



专论与综述

基于文献信息的食用菌病害研究热点与趋势分析

郭孟配 肖扬 边银丙*

华中农业大学应用真菌研究所 湖北 武汉 430070

摘要: 病害是影响食用菌产量和品质的重要因素之一,目前尚缺少对食用菌病害研究现状与发展方向的直观了解。从2010年以来国内外发表的食用菌病害论文入手,对论文数量、发文期刊、被引率和研究机构进行了分析,展示了国内外食用菌病害的研究概况。此外,对相关论文进行了关键词共现分析,明确了国内外食用菌病害研究的热点。分析显示,绿霉病、褐斑病、蛛网病、病毒感染、湿泡病和软腐病是目前国内外最受关注的6类食用菌病害,干泡病的关注度日趋减少,而蛛网病侵染的食用菌种类持续增加。结合历史发文动态研究了食用菌病害的发生趋势,并认为环境有害微生物检测、消毒剂筛选和食用菌土传真菌病害防控将是未来食用菌病害的重点研究领域。

关键词: 食用菌病害, 期刊论文, 共现分析, 蛛网病, 土传病害

Hotspots analysis and direction exploration of edible mushroom disease research based on bibliometrics

GUO Mengpei XIAO Yang BIAN Yinbing*

Institute of Applied Fungi, Huazhong Agricultural University, Wuhan, Hubei 430070, China

Abstract: Disease is one of the important factors that affect the yield and quality of edible mushroom. At present, there is no intuitive understanding of the research status and development direction on mushroom diseases. Based on the articles focusing on edible mushroom disease published both domestic and overseas since 2010, the article counts, journals, citation rate, research institutions and keywords were analyzed, respectively. The co-occurrence analysis of key words was further carried out. Subsequently, the research focuses of edible mushroom disease were summarized. The analysis shows that green mold disease, brown blotch disease, cobweb disease, virus infection, wet bubble disease and soft rot disease are the six most concerned edible mushroom diseases both domestic and oversea. Additionally, the attention on dry bubble disease is decreasing, and the mushroom types infected by cobweb disease are increasing continuously. This paper also investigated the occurrence dynamics of edible mushroom diseases based on the historical trends, and considered that the detection of environmental harmful microorganisms, screening of disinfectants and control of soil-borne fungal diseases will be the key research fields in the future.

Keywords: edible mushroom disease, journal article, co-occurrence analysis, cobweb disease, soil-borne disease

Foundation item: National Key Research and Development Program of China (2019YFD1001905-35); Earmarked Fund for Modern Agro-Industry Technology Research System on Edible Fungus of China (CARS-20)

*Corresponding author: E-mail: bianyb.123@163.com

Received: 15-04-2021; Accepted: 20-05-2021; Published online: 23-06-2021

基金项目: 国家重点研发项目子课题(2019YFD1001905-35); 国家现代农业产业技术体系专项(CARS-20)

*通信作者: E-mail: bianyb.123@163.com

收稿日期: 2021-04-15; 接受日期: 2021-05-20; 网络首发日期: 2021-06-23

文献计量学是指用数学和统计学的方法,定量地分析某一主题下知识载体的交叉科学。其能挖掘出某主题研究历程中起重要作用的作者、机构、文献或期刊,捕捉研究热点,分析研究趋势,从而对该学科的研究动向做出合理的判断。文献计量学已被成功地应用于生命科学领域的 Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats (CRISPR)研究进展分析中^[1],王敏等^[2]也基于文献计量学对国内外菌物学研究热点和研究趋势进行了分析。

病害是影响食用菌产量和品质的重要因素之一,许多学者在食用菌病害病原鉴定、发生规律、病原与寄主互作、病害防控原理及技术等多个领域进行了一系列研究,取得了重要进展,但目前尚缺少对食用菌病害研究现状与发展方向的直观了解。本文参考文献计量学的分析方法,对2010年以来中国学术期刊网络出版总库(China National Knowledge Infrastructure, CNKI)和科学引文索引(Web of Science, WOS)核心数据集收录的食用菌病害相关论文进行了计量分析,将相关信息进行了可视化展示,挖掘了近年来国内外学者的重点研究主题,结合历史发文动态探讨了病害发生趋势,并展望了食用菌病害未来研究的重点方向。

1 数据来源与分析方法

1.1 文献来源

1.1.1 CNKI 中文文献检索

使用检索式“FT=(食用菌+蘑菇+木耳)*(病害+防治+检测+药剂)*(菌丝+子实体)*(病原菌+病菌+真菌病毒+霉)”,在CNKI中进行全文专业检索,另外使用“食用菌+病害”为主题词在CNKI进行一框式检索,文献分类目录选择“基础科学”下的“生物学栏目”和“农业科技”所有栏目,论文类型设置为期刊论文,发表时间设置为2010年1月至2020年6月。

1.1.2 WOS 英文文献检索

分别使用2种检索式“TI=((“First Report of” or

Contaminant* or disease* or Pseudomonas or blotch or 多个已知病原物或病害的名称 or mycovir* or *dsRNA* or “strand* RNA” not (virid* or virulen* or virescen*)) and (Agaricus or Coprinus or 多个已知可栽培食用菌属的拉丁名 or Tricholoma or Hypsizigus or “edible fung*” or mushroom* or shiitake or macrofung*)) AND SU=(Microbiology or Mycology or Agriculture or Food Science & Technology or Forestry or Plant Sciences or Virology)”和“TS=(mushroom AND disease NOT human) AND SU=(Microbiology or Mycology or Agriculture or Food Science & Technology or Forestry or Plant Sciences or Virology)”,在WOS中进行高级检索,其中“TI”为标题检索,“TS”为主题检索,“SU”为学科类别,时间跨度设置为2010–2020年。

1.2 文献信息校正

将检索到的所有文献进行汇总,去除重复题录,并校正剔除医学、生物降解、植物病害等与食用菌病害主题确实无关的论文。对于缺失作者、研究机构、期刊名称等信息的题录,通过查询其全文信息予以补充。某些文献的题录中不含有关键词信息,如期刊 *Plant Disease* 的 Disease Note 类型文章主要发表新病害。这些文章是食用菌病害研究不可忽视的一部分,为此将其标题进行分词处理,再从中提取关键词;对其他含有关键词的论文则直接用于分析。依据《中文核心期刊要目总览》2017年版(第8版)将中文文献分为核心和非核心论文,并进行标注;WOS核心集收录的论文均为SCI论文,影响因子采用2015–2019年的5年影响因子进行标注。

1.3 分析方法

分别统计CNKI和WOS历年的发文数量、各个期刊的发文数量、SCI论文的被引率,用以展示食用菌病害研究成果的概况和质量。提取各论文的第一完成单位进行分类汇总,统计各单位的发文数量,用以评价食用菌病害研究机构的分布与贡献度。

关键词是一篇论文的核心概括,对关键词进行频次分析、共现分析及趋势变化分析,可以明确各研究主题之间的关系、研究热点及发生动态^[3]。鉴于本领域论文研究主题的多样性与物种学名的特殊性,不同文章来源的关键词中存在多个词汇表达同一个意思的情况,也存在包含与被包含的情况。因此,在对关键词进行分析前,首先进行了同义词与近义词的合并,比如将“平菇”和“糙皮侧耳”都替换成“平菇”,将“*Trichoderma*”和“*Trichoderma aggressivum*”“*Trichoderma harzianum*”都替换成“*Trichoderma*”。关键词的共现聚类分析使用软件 Co-Occurrence 6.7 进行^[4],趋势变化分析使用软件 Mul-Charts 1.8 进行^[5]。

2 分析结果

2.1 食用菌病害 CNKI 发文分析

2.1.1 CNKI 发文情况概览

共获得与食用菌病害相关的有效中文论文 472 篇。2010 年以来年平均发表论文 45 篇,自 2011 年开始每 3 年一个连续增长周期,第 4 年发文量骤减,随后再次递增(图 1A)。这种逐年发文趋势在一定程度上反映了我国食用菌病害研究的周期为 3 年,即在不考虑该病害研究成果优先发表在国际刊物的情况下,自某病害研究课题立项到研究论文刊出所需的时间约为 3 年。

本文统计显示,国内中文论文主要发表在 122 个期刊上,其中包括中文核心期刊 29 个,共 168 篇文章(图 1B、1C)。学术研究成果主要发表在《食用菌》《中国食用菌》《北方园艺》《食用菌学报》《菌物学报》和《食药食用菌》等刊物上,这 6 个刊物的发文量占有所有中文论文的 40%以上。从发表内容的学术性程度来看,《食用菌学报》和《菌物学报》是食用菌病害学术研究成果主要的展示平台,其次是《中国食用菌》和《北方园艺》,而《食用菌》和《食药食用菌》则更偏重经验总结和知识科普。此外还可以看出,虽然我国食用菌病

害研究几乎完全独立于园艺学或蔬菜学之外,但在学术成果展示和科普知识传播渠道上还是一定程度上借助于园艺和蔬菜类期刊。

2.1.2 国内研究机构统计

从发表论文的第一完成单位来看,2010 年以来全国共有 269 个科研院校和事业单位进行了食用菌病害的科学研究和科普宣传工作。从论文发表数量上看,福建农林大学、吉林农业大学和华中农业大学排在前 3 位,分别发表中文文章 25、23 和 17 篇,其次为中国农业科学院相关机构(11 篇)和各省农业科学院所属机构。以河南省漯河市召陵区植保植检站(11 篇)为代表的基层农技单位是食用菌病害相关知识面向社会进行科普宣传的主力军。

2.1.3 CNKI 关键词共现聚类分析

在提取论文的关键词后,进行同义词合并和无效词删除,得到有效关键词 734 项。将词频 ≥ 5 的 63 项关键词进行共现聚类分析(图 2A)。在共现聚类图中,圆圈大小反映关键词出现次数,相同颜色表示含有这些关键词的论文其主题存在关联,连接线的粗细反映 2 个关键词在一篇论文中同时出现的频率数大小。食用菌、病害、防控、发生规律、链孢霉(*Neurospora sitophila*)等深红色关键词和杂菌、培养料、污染、退化、预防措施等浅蓝色关键词分别聚为一类,而且关联性强。结合论文发表的期刊来看,这类标记为深红色或浅蓝色的关键词主要出现在非核心期刊的经验总结和知识科普类文章中,而其他颜色的关键词则更多出现于学术研究论文。

根据关键词词频统计分析,2010 年以来我国病害研究和报道对象出现次数多于 10 次的食用菌种类依次是平菇(*Pleurotus ostreatus*)、双孢蘑菇(*Agaricus bisporus*)、金针菇(*Flammulina filiformis*)、香菇(*Lentinula edodes*)和杏鲍菇(*P. eryngii*),出现次数为 5-10 次的是灵芝(*Ganoderma lingzhi*)、秀珍菇(*P. geesteranus*)、鸡腿菇(*Coprinus comatus*)、

蛹虫草 (*Cordyceps militaris*)、银耳 (*Tremella fuciformis*)、黑木耳 (*Auricularia auricula-judae*)、毛木耳 (*A. polytricha*) 和草菇 (*Volvaria volvacea*)，其他品种出现次数均少于 5 次。其中以平菇为主的侧耳类食用菌被报道的病害次数最高，平菇病害出现次数达 64 次。近年来，随着某些珍稀食用菌栽培规模的扩大，竹荪 (*Dictyophora* spp.)、羊肚菌 (*Morchella* spp.) 和长根菇 (*Oudemansiella raphanipes*) 等珍稀食用菌病害开始被关注。

基于病害病原类型频次前 15 位关键词绘制的主题河流图(图 2B)可以反映国内学者所关注病害的逐年变化趋势。由于论文发表相对于病害发生有一定的滞后性，因此该主题河流图也能在一定程度上反映论文见刊前 3 年流行的主要病害。结合关键词共现聚类分析发现，木霉 (*Trichoderma* spp.) 感染、链孢霉污染、假单胞杆菌 (*Pseudomonas* spp.) 等引起的褐斑病(也称黄斑病)、病毒感染、有害疣孢霉 (*Mycogone perniciosa*) 引起的湿泡病、细菌引起的软腐病等病害一直都受到较大关注；葡枝霉 (*Cladobotryum* spp.) 引起的蛛网病及菌株退化等为主题的论文则主要集中在 2018 年以后发表，表明这 2 类病害可能在 2015 年左右开始变得较为严重。此外，青霉 (*Penicillium* spp.) 和曲霉 (*Aspergillus* spp.) 污染、毛木耳油疤病和食用菌生理性病害也受到了部分学者的关注。病原物鉴定和生物学特性、病害症状和发生规律、病害防控方法和品种抗病性是研究的侧重点，有关致病机制的研究偏少。

2.2 食用菌病害 WOS 发文分析

2.2.1 WOS 发文情况概览

WOS 分析共获得与食用菌病害相关的有效英文文章 238 篇。2010 年以来年平均发表文章 23 篇，2011 年发文量最少，仅为 11 篇，2014 年以后发文量开始上升(图 3A)。这些论文主要发表在 97 个期刊上，其中 *Plant Disease* 发文量最多，达到 35 篇，其次为 *European Journal of Plant Pathology*，达到

11 篇，其他刊物发文量均在 10 篇以下(图 3B)。在发表食用菌病害研究内容的期刊中，5 年影响因子高于 3 分的期刊有 29 个(图 3B)，刊载论文 89 篇。影响因子最高的刊物为 *Microbial Biotechnology*，影响因子为 5.298，于 2015 年刊载了 1 篇有关诱导表达漆酶增强双孢蘑菇对木霉毒素抗性的研究。值得注意的是，在 *Plant Disease* 发表的 35 篇论文中，32 篇是以 Disease Note 形式报道新病害。从论文被引率来看，在国际学术研究中食用菌病害受重视程度不高，被引率为 0 的文章达到 112 篇(图 3C)。被引率最高的论文为法国学者 Largeteau 和 Savoie 于 2010 年发表的有关双孢蘑菇真菌病害和细菌病害致病机制的综述，共被引用 51 次。中国学者所发论文中引用率最高的是吉林农业大学 2016 年发表的有关双孢蘑菇品种遗传多样性与湿泡病抗性的研究，总共被引用 15 次。

2.2.2 国际研究机构统计

依据 WOS 发文情况，仅统计第一完成单位发现，2010 年以来共有来自 31 个国家和地区的 118 个单位进行了食用菌病害相关研究工作。发表论文数量居前 5 名的国家共发表论文 141 篇，占 WOS 发文量的一半以上。中国学者发文量最多 (71 篇)，分布在中国 23 个研究单位；其次为韩国 (33 篇)，分布在 16 个研究单位；第 3 名是西班牙 (17 篇)，分布在 6 个研究单位；伊朗和日本发文量均为 10 篇。在中国学者发表的 71 篇文章中，24 篇是以 Disease Note 的形式在 *Plant Disease* 上发表新病害，表明中国学者近年来在新病害鉴定中开展了大量工作。发文量超过 10 篇的研究机构有中国的吉林农业大学 (17 篇) 和华中农业大学 (12 篇) 及西班牙的蘑菇技术研究中心 (12 篇)。其他发文较多的研究机构包括中国的福建农林大学 (8 篇) 和北京农林科学院 (7 篇) 及美国宾夕法尼亚州立大学 (6 篇)、韩国忠北国立大学 (5 篇)、法国国家农业研究院 (5 篇)、匈牙利塞格德大学 (5 篇)、荷兰乌得勒支大学 (5 篇) 等。

2.2.3 WOS 关键词共现聚类分析

将所有关键词进行同义词合并和无效词删除后得到有效关键词 504 项, 将词频 ≥ 3 的 52 个关键词进行共现聚类分析(图 4A)。这些关键词以双孢蘑菇、杀菌剂、木霉、新病害报道和致病性为中心被聚为五大类。

2010 年以来国际上病害研究和报道对象出现次数多于 10 次的食用菌依次是双孢蘑菇、平菇、香菇和杏鲍菇, 其中双孢蘑菇出现次数达到 51 次, 平菇达 23 次。金针菇和灵芝类病害报道分别为 7 次和 6 次, 其他食用菌病害报道均少于 5 次, 而且多是中国学者报道的有关鸡腿菇、银耳、羊肚菌和真姬菇(*Hypsizygus marmoreus*)等珍稀食用菌病害。

基于病害病原类型频次前 15 位关键词绘制的主题河流图(图 4B)结合关键词共现聚类分析表明, 国际上重点研究的食用菌病害包括由假单胞杆菌等引起的褐斑病(黄斑病)、由木霉引起的绿霉病、由有害疣孢霉引起的湿泡病、由菌生轮枝霉(*Lecanicillium fungicola*)引起的干泡病、由葡枝霉引起的蛛网病、真菌病毒感染、细菌性软腐病和采后病害。值得注意的是, 2018 年以来再无以干泡病为主题的论文发表。除了新病害报道之外, 以托拉斯毒素为代表的细菌性病害致病机制, 以双孢蘑菇为对象的病原多样性、品种抗病性和生物防治, 以及以微生物组为代表的组学技术, 是目前国际上食用菌病害研究常见的切入点。

2.3 国内外研究差异分析

由论文数量来看, 中国已是国际上研究食用菌病害的主要力量。2010 年以来中国学者发表的中文核心论文和 SCI 论文数量总计已达 239 篇, 年均 20 篇以上。根据关键词词频统计, 国内首要病害是平菇病害, 而国外则是双孢蘑菇病害。各种食用菌绿霉病、细菌性褐斑病、真菌性蛛网病、病毒感染、真菌性湿泡病和细菌性软腐病在国内

外都受到了广泛关注, 是目前食用菌的几类主要病害。相对而言, 中国学者较为关注链孢霉污染、菌株退化和生理性病害等问题, 而国外学者, 尤其是欧美学者则较为关注由菌生轮枝霉引起的干泡病及采后病害。鉴于国内食用菌栽培种类极具多样性, 许多珍稀食用菌中陆续发现了新的病害, 国际上有关新病害的报道也主要来自中国学者。国内外学者都比较重视食用菌病害的防控研究, 尤其是杀菌剂敏感性测定和生防药剂筛选。在生物防治研究方面, 国内学者主要集中在植物粗提物类和生防细菌筛选方面, 而国外学者则主要集中在植物精油防治、生防细菌和噬菌体研究方面。此外, 国内食用菌病害微生物组学和致病机制研究明显落后于欧美国家。欧美国家已经建立起针对双孢蘑菇细菌性褐斑病的研究体系, 在品种抗性、病原菌分化、毒素致病机制、生防制剂产品开发、环境因子调控等多方面都取得了相应成果, 我国尚未建立针对某种食用菌病害的系统研究模式。

3 讨论

由于文献检索时所用的检索式和检索词可能存在缺失或不当, 难免导致本文统计的发文数量可能比实际要少, 但本文仍能在很大程度上呈现国内外食用菌病害研究的概况和发展趋势。文献计量分析显示, 无论是国内还是国外, 双孢蘑菇、平菇、香菇、杏鲍菇、金针菇和木耳类都是研究病害报道最多的食用菌种类, 表明病害受关注程度与栽培规模正相关。此外, 随着各种珍稀食用菌栽培规模的扩大, 传统病原菌有了更多新蛛网病等^[6]。在某些食用菌上出现了特有的病原菌种类, 如引起鸡腿菇菌柄腐烂病的氧化木糖无色杆菌(*Achromobacter xylosoxidans*)^[7]和引起羊肚菌菌盖腐烂病(即霉菌性枯萎病)的长孢卵单隔孢霉(*Diploöspora longispora*)^[8]。另外, 随着食用菌工厂化栽培规模的日益扩大, 侧耳类、金针菇和双孢蘑菇病害的发生日益严重, 越来越多由细菌引

起的斑点病和软腐病等病害暴发流行^[9-11]，这给工厂化栽培中安全无害的环境消毒剂研发提出了要求。

依据关键词绘制的主题河流图也对某些病害的发生动态提出了预警。目前由土壤习居菌葡枝霉引起的蛛网病在我国的发生日益严重。长期以来，蛛网病一直是双孢蘑菇主要病害之一，在其他食用菌品种上鲜有发生。近些年，蛛网病却几乎在所有的人工栽培食用菌上都被发现，包括香菇、侧耳类、木耳类、金针菇、长根菇、灵芝、鬼伞类和羊肚菌类^[6,12]，其覆土层、袋装培养料和子实体都深受蛛网病危害。主题河流图显示蛛网病在国内的暴发在2015年以后。2019年有文献报道在羊肚菌上发现了蛛网病，2020年报道此病害已极其严重^[13-14]。大球盖菇是近些年国内迅速推广的一种珍稀食用菌品种，多家研究机构已对其开展研究^[15]。目前大球盖菇极少有侵染性病害发生，但基于本文文献分析预测，大球盖菇发酵料覆土栽培模式难以避免葡枝霉侵染，务必要重视蛛网病的预防。土壤习居菌镰刀菌对食用菌的危害也逐年加重，截至目前已引起双孢蘑菇、羊肚菌、黑木耳、杏鲍菇等多种食用菌子实体腐烂或出现白霉症状^[16-19]。鉴于目前多种食用菌栽培会有覆土处理，加大对土壤消毒剂或土壤预处理方式的研究非常必要。

文献分析中还挖掘出了平时极少关注的由线虫、黏菌和酵母菌引起食用菌病害的论文。虽然食用菌线虫病害已多年在国内外未见报道，但仍有科研人员以灰盖鬼伞(*C. cinerea*)和真滑刃线虫(*Aphelenchus avenae*)为研究对象，持续关注真菌菌丝体与食真菌线虫的互作机制^[20]，或可为线虫病害防控提供理论支持。黏菌多栖息在潮湿的枯枝落叶上面，目前已鉴定出3种黏菌可以污染香菇菌棒^[21-23]。此外，有报道称假长隐球菌(*Cryptococcus pseudolongus*)可以引起香菇子实体褐腐病^[24]，这也提示食用菌科技工作者应关注各种有害微生物的鉴定与防治研究。

REFERENCES

- [1] Wang P, Zhang B, Zhou S, Zhang YB, Liu JL. Advances in CRISPR research: a literature review based on bibliometric analysis[J]. *Chemistry of Life*, 2020, 40(8): 1403-1412 (in Chinese)
王萍, 张波, 周爽, 章元兵, 刘冀珑. 基于文献计量的CRISPR 研究进展分析[J]. *生命的化学*, 2020, 40(8): 1403-1412
- [2] Wang M, Han L, Wang YL, Jiang N, Dai YC. Analyses of research hotspots and trends of mycology at home and abroad[J]. *Mycosystema*, 2018, 37(11): 1540-1551 (in Chinese)
王敏, 韩丽, 王雅兰, 蒋娜, 戴玉成. 国内外菌物学研究热点和研究趋势分析: 指导科研选题, 助力科技创新[J]. *菌物学报*, 2018, 37(11): 1540-1551
- [3] Zhao RY, Quan W. Analysis of published papers in the world's top journals by Chinese scholars based on the statistical analysis of *Cell*, *Nature* and *Science* in 2000–2015[J]. *Journal of Intelligence*, 2016, 35(10): 95-99 (in Chinese)
赵蓉英, 全薇. 中国学者在世界顶级期刊的发文分析: 基于2000–2015年 *Cell*、*Nature* 和 *Science* 的载文统计分析[J]. *情报杂志*, 2016, 35(10): 95-99
- [4] Xueshudiandi, Wenxianjiliang. COOC: a new software for bibliometrics and knowledge mapping[EB/OL]. (2020-01-12) [2020-08-27]. https://mp.weixin.qq.com/s/8RoKPLN6b1M5_jCk1J8UVg (in Chinese)
学术点滴, 文献计量. COOC 一款用于文献计量和知识图谱绘制的新软件[EB/OL]. (2020-01-12) [2020-08-27]. https://mp.weixin.qq.com/s/8RoKPLN6b1M5_jCk1J8UVg
- [5] Xueshudiandi. Mul-charts: a software for high-end dynamic mapping[EB/OL]. (2020-07-12) [2020-11-15]. <https://mp.weixin.qq.com/s/5vXrwqVZSWdsgTFkm1hzSw> (in Chinese)
学术点滴. Mul-charts 一款用于高端动态图谱绘制的软件[EB/OL]. (2020-07-12) [2020-11-15]. <https://mp.weixin.qq.com/s/5vXrwqVZSWdsgTFkm1hzSw>
- [6] Liu GL, Li H, Gong N, Deng HC, Zhang M. Identification of a pathogenic fungus causing cobweb disease in *Oudemansiella raphanipes* by morphological characteristics and phylogenetic analysis[J]. *Acta Edulis Fungi*, 2020, 27(3): 30-36 (in Chinese)
刘国丽, 李红, 龚娜, 邓会超, 张敏. 基于形态特征和多基因联合序列鉴定卵孢长根菇蛛网病病原菌[J]. *食用菌学报*, 2020, 27(3): 30-36
- [7] Ye LN, Guo MP, Ren PF, Wang GZ, Bian YB, Xiao Y, Zhou Y. First report of a cross-kingdom pathogenic bacterium, *Achromobacter xylooxidans* isolated from

- stipe-rot *Coprinus comatus*[J]. Microbiological Research, 2018, 207: 249-255
- [8] He PX, Li CC, Cai YL, Zhang Y, Bian YB, Liu W. First report of pileus rot disease on cultivated *Morchella importuna* caused by *Diploëspora longispora* in China[J]. Journal of General Plant Pathology, 2018, 84(1): 65-69
- [9] Hamidzade M, Taghavi SM, Martins SJ, Herschlag RA, Hockett KL, Bull CT, Osdaghi E. Bacterial brown pit, a new disease of edible mushrooms caused by *Mycetocola* sp.[J]. Plant Disease, 2020, 104(5): 1445-1454
- [10] Wang Q, Guo MP, Xu RP, Zhang JC, Bian YB, Xiao Y. Transcriptional changes on blight fruiting body of *Flammulina velutipes* caused by two new bacterial pathogens[J]. Frontiers in Microbiology, 2019, 10: 2845
- [11] Wang G, Gong Y, Huang Z, Bian YB. Identification of and antimicrobial activity of plant extracts against *Pseudomonas putida* from rot fruiting bodies of *Pleurotus eryngii*[J]. Scientia Horticulturae, 2016, 212: 235-239
- [12] Cao MT, Li B, Li H, Fang CC, He PX. Advances in mushroom cobweb disease[J]. Acta Edulis Fungi, 2020, 27(3): 127-136 (in Chinese)
曹满堂, 李宾, 李宏, 方昌春, 何培新. 食用菌蛛网病研究进展[J]. 食用菌学报, 2020, 27(3): 127-136
- [13] Liu W, Cai YL, He PX, Ma XL, Bian YB. Occurrence and control of pests and diseases in field cultivation of *Morchella* mushrooms[J]. Acta Edulis Fungi, 2019, 26(2): 128-134,3 (in Chinese)
刘伟, 蔡英丽, 何培新, 马晓龙, 边银丙. 羊肚菌栽培的病虫害发生规律及防控措施[J]. 食用菌学报, 2019, 26(2): 128-134,3
- [14] Lan YF, Cong QQ, Wang QW, Tang LN, Li XM, Yu QW, Cui X, An XR, Yu CX, Kong FX, et al. First report of *Cladobotryum protrusum* causing cobweb disease on cultivated *Morchella importuna*[J]. Plant Disease, 2020, 104(3): 977
- [15] Bao DP, Xie BG. Some research directions worthy of attention in the genetics of edible mushrooms in China[J]. Mycosystema, 2020, 39(6): 971-976 (in Chinese)
- 鲍大鹏, 谢宝贵. 我国食用菌遗传学中一些值得关注的研究方向[J]. 菌物学报, 2020, 39(6): 971-976
- [16] Liu J, Feng W, Yang L, Li X, Lu J. First report of soft rot on *Pleurotus eryngii* caused by *Fusarium solani* in China[J]. Plant Disease, 2019, 103(8): 2136-2137
- [17] Zhang JC, Kong XH, Zhang PQ, Liu JN, Ma YP, Dai XD, Han ZH, Ma QF, Wang XY, Yu LP. Identification of a new fungal pathogen causing white villous disease on the fruiting body of the culinary-medicinal mushroom *Auricularia auricula-judae* (*Agaricomycetes*) in China[J]. International Journal of Medicinal Mushrooms, 2017, 19(2): 155-161
- [18] Guo M, Chen K, Wang G, Bian YB. First report of stipe rot disease on *Morchella importuna* caused by *Fusarium incarnatum* - *F. equiseti* species complex in China[J]. Plant Disease, 2016, 100(12): 2530
- [19] Sharma VP, Singh SK, Kumar S, Sharma SR. Molecular diagnosis of fusarium rot and shaggy stipe diseases associated with the cultivation of *Agaricus bisporus* mushroom[J]. Mushroom Research, 2008, 17(2): 87-90
- [20] Tayyrov A, Stanley CE, Azevedo S, Künzler M. Combining microfluidics and RNA-sequencing to assess the inducible defense of a mushroom against nematodes[J]. BMC Genomics, 2019, 20(1): 243
- [21] Zhang B, Li YS, Li TH, Li Y. First report of a new myxogastric (*Stemonaria longa*) causing rot disease on shiitake logs (*Lentinula edodes*) in China[J]. Plant Disease, 2018, 102(5): 1032-1033
- [22] Li YS, Zhang B, Jiang SC, Hsiang T, Li Y, Wang XL. First report of *Physarella oblonga* on *Lentinula edodes* in China[J]. Plant Disease, 2017, 101(12): 2146-2147
- [23] Lee JH, Kim DR, Kwak YS. First report of *Stemonitis splendens* rostrif causing bark decay of oak logs used for shiitake cultivation in Korea[J]. Mycobiology, 2014, 42(3): 279-281
- [24] Kwon HW, Yun YH, Kim SH, Ko HG. First report of brown rot caused by *Cryptococcus pseudolongus* on fruiting body of shiitake (*Lentinula edodes*) in Korea[J]. Plant Disease, 2016, 100(5): 1013