山西省虫生真菌生态多样性研究

李文英 贺运春 王建明 张作刚 张仙红

(山西农业大学农学院, 山西太谷 030801)

摘要:为探讨山西省主要植被区的虫生真菌资源区系分布特点,于1996~2001年连续对山西省境内芦芽山、庞泉沟、蟒河3个国家级保护区的虫生真菌进行了生态多样性研究。采集的469份昆虫标本中有276份分离出真菌,总检出率为58.8%。根据菌落形态、营养体、孢子等特征将124株虫生真菌初步鉴定到属,其中110株已鉴定到种和专化型,共计10属25种。对各地区和各生境中真菌类群进行统计比较的结果表明,各保护区内虫生真菌物种资源都很丰富,广泛分布在不同的生境中,但具有明显的地域性分布特点。从菌株数量来看,从大到小依次为蟒河(45株)>庞泉沟(40株)>芦芽山(39株);从属的种类来看,蟒河地区(10属)标本中的类群略多于其他2个自然保护区,但从属内种类多样性来看,蟒河(18种)明显比其他2个自然保护区丰富。白僵菌(*Beauveria* spp.)、绿僵菌(*Metarhizium* spp.)等优势类群具有明显的垂直分布带谱和小生境分布特点,中等海拔区域(1000~2000 m)分离菌株数最多,占到66%以上,包含种类最丰富,几乎囊括了所有种类,混交林、阔叶林和溪边灌林中,虫生真菌种类丰富,分布均匀,尤以混交林中菌株最多,共23株,占到37%,种类也最丰富,包含8种。

关键词:自然保护区,虫生真菌,生态分布,生物多样性

中图分类号:Q938, Q949.32

文献标识码:A

文章编号:1005-0094(2003)01-0053-06

Ecological diversity of entomogenous fungi of three nature reserves in Shanxi Province

LI Wen-Ying, HE Yun-Chun, WANG Jian-Ming, ZHANG Zuo-Gang, ZHANG Xian-Hong
College of Agronomy, Shanxi Agriculture University, Taigu, Shanxi 030801

Abstract: Ecological diversity of entomogenous fungi in Luyashan, Pangquanguo and Manghe national nature reserves of Shanxi were documented continuously from 1996 to 2001. 276 fungal strains were isolated from 469 specimens. 124 strains of entomogenous fungi were preliminarily identified to the generic level by characteristics of fruiting body, vegetative cells and spores. In total, 25 species (including varieties and forms) belonging to 10 genera were recognized, showing high diversity and high endemism. Entomogenous fungi from Manghe National Nature Reserve are in a dominant position in terms of strains, genera and species. Statistical comparisons of the main entomogenous fungi from different sites, elevation and habitats show that distribution and diversity of the entomogenous fungi are influenced by many environmental factors, such as climate and vegetation. These strains have apparently vertical distribution bands and micro-habitat distribution characteristics. Almost all species and 66% of the strains were isolated from a medium elevation range (1000~2000 m). Entomogenous fungal species in mixed forest, deciduous broad-leaved forest and scrub near river were more plentiful and well-distributed than those in other habitats, especially mixed forest. These results have important implications for exploitation and utilization of entomogenous fungal resources.

Key words: nature reserves, entomogenous fungi, ecological distribution, diversity

在森林生态系统中,各种菌物类群,如菌根菌、食用菌、药用菌、虫生菌等,生活在不同的生态条件下,具有丰富的多样性(张文辉等,2000),但相对于宏观的动植物来说,个体小、数量大、鉴定难度大的

菌物多样性研究远没有得到足够的重视(东秀珠 , 洪俊华 2001) , 目前仅有一些有关 AV 菌根真菌生物多样性的报道(王发园 , 刘润进 2001a , b)。虫生真菌是真菌的一个重要组成部分 , 在形态结构、生活史、繁殖方式和次生代谢产物方面极具多样化(梁宗琦 , 1996 , 1999)。但有关虫生真菌多样性研究的报道还很少见 , 特别在山西省有关虫生真菌生态学研究还是一个空白。为此 , 作者于 1996 ~ 2001 年连续在山西省境内芦芽山、庞泉沟、蟒河 3 个国家级保护区不同的生境采集自然罹病的昆虫标本带回实验室 , 从中分离虫生真菌 , 旨在探讨山西省主要植被区的虫生真菌资源区系分布特点 , 为虫生真菌资源的合理开发利用提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 标本的采集

标本采自山西省境内植被完好、人为活动干扰少的芦芽山、庞泉沟、蟒河 3 个国家级自然保护区的不同生境中。芦芽山地处山西北部的宁武县、五寨县境内 , 属暖温带半湿润山区气候 , 年均温 3℃ , 年积温($\geq 10^{\circ}\text{C}$) 2000℃ , 年降水量 500 ~ 600 mm ; 庞泉沟地处山西中北部的交城、方山两县交界处 , 属暖温

带半湿润山区气候 , 年均温 3 ~ 4℃ , 年积温($\geq 10^{\circ}\text{C}$) 2500℃ , 年降水量 700 mm 左右 ; 蟒河地处山西东南部的阳城县境内 , 属暖温带大陆性季风气候 , 年均温 14℃ , 年积温($\geq 10^{\circ}\text{C}$) 4020℃ , 年降水量 600 ~ 800 mm。

根据采集地的地形情况 , 将海拔分为 5 个等级 : E1 为低海拔(1000 m 以下) , E2 为中低海拔(1000 ~ 1500 m) , E3 为中间海拔(1500 ~ 2000 m) , E4 为中高海拔(2000 ~ 2500 m) , E5 为高海拔(2500 m 以上)。根据植被类型 , 将采集地的生境分为 5 类 : H1 为溪边灌木 , H2 为混交林 , H3 为针叶林 , H4 为阔叶林 , H5 为亚高山草甸。根据采集地小生境和海拔高度 , 将主要采集地分为 I ~ IX 类 , 采集地概况见表 1 (马敬能 , 1998)。

依据昆虫群体的发生时间及发生量的不同以及保护区降雨量的季节差异 , 选择每年的 6 ~ 9 月为集中采集期。在各类小生境中的植株叶面、树干、枯枝落叶层以及土表和水体中采集罹病昆虫标本(蒲蛰龙 , 李增智 , 1996)。为了避免杂菌干扰 , 采集后的标本保存于冰箱内 , 1 个月内分离处理。

1.2 菌株的分离、纯化

标本分离采用常规组织分离技术、平板稀释分

表 1 9 类采集地点的自然概况
Table 1 A survey of nine types of collecting sites in three nature reserves

	类型 Type	地 点 Site	生 境 类 型 Habitat type	海 拔 等 级 Elevation
芦芽山 Luyashan	I	大南滩、梅洞沟、圪洞沟 Danantan , Meidonggou and Gedonggou	H1 溪边灌木 Shrub near river	E2 中低海拔 Middle-low(1000 ~ 1500 m)
	II	跑马湾 Paomawan	H2 混交林 Mixed forest	E3 中间海拔 Middle(1500 ~ 2000 m)
	III	西庵、石猴崖 Xi'an and Shihouya	H3 针叶林 Coniferous forest	E4 中高海拔 Middle-high(2000 ~ 2500 m)
庞泉沟 Pangquangou	IV	庞泉沟、八道沟、神尾沟 Pangquangou , Badaogou and Shenweigou	H4 阔叶林 Deciduous broad-leaved forest	E3 中间海拔 Middle(1500 ~ 2000 m)
	V	三道川、阳圪台 Shandaochuan and Yanggetai	H2 混交林 Mixed forest	E4 中高海拔 Middle-high(2000 ~ 1500 m)
	VI	孝文山 Xiaowen Moutain	H5 亚高山草甸 Subalpine meadow	E5 高海拔 High(2500 m 以上)
蟒河 Manghe	VII	黄龙庙、树皮沟、南沟 Huanglongmiao , Shupigou and Nangou	H1 溪边灌木 Shrub near river	E1 低海拔 Low(1000 m 以下)
	VIII	白龙洞、猴山、滴水盆 Bailongdong , Houshan and Dishuipen	H4 阔叶林 Deciduous broad-leaved forest	E2 中低海拔 Middle-low(1000 ~ 1500 m)
	IX	铡刀缝、窟窿山、三盘山 Zhadaofen , Kulongshan and Sanpanshan	H2 混交林 Mixed forest	E2 中低海拔 Middle-low(1000 ~ 1500 m)

离法和分生孢子划线分离法。先用 WA 培养基进行初步分离,待虫体上长出菌丝体后,再挑接于 PDA、PSA 或 Czapeck 培养基上进行常规分离培养。对有些难以产生子实体和孢子的菌株,进一步利用 IDA、SMAY 或 SDBAY 培养,以诱导其产生子实体。对特殊的菌株类群,如镰刀菌则采用选择性培养基(米饭培养基)辅助鉴定菌种(Booth,1971;王拱辰等,1996)。待培养物产生孢子后进行单孢分离,以获得纯化菌株。纯化培养物及时转入 PDA 斜面培养基,保存在 0~4℃ 的冰箱中待观察与鉴定。为防止细菌和杂菌污染,加入 2% 的青霉素和 4% 的硫酸链霉素,25℃ 下培养,湿度控制在 80%~90%(蒲蛰龙,1996)。

IDA(虫粉培养基):虫粉(将大个体的老熟幼虫在 60℃ 下烘干 48 小时后研磨成粉)40 g,琼脂 20 g,葡萄糖(蔗糖)20 g,蒸馏水 1000 mL。

WA(水琼脂培养基)琼脂 20 g,蒸馏水 1000 mL。

1.3 菌株的观察与鉴定

将纯化的菌株培养物进行点植培养和孢子载片培养,观察记录菌落色泽、质地变化、生长速度等培养特性。培养 4~7 天后进行显微观察,镜检时采用乳酸酚和棉蓝染色法进行染色处理(洪华珠,杨红,1997),用目镜测微尺在 Olympus 显微镜下观测各菌株的产孢体和孢子的形状和大小,每个形态单位测量 30 个,计算出平均值范围。结合其培养性状,并参考国内外有关资料对各菌种进行鉴定(Hawthorn et al.,1995)。

根据《真菌鉴定手册》(魏景超,1979)的分类标准,主要根据培养特性、形态特征确定菌株归属。形态特征主要包括菌丝细胞、子实体形态和孢子形态。真菌种类的鉴定采用 Ainsworth et al. (1973)分类系统,参照戴芳澜(1979,1987)、耶夫拉霍娃(1982)、Poinar & Thoms (1984)、Samson et al. (1988)、Shimizu & Aizawa (1988)、蒲蛰龙(1994,1996)等的描述和检索表进行鉴定。

2 结果与分析

2.1 虫生真菌的分离鉴定结果

本研究经过对采自芦芽山、庞泉沟、蟒河 3 个保护区的 469 份昆虫标本的分离培养结果统计,其中 276 份中分离出真菌,总检出率为 58.8%。迄今为止,所分离的真菌菌株中初步整理得到虫生真菌

200 余株。鉴定到属的有 124 株,其中 110 株鉴定到种和专化型。已鉴定出的种类涉及 2 目 10 属 25 种。均属于半知菌亚门(Deuteromycotina)丝孢纲(Hyphomycetes)真菌。具体虫生真菌的每一类群在不同地区与不同生态条件下的分布见表 2。

分离出的 200 余株真菌中有 62% 鉴定到属,其中一些常见菌株和典型菌株已经鉴定到种。但虫生真菌在类群和数量上却有着显著的差异。从 3 个保护区的总体情况来看,白僵菌属(Beauveria)、绿僵菌属(Metarhizium)、曲霉属(Aspergillus)、拟青霉属(Paecilemyces)等为优势类群,每个属的分离菌株数均在 13 株以上,已鉴定种类在 3 种以上,而且大部分种类分布区域广泛,在不同的地区和生态条件下均有分布。

2.2 虫生真菌地域性分布特点

将来自芦芽山、庞泉沟和蟒河 3 个自然保护区内的昆虫标本分离情况进行对比,结果见表 3。通过对比,可以得出以下结论:由于地理位置、气候和植被不同,虫生真菌类群有着很大的差异,生态区系差异明显,因而虫生真菌分布差异悬殊。芦芽山地处山西北部,山地面积广阔,地势高耸,地形复杂,植被种类丰富,虫生真菌资源丰富,分离到 39 个菌株,共涉及 7 属 15 种,优势类群为拟青霉;庞泉沟地处山西中部地区,气温相对较低,昼夜温差大,降水量少而集中,植被覆盖率相对较低,微生物资源相对贫乏,该地区虽分离到 40 个菌株,但种类多样性差一些,仅涉及 8 属 13 种;蟒河地处亚热带和温带交界处,水分热量充足,自然条件对动植物生长十分有利,虫生真菌的物种资源也特别丰富,分离到 45 个菌株就涉及 10 属 18 种,优势类群为白僵菌。

从表 2 和表 3 中可以看出,各保护区内虫生真菌物种资源都很丰富,广泛分布在不同的生境中。但不同环境中的种属分布情况不同。从菌株数量来看,昆虫标本的真菌寄生率从高到低依次为蟒河>庞泉沟>芦芽山;从属的种类来看,蟒河地区标本中的类群略多于其他 2 个自然保护区;但从属内种类多样性来看,蟒河明显比其他 2 个自然保护区丰富。由此可见,虫生真菌的分布与周围环境有着密切的关系。湿度越大、植被越丰富的区域,虫生真菌物种越多样化。

2.3 虫生真菌垂直分布特点

将采自不同海拔高度的昆虫标本分离情况进行

对比(见表2)。从表2中可以看出:虫生真菌的分布与海拔高度密切相关,由于海拔高度不同,气候和植被相应变化,因而虫生真菌分布差异悬殊,垂直分布带谱明显。

通过对白僵菌(*Beauveria*)、绿僵菌(*Metarhizium*)和拟青霉(*Paecilomyces*)重要类群进行对比分析,从图1可以看出,在中等海拔区域(1000~2000 m),这3类虫生真菌分离菌株数最多,占到66%以上,包含种类最丰富,几乎囊括了所有种类,特别是在中低海拔区域,菌株数22株,占到35.5%,6个

种;在低海拔区域,虫生菌菌株分布明显减少,种类相对单一,而在2500 m以上海拔的范围内,虫生真菌种类和菌株数量均为最少,几乎没有分布。由此可见,虫生真菌具有明显的垂直分布带谱,主要种类集中分布在海拔相对较低、气候湿润,但人为干扰较少的生境中。

2.4 虫生真菌小生境分布特点

将采自5种不同生境的昆虫标本分离情况进行对比。从表2中可以看出,由于生境类型、气候和植被不同,虫生真菌类群有着很大的差异,生态区系差

表2 虫生真菌在不同地区与不同生态条件下的分布
Table 2 Distribution of entomogenous fungi in different habitats and conditions

类群 Taxa	不同地区分离到的真菌菌株数 No. of strains									小计 Total
	芦芽山 Luyashan			庞泉沟 Pangquangou			蟒河 Manghe			
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
白僵菌属 <i>Beauveria</i>	1	4	2	3	4		5	1	3	23
球孢白僵菌 <i>B. bassiana</i>	1	3	2	1	3		2	1	2	15
布氏白僵菌 <i>B. brongniartii</i>		1								1
多形白僵菌 <i>B. amorpha</i>				1	1					2
蜘蛛白僵菌 <i>B. araneorum</i>							1			1
绿僵菌属 <i>Metarhizium</i>		3	2		1	2		3	2	13
金龟子绿僵菌 <i>M. anisopliae</i>		1	1					1	1	4
黄绿绿僵菌小孢变种 <i>M. flavoviride</i> var. <i>minus</i>		1						2		3
戴氏绿僵菌 <i>M. taii</i>					1	2				3
曲霉属 <i>Aspergillus</i>	5	2	2	6	1	4	2	4	2	28
黄曲霉 <i>A. flavus</i>	4	2		6	1		2	3	2	20
黑曲霉 <i>A. niger</i>			2			4				6
亮白曲霉 <i>A. candidus</i>	1							1		2
青霉属 <i>Penicillium</i>				6	1			1		8
扩张青霉 <i>P. expansum</i>				4	1			1		6
匐枝青霉 <i>P. stoloniferum</i>				2						2
拟青霉属 <i>Paecilomyces</i>	7	4		5	2		3	5		26
粉质拟青霉 <i>P. farinosus</i>	4	2		2	1		1	3		13
玫瑰色拟青霉 <i>P. fumosoroseus</i>	2	1		1						4
淡紫拟青霉 <i>P. lilacinus</i>	1						1	1		3
镰孢菌属 <i>Fusarium</i>	2	1		2			3			8
尖孢镰孢 <i>F. oxysporum</i>				1			1			2
串珠镰孢 <i>F. moniliforme</i>	1	1								2
砖红镰孢 <i>F. lateritium</i>	1						1			2
半裸镰孢 <i>F. semitectum</i>				1			1			2
轮枝菌属 <i>Verticillium</i>	1	2		2			4	2		11
蛭轮枝菌 <i>V. lecanii</i>	1	1		2			3	1		8
蜘蛛轮枝孢 <i>V. araneorum</i>		1						1		2
侧孢霉属 <i>Sporotrichum</i>	1			1			2	1		5
马丁内克侧孢霉 <i>S. Martinekii</i>				1			1	1		3
塞吉普侧孢霉 <i>S. cepjii</i>	1						1			2
野村菌属 <i>Nomuraea</i>								1		1
莱氏野村菌 <i>N. rileyi</i>								1		1
拟口霉属 <i>Chantransiopsis</i>								1		1
外倾拟口霉 <i>C. decumbens</i>								1		1
菌株数量 No. of strains		39			40			45		124
菌种属数 No. of genera		7			8			10		10
菌种数量 No. of species		15			13			18		25

注: I ~ IX 所代表的生境类型见表1。Note: Habitat types I ~ IX correspond to those in Table 1

表 3 虫生真菌地域性分布总计
Table 3 Distribution of entomogenous fungi in different sites

采集地点 Locality	菌株、属和种的数量 No. of strains genera and species			分离到的主要属的菌株数和种数 No. of strains and species of dominant genera					
	菌株 Strains	属 Genera	种 Species	白僵菌属 <i>Beauveria</i>		绿僵菌属 <i>Metarhizium</i>		拟青霉属 <i>Paecilomyces</i>	
				Strains	Species	Strains	Species	Strains	Species
芦芽山 Luyashan	39	7	15	7	2	5	2	11	3
庞泉沟 Pangquangou	40	8	13	7	2	3	1	7	2
蟒河 Manghe	45	10	18	9	2	5	2	8	2

图 1 虫生菌 3 个重要属的垂直分布
Fig. 1 Distribution of dominant genera in different elevations
注：E1(Ⅶ)为低海拔；E2(Ⅰ,Ⅲ,Ⅸ)为中低海拔；E3(Ⅱ,Ⅳ)为中
间海拔；E4(Ⅲ,Ⅴ)为中高海拔；E5(Ⅵ)为高海拔
Note：E1, low elevation；E2, middle-low elevation；E3, middle eleva-
tion；E4, middle-high elevation；E5, high elevation

图 2 3 个重要虫生菌属在小生境中的分布
Fig. 2 Distribution of three dominant genera in three habitat
types
注：H1(Ⅰ,Ⅶ)为溪边灌木；H2(Ⅱ,Ⅴ,Ⅸ)为混交林；H3(Ⅲ)为针
叶林；H4(Ⅳ,Ⅲ)为阔叶林；H5(Ⅵ)为亚高山草甸
Note：H1(Ⅰ,Ⅶ), shrub near river；H2(Ⅱ,Ⅴ,Ⅸ), mixed forest；H3
(Ⅲ), coniferous forest；H4(Ⅳ,Ⅲ), deciduous broad-leaved forest；
H5(Ⅵ), subalpine meadow

异明显。混交林、阔叶林和溪边灌林中,植被相对丰富,虫生真菌区系组成的特点是组成复杂,种属分布均匀,而其他各类生境虫生真菌类群相对单一,种属分布不均匀。

通过对白僵菌(*Beauveria*)、绿僵菌(*Metarhiz-*

ium)和拟青霉(*Paecilomyces*)等重要类群进行对比分析,从图 2 可以看出,生境类型严重影响了菌株数量和菌种类群分布。*Beauveria* spp. 和 *Metarhizium* spp. 分布比较广泛,可生存于 4~5 种生境内;而 *Paecilomyces* spp. 对单一生境的依赖性较强,主要分布于溪边灌木和阔叶林。从所含菌株数量和菌种类群来看,混交林中菌株最多,共 23 株,占到 37%,种类也最丰富,包含 8 种;溪边灌木丛和阔叶林的生境次之;高山草甸中菌种种类最单一,仅含 1 种绿僵菌。

总之,自然保护区内地形多样,气候温和,植被保存完好,生境多样化,能够支持多种类的物种生存,适于虫生真菌生长繁衍。由于生活条件的不同,导致数量和种类分布的差异性,这些都体现了虫生真菌生态分布的多样性。

3 结论

生物多样性及其地域性特点是在漫长的地质历史过程中演化形成的,它受到现代气候、土壤、植被、人类活动以及历史环境变迁的影响(张文辉等, 2000)。同理,在森林生态系统中,这些因素都影响着虫生真菌的分布,其中湿度、温度、地表覆盖物及演替阶段等环境因素是主导因素。

3 个自然保护区内,植被覆盖率高,人为干扰少,尤其是夏季,温度适宜,降水充足,寄主食物丰富,是虫生真菌资源的天然宝库。从上述研究可见,虫生真菌更倾向于分布在纬度较低、海拔较低、湿度较大、植被组成和昆虫群落组成多样化的区域。环境所能提供的生存途径越多,真菌种类越丰富。但是由于地理环境、海拔高度和生境类型不同,植被组成和昆虫群落也不同,导致虫生真菌分布的生态多样性。

一般认为,海拔高度对物种数量分布的影响趋势与纬度对物种的影响相似,海拔升高相当于纬度

升高,物种和数量会随之逐渐降低。但是也有一些例外,如庞泉沟处于其他2个保护区南北中间,但它的虫生真菌物种多样性远远低于其他2个保护区,这可能与庞泉沟自然保护最早成为旅游区,人为干扰过多有关。另外,低海拔地区物种数量相对少,种类相对单一,这与上述理论不太相符,这可能与低海拔地区与农田毗邻,农民经常采菌、放牧,人为干扰相对较多有关。

从以上分析可以看出,虫生真菌生态分布多样,它的物种和数量分布因地理位置、植被、海拔的不同,有着极大的差异,要想保护虫生真菌的物种多样性,不仅仅针对某种特殊生境采取某一特殊手段,而要加强全面保护,尽量保持生态的多样化,使人为干扰或自然干扰控制在适度的范围内,才会有利于虫生真菌物种多样性的稳定和持续发展。

参考文献

- Ainsworth G C, F K Sparrow and A S Sussman, 1973. *The Fungi* (Vol. IV A and IV B). Academic Press, New York and London.
- Booth C, 1971. *The Genus Fusarium*. Commonwealth Mycological Institute, Kew, Surrey, England
- Dong X Z (东秀珠) and J H Hong (洪俊华), 2001. Diversity of prokaryotic microorganisms. *Biodiversity Science* (生物多样性), **9**(1): 18 ~ 24
- Hawksworth D L, P M Krik, B C Sutton and D N Pegler, 1995. *Ainsworth & Bisby's Dictionary of the Fungi* (8th edn.). Prepared by the international Mycological Institute International Academic Publishers
- Hong H Z (洪华珠) and H Yang (杨红), 1997. Outline of Entomopathogenic Microbiology(杀虫微生物学纲要). Central China Normal University Press, Wuhan, 231 ~ 256
- Liang Z Q (梁宗琦), 1996. Biodiversity of entomogenous Fungi. *Chinese Biodiversity* (生物多样性), **4**(4): 235 ~ 241
- Liang Z Q (梁宗琦), 1999. The diversity of fungal secondary metabolites and their potential applications. *Chinese Biodiversity* (生物多样性), **7**(2): 145 ~ 150
- Ma J N (马敬能), 1998. A review of biodiversity protection in China (中国生物多样性保护综述). China Forestry Press, Beijing, 103 ~ 109
- Poinar G O Jr and G M Thomas (段道怀, 胡明峻译), 1984. *Diagnostic Manual for the Identification of Insect Pathogens*, Agricultural Press, Beijing, 4 ~ 38
- Pu Z L (蒲蛰龙), 1994. *Insect Pathology* (昆虫病理学). Guangdong Science and Technology Press, Guangzhou, 15 ~ 29, 339 ~ 395, 341 ~ 342
- Pu Z L (蒲蛰龙), and Z Z Li (李增智), 1996. *Insect Mycology* (昆虫真菌学). Anhui Science and Technology Press, Hefei, 112 ~ 130, 206 ~ 360, 532 ~ 599
- Samson R A, H C Evans and J P Latge, 1988. *Atlas of Entomopathogenic Fungi*. Springer-Verlag, 128 ~ 139
- Shimizu S and K Aizawa, 1988. Serological classification of *Beauveria bassiana*. *Journal of Invertebrate Pathology*, **52**: 348 ~ 353
- Tai F L (戴芳澜), 1979. *Sylloge Fungorum Sinicorum*(中国真菌总汇). Science Press, Beijing, 828 ~ 1009
- Tai F L (戴芳澜), 1987. *Morphology and Taxonomy of Fungi* (真菌的形态和分类). Science Press, Beijing, 27 ~ 53
- Wang F Y (王发园) and R J Liu (刘润进), 2001a. Effects of environmental factors on the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi. *Biodiversity Science* (生物多样性), **9**(3): 301 ~ 305
- Wang F Y (王发园) and R J Liu (刘润进), 2001b. A preliminary survey of arbuscular mycorrhizal fungi in saline - alkaline soil of the Yellow River Delta. *Biodiversity Science* (生物多样性), **9**(4): 389 ~ 392
- Wang G C (王拱辰), Z Zheng (郑重), Q M Ye (叶琪明) and C L Zhang (章初龙), 1996. *A Guide to the Identification of General Fusarium spp.* (常见镰刀菌鉴定指南). China Agricultural Science and Technology Press, Beijing, 36 ~ 42
- Wei J C (魏景超), 1979. *A Manual for the Identification of Fungi* (真菌鉴定手册). Shanghai Science and Technology Press, Shanghai, 92 ~ 519
- Zhang W H (张文辉), Y X Kang (康永祥), H Li (李红) and C R Fu (傅朝荣), 2000. The characters of biodiversity in northwestern China and views on conservation study. *Chinese Biodiversity* (生物多样性), **8**(4): 422 ~ 428

(责任审稿人:梁宗琦;责任编辑:时意专)