

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.[Liu Jiping, Dong Chunyue, Sheng Lianxi et al. Landscape Pattern Change of the Marsh and Its Response to Human Disturbance in the Small Sanjiang Plain, 1955-2010. Scientia Geographica Sinica, 2016, 36(6): 879-887.] doi: 10.13249/j.cnki.sgs.2016.06.010

# 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

刘吉平<sup>1,2</sup>,董春月<sup>1</sup>,盛连喜<sup>2</sup>,刘雁<sup>1,2</sup>

(1.吉林师范大学旅游与地理科学学院,吉林 四平 136000;2.东北师范大学国家环境保护  
湿地生态与植被恢复重点实验室,吉林 长春 130024)

**摘要:**以湿地变化较为剧烈的小三江平原为研究区域,以1955~2010年的地形图和Landsat TM遥感数据为数据源,采用网格分析法研究景观指数的时空分异规律,并分析不同时期人为干扰度对景观格局指数的影响。结果表明:①从时间上看,1955~2010年小三江平原沼泽湿地的面积和最大斑块逐渐减小,斑块占景观比从52.87%下降到10.41%,最大斑块减少了47.6%,破碎化和分散性逐渐增加,连接度从1.02%增加到2.88%后下降为0.79%,呈先增加后降低的趋势,斑块的形状由复杂变得简单后又变得复杂,人为干扰度逐渐增加,从0.31%增加到0.6%;②从空间上看,1955年研究区沼泽湿地景观由西南向东北破碎化逐渐减弱,1986年后变为由西南向东北破碎化逐渐增加的格局。沼泽湿地斑块类型所占景观面积比例和连接度指数的高值区主要分布在研究区的中部和东北部。人为干扰度的空间分布格局是由西南向东北逐渐减弱;③1955~2010年人为干扰对小三江平原沼泽湿地的邻近与连接程度的影响逐渐减弱,对沼泽湿地边缘密度影响逐渐增强,人为干扰对沼泽湿地斑块密度的影响主要受沼泽湿地面积的影响,人为干扰对沼泽湿地斑块的形状影响较小,沼泽湿地的优势景观控制力逐渐下降,人为干扰是小三江平原湿地面积减少的主要原因。

**关键词:**沼泽湿地;景观格局;人为干扰;小三江平原

**中图分类号:**P901 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-0690(2016)06-0879-09

景观格局变化是各种自然和人为干扰因素综合作用的结果,它影响着景观内物种的丰富度、分布、种群的生存能力及抗干扰能力,同时影响到该景观的生态过程和边缘效应<sup>[1]</sup>,因此景观格局变化及其驱动机制分析是地理学和景观生态学领域长期关注的热点问题<sup>[2]</sup>。人类活动对景观格局的影响尤为突出,其中湿地景观格局受到的影响最为严重<sup>[3]</sup>,如何定量监测湿地景观格局的时空分异规律,并分析其与人为干扰之间的关系,对湿地生态系统的保护与管理具有重要意义。

目前国内外主要采用景观格局指数和景观动态变化模型研究湿地景观格局演变特征<sup>[4]</sup>,其中景观格局指数是景观格局信息的高度概况,是反映景观结构组成、空间配置特征的量化指标<sup>[5]</sup>。国内

外一些学者利用景观格局指数比较不同景观之间的结构特征,揭示了湿地景观格局动态变化过程及其时空规律,均取得了较好的效果<sup>[4,6-10]</sup>。国内外学者对区域内综合湿地景观指数研究较多,但对湿地景观指数的区域内的空间分异研究相对较少<sup>[11]</sup>。人为干扰度是与自然度相对立的概念,最早描述的是人类活动对一个森林生态系统的影响指数<sup>[14]</sup>,现已经被广泛地应用于农、林、景观以及城市等诸多领域的生态评价研究<sup>[13]</sup>,特别是人为干扰度对湿地的影响研究,人为干扰活动的空间辨识与空间分析已经成为湿地研究热点问题之一<sup>[16-19]</sup>。三江平原曾经是中国最大的沼泽湿地集中分布区,现在被青藏高原沼泽湿地所替代而成为沼泽湿地第二大分布区<sup>[20,21]</sup>,因此本文以湿地变化较为剧烈的

**收稿日期:**2015-05-18; **修订日期:**2015-08-13

**基金项目:**教育部新世纪优秀人才支持计划项目(NCET-12-0730)资助。[Foundation: Program for New Century Excellent Talents in University(NCET-12-0730).]

**作者简介:**刘吉平(1972-),男,山东菏泽人,教授,主要从事湿地生态学研究。E-mail: liujpjl@163.com

小三江平原为研究区域,采用网格分析法研究景观指数的时空分异规律,并分析不同时期人为干扰度对景观格局指数的影响,为湿地格局优化、湿地评价以及稳定或改善区域生态环境提供科学依据。

## 1 研究区域与研究方法

### 1.1 研究区域概况

小三江平原是位于完达山脉以北的三江平原,地理位置是 $45^{\circ}26'0''\text{N}$ ~ $48^{\circ}22'50''\text{N}$ , $131^{\circ}43'20''\text{E}$ ~ $134^{\circ}46'40''\text{E}$ ,土地总面积为 $4.55\times 10^4\text{km}^2$ ,其中78.4%为平原,21.6%为山地,该区是由黑龙江、乌苏里江和松花江三条河流冲积形成的冲积平原,淡水沼泽湿地特别发育。小三江平原属温带湿润、半湿润大陆性季风气候区,年均气温 $2.5\sim 3.6^{\circ}\text{C}$ ,年降水量 $500\sim 600\text{mm}$ ,气候湿润。境内主要河流有挠力河、别拉洪河和浓江河,地貌类型主要有河漫滩、古河道漫滩、凹地、河流阶地及山前台地。土壤类型主要有草甸土、白浆土、暗棕壤、沼泽土和黑土,土地的自然肥力较高。三江平原包括佳木斯市、双鸭山市所属的9个县(市)<sup>[22]</sup>,境内有建三江农场管理局管辖的14个农场和红兴隆管理局管辖的10个农场,共有105.2万人。

### 1.2 数据来源与处理

小三江平原景观类型图数据源的时间范围是1955~2010年,分别为1955年、1965年、1976年、1986年、1996年和2010年。不同时期数据源的获取方式有所不同:1955年和1965年的数据根据研究区1955年和1965年的1:100 000地形图获得;1976年采用MSS影像,空间分辨率为80 m;1986年、1996年和2010年的数据源来自于Landsat TM遥感数据,空间分辨率为30 m。1976~2010年遥感数据时相均为5月中旬~9月中旬。

由于各数据源的比例尺和分辨率不同,为了便于在同一尺度上进行研究,进行数字化和遥感影像解译前进行数据预处理,将所有数据的空间分辨率重采样成80 m。对于地形图,直接进行扫描和数字化。TM遥感数据进行4、3、2波段和MSS影像进行7、5、4波段标准假彩色合成,对遥感影像进行几何精校正和图像增强处理,建立图像解译标志。为提高分类精度,采用人机交互式解译方法,并采用抽样统计精度验证法,经野外验证和高分辨率遥感影像检验,数据解译整体精度达90%以上,满足本研究的要求。

### 1.3 研究方法

采用景观格局指数比较法,在类型尺度水平上进行景观指数的计算,以描述研究区的湿地景观格局特征。参考相关文献<sup>[7-13]</sup>,结合研究区的实际情况<sup>[21-23]</sup>,分析的景观指数主要包括斑块类型所占景观面积比例(PLAND)、最大斑块指数(LPI)、斑块密度(PD)、边缘密度(ED)、周长面积比(PARA)、聚合度(AI)和连接度(CONNECT)。各景观指数模型的计算公式参见文献<sup>[5]</sup>。

为了直观的分析三江平原1955~2010年6个时期景观指数的空间变化,运用网格分析法研究景观指数的区域内差异。参照前人研究<sup>[24,25]</sup>与研究区的大小范围,本文网格大小采用 $30\text{km}\times 30\text{km}$ 。具体操作是,首先运用ArcGIS 9.3生成大小为 $30\text{km}\times 30\text{km}$ 的网格,共划分52个网格,然后计算不同时期各网格的景观指数,并采用Kring插值对景观指数进行插值,得到不同时期三江平原景观指数的空间分布图,受沼泽湿地空间分布异质性的影响,使部分景观指数呈现偏态分布,为了避免其影响,将呈偏态分布的景观指数进行变换,转换成正态分布。受篇幅限制,本文主要分析PLAND、PD、PARA和CONNECT 4个典型景观格局指数1955年、1986年和2010年的空间分异规律。

根据前人的研究成果<sup>[15-19]</sup>,结合研究区的景观类型和实际情况<sup>[21-23]</sup>,对研究区的12种景观类型进行人为干扰指数赋值(表1)。

表1 景观类型人为干扰度赋值表

Table 1 Landscape type with respect to hemeroby index

干扰类型	景观类型	干扰度指数
无干扰(几乎无人为干扰)	沼泽湿地	0.10
	河流	0.20
	湖泊	0.23
	林地	0.55
半干扰(人为、自然作用参半,主要为农业、养殖业等生态系统)	草地	0.58
	水田	0.65
	旱田	0.70
	灌排沟渠	0.50
	水库坑塘	0.30
全干扰(人造地物如公路等)	交用地	0.99
	居民用地	0.95
	工矿用地	0.98

根据下式计算某个网格单元的人为干扰度:

$$D = \frac{\sum_{i=1}^m HI_i \cdot S_i}{S} \quad (1)$$

式中: $D$ 为某个网格单元的人为干扰度, $HI_i$ 为第 $i$ 类景观类型的干扰度指数, $S_i$ 为第 $i$ 类景观类型的面积, $S$ 为网格单元的总面积。

计算每个网格单元的人为干扰度,然后利用SPSS软件计算人为干扰度与景观指数的Pearson相关系数,分析景观格局变化对人为干扰的响应。

## 2 结果与分析

### 2.1 沼泽湿地景观指数的时间变化

利用景观指数分析软件Fragstats计算1955~2010年小三江平原的沼泽湿地景观指数(表2),分析小三江平原沼泽湿地景观指数的时间变化规律。

由表2可以看出,1955~2010年小三江平原沼泽湿地景观的PLAND、LPI、ED和AI呈现逐渐下降的趋势;而PD呈现螺旋式上升的趋势;CONNECT呈现先增加后降低的趋势,最大值出现在1965年;周长面积比率指数呈先降低后增加的趋势,最小值出现在1986年。景观指数的变化规律表明,1955~2010年小三江平原沼泽湿地景观的面积和最大斑块逐渐减小,破碎化和分散性逐渐增加,连接性先增加后降低,转变点发生在1965年。在1955~1965年,出现了第一次开荒高潮,主要是以开发面积较大、连接成片的大块湿地为主,造成大面积的湿地斑块数量减少,小面积的湿地斑块数量增加,这是造成1965年连接性增加的主要原因,而1965年以后的第二次、第三次开荒高潮,不但使大面积的湿地破碎化,而且使泡沼、岛状林和灌丛等小面积湿地斑块的数量丧失也极为严重<sup>[26]</sup>,加上该地区的气候波动<sup>[27]</sup>,使1965年以后小三江平原沼泽湿地景观的连接性逐渐降低。沼泽湿地

斑块的形状由复杂变得简单后又变得复杂,转变点发生在1986年,在20世纪50年代,小三江平原以湿地作为基底景观,集中连片,受人为干扰程度较小,湿地斑块的形状较复杂,但是经过3次开荒高潮后,大面积湿地面积转化为农田<sup>[28]</sup>,湿地斑块的形状也由复杂逐渐变得简单,直到1986年,在小三江平原建立自然保护区以及对湿地进行合理规划,使得湿地得以保护<sup>[23-29]</sup>,沼泽湿地斑块的形状也由简单又变得复杂。

### 2.2 沼泽湿地景观指数的时空分异

利用ArcGIS 9.3软件制作出小三江平原沼泽湿地PLAND空间分布情况如图1。1955~1986年,沼泽湿地斑块类型所占景观面积比例在小三江平原中部和东北部一直有2个高值区,而小三江平原的西部和西南部有一低值区,到2010年这种格局发生了明显改变,PLAND的分布格局变为由西南向东北逐渐增加的趋势,最大值出现在小三江平原的东北部。PLAND主要受湿地分布格局控制。

小三江平原沼泽湿地PD空间分布情况如图2。可以看出,1955年小三江平原中部沼泽湿地斑块密度较低,而四周相对较高,说明1955年小三江平原沼泽湿地破碎化主要分布在四周。这种分布格局到1986年后发生了改变,沼泽湿地破碎化逐渐向小三江平原的北部和东部转移,而西部和南部破碎化的沼泽湿地逐渐减小。

小三江平原沼泽湿地周长面积比空间分布情况如图3。可以看出,小三江平原沼泽湿地斑块形状空间变异较大,1955~1986年研究区的中部沼泽湿地斑块形状较复杂,2010年沼泽湿地斑块形状变为由南向北逐渐复杂。

小三江平原沼泽湿地CONNECT空间分布情况如图4。小三江平原沼泽湿地的连接度高值呈斑块状分布,主要分布在研究区的中部和东部地

表2 1955~2010年小三江平原沼泽湿地景观指数变化

Table 2 The dynamic variation of marsh landscape index in small Sanjiang Plain in 1955-2010

景观指数	1955年	1965年	1976年	1986年	1996年	2010年
PLAND(%)	52.87	37.25	21.32	20.16	15.00	10.41
LPI(%)	50.17	35.82	9.31	7.42	5.95	2.57
PD(个/km <sup>2</sup> )	0.0045	0.0017	0.0048	0.0032	0.0063	0.0050
ED(m/hm <sup>2</sup> )	2.1	1.59	2.02	1.64	1.57	1.12
PARA	23.78	22.08	21.79	20.57	22.25	22.28
AI(%)	85.91	84.97	65.42	70.55	61.8	61.1
CONNECT(%)	1.02	2.88	1.41	1.33	0.79	0.79



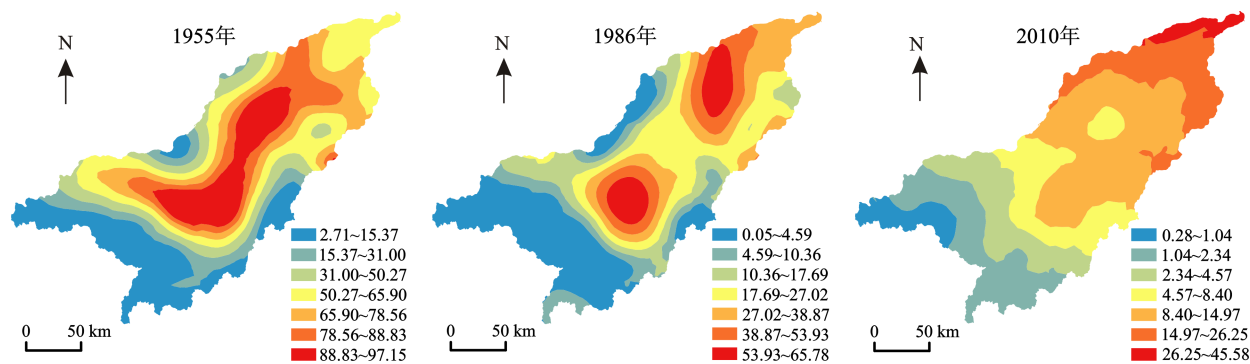


图1 小三江平原沼泽湿地PLAND空间分布

Fig.1 The spatial distribution of marsh landscape patch area ratio in the small Sanjiang Plain

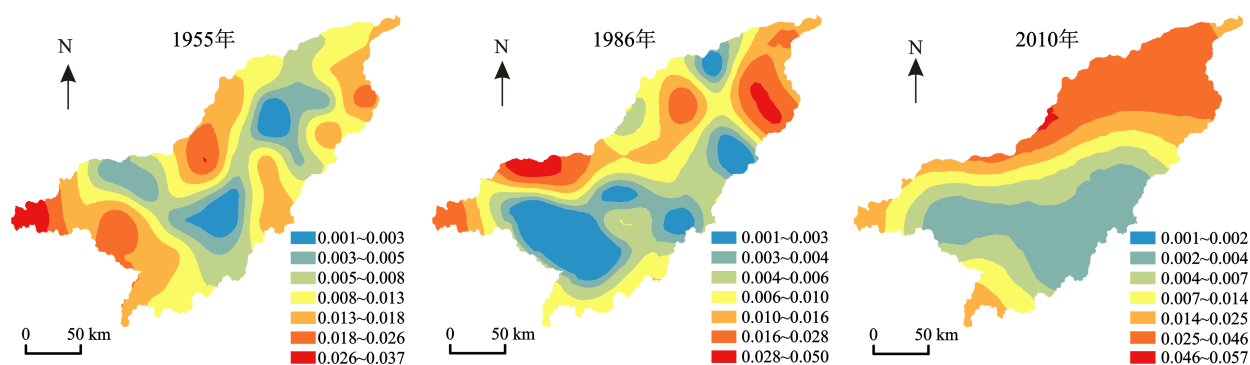


图2 小三江平原沼泽湿地PD空间分布

Fig.2 The distribution of marsh patch density in the small Sanjiang Plain

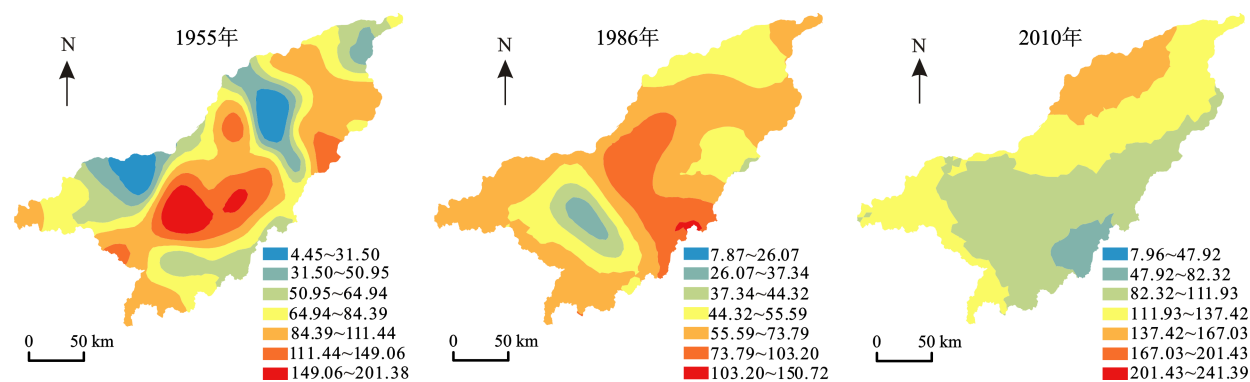


图3 小三江平原沼泽湿地周长面积比(PARA)空间分布

Fig.3 The distribution of marsh perimeter area ratio(PARA) in the small Sanjiang Plain

区,而低值区主要分布在西部和南部。

### 2.3 沼泽湿地景观格局变化对人为干扰的响应

小三江平原人为干扰度的空间分布情况如图5。可以看出,小三江平原人为干扰较强的地区是研究区的西部和南部,而人为干扰较弱的地区主要位于研究区的中部和北部,人为干扰度由西南向东北逐渐增强。1955~1986年研究区的中部一

直有一个人为干扰较小的中心,而1986年后这个低值中心转向研究区的东北部。从时间上来看,1955~2010年小三江平原人为干扰逐渐增强,且在1955~1976年人为干扰增强的幅度较大,而1976~2010年人为干扰增强的幅度放缓(图6)。自20世纪50年代到1976年,由于大量移民的涌入和农垦部队的进入,大量沼泽湿地在此期间不断被开垦

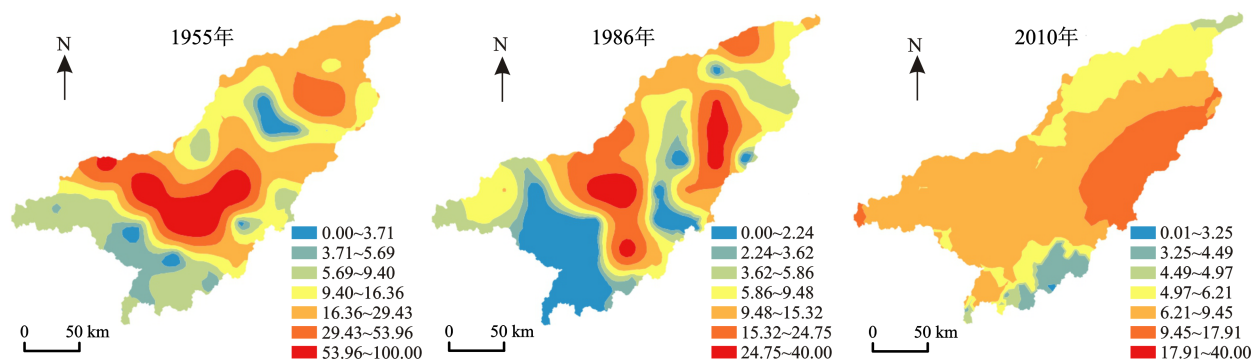


图4 小三江平原沼泽湿地CONNECT空间分布

Fig.4 The distribution of marsh connect in small Sanjiang Plain

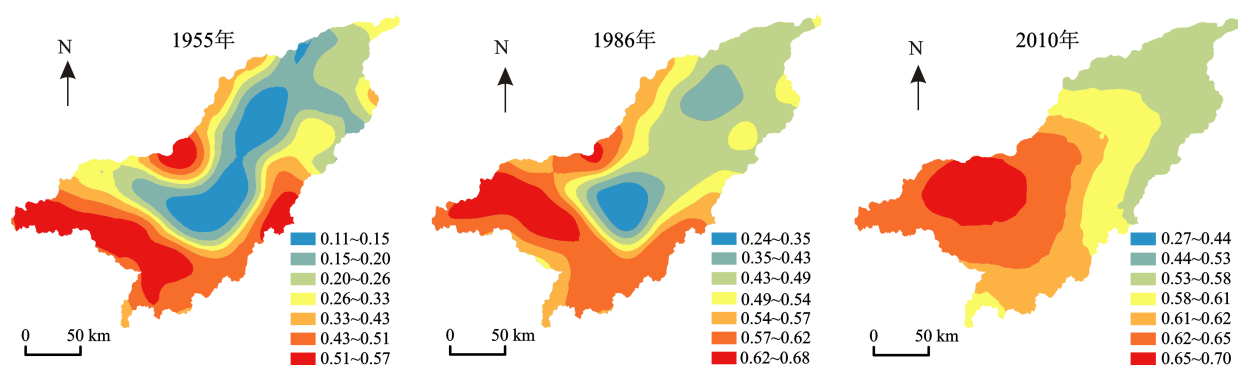


图5 1955~2010年小三江平原人为干扰度的空间分布

Fig.5 The distribution of hemeroby index in the small Sanjiang Plain in 1955-2010

为农田,受人为干扰程度较大。而在改革开放以后,虽然开垦速度明显加快,但总体而言,小三江平原农垦系统的人口与耕地基本在1976年左右达到稳定状态<sup>[31]</sup>,而且在1986年前后相继建立自然保护区,对小三江平原的沼泽湿地进行恢复保护工作<sup>[23-30]</sup>,所以在1976~2010年人为干扰增强的幅度放缓。

人为干扰度与景观指数的相关分析表明(表3),1955~2010年人为干扰度与PLAND和LPI均呈负相关,且通过了0.01水平上的显著性检验,说明人为干扰是小三江平原湿地面积减少的主要原因。1955年,沼泽湿地作为基底景观,占研究区总面积的53.28%,然而,经过4次大规模农业开发<sup>[28]</sup>,湿地逐渐丧失和破碎化,1955~2010年间,该区开垦的耕地达 $2.336 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,80.06%的沼泽湿地丧失;1955~1996年人为干扰度与AI均呈负相关,且相关性逐渐减弱,而2010年不相关,1955~1965年人为干扰度与CONNECT均呈负相关,1976~2010年不相关,说明人为干扰对沼泽湿地的邻近与连

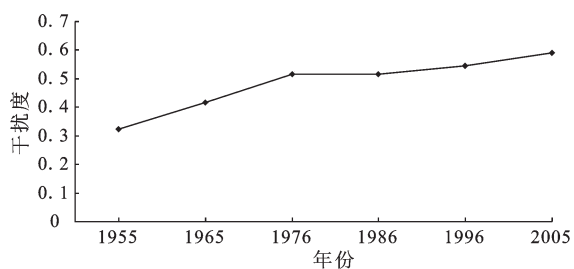


图6 1955~2010年小三江平原人为干扰度的变化

Fig.6 The dynamic variation of hemeroby index in the small Sanjiang Plain in 1955-2010

接程度的影响逐渐减弱;除1955年外,其它年份人为干扰度与ED均呈负相关,说明随着人为干扰的增强,沼泽湿地斑块的边缘在减小;人为干扰度与PD的关系较复杂,表现为1955年正相关,1976年、1996年和2010年负相关,1965年和1986年不相关,说明1955年沼泽湿地面积较大时人为干扰使湿地斑块数量增加,而到后期沼泽湿地面积较小时人为干扰促使湿地斑块数量减少;1955~2010年

表3 人为干扰度与沼泽湿地景观指数的相关系数

Table 3 Correlation between hemeroby and marsh landscape pattern index

景观指数	相关系数	1955年	1965年	1976年	1986年	1996年	2010年
AI(%)	Pearson 相关性	-0.809**	-0.595**	-0.327*	-0.308*	-0.358*	-0.194
	N	52	44	43	47	51	51
CONNECT(%)	Pearson 相关性	-0.660**	-0.454**	0.055	-0.338	0.153	-0.128
	N	48	44	35	33	48	51
ED(m/hm <sup>2</sup> )	Pearson 相关性	0.112	-0.512**	-0.662**	-0.818**	-0.565**	-0.618**
	N	52	44	43	47	51	51
LPI(%)	Pearson 相关性	-0.953**	-0.946**	-0.896**	-0.811**	-0.558**	-0.707**
	N	52	44	43	47	51	51
PARA	Pearson 相关性	-0.18	0.057	-0.262	-0.088	0.146	-0.142
	N	52	44	43	47	51	51
PD(个/km <sup>2</sup> )	Pearson 相关性	0.608**	0.154	-0.305*	-0.118	-0.316*	-0.378**
	N	52	44	43	47	51	51
PLAND(%)	Pearson 相关性	-0.976**	-0.975**	-0.938**	-0.897**	-0.788**	-0.852**
	N	52	44	43	47	51	51

注: \*在 0.05 水平上显著相关, \*\* 在 0.01 水平上显著相关, N为样本数。

人为干扰度与 PARA 均不相关,说明人为干扰对沼泽湿地斑块的形状影响较小。

3 结论与讨论

3.1 结论

1) 1955~2010 年小三江平原沼泽湿地景观的时空格局发生了较大变化。从时间上看,沼泽湿地的面积逐渐减少,破碎化程度逐渐增加,空间连接性先增加后降低,沼泽湿地斑块的形状由复杂变得简单后又变得复杂,最大斑块逐渐减小;从空间分布格局来看,1955 年研究区沼泽湿地景观的原始格局是研究区的西南部破碎化较大,景观较复杂,而中部和东北部沼泽湿地破碎化较小,景观较简单。1986 年后转变为西南部的沼泽湿地的逐渐丧失造成该区沼泽湿地斑块逐渐减少,而中部和东北部沼泽湿地的破碎化逐渐增加。沼泽湿地斑块类型所占景观面积比例和连接度高值区主要分布在小三江平原的中部和东北部。

2) 1955~2010 年小三江平原人为干扰逐渐增加,其中 1955~1976 年人为干扰增强的幅度较大,而 1976~2010 年人为干扰增强的幅度放缓,从空间分布上看,人为干扰由西南向东北逐渐减弱。1955~2010 年沼泽湿地景观格局变化对人为干扰具有明显的响应,人为干扰对小三江平原沼泽湿地的邻近与连接程度的影响逐渐减弱,对沼泽湿地边缘

密度影响逐渐增强,人为干扰与斑块密度的相关性由正相关转为负相关,同时人为干扰度与沼泽湿地景观指数的空间分布有较好的对应关系。

3.2 讨论

人为干扰度对湿地景观格局指数的影响具有阶段性和区域性特征。不同时期、不同区域、不同湿地类型的人类活动强度不同,其对湿地景观格局指数影响的程度也不同。如孙永光等<sup>[17]</sup>对大洋河河口湿地研究表明,人为干扰度指数与斑块数量、边缘密度指数和面积加权的平均斑块分形指数呈正相关,而与平均形状指数相关性不显著;陈鹏等<sup>[16]</sup>对厦门湾滨海湿地研究表明,人为干扰与整体景观指数中的边缘密度、斑块密度、分离度呈正相关,而与最大斑块指数呈典型负相关,人为干扰已成为厦门湾滨海湿地景观格局演变的主要驱动力;李继红<sup>[18]</sup>对宝清县沼泽湿地景观研究表明,人为干扰度与景观格局指数(斑块数量、边缘密度、面积加权的平均形状指数和平均斑块分形指数)空间分布均呈正相关,干扰过程会导致斑块数量和边缘密度呈上长趋势,而面积加权的平均形状指数和平均斑块分形指数呈下降趋势;而本研究的结论与其它研究的结论不尽相同,小三江平原干扰度与边缘密度和最大斑块指数呈负相关,与斑块密度的相关性时正时负,与周长面积比不相关。产生这种结果的原因是本研究计算的是沼泽

湿地类型的景观指数,且对不同时期干扰度对景观指数影响进行分析,而以往研究用的是整体景观指数,且仅分析一个时期人为干扰度与景观指数的关系,同时也说明了人为干扰度对湿地景观格局指数的影响具有阶段性和区域性的特征。1954年沼泽湿地是小三江平原的基底景观<sup>[24]</sup>,对小三江平原的景观格局有控制作用,随着人类开发活动的增强,沼泽湿地的面积逐渐丧失,而到2010年农田变为小三江平原的基底景观<sup>[21]</sup>,小三江平原沼泽湿地对景观格局的控制力逐渐下降,导致干扰度与聚合度及连接度前期相关性较强,而后期相关性减弱或不相关,说明人为干扰已成为小三江平原沼泽湿地景观格局变化的主要驱动力。

人为干扰度影响到景观格局指数的空间分布格局,它同时受地形地貌、湿地分布格局和保护措施的影响。人为干扰在三江平原沼泽湿地景观格局变化过程中起到关键性作用,1955~2010年小三江平原沼泽湿地破碎化由西南向东北转移,主要是由于三江平原人口数量的不断增多,耕地需求量不断上涨,1955~1965年,研究区西南部地势较高,较易开垦,此期间主要对西南部的湿地进行开垦,造成该区域湿地破碎化严重。1965年后,开垦活动逐渐向地形平坦的东北部转移,结果导致大片湿地破碎化,使得沼泽湿地面积不断减少,景观上由原来的湿地基质变为现在的农田基质<sup>[26]</sup>,同时网络化的道路、堤坝和沟渠加剧了湿地的破碎化<sup>[32]</sup>,湿地景观破碎化后致使沼泽湿地的斑块数量增多,因此造成东北部沼泽湿地的破碎化较强。地形地貌是影响沼泽湿地形成和空间分布的主要因素,它影响着沼泽湿地的景观空间结构,并对未来沼泽湿地空间格局的变化起到控制作用<sup>[33]</sup>。研究区西北部和南部为小兴安岭和完达山,地形多为山地,而中、东部地区河流较多,在其流域内形成河流冲积低平原,在河流改道所形成的古河道遗迹和地势低洼地区形成沼泽湿地。在地形地貌因素影响下,研究区的西、北部湿地分布较少,而中、东部地势低洼地区的湿地分布较多,虽然受人类活动影响湿地景观不断破碎化,沼泽湿地数量也不断减少,但沼泽湿地的空间分布格局并未改变,因此造成沼泽湿地斑块所占景观面积比例的空间分布规律与原始湿地分布规律类似,呈现自西南向东北逐渐增加的趋势。研究区西部自然保护区较

少,而研究区东部设立了三江、八岔岛、洪河自然保护区,中部设立了挠力河、七星河自然保护区,保留了大量的沼泽湿地,同时受湿地保护政策影响,在保护区周边农田当中残留了大量的孤立湿地<sup>[34]</sup>,因此从聚散性指标上看,研究区中东部沼泽湿地的连接度较高,而西部沼泽湿地的连接度较低。

景观格局指数的计算结果严重依赖于空间尺度和格网分辨率,而人为干扰度也具有尺度效应,本文仅从30 km×30 km这个尺度探讨了人为干扰与景观格局指数之间的关系,在以后的研究中会更加深入的研究空间尺度对它们关系的影响。另外,景观格局与人为干扰度之间的空间关系,以及它们之间相互作用的机理,还有待于进一步的研究。

## 参考文献(References):

- [1] De Souza Soler L, Verburg P H. Combining remote sensing and household level data for regional scale analysis of land cover change in the Brazilian Amazon[J]. *Regional Environmental Change*, 2010, 10(4): 371-386.
- [2] Wood R, Handley J. Landscape dynamics and the management of change[J]. *Landscape Research*, 2001, 26(1): 45-54.
- [3] Balmford A, Bruner A, Cooper P et al. Economic reasons for conserving wild Nature[J]. *Science (New York, N.Y.)*, 2002, 297(5583): 950-953.
- [4] Fujihara M, Kikuchi T. Changes in the landscape structure of the Nagara River Basin, central Japan[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2005, 70(3/4): 271-281.
- [5] 郭建国.景观生态学——格局、过程、尺度与等级(第二版)[M].北京:高等教育出版社,2007.[Wu Jianguo. *Landscape ecology: pattern, process, scale and hierarchy*(2nd ed). Beijing: Higher Education Press, 2007.]
- [6] Moreno-Mateos D, Mander U, Comin F A et al. Relationships between landscape pattern, wetland characteristics, and water quality in agricultural catchments[J]. *Journal of Environmental Quality*, 2008, 37(6): 2170-2180.
- [7] Bai Junhong, Lu Qiongqiong, Wang Junjing et al. Landscape pattern evolution processes of alpine wetlands and their driving factors in the Zoige Plateau of China[J]. *Journal of Mountain Science*, 2013, 10(1): 54-67.
- [8] 邓伟,白军红.典型湿地系统格局演变与水生态过程:以黄淮海地区为例[M].北京:科学出版社,2012.[Deng Wei, Bai Junhong. *Pattern evolution of typical wetland system and Hydro-ecological Processes, for Huang-Huai-Hai Region of China*. Beijing: Science Press, 2012.]
- [9] 荣子容,王其翔,马安青.黄河三角洲湿地景观格局变化特征研究[J]. *中国海洋大学学报:自然科学版*, 2013, 43(3): 81-85. [Rong Zirong, Wang Qixiang, Ma Anqing. *Research on the characteristic of Landscape-Patterns in wetland of Yellow River*



- delta using RS and GIS. Periodical of Ocean University of China, 2013, 43(3): 81-85.]
- [10] 宫兆宁, 张翼然, 宫辉力, 等. 北京湿地景观格局演变特征与驱动机制分析[J]. 地理学报, 2011, 66(1): 77-88. [Gong Zhaoning, Zhang Yiran, Gong Huili et al. Evolution of wetland landscape pattern and its driving factors in Beijing. Acta Geographica Sinica, 2011, 66(1): 77-88.]
- [11] 刘吉平, 赵丹丹, 田学智, 等. 1954-2010年三江平原土地利用景观格局动态变化及驱动力[J]. 生态学报, 2014, 34(12): 3234-3244. [Liu Jiping, Zhao Dandan, Tian Xuezhi et al. Landscape pattern dynamics and driving forces analysis in the Sanjiang Plain from 1954 to 2010. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(12): 3234-3244.]
- [12] 李慧颖, 李晓燕, 贾明明, 等. 2013年三江平原北部洪水对沼泽湿地景观的影响[J]. 湿地科学, 2015, 13(3): 344-349. [Li Huiying, Li Xiaoyan, Jia Mingming et al. Impacts of summer flood occurred in North of sanjiang plain in 2013 on landscape of marshes. Wetland Science, 2015, 13(3): 344-349.]
- [13] 刘康, 闫家国, 邹雨璇, 等. 黄河三角洲盐地碱蓬盐沼的时空分布动态[J]. 湿地科学, 2015, 13(6): 696-701. [Liu Kang, Yan Jianguo, Zou Yuxuan et al. Dynamics of spatial and temporal distribution of suaeda salsa salt marshes in the Yellow River delta. Wetland Science, 2015, 13(6): 696-701.]
- [14] Jalas J. Hemerobe und hemerochore pflanzenarten Ein terminologischer Reformversuch[J]. Acta Soc.Fauna Flora Fenn, 1955, 72: 1-15.
- [15] 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. [Xiao Cui, Xie Xuefeng, Wu Tao et al. Dynamic changes of landscape pattern and hemeroby in Ximen Island wetland, Zhejiang Province, China. Chinese Journal of Applied Ecology, 2014, 25(11): 3255-3262.]
- [16] 陈鹏, 傅世锋, 文超祥, 等. 1989-2010年间厦门湾滨海湿地人为干扰影响评价及景观响应. 应用海洋学学报[J], 2014, 33(2): 167-173. [Chen Peng, Fu Shifeng, Wen Chaoxiang et al. Assessment of impact on coastal wetland of Xiamen Bay and response of landscape pattern from human disturbance from 1989 to 2010. Journal of Applied Oceanography, 2014, 33(2): 167-173.]
- [17] 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. [Sun Yongguang, Zhao Dongzhi, Wu Tao et al. Temporal and spatial dynamic changes and landscape pattern response of Hemeroby in Dayang estuary of Liaoning Province, China. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(12): 3645-3655.]
- [18] 李继红, 胡庆磊. 基于生态干扰度的宝清县湿地景观动态分析[J]. 西北林学院学报, 2013, 28(5): 154-159, 194. [Li Jihong, Hu Qinglei. Dynamic appraisals of landscape pattern in baqing county wetland based on eco-disturbance degree. Journal of Northwest Forestry University, 2013, 28(5): 154-159, 194.]
- [19] 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. [Chen Ailian, Zhu Boqin, Chen Liding et al. Dynamic changes of landscape pattern and eco-disturbance degree in Shuangtai estuary wet land of Liaoning Province, China. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 21(5): 1120-1128.]
- [20] Gong Peng, Niu Zhenguo, Cheng Xiao et al. China's wetland change (1990-2000) determined by remote sensing[J]. Science China (Earth Sciences), 2010, 53(7): 1036-1042.
- [21] Song Kaishan, Wang Zongming, Du Jia et al. Wetland degradation: its driving forces and environmental impacts in the Sanjiang Plain, China[J]. Environmental Management, 2014, 54(2): 255-271.
- [22] Liu Hongyu, Zhang Shikui, Li Zhaofu et al. Impacts on wetlands of large-scale land-use changes by agricultural development: the Small Sanjiang Plain, China[J]. Ambio, 2004, 33(6): 306-310.
- [23] Wang Zongming, Song Kaishan, Ma Wenhong et al. Loss and fragmentation of marshes in the Sanjiang plain, Northeast China, 1954-2005[J]. Wetland, 2011, 31(5): 945-954.
- [24] 张玲玲, 赵永华, 殷莎, 等. 基于移动窗口法的岷江干旱河谷景观格局梯度分析[J]. 生态学报, 2014, 34(12): 3276-3284. [Zhang Lingling, Zhao Yonghua, Yan Sha et al. Gradient analysis of dry valley of Minjiang River landscape pattern, based on moving window method. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(12): 3276-3284.]
- [25] 李栋科, 丁圣彦, 梁国付, 等. 基于移动窗口法的豫西山地丘陵地区景观异质性分析[J]. 生态学报, 2014, 34(12): 3414-3424. [Li Dongke, Ding Shengyan, Liang Guofu et al. Landscape heterogeneity of mountainous and hilly area in the western Henan Province based on moving window method. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(12): 3414-3424.]
- [26] 刘吉平, 吕宪国, 崔炜炜. 别拉洪河流域湿地变化的多尺度空间自相关分析[J]. 水科学进展, 2010, 21(3): 392-398. [Liu Jiping, Lv Xianguo, Cui Huihui. Spatial autocorrelation analysis of multi-scale changes in Bielalong River basin wetlands. Advances in Water Science, 2010, 21(3): 392-398.]
- [27] 张树清, 张柏, 汪爱华. 三江平原湿地消长与区域气候变化关系研究[J]. 地球科学进展, 2001, 16(6): 836-841. [Zhang Shuqing, Zhang Bai, Wang Aihua. A study on the relationship between distributive variation of wetlands and regional climate change in Sanjiang Plain. Advance in Earth Sciences, 2001, 16(6): 836-841.]
- [28] 刘兴土, 马学慧. 三江平原自然环境变化与生态保育[M]. 北京: 科学出版社, 2002. [Liu Xingtu, Ma Xuehui. Changes of natural environment and ecological conservation in Sanjiang Plain. Beijing: Science Press, 2002.]
- [29] 吕宪国. 三江平原湿地生物多样性变化及可持续利用[M]. 北京: 科学出版社, 2009. [Lv Xianguo. Wetland biodiversity change and sustainable use in the Sanjiang Plain. Beijing: Science Press, 2009.]
- [30] 孔范龙, 郝敏, 李悦, 等. 山东日照傅疃河口湿地脆弱性特征与生态恢复[J]. 湿地科学, 2015, 13(3): 322-326. [Kong Fanlong, Xi Min, Li Yue et al. Vulnerability characteristics and eco-



- logical recovery of futuan estuary wetlands,rizhao city,Shandong province. *Wetland Science*, 2015, 13(3): 322-326.]
- [31] 宋开山, 刘殿伟, 王宗明, 等. 1954年以来三江平原土地利用变化及驱动力[J]. *地理学报*, 2008, 63(1): 93-104. [Song Kaishan, Liu Dianwei, Wang Zongming et al. Land use change in sanjiang plain and its driving forces analysis since 1954. *Acta Geographica Sinica*, 2008, 63(1): 93-104.]
- [32] 刘红玉, 吕宪国, 张世奎, 等. 三江平原流域湿地景观破碎化过程研究[J]. *应用生态学报*, 2005, 16(2): 289-295. [Liu Hongyu, Lv Xianguo, Zhang Shikui et al. Fragmentation process of wetland landscape in watersheds of Sanjiang Plain, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(2): 289-295.]
- [33] 杨永兴, 杨玉娟, 庞志平. 数学模型辨析三江平原沼泽湿地形成、发育的主要生态环境因子的研究[C]//陈宜瑜. 中国湿地研究. 长春: 吉林科学技术出版社, 1995, 118-123. [Yang Yongxing, Yang Yujuan, Pang Zhiping. A study on the main ecological environmental factors of the formation and development of the marsh wetlands in Sanjiang plain, based on mathematical model. *Wetland research in China*. Changchun: Jilin Science and Technology Press, 1995, 118-123.]
- [34] 刘吉平, 李艾玉, 田学智, 等. 三江平原孤立湿地的形成及主要类型[J]. *湿地科学*, 2014, 12(2): 141-147. [Liu Jiping, Li Aiyu, Tian Xuezhi et al. Formation and Main Types of Isolated Wetlands in Sanjiang Plain. *Wetland Science*, 2014, 12(2): 141-147.]

## Landscape Pattern Change of Marsh and Its Response to Human Disturbance in the Small Sanjiang Plain, 1955-2010

Liu Jiping<sup>1,2</sup>, Dong Chunyue<sup>1</sup>, Sheng Lianxi<sup>2</sup>, Liu Yan<sup>1,2</sup>

(1. College of Tourist and Geoscience, Jilin Normal University, Siping 136000, Jilin, China; 2. State Environmental Protection Key Laboratory of Wetland Ecology and Vegetation Restoration, Northeast Normal University, Changchun 130024, Jilin, China)

**Abstract:** With the research area being the small Sanjiang Plain whose wetland changes have been quite severe and with the source of data being the 1955-2010 topographic map and Landsat TM Remote Sensing Data, the grid analysis method was used to study the rules of spatial-temporal differentiation of the landscape index and the effects of the level of man-made interference on the landscape pattern index under different periods were also analyzed. The results show: 1) Looking at it from the aspect of time, in 1955-2010 the area of the small Sanjiang Plain marsh wetland and the largest patch decreased gradually, patch accounted for landscape ratio from 52.87% decreased to 10.41%, the largest patch has reduced 47.6%, fragmentation and dispersibility increased gradually, connectivity increased at first then decreased, its trend embodied in connectivity from 1.02% increased to 2.88% then decreased to 0.79%, the shape of the patch changed from being complex to simple and then changed to being complex again, the level of man-made interference gradually increased, from 0.31% increased to 0.6%; 2) Looking at it from the aspect of space, in 1955 the fragmentation from the south-west to the north-east of the marsh wetland landscape of the research area diminished gradually. After 1986, it changed into a pattern where the fragmentation from the south-west to the north-east increased gradually. The high value areas of the marsh wetland with respect to its proportional area of the landscape and connectivity index are distributed in the central and north-eastern parts of the research area. The spatial distribution pattern of the level of man-made interference diminished gradually from the south-west to the north-east; 3) Effect that human interference had on the vicinity and connectivity of the marsh wetland of the small Sanjiang Plain diminished gradually in 1955-2010, but its effect on the marginal density of the marsh wetland increased gradually. The effect that human interference has on the density of the marsh wetland patch is mainly affected by the area of the marsh wetland. The effect that human interference has on the shape of the marsh wetland patch is quite small, the superior landscape controlling force of the marsh wetland declined gradually. Human interference is the main cause of the reduction in the wetland area of the small Sanjiang Plain.

**key words:** marsh; landscape pattern; human disturbance; the small Sanjiang Plain