

近 40 年来若尔盖高原高寒湿地景观格局变化

白军红^{1,2}, 欧阳华², 崔保山¹, 王庆改³, 陈 辉²

(1. 北京师范大学环境学院, 水环境模拟国家重点实验室, 北京 100875; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101;
3. 国家环境保护总局环境工程评估中心, 北京 100012)

摘要:基于 Apack 软件, 通过选取景观面积指数、景观多样性指数和景观破碎化指数等景观格局指数, 从景观水平上研究了近 40a 来若尔盖高原高寒湿地景观空间分布格局特征的动态变化过程。结果表明: (1) 高寒湿地景观空间格局以自然湿地景观为主要特征, 自然湿地景观的斑块数和平均斑块面积均明显高于人工湿地景观。沼泽湿地景观斑块数最多, 面积最大, 所占比例高于 95%; (2) 高寒湿地景观具有高度的空间异质性。若尔盖县湿地景观的面积最大, 占该区湿地景观总面积的近 50%, 湿地率也居五县之首; 红原县和玛曲县次之; 阿坝县和碌曲县最小; (3) 高寒湿地景观面积呈先减少后增加的变化趋势。但与 20 世纪 60 年代相比, 2000 年湿地景观面积仍呈萎缩状态, 总面积减少 59857.83 hm²; (4) 近 40a 来, 若尔盖高原湿地景观呈集中连片分布, 聚集度均高于 0.95; 优势度水平较高, 但多样性指数水平较低。湿地景观的斑块数呈先下降后持平的变化趋势, 而平均斑块面积则表现为增加的变化趋势; 湿地景观分布质心也发生了明显的空间位移, 经历了先向西北方向偏移 12.54km; 再向东南方向偏移了 11.33km; 最后又向北偏移了 1.1km。

关键词: 高寒湿地景观; 空间格局; 格局指数; 若尔盖高原

文章编号: 1000-0933(2008)05-2245-08 中图分类号: Q149 文献标识码: A

Changes in landscape pattern of alpine wetlands on the Zoige Plateau in the past four decades

BAI Jun-Hong^{1,2}, OUYANG Hua², CUI Bao-Shan¹, WANG Qing-Gai³, CHEN Hui²

1 State Key Lab of Water Environment Simulation, School of Environment, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

2 Institute of Geographical Science and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

3 Appraisal Center for Environment and Engineering, State Environmental Protection Administration, Beijing 100012, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(5): 2245 ~ 2252.

Abstract: Based on RS, GIS and Apack software, the indices of landscape pattern, such as landscape area index, landscape diversity index and landscape fragmentation index, were chosen in order to describe the spatial pattern changes of alpine wetland landscape on the Zoige Plateau in the last four decades at the landscape level. The results showed that: (1) Spatial pattern of alpine wetland landscape mainly consists of natural wetland, of which patch number and average patch area were highly larger than those of constructed wetland landscapes. Alpine wetland landscape was characteristic of marsh wetland, which had the most patch number and the largest area, and its area accounted for more than 95% of the whole wetland landscape. (2) The alpine wetland landscape had the higher spatial heterogeneity. The largest area appeared in Zoige County, making up about 50% of the whole wetland area. Wetland ratio in this county was also the highest among the

基金项目: 国家重点基础研究发展(973)计划资助项目(2006CB403301); 国家科技支撑计划资助项目(2006BAB04A08)

收稿日期: 2007-02-07; 修订日期: 2007-11-07

作者简介: 白军红(1976~), 男, 河北无极人, 副教授, 主要从事湿地景观格局与生态过程研究. E-mail: junhongbai@163.com

Foundation item: The project was financially supported by National Basic Research Program of China (No. 2006CB403301) and the Emphasis Project Fund of National Eleventh Five-Year Scientific and Technical Support Plans (No. 2006BAB04A08)

Received date: 2007-02-07; **Accepted date:** 2007-11-07

Biography: BAI Jun-Hong, Associate professor, mainly engaged in landscape pattern and ecological processes of wetlands. E-mail: junhongbai@163.com

five counties. Comparably, Aba County and Luqu County had much lower wetland ratio than the other three counties. (3) The total area of alpine wetland landscape showed the tendency of “increasing after decreasing”. It decreased rapidly during the period of 1966–1986, with wetland ratio decreasing from 11.1% to 8.9%; but it began to increase after 1986, there was a rapid increase by 27026.68 hm² in wetland area and by 0.7% in wetland ratio during the period from 1986 to 1995; and it was slowly increased by 3326.94 hm² during five years from 1995 to 2000. However, compared with the wetland landscape area in 1966, there was still a large-area shrinkage by 59857.83 hm² in 2000. (4) The alpine wetland landscape showed the characteristics of concentrated distribution, with the contagion of more than 0.95; And it also had higher dominance and much lower Shannon-Weaver diversity index during the last four decades. The patch number leveled off after its decreasing, while the average patch areas went on increasing. In addition, the centroid of wetland landscape moved 12.54 km towards the northwest direction firstly, then 11.33 km towards the southeast direction, after that 1.1 km towards the north direction.

Key Words: wetland landscape; spatial pattern; pattern index; Zoige Plateau

近年来景观格局及其动态变化研究已经成为景观生态学的研究热点和重要研究领域^[1,2]。研究景观格局的动态变化可以把握景观在结构单元和功能方面随时间的变化,包括景观结构单元的组成成分、多样性、形状和空间格局的变化,以及由此导致的能量物质和生物在分布和运动方面的差异^[3],同时还能为进一步的景观分析奠定基础。随着湿地科学研究的不断深入和发展,湿地景观格局变化研究也已受到国内外学者的关注。但当前湿地景观格局变化研究主要侧重于受人类活动影响较为严重的平原地区和海岸带^[4~9],对高原湿地研究则还处于初始阶段^[10]。自 20 世纪 60 年代以来,由于自然因素和人类干扰活动的综合影响,若尔盖高原湿地已经发生了大面积的退化,湿地景观的空间分布格局也受到了很大程度的干扰,加速了泥炭的分解和碳素的释放,引发了区域气候变干、湿地沙化、旱化现象日趋加重、河流径流流量减少和湿地生物多样性下降等一系列的生态环境问题。因此研究若尔盖高原湿地近 40a 来的景观格局变化可为高原湿地景观的管理和保护提供有价值的参考和科学理论依据,且对全球气候变化研究也具有相当的贡献。

1 研究区概况

若尔盖高原的地理位置为 33°10′~34°06′N, 101°36′~103°25′E, 行政上隶属于四川省若尔盖县、红原县、阿坝县以及甘肃省玛曲县和碌曲县。若尔盖高原西临巴颜喀拉山,东抵岷山,北起西倾山,南至邛崃山,是一块完整的丘状高原,它是第四纪强烈隆起区中的一个相对沉降区,地貌以宽谷缓丘为基本特征^[11],缺少高大山岭,广泛发育了高原草甸土和泥炭沼泽土。该区是黄河上游重要的水源涵养生态功能区和我国生物多样性重要保护地,享有“高原之肾”的美誉。气候为典型的大陆性高原寒温带湿润半湿润季风气候,其高寒气候特征明显,大陆性气候特征显著。年均降雨量 600~800 mm,是黄河流域的多雨区。区内河流多属于黄河水系,其支流以黑河和白河为主。植被以亚高山草甸和沼泽植被为主,其中沼泽植被主要有藏嵩草(*Kobresia kansuensis*)群落、木里苔草(*Carex muliensis*)群落和毛果苔草(*Carex lasiocarpa*)群落。该区湿地动物十分丰富,其中黑颈鹤(*Grus nigricollis*)等 9 种国家一级保护动物,建有国家级若尔盖湿地自然保护区和湿地恢复示范区。

2 研究方法

2.1 数据源与数据处理平台

本文选取的数据源为 1966 年 1:10 万地形图、国家基础地理信息中心提供的 1:10 万矢量县级行政界线图以及 1986、1995 和 2000 年的 landsat TM(或 ETM)影像及其解译数据(原始数据由中国科学院地理科学与资源研究所资源数据中心提供,通过 GPS 野外调查和大量采样后,进行修改和编辑获得,解译精度能够达到 90% 以上)。采用的数据处理平台包括 Arcview3.2、Arcgis8.3、R2V、Apack 和 Excell2000。

2.2 数据处理与信息提取

将 40 幅 1:10 万地形图扫描为栅格图像后建立控制点文件,然后对这些图件进行纠正处理,投影变换后对栅格地形图进行矢量化,根据湿地分类系统提取湿地信息,得到 1966 年的湿地景观分布图,对 1986、1995 和 2000 年的遥感影像解译数据进行修改、编辑,提取湿地景观信息,分别生成各时期的湿地景观空间分布图(图 1),建立湿地景观空间数据库。对 4 个时期的湿地景观分布图采用相同的分类系统和编码体系,并以 1966 年的湿地景观分布图为主控数据源,将 3 期影像数据与之配准,采用统一的北京 1954 坐标体系和正轴等面积双标纬线圆锥投影,并建立具有相同精度控制的拓扑关系,使 4 个时期的湿地景观分布图具有可比性。最后,运用 Apack 软件进行计算各时期湿地景观格局指数,来揭示近 40a 来若尔盖高原湿地景观空间格局的变化特征。

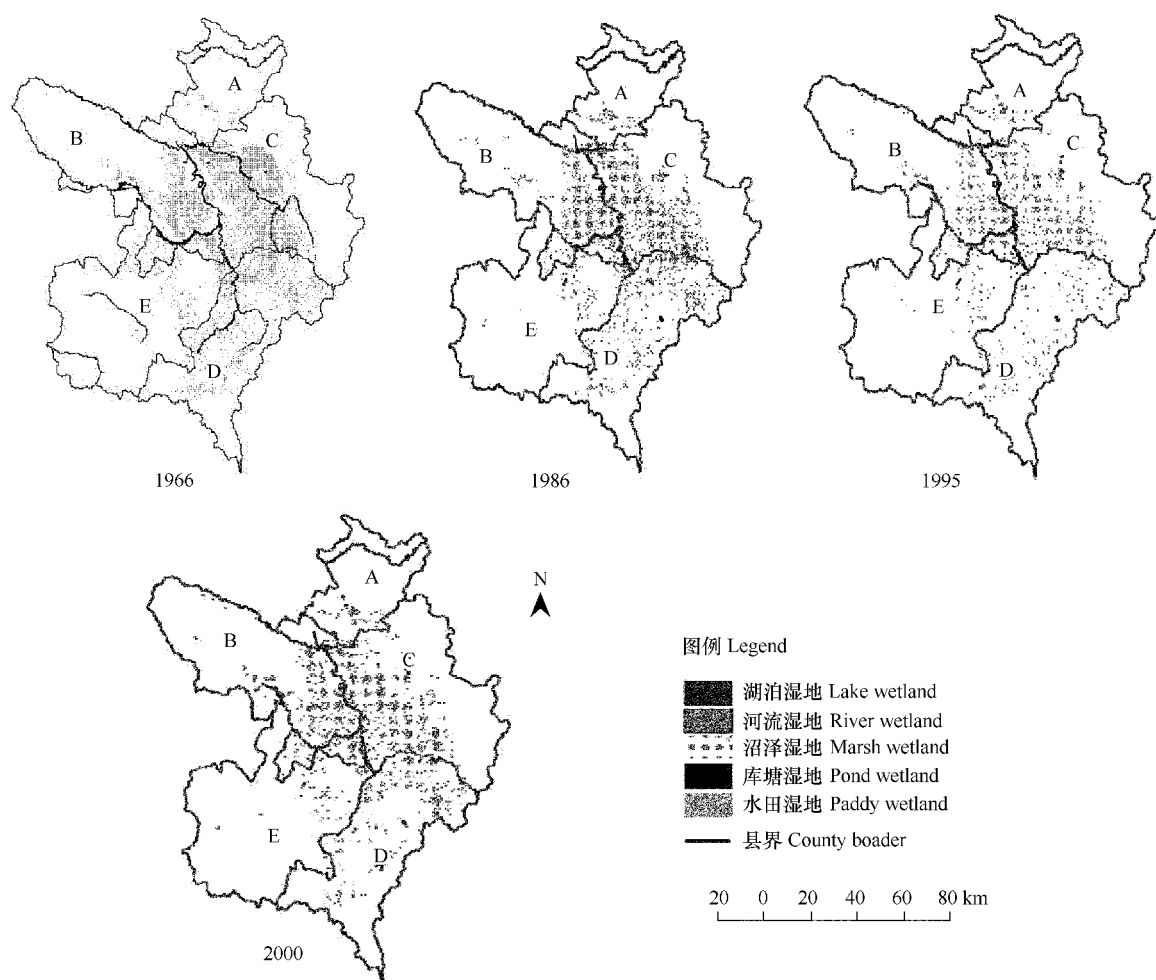


图 1 4 个时期内若尔盖高原高寒湿地景观空间分布图

Fig. 1 Spatial distribution of alpine wetlands on the Zoige Plateau in four periods

A: 碌曲县 Luqu County; B: 玛曲县 Maqu County; C: 若尔盖县 Ruoergai County; D: 红原县 Hongyuan County; E: 阿坝县 Aba County

2.3 湿地景观生态分类系统

根据肖笃宁等^[12]提出的景观生态分类原则,结合湿地的定义及其生态特征,将本区的景观划分为湿地景观和非湿地景观两类景观。根据人类活动对景观的影响程度将湿地景观一级划分为自然湿地景观和人工湿地景观类型。其中,自然湿地景观指没有受到或受人类活动干扰很小的景观,景观中的能量流动和物质循环关系仍属于自然生态系统,而人工湿地景观是指受到人类活动强烈干扰的景观。根据湿地的定义和自然属性,依据地貌、水文、土壤、气候等指标,将自然湿地二级划分为河流湿地景观、湖泊湿地景观和沼泽湿地景观

3 个景观类型;人工湿地二级划分为水田景观和水库坑塘景观两个景观类型。

2.4 湿地景观格局指数的选取

景观格局指数已经成为当前景观定量化研究的新兴手段之一^[13~15],它可以比较不同景观之间的空间分布和组合特征等结构差异,也可以用来定量的描述和监测景观空间结构随时间的变化。但在实际的运用中,有些指数具有相同的生态学意义,有些不具有明确的生态学意义,甚至有些指数之间相互矛盾^[16,17],因此本研究排除了一些易产生冗余的景观指数,在在景观水平上(landscape-level)选择景观面积类指数、景观多样性指数、聚集度指数和斑块质心坐标等景观格局指数作为湿地景观格局度量指标来反映景观结构和景观异质性。

1) 景观面积类指数

(1) 斑块数(N)

整个景观或单一景观类型的斑块数量。

(2) 平均斑块面积(AP)

整个景观的斑块平均面积 = 斑块总面积/斑块总数。单一景观类型的斑块平均面积 = 类型的斑块面积/类型的斑块总数量。用于描述景观粒度,在一定意义上揭示景观破碎化^[18]。

2) 景观多样性指数

(1) 景观多样性指数 Shannon-Weaver(H)

$$H = - \sum_{k=1}^m (P_k) \ln(P_k)$$

式中, P_k 是 k 种景观类型占总面积的比, m 是研究区中景观类型的总数。当景观是由单一要素构成时,景观是均质的,其多样性指数为0;由两个以上的要素构成的景观,当各景观类型所占比例相等时,其景观多样性为最高;各景观类型所占比例差异增大,则景观的多样性下降^[13, 19]。

(2) 优势度指数(D)

$$D = H_{\max} + \sum_{k=1}^m (P_k) \ln(P_k)$$

式中, $H_{\max} = \ln(m)$, P_k 为 k 种景观占总面积的比, m 为景观类型总数。 $H_{\max}$ 为研究区各类型景观所占比例相等时,景观拥有的最大的多样性指数^[1,13]。优势度指数越大,则表明组成景观各景观类型所占比例差异大;优势度小则表明组成景观的各种景观类型所占比例大致相当。优势度为0,表示组成景观各种景观类型所占比例相等,景观完全均质,即由一种景观类型组成。

(3) 均匀度指数(E)

$$E = (H/H_{\max}) \times 100\%$$

式中, E 是均匀度指数(百分数), H 是实际景观多样性, $H_{\max}$ 是在给定丰富度条件下景观最大可能多样性。 H 和 $H_{\max}$ 计算公式为:

$$E = (H/H_{\max}) \times 100\%$$

$$H = - \sum_{k=1}^m (P_k) \ln(P_k), H_{\max} = \ln(m)$$

式中, P_k 和 m 的定义同上;均匀度和优势度一样,也是描述景观由少数几个主要景观类型控制的程度。这两个指数可以彼此验证。

4) 景观破碎化指数

(1) 斑块密度指数(PD)

整个景观的斑块密度(镶嵌度) = 景观斑块总数/景观总面积,比值愈大,破碎化程度愈高^[18]。根据这一指数可以比较不同类型景观的破碎化程度的状况,从而可以识别不同景观类型受干扰的强度^[19]。但该指数不能描述同一种景观类型破碎化程度,需要其它指数来补充。

(2) 聚集度指数(RC)

$$RC = 1 - C/C_{\max}$$

$$C = - \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m P(i,j) \ln [P(i,j)]$$

$$C_{\max} = 2 \ln(m)$$

$$P(i,j) = EE(i,j)/Nb$$

式中, RC 是相对聚集度指数(0~1 取值), C 为复杂性指数, $C_{\max}$ 是 C 的最大可能取值。 $P(i,j)$ 是生态系统 i 与生态系统 j 相邻的概率, m 是景观中生态系统类型总数。 $E(i,j)$ 是相邻生态系统 i 与 j 之间的共同边界长度, Nb 是景观中不同生态系统间边界的总长度, RC 的取值大, 则代表景观由少数团聚的大斑块组成, RC 取值小, 则代表景观由许多小斑块组成, 即 RC 取值越小, 则景观破碎化程度越深^[13]。

2.5 斑块空间变化分析

土地利用的空间变化, 可以用土地资源分布重心变化情况来反映, 同理, 可以用湿地分布质心变化来研究湿地的空间变化, 根据该方法分别求出四期湿地分布图中各湿地斑块的质心坐标(经纬度), 然后乘以各湿地斑块的面积, 最后把乘积累加后除以同期全区域湿地的总面积。第 t 年湿地分布质心坐标(经纬度)计算方法为:

$$X_t = \sum_{i=1}^N (C_{ti} \times X_i) / \sum_{i=1}^N C_{ti}$$

$$Y_t = \sum_{i=1}^N (C_{ti} \times Y_i) / \sum_{i=1}^N C_{ti}$$

3 结果与分析

3.1 湿地景观类型及构成比例的变化

1966 年若尔盖高原湿地景观类型主要有河流湿地、湖泊湿地和沼泽湿地等自然湿地景观, 自 1986~2000 年, 湿地景观类型除包括上述自然湿地景观类型外, 还出现库塘湿地和水田湿地等人工湿地景观类型。在四个时期内, 沼泽湿地景观所占比例均居首位(高于 95%), 且近 40a 来所占比例无明显变化。其它湿地景观类型在各时期内所占比例均较小。

3.2 湿地景观面积的动态变化

与 20 世纪 30 年代相比, 20 世纪 60 年代若尔盖高原湿地已经出现初步退化现象, 但总体上属于自然环境变化, 人类干扰甚微, 湿地景观的基本面貌仍无重要变化^[11], 湿地总面积达 470272.68hm²。随着人类对湿地干扰破坏力度的加强和全球气候变化的影响, 湿地面积不断缩减。由图 2 可知, 至 1986 年若尔盖高原湿地面积已缩减至 380061.63hm², 湿地率也由 11.1% 缩减至 8.9%, 这主要是由于沼泽湿地发生了大面积的缩减的缘故。在 1966~1986 年期间的 20a 内自然湿地共计减少 90519.93hm², 而人工湿地在此期间共增加 308.88hm²。20 世纪 80 年代至 90 年代, 因自然恢复和人为保护如湿地自然保护区的建立和其它一些保护及恢复等措施使湿地保护得到加强, 湿地景观面积开始增加, 湿地景观总面积净增量为 27026.68hm², 湿地率也增至 9.6%, 其增长量主要来自自然湿地景观的增长, 尤其是沼泽湿地景观面积的增加。1995~2000 年, 湿地景观总面积稍稍有所增长, 湿地率仅增加 0.1%。尽管自 1986 年以来湿地景观面积呈增长趋势, 但与 1966 年相比, 2000 年湿地景观面积呈萎缩状态, 总面积减少 59857.83hm²。

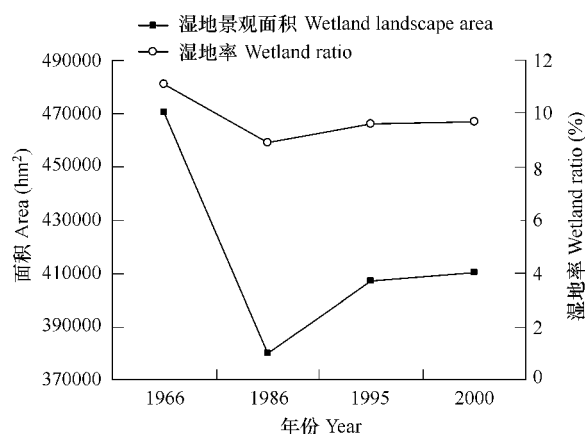


图 2 湿地景观面积及湿地率的变化

Fig. 2 Changes in wetland landscape areas and wetland ratios

3.3 湿地景观破碎化分析

3.3.1 斑块数及斑块密度的变化

图3表明1966~1986年期间,若尔盖高原湿地景观斑块数明显减少;1986~2000年,斑块数基本保持不变。这主要是由于20世纪70年代湿地景观发生大面积的缩减,导致许多斑块丧失。但在4个研究期内,湿地的平均斑块面积则表现出了不断增长的变化,这表明湿地退化丧失的斑块以小斑块为主。

3.3.2 聚集度的变化

图4表明,若尔盖高原湿地景观在4个时期内的聚集度都很高,均高于0.95,表明4个时期若尔盖高原湿地景观的整体分布一直都很集中,破碎化水平低。这与上述分析一致。

3.4 湿地景观多样性的变化

若尔盖高原湿地景观的优势度水平较高,多样性指数水平较低,而且两指数在四个时期内没有发生太大变化;均匀度水平较低,自1966年至1986年稍有下降,之后则无明显变化(图5)。这表明四个时期内若尔盖高原湿地景观组成要素均较少,且比例差异较大,由少数景观要素控制的程度较高。尽管1966年的若尔盖高原湿地景观要素较其它3个时期少,但该时期的景观要素的比例差异程度相对较小。

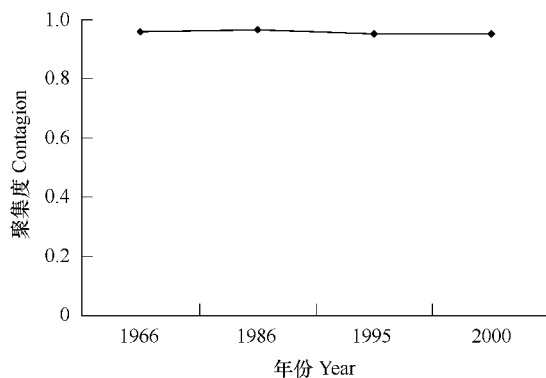


图4 若尔盖高原高寒湿地景观聚集度的变化

Fig. 4 Dynamic variations in contagion of alpine wetland landscape on the Zoige Plateau

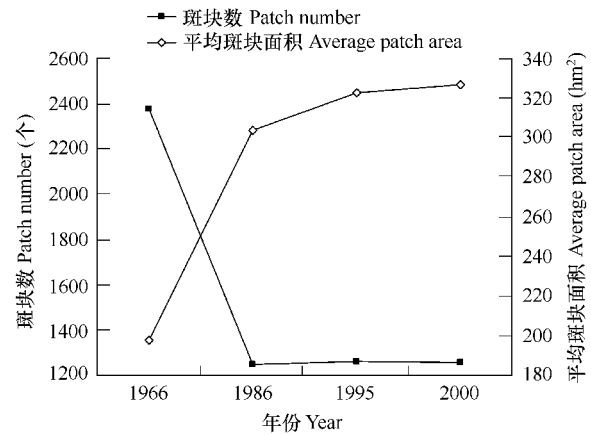


图3 若尔盖高原高寒湿地景观斑块数和平均斑块面积的变化

Fig. 3 Dynamic variations in patch number and average patch area of alpine wetland landscape on the Zoige Plateau

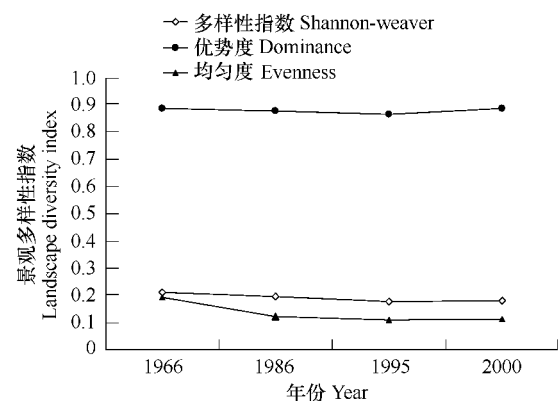


图5 若尔盖高原湿地景观水平多样性指数的动态变化

Fig. 5 Landscape diversity indices of alpine wetlands on the Zoige Plateau at the landscape level

3.5 湿地景观县域构成比例和湿地率的变化

若尔盖高原湿地景观在四个时期内的区域构成比例变化趋势不一致(图6)。近40a来,若尔盖县湿地构成比例呈下降趋势,但变化较平缓。红原县湿地构成比例在1986年前呈下降趋势,而后开始增加,但2000年所占比例小于1966年所占的比例。与红原县相反,玛曲县湿地构成比例在1986年前呈增加趋势,而后开始下降,但2000年所占比例要高于1966年。阿坝县湿地构成比例在1966~2000年期间虽总体呈下降趋势,但变化不明显。碌曲县湿地构成比例在1986年前呈增加趋势,而后保持平稳。若尔盖高原各县的湿地率的变化趋势与湿地区域构成比例变化趋势一致(图6和图7)。若尔盖县湿地率自1966年至1986年期间呈下降趋势,以后保持平稳状态。红原县的湿地率在前20a中呈明显下降趋势,1986年后开始回升,1995~2000年保持不变。这主要是由于这两个县湿地受到人类的严重干扰,尤其是20世纪70年代开沟挖渠的破坏,导致

大面积湿地退化丧失。玛曲县的湿地率在 1986 年前呈增长趋势,之后开始下降,至 2000 年降至 1966 年的湿地率水平。阿坝县的湿地率自始至终稍有下降,基本保持不变。碌曲县的湿地率在 1986 年前呈下降趋势,之后开始增长,至 1995 年其湿地率已明显超过 1966 年,1995~2000 年稍有增加。

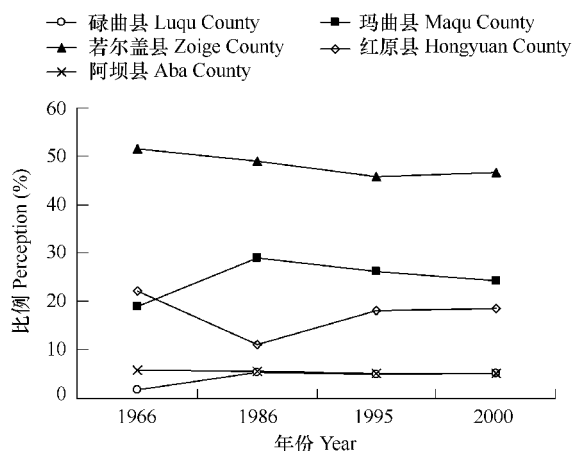


图 6 若尔盖高原湿地县域湿地构成比例变化

Fig. 6 Changes in the ratio of wetland areas in different counties to total wetland area on the Zoige Plateau

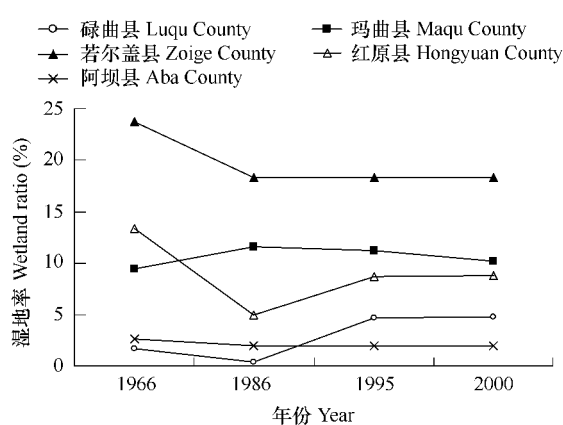


图 7 若尔盖高原各县湿地率的动态变化

Fig. 7 Dynamic variations in wetland ratios at the county level on the Zoige Plateau

3.6 若尔盖高原湿地景观斑块空间分布变化

在 Arc/Info 中用 Centroidlabels 命令将各湿地斑块的质心标出来并转换成点 Coverage,再转换成大地坐标系,得到各斑块质心的经纬度坐标,根据式(6),计算出 1966、1986、1995 和 2000 年湿地景观的分布质心坐标(图 8)。1966~1986 年期间,若尔盖高原湿地景观总体格局分布质心向北偏移 0.07° ,再向西偏移 0.09° ,整体上向西北方向偏移了 12.54km;这主要是与 20 世纪 70 年代以来南部红原县和北部若尔盖县的湿地大面积减少以及东部山地森林的砍伐导致其对湿地水源的涵养功能下降有关。1986~1995 年期间,若尔盖高原湿地景观总体格局分布质心向南偏移 0.04° ,向东偏移 0.03° ,整体向东南方向偏移了 11.33km。由于 20 世纪 90 年代以来,湿地保护得到了加强,部分退化湿地得以恢复,所以湿地景观分布质心向东南方向偏移。1995~2000 年期间,若尔盖高原湿地总体景观分布质心向北偏移了 0.01° ,整体向北偏移了 1.1km。

4 结论

(1) 若尔盖高原湿地景观空间格局具有显著的空间异质性。若尔盖高原湿地景观空间格局以自然湿地景观为主要特征,形成以沼泽湿地景观为景观基质,以河流湿地景观为廊道,以湖泊湿地为缀块的缀块-廊道-基质的景观构型特征。在县域水平上,若尔盖县湿地景观的面积和湿地率均居五县之首,阿坝县和碌曲县相对较小。

(2) 若尔盖高原湿地景观格局具有高度的时间异质性。1966 年若尔盖高原湿地景观类型相对原始,而自 1986 年以来,已经出现少量人工湿地景观类型。近 40a 来若尔盖高原湿地景观呈集中连片分布,但多样性指数水平较低。1966~1986 年若尔盖高原湿地景观面积和湿地率都迅速缩减,湿地景观的斑块数呈明显下降趋势。但自 1986 年以后,湿地景观面积开始回升,湿地面积在一定程度上得到了恢复,但与 1966 年相比仍呈

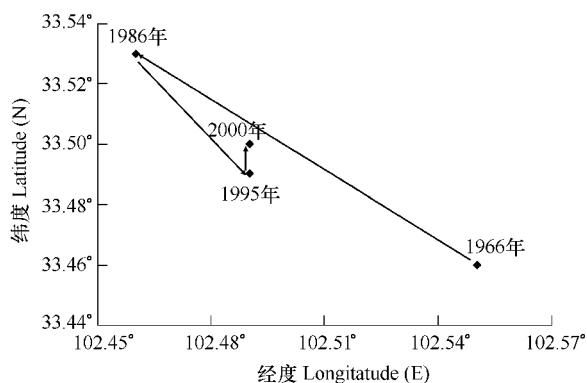


图 8 若尔盖高原高寒湿地景观空间格局分布质心变化

Fig. 8 Changes in centroids of spatial patterns of alpine wetland landscape on the Zoige Plateau

萎缩状态。

(3)近 40a 来若尔盖高原湿地景观分布质心发生了明显的空间位移,经历了先向西北方向偏移 12.54km;再向东南方向偏移了 11.33km;最后又向北偏移了 1.1km。

References:

- [1] Xiao D N, Zhao Y, Sun Z W. Changes in spatial pattern of west suburb landscape in Shenyang City. In: Xiao Duning. Landscape Ecology: Theory, Methods and Applications. Beijing: Chinese Forestry Press, 1991. 186 — 195.
- [2] Wu B, Ci L J. Temporal and spatial patterns of landscape in the Mu Us Sandland, Northern China. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(2): 191 — 196.
- [3] Wu J G. Landscape: pattern, proceed, scale and hierarchy. Beijing: Higher Education Press, 2000.
- [4] Wang A H, Zhang S Q, Zhang B. A study on the Change of spatial pattern of wetland in the Sanjiang plian. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(2): 237 — 243.
- [5] Liu H Y, Zhang S K, Lu X G. Processes of wetland landscapes change in Naolo River Basin since 1980s. *Journal of Natural Resources*, 2002, 17(6): 698 — 705.
- [6] Gudtun Bornette. Ecological complexity of wetlands within a river landscape. *Biological Conservation*, 1998, 85: 35 — 45
- [7] Dinel M. Deocampol. Wetland diagenesis and traces of early hominids. *Quaternary Research*, 2002, 57: 271 — 281
- [8] Ding S Y, Liang G F. Landscape pattern change of regional wetland along the Yellow River in Henan Province in the last two decades. *Acta Geographica Sinica*, 2004, 59(5): 653 — 661.
- [9] Lyle M Vamell, David A Evans. A geomorphological model of intertidal cove marshes with application to wetlands management. *Ecological Engineering*, 2003, 19: 339 — 347
- [10] Bai J H, Ouyang H, Xu H F, *et al.* A review of wetland studies on the Qinghai-Tibet Plateau. *Progress in Geography*, 2004, 23(4): 1 — 9.
- [11] Sun G Y, Zhang W F, Zhang J J. Mires and peat in Hengduan Mountain. Beijing: Science Press, 1998.
- [12] Xiao D N, Li X Z, Chang Y, *et al.* Landscape Ecology. Beijing: Science Press, 2003.
- [13] O'Neill R V, Krummel J R, Gardner R V, *et al.* Indices of landscape pattern. *Landscape Ecology*, 1988, 1(3): 153 — 162
- [14] Turner MG, Gadner R H, eds. Quantitative methods in landscape ecology. New York: Springer-Verlag, 1991.
- [15] Bu R C, Li X Z, Hu Y M, *et al.* Scaling effects on landscape pattern indices. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(12): 2181 — 2186.
- [16] Schumaker N H. Using landscape indices to predict habitat connectivity. *Ecology*, 1996, 77: 1210 — 1225.
- [17] He H S, Dezonias B, Mladenoff D J. An aggregation index (AI) to quantify spatial patterns of landscapes. *Landscape Ecology*, 2000, 15: 591 — 601.
- [18] Fu B J, Chen L D, Ma K M, *et al.* Theory and Applications of Landscape Ecology. Beijing: Science Press, 2002.
- [19] Wang X L, Bu R C, Hu Y M, *et al.* Analysis of landscape fragment of Liaohe delta wetlands. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1996, 7(3): 299 — 304.

参考文献:

- [1] 肖笃宁, 赵奔, 孙中伟. 沈阳西郊景观格局变化研究. 见: 肖笃宁主编. 景观生态学: 理论、方法及应用. 北京: 中国林业出版社, 1991. 186 ~ 195.
- [2] 吴波, 慈龙骏. 毛乌素沙地景观格局变化研究. *生态学报*, 2001, 21(2): 191 ~ 196.
- [3] 邬建国. 景观生态学: 格局、过程、尺度与等级. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [4] 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.
- [5] 刘红玉, 张世奎, 吕宪国. 20 世纪 80 年代以来挠力河流域湿地景观变化过程研究. *自然资源学报*, 2002, 17(6): 698 ~ 705.
- [8] 丁圣彦, 梁国付. 近 20 年来河南沿黄湿地景观格局演化. *地理学报*, 2004, 59(5): 653 ~ 661.
- [10] 白军红, 欧阳华, 徐惠风, 等. 青藏高原湿地研究进展. *地理科学进展*, 2004, 23(4): 1 ~ 9.
- [11] 孙广友, 张文芬, 张家驹. 横断山沼泽和泥炭. 北京: 科学出版社, 1998.
- [12] 肖笃宁, 李秀珍, 常禹, 等. 景观生态学. 北京: 科学出版社, 2003.
- [15] 布仁仓, 李秀珍, 胡远满, 等. 尺度分析对景观格局指标的影响. *应用生态学报*, 2003, 14(12): 2181 ~ 2186.
- [18] 傅伯杰, 陈利顶, 马克明, 等. 景观生态学原理及应用. 北京: 科学出版社, 2002.
- [19] 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. *应用生态学报*, 1996, 7(3): 299 ~ 304.