

盘锦地区景观多样性及其变化研究

蔡元帅¹, 曲波^{1*}, 吕久俊²

(1. 沈阳农业大学, 辽宁 沈阳 110866; 2. 辽宁省环境科学研究院, 辽宁 沈阳 110161)

摘要:以辽宁盘锦地区为研究对象, 基于统一的景观分类系统和景观生态学统计方法, 利用遥感和 GIS 技术, 分析了 2000—2010 年 10 a 间景观多样性的特征与变化。结果表明, 随着经济的发展、城镇化水平的提高, 研究区 2005—2010 年较 2000—2005 年人类活动为主要驱动力的作用更加明显, 斑块总数增加, 城镇景观扩张, 尤其在双台子区、兴隆台区和辽东湾新区扩张明显, 景观格局越加破碎, 类型多样性增加, 且 2005—2010 年景观多样性的变化幅度大于 2000—2005 年的变化幅度。通过叠加分析发现, 盘锦地区景观多样性受人类影响的阶段性变化特征突出, 建议及早划定盘锦地区生态保护红线, 并实行严格的管理制度, 保护以湿地景观为基质的景观格局。

关键词:景观多样性; 破碎化; 变化; 盘锦地区

中图分类号:S731.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2015)04-0277-06

Researches on the Changes of Landscape Diversity in Panjin Area

CAI Yuan-shuai¹, QU Bo^{1*}, LYU Jiu-jun²

(1. Shenyang Agricultural University, Shenyang, Liaoning 110866, China;

2. Liaoning Provincial Academy of Environmental Science, Shenyang, Liaoning 110161, China)

Abstract: Taking Jinpan of Liaoning, China as research object, and based on the unified landscape, statistical methods of landscape ecology, the characteristics and changes of the landscape diversity in this area during 2000 to 2010 were investigated by using remote sensing and GIS technology. It was found that with the development of economy and urbanization, the landscape changes of the study area were interfered by the human activity were more significant in 2005 to 2010 than 2000 to 2005. The total number of patches firstly decreased and then increased. Urban landscape expanded persistently, especially in Shuangtaizi District, Xinglongtai District and Liaodongwan New District. Landscape patterns of these areas were more fragmented and the type diversity increased. Further more, changes of the type diversity in 2005 to 2010 were greater than 2000 to 2005. Through the overlay analysis, landscape diversity in Panjin was significantly influenced by human activities in periodic variation. It was suggested that to set up red lines for ecological protection in this area, and to carry out strict management regularities to ensure wetland landscape as the matrix of the landscape pattern.

Key words: landscape diversity; fragmentation; change; Panjin

景观多样性是指景观在结构、功能和时间变化方面的多样性, 其分析源于景观生态学景观格局演变分析研究^[1]。景观多样性包括斑块多样性、类型

多样性和格局多样性^[2-5], 它们从不同侧面反映景观的复杂性。景观多样性是决定生物的遗传多样性、物种多样性和生态系统多样性的基础。景观多样性

收稿日期: 2014-09-25 修回日期: 2015-01-12

基金项目: “十二五”国家水体污染控制与治理科技重大专项: 辽河口湿地生态演变格局与生态保持体系构建(2013ZX07202-007-001); 辽河保护区生态系统完整性的调查与诊断(2012ZX07202-004-001)。

作者简介: 蔡元帅, 男, 硕士研究生, 研究方向: 植物系统发育与生物多样性。E-mail: caiyuanshuai@sohu.com

*通信作者: 曲波, 女, 副教授, 硕士生导师, 研究方向: 外来入侵生物防治研究。E-mail: cyau_qb@163.com

的研究可以合理地评估自然和人为因素对景观破碎化以及生物多样性的影响,有利于更有效更及时地制定生态环境保护措施。运用多样性指数对景观变化的研究多借助于遥感及地理信息系统分析手段^[6-9],研究对象往往集中于湿地等景观上^[10-12],而全面反映地区景观多样性的变化以及驱动力分析方面的研究报道还较欠缺。

盘锦地区位于辽宁省中部,辽河下游,渤海之滨,地处 121°33′—122°28′E,40°41′—41°28′N,是辽河下游三角洲的中心地带。地势地貌特征是北高南低,属暖温带大陆性半湿润季风型气候。盘锦地区辽东湾湿地属于低平湿地,由海退和河流冲积而成,表层由淤泥质亚黏土组成,质地黏重,湿地平原多属

于间歇性积水沼泽。盘锦地区主要由湿地、农田和城镇景观组成。本研究将借助景观生态学方法和统计学途径对 2000—2010 年盘锦地区景观多样性的动态变化进行研究,分析盘锦地区 10 a 景观多样性的演变规律及其驱动力,以期为盘锦地区景观多样性保护提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 景观分类系统的建立

研究基于功能结构形态分类思想以及综合考虑景观分类实用目的、景观功能、景观结构、自然地理因子、人类活动的干扰强度等多种因素,并参考相关研究^[13-16],将景观分类体系建立如下(表 1)。

表 1 盘锦地区景观分类系统

Table 1 The classification system of landscape in Panjin area

一级 景观类型	二级 生态系统类型	说明
林地	落叶阔叶林	双子叶、被子植被的乔木林,叶型扁平、较宽;一年中因气候不适应、有明显落叶时期的物候特征;乔木林中阔叶占乔木比例大于 75%;包括半自然植被
草地	草甸	生长在低温、中度湿润条件下的多年生草本植被,中生植物,也包括旱中生植物,属非地带性植被
湿地	草本沼泽	以喜湿苔草及禾本科植物占优势,多年生植物,植被郁闭度不低于 15%
	湖泊	湖泊等相对静止的水体
	水库/坑塘	人工建造的静止水体,包括鱼塘、盐场
	河流	自然河流、溪流和人工运河等流动水体
农田	运河/水渠	人工建造的线性的水面
	水田	有水源保证和灌溉设施,筑有田埂(坎),可以蓄水,一般年份能正常灌溉,用以种植水稻或水生作物的耕地,包括莲藕等
	旱地	2 a 内至少种植 1 次旱季作物的耕地,包括有固定灌溉设施与灌溉设施的耕地;包括草皮地、菜地、药材、草本果园等;也包括受人类活动直接影响的人工种植和经营的饲料、草皮等草地
	乔木园地	指种植以采集果、叶、根、干、茎、汁等为主的集约经营的多年木本植被的土地。包括受人类活动直接影响的果园、桑树、橡胶、乔木、苗圃、茶园、灌木苗圃、葡萄园等园地,还包括城市绿地
城镇	居住地	城市、镇、村等聚居区
	工业用地	独立于城镇居住外的,或主体为工业、采矿和服务功能的区域,包括独立工厂、大型工业园区、服务设施
裸地	交通用地	各种交通道路、通信设施、管道,不包括护路林及其附属设施、车站、民用机场用地
	沙漠/沙地	地面完全被松散沙粒所覆盖、植物非常稀少的荒漠
	裸土	地表被土层覆盖、低植被覆盖度的土壤

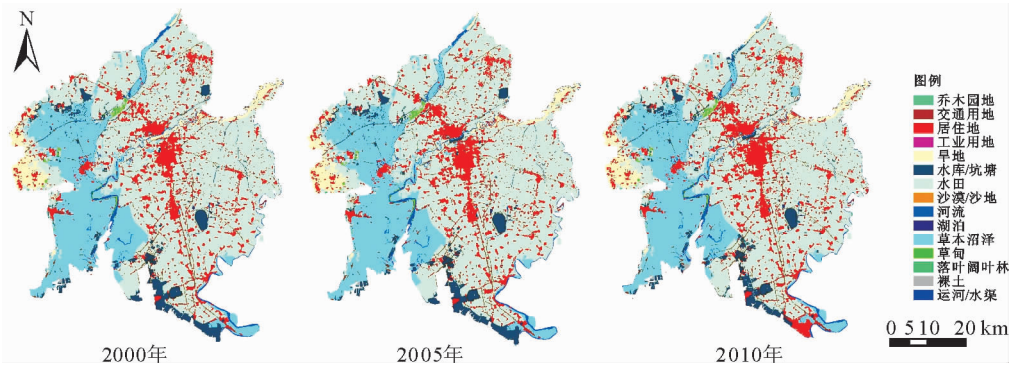


图 1 盘锦地区 2000、2005、2010 年景观分布

Fig. 1 Landscape distribution of 2000, 2005, and 2010 in Panjin area

1.2 景观制图与 GIS 分析

利用 2000、2005、2010 年 3 个时相 Landsat TM/ETM 遥感影像数据,在进行大气校正、正射校正和几何校正等处理,以及对影像的时相、云量、波段、噪音、变形、条带、像元大小等进行检查后,基于构建的景观分类体系,对遥感影像分类解译,获得 2000、2005、2010 年盘锦地区土地利用类型数据。编制 2000、2005、2010 年盘锦地区景观现状图(图 1)。为使上述数据精度可靠,真实反映不同时期景观和土地利用状况,制图中采用相同的景观分类系统、相同的地图投影和最小制图单元。将以上数据进行叠加分析和数据统计分析,研究景观多样性的变化。

1.3 景观多样性的指标选取

通过比较景观格局指数特征^[17-19]选取包括研究区总的斑块数(NP)、平均斑块面积(MPS)、边界密度(ED)3 个指数,以及各生态系统类型的斑块平均面积、斑块数和分维数(D)来对斑块多样性进行描述。根据前人经验^[20-21],类型多样性指标主要包括多样性指数、优势度^[22]和均匀度指数。多样性指数反映景观要素的多少和各景观要素所占比例的变化。优势度指数表示景观多样性对最大多样性的偏离程度,或描述景观结构中一种或几种景观类型支配景观的程度^[23]。均匀度指数(E)反映景观里不同景观类型的分配均匀程度^[24]。参考其他研究^[25-27],选取描述格局多样性的指标包括景观聚集度指数(RC)和破碎度指数(FN)。 RC 反映景观中不同斑块类型的非随机性或聚集程度^[28]。破碎度指数反映景观被分割的破碎程度^[29-31],它在一定程度上体现人为对景观的干扰程度。具体指标见表 2。

表 3 采用的景观格局指标

Table 3 Indices of landscape patterns		
指标名称	计算公式	参数说明
边界密度(ED)	$ED=\frac{1}{A}\sum_{i=1}^n\sum_{j=1}^n P_{ij}$	P_{ij} 是景观类型 i 与 j 之间为邻的概率, A 为斑块面积, n 为景观类型总数
分维数(D)	$D=2\log(P/4)/\log A$ ^[32]	P 为斑块周长
景观类型多样性指数(H)	$H=-\sum_{i=1}^m P_i * \ln P_i$ ^[33]	m 为景观类型数, P_i 为第 i 类景观所占比例
优势度(Dd)	$Dd=H_{\max}+\sum_{i=1}^m P_i * \ln P_i$ ^[34] 其中, $H_{\max}=\ln m$	
均匀度指数(E)	$E=(\frac{H}{H_{\max}})\times 100\%$ ^[35] 其中, $H=-\ln[\sum_{i=1}^m (P_i)^2]$	H 表示修正了的 Simpson 指数, H_{\max} 是最大可能均匀度
聚集度指数(C)	$C=C_{\max}+\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m P_{ij} \ln(P_{ij})$ ^[36] 其中, $C_{\max}=n\times \log n$	
破碎度指数(FN)	$FN_1=(NP-1)/NC$ $FN_2=MPS(NF-1)/NC$	NC 是用栅格个数表示的研究区景观总面积, NP 是景观内斑块总数, MPS 是景观中各类斑块的平均面积, NF 是类斑的个数, $FN1$ 为整个区域景观的破碎度, $FN2$ 为区域内一景观类型的破碎度

表 2 盘锦地区各类型景观的面积

Table 2 The areas of different landscape types in Panjin			
景观类型	面积/hm ²		
	2000 年	2005 年	2010 年
林地	218.40	218.40	219.42
落叶阔叶林	218.40	218.40	219.42
草地	932.94	932.94	932.21
草甸	932.94	932.94	932.21
湿地	95 847.48	95 939.71	93 324.24
草本沼泽	73 616.40	73 433.71	73 077.90
湖泊	154.83	154.83	165.36
水库/坑塘	15 178.53	15 490.93	13 387.68
河流	5 633.7	5 715.36	5 601.15
运河/水渠	1 262.43	1 146.6	1 092.24
农田	206 963.75	204 597.64	203 777.21
水田	193 669.24	192 056.52	191 009.88
旱地	13 284.00	12 539.02	12 762.75
乔木园地	7.02	7.02	6.94
城镇	45 306.45	47 585.82	51 291.99
居住地	38 212.24	40 203.72	43 145.6
工业用地	25.92	25.92	25.65
交通用地	7 062.35	7 362.52	8 110.71
裸地	500.61	516.32	1 074.02
沙漠/沙地	20	20	20.1
裸土	481.24	496.48	1 053.36

1.4 数据处理

利用景观格局指数计算软件 FRAGSTATS 获得表 3,再运用景观生态学统计的方法来分析数据。

2 结果与分析

2.1 景观斑块多样性分析

由表 4 看出,盘锦地区斑块多样性的变化特点是:从 2000—2005 年斑块总数由 6 189 个增加了 8 个到 6 197 个,原因是城镇景观中的居住地斑块数的增加,边界密度由 $30.91\text{ m}\cdot\text{hm}^{-2}$ 增加到 $31.26\text{ m}\cdot\text{hm}^{-2}$,平均斑块面积由 $56.51\text{ m}\cdot\text{hm}^{-2}$ 减少到 $56.44\text{ m}\cdot\text{hm}^{-2}$,主要是城镇景观中的居住地和交通用地以及农田景观中的水田和旱地平均斑块面积的减少,说明 2000—2005 年研究区的破碎化程度加深,其原因主要是城镇景观发育愈加破碎化,人类活动是主要的影响景观斑块多样性变化的因素。从 2005—2010 年斑块总数由 6 197 个增加了 21 个到 6 218 个,主要是湿地景观中的水库/坑塘、河流和农田景观中的水田以及城镇景观中的居住地、交通用地斑块数的增加,边界密度由 $31.26\text{ m}\cdot\text{hm}^{-2}$ 增加到 $32.30\text{ m}\cdot\text{hm}^{-2}$,平均斑块面积由 56.44 hm^2 减小到 56.39 hm^2 ,主要是湿地景观中水库/坑塘和农田中的水田斑块面积减小,说明 2005—2010 年研究区破碎化程度加深,主要是由于城镇景观破碎化程度加深,人类活动仍是主要的影响景观斑块多样性变化的因素。

表 4 盘锦地区斑块多样性总体变化

Table 4 Overall changes of patch diversity in Panjin			
年份	斑块数	边界密度 /($\text{m}\cdot\text{hm}^{-2}$)	平均斑块面积 / hm^2
2000	6 189	30.91	56.51
2005	6 197	31.26	56.44
2010	6 218	32.30	56.39

2.2 景观类型多样性分析

对类型多样性分析可以反映盘锦地区景观中类型的丰富度和复杂度。由表 5 看出,研究区 2000、2005、2010 年 3 a 多样性指数从 1.357 5 增大到 1.364 7,再增大到 1.374 9;均匀度从 0.501 3 增大到 0.503 9,再增大到 0.517 7;优势度从 3.157 9 减小到 3.150 7,再减小到 3.140 5。这是因为 2000 年研究区的景观类型结构相对简单,均质化程度相对较高,湿地和农田景观为研究区内的优势景观。到 2005 年湿地和农田景观依然为研究区内的优势景观,但已经开始被复杂化的城镇等景观取代,使得多样性指数增大,均匀度增大,优势度减小。到 2010 年多样性指数继续增大,均匀度继续增大,优势度继续减小,研究区内的优势景观湿地和农田继续被其他景观所侵占,造成上述情况的主要原因是研究区内城镇化水平不断提高,城镇景观不断取代优势景观,占研究区比例不断增大。

表 5 盘锦地区景观类型多样性变化

Table 5 Landscape diversity changes in Panjin			
年份	多样性 <i>SHDI</i>	均匀度 <i>SHEI</i>	优势度
2000	1.357 5	0.501 3	3.157 9
2005	1.364 7	0.503 9	3.150 7
2010	1.374 9	0.507 7	3.140 5

2.3 景观格局多样性动态分析

对格局多样性分析可以反映盘锦地区景观类型空间分布的多样性及各类型之间以及斑块与斑块之间的空间关系与功能的联系。由表 6 可以看出,研究区景观格局多样性的聚集度指数从 2000 年的 0.704 7 减少到 2005 年的 0.702 9,再减少到 2010 年的 0.699 6,破碎度指数基本不变,聚集反映了少数团聚的大斑块逐渐瓦解,小斑块数量增加,景观变得破碎化,总体格局复杂化的趋势,表明水田和草本沼泽又逐渐被其他景观类型所取代,水田和草本沼泽对其他景观类型的隔离程度减小,与之相应的其他景观类型的连接度有增加的风险。由于研究区内湿地和农田景观的脆弱性,这种格局的变化趋势对湿地和农田景观有影响,对湿地和农田景观的保护不利。

表 6 盘锦地区景观格局多样性变化

Table 6 Changes of landscape pattern diversity in Panjin		
年份	聚集度指数(<i>RC</i>)	破碎度指数(<i>FN</i>)
2000	0.704 7	0.001 6
2005	0.702 9	0.001 5
2010	0.699 6	0.001 6

3 结论与讨论

2000—2010 年,随着城市和农村居民点持续扩张,景观趋于破碎化,局部地区稳定的自然景观斑块减少,不稳定的城镇景观斑块逐年增加,在这种变化趋势下生态景观格局的稳定性受到威胁。

2000—2010 年,盘锦地区以湿地和农田景观为基质的高度均质化的景观生态系统有逐渐转变为以城镇、湿地、农田为基质的异质化的景观生态系统的风险。农田和湿地面积比例超过了生境斑块的连通阈值的 60%,其结构和功能稳定性较弱。盘锦地区由湿地和农田 2 种优势景观组成。

10 a 间,盘锦地区景观多样性变化的主要驱动力是人类活动,具体包括农村居民点扩张、城市扩展、交通道路修建,以及地区政策性的兴建工业园区、开发区等。

尽管近年来,盘锦市加强了湿地保护的监管力度,但通过此次研究和分析发现,自然景观被侵占的趋势并未得到逆转,并且农田景观也被城镇景观所

侵占,研究区内景观破碎化程度增加,人类的影响增大,城市和农村居民点扩张的力度继续提高,这也使得盘锦地区的景观多样保护面临较大压力。

为了降低盘锦地区景观的破碎化程度,保证景观格局合理性,建议控制居住地、交通用地等类型景观的无序扩张,进行合理的生态规划,优先保障脆弱的湿地和水田景观,提高地区的生态安全。如:交通用地的建设,在允许的情况下尽量建设在完整景观的边缘,降低对景观完整性的破坏。目前,对湿地的保护力度远远大于水田,但是水田对盘锦地区也具有极其重要的意义。对于水田被其他景观无序侵占,应该加以控制,参考相关规定,划定水田重要等级,根据发展需要合理谨慎地改变土地类型。为了应对由于不良人为干预对盘锦地区景观多样性造成的破坏,保障地区生态安全,促进经济社会可持续发展,应及早对盘锦地区划定生态保护红线,确保湿地面积不减少,湿地功能不丧失,并实行严格的管理制度,保障以湿地景观为基质的景观。

参考文献:

[1] 李晓文,胡远满,肖笃宁. 景观生态学与生物多样性保护[J]. 生态学报,1999,19(3):111-119.
LI X W, HU Y M, XIAO D N. Landscape ecology and biodiversity conservation [J]. Acta Ecologica Sinica, 1999,19(3): 111-119. (in Chinese)

[2] 傅伯杰. 景观多样性分析及其制图研究[J]. 生态学报,1995, 15(4):345-350.
FU B J. Landscape diversity analysis and mapping [J]. Acta Ecologica Sinica,1995,15(4):345-350. (in Chinese)

[3] 余新晓,牛健植,关文彬,等. 景观生态学[M]. 北京:高等教育出版社,2006.

[4] 徐建华,岳文泽,谈文琦. 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[J]. 地理学报,2004,59(6): 1058-1067.
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 [J]. Acta Geographica Sinica, 2004, 59(6): 1058-1067. (in Chinese)

[5] 王伯荪,彭少麟,郭涿,等. 海南岛热带森林景观类型多样性[J]. 生态学报,2007,27(5):1690-1695.
WANG B S, PENG S L, GUO L, *et al.* Diversity of tropical forest landscape-type in Hainan Island [J]. Acta Ecologica Sinica, 2007,27(5):1690-1695. (in Chinese)

[6] 马春,鞠美庭,李洪远,等. 天津地区土地生态系统多样性演变与驱动力分析[J]. 南开大学学报:自然科学版,2011,44(1): 66-70,77.
MA C, JU M T, LI H Y, *et al.* Analysis of change and driving force in land ecosystem diversity in Tianjin [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Nankaiensis, 2011,44(1):66-70,77. (in Chinese)

[7] 李锋. 两个典型荒漠化地区景观多样性变化的比较——景观基质的影响[J]. 生态学报,2002,22(9):1507-1511.
LI F. A comparative researches on landscape diversity changes in two typical Desertification Areas——impacts of landscape matrices [J]. Acta Ecologica Sinica, 2002,22(9):1507-1511. (in Chinese)

[8] 王晓燕,徐志高,杨明义,等. 黄土高原小流域景观多样性动态分析[J]. 应用生态学报,2004,15(2):273-277.
WANG X Y, XU Z G, YANG M Y, *et al.* Analysis of the landscape diversity dynamics of small watershed in the Loess Plateau [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(2):273-277. (in Chinese)

[9] 孟京辉,陆元昌,CHRISTOPH,等. 基于遥感的景观格局时空动态研究[J]. 西北林学院学报,2010,25(1):207-211.
MENG J H,LU Y C,CHRISTOPH, *et al.* Spatial and temporal dynamics of landscape based on remote sensing [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2010, 25(1):207-211. (in Chinese)

[10] 黄桂林. 辽河三角洲湿地景观变化及驱动机制研究[D]. 北京林业大学,2011.

[11] 索安宁,于永海,韩富伟. 辽河三角洲盘锦湿地景观格局变化的生态系统服务价值响应[J]. 生态经济,2011(6):147-151.
SUO A N,YU Y H,HAN F W. Response of ecosystem service value to wetland landscape pattern change in Panjin Region of Liaohe Delta [J]. Ecological Economy, 2011(6):147-151. (in Chinese)

[12] 徐玲玲,张玉书,陈鹏狮,等. 近 20 年盘锦湿地变化特征及影响因素分析[J]. 自然资源学报,2009,24(3):483-490.
XU L L, ZHANG Y S, CHEN P S, *et al.* Analysis on the changing characteristics and influencing factors of Panjin wetland during the past 20 years [J]. Journal of Natural Resources, 2009,24(3):483-490. (in Chinese)

[13] 邹昶和,李新通,高文兰,等. 拉市海流域景观多样性空间特征分析[J]. 福建师范大学学报:自然科学版,2012,28(3): 65-71.
ZOU C H, LI X T, GAO W L, *et al.* Spatial variation Characteristics of landscape diversity in watershed of Lashihai [J]. Journal of Fujian Normal University:Natural Science Edition, 2012,28(3):65-71. (in Chinese)

[14] 刘红玉,吕宪国,张世奎. 三江平原流域湿地景观多样性及其 50 年变化研究[J]. 生态学报,2004,24(7):1472-1479.
LIU H Y, LV X G, ZHANG S K. Landscape biodiversity of wetlands and their changes in 50 years in watersheds of the Sanjiang Plain [J]. Acta Ecologica Sinica, 2004,24(7):1472-1479. (in Chinese)

[15] 李振鹏. 乡村景观分类的方法研究[D]. 北京:中国农业大学,2004.

[16] 孙蓉桦. 遥感影像景观分类信息提取方法研究[D]. 杭州:浙江大学,2005.

[17] 布仁仓,胡远满,常禹,等. 景观指数之间的相关分析[J]. 生态学报,2005,25(10):2764-2775.
BU R C, HU Y M, CHANG Y, *et al.* A correlation analysis on landscape metrics. [J]. Acta Ecologica Sinica, 2005,25(10):2764-2775. (in Chinese)

[18] 齐伟,曲衍波,刘洪义,等. 区域代表性景观格局指数筛选与

土地利用分区[J]. 中国土地科学,2009,23(1):33-37.

QI W, QU Y B, LIU H Y, *et al.* Selection of representative landscape pattern indexes and land use division [J]. China Land Science, 2009,23(1):33-37. (in Chinese)

[19] 王娟,马履一,王新杰,等. 北京城区公园绿地景观格局研究[J]. 西北林学院学报,2010,25(4):195-199.

WANG J, MA L Y, WANG X J, *et al.* Landseape pattern of green land in urban parks in the city proper of Beijing [J]. Journal of Northwest Forestry University,2010,25(4):195-199. (in Chinese)

[20] 王新明,王长耀,占玉林,等. 大尺度景观结构指数的因子分析[J]. 地理与地理信息科学,2006,22(1):17-21.

WANG X M, WANG C Y, ZHAN Y L, *et al.* A factor analysis on landscape structure metrics with large scale [J]. Geography and Geo-Information Science, 2006,22(1):17-21. (in Chinese)

[21] 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[J]. 生态学报,2010,30(1):146-154.

[22] 肖笃宁. 景观生态学理论、方法和应用[M]. 北京:中国林业出版社,1991.

[23] 肖寒,欧阳志云,赵景柱,等. 海南岛景观空间结构分析[J]. 生态学报,2001,21(1):20-27.

XIAO H, OU Y Z Y, ZHAO J Z, *et al.* Analysis of landscape spatial structure in Hainan Island [J]. Acta Ecologica Sinica,2001,21(1):20-27. (in Chinese)

[24] 禹莎,陈保禄,王祥荣. 杭州市西北部生态带景观格局[J]. 复旦学报:自然科学版,2010,49(3):355-361.

YU S, CHEN B L, WANG X R. Research of the landscape pattern on north-west urban eco-belt in Hangzhou [J]. Journal of Fudan University: Natural Science,2010,49(3):355-361. (in Chinese)

[25] 李育中,祝延成,吴雨华. 人工羊草草地演替过程中格局多样性的变化[J]. 东北师大学报:自然科学版,1996(3):108-111.

LI Y Z, ZHU Y C, WU Y H. The pattern diversity changes in the successional processes artificial leymus chinensis grassland [J]. Journal of Northeast Normal University: Natural Science Edition, 1996(3):108-111. (in Chinese)

[26] 刘惠明,杨燕琼,罗富和,等. 广州市帽峰山森林公园森林景观多样性分析[J]. 生态科学,2003,22(1):30-33.

LIU H M, YANG Y Q, LUO F H, *et al.* Analysis of forest Landscape diversity of Maofeng Mountain Forest Park in Guangzhou [J]. Ecologic Science, 2003,22(1):30-33. (in Chinese)

[27] 李忠武,曾光明,朱华,等. 湘中红壤丘陵区景观格局变化研究[J]. 生态学杂志,2006,25(4):359-363.

LI Z W, ZENG G M, ZHU H, *et al.* Changes of landscape pattern in red soil hilly region of central Hunan Province [J]. Chinese Journal of Ecology, 2006,25(4):359-363. (in Chinese)

[28] 恭映璧. 长沙城市湿地景观格局时空演变与驱动机制研究[D]. 长沙:中南林业科技大学,2013.

[29] SUI D, ZENG H. Modeling the dynamics of landscape structure in Asia's emerging desakota regions: a case study in Shenzhen[J]. Landscape and Urban Planning,2001,53(1/3):37-52. (in Chinese)

[30] 陈利顶,傅伯杰. 黄河三角洲地区人类活动对景观结构的影响分析——以山东省东营市为例[J]. 生态学报,1996,16(4):337-344.

CHEN L D, FU B J. Analysis of impact of human activity on landscape structure in Yellow River Delta—a case study of Dongying Region [J]. Acta Ecologica Sinica, 1996,16(4):337-344. (in Chinese)

[31] 陈利顶,傅伯杰,王军. 黄土丘陵区典型小流域土地利用变化研究——以陕西延安地区大南沟流域为例[J]. 地理科学,2001,21(1):46-51.

CHEN L D, FU B J, WANG J. Study on land use change in a small typical catchment in loess hilly area—a case study in Danangou catchment, Yan'an, Shaanxi Province [J]. Scientia Geographica Sinica,2001,21(1):46-51. (in Chinese)

[32] 彭建,王仰麟,张源,等. 土地利用分类对景观格局指数的影响[J]. 地理学报,2006,61(2):157-168.

PENG J, WANG Y L, ZHANG Y, *et al.* Research on the influence of land use classification on landscape metrics [J]. Acta Geographica Sinica,2006,61(2):157-168. (in Chinese)

[33] 常学礼,邬建国. 科尔沁沙地景观格局特征分析[J]. 生态学报,1998,18(3):3-10.

CHANG X L, WU J G. Spatial analysis of pattern of sandy landscapes in Kerqin, inner mongolia [J]. Acta Ecologica Sinica, 1998,18(3):3-10. (in Chinese)

[34] 张荣天,张小林,李传武. 镇江市土地利用景观格局分析[J]. 经济地理,2012,32(9):132-137.

ZHANG R T, ZHANG X L, LI C W. Analysis on the landscape spatial patterns of land-use in Zhenjiang [J]. Economic Geography, 2012,32(9):132-137. (in Chinese)

[35] 邬建国. 景观生态学 [M]. 北京:高等教育出版社,2000.

[36] 王宪礼,布仁仓,胡远满,等. 辽河三角洲湿地的景观破碎化分析[J]. 应用生态学报,1996,7(3):299-304.

WANG X L, BU R C, HU Y M, *et al.* Analysis on landscape fragment of Liaohe Delta Wetlands [J]. Chinese Journal of Applied Ecology,1996,7(3):299-304. (in Chinese)