

DOI: 10.5846/stxb201802270394

刘吉平, 高佳, 董春月. 1954—2015 年三江平原沼泽湿地变化的区域分异及影响因素分析. 生态学报, 2019, 39(13): - .

Liu J P, Gao J, Dong C Y. Regional differentiation and factors influencing changes in swamps in the Sanjiang Plain from 1954 to 2015. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(13): - .

1954—2015 年三江平原沼泽湿地变化的区域分异及影响因素分析

刘吉平*, 高佳, 董春月

吉林师范大学 资源保护与利用研究所, 四平 136000

摘要:以湿地变化较为剧烈的三江平原为研究区域,结合 GIS 和 RS 技术,利用动态度、景观指数和地理探测器模型,在流域尺度上对 1954—2015 年三江平原沼泽湿地变化的区域分异及影响因素进行定量分析。结果表明:1954—2015 年,三江平原各流域沼泽湿地面积呈现减少趋势,其中挠力河流域和同抚流域沼泽湿地面积丧失最多,安邦河流域、萝北流域和倭肯河流域沼泽湿地丧失速率较快;三江平原各流域沼泽湿地格局变化特征具有一定的差异性,倭肯河流域沼泽湿地斑块的集中化程度逐渐增强且破碎化程度逐渐减少,其他流域沼泽湿地的集中化程度逐渐减弱且破碎化程度增加,各子流域沼泽湿地斑块之间的连接性和稳定性均呈下降趋势,其中安邦河流域下降幅度最大,最能表现三江平原各子流域沼泽湿地景观格局变化的指数是斑块密度;人为干扰是影响三江平原各子流域沼泽湿地变化的主要因素,自然因素中对沼泽湿地变化影响最大的是地形地貌,其次是气温和降水量。

关键词:区域分异;沼泽湿地;流域尺度;三江平原

Regional differentiation and factors influencing changes in swamps in the Sanjiang Plain from 1954 to 2015

LIU Jiping*, GAO Jia, DONG Chunyue

Institute of Resource Conservation and Utilization, Jilin Normal University, Siping 136000, China

Abstract: We used the Sanjiang Plain where swamp changes have been more drastic as the research area. Regional differentiation and factors influencing the changes of in swamps in the Sanjiang Plain from 1954 to 2015 at the watershed scale were analyzed using the dynamic degree, landscape index, and Geodetector model, and by combining GIS and RS techniques. The results showed that from 1954 to 2015, the area of swamps in the Sanjiang Plain had a decreasing trend, in which, the loss of wetland area in the Naoli River and Tongfu Basins was the greatest, whereas in the Anbang River, Luobei River, and Weiken River Basins the loss was faster. The variation characteristics of the swamps pattern in each basin within the Sanjiang Plain had some differences. The concentration of patches in the swamps in the Weiken River Basin gradually increased and the degree of fragmentation gradually decreased, whereas the concentration of swamps in other basins gradually decreased and their degrees of fragmentation increased, and the connectivity and stability of swamp patches in all sub-basins showed a decreasing trend, in which, the Anbang River Basin showed the largest decline. The index that best demonstrated the change in the swamp landscape pattern in each sub-basin of the Sanjiang Plain was patch density. Human disturbance was the main factor affecting the changes in swamps in each sub-basin of the Sanjiang Plain. Among the natural factors, the most influence factors on the change of swamps were topography, followed by temperature and precipitation.

基金项目:吉林省科技发展计划(20180101085JC);吉林省社会科学基金项目(2018B175)

收稿日期:2018-02-27; **网络出版日期:**2018-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: ljp@jlnu.edu.cn

Key Words: regional differentiation; swamp; watershed scale; Sanjiang Plain

在一定时空尺度上探讨区域内的湿地格局、过程与功能,一直是湿地科学研究的基础命题。湿地空间格局是各种生态过程在不同时空尺度上综合作用的结果,具有显著的时空差异性^[1]。一些学者从区域分异角度对我国典型湿地进行研究,如刘志杰^[2]、邓伟等^[3]、谷东起等^[4]对黄河三角洲滨海湿地、山东半岛潟湖湿地进行的研究。因此,探讨湿地的空间分布格局及其变化趋势,认识湿地空间格局演变的驱动机理,对维护湿地的稳定性、湿地功能的再造、促进湿地与周边非湿地地区之间的协融性,以及保障湿地资源的永续利用至关重要^[3,5]。

三江平原是我国典型的湿地分布区,受人类活动和气候变化的影响,近几十年由原来的湿地基质变为现在的农田基质^[6],其景观的变化趋势及驱动机制已成为当前备受关注的研究热点。目前对三江平原湿地的研究主要集中在景观变化比较明显的别拉洪河流域^[7-9]、挠力河流域^[7,10-11]、小三江平原^[12-14]、三江平原东北部^[15-16]、兴凯湖^[17-18]、萝北县^[19]、建三江地区^[20-21]、三江自然保护区^[22]、洪河湿地自然保护区^[23]等区域。学者们对这些典型地区的湿地景观变化虽然研究较多,各个分散的研究案例采用的数据、方法等不统一,导致甚至同一区域同一时期湿地景观变化的结论相互矛盾,如王宗明等^[24]和张一博等^[16]对三江平原 2000 年沼泽湿地解译的面积分别是 9587 km²和 4547 km²,二者相差一倍之多,不利于湿地规划和保护工作的开展^[25]。一些学者对三江平原湿地整体格局变化也进行了研究^[6,24-27],但考虑湿地变化区域分异的较少,刘吉平等^[28]虽考虑了湿地变化的区域分异,用的是网格划分法研究,网格划分时没考虑自然地理单元的完整性。流域内部水文循环完整且系统,沼泽湿地具有相似的变化规律和影响因素,因此本文从沼泽湿地变化入手,对三江平原各子流域沼泽湿地的时空变化进行对比研究,并定量分析其影响因素,找出湿地变化的原因,为减缓湿地破坏、修复湿地功能、稳定或改善区域整体生态环境,同时为政策制定者和土地规划者制定相关保护政策,建立湿地自然保护区提供科学参考。

1 研究区域与方法

1.1 研究区概况

三江平原位于黑龙江省东部,43°49"—48°27" N, 129°11"—135°05" E (图 1),总面积为 10.89×10⁴ km²,主要由完达山以北黑龙江、松花江、乌苏里江冲积而成的低平原和完达山以南乌苏里江及其支流与兴凯湖形成的冲积、湖积平原组成,地势西南高,东北低。属温带湿润半湿润大陆性季风气候,年均气温 2.5—3.6℃,年平均降水量 500—600 mm。主要土壤类型有草甸土、白浆土、暗棕壤、沼泽土和黑土等。湿生和沼生植物主要有小叶章、沼柳、苔草和芦苇等,其中以苔草沼泽分布最广,占沼泽总面积的 85%左右,其次是芦苇沼泽。沼泽植被呈大面积分布,是中国淡水沼泽湿地最大分布区之一。根据三江平原的地域分异规律,参考相关文献^[29],将该区分为萝北流域、同抚流域、挠力河流域、安邦河流域、倭肯河流域、穆棱河流域等六个流域(图 1)。

萝北流域东临松花江,北临黑龙江,坐落在小兴安岭与三江平原的缓冲地带,地势西北高而多山,东南低

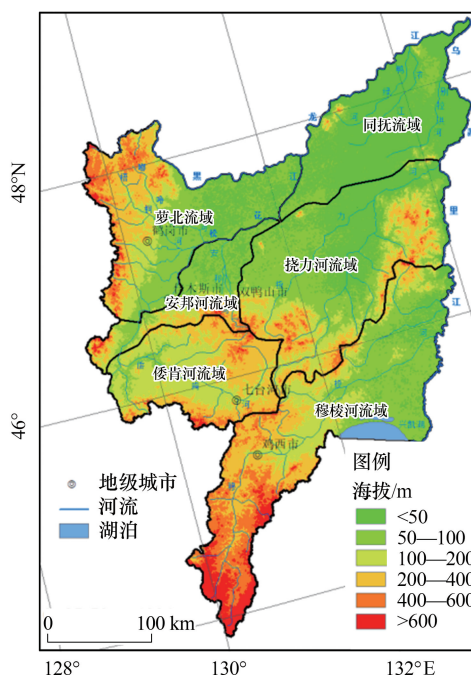


图 1 三江平原位置与流域分布图

Fig.1 The location and basin distribution of the Sanjiang Plain

而多沼泽,有梧桐河、嘟噜河等河流,是松花江左岸的主要支流。同抚流域位于黑龙江省抚远县、同江市境内,黑龙江和乌苏里江汇流的三角地带,地势由西南向东北倾斜,以低冲积平原为主,广大区域为河流的一级阶地,有别拉洪河、浓江和鸭绿河等主要支流,该区是三江平原沼泽湿地率最高、保护状态较好的流域。挠力河流域地处三江平原腹地,东南以完达山为界,向东与乌苏里江连接,挠力河是乌苏里江的一级支流,有内七星河、外七星河、宝清河、七里沁河等河流,地形西南高东北低,地貌类型主要由平原、山地与丘陵组成,流域中下游的平原区,地势低平,地表径流不畅,形成大面积沼泽湿地。安邦河流域地处三江平原西南部,流域内地势南高北低,以平原为主,安邦河为松花江下游右岸的一级支流,发源于完达山余脉,属于季节性河流,该流域湿地率较低,主要集中分布在安邦河湿地自然保护区。倭肯河流域位于完达山西侧和老爷岭东侧山系之间,地势东南高,西北低,倭肯河为松花江右岸一级支流,发源于完达山的西北侧,支流分布较密,该区沼泽湿地率较低。穆棱河流域位于三江平原的东南部,地势由西向东倾斜,西部为老爷岭,北部为完达山脉,东临乌苏里江,主要以山地丘陵为主,穆棱河是乌苏里江左岸支流,发源于完达山老爷岭东坡,支流众多,穆棱河滩地和兴凯湖滨滩地宽广,地面普遍沼泽化。

1.2 数据来源与处理

本文主要利用三江平原各子流域 1954 年、1976 年、1986 年、2000 年和 2015 年 6 个时期的沼泽湿地数据、气温降水数据、地貌数据和 DEM 数据等数据。

沼泽湿地数据由 1954 年的地形图、1976 年的 MSS 影像、1986 年和 2000 年的 Landsat TM、2015 年的 Landsat OLI 遥感数据获得。1954 年沼泽湿地分布图直接数字化 1954 年的地形图而获得。遥感影像时间主要为 5、6 月份。在几何精校正和图像增强处理后,对 MSS、TM 和 OLI 遥感数据分别以 7、5、4 波段,4、3、2 波段,5、4、3 波段进行标准假彩色合成,然后建立沼泽湿地解译标志(几何特征不明显,也不规则;影像呈红色、紫色或黑灰色;具有波状纹理,质地较细),采用目视解译。经野外调查和高分辨率遥感影像验证,总体精度达到 90%以上,满足本文的要求。气温和降水数据使用中国气象数据网(<http://data.cma.cn/>),地貌数据数字化比例尺为 1:200000 的三江平原地貌图。

1.3 研究方法

(1) 动态度

引入动态度来探讨研究区沼泽湿地变化的速率。动态度模型公式为:

$$n = \frac{S_b - S_a}{S_a t} \times 100\% \quad (1)$$

式中, S_a 、 S_b 分别为研究期初和研究期末的湿地面积(km^2); t 为两期监测数据的相隔时间(a)。 $n > 0$ 表示监测时间内湿地面积增加; $n < 0$ 表示监测时间内湿地面积减少。 n 的绝对值越大表示面积变化的程度越大。

(2) 景观格局指数

计算三江平原 6 个子流域沼泽湿地在类型尺度上的景观指数,采用景观格局指数比较法,分析景观空间格局变化的差异性。参考相关文献^[3,13,30],结合研究区实际情况,分析的景观指数主要包括聚集度、斑块密度、斑块结合度和形状指数。各景观指数模型的计算公式参见文献[13],利用 Fragstats 软件计算 1954—2015 年研究区各子流域的沼泽湿地景观指数。

(3) 变异系数

用变异系数对三江平原各子流域沼泽湿地景观指数时间变化进行分析。变异系数公式为:

$$C = \frac{S}{\bar{x}} \quad (2)$$

式中, S 为景观指数的标准差; $\bar{x}$ 为所有年份的均值。 C 是一个无量纲的量,便于找出影响各子流域景观格局变化的主要景观指数。

(4) 人为干扰度

由于 1954—1976 年人口和 GDP 的空间分布数据较难获取,因此本文用人为干扰度反映人类活动强度。利用参考文献[13]计算人为干扰度,用人为干扰度反映人类活动强度,计算 1954—2015 年三江平原各子流域的人为干扰度及每个网格单元的人为干扰度,计算方法参见文献[13]。

(5) 地理探测器

地理探测器是一种通过检验两个变量空间分布的一致性,来探测两变量之间可能的因果关系的空间分析模型^[31]。本文借助“因子探测器”对影响三江平原沼泽湿地变化的各因子进行分析,得出各影响因子的相对重要性。因子探测器,用因子的解释力进行判断,解释力越大,因子对于湿地变化的贡献率越高,即关系越密切,反之则越小。计算方法见参考文献[31]。

本文计算沼泽湿地率和干扰度的网格单元大小为 5 km * 5 km 的正方形,计算出每个网格单元的湿地率(每个评价单元湿地的面积除以网格单元的面积,再乘以 100%),同时计算每个网格单元的人为干扰度、气温和降水量变化值、海拔,并利用 GIS 空间分析统计出每个网格单元的地貌类型。

2 结果与分析

2.1 沼泽湿地面积变化的区域分异

2.1.1 沼泽湿地面积的动态变化

运用 ArcGIS 10.2 软件分别计算 1954 年、1976 年、1986 年、2000 年和 2015 年三江平原子流域沼泽湿地面积,借助 Excel 统计分析功能计算三江平原子流域的沼泽湿地率(表 1)。

表 1 1954—2015 年三江平原子流域沼泽湿地面积和沼泽湿地率

Table 1 The swamp area and swamp rate in sub-basin of the Sanjiang Plain from 1954 to 2015

年份 Year	统计指标 Statistical indicators	同抚流域 Tongfu River Basin	挠力河流域 Naoli River Basin	萝北流域 Luobei River Basin	安邦河流域 Anbang River Basin	倭肯河流域 Weiken River Basin	穆棱河流域 Muling River Basin
1954	沼泽湿地	10047.96	10778.51	5310.09	2234.61	1726.89	7614.49
1976	面积/km ²	7647.19	7079.13	2043.99	207.61	975.83	6464.39
1986		3016.77	4376.18	851.31	162.75	585.13	2058.55
2000		2643.83	3725.93	722.69	235.17	519.56	1963.65
2015		925.86	1169.46	170.46	2.23	71.45	1307.26
1954	沼泽湿地率/%	64.27	42.25	28.36	30.91	13.18	26.61
1976		48.91	27.75	10.92	2.87	7.45	22.59
1986		19.29	17.15	4.55	2.25	4.47	7.19
2000		16.91	14.61	3.86	3.25	3.96	6.86
2015		6.64	4.58	0.91	0.03	0.54	4.57

1954—2015 年,三江平原各子流域沼泽湿地面积皆呈现减少趋势(表 1),同抚流域沼泽湿地率最高,其次是挠力河流域,1954 年安邦河流域沼泽湿地率也较高,但 1976—2015 年是所有子流域最低的。倭肯河流域沼泽湿地率一直处于较低水平,萝北流域和穆棱河流域处于中等水平。沼泽湿地面积丧失最大的子流域为挠力河流域和同抚流域,分别丧失了 9609 km²和 9122 km²,丧失最小的子流域为倭肯河流域和安邦河流域,分别丧失了 1655 km²和 2232 km²。

2.1.2 沼泽湿地动态度差异性

根据单一土地利用类型动态度公式(1)计算出三江平原及其子流域沼泽湿地的动态度(表 2)。

除 1986—2000 年安邦河流域沼泽湿地动态度为正值外,1954—2015 年三江平原各子流域沼泽湿地动态度均为负值,其中以 1976—1986 年和 2000—2015 年沼泽湿地丧失率较高,而 1986—2000 年沼泽湿地丧失率较低(表 2)。1954—2015 年各子流域沼泽湿地动态度具有一定的差异,其中以安邦河流域、萝北流域和倭肯河流域沼泽湿地动态度最大,穆棱河流域较小,同抚流域和挠力河流域居中,不同时期变化也不一样,同抚流

域、萝北流域和倭肯河流域在 1976—1986 年沼泽湿地丧失率最高,而挠力河流域、安邦河流域和倭肯河流域在 2000—2015 年沼泽湿地丧失率最高。

表 2 1954—2015 年三江平原及其子流域沼泽湿地动态度/%
Table 2 The dynamic degrees of swamps in the Sanjiang Plain and its sub-basins from 1954 to 2015

时期 Period	同抚流域 Tongfu River Basin	挠力河流域 Naoli River Basin	萝北流域 Luobei River Basin	安邦河流域 Anbang River Basin	倭肯河流域 Weiken River Basin	穆棱河流域 Muling River Basin	三江平原 Sanjiang Plain
1954—1976	-1.09	-1.56	-2.80	-4.12	-1.98	-0.69	-1.60
1976—1986	-6.06	-3.82	-5.84	-2.16	-4.00	-6.82	-5.47
1986—2000	-0.88	-1.06	-1.08	3.18	-0.80	-0.33	-0.80
2000—2015	-4.33	-4.57	-5.09	-6.60	-5.75	-2.23	-4.19
1954—2015	-1.49	-1.46	-1.59	-1.64	-1.57	-1.36	-1.48

1954—2015 年,同抚流域、萝北流域、安邦河流域和倭肯河流域沼泽湿地动态度大于三江平原,其中安邦河流域沼泽湿地动态度的绝对值最大,为-1.64,说明这些研究区的沼泽湿地变化较整个区域大,挠力河流域和穆棱河流域沼泽湿地动态度小于三江平原,说明该研究区的沼泽湿地变化比整个区域小。

2.2 沼泽湿地景观格局变化的区域分异

2.2.1 斑块聚集度

斑块聚集度表示景观中不同景观类型的聚集程度。从图 2 可以看出,1954—2015 年,除倭肯河流域呈现上升趋势外,其他 5 个子流域的沼泽湿地斑块聚集度都呈波动下降趋势,说明大部分子流域沼泽湿地的集中化程度减弱,分散程度增加。安邦河流域由于受人干扰较强,聚集度变化最为显著,1954 年后有明显的下降趋势,除 1954 年较高外,其他时间均呈最低,说明该流域沼泽湿地的集中化程度较弱。挠力河流域沼泽湿地聚集度一直保持最高水平,表明挠力河流域沼泽湿地的集中化程度较高。2000 年至 2015 年,挠力河流域与穆棱河流域的聚集度呈下降趋势,其他流域均呈上升趋势。

2.2.2 斑块密度

由图 3 得,1954—2015 年除倭肯河流域呈现下降趋势外,其他 5 个子流域的沼泽湿地斑块密度皆呈波动上升趋势,说明沼泽湿地破碎化程度加大^[17]。安邦河流域与倭肯河流域变化最为剧烈,1954—1970 年倭肯河流域沼泽湿地斑块密度最大,但在 1970 年出现拐点,下降趋势显著。1970 年—2015 年,安邦河流域沼泽湿地斑块密度超过其他流域一直保持最大值。挠力河流域和穆棱河流域沼泽湿地斑块密度一直处于较低水平。

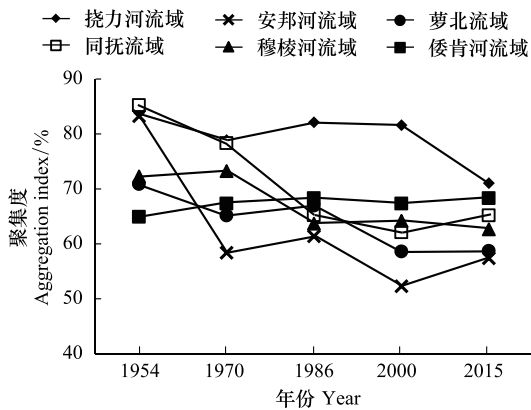


图 2 1954—2015 年三江平原子流域沼泽湿地斑块聚集度变化图
Fig.2 The variation of patch aggregation index of swamps in sub-basins of the Sanjiang Plain from 1954 to 2015

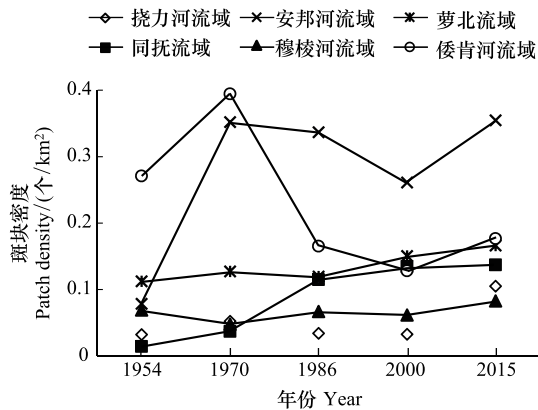


图 3 1954—2015 年三江平原子流域沼泽湿地斑块密度变化图
Fig.3 The variation of patch density of swamps in sub-basins of the Sanjiang Plain from 1954 to 2015

2.2.3 斑块结合度

斑块结合度指数量化相应景观类型的自然连接性。从图 4 可以看出,1954—2015 年各子流域沼泽湿地斑块之间的连接性均呈下降趋势,其中安邦河流域下降幅度最大,倭肯河流域下降幅度最小。安邦河流域沼泽湿地斑块之间的连接性是所有流域最低的,而挠力河流域在 2000 年前是最高的,2000 年后变为倭肯河流域最高。2000 年以后,所有流域都出现下降趋势,其中挠力河流域最为明显。

2.2.4 形状指数

由图 5 可以看出,1954—2015 年三江平原 6 个子流域形状指数值都处于 1.4—1.7 之间并呈波动下降趋势,表明研究区 6 个子流域沼泽湿地景观形状都处于随机状态,斑块稳定性较差。这主要与人类的农垦活动有关,农田是一种高强度人为干扰的人工景观,而沼泽湿地斑块抗干扰能力较弱,随着农业机械化程度提高和农田管理的加强,沼泽湿地大面积丧失,沼泽湿地斑块稳定性下降,其形状分布趋于随机状态。

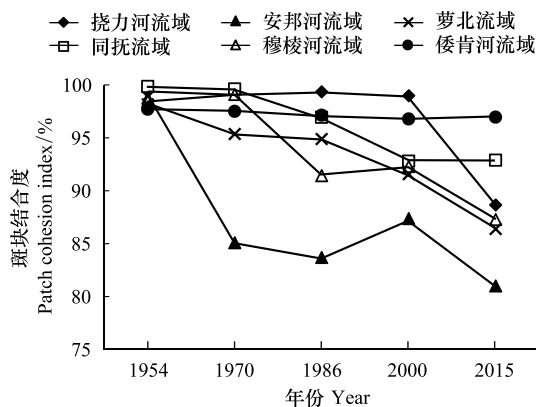


图 4 1954—2015 年三江平原子流域沼泽湿地斑块结合度变化图

Fig.4 The variation of patch cohesion index of swamps in sub-basins of the Sanjiang Plain from 1954 to 2015

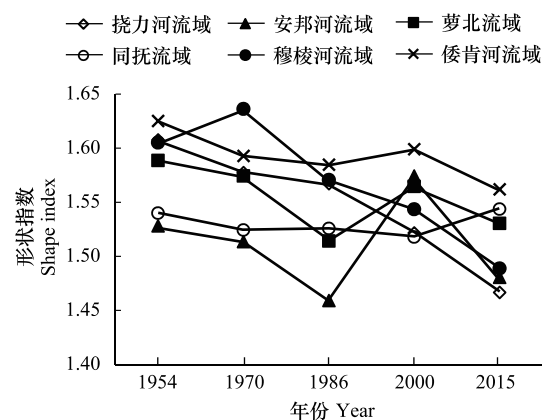


图 5 1954—2015 年三江平原子流域沼泽湿地形状指数变化图

Fig.5 The variation of shape index of swamps in sub-basins of the Sanjiang Plain from 1954 to 2015

2.2.5 景观指数变化对沼泽湿地景观格局演化的贡献

通过式(3)计算格局演变贡献指数 C (表 3)。根据指数 C 可知,最能表现三江平原各子流域沼泽湿地景观格局演变的指数是斑块密度,其变异系数远高于其他指数的变异系数,各子流域中斑块密度变异系数最大值出现在同抚流域,为 0.588;安邦河流域斑块聚集度和斑块结合度的变异系数在各子流域中均最大,分别为 0.172 和 0.070;形状指数在穆稜河流域和挠力河流域的作用最为显著,变异系数值均为 0.032。

表 3 三江平原子流域景观格局指数变异系数

Table 3 The coefficient of variation of landscape pattern indices in sub-basins of the Sanjiang Plain

子流域 Sub-basin	聚集度 Aggregation index	斑块密度 Patch density	斑块结合度 Patch cohesion index	形状指数 Shape index
安邦河流域 Anbang River Basin	0.172	0.378	0.070	0.026
萝北流域 Luobei River Basin	0.075	0.148	0.043	0.018
穆稜河流域 Muling River Basin	0.068	0.172	0.048	0.032
挠力河流域 Naoli River Basin	0.057	0.541	0.044	0.032
同抚流域 Tongfu River Basin	0.126	0.588	0.032	0.006
倭肯河流域 Weike River Basin	0.018	0.423	0.004	0.013

2.3 三江平原沼泽湿地变化区域分异的影响因素

借助 Geogdetector 软件的 Factordetector 模块,以 1954—2015 年沼泽湿地变化率为因变量,以 1954—2015

年人为干扰度变化值(图 6a)、2015 年三年移动平均值减去 1954 年三年移动平均值得到的气温和降水量变化值(图 6b 和图 6c)、海拔(图 6d)和地貌类型(图 6e)为影响因子,对三江平原各子流域沼泽湿地变化的各影响因子的贡献率进行计算,所选择的影响因子均通过显著性水平为 0.05 的 P 检验,结果如表 4。

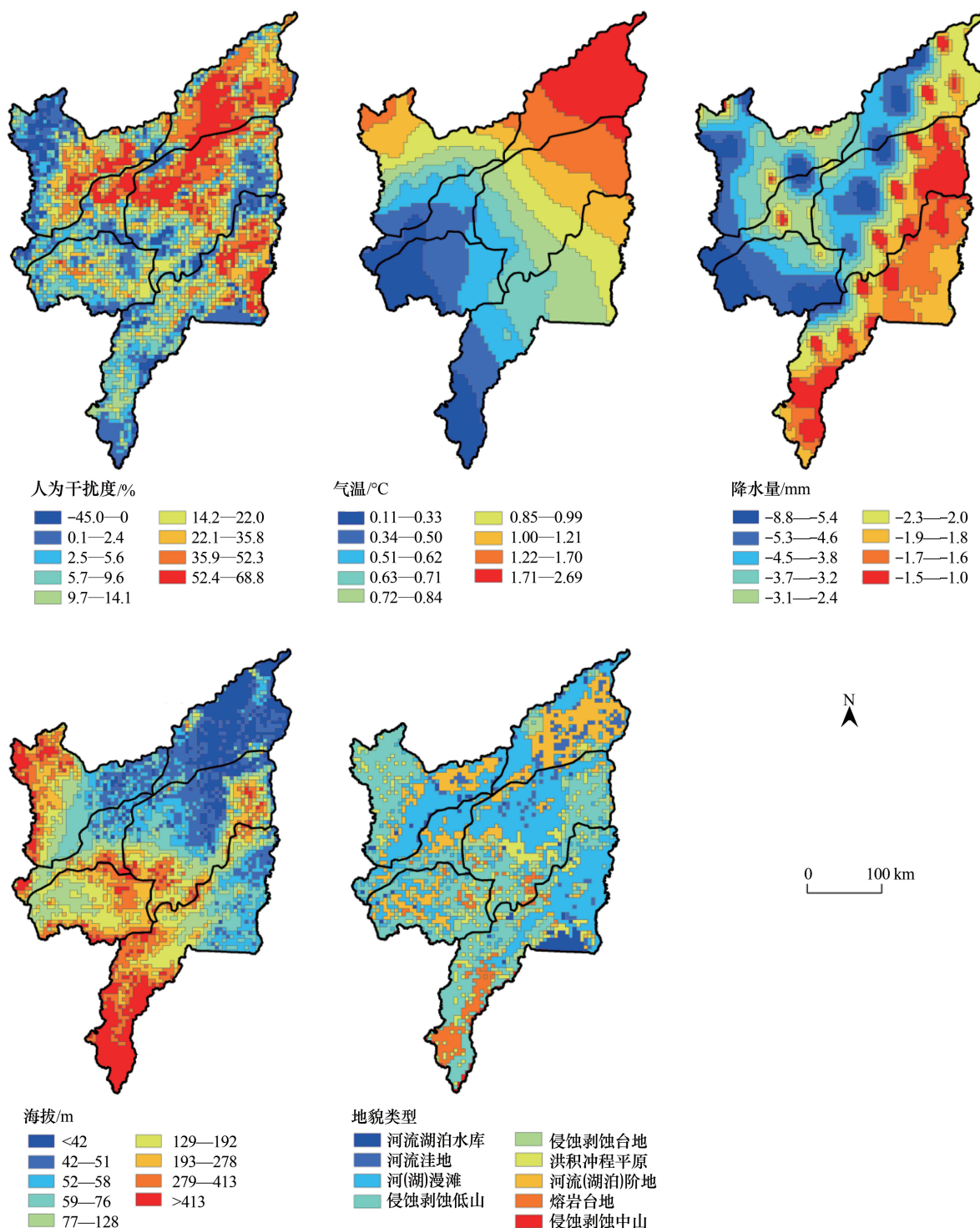


图 6 三江平原沼泽湿地变化区域分异的影响因素分布图

Fig.6 The distribution of influence factors on the regional differentiation of swamps in the Sanjiang Plain

表 4 1954—2015 年三江平原各子流域沼泽湿地变化的各影响因子贡献率/%

Table 4 The contribution rate of each influence factor of swamp changes in each sub-basin of the Sanjiang Plain from 1954 to 2015

子流域 Sub-basin	人为干扰度 Human disturbance degree	海拔 Altitude	地貌类型 Landform type	气温 Temperature	降水量 Precipitation
安邦河流域 Anbang River Basin	52.78	10.86	11.07	10.19	3.51
萝北流域 Luobei River Basin	46.76	17.66	19.54	15.04	5.47
穆棱河流域 Muling River Basin	52.09	22.18	23.51	17.07	3.34
挠力河流域 Naoli River Basin	30.84	16.96	16.89	5.97	3.12
同抚流域 Tongfu River Basin	27.56	4.39	7.78	1.59	4.56
倭肯河流域 Weiken River Basin	53.91	17.51	9.86	2.39	2.64
三江平原 Sanjiang Plain	38.00	15.67	15.34	6.42	0.41

由表 4 可以看出,影响三江平原及各子流域沼泽湿地变化的主要因子是人为干扰度,特别是倭肯河流域、安邦河流域和穆棱河流域人为干扰度对沼泽湿地变化的贡献率达 50% 以上,说明人类活动是三江平原沼泽湿地变化的主要因素。自然因素中对沼泽湿地变化影响最大的是地形地貌,但各子流域也不相同,挠力河流域和倭肯河流域海拔影响的程度大于地貌类型,其他子流域正相反。安邦河流域、萝北流域和穆棱河流域中,气温是仅次于地形地貌的影响因素,而同抚流域,降水量是仅次于地貌的影响因素。

3 讨论与结论

3.1 讨论

3.1.1 人为因素对三江平原沼泽湿地变化区域分异的影响

利用人为干扰度公式计算 1954—2015 年三江平原各子流域的人为干扰度(表 5)。由表 5 可以看出,1954—2015 年同抚流域人为干扰程度最小,除 1954 年人为干扰最强的地区是倭肯河流域外,1976—2015 年以安邦河流域人类干扰最强。安邦河流域人为干扰度最大,是造成该区沼泽湿地动态度和相对变化率最大的主要原因,其对沼泽湿地变化的贡献率也较大。

表 5 1954—2015 年三江平原子流域人为干扰度

Table 5 The human disturbance degree in sub-basins of the Sanjiang Plain from 1954 to 2015

年份 Year	安邦河流域 Anbang River Basin	萝北流域 Luobei River Basin	穆棱河流域 Muling River Basin	挠力河流域 Naoli River Basin	同抚流域 Tongfu River Basin	倭肯河流域 Weiken River Basin
1954	0.44	0.43	0.43	0.37	0.25	0.52
1976	0.61	0.54	0.46	0.45	0.34	0.56
1986	0.60	0.56	0.54	0.52	0.47	0.59
2000	0.60	0.57	0.55	0.54	0.49	0.59
2015	0.63	0.59	0.58	0.59	0.58	0.61

通过计算人为干扰度与沼泽湿地景观指数之间的灰色关联度(表 6),反映人类干扰对景观格局的影响。由表 6 可以看出,以安邦河流域人为干扰度与沼泽湿地景观指数的灰色关联度最大,穆棱河流域和挠力河流域最小,说明人为干扰对安邦河流域沼泽湿地景观格局影响最大,而对穆棱河流域和挠力河流域影响最小。不同子流域人为干扰影响景观指数强度也不相同,安邦河流域、穆棱河流域和同抚流域的人类活动对斑块聚集度影响最大,萝北流域和挠力河流域人类活动对斑块形状指数影响最大,而倭肯河流域对斑块密度影响最大。

为了反映人类干扰对沼泽湿地动态度的影响,计算了人为干扰度与沼泽湿地动态度之间的灰色关联度(表 6)。从表 6 可以看出,萝北流域的沼泽湿地动态度与人为干扰度关系最为密切,其次为安邦河流域,这两个流域的沼泽湿地率(表 1)较低,但人为干扰对沼泽湿地动态度影响较大,造成这两个流域沼泽湿地变化较

整个区域大。穆棱河流域、同抚流域和倭肯流域的关联度都居中。挠力河流域人为干扰度与沼泽湿地景观指数的灰色关联度最小,说明人为干扰对沼泽湿地动态变化影响相对较小,造成该流域沼泽湿地变化较整个区域小。

表 6 人为干扰度与沼泽湿地景观指数及沼泽湿地动态度的灰色关联度

景观指数 Landscape indices	安邦河流域 Anbang River Basin	萝北流域 Luobei River Basin	穆棱河流域 Muling River Basin	挠力河流域 Naoli River Basin	同抚流域 Tongfu River Basin	倭肯河流域 Weiken River Basin
聚集度 Aggregation index	0.776	0.664	0.625	0.563	0.650	0.616
斑块密度 Patch density	0.751	0.623	0.536	0.540	0.616	0.702
形状指数 Shape index	0.705	0.687	0.585	0.591	0.606	0.621
斑块结合度 Patch cohesion index	0.706	0.625	0.592	0.560	0.598	0.643
沼泽湿地动态度 Swamp dynamics	0.729	0.762	0.681	0.629	0.679	0.646

3.1.2 地形地貌因素对三江平原沼泽湿地变化区域分异的影响

地形地貌是影响沼泽湿地形成和空间分布的主要因素,直接控制了区域相对负地形的分布并决定区域水流的特点,对水分和热量进行再分配。沼泽湿地一般形成于地表过湿、或有薄层积水的环境,平坦、特别是负地貌最为有利。同样,地形地貌也影响到沼泽湿地的难易开发程度,并通过人类活动影响到沼泽湿地的丧失程度和丧失时期^[32]。1954—2010 年,三江平原沼泽湿地的丧失主要集中在地势较低的低河漫滩、河流阶地、高河漫滩 3 种地貌类型上,沼泽湿地丧失的规律为由河流阶地到河漫滩,再到河曲带的过程^[28]。地形地貌影响沼泽湿地变化的根本原因还是人类活动作用的结果。

安邦河流域虽然面积较小,但主要以平原和台地为主,开发难度小,开发时间早,是三江平原各流域中开发时间最早,开发强度最大的流域^[29],早在 20 世纪 50 年代至 70 年代,就有大面积沼泽湿地被开发成农田,这是造成 1954—1976 年该流域沼泽湿地丧失速率最快的主要原因。20 世纪 70 年代至 80 年代,由于安邦河流域平原和台地上的沼泽湿地几乎被开发殆尽,沼泽湿地开发速度迅速下降,而穆棱河流域沼泽湿地开发速度跃居首位,开发重点集中在穆棱河流域的兴凯平原附近,同时同抚流域在此时期也得到了大面积开发。20 世纪 90 年代以来,挠力河流域、同抚流域和萝北流域位于地势较低的河漫滩和阶地上的沼泽湿地受到不同程度的开发。

3.1.3 气候因素对三江平原沼泽湿地变化区域分异的影响

利用 1954—2015 年年平均气温和年降水量数据,计算出三江平原各子流域气温倾向率和降水量倾向率(表 7)。由表 7 可以看出,三江平原各子流域气温倾向率皆为正值,气温呈现上升趋势,萝北流域为最大的增温中心,最大倾向值为 0.040℃/a,最小的气温倾向值出现在同抚流域,为 0.022℃/a。唯一的降水增加中心出现在倭肯河流域,降水量倾向率为 0.010 mm/a,其余子流域降水都逐渐减少,减少最多的子流域为挠力河流域,降水量倾向值为-2.230 mm/a。

表 7 三江平原子流域 1954—2015 年气温和降水倾向率

倾向率 Propensity rate	安邦河流域 Anbang River Basin	萝北流域 Luobei River Basin	穆棱河流域 Muling River Basin	挠力河流域 Naoli River Basin	同抚流域 Tongfu River Basin	倭肯河流域 Weiken River Basin
气温倾向率/(℃/a) Temperature propensity rate	0.032	0.040	0.028	0.037	0.022	0.027
降水量倾向率/(mm/a) Precipitation propensity rate	-0.187	-0.850	-0.570	-2.230	-1.243	0.010

除倭肯河流域以外的其他子流域均是气温升高和降水量减少。气温升高、降雨量下降都会造成沼泽湿地的丧失和退化^[33], Brock 等研究表明气温升高 3—4℃, 欧洲南部半干旱地区的湿地面积在 5 年之内将减少 70—80%^[34], 张树清等研究也表明, 气温升高、降雨量减少是造成三江平原沼泽湿地减少的主要原因之一^[35], 因此气候变化是影响三江平原沼泽湿地格局变化的主要自然因素之一。同时沼泽湿地对气候变化也产生一定的影响, 1954—2015 年挠力河流域和同抚流域是沼泽湿地率最高、湿地面积丧失最大的区域, 造成这两个区域降水量下降最多、气温上升幅度较大, 而倭肯河流域和安邦河流域是沼泽湿地率最低、沼泽湿地面积丧失最小的区域, 造成这两个区域降水量下降不明显、气温上升幅度不大。

3.2 结论

(1) 三江平原沼泽湿地面积变化具有明显的区域分异规律。1954—2015 年, 三江平原各流域沼泽湿地面积呈现减少趋势, 其中以 1976—1986 年和 2000—2015 年沼泽湿地丧失率较高, 而 1986—2000 年沼泽湿地丧失率较低; 沼泽湿地面积丧失最多的子流域为挠力河流域和同抚流域, 最少的为倭肯河流域和安邦河流域; 位于研究区西部的安邦河流域、萝北流域和倭肯河流域沼泽湿地丧失速率较快, 而位于东部和南部的穆稜河流域、同抚流域和挠力河流域较慢。

(2) 三江平原各流域沼泽湿地格局变化特征具有一定的差异性。1954—2015 年, 除倭肯河流域沼泽湿地斑块的集中化程度逐渐增强且破碎化程度减少外, 其他流域沼泽湿地的集中化程度逐渐减弱且破碎化程度增加; 各子流域沼泽湿地斑块之间的连接性和稳定性均呈下降趋势, 其中安邦河流域沼泽湿地斑块之间的连接性下降幅度最大, 倭肯河流域下降幅度最小; 最能表现三江平原各子流域沼泽湿地景观格局演变的指数是斑块密度, 其中同抚流域斑块密度变异最大。

(3) 人为干扰是影响三江平原各子流域沼泽湿地变化的主要因素, 人为干扰对安邦河流域沼泽湿地景观格局影响最大, 而对穆稜河流域和挠力河流域影响较小; 自然因素中对沼泽湿地变化影响最大的是地形地貌, 其次是气温和降水量。

参考文献 (References):

- [1] Mita D, DeKeyser E, Kirby D, Easson G. Developing a wetland condition prediction model using landscape structure variability. *Wetlands*, 2007, 27(4): 1124-1133.
- [2] 刘志杰. 黄河三角洲滨海湿地环境区域分异及演化研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013.
- [3] 邓伟, 白军红. 典型湿地系统格局演变与水生生态过程: 以黄淮海地区为例. 北京: 科学出版社, 2012.
- [4] 谷东起, 夏东兴, 丰爱平, 付军. 山东半岛潟湖湿地发育特征及区域分异演化研究. *海洋科学进展*, 2004, 22(1): 43-49.
- [5] 张美美, 张荣群, 张晓东, 杨建宇. 基于 ANN-CA 的湿地景观变化时空动态模拟研究. *计算机工程与设计*, 2013, 34(1): 377-381.
- [6] Wang Z M, Song K S, Ma W H, Ren C Y, Zhang B, Liu D W, Chen J M, Song C C. Loss and fragmentation of marshes in the Sanjiang plain, Northeast China, 1954-2005. *Wetlands*, 2011, 31(5): 945-954.
- [7] 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. *生态学报*, 2004, 24(7): 1472-1479.
- [8] 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. *水科学进展*, 2010, 21(3): 392-398.
- [9] 陈雪梅, 刘吉平, 田学智. 近 50 年别拉洪河流域湿地时空格局变化研究. *广东农业科学*, 2013, 40(15): 168-171, 187-187.
- [10] 侯伟, 张树文, 张养贞, 匡文慧. 三江平原挠力河流域 50 年代以来湿地退缩过程及驱动力分析. *自然资源学报*, 2004, 19(6): 725-731.
- [11] 刘红玉, 李兆富. 挠力河流域湿地景观演变的累积效应. *地理研究*, 2006, 25(4): 606-616.
- [12] Liu J P, Sheng L X, Lu X G, Liu Y. A dynamic change map of marshes in the Small Sanjiang Plain, Heilongjiang, China, from 1955 to 2005. *Wetlands Ecology and Management*, 2015, 23(3): 419-437.
- [13] 刘吉平, 董春月, 盛连喜, 刘雁. 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. *地理科学*, 2016, 36(6): 879-887.
- [14] 张丽娜. 小三江平原河岸带景观格局研究[D]. 长春: 中国科学院研究生院(东北地理与农业生态研究所), 2014.
- [15] 刘吉平, 刘亚斌, 吕宪国. 1955—2010 年三江平原东北部沼泽湿地时空格局变化. *吉林师范大学学报: 自然科学版*, 2017, 38(1): 121-125.
- [16] 张一博, 姜琦刚, 林楠. 三江平原湿地时空演变探究. *世界地质*, 2017, 36(1): 299-304.
- [17] 裘善文, 万恩璞, 李风华, 汪佩芳. 兴凯湖北部平原的发展与湿地的形成. *湿地科学*, 2007, 5(2): 153-158.

- [18] 曾涛, 邸雪颖, 于宏洲, 舒展, 杨光. 兴凯湖国家级自然保护区景观格局变化分析. 北京林业大学学报, 2010, 32(4): 52-58.
- [19] 黄妮, 刘殿伟, 王宗明, 宋开山, 张柏, 李方, 任春颖. 三江平原萝北县湿地农田化过程与驱动机制分析. 地球信息科学学报, 2009, 11(3): 382-389.
- [20] 孔博, 邓伟, 陶和平, 于欢, 李爱农. 三江平原典型湿地的多尺度人为干扰格局研究. 北京林业大学学报, 2010, 32(2): 100-105.
- [21] 郭雷, 马克明, 张易. 三江平原建三江地区 30 年湿地景观退化评价. 生态学报, 2009, 29(6): 3126-3135.
- [22] 那晓东, 张树清, 于欢, 李晓峰, 刘春悦. 三江平原典型淡水沼泽湿地景观格局变化研究——以三江自然保护区为例. 干旱区资源与环境, 2009, 23(4): 69-74.
- [23] 周德民, 宫辉力, 胡金明, 赵魁义. 三江平原淡水湿地生态系统景观格局特征研究——以洪河湿地自然保护区为例. 自然资源学报, 2007, 22(1): 86-96.
- [24] 王宗明, 宋开山, 刘殿伟, 张柏, 张树清, 李方, 任春颖, 金翠, 杨婷, 张春华. 1954—2005 年三江平原沼泽湿地农田化过程研究. 湿地科学, 2009, 7(3): 208-217.
- [25] 许凤娇, 周德民, 张翼然, 牛振国. 中国湖泊、沼泽湿地的空间分布特征及其变化. 生态学杂志, 2014, 33(6): 1606-1614.
- [26] 李颖, 张养贞, 张树文. 三江平原沼泽湿地景观格局变化及其生态效应. 地理科学, 2002, 22(6): 677-682.
- [27] 汪爱华, 张树清, 张柏. 三江平原沼泽湿地景观空间格局变化. 生态学报, 2003, 23(2): 237-243.
- [28] 刘吉平, 杜保佳, 盛连喜, 田学智. 三江平原沼泽湿地格局变化及影响因素分析. 水科学进展, 2017, 28(1): 22-31.
- [29] 卜坤, 张树文, 闫业超, 王文娟, 张宇博. 三江平原不同流域水土流失变化特征分析. 地理科学, 2008, 28(3): 361-368.
- [30] 宫兆宁, 张翼然, 宫辉力, 赵文吉. 北京湿地景观格局演变特征与驱动机制分析. 地理学报, 2011, 66(1): 77-88.
- [31] Wang J F, Li X H, Christakos G, Liao Y L, Zhang T, Gu X, Zheng X Y. Geographical detectors-based health risk assessment and its application in the neural tube defects study of the Heshun Region, China. International Journal of Geographical Information Science, 2010, 24(1): 107-127.
- [32] 金晓敏, 李颖, 付波霖, 殷书柏, 杨高, 幸泽峰. 1954-2015 年不同地貌分区下湿地农田化过程的时空特征——以完达山以北三江平原为例. 生态学报, 2017, 37(10): 3286-3294.
- [33] Withey P, van Kooten G C. The effect of climate change on optimal wetlands and waterfowl management in Western Canada. Ecological Economics, 2011, 70(4): 798-805.
- [34] Brock T C, Viërsan W V. Climatic change and hydrophobedominated communities in inland marsh ecosystem. Marsh Ecology & Management, 1992, 2: 37-49.
- [35] 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. 地球科学进展, 2001, 16(6): 836-841.