



新疆北部地区湿地鼓藻类植物多样性 及其与环境因子的关系

王狄宁^{1,2}, 艾克拜尔·依米提^{1,2}, 吕海英^{1,2*}

(1 新疆师范大学 生命科学院 新疆特殊环境物种保护与调控生物学实验室, 乌鲁木齐 830054; 2 新疆师范大学 干旱区植物逆境生物学实验室, 乌鲁木齐 830054)

摘 要: 为了探究新疆北部主要地区(乌鲁木齐、阿勒泰、伊犁)湿地鼓藻类植物多样性分布规律及其特征, 该研究通过文献查阅和标本采集鉴定等方式收集数据, 采用 *G-F* 指数方法进行物种多样性分析, 利用 Person 相关分析和冗余分析(RDA)分析其与环境因子的关系, 为新疆湿地鼓藻类植物资源的调查和淡水藻类多样性研究提供基本资料。结果表明: (1) 研究区域共有鼓藻类植物 189 种, 隶属于 1 门 1 纲 2 目 6 科 18 属; 其中鼓藻科(Desmidiaceae)为优势科, 有 154 种, 占总种数的 81.48%; 优势属为鼓藻属(*Cosmarium* Corda ex Ralfs)、角星鼓藻属(*Staurostrum* Ralfs)和新月藻属(*Closterium* Nitzsch), 共有 137 种, 占总种数的 72.49%。(2) 阿勒泰地区鼓藻类植物的 D_F 、 D_G 、 D_{FG} 值均最高, 分别为 2.6213、2.0828、0.5095。(3) 研究区域鼓藻类植物的种类数量分布为: 阿勒泰地区 > 乌鲁木齐及周边地区 > 伊犁地区, 纬向因素的变化趋势较经向更明显。(4) Person 相关分析显示, 影响阿勒泰地区鼓藻类植物物种多样性的主要因子是大气温度, 影响乌鲁木齐及周边地区是大气温度、电导率和经度, 伊犁地区则与环境指标未显出相关性。(5) RDA 分析表明, pH 和大气温度是影响鼓藻类植物物种多样性和组成的主要因素。研究认为, 新疆北部主要地区湿地鼓藻类植物存在较明显的地理分布差异, 物种数呈现北多南少, 东多西少的分布规律, 其物种多样性和组成分布与环境因子存在一定的相关性, 但不同地区、不同属类的鼓藻类植物与环境因子的相关性存在差异。

关键词: 新疆北部地区; 湿地; 鼓藻类植物; *G-F* 指数; 环境因子

中图分类号: Q948.11; Q949.21 **文献标志码:** A

Diversity of Desmids and Its Relationship with Environmental Factors in Wetlands of Northern Xinjiang

WANG Dining^{1,2}, AKBAR Yimit^{1,2}, LÜ Haiying^{1,2*}

(1 Xinjiang Key Laboratory of Special Species Conservation and Regulatory Biology, College of Life Science, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, China; 2 Key Laboratory of Plant Stress Biology in Arid Land, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, China)

Abstract: In order to explore the distribution and characteristics of Desmids diversity in the wetlands of major areas in northern Xinjiang (Urumqi, Altay and Ili), this study collected data through literature review, specimen collection and identification, and analyzed species diversity using *G-F* index method. We used Person correlation analysis and redundancy analysis (RDA) to analyze its relationship with environmental factors, to provide basic information for the investigation of Desmids resources and the study of freshwater alga diversity in Xinjiang wetland. The results showed that: (1) there were 189 species of Des-

收稿日期: 2022-04-21; 修改稿收到日期: 2022-10-17

基金项目: 国家自然科学基金(32160090, 31560058)

作者简介: 王狄宁(1998—), 男, 硕士研究生, 研究方向: 资源植物。E-mail: 1229076572@qq.com

* 通信作者: 吕海英, 教授, 硕士研究生导师, 研究方向: 植物生态及资源利用。E-mail: lvhyxj@163.com

mids in the study area, belonging to 1 phylum, 1 class, 2 orders, 6 families and 18 genera; Desmidiaceae was the dominant family, with 154 species, accounting for 81.48% of the total species. The dominant genera were *Cosmarium* Corda ex Ralfs, *Staurostrum* Ralfs and *Closterium* Nitzsch, with 137 species, accounting for 72.49% of the total species. (2) The values of D_F , D_G and D_{F-G} were the highest in Altay, which was 2.6213, 2.0828 and 0.5095, respectively. (3) The distribution of species and quantity of Desmids in the study area was as follows: Altay region > Urumqi and its surrounding areas > Ili Region, and the variation trend of zonal factors was more obvious than that of meridional factors. (4) The Person correlation analysis showed that the main factors affecting the diversity of Desmids species in Altay region were atmospheric temperature, and those affecting in Urumqi and its surrounding areas were atmospheric temperature, electrical conductivity and longitude. However, there was no correlation with environmental indicators in Ili region. (5) Redundancy analysis showed that pH and atmospheric temperature were the main factors affecting species diversity and composition of Desmids. Research suggests that major regions of the northern Xinjiang wetland Desmids is obvious geographical distribution differences, species present more in the north than in the south, and more in the east than in the west, species diversity and composition distribution and environmental factors have certain correlation, but in different areas, different genus of Desmids differences between the correlation of Desmids and environmental factors.

Key words: Northern Xinjiang; wetland; desmids; G-F index; environmental factors

鼓藻类植物(desmids)是绿藻门双星藻纲中种群数量较大的一类群,其个体形态独特,种类复杂繁多且生态幅度很宽,而且其群落分布受环境因子影响很大^[1]。鼓藻类植物对水生生态系统和生物环境中具有重要监测作用,是水环境的重要指示植物^[2]。鼓藻类植物对水化学很敏感,不同鼓藻类植物生活的水域环境其营养类型和水化学组成不相似,利用鼓藻类植物对水质进行监测与评价,越来越引起人们的重视^[3]。

新疆北部地区湿地资源比较丰富,拥有多种湿地类型,湿地的垂直分布涵盖-155 m至山地4 800 m,形成了区别于沿海与中部地区,独特的复杂多样的内陆干旱区湿地生态系统^[4]。鼓藻类植物的不少种类呈现出明显的局限分布和地理分布隔离^[5],有的鼓藻类植物则是某一个地区的地方性种类,在其生物区系分布上具有独特的特征。目前,新疆北部地区鼓藻类植物研究主要集中在物种的新纪录^[6-19]以及分类学^[20-21]上,关于鼓藻类植物的生态分布及其多样性的研究鲜有报道。因此,研究该地区鼓藻类植物的分布规律及特征有着重要的意义。

近年来,植物分类排序被广泛应用到生态学研究领域,成为生态学研究物种分布及多样性与环境因子关系的重要方法之一,运用该方法不仅可以把植物物种的分布格局与环境资料进行客观定量地分析,而且可以给出群落物种分布及其环境指标的具体关系,具有重要的生态学研究意义^[22]。鉴于此,为了更加明确新疆北部主要地区鼓藻类植物的分布规律及特征,本研究以文献查阅和标本采集鉴定为

依托,基于G-F指数方法、Person相关分析和冗余分析(RDA)3种分析方法,研究该区域鼓藻类植物物种组成分布及其多样性受环境因子的影响,进一步揭示新疆北部地区鼓藻类植物与环境之间的生态关系,为新疆鼓藻类植物的深入研究奠定基础。

1 研究区概况

新疆北部地区即北疆,天山以北的地区,主要包括乌鲁木齐、阿勒泰、伊犁等地区(图1)。阿勒泰地区地处新疆的最北部,阿尔泰山中段西南麓、准噶尔盆地北部,87°30′~91°00′ E,46°30′~48°10′ N,纬度较高,为北温带大陆性气候,昼夜温差大,光照充足,全年多季风,年均气温为4.5℃;年均降水量为200 mm左右^[23]。乌鲁木齐及周边地区位于新疆中部,地处天山北麓,准噶尔盆地南部,86°37′~88°58′ E,

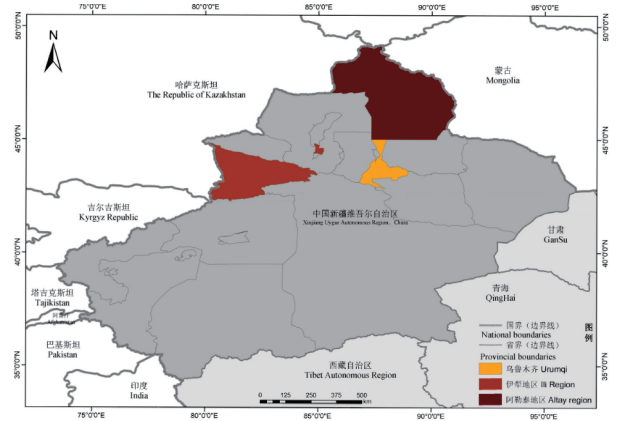


图1 研究区域在新疆维吾尔自治区位置图
Fig.1 Location of the study area in Xinjiang

42°45′~45°0′N,属中温带大陆性干旱气候,年平均气温 8.5℃,年降水量 35 mm^[7]。伊犁地区地处新疆西部天山北部的伊犁河谷内,80°09′~84°56′E,42°14′~44°53′N,气候温和湿润,属于温带大陆性气候,年平均气温 7.4~9.1℃,年降水量 417.6 mm^[24]。

2 材料和方法

2.1 数据来源

本研究所分析的数据除从研究区域收集的环境因子指标和藻类样本外,还包含来源于《中国淡水藻志》、国内期刊论文数据。文献以“新疆”和“藻类”2 个关键词对知网、万方及维普 3 个数据库进行检索^[25]。所收录文献从 1995 年至 2021 年,筛选出含新疆和藻类 2 个关键词的文献^[2-4,6-19]。

2.2 研究材料的采集与研究方法

实验室于 2010 年至 2021 年,每年的 6—8 月在阿尔泰山两河源国家级自然保护区、喀纳斯国家级自然保护区等阿勒泰地区主要沼泽湿地、青格达湖湿地自然保护区及乌鲁木齐周围水体、新疆伊犁河中上流域主要湿地等地区采集藻类标本。用浮游生物网(25 号)采集水样,装入 100 mL 采样瓶,采集的标本用 4%(体积分数)甲醛固定^[26],置于标本瓶中保存。同时记录采样点的海拔(altitude)、纬度(latitude)、经度(longitude)、水温(WT)、大气温度(AT)、电导率(COND)和 pH 值等。藻类标本带回实验室后用光学显微镜观察和拍照(日本尼康相差数码生物显微镜,型号:C_i-L),依据形态特征为主的经典分类学方法对鼓藻类植物种类进行鉴定^[27-29]。

2.3 藻类植物多样性的确定

采用由蒋志刚与纪力强提出的 $G-F$ 指数方法^[30],在科、属水平上测定一个地区某类生物类群的多样性,不同于传统生态学上基于 Shannon-Wiener 多样性指数侧重于研究生物群落中物种组成及中间个体的方法,快捷有效,只需要当地动、植物名录就可以计算,且不同地区可进行比较。采用 $G-F$ 指数方法对研究区藻类的物种多样性进行分析,分别计算属的多样性指数 D_G 值、科的多样性指数 D_F 值、标准化 D_{G-F} 值。

1)某地区的 F 指数(D_F)。

$$D_F = \sum_{k=1}^m D_{FK}, D_{FK} = -\sum_{i=1}^n \rho_i \ln \rho_i$$

式中, $\rho_i = \frac{S_{ki}}{S_k}$, S_k 为藻类名录中 k 科的物种数, S_{ki} 为名录中 k 科 i 属中的物种数, n 为 k 科中

的属数, m 为名录中藻类植物的科数。

2)某地区的 G 指数(D_G)。

$$D_G = -\sum_{j=1}^{\rho} q_j \ln q_j$$

式中, $q_j = \frac{S_j}{S}$, S 为名录中藻类植物的物种数, S_j 为名录中藻类植物中 j 属中的物种数, ρ 为名录中藻类植物中的属数。

3) $G-F$ 指数

$$D_{G-F} = 1 - D_G/D_F$$

如果藻类植物中所有的科都是单种科,即 $D_F = 0$ 时,则 $D_{G-F} = 0$,或者仅有几个分布在不同科的物种,则定义该地区 $G-F$ 指数为零。

利用 Origin Pro 2021b 软件进行数据统计分析并绘图,选出最优拟合模型对鼓藻类植物种类数和经纬度的关系进行线性与非线性拟合;采用 Pearson 相关性分析,研究物种多样性与环境因子之间的关系;利用 Canoco 5.0 对浮游植物数据进行降趋势对应分析(DCA)。分析前,先对环境因子进行对数化处理(除 pH),使数据正态分布,进而对物种组成与环境因子进行冗余分析(RDA),判别影响鼓藻类植物地区组成和分布的主要环境因子。

3 结果与分析

3.1 研究区域鼓藻类植物的组成

从表 1 可知,研究区域鼓藻类植物共有 189 种,隶属于 1 门 1 纲 2 目 6 科 18 属。其中鼓藻科(Desmidiaceae)种类最多,12 属 154 种,占总种数的 81.48%;其次是新月藻科(Closteriaceae)1 属 23 种,占总种数的 12.17%;柱形鼓藻科(Peniaceae)1 属 6 种,占总种数的 3.17%;棒形鼓藻科(Gonatozygaceae)1 属 3 种,占总种数的 1.60%;中带鼓藻科(Mesosotaeniaceae)2 属 2 种,占总种数的 1.06%;双星藻科(Zygnemataceae)仅有 1 种,占总种数的 0.53%。

3.1.1 科的组成 参照文献[31-32]的方法,将所含属 ≥ 4 属,且所含藻类种类数 ≥ 16 的科定为优势科,将含藻类植物种数 ≥ 16 种的属定为优势属。

研究区域只有一个优势科,为鼓藻科,共有 12 个属 154 个种,分别占总属数的 66.67%和总种数的 81.48%,同时,研究区域内单种科、寡种科较多,共 4 科,占研究区域鼓藻类植物总科数的三分之二,表明研究区内鼓藻类植物较集中,优势科现象较明显。

3.1.2 属的组成 研究区域共有 3 个优势属,分别是鼓藻属(*Cosmarium* Corda ex Ralfs)、角星鼓藻属

表 1 研究区域鼓藻类植物的组成

Table 1 The composition of Desmids in the study area

门类别 Phylum	纲 Class	目 Order	科 Family	属 Genus	种 Species	占总数比例 Proportion/%
绿藻门 Chlorophyta	双星藻纲 Zygnematophyceae	鼓藻目 Desmiales	新月藻科 Closteriaceae	1	23	12.17
			鼓藻科 Desmidiaceae	12	154	81.48
			棒形鼓藻科 Gonatozygaceae	1	3	1.60
			柱形鼓藻科 Peniaceae	1	6	3.17
		双星藻目 Zygnematates	双星藻科 Zygnemataceae	1	1	0.53
			中带鼓藻科 Mesotaeniaceae	2	2	1.06
总计 Total		2	6	18	189	100

(*Staurostrum* Ralfs)、新月藻属(*Closterium* Nitzsch), 占总属数的 16.67%, 共有鼓藻类植物 137 种, 占总种数的 72.49%(表 2)。其中鼓藻科的鼓藻属和新月藻属 2 属共 116 种, 占总数的 61.38%。研究区域内单种属、寡种属[裂顶鼓藻属 *Tetmemorus* Ralfs、瘤接鼓藻属 *Sphaerososma* Ralfs、梭形鼓藻属 *Netrium* (Nägeli) Itzigson & Rothe、圆丝鼓藻属 *Hyalotheca* Ralfs、柱胞鼓藻属 *Cylindrocystis* Meneghini、转板藻属 *Mougeotia* Agardh]比较丰富, 占研究区域内鼓藻类植物总属数的 66.70%, 但是所含种类数量仅占总种数的 3.17%。这在一定程度上反映出研究区域鼓藻类植物集中在少数属中, 优势属现象较明显。

3.2 研究区域鼓藻类植物的空间分布

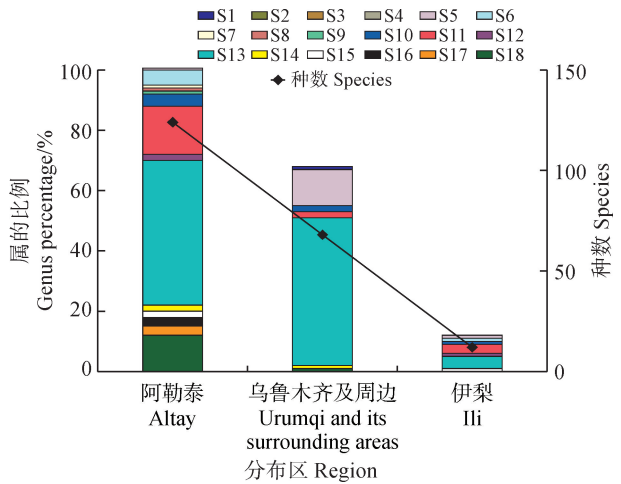
研究区域内的鼓藻类植物种数及其组成在地区分布上有很大的差异(图 2)。阿勒泰地区鼓藻类植物属数和种数明显多于其他两个地区, 并且从阿勒泰地区到乌鲁木齐周边再到伊犁地区鼓藻类物种数逐渐减少。阿勒泰地区共 17 属 124 种, 以鼓藻属占绝对优势, 占该地区鼓藻类植物总数的 38.71%, 其次是角星鼓藻属和新月藻属, 各占 12.90%。乌鲁木齐及周边地区共 8 属 69 种, 同样以鼓藻属占绝对优势, 其次是新月藻属, 占 17.39%。伊犁地区共 7 属 12 种, 也是鼓藻属最多, 占三分之一; 其次是新月藻属, 仅占四分之一。各地区中, 鼓藻属占比最高的是乌鲁木齐及周边地区(71.01%), 最低的是伊犁地区(33.33%)。

研究区域的鼓藻类植物具有较明显的地理分布局限性, 在 189 个分类单位中, 仅有 16 种鼓藻类植物在阿勒泰地区和乌鲁木齐及周边地区均有发现, 分布比较广泛; 新月藻属的锐新月藻[*Closterium acerosum* (Schrank) Ehrenberg]、库津新月藻(*Closterium kützingii* Brébisson)、莱布新月藻(*Closterium*

表 2 研究区域鼓藻类植物的优势属

Table 2 Dominant genera of Desmids in the study area

优势属 Dominant genus	种数 No. of species	占总种数比例 Proportion/%
鼓藻属 <i>Cosmarium</i> Corda ex Ralfs	93	49.21
角星鼓藻属 <i>Staurostrum</i> Ralfs	21	11.11
新月藻属 <i>Closterium</i> Nitzsch	23	12.17



S1. 柱胞鼓藻属; S2. 转板藻属; S3. 柱形鼓藻属; S4. 圆丝鼓藻属; S5. 新月藻属; S6. 微星鼓藻属; S7. 梭形鼓藻属; S8. 瘤接鼓藻属; S9. 裂顶鼓藻属; S10. 宽带鼓藻属; S11. 角星鼓藻属; S12. 角丝鼓藻属; S13. 鼓藻属; S14. 辐射鼓藻属; S15. 多棘鼓藻属; S16. 顶接鼓藻属; S17. 棒形鼓藻属; S18. 凹顶鼓藻属

图 2 研究区域内鼓藻类植物属组成的空间分布

S1. *Cylindrocystis* Meneghini; S2. *Mougeotia* Agardh; S3. *Penium* Brébisson; S4. *Hyalotheca* Ralfs; S5. *Closterium* Nitzsch; S6. *Micrasterias* Agardh ex Ralfs; S7. *Netrium* (Nägeli) Itzigson & Rothe; S8. *Sphaerososma* Ralfs; S9. *Tetmemorus* Ralfs; S10. *Pleurotaenium* Nägeli; S11. *Staurostrum* Ralfs; S12. *Desmidium* Ralfs; S13. *Cosmarium* Corda ex Ralfs; S14. *Actinotaenium* Teiling; S15. *Xanthidium* Ralfs; S16. *Spondylosium* Kützinger; S17. *Gonatozygon* De Bary; S18. *Euastrum* Ehrenberg ex Ralfs

Fig. 2 Spatial distribution of Desmids species and composition in the study area

leibleinii Kützing)、披针新月藻(*Closterium lanceolatum* Kützing)、小新月藻(*Closterium venus* Kützing)、极锐新月藻(*Closterium peracerosum* Gay),宽带鼓藻属的宽带鼓藻[*Platrotaenium trabecula* (Ehrenberg) Nägeli],鼓藻属的扁鼓藻[*Cosmarium depressum* (Nägeli) Lundell]、具角鼓藻(*Cosmarium angulosum* Brébisson)、光滑鼓藻(*Cosmarium leave* Rabenhorst)、双眼鼓藻(*Cosmarium bioculatum* Brébisson)、葡萄鼓藻(*Cosmarium botrytis* Ralfs)、梅尼鼓藻(*Cosmarium meneghinii* Brébisson)、钝鼓藻(*Cosmarium obtusatum* Schmidle)、申扎鼓藻(*Cosmarium xianzaense* Wei),柱形鼓藻属的珍珠柱形鼓藻[*Penium margaritaceum* (Ehrenberg) Brébisson ex Ralfs];其余 108 种和 53 种都各为阿勒泰地区和乌鲁木齐及周边地区所独有。同时研究区域发现的 10 个中国鼓藻类植物新记录^[33-34]均在阿勒泰地区的喀纳斯国家级自然保护区和两河源国家级自然保护区发现,并且在阿勒泰地区发现新疆新记录^[12-19] 20 余种,这说明阿勒泰地区湿地的生态环境适宜鼓藻类植物的生长,鼓藻类植物的物种多样性较高。伊犁地区发现了托马森微星鼓藻显著变种(*Micrasterias thomasiana* var. *notata*)、葡萄鼓藻膨大变种(*Cosmarium botrytis* var. *tumidum*)、盾状鼓藻(*Cosmarium scutellum*)等 11 种中国广泛分布的鼓藻类植物,1 种仅在中国分布的鼓藻类植物:西博角星鼓藻纹饰变种高出变型(*Staurostrum sebaldi* var. *ornatum* f. *spiniferum* Wei),且这 12 种鼓藻类植物在阿勒泰地区和乌鲁木齐及周边地区均未见有出现,该地区鼓藻类种类稀少,且采集藻类样品集中在 7 月份,所以需要进一步采样调查^[35]。

3.3 研究区域鼓藻类植物的物种多样性

从表 3 可知,3 个地区科间多样性指数(D_F)为阿勒泰地区>伊犁地区>乌鲁木齐及周边地区,属间多样性指数(D_G)也为阿勒泰地区>伊犁地区>乌鲁木齐及周边地区,标准化 D_{G-F} 值为阿勒泰地区>乌鲁木齐及周边地区>伊犁地区。其中, D_F 、 D_G

及 D_{G-F} 值均以阿勒泰地区最高;伊犁地区的 D_F 、 D_G 值排在第 2 位,乌鲁木齐及周边地区最小,但乌鲁木齐及周边地区的 D_{G-F} 值高于伊犁地区。

3.4 研究区域鼓藻类植物地理分布

由图 3 和图 4 可以看出,研究区域鼓藻类植物物种数和经纬度之间具有显著的非线性关系,纬度和经度之间均为对数函数关系。随着纬度的增加,物种数呈先降低后增加趋势($P<0.05$,图 3);随着经度的增加,物种数呈先微弱上升后趋于平稳的趋势($P<0.05$,图 4),纬向的趋势相较于经向更明显。

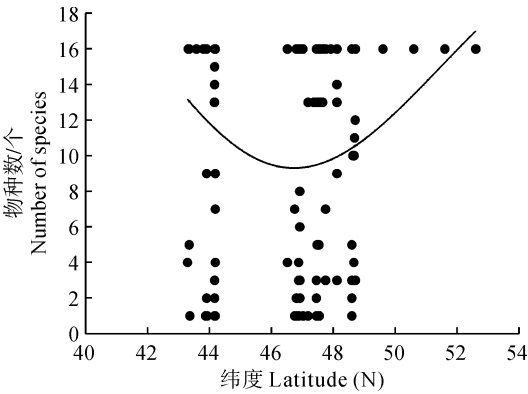


图 3 研究区域鼓藻类植物物种数与纬度的关系
Fig. 3 The relationship between latitude and species number of Desmids in the study area

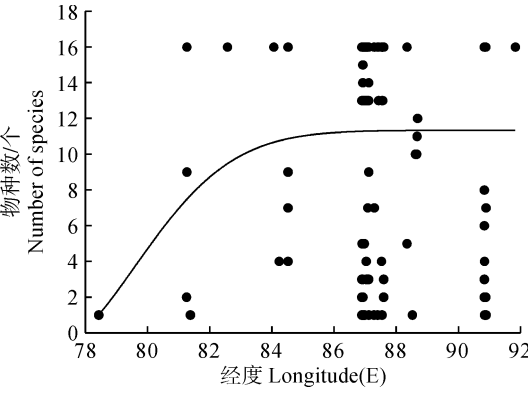


图 4 研究区域鼓藻类植物物种数与经度的关系
Fig. 4 The relationship between longitude and species number of Desmids in the study area

区域 Region	数量 No. of species			多样性 Diversity		
	科 Family	属 Genus	种 Species	D_F	D_G	D_{G-F}
阿勒泰地区 Altay region	6	17	124	2.6213	2.0828	0.5095
乌鲁木齐及周边地区 Urumqi and the surrounding areas	4	8	69	0.9981	0.4896	0.2052
伊犁地区 Ili region	2	7	12	1.7482	1.5942	0.0881

因此,在研究区域内越往北的地区分布的鼓藻类植物越多;越往东的地区分布的鼓藻类植物越多。

3.5 鼓藻类植物物种数与环境指标的相关关系

鼓藻类植物物种数与环境指标的 Pearson 相关性分析结果表明(表 4),乌鲁木齐及周边地区的鼓藻类植物物种数与大气温度、纬度正相关,与海拔、水温、pH、电导率、经度负相关,其中与大气温度、电导率、经度表现出极显著相关性;阿勒泰地区的鼓藻类植物物种数与海拔的相关性和乌鲁木齐及周边地区相反、为正相关,与其他的环境指标相关性两地区相同,其中与大气温度表现出极显著相关性;伊犁地区的鼓藻类植物物种数与海拔、水温的相关性和乌鲁木齐及周边地区相同、为负相关,与其余环境指标的相关性和其他两个地区相反,同时与环境指标都没有表示出显著相关。

3.6 鼓藻类植物组成与环境因子的相关性

对研究地区鼓藻类植物组成与环境指标进行 DCA 分析^[36]。结果显示,2 个排序轴的梯度长度最大值为 1.610,小于 3.0,因此确定选用 RDA 分析研究区域鼓藻类植物组成与环境指标的关系。RDA 分析显示,研究区域内鼓藻类植物组成与 pH 和大气温度显著相关($P<0.05$,表 5,图 5)。排序轴 1 和

表 5 鼓藻类植物组成与环境因子关系的 RDA 分析结果

因子 Variable	前选所获得的因子 Forward selection of variable		与排序轴的相关系数 Correlation with canonical axes	
	F	P	Axis1	Axis2
pH	2.5	0.168	0.8428	0.1163
大气温度 Atmospheric temperature/℃	1.8	0.326	0.3662	0.2658

表 4 研究区域鼓藻类植物物种数与环境因子的 Pearson 相关性

因子 Variable	阿勒泰地区 Altay region	乌鲁木齐及周边地区 Urumqi and the surrounding areas	伊犁地区 Ili region
海拔 Altitude/m	0.0015	-0.1014	-0.0485
大气温度 Atmospheric temperature/℃	0.2660 **	0.2526 **	-0.2468
水温 Water temperature/℃	-0.2500	-0.1637	-0.2229
pH	-0.2036	-0.2422	0.1296
电导率 Specific conductance/(μs/cm)	-0.3502	-0.5152 **	0.3258
纬度 Latitude	0.0667	0.1577	-0.0830
经度 Longitude	-0.0122	-0.3674 **	0.1307

注: ** 表示 $P<0.01$,差异显著
Note: ** significant difference ($P<0.01$)

轴 2 对鼓藻类植物组成与环境指标的变异累计达到了 88.39%,说明两轴能很好地解释鼓藻类植物组成与环境指标的关系。pH 和大气温度与排序轴 1 和轴 2 均呈正相关,且 pH 与第一排序轴的正相关性最高,从 RDA 排序图可以看出(图 5),多棘鼓藻属、

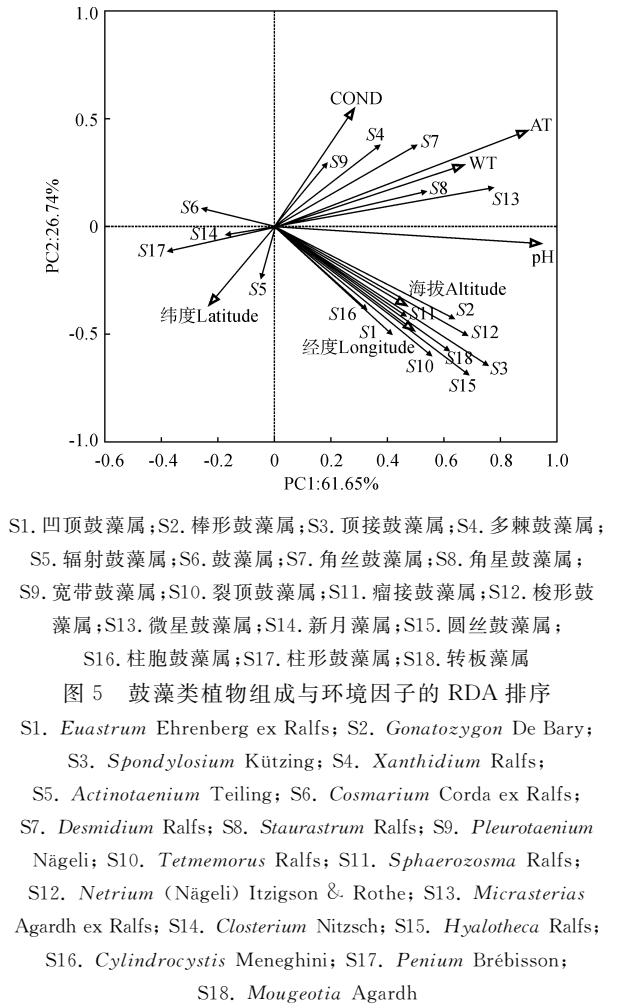


图 5 鼓藻类植物组成与环境因子的 RDA 排序

S1. *Euastrum* Ehrenberg ex Ralfs; S2. *Gonatozygon* De Bary; S3. *Spondylosium* Kützing; S4. *Xanthidium* Ralfs; S5. *Actinotaenium* Teiling; S6. *Cosmarium* Corda ex Ralfs; S7. *Desmidium* Ralfs; S8. *Staurostrum* Ralfs; S9. *Pleurotaenium* Nägeli; S10. *Tetmemorus* Ralfs; S11. *Sphaeroszma* Ralfs; S12. *Netrium* (Nägeli) Itzigson & Rothe; S13. *Micrasterias* Agardh ex Ralfs; S14. *Closterium* Nitzsch; S15. *Hyalotheca* Ralfs; S16. *Cylindrocystis* Meneghini; S17. *Penium* Brébisson; S18. *Mougeotia* Agardh

Fig. 5 RDA diagram of the composition and environmental indicators of Desmids

角丝鼓藻属和宽带鼓藻属与电导率、大气温度和水温极显著正相关,与纬度极显著负相关;角星鼓藻属和微星鼓藻属与电导率、大气温度、经度、水温和 pH 显著正相关,与纬度显著负相关,其中,角星鼓藻属与水温极显著正相关;辐射鼓藻属与纬度极显著正相关,与电导率极显著负相关;鼓藻属与 pH、经度、海拔极显著负相关,与纬度显著正相关;新月藻属与大气温度、经度、水温极显著负相关,与纬度极显著正相关;柱形鼓藻属与电导率、大气温度、水温、经度、pH 极显著负相关,与纬度极显著正相关;其余鼓藻类植物都与海拔和经度密切正相关。

4 讨 论

4.1 新疆北部地区湿地鼓藻类植物组成差异

新疆北部地区气候类型丰富,湿地资源丰富,为藻类植物的生长提供了复杂的小环境,共记录鼓藻类植物 189 种,隶属于 1 门 2 目 6 科 18 属,鼓藻类植物种数从高到低依次为鼓藻科、新月藻科、柱形鼓藻科、棒形鼓藻科、中带鼓藻科、双星藻科。研究区域 1 个优势科所含种数 154 种,占总种数的 81.48%,优势非常明显,构成了新疆北部地区湿地鼓藻类植物区系的主体,这与赛比热尼沙木·莫尔扎提等^[37]的调查结果相近;3 个优势属所含鼓藻类植物 137 种,占总种数的 72.49%,同时,单种属、寡种属占总属数的 66.67%,但是所含种类,数量仅占总种数的 3.17%,优势也非常明显,构成了新疆北部地区湿地鼓藻类属组成的主要部分,同时也说明新疆北部地区湿地总体的鼓藻类植物结构及水体环境处于相对稳定状态。这与贵州省岩下大鲵自然保护区^[38],昭通省耕公园水体^[39],甘肃省苏干湖^[40],宁夏沙湖^[41],雅鲁藏布江流域^[42]等水体调查结果相似,表明该研究区域鼓藻类植物分布具有一般鼓藻类植物分布的普遍特性。

阿勒泰地区、乌鲁木齐及周边地区、伊犁地区 3 个区域的地理位置相近,但气候及环境不相似。科间多样性指数(D_F)、属间多样性指数(D_G)均以阿勒泰地区最高,乌鲁木齐及周边地区多样性指数最低。标准化 D_{G-F} 值阿勒泰地区最高,伊犁地区最低。分析其原因可能是乌鲁木齐及周边地区内单种科、单种属的鼓藻类植物较多,得出其 D_F 值、 D_G 值低于伊犁地区。

本研究表明,阿勒泰地区鼓藻类植物多样性在 3 个地区内最高,这与吕海英等^[43]调查阿勒泰沼泽湿地鼓藻科的结果相似。该地区大气温度高于水温,且水体 pH 偏酸性,符合鼓藻类植物生长所需要

的小环境,鼓藻属、新月藻属、角星鼓藻属数量多出现频数多的主要种及优势种的种类少,多样性高,反映出阿勒泰地区鼓藻类植物生长的环境质量较好^[5];乌鲁木齐及周边地区水体 pH 略微偏酸,水体温度和大气温度相近,共有鼓藻类植物 69 种,这比艾克拜尔·依米提等^[11]初步研究乌鲁木齐及周边地区鼓藻类植物的结果增长了 53 种,说明乌鲁木齐及周边地区受人为干扰因素较少,水体寡营养化程度较高,比较适宜鼓藻类植物的生长繁殖;本研究尚未探究出伊犁地区鼓藻类植物的多样性及其与环境因子的关系,因为鼓藻类植物生长、分布受环境条件的影响,且和采样调查时间有关,因此该地区的藻类植物待我们进一步调查研究。

4.2 新疆北部地区湿地鼓藻类植物多样性及环境因素的相关性

RDA 排序轴综合信息既反映了种类组成上的相似性,又间接反映了环境因子组成的相似性;同时能够解释植物物种的分布与环境因子之间的关系,筛选出主要的环境因子^[44]。本研究 RDA 排序表明:影响研究区域湿地鼓藻类植物多样性和组成的主要环境因子是 pH 和大气温度。

海拔与物种分布存在一定相关性。肖妮娜等^[45]指出,海拔高度决定了一个地区的光照强度和水温等环境因子的变化,海拔越高,藻类物种数、多样性指数越低。本研究结果表明,纵向梯度下研究区域鼓藻类植物物种数及多样性指数(D_F 、 D_G 值)均呈下降趋势,即阿勒泰地区>乌鲁木齐及周边地区>伊犁地区,这与马宝珊等^[46]研究雅砻江着生藻类时的结果相反。此外,本研究中部分鼓藻类植物种类与海拔呈正相关,由于海拔提升,水温降低,喜低温的鼓藻属成为优势属,因此阿勒泰地区主要以喜低温鼓藻属为主。阿勒泰地区的鼓藻类植物物种数明显多于乌鲁木齐及周边地区和伊犁地区,分析其原因是与地理位置存在不同程度的相关性,纬向因素大于经向因素,物种数与纬度呈正相关。基于纬度梯度的研究鼓藻类植物群落的变化,主要反映出藻类植物对温度和海拔的响应机制^[47]。

气温过高或过低会对鼓藻类植物的生长有影响,因为气温是影响水温的主要因子^[48]。已有研究表明,藻类最适生长水温也依种类不同而有所差异,例如,绿藻喜高温^[49]。水温影响着生藻类细胞代谢、酶活性及繁殖生长等生物特性。在适度范围内,水温上升有利于藻类的生长繁殖^[50],水体温度也影响着水体溶解氧的饱和度,而溶解氧的含量影响着

藻细胞的酶活性从而影响代谢速率^[51]。本研究 Person 相关分析和 RDA 分析表明,大气温度是影响鼓藻类植物物种多样性和组成的主要因素之一。RDA 分析可知角星鼓藻属、微星鼓藻属分布在第 2 象限,与水温呈显著正相关,表明这两属鼓藻类植物适宜在较高温度下生存。与此相反,RDA 分析显示辐射鼓藻属、鼓藻属、新月藻属、柱形鼓藻属与水温呈显著负相关,表明其更易在低温环境下生长。

pH 对于浮游植物种类组成以及分布有着重要影响,不同藻类有一定的 pH 适应范围,不同 pH 水体之间固碳能力有很大差别。在藻类生长旺盛的水体中,藻类光合作用消耗大量水体中的 CO_2 ,导致溶解

性无机碳含量减少,是导致水体 pH 变化的主要原因^[52]。本研究数据显示,研究地区最低 pH 为 5.8,最高 pH 为 8.7,平均 pH 为 7.8,RDA 分析显示,角星鼓藻属、微星鼓藻属与 pH 呈极显著正相关,分析原因可能在于采集点水体中有着丰富的碳源,而水体中属于角星鼓藻属、微星鼓藻属的藻类大量吸收 CO_2 使水体 pH 变化到适宜该类藻类生存的范围,且采集时间在 6—8 月,夏季藻类光合作用较强;辐射鼓藻属、鼓藻属、新月藻属、柱形鼓藻属显著呈负相关,其原因可能是这 3 个采样点的水体 pH 对辐射鼓藻属、鼓藻属、新月藻属、柱形鼓藻属的影响能力弱,藻类生存的水体环境不足以使这 3 类藻类在分布上有差别。

参考文献:

- [1] 胡鸿钧,魏印心. 中国淡水藻类系统、分类及生态[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [2] 艾克拜尔·依米提,尤庆敏,阿力马斯·克力木,等. 新疆北疆地区鼓藻类(绿藻门)植物新纪录[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 2017, **51**(3): 339-344.
YIMIT Akbar, YOU Q M, KERIM Almas, *et al.* New records of Desmids (Chlorophyta) in northern wetland of Xinjiang Province[J]. *Journal of Central China Normal University* (Natural Sciences Edition), 2017, **51**(3): 339-344.
- [3] 王明书,周亚宁. 20 余年来缙云山黛湖鼓藻类植物的演变与水质的关系[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2007, **32**(1): 43-46.
WANG M S, ZHOU Y N. The relationship between the water quality and the evolution of the algae of *Cosmarium* in Dai Lake of Jinyun Mountain over 20 years[J]. *Journal of Southwest China Normal University* (Natural Science Edition), 2007, **32**(1): 43-46.
- [4] 周可法,吴世新,李 静. 新疆湿地资源时空变异研究[J]. 干旱区地理, 2004, **27**(3): 405-408.
ZHOU K F, WU S X, LI J, *et al.* Study on the temporal and spatial differentiation of wetland resources in Xinjiang[J]. *Arid Land Geography*, 2004, **27**(3): 405-408.
- [5] 钦 娜. 大兴安岭阿尔山沼泽鼓藻类的初步研究[D]. 上海: 上海师范大学, 2007.
- [6] 王克勤,阿力马斯,艾克拜尔. 新疆淡水藻类研究 乌鲁木齐南山八一林场鼓藻属初报[J]. 干旱区研究, 1998, **15**(3): 19-22.
WANG K Q, ALIMAS, AAKBAR. A study on Xinjiang water algae the first report on *Cosmarium* found on the Bayi Forest Farm, Southern Mountain, Urumqi[J]. *Arid Zone Research*, 1998, **15**(3): 19-22.
- [7] 艾克拜尔,王克勤,阿里马斯. 新疆淡水藻类研究——新月藻属初报[J]. 新疆农业大学学报, 1998, **21**(2): 134-136.
AKBAR, WANG K Q, ALIMAS. Study on fresh water algae in Xinjiang[J]. *Journal of Xinjiang Agricultural University*, 1998, **21**(2): 134-136.
- [8] 王克勤,艾克拜尔,阿里马斯. 新疆淡水藻类研究——乌鲁木齐南山八一林场鼓藻属再报[J]. 新疆大学学报(自然科学版), 1998, **15**(4): 58-62.
WANG K Q, AKBAR, ALIMAS. A study on Xinjiang water algae the second report on *Cosmarium* found on the Bayi Forest Farm, Southern Mountain, Urumqi[J]. *Journal of Xinjiang University* (Natural Science Edition), 1998, **15**(4): 58-62.
- [9] 阿力马斯,王克勤,艾克拜尔. 新疆淡水藻类研究——乌鲁木齐南山八一林场鼓藻属三报[J]. 新疆师范大学学报(自然科学版), 1998, **17**(2): 44-4.
ALIMAS, WANG K Q, AKBAR. Study on Xinjiang water algae the third report on *Cosmarium* found on the Bayi Forest Farm, Southern Mountain, Urumqi[J]. *Journal of Xinjiang Normal University* (Natural Sciences Edition), 1998, **17**(2): 44-47.
- [10] 尤庆敏,李海玲,王全喜. 新疆喀纳斯地区硅藻初报[J]. 武汉植物学研究, 2005, **23**(3): 247-256.
YOU Q M, LI H L, WANG Q X. Preliminary studies on diatoms from Kanasi in Xinjiang Uygur Autonomous Region[J]. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 2005, **23**(3): 247-256.
- [11] 艾克拜尔·依米提,艾山江·阿布都拉. 乌鲁木齐地区鼓藻科植物初步研究[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 2011, **45**(1): 163-168.
YIMIT Akbar, ABDULLA Hasanjan. Primary studies on Desmidiaceae from part surrounding region in Urumqi[J]. *Journal of Huazhong Normal University* (Natural Sciences Edition), 2011, **45**(1): 163-168.
- [12] 艾克拜尔·依米提. 新疆鼓藻类(Desmids)植物新记录种[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 2013, **47**(1): 97-102.
YIMIT Akbar. New record of desmids in Xinjiang[J]. *Journal of Huazhong Normal University* (Natural Sciences Edition), 2013, **47**(1): 97-102.
- [13] 艾克拜尔·依米提,艾山·阿布都热依木,王志勇,等. 新疆鼓藻属植物(*Cosmarium* Cord.)新记录种[J]. 干旱区研究, 2013, **30**(3): 512-515.
YIMIT Akbar, ABDUREHIM Hasan, WANG Z Y, *et al.* New records of *Cosmarium* Cord. in Xinjiang[J]. *Arid Zone Research*, 2013, **30**(3): 512-515.
- [14] 艾克拜尔·依米提,王志勇,库热西·马木提汗,等. 新疆喀纳斯自然保护区盘星藻属植物新疆新记录[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 2013, **47**(5): 692-695.

- YIMIT Akbar, WANG Z Y, MAMUTHAN Kurax, *et al.* New records of *Pediastrum* from Kanas Natural Reserve in Xinjiang[J]. *Journal of Huazhong Normal University* (Natural Sciences Edition), 2013, **47**(5): 692-695.
- [15] 艾克拜尔·依米提, 库热西·马木提汗, 毛居代·亚尔买买提, 等. 喀纳斯自然保护区鼓藻类新疆新记录植物[J]. 西北植物学报, 2015, **35**(10): 2 118-2 123.
- YIMIT Akbar, MAMUTHAN Kurax, YARMAMAT Maojuda, *et al.* New records of Desmids from Kanas National Nature Reserve, Xinjiang[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2015, **35**(10): 2 118-2 123.
- [16] 艾克拜尔·依米提, 尤庆敏, 吕海英, 等. 喀纳斯地区沼泽鼓藻类新疆新记录植物[J]. 干旱区研究, 2016, **33**(2): 392-398.
- YIMIT Akbar, YOU Q M, LYU H Y, *et al.* New records of marsh Desmids in the Kanas Region, Xinjiang[J]. *Arid Zone Research*, 2016, **33**(2): 392-398.
- [17] 艾克拜尔·依米提, 尤庆敏, 吕海英, 等. 阿尔泰山两河源自然保护区鼓藻类植物新疆新记录[J]. 西北植物学报, 2016, **36**(8): 1 697-1 706.
- YIMIT Akbar, YOU Q M, LYU H Y, *et al.* New records of Desmids from Two-River Source Natural Reserve of Altay Mountains, Xinjiang, China[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2016, **36**(8): 1 697-1 706.
- [18] 艾克拜尔·依米提, 吕海英, 阿力马斯·克力木. 阿勒泰地区的 8 种新疆新记录鼓藻类植物[J]. 西部林业科学, 2018, **47**(1): 23-28.
- YIMIT Akbar, LYU H Y, KERIM Almas. Eight species of Desmids newly recorded in Xinjiang Province[J]. *Journal of West China Forestry Science*, 2018, **47**(1): 23-28.
- [19] 刘国祥, 方 杰. 新疆维吾尔自治区绿藻初记[J]. 山西大学学报(自然科学版), 1995, **18**(1): 63-69.
- LIU G X, FANG J. A preliminary report on green algae from Uygur Autonomous Region of Xinjiang, China[J]. *Journal of Shanxi University* (Natural Science Edition), 1995, **18**(1): 63-69.
- [20] 刘丽燕, 蔡新斌, 江晓珩, 等. 新疆湿地野生维管植物组成与植物区系的研究[J]. 干旱区资源与环境, 2015, **29**(9): 80-85.
- LIU L Y, CAI X B, JIANG X H, *et al.* Species composition and flora components of wetland vascular plants in Xinjiang[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2015, **29**(9): 80-85.
- [21] 马占仓, 刘 建, 张 欢, 等. 新疆玛依湖保护区被子植物区系与多样性特点[J]. 石河子大学学报(自然科学版), 2021, **39**(3): 346-351.
- MA Z C, LIU J, ZHANG H, *et al.* Flora and diversity characteristics of angiosperms in Mayi Lake Reserve in Xinjiang[J]. *Journal of Shihezi University* (Natural Science Edition), 2021, **39**(3): 346-351.
- [22] 郑超超, 伊力塔, 张 超, 等. 浙江江山公益林物种间关系及 CCA 排序[J]. 生态学报, 2015, **35**(22): 7 511-7 521.
- ZHENG C C, YI L T, ZHANG C, *et al.* Interspecific relationship and canonical correspondence analysis of the dominant species in ecological service forest of Jiangshan City in Zhejiang Province[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, **35**(22): 7 511-7 521.
- [23] 努尔巴依·阿布都沙力克, 叶勒波拉提·托流汉, 孔琼英. 阿勒泰地区沼泽湿地调查研究[J]. 乌鲁木齐职业大学学报, 2008, **17**(1): 8-13.
- NURBAY Abdusalih, ERBOLAT tolewhan, KONG Q Y. Swamp wetland research in Altay Prefecture[J]. *Journal of Urumqi Vocational University*, 2008, **17**(1): 8-13.
- [24] 赵 黎, 吾米提·居马太. 伊犁地区苹果优质高产种植气候条件分析[J]. 现代农业科技, 2018, (23): 112-113.
- ZHAO L, JUMATAI Wumiti. Analysis of climate conditions for apple planting with high quality and yield in Ili area[J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2018, (23): 112-113.
- [25] 郭根茂, 黄 青, 王青青, 等. 基于实验与文献研究热解温度和原料对木醋液组分的影响[J]. 天然产物研究与开发, 2021, **33**(8): 1 371-1 381.
- GUO G M, HUANG Q, WANG Q Q, *et al.* The effect of pyrolysis temperature and raw materials on the composition of wood vinegar based on experiments and literature[J]. *Natural Product Research and Development*, 2021, **33**(8): 1 371-1 381.
- [26] 刘腾腾, 罗 粉, 王艳璐, 等. 上海淀山湖 2 种硅藻植物中国新记录[J]. 西北植物学报, 2020, **40**(1): 170-173.
- LIU T T, LUO F, WANG Y L, *et al.* Two newly recorded species of Diatoms from Dianshan Lake, Shanghai, China[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2020, **40**(1): 170-173.
- [27] 魏印心. 中国淡水藻志(第 7 卷: 绿藻门, 双星藻, 中带鼓藻科, 鼓藻目, 鼓藻科)[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [28] 魏印心. 中国淡水藻志(第 17 卷: 绿藻门, 鼓藻目, 鼓藻科)[M]. 北京: 科学出版社, 2013.
- [29] 魏印心. 中国淡水藻志(第 18 卷: 绿藻门, 鼓藻目, 鼓藻科)[M]. 北京: 科学出版社, 2014.
- [30] 蒋志刚, 纪力强. 鸟兽物种多样性测度的 G-F 指数方法[J]. 生物多样性, 1999, **7**(3): 220-225.
- JIANG Z G, JI L Q. Avian mammalian species diversity in nine representative sites in China[J]. *Chinese Biodiversity*, 1999, **7**(3): 220-225.
- [31] 杨鸿雁, 罗绪强, 杨 帆. 贵州雷公山国家级自然保护区藻类植物区系研究[J]. 广西植物, 2014, **34**(4): 570-574.
- YANG H Y, LUO X Q, YANG F. Algae flora of Leigong Mountain Nature Reserve of Guizhou[J]. *Guihaia*, 2014, **34**(4): 570-574.
- [32] 刘红敏. 贵州兴义马岭河峡谷藻类植物区系、生态及生物岩溶作用研究[D]. 贵州: 贵州师范大学, 2007.
- [33] 艾克拜尔·依米提, 吕海英, 阿力马斯·克力木. 喀纳斯国家级自然保护区鼓藻类植物中国新记录(一)[J]. 西北植物学报, 2017, **37**(3): 602-606.
- YIMIT Akbar, LYU H Y, KERIM Almas. New records of Desmids of China from Kanas Nature Reserve in Xinjiang[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2017, **37**(3): 602-606.
- [34] 艾克拜尔·依米提, 阿力马斯·克力木, 吕海英. 阿尔泰山两河源国家级自然保护区鼓藻类中国新记录[J]. 西北植物学报, 2018, **38**(9): 1 753-1 757.
- YIMIT Akbar, KERIM Almas LYU H Y. New records of Desmids of China from Two-River Source Natural Reserve of Altay Mountains in Xinjiang[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2018, **38**(9): 1 753-1 757.
- [35] 阿力马斯·克力木, 吕海英, 艾克拜尔·依米提. 新疆伊犁河流域湿地鼓藻科植物分类的初步研究[J]. 中国农学通报, 2008, **17**(1): 8-13.

2018,**34**(13): 38-42.

KERIM Almas, LYU H Y, YIMIT Akbar. Desmidiaceae plant from Ili River Basin in Xinjiang: A preliminary study[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2018,**34**(13): 38-42.

[36] 刘召强, 刘艺平, 冯理明, 等. 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[J]. 西北植物学报, 2020,**40**(3): 532-542.

LIU Z Q, LIU Y P, FENG L M, *et al.* Differences in community characteristics, species diversity and their coupling associations among *Betula pendula* forests in Irtysh River watershed[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2020,**40**(3): 532-542.

[37] 赛比热尼沙木·莫尔扎提, 艾克拜尔·依米提, 吕海英. 新疆两河源自然保护区鼓藻属植物分布新资料[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 2021,**55**(1): 90-97.

MERZAT Sabrinisa, YIMIT Akbar, LYU H Y. New records of *Cosmarium* from Two Rivers Source Nature Reserve in Xinjiang[J]. *Journal of Central China Normal University* (Natural Sciences Edition), 2021,**55**(1): 90-97.

[38] 刘伟才, 熊源新, 邓佳佳, 等. 贵州省岩下大鲵自然保护区藻类研究[J]. 山地农业生物学报, 2008,(4): 305-315.

LIU W C, XIONG Y X, DENG J J, *et al.* Study on the Algae in Yanxia *Andrias davidianus* Nature Reserve of Guizhou Province[J]. *Journal of Mountain Agriculture and Biology*, 2008,(4): 305-315.

[39] 田虹, 余明燕, 王世敏, 等. 昭通省耕公园水体藻类群落组成与水质分析[J]. 保山学院学报, 2021,**40**(2): 49-54.

TIAN H, YU M Y, WANG S M, *et al.* Analysis of algae community composition and water quality of Shenggeng Park in Zhaotong City[J]. *Journal of Baoshan University*, 2021,**40**(2): 49-54.

[40] 武发思, 葛亮, 蔡泽平, 等. 甘肃省苏干湖浮游植物多样性研究[J]. 西北植物学报, 2008,**28**(12): 2 521-2 526.

WU F S, GE L, CAI Z P, *et al.* Phytoplankton diversity of algae in Suganhu Lake in Gansu Province[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2008,**28**(12): 2 521-2 526.

[41] 金爽. 宁夏沙湖浮游植物动态变化特征及机制的研究[D]. 贵阳: 贵州师范大学, 2021.

[42] 王纤纤, 刘乐乐, 杨学芬, 等. 基于周丛藻类的雅鲁藏布江流域水生态系统健康评价[J/OL]. 水生生物学报, 2021: 1-31. (2021-11-24). <https://kns.cnki.net/kcms/detail/42.1230.Q.20211124.1323.026.html>.

WANG Q Q, LIU L L, YANG X F, *et al.* Using periphyton algae to assess stream conditions of Yarlung Zangbo River Basin[J/OL]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2021: 1-31. (2021-11-24). <https://kns.cnki.net/kcms/detail/42.1230.Q.20211124.1323.026.html>.

[43] 吕海英, 赛比热尼沙木·莫尔扎提, 艾克拜尔·依米提. 阿勒泰地区沼泽湿地鼓藻科(绿藻门)植物新记录[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 2019,**53**(1): 77-83.

LYU H Y, MERZAT Sabrinisa, YIMIT Akbar. New records of Desmidiaceae plant from swamp wetland of the Altay region in Xinjiang[J]. *Journal of Central China Normal University* (Natural Sciences Edition), 2019,**53**(1): 77-83.

[44] 张丙昌, 赵建成, 张元明, 等. 新疆古尔班通古特沙漠南部沙垄不同部位藻类的垂直分布特征[J]. 植物生态学报, 2008,**32**(2): 456-464.

ZHANG B C, ZHAO J C, ZHANG Y M, *et al.* Vertical distribution of algae in different locations of sand dunes in the Gurbantunggut Desert, Xinjiang, China[J]. *Journal of Plant Ecology*, 2008,**32**(2): 456-464.

[45] 肖妮娜, 张萌, 冯兵, 等. 丰水期赣江流域着生藻类群落结构及其与水环境因子的关系[J]. 长江流域资源与环境, 2020,**29**(4): 900-910.

XIAO N N, ZHANG M, FENG B, *et al.* Community structure of periphytic algae and their relationship to water environmental factors in Ganjiang River Basin during the high water period[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2020,**29**(4): 900-910.

[46] 马宝珊, 魏开金, 徐进, 等. 雅砻江下游及其主要支流安宁河着生藻类多样性与空间分布[J]. 中国水产科学, 2021,**28**(12): 1 602-1 611.

MA B S, WEI K J, XU J, *et al.* Diversity and spatial distribution of periphytic algae in the lower reaches of the Yalong River and its main tributary, the Anning River[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2021,**28**(12): 1 602-1 611.

[47] 何宝忠, 丁建丽, 李焕, 等. 新疆植被物候时空变化特征[J]. 生态学报, 2018,**38**(6): 2 139-2 155.

HE B Z, DING J L, LI H, *et al.* Spatiotemporal variation of vegetation phenology in Xinjiang from 2001 to 2016[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2018,**38**(6): 2 139-2 155.

[48] 邵骏, 杜涛, 郭卫, 等. 金沙江上游河段水温变化规律及其影响因素探讨[J]. 长江科学院院报, 2022,**39**(8): 17-22+28.

SHAO J, DU T, GUO W, *et al.* Research on water temperature variation and its influencing factors in the upper Jinsha River Basin[J]. *Journal of Yangtze River Scientific Research Institute*, 2022,**39**(8): 17-22+28.

[49] ASARIAN J E, PAN Y D, GILLET N D, *et al.* Periphyton assemblages and associated environmental conditions in the Klamath River 2004-2013[M]. Klamath: Klamath Basin Tribal Water Quality Work Group, 2015.

[50] 马宝珊, 徐滨, 魏开金, 等. 安宁河中游浮游植物群落结构及其与环境因子的关系[J]. 生态学杂志, 2020,**39**(10): 3 332-3 341.

MA B S, XU B, WEI K J, *et al.* Phytoplankton community structure and its relation to environmental conditions in the middle Anning River, China[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2020,**39**(10): 3 332-3 341.

[51] 张澎浪, 孙承军. 地表水体中藻类的生长对 pH 值及溶解氧含量的影响[J]. 中国环境监测, 2004,**20**(4): 49-50.

ZHANG P L, SUN C J. The influence of algae growing on pH and DO in surface water[J]. *Environmental Monitoring in China*, 2004,**20**(4): 49-50.

[52] 刘春光, 金相灿, 孙凌, 等. pH 值对淡水藻类生长和种类变化的影响[J]. 农业环境科学学报, 2005,**24**(2): 294-298.

LIU C G, JIN X C, SUN L, *et al.* Effects of pH on growth and species changes of algae in freshwater[J]. *Journal of Agro-Environmental Science*, 2005,**24**(2): 294-298.