



王琦

吉林农业大学二级教授，植物保护学院菌物学科带头人，中国菌物学会理事，吉林省食药菌协会副会长，国务院政府特殊津贴获得者，国家食用菌产业技术体系岗位专家。从事黏菌、菌物资源等研究。

陕南秦巴山区黏菌的物种组成和分布格局

窦文俊，李姝，彭雪嫣，亓宝，王琦*

吉林农业大学 食药菌教育部工程研究中心 吉林 长春 130118

摘要：为揭示陕西省南部秦巴山区腹地黏菌物种多样性与分布特征，对陕南地区的 42 个地点开展了黏菌资源调查，共获得 1 021 份标本，根据形态特征鉴定为 5 目 9 科 26 属 119 种。分析黏菌物种组成与多样性指数表明，陕南地区的优势种为蛇形半网菌 *Hemitrichia serpula*，相对多度为 6.37%，该地具有较高黏菌物种多样性($H'=6.24$)，同时秦岭黏菌物种多样性指数($H'=6.19$)高于大巴山($H'=5.28$)。黏菌物种多样性在不同植被类型下差异显著，针阔叶混交林最高，针叶林最低，群落分布相似性较低，表明植被类型的变化会影响该地区黏菌的物种组成。

关键词：黏菌；秦岭；大巴山；分布特征；物种多样性

[引用本文]

窦文俊，李姝，彭雪嫣，亓宝，王琦，2023. 陕南秦巴山区黏菌的物种组成和分布格局. 菌物学报，42(1): 196-216

Dou WJ, Li S, Peng XY, Qi B, Wang Q, 2023. Species composition and distribution pattern of myxomycetes in Qinba mountainous area of southern Shaanxi Province. Mycosystema, 42(1): 196-216

资助项目：国家重点研发计划(2021YFD1600401)；国家自然科学基金(31770011)

This work was supported by the National Key Research and Development Program of China (2021YFD1600401) and the National Natural Science Foundation of China (31770011).

*Corresponding author. E-mail: q_wang2006@126.com

ORCID: WANG Qi (0000-0002-9431-7281), DOU Wenjun (0000-0002-4883-0527)

Received: 2022-10-14; Accepted: 2022-11-03

Species composition and distribution pattern of myxomycetes in Qinba mountainous area of southern Shaanxi Province

DOU Wenjun, LI Shu, PENG Xueyan, QI Bao, WANG Qi*

Engineering Research Center of Chinese Ministry of Education for Edible and Medicinal Fungi, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, Jilin, China

Abstract: To reveal the diversity and distribution characteristics of myxomycetes in Qinba mountainous area of southern Shaanxi Province, 1 021 specimens were collected from 42 sites in the area. Based on morphological characteristics, 119 species in 26 genera of 9 families belonging to 5 orders were identified. The dominant species was *Hemitrichia serpula* with relative abundance of 6.37%. There was a high diversity of myxomycetes in this area ($H'=6.24$). The species diversity index ($H'=6.19$) in Qinling Mountains was higher than that in Daba Mountains ($H'=5.28$). The species diversity of myxomycetes was significantly different with the difference of vegetation types. The diversity was the highest in mixed broadleaf-conifer forest and that in coniferous forest was the lowest. The similarity of community distribution in different forest type was low, indicating that vegetation types significantly affected the species composition of myxomycetes in this area.

Keywords: myxomycetes; Qinling Mountains; Daba Mountains; distribution characteristics; species diversity

黏菌(myxogastrea 或 myxomycetes)是变形虫门下单系类群的真核生物, 主要特征在于其生命周期的生殖阶段表现出“amoeboid activity”行为(Adl *et al.* 2019), 黏菌分布范围广泛, 常见于温暖潮湿的森林生态系统中(李玉等 2008a; Lado *et al.* 2018), 主要捕食细菌、真菌, 促进生态系统的碳和营养循环(Stout 1980; Stephenson & Rojas 2022)。

秦巴山区西起青藏高原东缘, 东至华北平原西南部, 是我国重要的“地理-生态”过渡带(白燕 2020), 陕南秦巴山区独特的地理位置与气候类型跨越暖温带与亚热带, 具有高度复杂的自然环境条件及丰富的生物资源, 植被景观垂直变化显著, 自下而上为常绿落叶阔叶林混交林、落叶阔叶林、针阔叶混交林、针叶林和高山草甸等(岳明 2015), 是我国重要的生物“基因库”, 是研究我国包括菌物在内的生物多样性的热点地区(Li *et al.* 2008; Dai *et al.*

2009; 戴玉成等 2021; 宋玉等 2022)。秦巴山区属暖温带-北亚热带过渡气候区, 森林覆盖率高, 温暖湿润, 为黏菌的生长提供了适宜的条件。相关研究也表明亚热带地区的生态环境适宜黏菌生长(王高伟等 2017; 李敏等 2021), 研究发现在浙江天目山的树栖黏菌的物种组成与采集季节和树皮 pH 相关(Liu *et al.* 2013); 在河南宝天曼国家自然保护区中黏菌多样性主要与采样月份和森林类型相关, 而非海拔(Gao *et al.* 2018); 此外, Li *et al.* (2021)研究亚热带森林黏菌组成的时空分布及动态变化时发现不同微生境中影响黏菌物种分布的影响因子不同, 树皮栖生黏菌物种主要受空间变量的影响, 而枯枝落叶栖生的黏菌物种更多受气候因素影响。

目前对秦巴山区黏菌的报道主要为地区名录、发表新种、物种多样性研究(周宗璜和李玉 1983; Li & Li 1989; Chen *et al.* 1999; 刘福杰等

2010; 戴群等 2011; 李姝 2012; 朱鹤 2012; 高扬等 2018; 李敏等 2021), 如中国科学院神农架真菌地衣考察队(1989)在湖北神农架进行科考时发现黏菌 6 目 10 科 29 属 89 种, Zhang & Li (2015, 2016, 2017)在河南和湖北发现 3 个黏菌新种, 分别为 *Dictydiaethalium dictyosporangium* B. Zhang & Yu Li、*Comatricha clavicolumella* B. Zhang & Yu Li 和 *Stemonitis planusis* B. Zhang & Yu Li。但是对陕南秦巴山区缺少系统性黏菌物种多样性和分布研究, 因此, 本研究的目的: (1) 调查陕南地区黏菌物种组成和多样性, 进一步明晰秦岭和大巴山的黏菌物种多样性和分布特征; (2) 探索在陕南地区的秦岭和西段大巴山(常绿落叶阔叶混交林、落叶阔叶林、针阔叶混交林和针叶林) 4 种植被类型中黏菌分布现状, 为研究黏菌在我国的分布格局和地理演化提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 采集区域

本研究在陕南秦巴山区(105°52'32.41"—109°59'44.6" E, 31°45'17.8"—34°3'28.97" N, 海拔 585–2 467 m)开展, 包括关中谷地、秦岭山脉、汉江谷地和大巴山脉, 秦岭、大巴山西段的米仓山、化龙山、太平山, 由西向东横贯陕南。黏菌资源调查时间为 2019 年 6–9 月和 2020 年 7–8 月, 对秦岭、大巴山西段地区的 42 个(表 1)地点通过随机踏查法对主要 4 种植被类型(海拔 585–835 m 为常绿落叶阔叶混交林、海拔 836–1 113 m 为落叶阔叶林、海拔 1 198–1 630 m 为针阔叶混交林、海拔 1 688–2 467 m 为针叶林)的生境进行野外黏菌资源调查, 共采集黏菌标本 1 021 份。

1.2 形态鉴定

采用体视显微镜(Zeiss ICOC-ZSA302)观察子实体形态宏观特征并进行描述记录, 使用镊子挑取部分组织至载玻片, 滴加 5% KOH 溶液

后进行固定、制片、封片, 在光学显微镜(LEICA-DM1000)下观察黏菌子实体微观结构, 参考 *The Myxomycete Biota of Japan*、《中国真菌志——黏菌卷一、二》、*Les Myxomycètes*、《中国生物物种名录 第三卷 菌物(黏菌 卵菌)》(Yamamoto 1998; 李玉等 2008a, 2008b, 2018; Michel *et al.* 2011)等黏菌资料进行形态分类学鉴定, 并依据 Hernández-Crespo & Lado (2005–2022)命名。

1.3 数据分析

根据标本鉴定结果对不同山脉、不同植被类型下的黏菌进行物种组成分析, 包括优势科(≥ 10 种)和优势属(≥ 6 种)的划分; 物种相对多度(relative abundance, RA): 通过采集获得的某种黏菌的样本数占所获全部黏菌样本数的百分率; 黏菌多样性指数采用香农-威纳指数(H')计算公式(Pielou 1975; Magurran 1988), 如下: $H' = -\sum[(P_i) \times \ln(P_i)]$, 其中 P_i 表示黏菌 i 样本数占所获全部黏菌样本数的比例; 群落分布相似性指数(C_j)计算公式(Chao *et al.* 2005), 如下: $C_j = c/(a+b-c)$, 其中 C_j 表示 Jaccard 相似性指数, a 、 b 分别为两个群落的物种数, c 为两个群落的共有物种数; 采用 EstimataS v 9.1.0 (Colwell 2019)软件分析判断抽样是否充分; 采用 Python v 3.9.12 软件中 matplotlib v 2.2.3 库的 pyplot 模块绘制 Venn 图。

2 结果与分析

2.1 抽样度评估

通过野外资源调查, 在秦巴山区获得黏菌 119 种, 采用随机抽样方式共获得 256 个样本, 根据软件 EstimataS v 9.1.0 分析得到的 ACE (abundance-based coverage estimator)、ICE (incidence-based coverage estimator)和 Chao1 数据绘制黏菌物种累计曲线(图 1)。随着样本量的增加 Chao1 估计值的置信区间逐渐减小, 在 95% 的置信度下最高黏菌种类为 121 种, 最低

表 1 本研究采集地点信息
Table 1 The information of collecting locations in this study

市	县	采集地点	海拔	生境
City	County	Collecting location	Altitude (m)	Habitat
商洛 Shangluo	柞水县 Zhashui County	金盆村	1 080	落叶阔叶林 Broad-leaved deciduous forest
		牛背梁自然保护区 Niubeiliang National Nature Reserve	1 413	针阔叶混交林 Mixed broadleaf-conifer forest
西安 Xi'an	周至县 Zhouzhi County	楼观台镇实验林场	692	常绿落叶阔叶混交林 Evergreen and deciduous broad-leaved forest
		户县 Hu County	836	落叶阔叶林 Broad-leaved deciduous forest
宝鸡 Baoji	蓝田县 Lantian County	太平国家森林公园 Taiping National Forest Park	1 630	针阔叶混交林 Mixed broadleaf-conifer forest
		朱雀森林公园 Rosefinch Forest Park	1 198	针阔叶混交林 Mixed broadleaf-conifer forest
	长安区 Chang'an District	玉山风景区 Yushan Scenic Spot	858	落叶阔叶林 Broad-leaved deciduous forest
		翠华山 Cuihua Mountain	1 028	落叶阔叶林 Broad-leaved deciduous forest
	渭滨区 Weibin District	钟岩山 Zhongyan Mountain	1 395	针阔叶混交林 Mixed broadleaf-conifer forest
		凤县 Feng County	1 688	针叶林 Coniferous forest
	太白县 Taibai County	青峰峡森林公园 Qingfengxia Forest Park	1 867	针叶林 Coniferous forest
		闲云岭森林公园 Xianyunling Forest Park	2 467	针叶林 Coniferous forest
		大岭云海 Dalingyunhai	1 738	针叶林 Coniferous forest
		上店房林场 Shangdianfang Forest	1 416	针阔叶混交林 Mixed broadleaf-conifer forest
		国道 244 National Road-244	835	常绿落叶阔叶混交林 Evergreen and deciduous broad-leaved forest
		汤峪 Tangyu	833	常绿落叶阔叶混交林 Evergreen and deciduous broad-leaved forest
	周至县 Zhouzhi County	泥峪 Niyu	755	常绿落叶阔叶混交林 Evergreen and deciduous broad-leaved forest
		洋县 Yang County	911	落叶阔叶林 Broad-leaved deciduous forest
	汉中 Hanzhong	长河村 Changhe Village		
		青石垭 Qingshiya		

(待续)

(续表 1)

市	县	采集地点	海拔	生境
City	County	Collecting location	Altitude (m)	Habitat
		张家沟村	678	常绿落叶阔叶混交林
		Zhangjiagou Village		Evergreen and deciduous broad-leaved forest
	佛坪县	磨石沟口	685	常绿落叶阔叶混交林
	Foping County	Moshigoukou		Evergreen and deciduous broad-leaved forest
		堰头上	733	常绿落叶阔叶混交林
		Yantoushang		Evergreen and deciduous broad-leaved forest
	留坝县	瓦子沟	1 799	针叶林
	Liuba County	Wazigou		Coniferous forest
	城固县	庙沟	870	落叶阔叶林
	Chenggu County	Miaogou		Broad-leaved deciduous forest
	西乡县	安梁上	823	常绿落叶阔叶混交林
	Xixiang County	Anliangshang		Evergreen and deciduous broad-leaved forest
	略阳县	五龙洞国家森林公园	1 354	针阔叶混交林
	Lueyang County	Wulongdong National Forest Park		Mixed broadleaf-conifer forest
	宁强县	太阳镇	758	常绿落叶阔叶混交林
	Ningqiang County	Taiyang Town		Evergreen and deciduous broad-leaved forest
		东丽村	647	常绿落叶阔叶混交林
		Dongli Village		Evergreen and deciduous broad-leaved forest
	南郑县	红寺湖	608	常绿落叶阔叶混交林
	Nanzheng County	Hongsihu		Evergreen and deciduous broad-leaved forest
安康	镇坪县	鸡冠峡村	1 027	落叶阔叶林
Ankang	Zhenping County	Jiguanxia Village		Broad-leaved deciduous forest
		马镇村	1 246	针阔叶混交林
		Mazhen Village		Mixed broadleaf-conifer forest
		三坝村	1 113	落叶阔叶林
		Sanba Village		Broad-leaved deciduous forest
		化龙山国家级自然保护区正河垭保护站	2 180	针叶林
		Hualong Mountain National Nature Reserve Zhengheya Station		Coniferous forest
		化龙山国家级自然保护区白家乡保护站	894	落叶阔叶林
		Hualong Mountain National Nature Reserve Baijiaxiang Station		Broad-leaved deciduous forest
	岚皋县	家福堂村	717	常绿落叶阔叶混交林
	Langao County	Jiafutang Village		Evergreen and deciduous broad-leaved forest
		新湾村	845	落叶阔叶林
		Xinwan Village		Broad-leaved deciduous forest

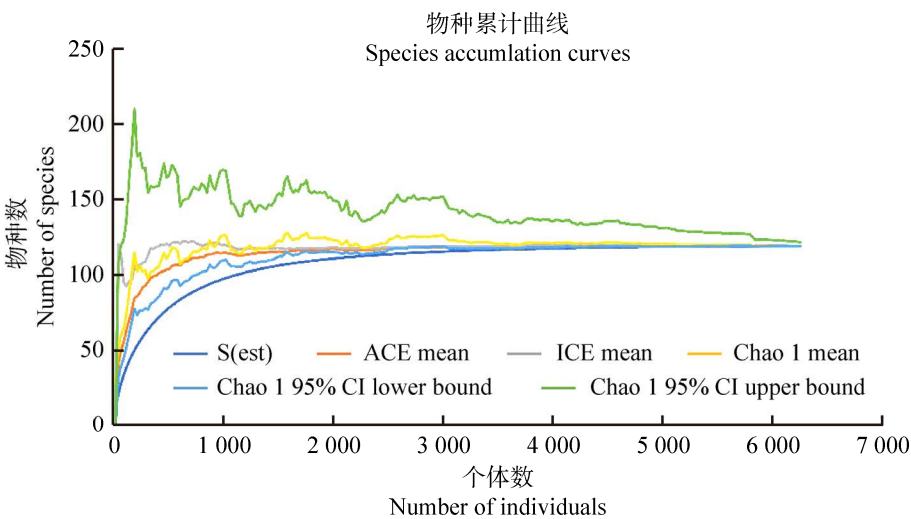


图 1 陕南秦巴山区黏菌的物种累计曲线
Fig. 1 Individual-based species accumulation curves of myxomycetes in Qinba Mountainous area of southern Shaanxi Province.

为 78 种，黏菌物种随着样本量的增加已不会再显著增多，表明本研究的采样较为充分，可以进行黏菌物种多样性分析。

2.2 陕南秦巴山区黏菌的物种组成

通过野外调查共获得 1 021 份黏菌标本，经形态学鉴定隶属于 5 目 9 科 26 属 119 种，其中点状无丝菌 *Licea punctiformis* G.W. Martin、小无丝菌 *Licea pusilla* Schrad.、高山筒菌 *Tubifera montana* Leontyev, Schnittler & S.L. Stephenson、大筛菌 *Cribraria macrocarpa* Schrad.、苔生煤绒菌 *Fuligo muscorum* Alb. & Schwein.等 50 种为陕西省新记录。经统计黏菌物种数量，按照相对多度划分，蛇形半网菌 *Hemitrichia serpula* 为最明显的优势种，相对多度为 6.37%，其次为灰团网菌 *Arcyria cinerea*，相对多度为 4.80%，长发丝菌 *Stemonaria longa* 和两瓣绒泡菌 *Physarum bivalve* 的相对多度依次为 3.23%、3.13%，相对多度在 1%–3% 的共有 26 种，其他 89 种的相对多度均在 1% 以下(表 2)。陕南秦巴山区黏菌优势科有 5 个，分别为团毛菌科 Trichiaceae (占总物种数 26.89%)、发网菌科 Stemonitaceae (占总物种数 23.53%)、绒泡菌科 Physaraceae (占总物种

数 23.53%)、筛菌科 Cribrariaceae (占总物种数 10.08%)和钙皮菌科 Didymiaceae (占总物种数 9.24%)；优势属有 7 个，分别为绒泡菌属 *Physarum* (占总物种数 15.13%)、团网菌属 *Arcyria* (占总物种数 13.45%)、筛菌属 *Cribraria* (占总物种数 10.08%)、发网菌属 *Stemonitis* (占总物种数 9.24%)、钙皮菌属 *Didymium* (占总物种数 6.72%)、团毛菌属 *Trichia* (占总物种数 6.72%)和拟发网菌属 *Stemonitopsis* (占总物种数 5.04%) (表 3)，基于秦巴山区腹地陕南地区发现的 119 种黏菌物种的相对多度得出秦巴山区黏菌物种多样性指数(H')为 6.24，说明陕南地区具有较高的物种丰富度。

在所发现的 119 种黏菌中，秦岭发现 109 种，大巴山发现 51 种。秦岭黏菌主要的生长基质为腐木，其中大红团毛菌 *Trichia affinis*、灰团网菌 *Arcyria cinerea* 和长发丝菌 *Stemonaria longa* 不仅在腐木上生长，还在苔藓和落叶上生长，同时还发现蛇形半网菌 *Hemitrichia serpula* 和棒形半网菌 *Hemitrichia clavata* 可以在泥块上生长，小晶钙皮菌 *Didymium eximium* 和卵形钙皮菌 *Didymium ovoideum* 仅在落叶上生长，黄褐

表 2 陕南秦巴山区黏菌的物种多样性及其相对多度
 Table 2 Diversity and relative abundance of myxomycetes in Qinba Mountainous area of southern Shaanxi Province

目 Order	科 Family	属 Genus	种 Speceies	基质 Substrate	相对多度 RA (%)		
					秦岭 Qinling Mts.	大巴山 Daba Mts.	合计 Total
刺轴菌目 Echinosteliales	刺轴菌科 Echinosteliaceae	刺轴菌属 <i>Echinostelium</i>	*刺轴菌 <i>E. minutum</i> de Bary	腐木 Rotten wood	—	0.20	0.20
无丝菌目 Liceales	无丝菌科 Liceaceae	无丝菌属 <i>Licea</i>	*点状无丝菌 <i>L. punctiformis</i> G.W. Martin	腐木 Rotten wood	0.10	—	0.10
			*小无丝菌 <i>L. pusilla</i> Schrad.	腐木 Rotten wood	0.10	—	0.10
	线膜菌科 Reticulariaceae	粉瘤菌属 <i>Lycogala</i>	粉瘤菌 <i>L. epidendrum</i> (L.) Fr.	腐木 Rotten wood	0.59	0.10	0.69
			小粉瘤菌 <i>L. exiguum</i> Morgan	腐木 Rotten wood	0.39	0.20	0.59
		筒菌属 <i>Tubifera</i>	*高山筒菌 <i>T. montana</i> Leontyev, Schnittler & S.L. Stephenson	腐木 Rotten wood	0.10	—	0.10
		线膜菌属 <i>Reticularia</i>	线膜菌 <i>R. lycoperdon</i> Bull.	腐木 Rotten wood	—	0.10	0.10
	筛菌科 Cribrariaceae	筛菌属 <i>Cribraria</i>	灯笼菌 <i>C. cancellata</i> (Batsch) Nann. -Bremek.	腐木, 苔藓 Rotten wood, moss	1.27	0.49	1.76
			半网灯笼菌 <i>C. mirabilis</i> (Rostaf.) Massee	腐木 Rotten wood	0.39	0.29	0.68
			*黄褐筛菌 <i>C. aurantiaca</i> Schrad.	腐木, 苔藓 Rotten wood, moss	2.55	0.2	2.75
			紫筛菌 <i>C. violacea</i> Rex	腐木 Rotten wood	0.1	—	0.10
			*大筛菌 <i>C. macrocarpa</i> Schrad.	腐木 Rotten wood	0.29	—	0.29
			*细筛菌 <i>C. tenella</i> Schrad.	腐木 Rotten wood	0.10	—	0.10
			小筛菌 <i>C. microcarpa</i> (Schrad.) Pers.	腐木 Rotten wood	0.69	—	0.69
			*暗小筛菌 <i>C. oregana</i> H.C. Gilbert	腐木 Rotten wood	0.10	—	0.10
			*栗褐筛菌 <i>C. vulgaris</i> Schrad.	腐木 Rotten wood	0.10	—	0.10

(待续)

(续表 2)

目 Order	科 Family	属 Genus	种 Species	基质 Substrate	相对多度 RA (%)		
					秦岭 Qinling Mts.	大巴山 Daba Mts.	合计 Total
绒泡菌目 Physarales	绒泡菌科 Physaraceae	光果菌属 <i>Leocarpus</i>	*混淆筛菌 <i>C. confusa</i> Nann. -Bremek. & Y. Yamam.	腐木 Rotten wood	0.10	—	0.10
			宽肋筛菌 <i>C. martinii</i> Nann. -Bremek.	腐木 Rotten wood	0.20	—	0.20
			锈红筛菌 <i>C. ferruginea</i> Meylan	腐木 Rotten wood	0.20	—	0.20
			光果菌	落叶	0.88	0.20	1.08
			<i>L. fragilis</i> (Dicks.) Rostaf.	Fallen leaves			
		煤绒菌属 <i>Fuligo</i>	煤绒菌 <i>F. septica</i> (L.) Wiggers	腐木 Rotten wood	0.20	0.49	0.69
			*白煤绒菌 <i>F. cinerea</i> (Schwein.) Morgan	腐木 Rotten wood	—	0.29	0.29
			*苔生煤绒菌 <i>F. muscorum</i> Alb. & Schwein.	腐木 Rotten wood	—	0.10	0.10
		高杯菌属 <i>Craterium</i>	高杯菌 <i>C. minutum</i> (Leers) Fr.	枯枝, 草茎 Dry twigs, grass	0.69	0.39	1.08
			白头高杯菌 <i>C. leucocephalum</i> (Pers.) Ditmar	枯枝 Dry twigs	0.39	0.39	0.78
			*暗高杯菌 <i>C. concinnum</i> Rex	枯枝 Dry twigs	—	0.39	0.39
		绒泡菌属 <i>Physarum</i>	*钙核绒泡菌 <i>P. nucleatum</i> Rex	腐木 Rotten wood	0.39	0.39	0.78
			刚丝绒泡菌 <i>P. rigidum</i> (G. Lister) G. Lister	腐木 Rotten wood	0.29	—	0.29
			*细弱绒泡菌 <i>P. tenerum</i> Rex	腐木 Rotten wood	0.88	0.49	1.37
			绿绒泡菌 <i>P. viride</i> (Bull.) Pers.	腐木 Rotten wood	1.57	0.59	2.16
			白柄绒泡菌 <i>P. leucopus</i> Link	腐木 Rotten wood	0.69	0.29	0.98
			两瓣绒泡菌 <i>P. bivalve</i> Pers.	枯枝 Dry twigs	2.64	0.49	3.13
			玫瑰绒泡菌 <i>P. roseum</i> Berk. & Broome.	腐木 Rotten wood	0.59	0.29	0.88

(待续)

(续表 2)

目 Order	科 Family	属 Genus	种 Speceies	基质 Substrate	相对多度 RA (%)		
					秦岭 Qinling Mts.	大巴山 Daba Mts.	合计 Total
			皱皮绒泡菌 <i>P. gilkeyanum</i> H.C. Gilbert	腐木 Rotten wood	0.78	—	0.78
			*黄头绒泡菌 <i>P. flavicomum</i> Berk.	腐木 Rotten wood	0.69	—	0.69
			淡黄绒泡菌 <i>P. melleum</i> (Berk. & Broome) Massee	落叶 Fallen leaves	0.88	0.49	1.37
			垂头绒泡菌 <i>P. album</i> (Bull.) Chevall.	腐木 Rotten wood	0.78	1.27	2.05
			*金色绒泡菌 <i>P. auripigmentum</i> G.W. Martin	落叶 Fallen leaves	0.78	—	0.78
			*灰白绒泡菌 <i>P. vernum</i> Sommerf.	落叶 Fallen leaves	1.57	—	1.57
			*黄褐绒泡菌 <i>P. brunneolum</i> (Phillip.) Massee	树皮 Bark	0.20	0.49	0.69
			膜壁绒泡菌 <i>P. badhamioides</i> S.L. Chen & Y. Li	腐木 Rotten wood	0.59	—	0.59
			灰绒泡菌 <i>P. cinereum</i> (Batsch) Pers.	枯枝, 落叶 Dry twigs, fallen leaves	0.20	1.08	1.28
			*盘头绒泡菌 <i>P. pezizoideum</i> (Jung.) Pavill. & Lagarde	腐木 Rotten wood	0.39	—	0.39
			*青铜绒泡菌 <i>P. psittacinum</i> Ditmar	腐木 Rotten wood	0.39	—	0.39
		钙丝菌属 <i>Badhamia</i>	*巨孢钙丝菌 <i>B. macrospora</i> H.Z. Li	腐木 Rotten wood	0.20	—	0.20
			*灰堆钙丝菌 <i>B. cinerascens</i> G.W. Martin	腐木 Rotten wood	0.39	—	0.39
			*黑柄钙丝菌 <i>B. affinis</i> Rostaf.	腐木 Rotten wood	0.78	—	0.78
	钙皮菌科 Didymiaceae	钙皮菌属 <i>Didymium</i>	黄柄钙皮菌 <i>D. iridis</i> (Ditmar) Fr.	落叶 Fallen leaves	0.59	0.88	1.47
			小钙皮菌 <i>D. minus</i> (Lister) Morgan	落叶 Fallen leaves	0.39	0.39	0.78
			黑柄钙皮菌 <i>D. nigripes</i> (Link) Fr.	枯枝, 落叶 Dry twigs, fallen leaves	0.88	—	0.88
			*小晶钙皮菌 <i>D. eximium</i> Peck	落叶 Fallen leaves	0.49	—	0.49

(待续)

(续表 2)

目 Order	科 Family	属 Genus	种 Species	基质 Substrate	相对多度 RA (%)		
					秦岭 Qinling Mts.	大巴山 Daba Mts.	合计 Total
			暗孢钙皮菌 <i>D. melanospermum</i> (Pers.) T. Macbr.	腐木 Rotten wood	0.39	—	0.39
			鳞钙皮菌 <i>D. squamulosum</i> (Alb. & Schwein.) Fr.	枯枝, 落叶 Dry twigs, fallen leaves	1.18	1.18	2.36
			*卵形钙皮菌 <i>D. ovoideum</i> Nann. -Bremek.	落叶 Fallen leaves	0.29	—	0.29
			*软骨钙皮菌 <i>D. leoninum</i> Berk. & Broome.	苔藓 Moss	0.20	—	0.20
		双皮菌属 <i>Diderma</i>	辐射双皮菌 <i>D. radiatum</i> (L.) Morgan	腐木 Rotten wood	1.57	—	1.57
			*粉红双皮菌 <i>D. testaceum</i> (Schrad) Pers.	落叶 Fallen leaves	0.20	0.69	0.89
			*灰色双皮菌 <i>D. cinereum</i> Morgan	落叶 Fallen leaves	1.27	—	1.27
团毛菌目 Trichiales	团毛菌科 Trichiaceae	团毛菌属 <i>Trichia</i>	网抱团毛菌 <i>T. favoginea</i> (Batsch) Pers.	腐木 Rotten wood	1.57	0.59	2.16
			*鲜黄团毛菌 <i>T. lutescens</i> (Lister) Lister	腐木 Rotten wood	0.49	0.39	0.88
			*叉尖团毛菌 <i>T. persimilis</i> Karsten	腐木 Rotten wood	1.08	—	1.08
			*大红团毛菌 <i>T. affinis</i> de Bary	腐木, 苔藓, 落叶 Rotten wood, moss, fallen leaves	0.69	—	0.69
			环壁团毛菌 <i>T. varia</i> (Pers.) Pers.	腐木 Rotten wood	0.49	—	0.49
			刺丝团毛菌 <i>T. scabra</i> Rostaf., Mon.	腐木 Rotten wood	0.29	—	0.29
			直立团毛菌 <i>T. erecta</i> Rex	腐木 Rotten wood	0.39	—	0.39
			滕纹团毛菌 <i>T. contorta</i> (Ditmar) Rostaf.	腐木 Rotten wood	0.69	—	0.69
		团网菌属 <i>Arcyria</i>	*小红团网菌 <i>A. minuta</i> Buchet	腐木 Rotten wood	0.39	—	0.39
			灰团网菌 <i>A. cinerea</i> (Bull.) Pers.	腐木, 苔藓, 落叶 Rotten wood, moss, fallen leaves	3.23	1.57	4.80

(待续)

(续表 2)

目 Order	科 Family	属 Genus	种 Speceies	基质 Substrate	相对多度 RA (%)		
					秦岭 Qinling Mts.	大巴山 Daba Mts.	合计 Total
			*大团网菌	腐木	0.88	—	0.88
			<i>A. major</i> (G. Lister) Ing	Rotten wood			
			*灰绿团网菌	腐木	0.10	—	0.10
			<i>A. glauca</i> A. Lister	Rotten wood			
			*环丝团网菌	腐木	0.20	—	0.20
			<i>A. annulifera</i> Lister & Torrend	Rotten wood			
			粉红团网菌	腐木, 落叶	0.39	0.49	0.88
			<i>A. incarnata</i> (Pers. ex J.F. Gmel.) Pers.	Rotten wood, fallen leaves			
			暗红团网菌	腐木	0.98	0.49	1.47
			<i>A. denudata</i> (L.) Wettst.	Rotten wood			
			鲜红团网菌	腐木	0.88	—	0.88
			<i>A. insignis</i> Kalchbr. & Cooke	Rotten wood			
			*果形团网菌	腐木	0.49	—	0.49
			<i>A. pomiformis</i> (Leers) Rostaf.	Rotten wood			
			黄垂网菌	腐木	0.29	—	0.29
			<i>A. obvelata</i> (Oeder) Onsberg	Rotten wood			
			橙黄团网菌	腐木	0.29	—	0.29
			<i>A. abietina</i> (Wigand) Nann. -Bremek.	Rotten wood			
			锈色团网菌	腐木	0.20	—	0.20
			<i>A. ferruginea</i> Sauter	Rotten wood			
			异色团网菌	腐木	0.10	—	0.10
			<i>A. versicolor</i> Phill.	Rotten wood			
			暗红垂网菌	腐木	0.20	—	0.20
			<i>A. oerstedii</i> Rostaf.	Rotten wood			
			大红团网菌	腐木	0.78	—	0.78
			<i>A. affinis</i> Rostaf.	Rotten wood			
			蓝灰团网菌	腐木	0.10	—	0.10
			<i>A. nigella</i> Emoto	Rotten wood			
		半网菌属	蛇形半网菌	腐木, 落叶, 泥土	4.80	1.57	6.37
		<i>Hemitrichia</i>	<i>H. serpula</i> (Scop.) Rostaf.	Rotten wood, fallen leaves, clod			
			棒形半网菌	腐木, 泥土	0.78	1.86	2.64
			<i>H. clavata</i> (Pers.) Rostaf.	Rotten wood, clod			
			细柄半网菌	腐木, 苔藓	2.15	0.69	2.84
			<i>H. calyculata</i> (Speg.) Farr	Rotten wood, moss			
		变毛菌属	暗红变毛菌	腐木	1.67	—	1.67
		<i>Metatrichia</i>	<i>M. vesparium</i> (Batsch) Nann. -Bremek.	Rotten wood			

(待续)

(续表 2)

目 Order	科 Family	属 Genus	种 Species	基质 Substrate	相对多度 RA (%)		
					秦岭 Qinling Mts.	大巴山 Daba Mts.	合计 Total
发网菌目 Stemonitales	散丝菌科 Dianemaceae	纹丝菌属 <i>Calomyxa</i>	灰盖碗菌 <i>P. grisea</i> Q. Wang, Y. Li & J.K. Bai	腐木 Rotten wood	0.59	—	0.59
			金孢盖碗菌 <i>P. chrysosperma</i> (Currey) Lister	腐木 Rotten wood	1.57	—	1.57
			扁盖碗菌 <i>P. depressa</i> Libert	腐木 Rotten wood	1.47	—	1.47
			盖碗菌 <i>P. corticalis</i> (Batsch) Rostaf.	腐木 Rotten wood	0.59	—	0.59
			纹丝菌 <i>C. metallica</i> (Berk.) Nieuwl.	腐木 Rotten wood	0.20	—	0.20
			弧线颈环菌 <i>C. arcyrionema</i> (Rostaf.) Nann. -Bremek. & Ing	腐木 Rotten wood	0.88	0.10	0.98
			*紫褐颈环菌 <i>C. lurida</i> (Lister) Nann. -Bremek.	腐木 Rotten wood	0.49	—	0.49
			发菌属 <i>Comatricha</i>	腐木	0.88	—	0.88
			黑发菌 <i>C. nigra</i> (Pers.) Schroet.	腐木 Rotten wood	0.10	0.69	0.79
			松发菌 <i>C. laxa</i> Rostaf.	腐木, 落叶 Rotten wood, fallen leaves	0.29	—	0.29
	发网菌科 Stemonitaceae	颈环菌属 <i>Collaria</i>	*长毛发菌 <i>C. longipila</i> Nann. -Bremek.	腐木 Rotten wood	0.10	—	0.10
			*浅丝发菌 <i>C. pellucida</i> G. Moreno & Illana	树皮 Bark	0.29	—	0.29
			*圆头发菌 <i>C. elegans</i> (Racib.) G. Lister	腐木 Rotten wood	0.59	—	0.59
			*空柄菌 <i>M. martinii</i> (Alexop. & Benek) Alexop.	腐木 Rotten wood	0.69	—	0.69
			叉丝菌属 <i>Paradiacheopsis</i>	腐木 Rotten wood	1.86	1.37	3.23
			刺孢叉丝菌 <i>P. acanthodes</i> (Alexop.) Nann. -Breme.	腐木 Rotten wood, moss, fallen leaves, bark	—	0.49	0.49
			发丝菌属 <i>Stemonaria</i>	腐木 Rotten wood			
			长发丝菌 <i>S. longa</i> (Peck) Nann. -Bremek., R. Sharma & Y. Yamam.	腐木 Rotten wood			
			*疏网发丝菌 <i>S. laxiretis</i> Nann. -Bremek. & Y. Yamam.	腐木 Rotten wood			

(待续)

(续表 2)

目 Order	科 Family	属 Genus	种 Speceies	基质 Substrate	相对多度 RA (%)		
					秦岭 Qinling Mts.	大巴山 Daba Mts.	合计 Total
		发网菌属 <i>Stemonitis</i>	美发网菌 <i>S. splendens</i> Rostaf.	腐木 Rotten wood	0.59	—	0.59
			灰褐发网菌 <i>S. pallida</i> Wingate	腐木, 落叶 Rotten wood, fallen leaves	—	0.10	0.10
			黑发网菌 <i>S. nigrescens</i> Rex	树皮 Bark	0.69	0.49	1.18
			小发网菌 <i>S. virginensis</i> Rex	腐木 Rotten wood	0.20	0.20	0.40
			褐发网菌 <i>S. fusca</i> Roth	腐木 Rotten wood	0.88	0.78	1.66
			*细发网菌 <i>S. graciliformis</i> Nann. -Bremek., K.G. Mukerji & Pasricha	腐木, 树皮 Rotten wood, bark	0.78	0.69	1.47
			锈发网菌 <i>S. axifera</i> (Bull.) T. Macbr.	腐木 Rotten wood	1.18	0.69	1.87
			*法罗恩发网菌 <i>S. farrensis</i> T.N. Lakh. & K.G. Mukerji	腐木, 苔藓 Rotten wood, moss	—	0.20	0.20
			团抱发网菌 <i>S. uvifera</i> T. Macbr.	腐木 Rotten wood	0.10	—	0.10
			*平截发网菌 <i>S. plana</i> B. Zhang & Yu Li	腐木 Rotten wood	0.10	0.10	0.20
			*膜丝发网菌 <i>S. marjana</i> Y. Yamam.	腐木 Rotten wood	0.10	—	0.10
		拟发网菌属 <i>Stemonitopsis</i>	*网抱拟发网菌 <i>S. reticulata</i> (H.C. Gilbert) Nann. -Bremek. & Y. Yamam.	腐木 Rotten wood	—	0.10	0.10
			半网拟发网菌 <i>S. hyperopta</i> (Meyl.) Nann. -Bremek.	腐木 Rotten wood	0.10	0.29	0.39
			香蒲拟发网菌 <i>S. typhina</i> (F.H. Wigg.) Nann. -Bremek.	腐木 Rotten wood	0.20	—	0.20
			*暗褐拟发网菌 <i>S. aequalis</i> (Peck) Y. Yamam.	腐木 Rotten wood	0.39	—	0.39
			细丝拟发网菌 <i>S. gracilis</i> (G. Lister) Nann. -Bremek.	腐木 Rotten wood	—	0.10	0.10
			亚丛拟发网菌 <i>S. subcaespitosa</i> (Peck) Nann. -Breme.	腐木 Rotten wood	0.10	—	0.10

*表示该种为陕西省新记录; —表示未知

* Represents new record in Shaanxi Province; — Represents unknown.

表 3 陕南秦巴山区黏菌发生频次统计

Table 3 The frequency statistics of myxomycetes in Qinba Mountainous area of southern Shaanxi Province

目	目占比	科	科占比	属	属占比
Order	Order proportion (%)	Family	Family proportion (%)	Genus	Genus proportion (%)
刺轴菌目	0.84	刺轴菌科	0.84	刺轴菌属	0.84
Echinosteliales		Echinosteliaceae		<i>Echinostelium</i>	
无丝菌目	15.13	无丝菌科	1.68	无丝菌属	1.68
Liceales		Liceaceae		<i>Licea</i>	
		线膜菌科	3.36	粉瘤菌属	1.68
		Reticulariaceae		<i>Lycogala</i>	
				筒菌属	0.84
				<i>Tubifera</i>	
				线膜菌属	0.84
				<i>Reticularia</i>	
		筛菌科	10.08	筛菌属	10.08
		Cribrariaceae		<i>Cribraria</i>	
绒泡菌目	32.77	绒泡菌科	23.53	光果菌属	0.84
Physarales		Physaraceae		<i>Leocarpus</i>	
				煤绒菌属	2.52
				<i>Fuligo</i>	
				高杯菌属	2.52
				<i>Craterium</i>	
				绒泡菌属	15.13
				<i>Physarum</i>	
				钙丝菌属	2.52
				<i>Badhamia</i>	
		钙皮菌科	9.24	钙皮菌属	6.72
		Didymiaceae		<i>Didymium</i>	
				双皮菌属	2.52
				<i>Diderma</i>	
团毛菌目	27.73	团毛菌科	26.89	团毛菌属	6.72
Trichiales		Trichiaceae		<i>Trichia</i>	
				团网菌属	13.45
				<i>Arcyria</i>	
				半网菌属	2.52
				<i>Hemitrichia</i>	
				变毛菌属	0.84
				<i>Metatrichia</i>	
				盖碗菌属	3.36
				<i>Perichaena</i>	
		散丝菌科	0.84	纹丝菌属	0.84
		Dianemaceae		<i>Calomyxa</i>	
发网菌目	23.53	发网菌科	23.53	颈环菌属	1.68
Stemonitales		Stemonitaceae		<i>Collaria</i>	
				发菌属	4.20
				<i>Comatricha</i>	
				空柄菌属	0.84
				<i>Macbrideola</i>	
				叉丝菌属	0.84
				<i>Paradiacheopsis</i>	
				发丝菌属	1.68
				<i>Stemonaria</i>	
				发网菌属	9.24
				<i>Stemonitis</i>	
				拟发网菌属	5.04
				<i>Stemonitopsis</i>	

绒泡菌 *Physarum brunneolum* 和浅丝发菌 *Comatricha pellucida* 仅生于树皮上, 软骨钙皮菌 *Didymium leoninum* 仅生于苔藓上; 大巴山黏菌物种主要的生长基质为腐木, 灯笼菌 *Cribraria cancellata*、法罗恩发网菌 *Stemonitis farrensis*、黄褐筛菌 *Cribraria aurantiaca*、细柄半网菌 *Hemitrichia calyculata* 不仅在腐木上生长, 还在苔藓上存在, 而灰绒泡菌 *Physarum cinereum* 和鳞钙皮菌 *Didymium squamulosum* 仅在枯枝、落叶上生长。

2.3 陕南地区秦岭和大巴山黏菌物种多样性差异

比较陕南地区秦岭和大巴山的黏菌组成发现, 秦岭和大巴山的黏菌组成都以绒泡菌目、发网菌目、团毛菌目的黏菌为主, 但在群落组成上有明显差异。秦岭和大巴山共有属为 16 个, 分别为发菌属 *Comatricha*、发丝菌属 *Stemonaria*、发网菌属 *Stemonitis*、粉瘤菌属 *Lycogala*、颈环菌属 *Collaria*、拟发网菌属 *Stemonitopsis*、筛菌属 *Cribraria*、光果菌属 *Leocarpus*、煤绒菌属 *Fuligo*、高杯菌属 *Craterium*、绒泡菌属

Physarum、钙皮菌属 *Didymium*、双皮菌属 *Diderma*、团毛菌属 *Trichia*、团网菌属 *Arcyria* 和半网菌属 *Hemitrichia*。而有 8 个属(叉丝菌属 *Paradiacheopsis*、空柄菌属 *Macbrideola*、筒菌属 *Tubifera*、无丝菌属 *Licea*、变毛菌属 *Metatrichia*、盖碗菌属 *Perichaena*、纹丝菌属 *Calomyxa* 和钙丝菌属 *Badhamia*) 仅在秦岭分布, 有 2 个属(刺轴菌属 *Echinostelium* 和线膜菌属 *Reticularia*) 仅在大巴山分布, 在黏菌物种数量上, 秦岭依旧明显高于大巴山(图 2)。秦岭和大巴山共有种为 41 种; 暗红变毛菌 *Metatrichia vesparium*、小晶钙皮菌 *Didymium eximium*、卵形钙皮菌 *Didymium ovoideum* 和软骨钙皮菌 *Didymium leoninum* 等 68 种黏菌仅在秦岭内被发现; 暗高杯菌 *Craterium concinnum*、法罗恩发网菌 *Stemonitis farrensis*、刺轴菌 *Echinostelium minutum* 和疏网发丝菌 *Stemonaria laxiretis* 等 10 黏菌仅在大巴山内被发现(图 3)。秦岭和大巴山内黏菌群落相似性指数为 0.33, 结果显示在不同山区虽然共享部分黏菌种类, 但群落之间中等不相似, 对比秦岭和大巴山内黏菌的物种多样性

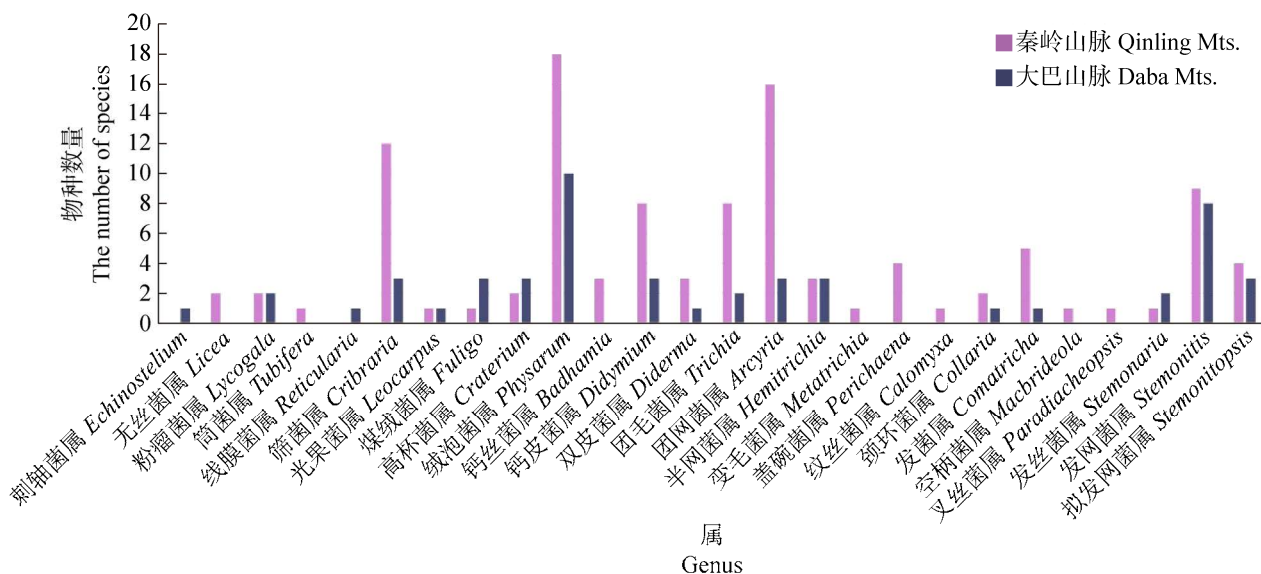


图 2 陕南地区秦岭和大巴山黏菌物种组成比较

Fig. 2 Comparison of specific composition of myxomycetes between Qinling Mountains and Daba Mountains in southern Shaanxi Province.

大巴山内采集到 51 种黏菌, 4 种植被类型下共有黏菌物种数为 6 种, 分别为两瓣绒泡菌 *Physarum bivalve*、淡黄绒泡菌 *Physarum melleum*、灰团网菌 *Arcyria cinerea*、蛇形半网菌 *Hemitrichia serpula*、棒形半网菌 *Hemitrichia clavata* 和细柄半网菌 *Hemitrichia calyculata*。常绿落叶阔叶混交林内黏菌物种数为 33 种, 落叶阔叶林内黏菌物种数为 20 种, 针阔叶混交林内黏菌物种数为 26 种, 针叶林内黏菌物种数为 17 种。比对不同植被类型内黏菌的物种数量发现, 针叶林内的黏菌物种数最少, 以团毛菌目为主含有 6 种, 光果菌 *Leocarpus fragilis*、半网灯笼菌 *Cribraria mirabilis* 和灯笼菌 *Cribraria cancellata* 仅分布于针叶林; 常绿落叶阔叶混交林内的黏菌物种数最多, 以绒泡菌目为主含有 13 种, 白柄绒泡菌 *Physarum leucopus*、小钙皮菌 *Didymium minus* 等 14 种仅分布于常绿落叶阔叶混交林; 落叶阔叶林内以团毛菌目为主含有 8 种, 玫瑰绒泡菌 *Physarum roseum* 仅分布于落叶阔叶林; 针阔叶混交林内, 以绒泡菌目为主含有 10 种, 钙核绒泡菌 *Physarum nucleatum*、细弱绒泡 *Physarum tenerum* 和网孢拟发网菌 *Stemonitopsis reticulata* 仅分布于针阔叶混交林(图 4B)。

总体上, 陕南地区秦岭和大巴山黏菌的物种组成数量, 香农-威纳多样性指数在针叶林内 ($H'=3.84$) 最低, 在针阔叶混交林内 ($H'=5.76$) 最高, 针阔叶混交林内发生的黏菌物种丰富程度最高。落叶阔叶林和针叶林共享黏菌 18 种, 群落相似性系数为 0.22; 落叶阔叶林和针阔叶混交林共享黏菌 40 种, 群落相似性系数为 0.40; 常绿落叶阔叶混交林和针阔叶混交林共享黏菌 33 种, 群落相似性系数为 0.34; 常绿落叶阔叶混交林和落叶阔叶林共享黏菌 32 种, 群落相似性系数为 0.36; 常绿落叶阔叶混交林与针叶林共享黏菌 15 种, 群落相似性系数为 0.23; 针阔叶混交林和针叶林共享黏菌 18 种, 群落相似性系数为 0.24, 虽然共享部分黏菌, 但群落相似性较

低, 说明在该地区植被类型的变化会影响黏菌的物种组成。

3 讨论

本研究首次在秦巴山区腹地陕南地区黏菌物种多样性进行系统性调研, 调查到黏菌 5 目 9 科 26 属 119 种, 其中刺轴菌 *Echinostelium minutum*、点状无丝菌 *Licea punctiformis* 等 50 种为陕西省新记录, 黄褐筛菌 *Cribraria aurantiaca*、香蒲拟发网菌 *Stemonitopsis typhina* 等 62 种为世界广泛分布种。秦巴山区地跨甘肃陇南市、四川、陕西、重庆、河南和湖北, 其主体在本研究所在的陕南。本研究结果与 Chen *et al.* (1999) 的调查结果相比, 新增黏菌 79 种, 有 27 种未采集到; 与同被划分为秦巴山区的河南省内乡县宝天曼国家级自然保护区(Gao *et al.* 2018)调查结果相比, 新增 68 种, 有 39 种未采集到。这些未采集到的黏菌主要集中于无丝菌目和绒泡菌目, 造成这种现象的原因可能是: (1) 无丝菌目黏菌个体较小易被忽视; (2) 采样方式和时期不同导致; (3) 本研究调查的大部分区域属于景区, 人工干涉频繁, 同时也未进行温室培养。此前已在约 2.13% 的秦巴山区开展黏菌资源调查, 如太白山、牛背梁国家级自然保护区和神农架保护区等(周宗璜和李玉 1983; Li & Li 1989; 中国科学院神农架真菌地衣考察队 1989; 陈萍等 2006; 刘福杰等 2010; Gao *et al.* 2018; 高扬等 2018), 而此次调查面积约占秦巴山区的 34.27%, 仍有 63.6% 的区域未有报道。由于陕南地区处于亚热带-温带过渡地带, 黏菌物种的组成和分布兼具亚热带和温带的黏菌区系特征, 如软骨钙皮菌 *Didymium leoninum* 和细弱绒泡菌 *Physarum tenerum* 在亚热带地区分布较广(高扬和陈双林 2021; 李敏等 2021), 如大团网菌 *Arcyria major* 和亚丛拟发网菌 *Stemonitopsis subcaespitos* 在北温带地区分布较广(陈小姝等 2012)。同时也有

一些罕见种,如已知主要分布在日本的疏网发丝菌 *Stemonaria laxiretis* (Nannenga-Bremekamp & Yamamoto 1990)、西班牙的浅丝发菌 *Comatricha pellucida* (Moreno *et al.* 1992)和印度的细发网菌 *Stemonitis graciliformis* (Nannenga-Bremekamp *et al.* 1984),这些物种的发现也为西北黏菌区系与日本、印度、欧洲的联系提供证据。

多样性指数显示陕南地区具有很高的物种多样性,但是秦岭和大巴山的物种组成差异显著。相对多度结果显示前3种黏菌(蛇形半网菌 *Hemitrichia serpula*、灰团网菌 *Arcyria cinerea* 和长发丝菌 *Stemonaria longa*)在该地区群落中占优势地位,反映出蛇形半网菌 *Hemitrichia serpula*、灰团网菌 *Arcyria cinerea* 和长发丝菌 *Stemonaria longa* 对于自然环境的要求宽泛,在该地区分布较广。秦岭黏菌的多样性指数高于大巴山,一方面可能由于秦岭和大巴山的地理位置不同,长期以来对我国黏菌多样性研究主要集中于秦岭山脉以北的温带地区,并证实温带地区黏菌物种多样性高于热带地区黏菌物种多样性 (Stephenson *et al.* 1993; Takahashi & Hada 2010; Novozhilov *et al.* 2017; 赵风云等 2021),黏菌的繁殖依靠孢子随风力传播 (Stephenson *et al.* 2004; Schnittler *et al.* 2006),但由于秦岭山脉对水汽有阻滞作用,使南北气流无法交换 (蒋冲 2013; 李金辉等 2022),影响了黏菌孢子的传播;另一方面,可能由于秦岭和大巴山的植被类型不同,秦岭以落叶阔叶林为主,大巴山以常绿落叶阔叶混交林为主,相较于常绿落叶阔叶混交林来说,黏菌更偏好生长于落叶阔叶林中 (Liu *et al.* 2013, 2015; Takahashi 2013; Nguyen *et al.* 2020; 李敏和陈双林 2021)。在本次调查中发现,秦岭的地表、林下调落物高于大巴山的地表、林下调落物,凋落物降解速度低于大巴山,研究表明凋落量随着纬度增加而下降,常绿落叶阔叶混交林的凋落量 ($6.955 \text{ hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$) 大于落叶阔叶林 ($4.773 \text{ hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$) (廖军和王新根 2000),其降解

菌物种类也有相同趋势 (武英达等 2021),而凋落物降解速度随着纬度增加而增加,亚热带凋落物分解速率是温带的2倍左右 (Louzada *et al.* 1997; Lorenz *et al.* 2000; Loranger *et al.* 2002; Masaki *et al.* 2005), Adamonytė *et al.* (2013) 报道黏菌分布由富营养向寡营养递减,因此秦岭的基质可能具有比大巴山更丰富的营养,更利于黏菌生长和分布。

黏菌多样性与植被类型之间有着密切的关系 (Stephenson 2011),群落的相似性指数显示落叶阔叶林与针阔叶混交林相似性指数最高,针阔叶混交林与针叶林相似性指数最低,陕南地区不同生境植被类型下黏菌群落的组成差异明显,针阔混交林内黏菌香农-威纳多样性指数最高,说明针阔混交林为黏菌提供了较为稳定的生长环境。不同的植被类型分布着一些特定的黏菌种类,如蓝灰团网菌 *Arcyria nigella* 仅在针叶林发现,软骨钙皮菌 *Didymium leoninum* 仅在常绿落叶阔叶混交林,这一结果与 Gao *et al.* (2018) 的报道一致,但是在针叶林下黏菌的丰富度和香农-威纳指数均最低,与 Gao *et al.* (2019) 的研究结果正好相反,猜测可能在针叶林中黏菌多以游动胞或者黏变形体形式存在于土壤中,因此会和子实体的调查结果不同。本研究还发现两瓣绒泡菌 *Physarum bivalve*、淡黄绒泡菌 *Physarum melleum* 等6种黏菌均被4种植被类型共享,反映出即便分为秦岭和大巴山2个地区,由于2个地区的地理位置相近,对于这6种黏菌所需要的营养环境也会有所相似。

秦巴山区蕴藏着丰富的黏菌资源,对于物种多样性研究有着巨大潜力,本研究对陕南秦巴山区的黏菌物种资源进行较大程度地补充,丰富了我国黏菌物种资源信息和分布情况,关于中国亚热带、温带地区黏菌物种多样性的研究可以在秦巴山区进一步开展,充分考虑秦岭-大巴山对于我国生物地理的重要性,更为系统地探索温带和亚热带地区黏菌物种多样性、区系组成和地理分

布格局。

致谢

感谢李玉院士的帮助和指导,感谢师兄魏书威在野外资源调查过程中给予的帮助,感谢师妹王柏力、李明新在撰写论文时提供的帮助,感谢柞水李玉院士工作站提供实验协助。

[REFERENCES]

- Adamonytė G, Iršėnaitė R, Motiejūnaitė J, Taraškevičius R, Matulevičiūtė D, 2013. Myxomycetes in a forest affected by great cormorant colony: a case study in Western Lithuania. *Fungal Diversity*, 59: 131-146
- Adl SM, Bass D, Lane CE, *et al.* (more than 20 authors), 2019. Revisions to the classification, nomenclature, and diversity of eukaryotes. *Journal of Eukaryot Microbiology*, 66(1): 4-119
- Bai Y, 2020. Development of the spatio-temporal variations dataset of NDVI in Qinling-Daba Mountains of China (2000-2019). *Journal of Global Change Data and Discovery*, 4: 346-353 (in Chinese)
- Chao A, Chazdon RL, Colwell RK, Shen TJ, 2005. A new statistical approach for assessing similarity of species composition with incidence and abundance data. *Ecology Letters*, 8: 148-159
- Chen P, Xu MQ, Chen SL, 2006. Notes on Myxomycetes from Gansu Province. *Journal of Gansu Sciences*, 18(3): 35-38 (in Chinese)
- Chen SL, Li Y, Zhang XC, 1999. A checklist of Myxomycetes in the Qingling Mountains. *Journal of Anhui Agricultural University*, 26(3): 306-309
- Chen XS, Gu S, Song XX, Li S, Wang Q, Li Y, 2012. Floristics of myxomycetes in Changchun region, China. *Mycosystema*, 5: 799-807 (in Chinese)
- Colwell RK, 2019. EstimateS: statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 9.1.0. <http://purl.oclc.org/estimates>
- Dai Q, Chen SL, Li Y, 2011. Myxomycetes resources from Niubeiliang Nature Reserve of Tsinling Mountains. 2011 Annual Meeting of Mycological Society of China, 32 (in Chinese)
- Dai YC, Yuan HS, Wang HC, Yang F, Wei YL, 2009. Polypores (Basidiomycota) from Qin Mts. in Shaanxi Province, central China. *Annales Botanici Fennici*, 46(1): 54-61
- Dai YC, Yang ZL, Cui BK, Wu G, Yuan HS, Zhou LW, He SH, Ge ZW, Wu F, Wei YL, Yuan Y, Si J, 2021. Diversity and systematics of the important macrofungi in Chinese forests. *Mycosystema*, 40(4): 770-805 (in Chinese)
- Dai YC, Yuan HS, Wang HC, Yang F, Wei YL, 2009. Polypores (Basidiomycota) from Qin Mts. in Shaanxi Province, central China. *Annales Botanici Fennici*, 46(1): 54-61
- Fungal and Lichen Expedition to Shennongjia, Chinese Academy of Sciences, 1989. *Fungi and lichens of Shennongjia*. World Publishing Corp, Beijing. 1-514 (in Chinese)
- Gao Y, Chen SL, 2021. Research progress on distribution and ecology of Myxogastrea. *Mycosystema*, 40(10): 2537-2549 (in Chinese)
- Gao Y, Yan SZ, Wang GW, He G, Chen SL, 2018. Myxomycete diversity and ecology in the Baotianman National Nature Reserve, a subtropical mountain forest in central China. *Fungal Ecology*, 35: 10-19
- Gao Y, Yan SZ, Wang GW, He G, Chen SL, 2018. Notes on Myxomycetes from Baotianman National Nature Reserve of Henan Province. *Journal of Fungal Research*, 16(3): 170-181 (in Chinese)
- Gao Y, Zhang X, He G, Shchepin O, Yan SZ, Chen SL, 2019. Influence of forest type on dark-spored myxomycete community in subtropical forest soil, China. *Soil Biology and Biochemistry*, 138: 107606
- Hernández-Crespo JC, Lado C, 2005–2022. An on line nomenclatural information system of Eumycetozoa. <http://www.nomen.eumycetozoa.com>
- Jiang C, 2013. A comparative study of climate change and its environmental effects in the northern and southern regions of Qingling Mountains. Master Thesis, Northwest A&F University, Yangling. 1-155 (in Chinese)
- Lado C, Estrada-Torres A, Rojas C, 2018. New records of genera and species of Myxomycetes (Amoebozoa) from the Neotropics. *Check List*, 14(3): 509-518
- Li J, Xiong HX, Dai YC, 2008. Polypores from Shennongjia Nature Reserve in Hubei Province, Central China. *Cryptogamie Mycologie*, 29: 267-277
- Li JH, Zhou YQ, Yue ZG, Wang J, Song JY, Lei LF, 2022. Water vapor and cloud base height difference between the north and south of Qinling Mountains based on microwave radiometer measurements. *Meteorological Monthly*, 4: 452-458 (in Chinese)
- Li M, Chen SL, 2021. Research progress on species diversity of myxomycetes and its relationship with influencing factors. *Mycosystema*, 40(2): 270-281 (in Chinese)
- Li M, Gao Y, Zhang X, Wang R, Chen SL, Yan SZ, 2021. Specific composition and ecological characteristics of myxomycetes in Xingshan County, Hubei Province. *Mycosystema*, 40(2): 358-371 (in Chinese)

- Li M, Tao X, Li B, Du Q, Zhu XC, Huang DC, Yan SZ, Chen SL, 2021. Spatiotemporal distribution and dynamic changes of myxomycetes in subtropical forests of China. *Fungal Ecology*, 53: 101078
- Li S, 2012. Gene expression in ontogenetic stages phylogenetic relationships of representative species of myxomycetes. Master Thesis, Jilin Agricultural University, Changchun. 1-53 (in Chinese)
- Li Y, Li HZ, 1989. Myxomycetes from China I: a checklist of Myxomycetes from China. *Mycotaxon*, 35(2): 429-436
- Li Y, Li HZ, Wang Q, Chen SL, 2008a. Flora fungorum sinicorum Myxomycetes I. Science Press, Beijing. 1-238 (in Chinese)
- Li Y, Li HZ, Wang Q, Chen SL, 2008b. Flora fungorum sinicorum Myxomycetes II. Science Press, Beijing. 1-204 (in Chinese)
- Li Y, Liu P, Zhao MJ, 2018. Species catalogue of China. Vol. 3. Fungi. Myxomycetes, Oomycetes. Science Press, Beijing. 1-92 (in Chinese)
- Liao J, Wang XG, 2000. Review of forest litter study. *Jiangxi Forestry Science and Technology*, 1: 31-34 (in Chinese)
- Liu FJ, Pan JZ, Zhu H, Wang Q, Li Y, 2010. Species of Myxomycetes from Qinling Region by moist chamber culture. *Journal of Fungal Research*, 8(2): 71-74, 84 (in Chinese)
- Liu QS, Yan SZ, Chen SL, 2015. Species diversity of myxomycetes associated with different terrestrial ecosystems, substrata (microhabitats) and environmental factors. *Mycological Progress*, 14: 1-13
- Liu QS, Yan SZ, Dai JY, Chen SL, 2013. Species diversity of corticolous myxomycetes in Tianmu Mountain National Nature Reserve, China. *Canadian Journal of Microbiology*, 59(12): 803-813
- Loranger G, Ponge JF, Imbert D, Lavelle P, 2002. Leaf decomposition in two semi-evergreen tropical forests: influence of litter quality. *Biology and Fertility of Soils*, 35: 247-252
- Lorenz K, Preston CM, Raspe S, Morrisson LK, Feger KH, 2000. Litter decomposition and humus characteristics in Canadian and German spruce ecosystems: information from tannin analysis and ^{13}C CPMAS NMR. *Soil Biology and Biochemistry*, 32(6): 779-792
- Louzada JNC, Schoereder JH, Marco JPD, 1997. Litter decomposition in semideciduous forest and *Eucalyptus* spp. crop in Brazil: a comparison. *Forest Ecology and Management*, 94(1-3): 31-36
- Magurran AE, 1988. Ecological diversity and its measurement. Princeton University Press, Princeton. 1-179.
- Masaki U, Mo WH, Takayuki N, Tsuchiya Y, Horikoshi T, Koizumi H, 2005. Microbial activity and litter decomposition under snow cover in a cool-temperate broad-leaved deciduous forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 134(1-4): 102-109
- Michel P, Marianne M, Jean B, 2011. Les Myxomycètes. Sarl Editions FMDS, London. 1-1119
- Moreno G, Illana C, Heykoop M, 1992. Spanish Myxomycetes VI. Four interesting species belonging to Stemonitales. *Cryptogamie Mycologie*, 13: 295-303
- Nannenga-Bremekamp NE, Mukerji KG, Pasricha R, 1984. Notes on Indian Myxomycetes. Three new species, and comments on others. *Proceedings of the Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen-Series C*, 87(4): 471-482
- Nannenga-Bremekamp NE, Yamamoto Y, 1990. Additions to the Myxomycetes of Japan IV. *Proceedings of the Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen*, 93(3): 265-280
- Nguyen LT, Oriana SM, King JAR, John CRS, Nikki HA, 2020. Occurrence of leaf litter inhabiting myxomycetes from lowland forest patches of Northern and Central Vietnam. *Tropical Ecology*, 60: 495-506
- Novozhilov YK, Schnittler M, Erastova DA, Shchepin ON, 2017. Myxomycetes of the Sikhote-Alin State Nature Biosphere Reserve (Far East, Russia). *Nova Hedwigia*, 104(2): 183-209
- Pielou EC, 1975. Ecological diversity. John Wiley & Sons, New York. 1-165
- Schnittler M, Unterseher M, Tesmer J, 2006. Species richness and ecological characterization of myxomycetes and myxomycete-like organisms in the canopy of a temperate deciduous forest. *Mycologia*, 98(2): 223-232
- Song Y, Xie XC, Deng BW, 2022. Taxonomic status of *Russula* in Qinling Mountains and suggestions for strategies. *Edible Fungi of China*, 41(2): 6-9 (in Chinese)
- Stephenson SL, 2011. From morphological to molecular: studies of myxomycetes since the publication of the Martin and Alexopoulos (1969) monograph. *Fungal Diversity*, 50(1): 21-34
- Stephenson SL, Kalyanasundaram I, Lakhanpal T, 1993. A comparative biogeographical study of Myxomycetes in the mid-Appalachians of eastern North America and two regions of India. *Journal of Biogeography*, 20: 645-657
- Stephenson SL, Rojas C, 2022. Myxomycetes: biology, systematics, biogeography and ecology. 2nd ed. Academic Press, Amsterdam. 1-565
- Stephenson SL, Schnittler M, Lado C, 2004. Ecological characterization of a tropical myxomycete assemblage--Maquipucuna Cloud Forest Reserve, Ecuador. *Mycologia*, 96(3): 488-497
- Stout JD, 1980. The role of Protozoa in nutrient cycling and

- energy flow. *Advances in Microbial Ecology*. Vol.4. Plenum Press, New York. 1-50
- Takahashi K, 2013. Myxomycete distribution varies among leaf litters of different vegetation in a local secondary forest of warm-temperate western Japan. *Mycoscience*, 54(5): 368-377
- Takahashi K, Hada Y, 2010. Geographical distribution of Myxomycetes on coniferous deadwood in relation to air temperature in Japan. *Mycoscience*, 51(4): 281-290
- Wang GW, Yan SZ, Xu MQ, Dai Q, Yao HQ, Liu QS, Chen SL, 2017. The myxomycete species in Jiangsu, Zhejiang and Anhui of Eastern China. *Mycosystema*, 36(4): 454-465 (in Chinese)
- Wu YD, Mao WL, Yuan Y, 2021. Comparison of polypore floras and diversity from temperate to subtropical forest zones in China. *Biodiversity Science*, 29: 1369-1376 (in Chinese)
- Yamamoto Y, 1998. The myxomycete biota of Japan. Toyo Shorin, Tokyo. 1-700 (in Japanese)
- Yue M, 2015. The plant altitudinal spectrum of Qinling Mountains is complete and complex. *Forest & Humankind*, 2: 76-81 (in Chinese)
- Zhang B, Li Y, 2015. *Dictydiaethalium dictyosporangium* sp. nov. from China. *Mycotaxon*, 129(2): 455-458
- Zhang B, Li Y, 2016. A new species and two new records of Stemonitidaceae from China. *Phytotaxa*, 267(2): 151-156
- Zhang B, Li Y, 2017. A new *Stemonitis* species and a new record of *Elaeomyxa* from China. *Phytotaxa*, 323(1): 83-87
- Zhao FY, Li Y, Liu SY, 2021. Species diversity of myxomycetes in *Pinus koraiensis* forest and coniferous and broad-leaf mixed forest. *Mycosystema*, 40(2): 348-356 (in Chinese)
- Zhou ZH, Li Y, 1983. New myxomycete—*Cribraria enodis*. *Acta Mycologica Sinica*, 2(1): 41-43 (in Chinese)
- Zhu H, 2012. Studies on ontogeny and chemical constituents of myxomycetes from representative regions in northern China. PhD Dissertation, Jilin Agricultural University, Changchun. 1-97 (in Chinese)
- [附中文参考文献]**
- 白燕, 2020. 秦岭-大巴山地区 NDVI 时空变化趋势数据集 (2000–2019). *全球变化数据学报*, 4: 346-353
- 陈萍, 徐美琴, 陈双林, 2006. 甘肃黏菌考录. *甘肃科学学报*, 18(3): 35-38
- 陈小姝, 谷硕, 宋晓霞, 李姝, 王琦, 李玉, 2012. 长春地区黏菌区系特征. *菌物学报*, 5: 799-807
- 戴群, 陈双林, 李玉, 2011. 秦岭牛背梁自然保护区的黏菌资源. 中国菌物学会第五届会员代表大会暨 2011 年学术年会论文摘要集, 广州. 32
- 戴玉成, 杨祝良, 崔宝凯, 吴刚, 袁海生, 周丽伟, 何双辉, 葛再伟, 吴芳, 魏玉莲, 员瑗, 司静, 2021. 中国森林大型真菌重要类群多样性和系统学研究. *菌物学报*, 40(4): 770-805
- 高扬, 陈双林, 2021. 黏菌分布格局与生态学研究进展. *菌物学报*, 40(10): 2537-2549
- 高扬, 闫淑珍, 王高伟, 何刚, 陈双林, 2018. 河南宝天曼自然保护区黏菌初报. *菌物研究*, 16(3): 170-181
- 蒋冲, 2013. 秦岭南北气候变化及其环境效应比较研究. 西北农林科技大学硕士论文, 杨凌. 1-155
- 李金辉, 周毓荃, 岳治国, 王瑾, 宋嘉尧, 雷连发, 2022. 基于微波辐射计数据的秦岭南北水汽和云底高度等参量的差异. *气象*, 4: 452-458
- 李敏, 陈双林, 2021. 黏菌物种多样性及其与影响因子关系的研究进展. *菌物学报*, 40(2): 270-281
- 李敏, 高扬, 张鲜, 王睿, 陈双林, 闫淑珍, 2021. 湖北省兴山县黏菌的物种组成与生态特征. *菌物学报*, 40(2): 358-371
- 李姝, 2012. 黏菌代表种的个体发育相关基因表达及系统发育关系研究. 吉林农业大学硕士论文, 长春. 1-53
- 李玉, 李惠中, 王琦, 陈双林, 2008a. 中国真菌志-黏菌卷 I. 北京: 科学出版社. 1-238
- 李玉, 李惠中, 王琦, 陈双林, 2008b. 中国真菌志-黏菌卷 II. 北京: 科学出版社. 1-204
- 李玉, 刘朴, 赵明君, 2018. 中国生物物种名录 第三卷 菌物(黏菌 卵菌). 北京: 科学出版社. 1-92
- 廖军, 王新根, 2000. 森林凋落量研究概述. *江西林业科技*, 1: 31-34
- 刘福杰, 潘景芝, 朱鹤, 王琦, 李玉, 2010. 温室培养获得秦岭地区黏菌种类. *菌物研究*, 8(2): 71-74, 84
- 宋玉, 解修超, 邓百万, 2022. 秦岭地区红菇属菌类分类现状、问题及对策. *中国食用菌*, 41(2): 6-9
- 王高伟, 闫淑珍, 徐美琴, 戴群, 姚慧琴, 刘歧莎, 陈双林, 2017. 华东苏、浙、皖三省的黏菌物种. *菌物学报*, 36(4): 454-465
- 武英达, 茆卫琳, 员瑗, 2021. 我国温带至亚热带多孔菌区系和多样性比较. *生物多样性*, 29: 1369-1376
- 岳明, 2015. 秦岭植物垂直带谱完整复杂. *森林与人类*, 2: 76-81
- 中国科学院神农架真菌地衣考察队, 1989. 神农架真菌与地衣. 北京: 世界图书出版公司. 1-514
- 赵凤云, 李玉, 刘淑艳, 2021. 红松林和针阔叶混交林下黏菌物种多样性研究. *菌物学报*, 40(2): 348-356
- 周宗璜, 李玉, 1983. 黏菌一新种——无节筛菌. *真菌学报*, 2(1): 41-43
- 朱鹤, 2012. 中国北方代表地区黏菌主要类群的个体发育及化学成分研究. 吉林农业大学博士论文, 长春. 1-97