

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

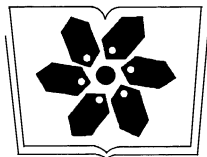
Acta Ecologica Sinica



第34卷 第2期 Vol.34 No.2 **2014**

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 34 卷 第 2 期 2014 年 1 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 连续免耕对不同质地稻田土壤理化性质的影响 龚冬琴, 吕 军 (239)
- 下辽河平原景观格局脆弱性及空间关联格局 孙才志, 闫晓露, 钟敬秋 (247)
- 完全水淹环境中光照和溶氧对喜旱莲子草表型可塑性的影响 许建平, 张小萍, 曾 波, 等 (258)
- 赤潮过程中“藻-菌”关系研究进展 周 进, 陈国福, 朱小山, 等 (269)
- 盐湖微微型浮游植物多样性研究进展 王家利, 王 芳 (282)
- 臭氧胁迫对植物主要生理功能的影响 列淦文, 叶龙华, 薛 立 (294)
- 啮齿动物分子系统地理学研究进展 刘 铸, 徐艳春, 戎 可, 等 (307)
- 生态系统服务制图研究进展 张立伟, 傅伯杰 (316)

个体与基础生态

- NaCl 胁迫下沙枣幼苗生长和阳离子吸收、运输与分配特性 刘正祥, 张华新, 杨秀艳, 等 (326)
- 不同生境吉首蒲儿根叶片形态和叶绿素荧光特征的比较 向 芬, 周 强, 田向荣, 等 (337)
- 小麦 LAI-2000 观测值对辐亮度变化的响应 王 龔, 田庆久, 孙绍杰, 等 (345)
- K^+ 、 Cr^{6+} 对网纹藤壶幼虫发育和存活的影响 胡煜峰, 严 涛, 曹文浩, 等 (353)
- 马铃薯甲虫成虫田间扩散规律 李 超, 彭 赫, 程登发, 等 (359)

种群、群落和生态系统

- 莱州湾及黄河口水域鱼类群落结构的季节变化 孙鹏飞, 单秀娟, 吴 强, 等 (367)
- 黄海中南部不同断面鱼类群落结构及其多样性 单秀娟, 陈云龙, 戴芳群, 等 (377)
- 苏南地区湖泊群的富营养化状态比较及指标阈值判定分析 陈小华, 李小平, 王菲菲, 等 (390)
- 盐城淤泥质潮滩湿地潮沟发育及其对米草扩张的影响 侯明行, 刘红玉, 张华兵 (400)
- 江苏省农作物最大光能利用率时空特征及影响因子 康婷婷, 高 苹, 居为民, 等 (410)
- 1961—2010 年潜在干旱对我国夏玉米产量影响的模拟分析 曹 阳, 杨 婕, 熊 伟, 等 (421)
- 黑龙江省 20 世纪森林变化及对氧气释放量的影响 张丽娟, 姜春艳, 马 骏, 等 (430)
- 松嫩草原不同演替阶段大型土壤动物功能类群特征 李晓强, 殷秀琴, 孙立娜 (442)
- 小兴安岭 6 种森林类型土壤微生物量的季节变化特征 刘 纯, 刘延坤, 金光泽 (451)

景观、区域和全球生态

- 黄淮海地区干旱变化特征及其对气候变化的响应 徐建文, 居 辉, 刘 勤, 等 (460)

我国西南地区风速变化及其影响因素 张志斌,杨 莹,张小平,等 (471)

青海湖流域矮嵩草草甸土壤有机碳密度分布特征 曹生奎,陈克龙,曹广超,等 (482)

基于生命周期评价的上海市水稻生产的碳足迹 曹黎明,李茂柏,王新其,等 (491)

研究简报

荒漠草原区柠条固沙人工林地表草本植被季节变化特征 刘任涛,柴永青,徐 坤,等 (500)

跨地带土壤置换实验研究 靳英华,许嘉巍,秦丽杰 (509)

SWAT 模型对景观格局变化的敏感性分析——以丹江口库区老灌河流域为例
..... 魏 冲,宋 轩,陈 杰 (517)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 288 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 29 * 2014-01



封面图说：高原盐湖——中国是世界上盐湖分布比较稠密的国家,主要分布在高寒的青藏高原以及干旱半干旱地区的新疆、内蒙古一带。尽管盐湖生态环境极端恶劣,但它们依然是陆地特别是高原生态系统中十分重要的组成部分。微微型浮游植物通常是指粒径在 0.2—3 μm 之间的光合自养型浮游生物。微微型浮游植物不仅是海洋生态系统中生物量 and 生产力的最重要贡献者,也是盐湖生态系统最重要的组成部分。研究显示,水体矿化度是影响微微型浮游植物平面分布及群落结构组成的重要因子,光照、营养成分和温度等也会影响盐湖水体中微微型浮游植物平面分布及群落结构组成(详见 P282)。

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

DOI: 10.5846/stxb201303200465

孙才志, 闫晓露, 钟敬秋. 下辽河平原景观格局脆弱性及空间关联格局. 生态学报, 2014, 34(2): 247-257.
Sun C Z, Yan X L, Zhong J Q. Evaluation of the landscape patterns vulnerability and analysis of spatial correlation patterns in the lower reaches of Liaohe River Plain. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(2): 247-257.

下辽河平原景观格局脆弱性及空间关联格局

孙才志^{1,2,*}, 闫晓露¹, 钟敬秋¹

(1. 辽宁师范大学城市与环境学院, 大连 116029; 2. 辽宁省自然地理与空间信息科学重点实验室, 大连 116029)

摘要:以东北三省开发强度最大的辽河中下游地区——下辽河平原为研究对象, 根据景观格局脆弱性的概念及内涵, 通过景观敏感度指数和景观适应度指数构建景观格局脆弱度指数, 并借助地统计学和空间自相关模型分析的理论方法, 对下辽河平原景观格局脆弱度的空间分布特征、变异规律以及空间关联格局进行探讨, 结果表明: ①1989—2010 年下辽河平原景观格局脆弱度总体上呈递减趋势; ②1989—2010 年研究区景观格局脆弱度 Moran's *I* 表现为一定程度的正相关, 且相关程度略微呈下降趋势; ③1989—2010 年研究区景观格局脆弱度局部空间自相关和显著性水平均发生了明显的变化; ④研究区各时期景观格局脆弱度的空间相关性是受结构性因素和非结构性因素共同影响, C_0 所占的比例在 3a 期间有逐步上升趋势, 表明非结构性因素对景观格局脆弱度演变的影响程度不断加深, 但是结构性因素(地形地貌、水文、土壤植被类型等)仍然对本区景观格局脆弱度的空间分布起决定性作用。

关键词: 下辽河平原; 景观格局脆弱性; 地统计学; 空间关联格局

Evaluation of the landscape patterns vulnerability and analysis of spatial correlation patterns in the lower reaches of Liaohe River Plain

SUN Caizhi^{1,2,*}, YAN Xiaolu¹, ZHONG Jingqiu¹

1 College of Urban and Environment, Liaoning Normal University, Dalian 116029, China
2 Liaoning Key Laboratory of Physical Geography and Geomatics, Liaoning Normal University, Dalian 116029, China

Abstract: Landscape patterns embody both landscape heterogeneity and the accumulation of all kinds of ecological process in different scales. Landscape patterns determine the distribution of resources and the environment, which has a profound impact on anti-interference ability, recoverability, system stability and biodiversity. However, since the 21st century, soil desertification, biodiversity decrease and other issues have appeared in many countries and regions in the world, economic losses has been increased gradually.

Located in the middle and lower reaches of Liaohe River Basin—the lower reaches of Liaohe River Plain, it is one of the strongest areas of human development in northeastern part of China. It has an enormous population and a long history of land development, and the region is one of the important commodity grain bases in Liaoning province and northeast. In recent years, with the rapid development of regional social economy, the landscape patterns have been dramatically changed in the lower reaches of Liaohe River Plain, even the unreasonable development has led to accelerate soil erosion. Therefore, for reasonable development and landscape patterns optimization management, the research of landscape patterns vulnerability becomes important and urgent in the lower reaches of Liaohe River Plain.

In this study, on the basis of understanding the concept and connotation of landscape patterns vulnerability, our study

基金项目: 高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20122136110003); 国家自然科学基金资助项目(40501013)

收稿日期: 2013-03-20; **修订日期:** 2013-08-02

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: suncaizhi@sohu.com

first attempts to construct landscape vulnerability index through landscape sensitivity index and landscape adaptability index. And at last our study explores the influential factors of the variation of the landscape vulnerability by using geo-statistical method combined with Moran's *I* index. The results of our study show that: (1) The landscape vulnerability degree gradually declined in the study time, the area ratio and space structure in the classification areas changed significantly. (2) Moran's *I* shows positive spatial autocorrelation, and the correlation drops slightly. (3) The spatial autocorrelation analysis we have done reveals that the landscape vulnerability has a high degree spatial correlation, and both the local spatial autocorrelation and significance level obviously changed during the period of 3 years. (4) Through the analysis of theoretical model, the percentage of nugget gradually increased in 1989, 2001 and 2010, and then it indicates that the non-structural factors deeply impact on the evolution of the vulnerability, however, structural factors (the landform, hydrology, soil, vegetation type, etc.) in this area still play a decisive role. Range indicates that landscape vulnerability of the study area has a high degree spatial correlation in 2.5 km sampling spacing.

Key Words: lower Liaohe River Plain; landscape patterns vulnerability; geo-statistics; spatial correlation patterns

景观格局是指由自然或人为形成的,一系列大小、形状各异,排列不同的景观镶嵌体在景观空间的排列,它既是景观异质性的具体表现,同时又是包括干扰在内的各种生态过程在不同尺度上作用的结果^[1]。景观格局决定着资源和环境的分布形式^[2],与景观中的各种生态过程密切相关,对于抗干扰能力、恢复能力、系统稳定性和生物多样性有着深刻的影响^[3]。然而进入 21 世纪以来,社会经济的迅速发展加剧了景观格局属性的变化,土壤沙化、生物多样性减少等生态问题相继出现在世界上各个地区,造成的经济损失也日益加大。这些对景观格局的可持续发展提出了挑战,在这种背景下开展景观格局脆弱性的研究就显得尤为重要。

当前,国内外关于景观格局的研究大多集中在景观格局变化^[4-6]、景观生态安全^[7-8]、景观生态风险^[9-10]等领域,并形成了比较完善的评价方法,然而对于景观格局脆弱性的研究尚不多见。在国外,研究较多是生态环境脆弱性、景观敏感性等,例如 Thomas^[11]从时间和空间的角度探讨景观的敏感性,他表明不稳定的景观有时会表现出一定的自我组织性,然而稳定的景观受到扰动的程度超过其承受的阈值范围,也会变得不稳定。在我国,关于景观格局的研究主要集中于生态安全、生态风险,但研究角度多侧重于基于景观格局的角度评价生态问题。高宾等^[12]构建景观生态风险指数,利用 GIS 和地统计学对研究区的生态风险空间分异规律进行探究,为该区域的生态环境管理及保护、经济建设提供理论依据。但是在整个研究过程中,没有考虑区域的自然

和社会经济等因素,未能建立起景观格局与相应生态问题之间的直接关系,在一定程度上影响了评价的可靠性和说服力;高杨等^[13]利用投影寻踪模型对所选取的景观格局指数计算得出最优解,并将其作为景观生态安全指数,对研究区 15a 的景观生态安全状况进行综合评价。投影寻踪方法与景观生态安全的首次结合是该研究的特色之一,但是仅根据最优化解并不能说明景观生态安全在空间上的变异规律。景观格局是随着时间和空间的变化而变化的,具有高度的空间变异性和空间关联性。对景观格局的空间变异性和关联性进行研究,不仅可以揭示其内在的变化规律及驱动机制,而且对景观格局的内部资源整合、调整空间结构等具有重要的意义和作用。鉴于此,本文以下辽河平原景观格局本身为评价对象,综合考虑景观格局指数的生态学意义,构建较为合理的综合指数,利用地统计学和空间自相关模型的分析方法,对下辽河平原景观格局脆弱性的空间分异规律及关联格局进行分析。研究成果对于丰富景观格局的评价具有一定的理论意义。

下辽河平原地处东北地区南部的老工业基地,近年来,随着区域社会经济的高速发展,本区的景观格局也发生了剧烈变化,为更合理的开发和优化管理景观格局,下辽河平原景观格局脆弱性的研究变得尤为重要。本文通过对下辽河平原 1989 年、2001 年和 2010 年 Landsat TM 影像的遥感解译,在科学界定景观格局脆弱性的概念及内涵基础上,首次通过景观敏感度和景观适应度构建景观格局脆弱度指数,利用 GS⁺、ArcGIS、Geoda095i 软件对研究区景

观格局脆弱度进行了空间变异及关联性的时空演变分析,研究成果对景观格局的合理开发利用具有一定的应用价值。

1 景观格局脆弱性的概念及内涵

景观格局的脆弱性取决于人类活动对景观系统的外在影响和系统本身的应对能力,目前对景观格局脆弱性尚无准确定义,笔者在查阅大量资料^[14-20]基础上,给予景观格局脆弱性如下定义:景观格局脆弱性是指由于景观格局在受到外界扰动(自然条件的变化和人类活动的影响)时所表现出来的敏感性以及缺乏适应能力从而使景观系统的结构、功能和特性容易发生改变的一种属性。这种属性是与生俱来的,只有当系统受到外界扰动时才表现出来。

景观作为一个复杂的系统,一般具有潜在的脆弱性和自我恢复力的双重功能,景观格局脆弱性内涵主要包含以下两方面的属性:敏感性,即在不同时间和空间尺度上系统对于干扰的反应^[21];适应性,即景观系统对外界的干扰产生敏感性响应之后,其最终受到干扰后的适应性调整能力。景观格局的敏感性响应越大,并且对于敏感性响应的适应调整能力越小,那么景观格局的脆弱性就越大,反之,越小。

2 研究方法

2.1 数据来源及处理方法

本研究选取季相较为一致,质量较好,轨道号为119/31、119/32、120/31、120/32的3期Landsat TM(1989-07-20、2001-08-25、2010-09-25)影像为基础数据,以2000年辽宁省的行政区划图(1:50万)、2010年土地利用现状图(1:10万)、地形图(1:5万)等为辅助数据。景观类型的划分以国家级土地利用一级分类标准为基础,将研究区的景观划分为耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用地6种景观类型。以ENVI 4.7软件为平台,选择TM 4,3,2波段进行假彩色合成,对研究区各期的遥感影像进行几何纠正,图像增强等处理,根据野外考察及相关资料,利用最大似然法进行监督分类,最后根据研究区的土地利用现状图对分类后影像进行修正,得到3期下辽河平原的景观类型分布图。

2.2 景观综合指数的构建

本文根据景观脆弱性的概念及内涵,在对多项

指标基本判别的基础上,利用目前国际上流行的FRAGSTATS软件计算各景观指数,通过景观敏感度指数、景观适应度指数构建景观脆弱度指数。

2.2.1 景观敏感度指数

不同的景观类型在维护生物多样性、保护物种、完善整体结构和功能、促进景观结构自然演替等方面的作用是有差别的;同时,不同景观类型对外界干扰的抵抗能力也是不同的^[22-23],本文选取相应指数构建景观干扰度指数并结合景观类型易损度,通过两个指数的叠加来反映景观格局受外界干扰后的敏感响应程度。景观敏感度指数LSI表达式为:

$$LSI = \sum_{i=1}^n U_i \times V_i \tag{1}$$

式中, n 为景观类型数目, i 为景观类型。

(1)景观干扰度指数(U_i) 本文采用具有代表性并且与干扰密切相关的景观类型破碎度、分维数倒数和优势度3种指数为基础指标构建景观类型干扰度指数:

$$U_i = aFN_i + bFD_i + cDO_i \tag{2}$$

式中, FN_i 为破碎度指数, $FN_i \in [0, 1]$,其数值越小,破碎度越小。 FD_i 为分维数倒数,分维数一般处于1—2之间,其值愈趋近于1,则斑块的几何形状愈趋于简单,表明受干扰的程度愈大;反之,愈趋近于2,斑块的几何形状愈复杂,自然度越强。 DO_i 为优势度指数,表明景观受一种或少数几种景观类型控制的程度。

权重反应了各指数对景观敏感度贡献的大小,借鉴前人相关的研究成果并结合研究区的实际情况,将破碎度、分维数倒数和优势度的权重分别设定为0.5、0.3和0.2;但对于未利用地来说(本区主要为盐碱地和沙地),破碎度和分维数倒数相对贡献较小,而优势度较大,所以对3个指数权重的赋值分别为0.3、0.2和0.5^[24]。

(2)景观类型易损度(V_i) 研究中把景观类型与土地利用易损度联系起来,借鉴他人研究成果^[25],将景观类型赋以权重,反应各景观类型的易损程度;未利用地-7、林地、草地-5、耕地-3、建设用地、水域-1,未利用地最为敏感,建设用地和水域最为稳定。

2.2.2 景观适应度指数

脆弱性不仅与敏感性有关,而且与系统的适应

性有密切关系^[26]。适应能力首先与系统的结构和功能有关,一般景观系统的多样性越多,结构越复杂且分布越均匀,系统越稳定,抗干扰的适应恢复能力越强,反之亦然。因此,本文选取斑块丰度密度指数 PRD、香农多样性指数 SHDI 和香农均匀性指数 SHEI 构建景观适应度指数 LAI:

$$LAI=PRD\times SHDI\times SHEI \tag{3}$$

研究发现斑块丰度密度与物种丰度之间存在很好的正相关;SHDI 在生态学中应用很广泛,景观生态学中的多样性与生态学中的物种多样性有紧密的联系,但并不是简单的正比关系,研究发现在某一景观中二者的关系一般呈正态分布。SHEI 表示景观中不同生态系统的分配均匀程度,其值越高,表明景观格局越均匀,系统越稳定。

2.2.3 景观脆弱度指数

根据所建立的景观敏感度指数和景观适应度指数,引入景观脆弱度指数 LVI,其值的大小是研究区景观格局脆弱状况的定量化表达:

$$LVI=LSI\times(1-LAI) \tag{4}$$

2.3 空间统计学方法

2.3.1 地统计学分析方法

地统计学是一系列监测、模拟和估计变量在空间上的相关关系和格局的统计方法,是空间统计学的一部分^[1,27-29]。半方差分析是地统计学中的一个重要组成部分,它具有 3 个重要参数:块金值、基台值、变程,其函数公式及参数意义详见相关文献^[30]。半方差函数是地统计学解释景观特性空间变异结构的基础,通常可以被某些曲线方程所拟合,这些曲线方程称为半方差函数的理论模型。变异函数理论模型的最优选择用决定系数 R^2 来决定,并综合考虑 RSS、块金值和有效距离^[31]。

2.3.2 空间自相关分析方法

空间自相关分析是一系列空间数据分析方法和技术的集合^[32],应用到景观格局脆弱性评价中,可以发现脆弱性的空间集聚特征,揭示其内在变化的驱动机制。空间自相关性的指标可分为全局指标和局部指标两种:全局 Moran's I 指数用于验证整个研究区域某一要素的空间相关关系,而局部 Moran's I 指数则用于大区域中的一个局部小区域上的某一属

性与相邻小区域同一属性的相关程度^[33]。全局空间自相关指数的计算公式如下:

$$Global Moran's I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m W_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m W_{ij}} \tag{5}$$

式中, $S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$, $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$, x_i 表示第 i 地区的观测值, n 为栅格数, W_{ij} 为二进制的邻接空间权重矩阵,表示空间对象的邻接关系。 $i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$; 当区域 i 和区域 j 相邻时, $W_{ij} = 1$; 当区域 i 和区域 j 不相邻时, $W_{ij} = 0$ 。Moran's I 一般在 -1 — 1 之间,小于 0 为负相关,等于 0 为不相关,大于 0 为正相关。

局部空间自相关是将 Moran's I 分解到各个空间单元,其公式为:

$$Local Moran's I_i = \left(\frac{x_i - \bar{x}}{m} \right) \sum_{j=1}^n W_{ij} (x_j - \bar{x}) \tag{6}$$

式中, $m = (\sum_{j=1, j \neq i}^n x_j^2) / (n - 1) - \bar{x}^2$, 正的 I_i 值表示该空间单元周围相似值(高值或低值)的空间集聚,负的 I_i 值表示非相似值之间的空间集聚。

3 实证研究

3.1 研究区概况

下辽河平原是辽宁省最大的平原,位于辽东丘陵与辽西丘陵之间,铁岭—彰武之南,直至辽东湾,呈东北—西南方向宽带状斜卧在辽宁省的中部。地理坐标为东经 $120^{\circ}42'$ 至 $124^{\circ}45'$, 北纬 $40^{\circ}43'$ 至 $43^{\circ}27'$ 之间,东西宽 120—140km, 南北长 240km。本区属于温带半湿润季风气候,多年平均气温 7.1 — $8.9^{\circ}C$, 多年平均降水量自东南向西北递减,由 700—750 mm 降至 550 mm,蒸发量为 700—1200mm,并由东南向西北增加。该区有两大独立水系,即辽河—双台子河水系、浑河—太子河水系。本区土地总面积约 2.65 万 km^2 ,行政区划隶属于辽宁省铁岭市、沈阳市、抚顺市、辽阳市、鞍山市、营口市、盘锦市、锦州市和阜新市,总跨 9 市 22 县(图 1)。

3.2 单元网格的划分

尺度划分问题是本研究非常重要的一部分,为

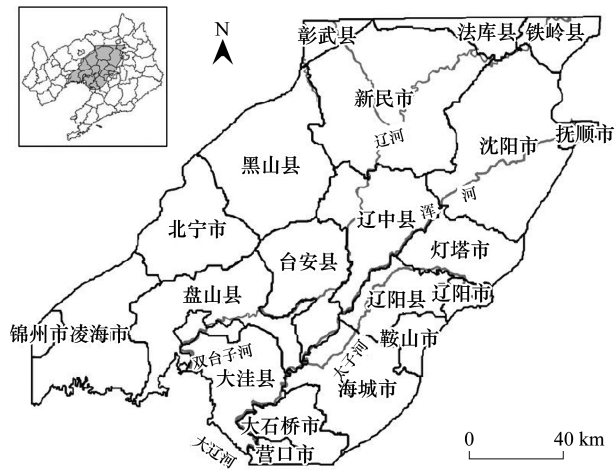


图 1 下辽河平原地理位置图

Fig.1 The geographic location map of the lower reaches of Liaohe River Plain

了保证每个尺度内信息的完整性及定量评价的准确性,在参考文献^[12,23]基础上,综合考虑研究区景观面积的大小和采样区的工作量,将研究区划分为 2.5 km×2.5 km 的正方形单元网格,即景观脆弱度小区,采样方式为等间距,共有样区 4081 个,计算每一个采样区的景观脆弱度大小,并把这个值作为采样区中心点的属性值。

3.3 基于地统计学的理论模型拟合分析

根据公式(4),计算采样区的景观格局脆弱度值,采用地统计学软件 GS+ 完成样本变异函数理论模型的拟合,结果见表 1。1989 年景观格局脆弱度线性模型拟合效果最好,而 2001 年和 2010 年均为指数模型拟合效果最佳。

表 1 下辽河平原景观格局脆弱度理论变异函数

Table 1 The variogram of landscape patterns vulnerability degree in the lower reaches of Liaohe River Plain

时期 Period	模型 Model	C_0	C_0+C	A_0	$C_0/(C_0+C)$	R^2	RSS
1989	球形 Sphere	0.003439	0.015420	4.77	0.223	0.951	3.998×10^{-6}
	指数 Exponent	0.004018	0.018100	9.18	0.222	0.949	4.144×10^{-6}
	线性 Linear	0.003082	0.015334	3.62	0.201	0.954	3.697×10^{-6}
	高斯 Gauss	0.003479	0.017140	5.02	0.203	0.925	6.067×10^{-6}
2001	球形 Sphere	0.005276	0.013060	1.52	0.404	0.654	1.769×10^{-5}
	指数 Exponent	0.004394	0.014500	4.25	0.303	0.733	1.375×10^{-5}
	线性 Linear	0.005088	0.014455	3.62	0.352	0.706	1.404×10^{-5}
	高斯 Gauss	0.010805	0.012320	0.38	0.877	0.182	4.017×10^{-5}
2010	球形 Sphere	0.003490	0.011480	1.93	0.304	0.898	4.211×10^{-6}
	指数 Exponent	0.003920	0.012100	3.32	0.324	0.935	2.210×10^{-6}
	线性 Linear	0.004241	0.012437	3.62	0.341	0.836	4.591×10^{-6}
	高斯 Gauss	0.009262	0.010720	0.41	0.864	0.337	1.932×10^{-5}

C_0 :块金值(Nugget); C :偏基台值; C_0+C 为基台值(Sill); A_0 为变程(Range); R^2 为复相关系数; RSS 为残差

空间异质性主要受结构性因素与非结构性因素影响,结构性因素主要包括气温、降水、地形地貌、土壤类型等;而非结构性因素主要包括各种自然灾害以及人类活动。如表 1 所示,块金值 C_0 的大小表明景观格局变化受非结构性因素影响的程度。本研究中, $C_0/(C_0+C)$ 在 1989 年、2001 年和 2010 年分别为 20.1%、30.3% 和 32.4%,呈不断上升趋势,说明在 2.5km 的采样间距内,人类活动对景观格局的影响程度在不断加深。从表 1 中可以看出,1989 年、2001 年和 2010 年研究区景观格局脆弱度空间分异的变程分别为 3.62、4.25km 和 3.32km,表明 2.5km 采样间距内研究区景观格局脆弱度具有高度的空间相关性。

3.4 区域景观格局变化及脆弱度的时空演变分析

3.4.1 景观类型变化特征分析

本文利用 RS 和 GIS 技术得到下辽河平原 1989 年、2001 年和 2010 年的景观类型图(图 2),并对研究区面积进行统计与分析(表 2)。

从图 2 及表 2 可知,耕地、建设用地是下辽河平原的主要两种景观类型,分布在研究区的大部分地区,且耕地在各年的面积比例分别为 50.91%、53.36%和 45.99%,先增加后减少,而建设用地在各年的面积呈不断增长的趋势。林地、草地均减少,其中从图 2 中较为明显的可以看出,林地主要分布于辽西、辽东山地丘陵地区,而草地分布则较为分散,破碎度较大。

表 2 景观类型各年面积比例

Table 2 The area percentage of the landscape type in different years

时期 Period	耕地/% Plough	林地/% Woodland	草地/% Grassland	水域/% Water area	建设用地/% Construction	未利用地/% Unused land
1989	50.91	9.88	6.71	3.48	23.77	5.25
2001	53.36	7.53	4.61	2.41	26.78	5.31
2010	45.99	8.87	2.96	2.78	33.06	6.34

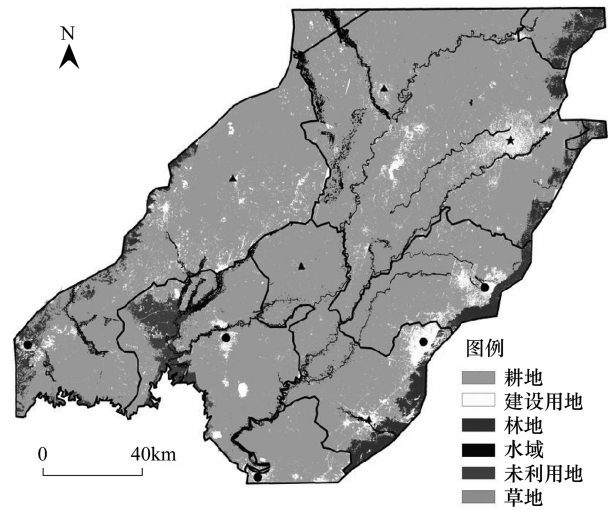


图 2 下辽河平原 2010 年景观类型图

Fig.2 The landscape type map of the lower reaches of Liaohe River Plain in 2010

3.4.2 脆弱度的时空演变及驱动因素分析

基于地统计学半方差函数的理论模型拟合分析,运用 ArcGIS 地统计模块中的普通克里格法 (Ordinary Kriging) 进行插值生成 1989 年、2001 年和 2010 年的连续空间分布图(图 3)。

由于景观格局受自然与人文因素的影响存在不同差异,因此,为了能更好地表现研究区景观格局脆弱度的时空变化特征,采用 ArcGIS 的等距重分类方法,将研究区划分为 5 个等级分区,即 I 级低脆弱区、II 级较低脆弱区、III 级中等脆弱区、IV 级较高脆弱区和 V 级高脆弱区,并最终对 5 个分区进行分级统计(表 3)。

如表 3 和图 3 所示,从整体水平上看,研究区景观格局脆弱度整体呈下降趋势,其中低脆弱区和较低脆弱区的面积变大,并且空间格局变化较为显著,

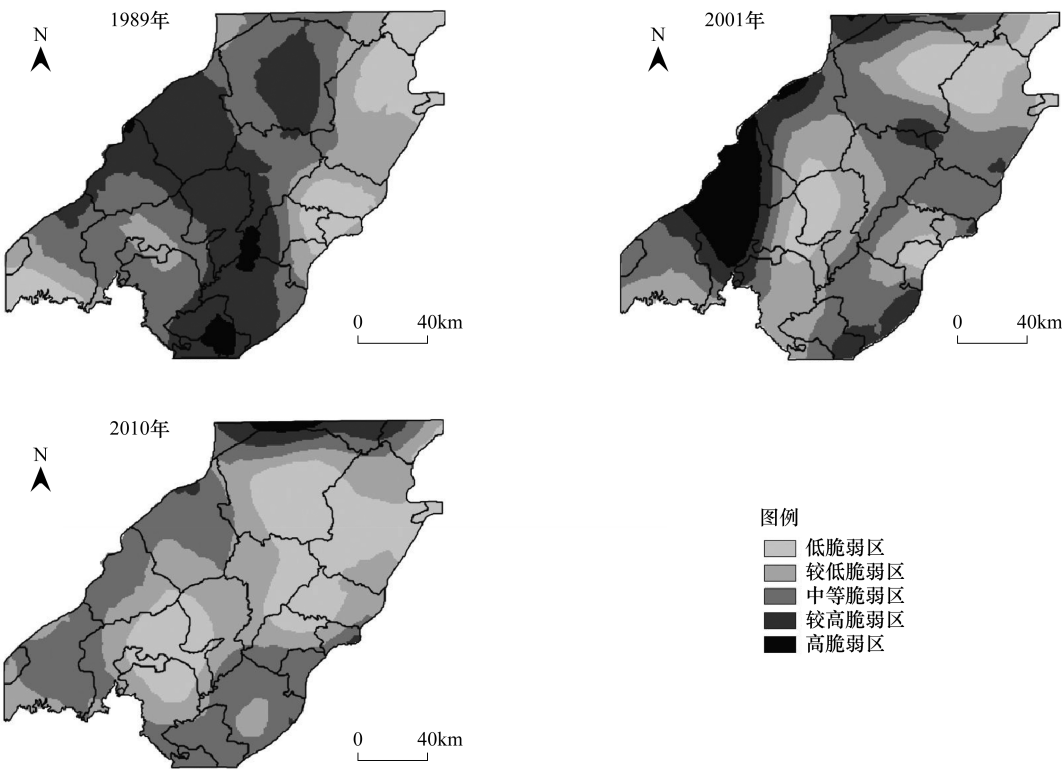


图 3 景观格局脆弱度的克里格插值

Fig.3 Kriging interpolation of the landscape patterns vulnerability degree

表 3 景观脆弱分区各年比例及其变化

Table 3 The percentage and variation of the landscape patterns vulnerability area in different years

时期 Period	I 级区/% I level area	II 级区/% II level area	III 级区/% III level area	IV 级区/% IV level area	V 级区/% V level area
1989	13.21	17.79	31.79	35.09	2.12
2001	13.81	29.47	36.32	12.42	7.98
2010	22.99	29.01	34.73	8.59	4.68

由内陆逐渐向沿海地区扩散。而较高脆弱区面积的比例从 1989 年的 35.09%减小到 2010 年的 8.59%，分布范围由研究区的中—东南部逐渐缩小到北部地区。中等脆弱区和高脆弱区的面积大小基本未变，但空间格局却有显著变化。

从各分级区的变化来看,表 3 中 1989 年研究区内处于低脆弱区和较低脆弱区的面积比例分别为 13.21%、17.79%,主要分布于辽宁省的大中型城市,这些区域社会经济较发达,人均 GDP 较高,基质景观类型主要以耕地和建设用地为主,其从较无序状态到较有序方向演变,系统的自稳定性逐步提高,形成了以沈阳市为中心,向南北扩散的低脆弱区域。凌海市的南部地区流经大凌河,大面积的未利用滩涂地被开发为盐田、虾蟹养殖场等,景观适宜度提高,敏感性降低。处于中等脆弱区的面积比例为 31.79%,主要分布于生活方式以农耕为主的地区,斑块较为破碎,人类干扰程度较大。处于较高脆弱和高脆弱的地区占全区的面积比例分别为 35.09%、2.12%,主要分布于新民市中部和研究区的东南地区。新民市为辽河冲积平原,未利用地面积较大,土地后备资源充足,然而由于近几十年来的土地利用结构不尽合理,沙化问题较为严重。

与 1989 年相比,2001 年研究区内处于低脆弱区和较低脆弱区的面积有所增加,图 3 所示其空间位置变动由盘锦市向内陆地区延伸扩展,占据部分原来的中等脆弱区域。人们对土地资源的有效整理,合理布置田间道路,建立配套的水利设施,是其变化的主要原因。处于较高脆弱区和高脆弱区的面积大幅减少,空间结构变化较为明显的是新民市,近些年来沙化土地整理项目的大力推进,有效地调整过去土地的不合理利用,提高了本区的景观适宜性。但是恰恰相反的是高脆弱区面积比例较 1989 年增加了 5.86%,以北宁市、盘山县西部沿海地区表现最为突出。盘山县的双台子河入海口地区生长着被誉为“红海滩”的赤碱蓬植物,是丹顶鹤、黑嘴鸥等国家重

点保护或濒危鸟类的主要生境,然而由于近些年来,旅游开发的强度不断扩大,各种旅游设施(停车场、商业网点、“水上乐园”等项目)占用了大量的芦苇湿地,生物多样性逐年降低,破坏其自然的景观格局。

2010 年,研究区内处于低脆弱区和较低脆弱区的面积比例增加较为显著,形成以沈阳—盘锦两市为核心,向四周辐射的呈不规则形状的“两心两带”特征区域。下辽河平原主要有两大水系(图 1),流经城市构成分别为:盘锦(双台子河)—台安县—辽中县(辽河)—新民市(柳河);营口(大辽河)—辽阳市(太子河)—沈阳市(浑河)。对比分析后表明低脆弱区和较低脆弱区的空间分布格局与水系分布格局的客观实际相吻合,这也表明稳定性较强的水域景观对整个地区景观格局的构成具有重要影响。另外变化较为明显的是原本 2001 年的高脆弱区在 2010 年几乎消失,这些地区主要包括盘山县和北宁市部分地区。盘山县因其拥有得天独厚的“红海滩”资源,旅游开发、房地产建设规模的扩张,势必会引起生物多样性的降低,因此生态旅游在近十年的时间里大力发展,生态适宜性逐步提高,但是人类干扰后所造成的生态失衡问题依然比较突出。北宁市在政策的支持下,以 102 国道沿线为杠杆的哑铃型带状城市已初具规模,连通性逐步提高,区域景观格局的稳定性也逐渐增强。

3.5 区域景观格局脆弱度的空间关联格局分析

3.5.1 全局自相关分析

本文利用 Geoda095i 软件,根据 1989 年、2001 年和 2010 年景观格局脆弱度的空间分布数据得出 Moran's I 散点图(图 4)。全局 Moran's I 值在各时期分别为 0.8859、0.8871 和 0.8699,整体呈略微下降趋势,表明研究区景观格局脆弱度存在较强的正的相关现象,其空间分布并不是随机的,存在一定内在联系,即脆弱度在空间上存在趋于集群的现象(图 4)。

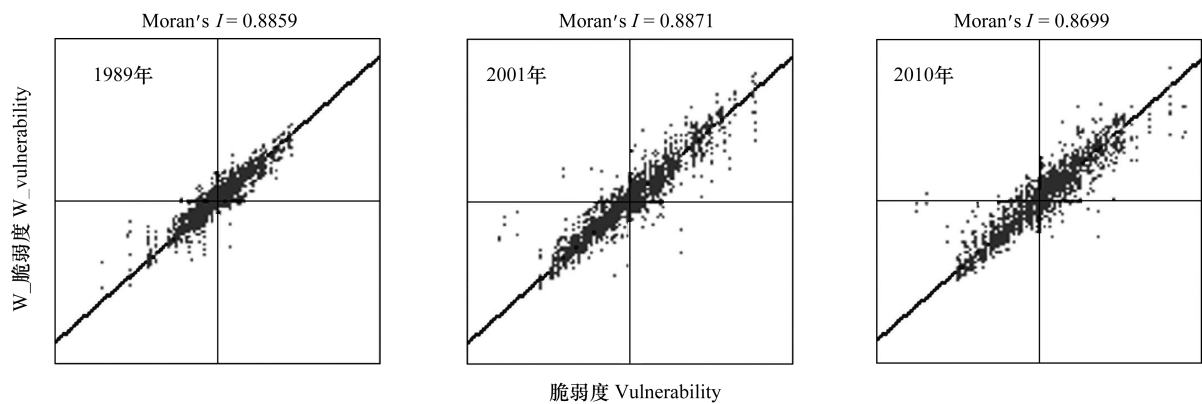


图 4 景观格局脆弱度 Moran 散点图
Fig.4 The Moran scatter of the landscape patterns vulnerability degree

3.5.2 局部自相关分析

全域空间自相关指标可以检验整个区域某一要素的空间分布模式,但全局 Moran's *I* 不能用来测度相邻区域之间要素或属性的空间关联模式,也没有反映出景观格局脆弱度的局域显著性水平的具体数

值^[33],因此需要讨论局部小区的某一地理要素或属性与相邻局部小区上的同一要素或属性的相关程度。为此,本文进一步对研究单元的景观格局脆弱度进行局域空间关联格局分析,得出 LISA 集聚图(图 5)及 LISA 显著性检验图(图 6)。

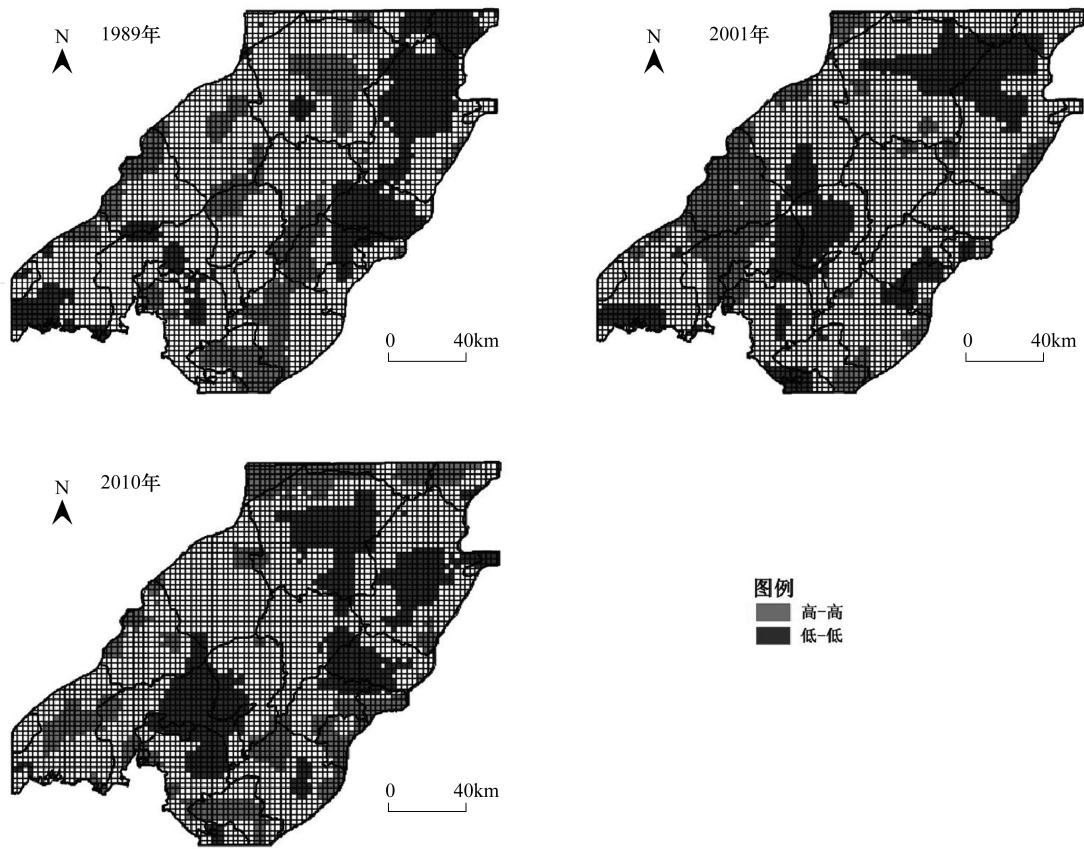


图 5 下辽河平原 3 个时期景观格局脆弱度局部空间自相关 LISA 集群图
Fig.5 The LISA cluster graph of local spatial autocorrelation in the lower reaches of Liaohe River Plain in 1989,2001 and 2010

从图 5 中可以看出,1989 年“高一高”值区分布较为分散,其中分布范围较大的新民中部,受人们长期形成的“开垦—弃耕—荒芜—再开垦”的土地利用方式的影响,使得大部分土地利用变化较为频繁,特别是林草地与耕地、耕地与建设用地之间的频繁转换,导致这一区域景观破碎度加大,景观格局脆弱度

呈不断增强的趋势。另外分布范围较大的大石桥市因其拥有着得天独厚的矿产资源,长期人类的开山凿矿,破坏了本身稳定的山地景观,其景观格局的脆弱度逐渐增大。“低—低”值区则位于研究区的东部及西南角地区,这与同期的克里格插值分布格局较为一致。

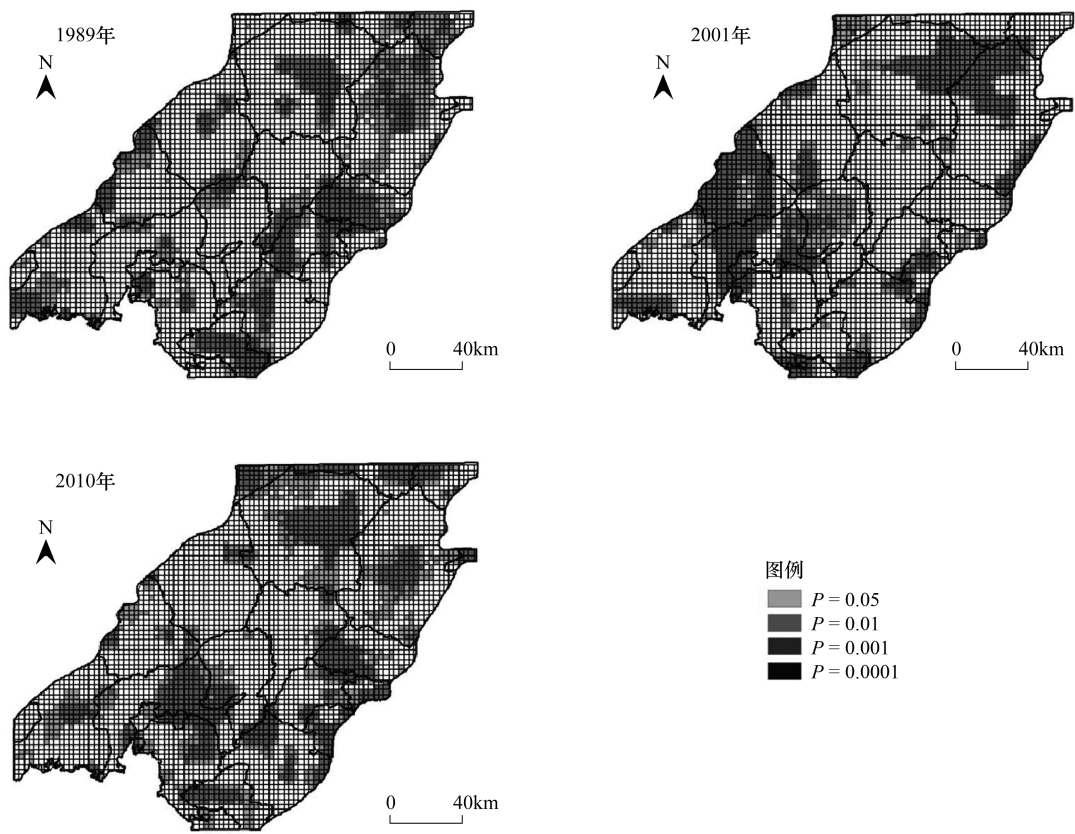


图 6 下辽河平原 3 个时期景观格局脆弱度局部空间自相关 LISA 显著性水平

Fig.6 The LISA significance level graph of local spatial autocorrelation in the lower reaches of Liaohe River Plain in 1989,2001 and 2010

1989—2001 年研究区景观格局脆弱度集群结构发生了明显变化,“高一高”值区向研究区的西部及西南部地区转移,而“低—低”值区分别向研究区的北部及西南部分散。位于“高一高”值区内的北宁市地处低山丘陵一带,作为基质景观的林地,受到人们长期的开荒毁林,并且受到地形的影响,农村居民点的规模一般呈较小且分散的集聚形式,景观的连通度低,系统的自稳定性下降。在“低—低”值区内的新民市、台安县两地区,受国家退耕还林、“三北防护林”和薪炭林工程的优惠政策之势,各县营林方式多样化,营林面积不断扩大,景观格局的多样性逐步提高,系统内部的稳定性逐渐增强。

2010 年,位于研究区西部及西南部的“高一高”

值区基本消失,而在其北部地区出现“高一高”值的集聚现象,高值区内的法库县位于辽宁省北部,科尔沁沙地南缘,是辽宁省沙化县之一,地势北高南低,丘陵平原起伏交错,构成了“三山一水六分田”的自然格局,虽然地表径流较为丰富,但是由于其地势低洼,耕地内涝灾害频繁发生,沙化和内涝问题已经让本身地形复杂的法库县变得更为脆弱。研究区的“低—低”值的大部分面积从随机分布格局转变为集群的分布格局。

从图 6 中可以看出,1989 年景观格局脆弱度“高一高”值区域绝大部分达到了 0.05 显著水平,部分区域甚至达到了 0.01 显著水平,而“低—低”值区分布区域一般达到了 0.01 显著水平。2001 年景观

格局脆弱度“高一高”值区和“低—低”值区发生了明显的变化,显著性水平明显增强,一般达到 0.01 显著水平。到了 2010 年,景观格局脆弱度的显著性水平有下降趋势,位于研究区北部的“高一高”值区只有部分区域达到了 0.01 显著水平,而“低—低”值区显著性水平相对较强,一般达到 0.01 显著水平。

4 结论

本研究以下辽河平原为研究对象,在充分理解景观格局脆弱性的概念及内涵基础上,首次从景观敏感性和景观适应性两个维度构建景观脆弱性指数,利用 GS⁺软件和 ArcGIS 的地统计模块,对研究区景观格局脆弱度指数变异函数的理论模型进行了最优拟合并对其进行空间插值,最后在此基础上利用 Geoda095i 软件进行景观格局脆弱度的空间关联格局分析,研究结果表明:

(1)利用 GS⁺软件对采样区进行模型拟合分析,结果表明 1989 年线形模型拟合效果最好,而 2001 年和 2010 年均指数模型拟合效果最佳。 C_0 在 3a 期间的比例虽然有不断上升的趋势,但是结构性因素仍对景观格局脆弱度的空间分布起着决定性作用。变程的趋势变化表明,本文选取的 2.5km 采样间距恰好能说明空间自相关的尺度,具有较强的说明性。

(2)利用 ArcGIS 的地统计模块,对研究区景观格局脆弱度进行了空间插值,结果表明 1989—2010 年间研究区景观格局脆弱度整体呈下降的趋势,低脆弱区和较低脆弱区的分布范围逐渐扩大,形成了以沈阳—盘锦两市为核心,向四周辐射的呈不规则形状的“两心两带”特征区域,水域景观对整个地区景观格局的构成具有重要影响。而较高脆弱区和高脆弱区的分布范围由研究区的中—东南部地区逐渐缩小到北部的彰武县、法库县和铁岭县部分地区。

(3)全局 Moran's I 值在 1989 年、2001 年和 2010 年分别为 0.8859、0.8871 和 0.8699,表明研究区景观格局脆弱度存在较强的正的相关现象,其空间分布并不是随机的,存在一定内在联系,即脆弱度在空间上存在趋于集群的现象。

(4)研究区局部空间自相关表明,景观格局脆弱度的集群结构在 1989—2010 年间发生了明显变化,“高一高”值区由中—东南部逐渐向北部地区集聚,

而“低—低”值区由研究区的东北—西南部逐渐向中部地区集聚。景观格局脆弱度集群分布的显著性水平均发生了明显改变。

受研究者经验和知识水平等主观因素的限制,本文首次通过优势度、干扰度、敏感度、适应度等指数构建景观格局脆弱度,对于其脆弱性的解释能力以及权重的赋值还有待于提高。景观格局敏感度中易损度的赋值更多是反映研究区内景观类型间的相对易损程度,因此,如何采用更加科学的方法研究景观格局易损度等有待进一步完善。景观格局指数是反映景观结构及组织的特征指标,目前对于景观格局指数的生态学意义的解释还不够完善,建立基于生态过程机理表达的景观格局指数是本研究今后努力的主要方向。

References:

[1] Wu J G. Landscape Ecology-Pattern, Process, Scale and Hierarchy. Beijing: High Education Press, 2000.

[2] O' Neill R V, Krummel J R, Gardner R H, Sugihara G, Jackson B, DeAngelis D L, Milne B T, Turner M G, Zygmunt B, Christensen S W, Dale V H, Graham R L. Indices of landscape pattern. Landscape Ecology, 1998, 1(3): 153-162.

[3] Turner M G, Romme W H, Gardner R H, O'Neill R V, Kratz T K. A revised concept of landscape equilibrium: Disturbance and stability on scaled landscapes. Landscape Ecology, 1993, 8(3): 213-227.

[4] Kristensen S P. Agricultural land use and landscape changes in Rostrup, Denmark: Processes of intensification and extensification. Landscape and Urban Planning, 1999, 46(1/3): 117-123.

[5] Palang H, Mander Ü, Luud A. Landscape diversity changes in Estonia. Landscape and Urban Planning, 1998, 41 (3/4): 163-169.

[6] Nassauer J I. Culture and changing landscape structure. Landscape Ecology, 1995, 10(4): 229-237.

[7] Yu F, Li X B, Wang H J, Yu H J. Land use change and eco-security assessment of Huangfuchuan watershed. Acta Geographica Sinica, 2006, 61(6): 645-653.

[8] Picket T S T, Cadenasso M L. Landscape ecology: Spatial heterogeneity in ecological systems. Science, 1995, 269(5222): 331-334.

[9] Power M, Mrcarty L S. Trends in the development of ecological risk assessment and management frameworks. Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal, 2002, 8 (1): 7-18.

[10] Du J, Yang Q H. An analysis of regional ecological risk based on land use change and spatial statistics: A case study in Wuhan, Hubei Province. Remote Sensing for Land and Resources, 2010, 84(2): 102-106.

[11] Thomas M F. Landscape sensitivity in time and space-an introduction. Catena, 2001, 42(2/4): 83-98.

[12] Gao B, Li X Y, Li Z G, Chen W, He X Y, Qi S Z. Assessment of ecological risk of coastal economic developing zone in Jinzhou Bay based on landscape pattern. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31 (12): 3441-3450.

[13] Gao Y, Huang H M, Wu Z F. Landscape ecological security assessment based on projection pursuit: a case study of nine cities in the Pearl River Delta. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(21): 5894-5903.

[14] Huang F, Liu X N, Zhang Y Z. Gis-Based Eco-Environmental Vulnerability Evaluation In West Jilin Province. *Scientia Geographica Sinica*, 2003, 23(1): 95-100.

[15] Wang Z W, Fu Y G, Xu C X. Landscape sensitivity and landscape planning of urban river system. *Journal of Zhejiang University: Science Edition*, 2005, 32(5): 594-600.

[16] Li H, Zhang P Y, Cheng Y Q. Concepts and assessment methods of vulnerability. *Progress in Geography*, 2008, 27(2): 18-25.

[17] Xu G C, Kang M Y, He L N. Advances in research on ecological vulnerability. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(5): 2578-2588.

[18] Zou J, Wang Y L, Mao D H. Assessment of vulnerability of ecological water resource bank in hilly-land regions, South China; a case study of Hunan Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28 (8): 3543-3552.

[19] Janssen M A, Schoon M L, Ke W M, et al. Scholarly networks on resilience, vulnerability and adaptation within the Human Dimensions of Global Environmental Change. *Global Environmental Change*, 2006, 16(3): 240-252.

[20] Turner B L II, Kasperson R E, Matson P A, McCarthy J J, Corell R W, Christensen L, Eckley N, Kasperson J X, Luers A, Martello M L, Polsky C, Pulsipher A, Schiller A. A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2003, 100(14): 8074-8079.

[21] Thomas M F. Landscape sensitivity in time and space-an introduction. *Catena*, 2001, 42(2/4): 83-98.

[22] Chen P, Pan X L. Ecological risk analysis of regional landscape in inland river watershed of arid area-a case study of San'gong River Basin in Fukang. *Chinese Journal of Ecology*, 2003, 22(4): 116-120.

[23] Li X Y, Zhang S W. Analysis on the dynamic trend of ecological security in the west part of Jilin province. *China Based on the Landscape Structure. Arid Zone Research*, 2005, 22(1): 57-62.

[24] Han Z H, Li J D, Yin H, Shentu Y J, Xu C. Analysis of ecological security of wetland in Liaohe River delta based on the landscape pattern. *Ecology and Environmental Sciences*, 2010, 19 (3): 701-705.

[25] Ning J, Zhang S W, Wang L, Zhang Y H. Sensitivity analysis of landscape in forest-agriculture ecotones: A case study of Mudanjiang in Heilongjiang province. *Journal of Northeast Forestry University*, 2009, 37(1): 35-38.

[26] Li K R, Cao M K, Yu L, Wu S H. Assessment of vulnerability of natural ecosystems in China under the changing climate. *Geographical Research*, 2005, 24(5): 653-663.

[27] Journel A G, Huijbregts C J. *Mining Geostatistics*. London: Academic Press, 1978.

[28] Isaaks E H, Srivastava R M. *An Introduction to Applied Geostatistics*. New York: Oxford University Press, 1989.

[29] Goovaerts P. *Geostatistics for Natural Resources Evaluation*. New York: Oxford University Press, 1997.

[30] Li H B, Wang Z Q, Wang Q C. Theory and methodology of spatial heterogeneity quantification. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1998, 9(6): 651-657.

[31] Wang Z Q. *Application of geostatistics in the study on ecology*. Beijing: Science Press, 1999.

[32] Zhang Y, Xu J H, Zeng G, Hu Q. The spatial relationship between regional development potential and resource & environment carrying capacity. *Resources Science*, 2009, 31(8): 1328-1334.

[33] Xie H L. Regional eco-risk analysis of based on landscape structure and spatial statistics. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28 (10): 5020-5026.

参考文献:

[1] 邹建国. 景观生态学——格局、过程、尺度与等级. 北京: 高等教育出版社, 2000.

[10] 杜军, 杨青华. 基于土地利用变化和空间统计学的区域生态风险分析——以武汉市为例. *国土资源遥感*, 2010, 84(2): 102-106.

[12] 高宾, 李小玉, 李志刚, 陈玮, 何兴元, 齐善忠. 基于景观格局的锦州湾沿海经济开发区生态风险分析. *生态学报*, 2011, 31(12): 3441-3450.

[13] 高杨, 黄华梅, 吴志峰. 基于投影寻踪的珠江三角洲景观生态安全评价. *生态学报*, 2010, 30(21): 5894-5903.

[14] 黄方, 刘湘南, 张养贞. GIS 支持下的吉林省西部生态环境脆弱态势评价研究. *地理科学*, 2003, 23(1): 95-100.

[15] 王紫雯, 符燕国, 徐承祥. 城市河道系统的景观敏感性与景观规划. *浙江大学学报: 理学版*, 2005, 32(5): 594-600.

[16] 李鹤, 张平宇, 程叶青. 脆弱性的概念及其评价方法. *地理科学进展*, 2008, 27(2): 18-25.

[17] 徐广才, 康慕谊, 贺丽娜. 生态脆弱性及其研究进展. *生态学报*, 2009, 29(5): 2578-2588.

[18] 邹君, 王亚力, 毛德华. 南方丘陵区生态水资源库脆弱度评价——以湖南省为例. *生态学报*, 2008, 28(8): 3543-3552.

[22] 陈鹏, 潘晓玲. 干旱区内陆流域区域景观生态风险分析——以阜康三工河流域为例. *生态学杂志*, 2003, 22(4): 116-120.

[23] 李晓燕, 张树文. 基于景观结构的吉林西部生态安全动态分析. *干旱区研究*, 2005, 22(1): 57-62.

[24] 韩振华, 李建东, 殷红, 申屠雅瑾, 徐聪. 基于景观格局的辽河三角洲湿地生态安全分析. *生态环境学报*, 2010, 19(3): 701-705.

[25] 宁静, 张树文, 王蕾, 张玉红. 农林交错区景观敏感性分析——以黑龙江省牡丹江地区为例. *东北林业大学学报*, 2009, 37(1): 35-38.

[26] 李克让, 曹明奎, 於琰, 吴绍洪. 中国自然生态系统对气候变化的脆弱性评估. *地理研究*, 2005, 24(5): 653-663.

[30] 李哈滨, 王政权, 王庆成. 空间异质性定量研究理论与方法. *应用生态学报*, 1998, 9(6): 651-657.

[31] 王政权. *地统计学及在生态学中的应用*. 北京: 科学出版社, 1999.

[32] 张燕, 徐建华, 曾刚, 胡青. 中国区域发展潜力与资源环境承载力的空间关系分析. *资源科学*, 2009, 31(8): 1328-1334.

[33] 谢花林. 基于景观结构和空间统计学的区域生态风险分析. *生态学报*, 2008, 28(10): 5020-5026.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34 ,No.2 Jan. ,2014 (Semimonthly)
CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

Effects of soil texture on variations of paddy soil physical and chemical properties under continuous no tillage GONG Dongqin, LÜ Jun (239)

Evaluation of the landscape patterns vulnerability and analysis of spatial correlation patterns in the lower reaches of Liaohe River Plain SUN Caizhi, YAN Xiaolu, ZHONG Jingqiu (247)

Effects of light and dissolved oxygen on the phenotypic plasticity of *Alternanthera philoxeroides* in submergence conditions XU Jianping, ZHANG Xiaoping, ZENG Bo, et al (258)

A review of the relationship between algae and bacteria in harmful algal blooms ZHOU Jin, CHEN Guofu, ZHU Xiaoshan, et al (269)

Biodiversity and research progress on picophytoplankton in saline lakes WANG Jiali, WANG Fang (282)

Effects of ozone stress on major plant physiological functions LIE Ganwen, YE Longhua, XUE Li (294)

The current progress in rodents molecular phylogeography LIU Zhu, XU Yanchun, RONG Ke, et al (307)

The progress in ecosystem services mapping: a review ZHANG Liwei, FU Bojie (316)

Autecology & Fundamentals

Growth, and cationic absorption, transportation and allocation of *Elaeagnus angustifolia* seedlings under NaCl stress LIU Zhengxiang, ZHANG Huaxin, YANG Xiuyan, et al (326)

Leaf morphology and PS II chlorophyll fluorescence parameters in leaves of *Sinosenecio jishouensis* in Different Habitats XIANG Fen, ZHOU Qiang, TIAN Xiangrong, et al (337)

Response of change of wheat LAI measured with LAI-2000 to the radiance WANG Yan, TIAN Qingjiu, SUN Shaojie, et al (345)

Effects of K⁺ and Cr⁶⁺ on larval development and survival rate of the acorn barnacle *Balanus reticulatus* HU Yufeng, YAN Tao, CAO Wenhao, et al (353)

Diffusion of colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata*, adults in field LI Chao, PENG He, CHENG Dengfa, et al (359)

Population, Community and Ecosystem

Seasonal variations in fish community structure in the Laizhou Bay and the Yellow River Estuary SUN Pengfei, SHAN Xiujuan, WU Qiang, et al (367)

Variations in fish community structure and diversity in the sections of the central and southern Yellow Sea SHAN Xiujuan, CHEN Yunlong, DAI Fangqun, et al (377)

Research on the difference in eutrophication state and indicator threshold value determination among lakes in the Southern Jiangsu Province, China CHEN Xiaohua, LI Xiaoping, WANG Feifei, et al (390)

Effect of tidal creek system on the expansion of the invasive *Spartina* in the coastal wetland of Yancheng HOU Minghang, LIU Hongyu, ZHANG Huabing (400)

The spatial and temporal variations of maximum light use efficiency and possible driving factors of Croplands in Jiangsu Province KANG Tingting, GAO Ping, JU Weimin, et al (410)

Simulation of summer maize yield influenced by potential drought in China during 1961—2010 CAO Yang, YANG Jie, XIONG Wei, et al (421)

Forest change and its impact on the quantity of oxygen release in Heilongjiang Province during the Past Century ZHANG Lijuan, JIANG Chunyan, MA Jun, et al (430)

Soil macro-faunal guild characteristics at different successional stages in the Songnen grassland of China	LI Xiaoqiang, YIN Xiuqin, SUN Lina (442)
Seasonal dynamics of soil microbial biomass in six forest types in Xiaoxing'an Mountains, China	LIU Chun, LIU Yankun, JIN Guangze (451)
Landscape, Regional and Global Ecology	
Variation of drought and regional response to climate change in Huang-Huai-Hai Plain ...	XU Jianwen, JU Hui, LIU Qin, et al (460)
Wind speed changes and its influencing factors in Southwestern China	ZHANG Zhibin, YANG Ying, ZHANG Xiaoping, et al (471)
Characteristics of soil carbon density distribution of the <i>Kobresia humilis</i> meadow in the Qinghai Lake basin	CAO Shengkui, CHEN Kelong, CAO Guangchao, et al (482)
Life cycle assessment of carbon footprint for rice production in Shanghai	CAO Liming, LI Maobai, WANG Xinqi, et al (491)
Research Notes	
Seasonal changes of ground vegetation characteristics under artificial <i>Caragana intermedia</i> plantations with age in desert steppe	LIU Rentao, CHAI Yongqing, XU Kun, et al (500)
The experimental study on trans-regional soil replacement	JIN Yinghua, XU Jiawei, QIN Lijie (509)
Sensitivity analysis of swat model on changes of landscape pattern: a case study from Lao Guanhe Watershed in Danjiangkou Reservoir Area	WEI Chong, SONG Xuan, CHEN Jie (517)

《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

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 34 卷 第 2 期 (2014 年 1 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 34 No. 2 (January, 2014)

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

主 编 王如松

主 管 中国科学技术协会

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

出 版 科 学 出 版 社
地址:北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717

印 刷 北京北林印刷厂

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

订 购 全国各地邮局

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

广告经营 京海工商广字第 8013 号

许 可 证

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

Editor-in-chief WANG Rusong

Supervised by China Association for Science and Technology

Sponsored by Ecological Society of China
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS
Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

Published by Science Press
Add:16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China

Printed by Beijing Bei Lin Printing House,
Beijing 100083, China

Distributed by Science Press
Add:16 Donghuangchenggen North
Street, Beijing 100717, China
Tel: (010)64034563
E-mail: journal@cspg.net

Domestic All Local Post Offices in China

Foreign China International Book Trading
Corporation
Add: P. O. Box 399 Beijing 100044, China

