第 43 卷第 6 期　　水 生 态 学 杂 志　　Vol.43, No.6
2022年　11月　　Journal of Hydroecology　　Nov. 2022
DOI:10.15928/j.1674-3075.202108120276

西藏色林错-普若岗日国家公园潜在建设区夏季浮游植物群落生态特征

刘　洋,安瑞志,巴　桑

(西藏大学理学院青藏高原湿地与流域生态实验室,西藏　拉萨　850000)

摘要:探究色-普国家公园潜在建设区浮游植物群落结构及优势种生态位特征,为该地区生物学和生态学研究以及高寒生态系统的优化管理提供科学依据。2015年和2016年8月在建设区设置22个采样点,对浮游植物群落进行调查分析,并运用生态位宽度、生态位重叠及生态响应速率等方法测定优势种的生态位量度。结果表明:调查区共鉴定出浮游植物127种,隶属于3门5纲11目18科35属,种类组成为硅藻-绿藻-蓝藻型,优势种5种,分别为嗜盐舟形藻(*Navicula halophila*)、丝藻属一种(*Ulothrix* sp.)、柔弱双菱藻具脉变种(*Surirella tenera* var. *nervosa*)、泉生菱形藻(*Nitzschia fonticola*)和细小桥弯藻(*Cymbella pusilla*);优势种生态位宽度值变化范围为[0.264,1.152],泉生菱形藻(*Nitzschia fonticola*)生态位宽度最大,为1.152,嗜盐舟形藻(*Navicula halophila*)生态位宽度最小,为0.264;浮游植物优势种生态位重叠值(O_{ik})分布范围为[0.013, 0.981],物种间对资源利用或生态适应能力的相似程度存在较大差异性,优势种生态位重叠程度不高,种间竞争弱,群落结构较为稳定;细小桥弯藻的相对资源占有量(ΔO_{ik})的变化幅度最大,为4.135,嗜盐舟形藻的ΔO_{ik}变化幅度最小,为0.288,丝藻属一种发展趋势最强(R=1.283),嗜盐舟形藻的衰退趋势最强(R=-0.916)。浮游植物优势种呈发展或衰退趋势是种间竞争的必然结果。

关键词:浮游植物;群落结构;生态位;色林错;普若岗日冰川

中图分类号:Q145　　**文献标志码:**A　　**文章编号:**1674-3075(2022)06-0051-08

浮游植物不仅是水生态系统中初级生产者的重要组成部分和生态指示类群,也是水生态系统微生物食物网、物质能量循环利用中的重要结构和功能组成部分(安瑞志等,2021a;张春梅等,2021)。由于其个体小、繁殖快且对环境的变化反应敏感,能够对环境变化做出迅速响应,在水环境监测应用方面有其自身独特的优势(张玮等,2017)。生态位反映种群在群落中功能位置、分布关系及对环境资源的利用情况,是分析和评价物种的生存机制、生存策略、群落动态演替和种群进化等方面的重要理论。有关浮游植物优势种的生态位研究较多(徐春燕等,2012;郭坤等,2016;李兴等,2017;安瑞志等,2020),但对干扰颇少的地球第三极国家公园浮游植物群落优势种的生态位鲜少研究。

西藏是青藏高原的主体,受人类活动影响较小,保持着相对稳定的自然生态系统,孕育着丰富的生物多样性和独特的高寒生态系统,是全球气候变化的敏感区和中国乃至世界的重要生态安全屏障,因而备受国内外研究生物起源、进化、区系和迁徙的学者广泛关注(Xiang et al,2009;巴桑等,2017;陈槐等,2020;Li et al,2021)。色林错-普若岗日国家公园潜在建设区(以下称为"色-普国家公园潜在建设区")位于青藏高原腹地,涉及的建设区域为色林错和普若岗日冰川周边6个县,是地球第三极国家公园群的重要组成部分,在维持和调节区域气候、水资源供应和保持生物多样性等方面具有重要的作用(张丛林等,2020)。至今有关色-普国家公园潜在建设区的生物学研究文章仅限于色林错流域裸鲤和附着硅藻等(刘军,2006;徐肖莹等,2016),有关浮游植物的研究鲜见报道。

为了探究色-普国家公园潜在建设区浮游植物群落结构及优势种生态位,于2015年8月和2016年8月(夏季)进行了定性和定量采集,对该地区水体

收稿日期:2021-08-12　　**修回日期:**2022-11-22

基金项目:西藏大学培育基金(ZDQMJH19-34);2021年中央支持地方高校发展专项资金(藏财预指[2021]01号);西藏自治区重点科研项目(2015XZ01G73)。

作者简介:刘洋,女,1988年生,实验师,主要从事高寒水体浮游植物生态学研究。Email:ly@utibet.edu.cn

通信作者:巴桑,男,1970年生,教授,主要从事高寒湿地与流域生态系统研究。Email:hbasang2003@aliyun.com

浮游植物群落进行了初步研究，并运用生态位宽度、生态位重叠及生态响应速率等方法测定优势种的生态位量度，揭示浮游植物群落优势种的资源利用状况、功能地位及生态适应性等相关信息，积累色-普国家公园潜在建设区浮游植物多样性基础数据，丰富极端环境下浮游植物特征及生态学资料，为色-普国家公园潜在建设区的生物学和生态学研究以及高寒生态系统的优化管理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

色-普国家公园潜在建设区涉及的建设区域为色林错和普若岗日冰川周边6个县，83°52′~92°26′E，30°41′~36°41′N，总面积 30.35×10^4 km^2（刘晓娜等，2020）。该区域地处羌塘高原湖盆地带，地势北高南低，属喀喇昆仑山唐古拉构造带，多为干寒和半荒漠、荒漠草场，最高海拔 6 939 m, 最低海拔 4 200 m，海拔高差 2 739 m，平均海拔 5 000 m（中国科学院青藏高原综合科学考察队,1983）。受地势影响，该区域形成了高原亚寒带半干旱季风性气候和高原寒带干旱气候，干燥、多风，年温差小，昼夜温差大；年平均气温-2.2℃；全年没有绝对无霜期，每年10月至次年5月为风霜期和土壤冻结期，6-8月为生长期；年均降水量406.2 mm左右，主要集中在6-9月；年蒸发量为1 811.2 mm，相对湿度只有51%。该区域属于藏北内流水系，河流众多，形成了以湖泊为中心，周围河流数以百计的向心水系。

1.2 样点设置

根据色-普国家公园潜在建设区的山体构造、生态环境和海拔梯度等状况，将色-普国家公园潜在建设区分为6个区域，分别为北部、西部、中北部、中西部、中南部和南部。2015年8月和2016年8月进行了浮游植物样品和水体理化因子调查，设置了22个具有代表性的样点（图1），其中北部设置4个采样点，包括采样点S1、S6、S17和S22；西部设置3个采样点，包括采样点S4、S9和S19；中北部设置3个采样点，包括采样点S7、S8和S10；中西部设置5个采样点，包括采样点S2、S5、S15、S20和S21；中南部设置3个采样点，包括采样点S11、S12和S16；南部设置4个采样点，包括采样点S3、S13、S14和S18。具体的采样点基本信息和环境因子采样和分析过程已在靳淮明等（2020）研究中进行了详细描述，本文不再赘述。

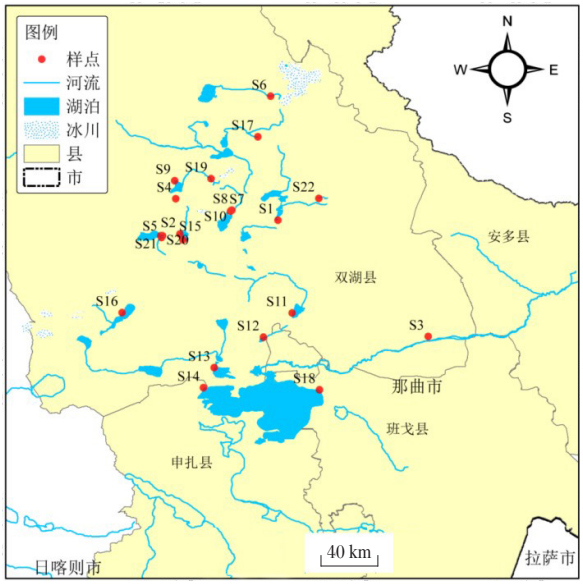

图1 色-普国家公园潜在建设区样点示意

Fig.1 Location of the sampling sites in the potential construction area of Selin Co-Puruogangri Glacier National Park

1.3 浮游植物采集及鉴定

浮游植物的调查参照《淡水浮游生物研究方法》(章宗涉和黄祥飞,1991)。定性样品用25号(孔径64 μm)浮游生物网在水深0.5 m处呈“∞”型拖动8~10 min，将浓缩样品装入标本瓶；定量样品在水深0.5 m处采集1 L混合水样，随后立即用鲁哥氏液固定，样品带回实验室沉淀48 h后浓缩至30 mL，移取0.1 mL浓缩匀液至计数框，在10×40倍显微镜下全片计数，每个样品计数2~3次。浮游植物的鉴定参考文献（迟若文，1990；中国科学院青藏高原综合科学考察队，1992；朱蕙忠和陈嘉佑,2000；胡鸿钧和魏印心,2006）。

1.4 数据处理与分析

为了避免单一多样性指数造成结果偏差，利用Simpson 优势度指数（Simpson，1997）、Shannon-Wiener 多样性指数（Shannon & Weaver，1949）和Pielou 均匀度指数(Pielou，1966)计算色-普国家公园潜在建设区浮游植物的生物多样性。计算公式如下：

$$S = \frac{N(N-1)}{N_i(N_i-1)} \quad ①$$

$$H' = -\sum_{i=1}^{S} P_i \times \ln P_i \quad ②$$

$$J = \frac{H'}{\ln N_S} \quad ③$$

式中：N为同一样点中个体总数；N_i为第i种的个体数；N_s为物种数。

依据Mcnaughton优势度指数（Y）确定优势种（Mcnaughton，1967; Habib et al,1997），计算公式如下:

$$Y = f_i \cdot \frac{n_i}{n} \quad ④$$

式中：f_i为第i种出现的频率；n为同一样点中个体总数，n_i为第i种的个体数;Y>0.02为优势种。

生态位宽度(B_i) 选用Shannon 指数（Shannon & Weaver, 1949），计算公式如下:

$$B_i = -\sum_{j=1}^{r} P_{ij} \times \ln P_{ij} \quad ⑤$$

式中：B_i为物种的生态位宽度；$P_{ij}=N_{ij}/N_i$，表示物种i在第j个样点的个体数占该种所有个体数的比例，i为物种，j为资源，r为采样点数。

生态位重叠（O_{ik}）选用Pinaka指数（Pianka，1973），计算公式如下:

$$O_{ik} = \frac{\sum_{j=1}^{N}\left(P_{ij} \cdot P_{kj}\right)}{\sqrt{\sum_{j=1}^{N} P_{ij}^2 \cdot \sum_{j=1}^{N} P_{kj}^2}} \quad ⑥$$

$$\Delta O_{ik} = \sum_{k=1} O_{ik} - \sum_{i=1} O_{ik} \quad ⑦$$

$$R = \frac{B_i}{\Delta O_{ik}} \quad ⑧$$

式中：O_{ik}为生态位重叠值，P_{ij}和P_{kj}分别表示种i和种k（k为不同于i的另一物种）在第j个站点中的个体占该种所有个体比例，N为样点总数;O_{ik}的取值范围为[0，1]，表示种i与种k的资源利用曲线的重叠指数;R表示生态响应速率，$\sum_{k=1} O_{ik}$指种群i占用其他种群的总资源量，$\sum_{i=1} O_{ik}$指种群k被其他种群侵占的总资源量，当$i=k$时，$\Delta O_{ik}>0$，说明该种处于发展期，$\Delta O_{ik}<0$，该种处于衰退期，$\Delta O_{ik}=0$，该种是中性的。

采用Excel2016软件进行数据分析和统计，采用ArcGIS软件绘制地图。

2　结果与分析

2.1　群落结构及优势种

在色-普国家公园潜在建设区鉴定出浮游植物127种，隶属于3门5纲11目18科35属（表1），其中硅藻门23属106种，占物种总数的83.46%，为该区域最主要的类群；绿藻门7属12种，占9.45%；蓝藻门4属9种，占7.09%。

总体上看，色-普国家公园潜在建设区浮游植物以硅藻、绿藻和蓝藻种类为主,表明该潜在建设区夏季浮游植物种类组成为硅藻-绿藻-蓝藻型。

色-普国家公园潜在建设区不同区域浮游植物多样性如表2所示。从中可以看出，各区域按物种数由大到小依次排序为中西部>中南部>中北部>北部>南部>西部，说明色-普国家公园潜在建设区中西部的浮游植物种类最多；按Simpson指数依次排序为中南部>中西部>南部>中北部>北部>西部，说明中南部的浮游植物群落的优势度最大；按Shannon-Wiener指数依次排序为中西部>中南部>南部>中北部>北部>西部，说明中西部的浮游植物群落所包含的浮游植物信息量大，群落的复杂程度较其他地区高；按Pielou指数依次排序为中南部>中西部>南部>中北部>北部>西部，说明中南部浮游植物群落分布最均匀。

嗜盐舟形藻（*Navicula halophila*）、丝藻属一种（*Ulothrix* sp.）、柔弱双菱藻具脉变种（*Surirella tenera* var. *nervosa*）、泉生菱形藻（*Nitzschia fonticola*）和细小桥弯藻（*Cymbella pusilla*）为优势种（表3）。

2.2　生态位宽度

对色-普国家公园潜在建设区夏季浮游植物群落5个优势种的生态位宽度进行分析（表4），其生态位宽度值变化范围为[0.264，1.152]，5个优势种的生态位宽度值大小顺序为:泉生菱形藻>柔弱双菱藻具脉变种>细小桥弯藻>丝藻属一种>嗜盐舟形藻。其中，泉生菱形藻生态位宽度最大，为1.152；嗜盐舟形藻生态位宽度最小，为0.264。

2.3　生态位重叠值

潜在建设区各站点夏季浮游植物优势种生态位重叠值见表5。生态位重叠值（O_{ik}）分布范围为[0.013, 0.981]，表明物种间对资源利用或生态适应能力的相似程度存在较大差异性，说明不同优势种之间，对环境资源的利用既相互独立，又相互重叠。

重叠度较高（O_{ik}>0.6）的有2对，约占总种对数的20%；重叠度较低（0.3<O_{ik}≤0.6）的1对，约占总对数的10%；重叠度低（0<O_{ik}≤0.3）的7对，约占总对数70%。总体而言，色-普国家公园潜在建设区夏季浮游植物群落优势种的生态位重叠程度不高，种间竞争弱，群落结构较为稳定。

2.4　生态响应速率

色-普国家公园潜在建设区夏季浮游植物群落优势种的相对资源占有量（ΔO_{ik}）和生态响应速率（R）结果如表6。可以看出，细小桥弯藻的相对资源占有量（ΔO_{ik}）的变化幅度（即绝对值）最大，嗜盐舟形藻的相对资源占有量（ΔO_{ik}）的变化幅度最小。细小

表 1 潜在建设区浮游植物组成

Tab.1 Species composition of the summer phytoplankton community in the potential construction area

硅藻门 Bacillariophyta

优美曲壳藻 *Achnanthes delicatula*

海德曲壳藻 *A. heideni*

披针形曲壳藻椭圆变种 *A. lanceolata* var. *elliptica*

线形曲壳藻 *A. linearis*

卵圆双眉藻 *Amphora ovalis*

弧形峨眉藻 *Ceratoneis arcus*

矮小卵形藻 *Cocconeis diminuta*

扁圆卵形藻 *C. placentula*

湖沼圆筛藻西藏变种 *Coscinodiscus lacustris* var. *tibetica*

草鞋形波缘藻 *Cymatopleura solea*

近缘桥弯藻 *Cymbella affinis*

箱形桥弯藻 *C. cistula*

新月形桥弯藻 *C. cymbiformis*

高山桥弯藻 *C. alpina*

优美桥弯藻西藏变种 *C. delicatula* var. *tibetica*

埃伦桥弯藻 *C. ehrenbergii*

胡斯特桥弯藻 *C. hustedtii*

小桥弯藻 *C. laevis*

小桥弯藻西藏变种 *C. laevis* var. *tibeticum*

微细桥弯藻 *C. parva*

极小桥弯藻 *C. perpusilla*

细小桥弯藻 *C. pusilla*

细小桥弯藻双尖变种 *C. pusilla* var. *amphioxys*

桥弯藻属一种 *Cymbella* sp.

膨胀桥弯藻 *C. tumida*

普通桥弯藻 *C. vulgare*

舟形等片藻 *Diatoma naviculiformis*

长等片藻 *D. elongatum*

长等片藻西藏变种小型变型 *D. elongatum* var. *tibetica* f. *mesodon*

普通等片藻 *D. vulgare*

卵圆双壁藻 *D. ovalis*

光亮窗纹藻 *Epithemia argus*

鼠形窗纹藻 *E. sorex*

膨大窗纹藻颗粒变种 *E. turgida* var. *granulata*

斑纹窗纹藻西藏变种 *E. zebra* var. *tibeticum*

短线脆杆藻 *Fragilaria brevistriata*

钝脆杆藻 *F. capucina*

中型脆杆藻 *F. intermidia*

羽纹脆杆藻 *F. pinnata*

脆杆藻属一种 *Fragilaria* sp.

变绿脆杆藻 *F. virescens*

变异异极藻 *Gomphonema varians*

渐狭布纹藻 *Gyrosigma attenuatum*

尖布纹藻 *Gyrosigma acuminatum*

直链藻属一种 *Melosira* sp.

变异直链藻 *M. varians*

杆状舟形藻 *Navicula bacillum*

头状舟形藻 *N. capitata*

卡里舟形藻窄变种 *N. cari* var. *angusta*

华美舟形藻 *N. elegans*

短小舟形藻 *N. exigua*

嗜盐舟形藻 *N. halophila*

长圆舟形藻 *N. oblonga*

圆环舟形藻长披针变型 *N. placenta* f. *lanceolata*

扁圆舟形藻 *N. placentula*

凸出舟形藻 *N. protracta*

瞳孔舟形藻 *N. pupula*

放射舟形藻 *N. radiosa*

喙头舟形藻 *N. rhynchocephala*

简单舟形藻 *N. simples*

变异舟形藻 *N. varians*

微绿舟形藻 *N. viridula*

不定长篦藻 *Neidium dubium*

两栖菱形藻 *Nitzschia amphibia*

细齿菱形藻 *N. denticula*

泉生菱形藻 *N. fonticola*

线形菱形藻 *N. linearis*

小头菱形藻 *N. microcephala*

谷皮菱形藻 *N. palea*

池生菱形藻 *N. stagnorum*

叉开羽纹藻 *Pinnularia divergens*

歧纹羽纹藻中狭变种 *P. divergentissima* var. *mesolepia*

同族羽纹藻 *P. gentilis*

弯羽纹藻 *P. gibba*

弯羽纹藻线性变种 *P. gibba* var. *linearis*

披针羽纹藻西藏变种 *P. lanceolata* var. *tibeticum*

大羽纹藻 *P. major*

细条羽纹藻小变型 *P. microstauron* f. *diminuta*

磨石形羽纹藻 *P. molaris*

羽纹藻属一种 *Pinnularia* sp.

微绿羽纹藻 *P. viridis*

弯形弯楔藻 *Rhoicosphenia curvata*

变异辐节藻 *Stauroneis varians*

双头辐节藻 *S. anceps*

双头辐节藻线型变种 *S. anceps* f. *linearis*

紫心辐节藻 *S. phoenicenteron*

短小辐节藻 *S. pygmaea*

粗壮双菱藻纤细变种 *Surirella robusta* var. *splendida*

柔弱双菱藻 *S. tenera*

柔弱双菱藻具脉变种 *S. tenera* var. *nervosa*

二列双菱藻 *S. biseriata*

美丽双菱藻 *S. elegans*

尖针杆藻 *Synedra acus*

近缘针杆藻 *S. affinis*

双头针杆藻 *S. amphicephala*

双头针杆藻窄变种 *S. amphicephala* var. *angustatum*

双头针杆藻西藏变种 *S. amphicephala* var. *tibetica*

偏突针杆藻小头变种 *S. intermidia* var. *capitellaia*

月形针杆藻 *S. lunaris*

肘状针杆藻 *S. ulna*

肘状针杆藻缢缩变种 *S. ulna* var. *constracta*

肘状针杆藻辣氏变种 *S. ulna* var. *ramesi*

偏突针杆藻 *S. vaucheriae*

扭曲平板藻 *Tabellaria comta*

长平板藻 *T. elongatum*

窗格平板藻 *T. fenestrata*

绿藻门 Chlorophyta

针形纤维藻 *Ankistrodesmus acicularis*

镰形纤维藻 *A. falcatus*

戴氏新月藻 *Closterium dianae*

念珠新月藻 *C. moniliferum*

四足十字藻 *Crucigenia tetrapedia*

棒形鼓藻 *Gonatozygon monotaenium*

指状梭形鼓藻 *Netrium digitus*

波吉卵囊藻 *Oocystis borgei*

单生卵囊藻 *O. solitaria*

交错丝藻 *Ulothrix implexa*

丝藻属一种 *Ulothrix* sp.

细丝藻 *U. tenerrima*

蓝藻门 Cyanophyta

小型色球藻 *Chroococcus minor*

优美平裂藻 *Merismopedia elegans*

银灰平裂藻 *M. glauca*

大平裂藻 *M. major*

纹饰颤藻 *Oscilatoria ornata*

拟短形颤藻 *O. subbrevis*

毛状颤藻 *O. scillatoria trichoides*

大螺旋藻 *Spirulina major*

为首螺旋藻 *S. princeps*

桥弯藻有最大的负ΔO_{ik},表明该种衰退空间最大,嗜盐舟形藻同属于衰退型,生长空间同呈缩小趋势;柔弱双菱藻具脉变种、泉生菱形藻和丝藻属一种处于发展型,其中柔弱双菱藻具脉变种有最大的正ΔO_{ik},表明该种发展空间最大,与其他优势种在资源利用上竞争激烈,且占据竞争优势;泉生菱形藻的发展空间略小;丝藻属一种发展空间最小。

表 2　潜在建设区物种多样性指数

Tab.2　Phytoplankton community diversity indices during the summer season in the potential construction area

区域	物种数/种	Simpson 指数	Shannon-Wiener 指数	Pielou 均匀度指数
北部(N)	38	0.928	3.047	0.838
西部(W)	34	0.624	1.868	0.530
中北部(MN)	41	0.931	3.115	0.839
中西部(MW)	61	0.972	3.908	0.951
中南部(MS)	42	0.973	3.680	0.985
南部(S)	37	0.938	3.334	0.923

基于生态响应速率(R)可进一步确定色-普国家公园潜在建设区夏季浮游植物群落优势种对生境条件的生态响应状况。丝藻属一种发展趋势最强(R=1.283),泉生菱形藻的发展趋势较强(R=0.777),柔弱双菱藻具脉变种发展趋势较弱(R=0.551)。嗜盐舟形藻的衰退趋势最强(R=-0.916),细小桥弯藻的衰退趋势较弱(R=-0.270)。从总体上看,色-普国家公园潜在建设区夏季浮游植物群落优势种生态响应速率之和为正数,表明该群落处于发展阶段,尚未演替至顶级阶段,随着浮游植物群落的长期发展,现有的部分物种将逐渐被其他物种取代,群落结构将发生较大变化。

表 3　潜在建设区夏季浮游植物优势种及其分布

Tab.3　Phytoplankton dominant species and their spatial distribution during the summer season in the potential construction area

物种	分布区域						优势度
	北部(N)	西部(W)	中北部(MN)	中西部(MW)	中南部(MS)	南部(S)	
嗜盐舟形藻 *Navicula halophila*	+	+	+	-	+	+	0.183
丝藻属一种 *Ulothrix* sp.	+	+	+	+	-	+	0.035
柔弱双菱藻具脉变种 *Surirella tenera* var. *nervosa*	+	+	+	+	+	-	0.031
泉生菱形藻 *Nitzschia fonticola*	-	+	+	+	+	+	0.028
细小桥弯藻 *Cymbella pusilla*	+	-	+	+	+	+	0.020

表 4　潜在建设区夏季浮游植物优势种生态位宽度(B_i)

Tab.4　Niche breadth(B_i) of dominant phytoplankton species during the summer season in the potential construction area

编号	物种	B_i
S01	嗜盐舟形藻 *Navicula halophila*	0.264
S02	丝藻属一种 *Ulothrix* sp.	1.093
S03	柔弱双菱藻具脉变种 *Surirella tenera* var. *nervosa*	1.150
S04	泉生菱形藻 *Nitzschia fonticola*	1.152
S05	细小桥弯藻 *Cymbella pusilla*	1.118

表 5　潜在建设区夏季浮游植物优势种生态位重叠值(O_{ik})

Tab.5　Niche overlap (O_{ik})of dominant phytoplankton species during the summer season in the potential construction area

编号	调查站点				
	S1	S2	S3	S4	S5
S01	1				
S02	0.806	1			
S03	0.280	0.363	1		
S04	0.212	0.237	0.981	1	
S05	0.013	0.133	0.162	0.234	1

表 6　潜在建设区夏季浮游植物优势种相对资源占有量(ΔO_{ik})及生态响应速率(R)

Tab.6　Relative resource occupation quantity (ΔO_{ik}) and ecological response rate (R) of dominant phytoplankton species during the summer season in the potential construction area

编号	ΔO_{ik}	R
S01	-0.288	-0.916
S02	0.852	1.283
S03	2.089	0.551
S04	1.482	0.777
S05	-4.135	-0.270

3　讨论

3.1　群落结构及优势种

浮游植物群落结构特征结果显示,色-普国家公园潜在建设区22个样点中共鉴定出浮游植物127种,隶属于3门5纲11目18科35属,以硅藻门、蓝藻门和绿藻门为主,物种组成表现为硅藻-绿藻-蓝藻型,与历年来对西藏高寒湖泊(陈立婧等,2013)和河流(巴桑等,2017)的浮游植物调查结果基本一致,表明色-普国家公园潜在建设区浮游植物种群组成具有高寒水体的普遍特征,主要因为大多数硅藻属于冷水性物种,适合在低温、高盐、高碱的极端环境中生存,而色-普

国家公园潜在建设区水温较低(夏季水温16.97℃),水体偏碱性(pH=9.21),适合硅藻生存,这与陈立婧等(2013)的研究结果一致。

浮游植物群落结构是否稳定可用多样性指数来衡量,通常来说,多样性指数越高,群落结构越稳定,水质状况或者水体营养状态越好(邢冰伟等,2020)。本研究中,浮游植物Simpson优势度指数(D=0.894)、Shannon-Wiener多样性指数(H'=3.159)和Pielou均匀度指数(J=0.844)均较高,表明色-普国家公园潜在建设区浮游植物生物多样性较丰富,群落结构较稳定,可能与色-普国家公园潜在建设区所处的生境状况有关。该区域地处青藏高原腹地,以牧业为主,受人类活动干扰较小。但也应该看到,调查区西部Simpson优势度指数(D=0.624)、Shannon-Wiener多样性指数(H'=1.868)和Pielou均匀度指数(J=0.530)相对较低,表明西部调查区浮游植物的群落结构趋于单一化,生态系统抗干扰能力极为脆弱,可能与该地区的极端环境特征有关。该地区为典型的以湖泊为中心的独立向心状藏北内流水系,径流贫乏,降水量较少,太阳辐射强烈,多大风,蒸发旺盛,内源有机质在湖内逐渐累积,导致盐度相对较高,营养成分较低。

优势种是生物多样性中一个必要的和关键的组成部分,是研究从个体到生态系统生态过程的关键。本研究中,色-普国家公园潜在建设区夏季浮游植物群落共有5种优势种,隶属2门5属,硅藻门占80%,其次是绿藻门占20%。其中硅藻门的嗜盐舟形藻的优势度为0.183,远高于其他浮游植物的优势度,是色-普国家公园潜在建设区优势度较高的主要优势种,这可能是因为嗜盐舟形藻属于中盐性藻类(胡鸿钧和魏印心,2006),在色-普国家公园潜在建设区部分区域数量较多。而细小桥弯藻优势度较低,这可能是因为细小桥弯藻一般生活在贫、中营养水体中(胡鸿钧和魏印心,2006),在色-普国家公园潜在建设区数量较少,分布均匀。因此,优势种丰度和优势度在不同区域均有差异。

3.2 物种对生境资源的利用

生态位宽度反映了物种资源利用、分布状况和均匀程度,可衡量物种对其生境的利用程度(高原等,2019;安瑞志等,2021b)。本研究中,泉生菱形藻生态位宽度值最大,在群落中处于优势地位,表明泉生菱形藻对群落资源利用能力最强,表现出较强的生态适应性,这主要是因为泉生菱形藻是一类世界性分布藻类(胡鸿钧和魏印心,2006),即使数量相对较少,但由于其空间分布较为均匀,获得相对广泛的生态位,能更大幅度地转换不同资源需求从而在局部维持生存;而嗜盐舟形藻生态位宽度最小,表明嗜盐舟形藻对资源的利用能力较弱,竞争力不强,对水环境条件变化比较敏感,表现出较弱的生态适应性,这主要是因为嗜盐舟形藻虽然优势度最高,但空间分布不均匀,部分样点数量较多,适合其生长的分布范围不广,生态位相对较窄。因此,生态位宽度较高的优势种在色-普国家公园潜在建设区浮游植物群落中空间分布均匀,且数量较多;而生态位较窄的优势种空间分布不均匀,仅在部分样点数量较多,这与李兴等(2017)和吴佳梦等(2019)的研究基本一致。

生态位重叠值反映了物种间对资源利用或环境适应能力的相似性测度(马一明等,2021)。色-普国家公园潜在建设区夏季浮游植物群落仅有30%的种对为有意义的重叠(O_{ik}>0.3),生态位重叠值较低,表明种间竞争不激烈,物种组成和优势种等群落结构在短期内可能不会有明显变动,处于相对稳定状态,这与徐春燕等(2012)和杨文焕等(2020)的研究结果较一致。优势种嗜盐舟形藻和细小桥弯藻生态位重叠值最小,仅为0.013,表明在色-普国家公园潜在建设区嗜盐舟形藻和细小桥弯藻生态位共同利用资源较少,对环境适应能力的差异较大,因而2个物种之间竞争较弱。生态位重叠值最大的种对是柔弱双菱藻具脉变种和泉生菱形藻,表明二者对资源的利用趋于一致,存在种间竞争或共存关系。在资源充足时,两者是共存的关系,在资源不足时,两者竞争激烈,这主要是因为二者均属于管壳缝目,适合在pH呈中性或碱性及导电率呈中或中-高的水体中生存。其样点分布、出现频率、生态位宽度等相似,表明生态位重叠值与物种分布样点重合的情况相关,这与夏霆等(2014)和安瑞志等(2020)的研究结果相符。

从浮游植物优势种相对资源占有量(ΔO_{ik})来看,较大生态位宽度的浮游植物优势种,往往具有较广的资源利用谱,且大多数呈较大的发展空间,如丝藻属一种,这主要是因为丝藻属喜低温(胡鸿钧和魏印心,2006),在色-普国家公园潜在建设区极端环境条件下表现出较强的生态适应性;而具有较小生态位宽度的浮游植物优势种,对水环境的适应性较差,大多数属于衰退型种群,如嗜盐舟形藻。从浮游植物优势种的生态响应速率来看,丝藻属一种发展趋势最强,明显超过其他浮游植物种群,可以预见,在未来演替过程中,丝藻属一种为了获得更多的资源,可能会通过增大生态位宽度来加强自身的生态适应性,逐渐代替其

他衰退型的浮游植物，成为绝对优势种群。生态位较窄的浮游植物，如嗜盐舟形藻和细小桥弯藻等优势种在相应环境内将会逐渐消亡。因此，色-普国家公园潜在建设区夏季浮游植物优势种呈发展或衰退趋势是不同浮游植物优势种间竞争的必然结果。

参考文献

安瑞志,潘成梅,刘洋,等,2020.巴松措(湖)夏季浮游植物优势种群分布格局与共存机制研究[J].高原科学研究,4(2):27-36.

安瑞志,潘成梅,塔巴拉珍,等,2021a.西藏巴松错浮游植物功能群垂直分布特征及其与环境因子的关系[J].湖泊科学,33(1):86-101.

安瑞志,张鹏,达珍,等,2021b.西藏麦地卡湿地不同水文期原生动物优势种生态位及其种间联结性[J].林业科学,57(2):126-138.

巴桑,杨欣兰,黄香,等,2017.拉萨河下游春、夏季浮游植物群落特征与水质评价[J].高原科学研究,1(1):25-38.

陈槐,鞠佩君,张江,等,2020.青藏高原高寒草地生态系统变化的归因分析[J].科学通报,65(22):2406-2418.

陈立婧,杨菲,吴淑贤,等,2013.西藏那曲地区盐湖浮游植物群落结构的特征[J].上海海洋大学学报,22(4):577-585.

迟若文,1990.西藏硅藻图集[M].拉萨:西藏人民出版社.

高原,王超,刘乾甫,等,2019.珠三角河网不同水文期浮游动物优势种及生态位[J].水生态学杂志,40(6):37-44.

郭坤,杨德国,彭婷,等,2016.湖北省长湖浮游植物优势种生态位分析[J].湖泊科学,28(4):825-834.

胡鸿钧,魏印心,2006.中国淡水藻类——系统、分类及生态[M].北京:科学出版社.

靳淮明,次仁,次仁欧珠,等,2020.西藏双湖地区极端环境下原生动物多样性调查[J].区域治理,(7):132-140.

李兴,李建茹,李畅游,2017.内蒙古乌梁素海浮游植物优势种的生态位分析[J].水生态学杂志,38(6):40-47.

刘军,2006.色林错裸鲤生活史类型的模糊聚类分析[J].水利渔业,26(2):17-18.

刘晓娜,刘春兰,张丛林,等,2020.色林错-普若岗日国家公园潜在建设区生态环境脆弱性格局评估[J].生态学杂志,39(3):944-955.

马一明,李秋华,潘少朴,等,2021.贵州高原花溪水库浮游植物优势种生态位及种间联结性动态分析[J].湖泊科学,33(3):785-796.

吴佳梦,徐娜娜,张文珺,等,2019.浙江舟山定海护城河浮游植物优势种生态位与种间联结性季节性分析[J].湖泊科学,31(2):429-439.

夏霆,陈静,曹方意,等,2014.镇江通江城市河道浮游植物优势种群生态位分析[J].长江流域资源与环境,23(3):344-350.

邢冰伟,徐季雄,曹玥,等,2020.九寨沟国家级自然保护区长海夏季浮游植物群落结构及生态评价[J].湖泊科学,32(4):1088-1099.

徐春燕,俞秋佳,徐凤洁,等,2012.淀山湖浮游植物优势种生态位[J].应用生态学报,23(9):2550-2558.

徐肖莹,张玮,王宝强,等,2016.西藏色林错短纹藻属硅藻初报[J].上海海洋大学学报,25(6):831-838.

杨文焕,申涵,周明利,等,2020.包头南海湖浮游植物优势种生态位及种间联结性季节分析[J].中国环境科学,40(1):383-391.

张春梅,米武娟,许元钊,等,2021.南水北调中线总干渠浮游植物群落特征及水环境评价[J].水生态学杂志,42(3):47-54.

张丛林,陈伟毅,黄宝荣,等,2020.国家公园旅游可持续性管理评估指标体系——以西藏色林错-普若岗日冰川国家公园潜在建设区为例[J].生态学报,40(20):7299-7311.

张玮,赵凤斌,徐后涛,等,2017.松雅湖成湖初期夏季浮游植物群落及其与环境因子的关系[J].生物学杂志,34(3):47-52.

章宗涉,黄祥飞,1991.淡水浮游生物研究方法[M].北京:科学出版社.

中国科学院青藏高原综合科学考察队,1983.西藏地貌[M].北京:科学出版社.

中国科学院青藏高原综合科学考察队,1992.西藏藻类[M].北京:科学出版社.

朱蕙忠,陈嘉佑,2000.中国西藏硅藻[M].北京:科学出版社.

Habib O A , Tippett R , Murphy K J,1997. Seasonal changes in phytoplankton community structure in relation to physico-chemical factors in Loch Lomond, Scotland[J]. Hydrobiologia, 350(1/3):63-79.

Li Z X,Gao Y,Wang S Y , et al，2021. Phytoplankton community response to nutrients along lake salinity and altitude gradients on the Qinghai-Tibet Plateau[J]. Ecological Indicators, 128：107848.

Mcnaughton S J,1967. Relationships among functional properties of Californian grasslandd[J]. Nature，216(5111) : 168-169.

Pianka E R,1973. The Structure of Lizard Communities[J]. Annual Review of Ecology & Systematics,4(1):53-74.

Pielou E C, 1966. The measurements of diversity in different types of biological collections[J]. Journal of Theoretical Biology,13:131-144.

Shannon C E, Weaver W, 1949. The mathematical theory of communication[M]. Urbana:University of Illinois Press.

Simpson E H，1997. Measurement of Diversity [J]. Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia,11(6):812-812.

Xiang H , Sillanpaeae M , Gjessing E T, et al，2009. Water quality in the Tibetan Plateau: major ions and trace elements in the headwaters of four major Asian rivers[J]. Science of the Total Environment, 407(24):6242-6254.

(责任编辑　郑金秀)

Ecological Characteristics of Summer Phytoplankton Community in a Potential Construction Area of Selin Co-Puruogangri Glacier National Park of Tibet

LIU Yang, AN Rui-zhi, BA Sang

(Laboratory of Wetland and Catchments Ecology in Tibetan Plateau, Faculty of Natural Sciences, Tibet University, Lhasa 850000, P.R. China)

Abstract: In this study, we explored phytoplankton community structure and niche characteristics of dominant species during the summer season in a potential construction area of Selin Co-Puruogangri Glacier National Park in Tibet, China. The aim was to accumulate baseline data on phytoplankton community diversity in the park and provide scientific evidence for optimal management of alpine ecosystems. In August 2015 and 2016, a phytoplankton community investigation was conducted at 22 sampling sites, representing the north, west, south and central areas of the potential construction site. Niche measurements for dominant species included niche width, niche overlap and ecological response rate. Results included: (1) A total of 127 phytoplankton species were identified during the investigation, representing 35 genera, 18 families, 11 orders, 5 classes and 3 phyla, with absolute dominance by bacillariophyta (83.46%), chlorophyta (9.45%) and cyanophyta (7.09%). Phytoplankton community composition was typed as bacillariophyta-chlorophyta-cyanophyta, and the dominant species were *Navicula halophila*, *Ulothrix* sp., *Surirella tenera* var. *Nervosa*, *Nitzschia fonticola* and *cymbella pusilla*; (2) The niche width range of dominant species was 0.264-1.152, with the largest niche width held by *Nitzschia fonticola* (1.152), and the smallest by *Navicula halophila* (0.264); (3) The range of niche overlap values (O_{ik}) of dominant phytoplankton species was 0.013-0.981. There were large differences in resource utilization and ecological adaptability among species. The niche overlap degree among dominant species was low, indicating that interspecific competition was weak, and the community structure was relatively stable; (4) The development and decline of phytoplankton dominant species was the inevitable result of competition among different phytoplankton species. Changes in the range of relative resource occupation (ΔO_{ik}) of *p. minutiae* was largest (4.135) and smallest for *Navicula halophila* (0.288). The strongest positive trend was for *Ulothrix* sp. (R=1.283), and the strongest negative trend was for *N. halophila* (R=-0.916).

Key words: phytoplankton; community structure; niche; Selin Co; Puruogangri Glacier