

艾尼瓦尔·吐米尔

博士，新疆大学生命科学与技术学院，中国“西北干旱区地衣研究中心”教授，硕士生导师，新疆植物学会理事。从事干旱区地衣区系及生态学研究，涉及内容包括地衣种群生态学、地衣群落生态学、利用地衣空气质量评价等。发表论文 40 余篇。



中国新疆博格达山周边地区大型地衣物种多样性及分布特征

帕丽旦·艾海提 阿不都拉·阿巴斯 艾尼瓦尔·吐米尔[✉]

新疆大学生命科学与技术学院 新疆 乌鲁木齐 830046

摘要：本研究对中国新疆博格达山周边地区大型地衣进行地衣分类学和生态学结合的综合研究，通过分析大型地衣物种多样性和分布特征，探讨影响地衣分布的环境变量与生态因子。研究表明：（1）分布在博格达山周边地区的大型地衣共有 43 种，隶属于 6 目、11 科、15 属，其中茶渍目和黄枝衣目大型地衣占优势，分别占该地区大型地衣科、属、种总数的 55%、67%、81%。（2）博格达山周边地区的大型地衣组成 5 个样点组，分别是蓝灰蜈蚣衣+裂片石黄衣组、细片石黄衣+亚灰大孢蜈蚣衣组、长缘毛蜈蚣衣+菊叶黄梅组、地卷+暗裂芽黑蜈蚣衣组、黑蜈蚣衣+枪石蕊组，样点组的分布与环境因子密切相关。（3）在影响大型地衣分布的环境因素中海拔对地衣种类分布的影响较显著。本研究为更准确地确定博格达山区大型地衣分布规律提供科学依据。

关键词：大型地衣，物种多样性，分布特征，博格达山周边地区，新疆

Species diversity and distribution characteristics of macrolichens around the Bogda Mountains, Xinjiang, ChinaParida AHAT Abdulla ABBAS Anwar TUMUR[✉]*College of Life Science and Technology, Xinjiang University, Urumqi, Xinjiang 830046, China*

Abstract: A comprehensive research on lichen taxonomy and ecology of the macrolichens around the Bogda Mountains was conducted. Species diversity and distribution characteristics were analyzed and the environmental variables and ecological factors affecting macrolichens distribution were discussed. Totally 43 species of macrolichens in 15 genera, 11 family and 6 orders were found. Among them, species of the Lecanorales and Teloschistales were dominant, accounted for 81%, 67% and 55%

基金项目：国家自然科学基金（31660009，31670023）

Supported by the National Natural Sciences Foundation of China (31660009, 31670023).

✉ Corresponding author. E-mail: anwartumursk@xju.edu.cn

Received: 2018-02-05, accepted: 2018-05-02

of the sum total of species, genera and families, respectively. Five groups were recognized, they are: *Physcia caesia* + *Xanthoria lobulata*, *Xanthoria candelaria* + *Physconia perisidiosa*, *Physcia tenella* + *Xanthoparmelia somloensis*, *Peltigera rufescens* + *Phaeophyscia sciastra* and *Phaeophyscia hispidula* + *Cladonia coniocraea*. Elevation has a more significant impact on the species distribution pattern. This study provides scientific evidence for accurately determining the ecological relationship and the distribution pattern of macrolichens in Bogda Mountains.

Key words: macrolichen, species diversity, distribution characteristics, Bogda Mountains, Xinjiang

大型地衣 (macrolichen) 是指除壳状地衣 (crustose lichen) 外, 裂片宽度大于 5mm 的叶状 (foliose)、鳞片状 (placodioid) 和枝状 (fruticose) 地衣 (Berryman & McCune 2006)。其往往以地衣体的基部直接固着或腹面的假根、脐附着于岩石、土壤、树皮等基物, 易从基物剥离。大型地衣有助于岩石的风化 (Chris & Mccune 2015)、土壤的形成和稳定 (Adamo & Violante 2000)、促进土壤营养成分的循环 (Belnap *et al.* 2014), 同时为许多动物提供栖息地和食物 (Hayward & Resentreter 2004)。有关文献显示, 大约 15% 的大型地衣的光合细菌是由念珠藻属 *Nostoc* 和伪枝藻属 *Scytonema* 的蓝细菌组成, 这些蓝细菌具有固氮作用, 因此, 大型地衣在促进生态系统的物质循环方面具有重要的作用 (Bruce & Geiser 2009)。

国外地衣学家应用生态学定量研究方法对大型地衣群落结构、物种多样性、物种分布格局与环境因素间的关系等方面进行了大量的研究, 为生态环境质量评价、森林资源保护、地衣多样性保护等领域提供了科学数据 (Eldridge 2011); 他们分别采用 DCA、CCA 排序法及主成分分析和聚类分析等方法研究地衣种类分布特征, 并提出岩石种类和化学成分 (Steven & Theodore 2012)、降水量、土壤 pH 值、碳酸钙含量、植被覆盖度、地表侵蚀、有机物含量及地表覆盖物 (Henderson 2001)、纬度变化、空气湿度、温度和降水量等因素 (Zedda *et al.* 2001) 影响地衣的种群分布。大型地衣在各景区地衣种类中所占比例达 50% 以上, 而且大型地衣与森林植被的关系十分密切 (McCune 2000)。由于大型地衣对环境污染物质非常敏感, 国外有关利用大型地衣评价环境质量方面的研究开展的较多, 并形成了较系统的学科体系 (Leblanc & Comeau 2002; Marti 2003)。

在国内, 20 世纪末开始开展了地衣物种多样性

及地理区系研究 (Harada & Wang 2004)、重要类群的分子系统学及发育学研究 (Zheng & Manfred 2002), 探讨了光照、湿度、海拔梯度、光照强度、基物 pH、相对湿度、人为干扰 (艾尼瓦尔·吐米尔等 2013; 艾尼瓦尔·吐米尔和阿不都拉·阿巴斯 2015; Li *et al.* 2013, 2015a, 2015b) 等因素对地衣分布的影响。有关新疆博格达山区地衣研究 Magnusson (1940) 首次在《中亚地衣》中记载了 13 属、27 种地衣; 随后阿不都拉·阿巴斯和吴继农 (1998) 在《新疆地衣》中记载共 20 种采集于天池的地衣; 艾尼瓦尔·吐米尔和阿不都拉·阿巴斯 (2017) 对博格达山岩面生地衣物种多样性进行了研究, 并报道了种。从这些研究文献可以看出, 前人对地衣的研究多以壳状地衣的形态描述和多样性为主, 尚未在大型地衣多样性和分布格局与格局成因之间建立有机联系。

中国新疆博格达山自然保护区成立于 1980 年, 1990 年经联合国教科文组织批准纳入“人与生物圈”自然保护区网络, 2013 年进入世界自然遗产的范围之内 (李东和李亚男 2015), 其生态位极其重要。因此, 本研究以博格达山区大型地衣作为研究对象, 研究该地大型地衣物种及其分布, 将弥补博格达山区在地衣这一领域的空白, 为今后与博格达山大型地衣的分布对比提供参考。系统地研究博格达山周边地区大型地衣物种多样性及分布特征不仅为该地区生物多样性的有效管理提供基础数据, 同时对评价博格达山区森林生态系统的稳定性和环境质量提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

中国新疆天池博格达山区位于新疆维吾尔自治区阜康市境内, E 88°00'–88°20', N 43°45'–43°59', 总面积 38 069hm², 海拔 840–5 445m, 每年平均降

水量 600–700mm, 年均温 2°C、雪线以上低于-9°C。该山区属温带大陆性气候, 山区地面起伏变化明显, 南北坡降水量差异大, 充分体现干旱区地衣区系的特征(张娟和何秉宇 2008)。博格达山区从山顶到平原, 在植被和土壤等方面由上至下为冰雪带、高山草甸草原、森林带、山地草原、荒漠带, 相应发育有冰沼土、草甸土、灰褐色森林土、栗钙土、荒漠灰钙土(杨云良等 1997)。

1.2 野外调查

大型地衣调查中, 样点的设置采用典型取样法, 在博格达山周边地区即博格达峰南缘(海拔 1 933–2 211m)、博格达山西部四工河(海拔 986–1 096m)、北部吉木萨尔(海拔 1 922–1 937m)、东北部木垒(海拔 1 549–1 978m)等地选择具有代表性的 16 个样点, 进行常规群落调查样点, 样点分布见图 1。

调查岩面生和地面生大型地衣时, 在每个海拔地带按 2m 间隔拉样线, 样线上每隔 2m 设立 50cm×50cm 的小样方, 并应用 50cm×50cm 的铁筛计算地衣的盖度(艾尼瓦尔·吐米尔和阿不都拉·阿巴斯 2015)。调查树附生大型地衣时在不同海拔和植被带, 设置 10cm×50cm 的小样方, 采集树干离地面 2m 左右处的大型地衣, 应用 10cm×50cm 的铁筛计算地衣的盖度及频率(艾尼瓦尔·吐米尔

2013)。此外, 记录每个小样点 GPS 信息、坡向、坡度、光照强度、风速、岩石大小、每个树的树种、树皮情况、树胸径高度(1.3m 处的直径)和湿度等信息。野外采集的地衣标本用解剖镜和显微镜观察其特征, 结合显色反应法(CT)、薄层层析法(TLC)测定次生代谢产物进行分析和鉴定。

1.3 数据分析

多样性分析时根据各样点地衣物种覆盖度数据计算物种多样性, 分析采用 Shannon-Wiener 群落多样性分析, 计算公式为 $H = -\sum(P_i)(\ln P_i)$, 其中 $P_i = n_i/N$, 即种 i 的个体数 n_i 在样方内全部个体数 N 中占的比例; Pielou 均匀度指数, 计算公式为 $J = H/H_{max}$, 其中 J 为均匀度指数, H 为实测多样性值指数, H_{max} 为理论上最大的物种多样性指数, $H_{max} = -S(1/S \log_2 1/S) = \ln S$, S 为样地内的种类数; 根据 Shannon-Wiener 群落多样性分析和 Pielou 均匀度指数比较各样点组的物种多样性特点。Patrick 丰富度指数 $D = S$, 其中 D 表示丰富度指数, S 为样地内的种类数。

2 结果与分析

2.1 大型地衣物种组成

通过野外调查和对大型地衣标本的鉴定, 确定分布在博格达山周边地区的大型地衣共有 43 种, 隶属于 6 目、11 科、15 属(表 1)。

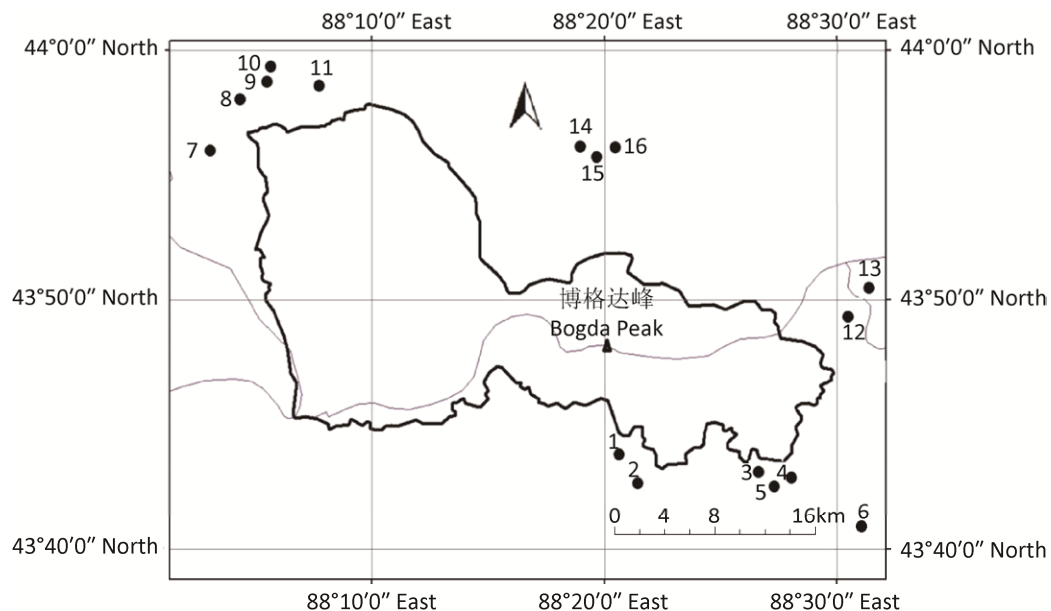


图 1 博格达山周边地区采集样点分布图

Fig. 1 Lichen collecting site around the Bogda Mountains, Xinjiang.

表 1 新疆博格达山周边大型地衣种类组成和特征

Table 1 Macrolichen species and characteristic around the Bogda Mountains in Xinjiang

种名 Name of species	缩写 Abbreviation	海拔 Elevation (m)	生长型 Growth form	基物 Substrate	有性繁殖 Sexual propagation	无性繁殖 Vegetative propagation
污白雪花衣 <i>Anaptychia ulothricoides</i>	Anaulo	1850-2211	叶状 Foliose	地面 Terricolous	+	-
小角石蕊 <i>Cladonia corniculata</i>	Clacor	1819	枝状 Fruticose	地面 Terricolous	+	+
枪石蕊 <i>Cladonia coniocraea</i>	Clacon	1901	枝状 Fruticose	树皮 Corticolous	+	+
喇叭粉石蕊 <i>Cladonia chlorophaea</i>	Clachl	1879-1901	枝状 Fruticose	地面 Terricolous	-	+
喇叭石蕊 <i>Cladonia pyxidata</i>	Clapyx	1922	枝状 Fruticose	地面 Terricolous	+	-
尖头石蕊 <i>Cladonia subulata</i>	Clasub	1958-2169	枝状 Fruticose	地面 Terricolous	+	-
亚鳞石蕊 <i>Cladonia subsquamosa</i>	Clasub	1958	枝状 Fruticose	地面 Terricolous	-	-
粉石蕊 <i>Cladonia fimbriata</i>	Clafim	1728	枝状 Fruticose	岩面 Saxicolous	-	+
皮果衣 <i>Dermatocarpon miniatum</i>	Dermin	1689	叶状 Foliose	岩面 Saxicolous	+	-
短绒皮果衣 <i>Dermatocarpon vellereum</i>	Dervel	1922	叶状 Foliose	地面 Terricolous	+	-
柔扁枝衣 <i>Evernia divaricate</i>	Evediv	1800-2130	叶状 Foliose	树皮 Corticolous	-	+
糙聚盘衣 <i>Glypholecia scabra</i>	Glyska	1915-1959	叶状 Foliose	岩面 Saxicolous	+	-
土星猫耳衣 <i>Leptogium saturninum</i>	Lepsat	1850	叶状 Foliose	树皮 Corticolous	+	+
平盘软地卷 <i>Peltigera elisabethae</i>	Peleli	1927-2211	叶状 Foliose	地面 Terricolous	-	+
膜地卷 <i>Peltigera membranacea</i>	Pelmem	1927-2120	叶状 Foliose	地面 Terricolous	+	-
地卷 <i>Peltigera rufescens</i>	Pelruf	1600-1922	叶状 Foliose	地面 Terricolous	+	-
斑面蜈蚣衣 <i>Physcia aipolia</i>	Phyaip	1622-2141	叶状 Foliose	树皮 Corticolous	+	-
翘叶蜈蚣衣 <i>Physcia adscendens</i>	Phyads	1728-2100	叶状 Foliose	树皮 Corticolous	-	+
蓝灰蜈蚣衣 <i>Physcia caesia</i>	Phycae	1856-1978	叶状 Foliose	岩面 Saxicolous	+	+
珊瑚芽蜈蚣衣 <i>Physcia clementei</i>	Phycle	1728-1870	叶状 Foliose	树皮 Corticolous	-	+
蜈蚣衣 <i>Physcia stellaris</i>	Physte	1927-2200	叶状 Foliose	岩面 Saxicolous	+	-
长缘毛蜈蚣衣 <i>Physcia tenella</i>	Phyten	1650	叶状 Foliose	树皮 Corticolous	-	+
粉唇蜈蚣衣 <i>Physcia tribacioides</i>	Phytri	1958	叶状 Foliose	树皮 Corticolous	-	-
甘肃大孢蜈蚣衣 <i>Physconia kansuensis</i>	Phykan	2211	叶状 Foliose	树皮 Corticolous	+	-
伴藓大孢蜈蚣衣 <i>Physconia musigena</i>	Phymus	1100-1922	叶状 Foliose	地面 Terricolous	+	-
伴藓瘤状大孢蜈蚣衣 <i>Physconia squarosa</i>	Physqu	1922	叶状 Foliose	地面 Terricolous	+	-
亚灰大孢蜈蚣衣 <i>Physconia perisidiosa</i>	Phyper	1780-2211	叶状 Foliose	地面 Terricolous	-	+
黑蜈蚣衣 <i>Phaeophyscia hispidula</i>	Phahis	1018-1922	叶状 Foliose	岩面 Saxicolous	+	-
暗裂芽黑蜈蚣衣 <i>Phaeophyscia sciastra</i>	Phasci	1650-1922	叶状 Foliose	岩面 Saxicolous	+	+
垫脐鳞衣 <i>Rhizoplaca melanophthalma</i>	Rhimel	1018	鳞片状 Squamose	地面 Terricolous	+	-
异脐鳞 <i>Rhizoplaca subdiscrepans</i>	Rhisub	1622	鳞片状 Squamose	岩面 Saxicolous	+	-
盾脐鳞衣 <i>Rhizoplaca peltata</i>	Rhipel	1622-2060	鳞片状 Squamose	岩面 Saxicolous	+	-
盾脐鳞衣黑腹变种 <i>Rhizoplaca regalis</i>	Rhireg	1856	鳞片状 Squamose	树皮 Corticolous	+	-

待续

续表 1

中国树花 <i>Ramalina sinensis</i>	<i>Ramsin</i>	1700-2200	枝状 Fruticose	树皮 Corticolous	+	—
淡肤根石耳 <i>Umbilicaria virginis</i>	<i>Umbvir</i>	1958	叶状 Foliose	地面 Terricolous	+	—
细片石黄衣 <i>Xanthoria candelaria</i>	<i>Xancan</i>	1927	叶状 Foliose	树皮 Corticolous	—	+
丽石黄衣 <i>Xanthoria elegans</i>	<i>Xanele</i>	1978-2169	叶状 Foliose	岩面 Saxicolous	+	—
裂片石黄衣 <i>Xanthoria lobulata</i>	<i>Xanlob</i>	1958	叶状 Foliose	岩面 Saxicolous	+	—
粉芽石黄衣 <i>Xanthoria soredata</i>	<i>Xansor</i>	1978-2169	叶状 Foliose	岩面 Saxicolous	—	+
杜瑞氏黄梅 <i>Xanthoparmelia durietzii</i>	<i>Xandur</i>	1760	叶状 Foliose	岩面 Saxicolous	—	—
淡肤黄梅 <i>Xanthoparmelia mexicana</i>	<i>Xanmex</i>	1509-1958	叶状 Foliose	地面 Terricolous	—	+
亚分支黄梅 <i>Xanthoparmelia subramigera</i>	<i>Xansub</i>	1728	叶状 Foliose	岩面 Saxicolous	+	+
菊叶黄梅 <i>Xanthoparmelia somloensis</i>	<i>Xansom</i>	1630-1900	叶状 Foliose	地面 Terricolous	—	+

注：地衣拉丁名缩写时，采用属名的前 3 个字母和种加词的前 3 个字母

Note: Abbreviation of species name is abbreviated from the first 3 letters of genus name and the first 3 letters of species epithet.

博格达山周边地区大型地衣物种组成中黄枝衣目 Teloschistales 和茶渍目 Lecanorales 地衣占优势，共有 6 科 10 属 35 种，其中，黄枝衣目有 2 科 5 属 18 种，茶渍目有 4 科 5 属 17 种；两目中的大型地衣合计占该地区大型地衣科、属和种总数的 55%、67%和 81%。地卷目 Peltigerales 共有 2 科 2 属 4 种，占该地区大型地衣科、属和种总数的 18%、13%和 9.3%。瓶口衣目 Verrucariaceae 共有 2 种，隶属于 1 科 1 属，占该地区大型地衣科、属和种总数的 9%、6.7%和 4.6%。微孢衣目 Acarosporales 和石耳目 Umbilicariales 的大型地衣分别有 1 科 1 属 1 种，占该地区大型地衣科、属和种的 9%、6.7%和 2.3%。大型地衣区系中优势科为蜈蚣衣科 Physciaceae，有 4 属 14 种，占该地区大型地衣属和种总数的 26.7%和 32.6%（表 2）。其

次为石蕊科 Cladoniaceae 和梅衣科 Parmeliaceae，分别占研究区大型地衣属和种总数的 6.7%和 13%，及 16.2%和 11.6%。茶渍科 Lecanoraceae 和黄枝衣科 Teloschistaceae 均有 1 属 4 种，占研究地区大型地衣属和种总数的 6.7%和 9.3%。研究地区大型地衣科的优势比较明显，而属在不同科的分布较为均匀。

博格达山周边地区大型地衣的基物种类有 3 种，其中地面生大型地衣共有 17 种，占大型地衣总种数的 39.53%，其次为岩面生和树皮生大型地衣，分别有 14 种和 12 种，占该地区大型地衣总种数的 32.56%和 27.91%。从大型地衣的生长型分析可知，叶状地衣的数量最多，共有 31 种，占该地区大型地衣总种数的 72.09%，枝状地衣（8 种）和鳞片状地衣（4 种）的种数较少，分别占大型地衣总种数的 18.6%和 9.3%。

表 2 博格达山周边地区大型地衣优势科的统计 (≥4 种)

Table 2 The main families of macrolichen around the Bogda Mountains in Xinjiang (≥4 species)

科名 Name of family	属的数目 No. of genus	占总属数的百分比 Percentage (%)	种的数目 No. of species	占总种数的百分比 Percentage (%)
Cladoniaceae	1	6.70	7	16.20
Lecanoraceae	1	6.70	4	9.30
Parmeliaceae	2	13.00	5	11.60
Physciaceae	4	26.70	14	32.60
Teloschistaceae	1	6.70	4	9.30

地衣的繁殖和传播一般分为无性繁殖和有性繁殖,本次研究中 65.12%大型地衣有子囊盘,可进行有性繁殖。具无性繁殖能力的地衣附属结构,如粉芽、裂芽从地衣体上断裂或脱落后能发育成新的个体,研究中 48.84%的地衣可进行无性繁殖,其中 23.26%的大型地衣通过粉芽进行无性繁殖,20.93%的大型地衣通过裂芽无性繁殖,13.95%的大型地衣既能有性繁殖又能无性繁殖(表 1)。

2.2 大型地衣物种分布与样地间关系

根据各样点中大型地衣种的有(1)和无(0),我们组成 16 个样点和 43 种大型地衣的原始矩阵(表 3),并进行主成分分析(principal component analysis, PCA)。主分量分析结果表明,第 1 主分量的特征值为 5.247,贡献率达 68.248%(表 4),第 2 主分量特征值为 1.3457,贡献率达 22.854%,2 个主分量累计贡献率达 91.102%,主分量的降维效果好,满足主分量二维排序的条件。

根据主成分分析结果把 16 个样点划分为 5 个大型地衣组,即蓝灰蜈蚣衣+裂片石黄衣组、细片石黄衣+亚灰大孢蜈蚣衣组、长缘毛蜈蚣衣+菊叶黄梅组、地卷+暗裂芽黑蜈蚣衣组、黑蜈蚣衣+枪石蕊组(图 2)。

样点组 1: 包括样点 2、7、8、14、15。主要的大型地衣种类有污白雪花衣、小角石蕊、喇叭粉石蕊、丽石黄衣、裂片石黄衣、斑面蜈蚣衣、蓝灰蜈蚣衣、亚分枝黄梅叶、盾脐鳞衣黑腹变种、垫脐鳞衣等。该样点组的光照条件较好,坡向南坡度均 40°,基物均为土壤或岩石,且多数地生地衣与苔藓一起生长,石蕊科地衣分布较多。

样点组 2: 包括样点 1、4、11、13。主要分布的大型地衣种类有尖头石蕊、亚鳞石蕊、皮果衣、细片石黄衣、平盘软地卷、亚灰大孢蜈蚣衣、粉芽石黄衣等。该样点组的海拔在 1 922m-2 169m,也是本次研究中海拔较高的区域,多以叶状岩面生地衣或叶状地生大型地衣为主,梅衣科地衣的分布较广。

样点组 3: 包括样点 3、5、6、9、10。主要分布的大型地衣种类有土星猫耳衣、淡肤黄梅叶、

膜地卷、甘肃大孢蜈蚣衣、菊叶黄梅、长缘毛蜈蚣衣、中国树花、柔扁枝衣等。该样点组主要以树附生叶状和枝状地衣为主,海拔相对低,有胶衣科地衣分布。

样点组 4: 包括样点 12,主要有地卷、暗裂芽黑蜈蚣衣、伴藓大孢蜈蚣、喇叭石蕊等。该样点组海拔 1 922m,叶状地生地衣占优势,茶渍科地衣分布较多。

样点组 5: 包括样点 16,主要有毛边黑蜈蚣衣、短绒皮果衣、珊瑚芽蜈蚣衣、异脐鳞、翘叶蜈蚣衣、盾脐鳞衣、枪石蕊等。该样点组海拔 1 549m,微环境较独特,是本次研究中大型地衣较丰富的样点,多为地面或岩面生叶状地衣,也是蜈蚣衣科大型地衣分布较多的样点。

为了进一步确定各大型地衣样点组之间的关系,我们对 5 个大型地衣样点组选择欧氏距离系数,采用最近邻体法进行聚类分析(图 3)。结果表明,样点组 4 和样点组 5 的相异系数最小,为 2.409,首先聚类在一起,其次是样点组 2 和样点组 4,相异系数为 4.359。样点组 1 和样点组 3 聚类在一起,其相异系数为 6.350。

对各样点组的 Shannon-Wiener 多样性指数和 Pielou 均匀度指数进行比较(表 5)。结果表明,样点组 1 的多样性指数最大为 2.754,其次是样点组 2 和样点组 3,多样性指数分别为 2.441 和 2.342;样点组 4 和样点组 5 的多样性指数较低为 1.946。均匀度指数表明,各样点组中的大型地衣种类的分布较均匀。

2.3 大型地衣种类的分布与海拔的关系

博格达山周边地区大型地衣主要分布在海拔 1 018-2 211m 的区域,海拔梯度对大型地衣物种分布有显著影响。低海拔区域大型地衣分布较少,而在海拔 1 700-1 950m 的区域大型地衣分布比较多,说明低海拔地区的气候和人为干扰都对大型地衣分布有一定的影响。在海拔 1 950m 以上的区域大型地衣物种开始减少,说明太阳辐射导致了多样性下降(图 4)。

表 3 16 个样点 43 个大型地衣种的原始数据矩阵

Table 3 Matrix of the 16 plots and 43 macrolichen species

种名缩写 Species name abbreviation	样点号 Plot number															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
<i>Glyzca</i>	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0
<i>Clacor</i>	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0
<i>Clacon</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
<i>Clachl</i>	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0
<i>Clapyx</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
<i>Clasub</i>	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0
<i>Clasubs</i>	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Clafim</i>	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0
<i>Rhimel</i>	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0
<i>Rhisub</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Rhipel</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Rhireg</i>	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0
<i>Xandur</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Xanmex</i>	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0
<i>Xansub</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
<i>Xansom</i>	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0
<i>Evediv</i>	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
<i>Ramsin</i>	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>Phyaip</i>	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0
<i>Phyads</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Phycae</i>	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
<i>Phycle</i>	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
<i>Physte</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Phyten</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Phykan</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Phymus</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Physqu</i>	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Phytri</i>	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1
<i>Phyper</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Phahis</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Phasci</i>	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1
<i>Anaulo</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Xancan</i>	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
<i>Xanele</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0
<i>Xanlob</i>	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0
<i>Xansor</i>	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1
<i>Umbvir</i>	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	1	0
<i>Dermin</i>	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
<i>Derverl</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Peleli</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1
<i>Pelmem</i>	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
<i>Pelruf</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0
<i>Lepsat</i>	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0

注：“1”表示该物种分布的样点；“0”表示该物种没有分布的样点

Note: “1” shows presence in the plot; “0” shows absence in the plot.

表 5 博格达山周边地区大型地衣样点组多样性及均匀度
Table 5 Diversity and evenness index of the macrolichen groups around the Bogda Mountains, Xinjiang

样点组 Groups	种数 No. of species	多样性 Diversity index	Hmax	均匀度 Evenness
样点组 1 Group 1	18	2.754	2.890	0.953
样点组 2 Group 2	12	2.441	2.485	0.982
样点组 3 Group 3	11	2.342	2.398	0.977
样点组 4 Group 4	7	1.946	1.946	1.000
样点组 5 Group 5	7	1.946	1.946	1.000

海拔较低的区域的大型地衣以叶状地衣为主，枝状和鳞片状地衣均分布在海拔相对高的区域，其中样点组 2 中的大型地衣均为叶状。结合各样点海拔和大型地衣生长的基物可看出，低海拔区域的地衣以地生和树附生地衣为主，高海拔区域岩面生地衣分布广泛（图 5）。

在地衣共生关系中，藻类进行光合作用为整个

生物体制造有机养分，研究区域大型地衣多与共球藻 *Trebouxia*、绿球藻 *Chlorococcum*、蓝绿藻 (blue green algae) 共生，还很少与椭圆球藻 *Chloroidium*、蚁球藻 *Myrmecia*、念珠藻 *Nostoc* 共生，其中与共球藻和绿球藻共生的大型地衣分别占 44%、42%，并在海拔 1 018–2 211m 区域大型地衣都有出现。蓝绿藻和椭圆球藻仅在高海拔（1 922–2 211m）区域的地衣体内出现，念珠藻和蚁形藻在中海拔（1 600–1 689m）区域的地衣体内较常见（图 6）。

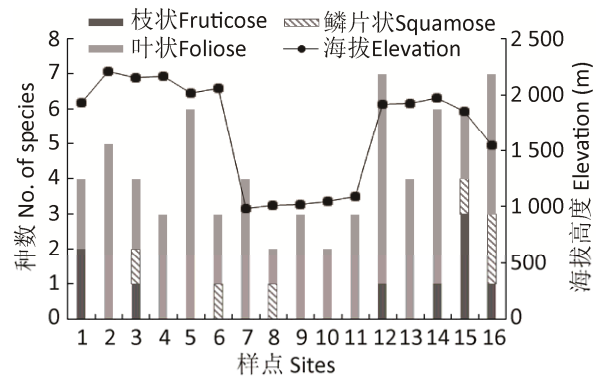


图 4 各样点大型地衣组成及海拔的关系
Fig. 4 The relation between the composition of macrolichen and elevation in 16 sites.

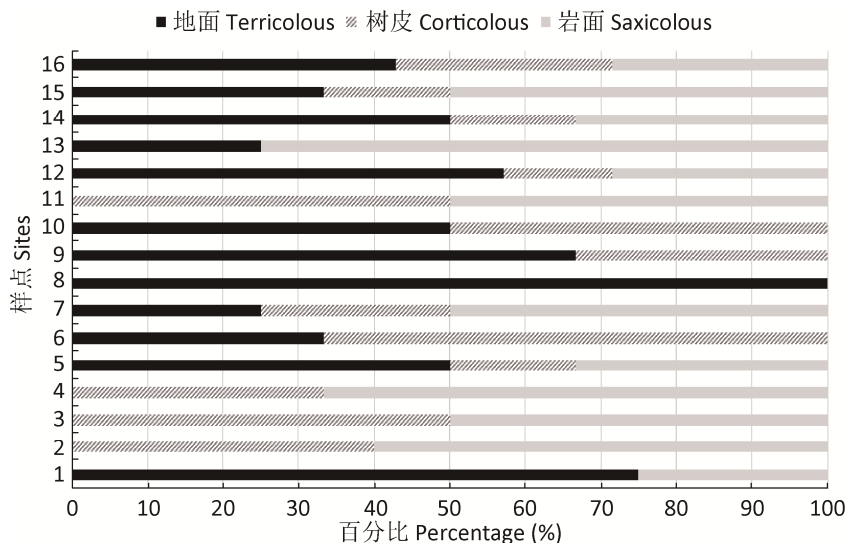


图 5 各样点大型地衣生长的基物分析
Fig. 5 Analysis of the substrata for macrolichens in 16 sites.

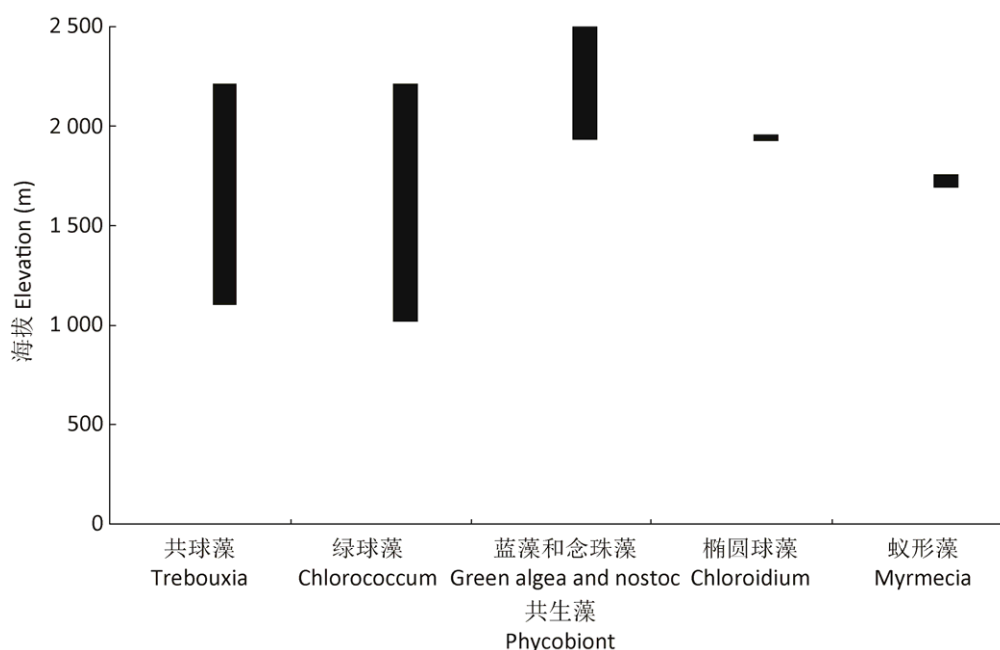


图 6 不同海拔大型地衣共生藻分布

Fig. 6 Distribution of macrolichen corresponding phycobiont diversity at various altitudes.

3 讨论

大型地衣是森林生态系统的重要组成成分之一,已有研究表明大型地衣群落物种组成及分布受到多种环境因子的影响 (Ódor *et al.* 2013; Jatinder & Himanshu 2014)。纬度变化和随之产生的大气气候差异是影响地衣区系和物种组成的主要因子 (Juriado *et al.* 2009)。大型地衣的种群分布格局与空气湿度、温度和降水量等因素有关 (McMullin *et al.* 2010; Fodor 2015)。Eldridge (2011) 在北美的研究表明,基物结构和化学成分是影响大型地衣群落的主要因素。许多大型地衣是由附属结构脱落后分离出新的个体,而这种繁殖方式不利于长距离传播,因此相隔距离较远的地衣种类需要一定的时间才能建立地衣群落,大型地衣群落的形成也与林龄相关 (Wolf 2003; Fernándezmendoza *et al.* 2011)。

本研究中我们对博格达山周边 16 个样点的大型地衣物种组成、种群分布与环境因子的关系进行了分析,结果发现该地区的 43 种大型地衣主要组成 5 个样点组。影响博格达山周边地区地衣分布的

主要因子是海拔高度,并且大型地衣所含的共生藻类也与海拔高度密切相关。研究地点中从低海拔区博格达山西部四工河到高海拔区博格达山南部达坂城黑沟,相应森林群落到潮湿的冻原群落。在低海拔区域多是灌木和树木覆盖,这里的大型地衣也多为树附生和地面生;在高海拔区域的冻原带常被抑制排水的永久冻土覆盖,这里的大型地衣主要以岩石为基物;而朽木和树皮为基物的地衣仅在中海拔森林区多见。这一结果与南美哥伦比亚西南部的大型地衣种群分布研究结果一致 (Rahbek 1995)。低海拔地区的大型地衣中通常含高浓度的泽渥萏和松萝酸,对土壤所含金属的螯合作用和岩石风化作用起主导作用;高海拔地区分布的大型地衣颜色较浅,所含的地衣酸种类多,它们可有效地隔离紫外线辐射。大部分大型地衣是喜光性物种,需求新鲜空气,而本次采集点多为高山草甸草原带,人为干扰较少。研究区不同样点组大型地衣的繁殖和传播方式也有明显差异,从而导致了大型地衣种群的种类组成和结构的差异。

地衣群落对气候变暖的响应结果表明模拟全球变暖使物种丰富度和多样性指数明显下降 (Allen

& Lendemer 2016)。因此,对今后的大型地衣种群分布格局的研究,我们会进一步研究长期气温变暖和基物成分对地衣群落的影响,以期更准确地认识博格达山区的生态位和影响大型地衣分布的环境变量。我们在研究中发现越来越多的大型地衣集中在高海拔区域或陡峭的山坡上,在那里大型地衣在森林生物多样性中占有相当大的比例。多样性保护是森林管理的重要环节,保护地衣多样性需认识到不同海拔梯度地衣群落的变化。

[REFERENCES]

- Abbas A, Wu JN, 1998. Lichens of Xinjiang. Science Technology & Hygiene Publishing House of Xinjiang, Urumqi. 1-110 (in Chinese)
- Adamo P, Violante P, 2000. Weathering of rocks and neogenesis of minerals associated with lichen activity. *Applied Clay Science*, 16: 229-256
- Allen J, Lendemer J, 2016. Climate change impacts on endemic high elevation lichens in a biodiversity hotspot. *Biodiversity and Conservation*, 25: 555-568
- Belnap J, Miler DM, Bedford DR, Phillips SL, 2014. Pedological and geological relationships with soil lichen and moss distribution in the eastern Mojave Desert, USA. *Journal of Arid Environments*, 106: 45-57
- Berryman S, Mccune B, 2006. Estimating epiphytic macrolichen biomass from topography stand structure and lichen community data. *Lichenology*, 17: 157-170
- Bruce M, Geiser L, 2009. Macrolichens of the Pacific Northwest (Revised and Expanded edition). Oregon State University Press, Corvallis. 1-448
- Chris D, Norman M, 2015. Comparing element composition of rock substratum with lichen communities and the fecundity of *Arctoparmelia* and *Xanthoparmelia* species. *NRC Research Press*, 33: 41-51
- Eldridge J, 2011. Biological soil crusts of Australia function and management. *Ecological Studies*, 15: 119-131
- Fernándezmendoza F, Domaschke S, Garcia MA, Jordan P, Martin MP, 2011. Population structure of mycobionts and photobionts of the widespread lichen *Cetraria aculeata*. *Molecular Ecology*, 20: 1208-1232
- Fodor E, 2015. Analysis of the saxicolous lichen communities in Măcin Mountains National Park. *Acta Horti Botanic Bucurestiensis*, 42: 67-86
- Harada H, Wang LS, 2004. Diversity of lichens in Yunnan. *Lichenology*, 2: 173-177
- Hayward G, Resentreter R, 2004. Lichens as nesting material for northern flying squirrel. *Mammal*, 75: 663-673
- Henderson H, 2001. Literature on air pollution and lichens XLIX. *Lichenologist*, 3: 89-102
- Jatinder K, Himanshu R, 2014. Elevational controls of lichen communities in Zanskar Valley, a Trans Himalayan cold desert. *Tropic Plant Research*, 12: 48-54
- Juriado I, Liira J, Paal J, 2009. Diversity of epiphytic lichens in boreonemoral forest on the Northern Estonia limestone escarpment. *Lichenologist*, 41: 81-96
- Leblanc F, Comeau G, 2002. Indices of atmospheric purity and fluoride pollution pattern in Arvida, Quebec. *Canadian Journal of Botany*, 50: 991-998
- Li D, Li YN, 2015. Study on evaluation and protection of tourism landscape resources in World Natural Heritage Site of Bogda. *World Geography*, 24: 159-167 (in Chinese)
- Li S, Liu WY, Li DW, 2013. Epiphytic lichens in subtropical forest ecosystems in southwest China: species diversity and implications for conservation. *Biological Conservation*, 159: 88-95
- Li S, Liu WY, Li DW, Song L, Shi XM, Lu HZ, 2015a. Species richness and vertical stratification of epiphytic lichens in subtropical primary and secondary forest in southwest China. *Fungal Ecology*, 17: 30-40
- Li S, Liu WY, Shi XM, Liu S, Tao H, 2015b. Responses of the distribution of four epiphytic cyanolichens to habitat changes in subtropical forest. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 39(3): 217-228 (in Chinese)
- Magnusson AH, 1940. Lichens from Central Asia I. in: Hedin S (ed.) Reports scientific expedition north-west provinces of China (the Sino-Swedish expedition). Publ. 13, XI. Botany, 1. Aktiebolaget Thule\Stockholm. 1-168
- Marti J, 2003. Sensitivity of lichen phycobionts to air pollution. *Canadian Journal of Botany*, 61: 1647-1653
- Mccune B, 2000. Lichen communities as indicators of forest health. *Bryologist*, 14: 353-356
- McMullin RT, Dunkib PN, Richardson DHS, Cameron RP, Hamilton DC, Newmaster SG, 2010. Relationships

- between the structural complexity and lichen community in coniferous forests of southwestern Nova Scotia. *Forest Ecology and Management*, 26: 744-749
- Ódor P, Kiraly I, Tinya F, Bortignon F, Nascimbene J, 2013. Patterns and drivers of species composition epiphytic bryophytes and lichens in managed temperate forests. *Forest Ecology and Management*, 36: 256-265
- Rahbek C, 1995. The elevational gradient of species richness a uniform pattern? *Ecography*, 18: 200-205
- Steven DL, Theodore L, 2012. Miocene and Pliocene dominated diversification of the lichen-forming fungal genus *Melanohalea* and Pleistocene population expansions. *Evolutionary Biology*, 12: 176-181
- Tumur A, Abdulla A, 2015. Quantitative classification of saxicolous lichen community in Xinjiang Tumur Peak National Nature Reserve and its correlation with environment. *Journal of Plant Resources and Environment*, 24(2): 80-87 (in Chinese)
- Tumur A, Abdulla A, 2017. Saxicolous lichen species diversity in Bogda Mountains, Xinjiang. *Journal of Northeast Forestry University*, 45(11): 60-64 (in Chinese)
- Tumur A, Zhang T, Abdulla A, 2013. A preliminary study on community characteristics of corticolous lichen in forest ecosystem in Eastern Altay. *Forest Resources Management*, 2: 56-63 (in Chinese)
- Wolf JH, 2003. Diversity patterns and biomass of epiphytic bryophytes and lichens along an altitudinal gradient in the northern Andes. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 80(4): 928-960
- Yang YL, Yan X, Yang ZP, Xu YQ, 1997. Preliminary study on the sustainable development of tourist industry in Tianchi Lake Scenic spot, Tianshan Mountains. *Arid Land Geography*, 19(4): 47-53 (in Chinese)
- Zedda L, Gröngroft A, Schultz M, 2001. Distribution pattern of soil lichens across the principal biomes of southern Africa. *Journal of Arid Environments*, 75: 215-220
- Zhang J, He BY, 2008. The current situation and countermeasures of tourism development in Tianshan Tianchi scenic area. *Technology Innovation Guide*, 10: 107-110 (in Chinese)
- Zheng W, Manfred B, 2002. New species of *Cladonia* based on morphological and molecular data. *Mycologia*, 94: 641-650

[附中文参考文献]

- 阿不都拉·阿巴斯, 吴继农, 1998. 新疆地衣. 乌鲁木齐: 新疆科技卫生出版社. 1-110
- 艾尼瓦尔·吐米尔, 阿不都拉·阿巴斯, 2015. 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. *植物资源与环境学报*, 24(2): 80-87
- 艾尼瓦尔·吐米尔, 阿不都拉·阿巴斯, 2017. 新疆博格达山岩面生地衣物种多样性. *东北林业大学学报*, 45(11): 60-64
- 艾尼瓦尔·吐米尔, 张婷, 阿不都拉·阿巴斯, 2013. 新疆阿尔泰山两河源国家级自然保护区树附生地衣群落物种分布与环境关系. *林业资源管理*, 34(2): 56-63
- 李东, 李亚男, 2015. 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*, 24(1): 159-167
- 杨云良, 阎顺, 杨兆萍, 许英勤, 1997. 天山天池风景区旅游业可持续发展初讨. *干旱区地理*, 19(4): 47-53
- 张娟, 何秉宇, 2008. 天山天池景区旅游发展现状与对策. *科技创新导报*, 10(3): 107-108

(本文责编: 韩丽)