

苍术根腐病及其防治研究进展

李超楠, 李洪涛, 李运朝, 李俊花, 及华, 章丽, 王琳

引用本文:

李超楠, 李洪涛, 李运朝, 李俊花, 及华, 章丽, 王琳. 苍术根腐病及其防治研究进展[J]. 农业环境科学学报, 2022, 41(12): 2840-2846.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11654/jaes.2022-1163>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

北苍术根腐病病原菌分离鉴定及其生防菌筛选

李超楠, 李洪涛, 李运朝, 李俊花, 及华, 章丽, 王琳

农业环境科学学报. 2022, 41(12): 2824-2830 <https://doi.org/10.11654/jaes.2022-1131>

芽孢杆菌拮抗镰孢菌机制的研究进展

白亚男, 周蓉, 虞悦, 闫新利, 卜元卿, 戴传超

农业环境科学学报. 2022, 41(12): 2787-2796 <https://doi.org/10.11654/jaes.2022-1001>

茅苍术与内生菌互作信号对其活性成分的影响

曹令森, 陈飞, 戴传超

农业环境科学学报. 2022, 41(12): 2831-2839 <https://doi.org/10.11654/jaes.2022-1006>

mVOCs在根际免疫中的研究进展及思考

王佳宁, 韦中, RAZAWaseem, 江高飞, 徐阳春, 沈其荣

农业环境科学学报. 2022, 41(4): 691-699 <https://doi.org/10.11654/jaes.2021-1018>

五种挺水植物腐解过程及其对湿地水质的影响

胡红伟, 刘盼, 吴俊峰, 梁峰, 徐晓琴, 郭一飞, 刘彪

农业环境科学学报. 2019, 38(10): 2395-2402 <https://doi.org/10.11654/jaes.2019-0270>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

李超楠, 李洪涛, 李运朝, 等. 苍术根腐病及其防治研究进展 [J]. 农业环境科学学报, 2022, 41(12): 2840-2846.

LI C N, LI H T, LI Y C, et al. Research progress and control of root rot in *Atractylodes lancea*[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2022, 41(12): 2840-2846.



开放科学 OSID

苍术根腐病及其防治研究进展

李超楠^{1,2}, 李洪涛^{1*}, 李运朝¹, 李俊花¹, 及华¹, 章丽¹, 王琳¹

(1. 河北省农林科学院生物技术与食品科学研究所, 石家庄 050051; 2. 河北农业大学植物保护学院, 河北 保定 071000)

摘要: 苍术根腐病是当前苍术人工种植过程中最严重的一种病害, 严重影响苍术产业的发展。苍术根腐病表现为地上部分叶片萎蔫, 根及根茎变褐腐烂, 导致苍术大面积死亡, 产量下降。基于国内外报道, 本文阐述了苍术根腐病的病原、病症和病因, 及其物理、化学和生物防治等措施, 并对目前苍术根腐病在田间生产防治中存在的主要问题进行讨论, 旨在为苍术的实际生产和根腐病防治提供参考。

关键词: 苍术; 根腐病; 病原菌; 病害防治; 药用植物

中图分类号: S435.672 文献标志码: A 文章编号: 1672-2043(2022)12-2840-07 doi:10.11654/jaes.2022-1163

Research progress and control of root rot in *Atractylodes lancea*

LI Chaonan^{1,2}, LI Hongtao^{1*}, LI Yunchao¹, LI Junhua¹, JI Hua¹, ZHANG Li¹, WANG Lin¹

(1. Institute of Biotechnology and Food Science, Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Shijiazhuang 050051, China; 2. College of Plant Protection, Hebei Agricultural University, Baoding 071000, China)

Abstract: Root rot of *Atractylodes lancea* is one of the most serious diseases currently affecting artificial planting of *A. lancea* and seriously affects the commercial development of this plant. Root rot of *A. lancea* is characterized by leaf wilting on the aerial part and browning and rot of roots and rhizomes, which lead to large-scale plant death and decreased yield. Based on reports from China and abroad, the pathogen, disease, and etiology of root rot of *A. lancea* were described, together with the physical, chemical, and biological control measures, the main problems existing in the control of *A. lancea* root rot in field production were discussed. This review provides a reference for the production of *A. lancea* and for the prevention and control of root rot.

Keywords: *Atractylodes lancea*; root rot; pathogenic bacteria; disease control; medicinal plant

我国菊科 (*Compositae*) 苍术属 (*Atractylodes*) 植物共有五大类, 分别为苍术 [*A. lancea* (Thunb.) DC.]、白术 (*A. macrocephala* Koidz.)、鄂西苍术 [*A. carlinoides* (Hand-Mazz.) Kitam]、朝鲜苍术 [*A. coreana* (Nakai) Kitam] 和关苍术 (*A. japonica* Koidz. ex Kitam), 其中苍术又包括两类, 分别为南苍术又称茅苍术 [*A. lancea* (Thunb.) DC.] 和北苍术 [*A. chinensis* (DC.) Koidz.] 在

2020版《中国药典》中仅有苍术和白术两种被收载其中^[1-3]。苍术属植物作为我国传统中药材, 以干燥块茎入药, 具有健脾燥湿、祛风散寒等功效, 主要有效成分是挥发油、苍术素、 α -异岩兰烯、糖醛、苍术酮等^[4]。近年来, 随着苍术需求量的不断增加, 苍术野生资源已经供不应求, 因此苍术逐渐由采挖野生苍术转变为人工种植。随着人工种植面积的增加, 由于其多年生

收稿日期: 2022-11-13 录用日期: 2022-11-28

作者简介: 李超楠 (1998—), 男, 河北石家庄人, 硕士研究生, 从事植物病害生物防治研究。E-mail: 2285294402@qq.com

*通信作者: 李洪涛 E-mail: lihongtao1314@yeah.net

基金项目: 河北省重点研发计划项目 (20326505D, 20326421D)

Project supported: The Key Research and Development Program of Hebei Province, China (20326505D, 20326421D)

的性质,苍术根腐病愈发严重,已经成为制约苍术种植产业发展的主要问题。例如,河北省秦皇岛青龙地区北苍术根腐病危害严重,一般种植田死苗率约为30%,病情严重区域死苗率可达70%以上,正常情况下每公顷产量可达22 500 kg,发病后可使北苍术每公顷产量低于15 000 kg,病情严重区域每公顷产量甚至低于10 000 kg;湖北山区苍术种植地根腐病受害严重地块发病率甚至可达90%以上;陕西地区白术根腐病常年发病面积占种植面积的25%以上,而且危害程度呈增长趋势,一般造成减产20%左右,病害严重区域减产可达50%~80%,甚至绝收^[5-7]。根腐病是根茎类药用植物栽培过程中的高发病害,其传染性强、致死率高,导致防治难度加大,有“植物癌症”之称^[8]。苍术属根腐病的主要发病部位为苍术的根和茎,发病后根及根茎变褐腐烂,散发臭气,逐渐引起苍术地上部分叶片萎蔫,最终枯死,导致苍术块茎产量和品质下降。本文从苍术根腐病病原菌、发病原因及防治方法等多个方面进行综述。

1 苍术根腐病病原菌研究

苍术作为一种以根茎入药的中药材,苍术属根腐病的发生会严重影响苍术块茎的产量和品质。导致根腐病的病原菌类型多样,一般包括各种真菌、细菌、病毒和线虫等,其中以真菌为主。南苍术根腐病的病原菌为复合病菌,分别为尖孢镰刀菌(*Fusarium oxysporum*)和茄病镰刀菌或称腐皮镰刀菌(*F. solani*),两种病原菌致病力无明显差异,同时也不会因为共同侵染而导致致病力增强^[9]。曹敏等^[10]发现重庆地区南苍术根腐病的主要病原菌为腐皮镰刀菌。韩国研究人员从白术根腐病发病幼苗中分离出尖孢镰刀菌,并在回接实验中发病,成功鉴定出白术根腐病病原菌为尖孢镰刀菌^[11]。我国研究人员在实验中发现,白术根腐病病原菌存在致病力分化现象,27种实验菌株大部分为镰刀菌属,致病力可分为强、中、弱3种,其中强、中两种致病力类型所占比例为85.1%^[12]。不同地域的白术根腐病病原菌也有所不同,黄幸鸽等^[13]发现浙江白术根腐病病原菌为尖孢镰刀菌,纪莉景等^[14]发现河北保定白术根腐病病原菌为茄病镰刀菌和尖孢镰刀菌,而木贼镰刀菌(*F. equiseti*)和海枣镰刀菌(*F. brachygibbosum*)不会导致根腐病的发生,但其可能是病害发生后的腐生菌或内生菌,而刘英慧等^[15]、臧少先等^[16]、YOU等^[17]曾报道白术根腐病的致病菌包括茄病镰刀菌、尖孢镰刀菌、燕麦镰刀菌(*F. avenaceum*)、

木贼镰刀菌、半裸镰刀菌(*F. semifitectum*)以及立枯丝核菌(*Rhizoctonia solani*)和角担菌(*Ceratobasidium* sp.)等。霍佳欢等^[18]通过对河北秦皇岛地区根腐病发病严重的北苍术进行分离鉴定,发现北苍术根腐病致病菌为尖孢镰刀菌。北苍术、南苍术和白术作为菊科苍术属植物,其根腐病的病原菌通常情况下为尖孢镰刀菌或者其他镰刀属真菌,少数情况下为立枯丝核菌和角担菌,不同地区不同生长环境下苍术属植物的根腐病病原菌也有所差异。

2 苍术根腐病发病原因

日本研究人员于1983年提出植物连作障碍的五大原因,分别为土壤养分亏缺、土壤反应异常、土状恶化、植物的有害物质以及土壤微生物的变化^[19]。连作问题会导致土壤环境发生变化,进而对植株土壤微生态环境造成影响。植物根际微生物群落与植物的生长、健康和营养密切相关。生活在根际的细菌、真菌、卵菌、病毒和古菌受到植物根系释放的营养物、渗出物、边缘细胞和黏液(四者统称根际分泌物)的吸引并以此为食^[20]。而这些微生物的聚集反过来又可以影响植物的生长发育,例如根际区域的真菌(如菌根真菌、青霉菌)和根际细菌(如芽孢杆菌、类芽孢杆菌和假单胞菌)都能在植物体内诱导系统性的抗逆反应,提高植物对各种逆境的抵抗能力,对多种病原体 and 害虫表现出典型的抗逆反应,而部分病原菌反而会导致植物病害的发生,如大豆疫霉菌、尖孢镰刀菌和欧文氏杆菌等^[20-21]。因此可以看出植物根际-土壤-根际微生物构成了一个微生态环境,这三者相互关联,互相影响,一旦其中一个因素发生改变,整个微生态环境便可能会发生或好或坏的变化,进而对植物的生长发育造成不同程度的影响,甚至使其发生病害。刘杰等^[22]通过对未种植南苍术土壤、南苍术健康植株及根腐病病株根际土壤的研究发现,根腐病病株的根际土壤pH降低,有机质、速效氮和有效磷显著增加;蔗糖酶活性增加,过氧化氢酶活性降低;细菌和真菌的多样性和丰度均显著降低。病原菌的丰度显著增加,而病原菌的拮抗菌丰度降低,这可能是诱发南苍术根腐病的主要原因。高鑫媛等^[23]通过分析患根腐病北苍术植株根际土壤与健康植株根际土壤发现,患病土壤真菌总量和多样性显著降低,根腐病致病菌镰刀菌在患病植株的根际土壤中占比明显增加,在土壤pH、速效N、有效P和速效K的变化方面与刘杰等^[22]所发现的变化类似。通过对连作白术根际土壤及白术不同

部位的微生物群落进行调查研究,发现根际土壤pH和有机质含量随连作时间的增加而降低;与此同时,在所有导致根腐病发生的根际真菌和内生真菌中,连作对镰刀菌的富集作用最为显著^[24]。因此发现随着苍术属植物连作时间的增长,根际土壤的pH也随之降低,导致根腐病发生的病原菌也在土壤中缓慢富集,土壤品质变差,植物无法健康生长。与此同时由于病原菌的富集,从而使病原菌更容易侵入植株,进而导致苍术属植物根腐病的发生。

3 苍术根腐病防治方法

3.1 物理防治

物理防治是植物种植过程中的一种绿色植保技术,其本质是通过利用一系列物理手段去防止病害的发生。苍术在种植过程中,可以优先选用抗病品种,种植环境可以选择土壤疏松、排水良好的地块,种植前使用石灰等消毒剂或者利用高温闷棚对土壤进行消毒灭菌^[25-26],如魏丹丽^[27]通过实验发现使用土壤熏蒸剂对土壤进行消毒灭菌可以在三七生长前期促进出苗,同时降低三七根腐病发病率。由于苍术的连作会导致病害的发生,因此还可以采用轮作、套作等方法。药-农轮作和药-药轮作是我国药用植物普遍应用的轮作模式。合理轮作可以将两种或两种以上植物根系分泌的化感物质结合起来,减少连作条件下苍术土传病害和自身毒害的发生^[28]。大田种植可以与禾本科植物进行轮作套作,如玉米、小麦等,既能起到遮荫效果,又能减少根腐病的传播^[29],如萧启明等^[30]通过实验发现白术与水稻、辣椒、红薯、玉米四种不同作物轮作可使白术根腐病发病率降低15%~20%,同时还发现白术在种植深度为10 cm时根腐病发病较轻。在日常种植管理过程中合理安排种植密度,及时除草、施肥、拔出病株,雨季要注意排水,适当降低湿度,如孙新荣等^[31]通过改变党参的栽培密度来控制党参出苗率同时预防党参根腐病的发生。

3.2 化学防治

化学防治是指使用化学农药来防止病害的发生,具有效果好、使用简单、经济有效的特点。在苍术等菊科苍术属作物田间生产中,通常使用室内毒力测定和田间药效试验相结合的方式筛选药剂。目前,多菌灵、百菌清、敌克松、代森锰锌、咪鲜胺、苯醚甲环唑、甲霜恶霉灵等化学农药常用于药用植物根腐病防治^[32]。常威等^[33]通过选用白术根腐病常用药剂50%多菌灵粉剂以及40%氟啶胺·异菌脲悬浮剂的两种

单剂进行田间防效测试,发现40%氟啶胺·异菌脲悬浮剂对白术根腐病具有最佳的防治效果,可以在生产中推广使用。游景茂等^[34]通过室内毒力测定试验和田间防效试验发现,50%多菌灵可湿性粉剂、430 g·L⁻¹戊唑醇悬浮剂、40%五硝·多菌灵可湿性粉剂和30%苯甲·丙环唑乳油这四种药剂对白术根腐病的防效较好,同时没有药害的产生,可以在农业生产中进行使用。韦鑫等^[35]发现80%多菌灵可湿性粉剂、64%噁霜·锰锌可湿性粉剂和30%噁霉灵水剂在田间防效试验中对白术根腐病有明显防治效果,可以在农业生产中交替使用。陈小均等^[36]通过室内毒力测定实验发现,25%咪鲜胺乳油、1%申嗪霉素悬浮剂、30%氟菌唑可湿性粉剂、43%戊唑醇悬浮剂、10%苯醚甲唑水分散粒剂和50%多菌灵可湿性粉剂等6种杀菌剂对白术根腐病病原菌有明显的毒力活性,可以在农业生产中根据这6种药的作用机制轮流使用。龙艳等^[37]通过田间试验确定了30%根府啉和3%广枯灵对白术根腐病具有较好防效,可以在生产中交替轮流使用,从而降低病原菌产生的抗药性。

通过以上化学药剂防治根腐病的试验结果可以得出,在苍术根腐病防治方面有多种化学农药可以选择,在实际生产中可以根据不同的防治机制进行轮流交替使用,以达到更好的防治效果。但是随着时间的积累,在生产中长期使用性质稳定的化学农药,会使苍术根腐病病原菌产生抗药性,降低防治效果。同时长期大量使用化学农药,其残留会对生态环境造成严重污染,又由于生物链富集作用,农药残留也会对人体造成危害。同样在苍术上大量使用化学农药不仅对土壤环境造成污染,而且降低了药材的药用价值,甚至还会对药材使用者造成危害。国内在药用植物种植生产过程中通常大量使用化学农药从而导致农药残留超标,严重降低了中药材在市场上的竞争力。随着人们环保意识和健康意识的逐渐增强,对安全绿色无公害的苍术根腐病防治方法的研究越来越受到重视,生产上对绿色防控技术需求越来越迫切。

3.3 生物防治

生物防治是指利用有益微生物的活体及其代谢产物或植物活性成分来控制病害的发生^[26]。中药材种植过程中的病虫害防治,不仅要确保有效控制病虫害的发生,而且需兼顾药材品质和自然环境安全,因此生物防治是中药材病虫害防治的最佳选择。近年来由于生物防治具有安全性、有效性的特点,国内外对其关注度日益增加。在农业生产中植物源杀菌剂

和微生物源杀菌剂较为常见,虽然控制苍术根腐病效果比化学农药相对较慢,但是更加安全,同时保障了药材品质。

植物源农药是从植物中提取有效活性成分加工而成的生物制剂,植物产生的次级代谢产物大部分具有杀虫抗菌作用,如萜烯类、生物碱、类黄酮、甾体、酚类、醇类、醛类、酯类、独特的氨基酸和多糖等^[38-39]。当前常用的植物源农药包括小檗碱^[40]、苦参碱^[41]、丁香酚^[42]、香芹酚^[43]、大蒜素^[44]、大黄素甲醚^[45]、儿茶素^[46]等,其主要成分源于植物,在使用过程中不会对环境造成污染。唐涛等^[47]通过室内毒力测定试验发现植物源杀菌剂小檗碱、丁子香酚、蛇床子素、中生菌素、大黄素甲醚、大蒜素和苦参碱对白术根腐病菌角担菌菌丝生长的抑制效果较好,田间试验中只有0.5%小檗碱水剂、0.3%丁子香酚可溶性液剂和1%蛇床子素水乳剂对白术根腐病的防治效果较好。

在药用植物根腐病防治中,不同微生物源杀菌剂的研究和应用越来越受到人们重视。张小彦^[48]通过分离筛选出生防菌罗伯茨绿僵菌(*Metarhizium robertsii*)来防治枸杞根腐病,该生防菌通过对病原菌的稳定性造成破坏,进而使病原菌致病性减弱,达到防治根腐病的效果。金海强等^[49]从杨树内分离的内生细菌解淀粉芽孢杆菌(*Bacillus amyloliquefaciens*)菌株Y-S-Y12对人参锈腐病的田间防效可达69.41%;张祥丽等^[50]分离出的生防菌淀粉酶产色链霉菌(*Streptomyces diastatochromogenes*)1628对铁皮石斛根腐病的防治效果为34.90%;卢志军等^[51]通过平板对峙实验发现枯草芽孢杆菌(*B. subtilis*)HL29对苜蓿根腐病镰刀菌抑制率能达到72.79%~81.09%;郑豆豆^[52]针对放线菌进行分离筛选,得到11株对黄芪根腐病有防治作用的生防放线菌。

在苍术属作物中,韦鑫^[53]通过分离研究不同生防真菌、生防细菌和生防放线菌,确定了其对白术根腐病都有良好的防治效果,同时还能提高白术的出苗率,具有促生作用。吴启婷等^[54]通过对32种白术内生真菌的分离,确定了32种白术内生菌对至少一种白术根腐病病原菌有抑制效果,其中AM569拟茎点霉属(*Phomopsis* sp)AM569真菌,对三种病原菌的抑制率可达100%。

不同微生物源杀菌剂使用的微生物不同,但大体可以分为三类:生防细菌、生防真菌和生防放线菌。生防细菌防治根腐病的作用机理主要包括拮抗作用、竞争作用、诱导植物抗性和促进植物生长等^[55]。目

前,生防细菌应用最广的为芽孢杆菌属和假单胞杆菌属(*Pseudomonas*),其中芽孢杆菌在生物防治领域具有其他菌株无法具有的优势,如抗逆性强、繁殖能力强、形态结构稳定、对环境友好等。目前,已经开发为生防农药的真菌有小盾壳霉(*Conithyrium mini-tans*)、粘帚霉属(*Glodadium*)、木霉属(*Trichoderma*)、链霉菌(*Streptomycetaceae*)、无致病力尖孢镰刀菌(*F. oxysporum*)等^[56]。其中木霉菌属真菌通常在农业生产中被用于防治药用植物土传病害或者改良土壤品种,如枸杞^[57]、太子参^[58]、人参^[59]、刺五加^[60]、五味子^[60]等。生防放线菌最常见的就是链霉菌属,用放线菌防治中药材病害的研究早于生防真菌和细菌,最早可以追溯到1978年,CHUANG等^[61]从人参根围土壤中分离得到5株链霉菌对锈腐菌和根腐菌有明显的抑制作用。

生物防治与化学防治相比虽有诸多优点,但还未在生产中大范围普及。目前对于苍术根腐病生物防治多处于前期试验阶段,大面积应用且有效防治苍术根腐病的研究报道较少,未来在生产中应加大生物防治的应用,综合运用不同生物防治方法的抗病机制,向多菌混合使用或植物源杀菌剂和微生物源杀菌剂并用的方向发展,以延长有效期,提高防效,逐渐替代化学农药。加强生物防治在防治苍术根腐病中的应用是控制苍术根腐病病害的必然选择,也是科研工作者面临的巨大挑战。

4 展望

随着苍术的需求日益增多,绿色安全的苍术生产成为趋势。当前情况下,苍术根腐病的绿色防控成为生产过程中的关键环节。目前苍术根腐病在田间生产防治中主要存在致病菌种类繁多、种质资源繁杂、综合防治意识亟需加强这3个问题。

4.1 致病菌种类繁多

根据已开展的研究,引起我国苍术属植物根腐病发生的病原菌种类较多,不同种植区以及不同种植环境的病原菌均有不同,但大体上优势种类为尖孢镰刀菌。今后研究中应明确导致我国苍术主要种植区根腐病发生的优势镰刀菌致病型和致病力,针对该优势病原菌进行研究,研发安全绿色有效的防治方法,为苍术镰刀菌根腐病的防治提供理论和技术支撑。

4.2 种质资源繁杂

苍术逐渐由山间采挖野生转变为人工种植,由于长期不同区域间的移植、杂交,以及种间、居群间的杂

交繁殖,造成了苍术种质资源繁杂,品种不明,使品种质量得不到保障,种植过程中病害频发。在今后研究中应在苍术资源数量多的地区进行大范围就地保护,同时将分子生物学技术用于苍术的抗逆品种筛选,培育出苍术抗根腐病新品种,进而降低苍术根腐病的发生,提高苍术的质量与产量。

4.3 综合防治意识亟需加强

苍术根腐病的发生与多种因素有关,因此要防治苍术根腐病必须采用综合防治,多种防治方法结合的方式。化学防治虽效果明显,操作简单,但不利于人类健康且容易污染环境、降低苍术产品质量、引起病原菌的抗病性。在其根腐病的防治过程中,首先要符合《中药材生产质量管理规范》(GAP)的要求,不能只注重防效和产量,而忽视对药材质量的影响。因此要尽可能使用物理防治和生物防治的方法来达到防治根腐病的目的,进而减少化学农药的使用,采用物理防治、化学防治和生物防治相结合的“预防为主、综合防治”方法防治根腐病势在必行。

参考文献:

- [1] 葛燕芬,杭悦宇,夏冰,等. 5种苍术属药用植物的 *trnL*-*F* 序列测定及种间遗传关系分析[J]. 植物资源与环境学报, 2007, 16(2): 12-16. GE Y F, HANG Y Y, XIA B, et al. Sequencing of *trnL*-*F* and analysis of interspecific genetic relationship of five medicinal species in *Atractylodes* DC. [J]. *Journal of Plant Resources and Environment*, 2007, 16(2): 12-16.
- [2] 高鑫媛,白茹玥,魏金月,等. 中药材苍术种质资源及栽培技术研究进展[J]. 承德医学院学报, 2022, 39(3): 237-241. GAO X Y, BAI R Y, WEI J Y, et al. Research progress on germplasm resources and cultivation technology of Chinese medicinal material *Atractylodes Rhizome*[J]. *Journal of Chengde Medical College*, 2022, 39(3): 237-241.
- [3] 梁威. 2020年版《中国药典》(一部)根及根茎类中药基原及药用部位统计分析[J]. 亚太传统医药, 2022, 18(8): 168-172. LIANG W. Statistical analysis on basic surces and medicinal parts of root and rhizome Chinese medicine in 2020 edition of *Chinese Pharmacopoeia* (Part I)[J]. *Asia-Pacific Traditional Medicine*, 2022, 18(8): 168-172.
- [4] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典(一部)[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2020: 168-169. Chinese Pharmacopoeia Commission. *Chinese pharmacopoeia* (Part I)[M]. Beijing: China Medical Science and Technology Press, 2020: 168-169.
- [5] 张强,侯桂双,赵俊生,等. 青龙地区北苍术根部病害及防治试验探索[J]. 河北农业, 2022(4): 78-80. ZHANG Q, HOU G S, ZHAO J S, et al. Root disease of *Atractylodes lancea* and its control in Qinglong area[J]. *Hebei Agriculture*, 2022(4): 78-80.
- [6] 徐晓斌,寇章贵,孙卫海. 鄂西北山区苍术常见病害防治探讨[J]. 湖北植保, 2020(3): 46-49. XU X B, KOU Z G, SUN W H. Discussion on common disease control of *Atractylodes lancea* in northwest mountainous area of Hubei Province[J]. *Hubei Plant Protection*, 2020(3): 46-49.
- [7] 肖通. 白术根腐病的发生与综合防治[J]. 农技服务, 2009, 26(10): 52. XIAO Y. Occurrence and integrated control of root rot of *Atractylodes macrocephala* Koidz[J]. *Agricultural Technical Services*, 2009, 26(10): 52.
- [8] 廖长宏,陈军文,吕婉婉,等. 根和根茎类药用植物根腐病研究进展[J]. 中药材, 2017, 40(2): 492-497. LIAO C H, CHEN J W, LÜ W W, et al. Research progress on root rot of root and rhizome medicinal plants[J]. *Journal of Chinese Medicinal Materials*, 2017, 40(2): 492-497.
- [9] 唐贵婷,蒋欢,苏宇,等. 重庆南苍术根腐病病原鉴定[J]. 植物病理学报, 2021, 51(4): 641-645. TANG G T, JIANG H, SU Y, et al. Identification of pathogen causing *Atractylodes lancea* root rot in Chongqing municipality[J]. *ACTA Phytopathologica Sinica*, 2021, 51(4): 641-645.
- [10] 曹敏,余米,唐祥友,等. 茅苍术根腐病主要病原菌的分离鉴定及室内药剂筛选[J/OL]. 中药材, 2022(8): 1779-1785[2022-11-30]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/44.1286.R.20220826.1050.002.html>. CAO M, YU M, TANG X Y, et al. Isolation and identification of pathogens of *Atractylodes lancea* root rot disease and fungicide ccreening in laboratory[J/OL]. *Journal of Chinese Medicinal Materials*, 2022(8): 1779-1785[2022-11-30]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/44.1286.R.20220826.1050.002.html>.
- [11] HASSAN O, CHANG T. First report on ovate-leaf *Atractylodes damping-off* caused by *Fusarium oxysporum* species complex in South Korea[J]. *Plant Disease*, 2021, 105(12): 4155.
- [12] 杨成前,余中莲,雷美艳,等. 不同白术产区根腐病菌致病力分化初步研究[J]. 河南农业科学, 2015, 44(9): 69-72. YANG C Q, YU Z L, LEI M Y, et al. Pathogenicity differentiation of *Fusarium oxysporum* strains from *Atractylodes macrocephala* Koidz in different areas [J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2015, 44(9): 69-72.
- [13] 黄幸鸽,李美芽,杨蒋舜,等. 白术根腐病病原菌的分离鉴定及特性研究[J]. 中华中医药杂志, 2021, 36(5): 2908-2911. HUANG X G, LI M Y, YANG J S, et al. Isolation, identification and biological characterization of the pathogenic fungus for *Atractylodes macrocephala* Koidz[J]. *China Journal of Traditional Chinese Medicine and Pharmacy*, 2021, 36(5): 2908-2911.
- [14] 纪莉景,肖颖,李耀发,等. 引起河北省保定市白术根腐病的病原镰刀菌种类鉴定[J]. 植物病理学报, 2021, 51(2): 282-286. JI L J, XIAO Y, LI Y F, et al. Identification of pathogenic *Fusarium species* causing root rot *Atractylodes macrocephala* root rot in Baoding, Hebei Province[J]. *ACTA Phytopathologica Sinica*, 2021, 51(2): 282-286.
- [15] 刘英慧,赵来顺. 白术根腐病研究初报[J]. 植物病理学报, 1991(1): 38. LIU Y H, ZHAO L S. A preliminary report on the study of root rot on *Atractylodes largehead*[J]. *ACTA Phytopathologica Sinica*, 1991(1): 38.
- [16] 臧少先,安信伯,石丽军,等. 白术根腐病症状类型及病原鉴定[J]. 河北农业大学学报, 2005(3): 73-76. ZANG S X, AN X B, SHI L J, et al. Symptom and pathogen identification of root rot on largehead *Atractylodes rhizome*[J]. *Journal of Agricultural University of Hebei*, 2005(3): 73-76.
- [17] YOU J M, LIN X M, GUO J, et al. First report of root rot on *Atractylodes macrocephala* (largehead *Atractylodes rhizome*) caused by *Cera-*

- tobasidium* sp. in China[J]. *Plant Disease*, 2013, 97(1):139.
- [18] 霍佳欢,温晓蕾,李双民,等. 北苍术根腐病原鉴定及生物学特性研究[J]. 中国农业科技导报, 2022, 24(5):137-144. HUO J H, WEN X L, LI S M, et al. Identification and biological characteristics of the pathogen causing root rot of *Atractylodes chinensis*[J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2022, 24(5):137-144.
- [19] 泷岛. 防治连作障碍的措施[J]. 日本土壤肥料科学杂志, 1983(2):170-178. LONG D. Measures to prevent continuous cropping obstacles[J]. *Japanese Journal of Soil Fertilizer Science*, 1983(2):170-178.
- [20] LAURENT P, JOS M R, PHILIPPE L, et al. Going back to the roots: The microbial ecology of the rhizosphere[J]. *Nature Reviews Microbiology*, 2013, 11:789-799.
- [21] 赵丹丹. 土壤常见益生菌及其功效[J]. 云南农业科技, 2021(5):25. ZHAO D D. Common probiotic in soil and its efficacy[J]. *Yunnan Agricultural Science and Technology*, 2021(5):25.
- [22] 刘杰,林茂祥,肖忠,等. 根腐病对茅苍术根际微生物群落多样性的影响[J]. 中国野生植物资源, 2022, 41(1):36-43. LIU J, LIN M X, XIAO Z, et al. Influence of root rot diseases on microbial diversity in rhizosphere soil of *Atractylodes lancea*(Thunb.)DC[J]. *Chinese Wild Plant Resources*, 2022, 41(1):36-43.
- [23] 高鑫媛,赵红玲,白茹玥,等. 北苍术根腐病植株根际土壤真菌群落多样性分析[J]. 西南农业学报, 2022, 35(4):812-821. GAO X Y, ZHAO H L, BAI R Y, et al. Diversity analysis of soil fungal communities in the inter-rhizosphere of *Atractylodes chinensis* (DC.) Koidz. root rot plants[J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2022, 35(4):812-821.
- [24] ZHU B, WU J J, JI Q Y, et al. Diversity of rhizosphere and endophytic fungi in *Atractylodes macrocephala* during continuous cropping[J]. *PeerJ*, 2020, 8.
- [25] 张燕,樱井美希,陈美兰,等. 不同石灰处理对苍术生长、产量和挥发性成分影响的研究[J]. 中药材, 2015, 38(3):429-432. ZHANG Y, MIKI S, CHEN M L, et al. Effects of lime on seedling growth, yield and volatile constituents of *Atractylodes lancea*[J]. *Journal of Chinese Medicinal Materials*, 2015, 38(3):429-432.
- [26] 秦运潭,赵磊,李旻. 白术根腐病综合防治标准操作规程(SOP)[J]. 农村经济与科技, 2017, 28(23):71-72. QIN Y T, ZHAO L, LI M. Standard operating procedures(SOP) for integrated control of root rot of *Atractylodes Rhizome*[J]. *Rural Economics and Technology*, 2017, 28(23):71-72.
- [27] 魏丹丽. 三七根腐病绿色防治技术体系研发[D]. 昆明:云南农业大学, 2017. WEI D L. Green technical system enovation for *Notoginseng* rot disease control[D]. Kunming: Yunnan Agriculture University, 2017.
- [28] 朱香梅,石雨荷,李晴,等. 白术种质资源遗传多样性及连作障碍研究进展[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(8):43-48. ZHU X M, SHI Y H, LI Q, et al. Research progress on genetic diversity and continuous cropping obstacles of *Atractylodes Rhizome* germplasm resources [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2021, 49(8):43-48.
- [29] 黄俊斌,李建洪,王沫,等. 茅苍术主要病害的发生特点及其综合防治技术初控[C]. 西安:全国第六届天然药物资源学术研讨会, 2004:120-121. HUANG J B, LI J H, WANG M, et al. Occurrence characteristics of main diseases of *Atractylodes lancea* and preliminary control of integrated control technology[C]. Xi'an: Proceedings of the 6th National Symposium on Natural Medicine Resources, 2004:120-121.
- [30] 萧启明,黄声仪,鲁文安,等. 白术根腐病的研究 II. 发生规律及综合防治措施的探讨[J]. 湖南农学院学报, 1992(增刊1):214-224. XIAO Q M, HUANG S Y, LU W A, et al. Studies on root rot of *Atractylodes macrocephala* koidz. II. occurrence regularity and comprehensive control measures[J]. *Journal of Hunan Agricultural College*, 1992(Suppl 1):214-224.
- [31] 孙新荣,仲彩萍,张维彪. 甘肃党参根腐病防治新技术栽培密度研究[J]. 陕西农业科学, 2021, 67(3):56-59. SUN X R, ZHONG C P, ZHANG W B. Study on planting density in new technology for control of *Codonopsis pilosula* root rot in Gansu Province[J]. *Shaanxi Journal of Agricultural Sciences*, 2021, 67(3):56-59.
- [32] 穆向荣,马逾英,杨枝中,等. 药用植物根腐病防治的研究进展[J]. 中药与临床, 2014, 5(2):5-8, 52. MU X R, MA Y Y, YANG Z Z, et al. Research advance on the control of root rot disease of medical plants[J]. *Pharmacy and Clinics of Chinese Materia Medica*, 2014, 5(2):5-8, 52.
- [33] 常威,张学江,汪华. 40% 氟啶胺·异菌脲悬浮剂对白术根腐病的田间防治效果[J]. 湖北植保, 2020(3):17-19. CHANG W, ZHANG X J, WANG H. Field control effect of 40% fluazinam iprodione SC on root rot of *Atractylodes Rhizome*[J]. *Hubei Plant Protection*, 2020(3):17-19.
- [34] 游景茂,向国耀,郭杰,等. 8种杀菌剂对白术根腐病防治研究[J]. 植物保护, 2016, 42(6):235-238. YOU J M, XIANG G Y, GUO J, et al. Control effect of eight kinds of fungicides on the root rot of *Atractylodes macrocephala*[J]. *Plant Protection*, 2016, 42(6):235-238.
- [35] 韦鑫,张礼维,赵致,等. 6种杀菌剂对白术根腐病的田间防效[J]. 中国植保导刊, 2016, 36(4):64-65. WEI X, ZHANG L W, ZHAO Z, et al. Field control effect of six fungicides on root rot of *Atractylodes macrocephala*[J]. *China Plant Protection*, 2016, 36(4):64-65.
- [36] 陈小均,何海永,谭清群,等. 11种杀菌剂对白术根腐病菌的室内毒力测定[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(3):84-85. CHEN X J, HE H Y, TAN Q Q, et al. Indoor toxicity test of 11 fungicides against root rot pathogen of *Atractylodes Rhizome*[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2014, 42(3):84-85.
- [37] 龙艳,李忠. 松桃县白术根腐病发生规律及药剂防治[J]. 耕作与栽培, 2017(5):43-44. LONG Y, LI Z. Occurrence regularity and chemical control of root rot of *Atractylodes macrocephalae* in Songtao county[J]. *Tillage and Cultivation*, 2017(5):43-44.
- [38] 武月红. 植物源杀菌剂的研究现状[J]. 内蒙古农业科技, 2011(1):80-82. WU Y H. Research summary on botanical fungicides[J]. *Inner Mongolia Agricultural Science and Technology*, 2011(1):80-82.
- [39] 李晓菲,徐政. 植物源杀菌剂研究进展[J]. 南方农业, 2018, 12(13):40-42, 45. LI X F, XU Z. Research progress of botanical fungicides[J]. *South China Agriculture*, 2018, 12(13):40-42, 45.
- [40] 小檗碱的作用与使用方法[J]. 长江蔬菜, 2020(3):76. Effect and using method of berberine[J]. *Journal of Changjiang Vegetables*, 2020(3):76.
- [41] 王玉龙,关扎根,贾学思,等. 苦参碱在农业害虫防治中的应用研究进展[J]. 山西农业科学, 2012, 40(4):424-428. WANG Y L, GUAN Z G, JIA X S, et al. Study progress of matrine application in farming pest control[J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2012,

- 40(4):424-428.
- [42] 于未博. 丁香酚对三七根腐病真菌的抑制作用及其机理研究[D]. 昆明:昆明理工大学, 2020. YU W B. Inhibitory effect and mechanism of eugenol on *Panax notoginseng* root rot fungi[D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2020.
- [43] 王江来, 张锦锋, 马金秀, 等. 香芹酚和丁香酚对腐皮镰刀菌的抑菌活性及抑菌机理[J]. 微生物学通报, 2022, 49(5): 1638-1650. WANG J L, ZHANG J F, MA J X, et al. Antagonistic activity and defense mechanism of carvacrol and eugenol against *Fusarium solani*[J]. *Microbiology China*, 2022, 49(5): 1638-1650.
- [44] 黄升日. 蒜皮中大蒜素提取工艺优化及其抑菌研究[D]. 延边朝鲜族自治州:延边大学, 2021. HUANG S R. Optimization of the extraction process of allicin from garlic peel and its antibacterial research[D]. Yanbian Korean Autonomous Prefecture: Yanbian University, 2021.
- [45] 杨立军, 龚双军, 杨小军, 等. 大黄素甲醚对几种植物病原真菌的活性[J]. 农药, 2010, 49(2): 133-135, 141. YANG L J, GONG S J, YANG X J, et al. Activities of botanical fungicide physcion on several plants pathogenic fungi[J]. *Agrochemicals*, 2010, 49(2): 133-135, 141.
- [46] 李峰, 邓江丽, 陈雯雯, 等. 儿茶素对野油菜黄单胞菌的抑菌作用[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2021, 36(2): 215-222. LI F, DENG J L, CHEN W W, et al. Inhibitory effect of catechin against *Xanthomonas campestris*[J]. *Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science)*, 2021, 36(2): 215-222.
- [47] 唐涛, 王帆帆, 郭杰, 等. 12种生物源杀菌剂对白术根腐病的防效[J]. 植物保护, 2021, 47(3): 288-293. TANG T, WANG F F, GUO J, et al. Control effect of 12 kinds of biological fungicides on the root rot of *Atractylodes macrocephala*[J]. *Plant Protection*, 2021, 47(3): 288-293.
- [48] 张小彦. 枸杞根腐病拮抗菌的筛选、生防作用及其抑菌机理研究[D]. 兰州:甘肃农业大学, 2021. ZHANG X Y. Screening and biocontrol effect of antagonistic strain against wolfberry root rot and antimicrobial mechanism[D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2021.
- [49] 金海强, 朴光一, 屈俊廷, 等. 解淀粉芽孢杆菌Y-S-Y12菌株对人参锈腐病的生防作用[J]. 中国森林病虫, 2015, 34(2): 1-5, 22. JIN H Q, PIAO G Y, QU J Y, et al. Biocontrol efficacy of *Bacillus amyloliquefaciens* Y-S-Y12 on *Cylindrocarpon destructans*[J]. *Forest Pest and Disease*, 2015, 34(2): 1-5, 22.
- [50] 张祥丽, 曹瑛艳, 杨怡华, 等. 铁皮石斛镰刀菌根腐病原菌的鉴定及其对链霉菌发酵液的敏感性分析[J]. 中国生物防治学报, 2022, 38(1): 258-266. ZHANG X L, CAO Z Y, YANG Y H, et al. Identification of the pathogen causing root rot of *Dendrobium officinale* and sensitivity to the fermentation broth of *Streptomyces*[J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2022, 38(1): 258-266.
- [51] 卢志军, 云晓敏, 刘西莉. 生防菌株HL29的鉴定及其抑菌活性研究[J]. 植物病理学报, 2005(增刊1): 79-85. LU Z J, YUN X M, LIU X L. Identification and antagonistic activity of a biocontrol strain HL29[J]. *ACTA Phytopathologica Sinica*, 2005(Suppl 1): 79-85.
- [52] 郑豆豆. 黄芪根腐病复合生防放线菌的防治作用及其菌剂初步制备[D]. 兰州:西北师范大学, 2019. ZHANG D D. Effect of compound biocontrol actinomycetes strains on root rot disease of *Astragalus membranaceus* and preliminary preparation of the bacterial agents [D]. Lanzhou: Northwest Normal University, 2019.
- [53] 韦鑫. 白术根腐病生防菌的筛选及控病研究[D]. 贵阳:贵州大学, 2016. WEI X. Screening biocontrol strains and researching the control of the *Atractylodes macrocephala* Koidz. [D]. Guiyang: Guizhou University, 2016.
- [54] 吴启婷, 任航洁, 秦晔, 等. 白术内生真菌AM569对3种镰刀菌的拮抗作用及其ITS分子鉴定[J]. 浙江农业科学, 2022, 63(6): 1257-1261. WU Q T, REN H J, QIN Y, et al. Antagonism of endophytic fungus AM569 from *Atractylodes macrocephala* against three *Fusarium* species and ITS molecular identification[J]. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 2022, 63(6): 1257-1261.
- [55] 朱玥妍, 刘姣, 杜春梅. 芽孢杆菌生物防治植物病害研究进展[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(34): 16635-16638. ZHU Y Y, LIU J, DU C M. Research progress on biological control of plant diseases by bacillus[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2012, 40(34): 16635-16638.
- [56] RATTINK H. Biological control of *Fusarium wilt* disease of carnation by an nonpathogenic isolate of *Fusarium oxysporum*[J]. *Acta Horti*, 1992(307): 37-42.
- [57] 吕亮雨, 樊光辉, 付全, 等. 木霉菌生物肥对柴达木地区枸杞生长及土壤性状的影响[J/OL]. 北方园艺: 1-12[2022-11-11]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/23.1247.S.20221028.1716.002.html>. LÜ L Y, FAN G H, FU Q, et al. Effects of *trichoderma* biofertilizer on the growth and soil properties of *Lycium barbarum* L. in Qaidam area[J/OL]. *Northern Horticulture*: 1-12[2022-11-11]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/23.1247.S.20221028.1716.002.html>.
- [58] 苏楨, 张爽, 周乾, 等. 木霉菌剂结合有机肥施用对太子参产量和质量影响[J]. 基层农技推广, 2022, 10(4): 56-59. SU Z, ZHANG S, ZHOU Q, et al. Effect of *trichoderma* on yield and quality of *Pseudostellaria heterophylla*[J]. *Primary Agricultural Technology Extension*, 2022, 10(4): 56-59.
- [59] 李翟, 姜大成, 肖春萍, 等. 木霉菌的分离、鉴定及对人参根系分泌物的趋化性响应[J]. 中药材, 2022, 45(1): 32-36. LI Z, JIANG D C, XIAO C P, et al. Isolation and identification of *trichoderma* and chemotaxis response to root exudates of *Panax ginseng*[J]. *Journal of Chinese Medicinal Materials*, 2022, 45(1): 32-36.
- [60] 邓勋, 宋小双, 尹大川, 等. 引进木霉菌株对药用植物刺五加和五味子苗木的抗病促生作用[J]. 吉林农业大学学报, 2014, 36(2): 164-170. DENG X, SONG X S, YIN D C, et al. Biocontrol and promoting effect of *Trichoderma* strains on *Acanthopanax senticosus* and *Schisandra chinensis* seedlings[J]. *Journal of Jilin Agricultural University*, 2014, 36(2): 164-170.
- [61] CHUNG Y R, KIM H J, OH H S H, et al. Comparison of rhizosphere environments in soils suppressive and conducive to ginseng root rot [J]. *Korean Journal of Applied Entomology*, 1984(23): 142-146.

(责任编辑:叶飞)