

水介导十字花科作物根肿病的传播及其化学防治

于晓坤¹ 吴毅歆² 毛自朝² 何月秋^{1,2}

1. 云南农业大学植物保护学院, 昆明 650201; 2. 云南农业大学农学与生物技术学院, 昆明 650201

摘要 以感病的大白菜品种为供试材料, 采用漂浮育苗池水和人工接种不同菌量的芸薹根肿病菌 (*Plasmodiophora brassicae* Woronin) 休眠孢子悬浮液, 分析病菌在水和土壤环境中的致病性差异, 观察病菌在不同含水量土壤中的传播距离、侵染程度和带菌水浇灌处理后的病情, 并在水培育苗池中进行药剂筛选。结果表明: 人工接种漂浮育苗有利于根肿病传播, 且发病程度与接种的孢子悬浮液带菌量呈正相关, 当以 10^3 、 10^4 、 10^5 、 10^6 、 10^7 个/g 的菌量接种时, 漂浮育苗植株的发病率分别为 9.51%、19.88%、44.31%、63.65%、76.00%, 传统旱育苗植株的发病率分别为 5.33%、15.00%、20.67%、43.33%、45.00%; 在土壤含水量为 38%~115% 的基质上种植大白菜苗, 接种根肿病菌后均能发病, 其中以土壤含水量为 77% 时植株的发病率最高, 当植株距离病菌 5 cm 时, 植株发病率达 20.43%, 距离病菌 10 cm 时, 植株发病率达 10.23%; 在水培育苗池中分别施入 375.0 mg/L 的百菌清 WP、250.0 mg/L 的多菌灵 WP、25.0 mg/L 的氰霜唑 SC、125.0 mg/L 的氟啶胺 SC 和 262.5 mg/L 的 BAS651F SC, 其防治效果分别达 96.65%、94.19%、87.93%、80.18% 和 88.02%, 但所用剂量的氟啶胺 SC 和 BAS651F SC 对大白菜苗有药害作用。

关键词 十字花科作物根肿病; 芸薹根肿菌; 传播; 化学防治

中图分类号 S 432.4⁺4 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2013)01-0048-06

十字花科作物根肿病 (clubroot disease of cruciferous crops) 是世界性土传病害, 由芸薹根肿菌 (*Plasmodiophora brassicae* Woronin) 侵染引起, 其休眠孢子可在土壤中存活 10 年以上^[1]。规模化与多年连作使土传病害传播更广泛, 如育苗生产中所需的有机肥、育苗基质以及不合理的浇灌方式均是传播病原的主要途径^[2-3]。作物根肿病一旦发生, 病情逐年加重, 甚至绝产绝收, 造成严重经济损失^[4]。研究作物根肿病的传播途径, 对规模化育苗和灌溉水处理控制病害有重要意义。灌溉水携带病原传播植物病害是影响农作物增产的突出问题, 水池育苗能加快病害的蔓延速度, 尤其在可利用水较少、降雨量偏低、水分有限时, 这种状况更为严重^[5-6]。灌溉水中含有根肿菌曾有报道, 但已有的研究并未能详细阐述灌溉水中所含根肿菌的数量与其致病性和病害传播流行之间的关系^[7-11]。

近几年来, 十字花科作物根肿病在中国云南、四川、重庆、贵州、西藏、湖南、湖北、安徽、江西、福建、浙江、上海、山东、辽宁、吉林、黑龙江等地均大面积

发生, 尤以西南地区发生更普遍、更严重, 致使大量蔬菜基地不得不改种非十字花科作物^[12]。加强十字花科作物根肿病的研究力度, 采取及时有效的防治措施, 最大限度地降低蔬菜产量损失, 已成为十字花科作物可持续生产的当务之急。笔者检测了蔬菜基地的水源, 分析了作物根肿病的病原菌在水和土壤环境的致病性差异, 调查病菌在不同含水量土壤中的传播距离、侵染程度和带菌水浇灌处理后的病情, 并进行了水培育苗床防治的药剂筛选, 旨在为十字花科作物根肿病的防治提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试感病的大白菜品种青岛 83-1 和甘蓝品种铁头 3 号均购自云南省昆明市茨坝种子市场, 播种前用 70% 乙醇进行种子消毒; 育苗基质为普通腐殖土, 用前采用湿热灭菌处理; 育苗格盘采用高锰酸钾水溶液消毒; 水样取自云南省砚山县城关蔬菜基地育苗池和云南省昆明沙朗乡蔬菜基地育苗池。

收稿日期: 2012-05-14

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201003029)、云南省自然科学基金重点项目(2008CC024)和云南省科技强省专项(2009EB060)

于晓坤, 硕士研究生, 研究方向: 植物病理学. E-mail: yocken85@gmail.com

通讯作者: 何月秋, 博士, 教授. 研究方向: 植物病害生物防治. E-mail: ynh2007@163.com

1.2 根肿菌孢子悬浮液的制备

根肿菌休眠孢子悬浮液的制备方法参照 Castlebury 等^[13]的方法并稍作改进。

取 10 g 新鲜根肿组织,用无菌水洗净后切碎,加入 40 mL 灭菌水,水果榨汁机充分打碎,4 层纱布过滤,滤液移入无菌 50 mL 离心管,800 r/min 离心 10 min,弃沉淀,取上清,3 100 r/min 离心 15 min,弃上清液,取沉淀;加入 10% 次氯酸钠 20 mL 悬浮沉淀物,3 100 r/min 离心 10 min;加入 50 mL 灭菌水悬浮沉淀物,3 100 r/min 离心 10 min,此操作重复 3 次。取沉淀加入 5 mL 无菌水,摇匀。用

血球计数板计算孢子悬浮液带菌量,以无菌水调至菌量为 10^8 个/mL,4 °C 保存备用。

1.3 栽培管理

依据试验目的,将大白菜和甘蓝种子消毒后,分别直接播种于土壤基质、腐殖土或漂浮盘的腐殖土上,置漂浮盘于水池中。在植株生长期间,适量施用尿素,保持其正常生长。

1.4 根肿菌的来源检测

按表 1 进行试验设计,检测蔬菜基地育苗池水传病情况。试验在温室中进行,共设 12 个处理,每处理 30 株。

表 1 蔬菜基地育苗池水传病验证的试验设计¹⁾

Table 1 Design for confirmation of water carrying the pathogen

处理 Treatment	作物 Crop	基质 Substrate	栽培方式 Culture style	浇灌 Watering
1	大白菜 Chinese cabbage	腐殖土 Humus	传统苗床 TSB	无根肿菌水 CW
2	大白菜 Chinese cabbage	灭菌腐殖土 SH	传统苗床 TSB	无根肿菌水 CW
3	大白菜 Chinese cabbage	灭菌腐殖土 SH	传统苗床 TSB	砚山城关育苗池水 YCW
4	大白菜 Chinese cabbage	灭菌腐殖土带菌量 10^5 个/g SH with 10^5 spores/g	传统苗床 TSB	无根肿菌水 CW
5	甘蓝 Cabbage	腐殖土 Humus	传统苗床 TSB	无根肿菌水 CW
6	甘蓝 Cabbage	灭菌腐殖土 SH	传统苗床 TSB	无根肿菌水 CW
7	甘蓝 Cabbage	灭菌腐殖土 SH	传统苗床 TSB	砚山城关育苗池水 YCW
8	甘蓝 Cabbage	灭菌腐殖土带菌量 10^5 个/g SH with 10^5 spores/g	传统苗床 TSB	无根肿菌水 CW
9	大白菜 Chinese cabbage	灭菌腐殖土 SH	漂浮接种带菌量 10^5 个/g Floating on SW with 10^5 spores/g	无根肿菌水 CW
10	大白菜 Chinese cabbage	灭菌腐殖土 SH	昆明沙朗乡育苗池水漂浮 Floating on KSW	无根肿菌水 CW
11	大白菜 Chinese cabbage	灭菌腐殖土 SH	砚山城关育苗池水漂浮 Floating on YCW	无根肿菌水 CW
12	大白菜 Chinese cabbage	灭菌腐殖土 SH	无根肿菌水漂浮 Floating on SW	无根肿菌水 CW

1)1~8:传统育苗 Traditional nursing; 9~12:漂浮育苗 Floatation nursing; SH: Sterilized humus; TSB: Traditional seedling bed; SW: Sterilized water; KSW: Water collected from a floatation culturing system of Shalang Township, Kunming; YCW: Water collected from a floatation culturing system of Yanshan Township; CW: Clean water without *Plasmodiophora brassicae*.

1.5 水培和旱播苗接种

取已制备的根肿菌孢子悬浮液进行水培和旱播苗接种,分别调节育苗池水和腐殖土基质中的带菌量为 10^3 、 10^4 、 10^5 、 10^6 、 10^7 个/g,设不接种根肿病菌水和腐殖土基质为空白对照。

1.6 浇灌接种

处理 1 为清水对照;处理 2~5 分别为以根肿病菌孢子悬浮液 10 、 10^2 、 10^3 、 10^4 个/mL 的菌量浇灌植株接种(表 1)。按照土壤含水量为 77% 设计,在植株生长过程中以 TZS-1 土壤水分测量仪(浙江托普仪器有限公司产品)监测土壤含水量变化并及时以对应病菌孢子悬浮液补充至 77% 含水量。

1.7 土壤含水量与病情观察

采用 TZS-1 土壤水分测量仪测定土壤中的含水量。将沙壤土与有机质按各占 50% 比例混合,并按 TZS-1 土壤水分测定仪的要求,先计算出基质的堆密度,再以体积含水量 20、30、40、50、60 g/cm³ 补充不带菌的洁净水,分别换算成土壤百分含水量为 38%、58%、77%、96%、115%。

在生长过程中以 TZS-1 土壤水分测量仪监测土壤含水量变化并及时从非接种孢子端补充对应含水量。在育苗池的一端按 10^7 个/g 的菌量接种根肿菌孢子悬浮液,然后分别在距离根肿菌土壤 5 cm 和 10 cm 处播种大白菜种子。

1.8 化学药剂筛选

以制备好的病菌孢子悬浮液调节育苗池水的菌量为 10^5 个/mL, 再施入不同药剂。将大白菜种子播种于漂浮盘中, 直接置于育苗池上。供试药剂、有效成分和剂量分别为: 50% 氟啶胺 SC (浙江石原金牛农药有限公司产品), 125.0 mg/L; 10% 氰霜唑 SC (浙江石原金牛农药有限公司产品), 25.0 mg/L; 75% 百菌清 WP (青岛奥迪斯生物科技有限公司产品), 375.0 mg/L; 50% 多菌灵 WP (江苏省江阴市农药二厂有限公司产品), 250.0 mg/L; 53% BAS651F SC [巴斯夫(中国)有限公司产品], 262.5 mg/L; 以不用药为空白对照。

1.9 调查分级标准与统计分析

分级标准参照熊国如^[14]的方法, 各处理均于接种 40 d 后调查病情, 记录并统计病级、病情指数、植株发病率和防治效果等。所有试验均重复 3 次, 对发病率和病情指数先进行反正弦转换, 再采用 DPS 数据处理系统 7.05 的 LSD 法, 比较不同处理之间的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 带菌水与根肿病的传播

试验结果表明, 在处理 1、2、5、6、12 中, 土壤和水中均不带根肿病菌, 大白菜和甘蓝均未发生根肿病, 植株生长正常(表 2)。

表 2 不同处理根肿病的发病率和病情指数¹⁾

Table 2 Disease incidence and disease index of clubroot disease of cruciferous crops after different treatment

处理 Treatment	发病率/% Disease incidence	病情指数 Disease index
1	0.00	0.00
2	0.00	0.00
3	47.34 b	12.22 b
4	94.52 a	23.35 a
5	0.00	0.00
6	0.00	0.00
7	12.52 d	2.13 ef
8	20.94 cd	4.30 de
9	43.75 b	8.81 c
10	29.57 c	6.30 cd
11	29.64 c	6.05 cd
12	0.00	0.00

1) 不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著(下表同)。The different lowercase letters show significance at 0.05 level (the same as following tables).

由表 2 可知, 接种根肿病菌后, 常规育苗和漂浮育苗的植株均发生根肿病, 其中大白菜病情较甘蓝

的严重, 如处理 4 和处理 8 均为带菌量 10^5 个/g 土壤处理, 前者为大白菜, 后者为甘蓝, 其病情指数分别为 23.35 和 4.30, 两者的差异极显著。处理 10 和 11 为来自 2 个不同的育苗基地苗床水漂浮育苗, 病情指数均达 6 以上。处理 3 和处理 7 为砚山县育苗基地水浇灌大白菜和甘蓝, 2 种处理均发生根肿病, 且大白菜病情(处理 3)极显著重于甘蓝(处理 7)。处理 3、7、10、11 的结果表明, 砚山县和昆明沙朗乡 2 个漂浮育苗基地的苗床水均携带根肿病菌。

2.2 水传与土传发病率的差异

试验结果表明, 接种病菌孢子悬浮液后, 无论早育苗还是漂浮育苗, 病情均随着接种菌量的增加逐渐加重, 且漂浮育苗的病情极显著地高于早育苗的病情。以 10^3 、 10^4 、 10^5 、 10^6 、 10^7 个/g 的菌量接种病菌孢子悬浮液后, 水培育苗处理大白菜的发病率分别为 9.51%、19.88%、44.31%、63.65%、76.00%, 病情指数分别为 1.36、4.33、12.19、19.59、23.60; 早育苗处理大白菜的发病率为 5.33%、15.00%、20.67%、43.33%、45.00%, 病情指数分别为 0.76、3.50、4.68、10.19、12.00。

2.3 带菌水浇灌与发病率的关系

试验结果表明, 用带菌水浇灌直播育苗, 在相同土壤含水量的条件下, 植株病情随接种孢子菌量的增加而加重。在浇灌带菌水菌量分别为 10 、 10^2 、 10^3 、 10^4 个/mL 时, 播种 40 d 后植株发病率分别为 0.00%、8.36%、17.34%、37.67%, 病情指数分别为 0.00、1.19、3.39、9.27。在浇灌带菌水菌量为 10 个/mL 的处理中, 没有发现明显的感病植株。这可能是由于接种孢子菌量较低, 且调查总株数有限的原因。

2.4 土壤含水量对病原菌传播距离的影响

试验结果表明, 根肿病发生程度与土壤含水量和接种病菌与大白菜植株的距离关系密切(表 3)。土壤含水量低、植株与接种病菌距离远时, 根肿病发生较轻, 反之发生较重。在距离病菌 5 cm 处, 土壤含水量与植株发病率之间的数学方程式为 $y = -0.039x^2 + 2.964x - 30.575$, $R^2 = 0.8748$; 土壤含水量与病情指数之间的数学方程式为 $y = -0.011x^2 + 0.740x - 8.116$, $R^2 = 0.8872$ 。在距离病菌 10 cm 处, 土壤含水量与植株发病率之间的数学方程式为 $y = -0.018x^2 + 1.466x - 23.236$, $R^2 = 0.6648$; 土壤含水量与病情指数之间的数学方程式为 $y = -0.003x^2 + 0.246x - 3.904$, $R^2 = 0.6124$ 。

表 3 土壤含水量与根肿病发病率的关系¹⁾

Table 3 Soil water content and disease incidence of clubroot disease of cruciferous crops

含水量/% Water content	植株与病菌距离 5 cm Distance 5 cm between plant and pathogen		植株与病菌距离 10 cm Distance 10 cm between plant and pathogen	
	I	II	I	II
	38	2.23 b	0.33 b	0.00 c
58	9.00 b	1.30 b	0.00 c	0.00 b
77	20.43 a	2.93 a	10.23 a	2.37 a
96	8.07 b	1.13 b	4.17 b	0.87 b
115	4.70 b	0.70 b	0.00 c	0.00 b

1) I: 发病率/% Disease incidence; II: 病情指数 Disease index.

由表 3 可知, 当土壤含水量为 38%、植株距离病菌 5 cm 时, 植株发病率为 2.23%, 病情指数为 0.33; 在同样土壤含水量、植株距离病菌 10 cm 时, 则未见发病植株, 表明在土壤含水量 38% 时, 植株的根系未生长至 10 cm 处或根肿病菌未能随水移动至 10 cm 处。当含土壤水量达 77% 和 96% 时, 距离病菌 5 cm 和 10 cm 的植株均罹病, 且以距离病

菌 5 cm 处的植株病情较重。土壤含水量为 77%、距离病菌 5 cm 的植株发病率达 20.43%, 距离 10 cm 的植株发病率为 10.23%。土壤含水量达 115% 时, 仅有距离病菌 5 cm 处的植株发病, 且病情显著低于土壤含水量为 58%~96% 的植株, 而距离病菌 10 cm 的植株则未发病。

2.5 化学药剂对根肿病的防治效果

药效试验结果表明, 375 mg/L 的百菌清 WP 防治效果最好, 达 96.65%, 且对大白菜生长没有不利影响; 其次为 250 mg/L 的多菌灵 WP, 防治效果达 94.19%, 但所有处理间差异均不显著(表 4)。从用药剂量与防治效果之间的关系分析, 氰霜唑 SC 效果最好, 25.0 mg/L 的防治效果就可达 87.93%, 与 375.0 mg/L 的多菌灵 WP 处理没有显著差异。另外, 氟啶胺 SC 和 BAS651F SC 对大白菜生长影响较大, 药剂处理后植株生长缓慢、矮小, 故不利于在水培苗床上大规模推广应用。

表 4 不同化学药剂对根肿病的防治效果

Table 4 Control effect of different fungicides on clubroot disease of cruciferous crops

药剂 Fungicides	剂量/(mg/L) Dose	发病率/% Percentage of diseased root	病情指数 Disease index	防治效果/% Control efficiency
对照 CK	—	50.13 a	11.35 a	—
百菌清 WP Chlorothalonil WP	375.0	2.68 b	0.38 b	96.65
多菌灵 WP Carbendazim WP	250.0	4.61 b	0.66 b	94.19
氰霜唑 SC Cyazofamid SC	25.0	7.99 b	1.37 b	87.93
氟啶胺 SC Fluazinam SC	125.0	12.85 b	2.25 b	80.18
BAS651F SC	262.5	9.53 b	1.36 b	88.02

3 讨 论

由芸薹根肿菌 *Plasmodiophora brassicae* 引起的十字花科作物和杂草根肿病, 病菌寄主范围广, 并可通过种子粘附、土壤、堆肥、病苗、流水带菌等多途径传播。我国自 20 世纪末从台湾、湖南、江西等地相继发现根肿病以来, 病害发展一直较慢, 但进入 21 世纪后病情和发生面积迅速扩大, 且在绝大部分省市均有不同程度分布, 尤以西南地区、华东地区和东北地区病情最为严重。在目前经济建设大潮中, 人员流动和物质交往频繁, 仅依靠检疫难以控制病害的远距离传播。现代农业规模化种植程度越来越高, 特别是种苗业发展迅速, 大棚温室漂浮育苗已成为各地主要的育苗形式。然而, 大多数育苗基地连同漂浮盘出售秧苗, 随后收回苗盘。这些苗盘用于不同地块, 返回后没有彻底消毒或者将粘附盘外的土壤带入育苗池水中, 致使病害通过漂浮育苗大量

传播。笔者于 2009 年和 2010 年调查了云南省砚山县城关和昆明市五华区沙朗蔬菜基地的灌溉水来源、苗床和地块。这 2 个基地以及周边地区此前均无根肿病历史, 但在调查当年, 种植的紫红色甘蓝、茎芥菜和大白菜均全部发生根肿病, 而基地以外农户菜地则未发生根肿病。在调查地的漂浮育苗床上也发现部分菜苗根部有根肿病, 个别植株还有萎蔫现象。取回苗床水后, 于实验室再次漂浮育苗, 新培育的大白菜和甘蓝苗亦发生根肿病。究其根肿病菌来源, 发现所用的育苗盘均来自根肿病发生严重的昆明市呈贡县斗南蔬菜基地, 且未加消毒而直接用于新基地漂浮育苗。调查结果表明, 管理不严的现代化育苗基地是根肿病迅速蔓延传播的中心之一。

带菌水传播也是根肿病迅速传播的主要原因之一。在根肿病发生区, 不仅地块之间灌溉水漫灌和串灌现象普遍, 而且种植户常在公共水源中清洗蔬菜, 随意丢弃病株或将带病的蔬菜卖给养鱼户喂鱼,

再用这些被污染了的池塘、水库中的水灌溉农田,从而加速了病菌扩散与蔓延,使病害发生面积逐年扩大。另一方面,菜农从育苗公司购回的菜苗连同育苗盘一起搬运到大田,感染病菌后育苗盘又返回到育苗公司,后者不加消毒地直接将返回的育苗盘用于漂浮育苗,苗床水有利于根肿病菌传播,且孢子量越多,幼苗感病率越高。本试验结果表明,大白菜秧苗根肿病发病程度随着接种菌量的增加而加重,且以同样菌量处理水培苗发病重于传统育苗;以不同接种菌量的孢子悬浮液浇灌大白菜,其发病程度也类似。

土壤中含水量与病菌短距离扩散有关。本试验结果表明,土壤含水量在 38%~115%、病菌距植株 5 cm 时,大白菜植株均感病;病菌距植株 10 cm、土壤含水量在 115% 时,则植株未发病。2 种距离条件下,均为低湿度发病轻,77% 湿度时发病最重,过高湿度反而病情有减轻的现象。云南地区每年在 5—10 月期间,恰逢雨季,非常有利根肿病菌的传播^[10]。在传统育苗和漂浮育苗试验中,也存在这种现象,以孢子悬浮液带菌量 10^5 个/mL 接种时,漂浮育苗的病情反而低于传统育苗。这可能与传统育苗时,所有病菌孢子是均匀地混合到基质中的各部分,病菌在萌发和侵入过种中需要有足够的氧气有关。本试验中各处理为单盆试验,没有水的搅动,而育苗基地,在施肥或从一端灌水等操作而经常搅动苗床水,有利于病菌孢子的扩散,从而加重了病情。同理,在以不同菌量的孢子悬浮液浇灌试验中,由于未将孢子均匀地拌入,而是直接浇于基质中,不利于孢子均匀扩散;在漂浮育苗时,以用于浇灌土壤相同菌量接种于池水中,孢子扩散较基质中快且更均匀,故漂浮育苗中的大白菜发病重于传统基质中大白菜病情。综上所述,在固体基质中,如果不混匀病菌孢子,即使用相同菌量接种,大白菜苗的病情也可能轻于漂浮育苗的病情。

本试验采用增加基质的有机质含量,实现了栽培基质含水量大于 100% 的目标,其原因是有机质吸水能力强,可超过自身重量很多^[15]。基质吸水量的多少取决于用材,如栗亚宁等^[16]的研究发现进口草炭基质吸水可高于自身的 10 倍,大白菜苗距离病菌 10 cm 时,基质中低水量都没有发病植株,其原因可能是植株播种较密,根系伸展不长,未达到 10 cm 范围,从而未接触病菌,或根系分泌物未达病菌感应范围。通常大田种植时株行距较大,大白菜根系扩

展范围常达 20 cm 以外。关于病菌与大白菜苗间距离同病情之间的关系,目前的试验还处于探索阶段。

鉴于漂浮育苗有利于根肿病传播,且漂浮育苗基地是病害传播中心之一,本试验对 5 种杀菌剂在漂浮苗床根肿病的防治效果进行了分析,结果表明 375.0 mg/L 的百菌清 WP 防治效果可达 96.65%。这比严位中等^[3]在田间的防治效果 78.8% 高得多。此外,苗床上植株多,带基质移栽成活率高,故在漂浮育苗床上施用化学药剂是防治根肿病简单易行且快捷高效的方法。

参 考 文 献

- [1] BRASELTON J P. Current status of the plasmodiophorids [J]. *Critical reviews in microbiology*, 1995, 21(4): 263-275.
- [2] 李金萍,朱玉芹,李宝聚. 十字花科蔬菜根肿病的传播途径[J]. *中国蔬菜*, 2010(5): 21-22.
- [3] 严位中,杨家鸾,孙道旺,等. 云南十字花科蔬菜根肿病发生规律及防治技术研究[J]. *石河子大学学报:自然科学版*, 2008(S1): 118-122.
- [4] 郭向华. 甘蓝根肿病菌的生物学特性及致病研究[D]. 重庆:西南农业大学图书馆, 2001.
- [5] HONG C X, MOONMAN G W. Plant pathogens in irrigation water: challenges and opportunities [J]. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 2005, 24(3): 189-208.
- [6] BUSH E A. Characterization of phytophthora species in recycled irrigation water at a container nursery in southwestern Virginia [D]. Blacksburg, Virginia Polytechnic Institute and State University, 2002.
- [7] DONALD E C, CROSS S J, LAWRENCE J M, et al. Pathotypes of *Plasmodiophora brassicae*, the cause of clubroot in Australia [J]. *Annals of Applied Biology*, 2006, 148(3): 239-244.
- [8] MURAKAMI H, TSUSHIMA S, AKIMOTO T, et al. Reduction of spore density of *Plasmodiophora brassicae* in soil by decoy plants [J]. *Journal of General Plant Pathology*, 2001, 67(1): 85-88.
- [9] 杨明英,李向东,孙道旺,等. 白菜根肿病菌致病性因素研究[J]. *西南农业学报*, 2011, 24(2): 612-615.
- [10] 杨明英,杨家鸾,孙道旺,等. 土壤含水量对白菜根肿病发生的影响研究[J]. *西南农业学报*, 2004, 17(4): 482-483.
- [11] 吕理桑. 十字花科蔬菜根肿病[J]. *云南农业大学学报*, 2002, 17(2): 134-136.
- [12] 王靖,黄云,李小兰,等. 十字花科根肿病研究进展[J]. *植物保护*, 2012, 37(6): 153-158.
- [13] CASTLEBURY L A, MADDOX J V, GLAWE D A. A technique for the extraction and purification of viable *Plasmodiophora brassicae* resting spores from host root tissue [J]. *Mycologia*, 1994: 458-460.

- [14] 熊国如. 枯草芽孢杆菌 XF-1 防治根肿病及其生防特性研究 [D]. 昆明: 云南农业大学图书馆, 2009.
- [15] 闫杰, 罗庆熙, 韩丽萍. 工厂化育苗基质研究进展[J]. 中国蔬菜, 2006(2): 34-37.
- [16] 栗亚宁, 孙向阳, 刘克林, 等. 几种泥炭基质物理性质比较研究 [J]. 中国农业科学, 2008, 24(9): 137-140.

Water-mediated dissemination and chemical control of clubroot disease of cruciferous crops

YU Xiao-kun¹ WU Yi-xin² MAO Zi-chao² HE Yue-qiu^{1,2}

1. College of Plant Protection, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China;

2. College of Agronomy and Biotechnology, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China

Abstract By planting a susceptible Chinese vegetable in the seedling bed irrigated with *Plasmodiophora brassicae* Woronin contaminated water from floatation culturing system (FCS) and inoculated with the resting spores of the pathogen, the pathogenicity was analyzed in water and soil, the spread distance of the pathogen and clubroot disease severity in the soil with different water contents and irrigated with different resting spores water was investigated, and chemicals were screened in the FCS for the disease control. The results showed that FCS inoculated with the pathogen favored the disease spread, and disease severity was positively related to the inoculum number. Disease incidences were 9.51%, 19.88%, 44.31%, 63.65% and 76.00% in FCS and 5.33%, 15.00%, 20.67%, 43.33% and 45.00% in traditional soil culturing system when 10^3 , 10^4 , 10^5 , 10^6 , 10^7 spores/g were inoculated onto Chinese cabbage respectively. Chinese cabbage became diseased when it was seeded in the culture substrate with 38%-115% water content, but the culture substrate with 77% water content best benefited the disease. When the plants growing in the substrate were 5 cm and 10 cm far from the pathogen, the disease incidence were 20.43% and 10.23% respectively. The active ingredient of 375.0 mg/L chlorothalonil WP, 250.0 mg/L carbendazim WP, 25.0 mg/L cyazofamid SC, 125.0 mg/L fluazinam SC and 262.5 mg/L BAS651F were applied to the FCS, they could control 96.65%, 94.19%, 87.93%, 80.18% and 88.02% of the disease, respectively, but fluazinam SC and BAS651F inhibited the plant growth when their concentrations were used in this experiment.

Key words clubroot disease of cruciferous crops; *Plasmodiophora brassicae* Woronin; dissemination; chemical control

(责任编辑: 陈红叶)