

# 新疆米泉哈熊沟林场地面生地衣群落 物种多样性及环境影响因子分析

答悦, 侯茜榕, 徐硕, 艾尼瓦尔·吐米尔<sup>①</sup>  
(新疆大学生命科学与技术学院, 新疆 乌鲁木齐 830017)

**摘要:** 为了探明新疆米泉哈熊沟林场地面生地衣群落的物种多样性及环境影响因子, 对该林场海拔 1 600~2 000 m 区域的地面生地衣群落物种组成进行了调查, 并以盖度为指标, 应用除趋势对应分析(DCA)和双向指示种分析(TWINSPAN)法对该林场地面生地衣群落进行了数量分类; 在此基础上, 分析了各群丛的物种多样性和相似性, 并应用典范对应分析(CCA)法探究了影响该林场地面生地衣群落种类分布的环境因子。结果表明: 在调查区域内共鉴定出 29 种地面生地衣, 隶属于 5 科 9 属; 在科水平上, 地卷科(Peltigeraceae)和石蕊科(Cladoniaceae)种类较多, 分别有 11 和 10 种; 在属水平上, 石蕊属(*Cladonia* P. Browne)和地卷属(*Peltigera* Willd.)种类较多, 均为 10 种。数量分类结果表明: 调查区域内的地面生地衣群落可分成 4 个群丛, 即土星猫耳衣+竖石蕊+雀石蕊群丛(Ass. *Leptogium saturninum*+*Cladonia firma*+*Cladonia stellaris*) (群丛 1)、砖孢胶衣+竖石蕊+伴藓大孢衣群丛(Ass. *Collema subconveniens*+*Cladonia firma*+*Physconia muscigena*) (群丛 2)、鸡冠胶耳衣+喇叭粉石蕊+尖头石蕊群丛(Ass. *Lathagrium cristatum*+*Cladonia chlorophaea*+*Cladonia subulata*) (群丛 3)和犬地卷+雀石蕊+尖头石蕊群丛(Ass. *Peltigera canina*+*Cladonia stellaris*+*Cladonia subulata*) (群丛 4), 分别包含 19、26、23 和 18 种地面生地衣。群丛 2 和群丛 3 的 Shannon-Wiener 多样性指数、Patrick 丰富度指数和 Pielou 均匀度指数明显高于群丛 1 和群丛 4; 群丛 2 与群丛 4 间的 Sørensen 相似性指数和 Jaccard 相似性指数均最大, 分别为 0.450 和 0.782。CCA 排序结果显示: 前 3 个排序轴的累计贡献率为 76.2%, 3 个排序轴种类分布与环境因子的相关系数分别为 0.948、0.917 和 0.844, 说明排序结果能准确反映地面生地衣群落种类分布与环境因子的关系。9 个环境因子中, 郁闭度对地面生地衣种类分布的影响最大, 光照度次之。研究结果显示: 新疆米泉哈熊沟林场地面生地衣群落物种丰富度较低, 不同群丛的物种多样性和相似性存在一定差异; 郁闭度和光照度是影响该林场地面生地衣种类分布的重要环境因子。

**关键词:** 新疆米泉哈熊沟林场; 地面生地衣群落; 物种多样性; 环境影响因子; 典范对应分析(CCA)

中图分类号: Q948.1; Q949.34 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2023)04-0063-10  
DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2023.04.07

**Analyses on species diversity and environmental impact factors of floor lichen community in Miquan Haxiongou Forest Farm of Xinjiang** ZAN Yue, HOU Xirong, XU Shuo, Anwar TUMUR (College of Life Science and Technology, Xinjiang University, Urumqi 830017, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2023, 32(4): 63-72

**Abstract:** In order to figure out the species diversity and environmental impact factors of floor lichen community in Miquan Haxiongou Forest Farm of Xinjiang, the species composition of floor lichen community at an altitude of 1 600-2 000 m in this forest farm was investigated, and the numerical classification was performed for floor lichen community in this forest farm by using detrended correspondence analysis (DCA) and two-way indicator species analysis (TWINSPAN) methods via

收稿日期: 2023-02-28

基金项目: 国家自然科学基金项目(31660009); 新疆大学 2021 年校级大学生创新训练计划项目(XJU-SRT-21051)

作者简介: 答悦(2000—), 女, 陕西宝鸡人, 本科, 主要从事资源植物研究。

<sup>①</sup>通信作者 E-mail: anwartumursk@xju.edu.cn

引用格式: 答悦, 侯茜榕, 徐硕, 等. 新疆米泉哈熊沟林场地面生地衣群落物种多样性及环境影响因子分析[J]. 植物资源与环境学报, 2023, 32(4): 63-72.

taking coverage as an index; on the basis, species diversity and similarity of each association were analyzed, and the environmental factors affecting species distribution of floor lichen community in this forest farm were investigated by using canonical correspondence analysis (CCA) method. The results show that a total of 29 species of floor lichens are identified in the investigation region, belonging to 9 genera of 5 families. At the family level, the species in Peltigeraceae and Cladoniaceae are relatively abundant, which are 11 and 10 species, respectively; at the genus level, the species in *Cladonia* P. Browne and *Peltigera* Willd. are relatively abundant, which are both 10 species. The numerical classification results show that the floor lichen community in the investigation region can be divided into 4 associations, namely Ass. *Leptogium saturninum* + *Cladonia firma* + *Cladonia stellaris* (Ass. 1), Ass. *Collema subconveniens* + *Cladonia firma* + *Physconia muscigena* (Ass. 2), Ass. *Lathagrium cristatum* + *Cladonia chlorophaea* + *Cladonia subulata* (Ass. 3), and Ass. *Peltigera canina* + *Cladonia stellaris* + *Cladonia subulata* (Ass. 4), which contain 19, 26, 23, and 18 species of floor lichens, respectively. Shannon-Wiener diversity index, Patrick richness index, and Pielou evenness index of Ass. 2 and Ass. 3 are evidently higher than those of Ass. 1 and Ass. 4; Sørensen similarity index and Jaccard similarity index between Ass. 2 and Ass. 4 are both the highest, which are 0.450 and 0.782, respectively. The CCA ordination result shows that the cumulative contribution rate of the first three ordination axes is 76.2%, and the correlation coefficients between species distribution of the three ordination axes and environmental factors are 0.948, 0.917, and 0.844, respectively, indicating that the ordination result can accurately reflect the relationships between species distribution of floor lichen community and environmental factors. Among 9 environmental factors, the influence of canopy density on species distribution of floor lichens is the largest, followed by illuminance. It is suggested that the species richness of floor lichen community in Miqan Haxiongou Forest Farm of Xinjiang is relatively low, and there are some differences in species diversity and similarity among different associations; canopy density and illuminance are the key environmental factors affecting the species distribution of floor lichen in this forest farm.

**Key words:** Miqan Haxiongou Forest Farm of Xinjiang; floor lichen community; species diversity; environmental impact factor; canonical correspondence analysis (CCA)

目前,全世界生物多样性保护和自然保护区建设主要针对热点物种,导致许多生物种类被忽视且没有得到有效保护,造成这些物种的多样性减小甚至丧失。因此,维持这些物种的多样性是全世界生物多样性及自然保护的一个重大挑战<sup>[1]</sup>。

地衣形体矮小、结构简单,不能直接为人类带来可观的经济效益,通常得不到人们的关注。然而,地衣结构特殊,具有独特的生态价值和生态功能,在各种生态系统中具有重要作用<sup>[2]</sup>。因此,地衣多样性保护至关重要,对全世界生物多样性保护和可持续利用具有重要意义。近年来,受全球人口数量迅速增长、生态环境破坏和环境污染日益加剧的影响,地衣的栖息地遭到不同程度破坏,物种多样性下降明显<sup>[3]</sup>。为了了解不同地区地衣的分布现状和特征,并为制定有效的保护措施提供基础研究数据,国内外众多学者采用多种群落数量分类和排序方法对地衣物种多样性、群落结构特征、物种分布格局等进行研究<sup>[4-9]</sup>,发现海拔、空气湿度、光照强度、土壤 pH 值、坡度、坡向、人为干扰类型及程度、基物(土壤、树皮、岩石等)理化性质、岩石类型等均可影响地衣群落的

物种多样性和群落结构<sup>[10-16]</sup>。

地面生地衣是陆地生态系统中的重要组成部分,在维持生态系统功能上发挥重要作用<sup>[17-19]</sup>,是评价地区生态系统稳定性和环境变化的理想指示生物之一。相关研究结果表明:地面生地衣有助于土壤的形成和稳定,并且能够在生态系统早期演替过程中发挥重要作用,利于植被的生长和演替。例如:死亡的地面生地衣可为生态系统中土壤的形成提供有机物<sup>[17]</sup>;在干旱和半干旱区,地面生地衣是土壤生物结皮的主要成员之一,能够分布在干旱、营养贫瘠、高酸性和高盐等非生物胁迫环境以及不利于高等植物生长的环境中,在保持土壤肥力、改善土壤微环境、促进土壤物质循环等方面发挥重要作用<sup>[20]</sup>。另外,由于地面生地衣对生长基质和环境稳定性具有特殊要求,其对各种环境干扰高度敏感,可作为森林生态系统稳定性和连续性的指示物种<sup>[21-22]</sup>。<sup>[23]</sup>1-20。

新疆地区的岩面生地衣群落占有明显优势,其物种多样性最为丰富;其次为树附生和朽木生地衣群落,而地面生地衣群落种类较少<sup>[15-16]</sup>。米泉哈熊沟林场交通便利、环境优美,深受游客青睐。近年来,随

着当地游客人数剧增,米泉哈熊沟林场的植被受到一定程度的人为干扰,植被出现明显退化。近5年来,笔者所在研究团队在对该地区地衣资源进行调查时发现,米泉哈熊沟林场居民区周围和游客活动集中区域的山前草原及海拔较低的森林带等地的地衣种类锐减,部分地衣种类甚至已经消失<sup>[24-25]</sup>。因此,探明米泉哈熊沟林场地衣资源现状对于该地区加强地衣物种多样性保护以及建立森林生态系统生物监测体系具有重要的参考价值。

鉴于此,笔者对米泉哈熊沟林场海拔1 600~2 000 m区域地面生地衣群落的物种组成、数量分类、物种多样性和相似性及环境影响因子进行了研究,以期进一步了解该地区地面生地衣资源现状,为该地区地衣群落物种多样性保护策略制定以及利用地衣长期监测该地区生态系统稳定性和变化提供基础研究资料。

## 1 研究区概况和研究方法

### 1.1 研究区概况

米泉哈熊沟林场位于新疆天山东部、博格达山西端,距离乌鲁木齐市约70 km,具体地理坐标为东经87°49'17"~88°07'28"、北纬43°38'06"~43°54'30"。该区域年均温2.55℃,无霜期98.4 d,空气相对湿度70%~85%,年均降水量443.9 mm(主要集中在每年的4月至9月),年均蒸发量1 439 mm。该地区气候属大陆性干旱气候,植被类型以针叶林为主,乔木种类以雪岭云杉(*Picea schrenkiana* Fisch. et Mey.)为

主<sup>[24-25]</sup>,在河谷中伴有密叶杨(*Populus talassica* Kom.)和欧洲山杨(*P. tremula* Linn.),零星分布有西伯利亚落叶松(*Larix sibirica* Ledeb.)、天山桦(*Betula tianschanica* Rupr.)、疣枝桦(*Betula pendula* Roth.)等乔木,宽刺蔷薇(*Rosa platyacantha* Schrenk)、绣线菊(*Spiraea salicifolia* Linn.)等灌木,以及天山大黄(*Rheum wittrockii* Lundstr.)、毛茛(*Ranunculus japonicus* Thunb.)、天山扭藿香(*Lophanthus schrenkii* Levin.)等草本植物,并且,植被主要分布在海拔1 400~2 800 m区域。

### 1.2 研究方法

1.2.1 野外调查 根据植被类型和不同程度人为干扰,在林场内海拔1 600~2 000 m区域随机设置20个面积20 m×20 m的样点,采集各样点内野外无法准确鉴定的地面生地衣标本,调查统计各样点内地面生地衣的种类、盖度和频度<sup>[26-27]</sup>。同时,使用eTrex Vista C手持式GPS仪(美国Garmin公司)记录样点的经度、纬度和海拔,使用优利德UT383S分体式数字照度计[优利德科技(中国)股份有限公司]检测样点的光照度,使用希玛AS847手持式温湿度计(深圳市吉格机电设备有限公司)检测样点的空气相对湿度,目测样点的郁闭度和人为干扰强度(没有任何干扰或干扰较小为无,偶尔放牧但无其他干扰为较小,经常放牧为中等,游客较多为较大,人类活动强度很大为最大),使用TY-TPH智能土壤pH测定仪(山东天研仪器有限公司)测定样点的土壤pH值,参照娄安如等<sup>[28]</sup>的方法测定草本盖度、灌木盖度和乔木盖度。供试样点各环境参数和植物盖度见表1。

表1 新疆米泉哈熊沟林场各样点的环境参数和植物盖度<sup>1)</sup>

Table 1 Environmental parameters and plant coverage of each plot in Miquan Haxiongou Forest Farm of Xinjiang<sup>1)</sup>

样点 Plot	经度 Longitude	纬度 Latitude	海拔/m Altitude	E/lx	ARH/%	CD	HDD	pH	HC/%	SC/%	AC/%
P1	E87°57'29.42"	N43°49'23.16"	1 618	1 545	35	0.25	较大 Greater	7.12	78.50	25.31	21.33
P2	E87°56'18.36"	N43°48'01.68"	1 667	1 580	30	0.40	较大 Greater	7.22	65.84	18.71	37.14
P3	E87°57'58.96"	N43°49'02.23"	1 751	1 379	45	0.25	较大 Greater	7.04	87.62	20.30	23.65
P4	E87°57'57.23"	N43°49'00.79"	1 796	1 243	42	0.47	中等 Moderate	7.13	89.15	8.65	18.70
P5	E87°59'30.12"	N43°48'46.74"	1 849	1 375	33	0.25	中等 Moderate	6.98	78.40	11.44	26.31
P6	E87°58'54.66"	N43°48'41.70"	1 886	1 520	50	0.45	中等 Moderate	7.02	10.26	7.48	57.25
P7	E87°59'58.56"	N43°48'22.02"	1 828	1 320	45	0.50	最大 Greatest	6.53	8.51	3.29	50.76
P8	E87°59'34.32"	N43°48'54.06"	1 880	1 250	46	0.50	较大 Greater	6.14	11.62	5.26	77.53
P9	E87°58'00.78"	N43°48'42.96"	1 856	534	65	0.45	无 None	7.12	7.85	6.34	65.71
P10	E87°59'47.34"	N43°48'37.32"	1 883	565	85	0.80	较小 Less	6.92	8.68	7.51	70.45
P11	E87°59'46.50"	N43°48'36.78"	1 903	458	80	0.75	较小 Less	7.24	13.71	8.54	88.32
P12	E87°59'03.78"	N43°48'35.16"	1 913	530	85	0.80	较小 Less	5.79	10.62	2.53	97.48

续表1 Table 1 (Continued)

样点 Plot	经度 Longitude	纬度 Latitude	海拔/m Altitude	E/lx	ARH/%	CD	HDD	pH	HC/%	SC/%	AC/%
P13	E87°59'49.26"	N43°48'35.52"	1 922	400	75	0.90	较小 Less	5.87	20.15	3.54	63.63
P14	E87°59'47.52"	N43°48'37.98"	1 933	353	75	0.80	较小 Less	7.47	48.47	4.65	9.12
P15	E87°59'53.76"	N43°48'23.52"	1 960	245	75	0.80	较小 Less	7.31	43.44	5.67	8.34
P16	E87°58'57.36"	N43°48'30.96"	1 978	250	68	0.60	较小 Less	6.72	52.40	0.98	3.27
P17	E87°59'50.58"	N43°48'35.04"	1 950	1 025	45	0.65	较小 Less	6.37	67.22	6.47	4.56
P18	E87°59'51.24"	N43°48'34.62"	1 988	943	65	0.45	无 None	7.71	58.34	4.65	2.21
P19	E87°59'20.00"	N43°48'27.93"	2 023	1 022	40	0.42	无 None	7.34	68.38	0.52	4.25
P20	E87°59'13.45"	N43°48'31.17"	2 042	862	70	0.38	无 None	6.54	62.32	3.24	3.65

<sup>1)</sup> E: 光照度 Illuminance; ARH: 空气相对湿度 Air relative humidity; CD: 郁闭度 Canopy density; HDD: 人为干扰程度 Human disturbance degree; pH: 土壤 pH 值 Soil pH value; HC: 草本盖度 Herb coverage; SC: 灌木盖度 Shrub coverage; AC: 乔木盖度 Arbor coverage.

1.2.2 物种鉴定 采用形态和解剖观察法以及化学显色反应法对各样点内的地面生地衣进行种类鉴定<sup>[29]</sup>。使用舜宇 SZM45 体视显微镜(上海光学仪器一厂)观察地衣体颜色、边缘完整性及环带分布情况,粉芽、粉芽堆和裂芽的有无、颜色、性状及分布情况,子囊盘的大小、形状、颜色等。将地衣标本制作成切片,使用 Nikon ECLIPSE E100 光学显微镜(日本 Nikon 公司)观察子囊和子囊孢子的结构。将质量体积分数 10% KOH 溶液、漂白粉饱和溶液和质量体积分数 5% 对苯二胺乙醇溶液分别与地衣体的皮层和髓层进行反应,使用舜宇 SZM45 体视显微镜观察并记录皮层和髓层颜色变化。

### 1.3 数据统计分析

以盖度为指标,采用除趋势对应分析(DCA)和双向指示种分析(TWINSpan)对调查区域的地面生地衣群落进行数量分类<sup>[30-31]</sup>,分成不同群丛,根据优势种进行命名<sup>[32]</sup>。基于各样点地面生地衣的调查结果计算各群丛的 Shannon - Wiener 多样性指数、Simpson 多样性指数、Patrick 丰富度指数、Margalef 丰富度指数、Pielou 均匀度指数、Sørensen 相似性指数和 Jaccard 相似性指数<sup>[33]</sup>,<sup>[34]</sup><sup>94-95</sup>,比较不同物种多样性参数的群丛间差异,并对不同群丛间 2 个相似性指数的相关性进行分析。采用典范对应分析(CCA)探究地面生地衣种类分布与相关环境因子的关系<sup>[32]</sup>。

## 2 结果和分析

### 2.1 物种组成分析

统计结果(表 2)显示:本次调查共鉴定出 29 种地面生地衣,隶属于 5 科 9 属。从科水平看,地卷科(Peltigeraceae)种类最多,有 2 属 11 种,占该区

表 2 新疆米泉哈熊沟林场地面生地衣群落的种类组成  
Table 2 Species composition of floor lichen community in Miqian Haxiongou Forest Farm of Xinjiang

科 Family	属 Genus	种 Species		
石蕊科 Cladoniaceae	石蕊属 <i>Cladonia</i>	喇叭粉石蕊 <i>C. chlorophaea</i>		
		枪石蕊 <i>C. coniocraea</i>		
		粉石蕊 <i>C. fimbriata</i>		
		坚石蕊 <i>C. furca</i>		
		分枝石蕊 <i>C. furcata</i>		
		喇叭石蕊 <i>C. pyxidata</i>		
		粗皮石蕊 <i>C. scabriuscula</i>		
		鳞片石蕊 <i>C. squamosa</i>		
		雀石蕊 <i>C. stellaris</i>		
		尖头石蕊 <i>C. subulata</i>		
		地卷科 Peltigeraceae	地卷属 <i>Peltigera</i>	犬地卷 <i>P. canina</i>
				平盘软地卷 <i>P. elisabethae</i>
				鳞地卷 <i>P. lepidophora</i>
白腹地卷 <i>P. leucophlebia</i>				
膜地卷 <i>P. membranacea</i>				
黑瘦地卷 <i>P. nigripunctata</i>				
多指地卷 <i>P. polydactyla</i>				
裂芽地卷 <i>P. praetextata</i>				
霜地卷 <i>P. pruinosa</i>				
地卷 <i>P. rufescens</i>				
胶衣科 Collemaaceae	散盘衣属 <i>Solorina</i>			双孢散盘衣 <i>S. bispora</i>
		胶衣属 <i>Collema</i>	砖孢胶衣 <i>C. subconveniensi</i>	
			土耳其属 <i>Enchylium</i>	坚韧土耳其衣 <i>E. tenax</i>
			胶耳衣属 <i>Lathagrium</i>	鸡冠胶耳衣 <i>L. cristatum</i>
				棕绿胶耳衣 <i>L. fuscovirens</i>
瓶口衣科 Verrucariaceae	猫耳衣属 <i>Leptogium</i>	波缘胶耳衣 <i>L. undulatum</i>		
		土星猫耳衣 <i>L. saturninum</i>		
		石果衣属 <i>Endocarpon</i>	中华石果衣 <i>E. sinense</i>	
蜈蚣衣科 Physciaceae	大孢衣属 <i>Physconia</i>	伴藓大孢衣 <i>P. muscigena</i>		

域地面生地衣总种数的 37.9%;石蕊科(Cladoniaceae)种类次之,有 1 属 10 种,占该区域地面生地衣总种数的 34.5%;胶衣科(Collemaaceae)种类较多,有 4 属 6 种,占该区域地面生地衣总种数的 20.7%;瓶口衣科

(Verrucariaceae)和蜈蚣衣科(Physciaceae)种类较少,各只有1属1种。从属水平看,石蕊属(*Cladonia* P. Browne)和地卷属(*Peltigera* Willd.)种类相同且最多,各有10种,分别占该区域地面生地衣总种数的34.5%;胶耳衣属[*Lathagrium* (Ach.) Gray]有3种,占该区域地面生地衣总种数的10.3%;散盘衣属(*Solorina* Ach.)、胶衣属(*Collema* Weber ex F. H. Wigg.)、土耳其衣属[*Enchylium* (Ach.) Gray]、猫耳衣属[*Leptogium* (Ach.) Gray]、石果衣属(*Endocarpon* Hedw.)和大孢衣属(*Physconia* Poelt)各仅有1种。

## 2.2 数量分类分析

基于20个样点地面生地衣的盖度进行除趋势对应分析(DCA)和双向指示种分析(TWINSPAN),结果分别见图1和图2。结果显示:调查的地面生地衣群落可分成4个群丛。

群丛1:土星猫耳衣+坚石蕊+雀石蕊群丛(Ass. *Leptogium saturninum* + *Cladonia firma* + *Cladonia stellaris*)。该群丛包含样点4和11,分布的地衣种类有19种,分别为粉石蕊[*Cladonia fimbriata* (Linn.) Fr.]、坚石蕊[*Cladonia firma* (Nyl.) Nyl.]、分枝石蕊[*Cladonia furcata* (Huds.) Schrad.]、喇叭石蕊[*Cladonia pyxidata* (Linn.) Hoffm.]、粗皮石蕊[*Cladonia scabriuscula* (Delise) Leight.]、雀石蕊[*Cladonia stellaris* (Opiz) Pouzar ex Vězda]、枪石蕊[*Cladonia coniocraea* (Flörke) Spreng.]、喇叭粉石蕊[*Cladonia chlorophaea* (Flörke ex Sommerf.) Spreng.]、鳞地卷[*Peltigera lepidophora* (Vain.) Bitter]、裂芽地卷[*Peltigera praetextata* (Flörke ex Sommerf.) Zopf]、霜地卷[*Peltigera pruinosus* (Gyeln.) Inumaru]、白腹地卷[*Peltigera leucophlebia* (Nyl.) Gyeln.]、坚韧土耳其衣[*Enchylium tenax* (Sw.) Gray]、棕绿胶耳衣[*Lathagrium fuscovirens* (With.) Otálora, P. M. Jørg. ex Wedin]、波缘胶耳衣[*Lathagrium undulatum* (Laurer ex Flot.) Poetsch]、土星猫耳衣[*Leptogium saturninum* (Dicks.) Nyl.]、中华石果衣(*Endocarpon sinense* H. Magn.)、平盘软地卷(*Peltigera elisabethae* Gyeln.)、双孢散盘衣(*Solorina bispora* Nyl.)。该群丛地面生地衣总盖度为21.41%,盖度在2.0%以上的种类有5种,其中土星猫耳衣的盖度最大(4.00%),为指示种。

群丛2:砖孢胶衣+坚石蕊+伴藓大孢衣群丛(Ass. *Collema subconveniens* + *Cladonia firma* +

*Physconia muscigena*)。该群丛包含样点8、10、12、14、15、17、18和19,分布的地衣种类有26种,分别为坚石蕊、分枝石蕊、喇叭石蕊、粗皮石蕊、鳞片石蕊[*Cladonia squamosa* (Scop.) Hoffm.]、雀石蕊、尖头石蕊[*Cladonia subulata* (Linn.) Weber ex F. H. Wigg.]、平盘软地卷、黑瘦地卷(*Peltigera nigripunctata* Bitter)、多指地卷[*Peltigera polydactyla* (Neck.) Hoffm.]、白腹地卷、鳞地卷、膜地卷[*Peltigera membranacea* (Ach.) Nyl.]、裂芽地卷、霜地卷、地卷[*Peltigera rufescens* (Weiss) Humb.]、砖孢胶衣(*Collema subconveniens* Nyl.)、犬地卷[*Peltigera canina* (Linn.) Willd.]、鸡冠胶耳衣[*Lathagrium cristatum* (Linn.) Otálora, P. M. Jørg. ex Wedin]、棕绿胶耳衣、波缘胶耳衣、土星猫耳衣、中华石果衣、伴藓大孢衣[*Physconia muscigena* (Ach.) Poelt]、双孢散盘衣、坚韧土耳其衣。该群丛地面生地衣总盖度为34.34%,盖度在2.0%以上的种类有5种,其中砖孢胶衣的盖度最大(3.83%),为指示种。

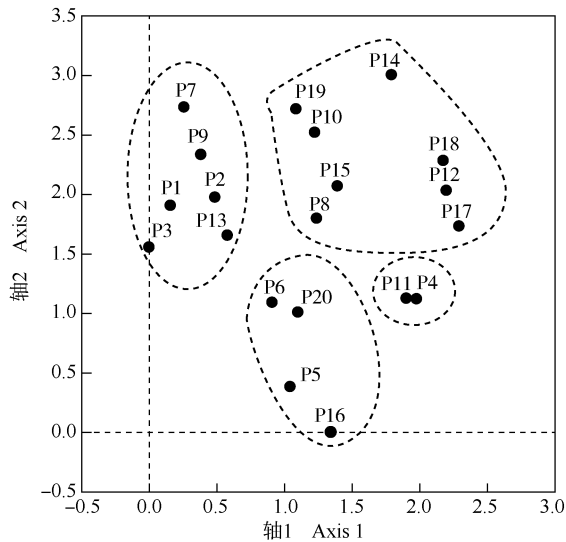
群丛3:鸡冠胶耳衣+喇叭粉石蕊+尖头石蕊群丛(Ass. *Lathagrium cristatum* + *Cladonia chlorophaea* + *Cladonia subulata*)。该群丛包含样点1、2、3、7、9和13,分布的地衣种类有23种,分别为雀石蕊、鳞片石蕊、霜地卷、粉石蕊、喇叭石蕊、喇叭粉石蕊、尖头石蕊、枪石蕊、砖孢胶衣、中华石果衣、坚韧土耳其衣、鸡冠胶耳衣、棕绿胶耳衣、波缘胶耳衣、土星猫耳衣、地卷、裂芽地卷、犬地卷、多指地卷、黑瘦地卷、平盘软地卷、伴藓大孢衣、双孢散盘衣。该群丛地面生地衣总盖度为43.94%,盖度在2.0%以上的种类有8种,其中鸡冠胶耳衣的盖度最大(5.01%),为指示种。

群丛4:犬地卷+雀石蕊+尖头石蕊群丛(Ass. *Peltigera canina* + *Cladonia stellaris* + *Cladonia subulata*)。该群丛包含样点5、6、16和20,分布的地衣种类有18种,分别为喇叭粉石蕊、枪石蕊、粉石蕊、雀石蕊、尖头石蕊、鳞片石蕊、砖孢胶衣、中华石果衣、坚韧土耳其衣、鸡冠胶耳衣、棕绿胶耳衣、波缘胶耳衣、土星猫耳衣、平盘软地卷、犬地卷、地卷、伴藓大孢衣、双孢散盘衣。该群丛地面生地衣总盖度为17.34%,盖度在2.0%以上的种类有2种,其中犬地卷的盖度最大(4.31%),为指示种。

## 2.3 物种多样性和相似性分析

分析结果(表3)表明:4个群丛的各个物种多样性指标存在一定差异。除Margalef丰富度指数外,群

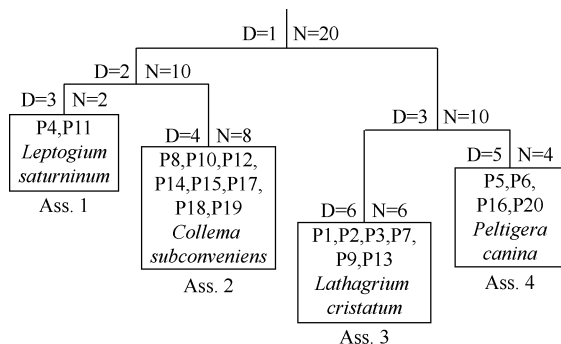
从2和群丛3的其余4个物种多样性指标差异较小,群丛1和群丛4的其余4个物种多样性指标差异较小,其中,群丛2和群丛3的Shannon-Wiener多样性指数、Patrick丰富度指数和Pielou均匀度指数明显高于群丛1和群丛4,而Simpson多样性指数则明显低于群丛1和群丛4。



P1-P20: 样点编号 No. of plot.

图1 新疆米泉哈熊沟林场地面生地衣群落的除趋势对应分析(DCA)二维排序图

Fig. 1 Two-dimensional ordination diagram of detrended correspondence analysis (DCA) of floor lichen community in Miqian Haxiongou Forest Farm of Xinjiang



D: 分类等级 Classification degree; N: 样点数 Number of plots; P1-P20: 样点编号 No. of plot; Ass. 1, Ass. 2, Ass. 3, Ass. 4: 群丛编号 No. of association. 方框中种类为各群丛的指示种 The species in boxes represent the indicator species in each association.

图2 新疆米泉哈熊沟林场地面生地衣群落的双向指示种分析(TWINSpan)分类树状图

Fig. 2 Classification dendrogram of two-way indicator species analysis (TWINSpan) of floor lichen community in Miqian Haxiongou Forest Farm of Xinjiang

表3 新疆米泉哈熊沟林场地面生地衣群落不同群丛的物种多样性<sup>1)</sup>  
Table 3 Species diversity of different associations of floor lichen community in Miqian Haxiongou Forest Farm of Xinjiang<sup>1)</sup>

群丛 Association	H'	D	R0	R	J
Ass. 1	3.357	0.119	19	5.874	0.790
Ass. 2	4.105	0.067	23	5.815	0.908
Ass. 3	4.432	0.053	26	7.069	0.943
Ass. 4	3.484	0.121	18	5.957	0.835

<sup>1)</sup> H': Shannon-Wiener 多样性指数 Shannon-Wiener diversity index; D: Simpson 多样性指数 Simpson diversity index; R0: Patrick 丰富度指数 Patrick richness index; R: Margalef 丰富度指数 Margalef richness index; J: Pielou 均匀度指数 Pielou evenness index.

从不同群丛间的Sørensen相似性指数和Jaccard相似性指数(表4)看,4个群丛间的种类相似性差异明显。其中,群丛2和群丛4间的Sørensen相似性指数和Jaccard相似性指数均最大,分别为0.450和0.782;群丛2和群丛3间的2个指数次之,分别为0.449和0.689;群丛1和群丛4间的2个指数均最小,分别为0.372和0.423。

表4 新疆米泉哈熊沟林场地面生地衣群落不同群丛间的Sørensen相似性指数和Jaccard相似性指数  
Table 4 Sørensen similarity index and Jaccard similarity index between different associations of floor lichen community in Miqian Haxiongou Forest Farm of Xinjiang

群丛 Association	群丛间的Sørensen相似性指数 Sørensen similarity index between associations			
	Ass. 1	Ass. 2	Ass. 3	Ass. 4
Ass. 1	1.000			
Ass. 2	0.400	1.000		
Ass. 3	0.416	0.449	1.000	
Ass. 4	0.372	0.450	0.405	1.000

群丛 Association	群丛间的Jaccard相似性指数 Jaccard similarity index between associations			
	Ass. 1	Ass. 2	Ass. 3	Ass. 4
Ass. 1	1.000			
Ass. 2	0.500	1.000		
Ass. 3	0.552	0.689	1.000	
Ass. 4	0.423	0.782	0.517	1.000

## 2.4 环境影响因子分析

对新疆米泉哈熊沟林场地面生地衣群落进行典范对应分析(CCA),其排序结果见表5。结果表明:第1、第2和第3排序轴的特征值分别为0.355、0.245和0.162,贡献率均在15%以上,累计贡献率达76.2%;3个排序轴种类分布与环境因子的相关系数分别为0.948、0.917和0.844,均达到极显著( $P < 0.01$ )水平。说明排序结果能够较为准确地反映地面生地

衣群落种类分布与环境因子的关系, 排序结果可信。

将 CCA 前 3 个排序轴与样点环境因子进行相关性分析, 结果见表 6。结果表明: 第 1 排序轴与光照度、人为干扰程度、灌木盖度和乔木盖度呈正相关, 与海拔、空气相对湿度、郁闭度、土壤 pH 值和草本盖度呈负相关, 且与光照度、人为干扰程度、灌木盖度、海拔、郁闭度和草本盖度的相关性达到极显著水平, 相关系数分别为 0.809、0.729、0.729、-0.756、-0.684 和 -0.623。第 2 排序轴与海拔、空气相对湿度、郁闭度、土壤 pH 值、草本盖度和乔木盖度呈正相关, 与光照度、人为干扰程度和灌木盖度呈负相关, 且仅与空气相对湿度和郁闭度的相关性达到显著 ( $P < 0.05$ ) 水平, 相关系数分别为 0.558 和 0.478。第 3 排序轴与海拔、郁闭度和土壤 pH 值呈正相关, 与其他环境因

子呈负相关, 且与土壤 pH 值的相关性达到极显著水平, 与草本盖度和人为干扰程度的相关性达到显著水平, 相关系数分别为 0.679、-0.529 和 -0.502。

表 5 新疆米泉哈熊沟林场地面生地衣群落典范对应分析 (CCA) 排序结果

Table 5 Ordination result of canonical correspondence analysis (CCA) of floor lichen community in Miquan Haxiongou Forest Farm of Xinjiang

排序轴 Axis	特征值 Eigenvalue	贡献率/% Contribution rate	累计贡献率/% Cumulative contribution rate	$R^{1)}$
1	0.355	38.6	38.6	0.948 **
2	0.245	22.2	60.8	0.917 **
3	0.162	15.4	76.2	0.844 **

<sup>1)</sup>  $R$ : 排序轴种类分布与环境因子的相关系数 Correlation coefficient between species distribution of ordination axis and environmental factors. \*\*:  $P < 0.01$ .

表 6 新疆米泉哈熊沟林场地面生地衣群落典范对应分析 (CCA) 前 3 个排序轴与环境因子的相关系数

Table 6 Correlation coefficients of the first three ordination axes of canonical correspondence analysis (CCA) of floor lichen community in Miquan Haxiongou Forest Farm of Xinjiang with environmental factors

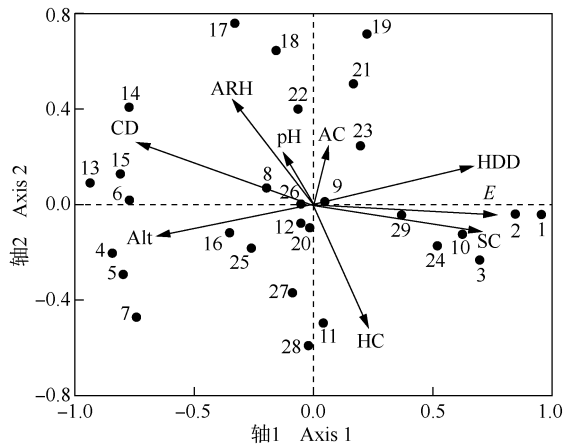
排序轴 Axis	与不同环境因子的相关系数 <sup>1)</sup> Correlation coefficient with different environmental factors <sup>1)</sup>								
	海拔 Altitude	光照度 Illuminance	空气相对湿度 Air relative humidity	郁闭度 Canopy density	人为干扰程度 Human disturbance degree	土壤 pH 值 Soil pH value	草本盖度 Herb coverage	灌木盖度 Shrub coverage	乔木盖度 Arbor coverage
1	-0.756 **	0.809 **	-0.303	-0.684 **	0.729 **	-0.039	-0.623 **	0.729 **	0.124
2	0.052	-0.244	0.558 *	0.478 *	-0.001	0.123	0.161	-0.271	0.333
3	0.169	-0.074	-0.269	0.017	-0.502 *	0.679 **	-0.529 *	-0.115	-0.334

<sup>1)</sup> \*:  $P < 0.05$ ; \*\*:  $P < 0.01$ .

新疆米泉哈熊沟林场地面生地衣群落种类分布与环境因子的典范对应分析 (CCA) 结果见图 3。结果显示: 9 个环境因子中, 郁闭度对地面生地衣群落种类分布的影响最大, 光照度次之, 灌木盖度、人为干扰程度和海拔影响较大, 空气相对湿度和草本盖度影响较小, 而土壤 pH 值和乔木盖度影响更小。

由图 3 可见: 雀石蕊、霜地卷、双孢散盘衣和坚韧土耳其衣位于第 1 象限, 并与乔木盖度和人为干扰程度呈正相关, 其中, 雀石蕊分布在乔木盖度和人为干扰均较小的样点, 霜地卷和双孢散盘衣分布在乔木盖度较大、人为干扰较小的样点, 坚韧土耳其衣分布在乔木盖度中等、人为干扰程度较小的样点。喇叭石蕊、鳞片石蕊、鳞地卷、白腹地卷、膜地卷、多指地卷、裂芽地卷、砖孢胶衣和波缘胶耳衣位于第 2 象限, 并与郁闭度、空气相对湿度和土壤 pH 值呈正相关, 其中, 鳞片石蕊和波缘胶耳衣分布在郁闭度小、空气相对湿度较低、土壤 pH 值较低的样点, 且分布样点的海拔较低,

喇叭石蕊、鳞地卷、白腹地卷、膜地卷分布在郁闭度较大、空气相对湿度高、土壤 pH 值较高的样点, 多指地卷、裂芽地卷和砖孢胶衣分布在郁闭度和空气湿度较大、土壤 pH 值较高的样点。坚石蕊、分枝石蕊、粗皮石蕊、平盘软地卷、黑瘦地卷、地卷、棕绿胶耳衣、土星猫耳衣和中华石果衣位于第 3 象限, 并与海拔呈正相关, 其中, 坚石蕊、分枝石蕊和粗皮石蕊分布在海拔较高的样点, 黑瘦地卷、棕绿胶耳衣、土星猫耳衣、中华石果衣分布在中等海拔样点, 平盘软地卷和地卷分布在低海拔样点。喇叭粉石蕊、枪石蕊、粉石蕊、尖头石蕊、犬地卷、鸡冠胶耳衣和伴藓大孢衣位于第 4 象限, 并与光照度、草本盖度、灌木盖度呈正相关, 其中, 犬地卷分布在光照度较强、草本盖度大、灌木盖度大的样点, 伴藓大孢衣分布在光照度、草本盖度和灌木盖度均中等的样点, 喇叭粉石蕊、枪石蕊、粉石蕊、尖头石蕊、鸡冠胶耳衣的分布在光照度、草本盖度、乔木盖度均较大的样点。



Alt: 海拔 Altitude; E: 光照度 Illuminance; ARH: 空气相对湿度 Air relative humidity; CD: 郁闭度 Canopy density; HDD: 人为干扰程度 Human disturbance degree; pH: 土壤 pH 值 Soil pH value; HC: 草本盖度 Herb coverage; SC: 灌木盖度 Shrub coverage; AC: 乔木盖度 Arbor coverage. 1: 喇叭粉石蕊 *Cladonia chlorophaea* (Flörke ex Sommerf.) Spreng.; 2: 枪石蕊 *Cladonia coniocraea* (Flörke) Spreng.; 3: 粉石蕊 *Cladonia fimbriata* (Linn.) Fr.; 4: 坚石蕊 *Cladonia firma* (Nyl.) Nyl.; 5: 分枝石蕊 *Cladonia furcata* (Huds.) Schrad.; 6: 喇叭石蕊 *Cladonia pyxidata* (Linn.) Hoffm.; 7: 粗皮石蕊 *Cladonia scabruscula* (Delise) Leight.; 8: 鳞片石蕊 *Cladonia squamosa* (Scop.) Hoffm.; 9: 雀石蕊 *Cladonia stellaris* (Opiz) Pouzar ex Vězda; 10: 尖头石蕊 *Cladonia subulata* (Linn.) Weber ex F. H. Wigg.; 11: 犬地卷 *Peltigera canina* (Linn.) Willd.; 12: 平盘软地卷 *Peltigera elisabethae* Gyeln.; 13: 鳞地卷 *Peltigera lepidophora* (Vain.) Bitter; 14: 白腹地卷 *Peltigera leucophlebia* (Nyl.) Gyeln.; 15: 膜地卷 *Peltigera membranacea* (Ach.) Nyl.; 16: 黑瘦地卷 *Peltigera nigripunctata* Bitter; 17: 多指地卷 *Peltigera polydactyla* (Neck.) Hoffm.; 18: 裂芽地卷 *Peltigera praetextata* (Flörke ex Sommerf.) Zopf; 19: 霜地卷 *Peltigera pruinosa* (Gyeln.) Inumaru; 20: 地卷 *Peltigera rufescens* (Weiss) Humb.; 21: 双孢散盘衣 *Solorina bisporea* Nyl.; 22: 砖孢胶衣 *Collema subconveniens* Nyl.; 23: 坚韧土耳其 *Enchylium tenax* (Sw.) Gray; 24: 鸡冠胶耳衣 *Lathagrium cristatum* (Linn.) Otálora, P. M. Jørg. ex Wedin; 25: 棕绿胶耳衣 *Lathagrium fuscovirens* (With.) Otálora, P. M. Jørg. ex Wedin; 26: 波缘胶耳衣 *Lathagrium undulatum* (Laurer ex Flot.) Poetsch; 27: 土星猫耳衣 *Leptogium saturninum* (Dicks.) Nyl.; 28: 中华石果衣 *Endocarpon sinense* H. Magn.; 29: 伴鲜大孢衣 *Physconia muscigena* (Ach.) Poelt.

图3 新疆米泉哈熊沟林场地面生地衣群落种类分布与环境因子的典范对应分析(CCA)二维排序图

Fig. 3 Two-dimensional ordination diagram of canonical correspondence analysis (CCA) between species distribution of floor lichen community and environmental factors in Miqan Haxiongou Forest Farm of Xinjiang

### 3 讨论和结论

对新疆米泉哈熊沟林场内 20 个样点中地面生地衣的调查显示:在调查区域内共鉴定出 29 种地面生地衣,隶属于 5 科 9 属。其中,地卷科(11 种)和石蕊科(10 种)种类数量明显高于其他科,地卷属(10 种)和石蕊属(10 种)种类数量明显高于其他属。总体来看,新疆米泉哈熊沟林场的地面生地衣种类并不多,且以叶状和枝状地衣为主。

数量分类结果显示:供试 20 个样点的地面生地衣群落可分成 4 个群丛。群丛 1 包含的样点最少(仅 2 个),环境因子差异较大,但样点内的地面生地衣多分布在林下土层或岩石的藓丛上,微环境相对湿润,基物良好、持水能力较强,适合石蕊属地衣和大型叶状地衣生存,共分布有 19 种地面生地衣,占该区域地面生地衣总种数的 65.6%。群丛 2 包含的样点最多(8 个),共分布有 26 种地面生地衣,占该区域地面生地衣总种数的 89.6%,且地面生地衣多生长在湿润的岩面藓丛、林下土层或林下苔藓等保水性较好的基物上。群丛 3 包含的样点较多(6 个),微环境较为复杂,分布的地面生地衣种类相对较多(23 种),占该区域地面生地衣总种数的 79.3%,地面生地衣多生长在岩面藓丛、林下苔藓和林下地面腐蚀朽木藓丛上。群丛 4 包含的样点较少(4 个),环境因子差异明显,共分布有 18 种地面生地衣,占该区域地面生地衣总种数的 62.1%,其中地卷科种类较多且主要分布在中高海拔林下岩石表面的藓丛上。从群丛多样性指数看,群丛 2 和群丛 3 的 Shannon-Wiener 多样性指数、Patrick 丰富度指数和 Pielou 均匀度指数明显高于群丛 1 和群丛 4,而 Simpson 多样性指数则明显低于群丛 1 和群丛 4,分析认为各群丛间的物种多样性差异可能与其微环境的异质性有关。

地衣的种类多样性和分布特征受到海拔、地形、湿度、温度、降水和基质状况(包括基质的稳定性、营养水平和化学性质)等环境因子的影响<sup>[6,35]</sup>。在山区森林生态系统中,地面生地衣的分布主要受海拔、光照度、空气相对湿度、土壤 pH 值、郁闭度、植被覆盖度和人为干扰等环境因子的影响<sup>[20],[23]33-52,[36-37]</sup>。典范对应分析(CCA)结果表明:在供试的 9 个环境因子中,郁闭度和光照度对新疆米泉哈熊沟林场地面生地衣种类分布的影响明显高于其他环境因子,可能是因为不同群丛的郁闭度差异导致微环境中的光照度产生变化,从而影响空气相对湿度。海拔也是影响米泉哈熊沟林场地面生地衣群落物种组成和种类分布的重要环境因子之一,这可能是因为其他环境因子能够随着海拔变化表现出一定的差异。土壤 pH 值和乔木盖度对该区域地面生地衣种类分布的影响较小可能是因为本研究的样点基本都分布在雪岭云杉林下,土壤类型基本相似,土壤 pH 值差异较小。值得注意的是,虽然本研究的 CCA 排序结果能够较好地反映新疆米泉哈熊沟林场地面生地衣种类分布与环



境因子的关系,但鉴于 CCA 排序存在弓形效应问题,建议在研究数据充足情况下采用除趋势典范对应分析(DCCA)对该区域地面生地衣种类分布与环境因子的关系进行进一步分析,以消除弓形效应的影响<sup>[34]</sup>165-166。

综上所述,新疆米泉哈熊沟林场地面生地衣群落物种丰富度较低,主要科为地卷科和石蕊科,主要属为地卷属和石蕊属。该区域的地面生地衣群落可分成4个群丛,各群丛的物种多样性和相似性存在一定差异;郁闭度和光照度是影响地面生地衣种类分布的重要环境因子。

#### 参考文献:

- [1] GHEZA G, ASSINI S, LELLI C, et al. Biodiversity and conservation of terricolous lichens and bryophytes in continental lowlands of northern Italy: the role of different dry habitat types[J]. *Biodiversity and Conservation*, 2020, 29: 3533-3550.
- [2] 魏鑫丽, 邓红, 魏江春. 中国地衣的濒危等级评估[J]. *生物多样性*, 2020, 28(1): 54-65.
- [3] ELLIS C J. Climate change, bioclimatic models and the risk to lichen diversity[J]. *Diversity*, 2019, 54(11): 2-23.
- [4] LALLEY S J, VILES A H. Terricolous lichens in the northern Namib Desert of Namibia: distribution and community composition[J]. *The Lichenologist*, 2005, 37: 77-91.
- [5] LEPPIK E, JÜRIADO I, SUIJA A, et al. The conservation of ground layer lichen communities in alvar grasslands and the relevance of substitution habitats[J]. *Biodiversity and Conservation*, 2013, 22: 591-614.
- [6] RAI H, KHARE R, BANIIYA C B, et al. Elevational gradients of terricolous lichen species richness in the Western Himalaya[J]. *Biodiversity and Conservation*, 2015, 24: 1155-1174.
- [7] GHEZA G, BARCELLA M, ASSINI S. Terricolous lichen communities in Thero-Airion dry grasslands of the Po Plain (Northern Italy): syntaxonomy, ecology and conservation value[J]. *Tuexenia*, 2019, 39: 377-400.
- [8] WĘGRZYN M H, KOŁODZIEJCZYK J, FAŁOWSKA P, et al. Influence of the environmental factors on the species composition of lichen Scots pine forests as a guide to maintain the community (Bory Tucholskie National Park, Poland) [J]. *Global Ecology and Conservation*, 2020, 22: e011017.
- [9] WĘGRZYN M H, FAŁOWSKA P, KOŁODZIEJCZYK J, et al. Tree height as the main factors causing disappearance of the terricolous lichens in the lichen Scots pine forests[J]. *Science of the Total Environment*, 2021, 771: 144834.
- [10] 王玉良, 阿地里江·阿不都拉, 艾尼瓦尔·吐米尔, 等. 鹫落坪自然保护区地面生地衣多样性及群落数量特征[J]. *植物分类与资源学报*, 2012, 34(2): 199-207.
- [11] LI S, LIU W Y, WANG L S, et al. Biomass, diversity and composition of epiphytic macrolichens in primary and secondary forests in the subtropical Ailao Mountains, SW China [J]. *Forest Ecology and Management*, 2011, 261: 1760-1770.
- [12] LI S, LIU W Y, LI D W. Bole epiphytic lichens as potential indicators of environmental change in subtropical forest ecosystems in southwest China[J]. *Ecological Indicators*, 2013, 29: 93-104.
- [13] 田雅楠, 帕丽旦·艾海提, 买吾拉江·衣沙克, 等. 新疆博格达山地面生地衣群落数量分类及物种多样性[J]. *生态学报*, 2020, 40(13): 4605-4616.
- [14] 帕丽旦·艾海提, 阿不都拉·阿巴斯, 艾尼瓦尔·吐米尔. 新疆博格达山北坡岩面生壳状地衣群落特征及其与环境因子的相关性[J]. *植物资源与环境学报*, 2018, 27(4): 21-30.
- [15] 艾尼瓦尔·吐米尔, 阿不都拉·阿巴斯. 天山森林生态系统中朽木生地衣植物生态分布的 DCA 排序[J]. *植物资源与环境学报*, 2002, 11(3): 41-45.
- [16] 艾尼瓦尔·吐米尔, 阿不都拉·阿巴斯. 新疆托木尔峰国家级自然保护区岩面生地衣群落数量分类及其与环境相关性[J]. *植物资源与环境学报*, 2015, 24(2): 80-87.
- [17] PETERSON L, NILSSON S, HOLMSTRÖM E, et al. Forest floor bryophyte and lichen diversity in Scots pine and Norway spruce production forests [J]. *Forest Ecology and Management*, 2021, 493: 119210.
- [18] BIRD A, WATMOUGH S A, CARSON M A, et al. Nitrogen retention of terricolous lichens in a Northern Alberta Jack Pine forest[J]. *Ecosystems*, 2019, 22: 1308-1324.
- [19] ELBERT W, WEBER B, BURROWS S, et al. Contribution of cryptogamic covers to the global cycles of carbon and nitrogen[J]. *Nature Geoscience*, 2012, 5: 459-462.
- [20] BELNAP J, BÜDEL B, LANGE O L. Biological soil crusts: characteristics and distribution [M] // BELNAP J, LANGE O L. *Biological Soil Crusts: Structure, Function, and Management*. Berlin: Springer-Verlag, 2001: 3-30.
- [21] RAI H, UPRETI D K, GUPTA R K. Diversity and distribution of terricolous lichens as indicator of habitat heterogeneity and grazing induced trampling in a temperate-alpine shrub and meadow [J]. *Biodiversity Conservation*, 2012, 21: 97-113.
- [22] RAI H, KHARE R, GUPTA R K, et al. Terricolous lichens as indicator of anthropogenic disturbances in a high altitude grassland in Garhwal (Western Himalaya), India [J]. *Botanica Orientalis: Journal of Plant Science*, 2012, 8(1): 16-23.
- [23] RAI H, UPRETI D K. Terricolous Lichens in India Volume 1: Diversity Patterns and Distribution Ecology [M]. New York: Springer Verlag, 2014.
- [24] 买吾拉江·衣沙克, 艾尼瓦尔·吐米尔. 哈熊沟森林公园岩面生地衣物种多样性及群落结构研究[J]. *干旱区资源与环境*, 2020, 34(3): 124-129.
- [25] 李作森, 雒鹏, 艾尼瓦尔·吐米尔. 新疆哈熊沟森林公园岩面生地衣生态位的研究[J]. *西北林学院学报*, 2021, 36(4): 257-265.
- [26] 艾尼瓦尔·吐米尔, 阿不都拉·阿巴斯. 阿尔泰山两河源自然

- 保护区地面生地衣群落物种分布特征[J]. 广西植物, 2014, 34(3): 326-332, 289.
- [27] 艾尼瓦尔·吐米尔, 阿地力江·阿不都拉, 阿不都拉·阿巴斯. 乌鲁木齐南部山区地生地衣群落分布格局[J]. 生物多样性, 2011, 19(5): 574-580.
- [28] 姜安如, 牛翠娟. 基础生态学实验指导[M]. 2版. 北京: 高等教育出版社, 2014: 85-86.
- [29] 阿不都拉·阿巴斯, 吴继农. 新疆地衣[M]. 乌鲁木齐: 新疆科技卫生出版社, 1998: 1-15.
- [30] 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: 103-108.
- [31] 欧光龙, 彭明春, 和兆荣, 等. 高黎贡山北段植物群落 TWINSpan 数量分类研究[J]. 云南植物研究, 2008, 30(6): 679-687.
- [32] 贾晓妮, 程积民, 万惠娥. DCA、CCA 和 DCCA 三种排序方法在中国草地植被群落中的应用现状[J]. 中国农学通报, 2007, 23(12): 391-395.
- [33] 赵志模, 郭依泉. 群落生态学原理与方法[M]. 重庆: 科学技术文献出版社重庆分社, 1990: 147-192.
- [34] 张金屯. 数量生态学[M]. 2版. 北京: 科学出版社, 2011.
- [35] PONZETTI J M, MCCUNE B P. Biotic soil crusts of Oregon's shrub steppe: community composition in relation to soil chemistry, climate, and livestock activity [J]. The Bryologist, 2001, 104(2): 212-225.
- [36] PETERSSON L, LARIVIERE D, HOLMSTRÖM, et al. Conifer tree species and age as drivers of epiphytic lichen communities in northern European production forests [J]. The Lichenologist, 2022, 54: 213-225.
- [37] KOŠUTHOVÁ A D, SVITKOVÁ I, PIŠŮT I, et al. The impact of forest management on changes in composition of terricolous lichens in dry acidophilous Scots pine forests [J]. The Lichenologist, 2013, 45: 413-425.

(责任编辑: 佟金凤)

(上接第 53 页 Continued from page 53)

- [17] BARKAOUI S, MANKAI M, MILOUD N B, et al. E-beam irradiation of strawberries: investigation of microbiological, physicochemical, sensory acceptance properties and bioactive content[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2021, 73: 102769.
- [18] BARKAOUI S, MANKAI M, MILOUD N B, et al. Effect of gamma radiation coupled to refrigeration on antioxidant capacity, sensory properties and shelf life of strawberries [J]. LWT-Food Science and Technology, 2021, 150: 112088.
- [19] LOHITNAVY N, BASTIAN S, COLLINS C. Berry sensory attributes correlate with compositional changes under different viticultural management of Semillon (*Vitis vinifera* L.) [J]. Food Quality and Preference, 2010, 21: 711-719.
- [20] WENDIN K, EGAN P A, OLSSON V, et al. Is there a best woodland strawberry? A consumer survey of preferred sensory properties and cultivation characteristics [J]. International Journal of Gastronomy and Food Science, 2019, 16: 100151.
- [21] AGREDANO-DE LA GARZA C S, BALOIS-MORALES R, BERUMEN-VARELA G, et al. Physicochemical characterization and dietary fiber of 15 Nance (*Byrsonima crassifolia* L.) fruits selections from Nayarit [J]. Scientia Horticulturae, 2021, 289: 110460.
- [22] 许文静, 陈昌琳, 邓莎, 等. 基于主成分分析和聚类分析的蓝莓品质综合评价[J]. 食品工业科技, 2022, 43(13): 311-319.
- [23] CHU W J, GAO H Y, CHEN H J, et al. Changes in cuticular wax composition of two blueberry cultivars during fruit ripening and postharvest cold storage [J]. Journal Agricultural and Food Chemistry, 2018, 66(11): 2870-2876.
- [24] JIANG B, LIU R L, FANG X J, et al. Effects of salicylic acid treatment on fruit components and wax composition of blueberry (*Vaccinium virgatum* Ait) [J]. Food Chemistry, 2022, 368: 130757.
- [25] CHU W J, GAO H Y, CHEN H J, et al. Effects of cuticular wax on the postharvest quality of blueberry fruit [J]. Food Chemistry, 2018, 239: 68-74.
- [26] QIAN Y P L, ZHOU Q, MAGANA A A, et al. Comparative study of volatile composition of major Northern Highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum*) varieties [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2022, 110: 104538.
- [27] RIVERA S, KERCKHOFFS H, SOFKOVA-BOBCEVA S, et al. Influence of harvest maturity and storage technology on mechanical properties of blueberries [J]. Postharvest Biology and Technology, 2022, 191: 111961.
- [28] MOGGIA C, LOBOS G A. Why measuring blueberry firmness at harvest is not enough to estimate postharvest softening after long term storage? A review [J]. Postharvest Biology and Technology, 2023, 198: 112230.
- [29] GIONGO L, AJELLI M, POTTORFF M, et al. Comparative multi-parameters approach to dissect texture subcomponents of highbush blueberry cultivars at harvest and postharvest [J]. Postharvest Biology and Technology, 2022, 183: 111696.
- [30] SATER H, FERRÃO L F V, OLMSTEAD J, et al. Exploring environmental and storage factors affecting sensory, physical and chemical attributes of six southern highbush blueberry cultivars [J]. Scientia Horticulturae, 2021, 289: 110468.

(责任编辑: 吴蕊夷)