0.98 **	-0.47	-0.79 **	-0.99 **	0.99 **	-0.99 **	-0.99 **
林地 Forest land	0.87 **	-0.76 **	-0.94 **	-0.99 **	0.99 **	-0.99 **	-0.99 **
水域 Water area	0.53	0.35	-0.76 **	-0.91 **	0.91 **	-0.94 **	-0.91 **
未利用地 Unused land	0.85 **	-1.00 **	-0.81 **	-0.99 **	0.99 **	-0.99 **	-0.99 **

* 代表 $P < 0.05$ 显著水平, ** 代表 $P < 0.01$ 显著水平

从表 2 看出,聚集度指数、相似邻近比和聚合指数与粒度的相关性在类型水平上呈现极显著负相关,散步与并列指数和归一化形状指数与粒度呈正相关。其中,各地类的归一化形状指数与粒度都呈极显著正相关,

水域、建设用地的斑块数量与粒度的相关性不高,而且斑块数量与粒度的相关性既有正相关也有负相关。

对于农牧交错带六道沟小流域而言,耕地、建设用地和林草地之间的转化频繁。此次重点研究三者在斑块数量、归一化形状指数、聚集度指数与粒度之间的相关性。如表 2 所示,从耕地和林地类型景观指数与粒度的相关性来看,斑块数量与粒度为显著负相关,归一化形状指数与粒度极显著正相关,聚集度指数与粒度则呈现极显著负相关。从建设用地类型景观指数与粒度的相关性来看,斑块数量与粒度呈显著正相关,而归一化形状指数和聚集度指数与粒度的相关性则与耕地类似。通过相关性分析,一方面定量反映了所选景观指数受粒度变化影响的相关性程度,另一方面可为后续六道沟流域因“退耕还林(草)”工程引起的景观格局变化的研究提供参考。

3 结论与讨论

通过对高精度遥感影像下农牧交错带六道沟小流域 2010 年景观格局指数的粒度效应研究,分析了六道沟小流域景观格局的粒度效应。从景观的类型水平和整体水平分别进行分析,实现了农牧交错带小流域景观格局研究从部分到整体的结合。与热岛格局的粒度效应相似^[13],“临界粒度”现象在农牧交错带小流域景观格局也普遍存在。在高分辨率遥感影像下,农牧交错带小流域景观格局指数的“临界粒度”现象较为明显。在 1—50 m 粒度范围内,0.5 m 分辨率下六道沟小流域的景观格局指数的“临界粒度”为 10 m。在粒度选择时,若想既保证计算的质量、体现比例尺的特征信息,又不使计算过程中工作量过大,应当在第一尺度域内选择中等偏大的粒度^[27]。所以,小流域适宜计算的粒度范围为 5—10 m,从而得知,在利用高分辨率遥感影像对农牧交错带小流域景观进行预测、对比和评价等研究时,需注意粒度的影响并进行一定的粒度转换。

景观形态自相似性的研究可以很好的反映景观格局的边界特征,研究中,小流域景观形态具有分形特征,并且呈现出一定的自相似性和复杂性。各类景观斑块的维数对粒度变化的响应不同,维数随粒度的增大呈非线性下降趋势,表明景观类型边界趋于简单化。在粒度较小时,各类景观斑块之间的维数差异较大,而随着粒度增大,各类景观斑块之间的维数差异减小。从平均水平看,耕地、林地和水域景观相对比较规则简单,荒草地和人工草地景观比较复杂,而建设用地、灌木地和未利用地介于它们之间。徐建华等^[28]对城市景观的研究表明,廊道景观在 5—70 m 的粒度范围内,维数具有明显随粒度增加而减小的趋势,与本研究相比,六道沟流域以廊道基质景观为主,维数随粒度的增加而减小,这与徐建华的研究结果类似。

开展景观指数与粒度的相关性研究也是本次粒度效应研究的一部分。通过相关性分析,一方面定量反映了所选景观格局指数受粒度变化影像的相关性程度,另一方面可为后续农牧交错带小流域因“退耕还林(草)”工程引起的景观格局变化研究提供参考。

格局与过程之间的相互作用具有强烈的尺度依赖性,而尺度又可分为测量尺度和本征尺度。只有当测量尺度和本征尺度相符时,格局或过程才能被可靠的揭示^[29-30]。景观格局直属对尺度敏感性的原因在于测量尺度与研究对象的本征尺度存在差异,因而,使测量尺度不断接近于本征尺度是深刻而准确地揭示自然现象和规律的必然选择。本文在对景观指数的粒度效应研究中,针对从测量尺度向本征尺度的过度进行了说明,但文章只从空间上分析了各地类景观指数的粒度效应,并没有从时间变化角度分析景观指数的粒度效应,这一点还需深入研究。因为景观格局是不同景观单元和生态过程在一定时间和一定空间内相互作用的表现,它在空间或时间单方面的特征都不能代表其本质的规律性。判别景观格局的特征尺度是进行格局分析的前提^[4],而这个特征尺度不仅包括空间尺度,还应包含时间尺度,二者缺一不可。

目前在我国开展的大量景观格局分析中,更多的侧重于景观格局指数的计算与分析,而将景观格局分析与实际问题相结合的研究相对较少。但仍有生态学工作者作了很好的尝试,如:傅伯杰、赵文武等针对黄土高原地区的土壤侵蚀,建立了多尺度景观格局评价指数^[31-32];李秀珍、刘红玉等分别研究了湿地景观格局在污水净化方面和湿地景观破碎化对珍稀栖息环境的影响^[33-34],所有这些工作为探讨景观格局与生态过程之间的关系奠定了基础。

References:

- [1] Milne B T. Lessons from applying fractal models to landscape patterns // Turner M G, Gardner R H, eds. *Quantitative Methods in Landscape Ecology*. New York: Springer-Verlag, 1991: 199-235.
- [2] Tischendorf L. Can landscape indices predict ecological processes consistently?. *Landscape Ecology*, 2001, 16(3): 235-254.
- [3] Wu J G. The key research topics in landscape ecology. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 24(9): 2074-2076.
- [4] Gustafson E J. Quantifying landscape spatial pattern: what is the state of the art?. *Ecosystems*, 1998, 1(2): 143-156.
- [5] Xu L, Bian X Q, Qin X L, Zhang Q G, Liu L. Effects of grain size change on landscape pattern indices of Hefei city. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(5): 1167-1173.
- [6] Zhu Z Q, Liu L M, Zhang J L. Impact of grain for green project on landscape pattern in hilly loess region in Southern Ningxia: landscape evolution process assessment of Zhong-zhuang-cun small watershed in 1993—2005. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(1): 146-154.
- [7] Zhang Z M, Luo Q P, Wang W L, Yin M, Sun Z H, Ou X K, Liu X K. A comparison of 2D and 3D landscape metrics for vegetation patterns change quantification in mountainous areas. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(21): 5886-5893.
- [8] Cao Y G, Zhou W, Wang J, Yuan C. Effects of spatial grain size on landscape pattern of land use in Three Gorges reservoir area in 30 years. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2010, 26(6): 315-321.
- [9] Wu J G. Effects of changing scale on landscape pattern analysis: scaling relations. *Landscape Ecology*, 2004, 19(2): 125-138.
- [10] 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(8): 761-782.
- [11] Zhuang C W, Ouyang Z Y, Xu W H, Bai Y. Landscape dynamics of Baiyangdian lake from 1974 to 2007. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(3): 839-848.
- [12] Zhou X D, Yu S W, Zhao C S, Cao H L. Effects of changing grain size on landscape indices — A case study of the part of Xuzhou. *Science of Surveying and Mapping*, 2009, 34(1): 201-202, 173-173.
- [13] Guo G H, Chen Y B, Wei J B, Wu Z F, Rong X Z. Impacts of grid sizes on urban heat island pattern analysis. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(12): 3764-3772.
- [14] Gong J Z, Xia B C, Li N, Guo L. Effects of spatial grain size on landscape pattern of land-cover types in the rapidly urbanized region. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(70): 2198-2206.
- [15] Wu J G, Hobbs R J. *Key Topics in Landscape Ecology*. Cambridge: Cambridge University Press, 2007: 119-120.
- [16] Wu J G. Hierarchy and scaling: extrapolating information along a scaling ladder. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 1999, 25(4): 367-380.
- [17] Li S C, Cai Y L. Some scaling issues of geography. *Geographical Research*, 2005, 24(1): 11-18.
- [18] Chen L D, Liu Y, Lü Y H, Feng X M, Fu B J. Landscape pattern analysis in landscape ecology: current, challenges and future. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(11): 5521-5531.
- [19] Atkinson P M, Curran P J. Choosing an appropriate spatial resolution for remote sensing investigations. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1997, 63(12): 1345-1351.
- [20] Woodcock C E, Strahler A H. The factor of scale in remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 1987, 21(3): 311-332.
- [21] Zhu M, Pu L J, Li J L. Effects of varied remote sensor spatial resolution and grain size on urban landscape pattern analysis. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(6): 2753-2763.
- [22] Gao Y, Bi R T, Cao Y. Effect of changing spatial grain size and land-use classification on landscape index — A case study of Wenxi County, Shanxi Province. *Chinese Journal of Eco — Agriculture*, 2010, 18(5): 1076-1080.
- [23] 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.
- [24] Wang X M, Wang C Y, Zhan Y L, Niu Z. A factor analysis on landscape structure metrics with large scale. *Geography and Geo-Information Science*, 2006, 22(1): 17-21.
- [25] <http://wenku.baidu.com/view/869ea62ccfc789eb172dc8a1.html>.
- [26] Wu J G. *Landscape Ecology: Pattern, Process, Scaling and Rank*. Beijing: Higher Education Press, 2000.
- [27] Zhao W W, Fu B J, Chen L D. The effects of grain change on landscape indices. *Quaternary Sciences*, 2003, 23(3): 326-333.
- [28] Xu J H, Yue W Z, Tan W Q. A statistical study on spatial scaling effects of urban landscape pattern: a case study of the central area of the external circle highway in Shanghai. *Acta Geographica Sinica*, 2004, 59(6): 1058-1067.
- [29] Urban D L, O'Neill R V, Shugart H H. Landscape ecology: a hierarchical perspective can help scientists understand spatial patterns. *BioScience*,

1987, 37(2): 119-127.

- [30] Zhang N. Scale issues in ecology: concepts of scale and scale analysis. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(7): 2340-2355.
- [31] Chen L D, Fu B J, Xu J Y, Gong J. Location-weighted landscape contrast index: a scale independent approach for landscape pattern evaluation based on "Source-Sink" ecological processes. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(11): 2406-2413.
- [32] Fu B J, Zhao W W, Chen L D, Lü Y H, Wang D. A multiscale soil loss evaluation index. *Chinese Science Bulletin*, 2006, 51(4): 448-456.
- [33] Li X Z, Xiao D N, Hu Y M, Wang X L. Effect of wetland landscape pattern on nutrient reduction in the Liaohe delta. *Acta Geographica Sinica*, 2001, 56(1): 32-43.
- [34] Liu H Y, Li Z F, Li X M. Effects of wetland landscape fragmentation on habitats of oriental white storks — A case study on northeastern Sanjiang plain, China. *Journal of Natural Resources*, 2007, 22(5): 817-823.

参考文献:

- [3] 邬建国. 景观生态学中的十大研究论题. *生态学报*, 2002, 24(9): 2074-2076.
- [5] 徐丽, 卞晓庆, 秦小林, 张庆国, 刘琳. 空间粒度变化对合肥市景观格局指数的影响. *应用生态学报*, 2010, 21(5): 1167-1173.
- [6] 朱战强, 刘黎明, 张军连. 退耕还林对宁南黄土丘陵区景观格局的影响——以中庄村典型小流域为例. *生态学报*, 2010, 30(1): 146-154.
- [7] 张志明, 罗亲普, 王文礼, 尹梅, 孙振华, 欧晓昆, 柳小康. 2D 与 3D 景观指数测定山区植被景观格局变化对比分析. *生态学报*, 2010, 30(21): 5886-5893.
- [8] 曹银贵, 周伟, 王静, 袁春. 三峡库区 30a 间土地利用景观特征的粒度效应. *农业工程学报*, 2010, 26(6): 315-321.
- [11] 庄长伟, 欧阳志云, 徐卫华, 白杨. 近 33 年白洋淀景观动态变化. *生态学报*, 2011, 31(3): 839-848.
- [12] 周兴东, 于胜文, 赵长胜, 曹后龙. 空间粒度变化对景观格局指数的影响——以徐州地区为例. *测绘科学*, 2009, 34(1): 201-202, 173-173.
- [13] 郭冠华, 陈颖彪, 魏建兵, 吴志峰, 荣晓臻. 粒度变化对城市热岛空间格局分析的影响. *生态学报*, 2012, 32(12): 3764-3772.
- [14] 龚建周, 夏北成, 李楠, 郭沛. 快速城市化地区土地覆盖景观特征的粒度效应. *生态学报*, 2006, 26(7): 2198-2206.
- [17] 李双成, 蔡运龙. 地理尺度转换若干问题的初步探讨. *地理研究*, 2005, 24(1): 11-18.
- [18] 陈利顶, 刘洋, 吕一河, 冯晓明, 傅伯杰. 景观生态学中的格局分析、现状、困境与未来. *生态学报*, 2008, 28(11): 5521-5531.
- [21] 朱明, 濮励杰, 李建龙. 遥感影像空间分辨率及粒度变化对城市景观格局分析的影响. *生态学报*, 2008, 28(6): 2753-2763.
- [22] 高艳, 毕如田, 曹毅. 空间粒度变化及土地利用分类对景观指数的影响——以山西省闻喜县为例. *中国生态农业学报*, 2010, 18(5): 1076-1080.
- [23] 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.
- [24] 王新明, 王长耀, 占玉林, 牛铮. 大尺度景观结构指数的因子分析. *地理与地理信息科学*, 2006, 22(1): 17-21.
- [26] 邬建国. 景观生态学: 格局、过程、尺度与等级. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [27] 赵文武, 傅伯杰, 陈利顶. 景观指数的粒度变化效应. *第四纪研究*, 2003, 23(3): 326-333.
- [28] 徐建华, 岳文泽, 谭文琦. 城市景观格局尺度效应的空间统计规律——以上海中心城区为例. *地理学报*, 2004, 59(6): 1058-1067.
- [30] 张娜. 生态学中的尺度问题: 内涵与分析方法. *生态学报*, 2006, 26(7): 2340-2355.
- [31] 陈利顶, 傅伯杰, 徐建英, 巩杰. 基于“源-汇”生态过程的景观格局识别方法——景观空间负荷对比指数. *生态学报*, 2003, 23(1): 2406-2413.
- [32] 傅伯杰, 赵文武, 陈利顶, 吕一河, 王德. 多尺度土壤侵蚀评价指数. *科学通报*, 2006, 51(16): 1936-1943.
- [33] 李秀珍, 肖笃宁, 胡远满, 王宪礼. 辽河三角洲湿地景观格局对养分去除功能影响的模拟. *地理学报*, 2001, 56(1): 32-43.
- [34] 刘红玉, 李兆富, 李晓民. 湿地景观破碎化对东方白鹤栖息地的影响——以三江平原东北部区域为例. *自然资源学报*, 2007, 22(5): 817-823.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33, No.24 Dec., 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- The problems in red soil ecosystem in southern of China and its countermeasures ZHAO Qiguo, HUANG Guoqin, MA Yanqin (7615)
- Fundamentals of Ecology: promoting ecology from tradition to modern: To Commemorate The 100th Anniversary of E. P. Odum's Birthday BAO Qingde, ZHANG Xiufen (7623)
- Food chain length theory: a review ZHANG Huan, HE Liang, ZHANG Peiyu, et al (7630)

Autecology & Fundamentals

- Foraging and bed site selection of Tianshan argali (*Ovis ammon karelini*) in Central Tianshan Mountains in Summer LI Ye, YU Yuqun, SHI Jun, et al (7644)
- Inhibition of pine coneworm, larvae *Dioryctria pryeri*, on herbivore-induced defenses of *Pinus tabulaeformis* ZHANG Xiao, LI Xiuling, LI Xingang, et al (7651)
- Response of periphyton to nutrient level and relationships between periphyton and decay degree of *Potamogeton crispus* WEI Hongnong, PAN Jianlin, ZHAO Kai, et al (7661)
- Correlative study between chemical constituents and ecological factors of *Notopterygii Rhizoma* Et Radix of endangered plateau plant HUANG Linfang, LI Wentao, WANG Zhen, et al (7667)
- Induced changes in soil microbial transformation of nitrogen in maize rhizosphere by 4-year exposure to O₃ WU Fangfang, ZHENG Youfei, WU Rongjun, et al (7679)
- Changes of digestive enzyme activity of *Tegillarca granosa* exposed to cadmium and copper CHEN Xiaoxiao, GAO Yetian, WU Hongxi, et al (7690)

Population, Community and Ecosystem

- Population dynamics and density of *Bactrocera dorsalis* (Hendel) in different habitats ZHENG Sining (7699)
- Litter fall production and nutrient dynamic of *Cinnamomum camphora* and *Pinus massoniana* mixed forests in subtropics China LI Zhongwen, YAN Wende, ZHENG Wei, et al (7707)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Assessing the spatial representativeness of eddy covariance flux observation stations of terrestrial ecosystems in China WANG Shaoqiang, CHEN Diecong, ZHOU Lei, et al (7715)
- The coupling relationship between variations of NDVI and change of aeolian sandy land in the Yarlung Zangbo River Basin of Tibet, China LI Haidong, SHEN Weishou, CAI Bofeng, et al (7729)
- Effects of higher resolution image and spatial grain size on landscape pattern in a small watershed of the farming-pastoral zone ZHANG Qingyin, FAN Jun (7739)
- The changes of soil organic carbon and carbon management index in alpine steppe CAI Xiaobu, YU Baozheng, PENG Yuelin, et al (7748)
- Spatial heterogeneity of soil organic carbon and total nitrogen at small scale in subalpine meadow and *Picea meyeri* forest in Luya Mountain WU Xiaogang, GUO Jinping, TIAN Xuping, et al (7756)
- Active pools of soil organic carbon in subtropical forests at different successional stages in Central Hunan, China SUN Weijun, FANG Xi, XIANG Wenhua, et al (7765)
- The impact of sheet and gully erosion on soil aggregate losses in the black soil region of Northeast China JIANG Yiliang, ZHENG Fenli, WANG Bin, et al (7774)
- Net nitrogen mineralization in soils of Napahai wetland in Northwest Yunnan XIE Chengjie, GUO Xuelian, YU Leichao, et al (7782)

- Variation of soil fertility in *Eucalyptus robusta* plantations after controlled burning in the red soil region and its ecological evaluation YANG Shangdong, WU Jun, TAN Hongwei, et al (7788)
- The spatio-temporal variations of vegetation cover in the Yellow River Basin from 2000 to 2010 YUAN Lihua, JIANG Weiguo, SHEN Wenming, et al (7798)
- Long-term dynamic simulation on forest landscape pattern changes in Mount Lushan LIANG Yanyan, ZHOU Nianxing, XIE Huiwei, et al (7807)
- Species habitat correlation analysis in temperate-subtropical ecological transition zone YUAN Zhiliang, CHEN Yun, WEI Boliang, et al (7819)
- Responses of Qilian junipers radial growth of different ecological environment and detrending method to climate change in Qinghai Province ZHANG Ruibo, YUAN Yujiang, WEI Wenshou, et al (7827)
- Resource and Industrial Ecology**
- The pattern of ecological capital in Daxiaoxinganling, Heilongjiang Province, China MA Lixin, QIN Xuebo, SUN Nan, et al (7838)
- Research and implementation of mobile data collection system for field survey of ecological environment SHEN Wenming, SUN Zhongping, ZHANG Xue, et al (7846)
- Urban, Rural and Social Ecology**
- A remote sensing urban ecological index and its application XU Hanqiu (7853)
- Research Notes**
- Genetic diversity and DNA fingerprint of *Pleioblastus* by ISSR HUANG Shujun, CHEN Liguang, XIAO Yongtai, et al (7863)
- Comprehensive evaluation on photosynthetic and fluorescence characteristics in seedlings of 4 drought resistance species LU Guangchao, XU Jianxin, XUE Li, et al (7872)
- Stock difference of *Coelomactra antiquata* based on nuclear (ITS2) and mitochondrial (16S rRNA) DNA sequence and secondary structure MENG Xueping, SHEN Xin, ZHAO Nana, et al (7882)
- The mechanism of the characters of inorganic carbon acquisition to temperature in two *Ulva* species XU Juntian, WANG Xuwen, ZHONG Zhihai, et al (7892)
- Research on changes of dynamic characteristics of rainfall though *Platycladus Orientalis* plantation canopy in Beijing Mountain Area SHI Yu, YU Xinxiao, ZHANG Jianhui, et al (7898)

《生态学报》2014 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,探索生态学奥秘,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,280 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 丁 平

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 24 期 (2013 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 24 (December, 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