

# 10 种白僵菌菌株发酵液对植物线虫和昆虫病原线虫的生物活性

路文雅<sup>1</sup>,张 丽<sup>2</sup>,关美娟<sup>1</sup>,董建臻<sup>1\*</sup>

(1.河北农业大学 植物保护学院,河北 保定 071000; 2.河北省植保植检站,河北 石家庄 050000)

**摘要:** 为了获得高效的杀线虫生防菌资源,以山药短体线虫(*Pratylenchus* sp.)、黄瓜根结线虫(*Meloidogyne* sp.)为靶标,对 10 种白僵菌菌株发酵液的杀线虫活性进行测定,同时测定了白僵菌菌株发酵液对昆虫病原线虫小卷蛾斯氏线虫(*Steinernema carpocapsae* All)的生物活性。结果表明,菌株 BD-B173、BD-B180、BD-B061-3 和 BD-B315 对山药短体线虫具有高毒力,24 h 校正死亡率分别为 97.20%、96.50%、91.16%、90.32%;48 h 校正死亡率分别为 97.30%、97.67%、92.45%、94.40%。菌株 BD-B061-3、BD-B198、BD-B118 和 BD-B173 对黄瓜根结线虫具有高毒力,24 h 校正死亡率分别为 97.47%、91.65%、81.37%、68.92%;48 h 校正死亡率分别为 98.73%、95.27%、87.53%、96.53%。10 种白僵菌菌株发酵液对小卷蛾斯氏线虫 24 h 及 48 h 的校正死亡率均不超过 10%。说明 10 种白僵菌菌株发酵液对 2 种植物线虫的杀虫活性具有特异性,且对昆虫病原线虫小卷蛾斯氏线虫的毒力均较弱。

**关键词:** 白僵菌;发酵液;线虫;生物活性

**中图分类号:** S476.1      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1004-3268(2016)02-0082-05

## Bioactivities of Fermentation Filtrate of 10 *Beauveria bassiana* Strains on Plant Nematode and Entomopathogenic Nematode

LU Wenya<sup>1</sup>,ZHANG Li<sup>2</sup>,GUAN Meijuan<sup>1</sup>,DONG Jianzhen<sup>1\*</sup>

(1. College of Plant Protection, Hebei Agricultural University, Baoding 071000, China;  
2. Plant Protection and Quarantine Station of Hebei Province, Shijiazhuang 050000, China)

**Abstract:** To obtain efficient biocontrol resources for controlling nematodes, this study evaluated the toxicity of fungal culture filtrates of 10 *Beauveria bassiana* strains to two target nematodes, *Pratylenchus* sp. and *Meloidogyne* sp.. Then their bioactivity was measured against *Steinernema carpocapsae* All, an entomopathogenic nematode. Results showed that BD-B173, BD-B180, BD-B061-3 and BD-B315 were high virulence strains for *Pratylenchus* sp.. After 24 h, the corrected mortalities were 97.20%, 96.50%, 91.16% and 90.32%; After 48 h, the corrected mortalities were 97.30%, 97.67%, 92.45% and 94.40%, respectively. BD-B061-3, BD-B198, BD-B118 and BD-B173 were high virulence strains for *Meloidogyne* sp.. After 24 h, the corrected mortalities were 97.47%, 91.65%, 81.37% and 68.92%; After 48 h, the corrected mortalities were 98.73%, 95.27%, 87.53% and 96.53%, respectively. After treated with fermentation filtrates of 10 *Beauveria bassiana* strains for 24 h and 48 h, the corrected mortality of *Steinernema carpocapsae* All was less than 10%. In comparison, there were significant differences among 10 *Beauveria bassiana* strains in virulence against two species of plant nematodes. Almost all of the 10 *Beauveria bassiana* strains had lower activity against *Steinernema carpocapsae* All.

收稿日期:2015-07-01  
基金项目:河北蔬菜线虫防治专项;河北农业大学科研发展基金计划项目(1502013)  
作者简介:路文雅(1990-),女,河北衡水人,在读硕士研究生,研究方向:害虫生物防治。E-mail:xiaoyaya820815@163.com  
\* 通讯作者:董建臻(1959-),男,河北博野人,教授,主要从事害虫生物防治和系统发育研究。E-mail:djz116@sina.com

**Key words:** *Beauveria bassiana*; fermentation filtrates; nematodes; biological activity

植物寄生线虫是一类重要的病原微生物,分布广、种类多。目前全世界已报道的植物线虫有200多属5000余种,给农林业生产造成了严重危害<sup>[1]</sup>。山药短体线虫(*Pratylenchus* sp.)是一种给山药带来毁灭性危害的植物寄生线虫。近年来随着农业产业结构的调整,山药种植面积逐年增加,且给农民带来了可观的经济效益,其开发前景极为广阔。然而,山药因重茬连作,遭受短体线虫病的危害也逐年增加,从而严重制约着山药生产的发展。根结线虫(*Meloidogyne* spp.)可以侵染很多作物,其中蔬菜和果树受害较严重<sup>[2]</sup>,近年来随着蔬菜产业的迅速发展,蔬菜种植规模越来越大,标准化程度越来越高,蔬菜根结线虫的危害程度逐年增加<sup>[3]</sup>,给国家的蔬菜产业造成了巨大损失。

长期以来生产中主要采用化学方法防治植物寄生线虫,由于人工合成的杀线虫剂毒性均较高,导致线虫产生抗药性,更重要的是严重污染人类生存环境。同时,也致使农产品农药残留和杀伤天敌等副作用日益严重<sup>[4-5]</sup>,因此化学防治已不适应农林业生产发展的需要。近年来,随着国家大力倡导农业生产的可持续发展,生物防治越来越受到重视,特别是利用真菌的代谢产物控制线虫病害在国内外已取得了显著的成果<sup>[6-7]</sup>。

目前已记载的杀虫真菌约100属800多种,白僵菌是研究和应用较多的一种,它的杀虫谱非常广泛,能寄生700余种昆虫和螨<sup>[8-10]</sup>。至1999年,在国际上白僵菌已有17种产品注册登记<sup>[11]</sup>。近年来有研究发现,白僵菌可产生白僵菌素<sup>[12]</sup>、球孢白僵菌素<sup>[13]</sup>、卵孢毒素以及其他毒素,其对植物线虫也具有活性<sup>[14]</sup>。刘霆等筛选出了1株具有杀线虫毒力的球孢白僵菌菌株Snf907,明确了其对根结线虫<sup>[14]</sup>、甘薯茎线虫<sup>[15]</sup>和大豆胞囊线虫<sup>[16]</sup>都有很强的毒杀作用。之后陈增齐等<sup>[17]</sup>研究发现,该菌株发酵液处理接种线虫的番茄幼苗后,对番茄根结线虫病害具有较好的防治效果,并且随着发酵液浓度的升高,番茄幼苗根内几种防御酶活性上升。刘丹丹等<sup>[18]</sup>通过活体检测方法,分别测定了不同浓度的球孢白僵菌发酵液对线虫死亡率的影响,并对杀虫活性物质进行了分离纯化,其纯度达97.38%。刘琼等<sup>[19]</sup>研究了球孢白僵菌代谢产物对南方根结线虫的作用机制,明确其通过抑制南方根结线虫的运动能力、呼吸作用和降低乙酰胆碱酯酶活性,同时干扰线虫体内糖和蛋白质的代谢,以及增加虫体内容物

的渗漏,从而起到毒杀植物线虫的作用。

目前关于白僵菌发酵液对植物寄生线虫生物活性的研究仍较少,尤其对山药短体线虫的防治效果还未见报道。因此,本研究测定10种白僵菌菌株发酵液对山药短体线虫和黄瓜根结线虫的毒力,以期筛选出对2种线虫具有高毒力的菌株,为植物线虫防治提供理论依据,同时对1种昆虫病原线虫小卷蛾斯氏线虫(*Steinernema carpocapsae* All)进行了生物活性测定,以明确白僵菌发酵液对生防线虫的影响。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料

1.1.1 供试线虫 山药短体线虫(*Pratylenchus* sp.)和黄瓜根结线虫(*Meloidogyne* sp.)由河北农业大学植物保护学院生物防治实验室分离并保存,小卷蛾斯氏线虫(*Steinernema carpocapsae* All)也由该实验室保存。

1.1.2 供试菌株及培养基 白僵菌菌株BD-B173、BD-B198、BD-B161、BD-B118、BD-B008-2、BD-B180、BD-B015、BD-B061-3、BD-B315、BD-B511由河北农业大学植物保护学院生物防治实验室提供。

菌种保存培养基为PDA培养基:马铃薯(去皮)200 g、葡萄糖20 g、琼脂20 g、蒸馏水1000 mL;发酵培养基为改良查氏液体培养基:蛋白胨5 g、酵母粉5 g、葡萄糖20 g、 $K_2HPO_4$  0.5 g、 $MgSO_4$  0.5 g、KCl 0.5 g、蒸馏水1000 mL。

### 1.2 试验方法

1.2.1 白僵菌发酵液的制备 25℃下用PDA培养基培养白僵菌7 d,在菌落边缘用5 mm直径的打孔器打菌饼2个,接种于装有50 mL灭菌改良查氏液体培养基的三角瓶内,25℃摇床振荡培养(150 r/min)7 d,培养好的白僵菌发酵液经8000 r/min离心10 min去除孢子和菌丝体,将滤液置于4℃冰箱中保存备用。

1.2.2 植物线虫的分离和保存 山药短体线虫的分离和保存:将带有山药短体线虫的山药切成小块,放入铺有3层面巾纸、孔径大小为0.15 mm的筛子上,将筛子放入适宜大小的托盘内,然后向托盘内加水直至病组织完全浸没,静置24 h。将收集到的线虫液用灭菌水洗3次,放入4℃冰箱保存备用。

黄瓜根结线虫的分离与保存:将带有根结线虫

的黄瓜根部剪成 3 ~ 5 cm 长的根段,放在盛有清水的培养皿中,剥掉根的表皮,挑出卵囊和雌虫。将卵囊和雌虫放在培养皿中,用 0.5% 次氯酸钠处理 3 min,再用无菌水冲洗 3 次,置于 25 ℃ 培养箱中进行孵化。3 d 后将孵化的 2 龄幼虫放在培养皿中并加少量水,10 ℃ 保存备用。

1.2.3 白僵菌发酵液对线虫的活性测定 取洁净灭菌的 24 孔板,分别加入 200 μL 线虫悬液(内含线虫 2 龄幼虫约 130 条),再向其中滴加 200 μL 白僵菌发酵液,混匀。以清水处理为对照(CK),每个处理重复 3 次,分别于 24 h、48 h 镜检并记录供试线虫总数和死亡数,计算线虫死亡率和校正死亡率。将处理靶标线虫 24 h 及 48 h 后校正死亡率分别达到 80% 及 90% 以上作为筛选标准<sup>[20]</sup>。

线虫死亡率 = 死亡线虫数 / 供试线虫数 × 100%  
校正死亡率 = (处理线虫死亡率 - 对照线虫死亡率) / (1 - 对照线虫死亡率) × 100%。  
所得数据经 DPS 软件统计处理,用 Duncan 氏新复极差法进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 白僵菌发酵液对山药短体线虫的室内毒力

由表 1 可知,10 种白僵菌菌株发酵液对山药短体线虫的毒力存在显著性差异。处理 24 h 后,10 株白僵菌菌株发酵液对山药短体线虫的毒力大小依次为:BD - B173 > BD - B180 > BD - B061 - 3 > BD -

B315 > BD - B008 - 2 > BD - B511 > BD - B118 > BD - B198 > BD - B015 > BD - B161。对山药短体线虫校正死亡率超过 80% 的菌株有 BD - B173、BD - B180、BD - B061 - 3 和 BD - B315,其校正死亡率分别为 97.20%、96.50%、91.16%、90.32%。

处理 48 h 后,10 株白僵菌菌株发酵液对山药短体线虫的毒力大小依次为:BD - B180 > BD - B173 > BD - B315 > BD - B061 - 3 > BD - B511 > BD - B008 - 2 > BD - B118 > BD - B198 > BD - B015 > BD - B161。对山药短体线虫的校正死亡率超过 90% 的菌株有 BD - B180、BD - B173、BD - B315、BD - B061 - 3,其校正死亡率分别为 97.67%、97.30%、94.40%、92.45%。虽然菌株 BD - B511 毒力也较高,在处理山药短体线虫 48 h 后校正死亡率达到 82.14%,但尚未达到筛选标准。因此,处理 24 h 及 48 h 对山药短体线虫的校正死亡率超过 80% 及 90% 的菌株有 BD - B173、BD - B180、BD - B061 - 3 和 BD - B315,这 4 株可以作为对山药短体线虫有高毒性潜力的生防菌株。

白僵菌菌株 BD - B511 和 BD - B008 - 2 的发酵液在处理山药短体线虫 24 h 与 48 h 的校正死亡率存在显著性差异。BD - B511 处理山药短体线虫 24 h 后的校正死亡率为 14.83%,48 h 后的校正死亡率达到 82.14%;BD - B008 - 2 处理山药短体线虫 24 h 后的校正死亡率为 17.73%,48 h 后的校正死亡率为 58.13%。

表 1 白僵菌发酵液对山药短体线虫的室内毒力

菌株	处理 24 h			处理 48 h		
	试虫数 /头	死亡数 /头	校正死亡 率/%	试虫数 /头	死亡数 /头	校正死亡 率/%
BD - B173	357	347	97.20 ± 0.46a	333	324	97.30 ± 1.06ab
BD - B315	341	308	90.32 ± 0.95b	339	320	94.40 ± 0.47bc
BD - B511	344	51	14.83 ± 5.33c	336	276	82.14 ± 3.44d
BD - B061 - 3	430	392	91.16 ± 1.80b	318	294	92.45 ± 1.40c
BD - B015	368	11	2.99 ± 0.41de	377	15	3.98 ± 0.67f
BD - B161	414	9	2.17 ± 0.63de	414	12	2.90 ± 0.60f
BD - B198	452	19	4.20 ± 1.52d	458	21	4.59 ± 0.15f
BD - B118	478	21	4.39 ± 0.84d	478	25	5.23 ± 1.18f
BD - B180	429	414	96.50 ± 0.55a	429	419	97.67 ± 0.30a
BD - B008 - 2	406	72	17.73 ± 0.16c	406	236	58.13 ± 2.73e
CK	384	0	0e	401	0	0g

注:同列数据后相同小写字母表示数据间无显著差异(P>0.05),下同。

2.2 白僵菌发酵液对黄瓜根结线虫的室内毒力

由表 2 可知,10 种白僵菌菌株发酵液对黄瓜根结线虫的毒力存在显著性差异。处理 24 h 后,10 株白僵菌菌株发酵液对黄瓜根结线虫的毒力大小依次为:BD - B061 - 3 > BD - B198 > BD - B118 > BD -

B008 - 2 > BD - B173 > BD - B511 > BD - B315 > BD - B180 > BD - B015 > BD - B161。对黄瓜根结线虫的校正死亡率超过 80% 的菌株有 BD - B061 - 3、BD - B198、BD - B118,其校正死亡率分别为 97.47%、91.65%、81.37%。

处理 48 h 后,10 株白僵菌菌株发酵液对黄瓜根结线虫的毒力大小依次为:BD - B061 - 3 > BD - B173 > BD - B198 > BD - B180 > BD - B008 - 2 > BD - B118 > BD - B511 > BD - B015 > BD - B315 > BD - B161。对黄瓜根结线虫校正死亡率超过 90% 的菌株有 BD - B173、BD - B061 - 3、BD - B198,其校正死亡率分别为 96.53%、98.73%、95.27%。虽然菌株 BD - B180、BD - B008 - 2、BD - B118、BD - B511 毒力也较高,在处理黄瓜根结线虫 48 h 后校正死亡率均达到 80% 以上,但尚未达到筛选标准。因此,处理 24 h 及 48 h 对黄瓜根结线虫的校正死亡

率超过 80% 及 90% 的菌株有 BD - B061 - 3、BD - B198、BD - B118、BD - B173,这 4 株可以作为对黄瓜根结线虫有高毒性潜力的生防菌株。

白僵菌菌株 BD - B015 和 BD - B180 的发酵液在处理黄瓜根结线虫 24 h 与 48 h 的校正死亡率存在显著性差异。BD - B015 处理黄瓜根结线虫 24 h 后的校正死亡率为 19.71%,48 h 后的校正死亡率为 78.98%;BD - B180 处理黄瓜根结线虫 24 h 后的校正死亡率为 28.68%,48 h 后校正死亡率达到 89.51%。

表 2 白僵菌发酵液对黄瓜根结线虫的室内毒力

菌株	处理 24 h			处理 48 h		
	试虫数	死亡数	校正死亡	试虫数	死亡数	校正死亡
	/头	/头	率/%	/头	/头	率/%
BD - B173	399	275	68.92 ± 1.19d	403	389	96.53 ± 2.66b
BD - B315	401	187	46.63 ± 4.65e	401	247	61.60 ± 1.59g
BD - B511	388	246	63.40 ± 1.38d	389	334	85.86 ± 0.40e
BD - B061 - 3	395	385	97.47 ± 0.85a	393	388	98.73 ± 0.76a
BD - B015	421	83	19.71 ± 1.09g	433	342	78.98 ± 0.62f
BD - B161	410	13	3.17 ± 0.09h	414	35	8.45 ± 0.50h
BD - B198	395	362	91.65 ± 1.06b	402	383	95.27 ± 0.67b
BD - B118	408	332	81.37 ± 1.76c	401	351	87.53 ± 1.27de
BD - B180	401	115	28.68 ± 1.27f	391	350	89.51 ± 0.36c
BD - B008 - 2	397	281	70.78 ± 1.22d	403	360	89.33 ± 0.60cd
CK	399	0	0h	406	0	0h

2.3 白僵菌发酵液对小卷蛾斯氏线虫的室内毒力

小卷蛾斯氏线虫是研究最多的昆虫病原线虫种类,用其作靶标对白僵菌菌株发酵液进行筛选有重要意义。由表 3 可知,10 种白僵菌菌株发酵液对小

卷蛾斯氏线虫的活性均较低,处理 24 h 和 48 h 校正死亡率均在 10% 以下,表明这 10 种菌株对昆虫病原线虫小卷蛾斯氏线虫均无强毒杀作用。

表 3 白僵菌发酵液对小卷蛾斯氏线虫的室内毒力

菌株	处理 24 h			处理 48 h		
	试虫数	死亡数	校正死亡	试虫数	死亡数	校正死亡
	/头	/头	率/%	/头	/头	率/%
BD - B173	413	17	4.12 ± 0.37b	411	19	4.62 ± 0.71a
BD - B315	406	7	1.72 ± 0.37de	403	6	1.49 ± 0.70bcd
BD - B511	413	21	5.08 ± 0.69a	414	21	5.07 ± 0.60a
BD - B061 - 3	393	5	1.27 ± 0.42ef	393	5	1.27 ± 0.45cd
BD - B015	423	16	3.78 ± 0.18b	433	18	4.16 ± 0.49a
BD - B161	414	7	1.69 ± 0.34de	414	8	1.93 ± 0.38bc
BD - B198	452	19	4.20 ± 0.87b	445	19	4.27 ± 1.03a
BD - B118	478	12	2.51 ± 0.50cd	450	12	2.67 ± 0.71b
BD - B180	429	13	3.03 ± 0.27c	422	11	2.61 ± 0.36b
BD - B008 - 2	406	8	1.97 ± 0.38de	405	9	2.22 ± 0.76bc
CK	408	0	0f	406	0	0d

3 结论与讨论

本试验结果表明,10 种白僵菌菌株发酵液对植物线虫的毒力存在特异性,筛选出 4 株对山药短体

线虫具有高毒力的菌株,分别为 BD - B173、BD - B180、BD - B061 - 3、BD - B315,以及 4 株对黄瓜根结线虫具有高毒力的菌株,分别为 BD - B061 - 3、BD - B198、BD - B118 和 BD - B173。其特异性的

原因可能是白僵菌菌株发酵液中含有多种杀线虫活性物质,不同物质对不同种类线虫的作用位点不同,所以不同菌株的发酵液对线虫的生物活性存在差异,这与陈立杰等<sup>[21]</sup>的研究结果相同。研究还发现,白僵菌菌株 BD-B173 和 BD-B061-3 的发酵液对山药短体线虫和黄瓜根结线虫均有较高毒力,表现出较宽的杀虫谱。陈立杰等<sup>[21]</sup>研究发现,白僵菌发酵液对生防线虫小杆线虫表现出很强的活性,被杀死的小杆线虫体壁以及虫体内部物质不同程度消解,但本研究筛选出的对植物线虫具有高毒力的白僵菌菌株发酵液对昆虫生防线虫小卷蛾斯氏线虫均无强毒杀作用。至于这些白僵菌菌株发酵液有效杀线虫活性成分以及杀虫机制等问题,还有待进一步的研究。

#### 参考文献:

- [1] 冯志新. 植物线虫学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001.
- [2] 孙海生, 王忠跃, 樊秀彩, 等. 24 份葡萄种质抗根结线虫特性的田间自然鉴定[J]. 中国南方果树, 2008, 37(1): 56-59.
- [3] 余永志, 童凤林. 两种新型杀线虫剂对黄瓜根结线虫的防治试验[J]. 长江蔬菜, 2014(4): 61-63.
- [4] 刘奇志, 童越敏, 马涛, 等. 新生物杀线虫剂对线虫致死力室内测定[J]. 植物保护, 2005, 31(1): 87-89.
- [5] 姜双林, 韩芬茹. 杀虫剂对绣线菊蚜及其天敌的敏感性和选择性研究[J]. 甘肃农业大学学报, 2005, 40(2): 157-160.
- [6] 董锦艳, 李国红, 张克勤. 真菌杀线虫代谢物的研究进展[J]. 菌物系统, 2001, 20(2): 286-296.
- [7] 向红琼, 冯志新. 粗皮侧耳生物学特性及其与杀线虫毒力的关系[J]. 植物病理学报, 2000, 30(3): 271-278.
- [8] 邓春生, 张燕荣, 张曼曼, 等. 球孢白僵菌可湿性粉剂对马铃薯甲虫的防治效果[J]. 中国生物防治学报, 2012, 28(1): 62-66.
- [9] Hatting J L, Wraight S P, Miller R M. Efficiency of *Beauveria bassiana* for control of Russian wheat aphid on resistant wheat under yield conditions[J]. Biocontrol Sci Technol, 2004, 14: 459-473.
- [10] Pu X Y, Feng M G, Shi C H. Impact of three application methods on the efficacy of a *Beauveria bassiana*-based mycoinsecticide against the false-eye leafhopper, *Empoasca vitis* in tea canopy[J]. Crop Protection, 2005, 24(2): 167-175.
- [11] 李增智. 菌物在害虫、植病和杂草治理中的现状和未来[J]. 中国生物防治, 1999, 15(1): 35-40.
- [12] Hamill P L, Higgeus C E, Boan H E. The structure of beauvericin, a new depsipeptide antibiotic toxic to *Artemia salina*[J]. Tetrahedron Letters, 1969, 49: 4255-4258.
- [13] Suzuki A, Kanaoka M, Isogai A, et al. Bassianolide, a new insecticidal cyclodepsipeptide from *Beauveria bassiana* and *Verticillium lecanii*[J]. Tetrahedron Letters, 1977, 18(25): 2167-2170.
- [14] Liu T, Wang L, Duan Y X, et al. Nematicidal activity of culture filtrate of *Beauveria bassiana* against *Meloidogyne hapla*[J]. World J Microbiol Biotech, 2008, 24(1): 113-118.
- [15] 刘霆, 王莉, 段玉玺, 等. Snf907 真菌代谢物对甘薯茎线虫活性的影响[J]. 河南农业科学, 2007(6): 63-65.
- [16] 刘霆, 王莉, 段玉玺, 等. Snf907 真菌代谢物对大豆胞囊线虫卵及二龄幼虫的影响[J]. 大豆科学, 2006, 25(3): 325-328.
- [17] 陈增齐, 段玉玺, 陈立杰, 等. 球孢白僵菌 Snf907 发酵液对番茄根结线虫病的控病效果及防御酶活性影响[J]. 农药, 2009, 48(4): 304-306.
- [18] 刘丹丹, 段玉玺, 陈立杰. Snf907-76 发酵液杀线虫活性测定及活性物质分离纯化[J]. 农药, 2007, 46(9): 644-646.
- [19] 刘琼, 刘晓宇, 王媛媛, 等. 球孢白僵菌次生代谢产物对南方根结线虫的作用机制初探[J]. 农药学报, 2014, 16(4): 420-426.
- [20] 赵迪, 刘彬, 李玲玉, 等. 白僵菌及其伴生菌发酵液对线虫的毒力研究[J]. 农药学报, 2013, 15(2): 178-182.
- [21] 陈立杰, 刘彬, 段玉玺, 等. 白僵菌发酵液对不同种类线虫生物活性的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2008, 39(3): 305-308.