

天山一号冰川冰缘区 4 种生境 苔藓植物群落的生态位分析

袁祯燕^{1,2}, 石岩磊², 刘 兵², 黄雪瑶², 买买提明·苏来曼^{2,①}

(1. 武夷学院生态与资源工程学院, 福建 武夷山 354300; 2. 新疆大学生命科学与技术学院, 新疆 乌鲁木齐 830046)

摘要: 本研究对天山一号冰川冰缘区沼泽、土面、岩面和岩隙 4 种生境中苔藓植物群落主要种群的物种组成、生态位宽度、生态位重叠值和种间联结性进行了分析。结果显示: 天山一号冰川冰缘区并未发现苔类植物, 藓类植物有 15 科 21 属 40 种, 优势科为丛藓科 (Pottiaceae), 优势属为紫萁藓属 (*Grimmia* Hedw.), 优势种为长叶扭藓 [*Tortella tortuosa* (Schrad. ex Hedw.) Limpr.] 和斜蒴对叶藓 [*Distichium inclinatum* (Hedw.) Bruch et Schimp.]。4 种生境中苔藓植物群落的物种组成不同, 岩隙中物种最多, 土面中物种最少; 群落的相似性程度不高 (Sørensen 相似性系数为 0.256~0.364)。Shannon-Wiener 生态位宽度较大的长叶扭藓和斜蒴对叶藓在 4 种生境中均有分布, 与其他物种生态位重叠较小, 而 Shannon-Wiener 生态位宽度为 0.000 的苔藓植物仅分布在单一生境中, 与同一生境中物种的生态位重叠较大。聚类分析显示: 在欧氏距离 4.0 处, 冰缘区 40 种苔藓植物可分为可 5 个类群, 类群 I、II、III 和 V 总体上呈现同一生境的种类聚集在一起, 类群 IV 主要为多生境分布种类。种间联结性半矩阵图显示: 4 种生境下的苔藓植物种间总体呈负联结。综合研究表明: 天山一号冰缘区苔藓植物生态位重叠现象不普遍, 种间依赖程度不强, 种间呈独立分布。

关键词: 苔藓植物; 天山一号冰川; 物种组成; 生态位宽度; 生态位重叠值; 种间联结

中图分类号: Q948.15; Q949.35 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2022)03-0026-09

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2022.03.04

Analysis on niche of bryophyte communities in four habitats in periglacial region of Glacier No. 1 of Tianshan Mountains YUAN Zhenyan^{1,2}, SHI Yanlei², LIU Bing², HUANG Xueyao², Mamtimin SULAYMAN^{2,①} (1. College of Ecology and Resources Engineering, Wuyi University, Wuyishan 354300, China; 2. College of Life Science and Technology, Xinjiang University, Urumqi 830046, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2022, 31(3): 26-34

Abstract: Species composition, niche breadth, niche overlap value and interspecific association of dominant populations in bryophyte communities in four habitats namely swamp, soil, rock and clint in periglacial region of Glacier No. 1 of Tianshan Mountains were analyzed in this study. The results show that there is no liverwort in periglacial region of Glacier No. 1 of Tianshan Mountains, but there are 40 species of mosses belonging to 21 genera in 15 families, and the dominant family is Pottiaceae, the dominant genus is *Grimmia* Hedw., and the dominant species are *Tortella tortuosa* (Schrad. ex Hedw.) Limpr. and *Distichium inclinatum* (Hedw.) Bruch et Schimp. The species composition of bryophyte communities in four habitats are different, and the species are the most in clint but the fewest in soil; the similarity degrees of communities are not high (the Sørensen similarity coefficients are 0.256-0.364). *T. tortuosa* and *D. inclinatum* with higher Shannon-Wiener niche breadth distribute in all four habitats, and

收稿日期: 2021-11-15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (32060050); 福建省中青年教育科研项目 (JAT210460); 武夷学院引进人才科研启动项目 (YJ202120)

作者简介: 袁祯燕 (1978—), 女, 重庆人, 博士, 讲师, 主要从事苔藓植物生态学方面的研究。

①通信作者 E-mail: mamtimin@xju.edu.cn

引用格式: 袁祯燕, 石岩磊, 刘 兵, 等. 天山一号冰川冰缘区 4 种生境苔藓植物群落的生态位分析 [J]. 植物资源与环境学报, 2022, 31(3): 26-34.

have narrow niche overlap with the other species, while bryophytes with the Shannon-Wiener breadth of 0.000 only distribute in single habitat, and have large niche overlap with species in the same habitat. The cluster analysis result shows that 40 species of bryophytes in periglacial region can be divided into five group at the Euclidean distance of 4.0, and group I, II, III and V generally show that the species in the same habitat cluster together, and group IV is mainly species in multiple habitats. The semi-matrix diagram of interspecific association shows that bryophytes in four habitats show negative association between species in general. It is suggested that the phenomena of niche overlap of bryophytes in periglacial region of Glacier No. 1 of Tianshan Mountains are not common, the interspecific dependence is not strong, and the interspecific distribution is independent.

Key words: bryophyte; Glacier No. 1 of Tianshan Mountains; species composition; niche breadth; niche overlap value; interspecific association

生态位(ecological niche)可量化物种对周围环境的需求及影响,对阐明物种的分布、共存和群落构建等生态学过程的机制有重要作用^[1]。物种的生态位宽度和生态位重叠被认为是群落物种多样性维持及其群落结构的决定因子,这2个指标不仅能反映种群对各种资源的利用能力及其在群落中的功能位置,还能反映种群所处群落的稳定性程度^[2,3],在研究和解释群落物种组成、物种分布格局、多样性维持机制及群落内种间关系等方面已有广泛应用^[4]。

全球气温持续变暖使全球范围内的高山冰川融化速率显著增加^[5]。Wietrzyk等^[6,7]对斯瓦尔巴特冰川进行研究时发现,大量的隐花植物(地衣和苔藓)定居在冰川刚消融的前沿地带,其数量远远超过维管植物。天山一号冰川最近25年冰川面积大幅度减少、厚度变薄、雪线海拔迅速上升,按照目前全球变暖趋势预测未来其消融速率会持续增加^[8]。随着冰川消融,冰缘地带给苔藓植物提供了新的栖息环境,天山一号冰川与其他高山生态系统^[9]一样是研究全球变暖背景下冰川极端环境中植物群落构建和多样性的理想实验室。天山一号冰川具有重要生态系统功能,是生物多样性保护的重要区域。

苔藓植物是冰川冰缘区高寒草甸的重要组成部分,在该地区苔藓植物结构特征研究的基础上^[10-14],开展苔藓生态学研究,不仅可以了解其种群数量、分布特征,还可以了解环境变化可能对其产生的影响,为冰缘区苔藓植物资源的保护,以及维持高寒生态系统的稳定提供理论依据。

鉴于此,本研究对天山一号冰川冰缘区4种生境苔藓植物群落的物种组成、生态位宽度、生态位重叠值和种间联结性进行了研究,揭示了主要苔藓种群在不同生境中的功能地位、资源利用能力及种间生态关

系,并对该地区苔藓群落的稳定性进行了分析,以期为天山一号冰川冰缘区苔藓植物资源的有效保护提供科学依据。

1 研究地概况和研究方法

1.1 研究地概况

天山一号冰川(Glacier No. 1 of Tianshan Mountains)位于欧亚大陆内部天山中段格尔峰北坡,为典型侵蚀性堆积地貌,冰川遗迹保存完整。土地覆盖类型有裸岩石砾地、冰川和永久积雪,不同时代的冰碛物成为生态系统发育的基质^[15];气候寒冷,年平均气温 $-5\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 7\text{ }^{\circ}\text{C}$,年平均降水量441.1 mm;植物生长期常受风雪、冰雹、霜冻和劲风的影响,地形条件复杂,植物群落结构简单,物种贫乏,以高山草甸和高山垫状植被为主^[16]。

1.2 研究方法

以天山一号冰川冰缘区(东经 $86^{\circ}49'$ 、北纬 $43^{\circ}05'$ 、海拔3 500~3 600 m)沼泽边缘为起点,设置面积 $10\text{ m}\times 3\text{ m}$ 样带3个,在每个样带中随机选取沼泽、土面、岩面和岩隙4种生境设置样方,样方面积 $20\text{ cm}\times 20\text{ cm}$,每种生境设置10个样方,共120个样方。对样方内所有的苔藓植物进行采集装袋,同时记录样带号、样方号、生境类型和海拔,带回实验室,阴干。每个样方划分为16个面积 $2.5\text{ cm}\times 2.5\text{ cm}$ 的网格,测定其中各种类的盖度。将每种生境中的苔藓植物进行鉴定、分装,种类鉴定和学名主要参考《中国苔藓志》、物种2000网站(<http://www.sp2000.org.cn/>)及Tropicos网站(<http://www.tropicos.org/>)。鉴定后苔藓植物标本保存于新疆大学生命科学与技术学院植物标本室(XJU)。

1.3 数据处理和分析

基于苔藓植物的盖度和频度计算在不同生境中苔藓植物的重要值及在冰缘区总的重要值^[17]⁸;基于物种数,计算 Sørensen 相似性系数^[18],比较不同生境间群落物种组成的相似程度;基于重要值,使用 R3.5.1 软件的 spaa 包分别计算 Shannon-Wiener 生态位宽度和 Pianka 生态位重叠值^[17]⁶³;基于 Pianka 生态位重叠值,使用 PAST4.02 软件中 Ward's 法^[19]构建聚类图。

以 4 个生境中重要值排名前 6 的苔藓植物为分析对象,采用卡方检验 (χ^2) 和种间联结系数 (AC),分析种间联结性,AC 阈值为 $[-1, 1]$,AC 值越接近 -1,表明种对间的负联结程度越高;AC 值越接近 1,表明种对间的正联结程度越高;若 AC=0,说明 2 个物种完全独立。用 Yates 的连续校正公式对显著程度进行卡方检验^[20],当 $\chi^2 \geq 6.635$ 时,表明种间联结性极显著 ($P \leq 0.01$);当 $3.841 \leq \chi^2 < 6.635$ 时,表明种间联结性显著 ($P \leq 0.05$);当 $\chi^2 < 3.841$ 时,表明种间联结性不显著,2 个物种呈独立分布。使用 R3.5.1 软件的 spaa 包生成种间联结 χ^2 检验半矩阵图。

2 结果和分析

2.1 物种组成及相似性分析

调查结果显示:天山一号冰川冰缘区 120 个样方中有 15 科 21 属 40 种藓类植物,并未发现苔类植物,40 种苔藓植物的重要值及 Shannon-Wiener 生态位宽度见表 1。结果显示:天山一号冰川冰缘区 4 种生境苔藓植物中的优势科为丛藓科 (Pottiaceae),优势属为紫萼藓属 (*Grimmia* Hedw.),优势种为长叶扭藓 [*Tortella tortuosa* (Schrad. ex Hedw.) Limpr.] 和斜蒴对叶藓 [*Distichium inclinatum* (Hedw.) Bruch et Schimp.]。沼泽生境中有苔藓植物 9 科 10 属 12 种,大曲背藓 [*Oncophorus virens* (Hedw.) Brid.] 为优势种;土面生境中有苔藓植物 7 科 8 属 11 种,折叶扭藓 [*Tortella fragilis* (Drumm.) Limpr.] 为优势种;岩面生境中有苔藓植物 6 科 9 属 17 种,南欧紫萼藓 (*Grimmia tergestina* Tomm. ex Bruch et Schimp.) 为优势种;岩隙生境中有苔藓植物 11 科 14 属 19 种,卷叶灰藓 [*Hypnum revolutum* (Mitt.) Lindb.] 为优势种。

比较 4 种生境间苔藓植物的 Sørensen 相似性系数,结果显示:4 种生境中苔藓植物的 Sørensen 相似性

系数在 0.256~0.364 之间。沼泽与岩隙有 6 个共有种,其 Sørensen 相似性系数最大;岩面与岩隙也有 6 个共有种,但 Sørensen 相似性系数最小;土面与岩面和岩隙的共有种均为 5 种,其 Sørensen 相似性系数分别为 0.345 和 0.303;沼泽与土面和岩面的共有种均为 4 种,其 Sørensen 相似性系数分别为 0.348 和 0.267。

2.2 生态位宽度分析

结果(表 1)显示:天山一号冰川冰缘区 4 种生境中有 11 个种类有 Shannon-Wiener 生态位宽度 (B),长叶扭藓、斜蒴对叶藓、拟金发藓 [*Polytrichastrum alpinum* (Hedw.) G. L. Sm.]、灰藓 (*Hypnum cupressiforme* L. ex Hedw.) 和黑对齿藓 [*Didymodon nigrescens* (Mitt.) K. Saito] 的 Shannon-Wiener 生态位宽度较大;Shannon-Wiener 生态位宽度大 ($B > 1.300$) 的长叶扭藓和斜蒴对叶藓在 4 种生境中均有分布。在 3 种生境中有分布的苔藓植物有 4 种 ($0.800 < B < 1.300$),其中,拟金发藓和对叶藓 [*Distichium capillaceum* (Hedw.) Bruch et Schimp.] 分布在沼泽、土面和岩隙,灰藓分布在沼泽、岩面和岩隙,黑对齿藓分布在土面、岩面和岩隙。在 2 种生境中有分布的苔藓植物有 5 种 ($0.300 < B < 0.800$),其中,折叶扭藓和圆蒴连轴藓 [*Schistidium apocarpum* (Hedw.) Bruch et Schimp.] 分布在土面和岩面,剑叶大帽藓 (*Encalypta spathulate* Müll. Hal.) 分布在沼泽和岩隙,粗疣连轴藓 [*Schistidium strictum* (Turner) Loeske ex Mårtensson] 分布在沼泽和岩面,拟木灵藓 (*Orthotrichum affine* Brid.) 分布在岩面和岩隙。Shannon-Wiener 生态位宽度为 0.000 的苔藓植物有 29 种,这些种类出现的频度小,分散分布在单一的生境中,其中,大曲背藓、东亚泽藓 [*Philonotis turneriana* (Schwägr.) Mitt.]、沼泽皱蒴藓 [*Aulacomnium androgynum* (Hedw.) Schwägr.]、长尖对齿藓 [*Didymodon ditrichoides* (Broth.) X. J. Li et S. He] 和弯叶灰藓 (*Hypnum hamulosum* Schimp.) 仅分布在沼泽中,西藏大帽藓 (*Encalypta tibetana* Mitt.)、大丝瓜藓 (*Pohlia elongata* Hedw.)、丛生真藓 (*Bryum caespitium* Hedw.) 和灰黄真藓 (*Bryum pallens* Sw.) 仅分布在土面中,南欧紫萼藓、黑色紫萼藓 (*Grimmia atrata* Miel. ex Hornsch.)、山赤藓 [*Syntrichia ruralis* (Hedw.) F. Weber et D. Mohr]、真藓 (*Bryum argenteum* Hedw.)、厚边紫萼藓 (*Grimmia unicolor* Hook.)、灰土对齿藓 [*Didymodon*

表 1 天山一号冰川冰缘区 4 种生境苔藓植物的重要值和 Shannon-Wiener 生态位宽度
Table 1 The importance value and Shannon-Wiener niche breadth of bryophytes in four habitats in periglacial region of Glacier No. 1 of Tianshan Mountains

科 Family	属 Genus	种 Species	重要值 Importance value					B ¹⁾
			沼泽 Swamp	土面 Soil	岩面 Rock	岩隙 Clint	总计 Total	
丛藓科 Pottiaceae	扭藓属 <i>Tortella</i>	长叶扭藓 <i>Tortella tortuosa</i>	0.118	0.195	0.118	0.084	0.515	1.339
对叶藓科 Distichiaceae	对叶藓属 <i>Distichium</i>	斜蒴对叶藓 <i>Distichium inclinatum</i>	0.119	0.156	0.055	0.078	0.408	1.313
丛藓科 Pottiaceae	扭藓属 <i>Tortella</i>	折叶扭藓 <i>Tortella fragilis</i>	0.000	0.326	0.035	0.000	0.361	0.321
曲尾藓科 Dicranaceae	曲背藓属 <i>Oncophorus</i>	大曲背藓 <i>Oncophorus virens</i>	0.243	0.000	0.000	0.000	0.243	0.000
对叶藓科 Distichiaceae	对叶藓属 <i>Distichium</i>	对叶藓 <i>Distichium capillaceum</i>	0.026	0.130	0.000	0.039	0.195	0.858
金发藓科 Polytrichaceae	拟金发藓属 <i>Polytrichastrum</i>	拟金发藓 <i>Polytrichastrum alpinum</i>	0.049	0.069	0.000	0.061	0.179	1.089
紫萼藓科 Grimmiaceae	紫萼藓属 <i>Grimmia</i>	南欧紫萼藓 <i>Grimmia tergestina</i>	0.000	0.000	0.169	0.000	0.169	0.000
大帽藓科 Encalyptaceae	大帽藓属 <i>Encalypta</i>	剑叶大帽藓 <i>Encalypta spatulata</i>	0.059	0.000	0.000	0.083	0.142	0.680
灰藓科 Hypnaceae	灰藓属 <i>Hypnum</i>	灰藓 <i>Hypnum cupressiforme</i>	0.052	0.000	0.035	0.039	0.126	1.084
紫萼藓科 Grimmiaceae	连轴藓属 <i>Schistidium</i>	粗疣连轴藓 <i>Schistidium strictum</i>	0.060	0.000	0.061	0.000	0.121	0.693
珠藓科 Bartramiaceae	泽藓属 <i>Philonotis</i>	东亚泽藓 <i>Philonotis turneriana</i>	0.119	0.000	0.000	0.000	0.119	0.000
丛藓科 Pottiaceae	对齿藓属 <i>Didymodon</i>	黑对齿藓 <i>Didymodon nigrescens</i>	0.000	0.021	0.035	0.060	0.116	1.014
木灵藓科 Orthotrichaceae	木灵藓属 <i>Orthotrichum</i>	拟木灵藓 <i>Orthotrichum affine</i>	0.000	0.000	0.071	0.039	0.110	0.650
灰藓科 Hypnaceae	灰藓属 <i>Hypnum</i>	卷叶灰藓 <i>Hypnum revolutum</i>	0.000	0.000	0.000	0.104	0.104	0.000
皱蒴藓科 Aulacomniaceae	皱蒴藓属 <i>Aulacomnium</i>	沼泽皱蒴藓 <i>Aulacomnium androgynum</i>	0.098	0.000	0.000	0.000	0.098	0.000
提灯藓科 Mnieceae	提灯藓属 <i>Mnium</i>	长叶提灯藓 <i>Mnium lycopodioides</i>	0.000	0.000	0.000	0.094	0.094	0.000
紫萼藓科 Grimmiaceae	连轴藓属 <i>Schistidium</i>	圆蒴连轴藓 <i>Schistidium apocarpum</i>	0.000	0.018	0.071	0.000	0.089	0.498
牛毛藓科 Ditrichaceae	牛毛藓属 <i>Ditrichum</i>	卷叶牛毛藓 <i>Ditrichum difficile</i>	0.000	0.000	0.000	0.078	0.078	0.000
紫萼藓科 Grimmiaceae	紫萼藓属 <i>Grimmia</i>	黑色紫萼藓 <i>Grimmia atrata</i>	0.000	0.000	0.071	0.000	0.071	0.000
丛藓科 Pottiaceae	赤藓属 <i>Syntrichia</i>	山赤藓 <i>Syntrichia ruralis</i>	0.000	0.000	0.070	0.000	0.070	0.000
真藓科 Bryaceae	真藓属 <i>Bryum</i>	真藓 <i>Bryum argenteum</i>	0.000	0.000	0.040	0.000	0.040	0.000
丛藓科 Pottiaceae	对齿藓属 <i>Didymodon</i>	反叶对齿藓 <i>Didymodon ferrugineus</i>	0.000	0.000	0.000	0.039	0.039	0.000
柳叶藓科 Amblystegiaceae	镰刀藓属 <i>Drepanocladus</i>	扭叶镰刀藓 <i>Drepanocladus revolvens</i>	0.000	0.000	0.000	0.039	0.039	0.000
金发藓科 Polytrichaceae	金发藓属 <i>Polytrichum</i>	金发藓 <i>Polytrichum commune</i>	0.000	0.000	0.000	0.038	0.038	0.000
真藓科 Bryaceae	真藓属 <i>Bryum</i>	细叶真藓 <i>Bryum capillare</i>	0.000	0.000	0.000	0.038	0.038	0.000
大帽藓科 Encalyptaceae	大帽藓属 <i>Encalypta</i>	西藏大帽藓 <i>Encalypta tibetana</i>	0.000	0.038	0.000	0.000	0.038	0.000
紫萼藓科 Grimmiaceae	紫萼藓属 <i>Grimmia</i>	厚边紫萼藓 <i>Grimmia unicolor</i>	0.000	0.000	0.035	0.000	0.035	0.000
丛藓科 Pottiaceae	对齿藓属 <i>Didymodon</i>	灰土对齿藓 <i>Didymodon tophaceus</i>	0.000	0.000	0.035	0.000	0.035	0.000
木灵藓科 Orthotrichaceae	木灵藓属 <i>Orthotrichum</i>	黄木灵藓 <i>Orthotrichum speciosum</i>	0.000	0.000	0.035	0.000	0.035	0.000
紫萼藓科 Grimmiaceae	连轴藓属 <i>Schistidium</i>	长齿连轴藓 <i>Schistidium trichodon</i>	0.000	0.000	0.035	0.000	0.035	0.000
丛藓科 Pottiaceae	墙藓属 <i>Tortula</i>	墙藓 <i>Tortula subulata</i>	0.000	0.000	0.000	0.034	0.034	0.000
丛藓科 Pottiaceae	对齿藓属 <i>Didymodon</i>	长尖对齿藓 <i>Didymodon ditrichoides</i>	0.031	0.000	0.000	0.000	0.031	0.000
灰藓科 Hypnaceae	灰藓属 <i>Hypnum</i>	弯叶灰藓 <i>Hypnum hamulosum</i>	0.027	0.000	0.000	0.000	0.027	0.000
紫萼藓科 Grimmiaceae	紫萼藓属 <i>Grimmia</i>	卵叶紫萼藓 <i>Grimmia ovalis</i>	0.000	0.000	0.026	0.000	0.026	0.000
青藓科 Brachytheciaceae	青藓属 <i>Brachythecium</i>	溪边青藓 <i>Brachythecium rivulare</i>	0.000	0.000	0.000	0.021	0.021	0.000
提灯藓科 Mnieceae	丝瓜藓属 <i>Pohlia</i>	大丝瓜藓 <i>Pohlia elongata</i>	0.000	0.019	0.000	0.000	0.019	0.000
提灯藓科 Mnieceae	提灯藓属 <i>Mnium</i>	平肋提灯藓 <i>Mnium laevinerve</i>	0.000	0.000	0.000	0.017	0.017	0.000
丛藓科 Pottiaceae	墙藓属 <i>Tortula</i>	无疣墙藓 <i>Tortula mucronifolia</i>	0.000	0.000	0.000	0.017	0.017	0.000
真藓科 Bryaceae	真藓属 <i>Bryum</i>	丛生真藓 <i>Bryum caespiticium</i>	0.000	0.015	0.000	0.000	0.015	0.000
真藓科 Bryaceae	真藓属 <i>Bryum</i>	灰真藓 <i>Bryum pallens</i>	0.000	0.014	0.000	0.000	0.014	0.000

¹⁾ B: Shannon-Wiener 生态位宽度 Shannon-Wiener niche breadth.

tophaceus (Brid.) Lisa]、黄木灵藓 (*Orthotrichum speciosum* Nees)、长齿连轴藓 [*Schistidium trichodon* (Brid.) Poelt] 和卵叶紫萼藓 [*Grimmia ovalis* (Hedw.) Lindb.] 仅分布在岩面中, 卷叶灰藓、长叶提灯藓 (*Mnium lycopodioides* Schwäegr.)、卷叶牛毛藓

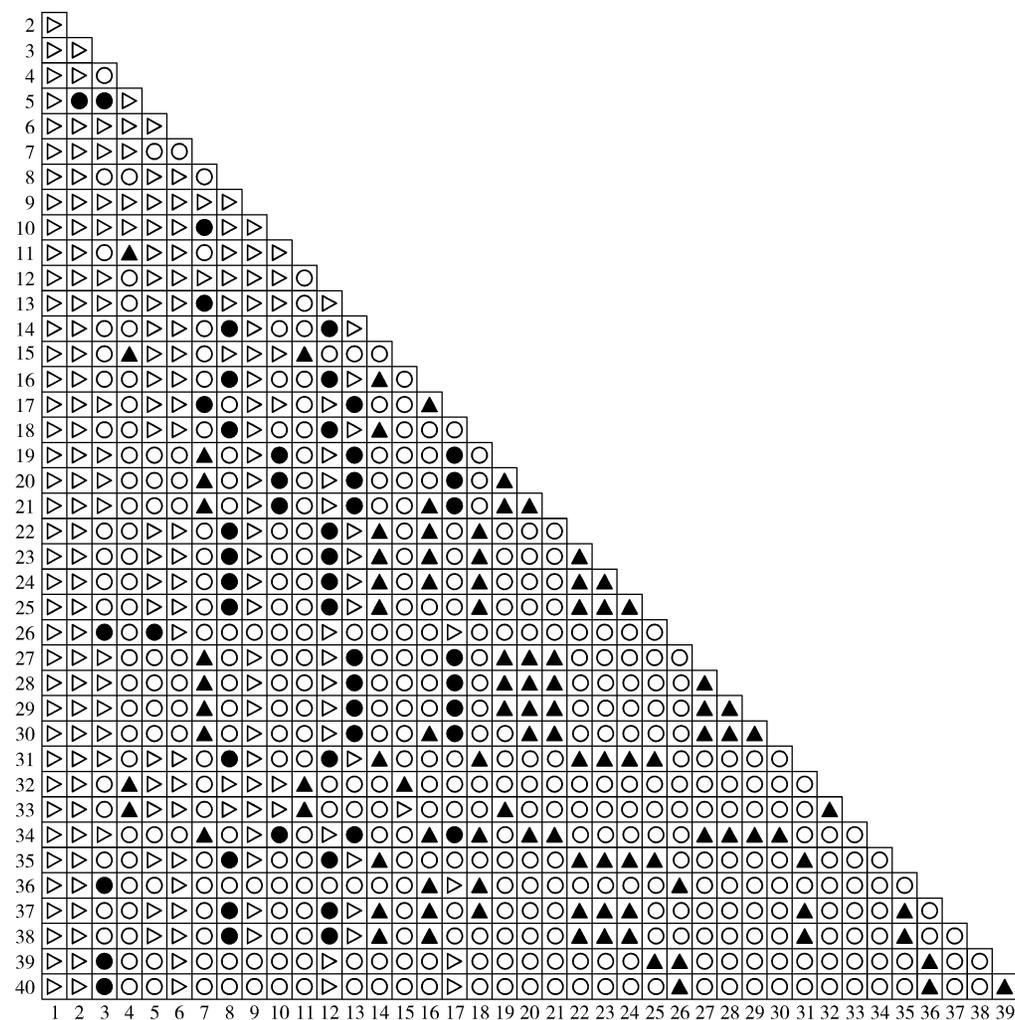
[*Ditrichum difficile* (Duby) M. Fleisch.]、反叶对齿藓 [*Didymodon ferrugineus* (Schimp. ex Besch.) M. O. Hill]、扭叶镰刀藓 [*Drepanocladus revolvens* (Sw.) Warnst.]、金发藓 (*Polytrichum commune* Hedw.)、细叶真藓 (*Bryum capillare* Hedw.)、墙藓 (*Tortula subulata*

Hedw.)、溪边青藓 (*Brachythecium rivulare* Schimp.)、平肋提灯藓 (*Mnium laevinerve* Cardot) 和无疣墙藓 (*Tortula mucronifolia* Schwäegr.) 仅分布在岩隙中。

2.3 生态位重叠分析

4 种生境下苔藓植物的 Pianka 生态位重叠值

(NOV) 见图 1。结果显示: 在 40 种苔藓组成的 780 个种对中, NOV=0.0 的种对有 406 个, 占总种对数的 52.1%, 种对间无生态位重叠; $0.0 < \text{NOV} < 0.5$ 的种对有 217 个, 占总种对数的 27.8%; $0.5 \leq \text{NOV} < 1.0$ 的种对有 53 个, 占总种对数的 6.8%; NOV = 1.0 的种对有



○: NOV=0.0; ▷: $0.0 < \text{NOV} < 0.5$; ●: $0.5 \leq \text{NOV} < 1.0$; ▲: NOV=1.0. NOV: Pianka 生态位重叠值 Pianka niche overlap value.

1: 长叶扭藓 *Tortella tortuosa* (Schrad. ex Hedw.) Limpr.; 2: 斜蒴对叶藓 *Distichium inclinatum* (Hedw.) Bruch et Schimp.; 3: 折叶扭藓 *Tortella fragilis* (Drumm.) Limpr.; 4: 大曲背藓 *Oncophorus virens* (Hedw.) Brid.; 5: 对叶藓 *Distichium capillaceum* (Hedw.) Bruch et Schimp.; 6: 拟金发藓 *Polytrichastrum alpinum* (Hedw.) G. L. Sm.; 7: 南欧紫萼藓 *Grimmia tergestina* Tomm. ex Bruch et Schimp.; 8: 剑叶大帽藓 *Encalypta spatulate* Müll. Hal.; 9: 灰藓 *Hypnum cupressiforme* Hedw.; 10: 粗疣连轴藓 *Schistidium strictum* (Turner) Loeske ex Mårtensson; 11: 东亚泽藓 *Philonotis turneriana* (Schwägr.) Mitt.; 12: 黑对齿藓 *Didymodon nigrescens* (Mitt.) K. Saito; 13: 拟木灵藓 *Orthotrichum affine* Brid.; 14: 卷叶灰藓 *Hypnum revolutum* (Mitt.) Lindb.; 15: 沼泽皱蒴藓 *Aulacomnium androgynum* (Hedw.) Schwäegr.; 16: 长叶提灯藓 *Mnium lycopodioides* Schwäegr.; 17: 圆蒴连轴藓 *Schistidium apocarpum* (Hedw.) Bruch et Schimp.; 18: 卷叶牛毛藓 *Ditrichum difficile* (Duby) M. Fleisch.; 19: 黑色紫萼藓 *Grimmia atrata* Miel. ex Hornsch.; 20: 山赤藓 *Syntrichia ruralis* (Hedw.) F. Weber et D. Mohr; 21: 真藓 *Bryum argenteum* Hedw.; 22: 反叶对齿藓 *Didymodon ferrugineus* (Schimp. ex Besch.) M. O. Hill; 23: 扭叶镰刀藓 *Drepanocladus revolvens* (Sw.) Warnst.; 24: 金发藓 *Polytrichum commune* Hedw.; 25: 细叶真藓 *Bryum capillare* Hedw.; 26: 西藏大帽藓 *Encalypta tibetana* Mitt.; 27: 厚边紫萼藓 *Grimmia unicolor* Hook.; 28: 灰土对齿藓 *Didymodon tophaceus* (Brid.) Lisa; 29: 黄木灵藓 *Orthotrichum speciosum* Nees; 30: 长齿连轴藓 *Schistidium trichodon* (Brid.) Poelt; 31: 墙藓 *Tortula subulata* Hedw.; 32: 长尖对齿藓 *Didymodon ditrichoides* (Broth.) X. J. Li et S. He; 33: 弯叶灰藓 *Hypnum hamulosum* Schimp.; 34: 卵叶紫萼藓 *Grimmia ovalis* (Hedw.) Lindb.; 35: 溪边青藓 *Brachythecium rivulare* Schimp.; 36: 大丝瓜藓 *Pohlia elongata* Hedw.; 37: 平肋提灯藓 *Mnium laevinerve* Cardot; 38: 无疣墙藓 *Tortula mucronifolia* Schwäegr.; 39: 丛生真藓 *Bryum caespiticium* Hedw.; 40: 灰黄真藓 *Bryum pallens* Sw.

图 1 天山一号冰川冰缘区 4 种生境苔藓植物的生态位重叠分析

Fig. 1 Analysis on niche overlap of bryophytes in four habitats in periglacial region of Glacier No. 1 of Tianshan Mountains

104 个, 占总种对数的 13.3%。其中, Shannon-Wiener 生态位宽度较大的长叶扭蘚和斜蒴对叶蘚与其他蘚类的 Pianka 生态位重叠值基本小于 0.5, 说明这 2 种苔蘚植物与其他苔蘚植物的生态位重叠小。此区域内, 分布在同一种生境的苔蘚植物表现出高度的生态位重叠现象。

聚类分析结果(图 2)显示: 在欧氏距离 4.0 处, 天山一号冰川冰缘区 40 种苔蘚植物可分为 5 个

类群。

类群 I 包括平肋提灯蘚、无疣墙蘚、长叶提灯蘚、卷叶牛毛蘚、溪边青蘚、墙蘚、细叶真蘚、扭叶镰刀蘚、反叶对齿蘚、卷叶灰蘚和金发蘚 11 种。该类群的苔蘚植物 Shannon-Wiener 生态位宽度为 0.000, 仅分布在岩隙中。

类群 II 包括圆蒴连轴蘚、真蘚、长齿连轴蘚、卵叶紫萼蘚、南欧紫萼蘚、黑色紫萼蘚、厚边紫萼蘚、灰土

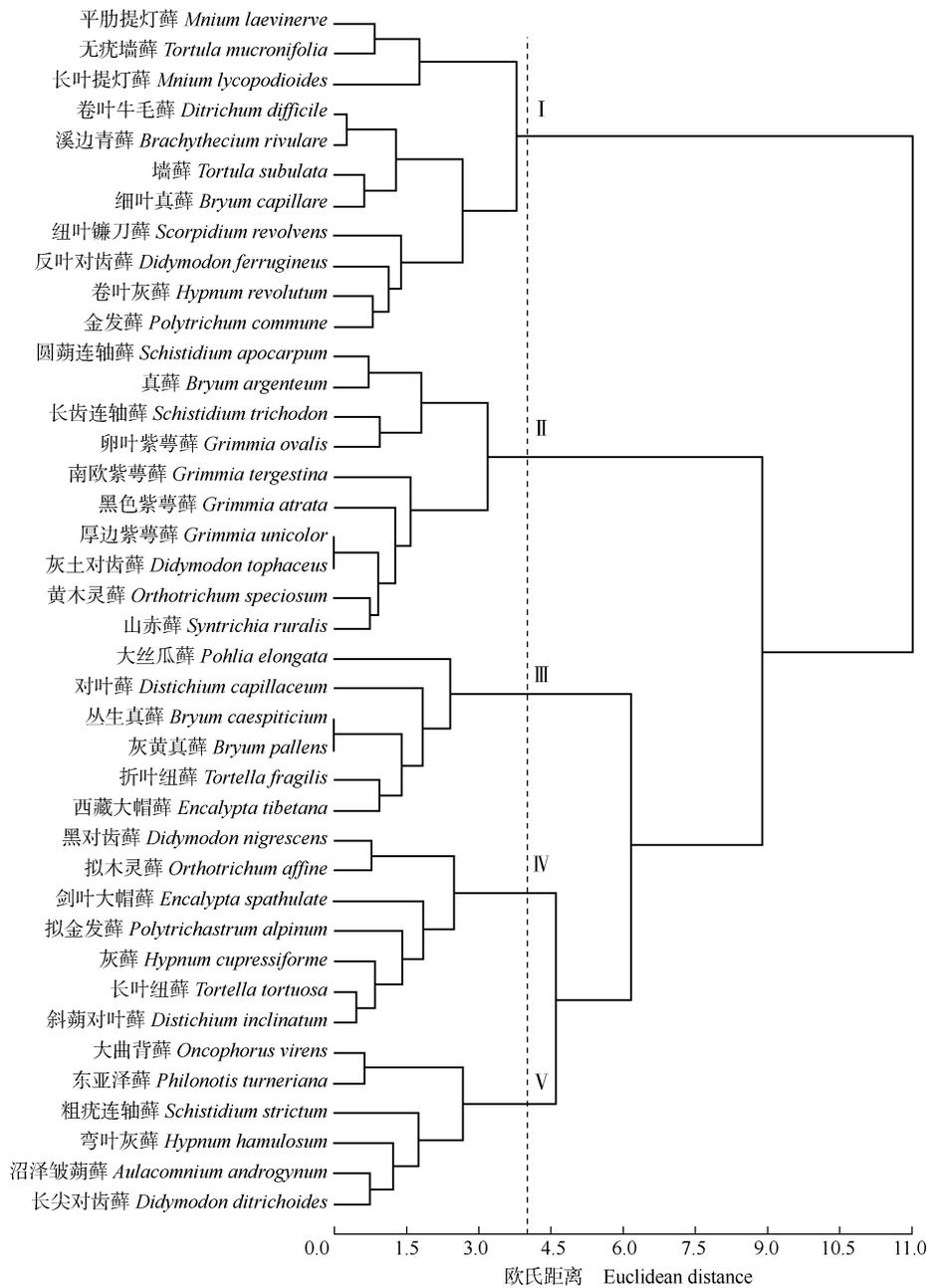


图 2 基于 Pianka 生态位重叠值的天山一号冰川冰缘区 40 种苔藓植物的聚类分析

Fig. 2 Clustering analysis on 40 bryophytes in periglacial region of Glacier No. 1 of Tianshan Mountains based on Pianka niche overlap value

对齿藓、黄木灵藓和山赤藓 10 种。该类群的苔藓植物除圆蒴连轴藓 (Shannon - Wiener 生态位宽度为 0.498) 分布在土面和岩面中外, 其他种类 Shannon - Wiener 生态位宽度为 0.000, 仅分布在岩面中。

类群 III 包括大丝瓜藓、对叶藓、丛生真藓、灰黄真藓、折叶扭藓和西藏大帽藓 6 种。该类群苔藓植物均在土面中有分布, 折叶扭藓 (Shannon - Wiener 生态位宽度为 0.321) 在岩面中也有分布, 对叶藓 (Shannon - Wiener 生态位宽度为 0.858) 在沼泽和岩隙也有分布。

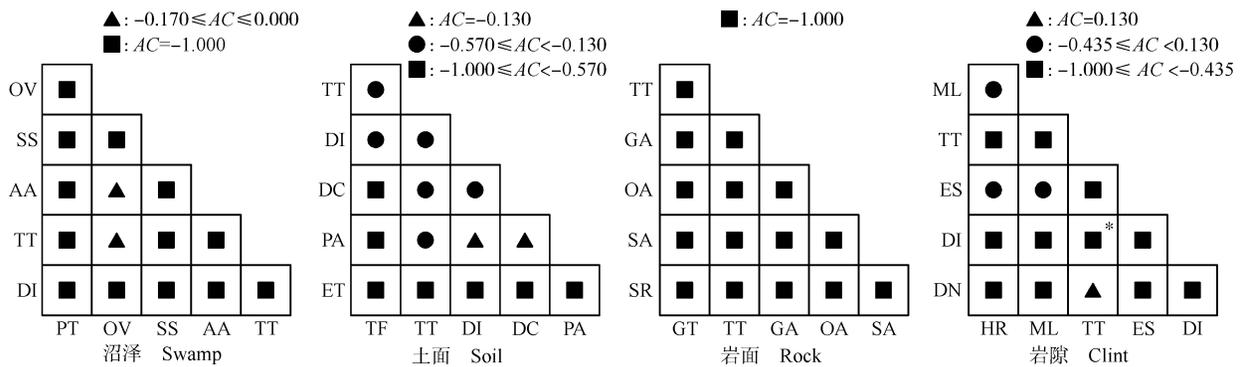
类群 IV 包括黑对齿藓、拟木灵藓、剑叶大帽藓、拟金发藓、灰藓、长叶扭藓和斜蒴对叶藓 7 种。该类群

的苔藓植物广泛分布在海拔 3 500 ~ 3 600 m 的多种生境, Shannon - Wiener 生态位宽度均大于或等于 0.650。

类群 V 包括大曲背藓、东亚泽藓、粗疣连轴藓、弯叶灰藓、沼泽皱蒴藓和长尖对齿藓 6 种, 除粗疣连轴藓 (Shannon - Wiener 生态位宽度为 0.693) 分布在沼泽和岩面中, 其他种类 Shannon - Wiener 生态位宽度为 0.000, 仅分布在沼泽中。

2.4 种间联结性分析

天山一号冰川冰缘区各生境中重要值排名前 6 的苔藓植物分别组成 15 个种对, 种间联结性分析见图 3。



OV: 大曲背藓 *Oncophorus virens* (Hedw.) Brid.; SS: 粗疣连轴藓 *Schistidium strictum* (Turner) Loeske ex Mårtensson; AA: 沼泽皱蒴藓 *Aulacomnium androgynum* (Hedw.) Schwäegr.; TT: 长叶扭藓 *Tortella tortuosa* (Schrad. ex Hedw.) Limpr.; DI: 斜蒴对叶藓 *Distichium inclinatum* (Hedw.) Bruch et Schimp; PT: 东亚泽藓 *Philonotis turneriana* (Schwägr.) Mitt.; DC: 对叶藓 *Distichium capillaceum* (Hedw.) Bruch et Schimp.; PA: 拟金发藓 *Polytrichastrum alpinum* (Hedw.) G. L. Sm.; ET: 西藏大帽藓 *Encalypta tibetana* Mitt.; TF: 折叶扭藓 *Tortella fragilis* (Drumm.) Limpr.; GA: 黑色紫萼藓 *Grimmia atrata* Miel. ex Hornsch.; OA: 拟木灵藓 *Orthotrichum affine* Brid.; SA: 圆蒴连轴藓 *Schistidium apocarpum* (Hedw.) Bruch et Schimp.; SR: 山赤藓 *Syntrichia ruralis* (Hedw.) F. Weber et D. Mohr; GT: 南欧紫萼藓 *Grimmia tergestina* Tomm. ex Bruch et Schimp.; ML: 长叶提灯藓 *Mnium lycopodioides* Schwäegr.; ES: 剑叶大帽藓 *Encalypta spathulate* Müll. Hal.; DN: 黑对齿藓 *Didymodon nigrescens* (Mitt.) K. Saito; HR: 卷叶灰藓 *Hypnum revolutum* (Mitt.) Lindb. AC: 联结系数 Association coefficient. *: $P \leq 0.05$.

图3 天山一号冰川冰缘区 4 种生境中主要苔藓植物的种间联结性分析

Fig. 3 Analysis on interspecific association of dominant bryophytes in four habitats in periglacial region of Glacier No. 1 of Tianshan Mountains

结果显示: 从种间联结系数 (AC) 看, 沼泽中, $-0.170 \leq AC \leq 0.000$ 的种对有 2 个, 占总种对数的 13.3%; 另外 13 个种对 AC 值均为 -1.000, 负联结程度高, 占总种对数的 86.7%, 总体上种对间呈负联结。土面中, $AC = -0.130$ 的种对有 2 个, 占总种对数的 13.3%; $-0.570 \leq AC < -0.130$ 的种对有 6 个, 占总种对数的 40.0%, $-1.000 \leq AC < -0.570$ 的种对有 7 个, 占总种对数的 46.7%, 种对间呈负联结, 折叶扭藓与长叶扭藓和斜蒴对叶藓均为显著负关联。

岩面中, 15 个种对的 AC 值均为 -1.000, 种间呈负联结。岩隙中, $AC = 0.130$ 的种对有 1 个, 占总种对数的 6.7%; $-0.435 \leq AC < 0.130$ 的种对有 3 个, 占总种对数的

3 讨论和结论

3.1 4 种生境苔藓植物的物种组成和相似性

天山一号冰川冰缘区未见苔类植物, 发现了 40 种藓类植物。优势科为丛藓科, 优势属为紫萼藓属。岩隙中分布的物种数最多, 科、属丰富度最高。岩面

中分布的物种数次于岩隙,但科、属丰富度较低。总体而言,4种生境苔藓群落的相似性程度不高,Sørensen相似性系数均小于0.4,其中,沼泽与岩隙共有种较多且相似性最高,仅达到0.364。冰缘区优势种为长叶扭藓和斜蒴对叶藓,但每个生境中的优势种则不同,大曲背藓为沼泽优势种,折叶扭藓为土面优势种,南欧紫萼藓为岩面优势种,卷叶灰藓为岩隙优势种。说明不同生境苔藓群落物种组成不同,生境过滤在冰缘区苔藓植物群落构建过程中发挥重要作用。

3.2 苔藓植物的生态位

物种 Shannon-Wiener 生态位宽度(B)反映了物种对环境的生态适应性,生态位宽度越宽,利用资源的能力越强,对环境的适应能力越强^[21]。在天山一号冰川冰缘区,长叶扭藓(B值为1.339)和斜蒴对叶藓(B值为1.313)的生态位宽度大,广泛分布于4种生境。研究结果显示:这2种苔藓植物叶片在吸收水分、反射强光和抵御寒冷等方面具有更好的适应性^[9,10,12,22,23]。因此,在天山一号冰川高海拔的寒旱环境中,长叶扭藓和斜蒴对叶藓能充分利用生境中的资源形成稳定的种群;而 Shannon-Wiener 生态位宽度为0.000的29种苔藓植物,对资源的利用能力小,仅在单一的生境中分布。可见,不同物种在生态位宽度上表现出对资源利用能力的差异,既是生境筛选的结果,也是物种长期适应环境的结果^[1]。

生态位重叠值大小反映物种之间利用资源的相似程度^[24]或是在生态因子联系上的相似性^[25]。分布于天山一号冰川冰缘区的40种苔藓植物间有52.1%的种对不存在生态位重叠,生态位宽度大的物种间生态位重叠值小,而生态位宽度小(Shannon-Wiener生态位宽度为0.000)的物种与其他物种间却有较大的生态位重叠。例如:Shannon-Wiener生态位宽度较大的长叶扭藓和斜蒴对叶藓与其他苔藓植物的Pianka生态位重叠值基本小于0.5,而 Shannon-Wiener生态位宽度为0.000的物种与同一生境中的苔藓植物有较大的生态位重叠,如沼泽中的优势种大曲背藓与在沼泽有分布的拟金发藓、对叶藓、灰藓、剑叶大帽藓和粗疣连轴藓的Pianka生态位重叠值在0.0~0.5之间,与仅在沼泽中分布的东亚泽藓、沼泽皱蒴藓、长尖对齿藓和弯叶灰藓的Pianka生态位重叠值为1.0。研究发现,随着冰川消融,苔藓植物会随着冰川的消融在水流和风的作用下扩散到适宜的生境中,苔藓不断改变栖息地,在某一生境的消失是由

于生境变化的缘故^[26],与群落的演替阶段没有明显的关系^[27]。冰缘带地表大量大小不一的碎石砾堆叠为苔藓植物的定居和生长提供了“安全岛”^[28],夏季气温升高,在生境筛选作用下干燥的岩面具有抗旱性的苔藓植物得以保留,地势低洼、水流积聚的土面和沼泽以及岩石堆叠形成的潮湿岩隙都有稳定的水源补给,即使物种间有生态位重叠,生境中充足的水分依然能保证群落中个体的需求。因此,冰缘区苔藓植物生长期内充裕的水分资源,使资源利用相似的物种得以共存。

3.3 苔藓植物种间联结

种间联结是指不同物种在空间分布上的相互关联性,是物种在不同生境中相互联系和相互影响的综合反映,通常是由于群落生境的差异影响了物种分布引起的,表示种间相互吸引或排斥的性质^[23]。总体上看,天山一号冰川冰缘区4种生境中主要苔藓植物种间呈负关联,冰缘区苔藓植物物种独立性较强,种间依赖程度弱。这可能是由于对于冰缘区这种胁迫程度最前端的生境,植物种类需具有足够的环境耐受力才可能生存,种间协作共存作用的效果并不显著^[27];此外,小生境中作为限制因子的水资源丰富,足以保证群落中苔藓植物生长的需求,不存在竞争排斥。研究表明:竞争排斥理论不适用于苔藓植物^[28,29],苔藓的分布特征不是种间竞争的结果,可能与定居的先后顺序有关^[26]。因此,推测冰缘区苔藓植物群落的种间关系和群落构建是植物随机扩散和生境筛选的综合作用。

综上所述,天山一号冰川冰缘区仅发现40种藓类植物。沼泽、土面、岩面和岩隙中的优势种分别为大曲背藓、折叶扭藓、南欧紫萼藓和卷叶灰藓。4种生境苔藓植物群落物种组成不同,群落的相似性程度不高。冰缘区多数苔藓植物的生态位较窄,多集中分布在单一生境;生态位较宽的长叶扭藓和斜蒴对叶藓的环境适应能力强,广布于4种生境。冰缘区苔藓植物生态位重叠现象不普遍,种间呈负关联,种间呈独立分布。

参考文献:

- [1] 牛克昌,储诚进,王志恒.动态生态位:构建群落生态学理论的新框架[J].中国科学:生命科学,2022,52(3):403-417.
- [2] 陈玉凯,杨琦,莫燕妮,等.海南岛霸王岭国家重点保护植物的生态位研究[J].植物生态学报,2014,38(6):576-584.
- [3] 吴霖东,李婷婷,傅国林,等.极小种群野生植物浙江安息的香

- 生态位和种间关系[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2020, 46(4): 459-474.
- [4] 朱耿平, 刘国卿, 卜文俊, 等. 生态位模型的基本原理及其在生物多样性保护中的应用[J]. 生物多样性, 2013, 21(1): 90-98.
- [5] 刘雨薇, 田伊林, 张振兴, 等. 冰川及雪线后退对河流水生生物影响的研究进展[J]. 生态科学, 2019, 38(6): 199-207.
- [6] WIETRZYK P, WEGRZYŃ M, LISOWSKA M. Vegetation diversity and selected abiotic factors influencing the primary succession process on the foreland of Gåsbreen, Svalbard [J]. Polish Polar Research, 2016, 37(4): 493-509.
- [7] WIETRZYK P, ROLA K, OSYDZKA P, et al. The relationships between soil chemical properties and vegetation in the aspect of changes of distance from the glacier foreland and time elapsed after glacier retreat in the Irenebreen foreland (NW Svalbard) [J]. Plant Soil, 2018, 428: 195-211.
- [8] 李宇宁, 张瑞蕊, 剡文莉, 等. 天山一号冰川前沿生态系统真菌群落结构演替及分布格局[J]. 微生物学报, 2018, 58(12): 2134-2146.
- [9] 杨 扬, 陈建国, 宋 波, 等. 青藏高原冰缘植物多样性与适应机制研究进展[J]. 科学通报, 2019, 64(27): 2856-2864.
- [10] 王 虹, 姜彦成, 苏 俊. 一号冰川地区4种藓类植物的解剖学研究[J]. 植物研究, 2008, 28(1): 25-27.
- [11] 曾 健, 吴玉环, 王 虹, 等. 新疆天山一号冰川地区十种藓类植物叶尖的微形态观察[J]. 植物研究, 2015, 35(5): 672-678.
- [12] 陈秋艳, 王 虹. 新疆天山一号冰川10种真藓属植物叶片结构的研究[J]. 植物研究, 2016, 36(6): 818-826.
- [13] 王 虹, 路 雄, 陈秋艳. 新疆天山一号冰川地区12种藓类植物叶形态结构研究[J]. 植物科学学报, 2017, 35(1): 21-29.
- [14] 袁祯燕, 王 虹, 王 凯. 冰缘区藓类植物叶中肋细胞生态适应性分析[J]. 植物研究, 2019, 39(6): 817-825.
- [15] 章家恩, 胡双熙. 高山冰川前缘地带景观生态的发育与演替: 以天山1号冰川前缘为例[J]. 干旱区研究, 1997, 14(4): 38-43.
- [16] 刘光绣, 李师翁, 伍修锬, 等. 天山乌鲁木齐河源1号冰川退缩地植物群落演替规律及机理研究[J]. 冰川冻土, 2012, 34(5): 1134-1141.
- [17] 郭水良, 于 晶, 陈国奇. 生态学数据分析: 方法、程序与软件[M]. 北京: 科学出版社, 2015: 5-63.
- [18] 王伯荪. 植物群落学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1987: 54.
- [19] 拜合提妮萨·依明, 李作森, 艾尼瓦尔·吐米尔. 天山一号冰川岩面生地衣群落主要种群生态位特征的研究[J]. 干旱区资源与环境, 2022, 36(1): 159-167.
- [20] 张金屯. 数量生态学[M]. 2版. 北京: 科学出版社, 2011: 100-115.
- [21] 张天汉, 代 玉, 王智慧, 等. 贵州关岭县喀斯特峰丛石漠区苔藓群落生态特征[J]. 中国岩溶, 2014, 33(2): 192-200.
- [22] 王 虹, 艾菲热·阿布都艾尼. 乌鲁木齐河源区12种藓类植物叶尖的微形态结构[J]. 西北植物学报, 2016, 36(2): 323-331.
- [23] 王 虹, 逯永满, 王剑虹, 等. 新疆5种丛藓科植物的解剖学研究[J]. 植物科学学报, 2014, 32(1): 8-13.
- [24] 王 刚, 赵松岭, 张鹏云, 等. 关于生态位定义的探讨及生态位重叠计测公式改进的研究[J]. 生态学报, 1984, 4(2): 119-127.
- [25] 徐晟翀, 曹 同, 于 晶, 等. 上海市树附生苔藓植物生态位[J]. 生态学杂志, 2006, 25(11): 1338-1343.
- [26] 郭水良, 曹 同. 苔藓植物生态学研究[J]. 浙江师大学报(自然科学版), 2000, 23(3): 291-296.
- [27] DICKSON J H, JOHNSON R E. Mosses and the beginning of plant succession on the Walker Glacier, southeastern Alaska [J]. Lindbergia, 2014, 37: 60-65.
- [28] ARI I, HENRY V, KIM G M, et al. Characterization of "safe sites" for pioneers in primary succession on recently deglaciated terrain [J]. Journal of Ecology, 1998, 87(1): 98.
- [29] 范鹏振, 王雪颖, 胡永春, 等. 宝天曼自然保护区不同基质上苔藓植物优势种的种间联结研究[J]. 河南科学, 2018, 36(9): 1376-1382.

(责任编辑: 郭严冬)