

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

艾尼瓦尔·吐米尔, 阿不都拉·阿巴斯^①

(新疆大学生命科学与技术学院, 新疆 乌鲁木齐 830046)

摘要: 采用样地法对新疆托木尔峰国家级自然保护区岩面生地衣群落的种类组成进行调查和统计, 并以各种类的盖度为指标、应用双向指示种分析 (TWINSpan) 和除趋势对应分析 (DCA) 对岩面生地衣群落进行数量分类; 采用 Sørensen 相似性系数分析各群丛的物种相似性; 此外, 应用典范对应分析 (CCA) 探讨了岩面生地衣种类分布与环境因子间的关系。结果表明: 该保护区岩面生地衣群落共包含 58 种地衣, 隶属于 6 目 18 科 35 属; 优势科有 5 个, 包含的属、种数量分别占该保护区岩面生地衣属、种总数的 42.86% 和 62.07%。依据 TWINSpan 和 DCA 分析结果并结合生境特征, 可将该保护区岩面生地衣群落划分为 5 个群丛: 群丛 A, 包氏微孢衣+双缘衣群丛 (Assoc. *Acarospora bohlinii*+*Diploschistes scruposus*); 群丛 B, 油黄茶渍+亚白平茶渍+柔扁枝衣群丛 (Assoc. *Candelariella oleifera*+*Aspicilia subalbicans*+*Evernia divaricata*); 群丛 C, 斑纹网衣+旱梅衣+淡肤根石耳群丛 (Assoc. *Lecidea tessellata*+*Parmelia vegans*+*Umbilicaria verginis*); 群丛 D, 丽石黄衣+白泡鳞衣群丛 (Assoc. *Xanthoria elegans*+*Toninia candida*); 群丛 E, 皮果衣+硬袋衣群丛 (Assoc. *Dermatocarpon miniatum*+*Hypogymnia austrodes*)。相似性分析结果表明: 群丛 A 与群丛 B、群丛 C 与群丛 D 间的物种相似性较高, 相似性系数分别为 0.615 和 0.733; 群丛 B 与群丛 C 间的物种相似性次之, 相似性系数为 0.363; 其他群丛间的物种相似性均较低。CCA 分析结果显示: 该保护区岩面生地衣群落的物种分布受到海拔、光照强度、岩面 pH 值和相对湿度的影响。

关键词: 新疆托木尔峰国家级自然保护区; 岩面生地衣; 种类组成; 数量分类; 环境因子

中图分类号: Q948; Q949.34 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2015)02-0080-08

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2015.02.12

Quantitative classification of saxicolous lichen community in Xinjiang Tumor Peak National Natural Reserve and its correlation with environment TUMUR Anwar, ABBAS Abdulla^① (College of Life Sciences and Technology, Xinjiang University, Urumqi 830046, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2015, 24(2): 80-87

Abstract: Investigation and statistics on species composition of saxicolous lichen community in Xinjiang Tumor Peak National Natural Reserve were carried out by plot method. Saxicolous lichen communities were quantitatively classified based on species coverage by two-way indicator species analysis (TWINSpan) and detrended correspondence analysis (DCA). And species similarity of each association was analyzed by Sørensen similarity coefficient. In addition, relationship between species distribution of saxicolous lichen and environmental factors was studied by canonical correspondence analysis (CCA). The results show that there are 58 lichen species belonging to 35 genus in 18 families of 6 orders in saxicolous lichen community in this reserve. There are 5 dominant families, in which, numbers of genus and species of saxicolous lichen account for 42.86% and 62.07% of total numbers of genus and species in this reserve, respectively. According to analysis results of TWINSpan and DCA and combined with habitat characteristics, saxicolous lichen community can be divided into five associations, association A (Assoc. *Acarospora bohlinii*+*Diploschistes scruposus*), association B (Assoc. *Candelariella oleifera*+*Aspicilia subalbicans*+*Evernia divaricata*), association C (Assoc. *Lecidea tessellata*+*Parmelia vegans*+*Umbilicaria verginis*), association D (Assoc. *Xanthoria elegans*+*Toninia candida*), association E (Assoc. *Dermatocarpon miniatum*+*Hypogymnia austrodes*).

收稿日期: 2014-10-22

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (31360009)

作者简介: 艾尼瓦尔·吐米尔 (1970—), 男, 维吾尔族, 新疆阿克苏人, 博士, 教授, 主要从事种群及群落生态学研究。

^①通信作者 E-mail: abdulla@xju.edu.cn

Aspicilia subalbicans+*Evernia divaricata*), association C (Assoc. *Lecidea tessellata*+*Parmelia vegans*+*Umbilicaria verginis*), association D (Assoc. *Xanthoria elegans*+*Toninia candida*) and association E (Assoc. *Dermatocarpon miniatum*+*Hypogymnia austerodes*). The similarity analysis result shows that species similarity between association A and association B, association C and association D is higher with similarity coefficient of 0.615 and 0.733, respectively, that between association B and association C takes the second place with similarity coefficient of 0.363, and those between other associations all are lower. The CCA analysis result shows that species distribution of saxicolous lichen community in Xinjiang Tumor Peak National Natural Reserve is affected by altitude, light intensity, pH value on rock surface and relative humidity.

Key words: Xinjiang Tumor Peak National Natural Reserve; saxicolous lichen; species composition; quantitative classification; environmental factor

地衣是一种特殊的生物类群,分布广泛,极大地丰富了陆地生态系统的生物多样性^[1];其中,岩面生地衣为岩生植物群落的主要成分,能改善岩面微环境、促进植物群落演替^[1-2]。国外关于地衣生态学的研究较广泛,已形成了较完善的地衣群落生态学研究体系^[3-6],而国内该方面研究尚处于初步发展阶段。近年来有学者采用聚类分析、主成分分析、除趋势对应分析(detrended correspondence analysis, DCA)和典范对应分析(canonical correspondence analysis, CCA)等方法对新疆阿尔泰山和湖南鹞落坪国家级自然保护区等区域以及云南哀牢山原生林及次生林中的地生、树生和岩面生地衣群落进行了定量研究^[7-13],为中国地衣群落的生态学研究提供了基础数据。

群落定量研究是植物生态学研究的重点,目前双向指示种分析(two-way indicator species analysis, TWINSpan)、DCA、CCA和除趋势典范对应分析(detrended canonical correspondence analysis, DCCA)等数量分类和排序方法被广泛用于森林、湿地、灌丛、草甸和苔藓等群落类型的分类,以及群落物种分布格局、植物群落和环境间生态关系的研究^[14-19]。

早在1985年王先业^[20]就对天山托木尔峰地区的地衣进行了考察,记载该地区分布的地衣有67种10变种和4变型;此后,阿不都拉·阿巴斯等^[21]和艾尼瓦尔·铁木尔等^[22]对托木尔峰国家级自然保护区分布的地衣进行了进一步的调查和研究;热衣木·马木提等^[23]根据文献资料探讨了托木尔峰国家级自然保护区内地衣的地理区系特征。目前,有关该地区岩面生地衣群落结构及其种类分布格局的定量研究尚未见报道。

为此,作者调查统计了新疆托木尔峰国家级自然保护区岩面生地衣群落的种类组成、分布格局和群落多样性指数,并采用CCA法定量分析了该保护区岩

面生地衣种类的分布格局与环境因子的相关性,以期进一步了解该地区岩面生地衣群落的结构特征,为新疆托木尔峰国家级自然保护区物种多样性的维持提供基础研究资料。

1 研究区概况和研究方法

1.1 研究区概况

新疆托木尔峰国家级自然保护区位于新疆维吾尔自治区天山山脉西端的温宿县境内,该区域的自然概况见文献^[20]。

1.2 研究方法

1.2.1 野外调查 随机设立20个不同海拔的样地,样地面积20 m×20 m,各样地的环境概况见表1;在每个样地内设置5个面积2 m×2 m的样方,在每个样方内选择1或2块直径大于100 cm的岩石进行调查,20个样地共调查128块岩石;参照文献^[12,24-25]测量并记录各岩石上的地衣盖度和频度,并参照文献^[25]对128块岩石的环境变量进行分级(表2)。

1.2.2 数据分析 以各地衣种类的盖度和20个样地构成矩阵,应用WinTWINS 2.3统计软件进行TWINSpan分析^[14]。TWINSpan分析的参数设置为:根据物种盖度范围分别设置5级切割水平(cut level)0.1、0.3、0.5、0.7和0.9,各级权重(weight)分别为1、1、1、2和2;分类最小种组为5个;每次分类的指示种最大数量为10个;分类的最大水平数为6次^[16]。

采用CANOCO for Windows 4.5软件进行DCA和CCA^[12-13,25]分析。运行CANOCO软件时,对标准化后的种类数据进行开方处理;环境因子采用最大值法进行标准化处理;在Focus scaling on栏中选择inter-

表1 新疆托木尔峰国家级自然保护区岩面生地衣群落20个样地的环境概况

Table 1 Environmental survey of 20 plots of saxicolous lichen community in Xinjiang Tumor Peak National Natural Reserve

样地号 No. of plot	经度 Longitude	纬度 Latitude	海拔/m Altitude	相对湿度/% Relative humidity	岩面 pH 值 pH value on rock surface	光照强度 Light intensity
1	E80°24'53.47"	N41°40'13.38"	1 964	9.5	7.35	强 Strong
2	E80°24'20.22"	N41°41'19.39"	2 050	9.5	7.10	强 Strong
3	E80°22'42.41"	N41°41'47.59"	2 150	12.0	7.35	强 Strong
4	E80°21'50.75"	N41°42'24.21"	2 250	15.0	7.40	强 Strong
5	E80°20'28.64"	N41°43'12.03"	2 363	13.5	7.42	中等 Middle
6	E80°19'36.66"	N41°43'37.39"	2 452	20.0	7.30	中等 Middle
7	E80°19'24.29"	N41°44'00.79"	2 580	19.0	7.32	中等 Middle
8	E80°19'19.61"	N41°44'08.59"	2 650	30.0	7.50	弱 Weak
9	E80°19'05.44"	N41°44'37.08"	2 750	32.5	7.80	最弱 The weakest
10	E80°18'55.55"	N41°44'47.68"	2 850	35.0	7.60	最弱 The weakest
11	E80°18'37.45"	N41°44'57.92"	2 950	30.5	7.55	弱 Weak
12	E80°18'21.63"	N41°45'08.62"	3 050	33.0	7.65	弱 Weak
13	E80°17'51.11"	N41°44'56.00"	3 100	42.0	7.80	强 Strong
14	E80°17'36.92"	N41°45'05.37"	3 150	45.0	7.82	强 Strong
15	E80°17'56.78"	N41°45'24.34"	3 200	40.0	7.78	强 Strong
16	E80°18'03.05"	N41°45'28.12"	3 250	50.0	8.00	最强 The strongest
17	E80°18'28.18"	N41°45'21.64"	3 300	52.0	7.90	最强 The strongest
18	E80°18'29.30"	N41°45'28.94"	3 350	55.0	7.90	最强 The strongest
19	E80°18'19.07"	N41°45'40.38"	3 400	50.0	8.20	最强 The strongest
20	E80°18'20.90"	N41°45'44.45"	3 450	53.0	7.85	最强 The strongest

表2 新疆托木尔峰国家级自然保护区岩面生地衣群落128块岩石的环境变量分级

Table 2 Class division of environmental variables of 128 rocks of saxicolous lichen community in Xinjiang Tumor Peak National Natural Reserve

相对湿度等级 Class of relative humidity	岩石数量 Rock number	岩面 pH 值等级 Class of pH value on rock surface	岩石数量 Rock number	海拔等级 Class of altitude	岩石数量 Rock number	光照强度等级 Class of light intensity	岩石数量 Rock number
1 (≥50.0%)	18	1 (pH 7.00–pH 7.29)	30	1 (1 950–2 350 m)	18	1 (最弱 The weakest)	26
2 (40.0%–49.9%)	25	2 (pH 7.30–pH 7.49)	35	2 (2 350–2 750 m)	27	2 (弱 Weak)	33
3 (30.0%–39.9%)	17	3 (pH 7.50–pH 7.69)	20	3 (2 750–3 150 m)	39	3 (中等 Middle)	24
4 (10.0%–29.9%)	28	4 (pH 7.70–pH 7.89)	18	4 (3 150–3 550 m)	25	4 (强 Strong)	26
5 (<10.0%)	40	5 (≥pH 7.90)	25	5 (>3 550 m)	19	5 (最强 The strongest)	19

species distances 项, 在 Scaling type 栏中选择 biplot scaling 项。

根据数量分类结果和优势种特征, 对岩面生地衣群落进行命名^[26]。采用 Sørensen 相似系数(C_s) 计算群丛之间岩面生地衣种类组成的相似性程度, 计算公式^[26–27]为 $C_s = 2a/(A+B)$; 式中, A 和 B 分别为群丛 1 和群丛 2 的物种数, a 为 2 个群丛共有的物种数。 P_i 为第 i 种的盖度比例, 计算公式为 $P_i = N_i/N$; 式中, N_i 为第 i 种的盖度, N 为全部物种的盖度总和。采用 Shannon–Wiener 多样性指数(H')^[26–27] 指示群落多样性, 计算公式为 $H' = -\sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$; 式中, S 为岩面生地衣群落的总种数。群落物种均匀度指数(J) 的计算公式为 $J = H/H_{\max}$; 式中, H 为群落多样性指数实测值, H_{\max}

为群落多样性指数的理论最大值, 其计算公式为 $H_{\max} = \ln S$ 。

2 结果和分析

2.1 岩面生地衣群落的种类组成分析

新疆托木尔峰国家级自然保护区 20 个样地 128 块岩石上各种类的出现频率见表 3。调查和统计结果显示: 20 个样地内共有岩面生地衣 58 种, 隶属于 6 目 18 科 35 属; 其中, 茶渍目 (Lecanorales) 地衣占优势, 其科、属和种数分别占该保护区岩面生地衣科、属和种总数的 72.22%、74.28% 和 74.14%。优势科共有 5 个, 包括 15 属 36 种, 分别占该保护区岩面生地衣属和种总数的 42.86% 和 62.07%。35 个属中, 包含 4

种以上的属有微孢衣属(*Acarospora* Massal.)和平茶渍属(*Aspicilia* Massal.),占该保护区岩面生地衣总种数的25.86%。

从频度来看,丽石黄衣[*Xanthoria elegans* (Link) Th. Fr.]的频度最高,达到100%;而白泡鳞衣[*Toninia candida* (Weber) Th. Fr.]、旱梅衣[*Parmelia vagans* (Nyl.) Nyl.]、蜂窝橙衣(*Caloplaca scrobiculata*

H. Magn.)、油黄茶渍(*Candelariella oleifera* H. Magn.)和包氏平茶渍[*Aspicilia bohlinii* (H. Magn.) J. C. Wei]的频度也较高,均在60%以上;多数种类的频度在30%以下。结果表明:新疆托木尔峰国家级自然保护区岩面生地衣群落优势科明显,但优势属和优势种数量较少。

表3 新疆托木尔峰国家级自然保护区岩面生地衣群落的种类组成及各种类的频度

Table 3 Species composition and frequency of every species of saxicolous lichen community in Xinjiang Tumor Peak National Natural Reserve

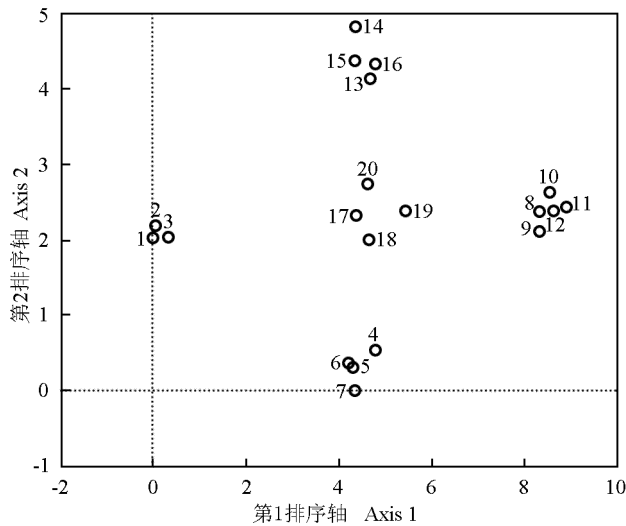
序号 No.	种类 Species	频度/% ¹⁾ Frequency ¹⁾	序号 No.	种类 Species	频度/% ¹⁾ Frequency ¹⁾
1	双缘衣 <i>Diploschistes scruposus</i>	15	30	耳盘网衣 <i>Lecidea auriculata</i>	25
2	包氏微孢衣 <i>Acarospora bohlinii</i>	20	31	斑纹网衣 <i>Lecidea tessellata</i>	45
3	短片微孢衣 <i>Acarospora brevilabata</i>	30	32	柔扁枝衣 <i>Evernia divaricata</i>	55
4	戈壁微孢衣 <i>Acarospora gobiensis</i>	35	33	硬袋衣 <i>Hypogymnia austeroles</i>	25
5	侵占微孢衣 <i>Acarospora invadens</i>	15	34	菊叶梅衣 <i>Xanthoparmelia somloënsis</i>	10
6	荒漠微孢衣 <i>Acarospora schleicheri</i>	15	35	旱梅衣 <i>Parmelia vagans</i>	70
7	托敏氏微孢衣 <i>Acarospora tominiana</i>	25	36	灰表多胞瘤衣 <i>Diplotomma epipolium</i>	5
8	糙聚盘衣 <i>Glypholecia scabra</i>	20	37	海登氏多胞瘤衣 <i>Diplotomma hedinii</i>	5
9	脑纹网盘衣 <i>Sarcogyne gyrocarpa</i>	15	38	蓝灰蜈蚣衣 <i>Physcia caesia</i>	20
10	藓生杆孢衣 <i>Bacidia bagliettoana</i>	15	39	伴藓大孢蜈蚣衣 <i>Physconia muscigena</i>	5
11	厚叶鳞茶渍 <i>Squamarina pachyphylla</i>	20	40	包氏饼干衣 <i>Rinodina bohlinii</i>	5
12	白泡鳞衣 <i>Toninia candida</i>	75	41	岩生树花 <i>Ramalina intermedia</i>	5
13	油黄茶渍 <i>Candelariella oleifera</i>	65	42	绿黑地图衣 <i>Rhizocarpon viridiatrum</i>	10
14	雕纹腊肠衣 <i>Catillaria sculpturata</i>	30	43	双孢地图衣 <i>Rhizocarpon eupetraeoides</i>	45
15	隆胶衣 <i>Collema glebulentum</i>	15	44	淡肤根石耳 <i>Umbilicaria virginis</i>	10
16	粗糙猫耳衣 <i>Leptogium brebisonii</i>	5	45	多孢同层枝 <i>Peccania polyspora</i>	25
17	粉盘平茶渍 <i>Aspicilia alphoplaca</i>	45	46	双孢散盘衣 <i>Solorina bispora</i>	30
18	包氏平茶渍 <i>Aspicilia bohlinii</i>	60	47	黄粉橙衣 <i>Caloplaca cirrochroa</i>	15
19	彩斑平茶渍 <i>Aspicilia exuberans</i>	5	48	杷森氏橙衣 <i>Caloplaca paulsenii</i>	20
20	拟亚洲平茶渍 <i>Aspicilia hartliana</i>	40	49	蜂窝橙衣 <i>Caloplaca scrobiculata</i>	75
21	赭白平茶渍 <i>Aspicilia ochraceoalba</i>	15	50	灰黄枝衣 <i>Teloschistes lacunosus</i>	10
22	有油平茶渍 <i>Aspicilia oleifera</i>	30	51	丽石黄衣 <i>Xanthoria elegans</i>	100
23	亚白平茶渍 <i>Aspicilia subalbicans</i>	10	52	包氏鳞核衣 <i>Catapyrenium bohlinii</i>	5
24	亚蓝灰平茶渍 <i>Aspicilia subcaesia</i>	20	53	绵毛鳞核衣 <i>Catapyrenium lachneum</i>	5
25	白边平茶渍 <i>Aspicilia sublaqueata</i>	5	54	不等鳞核衣 <i>Catapyrenium inaequale</i>	5
26	小疣巨孢衣 <i>Megaspora verrucosa</i>	55	55	皮果衣 <i>Dermatocarpon miniatum</i>	15
27	碎茶渍 <i>Lecanora argopholis</i>	35	56	短绒皮果衣 <i>Dermatocarpon vellereum</i>	10
28	赭色茶渍 <i>Lecanora umbrina</i>	20	57	多根皮果衣 <i>Dermatocarpon moulinii</i>	55
29	破小网衣 <i>Lecidella carpathica</i>	10	58	淡红矮疣衣 <i>Staurothele rufa</i>	20

¹⁾ 各种类在20个样地128块岩石上出现的频度 Frequency of every species appearing on 128 rocks in 20 plots.

2.2 岩面生地衣群落的数量分类及相似性分析

2.2.1 群落的数量分类 对新疆托木尔峰国家级自然保护区的20个样地和58个岩面生地衣种类进行TWINSpan分析和DCA排序,结果见图1。通过TWINSpan分析和DCA排序可将20个样地分为5组,可以描述为5个群丛。

群丛A:包括样地1、2和3,分布在海拔1950~2150m的山地温带荒漠草原带;植被盖度较低,空气干燥,相对湿度小于12%,光照较强,岩石表面裸露干旱。构成该群丛的主要地衣种类有双缘衣[*Diploschistes scruposus* (Schreb.) Norman]、蜂窝橙衣、糙聚盘衣[*Glypholecia scabra* (Pers.) Müll. Arg.]、包氏



1-20: 样地序号 No. of plot.

图1 新疆托木尔峰国家级自然保护区岩面生地衣群落20个样地的除趋势对应分析(DCA)排序图

Fig. 1 Ordination diagram of detrended correspondence analysis (DCA) of 20 plots of saxicolous lichen community in Xinjiang Tumor Peak National Natural Reserve

微孢衣 (*Acarospora bohlinii* H. Magn.)、侵占微孢衣 (*Acarospora invadens* H. Magn.)、戈壁微孢衣 (*Acarospora gobiensis* H. Magn.) 和短片微孢衣 (*Acarospora brevilabata* H. Magn.) 等9个种,命名为包氏微孢衣+双缘衣群丛 (Assoc. *Acarospora bohlinii* + *Diploschistes scruposus*)。该群丛的多样性指数为0.932,均匀度指数为0.424,地衣总盖度为22.17%。

群丛B:包括样地4、5、6和7,位于海拔2250~2540m的山地寒温带干草原带。构成该群丛的主要地衣种类有油黄茶渍、亚白平茶渍 [*Aspicilia subalbicans* (H. Magn.) J. C. Wei]、拟亚洲平茶渍 [*Aspicilia hartliana* (J. Steiner) Hue]、柔扁枝衣 [*Evernia divaricata* (Linn.) Ach.]、托敏氏微孢衣 (*Acarospora tominiana* H. Magn.)、厚叶鳞茶渍 [*Squamarina pachyphylla* (H. Magn.) J. C. Wei]、脑纹网盘衣 (*Sarcogyne gyrocarpa* H. Magn.) 和隆胶衣 [*Collema glebulentum* (Nyl. ex Cromb.) Degel.] 等17个种,命名为油黄茶渍+亚白平茶渍+柔扁枝衣群丛 (Assoc. *Candelariella oleifera* + *Aspicilia subalbicans* + *Evernia divaricata*)。该群丛的多样性指数最高(达到2.238),均匀度指数为0.789,地衣总盖度为63.59%。

群丛C:包括样地8、9、10、11和12,分布在海拔2650~3050m的亚高山寒温带草原森林带。构成该群丛的主要地衣种类有斑纹网衣 (*Lecidea tessellata* Flörke)、早梅衣、淡肤根石耳 (*Umbilicaria virginis* Schrad.)、粗糙猫耳衣 (*Leptogium brebisonii* Mont.) 和绿黑地图衣 [*Rhizocarpon viridiatrum* (Wulf.) Körb.] 等16个种,命名为斑纹网衣+早梅衣+淡肤根石耳群丛 (Assoc. *Lecidea tessellata* + *Parmelia vagans* + *Umbilicaria virginis*)。该群丛的多样性指数为1.986,均匀度指数为0.716,地衣总盖度为51.86%。

群丛D:包括样地13、14、15和16,分布在海拔3100~3250m的高山寒冷草甸带。构成该群丛的主要地衣种类有丽石黄衣、白泡鳞衣、耳盘网衣 (*Lecidea auriculata* Th. Fr.)、雕纹腊肠衣 (*Catillaria sculpturata* H. Magn.) 和菊叶梅衣 [*Xanthoparmelia somloënsis* (Gyeln.) Hale] 等14个种,命名为丽石黄衣+白泡鳞衣群丛 (Assoc. *Xanthoria elegans* + *Toninia candida*)。该群丛的多样性指数为1.739,均匀度指数为0.658,地衣总盖度为31.98%。

群丛E:包括样地17、18、19和20,分布于该区域的高山寒冷草甸和高山垫状植被带,为典型的高山裸露岩石表面,环境恶劣。构成该群丛的主要地衣种类有皮果衣 [*Dermatocarpon minutum* (Linn.) W. Mann]、硬袋衣 [*Hypogymnia austerodes* (Nyl.) Räsänen]、绵毛鳞核衣 [*Catapyrenium lachneum* (Ach.) R. Sant.]、包氏平茶渍和赭白平茶渍 [*Aspicilia ochraceoalba* (H. Magn.) J. C. Wei] 等6个种,命名为皮果衣+硬袋衣群丛 (Assoc. *Dermatocarpon minutum* + *Hypogymnia austerodes*)。该群丛的地衣种类最少,多样性指数最低(仅为0.549),均匀度指数为0.306,地衣总盖度为10.48%。

2.2.2 相似性分析 由Sørensen相似性系数可见:新疆托木尔峰国家级自然保护区岩面生地衣群落的群丛A与群丛B间、群丛C与群丛D间的地衣物种具有较高的相似性,共有种分别有8和11个,相似性系数分别为0.615和0.733。群丛B与群丛C的物种相似性也较高,共有种有6个,相似性系数为0.363。群丛A与群丛C、群丛D和群丛E的物种相似性较低,共有种分别有3、2和0个;相似性系数较低,分别仅为0.243、0.172和0.000。

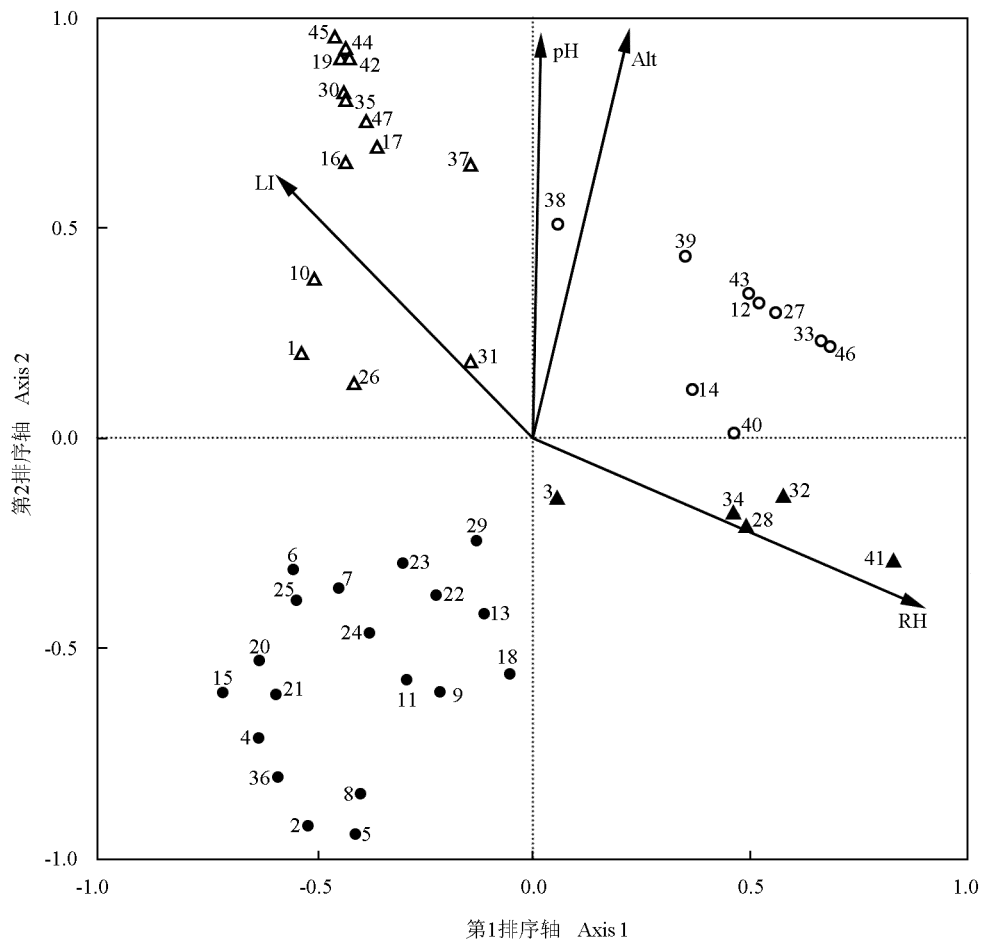
2.3 岩面生地衣分布与环境因子的相关性分析

为了定量分析新疆托木尔峰国家级自然保护区

岩面生地衣群落的种类分布与环境因子间的关系,对盖度大于2.5%的47种岩面生地衣种类的盖度与环境因子进行CCA分析,结果见图2。

由图2可以看出:位于第1象限的种类分布主要受海拔限制,这些种类主要分布在中等海拔区域,该区域的岩石表面相对湿度中等、光照强度适中、地衣种类多样性较高,主要的岩面生地衣种类有黄粉橙衣 [*Caloplaca cirrochroa* (Ach.) Th. Fr.]、雕纹腊肠衣、杷

森氏橙衣 [*Caloplaca paulsenii* (Vain.) Zahlbr.]、白泡鳞衣、丽石黄衣、耳盘网衣和多根果皮衣 [*Dermatocarpon moulinsii* (Mont.) Zahlbr.]等。位于第2象限的种类分布与光照强度的关系较密切,其中,果皮衣、灰黄枝衣 [*Teloschistes lacunosus* (Rupr.) Savicz]、多孢同层枝 (*Peccania polyspora* H. Magn.)、硬袋衣、淡红矮疣衣 [*Staurothele rufa* (A. Massal.) Zschacke]、包氏平茶渍和粉盘平茶渍 [*Aspicilia*



1: 双缘衣 *Diploschistes scruposus*; 2: 包氏微孢衣 *Acarospora bohlinii*; 3: 短片微孢衣 *A. brevilabata*; 4: 戈壁微孢衣 *A. gobiensis*; 5: 侵占微孢衣 *A. invadens*; 6: 荒漠微孢衣 *A. schleicheri*; 7: 托敏氏微孢衣 *A. tominiana*; 8: 糙聚盘衣 *Glypholecia scabra*; 9: 脑纹网盘衣 *Sarcogyne gyrocarpa*; 10: 蕨生杆孢衣 *Bacidia bagliettoana*; 11: 厚叶鳞茶渍 *Squamarina pachyphylla*; 12: 白泡鳞衣 *Toninia candida*; 13: 油黄茶渍 *Candelariella oleifera*; 14: 雕纹腊肠衣 *Catillaria sculpturata*; 15: 隆胶衣 *Collema glebulentum*; 16: 粉盘平茶渍 *Aspicilia alphoplaca*; 17: 包氏平茶渍 *A. bohlinii*; 18: 拟亚洲平茶渍 *A. hartiana*; 19: 赭白平茶渍 *A. ochraceoalba*; 20: 有油平茶渍 *A. oleifera*; 21: 亚白平茶渍 *A. subalbicans*; 22: 亚蓝灰平茶渍 *A. subcaesia*; 23: 小疣巨孢衣 *Megaspora verrucosa*; 24: 碎茶渍 *Lecanora argopholis*; 25: 赭色茶渍 *L. umbrina*; 26: 破小网衣 *Lecidella carpathica*; 27: 耳盘网衣 *Lecidea auriculata*; 28: 斑纹网衣 *L. tessellate*; 29: 柔扁枝衣 *Evernia divaricate*; 30: 硬袋衣 *Hypogymnia austerodes*; 31: 菊叶梅衣 *Xanthoparmelia somloënsis*; 32: 早梅衣 *Parmelia vagans*; 33: 蓝灰蜈蚣衣 *Physcia caesia*; 34: 绿黑地图衣 *Rhizocarpon viridiatrum*; 35: 双孢地图衣 *R. eupetraeoides*; 36: 拟肤根石耳 *Umbilicaria virginis*; 37: 多孢同层枝 *Peccania polyspora*; 38: 双孢散盘衣 *Solorina bispora*; 39: 黄粉橙衣 *Caloplaca cirrochroa*; 40: 杷森氏橙衣 *C. paulsenii*; 41: 蜂窝橙衣 *C. scrobiculata*; 42: 灰黄枝衣 *Teloschistes lacunosus*; 43: 丽石黄衣 *Xanthoria elegans*; 44: 果皮衣 *Dermatocarpon miniatum*; 45: 短绒果皮衣 *D. vellereum*; 46: 多根果皮衣 *D. moulinsii*; 47: 淡红矮疣衣 *Staurothele rufa*. RH: 相对湿度 Relative humidity; Alt: 海拔 Altitude; LI: 光照强度 Light intensity; pH: 岩面 pH 值 pH value on rock surface.

图2 新疆托木尔峰国家级自然保护区岩面生地衣种类分布与环境因子的典范对应分析 (CCA) 排序图
 Fig. 2 Ordination diagram of canonical correspondence analysis (CCA) between species distribution of saxicolous lichen and environmental factors in Xinjiang Tumor Peak National Natural Reserve

alphoplaca (Wahlenb.) Poelt et Leuckert] 等种类分布在光照强度较强的高海拔岩石表面;双缘衣、菊叶梅衣、破小网衣 (*Lecidella carpathica* Körb.) 和藓生杆孢衣 [*Bacidia bagliettoana* (A. Massal. et De Not.) Jatta] 分布在中低海拔、光照强度较弱、相对湿度适中的岩石上。位于第3象限的种类广泛分布在中低海拔区域,且主要分布于岩面 pH 值较低的岩石上,对光照强度和相对湿度的要求较低,包括柔扁枝衣、油黄茶渍、拟亚洲平茶渍、亚蓝灰平茶渍 [*Aspicilia subcaesia* (H. Magn.) J. C. Wei]、小疣巨孢衣 [*Megaspora verrucosa* (Ach.) Haf. et V. Wirth] 和有油平茶渍 [*Aspicilia oleifera* (H. Magn.) J. C. Wei] 等种类。位于第4象限的种类较少,主要分布在光照强度较弱的中海拔、湿润的环境中,包括蜂窝橙衣、旱梅衣、绿黑地图衣、短片微孢衣和斑纹网衣。

在 CCA 排序图中,与第1排序轴相关性最大的环境因子是相对湿度,相关系数为 0.8607;其次是海拔,相关系数为 0.3480;第三是光照强度,相关系数为 -0.6810。与第2排序轴相关性最大的环境因子是海拔,相关系数为 0.9133;其次是岩面 pH 值,相关系数为 0.7530;第三是光照强度,相关系数为 0.5030。

3 讨论和结论

岩石的风化和矿物质的腐蚀为地衣提供了栖息地,可以促进岩面生地衣的生长;同时,地衣分泌的地衣酸可以改善岩面微环境,为其他地衣种类的侵入提供适合的栖息环境^[28]。另外,岩面生地衣群落的形成还受到自然随机事件的影响,例如,岩石表面已有的藻类和真菌的繁殖体,决定最初侵入岩面的地衣种类,并最终决定整个岩面生地衣群落的种类组成以及群落的发展趋势^[28]。岩石坡度、水可利用性或水获得性、积雪深度和太阳辐射等因素形成简单的环境梯度,共同影响岩面生地衣群落的物种组成及种类分布^[26-28]。John 等^[25]的研究结果表明:坡度小的岩石表面由于排水能力差,形成较湿的微环境,但由于岩石坡度小,接受的辐射则较强;在高海拔地区,低温、风速和太阳辐射强度等因素直接限制陡峭岩石表面岩面生地衣群落的形成。Chen 等^[29]认为,岩面上盖度很高的地衣可以形成一道屏障,减少了岩石表面受风蚀、水蚀、岩石表面温度巨变、盐沉积和空气污染物

沉积等理化因素的影响。

调查结果显示:新疆托木尔峰国家级自然保护区岩面生地衣群落的 20 个样地内共有 58 种岩面生地衣,隶属于 6 目 18 科 35 属。在新疆托木尔峰国家级自然保护区,位于低、中海拔的岩石表面较潮湿、风化程度高,岩面生地衣群落结构简单、多样性较低、地衣体分散,因此,风化和腐蚀程度高的岩石表面不能给地衣提供稳定的栖息地,不利于岩面生地衣群落的形成。艾尼瓦尔·吐米尔等^[12]的研究结果表明:乌鲁木齐南部山区森林生态系统岩面生地衣群落结构的形成及其种类分布与海拔、光照强度和干扰强度等因素有关。本研究中,新疆托木尔峰国家级自然保护区岩面生地衣群落的 20 个样地可分成 5 个群丛,分别为包氏微孢衣+双缘衣群丛、油黄茶渍+亚白平茶渍+柔扁枝衣群丛、斑纹网衣+旱梅衣+淡肤根石耳群丛、丽石黄衣+白泡鳞衣群丛和皮果衣+硬袋衣群丛。低海拔区域的群丛由喜湿性种类组成,且低海拔地区岩石风化严重,地衣无法长期生长,物种多样性较低;中海拔区域的地衣种类较复杂,群落物种多样性最大,与中海拔区域的植被盖度、岩石种类和岩面湿度等因素有关;高海拔区域以垫状植被为主、盖度较低,风速较高且斜度大的岩面较干旱、风蚀程度较低、光照较强,群落主要由耐寒、耐旱的种类组成,与前人的研究结果相似^[25,30]。相似性分析结果显示:包氏微孢衣+双缘衣群丛与油黄茶渍+亚白平茶渍+柔扁枝衣群丛、斑纹网衣+旱梅衣+淡肤根石耳群丛与丽石黄衣+白泡鳞衣群丛之间的地衣种类组成的相似性较高,油黄茶渍+亚白平茶渍+柔扁枝衣群丛与斑纹网衣+旱梅衣+淡肤根石耳群丛之间物种相似性次之。王先业^[20]的研究结果表明:新疆托木尔峰国家级自然保护区南坡气候干燥、降水量小、碳酸钙的淋溶作用弱、径流深度小,土壤表层碳酸钙含量高,导致其 pH 值大于 7。本研究中,随海拔升高降水量增大,岩面 pH 值小幅下降,因此,低、中海拔分布的包氏微孢衣+双缘衣群丛和油黄茶渍+亚白平茶渍+柔扁枝衣群丛的种类组成与高海拔分布的丽石黄衣+白泡鳞衣群丛和皮果衣+硬袋衣群丛的种类组成存在差异。CCA 分析结果显示:该保护区岩面生地衣群丛的种类分布受海拔、光照强度、岩面 pH 值和相对湿度的影响。

综上所述,岩石的理化特征、研究区域的生态环境、岩面生地衣对生长环境的要求等因素均影响岩面生地衣种类组成及群落物种分布格局。

参考文献:

- [1] HALE M E. The Biology of Lichens[M]. 3rd ed. London: Edward Arnold Publishers Ltd., 1983: 97-107.
- [2] SCARCIGLIA F, SAPORITO N, La RUSSA M F, et al. Role of lichens in weathering of granodiorite in the Sila uplands (Calabria, southern Italy)[J]. Sedimentary Geology, 2012, 280: 119-134.
- [3] ARMSTRONG R A. The descriptive ecology of saxicolous lichens in an area of South Merionethshire, Wales[J]. Journal of Ecology, 1974, 62: 33-45.
- [4] ÓDORA P, KIRÁLYB I, TINYA F, et al. Patterns and drivers of species composition of epiphytic bryophytes and lichens in managed temperate forests[J]. Forest Ecology and Management, 2013, 306: 256-265.
- [5] McMULLIN R T, DUINKEB P N, RICHARDSOC D H S, et al. Relationships between the structural complexity and lichen community in coniferous forests of southwestern Nova Scotia[J]. Forest Ecology and Management, 2010, 260: 744-749.
- [6] BELNAP J, MILLER D M, BEDFORD D R, et al. Pedological and geological relationships with soil lichen and moss distribution in the eastern Mojave Desert, CA, USA[J]. Journal of Arid Environments, 2014, 106: 45-57.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 李 苏, 刘文耀, 王立松, 等. 云南哀牢山原生林及次生林群落附生地衣物种多样性与分布[J]. 生物多样性, 2007, 15(5): 445-455.
- [10] 王玉良, 郑爱琴, 阿不都拉·阿巴斯. 鹞落坪树生地衣群落数量分类及多样性[J]. 广西植物, 2011, 31(6): 747-753.
- [11] 艾尼瓦尔·吐米尔, 热依木·马木提, 阿不都拉·阿巴斯. 乌鲁木齐南部山区森林生态系统树生地衣群落结构[J]. 植物学报, 2009, 44(5): 578-586.
- [12] 艾尼瓦尔·吐米尔, 阿不都拉·阿巴斯. 乌鲁木齐南部山区岩面生地衣群落特征的研究[J]. 菌物学报, 2009, 28(2): 178-188.
- [13] 艾尼瓦尔·吐米尔, 张 婷, 马衣拉·莫合买提, 等. 新疆南山小渠子林场岩面生叶状地衣分布格局的研究[J]. 干旱区资源与环境, 2013, 27(7): 142-147.
- [14] 王合玲, 张辉国, 吕光辉. 艾比湖湿地植物群落的数量分类和排序[J]. 干旱区资源与环境, 2013, 27(3): 177-181.
- [15] 朱 源, 康慕谊. 贺兰山灰榆群落的种间关联、排序及分类研究[J]. 干旱区资源与环境, 2012, 26(4): 160-165.
- [16] 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.
- [17] 苏日古嘎, 张金屯, 张 斌, 等. 松山自然保护区森林群落的数量分类和排序[J]. 生态学报, 2010, 30(10): 2621-2629.
- [18] 李 瑞, 张克斌, 刘云芳, 等. 西北半干旱区湿地生态系统植物群落空间分布特征研究[J]. 北京林业大学学报, 2008, 30(1): 6-13.
- [19] 郭水良, 曹 同. 长白山地区森林生态系统树附生苔藓植物群落分布格局研究[J]. 植物生态学报, 2000, 24(4): 442-450.
- [20] 王先业. 天山托木尔峰地区的地衣[M]//中国科学院登山科学考察队. 天山托木尔峰地区的生物. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 1985: 328-353.
- [21] 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: 1-178.
- [22] 艾尼瓦尔·铁木尔, 阿不都拉·阿巴斯. 托木尔峰自然保护区地衣的补充研究[J]. 干旱区研究, 2000, 17(3): 20-27.
- [23] 热依木·马木提, 阿地里江, 阿不都拉·阿巴斯. 托木尔峰自然保护区地衣的地理成分及垂直分布[J]. 东北林业大学学报, 2010, 38(10): 44-47, 50.
- [24] MATTHES U, RYAN B D, LARSON D W. Community structure of epilithic lichens on the cliffs of the Niagara Escarpment, Ontario, Canada[J]. Plant Ecology, 2000, 148: 233-244.
- [25] JOHN E, DALE M R T. Environmental correlates of species distributions in a saxicolous lichen community [J]. Journal of Vegetation Science, 1990, 1: 385-392.
- [26] 王伯荪. 植物群落学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1987: 217-233.
- [27] 阳含熙, 卢泽愚. 植物生态学的数量分类方法[M]. 北京: 科学出版社, 1981: 90-252.
- [28] JOHN E A. Fine scale patterning of species distributions in a saxicolous lichen community at Jonas Rockslide, Canadian Rocky Mountains[J]. Ecography, 1990, 13: 187-194.
- [29] CHEN J, BLUME H P, BEYER L. Weathering of rocks induced by lichen colonization: a review[J]. Catena, 2000, 39: 121-146.
- [30] BJELLAND T. The influence of environmental factors on the spatial distribution of saxicolous lichens in a Norwegian coastal community [J]. Journal of Vegetation Science, 2003, 14: 525-534.

(责任编辑: 张明霞)