

DOI: 10.5846/stxb201911132398

田雅楠, 帕丽旦·艾海提, 买吾拉江·衣沙克, 艾尼瓦尔·吐米尔. 新疆博格达山地面生地衣群落数量分类及物种多样性. 生态学报, 2020, 40(13): 4605-4616.

Tian Y N, AHAT Parida, ISSAK Mawlanjan, TUMUR Anwar. Numerical classification and species diversity of terricolous lichen communities in Bogda Mountain of Xinjiang, China. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(13): 4605-4616.

新疆博格达山地面生地衣群落数量分类及物种多样性

田雅楠, 帕丽旦·艾海提, 买吾拉江·衣沙克, 艾尼瓦尔·吐米尔*

新疆大学生命科学与技术学院, 乌鲁木齐 830046

摘要: 根据对新疆博格达山地面生地衣群落 27 个样点 (20 m×20 m) 调查的数据, 以各地衣种的盖度为指标结合双向指示种分析方法 (TWINSpan) 和除趋势对应分析法 (DCA) 对博格达山地面生地衣群落进行数量分类并分析了群落结构特征及其多样性和相似性。采用典范对应分析法 (CCA) 对各群落的物种分布格局与环境因子的关系进行了探讨。结果表明, TWINSpan 分析和 DCA 排序将分布在博格达山的 37 种地面生地衣分为以下 5 个群丛。群丛 1: 膜地卷 (*Peltigera membranacea*) + 伴藓大孢蜈蚣衣 (*Physconia muscigena*) 群丛; 群丛 2: 地卷 (*Peltigera rufescens*) + 伴藓大孢蜈蚣衣 (*Physconia muscigena*) 群丛; 群丛 3: 裂边地卷 (*Peltigera degenii*) + 平盘软地卷 (*Peltigera elisabethae*) 群丛; 群丛 4: 喇叭石蕊 (*Cladonia pyxidata*) + 犬地卷 (*Peltigera canina*) 群丛; 群丛 5: 盾鳞衣 (*Placidium squamulosum*) + 缠结草枝衣 (*Seiophora contortuplicata*) 群丛。物种多样性以群丛 4 最大为 3.427; 群丛 1 最小为 0.672; 群丛 1 和群丛 4 间的相似性最高为 0.889, 群丛 3 和群丛 4 相似性系数最低为 0.607。CCA 排序结果反映, 该地区地面生地衣的分布受到森林植被郁闭度、人为干扰、光照强度的影响, 而地表植被盖度和土壤 pH 等因素的影响不大。

关键词: 地面生地衣; 物种多样性; 数量分类; 博格达山; 世界遗产

Numerical classification and species diversity of terricolous lichen communities in Bogda Mountain of Xinjiang, China

TIAN Yanan, AHAT Parida, ISSAK Mawlanjan, TUMUR Anwar*

College of Life Sciences and Technology, Xinjiang University, Urumqi 830046, China

Abstract: Based on the 27 quadrat (20 m×20 m) investigation data of terricolous lichen communities in Bogda Mountain, the quantitative classification of species was carried out by two way indicator species analysis (TWINSpan) and detrended correspondence analysis (DCA). The communities' structure characteristics, species diversity and similarity index were also analyzed. The relationship between species distribution of terricolous lichens and seven environmental factors was studied by canonical correspondence analysis (CCA). The results show that the terricolous lichen community can be divided into the following five associations according to the TWINSpan analysis and DCA ordination. They are Association 1 (Assoc. *Peltigera membranacea* + *Physconia muscigena*); Association 2 (Assoc. *Peltigera rufescens* + *Physconia muscigena*); Association 3 (Assoc. *Peltigera degenii* + *Peltigera elisabethae*); Association 4 (Assoc. *Cladonia pyxidata* + *Peltigera canina*); and Association 5 (Assoc. *Placidium squamulosum* + *Seiophora contortuplicata*). Association 4 had the highest species diversity of 3.427 and Association 1 had the lowest diversity of 0.672; similarity between the Association 1 and 4 was the highest of 0.889 and Association between 3 and 4 was the lowest of 0.607. The CCA ordination result showed that the species composition and distribution pattern of terricolous lichens were most strongly influenced by light intensity,

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31660009)

收稿日期: 2019-11-13; 修订日期: 2020-05-18

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: anwartumursk@xju.edu.cn

canopy density and human disturbance; the distribution patterns of lichen community were not significantly correlated with vegetation coverage and soil pH.

Key Words: terricolous lichen; species diversity; quantitative classification; Bogda Mountain; world heritage

地面生地衣是干旱区土壤生物结皮的主要组成部分,通过对土壤氮动态的贡献,在保持土壤肥力方面发挥重要作用^[1-2]。以地衣为主的土壤生物结皮和隐花植物地面覆盖层共同构成了地面隐花植物覆盖层连续体,它们作为大气中二氧化碳和氮的主要汇,约占陆地生物净初级生产力的 7% 和生物固氮的一半^[3-4]。地面生地衣作为陆地生物多样性的主要成员,能够生长和分布在其他高等植物不能生存的干旱、养分贫瘠的高盐、酸性土壤中。在生物群落演替、土壤的形成、改善土壤微环境、促进土壤物质循环、保持土壤水分、促进维管束植物种子发芽、生根、植物群落形成和演替等方面具有不可低估的作用^[1,5]。与此同时,地面生地衣群落结构和物种分布特征具有着生地微环境变化方面的生物指示作用。因此,地面生地衣在陆地生态系统环境质量评价方面具有重要的研究价值^[6]。

国外有关地面生地衣群落的研究表明,地面生地衣群落的结构、物种多样性以及物种分布主要受到干扰、光照强度、森林郁闭度、植被覆盖度、土壤的理化性质、湿度、降水量等因素的影响^[7-10]。同时,草本植物、灌木和乔木的盖度以及腐殖土、地面枯枝落叶层厚度等微环境的变化也直接或间接影响地面生地衣群落的物种组成^[1]。如,Lange 报道绿藻型地面生地衣能够利用水蒸气进行光合作用,而蓝藻型地面生地衣的光合作用依赖于液态水,因此降雨量较少,空气湿度高的地区绿藻型地面生地衣种类占优势^[11]。Kořuthová 等报道在斯洛伐克和波兰的干嗜酸性苏格兰松林中地面生地衣的多样性与森林的郁闭度有关,在郁闭度高的人工林中地面生地衣的多样性低,而在郁闭度低的自然林中地面生地衣的多样性较高^[12]。Gheza 等在意大利的研究发现,地衣作为变水生物对着生地微环境湿度的变化非常敏感^[7]。

国内虽然地面生地衣群落的研究尚不多见,但也有学者尝试对地面生地衣群落进行定量研究。如,艾尼瓦尔·吐米尔等在乌鲁木齐南部山区和阿尔泰山两河源自然保护区等地对地面生地衣群落结构及其生态位特征进行了研究^[13-15];王玉良等报道了鹫落坪自然保护区地面生地衣多样性及群落数量特征^[16]。

近年来随着全球气温变暖和人类活动强度的不断增加,环境污染和生态破坏等因素导致了地面生地衣物种多样性的减少^[1]。博格达山具有天山北坡典型的山地垂直自然带谱,博格达自然遗产地海拔从 1380 m 升至 5445 m,拥有 6 个垂直自然带。植被垂直带谱的完整性和典型性对于研究山地生态系统生物群落演替具有突出的全球意义^[17]。因此,进一步研究该地区地衣物种多样性,查明地衣群落结构和物种分布特征,有利于有效保护该地区地衣物种多样性。目前有关博格达山地面生地衣群落结构方面尚未见定量研究报道。因此,定量研究该地区地面生地衣群落结构及其物种分布格局,厘清地衣资源多样性,将为评价该保护区生态环境质量、生态系统稳定性提供参考资料。

1 方法

1.1 研究区概况

新疆天池博格达山区位于新疆维吾尔自治区阜康市境内,地处 88°10′—88°30′ E, 43°45′—43°80′ N 之间,海拔 840—5445 m,总面积 380.7 m²。最冷和最热的气温出现在每年的一月和七月份,分别是 -16℃ 至 -19℃ 和 10℃ 至 12℃;年降水量约 300 mm,属温带大陆性气候。博格达山区随着海拔高度和气候变化形成不同的植被带和土壤,即海拔 700—1100 m 之间的山地荒漠带,相应发育有冰沼土;海拔 1100—1650 m 之间的山地草原带,相应发育有草甸土;海拔 1650—2700 m 之间的山地森林带,相应发育有山地灰褐色森林土^[17-19]。

1.2 野外调查

地面生地衣的调查采用经典取样法,选择有代表性的地段进行常规群落调查,根据不同的海拔、地形和植

被类型设置了 20 m×20 m 的 33 个样点(图 1)。在每个样点内设置 5 个 2 m×2 m 的样方。调查内容包括海拔、坡向、光照强度、植被郁闭度、人为干扰、地衣种类盖度、频度、湿度、土壤 pH 等^[13,16]。其中地面生地衣分布的 27 个样点的环境概况和环境变量的分级见表 1。对所采集的地衣标本在实验室采用形态解剖观察和显色反应方法进行物种鉴定^[20]。

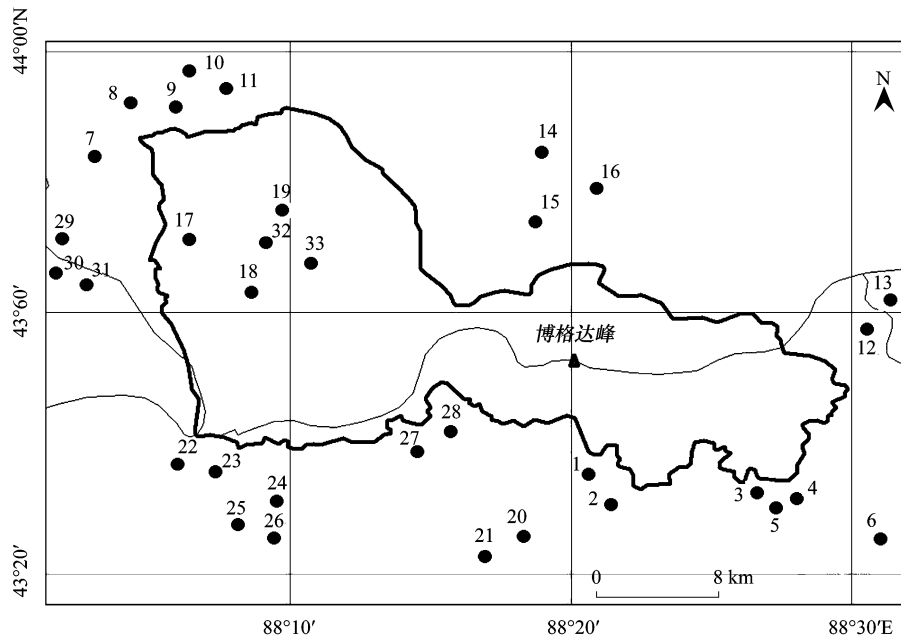


图 1 博格达山区采集样点分布图

Fig.1 Lichen collecting sites in Bogda Mountain, Xinjiang

表 1 博格达山 27 个样点的环境变量

Table 1 Environmental variables of 27 sampling sites in Bogda Mountain

样点 Sites	海拔 Altitude/m	光照强度 Light intensity	方向 Aspect	湿度 Humidity	郁闭度 Canopy density	干扰 Disturb	土壤 pH Soil pH	植被盖度 Coverage/%
1	1933	中等	北向	干燥	小	中等干扰	7.57	35
2	2060	最强	北向	较潮湿	中等	较大干扰	6.26	55
3	986	强	东南向	干燥	小	中等干扰	7.34	35
4	1018	中等	东南向	干燥	中等	中等干扰	7.16	45
5	1051	中等	东南向	较干燥	较小	较小干扰	6.88	35
6	1096	中等	南向	中等	中等	较大干扰	7.02	48
7	1922	强	东向	较潮湿	中等	干扰大	6.53	50
8	1977	强	东向	较潮湿	较大	较大干扰	6.14	57
9	1856	强	南向	较干燥	中等	无干扰	7.12	46
10	1549	强	南向	较干燥	较小	较小干扰	6.92	43
11	1828	中等	北向	较潮湿	大	干扰大	7.24	88
12	1880	弱	北向	潮湿	大	干扰大	5.65	97
13	1913	最弱	西北向	潮湿	较大	干扰大	5.94	63
14	1786	强	西南向	干燥	较小	中等干扰	7.54	48
15	2026	最强	西南向	较干燥	较小	中等干扰	7.15	45
16	1903	中等	南向	潮湿	大	较大干扰	5.92	85
17	2042	弱	西南向	潮湿	大	中等干扰	5.91	95
18	1988	强	东向	较干燥	较小	中等干扰	7.23	47

续表

样点 Sites	海拔 Altitude/m	光照强度 Light intensity	方向 Aspect	湿度 Humidity	郁闭度 Canopy density	干扰 Disturb	土壤 pH Soil pH	植被盖度 Coverage/%
19	2152	最弱	西北向	干燥	中等	较小干扰	7.42	58
20	958	中等	东南向	中等	较小	较小干扰	6.81	48
21	3371	最弱	北向	潮湿	小	无干扰	7.35	36
22	3408	最弱	北向	较潮湿	中等	无干扰	7.05	60
23	1869	中等	南向	较潮湿	较小	中等干扰	7.12	45
24	2297	中等	东南向	中等	较小	较大干扰	6.71	48
25	1911	强	南向	较干燥	小	中等干扰	6.42	24
26	1841	中等	西北向	较潮湿	较大	干扰大	7.25	75
27	2099	最弱	北向	潮湿	中等	较大干扰	5.84	60

1.3 数据分析

本文以样点为对象,以地面生地衣的盖度为指标,37 个地面生地衣种(表 2)和 27 个样点构成 37×27 的矩阵(表 3),应用双向指示种分析方法(TWINSPAN)和除趋势对应分析法(DCA)进行地面生地衣群落数值分类^[21-24]。采用典范对应分析(CCA)对地面生地衣种类的分布格局进行分析。TWINSPAN 分析,DCA 排序和 CCA 分析的参数设置见文献^[21-24]。

表 2 博格达山地面生地衣物种

Table 2 Species of terricolous lichens in Bogda mountain

编号 Code	种名 Name of species	缩写 Aberration
1	毛边雪花衣 <i>Anaptychia ciliaris</i> (L.) Körb. ex A. Massal.	Ana cil
2	倒齿雪花衣 <i>Anaptychia runcinata</i> (With.) J.R. Laundon	Ana run
3	粉唇蜈蚣衣 <i>Physcia tribacioides</i> Nyl.	Phy tri
4	伴藓大孢蜈蚣衣 <i>Physconia muscigena</i> (Ach.) Poelt	Phy mus
5	亚灰大孢蜈蚣衣 <i>Physconia perisidiosa</i> (Erichs.) Nyl	Phy per
6	喇叭粉石蕊 <i>Cladonia chlorophaea</i> (Flk.) ex Sommerf	Cla cho
7	喇叭石蕊 <i>Cladonia pyxidata</i> (L.) Hoffm	Cla pyx
8	分枝石蕊 <i>Cladonia furcate</i> (Huds.) Schrad.	Cla fur
9	坚石蕊 <i>Cladonia firma</i> (Nyl.) Nyl.	Cla fir
10	莲座石蕊 <i>Cladonia pocillum</i> (Ach.) O.J.Rich	Cla poc
11	粗皮石蕊 <i>Cladonia scabriuscula</i> (Delise.) Leight	Cla sca
12	盾鳞衣 <i>Placidium squamulosum</i> (Ach.) Breuss	Pla squ
13	毛状盾鳞衣 <i>Placidium pilosellum</i> (Breuss) Breuss	Pla pil
14	岛衣 <i>Cetraria islandica</i> (L.) Ach.	Cet isl
15	雪黄岛衣 <i>Flavocetraria nivalis</i> (L.) Kärnefelt & A. Thell	Fla niv
16	平盘软地卷 <i>Peltigera elisabethae</i> (Gyeln.) Hale	Pel eli
17	膜地卷 <i>Peltigera membranacea</i> (Ach.) Nyl	Pel mem
18	地卷 <i>Peltigera rufescens</i> (Weis.) Humb	Pel ruf
19	犬地卷 <i>Peltigera canina</i> (L.) Willd	Pel can
20	黑瘿地卷 <i>Peltigera nigripunctata</i> Bitter	Pel nig
21	鳞地卷 <i>Peltigera lepidophora</i> (Vain.) Bitter	Pel lep
22	多指地卷 <i>Peltigera polydactyla</i> (Neck.) Hoffm.	Pel pol
23	裂芽地卷 <i>Peltigera praetextata</i> (Florke ex Sommerf.) Zopf	Pel pra
24	小瘤地卷 <i>Peltigera scabrosa</i> Th. Fr.	Pel sca
25	裂边地卷 <i>Peltigera degenii</i> Gyeln.	Pel deg

续表

编号 Code	种名 Name of species	缩写 Aberration
26	白腹地卷 <i>Peltigera leucophlebia</i> (Vain.) Bitter	Pel leu
27	墨绿胶衣 <i>Collema fuscovirens</i> (With.) J.R London	Col fus
28	鸡冠胶衣 <i>Collema cristatum</i> (L.) Weber ex F.H. Wigg.	Col cri
29	粉屑胶衣 <i>Collema furfuraceum</i> (Schaer.) Du Rietz	Col fur
30	树皮猫耳衣 <i>Leptogium corticola</i> (Taylor) Tuck.	Lep cor
31	南美猫耳衣 <i>Leptogium austroamericanum</i> (Malme) C.W. Dodge	Lep aus
32	拟鳞粉猫耳衣 <i>Leptogium pseudofurfuraceum</i> P.M.Jorg.	Lepeud
33	绿猫耳衣 <i>Leptogium chloromelum</i> (Ach.) Nyl.	Lep chl
34	缠绕茸枝衣 <i>Seiophora contortuplicata</i> (Ach.) Frödén	Sei con
35	黑小极衣 <i>Lichinella nigritella</i> (Lettau) P.P. Moreno	Lic nig
36	墙壁鳞网衣 <i>Psora vallesiaca</i> (Schaer.) Timdal	Pso val
37	粉芽盾衣 <i>Peltula euploca</i> (Ach.) Poelt ex Ozenda	Pel eup

根据地面生地衣在各样点的盖度,计算地面生地衣群落的 Shannon-Wiener 多样性指数、Simpson's 多样性指数、Patrick 丰富度指数、Pielou 均匀度指数、Jaccard's 相似性指数^[21-24]。

表 3 博格达山 37 种地面生地衣在 27 个样点中的相对盖度/%

Table 3 Coverage of the terricolous lichens at 27 sites in Bogda Mountain

物种 Species	样点 Sites									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0.00	0.00	1.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.03	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	1.77	0.00	0.00	0.00	2.87	0.00	2.84	0.00	0.00	0.00
5	1.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.23	0.00	0.00
6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.18	0.00
7	0.00	0.00	0.00	2.18	0.00	4.92	4.35	0.00	0.00	0.00
8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16	0.00	0.00	0.00	4.91	0.00	0.00	0.00	10.30	0.00	0.00
17	0.00	4.10	0.00	0.00	4.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.17	0.00	0.00	2.94
19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

物种 Species	样点 Sites									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

物种 Species	样点 Sites									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
2	0.00	0.00	0.00	0.00	1.36	0.00	0.00	0.00	0.53	0.00
3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.74	3.54	0.00	0.00
6	2.03	1.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.80	2.38
7	0.00	4.57	0.00	0.00	0.00	2.74	3.87	4.43	0.00	5.32
8	3.46	3.31	0.00	0.00	0.00	2.60	4.11	6.02	0.00	4.05
9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.32
10	3.69	0.00	2.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.97
11	0.00	0.00	2.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	0.00	4.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.37	5.10	5.33
13	0.00	0.00	0.00	1.47	2.61	0.00	1.05	0.00	0.00	0.00
14	0.00	0.00	0.00	1.98	3.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
17	6.62	3.04	2.57	0.00	0.00	2.69	3.67	3.80	4.46	0.00
18	0.00	4.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.59	3.03	0.00	0.00	5.36
20	2.83	3.39	2.49	0.00	0.00	3.76	0.00	4.86	3.99	4.57
21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.25
22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.35
23	5.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.62	0.00	5.00
24	0.00	5.51	4.71	0.00	0.00	2.95	0.00	0.00	0.00	0.00
25	1.75	0.00	3.38	0.00	0.00	1.02	0.00	1.00	0.00	0.00
26	1.59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.64	0.00	3.94
27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.31
28	0.00	4.33	0.00	0.00	0.00	0.00	3.60	0.00	0.00	0.00
29	0.00	0.00	0.00	2.05	0.00	0.00	3.72	0.00	0.00	0.00
30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.58
31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.54	0.00
32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.59
33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.60
34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.31
35	0.00	0.00	0.00	1.91	1.73	0.00	1.71	0.00	0.00	0.00
36	0.00	0.00	0.00	1.91	1.64	0.00	0.44	0.00	0.00	0.00
37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.01	0.00	0.00	0.00

物种 Species	样点 Sites						
	21	22	23	24	25	26	27
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.90
4	2.38	2.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.00	0.00	0.00	3.44	0.00	0.00	0.00
6	0.00	0.00	6.11	0.00	0.00	0.00	0.00
7	0.00	0.00	4.37	5.84	3.74	0.00	0.00
8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	0.00	0.00	4.67	0.00	5.38	0.00	0.00
10	3.77	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	0.00	0.00	4.51	3.58	0.00	0.00	0.00
12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14	0.00	0.00	0.00	6.74	0.00	0.00	0.00
15	2.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.37
17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
18	6.72	4.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.61	0.00
20	0.00	0.00	2.88	0.00	0.00	0.00	0.00
21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.07	0.00
23	0.00	0.00	5.65	0.00	0.00	0.00	0.00
24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
25	0.00	0.00	0.00	0.00	4.65	1.00	3.48
26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
28	0.00	0.00	0.00	0.00	4.36	0.00	0.00
29	0.00	0.00	3.14	0.00	0.00	0.00	0.00
30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
32	0.00	0.00	0.00	3.51	0.00	0.00	0.00
33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
35	0.00	1.68	0.00	0.00	0.95	0.00	0.00
36	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

2 结果

2.1 地面生地衣群落数量分类

以地面生地衣的盖度为指标,结合 DCA 和 TWINSpan 分析结果(图 2、图 3),把 27 个地面生地衣的样点划分为 5 个地衣群落,并根据优势种命名法对地衣群落进行命名。

群丛 1:包括样点 2 和 5,这两个样点土壤 pH 相近,森林郁闭度小,光照条件良好,人为干扰较少或无人干扰,地卷科地衣分布较多。主要有伴藓大孢蜈蚣衣 (*Physconia muscigena*) 和膜地卷 (*Peltigera membranacea*) 等,根据地衣总平均盖度中的两个优势种,定名该群落为膜地卷+伴藓大孢蜈蚣衣群丛。

群丛 2: 包括样点 1、7、10、21、22, 该组样点均较潮湿, 有的海拔在 3300 m 以上, 土壤 pH 在 7 左右。主要的大型地衣有毛边雪花衣 (*Anaptychia ciliaris*)、伴藓大孢蜈蚣衣 (*Physconia muscigena*)、墙壁鳞网衣 (*Psora vallesiaca*)、黑小极衣 (*Lichinella nigritella*)、亚灰大孢蜈蚣衣 (*Physconia perisidiosa*)、雪黄岛衣 (*Flavocetraria nivalis*)、地卷 (*Peltigera rufescens*)、喇叭石蕊 (*Cladonia pyxidata*)、莲座石蕊 (*Cladonia pocillum*) 等, 定名为地卷+伴藓大孢蜈蚣衣群丛。

群丛 3: 包括样点 25、26、27, 该组样点人为干扰较大, 海拔均在 1850—2100 m 之间, 湿度为较潮湿, 环境较独特。主要分布有平盘软地卷 (*Peltigera elisabethae*)、坚石蕊 (*Cladonia firma*)、粉唇蜈蚣衣 (*Phycia tribacioides*)、黑小极衣 (*Lichinella nigritella*)、鸡冠胶衣 (*Collema cristatum*)、犬地卷 (*Peltigera canina*)、喇叭石蕊 (*Cladonia pyxidata*)、裂边地卷 (*Peltigera degenii*)、多指地卷 (*Peltigera polydactyla*) 等, 定名为裂边地卷+平盘软地卷群丛。

群丛 4: 包括样点 4、6、8、9、11、12、16、17、18、19、20、23、24, 该样点组中各样点海拔在 1000—2000 m, 光照强度较强或中等, 人为干扰中等或较大, 郁闭度较大, 分布样点也最多。主要分布的地面生地衣有毛边雪花衣 (*Anaptychia ciliaris*)、平盘软地卷 (*Peltigera elisabethae*)、亚灰大孢蜈蚣衣 (*Physconia perisidiosa*)、黑小极衣 (*Lichinella nigritella*)、地卷 (*Peltigera rufescens*)、粗皮石蕊 (*Cladonia scabriuscula*)、喇叭石蕊 (*Cladonia pyxidata*)、喇叭粉石蕊 (*Cladonia chlorophaea*)、小瘤地卷 (*Peltigera scabrosa*)、裂芽地卷 (*Peltigera praetextata*)、犬地卷 (*Peltigera canina*) 等, 定名为喇叭石蕊+犬地卷群丛。

群丛 5: 包括样点 3、14、15, 该样点组湿度为较干燥, 山体东南或西南反方向, 光照强度较弱且人为干扰较少。主要分布的地面生地衣有盾鳞衣 (*Placidium squamulosum*)、黑小极衣 (*Lichinella nigritella*)、毛边雪花衣 (*Anaptychia ciliaris*)、缠结茸枝衣 (*Seirophora contortuplicata*)、毛状盾鳞衣 (*Placidium pilosellum*) 等, 定名为盾鳞衣+缠结茸枝衣群丛。

2.2 地面生地衣群落物种多样性

物种多样性是指物种水平上的生物多样性, 用一定空间范围物种的数量和分布特征来衡量。群落多样性与群落物种丰富度和均匀度等有关。对 5 个地面生大型地衣群落进行 Patrick 丰富度、Shannon-Wiener 多样性、Simpson's 多样性、Pielou 均匀度的分析 (表 4)。结果显示, 群丛 4 多样性最大为 3.427, 组成该群落的样点数最多, 各样点海拔在 1000—2000 m, 光照强度较强或中等, 人为干扰中等或较大。群丛 1 多样性最小为 0.672, 该群丛的样地少且干燥, 分布的物种也较少。均匀度是指一个群落或生境中全部种的个体数目分配情况, 群落中能反应其种属组成的均匀程度。地面生地衣中群丛 2 的均匀度最低为 0.880, 其余各群丛均匀度都比较相近, 说明物种分布均匀。

相似性系数反应群落相互关系, 研究结果显示, 群丛 1 和群丛 4 间的相似性最高, 相似性指数为 0.889, 这两个群落中大孢蜈蚣衣属和地卷属地衣的分布较多。其次是群丛 2 和群丛 4 相似性系数也较高, 这两个群落中石蕊属地衣较多且多是叶状地衣。群丛 3 和群丛 4 相似性系数最低, 组成群落的地衣种类不同, 群落分布于环境因子和土壤和植被带类型有关, 见表 5。

2.3 物种分布格局与环境因子的关系

为了确定影响地面生地衣物种分布的自然和人为因素, 对 37 种地面生地衣与环境参数数据进行了 CCA

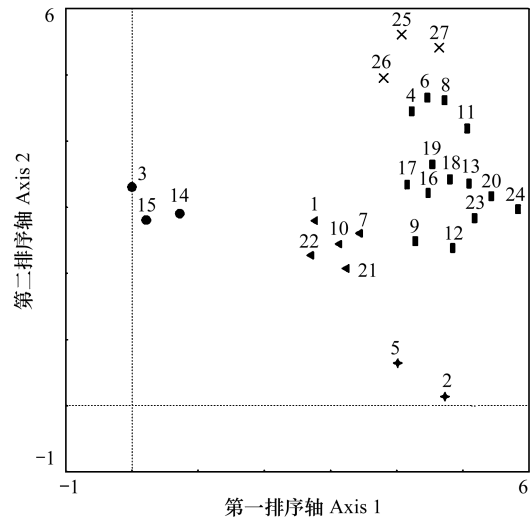


图 2 27 个样点的除趋势对应排序图

Fig. 2 DCA ordination diagram of 27 sampling sites

1—27 表示样点序号 Numbers 1—27 represent sample sites

分析。CCA 排序结果见图 4。

CCA 结果显示第一象限地面生地衣种类的分布与郁闭度和人为干扰程度有关。其中粉屑胶衣 (*Collema furfuraceum*)、伴藓大孢蜈蚣衣 (*Physconia muscigena*)、膜地卷 (*Peltigera membranacea*)、平盘软地卷 (*Peltigera elisabethae*) 分布在植被郁闭度较高,人为干扰程度较小的地带。第二象限莲座石蕊 (*Cladonia pocillum*) 等种类广泛分布在较潮湿的地面,地卷 (*Peltigera rufescens*)、小瘤地卷 (*Peltigera scabrosa*)、裂芽地卷 (*Peltigera praetextata*) 分布在海拔较高的地带,而倒齿雪花衣 (*Anaptychia runcinata*)、喇叭粉石蕊 (*Cladonia chlorophaea*) 分布在海拔较低的地带。第三象限中黑瘦地卷 (*Peltigera nigripunctata*)、粉屑胶衣 (*Collema furfuraceum*) 分布在地表植被盖度较大的地带,拟鳞粉猫耳衣 (*Leptogium pseudofurfuraceum*) 的分布与山体坡向有关。犬地卷 (*Peltigera canina*)、裂边地卷 (*Peltigera degenii*)、粗皮石蕊 (*Cladonia scabriuscula*)、多指地卷 (*Peltigera polydactyla*)、坚石蕊 (*Cladonia firma*) 分布在土壤 pH 小的地面。第四象限中树皮猫耳衣 (*Leptogium corticola*)、喇叭石蕊 (*Cladonia pyxidata*)、亚灰大孢蜈蚣衣 (*Physconia perisidiosa*)、树皮猫耳衣 (*Leptogium corticola*) 均分布在光照强度较弱的地带。

在 CCA 排序图中与第一排序轴相关性最大的是人为干扰,其次是郁闭度和光照强度,而地表植被盖度、坡向和湿度等与第一排序轴呈较大的负相关。与第二排序轴相关性较大的是湿度、森林郁闭度、海拔高度和人为干扰等,光照强度、坡向土壤 pH 与第二排序轴呈负相关。综上博格达山地面生地衣种群分布受到森林植被郁闭度、人为干扰、光照强度的影响,而地表植被盖度和土壤 pH 等因素的影响不大。

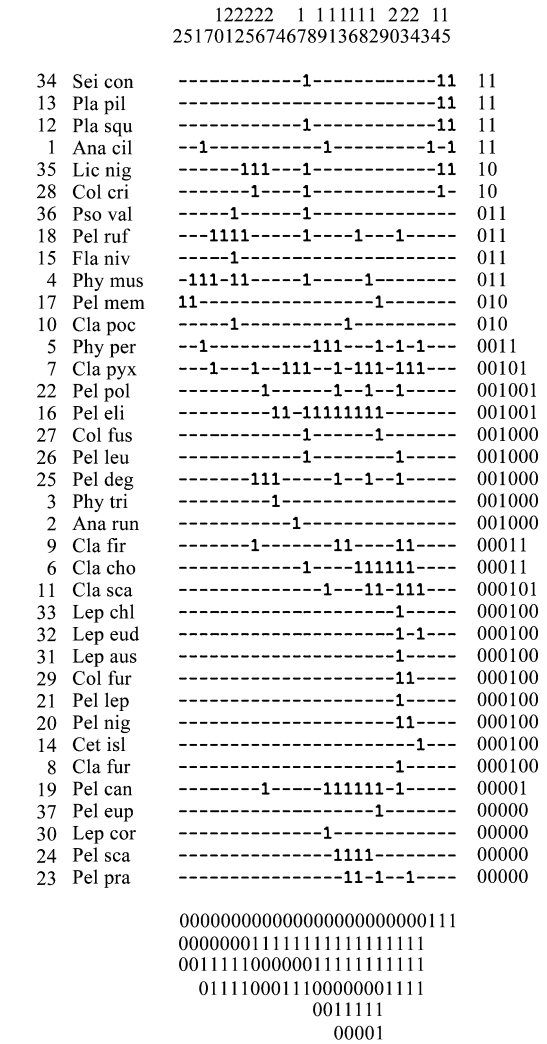


图 3 TWINSpan 分类结果矩阵图

Fig 3 The matrix of species and sampling sites classified by TWINSpan

表 4 群落多样性和均匀度指数

Table 4 Diversity and evenness index of the Associations

群落参数 Assoc. parameter	群丛 1 Association 1	群丛 2 Association 2	群丛 3 Association 3	群丛 4 Association 4	群丛 5 Association 5
Patrick 丰富度指数 (D_p) Patrick abundance index (D_p)	6	12	14	18	10
Shannon-Wiener 多样性指数 (H') Shannon-Wiener diversity index (H')	0.672	1.952	2.053	3.427	1.763
Simpson's 多样性指数 (D) Simpson's diversity index (D)	0.478	0.844	0.869	0.965	0.824
Pielou 均匀度指数 (J) Pielou evenness index (J)	0.979	0.880	0.977	0.905	0.971

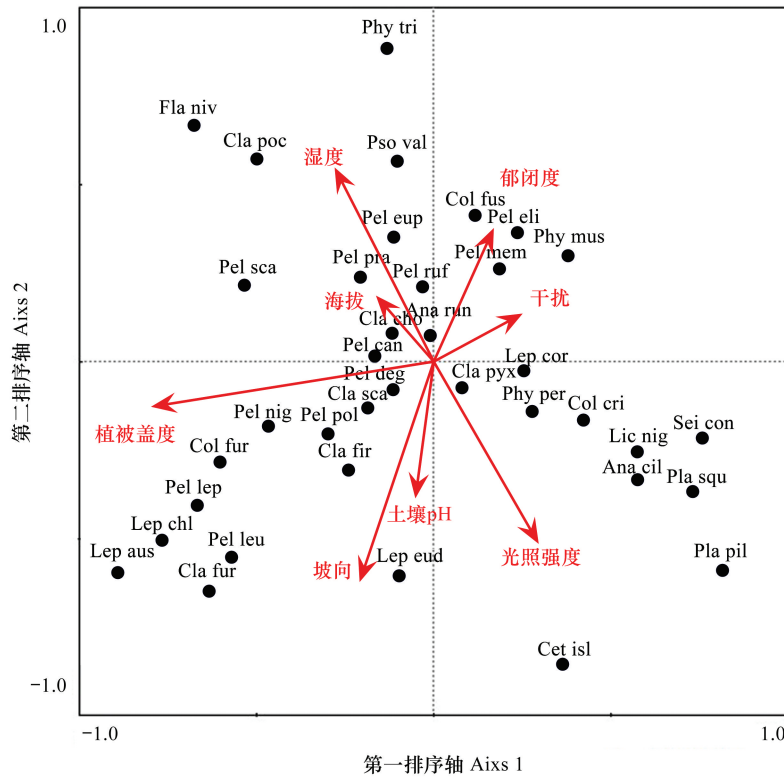


图 4 地面生地衣分布与环境因子关系的 CCA 排序图

Fig.4 The relationships of the terricolous lichen species with environmental factors revealed by CCA

表 5 群落相似性指数

Table 5 Sorenson's and Jaccard's similarity index between associations

Jaccard's 相似性 Jaccard's similarity	群丛 1	群丛 2	群丛 3	群丛 4	Jaccard's 相似性 Jaccard's similarity	群丛 1	群丛 2	群丛 3	群丛 4
群丛 2 Association 2	0.662				群丛 4 Association 4	0.889	0.667	0.607	
群丛 3 Association 3	0.812	0.875			群丛 5 Association 5	0.764	0.857	0.857	0.750

3 讨论

地面生地衣是氮和碳固定的来源,是重要的土壤稳定剂,为其它生物种类提供食物和栖息地^[1,25]。地面生地衣的生态类群较多,它们不仅广泛分布在矿物含量不同的各类土壤上,而且还在森林下层地面和腐殖质丰富的生境中形成群落。近年来,在全球气候变化的背景下,陆地生态系统的降水格局发生了变化,出现了土壤富营养化及土壤污染现象,从而改变了土壤的理化性质;同时放牧、森林砍伐等人为活动严重破坏了地面生地衣的着生地,导致地面生地衣物种多样性的降低^[26-30]。

影响地面生地衣物种分布的因素很多,其中除了自然因素外,人类的各种干扰也起到重要的作用。例如, Rai 等在喜马拉雅地区对地面生地衣进行研究时发现,海拔 3000m 以上的高海拔地区由于缺乏与地衣竞争的其它植物种类,地面生地衣的物种丰富度最高。其中隶属于石蕊属和珊瑚枝属的地面生地衣种类具有适应野生动物的践踏和恶劣气候条件的能力,通过充分利用土壤水分和忍受酸性土壤等方式扩展自己的分布区^[1,9]。同时他们在喜马拉雅中低海拔地区发现,当地居民把部分地面生地衣作为食物和药物加以开发利用,因此人类的规模化采集是导致喜马拉雅地区地面生地衣种类减少的主要原因之一^[1,9]。Rai 等用广义相加模型对喜马拉雅西部山脉地面生地衣丰富度的海拔梯度分布格局进行研究时发现中海拔地区地面生地衣

物种丰富度最高。不同海拔地衣的生长型和物种丰富度呈现出显著的统计学相关性。在高海拔地区壳状和鳞片状地面生地衣种类的丰富度大于枝状和叶状地衣。他们认为在 Garhwal 喜马拉雅地区,地形、气候的海拔梯度变化和维管束植物群落的竞争压力,以及地衣的生长型对动物和人类干扰的耐受性程度等因素影响该地区地面生地衣群落的物种分布格局^[31]。Gheza 等在意大利北部的 *Thero-Airion* 干旱草原研究地面生地衣群落时发现,不同土壤 pH、光照强度、富营养化下的地面生地衣群落结构具有明显的差异^[32]。王玉良报道鹞落坪自然保护区地面生种类的分布与湿度、海拔和基物等环境因子有关^[16]。艾尼瓦尔·吐米尔等报道阿尔泰山地面生地衣群落物种分布受到土壤湿度、土壤 pH、海拔高度、林冠层郁闭度和灌木层盖度等环境因素的影响,其中海拔、土壤湿度、林冠层郁闭度等对地衣物种分布的影响最大^[13]。艾尼瓦尔·吐米尔等对博格达山地区岩面生地衣群落研究时指出,不断发展的旅游业和放牧等各种人为干扰活动是导致博格达山区岩面生地衣物种多样性减少的主要原因^[21]。本研究在博格达山区的不同垂直自然带随机设置样点,对地面生地衣物种组成及分布格局进行定量研究。我们发现,博格达山地面生地衣种群分布受到森林植被郁闭度、人为干扰、光照强度的影响,而地表植被盖度和土壤 pH 等因素的影响不大,从而形成了不同海拔地面生地衣群落的地带性分布格局。最终,经过对博格达山区岩面生地衣和地面生地衣群落结构及其物种多样性的系统研究,我们认为加强对博格达山区地衣群落物种组成及分布的定期研究,建立地衣物种多样性数据库,追踪调查地衣多样性和分布区域的变化动态是有助于有效保护博格达山区的地衣物种多样性。

参考文献 (References):

- [1] Rai H, Upreti D K. Terricolous Lichens in India. New York: Springer Verlag, 2014.
- [2] Seaward M R D, Ahmadjian V. Lichen ecology. *The Quarterly Review of Biology*, 1978, 53(4): 456-457.
- [3] Housman D C, Powers H H, Collins A D, Belnap J. Carbon and nitrogen fixation differ between successional stages of biological soil crusts in the Colorado Plateau and Chihuahuan Desert. *Journal of Arid Environments*, 2006, 66(4): 620-634.
- [4] Elbert W, Weber B, Burrows S, Steinkamp J, Büdel B, Andreae M O, Pöschl U. Impact of cryptogamic covers on the global cycles of carbon and nitrogen. *Nature Geoscience*, 2012, 5(7): 459-462.
- [5] Mason Jr E H. *The Biology of Lichens*. 3rd ed. London: Edward Arnold Publishers, 1983.
- [6] Leppik E, Jürriado I, Suija A, Liira J. The conservation of ground layer lichen communities in alvar grasslands and the relevance of substitution habitats. *Biodiversity and Conservation*, 2013, 22(3): 591-614.
- [7] Gheza G, Assini S, Passadore M V. Terricolous lichen communities of *Corynephorus canescens* grasslands of Northern Italy. *Tuexenia*, 2016, 36: 121-142.
- [8] Lalley J S, Viles H A. Terricolous lichens in the northern Namib Desert of Namibia; distribution and community composition. *The Lichenologist*, 2005, 37(1): 77-91.
- [9] 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. *Biodiversity and Conservation*, 2012, 21(1): 97-113.
- [10] Rai H. *Studies on diversity of terricolous lichens of Garhwal Himalaya with special reference to their role in soil stability*[D]. Srinagar (Garhwal), Uttarakhand, India: Garhwal University, 2012.
- [11] Lange O L. Photosynthesis of soil-crust biota as dependent on environmental factors//Belnap J, Lange O L, eds. *Biological Soil Crusts: Structure, Function, and Management*. Berlin: Springer, 2003: 217-240.
- [12] Košuthová A D, Svitková I, Pišút I, Senko D, Valachovič M. The impact of forest management on changes in composition of terricolous lichens in dry acidophilous scots pine forests. *The Lichenologist*, 2013, 45(3): 413-425.
- [13] 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. *广西植物*, 2014, 34(3): 326-332, 289-289.
- [14] 艾尼瓦尔·吐米尔, 买买提·沙塔尔, 马衣拉·莫合买提, 阿不都拉·阿巴斯. 新疆乌鲁木齐南部山区地面生地衣生态位研究. *干旱区资源与环境*, 2012, 26(7): 116-120.
- [15] 艾尼瓦尔·吐米尔, 阿地力江·阿不都拉, 阿不都拉·阿巴斯. 乌鲁木齐南部山区生地衣群落分布格局. *生物多样性*, 2011, 19(5): 574-580.
- [16] 王玉良, 阿地里江·阿不都拉, 艾尼瓦尔·吐米尔, 阿不都拉·阿巴斯. 鹞落坪自然保护区地面生地衣多样性及群落数量特征. *植物分类与资源学报*, 2012, 34(2): 199-207.

- [17] 李东, 由亚男, 栾福明, 陈学刚. 博格达世界自然遗产地旅游景观资源评价与保护研究. *世界地理研究*, 2015, 24(1): 159-167.
- [18] 杨云良, 阎顺, 杨兆萍, 许英勤. 天山天池风景名胜旅游区旅游业持续发展初探. *干旱区地理*, 1997, 20(4): 47-53.
- [19] 张元明. 新疆三工河流域苔藓植物区系及生态学研究[D]. 沈阳: 中国科学院研究生院沈阳应用生态研究所, 2002.
- [20] Brodo I M, Sharnoff S D, Sharnoff S. *Lichens of North America*. New Haven: Yale University Press, 2001.
- [21] 艾尼瓦尔·吐米尔, 热衣木·马木提, 阿不都拉·阿巴斯. 新疆博格达山岩面生地衣群落结构特征. *生态学报*, 2018, 38(3): 1053-1064.
- [22] 阳含熙, 卢泽愚. *植物生态学的数量分类方法*. 北京: 科学出版社, 1981.
- [23] 王伯荪. *植物群落学*. 北京: 高等教育出版社, 1987.
- [24] 张金屯. *植被数量生态学方法*. 北京: 中国科学技术出版社, 1995.
- [25] Baniya C B, Rai H, Upreti D K. Terricolous lichens in himalayas: patterns of species richness along elevation gradient//Rai H, Upreti D K, eds. *Terricolous Lichens in India, Volume 1: Diversity Patterns and Distribution Ecology*. New York: Springer, 2013.
- [26] Gaio-Oliveira G, Moen J, Danell Ö, Palmqvist K. Effect of simulated reindeer grazing on the re-growth capacity of mat-forming lichens. *Basic and Applied Ecology*, 2006, 7(2): 109-121.
- [27] Lalley J S, Viles H A, Copeman N, Cowley C. The influence of multi-scale environmental variables on the distribution of terricolous lichens in a fog desert. *Journal of Vegetation Science*, 2006, 17(6): 831-838.
- [28] Leppik E, Jüriado I, Suija A, Liira J. Functional ecology of rare and common epigeic lichens in alvar grasslands. *Fungal Ecology*, 2015, 13: 66-76.
- [29] Crittenden P D. Aspects of the ecology of mat-forming lichens. *Rangifer*, 2000, 20(2/3): 127-139.
- [30] Russell K L M, Johnson C J. Post-fire dynamics of terrestrial lichens: implications for the recovery of woodland caribou winter range. *Forest Ecology and Management*, 2019, 434: 1-17.
- [31] Rai H, Khare R, Baniya C B, Upreti D K, Gupta R K. Elevational gradients of terricolous lichen species richness in the Western Himalaya. *Biodiversity Conservation*, 2015, 24(5): 1155-1174.
- [32] 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. *Tuexenia*, 2019, 39: 377-400.