•研究报告•

甘肃省祁连山国家级自然保护区的黏菌物种多样性

魏鑫磊, 李姝, 窦文俊, 亓宝, 王琦^{ID*}, 李玉^{ID}

吉林农业大学食药用菌教育部工程研究中心, 长春 130118

摘要: 黏菌是森林生态系统中不可或缺的生物资源, 在生态系统中发挥重要的作用。为了探讨黏菌在西北地区森林中的物种多样性及影响物种组成和多样性的因素, 本文对甘肃省祁连山国家级自然保护区进行为期2年的多点调查采样, 获得黏菌标本826份, 经形态学鉴定属于4目5科22属71种, 其中甘肃省新记录种30种。发现鹅绒菌(*Ceratiomyxa fruticulosa*)等9个物种是祁连山保护区广泛分布的物种, 针叶林中的黏菌总物种数(58种)和特有物种数(38种)均高于阔叶林(33种; 13种), 海拔高度对黏菌多样性无明显影响。主成分分析结果表明, 腐木型基质上的黏菌物种多样性最丰富, 木本基物与草本基物上的黏菌物种组成具有明显差异。研究结果表明, 甘肃省祁连山自然保护区的山地森林带的植被类型与基物类型是影响黏菌物种组成和多样性的重要因素。

关键词: 黏菌; 分类学; 物种多样性; 森林生态系统; 分布特征

魏鑫磊, 李姝, 窦文俊, 亓宝, 王琦, 李玉 (2021) 甘肃省祁连山国家级自然保护区的黏菌物种多样性. 生物多样性, 29, 65–71. doi: 10.17520/biods.2020050.

Wei XL, Li S, Dou WJ, Qi B, Wang Q, Li Y (2021) Species diversity of myxomycetes in Qilian Mountain National Nature Reserve, Gansu. Biodiversity Science, 29, 65–71. doi: 10.17520/biods.2020050.

Species diversity of myxomycetes in Qilian Mountain National Nature Reserve, Gansu Province

Xinlei Wei, Shu Li, Wenjun Dou, Bao Qi, Qi Wang^{ID*}, Yu Li^{ID}

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

ABSTRACT

Aims: As indispensable biological resources, myxomycetes play an important role in forest ecosystems. We studied the diversity of myxomycetes and the factors affecting myxomycetes community composition and diversity in the forests of Northwest China.

Methods: We collected myxomycetes from multiple locations in Qilian Mountain National Nature Reserve of Gansu province continuously over two years. Specimens were identified by morphological features. Principal component analysis method was used to analyze the relationship between substrates and myxomycetes.

Results: In total, we collected 826 specimens of myxomycetes belonged to four orders, five families, 22 genera, and 71 species. Among them, 30 species were newly recorded in Gansu province. We analyzed each species' distribution and found that nine species, including *Ceratiomyxa fruticulosa*, were widely distributed in the natural reserve. A total of 58 species, including 38 endemic species, were recorded in coniferous forests, compared to 33 total and 13 endemic species that were recorded in broadleaved forests. The diversity of myxomycetes did not vary significantly over elevation. A principal components analysis showed that the diversity of myxomycetes was richest in rotten wood, and that the species composition of myxomycetes on woody substrates was significantly different from that on herbal

收稿日期: 2020-02-20; 接受日期: 2020-05-11

基金项目: 国家自然科学基金(31770011)、重点生态保护修复治理专项资金(张山水湖办【2018】20号)和甘肃省引导科技创新发展专项资金(2017zx-10)

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: q_wang2006@126.com

substrates.

Conclusion: Our results suggests that substrate and vegetation type in montane forests are both important factors affecting myxomycetes community composition and diversity in Qilian Mountain Natural Reserve of Gansu Province.

Key words: myxomycetes; taxonomy; species diversity; forest ecosystem; distribution characteristics

黏菌是一类特殊的原生生物,在其生活史中既有真菌的特征,又有与原生动物相似的取食方式(李玉等, 2008a)。黏菌在自然界广泛分布,主要生长在潮湿的森林,是森林生态系统中不可或缺的生物资源,扮演着分解者的角色。在高山融雪带、沙漠、沼泽地等也有发生。黏菌生长的主要基物有腐木、枯枝、枯叶等,其中腐木为最佳基物类型,(Stephenson & Stempen, 1996; Abdel-Raheem, 2002; Takahashi & Hada, 2012)。人类活动特别是工业化的快速发展对包括黏菌在内的各种生物的自然生存环境造成了不同程度的破坏,严重威胁着生物多样性(Hosokawa, 2019)。黏菌对环境因素变化反应灵敏,因此,通过黏菌多样性的调查研究可以评估不同生境下生物多样性的保护水平,为进一步保护管理提供科学依据。

目前,人们对青藏高原东部森林(王琬等, 2018)、小兴安岭地区(赵风云等, 2019)、北回归线以南地区(闫淑珍, 2012)、华东丘陵林地(戴群等, 2013)等地的黏菌物种多样性进行了较多调查,报道了青藏高原91种,小兴安岭44种,热带地区169种,华东丘陵林地有58种,但对西北地区的黏菌研究较少。近些年来,由于矿产资源开发、水电设施建设等问题,甘肃省祁连山地区的生态环境遭到了严重破坏,生物多样性面临着极大威胁。祁连山国家级自然保护区位于我国西北干旱和半干旱气候区,海拔2,000–4,500 m,海拔由低到高分大陆性荒漠和荒漠草原气候带、大陆性草原气候带、大陆性寒温半湿润气候带和大陆性高山气候带,其中海拔2,500–3,300 m处为山地森林(席亚丽等, 2011; 陈明霞等, 2018)。祁连山拥有丰富的动植物资源,湿润的环境中蕴含着丰富的菌物资源(桂建华, 2010^①; 席亚丽等, 2011),有巨大的生物多样性保护价值(靳芳等, 2005)。但是,以往对于甘肃省黏菌资源的调查尚未涉及祁连山国家级自然保护区(李玉等, 2008a, b; Chen et al, 2009),因此,本文选择甘肃省

祁连山国家级自然保护区的山地森林带,分析了黏菌优势科、属分布及其与海拔、林型和基物类型间的关系,以期祁连山黏菌生物多样性研究提供本底资料。

1 材料与方法

1.1 黏菌标本采集

分别于2018年7–10月和2019年8–9月对祁连山自然保护区的黏菌资源进行调查,选取16个采集地点(表1),主要分布在张掖市和武威市。本研究的调查范围为99°47′–103°09′ E, 30°44′–38°33′ N,海拔2,482–3,087 m,采集地点主要为分布于山地森林带的针叶林及阔叶林。

野外调查时主要采集黏菌成熟的子实体及其着生基物,用锡纸包裹放入采集盒内,用变色硅胶干燥。标记采集地点的海拔和经纬度等信息。在实验室用镊子将标本从锡纸中取出,固定在纸质的标本盒内,在盒子表面标记详细的采集信息,包括标本号、采集时间和地点及采集人等信息。

1.2 黏菌形态鉴定

在体式显微镜下观察黏菌子实体外部形态特征,包括子实体类型、颜色、大小等。使用光学显微镜及扫描电子显微镜观察黏菌显微形态特征,包括孢子、孢丝、石灰质、囊轴等。参考《中国真菌志·黏菌卷》(李玉等, 2008a, b)和《粘菌分类资料》(吉林农业大学和中国科学院微生物研究所, 1977年印刷内部资料)采用的分类系统进行形态学鉴定。

1.3 统计学分析

使用SIMCA 14.1软件对8种不同基物(枯枝、树皮、松塔、腐木、苔藓、枯叶、枯草、马勃)与黏菌物种的关系进行主成分分析,对不同基物的得分进行显示与分析,将基物类型进行归类(每个象限的基物类型对黏菌发生的影响相似,可分为一类)。通过载荷图反映各种基物对不同物种的影响程度,结合得分图可以得知不同基物类型对黏菌的影响。

① 桂建华 (2010) 祁连山自然保护区大型真菌资源调查研究. 硕士学位论文, 甘肃农业大学, 兰州.

表1 祁连山自然保护区黏菌标本采集地点信息

Table 1 Information of the collecting sites of myxomycetes specimens in the Qilian Mountain Nature Reserve

序号 No.	保护站 Station	采集点 Collection site	经纬度 Locality	海拔 Altitude (m)
1	大黄山站 Dahuangshan Station	焉支山 Yanzhi Mountain	101°14' E, 38°26' N	2,846
2	古城站 Gucheng Station	科拉村 Kela Village	102°36' E, 36°56' N	3,032
		朱岔峡 Zhucha Gorge	102°33' E, 36°56' N	2,604
3	哈溪站 Haxi Station	哈溪 Haxi	102°33' E, 37°23' N	2,568
4	康乐站 Kangle Station	康乐 Kangle	99°47' E, 30°44' N	3,087
5	祁连站 Qilian Station	冰沟河 Binggou River	102°17' E, 37°40' N	2,816
6	上房寺站 Shangfangsi Station	上房寺 Shangfangsi	102°37' E, 37°38' N	3,087
7	十八里堡站 Shibalipu Station	尚家沟 Shangjiagou	103°00' E, 37°20' N	2,705
8	寺大隆站 Sidalong Station	向阳台 Xiangyangtai	99°54' E, 38°26' N	2,716
9	乌鞘岭站 Wushaoling Station	乌鞘岭 Wushaoling	102°59' E, 37°16' N	2,824
		朵什乡 Duoshi Township	102°59' E, 37°16' N	2,816
10	西水站 Xishui Station	大野口 Dayekou	100°17' E, 38°33' N	2,482
		西水 Xishui	100°17' E, 38°32' N	2,814
11	夏玛站 Xima Station	夏玛 Xima	103°09' E, 37°18' N	2,604
12	大河口站 Dahekou Station	大河口 Dahekou	100°45' E, 38°17' N	2,905
		小河滩 Xiaohetan	103°09' E, 37°18' N	2,702

2 结果

2.1 祁连山自然保护区的黏菌种类

2018–2019年间在甘肃省祁连山国家级自然保护区共采集获得826份黏菌标本,通过形态学方法鉴定为5目7科22属71种,其中鹅绒菌目1科1属1种,无丝菌目2科5属7种,团毛菌目1科3属15种,绒泡菌目2科9属39种,发网菌目1科4属9种(附录1)。其中有30个种为甘肃省新记录种。

将黏菌物种在10个以上的科定义为优势科。在针叶林中,团毛菌科、绒泡菌科、钙皮菌科为优势科;在阔叶林中,绒泡菌科为优势科。黏菌物种在5个以上的属为优势属,在针叶林中,团网菌属(*Arcyria*)、团毛菌属(*Trichia*)、绒泡菌属、钙皮菌属为优势属;在阔叶林中,绒泡菌属、钙皮菌属为优势属。

2.2 物种分布特征

2.2.1 物种分布与海拔的关系

本次调查的海拔区间为2,482–3,087 m,属于山地森林草原带,采集地集中在针叶林(主要为青海云杉 *Picea crassifolia*)。依据海拔高度平均划分为4个区间(2,600 m以下、2,600–2,800 m、2,800–3,000 m和3,000 m以上)。在海拔2,600 m以下采集到47种;2,600–2,800 m间采集43种;2,800–3,000 m间采集41

种;3,000 m以上采集36种(图1)。其中有18种在4个海拔区间均有发生,占本研究黏菌物种总数的26.1%,分别为:鹅绒菌(*Ceratiomyxa fruticulosa*)、粉瘤菌(*Lycogala epidendrum*)、皱杯筛菌(*Cribraria persoonii*)、灯笼菌(*Dictydium cancellatum*)、灰团网菌(*Arcyria cinerea*)、暗红团网菌(*A. denudata*)、黄垂网菌(*A. obvelata*)、白头高杯菌(*Craterium leucocephalum*)、高杯菌(*C. minutum*)、光果菌(*Leocarpus fragilis*)、垂头绒泡菌(*Physarum album*)、白柄绒泡菌(*P. leucopus*)、白褐绒泡菌(*P. leucophaeum*)、卵孢绒泡菌(*P. ovisporum*)、白环钙皮菌(*Didymium anellus*)、白壳钙皮菌(*D. crustaceum*)、黄柄钙皮菌(*D. iridis*)和锈发网菌(*Stemonitis axifera*) (图1)。

2.2.2 物种分布与林型的关系

本研究对祁连山自然保护区的12个保护站中的16个采集点进行了黏菌标本采集。其中,在针叶林获得58种,阔叶林获得33种。对比发现,部分黏菌物种单一出现在两种林型中:单独出现在阔叶林中的有13种,占比18.3%;单独出现在针叶林的为38种,占比53.5%。而在两种不同林型均能发生的黏菌物种为20种,占本研究黏菌物种总数的28.2%,分别为:鹅绒菌、线膜菌(*Enteridium lycoperdon*)、粉瘤菌、灰团网菌、暗红团网菌、棒形半网菌(*Hem-*

itrichia clavata)、滕纹团毛菌(*Trichia contorta*)、鲜黄团毛菌(*T. lutescens*)、灰堆钙丝菌(*Badhamia cinerascens*)、白头高杯菌、高杯菌、光果菌、灰绒泡菌(*Physarum cinereum*)、白柄绒泡菌、辐射双皮菌(*Diderma radiatum*)、黄柄钙皮菌、暗孢钙皮菌(*Didymium melanospermum*)、黑柄钙皮菌(*D. nigripes*)、刺发网菌(*Stemonitis flavogenita*)、网孢拟发网菌(*Stemonitopsis dictyospora*) (图2)。

2.2.3 保护区内黏菌分布广泛

祁连山国家级自然保护区不同海拔高度、不同植被类型均可发生的黏菌物种隶属于4目5科7属9种, 即: 鹅绒菌、粉瘤菌、灰团网菌、暗红团网菌、白头高杯菌、高杯菌、光果菌、白柄绒泡菌、黄柄钙皮菌。

2.2.4 物种分布与基物的关系

发现腐木型基物的黏菌物种数最多(54种), 其

图1 祁连山自然保护区4个海拔区间内黏菌物种组成对比的维恩图

Fig. 1 Venn diagram of myxomycetes species composition comparison at four elevations of the Qilian Mountain Nature Reserve

图2 祁连山自然保护区阔叶林与针叶林内黏菌物种组成对比的维恩图

Fig. 2 Venn diagram of myxomycetes species composition comparison in broad-leaved and coniferous forests of Qilian Mountain Nature Reserve

次是树皮(25种)、苔藓(21种)、枯枝(21种); 以马勃为基物的黏菌物种数最少, 仅1种(图3)。以腐木作为基物的黏菌科数最多(7科), 属数最多(22属) (图3), 物种数也最多(54种) (图4); 在枯枝和苔藓上的黏菌物种数均为21种, 但发生于苔藓上的黏菌属数与科数明显多于枯枝。分析表明腐木作为基物更适宜黏菌发生, 其次是树皮, 而马勃与枯草上发生的黏菌数量较少(图3, 图4)。9种在祁连山自然保护区广泛分布的黏菌种类中, 暗红团网菌仅发生在腐木上, 而白头高杯菌可发生在各种基物上, 表明暗红团网菌在基物选择上相对单一, 而白头高杯菌对基物没有选择性。这些广布黏菌种对于基物选择的偏好性

图3 祁连山自然保护区森林不同基物类型与黏菌属间的对应关系图

Fig. 3 The correlation pattern of substrate types and myxomycetes genera in the Qilian Mountain Nature Reserve

图4 祁连山自然保护区不同基物类型与黏菌科间的对应关系图

Fig. 4 The correlation pattern of substrate types and myxomycetes families in the Qilian Mountain Nature Reserve

图5 祁连山自然保护区8种基物类型与黏菌间的PCA得分图(PC1与PC2处在95%置信区间的椭圆内)。1: 腐木, 2: 枯枝, 3: 树皮, 4: 枯叶, 5: 枯草, 6: 苔藓, 7: 松塔, 8: 马勃
Fig. 5 PCA score diagram of eight substrate types and myxomycetes in the Qilian Mountain Nature Reserve (PC1 vs PC2 with 95% confidence interval error ellipse). 1, Dead wood; 2, Dead branch; 3, Bark; 4, Dead leaves; 5 Dry grass; 6, Moss; 7, Pine tower; 8, Puff ball.

为: 腐木 > 松塔 > 枯枝 = 树皮 > 苔藓 > 枯叶 > 枯草 > 马勃。

为了研究黏菌物种与基物间的关系, 采用主成分分析得到了黏菌物种与基物间关系的得分图(图5)与载荷图(图6)。由得分图可知, 8种基物可被分为4大类: (1)枯枝、树皮与松塔; (2)腐木; (3)苔藓; (4)枯叶、枯草和马勃。由载荷图可知, 处在第一象限的黏菌物种小钙皮菌(*Didymium minus*)、暗高杯菌(*Craterium concinnum*)、暗孢钙皮菌、卵形钙皮菌(*Didymium ovoideum*)与枯枝、树皮与松塔呈现显著正相关, 而和苔藓呈现显著负相关; 处在第三象限的物种松发菌(*Comatricha laxa*)、线膜菌等与苔藓呈现显著正相关, 与枯枝、树皮与松塔呈现显著负相关。在载荷图(图6)中, 物种数并未全部显示, 在该图的第三象限, 由椭圆标示的是由隶属于22属7科

1 暗孢钙皮菌 <i>Didymium melanospermum</i>	25 高杯菌 <i>Craterium minutum</i>	49 美亮皮菌 <i>Lamproderma splendens</i>
2 暗高杯菌 <i>Craterium concinnum</i>	26 钩丝菌 <i>Willkommlangea reticulata</i>	50 膝纹团毛菌 <i>Trichia contorta</i>
3 暗红团网菌 <i>Arcyria denudata</i>	27 光果菌 <i>Leocarpus fragilis</i>	51 球形双皮菌 <i>Diderma globosum</i>
4 白柄绒泡菌 <i>Physarum leucopus</i>	28 褐发网菌 <i>Stemonitis fusca</i>	52 全白绒泡菌 <i>Physarum globuliferum</i>
5 白褐绒泡菌 <i>Physarum leucophaeum</i>	29 黑柄钙皮菌 <i>Didymium nigripes</i>	53 松发菌 <i>Comatricha laxa</i>
6 白环钙皮菌 <i>Didymium anellus</i>	30 黑发菌 <i>Comatricha nigra</i>	54 筒菌 <i>Tubifera ferruginosa</i>
7 白壳双皮菌 <i>Didymium crustaceum</i>	31 花状双皮菌 <i>Diderma floriforme</i>	55 网孢拟发网菌 <i>Stemonitopsis dictyospora</i>
8 白头高杯菌 <i>Craterium leucocephalum</i>	32 黄柄钙皮菌 <i>Didymium iridis</i>	56 网孢团毛菌 <i>Trichia favoginea</i>
9 半网灯笼菌 <i>Dictydium mirabile</i>	33 黄垂网菌 <i>Arcyria obvelata</i>	57 网纹钙皮菌 <i>Didymium intermedium</i>
10 棒形半网菌 <i>Hemitrichia clavata</i>	34 黄高杯菌 <i>Craterium aureum</i>	58 细柄半网菌 <i>Hemitrichia calyculata</i>
11 扁凹钙皮菌 <i>Didymium bahiense</i>	35 灰堆钙丝菌 <i>Badhamia cinerascens</i>	59 鲜红团网菌 <i>Arcyria insignis</i>
12 彩囊钙丝菌 <i>Badhamia utricularis</i>	36 灰绒泡菌 <i>Physarum cinereum</i>	60 鲜黄团毛菌 <i>Trichia lutescens</i>
13 叉尖团毛菌 <i>Trichia persimilis</i>	37 灰色双皮菌 <i>Diderma cinereum</i>	61 线膜菌 <i>Enteridium lycoperdon</i>
14 垂头绒泡菌 <i>Physarum nutans</i>	38 灰团网菌 <i>Arcyria cinerea</i>	62 小钙皮菌 <i>Didymium minus</i>
15 刺发网菌 <i>Stemonitis flavogenita</i>	39 金黄绒泡菌 <i>Physarum citrinum</i>	63 锈发网菌 <i>Stemonitis axifera</i>
16 淡黄绒泡菌 <i>Physarum melleum</i>	40 蓝虹绒泡菌 <i>Physarum bethelii</i>	64 锈色团网菌 <i>Arcyria ferruginea</i>
17 灯笼菌 <i>Dictydium cancellatum</i>	41 联合绒泡菌 <i>Physarum contextum</i>	65 亚小发网菌 <i>Stemonitis smithii</i>
18 钉形钙皮菌 <i>Didymium clavus</i>	42 两瓣绒泡菌 <i>Physarum bivalve</i>	66 异色团网菌 <i>Arcyria versicolor</i>
19 鹅绒菌 <i>Ceratiomyxa fruticulosa</i>	43 鳞钙皮菌 <i>Didymium squamulosum</i>	67 异形团网菌 <i>Arcyria occidentalis</i>
20 粉红团网菌 <i>Arcyria incarnata</i>	44 卵孢绒泡菌 <i>Physarum cf. ovisporum</i>	68 长尖团毛菌 <i>Trichia decipiens</i>
21 粉瘤菌 <i>Lycogala epidendrum</i>	45 卵形钙皮菌 <i>Didymium ovoideum</i>	69 皱杯筛菌 <i>Cribraria persoonii</i>
22 辐射双皮菌 <i>Diderma radiatum</i>	46 绿绒泡菌 <i>Physarum viride</i>	70 皱皮绒泡菌 <i>Physarum gilkeyanum</i>
23 复囊钙皮菌 <i>Mucilago crustacea</i>	47 煤绒菌 <i>Fuligo septica</i>	71 紫筛菌 <i>Cribraria violacea</i>
24 钙丝菌 <i>Badhamia capsulifera</i>	48 美发菌 <i>Comatricha pulchella</i>	

图6 祁连山自然保护区8种基物类型与黏菌发生间的PCA载荷图(PC1与PC2处在95%置信区间的椭圆内)

Fig. 6 PCA load diagram of eight substrate types and myxomycetes in Qilian Mountain Nature Reserve. PC1 vs PC2 with 95% confidence interval error ellipse.

的47个不同的物种完全重合,说明这些物种受8种不同基物的影响无差别。结合得分图和载荷图,载荷图中本应处在第四象限的物种被聚到了第二象限,说明腐木对黏菌能否发生的影响远远大于枯叶、枯草和马勃,第四象限没有物种出现,并不是枯叶枯草与马勃这3种基物没有物种出现,而是该3类基物类型对黏菌发生的影响不明显。当一个物种在枯枝、树皮和松塔上发生的时候,它往往也可以在腐木上发生,但是却很难在苔藓上发生,证明黏菌物种的出现确实与基物类型存在一定的相关性。

3 讨论

本研究在祁连山自然保护区采集和鉴定出黏菌71种,发现有30种为甘肃新记录种。通过分析优势科属与林型、基物及海拔的关系,发现祁连山黏菌的发生确实与基物类型存在显著相关。邓叔群(1963)首次对甘肃省黏菌进行了调查研究,记录了黏菌17种3变种;李玉等增加了1种(Li & Li, 1989);陈萍等(2006)对甘肃省南部地区黏菌进行了调查研究,报道了68种2变种;李玉等(2008a, b)描述甘肃省黏菌物种28种;Chen等(2009)报道了52种;魏科威等(2019)报道甘肃省民勤县黏菌39种。经过比较发现,两瓣绒泡菌(*Physarum bivalve*)、鳞钙皮菌(*Didymium squamulosum*)、小钙皮菌、刺发网菌等4个物种为甘肃省广布种。

Chen等(2009)对甘肃省白龙江上游黏菌调查研究中,从腐木上采集和鉴定出的黏菌数量最多,占比36.5%;本文从腐木上采集和鉴定出的黏菌数量也最多(496份标本和54种黏菌),占比37.5%。Abdel-Raheem (2002)认为腐木是黏菌生长的最佳基质,本文通过主成分分析也说明腐木是黏菌发生的最主要基质条件。Chen等(2009)对白龙江黏菌生物多样性研究中发现绒泡菌目黏菌数量最多(占58.1%)。本文对祁连山自然保护区黏菌研究中也发现绒泡菌目黏菌数量最多(占49.1%),表明山地森林适宜绒泡菌目黏菌发生,与王琬等(2018)对青藏高原东部森林黏菌的研究结论一致。本文在对祁连山自然保护区黏菌生物多样性的研究中并未发现黏菌物种丰富度与海拔存在明显联系。本文研究结果表明,林型或基物类型以及小环境是影响黏菌物种生物多样性的主要营养和环境因素,与Eliasson (2004)对夏威夷群岛黏菌生物多样性的研究结果基

本一致。

本文对祁连山自然保护区各林型和生境下的黏菌生物多样性进行了2年的调查研究,初步明确了祁连山黏菌的种类和区系分布规律,但关于环境条件变化(如气候变化)对黏菌生物多样性的影响还有待于深入研究。

ORCID

李玉 <https://orcid.org/0000-0003-4719-7210>

王琦 <https://orcid.org/0000-0002-9431-7281>

参考文献

- Abdel-Raheem AM (2002) Myxomycetes from Upper Egypt. *Microbiological Research*, 157, 47–67.
- Chen MX, Zhao XJ, Zhao PQ (2018) A study on the distribution characteristics and protection system of biodiversity in Qilian Mountains (north slope). *Environment and Development*, 30, 200–202. (in Chinese with English abstract)
- [陈明霞, 赵晓同, 赵培强 (2018) 祁连山北坡生物多样性分布特征与保护体系研究. *环境与发展*, 30, 200–202.]
- Chen P, Xu MQ, Chen SL (2006) Notes on myxomycetes from Gansu Province. *Journal of Gansu Sciences*, 18(3), 35–38. (in Chinese) [陈萍, 徐美琴, 陈双林 (2006) 甘肃粘菌考录. *甘肃科学学报*, 18(3), 35–38.]
- Chen SL, Dai Q, Chen P, Li Y (2009) Myxomycetes from the mid-upper reaches of Bailong River, Gansu Province, China. *Mycosystema*, 28, 86–91.
- Dai Q, Yan SZ, Yao HQ, Chen SL (2013) Myxomycete diversity in hilly forests of East China. *Biodiversity Science*, 21, 507–513. (in Chinese with English abstract) [戴群, 闫淑珍, 姚慧琴, 陈双林 (2013) 华东丘陵林地黏菌的物种多样性. *生物多样性*, 21, 507–513.]
- Deng SQ (1963) *Fungi of China*. Science Press, Beijing. (in Chinese) [邓叔群 (1963) 中国的真菌. 科学出版社. 北京.]
- Eliasson UH (2004) A critical review of myxomycete records from the Hawaiian Islands. *Systematics and Geography of Plants*, 74, 81–86.
- Hosokawa A, Reid CR, Latty T (2019) Slimes in the city: The diversity of myxomycetes from inner-city and semi-urban parks in Sydney, Australia. *Fungal Ecology*, 39, 37–44.
- Jin F, Zhang ZM, Yu XX, Rao LY, Niu JZ, Lu SW, Xie YY (2005) Service function and value evaluation of forest ecosystem in Qilian Mountain, Gansu Province. *Science of Soil and Water Conservation*, (3), 53–57. (in Chinese with English abstract) [靳芳, 张振明, 余新晓, 饶良懿, 牛健植, 鲁绍伟, 谢媛媛 (2005) 甘肃祁连山森林生态系统服务功能及价值评估. *中国水土保持科学*, (3), 53–57.]
- Li Y, Li HZ (1989) Myxomycetes from China I. A checklist of myxomycetes from China. *Mycotaxon*, 35, 429–436.
- Li Y, Li HZ, Wang Q, Chen SL (2008a) *Flora Myxomycetes*

- Sinicorum I. Science Press, Beijing. (in Chinese) [李玉, 李惠中, 王琦, 陈双林 (2008a) 中国真菌志黏菌卷一. 科学出版社. 北京.]
- Li Y, Li HZ, Wang Q, Chen SL (2008b) Flora Myxomycetes. Sinicorum II. Science Press, Beijing. (in Chinese) [李玉, 李惠中, 王琦, 陈双林 (2008b) 中国真菌志, 黏菌卷(二). 科学出版社. 北京.]
- Stephenson SL, Stempen H (1996) Myxomycetes: A handbook of slime molds. Quarterly Review of Biology, 45, 601–602.
- Takahashi K, Hada Y (2012) Seasonal occurrence and distribution of myxomycetes on different types of leaf litter in a warm temperate forest of western Japan. Mycoscience, 53, 245–255.
- Wang W, Li S, Yuan CF, Wei XL, Zhu XY, Qi B, Wang Q, Li Y (2018) Study on the diversity of myxomycetes in Eastern Qinghai-Tibet Plateau. In: Reports Presented at 2018 Annual Meeting of Mycological Society of China. Science Press, Beijing. (in Chinese) [王琬, 李姝, 原超峰, 魏鑫磊, 朱相杨, 元宝, 王琦, 李玉 (2018) 青藏高原东部森林黏菌多样性研究. 见: 中国菌物学会2018年学术年会论文汇编. 科学出版社, 北京.]
- Wei SW, Li S, Qi B, Li Z, Hu YP, Wang Q, Li Y (2019) Macromycetes and myxomycetes diversity of Minqin County, Gansu Province. Journal of Arid Land Resources and Environment, 33(9), 140–144. (in Chinese) [魏书威, 李姝, 元宝, 李壮, 胡亚萍, 王琦, 李玉 (2019) 甘肃省民勤县大型真菌及黏菌多样性调查. 干旱区资源与环境, 33(9), 140–144.]
- Xi YL, Wang ZJ, Yu HP, Wei SL (2011) Preliminary report on macromycetes resources in Qilian Mountain National Nature Reserve. China Edible Fungi, 30, 7–13. (in Chinese) [席亚丽, 王治江, 于海萍, 魏生龙 (2011) 祁连山国家自然保护区大型真菌资源研究初报. 中国食用菌, 30, 7–13.]
- Yan SZ, Liu QS, Li Y, Chen SL (2012) Known species of myxomycetes from tropical China. Journal of Fungal Research, 10, 157–172. (in Chinese with English abstract) [闫淑珍, 刘歧莎, 李玉, 陈双林 (2012) 中国热带黏菌的已知种类. 菌物研究, 10, 157–172.]
- Zhao FY, Li Y, Tom Hsiang, Liu SY (2019) Species diversity of myxomycetes in two forests of the Lesser Khinggan Mountains, China. Biodiversity Science, 27, 896–902. (in Chinese with English abstract) [赵凤云, 李玉, Hsiang Tom, 刘淑艳 (2019) 小兴安岭两种林地的黏菌物种多样性. 生物多样性, 27, 896–902.]

(责任编辑: 郭良栋 责任编辑: 时意专)

附录 Supplementary Material

附录1 祁连山国家级自然保护区黏菌物种名录

Appendix 1 A list of myxomycetes species in Qilian Mountain National Nature Reserve

<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2020050-1.pdf>

魏鑫磊, 李姝, 窦文俊, 元宝, 王琦, 李玉 (2020) 甘肃省祁连山国家级自然保护区的黏菌物种多样性. 生物多样性, 29 (1): 65–71. <http://www.biodiversity-science.net/CN/10.17520/biods.2020050>

附录 1 祁连山国家级自然保护区黏菌物种名录。基物类型: DW: 腐木; M: 苔藓; DL: 枯叶; PC: 松塔; B: 树皮; DB: 枯枝; PB: 马勃; DG: 枯草。采集地点: 1: 焉支山; 2: 科拉村; 3: 朱岔峡; 4: 哈溪; 5: 康乐; 6: 冰沟河; 7: 上房寺; 8: 尚家沟; 9: 向阳台; 10: 乌鞘岭; 11: 朵什乡; 12: 大野口; 13: 西水; 14: 夏玛; 15: 大河口; 16: 小河滩。* 表示甘肃省新记录种。

Appendix 1 A list of myxomycetes species in Qilian Mountain National Nature Reserve. Substrate Types: DW, Dead wood; M, moss; DL, Dead leaves; PC, Pine cones; B, Bark; DB, Dead branches; PB, Puff ball; DG, Dead grass. Collecting Sites, 1, Yanzhi Mountain; 2, Kela village; 3, Zhucha gorge; 4, Haxi; 5, Kangle; 6, Binggou river; 7, Shangfangsi; 8, Shangjiagou; 9, Xiangyangtai; 10, Wushaoling; 11, Duoshi Township; 12, Dayekou; 13, Xishui; 14, Xlama; 15, Dahekou; 16, Xiaohetan. The meaning of * is new records in Gansu Province.

科	属	物种	基物类型	采集地点
Family	Genus	Species	Substrate type	Collecting site
鹅绒菌目 Ceratiomyxales				
鹅绒菌科	鹅绒菌属	鹅绒菌 <i>Ceratiomyxa</i>	腐木, 苔藓	1, 3, 4, 6, 7, 9, 15, 16
Ceratiomyxaceae	<i>Ceratiomyxa</i>	<i>fruticulosa</i>		
无丝菌目 Liceales				
孔膜菌科	孔膜菌属 <i>Enteridium</i>	线膜菌 <i>Enteridium</i>	枯叶, 腐木, 苔藓	2, 3, 9, 12, 14
Enteridiaceae		<i>lycoperdon</i>		
	粉瘤菌属 <i>Lycogala</i>	粉瘤菌 <i>Lycogala</i>	树皮, 腐木, 苔藓, 松塔	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8,
		<i>epidendrum</i>		9, 10, 11, 12, 13, 14,
				15, 16
	筒菌属 <i>Tubifera</i>	筒菌 <i>Tubifera</i>	腐木	9
		<i>ferruginosa</i>		
筛菌科 Cribariaceae	筛菌属 <i>Cribraria</i>	皱杯筛菌 <i>Cribraria</i>	腐木, 苔藓	1, 4, 6, 7, 9, 16
		<i>persoonii</i> *		
		紫筛菌 <i>Cribraria</i>	腐木	9
		<i>violacea</i> *		
	灯笼菌属 <i>Dictydium</i>	灯笼菌 <i>Dictydium</i>	腐木	1, 2, 4, 6, 7, 9, 12, 14,
		<i>cancellatum</i> *		15, 16
		半网灯笼菌 <i>Dictydium</i>	腐木	1, 6, 7, 16
		<i>mirabile</i> *		
团毛菌目 Trichiales				
团毛菌科 Trichiaceae	团网菌属 <i>Arcyria</i>	灰团网菌 <i>Arcyria</i>	树皮, 枯枝, 腐木	2, 3, 4, 9, 11
		<i>cinerea</i>		
		暗红团网菌 <i>Arcyria</i>	腐木	2, 3, 6, 9, 14
		<i>denudata</i>		
		锈色团网菌 <i>Arcyria</i>	腐木	9, 14
		<i>ferruginea</i>		
		粉红团网菌 <i>Arcyria</i>	腐木	2
		<i>incarnata</i>		
		鲜红团网菌 <i>Arcyria</i>	树皮, 腐木	9, 14
		<i>insignis</i> *		
		黄垂网菌 <i>Arcyria</i>	腐木, 苔藓	6, 9, 12, 15, 16
		<i>obvelata</i> *		
		异型团网菌 <i>Arcyria</i>	腐木	1
		<i>occidentalis</i> *		
		异色团网菌 <i>Arcyria</i>	腐木	9

魏鑫磊, 李姝, 窦文俊, 元宝, 王琦, 李玉 (2020) 甘肃省祁连山国家级自然保护区的黏菌物种多样性. 生物多样性, 29 (1): 65–71. <http://www.biodiversity-science.net/CN/10.17520/biods.2020050>

科	属	物种	基物类型	采集地点
Family	Genus	Species	Substrate type	Collecting site
		<i>versicolor</i> *		
	半网菌属 <i>Hemitrichia</i>	细柄半网菌	腐木	3
		<i>Hemitrichia calyculata</i>		
		棒形半网菌	腐木	2, 3, 11, 15, 16
		<i>Hemitrichia clavata</i>		
	团毛菌属 <i>Trichia</i>	滕纹团毛菌 <i>Trichia</i>	腐木, 苔藓, 松塔	1, 3, 5, 11, 14, 15
		<i>contorta</i>		
		长尖团毛菌 <i>Trichia</i>	腐木	11
		<i>decipiens</i> *		
		网抱团毛菌 <i>Trichia</i>	腐木	9, 14
		<i>favoginea</i>		
		鲜黄团毛菌 <i>Trichia</i>	腐木	1, 2, 3, 6, 9, 11, 15
		<i>lutescens</i> *		
		叉尖团毛菌 <i>Trichia</i>	树皮	14
		<i>persimilis</i> *		
绒泡菌目 Physarales				
绒泡菌科	钙丝菌属 <i>Badhamia</i>	钙丝菌 <i>Badhamia</i>	树皮, 腐木	1, 2, 4
Physaraceae		<i>capsulifera</i> *		
		灰堆钙丝菌 <i>Badhamia</i>	树皮, 腐木, 苔藓, 松塔	1, 3, 11, 12, 15, 16
		<i>cinerascens</i> *		
		彩囊钙丝菌 <i>Badhamia</i>	树皮, 腐木	1, 4, 9, 16
		<i>utricularis</i>		
	高杯菌属 <i>Craterium</i>	黄高杯菌 <i>Craterium</i>	松塔	15
		<i>aureum</i> *		
		暗高杯菌 <i>Craterium</i>	树皮, 枯枝, 枯叶, 松塔	2, 4, 6, 13
		<i>concinnum</i> *		
		白头高杯菌 <i>Craterium</i>	树皮, 枯枝, 枯草, 枯叶, 腐木, 苔	1, 2, 3, 4, 6, 9, 11, , 13,
		<i>leucocephalum</i>	藓, 马勃, 松塔	14, 16
		高杯菌 <i>Craterium</i>	枯枝, 枯叶, 腐木, 松塔	2, 3, 4, 5, 6, 9, 11, 13,
		<i>minutum</i>		16
	煤绒菌属 <i>Fuligo</i>	煤绒菌 <i>Fuligo septica</i> *	腐木, 苔藓	1, 5, 6, 12, 15
	光果菌属 <i>Leocarpus</i>	光果菌 <i>Leocarpus</i>	树皮, 枯枝, 枯草, 腐木, 苔藓, 松	1, 3, 5, 6
		<i>fragilis</i>	塔	
	绒泡菌属 <i>Physarum</i>	蓝虹绒泡菌 <i>Physarum</i>	腐木	1
		<i>bethelii</i> *		
		两瓣绒泡菌 <i>Physarum</i>	枯枝, 腐木	3, 4
		<i>bivalve</i>		
		灰绒泡菌 <i>Physarum</i>	枯枝, 腐木, 苔藓	2, 3, 9, 15
		<i>cinereum</i> *		
		金黄绒泡菌 <i>Physarum</i>	腐木	5
		<i>citrinum</i>		

魏鑫磊, 李姝, 窦文俊, 元宝, 王琦, 李玉 (2020) 甘肃省祁连山国家级自然保护区的黏菌物种多样性. 生物多样性, 29 (1): 65–71. <http://www.biodiversity-science.net/CN/10.17520/biods.2020050>

科	属	物种	基物类型	采集地点		
Family	Genus	Species	Substrate type	Collecting site		
		联合绒泡菌 <i>Physarum contextum</i> *	树皮, 枯枝, 腐木, 苔藓, 松塔	2, 3, 4, 16		
		皱皮绒泡菌 <i>Physarum gilkeyanum</i> *	树皮	9		
		全白绒泡菌 <i>Physarum globuliferum</i> *	枯枝, 苔藓	1, 9		
		白褐绒泡菌 <i>Physarum leucophaeum</i>	枯枝, 松塔	1		
		白柄绒泡菌 <i>Physarum leucopus</i> *	树皮, 枯枝, 腐木, 苔藓, 松塔	1, 2, 34, 5, 6, 9, 11, 14, 15		
		淡黄绒泡菌 <i>Physarum melleum</i> *	枯枝	2		
		垂头绒泡菌 <i>Physarum album</i>	树皮, 枯枝, 枯叶, 腐木, 苔藓, 松塔	1, 2, 3, 5, 6, 7, 9, 11, 14, 15		
		卵孢绒泡菌 <i>Physarum cf. ovisporum</i> *	树皮, 枯叶, 腐木, 松塔	3, 9, 11, 14, 15		
		绿绒泡菌 <i>Physarum viride</i> *	腐木	5, 9, 15		
		钩丝菌属	钩丝菌	腐木	9	
		<i>Willkommmlangea</i>	<i>Willkommmlangea reticulata</i> *			
		钙皮菌科 Didmiaceae	双皮菌属 <i>Diderma</i>	灰色双皮菌 <i>Diderma cinereum</i>	腐木,苔藓	3, 9
				花状双皮菌 <i>Diderma floriforme</i>	腐木	9
				球形双皮菌 <i>Diderma globosum</i> *	腐木	2
			钙皮菌属 <i>Didymium</i>	辐射双皮菌 <i>Diderma radiatum</i> *	树皮, 腐木	2, 3, 9
	白环钙皮菌 <i>Didymium anellus</i> *			腐木, 枯枝	5, 9	
	扁凹钙皮菌 <i>Didymium bahiense</i> *			树皮	3	
		钉形钙皮菌 <i>Didymium clavus</i> *	枯枝	9		
		白壳钙皮菌 <i>Didymium crustaceum</i> *	枯枝, 腐木	3, 4, 5, 6, 13, 15, 16		
		网纹钙皮菌 <i>Didymium intermedium</i> *	树皮	3		
		黄柄钙皮菌 <i>Didymium iridis</i>	树皮, 枯叶, 腐木, 松塔	1, 3, 5, 11, 16		
暗孢钙皮菌 <i>Didymium</i>		枯枝, 松塔	1, 3, 4, 9			

魏鑫磊, 李姝, 窦文俊, 元宝, 王琦, 李玉 (2020) 甘肃省祁连山国家级自然保护区的黏菌物种多样性. 生物多样性, 29 (1): 65–71. <http://www.biodiversity-science.net/CN/10.17520/biods.2020050>

科 Family	属 Genus	物种 Species	基物类型 Substrate type	采集地点 Collecting site
发网菌目 Stemonitales 发网菌科 Stemonitaceae		<i>melanospermum</i>		
		小钙皮菌 <i>Didymium minus</i>	树皮, 腐木	3
		黑柄钙皮菌 <i>Didymium nigripes</i>	树皮, 枯枝, 枯叶, 腐木, 松塔	3, 4, 6
		卵形钙皮菌 <i>Didymium ovoideum*</i>	树皮, 枯叶	3
		鳞钙皮菌 <i>Didymium squamulosum</i>	树皮, 枯枝, 腐木, 松塔	1, 4, 5, 7
		复囊钙皮菌属 <i>Mucilago crustacea</i>	腐木, 枯枝	5, 11
	亮皮菌属 <i>Lamproderma</i>	松发菌 <i>Comatricha laxa*</i>	腐木, 苔藓, 松塔	1, 2, 5
		黑发菌 <i>Comatricha nigra</i>	树皮, 枯枝, 腐木, 松塔	4, 11, 13
		美发菌 <i>Comatricha pulchella*</i>	腐木	3
		美亮皮菌 <i>Lamproderma splendens*</i>	腐木	9
	发网菌属 <i>Stemonitis</i>	锈发网菌 <i>Stemonitis axifera</i>	腐木, 苔藓	11, 12, 15, 16
		刺发网菌 <i>Stemonitis flavogenita</i>	腐木, 苔藓	3, 11, 12, 16
		褐发网菌 <i>Stemonitis fusca</i>	苔藓, 腐木	15, 16
		亚小发网菌 <i>Stemonitis smithii</i>	苔藓	12
	拟发网菌属 <i>Stemonitopsis</i>	网抱拟发网菌 <i>Stemonitopsis dictyospora*</i>	腐木	3, 15