

DOI: 10.20103/j.stxb.202312222788

王玉霞, 刘佳敏, 杜珍珠, 徐文斌, 马占仓, 黄刚, 阎平. 准噶尔盆地南缘小叶桦种群急速退化原因及保护对策. 生态学报, 2024, 44(18): 8294-8303.
Wang Y X, Liu J M, Du Z Z, Xu W B, Ma Z C, Huang G, Yan P. Causes of rapid degradation of *Betula microphylla* population in the southern margin of Junggar Basin and protection strategies. Acta Ecologica Sinica, 2024, 44(18): 8294-8303.

准噶尔盆地南缘小叶桦种群急速退化原因及保护对策

王玉霞¹, 刘佳敏¹, 杜珍珠^{1,2}, 徐文斌¹, 马占仓¹, 黄刚^{1,*}, 阎平¹

1 石河子大学生命科学学院/绿洲城镇与山盆系统生态兵团重点实验室, 石河子 832003

2 石河子大学分析测试中心, 石河子 832003

摘要: 为查明准噶尔盆地南缘蘑菇湖湿地小叶桦种群急速退化原因, 进行了该种群退化因子相关调查, 计算了植物群落的多样性指数, 对叶片和土壤化学计量特征进行了相关性分析, 利用 SLAF-seq 技术对小叶桦种群遗传差异做了比较。结果表明: (1) 该种群现仅 132 活株, 相比 2013 年减少 86.34%, 现死亡植株 75.91%, 表明该种群遭到严重破坏; (2) 2013 年该群落植物分属于 36 科 80 属 119 种, 现 23 科 40 属 47 种, 群落 Shannon 多样性指数由 1.5 降至 1.14, 均匀度指数从 0.21 降到 0.16, 植物多样性和均匀度减低破坏根系保护屏障, 降低其抵抗极端气候的能力; (3) 土壤 PH 均值 6.98 为偏中性土壤, 土壤全氮、全磷、全钾的平均含量分别为 125.08g/kg、13.25g/kg、9.16g/kg, 土壤肥力能满足小叶桦生长需求, 但土壤含水量仅 21.39%, 与艾比湖小叶桦种群 (48.44%) 相比明显减少, 土壤含水量减少弱化幼苗更新机制也是导致该种群退化的主要因素之一; (4) 人为干扰和自然灾害因素也是野生极小种群形成和发展过程中不可忽略的重要因素; (5) 该种群相较之艾比湖保护区种群单核苷酸多态性位点杂合度较高、多态性和完整度较低, 生境退化导致的遗传衰退现象已显现。综上表明, 影响该小叶桦种群急速退化原因涉及多方面, 急需主管部门采取对策挽救该种群免遭灭绝的风险。研究成果为该地区的植被恢复和开展保护行动提供科学依据。

关键词: 湿地; 小叶桦; 退化; 保护

Causes of rapid degradation of *Betula microphylla* population in the southern margin of Junggar Basin and protection strategies

WANG Yuxia¹, LIU Jiamin¹, DU Zhenzhu^{1,2}, XU Wenbin¹, MA Zhancang¹, HUANG Gang^{1,*}, YAN Ping¹

1 College of Life Science, Xinjiang Production and Construction Corps Key Laboratory of Oasis Town and Mountain-basin System Ecology, Shihezi University, Shihezi 832003, China

2 Laboratory Equipment Department, Shihezi University, Shihezi 832003, China

Abstract: The reasons for the rapid degradation of the *Betula microphylla* population in the mushroom lake wetland on the southern margin of the Junggar Basin remain unclear. To investigate the various factors of the degradation, plant diversity and related indices were calculated based on data. Relationships of stoichiometric characteristics between plant leaves and soils were presented through correlation analysis, genetic differences were then analysed across the SLAF-seq technology. The results showed that (1) there were only 132 live plants, a decrease of 86.34% compared with 2013, and 75.91% of the dead plants, indicated that the population was extremely damaged. (2) In terms of plant community composition, compared with 2013, there were 119 species in 80 genera and 36 families, but now there are only 47 species in 40 genera and 23 families. Shannon diversity index of the community decreased from 1.5 to 1.14, followed by Pielous index from 0.21 to 0.16. The drop of plant diversity and Evenness index indirectly damaged root protection barrier and its ability to resist extreme weather began to decline. (3) The average soil pH value was 6.98, neutral soil; average contents of total nitrogen, total

基金项目: 新疆小叶桦遗传多样性及其濒危机制研究 (32160317); 石河子大学自主资助科研项目 (ZZZC201930B)

收稿日期: 2023-12-22; 网络出版日期: 2024-07-12

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: HuangGang@shzu.edu.cn

phosphorus and total potassium were 125.08 g/kg, 13.25 g/kg, and 9.16 g/kg, respectively, and the soil fertility could meet the growth needs of *B. microphylla*; The soil water content was 21.39%, which was significantly lower than the Ebinur Lake *B. microphylla* population (48.44%); The decrease of soil water content weakened the seedling regeneration mechanism, which was also one of the main factors leading to the degradation of this population. (4) Human disturbance and natural disaster factors could not be ignored in the formation and development of wild minimal populations. (5) The heterozygosity of the SNP (single nucleotide polymorphism) sites in this population was higher, SNP polymorphism and integrity was lower than Ebinur Lake Reserve population, and the phenomenon of genetic decline due to habitat degradation had been shown. In conclusion, the rapid degradation of the *B. microphylla* population was caused by many factors. It was urgent for the competent authorities to take actions and avoid the risk of extinction. Our research will provide a scientific basis for vegetation restoration and conservation in this area.

Key Words: wetland; *Betula microphylla*; degradation; protection

湿地作为一种水陆相互作用而形成的生态系统有着“地球之肾”的美称,拥有水源涵养、气候调节、碳源储存和供应、物种栖息地等诸多生态功能^[1],新疆天山冰川融水的注入在北麓及准噶尔盆地南缘大地上形成珍珠般的湿地和绿洲,造就了独特的山地-绿洲-荒漠复合生态系统。新疆湿地总面积 393.82 万 hm^2 ,其中湖泊湿地 77.45 万 hm^2 ,记录有维管植物 1227 种,其中包括 10 种国家二级保护植物,新疆现有 51 处国家湿地公园^[2]。

小叶桦(*Betula microphylla* Bge.) 隶属于桦木科(Betulaceae)桦木属(*Betula*),为丛生型或主干型乔木,根系较浅,树皮灰白或棕红色;叶菱形、菱状椭圆形或菱状倒卵形;柔荑花序,花单性,雌雄同株;果苞革质,小坚果具膜质翅。国外分布于蒙古与俄罗斯西伯利亚^[3],中国仅新疆分布,其中阿尔泰山、阿拉套山和塔尔巴哈台山地林缘、疏林或混交林中都是其主分布区;该种在准噶尔盆地的一些平原湿地或沼泽地也有小片段分散式分布,在山地河谷、荒漠前山带、荒漠沼泽地以及平原湿地均有分布^[4],是新疆平原植被和荒漠植被的主要成分,且对改善湿地环境以及提升园林优化度具有重要开发价值的本土天然林,被认定为天山北坡和准噶尔盆地南缘平原地区宝贵的天然林资源。东北天然林保护成效取得优异成果,与保护工程高度重合的极显著热点区域明显增加有关^[5]。目前,通过生态补偿来缓解区域经济发展和生态保护之间的矛盾已在多地展开,其中天然林资源作为实现生态系统服务价值的重要组成部分发挥着重要作用,体现在要加紧保护未被利用的物种栖息地和开发利用过程中采用生态价值标准^[6]。小叶桦自 2006 年被划分为新疆桦木属新分类群,目前集中在育种技术开发^[7]和繁育特性^[8]研究以及应用引物序列^[9]进行的遗传多样性研究,并未有专门的研究针对新疆某一小叶桦种群生存状况与保护对策进行探讨,本团队初步探究可更好地发挥天然林屏障作用以改善地区生态脆弱性,并对类似种群长效保护机制的确定提供依据。

准噶尔盆地南缘幸存小叶桦种群主要在石河子蘑菇湖湿地,其西南缘的乌苏西部与精河接壤的湿地也有分布。相较之乌苏与精河小叶桦种群而言,首先 2013—2023 年间蘑菇湖湿地小叶桦分布区域变得狭窄;其次遭受的人为干扰有持续加剧的趋势;其三物种存活数量直线下降;最后根据 2012 年研究团队针对准噶尔盆地南缘石河子蘑菇湖湿地分布的小叶桦详细调查了生存现状、种群结构和种群生命表进行生存曲线分析,当时结果表明该小叶桦种群表现出的整体相对稳定状态是在接近其承受能力极限状态下而呈现出的结果,种群已出现树龄提前老化、年龄结构失衡、自然更新困难、高龄级立木早衰和同期死亡趋向^[10],综合以上四点说明该野生物种资源遭受了前所未有的破坏而且已经演变成野生极小种群。基于以上所述,本研究根据小叶桦种群及群落结构的动态变化过程,小叶桦叶片和土壤主要营养元素等化学计量特征和理化性质,以及种群内部遗传衰退与否提出并试图阐明以下科学问题:(1)十年间蘑菇湖湿地小叶桦种群和群落结构变化趋势;(2)具体的种群特征性指标能否指示现存的准噶尔盆地南缘小叶桦种群属于极小种群?(3)明确小叶桦种群退化的主要因素并提出可行性措施。本研究的开展尤其是对于山地-绿洲-荒漠生态系统来说,将狭域分布的物种纳

入到整个复合生态系统中来从更加全面的角度来了解群落乃至该区域复合生态系统的发展进程和发展状况,观测区域内部极小野生种群的发展变化动态,从而更加全面认识野生极小种群的形成过程和特征性指标的变化,提出切实可行的保护措施来使极小种群的生态和经济效益最大化。

1 材料与方法

1.1 研究区概述

研究区位于石河子蘑菇湖南岸平原湿地,地处天山北坡、准噶尔盆地南缘,玛纳斯河流域中游,海拔约 370m,泥炭沼泽土;年均气温 6—7℃,极端最低温约-42℃,极端最高温约 42℃;年均降水量约 110—150mm,年蒸发量约 1800—2200mm,无霜期 160—170d,日照 2798—2839h,气候寒冷,日夜温差大,属于典型的大陆性干旱荒漠气候^[10]。同时研究区位于天山北坡经济带中部,长期受到人类扰动、农业生产、工业活动和气候变化等影响。从该区域的分布植物类型看来,乔木有作为优势种的小叶桦且林缘、间杂生少量疏齿柳(*Salix serrulatifolia*)等植物;草本层植物以禾本科(*Graminae*)、菊科(*Compositae*)、藜科(*Chenopodiaceae*)、蓼科(*Polygonaceae*)等广布科的植物为优势种,除此之外也有部分水生植物存在。

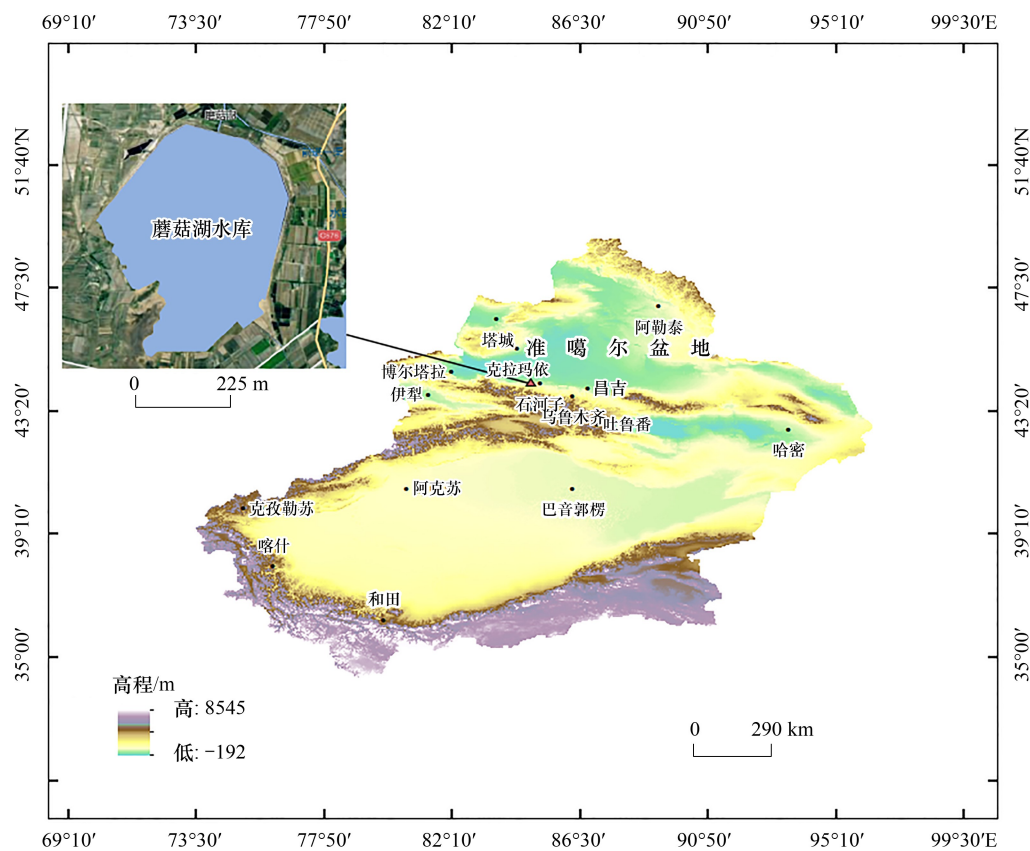


图 1 研究区示意图

Fig.1 The studied region

1.2 样地设计与样品采集

2023 年 5—6 月在蘑菇湖典型湿地中选取植被类型较丰富区域,设置如下样方并进行统计:乔木样方设置为 20m×20m 并统计数量、株高、胸径、冠幅;采用对角线法,分别设置面积为 5 m×5 m 的小样方 3 个,统计灌木和草本植物种类与数量,植株平均株高(TAPH);并在每个 5 m×5 m 样方中心位置设置 1 个 1m×1m 的样方,对于该小样方内部的草本植物计数、测量株高、冠幅、盖度,挖取小样方中心地面 0—20cm 深的土壤装入

铝盒(测含水量用)与自封袋(测营养成分用)。选取 20m×20m 样方中长势良好的 7 株小叶桦,每个植株不同方位同时采集成熟完整的叶片 10—15 片,做好标记装入信封袋中带回实验室(化学计量用)。群落物种多样性采用样方加踏查式调查法^[11]采全群落中的植物标本,以便后期物种鉴定。

1.3 物种鉴定与多样性分析

借助《中国植物志》和《新疆植物志》等工具书对于样方内外采集的植物标本进行物种鉴定,确定植物科属种分类地位及群落物种名录。分别计算样方中小叶桦的重要值^[12],确定小叶桦在样方中的重要性及地位(重要值>5%视为群落优势种)。物种多样性指数选取 Shannon-Wiener index 指数(H),Simpson's diversity index(D)和 Pielou 均匀度指数(E)来计量^[12]。具体公式如下:

$$H = - \sum (P_i \times \ln P_i) \quad (1)$$

$$D = 1 - \sum (N_i \div N)^2 \quad (2)$$

$$E = H' \div \ln S \quad (3)$$

式中: P_i 表示第 i 个物种相对于所有物种的丰富度即(个体数/总个体数), N 是所有物种的个体总数, N_i 是第 i 个物种的个体数, H' 是 Shannon 多样性指数, S 是物种数。

1.4 小叶桦种群径级结构划分与人为干扰调查

沿用与 2012 年^[13]设置一致的径级结构来分析种群特征:胸径 0—6 cm 记为 I 龄级、6—9cm 记为 II 龄级、9—12cm 记为 III 龄级、12—15cm 记为 IV 龄级、15—18cm 记为 V 龄级、18—21cm 记为 VI 龄级、21—24cm 记为 VII 龄级。收集 20m×20m 样地内小叶桦的胸径数据。统计小叶桦个体总数量、活株数、死亡数等数据。调查人为干扰因子,并拍照收集相关证据资料。

1.5 叶片功能性状测定

叶片功能形状的测定选取 20m×20m 样方内 7 株小叶桦四个方向完好的叶片约 10 片,现场称取鲜重数据,并带回实验室置于 60℃ 烘箱中烘 72 h 后称取干重。叶片含水量(Leaf water content, LWC)=(叶片鲜重-叶片干重)/叶片鲜重;叶干物质含量(Leaf dry matter content, LDMC)= 叶片干重/叶片鲜重^[14]。

1.6 叶片和土壤理化性质测定

土壤样品收集时立即测定重量,后放于 105℃ 烘箱中 12h 烘干测定干重,计算土壤含水量(Soil water content, SWC)。根据测定标准(NY/T 2419—2013)使用 CleverChem 全自动间断化学分析仪进行土壤及叶片全氮(Total Nitrogen, TN)、全磷(Total phosphorus, TPh)、全钾(Total potassium, TPo)含量的测定;以《土壤检测第 2 部分:土壤 PH 的测定》(NY/T 1121.2—2006)和《森林土壤水盐分分析》(LY/T 1251—1999)完成土壤 PH 和电导率(Electrical conductivity, EC)的测定。

1.7 小叶桦种群遗传原因分析

选取生境相似、距离较近和保护完整的艾比湖自然保护区内的小叶桦种群与急速衰退的蘑菇湖小叶桦种群进行遗传对比分析。随机选取位于两个种群中部的小叶桦植株 1 株,选取 2—3 片嫩叶片,混装于锡箔纸使用液氮浸泡处理后放于-80℃ 冰箱保存,送至北京百迈客公司使用 SLAF-seq 技术测序^[15]。

1.8 数据处理

利用 Origin、Excel 软件数据比对和绘图,R 语言(R 4.3.1)进行相关性分析,计算 P 值并标注相关性变量。

2 结果与分析

2.1 小叶桦种群急速退化现状

小叶桦作为准噶尔盆地南缘蘑菇湖湿地的建群种。从 2013 年至 2023 年间小叶桦种群数量和年龄结构对比来分析(见图 2),小叶桦总个体数从 1060 株下降到 548 株,降幅 48.30%;现小叶桦种群仅由 132 活株构成,相比 2013 年的 966 活株数减少了 86.34%,死亡植株 416 株,占比 75.91%。从小叶桦径级来分析,现径级第 I—IV 龄级存活个体已基本消失,只有第 V、VI、VII 龄级的活株,占比分别为 14.29%、28.57%、57.14%,最大

的第Ⅶ龄级占比已超过多半,与随着时间推移由其它径级转入也有关联,现阶段主要为老龄植株,与2013年呈纺锤形年龄结构^[16]状况相比十余年来该种群已发生剧烈衰退。

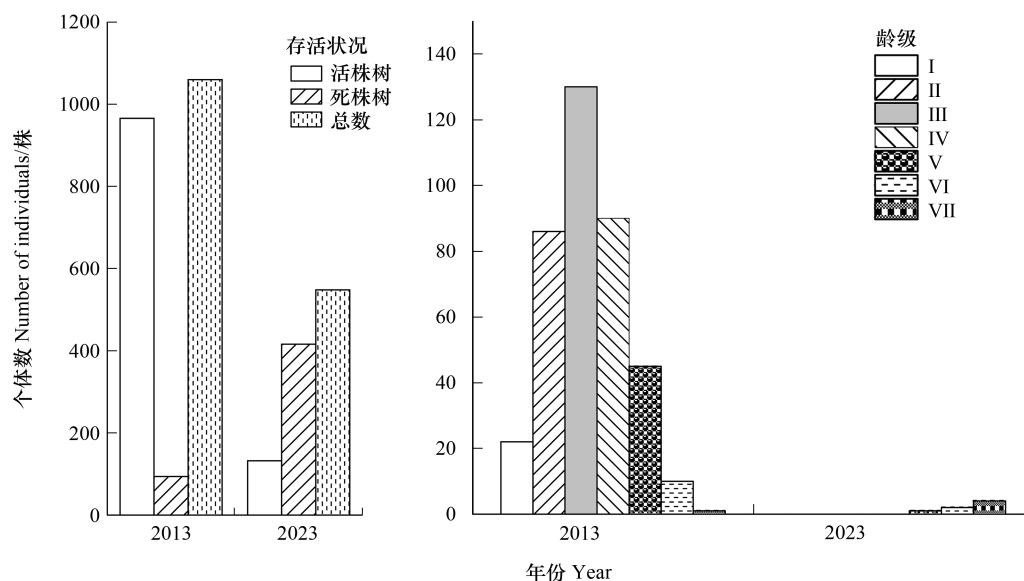


图2 2013—2023 小叶桦存活状况和年龄结构

Fig.2 2013—2023 Survival status and age structure of *B. microphylla*

2.2 群落结构分析

小叶桦种群结构急速退化与湿地群落结构的变化有极大关联。经植物种类鉴定结果表明2023年该群落物种有23科40属47种,与2013年该群落有36科80属119种的记录相比,科级水平上减少了36.11%,属级水平减少了50%,物种级水平减少了60.50%。其中狸藻科 (*Lentibulariaceae*)、香蒲科 (*Typhaceae*)、水麦冬科 (*Juncaginaceae*) 和浮萍科 (*Lemnaceae*) 等典型的湿生植物及科属均已消失;之前作为该湿地稀有植物沼泽蕨 (*Thelypteris palustris* (Salish.) Schott.) 现已极其少见;蕨草属 (*Scirpeae* L.) 和苔草属 (*Carex* L.) 植物种类也持续减少,部分旱生植物也在持续侵入。现主要以禾本科、菊科、藜科、蓼科等广布科的植物为主,说明该湿地物种群落结构已发生明显变化,由湿生植被逐步转向湿生旱生植被并存,群落共生物种对于水环境变化的响应可以作为该地小叶桦极小种群生境变化的主要表现。

从群落物种多样性和均匀度来比较分析。2023年5月植物物种多样性的调查设定的样地中,乔木种仅有小叶桦,其它均为草本层植物。2013年至2023年间该湿地植物群落 Simpson 指数由0.84下降到0.56 (图3), Shannon 多样性指数1.5下降到1.14,均匀度指数由0.21下降到0.16;从1m×1m样方调查统计草本植物盖度仅为21.33%,植被覆盖度处于相对较低水平,导致小叶桦根系大面积外露,破坏了小叶桦根系的保护屏障,降低小叶桦抗击极端气候的能力,极易受到阵风破坏等。

2.3 土壤理化因子分析

土壤是小叶桦获取养分直接接触的外部环境之一,结果表示PH值的变化范围在6.78—7.12之间,均值为6.98,偏中性。土壤全氮、全磷、全钾的平均含量分别为125.08g/kg、13.25g/kg、9.16g/kg,均低于桦树叶片的氮、全磷、全钾的平均含量(247.92g/kg、22.25g/kg、1008.79g/kg),且叶片全钾含量远超出土壤全钾含量,土壤全钾和叶片全磷含量均显著负相关($P<0.05$),同时叶片脱落后又会对土壤中氮磷钾元素进一步补充,表明土壤肥力能满足小叶桦生长的基本需求。但是土壤含水量均值只有21.39%,相比生境完好的艾比湖保护区小叶桦种群土壤含水量均值为48.44%要明显减少,土壤含水量低值也是该湿地植被承载量持续性下滑的直接原因。

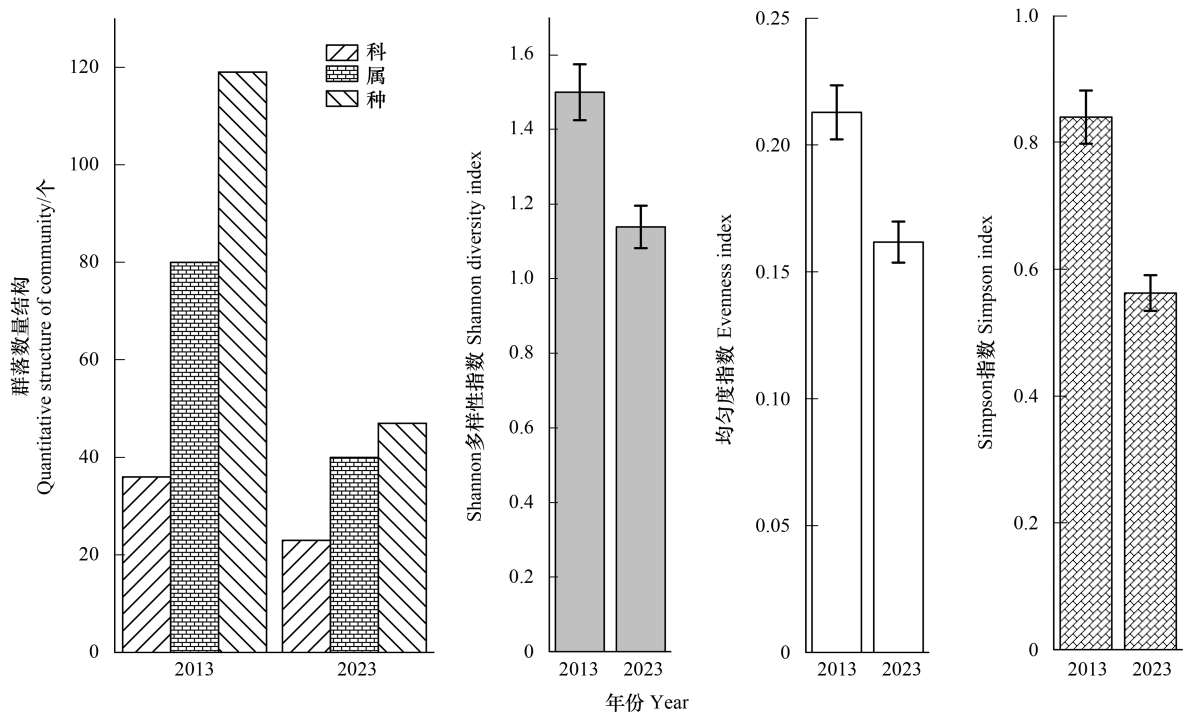


图3 2013—2023 小叶桦群落数量结构、Shannon 多样性指数、均匀度指数、Simpson 多样性指数变化

Fig.3 The quantitative structure, Shannon diversity index, Evenness index and Simpson index of *B. microphylla* community during 2013—2023

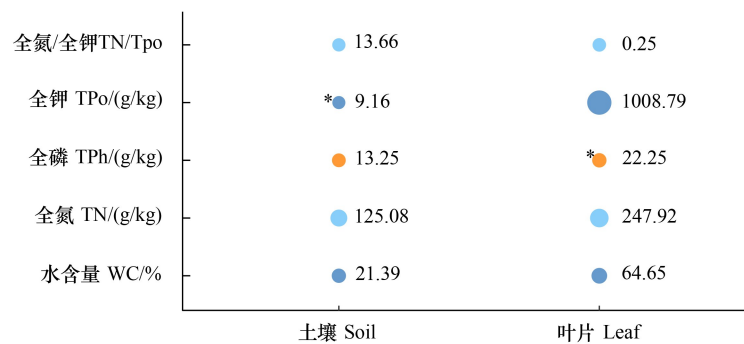


图4 土壤和叶片主要养分含量及相关性

Fig.4 The nutrient content and correlation of soil and leaf in plots

* 代表两变量之间显著相关 $P < 0.05$, 圆圈不同颜色代表负相关

2.4 人为干扰与自然灾害分析

经对蘑菇湖湿地小叶桦种群进行实地人为干扰因素调查取证,人为干扰主要有五个方面。首先是农业扩张挤占湿地空间(见图5),严重影响小叶桦生存空间;其次是过往水渠改道加深和过度开采地下水源,调查发现该种群周边至少有3个抽水井,导致水位明显下降,过往水流向蘑菇湖速度加快,直接导致小叶桦和其它植被水源补给的严重不足;其三是过度放牧,湿地植物多样性下降使得根系裸露加快;其四是乱砍乱伐现象常有发生,小叶桦种群迅速减少;其五是常年缺乏对夏季逐年增多游玩人员的监管,旅客随意进出林内且保护意识淡薄严重干扰小叶桦正常成长。

受到全球气候变暖趋势的影响,新疆作为全球气候变化响应最敏感地区之一,极端气候属于多发态势。



图5 2013至2023年石河子蘑菇湖湿地调查
Fig.5 2013—2023 Survey of Shihezi Mushroom Lake Wetland

根据气象记录,新疆每年春季均有 5—10 级西北风,阵风 10—12 级极端气候事件^[17–20],而根据实地调查发现,树体基本上呈现出受到由西向东的风吹以至于连根倒下或半截断掉而死亡,人为干扰和自然灾害同时发生也是目前野生极小种群主要成因和面临的主要威胁。

2.5 种群内部遗传衰退分析

选取同一纬度并保护完整的艾比湖保护区与蘑菇湖小叶桦种群中的两株植株进行 SLAF-seq 测序。由于碱基分布会受到酶切位点和 PCR 扩增的影响,测序 Reads 的前 2 个碱基会呈现与酶切位点一致的碱基分离,后续碱基分布会呈现不同程度的波动。根据碱基分布检查结果表明,双端测序的两个种群碱基分布情况基本一致(图 6)即保护区和非保护区小叶桦种群并未受到外源基因的干扰;并且蘑菇湖种群中 SNP 的杂合率较高(8.88%)和 SNP 完整度较低(26.74%),蘑菇湖和艾比湖 2 个种群的单核苷酸多态性(SNP)总数均为 334223 个,但对应这 2 个种群样品中检测到的 SNP 个数分别为 89393 个和 108163 个,表明蘑菇湖小叶桦种群内部存在遗传衰退且种群自我更新严重受阻。

表 1 蘑菇湖与艾比湖小叶桦双端测序监测结果数据报告

Table 1 Data report of double-ended sequencing monitoring results of *B. microphylla* in Mushroom Lake and Ebinur Lake

采集地 Place	总序列数 Total Reads	GC 含量 GC/%	Q30/%	SLAF 标签数 SLAF number	测序总深度 Total depth	平均深度 Average depth	SNP 总数 Total SNP	样品中 SNP 数 SNP number	杂合率 Hetloci ratio/%	完整度 Inutegrity ratio/%
蘑菇湖	4659572	41.36	95.28	112126	1833588	16.35	334223	89393	8.88	26.74
艾比湖	3105936	43.58	95.76	113806	1091330	9.59	334223	108163	7.60	32.36

GC/%:测序结果中 G 和 C 两种碱基所占总碱基的百分比 The percentage of G and C bases in the total base;Q30/%:测序质量值大于或等于 30 的碱基所占百分比 The percentage of bases with sequencing quality values greater than or equal to 30;SLAF number:对应样品所持有的 SLAF 标签数 Specific-Locus Amplified Fragment sequencing;SNP:单核苷酸多态性 Single nucleotide polymorphism

3 讨论

3.1 小叶桦群落特征变化和种群动态

首先,有关额尔齐斯河流域垂枝桦的群落结构及多样性研究^[21]结果表明,纯林或混交林这些不同的乔木林分类型可以通过草本层物种 α 多样性指数得以反映,混交林在物种组成和生长状况均表现更优。本研究区内群落中灌木的缺失也使得小叶桦群落组成物种数减少,这可能是其现今演变成为野生极小种群的原因之一;尽管十年前后草本植物 α 多样性存在下降趋势,但是小叶桦种群的重要值下降趋势高于草本植物,即该湿地生境仍然可以达到草本植物生存所必须的最小生境阈值并提供其生存的物理和生物条件。其次,由蘑菇湖湿地延伸出的支流已经被集中用于农田灌溉,加之周围有牧民常驻并且放养了大量牲畜所以低矮草本植物和灌木被啃食,物种减少使得存活物种之间的关系沿着相互促进的方向转变。

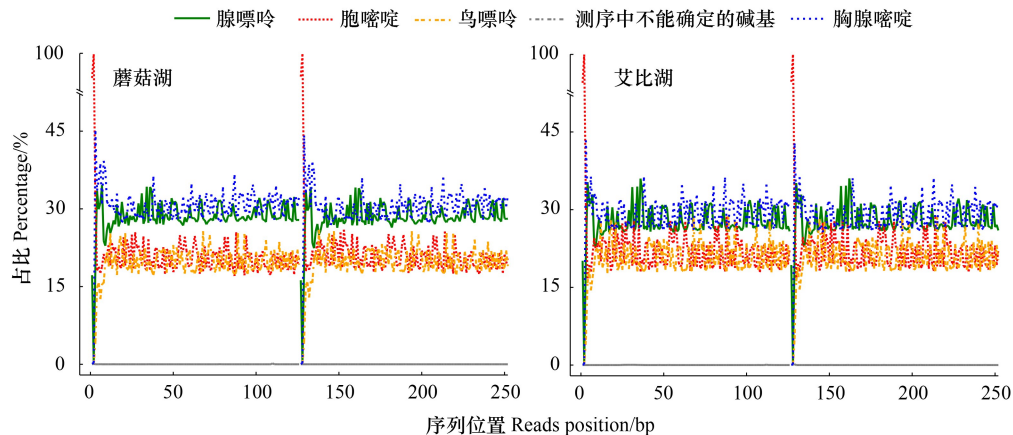


图6 蘑菇湖湿地和艾比湖湿地小叶桦种群碱基组成对比

Fig.6 Bases of *B. microphylla* population in Shihezi Mushroom Lake Wetland and Ebinur Lake Wetland

根据径级划分结果可知,2013 年中龄级个体占比最大,而老龄个体和幼龄个体量较小,且株高与龄级分布情况趋于一致,说明此时仍然存在幼苗更新;十年后的种群年龄结构显示当前仅有中龄级和老龄级,且老龄级数量约为中龄级数量之和,年龄结构呈现衰退型。由此看来,十年间小叶桦种群幼苗更新机制受到严重破坏。种群年龄结构作为体现种群动态变化及未来发展趋势的指标除了受到生态环境因素的影响,物种的生物学特性也是另一个主要因素。小叶桦植物雌雄同株,需依靠风媒传粉,自交概率较高,雄花序为越年生长^[22],但与雌花序之间具有同步性和协调性。果序的结籽数和结籽率分别为 220 和 76.7%,种子库中具有活力的种子约每平米 4 万粒^[22],但只有 28.75%的健康种子可萌发,草本层物种的缺失和土壤表面不断累积的瓦砾生境对该野生极小种群种子传播的负作用更加显著;种子千粒重为 0.335g^[22],尽管经历了持续性的外界干扰和生境片段化,小叶桦仍然保持风媒传粉,在种子数量和传播方式不变的前提下,结合种群年龄结构可知该极小野生种群急剧减少的原因在于脆弱的幼苗阶段缺乏足够的水源供应。出生率和死亡率是反映种群繁衍最直接的指标,2023 年蘑菇湖湿地小叶桦活株树仅为 2013 年的五分之一,死亡率急速上升。表明十余年间该野生极小种群演变历程均可以用群落和种群特征性指标进行阐述。

3.2 小叶桦叶片和土壤全 N、全 P、全 K 含量及理化性质的关系

植物为了适应环境而形成了各异的功能性状,此方面的差异可以保证它们自身在面对生存环境的变化时做出不同的响应,也反映了植物在表征生态系统功能方面的生态指示作用^[23-24]。不少研究表明,土壤因子也是影响湿地乔木种群叶片营养元素动态变化的关键^[25],作为蘑菇湖湿地的优势乔木类型,小叶桦种群中该特点也已显现(图 4)。一方面,绿色植物叶片依靠光合作用来为植物体的生命过程提供能量。P 元素作为核酸核蛋白的成分,拥有充足的 P 元素是细胞核发挥功能和细胞器形成的基础保障,因此缺少磷元素会抑制新细胞的形成,使得根系发育不良,更严重的则会加速植株生长的停滞现象;能量是生物体启动生命活动的开关,P 元素是三磷酸腺苷(ATP)的主要组成元素,也会在生物膜上形成磷脂转运营养物质、对蛋白质进行合成与分解。土壤全钾对于叶片全磷的含量表现出显著负相关,说明土壤全钾高值意味着小叶桦叶片新细胞形成过程减缓,植株缺少能量供应。小叶桦雄花序属于越年生殖器官,而叶片中如果含有丰富的磷元素就可以为植株开花结实提供能量,便能更好的保证雄花序与第二年萌芽的雌花序能够同步完成生殖过程。

此外,三个样地中土壤 PH 值差异较小,酸性趋于中性,说明土壤中有有机酸含量下降,小叶桦叶片等其他有机物的含量乃至分解过程减弱,土壤微生物群落功能丰富度的提升受阻^[26]。综合以上结果,土壤全 K 高值对小叶桦种群的影响,初步反映在叶片全 P 含量的下降和根系正常发育受阻,进一步可能会导致小叶桦根系裸露于地表(图 5),不能更好的吸收和储存营养元素。高大的乔木往往是鸟类安家筑巢的最优选择,早在 2011 年就有研究者在准噶尔盆地南缘发现棕尾鵟(*Buteo rufinus*)、漠鵟(*Oenanthe deserti*)和灰伯劳(*Lanius*

excubitor) 的身影^[27], 现如今小叶桦种群持续衰退, 幼苗更新减缓对于鸟类等的生存构成了威胁。

3.3 人为干扰是导致小叶桦种群退化的主要因素

保护生物学是关注影响生物多样性维持、丧失和恢复的现象, 以及维持产生遗传、种群、物种和生态系统多样性的进化过程的科学。SLAF-seq 测序作为一种通用的测序技术, 相关研究根据不同个体序列相似度 > 90% 为准进行了 SLAF 位点的统计, 对狭域分布的兰科物种贵州地宝兰 (*Geodorum eulophioides*) 相继进行了群体遗传学聚类分析^[28]。因此, 为了深入探究蘑菇湖小叶桦种群退化和群落多样性变化现象, 在种群和群落物种调查、多样性统计的基础之上, 通过蘑菇湖和艾比湖两个小叶桦种群碱基分布位点的比较, 发现两个种群小叶桦物种序列高度一致。SNP 位点是由于单个核苷酸发生变化而产生, 蘑菇湖小叶桦种群可探测 SNP 位点数低于艾比湖种群, 杂合度高、完整度低即蘑菇湖种群核苷酸更新受阻, 存在遗传衰退现象。国外也有研究对于保护区和非保护区的甸生桦基因流及花粉传播和子代植株群体大小进行调查发现, 位于人迹罕至区域和实行保护区域的甸生桦种群生存繁殖状况显著优于非保护区种群^[29], 与本调查结果相似。

艾比湖湿地也属于典型的湿地景观, 在早期与蘑菇湖湿地同样以荒漠景观出现, 后来经历了隐域性湿地的演变开始出现小叶桦并成为优势种群^[30], 尽管三百多年来该湿地有退化现象, 但是小叶桦仍然可以在水分良好的沼泽草甸上生长。进入 21 世纪以来, 随着区域经济的发展, 艾比湖流域也受到了人为干扰, 尤其是 2003 年湖面缩减现象日渐加剧, 为了改善这种环境, 2015 年始博尔塔拉州对艾比湖流域加强管理, 至 2018 年底, 湖面面积恢复至超过 800km²^[31]。一方面得益于政府部门对于湖面面积的推算和引入水源保证湿地面积的举措, 更重要的是在此地设立了艾比湖自然保护区尽早开展了区域保护工作, 减少甚至杜绝了人为干扰对该湿地小叶桦种群的破坏现象的发生有效保护了该小叶桦种群。

3.4 保护对策

利用小微湿地^[32]建设的人工修复途径, 恢复蘑菇湖南岸湿地小叶桦种群的生存环境。开展湿地水源长期补给工程, 改善湿地泉眼水区域的生态环境, 通过渠道环绕小叶桦种群的生态治理措施逐步实现湿地植被修复; 采用自然恢复与人工种植等方法恢复湿地中的植物, 提高植被覆盖率。对于极小种群的恢复更多的强调自然复壮为主, 围栏禁牧也可恢复湿地生态系统的结构和功能, 促进湿地土壤总有机碳、全氮、铵态氮、硝态氮等含量的积累^[33], 有利于湿地植被群落得以生长繁殖同时增加养分输入^[34—35], 提升湿地土壤持水蓄水性^[36—37]并促进土壤全氮的累积^[38]等, 表现出湿地沼泽化草甸土壤更大的持水能力和更强的保留养分的能力^[39]。保护生物学属于多学科、多领域参与的, 探讨地球生物多样性及其保护的科学。要加强跨学科、多领域的专业技术人才培养和保护合作项目。面对蘑菇湖小叶桦种群开展综合生物多样性调查, 评估状况, 常态化观测重要生态系统和生物类群, 同时开展种群繁殖生物学研究, 做好育苗扩繁与物种修复工作, 为该种群早日摆脱生存危机, 实现种群稳定, 并与人类共存的保护目标。

4 结语

准噶尔盆地南缘蘑菇湖南岸自然分布的小叶桦种群是方圆百里内平原湿地仅有的、格外珍贵的本土林业资源, 由于外部人为干扰和种群内部遗传衰退的影响如今退化剧烈。首先, 进入 21 世纪之后多因素综合影响导致野生植物分布区破碎化现象频现, 相关部门尽管采取了相应的保护措施, 却忽略了种群这一物种生存繁衍的基本单位, 虽然短时期物种数量可以保持, 但是物种长期存续情况并不乐观。因此, 本研究认为对于野生植物资源的保护应该以种群为单位进行长期观测, 以物种生物学特性、种群年龄结构、出生率、死亡率和群落特征为主要参考指标进行需保护野生植物种群确定和保护成效的评估。其次, 准噶尔盆地所处地区属于独特的山盆相间地貌格局, 管理部门保护蘑菇湖湿地野生植物并加强对于北部山区现代发育冰川融水的利用可以充分发挥湿地涵养水源的功能, 进一步扩大湿地面积同时也为南部古尔班通古特沙漠提供丰富的地下水资源, 保护北疆沙漠珍稀的沙生植物资源, 保证山地-绿洲-荒漠复合生态系统稳定发展。

参考文献 (References):

- [1] 寇江泽. 尽最大努力保持湿地生态和水环境. 中国集体经济, 2022(12): 7-8.
- [2] 杜珍珠, 阎平, 黄刚, 任姗姗. 石河子绿洲-荒漠区菊科植物物种多样性研究. 西北植物学报, 2013, 33(5): 1034-1040.
- [3] 杨昌友, 王健, 李文华. 新疆桦木属(*Betula* L.)新分类群. 植物研究, 2006(6): 648-655.
- [4] 黄刚, 杜珍珠, 孙肖宁, 曹婷, 阎平. 准噶尔盆地南缘小叶桦种群生命表与生存分析. 江苏农业科学, 2012, 40(9): 310-313.
- [5] 王佳琪, 邢艳秋, 常晓晴, 杨红. 东北天然林资源保护工程成效评估及热点区域识别. 生态学报, 2024, 44(3): 1231-1241.
- [6] 董靖雯, 王承武. 基于生态系统服务价值的阿勒泰地区生态补偿区域空间选择与策略. 环境工程技术学报, 2024, 14(1): 308-317.
- [7] 贾志远, 有祥亮, 何小丽, 崔心红, 唐罗忠, 朱义. 沼泽小叶桦扦插技术研究. 中国农学通报, 2017, 33(34): 69-75.
- [8] 黄刚, 杜珍珠, 曹婷, 张辉, 阎平. 小叶桦种子萌发特性. 西北农业学报, 2013, 22(4): 134-139.
- [9] 杨梅花, 苗江林, 厚富霞, 王蕾蕾, 程锦涛. 基于 ITS 和形态学系统分析新疆桦木属种间系统发育关系. 西南林业大学学报: 自然科学, 2023, 43(1): 179-185.
- [10] 黄刚, 曹婷, 阎平. 石河子蘑菇湖湿地小叶桦生存现状调查研究. 石河子科技, 2012(6): 3-4.
- [11] 吴雪惠, 张微微, 施建敏, 杨光耀, 唐明. 南昌昌北国际机场植物资源调查及预防鸟击的植被规划建议. 生物灾害科学, 2020, 43(2): 165-177.
- [12] 马克平, 黄建辉, 于顺利, 陈灵芝. 北京东灵山地区植物群落多样性的研究 II 丰富度、均匀度和物种多样性指数. 生态学报, 1995(3): 268-277.
- [13] 谢晋阳. 森林植物立木种群静态生命表的一种编制方法. 南昌大学学报理科版, 1992(4): 383-386.
- [14] 庞志强, 姜丽莎, 缪祥蓉, 元峥, 卢艳丽. 昆明市主要园林植物叶性状及叶经济谱研究. 西南林业大学学报: 自然科学, 2019, 39(4): 53-60.
- [15] 吴欣仪, 王蒙, 郑希龙, 张锐, 何松, 严岳鸿. 基于简化基因组测序揭示水角的濒危机制. 广西植物, 2023, 43(8): 1414-1427.
- [16] 管岳, 王妍欣, 褚佳瑶, 冯琳骄, 宋晓萌, 周龙. 新疆野扁桃种群年龄结构及动态分析. 植物生态学报, 2023, 47(7): 967-977.
- [17] 王东方, 任刚, 张风华. 近 60a 来玛纳斯河流域气候变化趋势及突变分析. 新疆农业科学, 2011, 48(8): 1531-1537.
- [18] 宋玉鑫. 新疆极端气候及干湿变化特征研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2022.
- [19] 姚俊强, 毛炜峰, 陈静, 迪丽努尔·托列吾别克. 新疆气候“湿干转折”的信号和影响探讨. 地理学报, 2021, 76(1): 57-72.
- [20] 史军民, 李有利, 杨景春. 新疆玛纳斯河蘑菇湖沉积物中粘土矿物及其环境意义. 干旱区地理, 2007(1): 84-88.
- [21] 刘召强, 刘艺平, 冯理明, 贺丹, 孔德政. 额尔齐斯河流域垂枝桦林群落结构特征与物种多样性相关分析. 西北植物学报, 2020, 40(3): 532-542.
- [22] 黄刚, 阎平, 杜珍珠, 曹婷, 徐文斌. 小叶桦花序生长物候及其生态适应意义. 西北植物学报, 2014, 34(12): 2569-2575.
- [23] 苗乐乐, 刘旻霞, 肖音迪, 杨春亮, 王千月, 王敏. 不同纬度植物群落系统发育与功能性状结构研究. 生态学报, 2024, 44(1): 317-329.
- [24] 向响, 黄永梅, 杨崇曜, 李泽卿, 陈慧颖, 潘莹萍, 霍佳璇, 任梁. 海拔对青海湖流域群落水平植物功能性状的影响. 植物生态学报, 2021, 45(5): 456-466.
- [25] 张奇奇, 韩广轩, 路峰, 周英锋, 王晓杰, 李培广, 初小静, 贺文君, 于冬雪, 宋维民, 许景伟. 不同修复年限对黄河三角洲湿地植物多样性和群落稳定性的影响. 生态学杂志, 2022, 41(7): 1249-1257.
- [26] 潘晓婷, 叶茂, 曹攀琦, 贺清智, 张凯丽. 阿尔泰山布尔津林区不同草地类型物种和生产力关系及随海拔变化特征. 草业科学, 2023, 69(2): 627-637.
- [27] 徐峰, 廖灏泓, 徐文轩, 夏参军, David BLANK, 刘伟, 杨维康. 新疆准噶尔盆地东南缘 3 种荒漠鸟类的巢及窝卵数. 四川动物, 2013, 32(4): 627-628.
- [28] Li Z, Ran Z H, Zhang Y, Xiao X, An M T. Genetic diversity and structure of *Geodorum euphroides*, a plant species with extremely small populations in China. Diversity, 2023, 15(9): 990.
- [29] Mekuria W, Veldkamp E, Haile M, Nyssen J, Muys B, Gebrehiwot K. Effectiveness of exclosures to restore degraded soils as a result of overgrazing in Tigray, Ethiopia. Journal of Arid Environments, 2007, 69(2): 270-284.
- [30] 段晓红, 张芸, 杨振京, 阎平, 黄刚, 孔昭宸, 王力, 李媛媛. 新疆石河子蘑菇湖湿地 4800 年以来的环境演变. 海洋地质与第四纪地质, 2018, 38(4): 203-211.
- [31] 延琪瑶, 王力, 张芸, 孔昭宸, 陈立欣, 杨振京. 新疆艾比湖小叶桦湿地 3900 年以来的植被及环境演变. 应用生态学报, 2021, 32(2): 486-494.
- [32] 崔丽娟, 雷茵茹, 张曼胤, 李伟. 小微湿地研究综述: 定义、类型及生态系统服务. 生态学报, 2021, 41(5): 2077-2085.
- [33] 王雪松, 季燕, 贺晶, 等. 放牧和土壤水分对温性草甸草原群落结构及植被碳库的影响. 中国草地学报, 2023, 45(1): 33-42.
- [34] 刘旻霞, 南笑宁, 张国娟, 李博文, 徐璐, 穆若兰, 李亮, 于瑞新. 高寒草甸不同坡向植物群落物种多样性与功能多样性的关系. 生态学报, 2021, 41(13): 5398-5407.
- [35] 王梦梦, 张丽华, 当知才让, 王宏, 杨尖拉毛, 赵锐锋. 高寒湿地退化对植物群落特征与土壤特性的影响. 生态学报, 2023, 43(19): 7910-7923.
- [36] 张欢, 邱玉宝, 郑照军, 除多, 杨煜丹. 基于 MODIS 的青藏高原季节性积雪去云方法可行性比较研究. 冰川冻土, 2016, 38(3): 714-724.
- [37] 闫玉娜, 车涛, 李弘毅, 秦越. 使用积雪遥感面积数据改善山区春季融雪径流模拟精度. 冰川冻土, 2016, 38(1): 211-221.
- [38] 刘文龙, 谢文霞, 赵全升, 朱鲲鹏, 于蓉蓉. 胶州湾芦苇滩土壤碳、氮和磷分布及生态化学计量学特征. 湿地科学, 2014, 12(3): 362-368.
- [39] 盖杨菊, 刘爽, 张昆, 李文韬, 郭雪莲. 围栏禁牧对纳帕海湿地土壤生态化学计量特征的影响. 生态学杂志, 2023, 42(10): 2351-2358.