

# 新疆哈熊沟森林公园岩面生地衣生态位的研究

李作森, 雒 鹏, 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:**为了查明新疆哈熊沟森林公园岩面生地衣对环境资源的利用特点,设置 16 个样点,利用生态位宽度和生态位重叠值指数,分析 40 种岩面生地衣的生态位。结果表明,地衣种群之间的重叠现象比较普遍,但大部分重叠值偏低,重叠值较高的物种大都分布于相同样点,且相同样点盖度相似,聚类分析也发现海拔分布相近的种群聚在一起,它们对生境要求有很大的相似性。从生态位宽度值可知,亚分枝黄梅、蓝灰蜈蚣衣、淡肤根石耳、碎茶渍、包氏平茶渍等的 Shannon-Wiener 和 Levins 生态位宽度较宽,对环境适应能力强,但是大部分地衣种群的生态位宽度偏窄,分布范围小。生态位宽度与生态位重叠值之间无明显相关。此外,地衣对环境的变化比较敏感,不同的环境资源会影响地衣的生态分布,应重视地衣在不同环境资源梯度上的生态位的研究,从而为保护地衣多样性提供可靠依据。

**关键词:**岩面生地衣;生态位重叠;生态位宽度

**中图分类号:**S731.3      **文献标志码:**A      **文章编号:**1001-7461(2021)04-0257-09

Niche of Saxicolous Lichens in Haxiongou Forest Park in Xinjiang, China

LI Zuo-sen, LUO Peng, TUMUR Anwar\*

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

**Abstract:** In order to better understand the characteristics of the utilization of environmental resources of saxicolous lichens occurring in Haxiongou Forest Park, 16 sites were sampled in the park, the niche width and niche overlap of 40 saxicolous lichens were studied. The results showed that the niche overlap between lichen populations was common, but most of them were low. The species with higher overlap values were mostly distributed at the same sample sites, and the coverage of the same sample sites was similar. The cluster analysis showed that the populations with similar altitude distribution gathered together, indicating that they had great similarities in habitat requirements. According to the values niche width, the niche width of the species of *Xanthoparmelia subramigera*, *Phycia caesia*, *Umbilicaria virginis*, *Lecanora argopholis* and *Aspicilia bohlinii* for Shannon-Wiener and Levins were larger, and had strong adaptability to the environment, but most of the lichens had narrow niche width and small distribution range. And there was no obvious correlation between niche width and niche overlap. Lichens were relatively sensitive to environmental changes, different environmental resources affected the ecological distribution of lichens. Attention should be paid to the study of the niche of lichens on different environmental resource gradients, so as to provide a reliable basis for the protection of lichens diversity.

**Key words:** saxicolous lichen; niche overlap; niche width

生态位理论是现代生态学研究的重要理论基础之一,已应用于种间关系、群落结构、物种多样性以

收稿日期:2020-08-07 修回日期:2020-11-25  
基金项目:国家自然科学基金项目(31660009)。  
作者简介:李作森。研究方向:植物学。E-mail:751886659@qq.com  
\* 通信作者:艾尼瓦尔·吐米尔,教授,博士。研究方向:植物学。E-mail:anwartumursk@xju.edu.cn

及种群进化等研究领域,逐渐成为解释自然群落的重要理论<sup>[1-2]</sup>。目前,对生态位的研究多集中于草本、灌木、乔木以及苔藓方面<sup>[2-6]</sup>,并在生态位宽度和生态位重叠以及生态位应用方面取得了一定的研究成果,但有关地衣生态位的研究较少。国外关于地衣的研究起步较早,已有不少关于地衣生态位<sup>[7-9]</sup>以及地衣分布和环境关系方面的研究,但是多集中于附生地衣方面<sup>[10-12]</sup>,而岩面生地衣作为植物群落的前驱者,在岩石,碎石表面最早定殖,通过分泌次生代谢物产生生物化学作用,加速岩石风化,加快土壤层的形成,为地衣和其他生物生长提供有利条件,因此,岩面生地衣在植物群落演替中有重要作用<sup>[13]</sup>。D. W. Larson<sup>[14]</sup>研究了 2 种 *Umbilicaria* 地衣栖息地重叠或分离的机制,发现由于 2 种地衣上下表面水分吸收方式的差异,导致其生态位分离而共存,从而解释了 2 种物种普遍的栖息地重叠,这也是首次在地衣上证明了这种观点。此外,C. G. Castillo<sup>[10]</sup>通过比较墨西哥云雾林中在不同高度的树附生地衣的盖度和丰富度,发现地衣的分布与树皮基质和树木不同高度的小气候,以及地衣的不同生长形式有关。G. Rolshausen<sup>[8]</sup>量化了地衣共生伙伴的气候生态位,表明共生菌藻相互作用介导了地衣生态位的扩展。在国内,艾尼瓦尔·吐米尔等<sup>[15]</sup>研究了新疆乌鲁木齐南部山区地面生地衣生态位特征,靳文婷等<sup>[16]</sup>对托尔峰国家自然保护区岩生地衣群落生态位特征进行研究,说明了其岩面生地衣种群之间的相互关系,以及可能影响其地衣分布的环境因素,为保护地衣物种多样性提供了依据。本研究以新疆哈熊沟森林公园岩面生地衣的盖度为指标,分析岩面生地衣的生态位宽度和生态位重叠状况,旨在了解该地区岩面生地衣利用环境资源的特点如何,探讨各物种分布的特征是否与其本身的生物学和生态学特性相关,从而为该地区岩面生地衣物种的多样性保护提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

哈熊沟森林公园地处 43°47′—43°49′N,87°56′—88°00′E,位于中国新疆乌鲁木齐市米东区东南 58 km 处的天山北坡,距离乌鲁木齐 70 km,隶属于东天山林业局的国家级公益林,林区面积为 4 万 hm<sup>2</sup>,其中林业用地为 2.87 万 hm<sup>2</sup>,森林覆盖率为 70%,是典型的森林生态旅游胜地,主要树种为雪岭云杉(*Picea schrenkiana*)。该地区气候为大陆性干旱气候,标本采集地点的平均海拔为 1 536~2 040 m,山区年平均气温为 1.9℃<sup>[17]</sup>。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置和标本鉴定 在研究区按照海拔梯度随机设置 20 m×20 m 的样地 16 个,每个样地内设置 2 m×2 m 的样方 5 个。16 个样地共调查直径>100 cm 的岩石 175 个,地衣盖度和频度的测量见文献<sup>[18]</sup>。地衣标本鉴定时,采用常规的地衣形态学观察法,并通过显色反应法(color test)、地衣微量结晶法(microcrystal test)和薄层色谱法(thin-layer chromatography)等方法确定地衣的次生代谢产物<sup>[19]</sup>。

1.2.2 生态位宽度和重叠指数的计算

1)应用 Pianka 的生态位重叠公式计算<sup>[16]</sup>,40 种岩面生地衣的生态位重叠值。

$$O_{i,k} = \sum_{j=1}^r P_{ij} P_{kj} / \sqrt{\sum_{j=1}^r P_{ij}^2 \sum_{j=1}^r P_{kj}^2} \tag{1}$$

式中, $O_{i,k}$  为第  $i,k$  2 种群间的生态位重叠值; $P_{ij}$ 、 $P_{kj}$  分别为物种  $i$  和  $k$  2 种植物在第  $j$  个样方中的盖度占该物种个体盖度总数的比例; $r$  为资源位数(样方数)。

2)应用 Shannon-Wiener 生态位宽度<sup>[3,16]</sup>计算:

$$B_i = - \sum_{j=1}^n P_{ij} \log P_{ij} \tag{2}$$

式中, $B_i$  为种群  $i$  的生态位宽度, $P_{ij} = n_{ij} / N_i P_{ij}$  为种群  $i$  在第  $j$  个资源状态下盖度占该种总盖度的比例, $n$  为资源位数。

3)应用 Levins(1968)生态位宽度指数<sup>[20]</sup>:

$$B_a = \frac{1}{\sum_{j=1}^r (P_{ij})^2} \tag{3}$$

式中, $B_a$  为生态位宽度指数; $P_{ij} = n_{ij} / N_{i+}$ ,它代表种  $i$  在第  $j$  个资源状态下的个体数占该种所有个体数的比例(盖度占该种总盖度的比例)。

2 结果与分析

2.1 哈熊沟森林公园岩面生地衣种类及盖度

哈熊沟森林公园生态系统 16 个样点中共记录了 40 种地衣(表 1、表 2)。

2.2 哈熊沟森林公园岩面生地衣生态位重叠值

哈熊沟森林公园 40 种岩面生地衣的生态位重叠现象比较普遍(表 3),但大部分重叠值普遍偏低。散点微孢衣(4)和墙茶渍(27)、暗灰微孢衣(6)和微孢衣(8)、糙伏毛微孢衣(7)和辐射裂片茶渍衣(15)、糙伏毛微孢衣(7)和扭曲平茶渍(20)、荒漠环绕衣(11)和蜂窝橙衣(36)、荒漠环绕衣(11)和盾脐鳞衣(29)、蜂窝橙衣(36)和盾脐鳞衣(29)、淡肤黄梅(21)和微凸网衣(30)、微凸网衣(30)和旋转环绕衣(12)的生态位重叠值都比较大,均>0.9,重叠值较高的物种大都分布于相同样点,且相同样点盖度相似,说明他们对生境条件的要求相近。暗灰微孢衣和微孢

衣(未定名)的重叠值达 0.90,且均分布于高海拔的样点,说明 2 物种群之间在资源利用能力或对生境的生态适应性方面具有较高的相似性。本研究中约 25 % 的种对之间生态位重叠值=0,约 50 % 的种对

之间的生态位重叠值<0.1,生态位重叠值低或者没有重叠,可能是因为物种间的生态学特性不同,也可能是生态学特性相似,为了共存而竞争使环境资源分化引起<sup>[21]</sup>。

表 1 哈熊沟森林公园岩面生地衣种类

Table 1 Saxicolous lichen species inHaxiongou Forest Park

序号	种名	序号	种名
1	皮果衣 <i>Dermatocarpon miniatum</i> (L.) W. Mann.	21	淡肤黄梅 <i>Xanthoparmelia mexicana</i> (Gyeln.) Hale.
2	深褐微孢衣 <i>Acarospora badiofusca</i> (Nyl.) Th. Fr.	22	亚分枝黄梅 <i>X. subramigera</i> (Gyeln.) Hale.
3	包氏微孢衣 <i>A. bohlinii</i> H. Magn.	23	小茶渍 <i>Lecanora hagenii</i> (Ach.) Ach.
4	散点微孢衣 <i>A. dispersa</i> H. Magn.	24	银白茶渍衣 <i>L. argentata</i> (Ach.) Malme.
5	被膜微孢衣 <i>A. molybdina</i> Trevis.	25	碎茶渍 <i>L. argopholis</i> (Ach.) Ach.
6	暗灰微孢衣 <i>A. obnubila</i> H. Magn.	26	边缘茶渍 <i>L. marginata</i> (Schaer.) Hertel & Rambold.
7	糙伏毛微孢衣 <i>A. strigata</i> (Nyl.) Jatta.	27	墙茶渍 <i>L. muralis</i> (Schreb.) Rabenh.
8	微孢衣种(未定名) <i>Acarospora</i> sp.	28	优小网衣 <i>Lecidella euphorea</i> (Florke.) Hertel.
9	糙聚盘衣 <i>Glypholecia scabra</i> (Pers.) Müell. Arg.	29	盾脐鳞衣 <i>Rhizoplaca peltata</i> (Ramond.) Leuckert.
10	双缘衣 <i>Diploschistes scruposus</i> (Schreb.) Norman.	30	微凸网衣 <i>Lecidea subelevata</i> H. Magn.
11	荒漠环绕衣 <i>Circinaria aspera</i> (Mereschk.) Sohrabi & Senkard.	31	双胞胎地图衣 <i>Rhizocarpon disporum</i> (Hepp.) Muell. Arg.
12	旋转环绕衣 <i>C. contorta</i> ( Hoffm.) A. Nordin.	32	黑白多胞瘤 <i>Diplotomma alboatrum</i> (Hoffm.) Flot.
13	粉盘裂片茶渍衣 <i>Lobothallia alphoplaca</i> ( Wahlenb.) Hafellner.	33	蓝灰蜈蚣衣 <i>Physcia caesia</i> (Hoffm.)
14	长辐射裂片茶渍衣 <i>L. praeradiosa</i> (Nyl.) Hafellner.	34	黄红橙衣 <i>Caloplaca flavorubescens</i> (Huds.) J. R. Laundon.
15	辐射裂片茶渍衣 <i>L. radiosa</i> (Hoffm.) Hafellner.	35	石生橙衣 <i>C. saxicola</i> (Hoffm.) Nordin.
16	包氏平茶渍 <i>Aspicilia bohlinii</i> (H. Magn.) J. C. Wei.	36	蜂窝橙衣 <i>C. scrobiculata</i> H. Magn.
17	灰平茶渍 <i>A. cinerea</i> (L.) Körb.	37	丽石黄衣 <i>Xanthoria elegans</i> (Link.) Th. Fr.
18	赭白平茶渍 <i>A. ochracealba</i> (H. Magn.) J. C. Wei.	38	裂片石黄衣 <i>X. lobulata</i> (Flörke.) B. de Lesd.
19	野油平茶渍 <i>A. oleifera</i> (H. Magn.) J. C. Wei.	39	淡肤根石耳 <i>Umbilicaria virginis</i> Schrad.
20	扭曲平茶渍 <i>A. tortuosa</i> (H. Magn.) N. S. Golubk.	40	油黄茶渍 <i>Candelariella oleifera</i> H. Magn.

表 2 岩面生地衣在 16 个样地中的盖度

Table 2 Coverage of saxicolous lichens in 16 sites

序号	样点															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	4.05	3.25	0.17	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.37	5.02	1.08	0.34	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.01	0.45	2.85	1.76	0.00	0.00	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	0.00	7.2	0.07	4.1	2.03	0.00
5	0.00	0.00	0.00	0.45	1.24	0.00	4.05	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.0	0.00	0.00
6	0.00	0.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21	1.44	0.31	0.03	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00
7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.6	0.00	1.25	0.00	0.00	0.31	0.00	6.04	1.24
8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.2	4.25	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	0.00	0.00	0.24	0.07	0.00	0.00	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00	57.00	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	1.24	0.85	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00
11	0.52	1.75	0.56	0.00	0.00	0.00	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	0.12	0.25	0.00	0.00	0.72	1.24
13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.1	0.54	0.35	0.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14	2.34	4.25	0.53	0.21	2.65	0.00	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	1.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.45	0.54	0.14	0.00	0.00	4.51	0.54
16	0.00	0.61	0.00	0.00	0.00	0.91	0.00	0.62	0.13	0.21	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.23	0.00	0.07	0.00	0.21	0.23	0.2	0.00	0.18
18	0.45	0.00	0.21	0.00	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.24	0.00	0.00	0.00
19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00	0.00	0.75	0.00	0.00	0.32	0.00

续表 2

序号	样点															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.04	0.01	0.20	0.00	0.89	0.00	2.12	0.00
21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	0.7	0.25	2.35
22	0.51	0.19	0.01	0.27	0.81	0.00	0.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.07	0.00	0.44	0.00
23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.52	0.44	0.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21	0.00	1.54	0.00	3.54	0.00	0.87	0.00	0.00	1.05	0.00
25	2.07	0.00	0.20	0.60	1.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.75	0.00	0.00	0.62	0.00
26	0.00	0.00	0.00	0.24	0.00	0.00	0.00	2.00	0.71	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.23
27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.74	0.00	0.5	0.24	0.00
28	0.00	0.21	0.00	0.00	0.00	0.41	1.23	0.00	0.00	0.00	0.05	0.54	0.04	0.00	0.00	0.00
29	1.27	5.67	0.54	1.25	0.00	0.02	0.00	1.90	0.03	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.78
30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.13	0.0	0.92	4.22
31	0.00	0.00	0.00	0.41	0.00	0.00	0.32	0.00	1.08	0.00	0.42	0.01	0.01	0.00	2.65	0.00
32	0.54	0.01	0.50	0.00	0.89	0.00	2.12	0.00	0.00	0.00	0.00	1.54	0.00	0.00	0.00	0.00
33	0.00	0.00	0.00	0.00	1.12	2.35	0.00	0.57	0.00	0.64	0.00	0.00	0.00	2.5	0.00	1.25
34	0.00	0.00	0.00	0.00	4.47	0.00	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.35
35	0.36	0.47	0.00	0.00	0.00	0.53	0.00	0.00	0.03	0.00	0.34	0.00	0.00	0.00	0.043	0.00
36	0.00	7.25	0.00	0.55	0.26	0.00	0.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.452
37	0.00	0.00	0.23	0.56	0.00	0.00	0.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
38	0.47	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.35	0.88	0.00	2.35	0.19	0.01	0.24	0.87	0.00	2.354	0.00
40	0.00	0.00	0.26	0.75	2.35	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

表 3 40 种岩面生地衣的生态位重叠值

Table 3 Niche overlaps values of 40 saxicolous lichen species

种类	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	1.00	0.07	0.00	0.05	0.00	0.83	0.12	0.78	0.06	0.54	0.00	0.01	0.79	0.00
2	0.07	1.00	0.00	0.00	0.90	0.09	0.03	0.08	0.01	0.02	0.00	0.00	0.08	0.00
3	0.00	0.00	1.00	0.00	0.05	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.37	0.37	0.00	0.21
4	0.05	0.00	0.00	1.00	0.11	0.10	0.23	0.00	0.85	0.13	0.00	0.26	0.00	0.00
5	0.00	0.90	0.05	0.11	1.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14
6	0.83	0.09	0.05	0.10	0.00	1.00	0.05	0.90	0.11	0.19	0.33	0.02	0.69	0.28
7	0.12	0.03	0.00	0.23	0.00	0.05	1.00	0.01	0.00	0.16	0.00	0.64	0.10	0.00
8	0.78	0.08	0.00	0.00	0.00	0.90	0.01	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.65	0.00
9	0.06	0.01	0.00	0.85	0.01	0.11	0.00	0.00	1.00	0.15	0.00	0.17	0.00	0.00
10	0.54	0.02	0.00	0.13	0.00	0.19	0.16	0.00	0.15	1.00	0.00	0.07	0.69	0.00
11	0.00	0.00	0.37	0.00	0.00	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.84
12	0.01	0.00	0.37	0.26	0.00	0.02	0.64	0.00	0.17	0.07	0.00	1.00	0.05	0.00
13	0.79	0.08	0.00	0.00	0.00	0.69	0.10	0.65	0.00	0.69	0.00	0.05	1.00	0.00
14	0.00	0.00	0.21	0.00	0.14	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.84	0.00	0.00	1.00
15	0.06	0.00	0.17	0.25	0.03	0.02	0.93	0.00	0.03	0.14	0.00	0.57	0.11	0.01
16	0.18	0.16	0.06	0.00	0.00	0.36	0.08	0.13	0.00	0.17	0.44	0.00	0.23	0.36
17	0.04	0.20	0.00	0.22	0.04	0.15	0.14	0.05	0.17	0.07	0.00	0.15	0.15	0.00
18	0.00	0.35	0.30	0.00	0.33	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.31	0.00	0.00	0.35
19	0.06	0.04	0.00	0.85	0.00	0.13	0.39	0.01	0.90	0.14	0.00	0.35	0.03	0.00
20	0.02	0.00	0.00	0.22	0.00	0.02	0.90	0.02	0.00	0.05	0.00	0.46	0.07	0.00
21	0.00	0.00	0.00	0.17	0.07	0.00	0.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.85	0.00	0.00
22	0.00	0.25	0.11	0.07	0.40	0.04	0.30	0.00	0.00	0.00	0.20	0.14	0.00	0.48
23	0.80	0.16	0.00	0.00	0.00	0.60	0.20	0.47	0.00	0.60	0.00	0.00	0.66	0.00
24	0.55	0.11	0.00	0.24	0.00	0.24	0.45	0.02	0.21	0.74	0.00	0.16	0.41	0.00
25	0.02	0.00	0.18	0.29	0.16	0.03	0.22	0.00	0.28	0.04	0.23	0.16	0.00	0.57

续表 3

种类	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
26	0.23	0.19	0.05	0.00	0.01	0.37	0.18	0.33	0.00	0.01	0.00	0.42	0.30	0.00
27	0.05	0.00	0.00	0.99	0.13	0.09	0.25	0.00	0.79	0.12	0.00	0.27	0.00	0.00
28	0.03	0.86	0.02	0.32	0.80	0.10	0.00	0.00	0.38	0.08	0.14	0.07	0.02	0.11
29	0.01	0.06	0.30	0.00	0.02	0.37	0.06	0.02	0.00	0.01	0.90	0.11	0.05	0.79
30	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.40	0.00	0.03	0.00	0.00	0.94	0.00	0.00
31	0.29	0.13	0.07	0.22	0.12	0.33	0.86	0.37	0.01	0.08	0.00	0.46	0.33	0.01
32	0.04	0.72	0.15	0.46	0.77	0.06	0.00	0.00	0.54	0.08	0.11	0.09	0.00	0.25
33	0.10	0.08	0.00	0.31	0.23	0.05	0.11	0.02	0.00	0.13	0.00	0.27	0.09	0.14
34	0.00	0.03	0.00	0.00	0.28	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.39	0.00	0.42
35	0.04	0.05	0.07	0.01	0.00	0.23	0.05	0.04	0.00	0.22	0.61	0.06	0.27	0.59
36	0.00	0.06	0.17	0.00	0.08	0.36	0.01	0.00	0.00	0.00	0.91	0.05	0.00	0.78
37	0.00	0.70	0.56	0.00	0.73	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.08	0.00	0.00	0.05
38	0.00	0.15	0.03	0.00	0.00	0.16	0.07	0.04	0.00	0.00	0.33	0.00	0.10	0.40
39	0.55	0.29	0.00	0.22	0.23	0.61	0.65	0.66	0.07	0.06	0.00	0.34	0.45	0.00
40	0.00	0.01	0.24	0.00	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.47

种类	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
1	0.06	0.18	0.04	0.00	0.06	0.02	0.00	0.00	0.80	0.55	0.02	0.23	0.05	0.03
2	0.00	0.16	0.20	0.35	0.04	0.00	0.00	0.25	0.16	0.11	0.00	0.19	0.00	0.86
3	0.17	0.06	0.00	0.30	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00	0.00	0.18	0.05	0.00	0.02
4	0.25	0.00	0.22	0.00	0.85	0.22	0.17	0.07	0.00	0.24	0.29	0.00	0.99	0.32
5	0.03	0.00	0.04	0.33	0.00	0.00	0.07	0.40	0.00	0.00	0.16	0.01	0.13	0.80
6	0.02	0.36	0.15	0.00	0.13	0.02	0.00	0.04	0.60	0.24	0.03	0.37	0.09	0.10
7	0.93	0.08	0.14	0.02	0.39	0.90	0.29	0.30	0.20	0.45	0.22	0.18	0.25	0.00
8	0.00	0.13	0.05	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.47	0.02	0.00	0.33	0.00	0.00
9	0.03	0.00	0.17	0.00	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21	0.28	0.00	0.79	0.38
10	0.14	0.17	0.07	0.00	0.14	0.05	0.00	0.00	0.60	0.74	0.04	0.01	0.12	0.08
11	0.00	0.44	0.00	0.31	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.23	0.00	0.00	0.14
12	0.57	0.00	0.15	0.00	0.35	0.46	0.85	0.14	0.00	0.16	0.16	0.42	0.27	0.07
13	0.11	0.23	0.15	0.00	0.03	0.07	0.00	0.00	0.66	0.41	0.00	0.30	0.00	0.02
14	0.01	0.36	0.00	0.35	0.00	0.00	0.00	0.48	0.00	0.00	0.57	0.00	0.00	0.11
15	1.00	0.02	0.03	0.00	0.39	0.86	0.20	0.31	0.07	0.33	0.29	0.09	0.27	0.02
16	0.02	1.00	0.46	0.00	0.10	0.01	0.00	0.06	0.41	0.36	0.00	0.42	0.00	0.28
17	0.03	0.46	1.00	0.07	0.35	0.07	0.20	0.12	0.53	0.44	0.05	0.84	0.22	0.07
18	0.00	0.00	0.07	1.00	0.00	0.16	0.04	0.61	0.00	0.00	0.61	0.00	0.00	0.33
19	0.39	0.10	0.35	0.00	1.00	0.36	0.04	0.11	0.11	0.37	0.34	0.17	0.81	0.34
20	0.86	0.01	0.07	0.16	0.36	1.00	0.13	0.52	0.01	0.24	0.21	0.01	0.24	0.02
21	0.20	0.00	0.20	0.04	0.04	0.13	1.00	0.10	0.00	0.03	0.02	0.47	0.19	0.00
22	0.31	0.06	0.12	0.61	0.11	0.52	0.10	1.00	0.00	0.07	0.59	0.02	0.07	0.26
23	0.07	0.41	0.53	0.00	0.11	0.01	0.00	0.00	1.00	0.83	0.00	0.56	0.00	0.00
24	0.33	0.36	0.44	0.00	0.37	0.24	0.03	0.07	0.83	1.00	0.12	0.32	0.24	0.10
25	0.29	0.00	0.05	0.61	0.34	0.21	0.02	0.59	0.00	0.12	1.00	0.02	0.28	0.11
26	0.09	0.42	0.84	0.00	0.17	0.01	0.47	0.02	0.56	0.32	0.02	1.00	0.00	0.00
27	0.27	0.00	0.22	0.00	0.81	0.24	0.19	0.07	0.00	0.24	0.28	0.00	1.00	0.30
28	0.02	0.28	0.07	0.33	0.34	0.02	0.00	0.26	0.00	0.10	0.11	0.00	0.30	1.00
29	0.08	0.58	0.30	0.18	0.06	0.00	0.12	0.21	0.16	0.12	0.20	0.33	0.00	0.13
30	0.31	0.00	0.15	0.01	0.11	0.21	0.95	0.08	0.00	0.06	0.06	0.49	0.08	0.01
31	0.90	0.05	0.00	0.04	0.36	0.85	0.09	0.31	0.16	0.23	0.24	0.12	0.24	0.10
32	0.02	0.00	0.09	0.47	0.48	0.00	0.00	0.41	0.00	0.11	0.46	0.00	0.42	0.84
33	0.05	0.52	0.30	0.00	0.03	0.00	0.49	0.15	0.20	0.23	0.14	0.28	0.36	0.17
34	0.05	0.00	0.07	0.01	0.00	0.00	0.44	0.46	0.00	0.00	0.43	0.23	0.00	0.02
35	0.09	0.72	0.00	0.32	0.02	0.08	0.01	0.21	0.01	0.04	0.33	0.01	0.01	0.27

续表 3

种类	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
36	0.03	0.47	0.01	0.02	0.00	0.00	0.06	0.17	0.00	0.00	0.03	0.04	0.00	0.20
37	0.20	0.00	0.00	0.36	0.00	0.00	0.00	0.30	0.00	0.00	0.16	0.06	0.00	0.62
38	0.00	0.44	0.70	0.49	0.16	0.00	0.00	0.23	0.38	0.28	0.49	0.60	0.00	0.03
39	0.62	0.15	0.06	0.19	0.32	0.71	0.09	0.41	0.33	0.23	0.17	0.19	0.23	0.27
40	0.10	0.07	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.53	0.00	0.01	0.53	0.03	0.00	0.03
种类	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40		
1	0.01	0.00	0.29	0.04	0.10	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.55	0.00		
2	0.06	0.00	0.13	0.72	0.08	0.03	0.05	0.06	0.70	0.15	0.29	0.01		
3	0.30	0.00	0.07	0.15	0.00	0.00	0.07	0.17	0.56	0.03	0.00	0.24		
4	0.00	0.08	0.22	0.46	0.31	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.22	0.00		
5	0.02	0.00	0.12	0.77	0.23	0.28	0.00	0.08	0.73	0.00	0.23	0.30		
6	0.37	0.00	0.33	0.06	0.05	0.00	0.23	0.36	0.00	0.16	0.61	0.00		
7	0.06	0.40	0.86	0.00	0.11	0.09	0.05	0.01	0.00	0.07	0.65	0.00		
8	0.02	0.00	0.37	0.00	0.02	0.00	0.04	0.00	0.00	0.04	0.66	0.00		
9	0.00	0.03	0.01	0.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.07	0.00		
10	0.01	0.00	0.08	0.08	0.13	0.00	0.22	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00		
11	0.90	0.00	0.00	0.11	0.00	0.00	0.61	0.91	0.08	0.33	0.00	0.03		
12	0.11	0.94	0.46	0.09	0.27	0.39	0.06	0.05	0.00	0.00	0.34	0.00		
13	0.05	0.00	0.33	0.00	0.09	0.00	0.27	0.00	0.00	0.10	0.45	0.00		
14	0.79	0.00	0.01	0.25	0.14	0.42	0.59	0.78	0.05	0.40	0.00	0.47		
15	0.08	0.31	0.90	0.02	0.05	0.05	0.09	0.03	0.20	0.00	0.62	0.10		
16	0.58	0.00	0.05	0.00	0.52	0.00	0.72	0.47	0.00	0.44	0.15	0.07		
17	0.30	0.15	0.00	0.09	0.30	0.07	0.00	0.01	0.00	0.70	0.06	0.00		
18	0.18	0.01	0.04	0.47	0.00	0.01	0.32	0.02	0.36	0.49	0.19	0.04		
19	0.06	0.11	0.36	0.48	0.03	0.00	0.02	0.00	0.00	0.16	0.32	0.00		
20	0.00	0.21	0.85	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.71	0.00		
21	0.12	0.95	0.09	0.00	0.49	0.44	0.01	0.06	0.00	0.00	0.09	0.00		
22	0.21	0.08	0.31	0.41	0.15	0.46	0.21	0.17	0.30	0.23	0.41	0.53		
23	0.16	0.00	0.16	0.00	0.20	0.00	0.01	0.00	0.00	0.38	0.33	0.00		
24	0.12	0.06	0.23	0.11	0.23	0.00	0.04	0.00	0.00	0.28	0.23	0.01		
25	0.20	0.06	0.24	0.46	0.14	0.43	0.33	0.03	0.16	0.49	0.17	0.53		
26	0.33	0.49	0.12	0.00	0.28	0.23	0.01	0.04	0.06	0.60	0.19	0.03		
27	0.00	0.08	0.24	0.42	0.36	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.23	0.00		
28	0.13	0.01	0.10	0.84	0.17	0.02	0.27	0.20	0.62	0.03	0.27	0.03		
29	1.00	0.12	0.03	0.06	0.09	0.06	0.57	0.91	0.15	0.51	0.00	0.07		
30	0.12	1.00	0.19	0.01	0.32	0.45	0.01	0.06	0.00	0.00	0.15	0.00		
31	0.03	0.19	1.00	0.09	0.00	0.00	0.11	0.02	0.17	0.00	0.86	0.04		
32	0.06	0.01	0.09	1.00	0.09	0.30	0.08	0.06	0.58	0.12	0.22	0.31		
33	0.09	0.32	0.00	0.09	1.00	0.40	0.36	0.03	0.00	0.11	0.07	0.33		
34	0.06	0.45	0.00	0.30	0.40	1.00	0.00	0.06	0.02	0.00	0.01	0.83		
35	0.57	0.01	0.11	0.08	0.36	0.00	1.00	0.54	0.00	0.36	0.11	0.06		
36	0.91	0.06	0.02	0.06	0.03	0.06	0.54	1.00	0.09	0.17	0.02	0.06		
37	0.15	0.00	0.17	0.58	0.00	0.02	0.00	0.09	1.00	0.00	0.18	0.22		
38	0.51	0.00	0.00	0.12	0.11	0.00	0.36	0.17	0.00	1.00	0.00	0.00		
39	0.00	0.15	0.86	0.22	0.07	0.01	0.11	0.02	0.18	0.00	1.00	0.01		
40	0.07	0.00	0.04	0.31	0.33	0.83	0.06	0.06	0.22	0.00	0.01	1.00		

为了进一步确定 40 个地衣种群生态位间的关系,以生态位重叠值矩阵为指标进行聚类分析(图 1)。哈熊沟森林公园 40 种岩面生地衣中,重叠值较高,且海拔分布一致的种群聚在一起,聚类图从总体上反映了 40 种岩面生地衣的种间生态关系,且与生态位重叠值相一致。

2.3 哈熊沟森林公园岩面生地衣生态位宽度

哈熊沟森林公园 40 种岩面生地衣的 Shannon-Wiener 和 Levins 生态位宽度值有一定差异,但基本一致(表 3)。亚分枝黄梅(22)生态位宽度( $B_i=1.8195$ ,  $B_e=5.4423$ )最大,主要分布在海拔 1 728 m 处,表明该物种具有较宽的生态适应范围,对环



境资源的利用较为充分。此外,蓝灰蜈蚣衣(33)、淡肤根石耳(39)、碎茶渍(25)、包氏平茶渍(16)等的生态位宽度较宽,主要分布于中高海拔处(1 728~1 958 m),分布较广。糙聚盘衣(9)的生态位宽度值

最小( $B_i=0.071\ 0$ ,  $B_a=1.022\ 2$ ),生态位宽度较小的还有微凸网衣(30)、蜂窝橙衣(36)、黄红橙衣(34)、散点微孢衣(4)等,表明其生态适应范围较小。

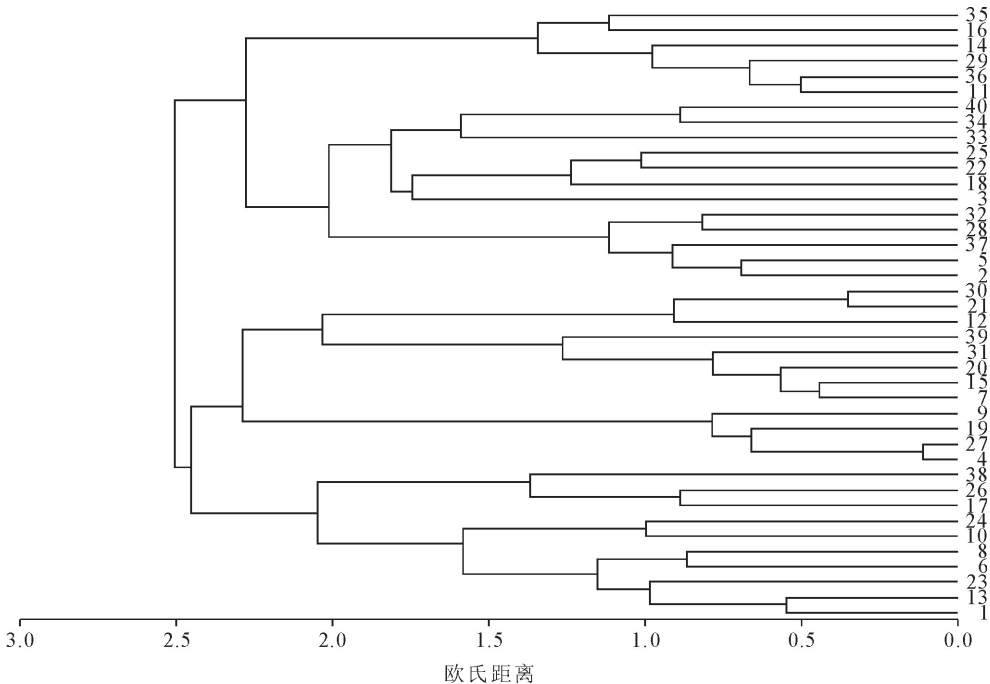


图 1 聚类分析树状图

Fig. 1 Cluster analysis dendrogram

表 4 40 种岩面生地衣生态位宽度

Table 4 Niche widths of the 40 saxicolous lichens

种类	$B_i$	$B_a$	种类	$B_i$	$B_a$
1	0.940 4	2.258 7	21	0.979 4	2.092 5
2	0.913 7	1.821	22	1.819 5	5.442 3
3	0.922 9	2.254 9	23	1.074 7	2.859 6
4	1.008 4	2.459 4	24	1.318 5	3.097 1
5	1.106 3	2.414 3	25	1.587 1	4.208 6
6	1.346 8	2.953 3	26	1.218 1	2.930 0
7	1.113 3	2.239 8	27	1.011 5	2.578 9
8	0.284 4	1.136 2	28	1.344 4	3.075 3
9	0.071 0	1.022 2	29	1.506 4	3.330 1
10	0.933 9	2.332 0	30	0.699 1	1.573 4
11	0.928 9	2.195 4	31	1.298	2.801 7
12	1.096 1	2.561 5	32	1.468 8	3.830 7
13	1.262 2	3.317 0	33	1.645 4	4.634 2
14	1.294 5	3.228 9	34	0.731 0	1.900 1
15	1.250 3	2.544 6	35	1.509 4	4.187 0
16	1.513 8	3.954 1	36	0.746	1.505 7
17	1.345 7	2.721 2	37	1.06	2.691 0
18	1.328 2	3.544 4	38	0.961 2	2.438 5
19	0.932 6	2.239 4	39	1.607 8	4.107 8
20	0.902 1	2.016 0	40	0.981 5	2.101 4

统计不同生态位宽度(由于用 Levins 生态位宽度和 Shannon-Wiener 生态位宽度可以得到相同的结 果,此处只以 Shannon-Wiener 生态位宽度  $B_i$  计

算)的岩面生地衣的种数(表 5),可以看出,Shannon-Wiener 生态位宽度 $>1.8$ 的地衣仅 1 种,大部分地衣的生态位宽度较窄,生态位宽度 $<1.2$ 的有 22 种,占全部种数的 55%。

对整个范围段的平均生态位宽度( $B_i$ )与种数( $N$ )拟合,得到下式:

$$N=533.85e^{-3.317B_i} (r=0.932\ 5)$$

(4)

由式(4)可知,随着生态位宽度的下降,岩面生地衣物种数呈指数上升,说明哈熊沟森林公园大多数岩面生地衣的生态位较窄,分布范围小。

表 5 不同生态位宽度范围的岩面生地衣种数

Table 5 Number of saxicolous lichen species with different niche widths

生态位宽度范围 ( $B_i$ )	种数 ( $N$ )	平均生态位宽度 ( $\bar{B}_i$ )	比例/%
$B_i>1.8$	1	1.820	2.5
$1.8\geq B_i>1.6$	2	1.627	5.0
$1.6\geq B_i>1.4$	5	1.517	12.5
$1.4\geq B_i>1.2$	10	1.301	25.0
$B_i\leq 1.2$	22	0.882	55.0

3 结论与讨论

由于物种对环境资源的需求和利用特点不同,形成物种生态位的差异,表现为生态位宽度和生态

位重叠值的不同。本研究表明,哈熊沟森林公园岩面生地衣的种类较多,分布范围较广,出现在不同的样点中,但是总体生态适应范围偏窄。由于地衣特殊的结构形态,对环境污染物和环境变化比较敏感,从而影响地衣的分布<sup>[22-23]</sup>。已有研究表明,地衣分布与光照<sup>[24]</sup>、降雨、温度<sup>[25]</sup>、海拔高度等因素有关<sup>[26]</sup>。此外,在欧洲,D. Kubiak<sup>[11]</sup>比较了波兰北部 2 个不同生态系统的附生地衣群落,认为树皮 pH 和持水力,以及树的直径对 2 种生态系统中地衣的形成有重要的作用<sup>[11]</sup>。在岩面生地衣分布研究中,岩石的大小、岩石的成分以及 pH 等可能对地衣的分布有一定影响,且具有相同基质喜好的地衣分布可能相似。因此,在研究地衣生物分布多样性和生态分布时,应考虑到环境变化以及基质性质对地衣生态分布的影响,在不同的环境梯度上分析生态位宽度和生态位重叠值,从而全面揭示其生态适应特征。

根据生态位宽度值可知,亚分枝黄耆、蓝灰蜈蚣衣、淡肤根石耳、碎茶渍、包氏平茶渍等主要以有性或无性的策略进行繁殖,增大了在生境中定殖的几率和范围,且共生藻均为共球藻,对低湿干燥环境比较耐受<sup>[27]</sup>,适应光照强,较干燥的岩面基质,因此分布广泛。糙聚盘衣广泛分布于荒漠地区,长期适应于营养贫瘠单一的生长环境,且 CaCl<sub>2</sub> 对菌丝的生长有负效应<sup>[28]</sup>,可能会限制其对环境资源的利用,导致生态位较窄。此外,微凸网衣、蜂窝橙衣、黄红橙衣、散点微孢衣对不同性质岩石的偏好,限制了分布。该地区大部分地衣物种群的生态位宽度集中在偏窄的范围,因此在生态资源有限的情况下,在资源利用竞争中处于劣势,因此应注意对这一类地衣的保护工作。并且岩面生地衣可能受到岩面已有的地衣种类的影响<sup>[16]</sup>,如果岩石表面地衣持续增加,地衣种类间的竞争就越来**越强**,从而导致其物种多样性降低。

生态位重叠较高,说明 2 物种具有相近的生态特性,或者对环境因子有互补要求<sup>[29]</sup>,即生态位重叠是 2 个种与生态因子联系上的相似<sup>[30]</sup>。糙伏毛微孢衣、辐射裂片茶渍、扭曲平茶渍均为生长在硅质或钙质岩石上的壳状地衣,温度变化大,生境干燥,具有耐旱、耐寒、耐高温的特性,生境的相似性要求可能是其生态位重叠值较高的原因。本研究区域岩面生地衣大都为鳞壳状和叶状地衣,由于形态的差异,地衣体之间相互作用形成不同的结果,如地衣体共存或一些物种淘汰,从而形成不同的生态分布特征。一般认为生态位宽度和生态位重叠之间具有一定的关系,生态位宽的物种与其他物种生态位重叠较高,生态位窄的物种与其他物种的重叠较小<sup>[31]</sup>。生态位较宽,物种分布较广,与其他种群相互作用的

几率高,因而重叠值较大。如淡肤根石耳与双胞胎地图衣、扭曲平茶渍等。淡肤根石耳为叶状地衣,可以与壳状地衣相互作用而共存,形成较高的生态位重叠。但是,在本研究中,生态位较宽的物种之间,生态位重叠值并不高,如生态位较宽的亚分枝黄耆、蓝灰蜈蚣衣、碎茶渍、包氏平茶渍等之间的重叠值较低,这可能是由于它们对资源的要求利用或本身的生态学特征差异导致的<sup>[31]</sup>。然而,生态位较窄的物种间也可能具有较高的生态位重叠,如生态位较窄的微凸网衣和淡肤黄耆,生态位重叠值为 0.95,微凸网衣为壳状地衣,多生于寒冷,潮湿环境,淡肤黄耆为叶状地衣,喜生于向阳干燥的生境,由于其生境的互补性,生态位重叠值较高;同样,散点微孢衣和糙聚盘衣生态位重叠值为 0.85,散点微孢衣为壳状地衣,糙聚盘衣为叶状地衣,即使它们生态位宽度较小,也具有较大的生态位重叠值,可能是由于它们在形态上的不同,导致其在相互作用的过程中,叶状地衣体的边缘滑过壳状地衣体,出现栖息地重叠的现象,从而由于生境资源利用的互补性而出现较大的生态位重叠<sup>[32]</sup>。郭永清<sup>[33]</sup>等认为,出现这种生态位宽度与生态位重叠值不一致的情况可能与物种的生物学特性有关系,因此,种间生态位宽度大小与生态位重叠之间无明显相关。以生态位重叠值矩阵为指标,对其进行聚类分析,聚类结果与生态位重叠值相一致,结果比较满意,这也为有关地衣生态位的研究积累了一定的参考资料。

参考文献:

[1] 李德志,李广祥,孙淑艳. 东北东部山区天然次生林群落中主要树木种群生态位的测度与分析[J]. 吉林林学院学报,1995,11(2):69-74.

[2] 陈旭,卜兆君,王升忠,等. 长白山哈泥泥炭地七种苔藓植物生态位[J]. 应用生态学报,2009,20(3):574-578.

CHEN X,BU Z J,WANG S Z,*et al.* Niches of seven bryophyte species in Hani peat land of Changbai Mountains[J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2009,20(3):574-578. (in Chinese)

[3] 尼玛曲珍,张玺,谭坤,等. 西藏色季拉山川漠高山栎群落生态位特征[J]. 生态科学,2018,37(3):51-58.

NI M Q Z,ZHANG X,TAN K,*et al.* Niche characteristics of *Quercus aquifolioides* community on the Sejila mountains, Tibet, China[J]. Ecological Science,2018,37(3):51-58. (in Chinese)

[4] 董雪,辛智鸣,段瑞兵,等. 乌兰布和沙漠典型灌木群落多样性及其生态位[J]. 干旱区研究,2020,37(4):1009-1017.

[5] 王慧敏,朱仲元,张璐. 典型草原不同土壤类型对群落特征和种群生态位的影响——以锡林河流域为例[J]. 水土保持研究,2020,27(4):142-148.

[6] 郭水良. 浙江金华北山木本植物种群生态位研究[J]. 植物研究,1998,18(3):311-320.

[7] GIORDANI P,BENESPERI R,MARIOTTI M G. Local dis-



persal dynamics determine the occupied niche of the red-listed lichen *Seiropora villosa* (Ach.) Frödén in a Mediterranean *Juniperus* shrubland[J]. Fungal Ecology, 2015, 13: 77-82.

[8] ROLSHAUSEN G, DAL GRANDE F, SADOWSKADEŠ A D, *et al.* Quantifying the climatic niche of symbiont partners in a lichen symbiosis indicates mutualist-mediated niche expansions [J]. Ecography, 2018, 41(8): 1380-1392.

[9] DE VERA J-P, SCHULZE-MAKUCH D, KHAN A, *et al.* Adaptation of an Antarctic lichen to Martian niche conditions can occur within 34 days[J]. Planetary and Space Science, 2014, 98: 182-190.

[10] CASTILLO G, PÉREZ-PÉREZ R E, CÓRDOVA-CHÁVEZ O, *et al.* Vertical distribution of epiphytic lichens on *Quercus laurina* Humb. & Bonpl. in a remnant of cloud forest in the state of Veracruz, México [J]. Nordic Journal of Botany, 2019, 37: 12.

[11] KUBIAK D, OSYCZKA P. Non-forested vs forest environments; the effect of habitat conditions on host tree parameters and the occurrence of associated epiphytic lichens [J]. Fungal Ecology, 2020, 47: 100957.

[12] RANLUND A, HYLANDER K, JOHANSSON V, *et al.* Epiphytic lichen responses to environmental change due to clear-cutting differ among tree taxa [J]. Journal of Vegetation Science, 2018, 29(6): 1065-1074.

[13] 高博钰. 琼北地区滨海不同岩面生地衣及树附生地衣种类组成与分布比较研究[D]. 海南: 海南大学, 2019.

[14] LARSON D W. Habitat overlap/niche segregation in two *Umbilicaria* lichens: a possible mechanism [J]. Oecologia, 1984, 62(1): 118-125.

[15] 艾尼瓦尔·吐米尔, 买买提·沙塔尔, 马衣拉·莫合买德, 等. 新疆乌鲁木齐南部山区地面生地衣生态位研究 [J]. 干旱区资源与环境, 2012, 26(7): 116-120.

[16] 靳文婷, 艾尼瓦尔·吐米尔, 托木尔峰国家级自然保护区岩生地衣群落生态位研究 [J]. 生态科学, 2017, 36(1): 89-94.

[17] 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.

[18] 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 [J]. 生态学报, 2018, 38(3): 1053-1064.

ANWAR·Tumur, REYIM·Mamut, ABOULLA·Abbas. Community structure characteristics of saxicolous lichens in the Bogda Mountains of Xinjiang, China [J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(3): 1053-1064. (in Chinese)

[19] 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.

[20] 张金屯. 数量生态学 [M]. 2 版. 北京: 科学出版社, 2011: 116-117.

[21] 徐凤玲, 刘小军, 马建全, 等. 桥山林区不同坡向麻栎林种群生态位特征分析 [J]. 西北林学院学报, 2018, 33(5): 38-43.

XU F L, LIU X J, MA J Q, *et al.* Effects of different aspects on niche characteristics of plant populations in *Quercus acutissima* forest in Qiaoshan Mountain [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2018, 33(5): 38-43. (in Chinese)

[22] LUCHETA F, MOSSMANN KOCH N, KÄFFER M I, *et al.* Lichens as indicators of environmental quality in southern Brazil: An integrative approach based on community composition and functional parameters [J]. Ecological Indicators, 2019, 107: 105587.

[23] 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.

TUMUR A, ABBAS A. Quantitative classification of saxicolous lichen community in Xinjiang Tumor Peak National Natural Reserve and its correlation with environment [J]. Journal of Plant Resources and Environment, 2015, 24(2): 80-87. (in Chinese)

[24] RICHARDSON C B, PENTECOST A. Niche separation and overlap in the foliose lichens *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm. and *L. virens* (With.) Laundon in the Killarney oak woods, Ireland [J]. Biology & Environment: Proceedings of the Royal Irish Academy, 2011, 111(1): 61-67.

[25] GIORDANI P, INCERTI G. The influence of climate on the distribution of lichens: a case study in a borderline area (Liguria, NW Italy) [J]. Plant Ecology, 2008, 195(2): 257-272.

[26] BANIYA C B, SOLHOY T, GAUSLAA Y, *et al.* The elevation gradient of lichen species richness in Nepal [J]. The Lichenologist, 2010, 42(1): 83-96.

[27] KOCH N M, MATOS P, BRANQUINHO C, *et al.* Selecting lichen functional traits as ecological indicators of the effects of urban environment [J]. Science of The Total Environment, 2019, 654: 705-713.

[28] 曹叔楠, 魏江春. 荒漠地衣糙聚盘衣共生菌耐旱生物学研究及液体优化培养 [J]. 菌物学报, 2009, 28(6): 790-796.

CAO S N, WEI J C. Desiccation-tolerance biological research and liquid culture of the mycobiont isolated from the desert lichen *Glypholecia scabra* [J]. Mycosystema, 2009, 28(6): 790-796. (in Chinese)

[29] 徐晟翀, 曹同, 于晶, 等. 上海市树附生苔藓植物生态位 [J]. 生态学杂志, 2006, 25(11): 1338-1343.

[30] 刘淑燕, 余新晓, 陈丽华. 北京山区天然林乔木树种间联结与生态位研究 [J]. 西北林学院学报, 2009, 24(5): 26-30, 81.

LIU S Y, YU X X, CHEN L H. Interspecific association and niche research of natural forest in Beijing mountainous area [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2009, 24(5): 26-30, 81. (in Chinese)

[31] 卢伟丽, 张洪江, 陈奇伯, 等. 重庆四面山杉木林群落乔木层优势种群生态位特征研究 [J]. 西北林学院学报, 2016, 31(2): 60-65.

LU W L, ZHANG H J, CHEN Q B, *et al.* Niche characteristics of the tree-layer dominant populations of *Cunninghamia lanceolata* forest in Chongqing Simian Mountains [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2016, 31(2): 60-65. (in Chinese)

[32] PENTECOST A. Aspects of competition in saxicolous lichen communities [J]. Lichenologist, 1980, 12(1): 135-144.

[33] 郭永清, 郎南军, 江期川, 等. 元谋干热河谷植物生态位特征研究 [J]. 西北林学院学报, 2009, 24(2): 13-17.

GUOY Q, LANG N J, JIANG Q C, *et al.* Niche characteristics of the plants in the dry and hot valley of Yuanmou county [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2009, 24(2): 13-17. (in Chinese)