

# 新疆巴尔鲁克山国家级自然保护区欧洲山杨树干 附生地衣的分布特征

杜来提罕·托合荪, 金斯古丽·巴合努尔, 雍海英, 艾尼瓦尔·吐米尔<sup>①</sup>

(新疆大学生命科学与技术学院, 新疆 乌鲁木齐 830017)

**摘要:** 附生地衣是森林生态系统的主要组成成分,其分布受到不同生物和非生物因子的影响。为了探查新疆巴尔鲁克山国家级自然保护区附生地衣分布与宿主的关系,采用树干取样法对不同分布海拔、不同胸径及不同树干朝向和高度的 198 株欧洲山杨(*Populus tremula* Linn.)附生地衣的种类组成和总相对盖度进行调查分析,并对不同种类附生地衣盖度与宿主分布海拔和胸径进行相关性分析。结果表明:该保护区欧洲山杨树干上的附生地衣共有 33 种,隶属于 8 科 20 属,其中,蜈蚣衣科(Physciaceae)为种类最多的科,蜈蚣衣属(*Physcia* (Schreb.) Michx.)为种类最多的属。该保护区内欧洲山杨树干上的附生地衣种数和总相对盖度均随着宿主分布海拔、胸径和树干高度的升高呈现先升高后降低的分布特征,分别在海拔(1 200,1 300] m、胸径(60,90] cm 和高度(100,120] cm 宿主树干上达到峰值;并且,北向树干上的附生地衣种数和总相对盖度明显高于南向树干。相关性分析结果表明:仅少部分种类附生地衣盖度与宿主分布海拔和胸径的相关性达到显著( $P<0.05$ )或极显著( $P<0.01$ )水平。综上所述,新疆巴尔鲁克山国家级自然保护区欧洲山杨树干的附生地衣分布与宿主分布海拔、胸径及树干的朝向和高度有关。

**关键词:** 附生地衣; 欧洲山杨; 新疆巴尔鲁克山国家级自然保护区; 森林生态系统

中图分类号: Q948.1; Q949.34 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2025)02-0062-10

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2025.02.07

**Distribution characteristics of epiphytic lichens on *Populus tremula* trunks in Baerluk Mountain National Nature Reserve of Xinjiang, China** Dolathan TOKSUN, Jinsiguli BAHENU'ER, YONG Haiying, Anwar TUMUR<sup>①</sup> (College of Life Science and Technology, Xinjiang University, Urumqi 830017, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2025, 34(2): 62-71

**Abstract:** Epiphytic lichens are the main components of forest ecosystem, and their distribution is affected by different biotic and abiotic factors. To explore the relationships between the distribution of epiphytic lichens and their hosts in Baerluk Mountain National Nature Reserve of Xinjiang, the species composition and total relative coverage of epiphytic lichens on 198 *Populus tremula* Linn. at different distribution altitudes and with different diameters at breast height as well as different trunk orientations and heights were investigated and analyzed by using a trunk sampling method, and the correlation analyses between coverage of different species of epiphytic lichens and the distribution altitude and diameter at breast height of their hosts were conducted. The results show that there are a total of 33 species of epiphytic lichens on *P. tremula* trunks in this reserve, belonging to 20 genera of 8 families, among which, Physciaceae is the family with the most species, and *Physcia* (Schreb.) Michx. is the genus with the most species. In the reserve, both the species number and total relative coverage of epiphytic lichens on *P. tremula* trunks show a distribution pattern of first increasing and then decreasing with the increase of the distribution altitude, diameter at breast height, and trunk height of hosts, and

收稿日期: 2024-10-09

基金项目: 国家自然科学基金项目(32160046)

作者简介: 杜来提罕·托合荪(1996—),女,维吾尔族,新疆和田人,硕士研究生,主要从事地衣分类及生态学研究。

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

引用格式: 杜来提罕·托合荪, 金斯古丽·巴合努尔, 雍海英, 等. 新疆巴尔鲁克山国家级自然保护区欧洲山杨树干附生地衣的分布特征[J]. 植物资源与环境学报, 2025, 34(2): 62-71.

they reach the peak values on the host trunks at the altitudes of (1 200, 1 300] m, diameters at breast height of (60, 90] cm, and heights of (100, 120] cm, respectively; in addition, the species number and total relative coverage of epiphytic lichens on the northward trunks are evidently higher than those on the southward tree trunks. The correlation analysis result shows that only the coverages of a few species of epiphytic lichens have significant ( $P < 0.05$ ) or extremely significant ( $P < 0.01$ ) correlations with the distribution altitude and diameter at breast height of their hosts. In conclusion, the distribution of epiphytic lichens on *P. tremula* trunks in Baerluk Mountain National Nature Reserve of Xinjiang is related to the distribution altitude and the diameter at breast height of hosts, as well as the trunk orientation and height of hosts.

**Key words:** epiphytic lichen; *Populus tremula* Linn.; Baerluk Mountain National Nature Reserve of Xinjiang; forest ecosystem

地衣(lichen)是真菌与藻类或蓝细菌形成的稳定并具有特殊形态和解剖结构以及生理特性的复合叶状体植物。地衣是森林生态系统的重要组成部分,不但丰富了森林生物多样性,还具有重要的生态功能<sup>[1]</sup>。附生地衣(epiphytic lichen)是指生活在植物活体或残体上,但不从宿主体内掠夺营养和水分的地衣类群<sup>[2]</sup>。附生地衣是森林生态系统的主要组成成分,能够增加森林生态系统的结构复杂性,改变林冠层水分状况,维持森林生态系统的营养和氮循环,并为森林中的动物提供食物和筑巢材料等<sup>[3]</sup>。

研究发现,光照、湿度、温度、树种、林龄及人为干扰等均能够影响附生地衣的物种多样性<sup>[3-11]</sup>,树冠微栖生境是影响北美和欧洲原生林和次生林中附生地衣物种多样性和分布格局的重要因子<sup>[12-14]</sup>。目前,国外关于森林生态系统树种对附生地衣群落物种多样性影响的研究主要集中在北方针叶林<sup>[14]</sup>、热带阔叶林<sup>[15]</sup>和温带森林<sup>[16]</sup>;国内相关研究结果表明附生地衣的物种丰富度和垂直分层与森林类型、树干和树皮化学成分、光照条件等多种因子有关<sup>[17-20]</sup>,<sup>[21]1-3</sup>。一般情况下,树冠上附生地衣的物种丰富度高于树干<sup>[17-18]</sup>;不同方向和高度树干上的附生地衣物种丰富度差异显著<sup>[19]</sup>;天然林的附生地衣物种丰富度高于人工林<sup>[20]</sup>。并且,附生地衣物种多样性受宿主理化性质、树皮pH值、树干电导率、林冠层郁闭度和光照强度等多种生态因子的影响<sup>[21]1-5</sup>。综上所述,附生地衣的物种多样性及分布格局与所在森林类型及宿主种类、树干和树皮的化学成分、树干粗糙度等多种因子密切相关。由于小气候条件不同,以及宿主在树种、树龄、胸径、理化性质等方面的差异,不同森林生态系统中附生地衣的物种多样性和分布格局存在明显差异<sup>[21]5,[22]</sup>。

新疆位于中国西北部,地处亚欧大陆腹地,远离海洋,大陆性气候极为明显,区内地形、地貌复杂多样,为众多种类地衣创造了适宜的生存环境。新疆的地衣区系特征具有古老性和特殊性,在中国地衣区系地理分布、物种多样性研究与保护利用中具有重要的研究价值和研究意义<sup>[23]18-24</sup>。新疆巴尔鲁克山国家级自然保护区位于巴尔鲁克山脉,地处荒漠、山地和湿地组成的生态系统多样性和异质性显著地带,被称为野生动植物的天堂。该保护区特殊的地理位置和自然条件,为不同种类地衣的迁入和定居创造了有利条件,在长期的演化过程中形成了天山与阿尔泰山之间地衣的过渡性区系,并呈现出天山和阿尔泰山地衣物种的特殊性,是观测和研究中亚环境变化对地衣物种多样性影响的最理想的天然实验室<sup>[24]</sup>。

附生地衣是新疆干旱和半干旱地区森林生态系统生物多样性的主要成员<sup>[25-28]</sup>,探究新疆巴尔鲁克山国家级自然保护区森林生态系统不同树种对附生地衣物种多样性的影响对于有效保护该地区的地衣多样性具有重要价值。欧洲山杨(*Populus tremula* Linn.)广泛分布于该保护区的森林生态系统中,为附生地衣提供了重要的栖息地。迄今为止,新疆巴尔鲁克山国家级自然保护区的大型地衣区系、物种多样性已有研究报道<sup>[29-30]</sup>,但关于附生地衣物种分布与宿主树种的关系还不十分清楚,影响了该保护区地衣多样性的有效保护及森林树种优化和管理策略的制定。

鉴于此,本研究采用树干取样法对新疆巴尔鲁克山国家级自然保护区内不同分布海拔、胸径以及不同树干朝向和高度的欧洲山杨附生地衣的分布情况进行调查,从而分析不同种类附生地衣盖度与宿主分布海拔和胸径的关系,以期为该地区附生地衣多样性和森林管理提供理论支持。

## 1 研究区概况和研究方法

### 1.1 研究区概况

新疆巴尔鲁克山国家级自然保护区位于新疆维吾尔自治区塔城地区和阿勒泰地区交界处(北纬45°42'~46°03'、东经82°26'~83°13'),为新疆西北部的重要生态屏障。该保护区总面积115 037.3 hm<sup>2</sup>,其中,89.5%的面积位于裕民县,10.5%的面积位于托里县。该地区属典型的大陆性温带干旱气候,年均温6.6℃,年降水量289.2 mm,年蒸发量1 882.71 mm,

年空气相对湿度44%。保护区内分布的植物有110科495属1 244种,海拔800~1 200 m的开阔河谷主要分布抗旱、耐寒灌木野巴旦杏(*Amygdalus ledebouriana* Schlecht.),海拔1 000~1 600 m的阴坡主要分布新疆野苹果[*Malus sieversii* (Ledeb.) M. Roem.],海拔1 700~1 900 m的亚高山带主要分布雪岭云杉(*Picea schrenkiana* Fisch. et C. A. Mey.)。

### 1.2 研究方法

1.2.1 野外调查 在保护区内海拔900~1 500 m区间,选择欧洲山杨集中分布的区域设置面积20 m×20 m的样点30个,各样点的基本信息见表1。

表1 新疆巴尔鲁克山国家级自然保护区欧洲山杨树干附生地衣调查样点的基本信息

Table 1 Basic information of survey sampling points of epiphytic lichens on *Populus tremula* Linn. trunks in Baerluk Mountain National Nature Reserve of Xinjiang, China

样点编号 No. of sampling point	纬度 Latitude	经度 Longitude	海拔/m Altitude	坡度/(°) Slope	各径级的宿主数量 <sup>1)</sup>						总计 Total
					I	II	III	IV	V	VI	
1	N45°47'50"	E82°26'20"	940	17		2	2	1			5
2	N45°48'01"	E82°34'31"	1 020	26	1	2	1	2			6
3	N45°50'11"	E82°32'17"	1 040	14	2	2		1		3	8
4	N45°56'33"	E82°40'56"	1 080	33	2	1	2	2			7
5	N45°55'58"	E82°42'32"	1 100	10		2	3	3			8
6	N45°55'55"	E82°42'35"	1 120	8	2		2			3	7
7	N45°55'17"	E82°44'32"	1 130	14			2	2	2		6
8	N45°55'43"	E82°43'27"	1 150	12			3				3
9	N45°55'16"	E82°44'21"	1 180	45	2		1				3
10	N45°55'02"	E82°44'45"	1 190	8	2		2				4
11	N45°55'13"	E82°44'22"	1 200	11	2		1			1	4
12	N45°44'54"	E82°29'17"	1 220	20	2	2	3				7
13	N45°44'23"	E82°30'09"	1 230	18		1	2		2		5
14	N45°53'45"	E82°45'05"	1 250	32		1	2		3		6
15	N45°53'46"	E82°45'06"	1 265	29		3	2		1	2	8
16	N45°53'30"	E82°44'59"	1 270	13	1	2	1		2		6
17	N45°54'21"	E82°44'50"	1 280	10		2	1	1	2		6
18	N45°44'01"	E82°30'09"	1 295	11		1	2	1	2		6
19	N45°45'06"	E82°26'52"	1 300	15	2	2		2	1		7
20	N45°52'30"	E82°44'35"	1 325	14		2	2	1	2		7
21	N45°52'24"	E82°44'09"	1 336	17	1	2	2	2	2	2	11
22	N45°52'07"	E82°44'13"	1 350	20	2	1	2	1	2		8
23	N45°44'04"	E82°30'04"	1 370	8	2	1	2		2	2	9
24	N45°44'36"	E82°30'59"	1 385	36		3	1	2	2		8
25	N45°54'33"	E82°38'17"	1 390	25		2	3	2		1	8
26	N45°54'56"	E82°38'02"	1 400	27	2	2	2	2			8
27	N45°53'45"	E82°45'20"	1 420	10	2	2	1	2	1		8
28	N45°52'14"	E82°38'23"	1 435	18		2	2	1			5
29	N45°54'56"	E82°38'02"	1 450	29	1	2	1	2			6
30	N45°58'21"	E82°38'18"	1 460	20	2	2		1		3	8
总计 Total					33	42	53	30	27	15	198

<sup>1)</sup> I: 0 cm<DBH≤30 cm; II: 30 cm<DBH≤60 cm; III: 60 cm<DBH≤90 cm; IV: 90 cm<DBH≤120 cm; V: 120 cm<DBH≤150 cm; VI: DBH>150 cm. DBH: 胸径 Diameter at breast height.

调查样点内距地面 0~2 m 的欧洲山杨树干上的附生地衣种类和分布情况。使用面积 10 cm×20 cm 的自制网状样方框(由 200 个面积 1 cm×1 cm 的小方格组成)测量附生地衣的盖度和频度。其中,盖度为某种地衣出现的网格数占网格总数的百分比;频度为某种地衣出现的小样方数占小样方总数的百分比<sup>[19,31]</sup>。使用手持 GPS 仪记录每个样点的纬度、经度和海拔,并记录附生地衣宿主所在海拔;详细记录附生地衣宿主的胸径以及树干的朝向和高度。参考相关文献<sup>[19,31]</sup>划分海拔等级、径级和树干高度等级。以 100 m 为 1 个等级,将欧洲山杨的分布海拔(Alt)范围划分成 I (900 m<Alt≤1 000 m)、II (1 000 m<Alt≤1 100 m)、III (1 100 m<Alt≤1 200 m)、IV (1 200 m<Alt≤1 300 m)、V (1 300 m<Alt≤1 400 m)、VI (1 400 m<Alt≤1 500 m) 6 个等级;以 30 cm 为 1 个径级,将胸径(DBH)划分成 I (0 cm<DBH≤30 cm)、II (30 cm<DBH≤60 cm)、III (60 cm<DBH≤90 cm)、IV (90 cm<DBH≤120 cm)、V (120 cm<DBH≤150 cm)、VI (DBH>150 cm) 6 个径级;鉴于附生地衣只分布在高度 160 cm 以下的树干上,以 20 cm 为 1 个等级,将树干高度(h)划分成 I (0 cm<h≤20 cm)、II (20 cm<h≤40 cm)、III (40 cm<h≤60 cm)、IV (60 cm<h≤80 cm)、V (80 cm<h≤100 cm)、VI (100 cm<h≤120 cm)、VII (120 cm<h≤140 cm)、VIII (140 cm<h≤160 cm) 8 个等级。

1.2.2 物种鉴定 用数码相机拍照记录宿主上的地衣形态,并采集制作地衣标本。所有地衣标本均存放在新疆大学生命科学与技术学院孢子植物标本馆。使用手持放大镜观察地衣体的外部形态,借助化学显色反应<sup>[23]9-16</sup>检测地衣的次生代谢产物,从而鉴定地衣种类。在野外无法鉴定的地衣,采集后制作标本,用 OLYMPUS SZX16 光学体式显微镜(日本 Olympus 公司)对标本进行形态学观察和解剖,采用 ZEISS Axioskop 2 plus 显微镜(德国 Zeiss 公司)观察地衣体的外部形态和内部结构,结合显色反应<sup>[23]9-16</sup>和薄层层析<sup>[32]97-110</sup>检测地衣的次生代谢产物,并参考相关书籍<sup>[23]25-161,[32]1-795,[33]</sup>确定地衣种类。

### 1.3 数据分析

根据宿主的分布海拔、胸径以及树干的朝向和高度对调查到的附生地衣进行分组;依据各地衣种类存在与否制作 2×2 联表,并进行卡方检验。采用 Pearson 相关系数对不同海拔等级和径级下不同种类

地衣盖度与宿主分布海拔和胸径的相关性进行分析;采用 Microsoft EXCEL 2010 和 IBM SPSS 27 软件进行数据分析<sup>[34]</sup>。

## 2 结果和分析

### 2.1 欧洲山杨树干附生地衣的物种组成

调查及统计结果(表 2)显示:在新疆巴尔鲁克山国家级自然保护区欧洲山杨树干上共鉴定出 33 种附

表 2 新疆巴尔鲁克山国家级自然保护区欧洲山杨树干附生地衣的种类组成

Table 2 Species composition of epiphytic lichens on *Populus tremula* Linn. trunks in Baerluk Mountain National Nature Reserve of Xinjiang, China

科 Family	属 Genus	种 Species
瓶口衣科 Verrucariaceae	小皿叶属 <i>Normandina</i>	小皿叶 <i>N. pulchella</i>
黄烛衣科 Candelariaceae	黄绿衣属 <i>Flavoplaca</i>	皇冠黄绿衣 <i>F. coronata</i>
	黄茶渍属 <i>Candelariella</i>	金黄茶渍 <i>C. aurella</i> 油黄茶渍 <i>C. oleifera</i> 株头黄茶渍 <i>C. xanthostigma</i>
蜈蚣衣科 Physciaceae	蜈蚣衣属 <i>Physcia</i>	蜈蚣衣 <i>P. stellaris</i>
		斑面蜈蚣衣 <i>P. aipolia</i>
		疑蜈蚣衣 <i>P. dubia</i>
		蓝灰蜈蚣衣 <i>P. caesia</i>
		糙蜈蚣衣 <i>P. tribacia</i>
	黑蜈蚣衣属 <i>Phaeophyscia</i>	圆叶黑蜈蚣衣 <i>P. orbicularis</i>
		密集黑蜈蚣衣 <i>P. constipata</i>
		粉缘黑蜈蚣衣 <i>P. limbata</i>
		毛边黑蜈蚣衣 <i>P. hispidula</i>
		灰色大孢蜈蚣衣 <i>P. grisea</i>
茶渍科 Lecanoraceae	大孢衣属 <i>Physconia</i>	毛边雪花衣 <i>A. ciliaris</i>
	雪花衣属 <i>Anaptychia</i>	柳茶渍 <i>L. saligna</i>
	茶渍属 <i>Lecanora</i>	木生茶渍 <i>L. xylophila</i>
	小网衣属 <i>Lecidella</i>	油色小网衣 <i>L. elaeochroma</i>
梅衣科 Parmeliaceae	多盘衣属 <i>Myriolecis</i>	散多盘衣 <i>M. dispersa</i>
		小多盘衣 <i>M. hagenii</i>
	黄星点衣属 <i>Flavopunctelia</i>	皱黄星点衣 <i>F. flaventior</i>
	褐梅衣属 <i>Melanelia</i>	微糙褐梅 <i>M. exasperatula</i>
		巧褐梅 <i>M. incolorata</i>
	黑尔衣属 <i>Melanohalea</i>	长芽黑尔衣 <i>M. elegantula</i>
树花衣科 Ramalinaceae	山褐衣属 <i>Montanelia</i>	假杯点山褐衣 <i>M. disjuncta</i>
	拟扁枝衣属 <i>Pseudevernia</i>	拟扁枝衣 <i>P. furfuracea</i>
	小孢发属 <i>Bryoria</i>	刺小孢发 <i>B. confusa</i>
	松萝属 <i>Usnea</i>	亚花松萝 <i>U. subfloridana</i>
	树花属 <i>Ramalina</i>	中国树花 <i>R. sinensis</i>
	胶衣科 Collema	亚石胶衣 <i>C. subflaccidum</i>
	Collema	砖孢胶衣 <i>C. subconveniens</i>
黄枝衣科 Teloschistaceae	美衣属 <i>Calogaya</i>	类锈美衣 <i>C. ferrugineoides</i>

生地衣,隶属于8科20属。从科水平看,蜈蚣衣科(Physciaceae)种类最多,共4属11种,占附生地衣总种数的33.3%;梅衣科(Parmeliaceae)种类其次,共7属8种,占附生地衣总种数的24.2%。从属水平看,蜈蚣衣属[*Physcia* (Schreb.) Michx.]种类最多(5种),黑蜈蚣衣属(*Phaeophyscia* Moberg)种类次之(4种),黄茶渍属(*Candelariella* Müll. Arg.)有3种,茶渍属(*Lecanora* Ach.)、多盘衣属(*Myriolecis* Clem)、褐梅衣属(*Melanelia* Essl.)和胶衣属(*Collema* Weber ex F. H. Wigg.)各有2种,而小皿叶属(*Normandina* Nyl.)、黄绿衣属(*Flavoplaca* Arup)、大孢衣属(*Physconia* Poelt)、雪花衣属(*Anaptychia* Körb.)、小网衣属(*Lecidella* Körb.)、黄星点衣属[*Flavopunctelia* (Krog) Hale]、黑尔衣属(*Melanohalea* O. Blanco et al.)、山褐衣属(*Montanelia* Divakar et al.)、拟扁枝衣属(*Pseudevernia* Zopf)、松萝属(*Usnea* Dill. ex Adans.)、树花属(*Ramalina* Ach.)、小孢发属(*Bryoria* Brodo et D. Hawksw.)和美衣属(*Calogaya* Arup)各有1种。

## 2.2 附生地衣在不同海拔等级欧洲山杨树干上的分布特征

### 2.2.1 分布规律

统计分析结果(表3)显示:新疆巴尔鲁克山国家级自然保护区欧洲山杨树干上的附生地衣种数和总相对盖度随着宿主分布海拔升高呈先升高后降低的变化趋势,并在海拔(1 200, 1 300)m达到峰值。

表3 新疆巴尔鲁克山国家级自然保护区不同海拔等级欧洲山杨树干附生地衣的分布特征

Table 3 Distribution characteristics of epiphytic lichens on *Populus tremula* Linn. trunks at different altitudinal classes in Baerluk Mountain National Nature Reserve of Xinjiang, China

海拔等级 Altitudinal class	海拔/m Altitude (Alt)	种数 Species number	总相对盖度/% Total relative coverage
I	900<Alt≤1 000	18	6.5
II	1 000<Alt≤1 100	21	10.8
III	1 100<Alt≤1 200	24	27.3
IV	1 200<Alt≤1 300	28	35.8
V	1 300<Alt≤1 400	19	7.1
VI	1 400<Alt≤1 500	18	5.8

### 2.2.2 地衣盖度与宿主分布海拔的关系

各海拔等级下地衣盖度与宿主分布海拔的相关性分析结果(表4)表明:在I级(900 m<海拔(Alt)≤1 000 m)海拔等级下,刺小孢发[*Bryoria confusa* (D. D. Awasthi) Brodo et D. Hawksw.]、中国树花(*Ramalina sinensis*

*Jatta*)和亚花松萝(*Usnea subfloridana* Stirt.)盖度与宿主分布海拔呈极显著( $P<0.01$ )负相关。在II级(1 000 m<Alt≤1 100 m)海拔等级下,刺小孢发盖度与宿主分布海拔呈显著( $P<0.05$ )负相关,密集黑蜈蚣衣[*Phaeophyscia constipata* (Nyl.) Moberg]盖度与宿主分布海拔呈极显著正相关,毛边黑蜈蚣衣[*Phaeophyscia hispidula* (Ach.) Moberg]和粉缘黑蜈蚣衣[*Phaeophyscia limbata* (Poelt) Kashiw.]盖度与宿主分布海拔呈显著正相关。在III级(1 100 m<Alt≤1 200 m)海拔等级下,微糙褐梅[*Melanelia exasperatula* (Nyl.) Essl.]和蓝灰蜈蚣衣[*Physcia caesia* (Hoffm.) Fürnr.]盖度与宿主分布海拔呈显著正相关,圆叶黑蜈蚣衣[*Phaeophyscia orbicularis* (Neck.) Moberg]盖度与宿主分布海拔极显著正相关。在IV级(1 200 m<Alt≤1 300 m)海拔等级下,毛边雪花衣[*Anaptychia ciliaris* (Linn.) Körb. ex A. Massal.]、巧褐梅[*Melanelia incolorata* (Parrique) Essl.]和疑蜈蚣衣[*Physcia dubia* (Hoffm.) Lettau]盖度与宿主分布海拔呈显著正相关,毛边黑蜈蚣衣和蓝灰蜈蚣衣盖度与宿主分布海拔呈极显著正相关。在V级(1 300 m<Alt≤1 400 m)海拔等级下,类锈美衣(*Calogaya ferrugineoides* H. Magn.)、金黄茶渍[*Candelariella aurella* (Hoffm.) Zahlbr.]、皱黄星点衣[*Flavopunctelia flaventior* (Stirt.) Hale]和皇冠黄绿衣[*Flavoplaca coronata* (Kremp. ex Körb.) Arup]盖度与宿主分布海拔呈显著负相关,油黄茶渍(*Candelariella oleifera* H. Magn.)和斑面蜈蚣衣[*Physcia aipolia* (Ehrh. ex Humb.) Fürnr.]盖度与宿主分布海拔呈极显著负相关。在VI级(1 400 m<Alt≤1 500 m)海拔等级下,金黄茶渍、皱黄星点衣、皇冠黄绿衣和疑蜈蚣衣盖度与宿主分布海拔呈极显著负相关,油黄茶渍和斑面蜈蚣衣盖度与宿主分布海拔呈显著负相关。

## 2.3 附生地衣在不同径级欧洲山杨树干上的分布特征

### 2.3.1 分布规律

调查结果(表5)显示:新疆巴尔鲁克山国家级自然保护区欧洲山杨树干上的附生地衣种数和总相对盖度均随着宿主径级增大呈现先升高后降低的变化趋势。III级[60 cm<胸径(DBH)≤90 cm]径级欧洲山杨树干上的附生地衣种类最多(32种),总相对盖度为29.7%;IV级(90 cm<DBH≤120 cm)径级欧洲山杨树干上的附生地衣种类次之,共有29种,总相对盖度为20.6%;VI级(DBH>150 cm)径

表 4 新疆巴尔鲁克山国家级自然保护区欧洲山杨树干不同种类附生地衣盖度与宿主分布海拔的相关性

Table 4 The relationships between coverage of different species of epiphytic lichens on *Populus tremula* Linn. trunks and host distribution altitude in Baerluk Mountain National Nature Reserve of Xinjiang, China

种类 Species	不同海拔等级下地衣盖度与宿主分布海拔的相关系数 <sup>1)</sup> Correlation coefficient between lichen coverage and host distribution altitude at different altitudinal classes <sup>1)</sup>					
	I (n=5)	II (n=21)	III (n=31)	IV (n=48)	V (n=58)	VI (n=35)
毛边雪花衣 <i>Anaptychia ciliaris</i>	0.547	0.615	0.457	0.867 *	0.548	0.648
刺小孢发 <i>Bryoria confusa</i>	-0.945 **	-0.848 *	0.431	0.545	0.647	0.452
类锈美衣 <i>Calogaya ferrugineoides</i>	0.456	0.631	0.678	0.647	-0.875 *	0.783
金黄茶渍 <i>Candelariella aurella</i>	0.678	0.458	0.475	0.512	-0.889 *	-0.935 **
油黄茶渍 <i>C. oleifera</i>	0.575	0.647	0.567	0.689	-0.945 **	-0.869 *
皱黄星点衣 <i>Flavopunctelia flaventior</i>	0.551	0.532	0.667	0.648	-0.812 *	-0.954 **
皇冠黄绿衣 <i>Flavoplaca coronata</i>	0.801	0.641	0.776	0.734	-0.875 *	-0.897 **
微糙褐梅 <i>Melanelia exasperatula</i>	0.623	0.614	0.878 *	0.671	0.556	0.672
巧褐梅 <i>M. incolorata</i>	0.678	0.645	0.648	0.854 *	0.453	0.641
密集黑蜈蚣衣 <i>Phaeophyscia constipata</i>	0.445	0.912 **	0.548	0.648	0.458	0.536
毛边黑蜈蚣衣 <i>P. hispidula</i>	0.576	0.879 *	0.647	0.934 **	0.536	0.648
粉缘黑蜈蚣衣 <i>P. limbata</i>	0.648	0.864 *	0.641	0.647	0.431	0.402
圆叶黑蜈蚣衣 <i>P. orbicularis</i>	0.558	0.478	0.894 **	0.458	0.701	0.689
斑面蜈蚣衣 <i>Physcia aipolia</i>	0.593	0.551	0.345	0.648	-0.934 **	-0.867 *
蓝灰蜈蚣衣 <i>P. caesia</i>	0.612	0.457	0.856 *	0.945 **	0.648	0.647
疑蜈蚣衣 <i>P. dubia</i>	0.678	0.645	0.647	0.876 *	0.648	-0.914 **
中国树花 <i>Ramalina sinensis</i>	-0.912 **	0.523	0.501	0.636	0.664	0.541
亚花松萝 <i>Usnea subfloridana</i>	-0.897 **	0.554	0.484	0.531	0.684	0.645

<sup>1)</sup> I: 900 m<Alt≤1 000 m; II: 1 000 m<Alt≤1 100 m; III: 1 100 m<Alt≤1 200 m; IV: 1 200 m<Alt≤1 300 m; V: 1 300 m<Alt≤1 400 m; VI: 1 400 m<Alt≤1 500 m. Alt: 海拔 Altitude. n: 宿主数量 Host number. \*: P<0.05; \*\*: P<0.01.

表 5 新疆巴尔鲁克山国家级自然保护区不同径级欧洲山杨树干附生地衣的分布特征

Table 5 Distribution characteristics of epiphytic lichens on *Populus tremula* Linn. trunks at different diameter classes in Baerluk Mountain National Nature Reserve of Xinjiang, China

径级 Diameter class	胸径/cm Diameter at breast height (DBH)	种数 Species number	总相对盖度/% Total relative coverage
I	0<DBH≤30	23	10.8
II	30<DBH≤60	25	12.4
III	60<DBH≤90	32	29.7
IV	90<DBH≤120	29	20.6
V	120<DBH≤150	22	9.7
VI	DBH>150	20	8.2

级欧洲山杨树干上的附生地衣种类最少(20种),总相对盖度最低(8.2%)。

2.3.2 地衣盖度与宿主胸径的关系 各径级下地衣盖度与宿主胸径的相关性分析结果(表 6)表明:毛边雪花衣盖度与宿主多数胸径存在明显相关性,其在 I 级(0 cm<DBH≤30 cm)径级下与宿主胸径呈极显著(P<0.01)正相关,在 III 级径级下与宿主胸径呈极显著负相关,并在 IV 级、V 级(120 cm<DBH≤150 cm)、VI 级径级下与宿主胸径呈显著(P<0.05)负相关。其余种类附生地衣盖度与各径级下宿主胸径的相关性

多不显著,仅金黄茶渍盖度在 II 级(30 cm<DBH≤60 cm)和 VI 级径级下与宿主胸径呈显著正相关,小多盘衣[*Myriolecis hagenii* (Ach.) Śliwa, Zhao Xin et Lumbsch]盖度在 V 级和 VI 级径级下与宿主胸径分别呈显著和极显著正相关,柳茶渍[*Lecanora saligna* (Schrader.) Zahlbr.]和油色小网衣[*Lecidella elaeochroma* (Ach.) M. Choisy]盖度在 I 级径级下与宿主胸径呈极显著负相关,木生茶渍(*Lecanora xylophila* Hue)和灰色大孢蜈蚣衣[*Physconia grisea* (Lam.) Poelt]盖度在 I 级径级下与宿主胸径呈显著负相关,蓝灰蜈蚣衣和蜈蚣衣盖度在 I 级径级下与宿主胸径呈极显著正相关,长芽黑尔衣[*Melanohalea elegantula* (Zahlbr.) O. Blanco et al.]盖度在 II 级径级下与宿主胸径呈极显著正相关,类锈美衣盖度在 III 级径级下与宿主胸径呈显著正相关,砖孢胶衣(*Collema subconveniens* Nyl.)盖度在 IV 级径级下与宿主胸径呈显著正相关,刺小孢发、亚石胶衣(*Collema subflaccidum* Degel.)、巧褐梅和疑蜈蚣衣盖度在 IV 级径级下与宿主胸径呈极显著正相关,油黄茶渍、株头黄茶渍[*Candelariella xanthostigma* (Ach.) Lettau]和散多盘衣[*Myriolecis dispersa* (Pers.) Śliwa, Zhao Xin

表6 新疆巴尔鲁克山国家级自然保护区欧洲山杨树干不同种类附生地衣盖度与宿主胸径的相关性

Table 6 The relationships between coverage of different species of epiphytic lichens on *Populus tremula* Linn. trunks and host diameter at breast height in Barluk Mountain National Nature Reserve of Xinjiang, China

种类 Species	不同径级下地衣盖度与宿主胸径的相关系数 <sup>1)</sup> Correlation coefficient between lichen coverage and host diameter at breast height at different diameter classes <sup>1)</sup>					
	I (n=33)	II (n=41)	III (n=52)	IV (n=30)	V (n=27)	VI (n=15)
毛边雪花衣 <i>Anaptychia ciliaris</i>	0.921 **	0.614	-0.901 **	-0.843 *	-0.836 *	-0.871 *
刺小孢发 <i>Bryoria confusa</i>	0.542	0.342	0.453	0.897 **	0.520	0.541
类锈美衣 <i>Calogaya ferrugineoides</i>	0.127	0.425	0.853 *	0.645	0.546	0.365
金黄茶渍 <i>Candelariella aurella</i>	0.320	0.835 *	0.352	0.421	0.634	0.845 *
油黄茶渍 <i>C. oleifera</i>	0.147	0.452	0.547	0.601	0.654	0.924 **
株头黄茶渍 <i>C. xanthostigma</i>	0.527	0.354	0.354	0.625	0.450	0.891 **
砖孢胶衣 <i>Collema subconveniens</i>	0.304	0.337	0.335	0.844 *	0.552	0.451
亚石胶衣 <i>C. subflaccidum</i>	0.426	0.326	0.565	0.901 **	0.604	0.357
柳茶渍 <i>Lecanora saligna</i>	-0.925 **	0.435	0.567	0.525	0.412	0.558
木生茶渍 <i>L. xylophila</i>	-0.867 *	0.471	0.624	0.425	0.552	0.628
油色小网衣 <i>Lecidella elaeochroma</i>	-0.934 **	0.402	0.602	0.557	0.523	0.647
微糙褐梅 <i>Melanelia exasperatula</i>	0.645	0.325	0.365	0.656	0.545	0.846 *
巧褐梅 <i>M. incolorata</i>	0.562	0.214	0.546	0.924 **	0.447	0.543
长芽黑尔衣 <i>Melanohalea elegantula</i>	0.540	0.897 **	0.637	0.668	0.361	0.632
散多盘衣 <i>Myriolecis dispersa</i>	0.402	0.652	0.458	0.523	0.361	0.932 **
小多盘衣 <i>M. hagenii</i>	0.651	0.636	0.352	0.654	0.854 *	0.941 **
蓝灰蜈蚣衣 <i>Physcia caesia</i>	0.889 **	0.501	0.423	0.623	0.357	0.458
疑蜈蚣衣 <i>P. dubia</i>	0.554	0.514	0.365	0.961 **	0.632	0.557
蜈蚣衣 <i>P. stellaris</i>	0.892 **	0.547	0.425	0.527	0.554	0.561
灰色大孢蜈蚣衣 <i>Physconia grisea</i>	-0.879 *	0.521	0.631	0.663	0.514	0.657

<sup>1)</sup> I: 0 cm<DBH≤30 cm; II: 30 cm<DBH≤60 cm; III: 60 cm<DBH≤90 cm; IV: 90 cm<DBH≤120 cm; V: 120 cm<DBH≤150 cm; VI: DBH>150 cm. DBH: 胸径 Diameter at breast height. n: 宿主数量 Host number. \*: P<0.05; \*\*: P<0.01.

et Lumbsch) 盖度在Ⅵ级径级下与宿主胸径呈极显著正相关,微超褐衣盖度在Ⅵ级径级下与宿主胸径呈显著正相关。

#### 2.4 附生地衣在不同朝向欧洲山杨树干上的分布特征

统计结果显示:新疆巴尔鲁克山国家级自然保护区欧洲山杨北向树干上的附生地衣种类较多(33种),而南向树干上的附生地衣种类(21种)明显少于北向树干。北向和南向树干附生地衣的总相对盖度分别为32.5%和21.4%。宿主不同方向树干上的附生地衣种数和总相对盖度均存在显著差异( $F$ 值分别为33.138和23.599, $P$ 值均为0.001)。北向树干上的主要附生地衣种类有刺小孢发、类锈美衣、相反柳茶渍、木生茶渍、微糙褐梅、粉缘黑蜈蚣衣、斑面蜈蚣衣、糙蜈蚣衣〔*Physcia tribacia* (Ach.) Nyl.〕、灰色大孢蜈蚣衣和拟扁枝衣〔*Pseudevernia furfuracea* (Linn.) Zopf〕等,南向树干上的主要附生地衣种类有小皿叶〔*Normandina pulchella* (Borrer) Nyl.〕、小多盘衣、假杯点山褐衣〔*Montanelia disjuncta* (Erichsen) Divakar

et al.〕、中国树花、亚花松萝、亚石胶衣和砖孢胶衣等。

#### 2.5 附生地衣在不同高度等级欧洲山杨树干上的分布特征

统计结果(表7)显示:新疆巴尔鲁克山国家级自然保护区欧洲山杨树干上的附生地衣的种数和总相对盖度均随着树干增高呈现先升高后降低的变化趋势。其中,高度(100,120] cm的欧洲山杨树干上的

表7 新疆巴尔鲁克山国家级自然保护区欧洲山杨不同高度等级树干附生地衣的分布特征

Table 7 Distribution characteristics of epiphytic lichens on *Populus tremula* Linn. trunks at different height classes in Baerluk Mountain National Nature Reserve of Xinjiang, China

高度等级 Height class	高度/cm Height (h)	种数 Species number	总相对盖度/% Total relative coverage
I	0<h≤20	2	3.2
II	20<h≤40	3	6.3
III	40<h≤60	5	10.9
IV	60<h≤80	7	16.5
V	80<h≤100	8	24.5
VI	100<h≤120	12	29.0
VII	120<h≤140	3	7.2
VIII	140<h≤160	2	5.2

附生地衣种类最多(12种),总相对盖度也达到峰值(29.0%);高度(80,120] cm的欧洲山杨树干上的附生地衣种类数(8种)和总相对盖度(24.5%)均较高。

### 3 讨 论

附生地衣在森林生态系统中的分布受到海拔以及光照、湿度、温度、风速、养分可用性等多种气候和环境因子的综合影响<sup>[35-39]</sup>。研究发现,竞争能力强且对极端气候条件具有高度耐受性的地衣种类可能不会在气候和环境条件较好的区域出现,并且很可能在气候和环境条件不利的区域占有优势<sup>[40]</sup>。海拔是影响附生地衣多样性的主要因子<sup>[41]</sup>。Loppi等<sup>[42]</sup>发现,地中海地区柔毛栎(*Quercus pubescens* Willd.)上的附生地衣种数随着海拔梯度升高而先升高后降低,本研究也得到类似结果,在新疆巴尔鲁克山国家级自然保护区内,欧洲山杨树干上的附生地衣种数和总相对盖度均随宿主分布海拔升高呈现先升高后降低的变化特征。这是因为随着宿主所在海拔的变化,光照强度、空气相对湿度、林冠层郁闭度等会出现相应的差异,进而影响附生地衣的分布<sup>[27-28]</sup>。

已有文献显示:宿主的种类和胸径大小对附生地衣的分布影响较大<sup>[43]</sup>。附生地衣的物种丰富度和总相对盖度多随着宿主胸径增大而显著提高,树干附生地衣并不是都随着宿主胸径增大而呈现单一增加或降低的趋势,有些种类会集中分布于一定径级区间的树干上<sup>[19,44-46]</sup>。新疆巴尔鲁克山国家级自然保护区内欧洲山杨树干上的附生地衣种数和总相对盖度与宿主胸径存在一定关联性,总体来看,附生地衣集中分布在胸径(60,120] cm的树干上。因此,建议在该保护区内保护并合理配置胸径(60,120] cm的欧洲山杨,以有效保护附生地衣的物种多样性。

在森林生态系统中,光照会强烈影响温度,而温度会影响蒸发,因此,光照是影响森林生态系统附生地衣分布的一个重要因子<sup>[47-48]</sup>。新疆巴尔鲁克山国家级自然保护区内欧洲山杨北向树干的附生地衣种类数量和总相对盖度均明显高于南向树干。这是因为该保护区欧洲山杨南向树干的光照、温度和蒸发量均高于北向树干,不利于附生地衣生长。

Hauck等<sup>[36]</sup>研究发现,不同高度树干上的附生地衣种数差异显著,并认为这主要与树干持水能力和树干形成的径流有关。新疆巴尔鲁克山国家级自然

保护区内欧洲山杨树干上附生地衣的种数和总相对盖度随着树干高度的升高呈先增大后减小的分布特征,且附生地衣的种数和总相对盖度在高度(100,120] cm的欧洲山杨树干上达到最大值。这是因为树干基部光照强度较弱、湿度较高,不适宜地衣生长,更适宜苔藓植物生长,野外调查结果(欧洲山杨树干基部的苔藓植物盖度较高,附生地衣种类较少,甚至没有分布)也验证了这一点。树干中部的光照较基部充足,并随树干高度增大越来越充足,而且没有苔藓植物的竞争,有利于壳状和大型地衣生长。树干高度达到120 cm以上后附生地衣的种数和总相对盖度减小可能是因为树干高度越大,树干与树枝的距离越近,导致树干上的光照强度减弱,不利于地衣的生长,具体原因有待进一步研究。本次调查发现,欧洲山杨树干的较低位置主要分布有壳状地衣,如柳茶渍、木生茶渍、类锈美衣,而在欧洲山杨树干的较高位置,中国树花、亚花松萝、刺小孢发等喜光的大型地衣种类占有明显优势。这是因为壳状地衣对环境的适应能力较强,不易受到光照、水分等因子的影响,能够在树干下层郁闭度较高、光照较弱的生境中生存并形成种群,而树干上层光照充足,空气湿度相对较低,有利于喜光地衣种类的生长。另外,Marmor等<sup>[35]</sup>发现,树皮的pH值会随着树干高度不同而改变。调查区域内欧洲山杨的树皮pH值随树干高度的变化趋势以及树干上附生地衣的分布是否受到树皮pH值变化的影响及其具体影响规律均有待进一步研究。

在特定的生境类型中,树种和树皮属性对附生地衣分布影响较大<sup>[9]</sup>。例如:在加拿大不列颠哥伦比亚省东北部,树皮的粗糙度会影响其持水能力,从而影响附生地衣的定居和生长<sup>[49]</sup>;在热带干旱森林中,壳状地衣喜生于光滑的树皮之上<sup>[22]</sup>。笔者在野外调查时发现,欧洲山杨树皮上的裂痕不明显,树皮相对光滑,分布在其树干上的大型叶状和枝状地衣多于壳状地衣,并且,大型地衣多分布在胸径较大的老树树干上,说明宿主年龄影响欧洲山杨树干附生地衣群落演替,致使其附生地衣物种多样性发生变化。

#### 参考文献:

- [1] BOCH S, SAIZ H, ALLAN E, et al. Direct and indirect effects of management intensity and environmental factors on the functional diversity of lichens in Central European forests[J]. *Microorganisms*, 2021, 9: 463.
- [2] 董琳琳, 普晓妍, 张璐璐, 等. 亚热带森林附生地衣压力-体积

- 曲线分析及其适用性[J]. 植物生态学报, 2021, 45(3): 274-285.
- [3] GALLOWAY D J. Biodiversity: a lichenological perspective[J]. Biodiversity and Conservation, 1992, 1: 312-323.
- [4] TROBAJO S, FERNÁNDEZ-SALEGUI A B, TERRÓN A, et al. Functional traits of epiphytic lichen communities in a Temperate-Mediterranean fragmented landscape: importance of patch size, tree diameter and summer rainfall[J]. Fungal Ecology, 2022, 57/58: 101160.
- [5] NIRHAMO A, HÄMÄLÄINEN A, HÄMÄLÄINEN K, et al. The response of epiphytic lichens on living and dead *Pinus sylvestris* to prescribed fires of varying severity[J]. Forest Ecology and Management, 2024, 551: 121558.
- [6] OZTURK S, ORAN S, GUVENC S, et al. Analysis of the distribution of epiphytic lichens in the oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) forests along an altitudinal gradient in Uludag Mountain, Bursa-Turkey[J]. Pakistan Journal of Botany, 2010, 42(4): 2661-2670.
- [7] HAUCK M, JAVKHLAN S. Epiphytic lichen diversity and its dependence on bark chemistry in the northern Mongolian dark taiga[J]. Flora, 2009, 204: 278-288.
- [8] HAUCK M. Site factors controlling epiphytic lichen abundance in northern coniferous forests[J]. Flora, 2011, 206: 81-90.
- [9] 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.
- [10] OSYCZKA P, KUBIAK D. Data on epiphytic lichens and their host-trees in relation to non-forested area and natural deciduous lowland forest[J]. Data in Brief, 2020, 31: 105711.
- [11] BRUNIALTI G, FRATI L, CALDERISI M, et al. Epiphytic lichen diversity and sustainable forest management criteria and indicators: a multivariate and modeling approach in coppice forests of Italy[J]. Ecological Indicators, 2020, 115: 106358.
- [12] STANIASZEK-KIK M, CHMURA D, ŻARNOWIEC J. What factors influence colonization of lichens, liverworts, mosses and vascular plants on snags?[J]. Biologia, 2019, 74: 375-384.
- [13] NASCIBENE J, THOR G, NIMIS P L. Effects of forest management on epiphytic lichens in temperate deciduous forests of Europe: a review[J]. Forest Ecology and Management, 2013, 298: 27-38.
- [14] ESSEEN P-A, EKSTRÖM M, WESTERLUND B, et al. Broad-scale distribution of epiphytic hair lichens correlates more with climate and nitrogen deposition than with forest structure[J]. Canadian Journal Forest Research, 2016, 46: 1348-1358.
- [15] MERINERO S, RUBIO-SALCEDO M, ARAGON G, et al. Environmental factors that drive the distribution and abundance of a threatened cyanolichen in Southern Europe: a multi-scale approach[J]. American Journal of Botany, 2014, 101(11): 1876-1885.
- [16] KUBIAK D, OSYCZKA P. Specific vicariance of two primeval lowland forest lichen indicators[J]. Environmental Management, 2017, 59: 966-981.
- [17] LI S, LIU W Y, LI D W, et al. Species richness and vertical stratification of epiphytic lichens in subtropical primary and secondary forests in southwest China[J]. Fungal Ecology, 2015, 17: 30-40.
- [18] LI S, LIU W Y, LI D W. Epiphytic lichens in subtropical forest ecosystems in southwest China: species diversity and implications for conservation[J]. Biological Conservation, 2013, 159: 88-95.
- [19] 李英英, 杨小波, 龙成, 等. 沿海热带常绿季雨矮林树干附生地衣分布规律[J]. 广东农业科学, 2015, 42(13): 146-152.
- [20] 杨林, 邓晶晶, 郭华, 等. 神农架次生林原生树种与引入树种树干附生地衣多样性差异[J]. 林业科学, 2017, 53(7): 149-158.
- [21] 马佳. 宁夏六盘山自然保护区不同林型附生地衣物种多样性研究[D]. 银川: 宁夏大学, 2023.
- [22] BENÍTEZ Á, ARAGÓN G, PRIETO M. Lichen diversity on tree trunks in tropical dry forests is highly influenced by host tree traits[J]. Biodiversity and Conservation, 2019, 28: 2909-2929.
- [23] 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.
- [24] 努尔巴依·阿布都沙力克. 新疆巴尔鲁克山自然保护区综合科学考察[M]. 乌鲁木齐: 新疆大学出版社, 2013: 1-6.
- [25] 艾尼瓦尔·吐米尔, 阿地里江·阿不都拉, 阿不都拉·阿巴斯. 天山森林生态系统树生地衣植物群落数量分类及其物种多样性的研究[J]. 植物生态学报, 2005, 29(4): 615-622.
- [26] 艾尼瓦尔·吐米尔, 阿不都拉·阿巴斯. 阿勒泰东部山区森林生态系统树生地衣群落特征的初步研究[J]. 云南植物研究, 2006, 28(4): 415-420.
- [27] 艾尼瓦尔·吐米尔, 张婷, 阿不都拉·阿巴斯. 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的关系[J]. 林业资源管理, 2013(2): 57-63.
- [28] 艾尼瓦尔·吐米尔, 阿不都拉·阿巴斯. 托木尔峰国家级自然保护区树附生地衣分布与环境关系的研究[J]. 生命科学, 2017, 21(2): 106-110, 124.
- [29] MAMATALI R, YONG H, TOKSUN D, et al. Diversity of macrolichens in the Barluk Mountain National Nature Reserve in Xinjiang, China[J]. BIO Web of Conferences, 2024, 100: 02024.
- [30] 热汗古丽·买买提艾力, 卡合勒曼, 艾尼瓦尔·吐米尔. 新疆巴尔鲁克山国家级自然保护区大型地衣区系的初步研究[J]. 干旱区资源与环境, 2023, 37(7): 170-176.
- [31] 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.
- [32] BRODO I M, SHARNOFF S D, SHARNOFF S. Lichens of North America[M]. New Haven: Yale University Press, 2001.
- [33] BRODO I M. Keys to Lichens of North America (Revised and Expanded) [M]. New Haven: Yale University Press, 2016: 1-367.
- [34] COBANOGU G, SEVGI O. Analysis of the distribution of

- epiphytic lichens on *Cedrus libani* in Elmali Research Forest (Antalya, Turkey)[J]. *Journal of Environmental Biology*, 2009, 30(2): 205-212.
- [35] MARMOR L, TÖRRA T, RANDLANE T. The vertical gradient of bark pH and epiphytic macrolichen biota in relation to alkaline air pollution[J]. *Ecological Indicators*, 2010, 10: 1137-1143.
- [36] HAUCK M, HOFMANN E, SCHMULL M. Site factors determining epiphytic lichen distribution in a dieback-affected spruce-fir forest on Whiteface Mountain, New York: microclimate [J]. *Annales Botanici Fennici*, 2006, 43: 1-12.
- [37] VITTOZ P, CAMENISCH M, MAYOR R, et al. Subalpine nival gradient of species richness for vascular plants, bryophytes and lichens in the Swiss Inner Alps [J]. *Botanica Helvetica*, 2010, 120: 139-149.
- [38] 刘华杰, 黄满荣, 吴清风, 等. 中国地卷属地衣海拔分布分析 [J]. *菌物学报*, 2011, 30(6): 955-964.
- [39] HUANG M R. Altitudinal patterns of *Stereocaulum* (Lichized Ascomycota) in China [J]. *Acta Oecologica*, 2010, 36: 173-178.
- [40] ARMSTRONG R A, WELCH A R. Competition in lichen communities [J]. *Symbiosis*, 2007, 43: 1-12.
- [41] MOE B, BOTNEA A. A quantitative study of the epiphytic vegetation on pollarded trunks of *Fraxinus excelsior* at Havrå Osterøy, western Norway [J]. *Plant Ecology*, 1997, 129: 157-177.
- [42] LOPPI S, PIRINTSOS S A, DE DOMINICIS V. Analysis of the distribution of epiphytic lichens on *Quercus pubescens* along an altitudinal gradient in a Mediterranean area (Tuscany, central Italy) [J]. *Israel Journal of Plant Science*, 1997, 45: 53-58.
- [43] MASON E H. *The Biology of Lichens* [M]. Great Britain: Edward Arnold Publisher, 1983: 97-158.
- [44] 李 苏. 云南哀牢山原生林和次生林附生地衣物种多样性、生物量与分布 [D]. 西双版纳: 中国科学院西双版纳热带植物园, 2008: 1-88.
- [45] GU W D, KUUSINEN M, KONTTINEN T, et al. Spatial pattern in the occurrence of the lichen *Lobaria pulmonaria* in managed and virgin boreal forests [J]. *Ecography*, 2001, 24(2): 139-150.
- [46] HEDENÅS H, ERICSON L. Epiphytic macrolichens as conservation indicators: successional sequence in *Populus tremula* stands [J]. *Biological Conservation*, 2000, 93(1): 43-53.
- [47] 郝 鹏, 杨丽媛, 陈 赞, 等. 北京东灵山小龙门地区树生地衣多样性及生态研究 [J]. *北京师范大学学报(自然科学版)*, 2008, 44(5): 507-510.
- [48] BOUDREAULT C, COXSON D S, VINCENT E, et al. Variation in epiphytic lichen and bryophyte composition and diversity along a gradient of productivity in *Populus tremuloides* stands of northeastern British Columbia, Canada [J]. *Ecoscience*, 2008, 15(1): 101-112.
- [49] BARONE I, BRÜMELIS G, DONIS J. Living and dead retention tree value in the conservation of bryophyte and lichen communities in production forests [J]. *Forest Ecology and Management*, 2024, 569: 122152.

(责任编辑: 佟金凤)

## 《植物资源与环境学报》启事

为了扩大科技期刊的信息交流、充分实现信息资源共享,《植物资源与环境学报》已先后加入“中国学术期刊(光盘版)”、“万方数据——数字化期刊群”和“中文科技期刊数据库”等网络文献资源数据库,凡在本刊发表的论文将编入数据库供上网交流、查阅及检索,作者的著作权使用费与本刊稿酬一次性给付,不再另付。如作者不同意将文章收编入数据库,请在来稿时声明,本刊将做适当处理。

《植物资源与环境学报》的投稿网址为 <http://zwzy.cnbg.net>; 联系电话: 025-84347014; E-mail: [zwzybjb@163.com](mailto:zwzybjb@163.com); QQ: 2219161478。

《植物资源与环境学报》编辑部

2025-03