

周家喜, 邹晓, 周叶鸣. 尧人山国家森林公园虫生真菌资源初步调查[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(18): 244–248.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.18.063

# 尧人山国家森林公园虫生真菌资源初步调查

周家喜, 邹晓, 周叶鸣

(贵州大学生命科学学院真菌资源研究所, 贵州贵阳 550025)

**摘要:**于 2015 年 9 月对贵州省尧人山国家森林公园虫生真菌资源进行初步调查, 共采集 16 个标本, 基于 ITS1 – 5.8S – ITS2 rDNA 基因序列, 对采集标本分离菌株进行培养鉴定。结果发现, 标本分属 3 科 7 属 10 种, 主要有白僵菌属、棒束孢属、蜡蚧菌属、线性虫草属、被毛包属、多头霉属、枝穗霉属, 其中白僵菌属为优势属, 寄主以鳞翅目昆虫为主。调查结果为该地区虫生真菌资源的分布、多样性和利用提供了参考。

**关键词:**虫生真菌; 资源调查; 分类鉴定; 尧人山国家森林公园; 寄主; 多样性; 标本统计; 分子鉴定

**中图分类号:** Q – 9      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1002 – 1302 (2017) 18 – 0244 – 05

虫生真菌指一类能寄生在寄主体内和体表的真菌, 包括引起寄主致死的昆虫病原真菌如白僵菌, 专性寄生昆虫体表降低寄主活力的虫寄生菌如虫囊菌, 与各种昆虫共生的共生菌如多毛菌<sup>[1]</sup>, 寄生在线虫、变形虫、轮虫等小动物上的捕食

性真菌如捕食线虫性真菌 *Duddingtonia flagran*<sup>[2]</sup>。虫生真菌寄主范围较广, 除多种昆虫外, 还包括蜘蛛、螨类、线虫、轮虫、蜈蚣等多种动物<sup>[3]</sup>。

自然界中虫生真菌资源极为丰富, 广泛分布于壶菌门、子囊菌门、接合菌门、担子菌门、半知菌门等各个亚门中<sup>[4]</sup>。据不完全统计, 目前世界上报道的虫生真菌约有 100 多个属 800 多种<sup>[2]</sup>。我国虫生真菌资源也很丰富, 已发现记载的昆虫病原真菌涉及 40 多个属 400 多种<sup>[5]</sup>, 其中捕食和寄生线虫真菌 140 种, 虫草属真菌 120 种<sup>[6–7]</sup>。虫生真菌与人类生活关系密切, 涉及食用、药用、生防等多个方面。在古代, 我国就曾有食用白僵蚕、冬虫夏草、蝉花等虫生真菌的记载<sup>[8]</sup>。研究发现, 部分虫生真菌(蛹虫草、冬虫夏草、蝉花等)具有强肾、润肺、通精气及抗菌、抗病毒、抗肿瘤、抗疲劳、抗衰老、降

收稿日期: 2016 – 04 – 21

基金项目: 国家自然科学基金(编号: 31360031); 国家自然科学基金重大项目(编号: 31093440); 贵州省农业科技攻关项目(编号: 黔科合 NY[2013]3034)。

作者简介: 周家喜(1990—), 男, 云南保山人, 硕士研究生, 主要从事微生物生态学研究。E-mail: 1552047449@qq.com。

通信作者: 邹晓, 博士, 教授, 主要从事真菌资源与利用及生态学研究。E-mail: coprinus@126.com。

[16] Zhang Z, Sun K, Gao B, et al. Adsorption of tetracycline on soil and sediment: effects of pH and the presence of Cu(II) [J]. Journal of Hazardous Materials, 2011, 190(1/2/3): 856–862.

[17] Bui T X, Choi H. Influence of Ionic strength, anions, cations, and natural organic matter on the adsorption of pharmaceuticals to silica [J]. Chemosphere, 2010, 80(7): 681–686.

[18] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2000.

[19] 张辉, 张佳宝, 赵炳梓, 等. 高温高压间歇灭菌对中国典型土壤性质的影响[J]. 土壤学报, 2011, 48(3): 540–548.

[20] Chen W W, Kang C L, Li Y E, et al. Effect of root exudates on pentachlorophenol adsorption by soil and its main chemical components [J]. International Journal of Environment and Pollution, 2013, 52(1/2): 1–14.

[21] Sassman S A, Lee L S. Sorption of three tetracyclines by several soils: assessing the role of pH and cation exchange [J]. Environmental Science & Technology, 2005, 39(19): 7452–7459.

[22] 齐会勉, 吕亮, 乔显亮. 抗生素在土壤中的吸附行为研究进展[J]. 土壤, 2009, 41(5): 703–708.

[23] Mackay A A, Canterbury B. Oxytetracycline sorption to organic matter by metal-bridging [J]. Journal of Environmental Quality, 2005, 34(6): 1964–1971.

[24] Pils J R, Laird D A. Sorption of tetracycline and chlortetracycline on

K- and Ca-saturated soil clays, humic substances, and clay-humic complexes [J]. Environmental Science & Technology, 2007, 41(6): 1928–1933.

[25] 万莹, 鲍艳宇, 周启星. 土壤有机质和镉对金霉素吸附-解吸的影响[J]. 环境科学, 2010, 31(12): 3050–3055.

[26] 刘廷凤, 陈成, 王涛, 等. 铜对两种农药在砂土上吸附的影响[J]. 环境科学与技术, 2010, 33(2): 19–22.

[27] 陈励科, 马婷婷, 潘霞, 等. 复合污染土壤中土霉素的吸附行为及其对土壤重金属解吸影响的研究[J]. 土壤学报, 2015, 52(1): 104–111.

[28] Wan Y, Bao Y, Zhou Q. Simultaneous adsorption and desorption of cadmium and tetracycline on cinnamon soil [J]. Chemosphere, 2010, 80(7): 807–812.

[29] 孟丽红, 夏星辉, 余晖, 等. 多环芳烃在黄河水体颗粒物上的表面吸附和分配作用特征[J]. 环境科学, 2006, 27(5): 892–897.

[30] Wang Y J, Jia D A, Sun R J, et al. Adsorption and cosorption of tetracycline and copper(II) on montmorillonite as affected by solution pH [J]. Environmental Science & Technology, 2008, 42(9): 3254–3259.

[31] Figueroa R A, Leonard A, Mackay A A. Modeling tetracycline antibiotic sorption to clays [J]. Environmental Science & Technology, 2004, 38(2): 476–483.

血脂血糖、提高人体免疫力等药用功效<sup>[9-10]</sup>。由于虫生真菌种类多、安全有效、容易大量生产,所以在害虫防治、植物病害、杂草防治等生物防治方面可发挥重要作用<sup>[11]</sup>,常见的真菌杀虫剂有球孢白僵菌<sup>[12]</sup>、金龟子绿僵菌<sup>[13]</sup>、玫烟色拟青霉<sup>[14]</sup>、蜡蚧轮枝菌<sup>[15]</sup>、汤普生被毛孢<sup>[16]</sup>等。此外,虫生真菌还含有虫草多糖、虫草酸、腺苷等多种活性成分,在医药保健品、化妆品及其他领域用品的开发应用上具有很大潜力<sup>[17]</sup>。但由于虫生真菌分布十分广泛,不同生境条件下分离获得的同一种类的菌株间在数量和致病性上存在显著差异<sup>[18]</sup>。实践中,多数虫生真菌的产孢量、生长速度、活性产物的产生、毒力等方面存在差异,而且存在退化比较严重的现象<sup>[11]</sup>。因此,开展虫生真菌种类资源及分布研究,对发现新资源、开发新的生物制品及筛选高效生防菌具有十分重要的理论意义和应用价值。

尧人山国家森林公园位于贵州省黔南布依族苗族自治州三都水族自治县都柳江畔(107°53′~107°58′E,24°54′~25°59′N),海拔560~1365 m,总面积5718.5 hm<sup>2</sup>。公园内群山连绵,峰峦叠嶂,堪称“水乡绿海,黔南明珠”;气候温和湿润,属中亚热带季风气候,年平均温度为18℃,年降水量为1349.5 mm<sup>[19]</sup>。该区森林资源丰富,约有5/6的面积尚处于原始森林状态,森林覆盖率达90.87%,素有“百里林海”之称;园内生态环境稳定,林深树密,树种繁多,动物资源丰富,是野生动物的乐园<sup>[20]</sup>。公园特殊的生态环境和优越的气候条件,蕴藏着丰富的虫生真菌资源;丰富多样的植被,温暖湿润的气候,为昆虫、蜘蛛、螨等节肢动物的生长、繁衍提供了场所和适宜的环境;温暖的气候、茂密的植被和丰富的动物区系,为病原菌的流行提供了良好的条件。

笔者所在课题组于2015年9月对贵州省黔南布依族苗族自治州三都水族自治县尧人山国家森林公园虫生真菌资源进行初步调查,并根据ITS1-5.8S-ITS2系统发育及寄主分布分析其多样性,以期丰富当地的生物资源,为当地虫生真菌资源的开发利用和合理保护提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

PDA培养基:马铃薯20 g切块煮沸,过滤取液,葡萄糖20 g,琼脂18 g,补水至1 L,121℃灭菌30 min。

### 1.2 调查方法

根据尧人山国家森林公园面积广、森林植被覆盖面大且受人为干扰程度低、山势陡峻、沟谷交错、水热充沛的特点,采用定点调查、沿路踏查、普查等方式,详细采集地表层、枯枝落叶及灌木丛中的虫生真菌,并在采集记录虫生真菌生长环境情况和罹病个体数。

### 1.3 标本分离、鉴定

1.3.1 标本分离 先用自来水将标本虫体表面冲洗干净,再用无菌水冲洗标本3次,接着用75%乙醇表面消毒5 s。掰断虫体部分,用已灭菌的接种针挑取虫体断面组织块,接种到加有抗生素的PDA平板上,16℃培养30 d。挑取已分离得到的纯菌落接种于PDA试管斜面中进行保存。

1.3.2 DNA提取、扩增、测序 用接种针从PDA平板上挑取菌丝体,根据OMEGA试剂盒方法提取总DNA,并于-20℃

保存。选用引物ITS1(5′-TCCGTAGTGTAACCTGCGG-3′)和ITS2(5′-TCCTCCGCTTATTGATATGC-3′)<sup>[21]</sup>扩增ITS区的rRNA。反应体系25 μL: master mix 12.5 μL, ddH<sub>2</sub>O 8.5 μL,引物ITS1和ITS2均为1.0 μL, DNA模板2.0 μL。PCR反应条件为:94℃预变性5 min;94℃变性1 min,50℃退火1 min,72℃延伸1 min,循环35次;最后72℃延伸10 min,扩增产物送往上海的美国英杰生命技术有限公司纯化测序并获取序列。

1.3.3 分子鉴定 将得到的ITS序列提交GenBank的Blast程序进行比对,下载相似性大于93%的序列及其相关近缘属菌株的ITS序列,首先用MEGA 5.2对序列进行比对剪切,然后通过最大似然法(ML),运行1000次Bootstrap验证,构建系统发育树<sup>[22]</sup>。

### 1.4 寄主多样性分析

将采集到的罹病个体按寄主属性进行分类整理,根据寄主的丰富度及种类分析虫生真菌的多样性及分布情况。

### 1.5 多样性指数分析

采用辛普森指数(Simpson)、香农-威纳指数(Shannon-Wiener)及均匀度指数(Pielou)研究分析尧人山国家森林公园虫生真菌的多样性<sup>[23]</sup>。

Simpson 指数:  $D = 1 - \sum P_i^2$ 。

式中:  $P_i$  为种的个体数占群落中总个体数的比例,  $P_i = n_i/N$ ,  $n_i$  为第  $i$  种的个体数,  $N$  为所有种的个体数。

Shannon-wiener 指数:  $H' = -\sum P_i \ln P_i$ ;

Pielou 均匀度指数:  $E = H'/H_{\max}$ 。

式中:  $H'$  为实际观察的物种多样性指数;  $H_{\max}$  为最大的物种多样性指数,  $H_{\max} = \ln S$ ,  $S$  为群落中的总物种数。

## 2 结果与分析

### 2.1 虫生真菌标本统计

本次调查共采集到虫生真菌罹病个体16个(图1),并获得其分离菌株16株,详细信息见表1。

### 2.2 虫生真菌初步鉴定

对于采集的标本,通过形态学比较,初步鉴定全为肉座菌目真菌,分属3科7属10种(表2、表3)。数量最多的一科为虫草菌科,占总数的62.50%,包括棒束孢属2种、蜡蚧菌属1种、白僵菌属2种;其次是线性虫草菌科,占总数的31.25%,包括被毛孢属1种、多头霉属1种、线性虫草属2种;最少的一科为生赤壳科,占总数的6.25%,只有枝穗霉属1种。若以样本数超过4为优势属,那么该地区虫生真菌优势属为白僵菌属,占总数的31.25%,主要为球孢白僵菌;其次是棒束孢属,约占25.00%,主要有细脚棒束孢和环链棒束孢。

### 2.3 虫生真菌分子鉴定

在虫生真菌分离菌株DNA构建的ITS1-5.8S-ITS2系统发育树中,所有试用序列明显分为7个不同分支,分别是棒束孢类、蜡蚧菌类、白僵菌类、被毛孢类、多头霉类、枝穗霉类、线性虫草类。菌株GZUIFR-SD03、GZUIFR-SD05、GZUIFR-SD06、GZUIFR-SD08、GZUIFR-SD13与球孢白僵菌(JX110371、HQ444271、KM249039、KT280276)和布氏白僵菌(LN886699)聚在白僵菌属分支中。菌株GZUIFR-SD01、GZUIFR-SD02、GZUIFR-SD04、GZUIFR-SD09与细脚棒束



A~D—棒束孢属真菌；E~I—白僵菌属真菌；K—蜡蚧菌属真菌；L—被毛孢属真菌；M—枝穗霉属真菌；N—多头霉属真菌；J, O~P—线性虫草属真菌；标尺为 1 cm

图1 尧人山国家森林公园虫生真菌标本

表 1 虫生真菌标本及分离菌株信息

标本编号	菌株编号	标本编号	菌株编号
SD01	GZUIFR - SD01	SD09	GZUIFR - SD09
SD02	GZUIFR - SD02	SD10	GZUIFR - SD10
SD03	GZUIFR - SD03	SD11	GZUIFR - SD11
SD04	GZUIFR - SD04	SD12	GZUIFR - SD12
SD05	GZUIFR - SD05	SD13	GZUIFR - SD13
SD06	GZUIFR - SD06	SD14	GZUIFR - SD14
SD07	GZUIFR - SD07	SD15	GZUIFR - SD15
SD08	GZUIFR - SD08	SD16	GZUIFR - SD16

孢 (GU194179)、环链棒束孢 (JQ425656) 等聚在棒束孢属分支中。菌株 GZUIFR - SD15 与刀孢蜡蚧菌 (EU918702)、丝枝蜡蚧霉 (JX241644) 等聚在蜡蚧菌属分支中。菌株 GZUIFR - SD11 与中国多头霉 (NR119928)、*P. tomentosus* (KF049666) 等聚在多头霉属分支中。菌株 GZUIFR - SD07 与瘤状被毛孢 (EF194146)、鹿儿岛被毛孢 (KM652172) 等一起聚在被毛孢属分支中。菌株 GZUIFR - SD10 与粉红粘帚霉 (KT387608)、罗杰斯无性穗霉 (KC806290) 等聚在枝穗霉属分支中。菌株 GZUIFR - SD14 与蚁窝线虫草 (AB222679) 聚在一起, 菌株 GZUIFR - SD12 和 GZUIFR - SD16 与蜂头线虫草 (JN943351)

表 2 系统发育分析所用序列

物种	序列	物种	序列	物种	序列
GZUIFR - SD01	本文序列	球孢白僵菌 ( <i>Beauveria bassiana</i> )	HQ444271	环链棒束孢 ( <i>I. cateniannulata</i> )	JQ425656
GZUIFR - SD02	本文序列	球孢白僵菌	KM249039	<i>Lecanicillium sakseae</i>	KF472156
GZUIFR - SD03	本文序列	球孢白僵菌	KT280276	丝枝蜡蚧霉 ( <i>L. aphanocladii</i> )	JX241644
GZUIFR - SD04	本文序列	球孢白僵菌	JX110371	刀孢轮枝菌 ( <i>L. psalliotae</i> )	EU918702
GZUIFR - SD05	本文序列	布氏白僵菌 ( <i>B. brongniartii</i> )	LN886699	细脚拟请霉 ( <i>Paecilomyces tenuipes</i> )	AF200369
GZUIFR - SD06	本文序列	淡色生赤壳菌 ( <i>Bionectria ochroleuca</i> )	EU273558	环链拟青霉 ( <i>P. catenianulatus</i> )	GU194180
GZUIFR - SD07	本文序列	粉红粘帚霉 ( <i>Clonostachys rosea</i> )	KT387608	<i>Polycephalomyces</i> sp.	HM135164
GZUIFR - SD08	本文序列	罗杰斯无性穗霉 ( <i>C. rogersoniana</i> )	KC806290	中国多头霉 ( <i>P. sinensis</i> )	NR119928
GZUIFR - SD09	本文序列	巴西瓶状虫草 ( <i>Cordyceps ampullacea</i> )	AJ536554	<i>P. tomentosus</i>	KF049666
GZUIFR - SD10	本文序列	高雄山虫草 ( <i>C. takaomontana</i> )	KF937322	刺蛾线虫草 ( <i>Ophiocordyceps cochliidicola</i> )	AB027377
GZUIFR - SD11	本文序列	灵芝 ( <i>Ganoderma lucidum</i> )	JQ520189	蚁窝线虫草 ( <i>O. formicarum</i> )	AB222679
GZUIFR - SD12	本文序列	瘤状被毛孢 ( <i>Hirsutiella nodulosa</i> )	EF194146	尖头虫草 ( <i>O. oxycephala</i> )	EU573348
GZUIFR - SD13	本文序列	荔波被毛孢 ( <i>H. liboensis</i> )	KM652163	<i>O. cf. acicularis</i>	GU723772
GZUIFR - SD14	本文序列	鹿儿岛被毛孢 ( <i>H. satumaensis</i> )	KM652172	<i>O. irangiensis</i>	JN943335
GZUIFR - SD15	本文序列	细脚棒束孢 ( <i>Isaria tenuipes</i> )	GU194179	蜂头线虫草 ( <i>O. sphecocephala</i> )	JN943351
GZUIFR - SD16	本文序列				

聚在一起,均属于线性虫草属分支。该结果与初步形态鉴定结果一致,从分子水平表明尧人山国家森林公园虫生真菌种类丰富(图 2)。

2.4 虫生真菌寄主多样性分析

根据本次调查结果可知,该区虫生真菌寄主种类多、范围广(表 4)。如图 3 所示,包括鳞翅目、膜翅目、同翅目、鞘翅

表 3 贵州尧人山虫生真菌属级统计

科	属	标本数(个)	占总数比(%)	寄主	标本编号
虫草菌科	棒束孢属	4	25.00	鳞翅目幼虫、蛹、蝉、毛虫	SD01、SD02、SD04、SD09
	蜡蚧菌属	1	6.25	蜘蛛	SD15
	白僵菌属	5	31.25	蝇、蜻、蝉、瓢虫、鳞翅目蛹	SD03SD05、SD06、SD08、SD13
线性虫草科	被毛孢属	1	6.25	鳞翅目茧	SD07
	多头霉属	1	6.25	刺蛾幼虫	SD11
	线性虫草属	3	18.75	草蜂、胡蜂、蚂蚁	SD12、SD14、SD16
生赤壳科	枝穗霉属	1	6.25	蜘蛛	SD10

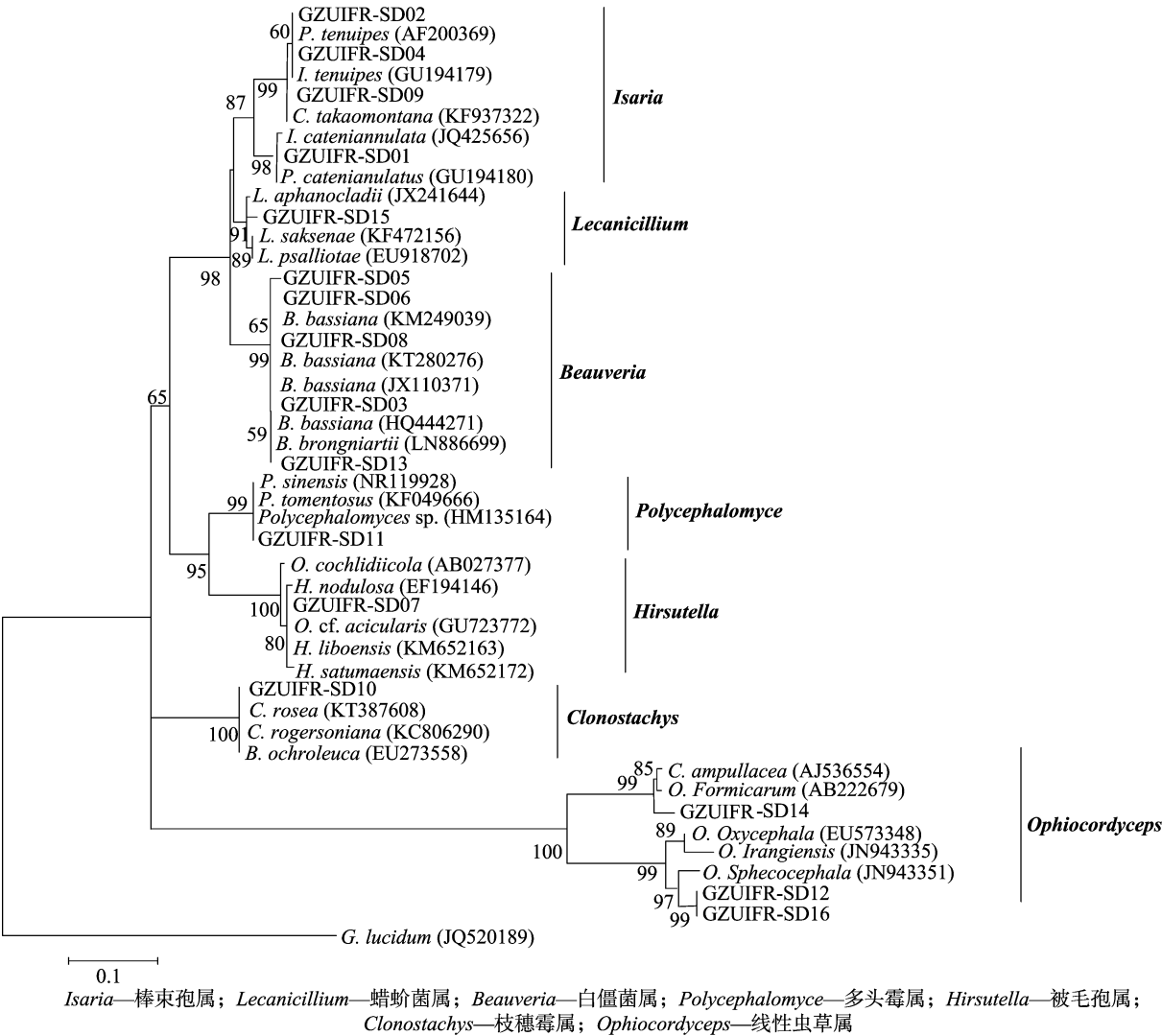


图2 贵州省尧人山国家森林公园虫生真菌 ITS1–5.8S–ITS2 系统发育树

表 4 尧人山国家森林公园虫生真菌群落及寄主多样性			
调查对象	Simpson 指数 (D)	Shannon – Wiener 指数 (H')	Pielou 均匀度 指数 (E)
真菌群落	0.79	1.84	0.95
寄主	0.77	1.61	0.88

目、双翅目等昆虫及蜘蛛等多种动物。其中,鳞翅目昆虫最多,占 37.50%,主要有鳞翅目幼虫和蛹、毛虫、刺蛾幼虫等;其次是膜翅目和同翅目,均占 18.75%,膜翅目主要包括蜂和蚂蚁等,同翅目包括蝉和蜻;寄主为蜘蛛的占 12.50%;最少的为鞘翅目和双翅目,各占 6.25%,发现的鞘翅目主要为瓢

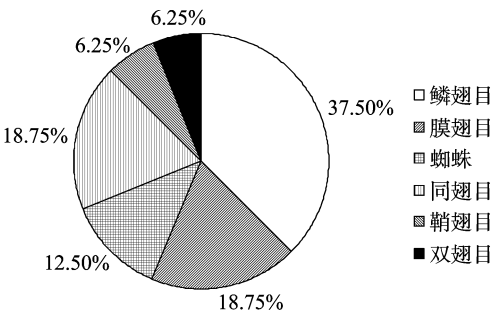


图3 尧人山国家森林公园虫生真菌寄主多样性

虫,双翅目主要是苍蝇。结果表明,尧人山国家森林公园虫生真菌资源丰富,广泛分布于昆虫、蜘蛛等多种节肢动物上。

### 2.5 多样性分析

从表4中可以看出,尧人山虫生真菌群落多样性偏低( $D=0.79$ ,  $H'=1.84$ ),均匀度较高( $E=0.95$ )。寄主多样性同样偏低( $D=0.77$ ,  $H'=1.61$ ),均匀指数较真菌群落均匀指数低( $E=0.88$ )。

## 3 结论与讨论

尧人山国家森林公园虫生真菌资源丰富多样,分布广泛,初步调查研究发现包括3科8属10种,分别是虫草菌科(棒束孢属、白僵菌属、蜡蚧菌属)、线性虫草菌科(多头霉属、被毛孢属、线性虫草属)、生赤壳科(枝穗霉属)。其中,白僵菌属为优势属,球孢白僵菌为主要种群。

关于贵州地区虫生真菌资源调查已有报道,该地区的虫生真菌种类十分丰富,虫草属为优势属,但在本次调查中却没有发现,而尧人山优势属白僵菌属却是贵州的广布属,广泛分布于贵阳、湄潭、遵义及梵净山等地<sup>[24-28]</sup>。此外,枝穗霉及部分线性虫草在以上保护区却少有发现。这可能与虫生真菌的发生与温湿度环境及寄主有关,虫草属和线性虫草属真菌多发生于高湿的阔叶林环境且对寄主专一(少为广谱),导致这部分真菌发生量减少且零星分布,调查难度增大,而白僵菌属可寄生多种昆虫,分布广泛,容易调查。

在自然环境中,虫生真菌的繁衍、分布与气候环境、土壤性质、动植被丰富度、海拔高度、人类活动以及历史环境变迁等有关<sup>[29]</sup>。尧人山地区植被丰富,鳞翅目、双翅目、同翅目、鞘翅目、蜘蛛等节肢动物广泛分布于原始森林中,其中鳞翅目昆虫分布最广,丰富多样的动物资源为该地区复杂的病原真菌附着提供了场所和营养条件。季风气候显著,环境温和湿润,大大提高了该地区病原真菌的寄生率和存活率。此次调查结果显示,该区虫生真菌多样性指数偏低,均匀度较高,这可能与本次获得标本数较少有关。尧人山国家森林公园虫生真菌的调查,丰富了当地的生物资源,为该地区虫生真菌资源的分布、多样性研究及开发利用提供了有益参考。

### 参考文献:

- [1]梁宗琦. 虫生真菌的多样性[J]. 生物多样性,1996,4(4):235-241.
- [2]王 瑞,孙晓燕,马亚因,等. 捕食性真菌 *Duddingtonia flagrans* 胞外蛋白质的生化性质研究[J]. 中国兽医科学,2015,45(8):776-780.
- [3]梁宗琦,梁建东,陈万浩,等. 一蚁巢中束梗孢类昆虫病原真菌的多型现象Ⅱ. 隐存的一个多头束霉新种:蚁生多头束霉[J]. 微生物学通报,2015,43(2):379-385.
- [4]王成树. 虫生真菌研究与应用的发展与机遇——2012年虫生真菌专刊序言[J]. 菌物学报,2012,31(3):305-306.
- [5]王利军,谭万忠,罗华东,等. 虫生真菌及其在害虫生物控制中的应用现状与展望[J]. 河南农业科学,2010,39(4):119-125.
- [6]金 娜,刘 倩,简 恒. 植物寄生线虫生物防治研究新进展[J]. 中国生物防治学报,2015,31(5):789-800.

- [7]梁宗琦. 中国真菌志[M]. 北京:科学出版社,2007:1-8.
- [8]董彩虹,李文佳,李增智,等. 我国虫草产业发展现状,问题及展望——虫草产业发展金湖宣言[J]. 菌物学报,2016,35(1):1-15.
- [9]刘爱英. 中国蝉花资源研究应用[M]. 贵阳:贵州科技出版社,2012,3-9.
- [10]余伯成,唐永范,唐 亮,等. 虫草素的药理作用研究进展[J]. 现代药物与临床,2011,26(5):349-352.
- [11]陈晓琳,樊美珍,李增智. 虫生真菌育种工作研究进展[J]. 生物学杂志,2008,25(6):61-62.
- [12]刘爱英,邹 晓,胡海燕,等. 烟草甲致病真菌的初步筛选[J]. 中国生物防治,2008,24(2):186-188.
- [13]何学友,陈顺立,杨 希,等. 金龟子绿僵菌在森林土壤中的分布及对松墨天牛致病性测定[J]. 菌物学报,2007,26(2):289-294.
- [14]梁宗琦,刘爱英,陈月碧,等. 昆虫病原真菌的研究利用——I:玫烟色拟青霉不同菌株对菜青虫的致病效果和固体培养[J]. 植物保护,1980,6:12-14.
- [15]袁盛勇,孔 琼,张 虹,等. 蜡蚧轮枝菌 MZ041024 菌株对温室白粉虱和吹棉蚧的室内毒力[J]. 西南师范大学学报(自然科学版),2007,32(1):111-114.
- [16]韩智杰,瞿娇娇,张晓娜,等. 汤普森被毛孢对二斑叶螨致死率的建模分析[J]. 应用昆虫学报,2013,50(2):406-412.
- [17]黄秀华,方书亮,温 鲁. 用高虫草素菌粉开发药品和保健品[J]. 中国医药科学,2012,2(13):157-158.
- [18]王 爽,李新民,刘春来,等. 东北地区土壤中高毒力虫生真菌菌株的筛选[J]. 黑龙江农业科学,2015(1):50-56.
- [19]杨秀标,文光培. 尧人山里好风光[J]. 森林与人类,2015(9):84-86.
- [20]贵州省林业厅森林管理办公室. 贵州国家森林公园[J]. 森林与人类,2010(3):84-96.
- [21]White T. Analysis of phylogenetic relationships by amplification and direct sequencing of ribosomal RNA genes. PCR protocols: a guide to methods and applications[M]. New York:Academic,1990,15-22.
- [22]Kumar S, Tamura K, Nei M. MEGA3: integrated software for molecular evolutionary genetics analysis and sequence alignment[J]. Briefings in Bioinformatics,2004,5(2):150-163.
- [23]陈名君,刘玉军,周 娜,等. 皇甫山虫生真菌物种多样性研究[J]. 安徽农业大学学报,2009,36(4):564-567.
- [24]梁宗琦,刘爱英,冯冬梅. 梵净山自然保护区的一些虫生真菌[J]. 真菌学报,1993,12(2):110-117.
- [25]梁宗琦,刘爱英,黄建忠,等. 宽阔水自然保护区的虫草及其相关真菌Ⅰ[J]. 真菌学报,1996,15(4):264-271.
- [26]梁宗琦,刘爱英,黄建忠,等. 阔水自然保护区的虫草及其相关真菌Ⅱ[J]. 菌物系统,1997,16(1):61-67.
- [27]梁宗琦,刘爱英,黄建忠,等. 桫欏自然保护区的虫草及其相关真菌[J]. 菌物系统,2002,21(1):9-14.
- [28]梁宗琦. 贵州的部分昆虫病毒,细菌和原生动物[J]. 贵州农业科学,1984(6):27-30.
- [29]李文英,贺运春,王建国,等. 山西省虫生真菌生态多样性研究[J]. 生物多样性,2003,11(1):53-58.