

# 阿维菌素和硫线磷对南方根结线虫的毒力

邹雅新<sup>1,2</sup>, 曹素芳<sup>2</sup>, 马娟<sup>2</sup>, 张小风<sup>2</sup>, 张金林<sup>1</sup>, 陈书龙<sup>2\*</sup>

(1. 河北农业大学植物保护学院, 保定 071000;

2. 河北省农林科学院植物保护研究所/河北省农业有害生物综合防治工程技术研究中心, 保定 071000)

**摘要** 利用阿维菌素和硫线磷处理南方根结线虫离体卵与幼虫, 测试其对线虫卵和卵块孵化以及对2龄幼虫的致死作用、活动能力、侵入能力的影响。结果表明阿维菌素和硫线磷均对线虫卵和卵块的孵化表现很强的抑制作用, 阿维菌素5 μg/mL 处理24 h 对卵孵化抑制率高达82.57%, 而硫线磷40 μg/mL 处理24 h 对卵孵化抑制率为73.05%; 阿维菌素和硫线磷处理48 h 对2龄幼虫的LD<sub>50</sub>分别为7.346 1、13.345 6 μg/mL; 在阿维菌素2 μg/mL 和硫线磷3 μg/mL 处理中, 2龄幼虫在沙柱中的平均移动距离仅为0.04 cm 和0.05 cm, 而对照处理的线虫平均移动距离为1.04 cm; 在阿维菌素2 μg/mL 和硫线磷50 μg/mL 处理2龄幼虫48 h 后, 对番茄根部的侵入率为0.12% 和0.45%, 而空白对照处理线虫的侵入率达21.85%。

**关键词** 南方根结线虫; 阿维菌素; 硫线磷; 侵入; 活动能力

**中图分类号** S 482.2+93

## Effects of abamectin and cadusafos on the southern root-knot nematode, *Meloidogyne incognita*

Zou Yixin<sup>1,2</sup>, Cao Sufang<sup>2</sup>, Ma Juan<sup>2</sup>, Zhang Xiaofeng<sup>2</sup>, Zhang Jinlin<sup>1</sup>, Chen Shulong<sup>2</sup>

(1. College of Plant Protection, Hebei Agricultural University, Baoding 071001, China;

2. Institute of Plant Protection, Hebei Academy of Agricultural and Forestry Sciences/IPM Center of Hebei Province, Baoding 071000, China)

**Abstract** The effects of abamectin and cadusafos on egg hatch, and the mortality, mobility and infectivity of the second stage juvenile (J2) of *Meloidogyne incognita* were tested in the laboratory. The results showed that both chemicals had strong inhibition activity to egg hatch either in egg masses or in individual eggs. The inhibition rate in the treatment by 5 μg/mL abamectin for 24 hours was 82.57%, while the rate in the treatment by 40 μg/mL cadusafos was 73.05%. The LD<sub>50</sub> values of abamectin and cadusafos to J2 in 48 hours were 7.346 1 and 13.345 6 μg/mL, respectively. J2 moved only 0.04 cm and 0.05 cm in the treatments by 2 μg/mL abamectin and 3 μg/mL cadusafos, but they moved 1.04 cm in the control. The infection rate in the treatments by 2 μg/mL abamectin and 50 μg/mL cadusafos was 0.12% and 0.45%, respectively, while the infection rate was 21.85% in the control.

**Key words** *Meloidogyne incognita*; abamectin; cadusafos; infectivity; mobility

南方根结线虫(*Meloidogyne incognita*)是我国蔬菜生产中的重要线虫<sup>[1-3]</sup>, 近年来, 随着保护地蔬菜种植面积不断扩大, 其危害日趋严重。根结线虫的防治包括农业防治、生物防治、物理防治、化学防治等, 但化学防治一直是防治该线虫的重要手段。由于蔬菜对化学防治的特殊要求, 适用于蔬菜根结线虫防治的化学药剂很少, 在非熏蒸性杀线剂中仅

有阿维菌素、硫线磷等低残留药剂数种。根结线虫是以2龄幼虫或卵在土壤中度过不利的环境, 一旦在食物和环境条件适宜时, 卵孵化形成2龄幼虫, 2龄幼虫在土壤中迁移寻求寄主, 并侵入寄主在根内建立寄生关系<sup>[4]</sup>。不同药剂在线虫的不同阶段作用方式会有差异, 因此了解药剂对不同阶段线虫的影响, 对于确定适宜的药剂施用技术, 提高其防效具有

\* 收稿日期: 2008-09-24 修订日期: 2008-10-19

基金项目: 行业科研专项经费(nhyzx07-050-12); 国家科技支撑计划(2006BAD08A08)

\* 通讯作者 Tel: 0312-5915698; E-mail: chen\_shulong@yahoo.com

重要的意义。

关于杀线剂对线虫的生物测定已有多篇报道,其中丁中等测定了涕灭威、灭线磷、阿维菌素对甘薯茎线虫的毒力以及对线虫活动能力的抑制作用<sup>[5]</sup>,彭志国等测定了辛硫磷、氧乐果、对硫磷、乐斯本对头叶线虫的毒力<sup>[6]</sup>,吴广超等则测试了克线磷、克百威、阿维菌素和高效氯氰菊酯对松材线虫的毒力<sup>[7]</sup>。万新龙等测定了印楝素、阿维菌素、甲氨基阿维菌素苯甲酸盐对根结线虫的毒力<sup>[8]</sup>,而室内测定杀线剂对线虫的影响尚不系统。因此,本研究以南方根结线虫为对象,测定了阿维菌素和硫线磷对卵孵化的抑制作用,并对2龄幼虫的致死作用及其对线虫活动能力和侵入能力的影响进行了研究,旨在明确阿维菌素和硫线磷对不同阶段线虫的作用特点,为根结线虫的防治提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试线虫与番茄品种

南方根结线虫采自保定市郊重病田,并在温室番茄上繁殖,试验用番茄品种为感病品种佳源大粉。

**卵悬液的收集:**采集带有根结线虫卵块的番茄病株,将病根剪成约2 cm小段,在1%的次氯酸钠溶液中漂洗约4 min,利用200目与500目线虫筛冲洗并收集线虫卵,用蒸馏水稀释成200个/mL卵悬液,直接用于生测<sup>[9]</sup>。

**卵块的采集:**将发病的番茄根冲洗干净,在解剖镜下用镊子或拨针将卵块取下,收集备用。

**2龄幼虫的收集:**按上述方法,收集线虫卵悬液,将卵悬液滴加到铺有2层面巾纸的浅盘上放置2~3 d,然后收集孵化幼虫、浓缩用于生测。

### 1.2 供试药剂与配制

90%阿维菌素原粉由华北制药爱诺股份有限公司生产,92.3%硫线磷原油由FMC公司提供。试验药剂母液的配置方法:用90份丙酮溶解2份原药,然后加8份吐温乳化。

### 1.3 药剂对分散卵孵化的影响

采用浸渍法测定药剂对线虫卵孵化的影响<sup>[10]</sup>(下同),将供试药剂分别稀释成4个不同浓度,阿维菌素的使用浓度为1.25、2.5、5、10 μg/mL;硫线磷

的使用浓度为10、20、40、80 μg/mL,取0.5 mL一定浓度药液和0.5 mL卵悬液加到1 mL离心管中充分混合,每一药剂浓度处理重复3次;以2.5%丙酮溶液处理为对照,同时设另一蒸馏水参照(下同)。在25℃条件下,分别处理2、4、8、16、24 h,然后离心,冲洗线虫体表药液,在25℃培养箱中孵化,5 d后在体式显微镜下检查线虫的孵化情况。

$$\text{孵化抑制率} = \frac{\text{对照孵化率} - \text{处理孵化率}}{\text{对照孵化率}} \times 100\%.$$

### 1.4 药剂对卵块孵化的影响

将供试药剂分别稀释成4个不同浓度,其中阿维菌素的浓度分别为0.625、1.25、2.5、5 μg/mL;硫线磷的浓度分别为5、10、20、40 μg/mL,取1 mL的药液滴加到24孔培养板中,每孔加入大小以及发育一致的卵块一枚,每一药剂浓度处理重复3次;以2.5%丙酮溶液处理为对照。在25℃条件下处理2、4、8、16、24 h后,清洗线虫附着的药液,在25℃培养箱中孵化,5 d后在体视显微镜下检查线虫的孵化情况,计算孵化抑制率。

### 1.5 药剂对2龄幼虫的致死作用

将测试药剂分别稀释成5个不同浓度,其中阿维菌素的浓度分别为50、100、200、400、800 μg/mL;硫线磷的浓度分别为12.5、25、50、100、200 μg/mL,取0.5 mL的药液和0.5 mL的线虫溶液在1 mL离心管中混合,每一药剂浓度处理重复3次;以2.5%丙酮溶液处理为对照。将离心管置于25℃培养箱中分别处理2、4、8、16、24、48 h,离心冲洗线虫体表药液,4 h后体视显微镜下检查死亡率,用针刺法检查线虫的死活,每一处理至少检查200头幼虫。

$$\text{校正死亡率} = \frac{\text{处理死亡率} - \text{对照死亡率}}{1 - \text{对照死亡率}} \times 100\%.$$

### 1.6 药剂对2龄幼虫活动性的影响

参照Dawes等使用的沙柱法<sup>[11]</sup>,将供试药剂按一定剂量与细沙(250~425 μm)混匀,其中阿维菌素的最终浓度分别为0.5、1、2、4 μg/mL;硫线磷的最终浓度分别为0.75、1.5、3、6 μg/mL,以2.5%丙酮溶液处理为对照。将药沙填充于有机玻璃管中(用透明胶带将7个直径20 mm、长10 mm的小管组合成一长70 mm沙柱,图1)。沙柱的最终含水量为20%,在沙柱的一端接2000头2龄幼虫,并用Parafilm将口封好,另一端定植一棵20 d苗龄的番茄幼苗(图1)。每

处理重复3次,将沙柱水平放置于25℃人工气候箱(RH>90%),7d后采用洗涤法将每段小管中的线虫洗出,计算线虫的平均移动距离。

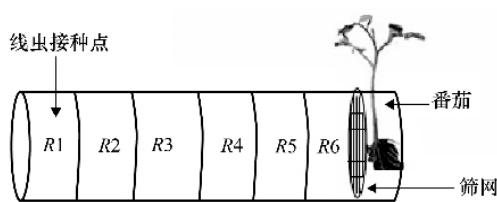


图1 测试南方根结线虫活动能力沙柱示意图

$$\text{平均移动距离} =$$

$$\frac{R1 \times 0 + R2 \times 1 + R3 \times 2 + R4 \times 3 + R5 \times 4 + R6 \times 5}{R1 + R2 + R3 + R4 + R5 + R6}$$

其中R1、R2、R3、R4、R5、R6分别为每段小管中的线虫数量。

## 1.7 药剂对2龄幼虫侵入能力的影响

将供试药剂分别稀释成5个不同浓度,其中阿维菌素的浓度分别为0.25、0.5、1、2、4 μg/mL;硫线磷的浓度分别为6.25、12.5、25、50、100 μg/mL。取0.5 mL药液和0.5 mL线虫液加到1mL离心管中,充分混合。每一药剂浓度重复5次,以2.5%丙酮溶液处理为对照。将离心管置于25℃培养箱中处理48 h,然后离心,去除线虫体表药液,4 h后将线虫接种于20 d苗龄的番茄幼苗上,每株接种约1 500头线虫,12 d后将番茄的根染色<sup>[8]</sup>,调查侵入根内的线虫数目。

## 1.8 数据统计与分析

利用DPS软件包,采用Duncan氏新复极差法检验不同处理的差异显著性( $p<0.05$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 药剂对分散卵孵化的影响

阿维菌素和硫线磷的各个处理浓度均可有效地抑制根结线虫分散卵的孵化(图2、图3),并且对卵孵化的抑制作用随着处理剂量与时间的增加而增强。相对来讲,阿维菌素对线虫卵的孵化抑制效果较高,在5 μg/mL处理24 h时对卵孵化抑制率高达82.57%,在0.625 μg/mL处理16 h、1.25 μg/mL处理8 h、2.5 μg/mL处理4 h其抑制效果也均在50%以上,而硫线磷在40 μg/mL处理24 h时对卵孵化抑制率为73.05%,在5、10、20 μg/mL处理24 h其对卵孵化抑制效果为50.93%、51.39%、62.57%。

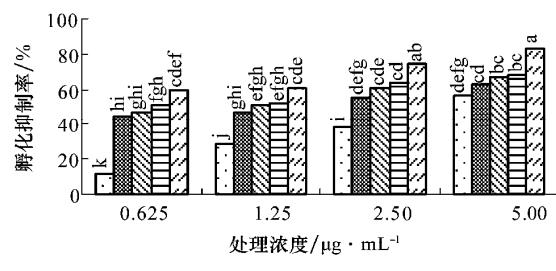


图2 阿维菌素对南方根结线虫分散卵孵化的影响

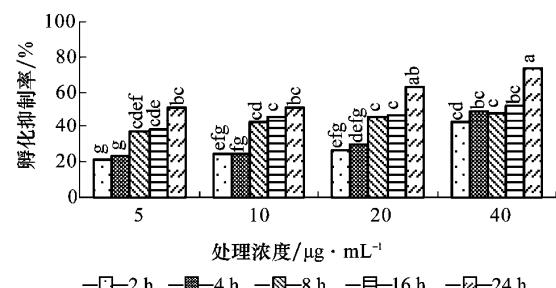


图3 硫线磷对南方根结线虫分散卵孵化的影响

### 2.2 药剂对卵块中卵孵化的影响

阿维菌素和硫线磷对卵块中卵孵化的抑制作用同对分散卵孵化的抑制作用趋势相似(图4、图5),除阿维菌素在低剂量时,如0.625 μg/mL处理随处理时间的增长其孵化抑制率并未显著增加外,阿维菌素与硫线磷其他处理对卵块中卵孵化抑制率则随处理时间与处理剂量的增加而显著提高。阿维菌素5 μg/mL处理8 h对卵的孵化抑制率达到92.18%,硫线磷40 μg/mL处理8 h时对卵孵化抑制率达到81.04%。

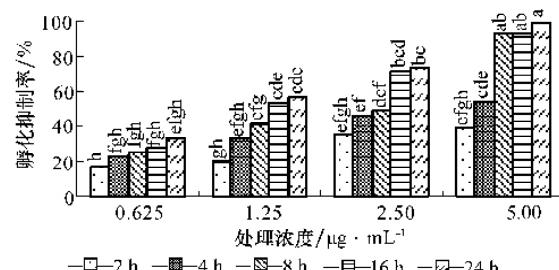


图4 阿维菌素对南方根结线虫卵块孵化的影响

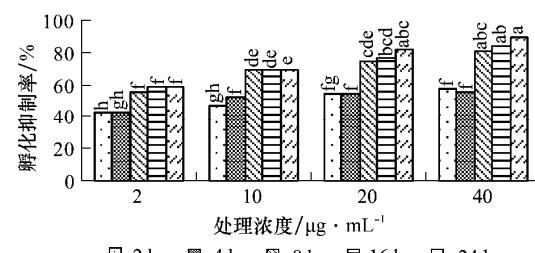


图5 硫线磷对南方根结线虫卵块孵化的影响

### 2.3 药剂对2龄幼虫的致死作用

阿维菌素和硫线磷均可有效地杀死南方根结线虫2龄幼虫,2种药剂在不同时间内对线虫的LD<sub>50</sub>见表1与表2。比较两种药剂在不同时间内线虫的敏感性,说明硫线磷对根结线虫2龄幼虫的作用速度较快,在处理2 h后硫线磷的LD<sub>50</sub>为27.342 7 μg/mL,

而阿维菌素的LD<sub>50</sub>则为63.605 1 μg/mL,随着处理时间的延长阿维菌素的LD<sub>50</sub>迅速降低,相对来讲,硫线磷的降低速度较缓慢,在处理48 h后,阿维菌素的LD<sub>50</sub>已降低为7.346 1 μg/mL,而硫线磷的LD<sub>50</sub>仅降为13.345 6 μg/mL。在处理16 h以上,阿维菌素对根结线虫2龄幼虫的毒力要高于硫线磷。

表1 阿维菌素对南方根结线虫2龄幼虫的毒力

处理时间/h	回归方程(y=)	LD <sub>50</sub> /μg·mL <sup>-1</sup>	95%置信区间/μg·mL <sup>-1</sup>	相关系数
2	2.990 6+1.116 7x	63.605 1	49.310 7~84.042 9	0.975 9
4	2.608 6+1.358 7x	57.547 4	45.608 3~72.612 0	0.992 7
8	3.695 4+0.952 6x	23.415 3	13.781 6~39.738 1	0.968 8
16	3.981 6+0.853 6x	15.598 6	7.588 6~32.063 7	0.963 8
24	4.240 9+0.812 6x	8.511 1	3.123 2~23.193 5	0.953 7
48	4.272 8+0.839 7x	7.346 1	2.585 4~20.874 3	0.976 9

表2 硫线磷对南方根结线虫2龄幼虫的毒力

处理时间/h	回归方程(y=)	LD <sub>50</sub> /μg·mL <sup>-1</sup>	95%置信区间/μg·mL <sup>-1</sup>	相关系数
2	2.881 6+1.474 3x	27.342 7	22.175 8~32.911 9	0.985 9
4	3.009 8+1.484 7x	21.990 9	18.200 2~26.354 2	0.990 6
8	2.917 1+1.587 8x	20.507 9	17.175 3~24.479 9	0.995 4
16	3.166 9+1.539 1x	15.523 1	12.683 1~18.999 1	0.989 1
24	3.128 6+1.642 3x	13.783 2	11.283 2~16.914 3	0.986 1
48	3.115 3+1.674 8x	13.345 6	10.869 8~16.384 3	0.984 2

### 2.4 药剂对2龄幼虫活动性的影响

阿维菌素和硫线磷除对根结线虫2龄幼虫有直接的杀灭作用外,还可抑制线虫的活动能力(图6、图7),在对照处理线虫的平均迁移距离为1.04 cm时,阿维菌素1、2、4 μg/mL处理中线虫的迁移距离仅为0.59、0.04、0.01 cm;硫线磷1.5、3、6 μg/mL处理的线虫迁移距离为0.19、0.05、0.01 cm。

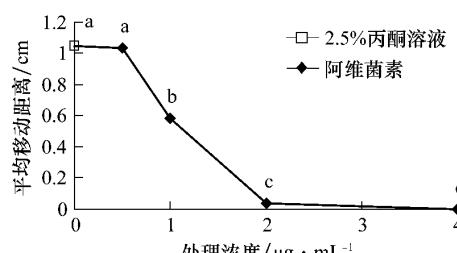


图6 阿维菌素对2龄幼虫活动性的影响

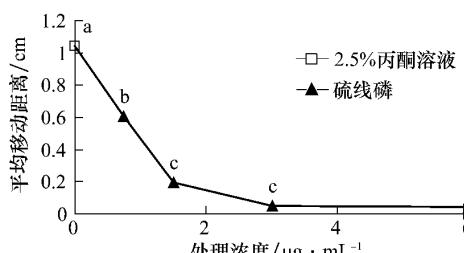


图7 硫线磷对2龄幼虫活动性的影响

### 2.5 药剂对2龄幼虫侵入能力的影响

阿维菌素和硫线磷对2龄幼虫侵入能力也具显著抑制作用(图8、图9),对照处理2龄幼虫的侵入率为21.85%,阿维菌素0.5、1、2 μg/mL处理线虫的侵入率分别为8.32%、1.91%、0.12%;硫线磷1.25、2.5、50 μg/mL处理线虫的侵入率为10.56%、4.61%、4.6%。

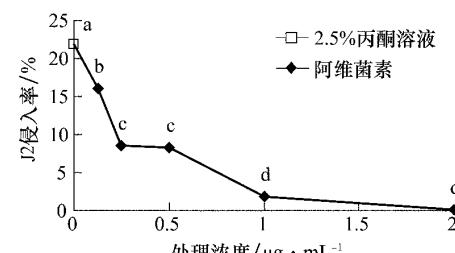


图8 阿维菌素对2龄幼虫侵入能力的影响

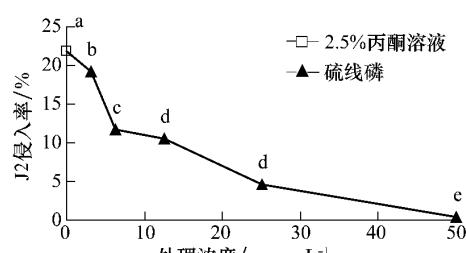


图9 硫线磷对2龄幼虫侵入能力的影响

### 3 讨论

阿维菌素和硫线磷均属线虫神经毒剂。丁中的研究结果表明阿维菌素 600 mg/L 处理 48 h 后茎线虫的死亡率在 90% 以上,并明显地抑制线虫的活动<sup>[5]</sup>。吴广超对灰葡萄孢培养的松材线虫的毒力测定表明,阿维菌素 800 mg/L 处理线虫的死亡率接近 100%<sup>[7]</sup>,本研究结果表明阿维菌素和硫线磷对根结线虫 2 龄幼虫处理 48 h 的 LD<sub>50</sub> 分别为 7.346 1 μg/mL 和 13.345 6 μg/mL。此外,本研究还明确了阿维菌素和硫线磷对根结线虫卵孵化以及对 2 龄幼虫活动能力和侵入寄主能力也具有较强的抑制作用。

根结线虫的侵染循环是一个复杂的过程,影响其侵染循环中任何一环节,均可起到有效控制线虫危害的作用,通过研究药剂对不同时期线虫的作用,对优化药剂施用技术具有重要的指导作用。本研究表明,对根结线虫 2 龄幼虫致死药剂剂量要明显高于抑制卵孵化、活动能力和侵入能力所需的药剂剂量。说明阿维菌素和硫线磷主要通过抑制卵孵化、降低其活动能力以及侵入能力达到控制线虫的目的。因此在线虫卵滞育时期或 2 龄幼虫的不活跃期使用农药很难达到预期的防治效果。

由于根结线虫的卵块覆盖一层胶质,从理论上讲,在相同药剂剂量处理下,药剂对卵块中卵孵化的抑制效果应小于对分散卵的作用,但在硫线磷处理试验中,却得到相反的试验结果,这可能与两个试验线虫种群卵的发育程度差异有关,所以关于药剂对卵的抑制作用应进行多种群、多重复的比较试验,以便获得准确可靠的结论。

综合比较阿维菌素和硫线磷对根结线虫控制结果,阿维菌素对根结线虫的活性要强。如阿维菌素在 5 μg/mL 处理 8 h 对卵的孵化抑制率明显高于硫线磷在 40 μg/mL 处理对卵孵化抑制率;尽管阿维菌素在短时间内(<16 h)对 2 龄幼虫的毒力低于硫

线磷相同时间内对线虫的毒力,但随着处理时间的延长,阿维菌素对 2 龄幼虫的毒力迅速增加,在处理 16 h 以上时,阿维菌素对 2 龄幼虫的 LD<sub>50</sub> 要明显低于硫线磷的 LD<sub>50</sub>;另外,两药剂对 2 龄幼虫活动能力的抑制作用趋势基本相同,但阿维菌素对 2 龄幼虫侵入寄主能力的抑制作用要明显高于硫线磷对线虫的作用。

### 参考文献

- [1] 赵洪海,袁辉,武侠,等. 山东省根结线虫的种类与分布[J]. 莱阳农学院学报,2003,20(4):243~247.
- [2] 陈书龙,李秀花,马娟. 河北省根结线虫发生种类与分布[J]. 华北农学报,2006,21(4):91~94.
- [3] 廖金铃,蒋寒,孙龙华,等. 中国南方地区作物根结线虫种和小种的鉴定[J]. 华中农业大学学报,2003,22(6):544~548.
- [4] Sasser J N, Carter C C. An advanced treatise on *Meloidogyne*—volume I biology and control [M]. North Carolina State: Printed North Carolina state University Graphics, 1985: 143~150.
- [5] 丁中,彭德良,何旭峰,等. 不同地理种群甘薯茎线虫对不同类型杀线剂的敏感性[J]. 农药,2007,46(12):851~853.
- [6] 彭志国,段玉玺. 不同种类杀虫剂对线虫的选择毒性研究[J]. 畜殖与稻作,2003(4):26~28
- [7] 吴广超,王焱,宋国贤,等. 防治松材线虫病的室内药剂筛选[J]. 中国森林病虫,2004,9(23):11~13.
- [8] 万新龙,李建红,彭德良,等. 生物杀虫剂对蔬菜南方根结线虫的室内毒力测定. 中国线虫学研究第 1 卷[C]. 北京:中国农业科学技术出版社,2006.
- [9] Sasser J N, Carter C C. An advanced treatise on *Meloidogyne*—volume II methodology [M]. North Carolina State: Printed North Carolina state University Graphics, 1985: 39~42.
- [10] Giannakou I O, Karpouzas D G, Anastasiades I, et al. Factors affecting the efficacy of non-fumigant nematicides for controlling root-knot nematodes[J]. Pest Management Science, 2005, 61:961~972.
- [11] Dawesv K G, Laird I, Kerry B. The motility development and infection of *Meloidogyne incognita* encumbered with spores of the obligate hyperparasite *Pasteuria penetrans* [J]. Revue Nématol, 1991, 14(4):611~618.