



巴音布鲁克天鹅湖高寒湿地景观格局季相变化分析

徐晓龙, 王新军, 贾宏涛, 朱新萍

引用本文:

徐晓龙, 王新军, 贾宏涛, 等. 巴音布鲁克天鹅湖高寒湿地景观格局季相变化分析[J]. 农业资源与环境学报, 2020, 37(1): 82-91.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13254/j.jare.2018.0307>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

降雨对干旱半干旱区湿地和农田土壤CO₂短期释放的影响

朱新萍, 贾宏涛, 周建勤, 蒋平安, 克热木阿依, 张雨佳, 张岚

农业资源与环境学报. 2017, 34(1): 54-58 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2016.0109>

围垦对条子泥互花米草种群年季扩张特征的影响

刘璐, 余夏杨, 唐洪根, 辛沛

农业资源与环境学报. 2019, 36(3): 376-384 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2019.0070>

基于MCE-CA耦合模型的嘉兴市土地利用预测情景下生态敏感性评价

荣月静, 张慧, 赵显富

农业资源与环境学报. 2015(4): 343-353 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2014.0359>

宁波地区4种典型农村生活污水处理工艺污染物去除率比较分析

周金波, 包薇红, 罗艳, 李洋, 金树权

农业资源与环境学报. 2017, 34(5): 492-498 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2017.0124>

西南丘陵山区农村宅基地复垦景观格局和生态效应研究

罗友进, 余端, 韩国辉, 王武, 胡佳羽, 谢永红, 廖敦秀

农业资源与环境学报. 2015, 32(5): 429-435 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2015.0036>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

徐晓龙, 王新军, 贾宏涛, 等. 巴音布鲁克天鹅湖高寒湿地景观格局季相变化分析[J]. 农业资源与环境学报, 2020, 37(1): 82-91.

XU Xiao-long, WANG Xin-jun, JIA Hong-tao, et al. Seasonal landscape pattern changes in Bayanbulak swan lake alpine wetland[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2020, 37(1): 82-91.

巴音布鲁克天鹅湖高寒湿地景观格局季相变化分析

徐晓龙, 王新军*, 贾宏涛, 朱新萍

(新疆农业大学草业与环境科学学院, 新疆土壤与植物生态过程实验室, 乌鲁木齐 830052)

摘要:为探讨湿地年内时间尺度上景观格局变化趋势,以干旱区巴音布鲁克天鹅湖高寒湿地为研究区,利用2015年5—10月OLI遥感影像为数据源,结合气象站点的气温和降水,分析了巴音布鲁克天鹅湖高寒湿地景观格局季相变化特征及其与气候因子的关系。结果表明:年内生长季,湿地面积变化以8月为分水岭,8月前,湿地面积稳定,占研究区面积比例在74.23%~81.15%之间浮动;8月后,湿地面积快速缩减,10月减至最小,占比38.97%。景观水平上,8月前,研究区景观破碎度增大、空间异质性增强、不同类别斑块分布趋于均衡化,8月后,景观破碎度减小、景观异质性减弱、不同类别斑块分布趋于非均衡化;类型水平上,5—10月湿地斑块破碎度增大,形状趋于复杂。湿地面积与月降水量和月均气温均存在显著相关性($r=0.745$, $P=0.045$ 和 $r=0.859$, $P=0.014$)。研究表明,月均气温是影响巴音布鲁克天鹅湖高寒湿地景观稳定性的主要因素。巴音布鲁克天鹅湖高寒湿地景观呈“夏季稳定-秋季锐减”的格局。

关键词:湿地景观格局;季相变化;高寒湿地;干旱区

中图分类号:X826;P901

文献标志码:A

文章编号:2095-6819(2020)01-0082-10

doi: 10.13254/j.jare.2018.0307

Seasonal landscape pattern changes in Bayanbulak swan lake alpine wetland

XU Xiao-long, WANG Xin-jun*, JIA Hong-tao, ZHU Xin-ping

(Xinjiang Key Laboratory of Soil and Plant Ecological Processes, College of Grassland and Environmental Sciences, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

Abstract: In order to explore the changing trends in landscape patterns in wetlands, we analyzed the seasonal landscape pattern change and its relationship with climate factors in the alpine wetland of the Bayanbulak swan lake. From May to October 2015, we used six remote sensing images, including the operational land imager (OLI). Our results showed that the areas of wetland varied slightly, from 74.23% to 81.15% of total area before August. But after August, the wetland area decreased rapidly to 38.97%. At the landscape level, fragmentation and spatial heterogeneity increased from May to August and patch shapes tended to be complex. However, landscape fragmentation and spatial heterogeneity decreased from September to October and the patch shapes tended to be simple. At the class level, the fragmentation of wetland patches increased from May to October and the shape of patches tended to be complex. There were significant correlations between wetland area and monthly precipitation ($r=0.745$, $P=0.045$) and monthly mean temperature ($r=0.859$, $P=0.014$). In conclusion, monthly average temperature was a major factor in the stability of the alpine wetland landscape pattern in the Bayanbulak swan lake. The landscape pattern varied and the wetland environment tended to be unstable in autumn in the alpine wetlands of Bayanbulak swan lake. The landscape shows a pattern of "summer stability-autumn sharp decline" in the alpine wetlands of Bayanbulak swan lake.

Keywords: wetland landscape pattern; seasonal change; alpine wetland; arid area

收稿日期: 2018-11-07 录用日期: 2018-12-25

作者简介: 徐晓龙(1990—), 男, 河南信阳人, 硕士研究生, 从事湿地景观生态遥感研究。E-mail: xiaolongxu1990@163.com

*通信作者: 王新军 E-mail: wxj8112@163.com

基金项目: 国家自然科学基金项目(31560171, 41305136)

Project supported: The National Natural Science Foundation of China(31560171, 41305136)

湿地景观格局是指大小、形状和类型不一的湿地景观斑块在空间上的排布,是多种生态水文过程在不同尺度上耦合作用的结果,具有显著的景观异质性^[1-3]。湿地景观格局的变化对湿地生态系统的能量流动、物质循环、物种迁移等生态过程具有重要影响^[4-5]。因此,研究湿地景观格局动态演化特征及其驱动因子,对湿地的生态过程和生态功能理解具有重要理论意义,也为湿地资源的管理和决策提供科学参考。据世界经济合作与发展组织统计,1900年以来全球近50%的湿地消失^[6],在全球气候变化以及经济快速发展的背景下,全球湿地呈现退化的趋势^[7]。据报道,近30年我国湿地也处于退化的态势,湿地面积减少约33%^[8]。自然因素(降水、气温等)是湿地景观格局演变的重要驱动因素,从过程和尺度讲,水热因素的周期波动以及异常复杂因素在过程和尺度层面的变动,致使湿地景观格局在不同尺度上发生变化^[9-10]。在当前湿地退化背景下,对于气候变化较为敏感的高寒湿地,尺度的选择是掌握湿地景观格局演化特征的关键所在。

近年来,国内外学者利用遥感数据对湿地景观格局年际变化进行了大量报道。研究得出:人口增加是致使1972—2013年艾比湖湿地面积减少的主导因素^[11];鄱阳湖水位变动与2000—2010年鄱阳湖春季湖水面积变动趋势一致^[12];人为干扰是导致1955—2010年间小三江平原湿地面积减少的主导原因^[13];1979—2013年黄河三角洲潮间带不同类型湿地的景观格局及其动态变化受自然因素与人为因素的双重影响^[14];自然因素(气温、降水)影响1985—2015年间南四湖湿地景观格局脆弱度的空间分布,人为因素(社会经济活动、政策体制)是其脆弱度恶化的主要原因^[15]。在这些研究中,受天气质量的影响,所选取的影像是否能够反映当年湿地的真实现状,存在一定的不确定性。气温和降水是湿地变化的主要气候因子,二者的季节性变化致使湿地年内景观格局呈现出一定的差异^[16-18],因而,很有必要对湿地年内时间尺度上景观格局变化进行探讨。

本研究以生态系统较为脆弱的巴音布鲁克天鹅湖高寒湿地为研究区,应用最大似然法提取2015年5—10月共6期遥感影像湿地信息,结合2015年巴音布鲁克气象数据,分析了巴音布鲁克天鹅湖高寒湿地年内景观格局的季相演变特征,探讨湿地景观格局年内变化趋势,揭示气候因素与湿地景观格局变化的关系,为研究干旱区高寒湿地景观格局演变提供数

据参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

巴音布鲁克天鹅湖高寒湿地(42°35′~43°00′ N, 83°40′~84°40′ E)位于巴音布鲁克草原尤勒都斯山间盆地,四面环山,海拔2300~3042 m,东西长60 km,南北宽20 km,面积约为833.59 km²,属国家级自然保护区,5A级景区。多年平均气温为-4.25℃,最高气温28.0℃,极端最低气温-48.1℃;10月中旬至翌年5月中旬,地表均被积雪覆盖,全年积雪150~180 d;多年平均降水为274.39 mm,全年降水主要集中在5—9月;多年平均蒸发量为1250 mm;多年平均相对湿度为69.73%;地下水位埋深0.5~1.0 m,属于典型的干旱区高寒湿地^[19-20]。湿地水分主要来源于高山冰川融水和自然降水补给,为开都河、孔雀河的源流区,对南疆水资源平衡起着至关重要的作用。主要植被类型为大穗苔草(*Carex rhynchophysa*)、单行苔草(*Carex divisa*)、黑花苔草(*Carex melanantha*)、细果苔草(*Carex stenocarpa*)、早熟禾(*Poa pratensis*)和松草(*Ceratopteris pteroides*)等^[21-22]。

1.2 研究方法

1.2.1 数据来源及预处理

研究以2015年轨道号145/30的Landsat OLI遥感影像数据为数据源,根据可获得影像的日期、质量以及巴音布鲁克多年平均降水月际分布规律,选取日期为5月28日、6月13日、7月15日、8月16日、9月17日、10月3日质量较好的遥感影像,分别代表5、6、7、8、9、10月进行研究。影像均经过几何精校正,统一投影坐标系(地图投影:UTM),选取可见光波段1~7(空间分辨率30 m)以及全色波段(空间分辨率15 m)进行图像融合等预处理。根据实地调查样点数据,从影像的色调、纹理、几何特征等方面建立相应类型地物的遥感解译标志。此外,从国家气象科学数据共享网获取2015年巴音布鲁克气象站的降水和气温数据;应用2015年5—10月期间开展的3次野外调查样点数据及Google Earth高分辨率遥感影像获取的随机样点数据进行解译结果的验证。

1.2.2 湿地分类方案

根据研究目的,在借鉴国内外湿地景观分类研究的基础上^[9,23],结合巴音布鲁克天鹅湖高寒湿地的水文特征,将研究区分为湿地和非湿地,其中湿地包括水体、沼泽、草甸(主要指湿草甸);非湿地主要指草

原^[21](表1)。针对研究区湿地景观类型分类方案,草甸在旱季体现为草原特征时归为草原,草甸和沼泽在多雨季节被水覆盖时则归为水体。

表1 研究区景观类型分类

Table 1 Classes of landscape type in the study area

一级类型 Landscape types	二级分类 The second classification of landscape type	景观特征 Landscape features	地物类型 Land types
湿地 Wetland	水体 Water	分布于平坦、低洼地区,无挺水植物	
	沼泽 Marsh	分布于河流、湖泊边缘,地表常年积水且被挺水植物覆盖,土壤常年处于淹水状态,主要植被为大穗苔草和单行苔草	
	草甸 Meadow	分布于河流、湖泊、泥沼泽附近,地表低洼处可见积水,除冬季被雪覆盖外,土壤常年保持湿润状态,主要植被为黑花苔草和细果苔草	
非湿地 Other	草原 Grassland	分布于山坡、缓坡区,地面表层除冬季降雪覆盖外,土壤常年处于干燥状态,优势物种为早熟禾和松草	

1.2.3 信息提取及精度评价

在野外考察资料的基础上,分析遥感图像上的水体信息与植被的光谱特征。同时,对遥感图像进行增强处理,确定提取水体、沼泽、草甸、草原的最佳波段组合,构建对应的地物遥感解译标志,并利用野外实地调查资料,对地物信息提取。选取训练样本 $n=120$ 个,每类地物各 30 个,使用最大似然法进行分类,结合目视解译进行修改,得到研究区的景观类型分布图(图1)。利用2015年春、夏、秋季野外实地调查的141个样点以及 Google Earth 高分辨率遥感影像随机获取的39个样点(3期样点采集地点相同,各60个),依据混淆矩阵对每期影像的信息提取结果进行检验,总体分类精度分别为 92.01%、91.13%、86.81%、88.18%、91.34%、93.98%,结果可靠。

1.2.4 景观指数分析方法

根据研究区湿地景观类型的特征,从类型水平和景观水平分别选择不同的指数,在类型水平上选取斑块密度指数(PD1)、某一类型斑块所占百分比(PLAND)、景观形状指数(LSI)、分散指数(SPLIT)4个指数;在景观水平上选取斑块密度指数(PD2)、香农多样性指数(SHDI)、聚集度指数(AI)、香农均匀度指数(SHEI)4个指数。各指数的景观生态学意义和计算公式参见文献[24],指数计算在 Fragstats 4.1 中完成。

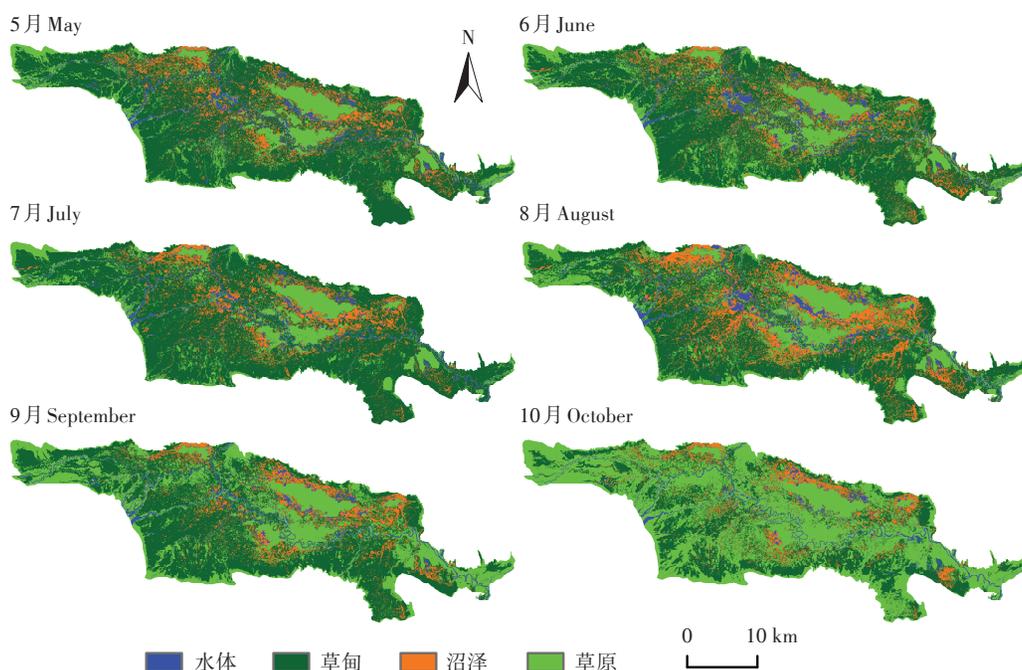


图1 研究区2015年5—10月湿地景观类型分布

Figure 1 Distribution of landscape types of wetlands in the study area from May to October in 2015

1.3 数据分析

利用SPSS 19.0软件,采用Pearson相关系数方法检验水体面积、沼泽面积、草甸面积、湿地面积与月均气温和月降水量的相关关系显著性。利用Excel 2013软件对数据进行整理和计算。利用SigmaPlot 10.0软件以及ArcGIS 10.2软件绘图。

2 结果与分析

2.1 研究区湿地景观类型面积季相变化

由研究区2015年6期湿地景观类型面积(表2)看出:年内生长季,湿地面积(水体+沼泽+草甸)8月前变化较小,5、6、7、8月湿地面积分别为65 893.69、62 429.97、67 646.52、61 876.14 hm²,占研究区总面积比例稳定在74.23~81.15%之间;8月后,湿地面积快速缩减,9月湿地面积为53 987.24 hm²,占研究区总面

积的64.77%,10月湿地面积降至最小,仅占研究区总面积的38.97%。可见研究区湿地面积变化以8月为分水岭,8月前湿地面积稳定,8月后湿地面积快速下降。年内生长季,草甸面积变化较大,但其占湿地面积比重稳定在69.45%~82.12%之间,可见草甸景观是组成研究区湿地景观的主要类型,湿地面积变化主要受草甸面积变化调控。

2.2 研究区湿地景观类型季相转换

由研究区2015年5个时间段景观类型的转化面积(表3)分析得出,研究区5—6、7—8、8—9月间湿地类型主要发生在湿地内部转化和湿地到非湿地转化,二者之和占转化总面积的比例分别为85.50%、89.47%、88.76%。6—7月湿地类型主要发生在非湿地到湿地转化和湿地内部转化,二者之和占转化总面积的85.62%。9—10月主要为湿地到非湿地的转化,

表2 研究区2015年各期不同湿地景观类型面积及比例

Table 2 Areas and percentage of different landscape type of wetlands of study area in 2015

景观类型 Landscape type	5月 May		6月 June		7月 July		8月 August		9月 September		10月 October	
	面积 Area/hm ²	占比 Percentage/%										
水体 Water	4 186.80	6.35	4 802.53	7.69	3 952.86	5.84	5 074.87	8.20	4 080.02	7.56	3 391.81	10.44
沼泽 Marsh	8 075.03	12.26	7 768.89	12.45	8 143.13	12.04	13 829.16	22.35	7 042.93	13.04	5 503.24	16.94
草甸 Meadow	53 631.86	81.39	49 858.55	79.86	55 550.53	82.12	42 972.11	69.45	42 864.29	79.40	23 588.03	72.62

表3 研究区2015年各期间湿地景观类型的转化面积和比例

Table 3 Conversion areas and percentage of various landscape type of wetlands in 2015

转化类型 Wetlands conversion		5—6月 May to June		6—7月 June to July		7—8月 July to August		8—9月 August to September		9—10月 September to October	
		面积 Area/hm ²	占比 Percentage/%	面积 Area/hm ²	占比 Percentage/%	面积 Area/hm ²	占比 Percentage/%	面积 Area/hm ²	占比 Percentage/%	面积 Area/hm ²	占比 Percentage/%
		湿地→非 湿地 Wetlands→ Other	水体→草原 Water→Grassland	274.96	2.03	216.52	1.37	415.82	2.10	612.05	2.74
	沼泽→草原 Marsh→Grassland	128.62	0.95	181.49	1.15	179.08	0.90	700.00	3.14	905.51	3.50
	草甸→草原 Meadow→Grassland	5 022.43	37.11	1 870.65	11.85	7 261.49	36.67	9 083.81	40.73	20 219.78	78.14
	小计 Total	5 426.01	40.10	2 268.66	14.38	7 856.39	39.67	10 395.86	46.62	21 882.16	84.57
非湿地→ 湿地 Other→ Wetlands	草原→水体 Grassland→Water	182.17	1.35	143.74	0.91	340.58	1.72	434.04	1.95	69.38	0.27
	草原→沼泽 Grassland→Marsh	179.96	1.33	187.71	1.19	285.91	1.44	139.01	0.62	48.93	0.19
	草原→草甸 Grassland→Meadow	1 600.15	11.82	7 153.78	45.33	1 459.51	7.37	1 933.9	8.67	259.69	1.00
	小计 Total	1 962.28	14.50	7 485.23	47.43	2 086.00	10.53	2 506.95	11.24	378.00	1.46
湿地→湿 地 Wetlands →Wetlands	水体→沼泽 Water→Marsh	344.63	2.55	1 115.28	7.07	403.19	2.04	764.63	3.56	400.41	1.55
	水体→草甸 Water→Meadow	334.11	2.47	283.46	1.80	140.82	0.71	639.87	2.87	66.33	0.26
	沼泽→水体 Marsh→Water	985.41	7.28	375.87	2.38	1 023.79	5.17	469.55	2.11	352.17	1.36
	沼泽→草甸 Marsh→Meadow	1 897.3	14.02	2 189.06	13.87	687.71	3.47	6 947.81	31.16	1 707.27	6.60
	草甸→水体 Meadow→Water	401.85	2.97	245.97	1.56	717.46	3.62	148.11	0.66	113.85	0.44
	草甸→沼泽 Meadow→Marsh	2 180.60	16.11	1 817.67	11.52	6 887.54	34.78	397.44	1.78	975.92	3.77
	小计 Total	6 143.91	45.40	6 027.31	38.19	9 860.51	49.79	9 397.41	42.14	3 615.95	13.97
	转化总面积 Total conversion area	13 532.20		15 781.20		19 802.90		22 300.22		25 876.11	

占转化总面积的比例为84.57%。从年内时间序列来看,转化总面积逐步增加,其中9—10月转化总面积最大,5—6月转化总面积最小。可见从春季至秋季,转化面积处于增加趋势,其转化面积增加12 343.91 hm²,增幅为91.22%。说明研究区秋季湿地景观类型变异性较大,湿地景观趋于不稳定态势。

2.3 研究区湿地景观格局指数季相变化

2.3.1 类型水平上景观格局指数变化

类型水平的景观格局指数可以明确研究区域不同类型的景观特征。从类型水平的4个景观指数来分析研究区不同景观类型的景观格局变化特征,结果见图2。

从斑块密度指数PD1来看:5—10月沼泽、草甸PD1波动较大;水体PD1稳定在0.37~0.68个·km⁻²,其中,沼泽PD1在6月增至最大,10月降至最低。总体上沼泽PD1减少0.94个·km⁻²,减幅为36.02%;草甸PD1波动较大,10月增至最大,总体草甸PD1增加1.53个·km⁻²,增幅为182.14%。可见年内5—10月,水体PD1波动较小,沼泽PD1小幅减少,草甸PD1大幅增加,导致湿地PD1增加,研究区湿地破碎度增大。

从斑块所占百分比PLAND来看:5—10月间草甸PLAND波动较大,水体和沼泽PLAND波动较小。草甸7月增至最大(66.64%),10月降至最低(28.30%),且9月前,草甸是研究区的优势景观;草原占比呈增加趋势,10月升至最大(61.03%)。可见年内5—9月,研究区景观格局主要受草甸类型支配,但在10月草甸对湿地景观的调控作用减弱,而草原的景观优势度逐渐回升。

从景观形状指数LSI来看:5—10月沼泽、草甸LSI波动较大,水体LSI稳定在39.64~44.35之间。其中,9月前沼泽、草甸均表现出同一变化趋势,9月后草甸与沼泽呈现相反的变化趋势,沼泽LSI 8月增至最大(82.23),10月降至最低(55.49),草甸7月减至最低(51.63),10月增至最大(74.24)。总体上沼泽减少19.43,减幅为25.93%,草甸增加18.32,增幅为32.78%。可见年内5—10月,水体LSI波动较小,沼泽LSI减幅小于草甸LSI增幅,导致湿地LSI略有增加,研究区湿地形状趋于复杂。

从分散指数SPLIT来看:5—10月水体、沼泽SPLIT波动较大,草甸SPLIT波动较小。其中,水体

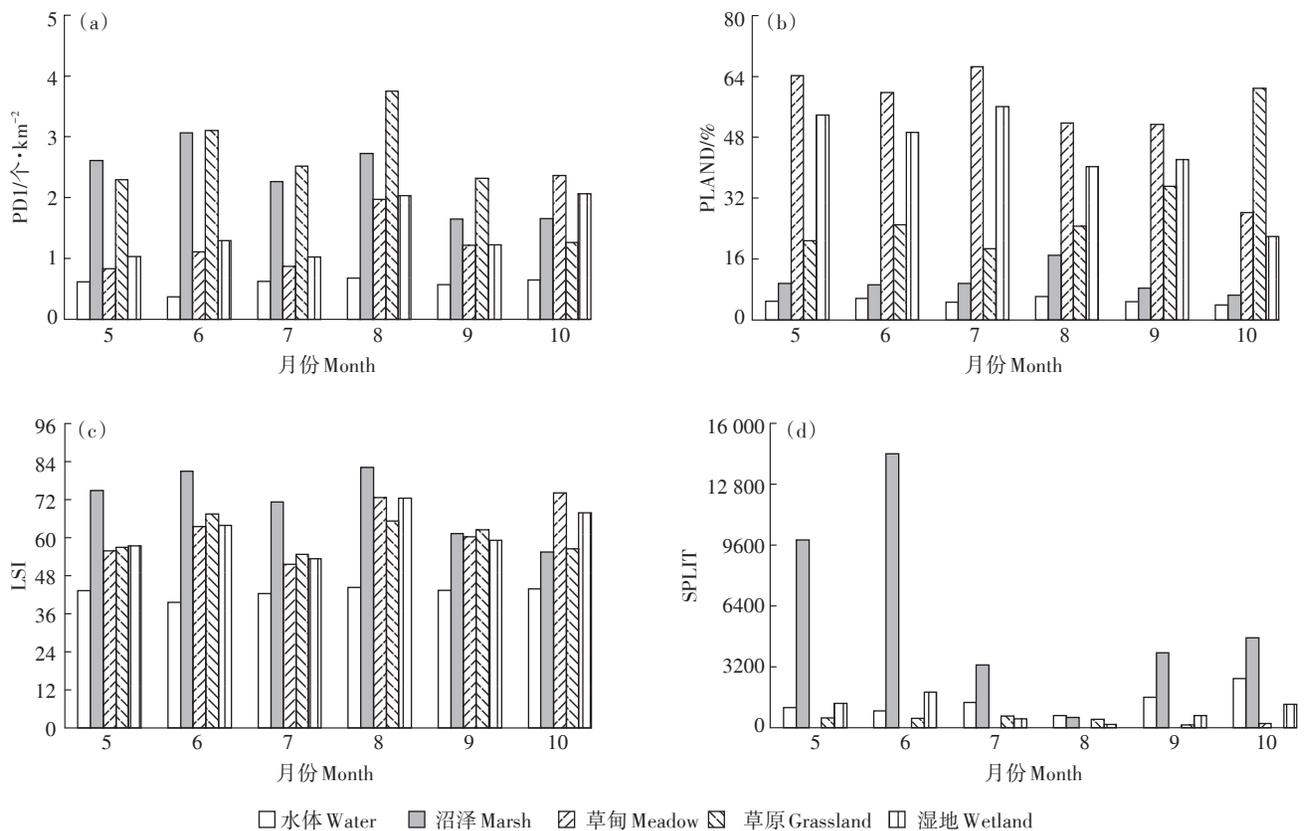


图2 研究区2015年5—10月类型水平的景观格局指数

Figure 2 Landscape pattern indices of type level in the study area from May to October in 2015

SPLIT 10月增至最大,8月降至最低,总体上水体 SPLIT 增加 1 524.98,增幅为 142.21%;沼泽 SPLIT 呈“增加-减少”交替变化趋势,总体上沼泽 SPLIT 减少 5 156.20,减幅为 52.14%。可见年内5—10月,草甸 SPLIT 波动较小,水体 SPLIT 的增加小于沼泽 SPLIT 的减少,导致湿地 SPLIT 略有减小,研究区湿地呈现向集中分布转变的趋势。

2.3.2 景观水平上景观格局指数变化

景观水平的景观格局指数可以明确整个区域的景观特征。从景观水平上的4个景观指数来分析研究区的景观格局演变特征,结果见图3。5—10月斑块密度指数 PD2 呈现先增后减交替变化的趋势,但8月后变化趋势不明显,PD2 较稳定,且8月增至最高(9.15 个·km⁻²),9月降至最低(5.78 个·km⁻²)。香农多样性指数 SHDI、香农均匀度指数 SHEI 均呈现先增后减交替变化趋势,且8月均增至最高(1.16、0.84),10月均迅速降至最低(0.97、0.70),说明8月前不同类别斑块分布向均衡化方向发展,8月后不同类别斑块分布趋于非均衡化。聚集度指数 AI 较稳定,7月增至最高(90.03%),8月减至最低(86.05%)。可见,8月前,研究区景观破碎度增大、景观异质性增强,不同类别斑块分布趋于均衡化,8月后,研究区景观破碎度减小、景观异质性减弱,不同类别斑块分布趋于非均衡化。

2.4 气温和降水对湿地景观季相变化的影响

对研究区主要湿地景观类型面积与月降水量、月均气温相关性分析发现,水体面积、沼泽面积与月降水量相关系数均大于与月均气温的相关系数,其中,水体面积与月降水量具有显著相关性($r=0.853, P=0.015$),与月均气温相关性不显著($r=0.586, P=0.111$);沼泽面积与月降水量和月均气温相关性均不显著($r=0.640,$

$P=0.086$ 和 $r=0.589, P=0.109$)。说明水体面积、沼泽面积对月降水量响应相对水体面积、沼泽面积对月均气温响应更为敏感,且水体面积、沼泽面积主要受年内月降水量变化的影响。草甸面积、湿地面积与月均气温相关系数均大于与月降水量的相关系数,其中,草甸面积与月均气温具有显著相关性($r=0.791, P=0.030$),与月降水量相关性不显著($r=0.637, P=0.087$);湿地面积与月降水量和月均气温均具有显著相关性($r=0.745, P=0.045$ 和 $r=0.859, P=0.014$)。说明草甸面积、湿地面积对月均气温响应相对草甸面积、湿地面积对月降水量响应更为敏感,且年内草甸面积、湿地面积主要受年内月均气温变化的影响。

对研究区主要湿地类型面积与月降水量、月均气温建立最优关系模型(图4和图5),湿地面积、草甸面积与月降水量均表现显著多项式关系($R^2=0.993 0, P=0.000 6$ 和 $R^2=0.917 6, P=0.023 7$);水体面积与月降水量表现显著幂函数增加关系($R^2=0.742 6, P=0.036 2$);沼泽面积与月降水量表现幂函数增加关系,但不显著($R^2=0.531 2, P=0.173 2$),原因可能是在各时段转化过程中湿地内部的转化均以沼泽和草甸互转为主导,致使沼泽面积变动性较大,从而导致沼泽面积与月降水量的关系模型误差偏大。湿地面积、草甸面积与月均气温均表现显著幂函数增加关系($R^2=0.967 7, P=0.001 2$ 和 $R^2=0.896 9, P=0.012 1$);水体面积与月均气温表现不显著多项式关系($R^2=0.733 5, P=0.137 6$);沼泽面积与月均气温呈不显著的幂函数增加关系($R^2=0.485 8, P=0.212 3$)。原因可能是沼泽面积变动性较大,使沼泽面积与月均气温关系模型存在一定的偏差。

3 讨论

气候是干旱区湿地生态环境变化的主要限制因

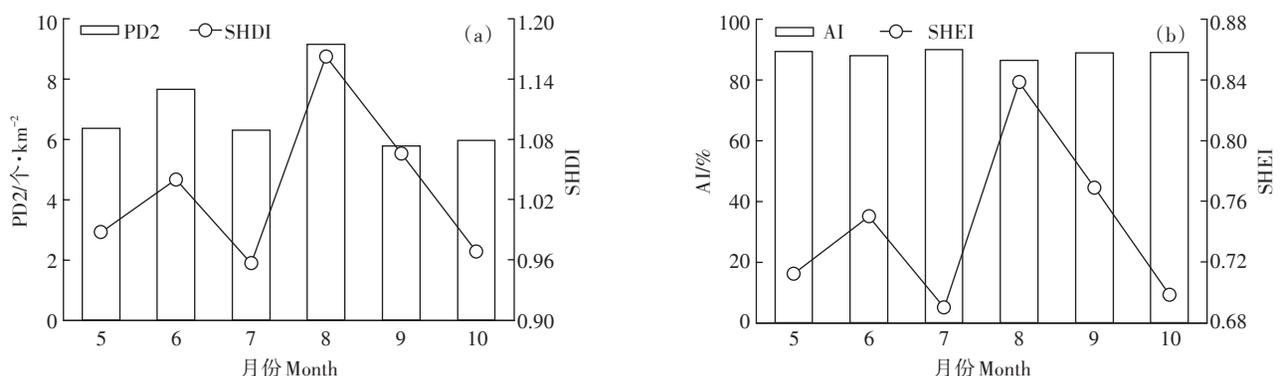


图3 研究区2015年5—10月景观水平的景观格局指数

Figure 3 Landscape pattern indices of landscape level in the study area from May to October in 2015

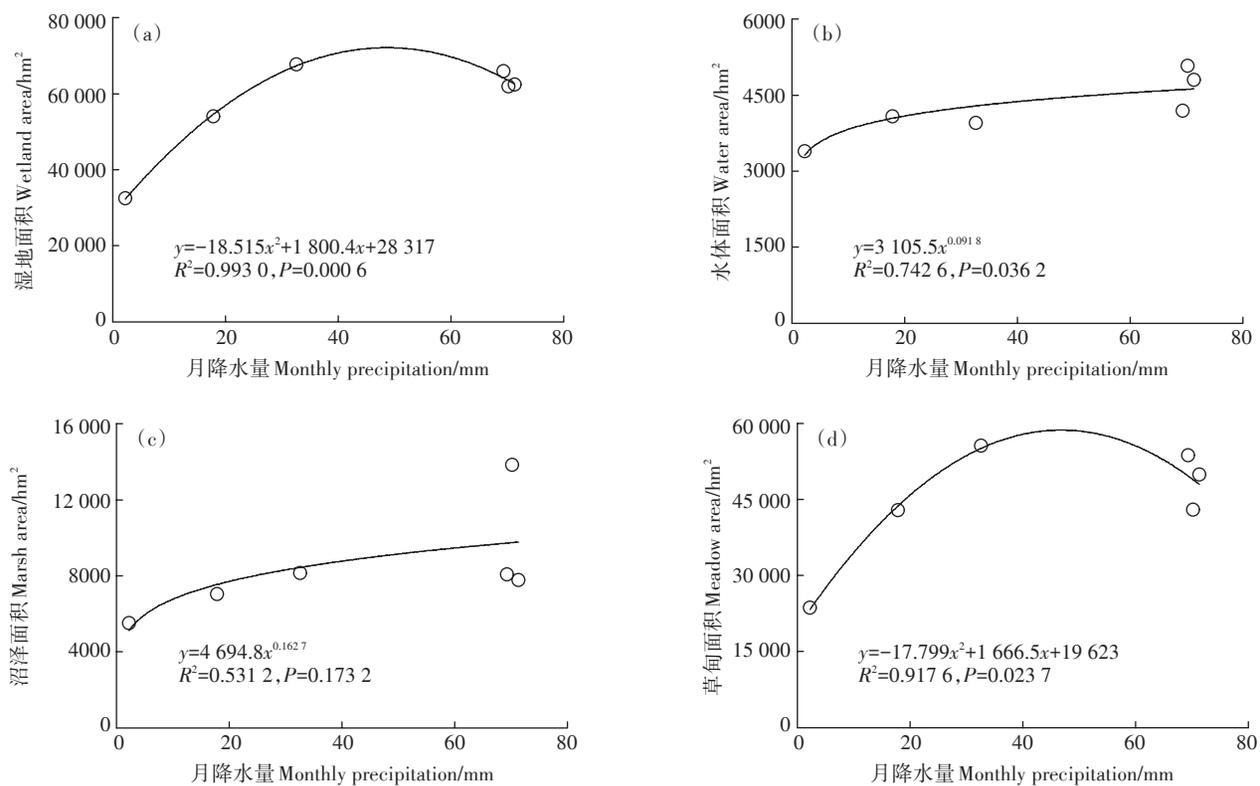


图4 研究区2015年不同湿地景观类型面积与月降水量的关系

Figure 4 Relationships between landscape area of different wetland types and monthly precipitation in the study area in 2015

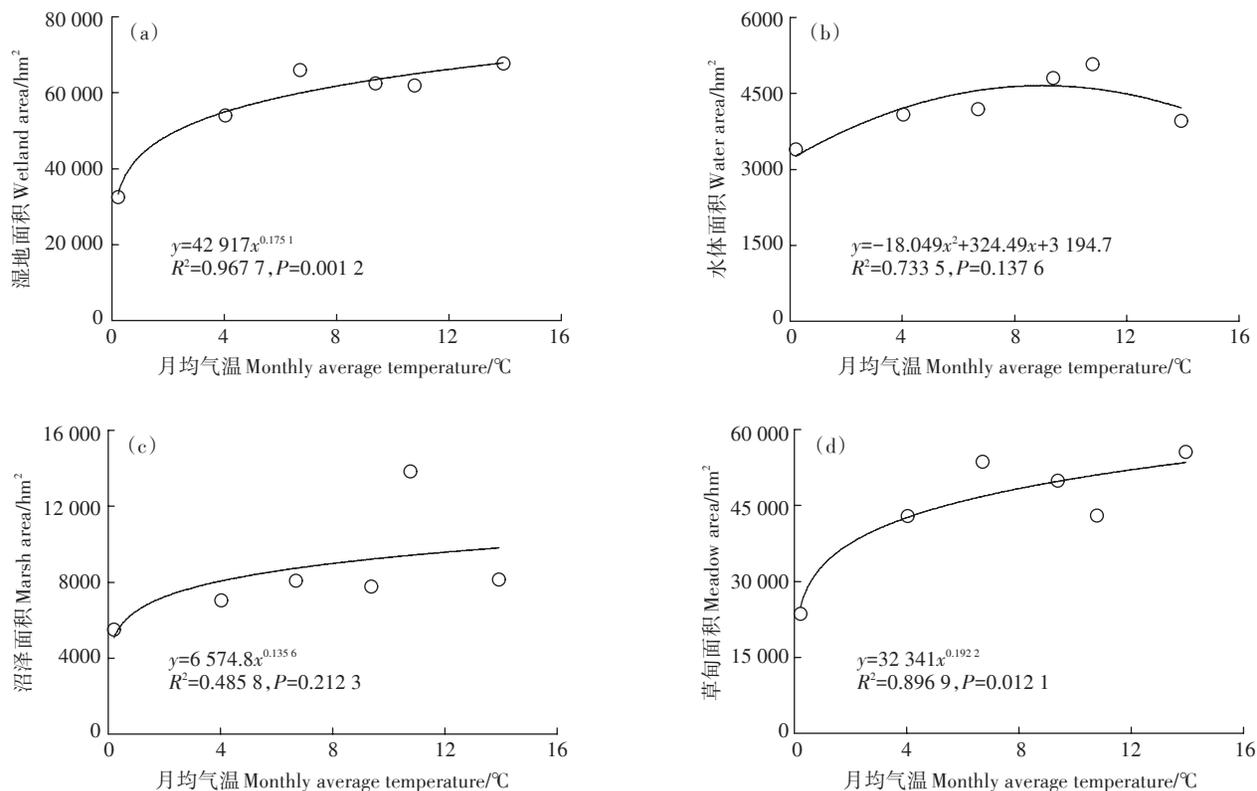


图5 研究区2015年不同湿地景观类型面积与月均气温的关系

Figure 5 Relationships between landscape area of different wetland types and monthly average temperature in the study area in 2015

子,巴音布鲁克天鹅湖高寒湿地地表水分主要来源于高山冰雪融水和自然降水补给,降水量和气温是影响湿地地表水分来源的主要气候因子^[25-26]。降水减少会直接导致湿地水源补给不足,也会对湿地植被和土壤含水量产生影响。温度升高则导致蒸散量加大,致使湿地地表含水量急剧减少,同时,温度升高也会引起高山冰雪融化,在一定的时间内补给湿地的水源^[8,27-28]。

2015年研究区全年降水量为302.90 mm,5—10月降水量之和为263.51 mm,占全年降水量的比例高达87.00%。1996—2015年多年平均降水量为298.25 mm,5—10月多年平均降水量之和为261.82 mm,占多年平均降水的比例高达87.79%(图6)。通过分析2015年各月份降水量和平均气温与1996—2015年各月份平均降水量具有极显著相关性($r=0.746, P<0.01$),2015年各月份平均气温与1996—2015年各月份平均气温也具有极显著相关性($r=0.991, P<0.01$)。本研究发现,湿地面积变化以8月为分水岭,8月前,降水量较大,气温升高,湿地面积增大,5、6、8月的月降水量较多,分别为69.10、71.80、69.30 mm,月均气温分别升高6.7、9.4、10.8℃,湿地面积分别增至65 893.69、62 429.97、61 876.14 hm²,占研究总面积比例分别为79.05%、74.89%、74.23%。8月后,降水量较小,气温降低,湿地面积减小,9、10月的月降水量较少,分别为17.70、1.20 mm,月均气温分别降至4.0、0.1℃,湿地面积分别减至53 987.24、32 483.08 hm²,占研究区总面积比例分别为64.77%、38.97%。值得注意的是,7月气温较高降水较少时,湿地面积反而最大。而谢静等^[29]研究我国东北地区三江平原北部湿地发现,温

度较高、降水较少时湿地面积减少,本研究结果与其不一致的可能原因是巴音布鲁克高寒湿地四周高山具有丰富的冰川及积雪^[30],虽然降水减少,但温度升高引起高山冰川融水增加,致使湿地来水增加,加之5—6月降水量较大,具有一定的滞后效应,所以湿地面积增大。宁立新等^[31]研究鄱阳湖区景观格局季相变化发现,气温高、降水多时,位于湖周的草地和滩地大都被水体覆盖,致使湖周的湿地景观连片化,面积增大,这与本研究发现的湿地景观类型面积与气候因子的响应相一致。胡金明等^[10]研究得出极端干旱气候和区域人为活动直接驱动滇西北纳帕海高寒湖沼湿地景观格局年内季节动态变化。

由于遥感影像易受天气质量的影响,获取同年连续的遥感影像数据较困难,本研究仅获取到一年的遥感数据。分析月降水量和月均气温对湿地景观类型面积影响时,发现相关系数高低不一、相差较大,结果可能存在一定偏差,但湿地面积与月降水量和月均气温的波动均具有显著相关性($r=0.745, P=0.045$ 和 $r=0.859, P=0.014$)。分析湿地面积变化趋势时,发现5—8月湿地面积稳定,9—10月湿地面积不稳定。从自然因素角度出发,研究干旱区高寒湿地景观格局年际变化时,以5—8月期间影像数据反映当年湿地真实现状,存在的不确定性较小,但以9—10月期间影像数据反映当年湿地真实现状,存在的不确定性较大。说明以5—8月期间遥感影像数据来反映当年湿地的真实现状是可行的,但结论是否符合平原湿地、海岸带湿地、湿润半湿润高寒湿地还有待验证。

此外,放牧、旅游开发等人类活动干扰对湿地景观格局年际变化也造成影响^[32-33]。研究区作为巴音布鲁克草原的一部分,2000年以来,由于经济利益的

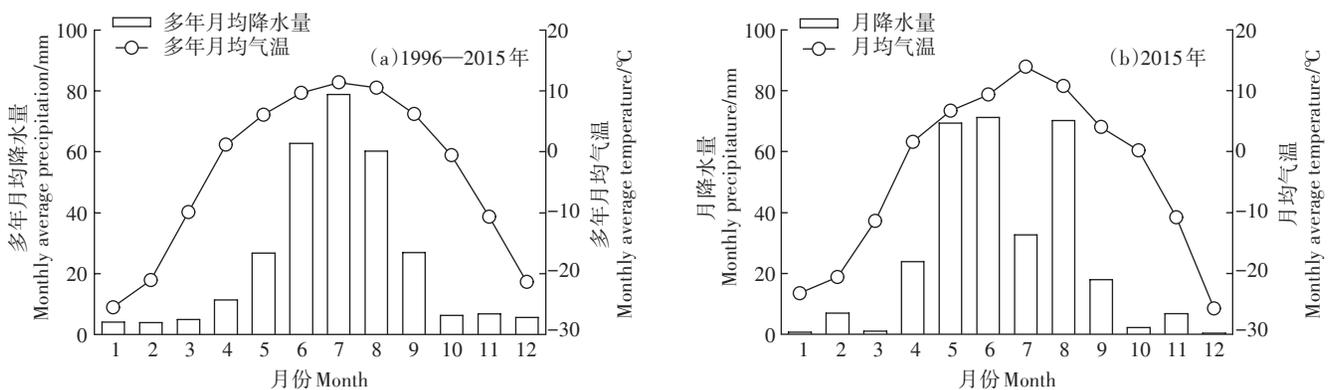


图6 研究区降水和温度变化

Figure 6 Changes of precipitation and temperature in the study area

驱使,放牧活动强度逐渐增大,2000年放牧量达到 5.76×10^5 只绵羊单位,使该区域的畜牧量严重超载,导致草地退化,地表水分蒸发量加大,从而使湿地景观由原生湿地景观逐渐向陆生草原景观变化,湿地呈现退化态势,湿地环境趋于逆向演变。旅游活动对研究区的影响主要表现为道路、旅游服务基础设施的修建方面,2000—2010年游客量从5.5万人次增加至9.5万人次,游客数量的增加促使景区急于完善其交通通达性,道路的修建、旅游服务基础设施的修建对研究区的景观类型、生态系统都产生影响。

4 结论

本研究利用2015年5—10月6期遥感影像,采用遥感技术,结合2015年巴音布鲁克气象数据,分析了巴音布鲁克天鹅湖高寒湿地年内景观格局演变特征及其与气候因子的关系。

(1)年内生长季,草甸是引起湿地面积变化的主要类型,湿地面积变化以8月为分水岭,5—8月湿地面积稳定,9—10月湿地面积快速下降。

(2)年内生长季,景观水平上,5—8月研究区景观破碎度增大、景观异质性增强、不同类别斑块分布趋于均衡化,9—10月研究区景观破碎度减小、景观异质性减弱、不同类别斑块分布趋于非均衡化;类型水平上,5—10月湿地破碎度增大,形状趋于复杂;非湿地破碎度减小,形状趋于简单。

(3)湿地面积与月降水量和月均气温均存在显著的相关性($r=0.745$, $P=0.045$ 和 $r=0.859$, $P=0.014$):降水量大,气温升高,湿地面积增大;降水量小,气温降低,湿地面积减小。

参考文献:

[1] 周云凯,白秀玲,宁立新,等. 鄱阳湖湿地苔草(Carex)景观变化及其水文响应[J]. 湖泊科学, 2017, 29(4): 870-879.
ZHOU Yun-kai, BAI Xiu-ling, NING Li-xin, et al. Landscape pattern changes of Carex and its response to water level in Lake Poyang wetland[J]. *Journal of Lake Sciences*, 2017, 29(4): 870-879.

[2] 白军红,房静思,黄来斌,等. 白洋淀湖沼湿地系统景观格局演变及驱动力分析[J]. 地理研究, 2013, 32(9): 1634-1644.
BAI Jun-hong, FANG Jing-si, HUANG Lai-bin, et al. Landscape pattern evolution and its driving factors of Baiyangdian lake-marsh wetland system[J]. *Geographical Research*, 2013, 32(9): 1634-1644.

[3] Huang L B, Bai J H, Yan D H, et al. Changes of wetland landscape patterns in Dadu River catchment from 1985 to 2000, China[J]. *Frontiers of Earth Sciences*, 2012, 6(3): 237-249.

[4] 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 Zhao-ning, ZHANG Yi-ran, GONG Hui-li, et al. Evolution of wetland landscape pattern and its driving factors in Beijing[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(1): 77-88.

[5] 齐述华,张起明,江丰,等. 水位对鄱阳湖湿地越冬候鸟生境景观格局的影响研究[J]. 自然资源学报, 2014, 29(8): 1345-1355.
QI Shu-hua, ZHANG Qi-ming, JIANG Feng, et al. Study on the landscape spatial pattern of the wintering birds' habitat from lake level in Poyang Lake wetland[J]. *Journal of Natural Resources*, 2014, 29(8): 1345-1355.

[6] Lienert J, Diemer M, Schmid B. Effects of habitat fragmentation on population structure and fitness components of the wetland specialist *Sweretia perennis* L[J]. *Basic and Applied Ecology*, 2002, 3(2): 101-114.

[7] Zheng Y M, Zhang H Y, Niu Z G, et al. Protection efficacy of national wetland reserves in China[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2012, 57(10): 1116-1134.

[8] Niu Z G, Zhang H Y, Wang X W, et al. Mapping wetland changes in China between 1978 and 2008[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2012, 57(22): 2813-2823.

[9] Mitsch W J, Gosselink J G. Wetlands[M]. New York: Wiley, 1986: 1-87.

[10] 胡金明,李杰,袁寒,等. 纳帕海湿地季节性景观格局动态变化及其驱动[J]. 地理研究, 2010, 29(5): 899-908.
HU Jin-ming, LI Jie, YUAN Han, et al. Easonal landscape pattern change and its driving forces of the Napahai wetland[J]. *Geographical Research*, 2010, 29(5): 899-908.

[11] Yu H Y, Zhang F, Kung H, et al. Analysis of land cover and landscape change patterns in Ebinur Lake wetland national nature reserve, China from 1972 to 2013[J]. *Wetlands Ecology and Management*, 2017, 25(5): 619-637.

[12] You H L, Fan H X, Xu L G, et al. Effects of water regime on spring wetland landscape evolution in Poyang Lake between 2000 and 2010[J]. *Water*, 2017, 9(7): 467-481.

[13] 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 Ji-ping, DONG Chun-yue, SHENG Lian-xi, et al. Landscape pattern change of the marsh and its response to human disturbance in the small Sanjiang Plain, 1955—2010[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2016, 36(6): 879-887.

[14] 孙万龙,孙志高,田莉萍,等. 黄河三角洲潮间带不同类型湿地景观格局变化与趋势预测[J]. 生态学报, 2017, 37(1): 215-225.
SUN Wan-long, SUN Zhi-gao, TIAN Li-ping, et al. Variation and prediction of different marsh landscapes in intertidal zone of the Yellow River Delta[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(1): 215-225.

[15] 梁佳欣,李新举. 南四湖湿地景观格局脆弱度的时空分异特征[J]. 应用生态学报, 2018, 29(2): 626-634.
LIANG Jia-xin, LI Xin-ju. Characteristics of temporal-spatial differentiation in landscape pattern vulnerability in Nansihu Lake wetland, China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2018, 29(2): 626-634.

[16] Gong P, Yu L, Li C C, et al. A new research paradigm for global land

- cover mapping[J]. *Annals of GIS*, 2016, 22(2):87-102.
- [17] Xenia J, Beatrice S, Thomas W, et al. Aesthetic quality of agricultural landscape elements in different seasonal stages in Switzerland[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2015, 133:67-77.
- [18] 姚俊强, 刘志辉, 杨青, 等. 近130年来中亚干旱区典型流域气温变化及其影响因子[J]. *地理学报*, 2014, 69(3):291-302.
YAO Jun-qiang, LIU Zhi-hui, YANG Qing, et al. Temperature variability and its possible causes in the typical basins of the arid central Asia in recent 130 years[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2014, 69(3):291-302.
- [19] 包振宗, 侯艳艳, 朱新萍, 等. 干湿交替和模拟氮沉降对巴音布鲁克高寒湿地土壤CO₂排放的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2018, 37(3):598-604.
BAO Zhen-zong, HOU Yan-yan, ZHU Xin-ping, et al. Effect of alternating wetting and drying and simulated nitrogen deposition on soil CO₂ emission in alpine wetlands of Bayinbulak[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2018, 37(3):598-604.
- [20] 韩东亮, 朱新萍, 胡毅, 等. 不同水分条件下巴音布鲁克天鹅湖高寒湿地土壤有机碳特征[J]. *湿地科学*, 2017, 14(5):509-515.
HAN Dong-liang, ZHU Xin-ping, HU Yi, et al. Characteristics of soil organic carbon at Bayinbulake swan lake alpine wetland under different water levels[J]. *Wetland Science*, 2017, 14(5):509-515.
- [21] 徐娜, 姚艳玲, 王铭, 等. 新疆巴音布鲁克高寒沼泽湿地植物群落空间分布与环境解释[J]. *湖泊科学*, 2017, 29(2):409-419.
XU Na, YAO Yan-ling, WANG Ming, et al. Spatial distribution of plant communities and environmental interpretation in Xinjiang Bayanbulak marsh[J]. *Journal of Lake Sciences*, 2017, 29(2):409-419.
- [22] 王铭, 曹议文, 王升忠, 等. 水位和草丘微地貌对巴音布鲁克高寒沼泽植物群落物种多样性的影响[J]. *湿地科学*, 2016, 14(5):635-640.
WANG Ming, CAO Yi-wen, WANG Sheng-zhong, et al. Influence of water level and hommock microtopography on species diversity of plant communities in Bayanbulak alpine marshes[J]. *Wetland Science*, 2016, 14(5):635-640.
- [23] Ralph W T, Megan W L, Victorl V K. Remote sensing of wetlands[M]. New York: CRC, 2015.
- [24] Wu J G, Hobbbs R. Key issues and research priorities in landscape ecology: An idiosyncratic synthesis[J]. *Landscape Ecology*, 2002, 17(4):355-365.
- [25] 杨青, 崔彩霞. 气候变化对巴音布鲁克高寒湿地地表水的影响[J]. *冰川冻土*, 2005, 27(3):397-403.
YANG Qing, CUI Cai-xia. Impact of climate change on the surface water in Bayanbulak alpine cold wetland in the Tianshan mountainous [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2005, 27(3):397-403.
- [26] 姚俊强, 杨青, 韩雪云, 等. 气候变化对天山山区高寒盆地水资源变化的影响——以巴音布鲁克盆地为例[J]. *干旱区研究*, 2016, 33(6):1167-1173.
YAO Jun-qiang, YANG Qing, HAN Xue-yun, et al. Impact of climate change on surface water resources in alpine basin in the Tianshan mountains: A case study in the Bayanbulak basin[J]. *Arid Zone Research*, 2016, 33(6):1167-1173.
- [27] Tao H, Thomas F, Su B D, et al. Observed changes in maximum and minimum temperatures in Xinjiang Uygur Autonomous Region, China [J]. *International Journal of Climatology*, 2017, 37(15):5120-5128.
- [28] 官宁, 牛振国, 齐伟, 等. 中国湿地变化的驱动力分析[J]. *遥感学报*, 2016, 20(2):172-183.
GONG Ning, NIU Zhen-guo, QI Wei, et al. Driving forces of wetland change in China[J]. *Journal of Remote Sensing*, 2016, 20(2):172-183.
- [29] 谢静, 王宗明, 任春颖. 基于遥感的湿地景观格局季相分析[J]. *生态学报*, 2014, 34(24):7149-7157.
XIE Jing, WANG Zong-ming, REN Chun-ying. Analysis of seasonal changes of wetland landscape patterns derived from remote sensing data[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(24):7149-7157.
- [30] 向燕芸, 陈亚宁, 张齐飞, 等. 天山开都河流域积雪、径流变化及影响因子分析[J]. *资源科学*, 2018, 40(9):1855-1865.
XIANG Yan-yun, CHEN Ya-ning, ZHANG Qi-fei, et al. Trends of snow cover and streamflow variation in Kaidu River and their influential factors[J]. *Resources Science*, 2018, 40(9):1855-1865.
- [31] 宁立新, 周云凯, 白秀玲, 等. 鄱阳湖区景观格局季相变化及其优化调控研究[J]. *自然资源学报*, 2018, 33(3):439-453.
NING Li-xin, ZHOU Yun-kai, BAI Xiu-ling, et al. Research on the seasonal variations and optimization of landscape pattern in Poyang Lake region, China[J]. *Journal of Natural Resources*, 2018, 33(3):439-453.
- [32] 韩东亮, 贾宏涛, 朱新萍, 等. 地表水分与放牧对巴音布鲁克天鹅湖高寒湿地有机碳密度的影响[J]. *新疆农业大学学报*, 2016, 39(4):317-323.
HAN Dong-liang, JIA Hong-tao, ZHU Xin-ping, et al. Influence of hydrological gradient and grazing intensity on the ecosystem organic carbon density of Bayanbulak swan lake alpine cold wetlands in Xinjiang, China[J]. *Journal of Xinjiang Agricultural University*, 2016, 39(4):317-323.
- [33] Shi H, Yang Z P, Han F, et al. Assessing landscape ecological risk for a world natural heritage site: A case study of Bayanbulak in China[J]. *Polish Journal of Environmental Studies*, 2015, 24(1):269-283.