



中国蜈蚣衣科地衣多样性及区系研究

李亚男, 闫湉微, 李 博*

(太原师范学院 地理科学学院, 山西晋中 030619)

摘 要: 该研究通过对山西管涔山和五鹿山等区域采集的蜈蚣衣科地衣 300 余份标本的鉴定分析, 结合已有报道, 从物种多样性、空间分布特点、生境类型及区系成分等方面对蜈蚣衣科地衣进行研究, 以明确中国蜈蚣衣科地衣物种组成及区系特点。结果表明: (1) 中国蜈蚣衣科地衣共有 7 属 197 种 54 变种, 饼干衣属 (*Rinodina*) 占绝对优势, 约占蜈蚣衣科地衣总种数的 30.5%。(2) 中国蜈蚣衣科地衣多分布于新疆, 蜈蚣衣属 (*Physcia*) 是该科中分布最广泛的属, 但其中有 26.4% 的物种仅分布于单一地区。(3) 蜈蚣衣科地衣生境类型多样, 有树生、石生、藓丛生、土生和多生境 5 种, 以多生境地衣为主 (48.5%)。(4) 中国蜈蚣衣科地衣的地理成分复杂, 同时伴随多种区系成分, 但以温带性质显著 (占 43.1%), 东亚特色明显。(5) 仅分布于中国的蜈蚣衣科地衣共 4 属 10 种, 且主要分布于中国东北、西北和西南地区。

关键词: 地衣; 蜈蚣衣科; 空间分布; 生境; 区系成分

中图分类号: Q949.34; Q948.5 **文献标志码:** A

Species Diversity and Floristic Elements of the Lichen Family Physciaceae in China

LI Ya'nan, YAN Tianwei, LI Bo*

(School of Geographical Science, Taiyuan Normal University, Jinzhong, Shanxi 030619, China)

Abstract: In this study, more than 300 samples of the lichen family Physciaceae collected from Guancen Mountain and Wulu Mountain in Shanxi were identified and analyzed. Lichens of Physciaceae were studied in terms of species diversity, spatial distribution characteristics, habitat types and floristic composition in conjunction with existing reports. The species composition and floristic characteristics of the lichen family Physciaceae in China were clarified. The results showed that: (1) there were 197 species and 54 varieties, belonging to 7 genera. *Rinodina* was the dominant genus, accounting for about 30.5% of total species. (2) Lichens of Physciaceae are mostly distributed in Xinjiang, and *Physcia* is the most widely distributed genus in the family. However, 26.4% of these species are distributed in only a single area. (3) The lichen habitat types of Physciaceae are diverse, including tree, stone, moss, native and multi habitat, and the multi habitat lichen is the main one (48.5%). (4) The geographical composition of the lichen family Physciaceae in China is complex. There are a variety of floristic elements, but the temperate nature (43.1%) is the most prominent, with obvious East Asian characteristics. (5) There are four genera and ten species of the lichen Family Physciaceae distributed only in China, and they are mainly distributed in northeast, northwest and southwest China.

收稿日期: 2022-05-25; 修改稿收到日期: 2023-03-02

基金项目: 国家自然科学基金 (31500172); 山西省“1331 工程”提质增效建设计划 (XK202109); 山西省高等学校创新项目 (2019L0778)

作者简介: 李亚男 (1997—), 女, 在读硕士研究生, 主要从事植物多样性研究。E-mail: 1464752983@qq.com

* 通信作者: 李 博, 教授, 硕士研究生导师, 主要从事植物多样性研究。E-mail: libo@tynu.edu.cn

Key words: lichen; Physciaceae; spatial distribution; habitat; floristic element

蜈蚣衣科(Physciaceae)隶属于真菌界(fungi)子囊菌门(ascomycota)茶渍纲(lecanoromycetes)粉衣目(caliciales)^[1],该科在全世界广泛分布。《真菌词典》(10th)中共报道该科 27 属 512 种^[2],其中饼干衣属是最大的一属,共报道约 300 种^[1]。蜈蚣衣科地衣体呈壳状、枝状或叶状,子囊器盘状,具明显的盘缘,侧丝分枝或不分枝,子囊孢子褐色、双胞或稀为多胞、厚壁或薄壁,常具分生孢子器,埋生于地衣体内,以其褐色至黑色的小孔微微凸起于地衣体表面,似黑色圆点状,共生藻多为绿藻^[3-4]。

有关蜈蚣衣科地衣的报道最早见于 1753 年 Linnaeus 的《Species Plantarum》中^[4]。长久以来蜈蚣衣科中物种的划分和新属的建立都只停留在形态和化学特征较为主观的处理上,缺乏分子系统学证据的支持,导致蜈蚣衣科属间划分相对混乱。1965 年德国地衣学家 Poelt 依据地衣体皮层结构、孢子类型和化学特征重置蜈蚣衣科分类体系,明确蜈蚣衣科地衣共有 7 属。1973 年到 1997 年,Moeborg 和 Essl. 等地衣学家对蜈蚣衣科属内分类系统进行细分^[4]。2001 年,Nordin 等^[5]将蜈蚣衣科地衣划分为 22 属。

有关中国蜈蚣衣科地衣的最早报道出现在德国自然学家 B. Seemann 于 1856 年出版的《轮船 Herald 号航行中的植物学》中,记录香港雪花衣属(*Anaptychia*)一物种^[5-6]。中国学者对地衣分类研究起步较晚,继 1935 年朱彦承先生发表中国地衣的初步研究后,一直到 20 世纪 70 年代起才陆续开始报道蜈蚣衣科地衣。20 世纪 80 年代中国地衣学者分别对东北、连云港云台山、武夷山、新疆、西藏及神农架等诸多区域的地衣进行报道,同时期也有《中国地衣初编》及《中国地衣植物图鉴》等针对全国地衣的报道^[7],但当时众多文章依旧存在蜈蚣衣科分类单位命名混乱的情况。直至 1991 年 *An enumeration of lichens in China* 问世,复核修订了中国地衣分类单位名称及分布地区,共报道蜈蚣衣科地衣 12 属 160 种^[8]。之后,中国地衣学者着重对蜈蚣衣科属种分类进行研究。2005 年王玉良等^[9-10]分别报道蜈蚣衣属 1 新种,黑蜈蚣衣属 3 新种,大孢蜈蚣衣属 1 新种,2010 年李红宁等^[11]报道了横断山脉的雪花衣属。近年来,阿尔古丽·加玛哈特等^[12]研究鉴定了蜈蚣衣科一新记录属——金奥克衣属 *Oxnerella*,任强等^[13]报道中国饼干衣属地衣 40 种,银安城^[14]将 DNA-barcoding 技术应用于大孢衣属地衣分类,用 ITS 等序列构建该属系

统发育树,共鉴定出横断山区大孢衣属地衣 14 种。在实地调查及结合前期成果的基础上,本研究总结了中国蜈蚣衣科地衣物种组成,分析其空间分布特征与区系成分,为中国蜈蚣衣科地衣多样性研究及优先保护提供依据。

1 材料和方法

1.1 标本采集与物种鉴定

本研究从山西管涔山、五鹿山等区域采集蜈蚣衣科地衣标本 300 余份,所有标本存放于太原师范学院植物标本馆(TYU)。将采集到的标本取少量于显微镜下,观察其外部形态、上下表皮颜色、有无附属结构(假根、脐、粉芽、粉芽堆、裂芽、衣癭等)等,将地衣切片后观察其共生藻形态、子囊果类型、孢子数目及孢子形状等,详细记录特征。研究结合形态特征和常规的地衣化学分析方法进行物种鉴定。

1.2 数据收集

根据 2001 年 Nordin 对蜈蚣衣科地衣的分类结果,结合中国现状明确蜈蚣衣科属种划分。记录地衣标本采集地点及海拔等信息,并结合文献及中国数字植物标本馆(CVH)等研究成果,对中国蜈蚣衣科地衣进行综合分析。因《青藏高原饼干衣属地衣的系统分类学研究》与《新疆饼干衣属 [*Rinodina* (Ach.) Gray] 及其近缘属地衣的分类学初步研究》等^[15]文献资料中记录的部分新种未命名,本研究暂未收录。

1.3 研究方法

依据采集标本时地衣附着物、海拔高度和生长环境并参考文献,分析地衣的生境类型及分布特征。本研究根据各物种在中国各地及世界各国的分布,参考《世界种子植物科的分布区类型系统》^[16]等相关资料划分种的区系成分。利用 ArcGIS 10.4 软件制作蜈蚣衣科各属的空间分布图,其中图形数据是比例尺为 1 : 4 000 000 的中国地图,属性数据为各属在不同地区的种数分布,根据属的种数进行分级,每一级设置一个颜色以显示属的空间多样性,依此分析空间分布特征。

2 结果与分析

2.1 中国蜈蚣衣科地衣的物种多样性

通过对标本的鉴定分析,结合已有报道,中国蜈蚣衣科地衣共有 7 属 197 种 54 变种^[17-33],约占中国已报道地衣总数(3 082 种)^[34]的 6.4%。物种组成

详见表 1, 分别有蜈蚣衣属(*Physcia*) 29 种, 黑蜈蚣衣属(*Phaeophyscia*) 33 种, 大孢蜈蚣衣属(*Physconia*) 21 种, 哑铃孢属(*Heterodermia*) 39 种, 饼干衣属(*Rinodina*) 60 种, 雪花衣属(*Anaptychia*) 12 种和外蜈蚣衣属(*Hyperphyscia*) 3 种。中国蜈蚣衣科地衣中饼干衣属占绝对优势, 占该科地衣总数的 30.5%(图 1), 这与全球报道结果一致。

2.2 中国蜈蚣衣科地衣的空间分布

蜈蚣衣科地衣在中国分布广泛, 除天津和澳门以外, 其余地区均有分布。报道地衣属 5 属以上的地区有 11 个, 其中云南、陕西和河北均报道 7 属, 而河南、海南和上海只报道 2 属; 新疆共报道蜈蚣衣科地衣 76 种, 为该科地衣的多样化中心, 上海、河南、广东、海南和山西报道种数均少于 10 种, 且属种比

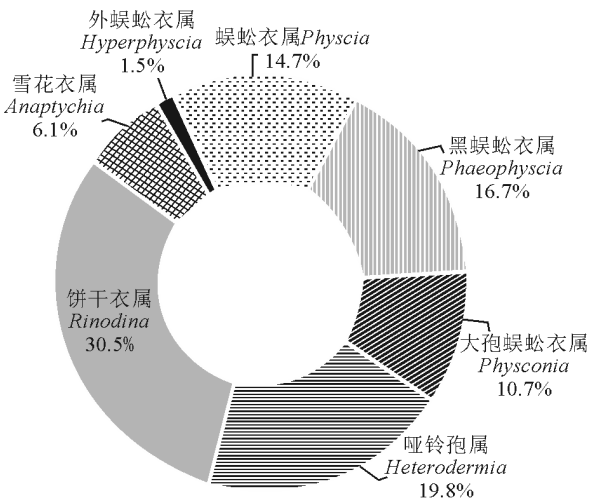


图 1 蜈蚣衣科内各属占比情况
Fig. 1 Proportion of each genus in the Lichen family Physciaceae

表 1 中国蜈蚣衣科地衣物种组成

Table 1 Species composition of lichen family Physciaceae in China

属 Genus	编号 No.	种 Species	分布 Distribution
蜈蚣衣属 <i>Physcia</i>	1	斑面蜈蚣衣 <i>P. aipolia</i> (Ehrh. ex Humb.) Frn.	京、冀、内蒙古、黑、鲁、苏、皖、湘、桂、川、云、陕、青、新
	2	异白点蜈蚣衣 <i>P. phaea</i> (Tuck.) Thoms.	京、冀、内蒙古、黑、皖、浙、贵、藏、陕、新
	3	兰灰蜈蚣衣 <i>P. caesia</i> (Hoffm.) Hampe	京、冀、晋、内蒙古、黑、皖、浙、渝、川、贵、云、藏、陕、宁、新
	4	疑蜈蚣衣 <i>P. dubia</i> (Hoffm.) Lett.	京、冀、内蒙古、黑、湘、渝、川、贵、藏、陕、新
	5	糙蜈蚣衣 <i>P. tribacia</i> (Ach.) Nyl.	京、晋、内蒙古、苏、贵、陕、新
	6	翘叶蜈蚣衣 <i>P. adscendens</i> (Flk.) Nyl.	冀、渝、贵、陕、新
	7	蜈蚣衣 <i>P. stellaris</i> (L.) Nyl.	冀、晋、内蒙古、黑、吉、沪、鲁、苏、皖、浙、闽、鄂、湘、贵、云、陕、宁、青、新
	8	半羽蜈蚣衣 <i>P. semipinnata</i> (Gmelin) Moberg	冀、鲁、皖、浙、宁、新
	9	狭叶蜈蚣衣 <i>P. stenophyllina</i> (Jatta) Zahlbr.	晋、陕、宁
	10	小暗蜈蚣衣 <i>P. obscurella</i> Muell. Arg.	内蒙古
	11	白粉蜈蚣衣 <i>P. biziana</i> (Massal.) Zahlbr.	黑、云
	12	珊瑚芽蜈蚣衣 <i>P. clementi</i> (Sm.) Lynge	黑、渝、贵、云、陕、新
	13	湖北蜈蚣衣 <i>P. hupehensis</i> Zhao et al.	黑、鄂
	14	甘肃蜈蚣衣 <i>P. kansuensis</i> H. Magn.	黑、甘、青、新
	15	粉唇蜈蚣衣 <i>P. tribacoides</i> Nyl.	黑、沪、鲁、苏、浙、闽、鄂、湘、桂、渝、川、贵、新
	16	日本蜈蚣衣 <i>P. nipponica</i> Asah.	辽
	17	皱波蜈蚣衣 <i>P. crispa</i> (Ehrh.) Hampe apud Fuernr.	沪、粤、港
	18	大叶蜈蚣衣 <i>P. dilatata</i> Nyl.	鲁、渝、贵
	19	白蜈蚣衣 <i>P. albinea</i> (Ach.) Malbr.	鲁、川、陕、港
	20	条纹蜈蚣衣 <i>P. atrostriata</i> Moberg.	鲁、琼、港
	21	皱褶蜈蚣衣 <i>P. verrucosa</i> Moberg.	鲁
	22	下黑蜈蚣衣 <i>P. integrata</i> Nyl.	豫、云、台、港
	23	长缘毛蜈蚣衣 <i>P. tenella</i> (Scop.) DC.	川、陕、新
	24	变白蜈蚣衣 <i>P. albata</i> (F. Wilson) Hale	川、云
	25	星蜈蚣衣 <i>P. clementiana</i> (Ach.) Kickx.	云
	26	大白蜈蚣衣 <i>P. alba</i> (Fe) Mll. Arg.	新
	27	对开蜈蚣衣 <i>P. dimidiata</i> (Arn.) Nyl.	新
	28	凸蜈蚣衣 <i>P. convexella</i> Moberg.	新
	29	淡蓝蜈蚣衣 <i>P. caesia-picta</i> Nyl.	

续表 1 Continued Table 1			
属 Genus	编号 No.	种 Species	分布 Distribution
黑蜈蚣衣属 <i>Phaeophyscia</i>	30	粉黑蜈蚣衣 <i>Ph. chloantha</i> (Ach.) Moberg	京、黑、闽、陕、新
	31	圆叶黑蜈蚣衣 <i>Ph. orbicularis</i> (Neck.) Moberg	京、冀、黑、鲁、苏、皖、浙、川、贵、云、陕、新
	32	白腹黑蜈蚣衣 <i>Ph. denigrata</i> (Hue) Moberg	京、冀、晋、内蒙古、黑、云、陕
	33	皮毛黑蜈蚣衣 <i>Ph. hirtella</i> Essl.	京、冀、内蒙古、黑、吉、川、贵、陕、新
	34	暗裂芽黑蜈蚣衣 <i>Ph. sciastra</i> (Ach.) Moberg	京、冀、内蒙古、黑、苏、川、陕、青、新
	35	红髓黑蜈蚣衣 <i>Ph. endococcinea</i> (Korb.) Moberg	京、内蒙古、皖、浙、闽、鄂、湘、桂、新、台
	36	黑蜈蚣衣 <i>Ph. nigricans</i> (Flk.) Moberg	京、冀、黑、苏、贵、宁、新
	37	白刺毛黑蜈蚣衣 <i>Ph. hirtuosa</i> (Kremp.) Essl.	京、冀、晋、内蒙古、黑、沪、鲁、苏、皖、浙、赣、鄂、湘、粤、川、贵、陕、宁、青、新
	38	毛边黑蜈蚣衣 <i>Ph. hispidula</i> (Ach.) Moberg	京、冀、内蒙古、黑、沪、鲁、皖、赣、鄂、湘、渝、川、云、陕、新、港
	39	美丽黑蜈蚣衣 <i>Ph. rubropulchra</i> (Degel.) Moberg	冀、黑、浙、渝、云、陕、新
	40	睫毛黑蜈蚣衣 <i>Ph. ciliata</i> (Hoffm.) Moberg	冀、内蒙古、黑、鲁、皖、浙、鄂、川、贵、云、陕、宁、青、新
	41	刺黑蜈蚣衣 <i>Ph. primaria</i> (Poelt) Trass	冀、黑、鲁、皖、浙、赣、鄂、湘、云、藏、陕
	42	裂芽黑蜈蚣衣 <i>Ph. exornatula</i> (Zahlbr.) Kashiw.	冀、鲁、闽、渝、川、贵、云、陕、新、台
	43	类粉缘黑蜈蚣衣 <i>Ph. adiastola</i> (Essl.) Essl.	黑
	44	密集黑蜈蚣衣 <i>Ph. constipata</i> (Norrl. et Nyl.) Moberg	黑、皖、川、新
	45	红心黑蜈蚣衣 <i>Ph. erythrocardia</i> (Tuck.) Essl.	黑、皖、闽、湘、新
	46	微黑蜈蚣衣 <i>Ph. insignis</i> (Mereschk.) Moberg	黑
	47	粉缘黑蜈蚣衣 <i>Ph. limbata</i> (Poelt) Kashiw.	黑、鄂、陕、新
	48	羽根黑蜈蚣衣 <i>Ph. squarrosa</i> Kashiw.	黑
	49	疑黑蜈蚣衣 <i>Ph. confusa</i> Moberg	闽、云、陕、宁、新
	50	裂片红髓黑蜈蚣衣 <i>Ph. laciniata</i> Essl.	闽
	51	火红黑蜈蚣衣 <i>Ph. pyrrhophora</i> (Poelt) Awas. & Joshi	闽、贵、云、陕
	52	狭叶红髓黑蜈蚣衣 <i>Ph. fumosa</i> Moberg	湘、川、云
	53	毛裂芽黑蜈蚣衣 <i>Ph. kairamoi</i> (Vain.) Moberg	鄂、川、云、藏、新
	54	湖南黑蜈蚣衣 <i>Ph. hunana</i> G. R. Hu et J. B. Chen	湘、陕
	55	粉芽黑蜈蚣衣 <i>Ph. adiastola</i> (Essl.) Essl.	贵、陕、宁
	56	粗根黑蜈蚣衣 <i>Ph. hirsute</i> (Meresch.) Essl.	贵、新
	57	载毛黑蜈蚣衣 <i>Ph. trichophora</i> (Hue) Essl.	云、陕
	58	覆瓦黑蜈蚣衣 <i>Ph. imbricata</i> (Vain.) Essl.	陕、新、台
	59	细小黑蜈蚣衣 <i>Ph. pusilloides</i> Zahlbr.	新
	60	脱色黑蜈蚣衣 <i>Ph. decolor</i> Kashiw.	新
	61	垂状黑蜈蚣衣 <i>Ph. cernohorskyi</i> Nádv.	新
	62	内赤黑蜈蚣衣 <i>Ph. endococcinodes</i> (Poelt) Essl.	台
大孢蜈蚣衣属 <i>Physconia</i>	63	粉大孢蜈蚣衣 <i>Physconia distorta</i> (With.) Laund.	京、冀、晋、内蒙古、吉、川、云、藏、陕、新
	64	灰色大孢蜈蚣衣 <i>Physconia grisea</i> (Lam.) Poelt	京、冀、晋、内蒙古、黑、鲁、皖、浙、赣、豫、鄂、陕、青、新
	65	变色大孢蜈蚣衣 <i>Physconia detera</i> (Nyl.) Poelt	京、内蒙古、黑、吉、鄂、川、云、藏、陕、新
	66	白平大孢蜈蚣衣 <i>Physconia leucoleiptes</i> (Tuck.) Essl.	京、冀、黑、吉、辽、赣、豫、川、云、藏、陕、新
	67	亚灰大孢蜈蚣衣 <i>Physconia perisidiosa</i> (Essl.) Moberg	冀、黑、青、新
	68	颗粒大孢蜈蚣衣 <i>Physconia grumosa</i> Kashiw. & Poelt	冀、内蒙古、黑、吉、皖、鄂、川、云、藏、陕、新
	69	伴藓大孢蜈蚣衣 <i>Physconia muscigena</i> (Ach.) Poelt	内蒙古、黑、吉、鲁、皖、湘、川、云、藏、陕、甘、宁、青、新、台
	70	北海道大孢蜈蚣衣 <i>Physconia hokkaidensis</i> Kashiw.	内蒙古、黑、吉、辽、鄂、川、云、藏、陕、新
	71	美国大孢蜈蚣衣 <i>Physconia americana</i> Essl.	黑、陕、新
	72	触丝大孢蜈蚣衣 <i>Physconia tentaculata</i> (Zahlbr.) Poelt	黑、皖、闽、陕、台
	73	雅致大孢蜈蚣衣 <i>Physconia venusta</i> (Nyl.) Poelt	黑、陕、新
	74	黑川大孢蜈蚣衣 <i>Physconia kurokawae</i> Kashiw.	吉、云

续表 1 Continued Table 1

属 Genus	编号 No.	种 Species	分布 Distribution
	75	中华大孢蜈蚣衣 <i>Physconia chinensis</i> J. B. Chen & G. R. Hu	吉、辽、川、云、藏
	76	小裂片大孢蜈蚣衣 <i>Physconia lobulifera</i> Kashiw.	吉、陕
	77	黄髓大孢蜈蚣衣 <i>Physconia enteroxantha</i> (Nyl.) Poelt	浙、川、云、藏、新
	78	羽裂大孢蜈蚣衣 <i>Physconia pinnata</i> An C. Yin	甘
	79	优美大孢蜈蚣衣 <i>Physconia elegantula</i> (Zahlbr.) Essl.	湘、陕、新
	80	艾伯塔大孢蜈蚣衣 <i>Physconia labrata</i> Essl.	云、藏
	81	粉霜大孢衣 <i>Physconia pruinose</i> An C. Yin	藏
	82	俄罗斯大孢衣 <i>Physconia rossica</i> Urbanav.	藏
	83	甘肃大孢蜈蚣衣 <i>Physconia kansuensis</i> H. Magn.	甘、青、新
	84	变白哑铃孢 <i>H. albicans</i> (Pers.) Thoms.	京、冀、黑、浙、湘、川、陕
	85	白腹哑铃孢 <i>H. hypoleuca</i> (Mühl.) Trev.	冀、黑、吉、辽、鲁、皖、浙、闽、鄂、桂、川、贵、云、陕、台
	86	哑铃孢 <i>H. speciosa</i> (Wulf.) Trev.	冀、黑、吉、辽、鲁、皖、浙、赣、闽、鄂、湘、桂、川、云、陕、港
哑铃孢属 <i>Heterodermia</i>	87	深裂哑铃孢 <i>H. dissecta</i> (Kurok.) Awas.	冀、皖、浙、赣、湘、桂、渝、川、贵、云、台
	88	黄髓哑铃孢 <i>H. firmula</i> (Nyl.) Trev.	冀、皖、浙、闽、云、港
	89	拟哑铃孢 <i>H. pseudospeciosa</i> (Kurok.) Culb.	内蒙古、辽、鲁、皖、浙、赣、闽、鄂、湘、桂、川、贵、云、藏、陕、新、台、港
	90	卷梢哑铃孢 <i>H. boryi</i> (Fée) K. P. & S. R. Singh	内蒙古、黑、吉、鲁、皖、闽、鄂、川、贵、云、藏、新、台
	91	阿里哑铃孢 <i>H. japonica</i> (Satō) Swinscow & Krog	内蒙古、黑、吉、鲁、皖、浙、赣、闽、湘、桂、海、渝、川、贵、云、藏、陕
	92	黄腹哑铃孢 <i>H. hypochraea</i> (Vain.) Swinscow & Krog	内蒙古、黑、吉、皖、浙、赣、闽、鄂、湘、桂、川、贵、云、台
	93	大哑铃孢 <i>H. diademata</i> (Tayl.) Awas.	内蒙古、吉、鲁、苏、皖、浙、赣、闽、鄂、湘、粤、桂、渝、川、贵、云、陕、台、港
	94	小叶哑铃孢 <i>H. microphylla</i> (Kurok.) Skorepa	黑、吉、鲁、皖、浙、湘、贵、台
	95	掌状哑铃孢 <i>H. appalachensis</i> (Kurok.) Culb.	黑
	96	暗哑铃孢 <i>H. obscurata</i> (Nyl.) Trev.	黑、吉、皖、浙、赣、闽、湘、桂、渝、川、贵、云、藏、陕、台
	97	毛果哑铃孢 <i>H. podocarpa</i> (Bél.) Awas.	黑、赣、湘、桂、川、云、藏、台
	98	芽体哑铃孢 <i>H. propagulifera</i> (Vain.) Degel.	黑、鲁、皖、鄂、湘、川、云、台
	99	裂芽哑铃孢 <i>H. isidiophora</i> (Nyl.) Awas.	鲁、苏、皖、浙、闽、桂、渝、云、台
	100	翘哑铃孢 <i>H. subascendens</i> (Asah.) Trass	皖、浙、闽、云、陕、台
	101	扇哑铃孢 <i>H. flabellata</i> (Fée) Awas.	皖、浙、闽、鄂、湘、贵、云
	102	兰腹哑铃孢 <i>H. hypocaesia</i> (Yasuda) Awas.	皖、闽、桂、川、云、台
	103	透明哑铃孢 <i>H. pellucida</i> (Awas.) Awas.	皖、桂、川、云
	104	波圆哑铃孢 <i>H. undulata</i> (Zhao et al.) Wei	皖、浙、桂
	105	树哑铃孢 <i>H. dentritica</i> (Pers.) Poelt	皖、桂、闽、湘、贵、云、陕、台
	106	拟白腹哑铃孢 <i>H. togashii</i> (Kurok.) Awas.	浙、鄂、湘、川、贵、云、藏、陕、新
	107	美洲哑铃孢 <i>H. galactophylla</i> (Tuck.) Club.	赣、闽、湘、桂
	108	颗粒哑铃孢 <i>H. granulifera</i> (Ach.) Culb.	赣、桂
	109	丛毛哑铃孢 <i>H. comosa</i> (Eschw.) Follmann & Redon	闽、湘、桂、云、藏、台
	110	珊瑚哑铃孢 <i>H. corallophora</i> (Tayl.) Skorepa	鄂、台
	111	狭叶哑铃孢 <i>H. angustiloba</i> (Muell. Arg.) Awas.	湘、川、贵、云、台
	112	脆哑铃孢 <i>H. fragilissima</i> (Kurok.) Wei	粤、渝、云、藏
	113	刺哑铃孢 <i>H. erinacea</i> (Ach.) W. Weber	桂
	114	黄哑铃孢 <i>H. lutescens</i> (Kurok.) Follmann	渝、云、台
	115	四川哑铃孢 <i>H. szechuanensis</i> (Zhao et al.) Wei	川
	116	须哑铃孢 <i>H. barbifera</i> (Nyl.) Wei	云
	117	白哑铃孢 <i>H. leucomela</i> (L.) Poelt	海、云、藏、甘、新、台
	118	云南哑铃孢 <i>H. yunnanensis</i> (Zhao et al.) Wei	云
	119	指哑铃孢 <i>H. dactyliza</i> (Nyl.) Swinscow & Krog	陕
	120	灰白哑铃孢 <i>H. incana</i> (Sirtt.) Awas.	台
	121	琴哑铃孢 <i>H. pandurata</i> (Kurok.) Wei	台
	122	小刺哑铃孢 <i>H. spinulosa</i> (Kurok.) Wei	台

续表 1 Continued Table 1			
属 Genus	编号 No.	种 Species	分布 Distribution
饼干衣属 <i>Rinodina</i>	123	黑色饼干衣 <i>R. oxydata</i> (A. Massal.) A. Massal.	京、鲁、鄂、川、云、台、港
	124	坚果饼干衣 <i>R. pyrina</i> (Ach.) Arn.	京、冀、吉、辽、鲁、鄂、宁、台
	125	肉饼干衣 <i>R. sarcogynoides</i> (H. Magn.) Q. Y. Zhong & Li S. Wang	内蒙古、藏、甘、青
	126	蒙古饼干衣 <i>R. mongolica</i> H. Magn.	内蒙古、宁、新
	127	小孢饼干衣 <i>R. stenospora</i> H. Magn.	内蒙古
	128	中间饼干衣 <i>R. intermedia</i> Bagl.	内蒙古
	129	地生饼干衣 <i>R. terrestris</i> Tomin	内蒙古、藏、宁、青、新
	130	特雷氏饼干衣 <i>R. trevisanii</i> (Hepp) Körb.	黑、吉、云、陕、新
	131	古饼干衣 <i>R. archaea</i> (Ach.) Arn.	黑、云
	132	瘤饼干衣 <i>R. excrescens</i> Vain.	黑
	133	代谢饼干衣 <i>R. metaboliza</i> Vain.	黑、吉、陕、新
	134	东方饼干衣 <i>R. orientalis</i> Sheard	黑、吉
	135	北方饼干衣 <i>R. septentrionalis</i> Malme	黑、吉、川、云、陕
	136	甘肃饼干衣 <i>R. straussii</i> H. Magn.	吉、藏、甘、宁、青、新
	137	亚微饼干衣 <i>R. subminuta</i> H. Magn.	吉、云
	138	阿氏饼干衣 <i>R. ascociscana</i> (Tuck.) Tuck.	吉
	139	弗雷氏饼干衣 <i>R. freyi</i> H. Magn.	吉、鄂、陕、新
	140	橄榄饼干衣 <i>R. oleae</i> Bagl.	吉、辽、新
	141	肾饼干衣 <i>R. nephroidea</i> (Vain.) Zahlbr.	鲁、苏
	142	石灰饼干衣 <i>R. calcarea</i> (Hepp) Arn.	苏
	143	小角饼干衣 <i>R. cornutula</i> Zahlbr.	川、云、港
	144	球饼干衣 <i>R. globulans</i> Zahlbr.	川、云、台
	145	汉氏饼干衣 <i>R. handelii</i> Zahlbr.	川、云
	146	厚孢饼干衣 <i>R. pachysperma</i> H. Magn.	川、云
	147	土生饼干衣 <i>R. roscida</i> (Sommerf.) Arn.	川、云、藏
	148	饼干衣 <i>R. sophodes</i> (Ach.) A. Massal.	川、云、新
	149	异孢饼干衣 <i>R. heterospora</i> Zahlbr.	川
	150	四川饼干衣 <i>R. setschwana</i> Zahlbr.	川
	151	博氏饼干衣 <i>R. bolanderi</i> H. Magn.	云
	152	康拉德饼干衣 <i>R. conradii</i> Körb.	云、台
	153	多室饼干衣 <i>R. pluriloculata</i> Aptroot & Sparrius	云
	154	亚癩屑饼干衣 <i>R. subleprosula</i> Jatta	云、陕
	155	包氏饼干衣 <i>R. bohlinii</i> H. Magn.	藏、甘、青、新
	156	可可饼干衣 <i>R. cacaotina</i> Zahlbr.	藏
	157	提灯藓饼干衣 <i>R. mniaraea</i> (Ach.) Körb.	藏、陕
	158	砂石饼干衣 <i>R. teichophila</i> (Nyl.) Arn.	藏、台
	159	泥炭饼干衣 <i>R. turfacea</i> (Wahlenb) Körb.	陕、新、台
	160	栗饼干衣 <i>R. castanomela</i> (Nyl.) Arn.	甘、青
	161	亚黑饼干衣 <i>R. subnigra</i> H. Magn.	甘、新
	162	蜜果饼干衣 <i>R. pycnocarpa</i> H. Magn.	甘、青、新
	163	叠生饼干衣 <i>R. superposita</i> H. Magn.	甘
	164	堇紫饼干衣 <i>R. violascens</i> H. Magn.	甘
	165	类栗饼干衣 <i>R. castanomelodes</i> Mayrhofer & Poelt	甘、青、新
	166	毕氏饼干衣 <i>R. bishofii</i> (Hepp) A. Massal.	宁、新
	167	矮饼干衣 <i>R. demissa</i> (Flk.) Arn.	新
	168	阿富汗饼干衣 <i>R. afghanica</i> M. Steiner & Poelt	新

续表 1 Continued Table 1			
属 Genus	编号 No.	种 Species	分布 Distribution
	169	古氏饼干衣 <i>R. guzzinii</i> Jatta	新
	170	金氏饼干衣 <i>R. gennarii</i> Bagl.	新、台
	171	台湾饼干衣 <i>R. imitatrix</i> Zahlbr.	台
	172	变异饼干衣 <i>R. varians</i> Zahlbr.	台
	173	散生饼干衣 <i>R. aspersa</i> (Borrer) Laund.	台
	174	冠状饼干衣 <i>R. capensis</i> Hampe	台
	175	短饼干衣 <i>R. colobina</i> (Ach.) Th. Fr.	台
	176	海岩饼干衣 <i>R. perminuta</i> Groenh. ex H. Mayrhofer	台、港
	177	胎座饼干衣 <i>R. placynthielloides</i> Aptroot	台
	178	栎饼干衣 <i>R. roboris</i> (Dufour ex Nyl.) Arnold	台
	179	硫饼干衣 <i>R. thiomela</i> (Nyl.) Müll. Arg.	台
	180	黄黑饼干衣 <i>R. xanthomelana</i> Müll. Arg.	台、港
	181	<i>R. lecideina</i> H. Mayrhofer & Poelt	港
	182	东北饼干衣 <i>R. manshurica</i> Ras.	
雪花衣属 <i>Anaptychia</i>	183	裂芽雪花衣 <i>A. isidiza</i> Kurok.	冀、内蒙古、黑、吉、辽、苏、皖、浙、闽、鄂、湘、川、贵、云、陕、台
	184	污白雪花衣 <i>A. ulotricoides</i> (Vain.) Vain.	冀、藏、陕、甘、青、新
	185	毛边雪花衣 <i>A. ciliaris</i> (L.) Körb.	冀、浙、藏、陕、甘、新
	186	掌状雪花衣 <i>A. palmulata</i> (Michx.) Vain.	冀、皖、浙、闽、鄂、湘、川、贵、云、陕
	187	棕色雪花衣 <i>A. thucinata</i> (With.) Laund.	冀
	188	刚毛雪花衣 <i>A. setifera</i> (Mereschk.) Räs.	吉、陕、新
	189	腺毛雪花衣 <i>A. tentaculata</i> (Zahlbr.) Kurok.	苏、皖、闽、贵、陕、台
	190	黑腹雪花衣 <i>A. wrightii</i> (Tuck.) Zahlbr.	赣
	191	倒齿雪花衣 <i>A. runcinata</i> (With.) Laundon	陕、新
	192	黑灰雪花衣 <i>A. roemeri</i> Poelt	新
	193	太平洋雪花衣 <i>A. pacifica</i> Kurok.	台
	194	红雪花衣 <i>A. sanguineus</i> Asah.	台
外蜈蚣衣属 <i>Hyperphyscia</i>	195	胶外蜈蚣衣 <i>Hyperphyscia adglutinata</i> (Flk.) Mayrh. & Poelt	云、陕
	196	红髓外蜈蚣叶 <i>Hyperphyscia crocata</i> Kashiw.	桂、云
	197	颈外蜈蚣衣 <i>Hyperphyscia syncolla</i> (Nyl.) K. Kalb	冀、陕

值大,物种在地衣属中分布较分散。从物种数量来看,蜈蚣衣科地衣在西南地区、西北地区、黑龙江及台湾分布优势显著,不同属内物种分布各有特点(图 2)。

蜈蚣衣属约占全球该属总种数(73)^[2]的 39.7%,是中国蜈蚣衣科地衣中分布最广的一属。其分布以陕西为地域中心向南北呈“T”字形扩散,在新疆和陕西等西北地区、云贵高原和黑龙江广泛分布。黑蜈蚣衣属在北以黑龙江、新疆、陕西、河北为主要分布地,在南主要分布于云贵高原和长江中下游。不同的是该属在国外多分布于温带地区^[35],而在中国温带和亚热带地区均有分布。新疆分别报道蜈蚣衣属 15 种,黑蜈蚣衣属 21 种,为两属的分布中心。

大孢蜈蚣衣属约占全球该属总种数(30)^[2]的 70.0%,在中国分布相对广泛。新疆共报道大孢蜈

蚣衣属地衣 12 种,是该属的分布中心,空间分布与蜈蚣衣属高度相似,目前在华南地区暂无报道,主要分布于温带地区。

哑铃孢属约占全球该属总种数(80)的 48.8%,与该属在国外多分布于热带的特点不同^[2],在中国主要分布于西南地区和华东地区东部等亚热带湿润性季风气候区和温带季风气候区,秦岭-淮河以北则集中分布于陕西和黑龙江,南北差异明显。云南是哑铃孢属的分布中心,共报道 26 种。

饼干衣属是中国蜈蚣衣科中种数最多的属,约占全球该属总种数(300)的 20.0%,在全球广泛分布^[2],在中国分布区域相对狭隘,以新疆和云南为中心,中间过渡,向东零星扩散,东西差异明显,40.0%的物种仅分布于单一地区,空间分布极不均衡。

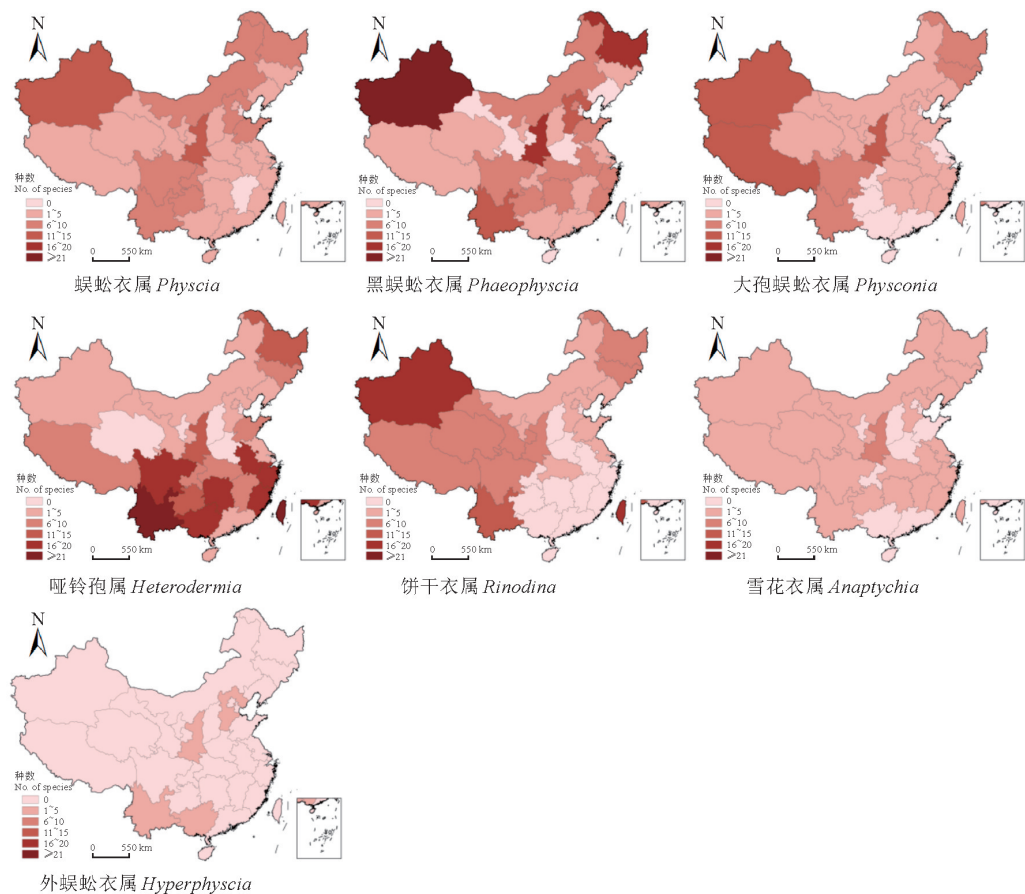


图 2 蜈蚣衣科内各属种空间分布
Fig. 2 The distribution of genera and species in Physciaceae

雪花衣属在中国分布较少,在大多数地区只分布 1~2 种,以陕西为地域中心向全国扩散,最多有 4 个种同时分布在某些地区,空间分布相对离散。外蜈蚣衣属种类最少,约占全球该属总种数(9)的 33.3%,与已有研究相比^[2],该属在中国分布狭隘,仅在河北、陕西、云南和广西有记录,且无热带分布。

2.3 中国蜈蚣衣科地衣的生境类型

经初步分析,中国蜈蚣衣科地衣中明确记载生长基物的有 169 种。蜈蚣衣科地衣生长型多样,选择的基物类型广泛,本研究根据蜈蚣衣科地衣生长环境和附着基物,将其分为树生地衣、石生地衣、藓丛生地衣、土生地衣和多生境地衣 5 种。

2.3.1 树生地衣 树生地衣主要指附生于树皮、树枝及枯木上的地衣,枝状、叶状和壳状地衣均发育良好。研究结果表明,微黑蜈蚣衣、美国大孢蜈蚣衣和须哑铃孢等 51 种地衣为树生地衣,约占总种数的 30.2%。

2.3.2 石生地衣 石生地衣主要生于裸露岩石或潮湿岩石表面,以壳状地衣居多。中国蜈蚣衣科地衣中有 32 种地衣生于岩石上,约占总种数的 18.9%,主要有掌状哑铃孢、黑色饼干衣和黑腹雪花衣等。

2.3.3 藓丛生地衣 此类地衣一般与石面苔藓和土生苔藓伴生。中国蜈蚣衣科地衣中有 46 种地衣可与藓丛伴生,独生于藓丛中的地衣只有白哑铃孢、泥炭饼干衣和倒齿雪花衣 3 种,约占总种数的 1.8%。

2.3.4 土生地衣 土生地衣是指生于石上土层及林下土层的地衣种类,因不易搜寻,这类地衣报道较少。中国蜈蚣衣科地衣中只有 30 种可生于土层上,独生于土层上的地衣只有地生饼干衣,约占总种数的 0.6%,是 5 种生境类型中数量最少的一种。

2.3.5 多生境地衣 多生境地衣环境适应能力较强,除了可附生于上述 4 种基物之外,还可在皮质、瓦片、腐殖质等多种基物上生存。本研究中,此类地衣共 82 种,约占总种数的 48.5%。异白点蜈蚣衣和圆叶黑蜈蚣衣等 41 种地衣可生于两种生境中,约占总种数的 24.3%;疑蜈蚣衣和白腹哑铃孢等 29 种地衣可生于 3 种生境中,约占总种数的 17.1%;毛边雪花衣和暗哑铃孢等 12 种地衣可生于 4 种生境中,约占总种数的 7.1%。

2.4 中国蜈蚣衣科地衣的区系成分

依据蜈蚣衣科地衣的现代地理分布并参考文献

资料,将中国蜈蚣衣科中地理区系成分较为明确的135种地衣划分为8种区系类型:世界广布成分、泛热带成分、东亚-北美成分、东亚成分、地中海-西亚-中亚成分、温带成分、环北极成分及中国特有成分(表2)。

2.4.4.1 世界广布成分 世界广布成分包括5属12种,主要有翘叶蜈蚣衣、蜈蚣衣、毛边黑蜈蚣衣、微黑蜈蚣衣、伴藓大孢蜈蚣衣、变白哑铃孢、哑铃孢、黑色饼干衣、坚果饼干衣、饼干衣、康拉德饼干衣和中间饼干衣。这类地衣无特殊分布中心,广泛分布于世界各大洲,适应力极强。

2.4.4.2 泛热带成分 泛热带成分的地衣主要分布于温度较高的热带、亚热带区域,地衣体多叶状或莲座状,时有粉芽或粉芽堆,髓层为白色,子囊孢子为厚壁双胞,以树生生境为主。此类地衣有变白蜈蚣衣、粉黑蜈蚣衣、狭叶红髓黑蜈蚣衣、白腹哑铃孢、拟哑铃孢、卷梢哑铃孢、暗哑铃孢、大哑铃孢、裂芽哑铃孢、扇哑铃孢、美洲哑铃孢、可可饼干衣和裂芽雪花衣,共5属13种。

2.4.4.3 东亚-北美成分 东亚-北美成分的地衣广布于亚洲大陆东部和北美大陆,地衣体主要呈叶状,且假根稠密,生境类型多样。主要有珊瑚芽蜈蚣衣、甘肃蜈蚣衣、白腹黑蜈蚣衣、皮毛黑蜈蚣衣、美丽黑蜈蚣衣、红心黑蜈蚣衣、羽根黑蜈蚣衣、裂芽黑蜈蚣衣、覆瓦黑蜈蚣衣、美国大孢蜈蚣衣、颗粒大孢蜈蚣衣、雅致大孢蜈蚣衣、优美大孢蜈蚣衣、深裂哑铃孢、掌状哑铃孢、掌状雪花衣等5属16种。

2.4.4.4 东亚成分 属于该成分的地衣只分布于亚洲大陆东部及其邻近的太平洋岛屿上,形态、结构与东亚-北美成分相似,物种的生境专一度较高。主要有白刺毛黑蜈蚣衣、刺黑蜈蚣衣、粉缘黑蜈蚣衣、火红

黑蜈蚣衣、载毛黑蜈蚣衣、粉芽黑蜈蚣衣、黑川大孢蜈蚣衣、北海道大孢蜈蚣衣、小裂片大孢蜈蚣衣、黄髓哑铃孢、小叶哑铃孢、黄腹哑铃孢、亚翘片哑铃孢、树哑铃孢、拟白腹哑铃孢、脆哑铃孢、肉饼干衣、蒙古饼干衣、东方饼干衣、肾饼干衣、红髓外蜈蚣衣等5属21种。

2.4.4.5 地中海-西亚-中亚成分 此类地衣分布区域西至地中海,东至中亚哈萨克斯坦,以西亚和中亚诸国为主要分布区。中国属于该成分的蜈蚣衣科地衣只有矮饼干衣和黑灰雪花衣两种,种类极少。

2.4.4.6 温带成分 本研究中,将北半球广布种与北温带分布种归并到温带成分中,该成分是中国蜈蚣衣科地衣区系的主要成分,地衣体为叶状或壳状,紧贴基物,子囊孢子多双胞。包含斑面蜈蚣衣、异白点蜈蚣衣、疑蜈蚣衣、糙蜈蚣衣、半羽蜈蚣衣、白粉蜈蚣衣、粉唇蜈蚣衣、长缘毛蜈蚣衣、大白蜈蚣衣、圆叶黑蜈蚣衣、暗裂芽黑蜈蚣衣、红髓黑蜈蚣衣、黑蜈蚣衣、睫毛黑蜈蚣衣、类粉缘黑蜈蚣衣、密集黑蜈蚣衣、疑黑蜈蚣衣、毛裂芽黑蜈蚣衣、粉大孢蜈蚣衣、灰色大孢蜈蚣衣、亚灰大孢蜈蚣衣、变色大孢蜈蚣衣、触丝大孢蜈蚣衣、黄髓大孢蜈蚣衣、白平大孢蜈蚣衣、艾伯塔大孢蜈蚣衣、芽体哑铃孢、须哑铃孢、甘肃饼干衣、亚微饼干衣、石灰饼干衣、瘤饼干衣、北方饼干衣、厚孢饼干衣、土生饼干衣、古饼干衣、博氏饼干衣、阿氏饼干衣、栗饼干衣、蜜果饼干衣、堇紫饼干衣、地生饼干衣、阿富汗饼干衣、古氏饼干衣、弗雷氏饼干衣、代谢饼干衣、橄榄饼干衣、类栗饼干衣、毕氏饼干衣、倒齿雪花衣、刚毛雪花衣、污白雪花衣、颈外蜈蚣衣等6属53种。

2.4.4.7 环北极成分 此类成分以壳状地衣为主,叶状较少,子囊盘常见,子囊孢子为棕色,生境类型多

表 2 中国蜈蚣衣科地衣区系成分

Table 2 Floristic elements of Physcia family in China

序号 No.	分布区类型 Distribution type	种数 No. of species	占总种数的比例 * Percentage of total species/%
1	世界广布成分 Cosmopolitan element	12	—
2	泛热带成分 Pantropical element	13	10.6
3	东亚-北美成分 East Asian-North America element	16	13.0
4	东亚成分 East Asian element	21	17.1
5	地中海-西亚-中亚成分 Mediterranean-West Asian-Central Asian element	2	1.6
6	温带成分 Temperate element	53	43.1
7	环北极成分 Circumpolar element	8	6.5
8	中国特有成分 Chinese endemic element	10	8.1
合计 Total		135	100

注: * 除世界广布成分
Note: * cosmopolitan element excluded

以石生、土生、藓丛生为主,主要分布于北极圈内及亚欧大陆和美洲北部等严寒地区,中国温带、亚热带区域广阔,只有青藏高原区及东北少部分地区气候严寒,因此蜈蚣衣科中泛北极成分地衣分布不广。主要有兰灰蜈蚣衣、对开蜈蚣衣、脱色黑蜈蚣衣、俄罗斯大孢蜈蚣衣、特雷氏饼干衣、提灯新饼干衣、泥炭饼干衣、毛边雪花衣等 5 属 8 种。

2.4.8 中国特有成分 此类成分在所有区系成分中生境专一度最高,以树生和石生为主。目前仅分布于中国的蜈蚣衣科地衣有湖北蜈蚣衣、湖南黑蜈蚣衣、中华大孢蜈蚣衣、甘肃大孢蜈蚣衣、小角饼干衣、球饼干衣、汉氏饼干衣、亚癩屑饼干衣、包氏饼干衣和亚黑饼干衣,共 4 属 10 种。

3 讨 论

中国蜈蚣衣科地衣共 197 种,隶属于 7 属,约占中国已报道地衣总种数的 6.4%,全球已报道地衣总种数的 1.0%^[36]。从地衣濒危程度看,亚灰大孢蜈蚣衣与湖北蜈蚣衣为易危(VU)物种^[34],目前亚灰大孢蜈蚣衣只分布于中国 4 个地区,湖北蜈蚣衣仅分布于中国两个地区,且是中国特有种。地衣对生态系统氮循环和碳周转有重要作用,以地衣为主的地壳微生物群落能够固定大气中的碳和氮,所提供的潜在碳汇可以为缓解大气温室效应做出积极贡献^[37],地衣生物监测是评

估自然生态系统空气污染的可行方法,基于其独特且重要的生态功能,保护地衣具有重要意义,蜈蚣衣科地衣虽大多呈现良好状态,但也需进行针对性保护。

中国蜈蚣衣科地衣物种丰富,其中有 26.4% 的物种仅分布于单一地区,可见该科广布全国,分布却不均衡。各属空间分布差异较大,与国外相比不尽相同,其中饼干衣属和外蜈蚣衣属在中国的分布还有较大研究空间。按照生境类型将蜈蚣衣科地衣分为 5 种,多生境地衣占优势,其中毛边雪花衣和暗哑铃孢等 12 种地衣可生存于 4 种生境中,环境适应性强。蜈蚣衣科地衣区系成分复杂多样,各区系内科属数量结果与种类组成差异较大,温带性质显著,东亚特色明显,同时伴随多种区系成分,可见中国蜈蚣衣科地衣物种组成是世界多个地域过渡交汇的结果。

蜈蚣衣科地衣中的中国特有种主要分布于中国东北、西北和西南地区。东北自然环境优越,特别是大、小兴安岭山地,地衣资源丰富;西北自然条件相对恶劣,在大陆性干旱气候和地质演化等特殊环境因素长期影响下,孕育出适应能力强大的地衣物种;西南地形条件复杂,气候类型多样,尤其是滇西北、川西及藏南等地,森林植被类型多样,适宜对附生树种具有高度专化性的地衣生长,是中国地衣物种多样性最丰富的地区。同时这些地区特殊的自然条件,延缓甚至阻隔了物种迁徙,形成特有现象。

参考文献:

[1] 阿依努尔·吐松, 吾尔妮莎·沙依丁, 艾尼瓦尔·吐米尔. 新疆饼干衣属地衣分类学研究[J]. 西北植物学报, 2020, **40** (11): 1 978-1 988.
AYNUR Tursun, HURNISA Shahidin, ANWAR Tumur. Taxonomic study on *Rinodina* in Xinjiang, China[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2020, **40**(11): 1 978-1 988.

[2] KIRK P M, CANNON P F, STALPERS J A. Dictionary of the Fungi: 10th Revised edition[M]. Wallingford: CABI Publishing, 2008.

[3] 钟秋怡. 青藏高原饼干衣属地衣的系统分类学研究[D]. 西安: 西北大学, 2021.

[4] 李莹洁. 秦岭太白山地区蜈蚣衣科地衣的研究[D]. 济南: 山东师范大学, 2007.

[5] NORDIN A, MATSSON J E. Phylogenetic reconstruction of character development in Physciaceae[J]. *The Lichenologist*, 2001, **33**(1): 3-23.

[6] 马 骥. 中国地衣的研究史[J]. 北京林学院学报, 1981, (2): 1-18.
MA J. Historical notes on studies of Chinese lichens[J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 1981, (2): 1-18.

[7] 吴金陵. 中国地衣研究主要文献简介[J]. 西北植物研究, 1985, (1): 101-107.
WU J L. A brief introduction of literature on the studies of Chinese lichens[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 1985, (1): 101-107.

[8] WEI J C. An Enumeration of Lichens in China[M]. Beijing: International Academic Publishers, 1991.

[9] 王玉良, 王 虹, 郑玉华. 蜈蚣衣属地衣一新记录[J]. 植物研究, 2005, **25**(2): 136-137.
WANG Y L, WANG H, ZHENG Y H. A newly recorded species of *Physcia* from China[J]. *Bulletin of Botanical Research*, 2005, **25**(2): 136-137.

[10] 王玉良, 阿地里江·阿不都拉, 张元明, 等. 蜈蚣衣科的中国地衣新记录(英文)[J]. 云南植物研究, 2005, **27**(2): 147-148.
WANG Y L, ADILJIANG Abudula, ZHANG Y M, et al. Four lichen species of family Physciaceae new to China[J]. *Acta Botanica Yunnanica*, 2005, **27**(2): 147-148.

[11] 李红宁, 梁蒙蒙, 王立松. 中国横断山的地衣(2)——雪花衣属(蜈蚣衣科)[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2010, **32**(4): 480-482.
LI H N, LIANG M M, WANG L S. Contributions to the lichen flora of the Hengduan Mountains, China (2). Genus *Anaptychia* (Physciaceae)[J]. *Journal of Yunnan University* (Natural Sciences Edition), 2010, **32**(4): 480-482.

[12] 阿尔古丽·加玛哈特, 热衣木·马木提. 蜈蚣衣科地衣 1 个中国新记录属——金奥克衣属[J]. 西北植物学报, 2020, **40** (3): 543-546.

AERGULI Jiamahat, REYM Mamut. *Oxnerella*, a new lichen genus of Physciaceae to China[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2020, **40**(3): 543-546.

[13] 任 强, 郑晓佳. 中国大陆陆干衣属地衣小志[J]. 聊城大学学报(自然科学版), 2020, **33**(4): 85-97.

REN Q, ZHENG X J. Notes on the genus *Rinodina* in China's mainland [J]. *Journal of Liaocheng University* (Natural Science Edition), 2020, **33**(4): 85-97.

[14] 银安城. DNA-barcoding 技术应用于横断山大孢衣属 *Phy-sconia* 地衣分类[D]. 昆明: 云南大学, 2020.

[15] 阿依努尔·吐松. 新疆饼干衣属(*Rinodina* (ach.) gray)及其近缘属地衣的分类学初步研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2020.

[16] 吴征镒, 周浙昆, 李德铎, 等. 世界种子植物科的分布区类型系统[J]. 云南植物研究, 2003, (3): 245-257.

WU Z Y, ZHOU Z K, LI D Z, *et al.* The areal-types of the world families of seed plants[J]. *Acta Botanica Yunnanica*, 2003, (3): 245-257.

[17] 牛东玲, 田晓燕, 马 茜, 等. 宁夏贺兰山东麓荒漠草原区地衣的物种多样性研究[J]. 西北植物学报, 2020, **40**(11): 1 972-1 977.

NIU D L, TIAN X Y, MA Q, *et al.* Species diversity of lichens in the desert steppe at the eastern foot of Helan Mountain, Ningxia[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2020, **40**(11): 1 972-1 977.

[18] 陈健斌, 胡光荣. 中国蜈蚣衣科地衣Ⅶ. 五个新记录种[J]. 菌物学报, 2022, **41**(1): 155-159.

CHEN J B, HU G R. The lichen family Physciaceae (Ascomycota) in China Ⅶ. Five species new to China[J]. *Mycosystema*, 2022, **41**(1): 155-159.

[19] 曲业元, 沙 伟, 齐光月, 等. 五大连池蜈蚣衣科地衣物种多样性的初步研究[J]. 菌物学报, 2014, **33**(3): 632-642.

QU Y Y, SHA W, QI G Y, *et al.* A preliminary study on the species diversity of the lichen family Physciaceae of Wudalianchi, northeastern China[J]. *Mycosystema*, 2014, **33**(3): 632-642.

[20] 胡光荣, 陈健斌. 中国蜈蚣衣科(子囊菌门)IV. 黑蜈蚣衣属一新种(英文)[J]. 菌物系统, 2003, **22**(4): 534-535.

HU G R, CHEN J B. The lichen family Physciaceae (ascomycota) in China iv. a new species of *Phaeophyscia* [J]. *Mycosystema*, 2003, **22**(4): 534-535.

[21] 王 科, 赵明君, 苏锦河, 等. 中国菌物名录数据库在大型真菌红色名录编制中的作用[J]. 生物多样性, 2020, **28**(1): 74-98.

WANG K, ZHAO M J, SU J H, *et al.* The use of checklist of Fungi in China database in the red list assessment of macrofungi in China[J]. *Biodiversity Science*, 2020, **28**(1): 74-98.

[22] 任 强, 孙中帅, 李莹洁, 等. 中国西北太白山地区地衣补遗[J]. 菌物学报, 2009, **28**(1): 102-105.

REN Q, SUN Z S, LI Y J, *et al.* Additions to the lichen flora of Mount Taibai, northwestern China[J]. *Mycosystema*, 2009, **28**(1): 102-105.

[23] 田雅楠. 新疆博格达峰北坡地衣群落的构建机制及功能群研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2021.

[24] 李 敏, 李 飞, 李崇清, 等. 贵州习水国家级自然保护区地衣型真菌初报[J]. 贵州科学, 2021, **39**(2): 3-8.

LI M, LI F, LI C Q, *et al.* Notes on lichenized fungi in Xishui National Nature Reserve in Guizhou, China [J]. *Guizhou Science*, 2021, **39**(2): 3-8.

[25] 毛 杨. 沂蒙山区地衣分类学研究[D]. 济南: 山东大学, 2019.

[26] 王启栋. 泰山地衣型真菌的分类学研究[D]. 山东聊城: 聊城大学, 2018.

[27] 王玉良, 王 晖, 徐如松, 等. 安徽省地衣研究的历史分析[J]. 长江流域资源与环境, 2014, **23**(8): 1 072-1 080.

WANG Y L, WANG H, XU R S, *et al.* Analysis on lichen studies history of Anhui Province[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2014, **23**(8): 1 072-1 080.

[28] 魏江春, 贾泽峰, 吴兴亮. 海南地衣多样性考察及其资源研发前景[J]. 菌物研究, 2013, **11**(4): 224-238.

WEI J C, JIA Z F, WU X L. An investigation of lichen diversity from Hainan Island of China and prospect of the R & D of their resources—Dedicated to the famous mycologist Prof. Wang Yun-Chang[J]. *Journal of Fungal Research*, 2013, **11**(4): 224-238.

[29] 热衣木·马木提, 艾尼瓦尔·吐米尔, 王玉良, 等. 新疆蜈蚣衣科 3 属地衣生态分布与地理区系成分分析[J]. 武汉植物学研究, 2009, **27**(5): 548-551.

MAMUT·Reyim, TUMUR·Anwar, WANG Y L, *et al.* Analysis on eco-geographical characteristics and vertical distribution of three Genera of the lichen family Physciaceae from Xinjiang[J]. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 2009, **27**(5): 548-551.

[30] 黄艳华. 太白山地衣[D]. 西安: 西北大学, 2008.

[31] 张恩然. 武夷山地衣区系的初步研究[D]. 济南: 山东师范大学, 2005.

[32] 孟庆峰, 贾泽峰, 赵 欣, 等. 贵州兴义坡岗自然保护区地衣多样性的初步调查[J]. 贵州科学, 2018, **36**(6): 28-34.

MENG Q F, JIA Z F, ZHAO X, *et al.* Preliminary investigation on species diversity of lichen in Pogang Nature Reserve, Xingyi, Guizhou[J]. *Guizhou Science*, 2018, **36**(6): 28-34.

[33] 柯善文, 席亚丽, 梁倩倩, 等. 祁连山古城菌物保育区地衣多样性研究[J]. 干旱区资源与环境, 2020, **34**(11): 169-175.

KE S W, XI Y L, LIANG Q Q, *et al.* Study on lichen diversity in Gucheng Fungus Conservation Area, Qilian Mountain [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2020, **34**(11): 169-175.

[34] 魏鑫丽, 邓 红, 魏江春. 中国地衣的濒危等级评估[J]. 生物多样性, 2020, **28**(1): 54-65.

WEI X L, DENG H, WEI J C. Threatened categories assessment of lichens in China[J]. *Biodiversity Science*, 2020, **28**(1): 54-65.

[35] MOBERG R. Is the Pacific an area of speciation for some foliose Genera of the lichen family Physciaceae? [J]. *The Journal of the Hattori Botanical Laboratory*, 1994, **76**(0): 173-181.

[36] 任 强. 中国地衣分属检索表[J/OL]. 聊城大学学报(自然科学版): 1-45[2022-05-20].

REN Q. Key to the lichen genera of China[J/OL]. *Journal of Liaocheng University* (Natural Science Edition): 1-45[2022-05-20].

[37] DING L P, ZHOU Q M, WEI J C. Estimation of *Endocarpon pusillum* Hedwig carbon budget in the Tengger Desert based on its photosynthetic rate[J]. *Science China Life Sciences*, 2013, **56**(9): 848-855.