

不同空间尺度下景观格局对人为干扰度的响应——以浙江金义新区为例

余孟杰, 吴涛*, 解雪峰, 蒋国俊, 沈鏊澄, 项琦, 孙晓敏 (浙江师范大学地理与环境科学学院, 浙江金华 321004)

摘要 基于 Landsat TM 遥感数据, 提取研究区域的土地利用数据, 并利用 ArcGIS 10.3 中渔网工具分别创建不同尺度的评价单元。分别计算每种尺度下的景观格局指数, 构建人为干扰强度指标, 通过 Pearson 相关分析来探讨不同空间尺度下景观格局指数对人为干扰度的响应, 研究金义都市新区的景观指数在不同空间尺度下对人为干扰度做出的响应。结果表明: ①人为干扰强度空间分布表现为四周低, 中间高。②斑块密度(PD)、香农多样性指数(SHDI)、香农均匀度指数(SHEI)与人为干扰度呈正相关关系; 蔓延度指数(CONTAG)、景观聚集度指数(AI)与人为干扰度呈显著负相关。③在探讨评价单元的空间尺度时发现, 景观指数与人为干扰度的相关显著性表现不同, 具体表现在: AI 在空间尺度为 2 000 m 时, 显著相关。而 PD、CONTAG、SHDI 及 SHEI 在空间尺度为 4 000 m 时, 与人为干扰度的显著相关, 说明人为干扰度与景观格局指数之间的响应存在空间尺度差异性。④在处于发展初期的区县尺度下进行景观格局指数与人为干扰度相关性分析时, 发现选取评价单元为 4 000 m 时, 得到的相关性和显著性结果较好。

关键词 金义都市新区; 景观格局; 人为干扰度; 空间尺度

中图分类号 P 901 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2019)16-0059-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2019.16.019



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Response of Landscape Pattern at Different Spatial Scales to Hemeroby—Taking Jinyi New District of Zhejiang as an Example

YU Meng-jie, WU Tao, XIE Xue-feng et al (School of Geography and Environmental Sciences, Zhejiang Normal University, Jinhua, Zhejiang 321004)

Abstract Based on Landsat TM remote sensing data, land use data of the study area were extracted, and fishing net tools in ArcGIS 10.3 were used to create evaluation units of different scales, the landscape pattern index of each scale was calculated separately, and the hemeroby index was constructed. The Pearson correlation analysis was used to investigate the response of the landscape pattern index to hemeroby at different spatial scales. To study the response of the landscape index of Jinyi New District to hemeroby at different spatial scales. The results show: ①The spatial distribution of hemeroby is low in the periphery and high in the middle; ②Plaque density (PD), Shannon diversity index (SHDI), Shannon uniformity index (SHEI) were positively correlated with hemeroby; contagion index (CONTAG), landscape aggregation index (AI) and human interference degree is significantly negatively correlated. ③When discussing the spatial scale of the evaluation unit, it is found that the correlation between the landscape index and the hemeroby is different. The specific performance is as follows: AI is significantly correlated when the spatial scale is 2000m. PD, CONTAG, SHDI and SHEI are significantly correlated with hemeroby when the spatial scale is 4 000 m, indicating that there is spatial scale difference in the response between hemeroby and landscape pattern index. ④When the correlation between landscape pattern index and hemeroby is analyzed at the district and county scales at the initial stage of development, it is found that when the evaluation unit is 4000m, the correlation and significance results are better.

Key words Jinyi New District; Landscape pattern; Hemeroby; Spatial scale

景观生态学作为生态学、地理科学和环境科学的交叉学科, 主要研究宏观尺度上景观类型的空间格局和生态过程的相互作用及其动态变化特征^[1-3]。时间尺度和空间尺度问题是景观生态学的基础^[4]。景观格局指数是现代景观生态学中应用最广泛的一种景观格局分析方法^[5]。

人为干扰概念最初由芬兰植物学家 Jalas^[6]提出, 后国内学者陈爱莲等^[7]首次建议将“hemeroby”一词翻译为“人为干扰度”。人为干扰与景观格局变化被广泛应用于农业、林业、环境和城市等诸多领域的生态评价研究^[8]。刘吉平等^[9]采用网格分析法研究景观指数的时空分异规律, 对小三江平原沼泽湿地景观格局变化及其对人为干扰的响应机制进行探讨, 结果表明不同时期内 PLAND、LPI、AI、CONNECT、ED 等与人为干扰度有不同的响应趋势; 刘富强等^[10]利用多期遥感数据, 探讨岸线变化和景观格局变化对人类活动的动态响应, 结果表明海岸线长度的变化以及岸线分形维数的变化均与人为干扰呈负相关。

近年来, 景观格局指数作为分析景观格局特征的定量化指标得到迅速发展, 人为干扰度与土地利用格局以及尺度效应的研究逐渐成为景观生态学者的研究热点^[11-15]。经研究发现^[16-20], 研究区域尺度大小不同时, 景观指数及人为干扰度的响应趋势不完全相同。在近期的研究中, 最佳空间尺度问题有待进一步探讨。金义都市新区作为发展中的小城镇, 可代表中国大多数小城镇的发展现状, 笔者以其为例, 探讨景观格局指数与人为干扰度相关关系, 寻求最佳划分尺度, 为县域尺度范围内的人类活动干扰强度的景观格局相关研究提供科学依据。

1 数据业源与研究方法

1.1 研究区概况 金义都市新区位于浙江中部, 金华市金东区与义乌市结合部(119°41'~120°07'E, 29°22'~29°03'N), 地处长三角经济圈和海西协作区交汇点。地势中部低, 南北高, 东阳江贯穿其南(图 1)。新区近期规划区域内有孝顺镇、傅村镇、曹宅镇、塘雅镇、澧浦镇、上溪镇、义亭镇、佛堂镇。根据国务院批准的《浙江省城镇体系规划(2010—2020)》, 未来的金义都市区将建成 300 万~500 万人口规模的城市, 与金华义乌共同形成浙中城市群核心区, 成为浙江省第四大都市区和带动浙江中西部地区经济社会发展的重要增长极。

基金项目 国家自然科学基金项目(41572345); 浙江省自然科学基金项目(LY19D010007)。

作者简介 余孟杰(1995—), 女, 安徽广德人, 硕士研究生, 研究方向: 人类活动干扰强度的量化测算及其评价。*通信作者, 讲师, 博士, 从事海岸带景观生态学研究。

收稿日期 2019-03-11



图1 研究区概况

Fig.1 Schematic diagram of study area

1.2 数据获取与处理 利用地理空间数据云提供的 Landsat-8 卫星数字产品,在 ArcGIS 软件平台下,对图像进行预处理,利用人工目视解译,结合地形图,参考中国科学院土地利用分类标准,辨别区域土地利用方式类型,将研究区域的土地利用方式划分为林地、草地、耕地(包括水田和旱地)、河流、湖泊、城镇及建筑用地以及未利用地 7 类(图 2)。

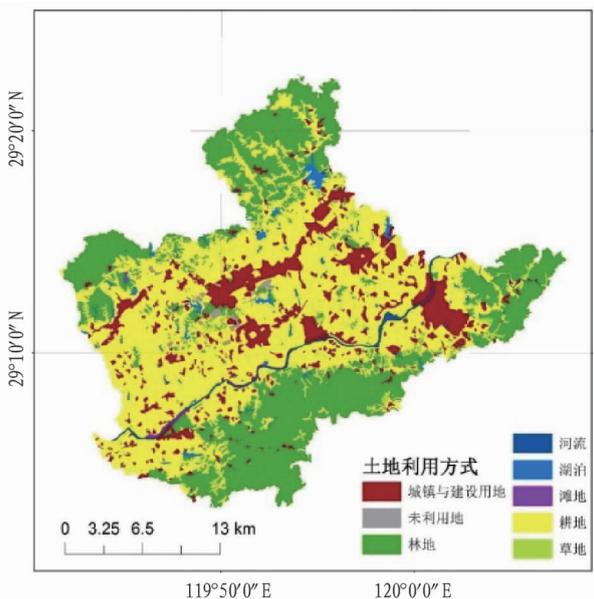


图2 金义都市新区 2016 年土地利用类型

Fig.2 Land use type of Jinyi New District in 2016

1.3 研究方法

1.3.1 评价单元的构建。以金义新区 2016 年土地利用类型图为底图,利用 ArcGIS 10.3 中 ArcToolbox 数据管理模块中的创建渔网工具,分别创建边长为 1 000、2 000、4 000 以及 8 000 m 的网格,每个网格作为一个评价单元,用以评价人类干扰活动强度的空间分异特征。

1.3.2 人为干扰度计算。基于文献^[21-22],该研究中将林地的人为干扰度指数(hemeroby index,简称人为干扰度)赋值为 2(微弱干扰),湖泊、河流、草地以及未利用地的人为干扰度赋值为 3(轻度干扰),滩地的人为干扰度赋值为 4(中度干扰),耕地的人为干扰度赋值为 5(重度干扰),城镇与建设用地的人为干扰度赋值为 7(完全干扰)^[23]。

利用公式(1),分别计算每一个评价单元的干扰指数,将计算结果作为网格中心点值,在 ArcGIS 10.3 空间分析模块中进行栅格差值。分别对 1 000 m×1 000 m、2 000 m×2 000 m、4 000 m×4 000 m 以及 8 000 m×8 000 m 这 4 种尺度的人为干扰度进行 Kring 插值分析,生成人类活动干扰度时空分布图。具体计算公式如下:

$$M = \sum_{i=1}^n f_i \times H_i \quad (1)$$

式中, M 为统计单元人为干扰指数; n 为统计单元内地表覆盖的斑块数; f_i 为当前斑块 i 的面积与统计单元总面积的比值; H_i 为当前斑块类型的人为干扰度相对值。

1.3.3 景观格局指数计算。基于研究区域景观分布特点以及景观格局指数的生态学意义,从景观水平上选取 6 个景观格局指数分析量化金义都市新区景观格局对人类干扰活动的空间尺度上的响应关系,包括斑块数量(NP),斑块密度(PD),最大斑块占景观面积比(LPI),景观形状指数(LSI),蔓延度指数(CONTAG),香农多样性指数(SHDI),香农均匀度指数(SHEI),景观聚集度指数(AI)。指数计算方法、含义和公式见文献[24]。

2 结果与分析

2.1 土地利用类型的景观格局分布特征 计算金义都市新区 2016 年不同利用类型的土地景观格局指数,结果见表 1。结合表 1 与图 2 可知:该区域用地类型以耕地和林地为主,斑块类型面积(CA)分别为 24 255.26 与 23 527.35 hm^2 ,分别占比 40.64% 和 39.42%。城镇与建设用地面积次之,为 8 968.77 hm^2 ;草地与湖泊斑块密度(PD)远大于其他利用类型土地,结合图 2 可知,草地与湖泊零散分布于整个区域,破碎化程度高,耕地、林地、河流斑块 PD 值小,破碎化程度低;金义都市新区处于初期发展阶段,城镇与建设用地并未连成片状,最大斑块占景观面积比(LPI)小;各类土地形状指标(LSI)均远大于 1,表明景观形状比较复杂;分布较为集中的滩地、草地、耕地、林地以及未利用地的景观连接度(CONNECT)较高,而较为散布的城镇与建设用地以及湖泊连接度较低;林地主要分布于研究区域四角,聚合度(AI)高,耕地分布于研究区域中部地区,聚合度也较高。

2.2 不同空间尺度下人为干扰度分析 参考前人的研究^[25],并结合实际情况将金义都市新区人为干扰强度划分为 5 个等级:低干扰强度($\text{HI} \leq 3$)、中低干扰强度($3 < \text{HI} \leq 4$)、中干扰强度($4 < \text{HI} \leq 5$)、中高干扰强度($5 < \text{HI} \leq 6$)、高干扰强度($6 < \text{HI} \leq 7$)。生成不同尺度下的人为干扰度空间分布图,见图 3。

从图 3 整体可看出,研究区域大体上呈现中间高干扰,四周低干扰的分布趋势。干扰低值区($\text{HI} < 4$)主要分布在研

究区域东、北、南、西北四角,该区域多为山地,地势较高,多分布林地,人类活动较弱。干扰高值区(HI>5)主要分布在金衢盆地内部,沿杭金衢高速和沪昆高速铁路(金义线)沿线,自西南向东北。该区域地形平坦,起伏较小,从整体上

看,自2012年新区启动以来,研究区域中部人类活动显著,使该区域人为干扰度分布情况。人为干扰强度较高,成为中高干扰强度区和高干扰强度区。

表1 不同利用类型土地景观格局指数

Table 1 Landscape pattern index of different land use types

土地利用类型 Land use type	斑块面积 CA//hm ²	斑块密度 PD	最大斑块占景观面积比 LPI	景观形状指数 LSI	蔓延度 CONTAG	景观聚集度 AI
草地 Grassland	255.15	39.19	12.73	11.81	2.61	79.20
城镇与建设用地 Towns and construction land	8 968.77	3.82	14.85	23.81	0.57	92.75
耕地 Cultivated land	24 255.26	0.32	70.44	28.66	2.47	95.51
河流 River	791.01	0.25	92.32	11.38	0	88.78
湖泊 Lake	1 289.34	15.43	19.43	18.48	0.44	85.24
林地 Woodland	23 527.35	1.42	39.78	22.92	1.36	97.70
滩地 Beach	130.95	8.40	27.77	8.23	20.00	80.34
未利用地 Unutilized land	463.50	5.18	26.68	8.15	3.99	89.85

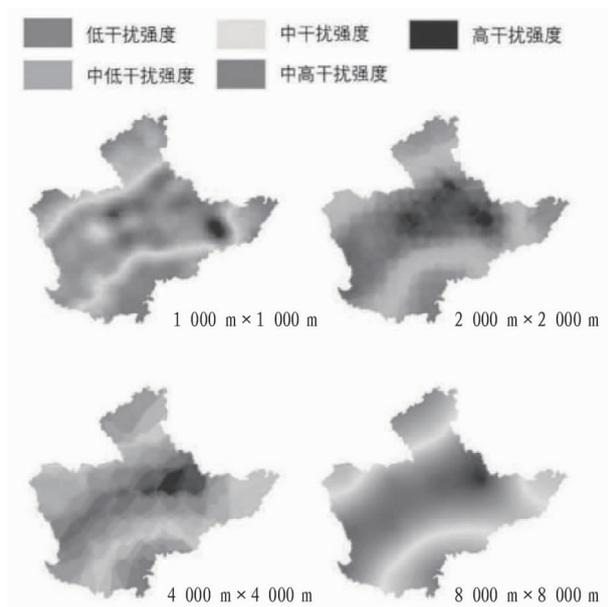


图3 不同尺度的人为干扰度空间分布

Fig.3 Spatial distribution map of hemeroby at different scales

从图3看,评价单元空间尺度越小,干扰细节越显著,干扰的异质性和干扰细节差异越明显,便于直观地了解研究区域人为干扰度空间分布状况。结合表2分析如下:1 000 m、2 000 m以及4 000 m尺度下,均为中高干扰等级评价单元面积最大,而面积最小的为高干扰等级与中低干扰等级的评价单元;尺度越小,如1 000 m尺度下,计算工作量大,但是相应的精确度高。而在4 000 m与8 000 m尺度下,面积占比较小的高干扰等级单元被面积占比较高的单元均值化,面积为0,所以尺度越大,计算工作量越小,但是结果越粗略,极值往往被均值化,以至于不能表现干扰度的空间细节差异。

2.3 不同空间尺度景观格局指数与人为干扰度相关分析 将景观格局指数(NP、PD、LPI、LSI、CONTAG、SHDI、SHEI、AI)与人为干扰度进行Pearson相关分析。结果表明(表3),在2 000 m尺度下,AI与人为干扰度均呈显著负相关,表明随着人类活动增强,所有斑块不断破碎化,呈间断分布,AI值越小。

在4 000 m的空间尺度下,PD与人为干扰度呈显著正相关,表明人为干扰强度越大,斑块破碎化程度越高,PD值则

表2 各干扰等级面积汇总

Table 2 Interference levels area

空间尺度 Spatial scale	低干扰 Low interference	中低干扰 Medium and low interference	中干扰 Medium interference	中高干扰 Medium high interference	高干扰 High interference
1 000 m×1 000 m	191.66	83.17	159.26	224.32	38.37
2 000 m×2 000 m	171.19	114.28	155.08	238.68	20.18
4 000 m×4 000 m	188.14	58.42	158.97	275.27	0
8 000 m×8 000 m	76.10	246.12	139.35	234.61	0

越大;SHDI、SHEI均与人为干扰度呈显著正相关,此阶段研究区域正处于快速发展初期,区域景观异质性随着人类活动加强而增加,多样性(SHDI)增加,并持续增加一段时间,干扰度大的斑块不断扩大,兼并区域内原本占大部分面积的林地与耕地斑块,各组分均匀程度越来越高,SHEI越大;人为干扰度高的城镇与建设用地等斑块占景观主导位置;而

CONTAG与人为干扰度呈显著负相关,表明人类的开发建设导致金义新区中原完整的斑块类型更大限度的趋于破碎化与间断分布,CONTAG值越小。

综上所述,结合刘吉平等^[10]、刘富强等^[9]的研究成果,发现景观格局指数对人为干扰度的变化存在一定响应,但不同地区、不同时间段、不同空间尺度时,景观格局指数对人为

干扰度的响应不同。而金义都市新区建设过程中,中部平原地区的人类活动不断加强,导致 PD、CONTAG、SHDI、SHEI 以及 AI 都对人类活动均做出不同程度的响应,可较好地表征人为干扰的方向与强弱。在该研究案例中,空间尺度为

4 000 m 时,PD、CONTAG、SHDI、SHEI、AI 均与人为干扰度呈显著相关性,即分析景观格局指数与人为干扰度的尺度响应问题时,空间评价单元尺度过大或过小均不恰当。在金义都市新区中,选取空间尺度为 4 000 m 效果较好。

表 3 金义都市新区景观格局指数与人为干扰度之间 Pearson 相关系数

Table 3 Pearson correlation coefficient between landscape pattern index and hemeroby in Jinyi New District

景观格局指数 Landscape pattern index	空间尺度 Spatial scale			
	1 000 m×1 000 m	2 000 m×2 000 m	4 000 m×4 000 m	8 000 m×8 000 m
NP	-0.213	-0.086	0.323	0.531
PD	0.234	0.147	0.361 *	-0.158
LPI	0.118	0.499	0.261	0.445
LSI	-0.197	-0.460	-0.176	-0.184
CONTAG	-0.127	-0.299	-0.467 **	-0.425
SHDI	0.048	0.132	0.529 **	0.508
SHEI	0.180	0.242	0.492 **	0.415
AI	-0.214	-0.479 **	-0.162	-0.328

注: *、** 分别表示在 0.05、0.01 水平上显著相关

Note: *, ** indicate significant correlation at 0.05 and 0.01 levels, respectively

3 结论与讨论

(1) 研究区域呈现四周低干扰、中间高干扰的现状,原因主要归结于地形与交通,地势低,交通沿线的区域,人类活动较强,城市建设发展较好,人为干扰强度等级偏高;而四周地势较高区域,多分布林地,不便于开展城市建设,人为干扰强度较低。

(2) 通过对金义都市新区的人为干扰强度与景观格局指数的 Pearson 相关性分析,可以明确人类活动对其景观格局指数的值有显著影响,主要表现在 PD、SHDI、SHEI 随着人类活动的增强即人为干扰强度的增加而增加;而 CONTAG 及 AI 随着人为干扰度强度的增强而减小。表明人为干扰强度变化也是影响景观指数变化的驱动因素之一。

(3) 从空间尺度方面来看,该研究分别分析每个尺度下,相关景观格局指数与人为干扰度的 Pearson 相关性。结果表明,当空间尺度为 2 000 m 和 4 000 m 时,相应景观格局指数与人为干扰强度呈现显著相关性。

(4) 该研究以 2016 年的金义都市新区为例,探讨在区县尺度下,景观格局指数与人文干扰度的相关性。彼时金义都市新区正处于初期快速发展城市建设阶段,人类活动迅速增加,对景观格局的干扰加强,相应指数也做出相应。而当选取不同空间尺度的评价单元时,工作量及结果不同,通过对比选取最优尺度区间。结果表明,当研究区域为发展初期的区县时,选取空间尺度为 4 000 m 探讨人为干扰度与景观格局指数问题最佳。

该研究利用不同空间尺度下的不同评价单元,通过对比不同评价单元的人为干扰度值与对应景观指数的相关性,对研究区域进行分析,以达到对比分析的效果。对于尺度的选取仍存在进一步研究的可能,在该研究中没有深入探讨,在将来的研究中有待完善。该研究以金义都市新区为例,探讨与此区域面积相近的发展中的区县区域的景观指数与人为干扰度相关性,给相似研究区域的研究工作提供一个空间尺

度上的参考。

参考文献

- [1] 肖笃宁,李秀珍,高峻,等.景观生态学[M].北京:科学出版社,2003.
- [2] 郭建国.景观生态学:格局、过程、尺度与等级[M].北京:高等教育出版社,2001:157.
- [3] 傅伯杰,陈利顶,马克明,等.景观生态学原理及应用[M].北京:科学出版社,2001.
- [4] 陈文波,肖笃宁,李秀珍.景观空分析的特征和主要内容[J].生态学报,2002,22(7):1135-1142.
- [5] 陈利顶,刘洋,吕一河,等.景观生态学中的格局分析:现状、困境与未来[J].生态学报,2008,28(11):5521-5531.
- [6] JALAS J.Hemerobic and hemerobic plant species: An attempt at terminological reform[J].Acta Soc Pro Fauna Flora Fenn,1955,72:1-15.
- [7] 陈爱莲,朱博勤,陈利顶,等.双台河口湿地景观及生态干扰度的动态变化[J].应用生态学报,2010,21(5):1120-1128.
- [8] 梁发超,刘黎明.景观格局的人类干扰强度定量分析与生态功能区优化初探:以福建省闽清县为例[J].资源科学,2011,33(6):1138-1144.
- [9] 刘吉平,董春月,盛连喜,等.1955~2010 年小三江平原沼泽湿地景观格局变化及其对人为干扰的响应[J].地理科学,2016,36(6):879-887.
- [10] 刘富强,吴涛,蒋国俊,等.海岸线与海岸景观格局对人为干扰度的动态响应:以营口市南部海岸为例[J].生态学报,2017,37(22):7427-7437.
- [11] 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[J].中国生态农业学报,2010,18(5):1076-1080.
- [12] 黄奕龙,陈利顶,傅伯杰,等.黄土丘陵小流域地形和土地利用对土壤水分时空格局的影响[J].第四纪研究,2003,23(3):334-342.
- [13] 邓祥征,战金艳.中国北方农牧交错带土地利用变化驱动力的尺度效应分析[J].地理与地理信息科学,2004,20(3):64-68.
- [14] 齐治军.黄土丘陵区小流域水土流失的尺度效应[D].杨凌:西北农林科技大学,2010.
- [15] 徐丽,卞晓庆,秦小林,等.空间粒度变化对合肥市景观格局指数的影响[J].应用生态学报,2010,21(5):1167-1173.
- [16] 杨丽,甄霖,谢高地,等.泾河流域景观指数的粒度效应分析[J].资源科学,2007,29(2):183-187.
- [17] 李小马,刘常富.景观格局指数的粒度效应:以沈阳城市森林为例[J].西北林学院学报,2009,24(2):166-170.
- [18] 赵文武,傅伯杰,陈利顶.景观指数的粒度变化效应[J].第四纪研究,2003,23(3):326-333.
- [19] 申卫军,郭建国,林永标,等.空间粒度变化对景观格局分析的影响[J].生态学报,2003,23(12):2506-2519.
- [20] 李明杰,钱乐祥,夏丽华,等.汕头市土地利用景观指数粒度效应初探[J].地理与地理信息科学,2008,24(6):93-96.

(下转第 89 页)

究生态修复设计,充分利用现状低洼地,挖掘成永久性生态塘,并设置木床石块等营造不同的生存环境,模拟自然环境中此类水体的生境特征,使其成为鱼类和小型水生生物的栖息地,并成为林中小型兽类的饮水以及觅食场所。

3.3.3 驳岸设计。坑西浅滩湿地现状驳岸多为自然驳岸,部分被开垦为耕地的驳岸,土层深厚,容易受到洪水冲刷,造成水土流失。根据驳岸所处位置及环境条件,驳岸处理方式可分为抛石驳岸、生态沟驳岸、自然草坡入水驳岸、杉木桩驳岸。坑西浅滩湿地南段直接面临洪水冲刷的危险,驳岸处理方式宜采用大块抛石驳岸,降低洪水对土壤的冲刷力度,防止水土流失。坑西浅滩湿地新疏浚的内河水系两侧,宜采用生态沟驳岸,水流冲刷力度小,水浅,易于植物及鱼类、两栖类动物生长。坑西浅滩湿地与堤坝之间,现状有 3~15 m 宽河道,水流缓慢,驳岸边上现状植被生长良好,宜采用自然草坡入水驳岸。坑西浅滩湿地北段,洪水季节会回流,存在冲刷,与南段比较,力度较轻,宜采用杉木桩驳岸。

4 结论与讨论

坑西浅滩湿地南段、中段、北段风貌各有不同,又连为一体。各段所处位置不同,环境条件各异,该研究案例因地制宜,南段突出自然教育功能,中段采取生态保育措施,北段营造低成本、低维护花海景观。修复了坑西浅滩湿地生态环境的同时,也为当地市民提供了不可多得的体验野趣、欣赏优美景观的场所。此次浅滩湿地生态修复设计对项目地原风貌的保护、修复具有重要的意义,也为此种类型的浅滩湿地的生态修复提供了一个范本,具有良好的借鉴意义。

本着适地适树的原则,在保育现状森林群落的同时,通过补植枫杨、杞柳、乌桕等乡土树种,形成更大的森林斑块,发挥其生态效益。林草结合,为鸟类、两栖类等动物提供栖息、繁衍、生存的场所,同时也增添了野趣。地被植物选用红蓼、活血丹、狼尾草、石菖蒲(*Acorus gramineus*)、姜花(*Hedychium coronarium*)、荚果蕨(*Matteuccia struthiopteris*)等以适应湿地中阴、湿等不同生境,水生植物选用芦苇、芦竹(*Arundo*

donax)、再力花(*Thalia dealbata*)、香蒲(*Typha orientalis*)、灯芯草、荷花、菱角等丰富生物多样性、呈现良好的景观效果,稳固湿地生态系统。

通过河道网络体系的疏浚、贯通,打通脉络,加强与外界的物质和能量交换,可以使湿地焕发生机。抛石驳岸、生态沟驳岸、自然草坡入水驳岸、杉木桩驳岸这 4 种驳岸处理方式,稳固湿地边坡,易于植物生长,造价低廉,生态环保。

该研究采用生态保育、适量补植措施以及低成本、生态环保工程辅助手段,对同类湿地的生态修复设计具有积极的借鉴、参考意义,同时,具体化的植物品种、工程措施也存在地域局限性。盐沼湿地、被污染的湿地、海滨湿地等其他类型的湿地,也需要根据其具体的环境状况,制定切实可行的植物、微生物、工程技术等措施^[7-10]。湿地的生态修复不仅需要前期的规划、设计指导,也不是一个阶段的建设就能彻底解决问题,更需要持续不断地跟进、研究和调整^[11-12]。

参考文献

- [1] 燕艳.中国湿地简述[J].生物学杂志,2002,19(6):59-60.
- [2] 周在明,杨燕明,陈本清.滩涂湿地入侵种互花米草植被覆盖度的高空间分辨率遥感估算[J].生态学报,2017,37(2):505-512.
- [3] 王文君,黄道明.国内外河流生态修复研究进展[J].水生态学杂志,2012,33(4):142-146.
- [4] 董哲仁.生态水工学的理论框架[J].水利学报,2003(1):1-6.
- [5] 叶郁.宁波大目湾景观水系栖息地修复的低技生态工法研究与实践[J].动感(生态城市与绿色建筑),2015(Z1):99-103.
- [6] 张敏秋,张君伟,杨文明.生态工法在北京凉水河干流综合整治工程中的应用[J].海河水利,2009(5):72-73.
- [7] 王卿,汪承焕,黄沈发,等.盐沼植物群落研究进展:分布、演替及影响因素[J].生态环境学报,2012,21(2):375-388.
- [8] 熊瑶,杨云峰.天然类城市湿地恢复与重建策略:以芜湖太阳埠湿地公园建设为例[J].林业科技开发,2014,28(1):133-138.
- [9] 罗新正,朱坦,孙广友.松嫩平原大安古河道湿地的恢复与重建[J].生态学报,2003,23(2):244-250.
- [10] 张明祥,刘国强,唐小平.湿地恢复的技术与方法研究[J].湿地科学与管理,2009,5(3):12-15.
- [11] 崔保山,蔡燕子,谢焱,等.湿地水文连通的生态效应研究进展及发展趋势[J].北京师范大学学报(自然科学版),2016,52(6):738-746.
- [12] 赵进勇,董哲仁,孙东亚,等.河流生态修复负反馈调节规划设计方法[J].水利水电技术,2010,41(9):10-14.
- [13] 孙永光,赵冬至,吴涛,等.河口湿地人为干扰度时空动态及景观响应:以大洋河口为例[J].生态学报,2012,32(12):3645-3655.
- [14] 郭建国.景观生态学[M].2版.北京:科学出版社,2010.
- [15] 傅伯杰,陈利顶,马克明,等.景观生态学原理及应用[M].2版.北京:科学出版社,2011.

(上接第 62 页)

- [21] 肖翠,解雪峰,吴涛,等.浙江西门岛湿地景观格局与人为干扰度动态变化[J].应用生态学报,2014,25(11):3255-3262.
- [22] 于立忠,朱教君,闫巧玲,等.森林干扰度评价方法及应用:以中国科学院沈阳应用生态研究所清原森林生态实验站为例[J].中国生态农业学报,2010,18(2):388-392.