

DOI: 10.5846/stxb201905090950

康满萍, 赵成章, 白雪, 杨俊仓. 苏干湖湿地植被覆盖度时空变化格局. 生态学报, 2020, 40(9): 2975-2984.

Kang M P, Zhao C Z, Bai X, Yang J C. The temporal and spatial variation pattern of vegetation coverage in Suganhu wetland. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(9): 2975-2984.

苏干湖湿地植被覆盖度时空变化格局

康满萍¹, 赵成章^{1,*}, 白雪¹, 杨俊仓²

1 西北师范大学地理与环境科学学院, 甘肃省湿地资源保护与产业发展工程研究中心, 兰州 730070

2 甘肃省地质环境监测院, 兰州 730050

摘要: 植被覆盖度是反映群落外貌特征和影响植被生态系统稳定性的重要因子, 其时空异质性演化规律研究有助于认识湿地群落的结构功能及其环境响应机制。采用湿地群落学调查和遥感技术相结合的方法, 分析了苏干湖内陆盐沼湿地近 30 年植被覆盖度的时空变化及其影响因素。结果表明: 像元二分模型在内陆盐沼湿地植被覆盖度研究方面具有较高的模拟精度; 苏干湖湿地的植被覆盖度在 1987—2017 年间总体呈上升趋势, 年际增幅为 0.162%/5a, 与气温和降水呈正相关关系; 在空间上植被覆盖度与地下水位埋深呈正相关, 与土壤全盐量呈负相关, 但不同等级植被覆盖度与地下水位埋深、土壤全盐量间的相关性各有差异。苏干湖湿地植被覆盖度受地下水位埋深、土壤全盐量空间异质性的影响, 呈现出斑块状镶嵌分布。

关键词: 苏干湖; 内陆盐沼湿地; 遥感反演; 植被覆盖度; 时空分异规律; 地下水位; 土壤全盐量

The temporal and spatial variation pattern of vegetation coverage in Suganhu wetland

KANG Manping¹, ZHAO Chengzhang^{1,*}, BAI Xue¹, YANG Juncang²

1 College of Geography and Environmental Science, Northwest Normal University, Research Center of Wetland Resources Protection and Industrial Development Engineering of Gansu Province, Lanzhou 730070, China

2 Gansu Geological Environment Monitoring Institute, Lanzhou 730050, China

Abstract: The Suganhu wetland is located in the inland basin at the intersection of the Altun Mountains and the Qilian Mountains in the northwest of the Qaidam Basin. It is a sensitive area of global climate change, and its vegetation coverage plays an important role in the formation of the ecological environment of the Suganhu salt marsh. Study of spatial and temporal heterogeneity evolution is helpful to understand the structure function and environmental response mechanism of wetland community. By the survey of wetland flora, this study estimated vegetation coverage of Suganhu wetland from 1987 to 2017 based on Landsat data, and analyzed the variation pattern of vegetation coverage of each level at Suganhu wetland and its influencing factors. The results showed that the dimidiate pixel model had high accuracy in the study of vegetation coverage of inland salt marsh. The vegetation coverage of the Suganhu wetland showed an overall upward trend between 1987 and 2017, which was positively related to temperature and precipitation, and the correlation between precipitation and vegetation coverage was greater than that of temperature. The spatial vegetation coverage positively correlated with the depth of the groundwater depth and negatively correlated with the total salinity of the soil. But the correlation between the vegetation coverage of different grades and the depth of the groundwater and the total salinity of the soil was different. The vegetation coverage of the Suganhu wetland was affected by the depth of groundwater and the spatial heterogeneity of the soil's total salt content, which presented patchy Mosaic distribution.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41461013, 41861009)

收稿日期: 2019-05-09; **网络出版日期:** 2020-03-16

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhaocz@nwnu.edu.cn

Key Words: Suganhu; inland salt marsh wetlands; remote sensing inversion; vegetation coverage; time and space differentiation law; groundwater level; total amount of soil salt

湿地是一种生态水文过程独特、生态服务功能巨大的生态系统,气候因子和土壤理化属性的空间异质性 是湿地植被生物量和覆盖度形成的主要驱动力^[1],对湿地植被群落的组成和优势物种的空间分布具有重要 影响^[2]。植被覆盖度是植被投影与该地域面积之比,不仅反映了植物群落的外貌和性质,而且维持着湿地植 被群落结构和功能的稳定性^[3],对于保持湿地景观多样性和栖息地环境安全性具有重要意义^[4]。内陆盐沼 湿地是干旱和半干旱气候下地表过湿或季节性积水、土壤盐渍化并长有盐生植物的沼泽湿地^[5],在时间尺度 上气温和降水等因子影响着植物群落的生态学过程和植物的生长周期^[6],在空间上湿地植被的生长发育和 优势种群的分布更多地受到土壤全盐量和地下水位埋深的影响^[7],而植被生长状态变化又将改变陆地地表 下垫面属性,进一步影响气候调节、水土保持以及整个湿地生态系统的稳定性。内陆盐沼湿地的植被覆盖度 在空间上具有明显的斑块化分布特征,传统的群落学调查方法具有时空尺度上的局限性,遥感技术在小尺度 区域存在精度误差^[8],将湿地群落学调查和遥感技术相结合能够较好的刻画盐沼湿地植被群落盖度的斑块 化和空间异质性,有助于认识内陆盐沼湿地植物覆盖度的时空变化及其成因,对于理解盐沼湿地植物群落空 间分布格局的形成机制具有重要意义。

苏干湖湿地位于柴达木盆地西北部阿尔金山和祁连山系交会处的内陆盆地,是全球气候变化的敏感区, 植被覆盖度对苏干湖内陆沼泽湿地的生态环境的形成具有重要的作用。目前,像元二分模型已广泛地应用于 植被盖度空间异质性的研究^[9-11],许多学者围绕内陆盐沼湿地的种群分布格局^[12]、生物量分配^[5]进行了深入 研究,对苏干湖湿地的群落组成^[13]、鸟类多样性^[14]、生态脆弱性评价^[15]、水循环的影响^[16]等方面做了大量的 研究。关于内陆盐沼湿地植被覆盖度空间分异规律及其成因研究还比较薄弱,特别是对苏干湖湿地植被覆盖 度时空分布格局及其形成机理认识尚不清晰。鉴于此,本研究在湿地群落学调查的基础上,基于 landsat 数据 采用像元二分模型来估算苏干湖湿地 1987—2017 年植被覆盖度,分析了苏干湖湿地各等级植被覆盖度的变 化格局及其影响因子。试图明晰:(1)苏干湖湿地近 30 年植被覆盖度的年际变化特征及其与气候因子间的 关系;(2)不同等级植被覆盖度湿地的空间分布格局及其地下水、土壤全盐量间的关系,为提高苏干湖湿地候 鸟保护区生态环境的安全性提供理论依据。

1 研究区概况

苏干湖自然保护区位于甘肃省酒泉市阿克塞哈萨克族自治县阿勒腾乡境内(93°47'53"—94°04'26"E, 38°50'07"—38°56'27"N),处于阿尔金山、党河南山与赛什腾山之间的花海子-苏干湖盆地的西北端,海拔 2795—2808 m,大苏干湖(咸水湖)水面面积约 101.6 km²,小苏干湖(微咸淡水湖)水面面积约 11.6 km²。属内 陆高寒半干旱气候,夏季短而凉爽,冬季长且寒冷,西北风盛行,日温差较大,年平均气温 3—6℃,年均降水量 35.5—70.6 mm,蒸发量 1228—2495 mm,该区大风天气盛行,沙尘暴发生频率高,干燥度为 30,无霜期 90 d 左 右。苏干湖水系属于柴达木内流水系中西北端的一个独立水系,发源于党河南山的大、小哈儿腾河出山口潜 流于地下,在海子盆地成泉涌露,汇成河网,流入大苏干湖和小苏干湖,最终消耗于泉水溢出带的蒸发蒸腾和 湖面蒸发。土壤主要草甸土、草甸沼泽土及盐碱土等,主要植物有:芦苇(*Phragmites australis*)、赖草(*Leymus secalinus*)、风毛菊(*Saussurea japonica*)、西伯利亚蓼(*Polygonum sibiricum*)、披针叶黄华(*Thermopsis lanceolata*)、矮蔗草(*Scirpus pumilus*)、海韭菜(*Triglochin palustre*)、水麦冬(*Triglochin maritimum*)、盐角草 (*Salicornia europaea*)、乳苣(*Mulgedium tataricum*)、中间型荸荠(*Heleocharis intersita*)、苔草(*Carex* spp)、嵩草 (*Kobresia myosuroides*)等。

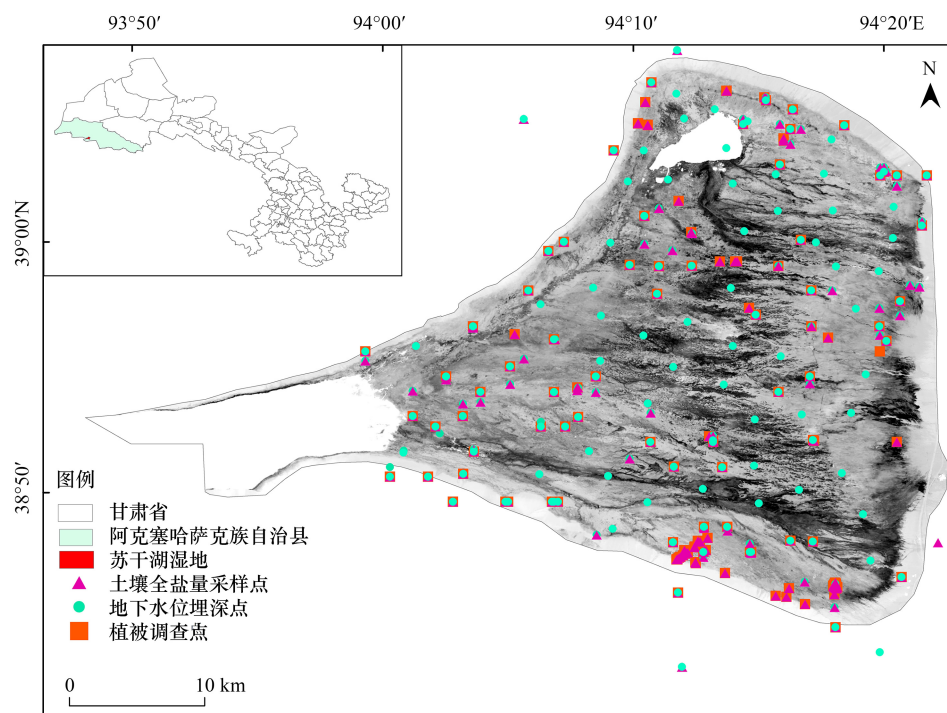


图1 苏干湖湿地实地调查数据采样点

Fig.1 Sampling points of field survey data of Sagan Lake wetland

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

2.1.1 湿地群落学调查

2017年8月下旬至9月上旬(群落生物量达到最大时)进行湿地群落学调查,在前期实地踏勘的基础上,沿南北方向设置5条调查样带,在每条样带内间隔500 m设置1块10 m×10 m的样地,在每个样地上设3个1 m×1 m小样方,测定样方内所有植物的种类、盖度、高度和密度,重复3次。

土壤全盐量数据是在每个采样点上用环刀取表层0—20 cm土壤样品(图1),装入样品袋带回实验室,测定其 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^{+} 、 Na^{+} 、 Cl^{-} 、 HCO_3^{-} 、 SO_4^{2-} 、 OH^{-} 等离子的含量,获得土壤全盐量值。根据土壤采样点经纬度信息,采用ArcGIS 10.3软件对土壤全盐量进行Kriging空间插值,获取土壤全盐量数据栅格图像,通过数据掩膜,剪取苏干湖湿地土壤全盐量的栅格图像。

2.1.2 遥感数据

传统的群落学调查具有时间和空间尺度上的局限性,在2017年湿地群落学调查的基础上,结合遥感技术对该区域植被覆盖度进行估算。本文选取苏干湖湿地1987—2017年的遥感数据,来源于地理空间数据云(www.gscloud.cn) Landsat (Landsat-5和Landsat-8)卫星,研究区影像均采用9—10月植被生长旺盛季节、云量小于10%的数据,合计7景,其空间分辨率为30 m×30 m。利用ENVI 5.1对原始影像进行辐射定标,将其DN值转化为像元辐射亮度值;以FLAASH模型对影像进行大气校正,将辐射亮度值转化为地表真实反射率;对影像进行几何精校正,校正误差控制在0.1个像元以内;采用Landsat-5中的4、3、2波段,Landsat-8中的5、4、3波段进行标准假彩色波段的融合,有助于归一化植被指数(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)的计算,采用像元二分模型计算每期的植被覆盖度。

2.1.3 气象数据

气温、降水资料均来源于中国气象科学数据共享服务网(<http://cdc.cma.gov.cn/>),苏干湖湿地数据来源

周边地区现有冷湖、敦煌、大柴旦、德令哈、肃北等 5 个国家气象站的降水量、月平均气温等气象数据作为研究数据。根据各气象站点经纬度信息,采用 ArcGIS 10.3 软件 Geostatistical Analyst 模块对气象数据进行 Kriging 空间插值,最终获取每期气象数据栅格图像,通过数据掩膜,剪取苏干湖湿地年平均温度和年降水量的栅格图像,获取该区域年均气温和年均降水量的数据。

2.1.4 地下水位埋深

地下水位埋深资料来源于甘肃省地质环境研究院 2016—2017 年在苏干湖地区选取具有代表性的 167 个地下水位点(图 1),本文在 ArcGIS 10.3 软件下将各点位的地下水位埋深值进行 Kriging 空间插值,获取地下水位埋深数据的栅格图像,通过数据掩膜剪取苏干湖湿地地下水位埋深的栅格图像。

2.2 研究方法

2.2.1 归一化植被指数(NDVI)

归一化植被指数(NDVI)是植被生长状态及植被覆盖度最佳指示因子,被定义为近红外波段与可见光红波段数值之差与这两个波段数值之和的比值^[17]。计算公式:

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$$
(1)

式中,NIR 和 R 分别为遥感图像中近红外和红波段的反射率。

2.2.2 植被覆盖度的计算

基于混合像元分解理论的像元二分法能够在较大程度上消除土壤等背景因素的影响,能高精度提取干旱地区纯植被像元^[18],客观有效地反映植被冠层情况,采用像元二分模型,公式:

$$FVC = [(NDVI - NDVI_{soil}) / (NDVI_{veg} - NDVI_{soil})]$$
(2)

式中,FVC 为研究区的植被覆盖度,NDVI 为归一化植被指数,NDVI_{soil}为完全是裸土或无植被覆盖区域的 NDVI 值(即取累计频率为 0.5%的 NDVI 值为 NDVI_{soil}),NDVI_{veg}则代表完全被植被所覆盖的像元的 NDVI 值(取累计频率为 99.5%的 NDVI 值为 NDVI_{veg}),即纯植被像元的 NDVI 值。

2.2.3 植被覆盖度的等级划分

根据国家《土地利用现状调查技术规程》和《湿地资源调查技术规程(2008)》,结合湿地群落盖度、湿地类型和湿地植物组成等野外湿地调查资料,制定了苏干湖湿地植被覆盖度标准,将研究区分为 5 个盖度组(表 1)。

表 1 苏干湖湿地调查植被覆盖度分级
Table 1 Classification of vegetation coverage in wetland survey of Sugan Lake

分级 Grade	植被覆盖度/% Vegetation coverage	地下水位埋深/m Underground water depth	土壤全盐量/(g/kg) Total amount of soil salt	湿地类型 Type of wetland	优势植物 Dominant plant
I	1—10	0—2	20—80	季节性咸水沼泽	盐角草、赖草、风毛菊
II	10—30	0.4—7	15—75	内陆盐沼	赖草、西伯利亚蓼、披针叶黄华、乳苣
III	30—50	1—5	5—40	草本沼泽、沼泽化草甸	芦苇、水麦冬、中间型荸荠、赖草
IV	50—70	0—3	4—10	季节性河流湿地、草本沼泽、沼泽化草甸	矮藨草、海韭菜、芦苇、赖草
V	≥70	0.6—3	2—10	淡水泉、沼泽化草甸、草本沼泽	苔草、嵩草、矮藨草、芦苇

I: 极低植被覆盖度; II: 低植被覆盖度; III: 中植被覆盖度; IV: 中高植被覆盖度; V: 高植被覆盖度

3 结果分析

3.1 植被覆盖度的拟合度检验

根据 landsat 卫星遥感监测数据和群落学调查的植被覆盖度实测值,建立植被覆盖度的线性回归模型,通

过拟合程度来检验像元二分模型,图2可以看出遥感反演结果与实测值趋于 $y = 0.9108x + 8.5696$, 其决定系数 R^2 为 0.822, 相关性程度均较为满意, 线性模型拟合程度最高; 表明基于遥感数据 NDVI 通过像元二分模型模拟得到的植被覆盖度在苏干湖内陆盐沼湿地具有较高的模拟精度和可靠性。

3.2 植被覆盖度的时间变化及其对气候的响应

3.2.1 植被覆盖度年际变化

苏干湖湿地植被覆盖度的年际变化总体上逐年呈上升趋势(图3), 其多年平均值为 19.34%, 年际变化率为 $0.162\% \cdot 5a^{-1}$, 植被覆盖度的最大值和最小值出现在 2002 年和 2017 年, 分别为 11.20% 和 31.22%。1987—2017 年苏干湖湿地植被覆盖度的年际变化分三个阶段, 在 1987—2002 年间植被覆盖度呈波动下降的变化, 自 2003 年植被覆盖度呈波动上升变化, 尤其在 2013—2017 年间植被覆盖度增长幅度较大。

3.2.2 植被覆盖度对气温、降水的响应

1987—2017 年苏干湖保护区的气温和降水呈上升趋势(图3), 年际变化率分别为 $0.2^\circ\text{C} \cdot 5a^{-1}$ 和 $0.85 \text{ mm} \cdot 5a^{-1}$ 。多年平均气温为 5.76°C , 其波动范围在 4.5°C — 6.5°C 之间; 多年平均降水量为 36 mm, 其年均降水量波动变化范围在 35.5—70.6 mm 间, 1987 到 2000 年降水量呈波动减少, 且低于多年平均降水量; 2000 年之后降水量波动增加且幅度较大, 且高于多年平均水平, 降水量最大值出现在 2002 年为 65 mm。

苏干湖保护区气温与植被覆盖度呈显著正相关关系 ($P < 0.05$) (表2), 相关系数为 0.64, 在高寒的气候背景下, 气温上升有利于植被的生长发育; 植被覆盖度与降水呈显著正相关关系 ($P < 0.05$), 相关系数为 0.69, 降水量的增加为干旱荒漠区的植被生长提供了必需的水分, 利于植被覆盖度的增加; 降水量与植被覆盖度的相关性系数大于气温, 由此可知苏干湖湿地的植被覆盖度更多地受降水的影响更大。

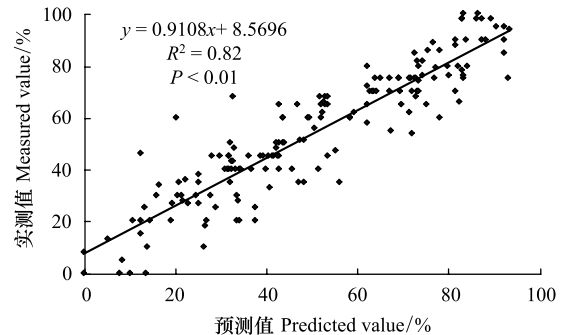


图2 2017年植被覆盖度实测值和预测值

Fig.2 Measured and predicted vegetation coverage in 2017

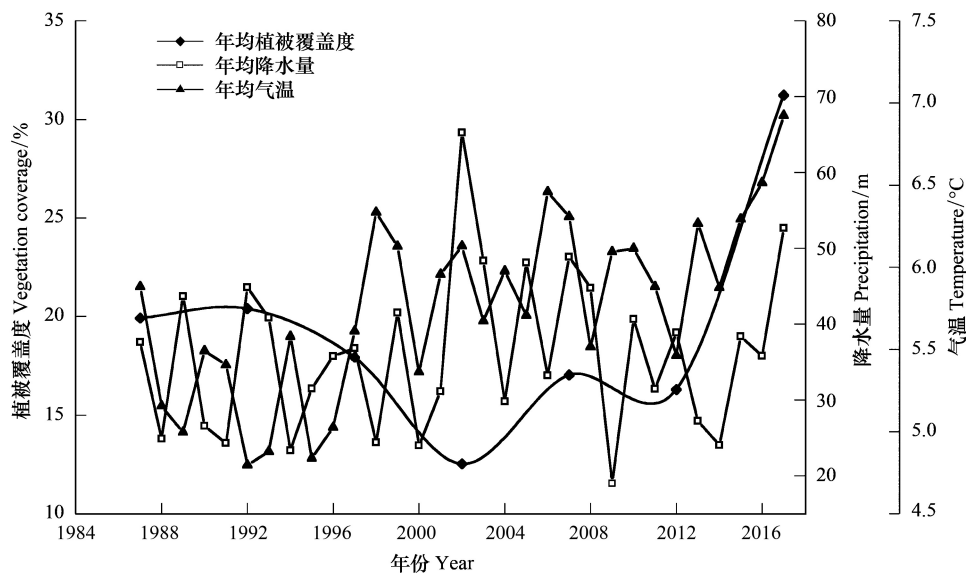


图3 1987—2017年苏干湖湿地植被覆盖度、气温和降水的年际变化

Fig.3 Interannual variations of vegetation coverage, temperature and precipitation in Sagan Lake wetland from 1987 to 2017

表 2 植被覆盖度与气温、降水相关系数

Table 2 Coefficient of correlation between vegetation coverage and temperature, precipitation			
相关系数 Correlation coefficient	植被覆盖度/% Vegetation coverage	气温/℃ Temperature	降水/mm Precipitation
植被覆盖度 Vegetation coverage/%	1		
气温 Temperature/℃	0.63 *	1	
降水 Precipitation/mm	0.69 *	0.93	1

* 表示通过置信度为 0.05 的显著检验

3.3 植被覆盖度的空间分布及其与影响因子间的关系

3.3.1 植被覆盖度空间分布

苏干湖保护区不同等级植被覆盖度湿地呈斑块化镶嵌分布(图 4),2017 年极低植被覆盖度湿地的面积最小为 39.36 km²,占比为 3.92%,主要分布在微咸水沼泽湿地,在山地洪积扇的边缘地带也有少量分布;低植被覆盖度湿地面积为 437.58 km²,占比最大为 43.53%,主要分布在大、小苏干湖周边、水鸭子河南的河流滩地及湿地中部的积水洼地;中植被覆盖度湿地面积为 242.26 km²,所占面积较大,呈条带状主要分布在泉水、河流周边区域;中高植被覆盖度所占面积较小,占比为 7.78%,呈零星分布在小苏干湖以南和水鸭子河上游的周边滩地;高植被覆盖度湿地面积为 101.42 km²,呈斑块状分布在小苏干湖以南的淡水区和湿地的泉水出露地带和水鸭子河下游的滩地。

3.3.2 植被覆盖度对地下水、土壤全盐量的响应

地下水位的高低直接影响湿地植物的分布和物种多样性,从根本上影响植物群落的分布格局^[20]。苏干湖湿地植被覆盖度与地下水位埋深间呈较低负相关性,相关系数为-0.03,各等级湿地植被覆盖度与地下水位间的相关性各有差异(图 5),其中:极低植被覆盖度与地下水位埋深间呈极显著正相关($P<0.01$),相关系数为 0.73;低植被覆盖度与地下水位埋深间极显著负相关($P<0.01$),相关系数为-0.62;中、中高、高植被覆盖度与地下水位埋深间呈较低的正相关性,相关系数分别为 0.04、0.03 和 0.31,地下水位埋深在 2 m 左右,适宜植被的生长,整体上地下水位埋深对植被覆盖度的影响较小。

苏干湖湿地植被覆盖度与土壤全盐量呈极显著负相关($P<0.01$),相关系数为-0.73,随着土壤全盐量的增加湿地植被覆盖度呈减少的趋势,但各等级植被覆盖度与土壤全盐量间的相关性存在明显差异(图 5)。其中:极低、低植被覆盖度湿地分布区与土壤全盐量呈极显著负相关($P<0.01$),相关系数分别为-0.6 和-0.61,较高的土壤全盐量抑制植被的生长。中、中高、高植被覆盖度与土壤全盐量间相关性较低,相关系数分别为-0.35、-0.48 和-0.23,地表的土壤全盐量受稀释作用,土壤盐渍化较轻,对植被的生长影响相对较小,植被覆盖度越好。

4 讨论

植被的生长发育和分布与其所处环境条件息息相关,气候和环境因子在时空尺度上的稳定性,能够反映植被群落的分布格局和植物生物量的分配模式^[19]。盐沼湿地植被对气候变化的响应非常敏感,全球气候变化影响植被的生长动态以及植被的结构和功能,地下水和土壤因子是植被覆盖度空间分布差异的驱动因

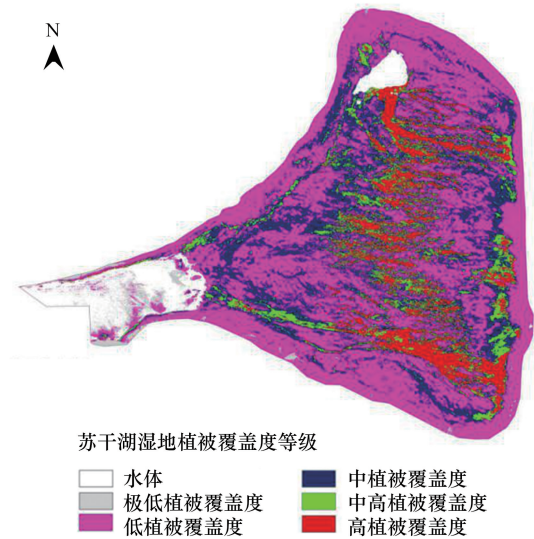


图 4 2017 年苏干湖湿地植被覆盖度空间分布

Fig.4 Spatial and temporal changes of vegetation coverage in Sugan Lake wetland in 2007

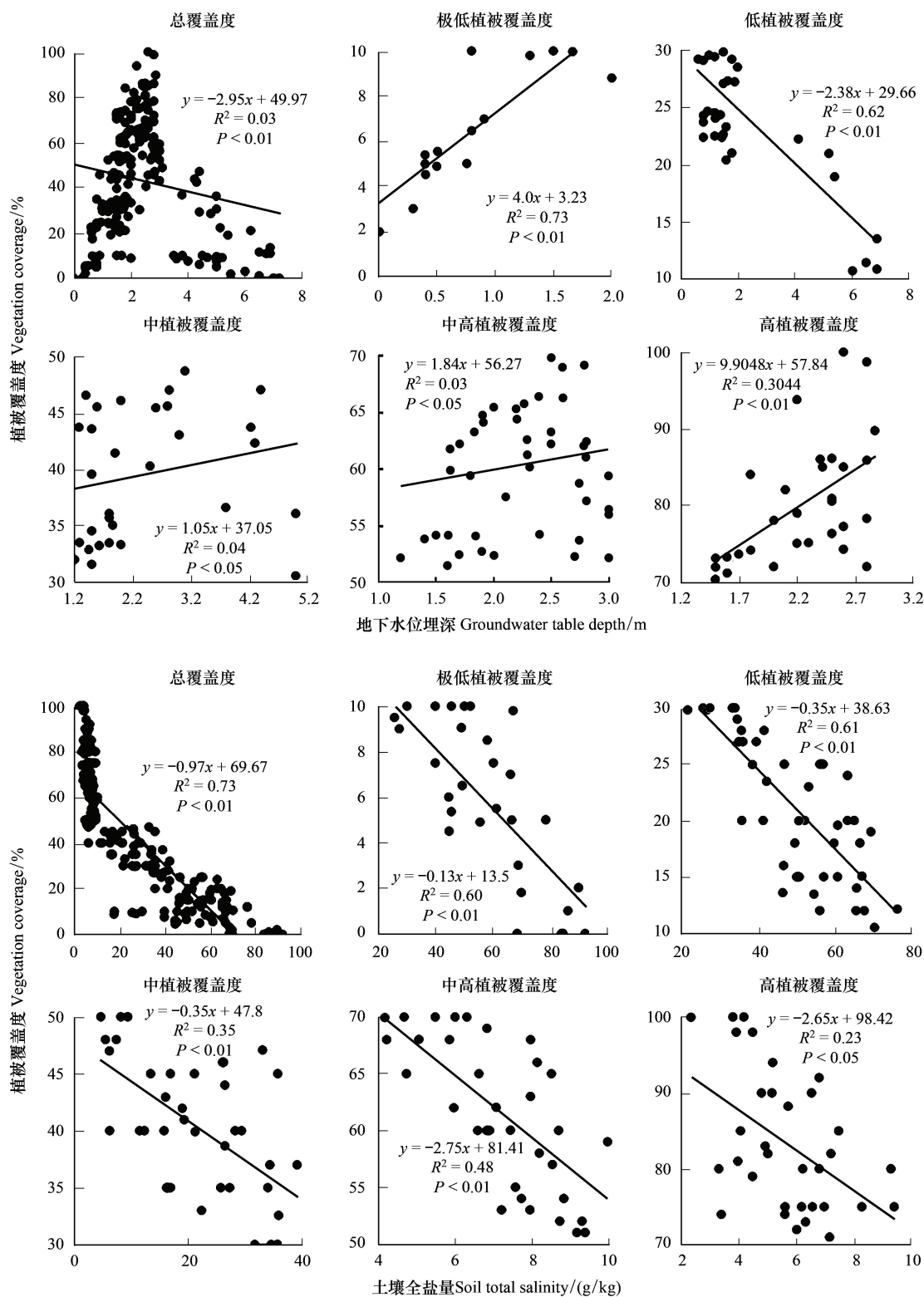


图5 植被覆盖度与地下水位埋深、土壤全盐量间的相关系数图

Fig.5 Coefficient of correlation between vegetation coverage and groundwater table depth and soil salinity in wetland content

***表示通过置信度为0.01的显著检验,*表示通过置信度为0.05的显著检验

子^[20]。为避免各因子间存在共线性,植被覆盖度与环境因子间的伪相关的情况,采用偏相关的方法,剔除共线性因子的影响,通过皮尔逊相关分析方法得到该区域植被覆盖度与各环境影响因子间的关系(如表3),本研究发现:苏干湖湿地近30年植被覆盖度的年际变化随着气温和降水的增加呈上升趋势,气温和降水与植被覆盖度呈正相关关系,相关系数分别为0.43和0.58,且降水的相关系数高于气温;植被覆盖度与地下水埋深的相关性较低,主要受该区域微地形、土壤质地等因素的复杂的水体的影响;土壤全盐量是影响植被覆盖度空间异质性分布的主要因子,与土壤全盐量呈极显著的负相关($P<0.01$),相关系数为-0.826,不同等级植被覆盖度湿地受地下水位埋深、土壤全盐量的影响呈斑块状镶嵌分布,其相关性具有差异性。

表3 植被覆盖度与各环境因子间的相关系数

Table 3 Correlation between vegetation cover and environmental factors

	气温 Temperature	降水 Precipitation	地下水位埋深/m Groundwater	土壤全盐量/(g/kg) Soil salinity
植被覆盖度 vegetation coverage	0.43 *	0.58 *	-0.067 *	-0.826 **

** 相关性在 0.01 上显著, * 相关性在 0.05 上显著

4.1 植被覆盖度年际变化与气温、降水间的关系

气温和降水是决定植被空间分布及其变化的主要非生物因素,影响着植物群落的生态学过程和植物的生长周期^[21]。苏干湖保护区的多年平均气温为 5.76℃,降水量为 36 mm,属于大陆性高寒气候,为适应严酷的气候环境,湿地植被的外在结构和主要植物的内在生理功能具有相对应的耐受性和抗逆性策略。近30年植被覆盖度的呈波动增加趋势(图3),与气温、降水量呈显著正相关(表2),主要原因有:(1)气温升高加快了周边山地冰川消融,汇集地势低平的盆地,稀释土壤盐分,有利于植被的生长;另外随着气温上升,为湿地植被提供了充足的热量,植物用于光合作用的光化学能增加,利于碳水化合物的合成和运输,同时促进了根系对水肥的吸收和输导功能,进而加快了植物的生长速率,提高了植被覆盖度。(2)降水对干旱荒漠区的植被生长至关重要,降水量的增加提高了植被生长所需水资源的供给水平,有利于植被盖度和生物量的增加;另一方面,苏干湖湿地主要分布在花海子盆地,地表水和地下水的补给靠冰川消融、积雪融水、大气降水、盆地东部、小哈尔腾河的强烈的入渗和两侧山区季节洪流的入渗补给以及基岩裂隙水的侧向补给^[16,22],随着降水的增加,两侧山区的洪水和雨水在封闭的盆地聚集,为沼泽湿地的发育提供了丰富的水资源,促使湿生、盐生植物大量繁衍,提高了湿地的植被覆盖度。因此,近30年来苏干湖湿地植被覆盖度与气温、降水呈正相关关系,植被覆盖度受降水的影响更大,这与李博等^[9]的研究相一致。

4.2 植被覆盖度空间异质性及影响因子分析

4.2.1 地下水埋深对植被覆盖度空间异质性的影响

水是盐沼湿地生态系统中最敏感的环境因子,地下水位的高低直接影响植物分布和物种多样性,从根本上影响植物群落的分布格局^[23]。苏干湖湿地植被覆盖度与地下水位埋深间的相关性较低,不同等级植被覆盖度与地下水位埋深间的相关性各有差异(图5),极低植被覆盖度湿地主要以分布在泉水出露地带的季节性咸水沼泽湿地为主,盐角草、风毛菊等盐生植物是苏干湖季节性咸水沼泽湿地的优势物种(表1),因长时间受水淹的影响,植物生长期短、植株矮小,植被稀疏且分布零散,地下水位越浅,地表积水越多,植被覆盖度越低;随着地下水位埋深的增加,湿地表面静水持留时间减少,生长状况好转,植被覆盖度增加,使湿地植被覆盖度与地下水位埋深之间形成了正相关关系(图5)。低植被覆盖度湿地主要分布在湖水、河流周边滩地及积水洼地的内陆盐沼湿地,该类湿地以赖草、西伯利亚蓼、披针叶黄华、乳芎等植被群落为主(表1、图4),这些植被虽具有耐干旱、耐贫瘠的特性,但是随着地下水位埋深的增加,植株根系吸水困难,植被的生长受到抑制,植被覆盖度与地下水位间呈负相关。中、中高、高植被覆盖度湿地主要分布在泉水、河流周边的沼泽化草甸和季节性河流湿地,这些湿地呈斑块状分布,在地表流动性淡水的滋养下,以芦苇、水麦冬、中间型荸荠、赖草、矮藨草、海韭菜、苔草和嵩草等植被群落为优势种群,植被盖度与地下水位埋深间呈不显著相关(图5)。该区域的

植被随年龄增长和种群密度、盖度的增加,优势种群对种内种间竞争可利用水资源的能力不断提升,其生存能力不断提高,种群规模不断扩大,自身优势地位得到了巩固,其根茎较深,植株个体的高度、生物量较大,生长繁茂,盖度相对较高^[24-25]。因此,地下水位的高低直接影响植被的生长和物种的多样性,地下水位埋深对植被的生长有适宜的阈值,水位埋深过浅或过深会威胁植被群落的正常生长,这与徐海量等^[23]的研究相一致。

4.2.2 土壤全盐量对植被覆盖度空间异质性的影响

干旱区地下水的动态变化以及强烈的蒸发作用,加快了盐分在土壤中的移动和积累,形成了土壤盐分的空间异质性,进而影响内陆盐沼湿地植被的生长及其空间分布格局^[3,26]。苏干湖湿地植被覆盖度与土壤全盐量呈显著负相关,总体而言,随着土壤全盐量的降低,植被覆盖度呈增加趋势(表1、图5),但是不同等级植被覆盖度湿地与土壤全盐量间的相关系有较大差异。极低、低植被覆盖度湿地主要分布在湖水、河流周边的滩地,由于季节性咸水沼泽湿地和盐沼湿地区域的浅层地下水受地表较强蒸发力的影响,土壤盐分在地表聚集,土壤盐碱化严重,较高土壤全盐量可能引起根系腐烂,造成植被吸水能力和给养能力的减弱,甚至导致植物体内水分外渗或者导致植物死亡^[27],分布在该湿地区域的盐生植物植株矮小、叶面积小,植被覆盖度与土壤全盐量间呈负相关(图5)。中、中高、高植被覆盖度湿地主要分布于泉水、河流周边区域,由于湿地表面常年或大部分时间有流动的淡水,土壤含盐量较低(表1),有利于植被生长,是苏干湖保护区植被生长状况最好的区域,湿地植被覆盖度与土壤全盐量间的存在相关关系(图5)。全区湿地群落的盖度随着土壤盐分含量的减少呈增加趋势,受水盐环境胁迫较小的区域,优势种的生存能力不断提高,种群规模不断扩大,植株较高,生长茂盛,植被盖度增加;竞争能力较弱的物种无法占据优良生境而衰退,只能在优势种无法生存的区域定居,种群单一且其生长受水盐等环境因子的胁迫,其植株矮小,覆盖度相对较低^[28-29]。因此,土壤全盐量的高低直接影响植被生态系统的结构、组成和分布,土壤中盐分过高时,引起植被根系腐烂造成对吸收水分和养分的能力减弱,从而对植被产生渗透胁迫,影响其正常的生长发育,这与李亮^[27]的研究相一致。

5 结论

本研究发现,在高寒的气候背景下,气温上升有利于植被的生长发育,而降水对植被的影响更大。植物的水盐适应能力与植物形态结构和其空间分布格局密切相关,水、盐的变化影响湿地群落的盖度、种群间竞争能力和植株之间的邻体干扰。苏干湖湿地植被覆盖度空间分布受地下水位埋深和土壤全盐量空间异质性的影响呈斑块状分布,与地下水位埋深、土壤全盐量呈负相关;不同等级植被覆盖度与地下水位埋深、土壤全盐量间的相关性各不相同。地下水位埋深对植被的生长有适宜的阈值,其过浅或过深会威胁植被群落的正常生长;土壤全盐量是影响该区域植被分布的主要影响因子,土壤全盐量较高植被根系腐烂造成对吸收水分和养分的能力减弱,盐生植物植株矮小。内陆盐沼湿地植被覆盖度与气候、水分、土壤盐分等因子在时间和空间上表现出相对的稳定性和空间异质性,今后应分区讨论各植被群落及其植被覆盖度的空间格局与其他环境要素间的关系,对未来分析评价苏干湖湿地的生态环境具有重要现实意义。

参考文献(References):

- [1] 刘琳,安树青,智颖颢,张明祥,李红丽.不同土壤质地和淤积深度对大米草生长繁殖的影响.生物多样性,2016,24(11):1279-1287.
- [2] Li Z T, Kafatos M. Interannual variability of vegetation in the United States and its relation to El Niño/Southern Oscillation. Remote Sensing of Environment, 2000, 71(3): 239-247.
- [3] 赵连春,赵成章,王小鹏,文军.秦王川湿地怪柳分布与环境因子的关系.生态学报,2018,38(10):3422-3431.
- [4] 武小钢,杨秀云,边俊,朱烨,曹晔.长治城市湿地公园滨岸区植物群落特征及其与土壤环境的关系.生态学报,2015,35(7):2048-2056.
- [5] 王继伟,赵成章,赵连春,王小鹏,李群.内陆盐沼芦苇根系形态及生物量分配对土壤盐分因子的响应.生态学报,2018,38(13):4843-4851.
- [6] 吴喜芳,李改欣,潘学鹏,王彦芳,张莎,刘峰贵,沈彦俊.黄河源区植被覆盖度对气温和降水的响应研究.资源科学,2015,37(3):512-521.

- [7] 程国帅, 刘东伟, 温璐, 刘华民, 董少刚, 王立新. 干涸盐湖地下水和土壤化学属性对自然植被分布的控制作用. 干旱区研究, 2019, 36(1): 85-94.
- [8] 李艺梦, 祁元, 马明国. 基于 Landsat8 影像的额济纳荒漠绿洲植被覆盖度估算方法对比研究. 遥感技术与应用, 2016, 31(3): 590-598.
- [9] 李博, 曾彪, 杨太保. 1982—2015 年柴达木盆地不同流域植被气候响应差异. 干旱区地理, 2018, 41(3): 449-458.
- [10] 李红梅. 柴达木盆地气候变化对植被的影响分析. 草业学报, 2018, 27(3): 13-23.
- [11] 金晓媚, 刘金韬, 夏薇. 柴达木盆地乌图美仁区植被覆盖率变化及其与地下水的关系. 地学前缘, 2014, 21(4): 100-106.
- [12] 王小鹏, 赵成章, 王继伟, 赵连春, 文军. 秦王川盐沼湿地角果碱蓬种群聚集分布格局与特征. 生态学报, 2018, 38(11): 3943-3951.
- [13] 武发思, 鄢金灼, 蔡泽平, 冯虎元. 大、小苏打湖浮游藻类的群落组成特点研究. 水生生物学报, 2009, 33(2): 264-270.
- [14] 包新康, 张立勋, 刘洒发, 宋森, 赵伟. 大、小苏打湖湿地鸟类多样性季节变化. 动物学杂志, 2007, 42(6): 131-135.
- [15] 马真臻, 王忠静, 顾艳玲, 夏婷. 中国西北干旱区自然保护区生态脆弱性评价——以甘肃西湖、苏打湖自然保护区为例. 中国沙漠, 2015, 35(1): 253-259.
- [16] 张博. 跨流域调水下游干涸盆地水循环响应数值模拟[D]. 北京: 中国水利水电科学研究院, 2018.
- [17] 杨尚武, 张勃. 基于 SPOT NDVI 的甘肃河东植被覆盖变化及其对气候因子的响应. 生态学杂志, 2014, 33(2): 455-461.
- [18] 张飞, 塔西甫拉提·特依拜, 丁建丽, 何祺胜, 田源, 买买提·沙吾提, 王宏, 桂东伟. 新疆典型盐渍区植被覆盖度遥感动态监测——以渭干河-库车河三角洲绿洲为例. 林业科学, 2011, 47(7): 27-35.
- [19] 拉多, 张燕杰, 刘杰, 等. 拉萨河谷植物物种丰富度空间分布格局及其环境解释. 草业学报, 2016, 25(10): 202-211.
- [20] 穆少杰, 李建龙, 陈奕兆, 刚成诚, 周伟, 居为民. 2001—2010 年内蒙古植被覆盖度时空变化特征. 地理学报, 2012, 67(9): 1255-1268.
- [21] 李丽丽, 王大为, 韩涛. 2000—2015 年石羊河流域植被覆盖度及其对气候变化的响应. 中国沙漠, 2018, 38(5): 1108-1118.
- [22] 周祖昊, 韩宁, 蔡静雅, 刘佳嘉. 祁连山区冰川演变特征及对气候变化的响应——以苏打湖流域为例. 冰川冻土, 2017, 39(6): 1172-1179.
- [23] 徐海量, 宋郁东, 王强, 艾合买提. 塔里木河中下游地区不同地下水位对植被的影响. 植物生态学报, 2004, 28(3): 400-405.
- [24] 王建良, 赵成章, 张伟涛, 姚文秀, 李群. 秦王川湿地盐角草和盐地碱蓬种群的空间格局及其关联性. 生态学杂志, 2017, 36(9): 2494-2500.
- [25] 朱丽, 徐贵青, 李彦, 唐立松, 牛子儒. 物种多样性及生物量与地下水位的关系——以海流兔河流域为例. 生态学报, 2017, 37(6): 1912-1921.
- [26] 贾艳红, 赵传燕, 南忠仁. 黑河下游地下水波动带土壤盐分空间变异特征分析. 干旱区地理, 2008, 31(3): 379-388.
- [27] 李亮. 土壤—地下水系统对天然植被生长的影响研究: 以敦煌盆地为例[D]. 武汉: 中国地质大学, 2013.
- [28] Ma X D, Chen Y N, Zhu C G, Li W H. The variation in soil moisture and the appropriate groundwater table for desert riparian forest along the Lower Tarim River. Journal of Geographical Sciences, 2011, 21(1): 150-162.
- [29] Liu Q Y, Zhang T L, Li Y Z, Li Y, Bu C F, Zhang Q F. Comparative analysis of fractional vegetation cover estimation based on multi-sensor data in a semi-arid sandy area. Chinese Geographical Science, 2019, 29(1): 166-180.