



•研究报告•

小兴安岭两种林地的黏菌物种多样性

赵凤云¹ 李 玉¹ Tom Hsiang² 刘淑艳^{1*}

1 (吉林农业大学食药菌教育部工程研究中心, 长春 130118, 中国)

2 (Environmental Sciences, University of Guelph, Guelph N1G 2W1, Ontario, Canada)

摘要: 黏菌广泛分布于森林生态系统中, 并在生态系统的物质循环过程中发挥重要的功能。为了探讨黏菌在小兴安岭森林中的物种多样性及其分布, 本文对该地区的汤旺河兴安石林森林公园和胜山国家级自然保护区系统开展黏菌多样性调查研究。在2个地区共采集黏菌标本248份, 基于形态学特征共鉴定出4目8科17属44种黏菌, 其中 *Craterium dictyosporum*、垂头绒泡菌(*Physarum album*)和 *Reticularia splendens* var. *jurana*等10个种为黑龙江省首次报道。多样性分析结果显示, 汤旺河兴安石林森林公园针阔混交林的黏菌物种多样性(36种)高于胜山国家级自然保护区红松(*Pinus koraiensis*)林内的黏菌物种多样性(25种), 其中两地间共有的黏菌有17种, 黏菌物种组成的相似性(C_s)为55.7%。绿绒泡菌(*Physarum viride*)是针阔混交林内的优势种, 蛇形半网菌(*Hemitrichia serpula*)是红松林内的优势种。研究结果表明植被类型对黏菌的物种组成和多样性有着重要的影响。

关键词: 黏菌纲; 绒泡菌目; 新记录; 分类学

Species diversity of myxomycetes in two forests of the Lesser Khinggan Mountains, China

Fengyun Zhao¹, Yu Li¹, Tom Hsiang², Shuyan Liu^{1*}

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

2 Environmental Sciences, University of Guelph, Guelph N1G 2W1, Ontario, Canada

Abstract: Myxomycetes are widely distributed in forest ecosystems and play an important role in nutrient cycling. The diversity and distribution of myxomycetes in two forests of the Lesser Khinggan Mountains, China were examined in Tangwanghexing'an shilin Forest Park and Shengshan National Nature Reserve. A total of 248 samples of myxomycetes were collected and identified to 44 species belonging to 17 genera of eight families in four orders based on morphological characteristics. Ten new species were recorded in Heilongjiang Province, such as *Craterium dictyosporum*, *Physarum album* and *Reticularia splendens* var. *jurana*. The species diversity of myxomycetes was higher in Tangwanghexing'an shilin Forest Park (36 species) than in Shengshan National Nature Reserve (25 species). Among the 44 species, 17 species were found in both sites and the composition similarity (C_s) was 55.7%. *Physarum viride* was the most dominant species in mixed coniferous and broad-leaved forests. *Hemitrichia serpula* was the most dominant species in *Pinus koraiensis* forest. This study suggests that vegetation type has an important influence on the species composition and diversity of myxomycetes.

Key words: Myxomycetes; Physarales; new record; taxonomy

黏菌是世界性普遍分布的生物类群(Martin & Alexopoulos, 1969; 李玉, 2007; Poulain et al, 2011), 只要条件适宜, 地球上植物残体的地方都可以有

黏菌的存在, 它是生态系统中的重要分解者之一 (Schnittler & Stephenson, 2000; Rojas & Stephenson, 2012; Takahashi & Hada, 2012; Fiore-Donno et al,

收稿日期: 2019-01-28; 接受日期: 2019-04-25

基金项目: 科技部科技基础性工作专项(2014FY210400)和高等学校学科创新引智计划(D17014)

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: liussyan@163.com

2016)。黏菌多喜欢生长在潮湿的森林,但也出现在一些较为极端的环境中(Martin & Alexopoulos, 1969; 李玉, 2007; Fiore-Donno et al, 2012)。大量研究表明不同地理环境和气候条件导致黏菌的物种组成和多样性存在差异。影响黏菌物种组成和多样性的因素有温度、湿度、林型、海拔高度和土壤pH值等(Ronikier & Ronikier, 2009; Kamono et al, 2013; Schnittler et al, 2015), 其中林型是重要的影响因素之一, 不同林型内黏菌的物种组成和多样性具有较大差异(Ndiritu et al, 2009; Wrigley de Basanta et al, 2010; Takahashi & Hada 2012; Takahashi, 2013)。从气候带来看, 近些年来研究主要集中在热带和亚热带森林内黏菌的物种组成和多样性分析(Stephenson et al, 2004; 宋天鹏和陈双林, 2014; Dagamac et al, 2015)。在国内, 北温带地区黏菌的物种多样性研究主要是在长白山(杨乐等, 2004; 图力古尔等, 2005)、华北和西北地区(戴群等, 2013; Schnittler et al, 2013)。而对中国的北方地区, 特别是大小兴安岭地区黏菌的物种多样性的研究还未见报道。本文选择位于小兴安岭地区的汤旺河兴安石林森林公园和胜山国家级自然保护区为代表, 研究其黏菌的物种组成和多样性, 同时比较红松(*Pinus koraiensis*)林和针阔混交林两种林型内黏菌的物种组成、多样性及相似性, 以期为进一步研究和评价中国北温带地区黏菌物种多样性奠定基础。

1 研究地点与样品采集

汤旺河兴安石林森林公园(48°23'–48°29' N, 126°15'–127°30' E)位于黑龙江省伊春市, 属于小兴安岭山脉, 海拔354–703 m。园内植被十分丰富, 以红松针叶、阔叶混交的原始林为主, 分布着大量云杉(*Picea asperata*)、落叶松(*Larix gmelinii*)和白桦(*Betula platyphylla*)等。胜山国家级自然保护区(49°25'–49°40' N, 126°27'–127°02' E)位于黑龙江省黑河市, 地处小兴安岭西北坡, 毗邻大兴安岭林区, 为大小兴安岭生物交错过渡带。该保护区平均海拔450 m, 相对高度为100–200 m, 最高峰海拔753.5 m; 保护区内生物多样性程度较高, 红松是其重点保护物种, 是我国红松分布最北部界线。小兴安岭属北温带大陆季风气候区, 四季分明, 气候比较湿润, 为黏菌的生长提供了良好的环境条件。

本研究选择针阔混交林(汤旺河兴安石林森林公园)和红松林(胜山国家级自然保护区)两种林型, 对其中的黏菌物种组成和多样性进行调查研究。在针阔混交林区和红松林区各设置3个调查样地, 每个样地面积为20 m × 20 m。2014年、2016年和2017年对汤旺河兴安石林森林公园共进行了3次调查; 2014年和2015年对胜山国家级自然保护区共进行了2次调查。

2 形态学分类鉴定

通过体式显微镜镜检后, 去掉无法鉴定到种以及质量有问题的标本, 剩余的标本参与本次研究。

用微距相机对采集到的标本进行子实体照相(SONY, 镜头SEL30M35)。在解剖镜(SONY, SLT-A33)下对标本的子实体类型、颜色、大小等特征进行观察并记录。制作显微装片后, 在显微镜(LEICA, DM2000)下对孢丝、假孢丝、石灰质、石灰结、囊轴、孢子等特征进行观察、照相、测量和记录。黏菌的鉴定按照Martin和Alexopoulos (1969)以及Poulain等(2011)的分类系统。

3 数据分析

相对多度(relative abundance, RA): 定义为通过采集获得某种黏菌的样本数占全部黏菌样本数的百分比。物种多样性指数(H')使用Shannon-Wiener公式计算(马克平和刘玉明, 1994): $H' = -\sum P_i \ln P_i$, 式中 P_i 为物种 i 在整个群落中所占的比例。相似性系数(C_s)采用Sorenson公式计算(马克平等, 1995): $C_s = 2j/(a+b)$, 其中, a 为A地的物种数, b 为B地的物种数, j 为两地共有物种数。物种组成对比的韦恩(Venn)图的绘制和修饰在Microsoft Office PowerPoint中完成。

4 结果

在汤旺河兴安石林森林公园和胜山国家级自然保护区共采集黏菌标本248份, 通过形态学方法共鉴定黏菌4目8科17属44种(表1)。团毛菌目(Trichiales) 16种, 绒泡菌目(Physarales) 15种, 无丝菌目(Liceales) 8种, 发网菌目(Stemonitales) 5种。其中*Craterium dictyosporum*、垂头绒泡菌(*Physarum album*)和*Reticularia splendens* var. *jurana*等10个种是首次报道的黑龙江新记录种(表1, 图1)。

表1 汤旺河兴安石林森林公园和胜山国家级自然保护区44种黏菌相对多度

Table 1 Relative abundance of 44 myxomycetes species collected from Tangwanghexing'an shilin Forest Park and Shengshan National Nature Reserve

属 Genus	种名 Species	相对多度 Relative abundance (%)	
		汤旺河 Tangwanghe	胜山 Shengshan
线膜菌属 <i>Reticularia</i>	<i>Reticularia splendens</i> var. <i>jurana</i> *	4.92	2.38
筛菌属 <i>Cribraria</i>	灯笼菌 <i>Cribraria cancellatum</i> var. <i>cancellatum</i>	2.46	—
	锈红筛菌 <i>Cribraria ferruginea</i> *	0.82	—
	皱杯筛菌 <i>Cribraria personii</i> *	0.82	—
	紫筛菌 <i>Cribraria purpurea</i>	1.34	—
粉瘤菌属 <i>Lycogala</i>	粉瘤菌 <i>Lycogala epidendrum</i>	7.34	11.11
	小粉瘤菌 <i>Lycogala exiguum</i>	1.34	1.59
筒菌属 <i>Tubifera</i>	筒菌 <i>Tubifera ferruginosa</i> *	3.28	—
双皮菌属 <i>Diderma</i>	球形双皮菌 <i>Diderma globosum</i>	0.82	—
钙皮菌属 <i>Didymium</i>	小钙皮菌 <i>Didymium minus</i> *	0.82	—
	鳞钙皮菌 <i>Didymium squamulosum</i>	2.46	0.79
高杯菌属 <i>Craterium</i>	<i>Craterium dictyosporum</i> *	1.34	3.17
	白头高杯菌 <i>Craterium leucocephalum</i>	—	1.59
	高杯菌 <i>Craterium minutum</i>	1.34	—
煤绒菌属 <i>Fuligo</i>	煤绒菌 <i>Fuligo septica</i>	—	1.59
光果菌属 <i>Leocarpus</i>	光果菌 <i>Leocarpus fragilis</i>	0.82	0.79
绒泡菌属 <i>Physarum</i>	垂头绒泡菌 <i>Physarum album</i> *	6.56	3.97
	两瓣绒泡菌 <i>Physarum bivalve</i>	0.82	—
	灰绒泡菌 <i>Physarum cinereum</i>	0.82	0.79
	全白绒泡菌 <i>Physarum globuliferum</i>	—	2.38
	淡黄绒泡菌 <i>Physarum melleum</i>	—	0.79
	小绒泡菌 <i>Physarum pusillum</i>	—	1.59
	绿绒泡菌 <i>Physarum viride</i>	17.21	3.97
发网菌属 <i>Stemonitis</i>	锈发网菌 <i>Stemonitis axifera</i>	6.56	—
	褐发网菌 <i>Stemonitis fusca</i>	3.28	—
	草生发网菌 <i>Stemonitis herbatica</i>	1.34	—
	美发网菌 <i>Stemonitis splendens</i>	0.82	1.59
拟发网菌属 <i>Stemonitopsis</i>	香蒲拟发网菌 <i>Stemonitopsis typhina</i>	2.46	—
被网菌属 <i>Arcyodes</i>	<i>Arcyodes incarnate</i> *	0.82	—
团网菌属 <i>Arcyria</i>	灰团网菌 <i>Arcyria cinerea</i>	9	7.14
	锈色团网菌 <i>Arcyria ferruginea</i>	—	0.79
	瑞士团网菌 <i>Arcyria helvetica</i> *	3.28	0.79
	小红团网菌 <i>Arcyria minuta</i>	—	0.79
	滕纹团网菌 <i>Arcyria stipata</i>	—	5.56
变毛菌属 <i>Metatrichia</i>	暗红变毛菌 <i>Metatrichia vesparium</i>	1.34	10.32
半网菌属 <i>Hemitrichia</i>	细柄半网菌 <i>Hemitrichia calyculata</i>	3.28	3.17
	棒形半网菌 <i>Hemitrichia clavata</i>	0.82	1.59
	蛇形半网菌 <i>Hemitrichia serpula</i>	0.82	16.28
团毛菌属 <i>Trichia</i>	光丝团毛菌 <i>Trichia affinis</i> *	1.34	15.08
	栗褐团毛菌 <i>Trichia botrytis</i>	0.82	—
	长尖团毛菌 <i>Trichia decipiens</i>	3.28	—
	网孢团毛菌 <i>Trichia favoginea</i>	1.34	—
	环壁团毛菌 <i>Trichia varia</i>	0.82	—
	疣壁团毛菌 <i>Trichia verrucosa</i>	0.82	—

* 表示黑龙江省新记录种 * New record species in Heilongjiang Province

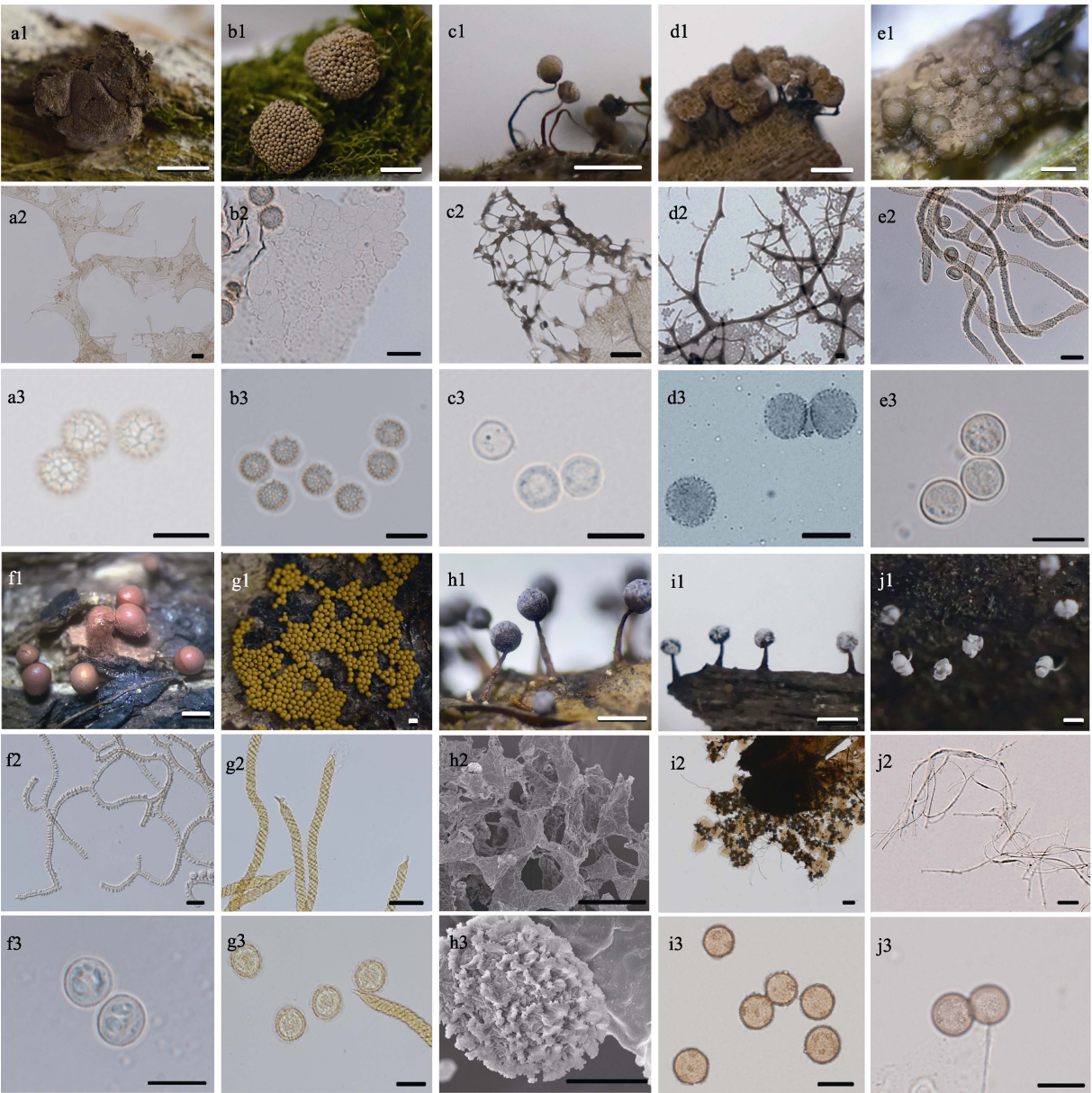


图1 10个黑龙江省新记录种的形态特征组图。a1–a3: *Reticularia splendens* var. *jurana*; b1–b3: 筒菌; c1–c3: *Cribraria persoonii*; d1–d3: 锈红筛菌; e1–e3: *Arcyodes incarnata*; f1–f3: 瑞士团网菌; g1–g3: *Trichia affinis*; h1–h3: *Craterium dictyosporum*; i1–i3: 小钙皮菌; j1–j3: 垂头绒泡菌。标尺: a1, h1 = 5 mm; b1, f1 = 2 mm; c1, g1, i1, j1= 1 mm; d1, e1 = 0.5 mm; b2, h2 = 50 μ m; c2 = 25 μ m; h3 = 5 μ m; 其他 = 10 μ m。

Fig. 1 Morphological characteristics of 10 new record species in Heilongjiang Province. a1–a3, *Reticularia splendens* var. *jurana*; b1–b3, *Tubifera ferruginosa*; c1–c3, *Cribraria persoonii*; d1–d3, *Cribraria ferruginea*; e1–e3, *Arcyodes incarnata*; f1–f3, *Arcyria helvetica*; g1–g3, *Trichia affinis*; h1–h3, *Craterium dictyosporum*; i1–i3, *Didymium minus*; j1–j3, *Physarum album*. Bars: a1, h1 = 5 mm; b1, f1 = 2 mm; c1, g1, i1, j1= 1 mm; d1, e1 = 0.5 mm; b2, h2 = 50 μ m; c2 = 25 μ m; h3 = 5 μ m; Others = 10 μ m.

4.1 汤旺河兴安石林森林公园黏菌的物种组成特征

在汤旺河兴安石林森林公园采集标本122份,通过形态学鉴定共获得黏菌4目8科16属36种(表1)。其中团毛菌目13种,绒泡菌目10种,无丝菌目8种,发网菌目5种(表2)。

在这36种中,绿绒泡菌(*Physarum viride*)是优势种,相对多度达到17.21%。其中相对多度在5%–10%之间的物种有灰团网菌(*Arcyria cinerea*, 9.00%)、粉瘤菌(*Lycogala epidendrum*, 7.34%)、垂头绒泡菌(6.56%)和锈发网菌(*Stemonitis axifera*, 6.56%) (表1); 相对多度在3%–5%之间的物种有瑞

表2 红松林(胜山)和针阔混交林(汤旺河)两种林型内黏菌物种数、相对多度和物种多样性指数**Table 2 Species number, relative abundance and diversity index of myxomycetes in *Pinus koraiensis* forest (Shengshan) and Mixed forest (Tangwanghe)**

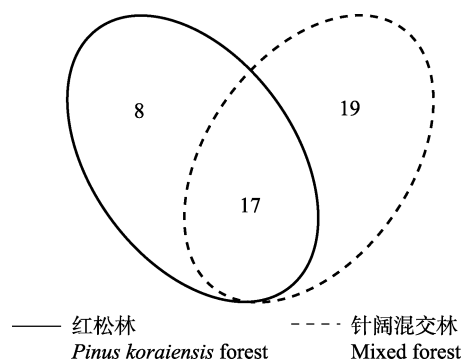
目 Order	红松林 <i>Pinus koraiensis</i> forest			针阔混交林 Mixed forest		
	科数 No. of family	属数 No. of genus	种数 No. of species	科数 No. of family	属数 No. of genus	种数 No. of species
无丝菌目 Liceales	2	2	3	3	4	8
绒泡菌目 Physarales	2	5	11	2	5	10
发网菌目 Stemonitales	1	1	1	1	2	5
团毛菌目 Trichiales	2	4	10	2	5	13
合计 Total	7	12	25	8	16	36
相对多度 Relative abundance		56.82%			81.82%	
Shannon-Wiener指数 Shannon-Wiener index		2.72			3.06	

士团网菌(*Arcyria helvetica*, 3.28%)、细柄半网菌(*Hemitrichia calyculata*, 3.28%)、*Reticularia splendens* var. *jurana* (4.92%)、褐发网菌(*Stemonitis fusca*, 3.28%)、长尖团毛菌(*Trichia decipiens*, 3.28%)和筒菌(*Tubifera ferruginosa*, 3.28%); 相对多度在1%–3%之间的物种有*Craterium dictyosporum* (1.34%)、灯笼菌(*Cribraria cancellatum* var. *cancellatum*, 2.46%)和鳞钙皮菌(*Didymium squamulosum*, 2.46%)等11个种; 而相对多度小于1%的物种有栗褐团毛菌(*Trichia botrytis*)、环壁团毛菌(*T. varia*)、疣壁团毛菌(*T. verrucosa*)等14个种(表1)。汤旺河兴安石林森林公园黏菌物种多样性指数为3.06(表2)。

4.2 胜山国家级自然保护区黏菌的物种组成特征

在胜山国家级自然保护区采集标本126份, 通过形态学鉴定共获得黏菌4目7科12属25种(表1)。其中无丝菌目3种, 团毛菌目10种, 绒泡菌目11种, 发网菌目1种(表2)。

在这25个种中, 蛇形半网菌(*Hemitrichia serpula*)是优势种, 相对多度达到16.28%, 其次是光丝团毛菌(*Trichia affinis*, 15.08%), 粉瘤菌(11.11%)和暗红变毛菌(*Metatrichia vesparium*, 10.32%)。其中相对多度在5%–10%之间的物种有滕纹团网菌(*Arcyria stipata*, 5.56%)和灰团网菌(7.14%); 相对多度在3%–5%之间的物种有*Craterium dictyosporum* (3.17%)、细柄半网菌(3.17%)、垂头绒泡菌(3.97%)和绿绒泡菌(3.97%); 相对多度在1%–3%之间的物种有白头高杯菌(*Craterium leucocephalum*, 1.59%)、煤绒菌(*Fuligo septica*, 1.59%)和棒形半网菌(*Hemitrichia clavata*, 1.59%)等8个种; 锈色团网菌(*Arcyria*

**图2 红松林和针阔混交林两种林型内黏菌物种组成对比的韦恩图****Fig. 2 Venn diagram of species comparison of myxomycetes in *Pinus koraiensis* forest and mixed forest**

ferruginea)、*A. helvetica*、*A. minuta*等其余7个种为稀有种, 相对多度小于1%(表1)。胜山国家级自然保护区黏菌物种多样性指数为2.72(表2)。

4.3 两种林型内黏菌的物种组成和多样性

通过比较针阔混交林(汤旺河兴安石林森林公园)和红松林(胜山国家级自然保护区)两个林型内的物种多样性, 进一步分析多种植被林型和单一植被林型内黏菌的物种组成差异。

在44种黏菌中, 紫筛菌(*Cribraria purpurea*)、香蒲拟发网菌(*Stemonitopsis typhina*)和环壁团毛菌等19种仅在针阔混交林内被发现(表1, 图2)。锈色团网菌、全白绒泡菌(*Physarum globuliferum*)和煤绒菌等8种仅在红松林内被发现(表1, 图2)。对比两种林型内的黏菌物种多样性指数, 发现针阔混交林内的多样性指数比红松林内的多样性指数略高, 表明含有多种植被的林型比单一植被林型内的黏菌物种相对丰富。

4.4 两种林型内黏菌的物种组成相似性

针阔混交林和红松林内发生的黏菌在目级水平上一致,均以绒泡菌目和团毛菌目为主,且都在10种以上,其余的物种数在10种以下(表2)。针阔混交林内特有的种有19个,红松林内特有的种有8个,两种林型内共有物种17个(表1,图2)。17个共有物种分别占针阔混交林内黏菌种数的47.2%和红松林内黏菌种数的68.0%,两种林型内的物种组成相似性(C_S)为55.7%,表明两地黏菌物种组成相似性差异较大。

5 讨论

黏菌在世界上普遍分布,多数喜欢生长在潮湿的森林里,有时也生长在极端环境下(Mandeel & Blackwell, 2008; Fiore-Donno et al, 2012)。本研究选择位于小兴安岭的汤旺河兴安石林森林公园和胜山国家级自然保护区为研究地,分析了中国北部温带地区不同林型内的黏菌物种多样性。结果表明:汤旺河兴安石林森林公园内黏菌物种多样性指数为3.06,胜山国家级自然保护区黏菌物种多样性指数为2.72,在不考虑研究地大小等因素的影响时,对比已经报道的物种多样性指数(Stephenson et al, 1999; Rojas & Stephenson, 2008; 戴群等, 2013; 宋天鹏和陈双林, 2014),发现本文两个研究地的黏菌物种均很丰富。

针阔混交林内的多样性指数比红松林内的多样性指数略高,表明针阔混交林比红松林内的黏菌物种相对丰富,与目前大多数研究一致。例如对吉林长白山黏菌多样性的研究表明,针阔混交林的物种多样性指数比单一的针叶林和高山岳桦(*Betula ermanii*)林的物种多样性指数高(陈双林和李玉, 2009)。图力古尔等(2005)对长白山的研究结果表明,与松树类(*Pinus* spp.)、栎树类(*Quercus* spp.)和槭树类(*Acer* spp.)等林型的黏菌物种组成相比,水曲柳(*Fraxinus mandschurica*) + 蒙古栎(*Quercus mongolica*) + 红松林群落中的黏菌多样性最丰富。

但也有研究表明单一植被林型内的黏菌物种也很丰富。例如:朱鹤等(2013)对内蒙古樟子松(*Pinus sylvestris* var. *mongolica*)林下的黏菌进行了资源调查,发现虽然林型较单一,但是黏菌的物种分布还是较丰富的;Schnittler等(2013)在新疆天山的杨树(*Populus* spp.)林内发现了53种黏菌,同样证

明了单一林型的黏菌物种组成丰富。

本研究中两种林型内的黏菌物种组成相似性(C_S)为55.7%,显示植被类型对黏菌的物种组成和多样性有着重要的影响,这与前人的研究结果较一致(戴群等, 2013; Takahashi, 2013)。

在本次研究获得的44种黏菌中,有*Craterium dictyosporum*、垂头绒泡菌和*Reticularia splendens* var. *jurana*等10个种是黑龙江首次报道,为黑龙江省新记录种。

参考文献

- Bau T, Yang L, Li Y (2005) Ecological diversity of myxomycetes in *Pinus koraiensis* broad-leaved mixed forests of Changbai Mountains. *Acta Ecologica Sinica*, 25, 3133–3140. (in Chinese with English abstract) [图力古尔, 杨乐, 李玉 (2005) 长白山红松阔叶林黏菌生态多样性. *生态学报*, 25, 3133–3140.]
- Chen SL, Li Y (2009) A survey on species diversity of myxomycetes from Changbai Mountains in China. In: The 9th Cross-Strait Symposium on Mycology and the 2nd Symposium on Edible and Medicinal Fungi. Taiwan in China. (in Chinese with English abstract) [陈双林, 李玉 (2009) 中国长白山黏菌物种多样性调查. 见: 2009年海峡两岸第九届真菌暨第二届食用菌学术研讨会. 中国台北.]
- Dagamac NHA, Rea-Maminta MAD, Batungbacal NS, Jung SH, Bulang CRT, Cayago AGR, dela Cruz TEE (2015) Diversity of plasmodial slime molds (myxomycetes) in coastal, mountain, and community forests of Puerto Galera, Oriental Mindoro, the Philippines. *Journal of Asia-Pacific Biodiversity*, 8, 322–329.
- 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.]
- Fiore-Donno AM, Kamono A, Meyer M, Schnittler M, Fukui M, Cavalier-Smith T (2012) 18S rDNA phylogeny of *Lamproderma* and allied genera (Stemonitales, Myxomycetes, Amoebozoa). *PLoS ONE*, 7, e35359.
- Fiore-Donno AM, Weinert J, Wubet T, Bonkowski M (2016) Metacommunity analysis of amoeboid protists in grassland soils. *Scientific Reports*, 6, 19068.
- Kamono A, Meyer M, Cavalier-Smith T, Fukui M, Fiore-Donno AM (2013) Exploring slime mould diversity in high-altitude forests and grasslands by environmental RNA analysis. *FEMS Microbiology Ecology*, 84, 98–109.
- Li Y (2007) *Flora Fungotum Sinicorum* (Myxomycetes I, II). Science Press, Beijing. (in Chinese) [李玉 (2007) 中国真菌志(黏菌卷I, II). 科学出版社, 北京.]
- Ma KP, Liu YM (1994) Measurement of biotic community

diversity. I. α diversity (Part 2). Chinese Biodiversity, 2, 231–239. (in Chinese) [马克平, 刘玉明 (1994) 生物群落多样性的测度方法. I. α 多样性的测度方法(下). 生物多样性, 2, 231–239.]

- Ma KP, Liu CR, Liu YM (1995) Measurement of biotic community diversity. II. β diversity. Chinese Biodiversity, 3, 38–43. (in Chinese) [马克平, 刘灿然, 刘玉明 (1995) 生物群落多样性的测度方法. II. β 多样性的测度方法. 生物多样性, 3, 38–43.]
- Mandee QA, Blackwell M (2008) Rare or rarely collected? *Comatricha mirabilis* from the desert of Bahrain. Mycologia, 100, 742–745.
- Martin GW, Alexopoulos CJ (1969) The Myxomycetes. University of Iowa, Iowa.
- Ndiritu GG, Spiegel FW, Stephenson SL (2009) Distribution and ecology of the assemblages of myxomycetes associated with major vegetation types in Big Bend National Park, USA. Fungal Ecology, 2, 168–183.
- Poulain M, Meyer M, Bozonnet J (2011) Les Myxomycètes. Fédération Mycologique et Botanique Dauphiné-Savoie, France.
- Rojas C, Stephenson SL (2008) Myxomycete ecology along an elevation gradient on Cocos Island, Costa Rica. Fungal Diversity, 29, 117–127.
- Rojas C, Stephenson SL (2012) Rapid assessment of the distribution of myxomycetes in a southwestern Amazon forest. Fungal Ecology, 5, 726–733.
- Ronikier A, Ronikier M (2009) How ‘alpine’ are nivicolous myxomycetes? A worldwide assessment of altitudinal distribution. Mycologia, 101, 1–16.
- Schnittler M, Erastova DA, Shchepin ON, Heinrich E, Novozhilov YK (2015) Four years in the Caucasus—Observations on the ecology of nivicolous myxomycetes. Fungal Ecology, 14, 105–115.
- Schnittler M, Novozhilov YK, Carvajal E, Spiegel FW (2013) Myxomycete diversity in the Tarim basin and eastern Tianshan, Xinjiang Prov., China. Fungal Diversity, 59, 91–108.
- Schnittler M, Stephenson SL (2000) Myxomycete biodiversity in four different forest types in Costa Rica. Mycologia, 92, 626–637.
- Song TP, Chen SL (2014) Species diversity of myxomycetes in Huanglian Mountain National Nature Reserve of Yunnan Province, China. Journal of Ecology and Rural Environment, 30, 458–463. (in Chinese with English abstract) [宋天鹏, 陈双林 (2014) 黄连山自然保护区黏菌的物种多样性. 生态与农村环境学报, 30, 458–463.]
- Stephenson SL, Landolt JC, Moore DL (1999) Protostelids, dictyostelids, and myxomycetes in the litter microhabitat of the Luquillo experimental forest, Puerto Rico. Mycological Research, 103, 209–214.
- Stephenson SL, Schnittler M, Lado C (2004) Ecological characterization of a tropical myxomycete assemblage—Maquipucuna Cloud Forest Reserve, Ecuador. Mycologia, 96, 488–497.
- Takahashi K (2013) Myxomycete distribution varies among leaf litters of different vegetation in a local secondary forest of warm-temperate western Japan. Mycoscience, 54, 368–377.
- 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.
- Wrigley de Basanta D, Lado D, Estrada-Torres C, Stephenson LS (2010) Biodiversity of myxomycetes in subantarctic forests of Patagonia and Tierra del Fuego, Argentina. Nova Hedwigia, 90, 45–79.
- Yang L, Bau T, Li Y (2004) Floristic diversity of myxomycetes in Changbai Mountains. Journal of Fungal Research, 2, 31–34. (in Chinese) [杨乐, 图力古尔, 李玉 (2004) 长白山黏菌区系多样性研究. 菌物研究, 2, 31–34.]
- Zhu H, Li S, Song XX, Zhao YJ, Wang Q, Li Y (2013) A report on myxomycetes from Inner Mongolia forest of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* Litv. Journal of Northeast Forestry University, 41, 124–128. (in Chinese with English abstract) [朱鹤, 李姝, 宋晓霞, 赵雨霁, 王琦, 李玉 (2013) 内蒙古樟子松林黏菌资源报道. 东北林业大学学报, 41, 124–128.]

(责任编辑: 郭良栋 责任编辑: 黄祥忠)