

蒋盼盼,陈志谊,甘颖,等.解淀粉芽孢杆菌 B1619 对设施蔬菜根结线虫病的防治效果[J].江苏农业科学,2017,45(12):81-84.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.12.021

# 解淀粉芽孢杆菌 B1619 对设施蔬菜根结线虫病的防治效果

蒋盼盼<sup>1,2</sup>, 陈志谊<sup>1,2</sup>, 甘颖<sup>2</sup>, 刘永锋<sup>1,2</sup>, 陆凡<sup>1,2</sup>

(1. 南京农业大学植物保护学院, 江苏南京 210095; 2. 江苏省农业科学院, 江苏南京 210014)

**摘要:**通过设施大棚药效试验,探究解淀粉芽孢杆菌 B1619 对设施蔬菜根结线虫病的防治效果;通过室内毒力试验,测定解淀粉芽孢杆菌 B1619 对蔬菜根结线虫的毒杀效果。设施大棚药效试验结果表明,一般情况下,沟施的田间防效高于穴施;当施用菌粉量较少时,穴施田间防效高于沟施;设施番茄、黄瓜沟施解淀粉芽孢杆菌 B1619 量为 16 g/株时,其防效分别为 69.12%、87.77%。室内毒力测定试验结果表明,40% 甲基异柳磷乳油对 2 龄线虫的  $EC_{50}$  (24 h) 为 85.252 1 mg/L,  $EC_{50}$  (48 h) 为 77.704 7 mg/L;解淀粉芽孢杆菌 B1619 发酵液对 2 龄线虫的  $EC_{50}$  (24 h) 为 12.056 0 CFU/mL,  $EC_{50}$  (48 h) 为 12.906 6 CFU/mL;解淀粉芽孢杆菌 B1619 粗提物对 2 龄线虫的  $EC_{50}$  (24h) 为稀释 9.324 6 倍,  $EC_{50}$  (48 h) 为稀释 9.960 4 倍。室内外试验结果均表明,解淀粉芽孢杆菌 B1619 对设施蔬菜根结线虫病有明显的防治效果。

**关键词:**解淀粉芽孢杆菌 B1619;设施蔬菜;根结线虫;毒力测定;防治效果

**中图分类号:** S432.4<sup>+</sup>5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)12-0081-04

近年来,设施蔬菜发展迅速,特别是番茄、辣椒、黄瓜,已成为高效农业发展的新产业。然而,因设施大棚的密闭性和单一作物连作引起的茄果类蔬菜土传病害(根结线虫病)频繁暴发,严重制约着该产业的可持续发展<sup>[1-2]</sup>。2011 年宋志强对江苏省 9 个地区进行调查发现,根结线虫平均发生率为 73.6%<sup>[3]</sup>。据河南、山东、云南等地区报道,因该病危害,温室大棚一般减产 20%~30%,重者可达 60%~70%,甚至绝收<sup>[4]</sup>。利用生防菌防治设施蔬菜土传病害的研究备受关注,这些微生物通过分泌抗菌物质、营养竞争、诱导植株产生抗病性等方式,调节根围微生态结构、抑制病害发生、促进植物生长,在防治植物病害中发挥着重要作用<sup>[5-7]</sup>。江苏省农业科学院植物保护研究所自 2006 年起,开展生物防治设施蔬菜土传病害研究,针对番茄枯萎病菌、青枯病菌进行拮抗微生物的筛选,从 2 万多个菌株中分离出具有较强拮抗能力的生防菌——解淀粉芽孢杆菌 B1619<sup>[8]</sup>。该菌株可以诱导植物产生抗病性,并对番茄有促生作用,能有效控制设施番茄枯萎病、青枯病、根腐病、立枯病等重要土传病害引起的连作障碍<sup>[9-11]</sup>。在推广应用中发现,生防菌 B1619 能够有效地防治设施蔬菜根结线虫病。

本研究通过室内毒力测定、日光大棚试验,明确生防菌 B1619 对根结线虫的抑制作用,对设施蔬菜(番茄、黄瓜)根

结线虫病的防治效果,为今后大面积推广应用 B1619 防控设施蔬菜根结线虫病提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

1.1.1 供试蔬菜品种 番茄品种为天妃七号,购自沈阳谷雨种业有限公司;黄瓜品种为德瑞特 201,购自天津德瑞特种业有限公司。

1.1.2 供试菌株 解淀粉芽孢杆菌 B1619,由江苏省农业科学院植物保护研究所生物防治研究室提供。

1.1.3 培养基 液体培养基为 YPG(胰蛋白胨 5.0 g,葡萄糖 5.0 g,酵母膏 5.0 g,水 1.0 L, pH 值为 7.0);固体培养基为 YPGA(在 YPG 培养基中加入 20 g 琼脂)。

1.1.4 供试药剂 40% 甲基异柳磷乳油(青岛双飞农化生物科技有限公司)。

1.1.5 供试生物杀菌剂 1.2 亿活芽孢/mL 解淀粉芽孢杆菌 B1619 水分散粒剂(江苏省苏科农化有限责任公司)。

### 1.2 试验方法

1.2.1 生防菌 B1619 发酵液的制备 从保存菌株 B1619 的试管中挑取 2 环菌种在 YPGA 斜面上,于 28℃ 培养箱中培养 24 h 活化,即得到新鲜活化的 B1619 菌株;挑取 2 环转接到含有 330 mL YPG 培养基的三角瓶中,28℃、150 r/min 培养 48 h,即为 B1619 发酵液原液。

1.2.2 B1619 发酵液含菌量的测定 采用平板菌落计数法。取上述 B1619 发酵液进行梯度稀释,吸取 1 mL 稀释菌液涂布于已凝固的 YPGA 平板上,28℃ 恒温箱中培养 24 h 后统计平板上的菌落数,检测 B1619 发酵液含菌量为  $4.8 \times 10^9$  CFU/mL。

收稿日期:2016-03-07

基金项目:江苏省农业科技自主创新资金[编号: CX(14)2128]。

作者简介:蒋盼盼(1990—),女,河南商丘人,硕士研究生,主要从事生物防治研究。E-mail: jppjaas@126.com。

通信作者:陈志谊,博士,研究员,主要从事生物防治研究。Tel: (025)84390393; E-mail: chzy@jaas.ac.cn。

1.2.3 B1619 发酵液粗提物的制备 将 B1619 发酵原液于 10 000 r/min,4 ℃ 冷冻离心 15 min,得上清液即粗提物原液。

1.3 生防菌 B1619 防治设施蔬菜根结线虫病田间试验

1.3.1 B1619 防治设施番茄根结线虫病田间试验设计 田间试验于 2014 年 8 月在江苏省徐州市铜山区棠张镇前进村日光大棚中进行。田间小区试验共有 7 个处理,处理 1:穴施,定植时施用 8 g/株,定植后进行田间管理再施用 2 次,每次 4 g/株;处理 2:穴施,定植时施用 4 g/株,定植后进行田间管理再施用 2 次,每次 2 g/株;处理 3:沟施,定植时施用 8 g/株,定植后进行田间管理再施用 2 次,每次 4 g/株;处理 4:沟施,定植时施用 4 g/株,定植后进行田间管理再施用 2 次,每次 2 g/株;处理 5 为空白对照,不施用生防菌 B1619。每个小区种植 128 株苗,每个处理重复 2 次,试验小区随机排列。

1.3.2 B1619 防治设施黄瓜根结线虫病田间试验设计 田间试验于 2015 年 2 月在江苏省徐州市铜山区棠张镇前进村日光大棚中进行。田间小区试验共有 4 个处理,处理 1:沟施,定植时施用 8 g/株,定植后进行田间管理再施用 2 次,每次 4 g/株;处理 2:沟施,定植时施用 4 g/株,定植后进行田间管理再施用 2 次,每次 2 g/株;处理 3:穴施,定植时施用 8 g/株,定植后进行田间管理再施用 2 次,每次 4 g/株;处理 4 为空白对照,不施用生防菌 B1619。每个小区种植 352 株苗,每个处理重复 2 次,试验小区随机排列。

1.3.3 田间管理 穴盘育苗,苗龄 30 d 时移栽定植,定植时施用菌粉后立即浇足活棵水,定植后进行常规田间管理,按照各个处理的方法施撒 1.2 亿活芽孢/mL 解淀粉芽孢杆菌 B1619 水分散粒剂,然后立即灌溉。

1.3.4 田间试验调查 番茄、黄瓜均在收获后拔秧时,调查每个小区各处理植株根部的发病情况,参考 Barker 等分级方法<sup>[12-13]</sup>,计算病情指数及防效。

1.3.5 田间试验结果统计方法 病情指数 = (各级发病数 × 各级代表值) / (调查总叶片数 × 最高级代表值) × 100;

防效 = (对照病情指数 - 处理病情指数) / (对照病情指数) × 100%。

1.4 生防菌 B1619 防治设施蔬菜根结线虫病室内毒力测定

1.4.1 根结线虫的分离 试验所用根结线虫采自江苏省徐州市铜山区棠张镇前进村,经形态学鉴定为南方根结线虫 (*Meloidogyne incognita*)。取发病番茄植株根系,用水轻轻冲洗,挑取根部新鲜卵块,置于贝曼漏斗中孵化,24 h 后开始收集 2 龄幼虫 (J<sub>2</sub>),每天收集 1 次,共收集 1 周,2 龄线虫悬浮液稀释为 100 头/mL,4 ℃ 保存待用。

1.4.2 B1619 对根结线虫室内毒力的测定

1.4.2.1 各种浓度菌液和药剂的制备 试验组为解淀粉芽孢杆菌 B1619 发酵原液、B1619 发酵液粗提物原液与稀释 5、10、15、20、25 倍;阳性对照为 40% 甲基异柳磷乳油,依次配制 10、25、50、100、200 mg/L;以无菌水和 YPG 培养基处理为空白对照。每个处理重复 6 次。

1.4.2.2 根结线虫毒力测定方法 吸取 1 mL 分离所得的 2 龄根结线虫悬浮液于已灭菌的直径 6 cm 的培养皿中,分别加入 1 mL 不同稀释倍数的 B1619 发酵液、粗提物、甲基异柳磷等,放入 25 ℃ 恒温培养箱中培养,分别于 24、48 h 后进行观

察计数,采用针触法判断并记录线虫死亡情况<sup>[14]</sup>,统计死亡率。

1.5 数据分析

利用 DPS 7.05 软件对试验数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 生防菌 B1619 防治设施蔬菜根结线虫病的田间试验结果

2014 年 8 月开展的 B1619 水分散粒剂防治番茄根结线虫病田间小区试验结果见表 1。其中沟施处理下,定植时施用 8 g/株,定植后进行田间管理再施用 2 次,每次 4 g/株,田间防效为 69.12%,防效高于相同条件下穴施,穴施田间防效为 28.61%;沟施处理下,定植时施用 4 g/株,定植后进行田间管理再施用 2 次,每次 2 g/株,田间防效为 7.84%,防效低于相同条件下穴施,穴施田间防效为 24.79%。

表 1 生防菌 B1619 防治番茄根结线虫病田间防效

编号	处理	定植时使用 剂量(g/株)	定植后使用剂量 [g/株(次数)]	根结 指数	防效 (%)
1	穴施	8	4(2)	2.84a	28.61ab
2	穴施	4	2(2)	4.48a	24.79ab
3	沟施	8	4(2)	2.14a	69.12a
4	沟施	4	2(2)	6.72a	7.84b
5	CK	0	0(0)	4.73a	—

注:同列数据后不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。表 2 同。

2015 年 2 月开展的 B1619 水分散粒剂防治黄瓜根结线虫病田间小区试验结果见表 2。其中沟施处理下,定植时施用 8 g/株,定植后进行田间管理再施用 2 次,每次 4 g/株防效最高,为 87.77%;穴施处理下,定植时施用 8 g/株,定植后进行田间管理再施用 2 次,每次 4 g/株防效次之,防效为 71.93%;沟施处理下,定植时施用 4 g/株,定植后进行田间管理再施用 2 次,每次 2 g/株防效为 64.02%。本田间试验结果表明,相同条件下,一般沟施的田间防效高于穴施;当施用菌粉量较少时,穴施田间防效高于沟施。

表 2 生防菌 B1619 防治黄瓜根结线虫病田间防效

编号	处理	定植时使用 剂量(g/株)	定植后使用剂量 [g/株(次数)]	根结 指数	防效 (%)
1	沟施	8	4(2)	0.485b	87.77a
2	沟施	4	2(2)	1.425b	64.02a
3	穴施	8	4(2)	1.115b	71.93a
4	CK	0	0(0)	3.970a	—

2.2 生防菌 B1619 防治设施蔬菜根结线虫病室内毒力测定结果

由表 3 可以看出毒力回归方程 B1619 发酵液浓度与线虫死亡率的关系,处理 24 h 时毒力回归方程为  $y = -3.2539x + 89.229$ ,  $r^2 = 0.9519$ ,  $EC_{50} = 12.0560$  倍;处理 48 h 时,毒力回归方程为  $y = -3.382x + 93.65$ ,  $r^2 = 0.9507$ ,  $EC_{50} = 12.9066$  CFU/mL。随着 B1619 发酵液稀释倍数的增大,根结线虫的死亡率逐渐降低,根结线虫死亡率与 B1619 发酵液稀释倍数呈负相关关系。另外,随着 B1619 发酵液处理时间的增加,根结线虫的死亡率增高。

表 3 B1619 发酵液对 2 龄线虫的毒力测定结果

稀释倍数 (倍)	24 h				48 h			
	死亡率 (%)	毒力回归方程	$r^2$	EC <sub>50</sub> (稀释倍数)	死亡率 (%)	毒力回归方程	$r^2$	EC <sub>50</sub> (稀释倍数)
原液	80.549 1	$y = -3.253\ 9x + 89.229\ 0$	0.951 9	12.056 0	84.991 6	$y = -3.382\ 0x + 93.650\ 0$	0.950 7	12.906 6
5	71.493 0				74.760 8			
10	67.992 0				71.580 3			
15	43.112 5				45.974 9			
20	16.773 4				17.900 0			
25	8.159 0				9.664 6			

注:稀释倍数 1 表示原液; $x$  表示稀释倍数, $y$  表示死亡率, $r^2$  表示决定系数。表 4、表 5 同。

由表 4 毒力回归方程可以看出 B1619 发酵液粗提物浓度与线虫死亡率的关系,处理 24 h 时毒力回归方程为  $y = -3.007\ 3x + 78.042\ 0$ , $r^2 = 0.978\ 1$ ,EC<sub>50</sub> 为稀释 9.324 6 倍;处理 48 h 时, $y = -3.105\ 0x + 80.927\ 0$ , $r^2 = 0.971\ 7$ ,EC<sub>50</sub> 为稀释 9.960 4 倍。随着 B1619 发酵液粗提物稀释倍数的增大,根结线虫的死亡率逐渐降低,根结线虫死亡率与 B1619 发酵粗提物稀释倍数呈负相关关系;另外,随着 B1619 发酵粗提物处理时间的增加,根结线虫的死亡率增高。

表 4 B1619 粗提物对 2 龄线虫的毒力测定结果

稀释倍数 (倍)	24 h				48 h			
	死亡率 (%)	毒力回归方程	$r^2$	EC <sub>50</sub> (稀释倍数)	死亡率 (%)	毒力回归方程	$r^2$	EC <sub>50</sub> (稀释倍数)
原液	78.848 1	$y = -3.007\ 3x + 78.042\ 0$	0.978 1	9.324 6	82.492 3	$y = -3.105\ 0x + 80.927\ 0$	0.971 7	9.960 4
5	61.495 1				62.837 3			
10	48.556 0				51.124 1			
15	26.921 4				27.738 7			
20	15.888 9				16.150 1			
25	7.985 2				9.238 9			

由表 5 可以看出 40% 甲基异柳磷乳油浓度与线虫死亡率的关系,处理 24 h 时毒力回归方程为  $y = 0.481\ 1x + 8.985\ 2$ , $r^2 = 0.956\ 6$ ,EC<sub>50</sub> = 85.252 1 mg/L;处理 48 h 时, $y = 0.482\ 3x + 12.523\ 0$ , $r^2 = 0.914\ 0$ ,EC<sub>50</sub> = 77.704 7 mg/L。根结线虫死亡率与甲基异柳磷浓度呈正相关关系,随着甲基异柳磷浓度的增大,根结线虫的死亡率升高;另外,随着处理时间的增加,根结线虫的死亡率增高。

表 5 40% 甲基异柳磷乳油对 2 龄线虫的毒力测定结果

处理浓度 (mg/L)	24 h				48 h			
	死亡率 (%)	毒力回归方程	$r^2$	EC <sub>50</sub> (mg/L)	死亡率 (%)	毒力回归方程	$r^2$	EC <sub>50</sub> (mg/L)
10	8.411 6	$y = 0.481\ 1x + 8.985\ 2$	0.956 6	85.252 1	9.664 8	$y = 0.482\ 3x + 12.523\ 0$	0.914 0	77.704 7
25	18.922 8				21.122 1			
50	33.463 1				37.689 4			
100	70.341 1				79.816 1			
200	98.998 1				100.000 0			

3 结论与讨论

目前设施蔬菜根结线虫病的防治通常采用农业、化学、物理等方法。农业防治中常采用清除病残体、嫁接栽培、合理轮作等方法;化学防治中常采用有机磷类如甲基异柳磷等化学杀线虫剂处理土壤,虽然室内毒力测定试验时线虫死亡率很高,但许多化学农药因对非靶标生物具有潜在毒性,在蔬菜中残留量高,对环境污染严重,已被陆续禁用;物理防治主要采用太阳能高温闷棚的方法。这些措施对设施蔬菜根结线虫病的防控效果不理想,根结线虫病在许多蔬菜种植区依然十分严重。植物保护专家们力图通过利用生防菌等微生物及生物农药代替化学农药防治线虫病害<sup>[15]</sup>,如李颂等研究表明,黑曲霉菌株 Snf009 发酵液对南方根结线虫具有较强的活性,它对温室番茄线虫的防效达到 50%<sup>[16]</sup>。马金慧等发现哈茨木

霉菌株 TRI2 对黄瓜根结线虫有较好的防治作用<sup>[17]</sup>。唐佳频等对 1 432 株海洋和极地来源的细菌进行抗南方根结线虫的离体筛选试验,明确恶臭假单胞菌 1A00316 菌株具有诱导番茄对线虫的抗性作用<sup>[18]</sup>。张艳杰等报道玫瑰黄链霉菌 Men - myco - 93 - 63 菌株发酵物对设施蔬菜根结线虫病具有较好的防治效果<sup>[19]</sup>。本研究从土壤中分离筛选获得解淀粉芽孢杆菌生防菌株 B1619,研发成“1.2 亿活芽孢/mL 解淀粉芽孢杆菌 B1619 水分散粒剂”,对设施番茄、黄瓜的防效分别可达到 69.12%、87.77%。实践证明,设施条件下,在土壤中大量引进有益微生物(生防菌剂)能够有效地防治蔬菜根结线虫病,并且无毒、无致病性、无残留,对设施蔬菜的生长有一定的促生作用,生态和经济效益均十分显著,具有广阔的应用前景。

芽孢杆菌是一类广泛存在于土壤、湖泊、海洋、动植物表

体的生防菌,多数菌株无致病性、生长速度快、营养需求简单,在植物的表面易于存活、定殖、繁殖,对多种植物病害尤其是土传病害有较好的防控效果;同时生产芽孢杆菌制剂的产业化生产工艺简单,制剂稳定,储存期长,施用方便,对人畜安全,对环境友好,是一种理想的防控植物病害流行的生防因子<sup>[20]</sup>。成飞雪等在田间施用对线虫有毒杀作用的芽孢杆菌 YC-10 菌株,发现它能降低黄瓜根际根结线虫 J2 的虫口密度,减少根结的形成,促进植株生长<sup>[21]</sup>。余子全等研究表明,坚强芽孢杆菌 YBf-10 在稳定期能大量合成对线虫具有毒杀活性的小分子化合物,对根结线虫表现出极高毒力<sup>[22]</sup>。Tong 等报道蜡样芽孢杆菌 X5 有一定的杀线虫活性<sup>[23]</sup>。本研究分离筛选获得的解淀粉芽孢杆菌 B1619 是 1 株对设施蔬菜土传病害多种病原菌(根结线虫)具有较强拮抗能力的生防菌,能有效控制设施蕃茄枯萎病、青枯病、根腐病、立枯病等重要土传病害引起的连作障碍,同时该菌株可以诱导植物产生抗病性,并对番茄有促生作用。本试验获得的解淀粉芽孢杆菌生防菌株 B1619 对设施蔬菜根结线虫有较好的田间防控效果,进一步验证了芽孢杆菌在植病生防领域中具有较大的研究和应用价值。

目前国内外已报道多种生防菌中含有杀线虫活性物质,如 Huang 等发现 1 株具有杀根结线虫的根际细菌巨大芽孢杆菌(*Bacillus megaterium*) YMF3.25,该菌产生的挥发性物质对根结线虫具有很强的抑制作用,经固相微萃取(SPME-GC-MS)分析和鉴定表明,其主要的活性挥发物质为苯乙醛(benzeneacetaldehyde)、2-壬酮(2-nonanone)、癸醛(decanal)、2-十一酮(2-undecanone)和二甲基二硫(dimethyl disulphide)<sup>[24]</sup>。曾庆飞等从白浅灰链霉菌的发酵液中分离获得 2 个对南方根结线虫 J2 具有活性的化合物,其中 1 个活性组分经结构鉴定为诺卡胺素(nocardamine)<sup>[25]</sup>。本试验使用的解淀粉芽孢杆菌 B1619 发酵液粗提物对 2 龄根结线虫有明显的毒杀作用,用粗提物原液处理后线虫的死亡率分别为 78.85%、82.49%;解淀粉芽孢杆菌 B1619 发酵液原液处理后线虫的死亡率分别为 80.55%、84.99%;B1619 发酵液粗提物和发酵液对线虫的室内毒力测定结果表明,B1619 的发酵液粗提物对线虫起主要毒杀作用。至于 B1619 菌株发酵液粗提物中对线虫有毒杀作用的主要生物活性物质以及活性物质的分离、结构鉴定、作用机制还有待于进一步研究。

#### 参考文献:

- [1]郭军,顾闽峰,祖艳侠,等.设施栽培蔬菜连作障碍成因分析及其防治措施[J].江西农业学报,2009,21(11):51-54.
- [2]李世东,缪作清,高卫东,等.我国农林园艺作物土传病害发生和防治现状及对策分析[J].中国生物防治学报,2011,27(4):433-440.
- [3]宋志强.江苏省蔬菜根结线虫的分布调查,种类鉴定及定量检测技术研究[D].南京:南京农业大学,2013:21.
- [4]刘鸣韬.北方蔬菜根结线虫病加重的原因及控制对策[J].河南农业科学,2001(1):23-24.
- [5]Cook R J. Making greater use of introduced microorganisms for biological control of plant pathogens [J]. Annual Review of Phytopathology,1993,31(1):53-80.
- [6]曹中恺,马金慧,闫海霞,等.植物根围微生态与土传病害生物防治相关性研究进展[J].农学学报,2013,3(6):34-38.
- [7]Lugtenberg B, Kamilova F. Plant - growth - promoting rhizobacteria [J]. Annual Review of Microbiology,2009,63:541-556.
- [8]陈志谊,刘永峰,刘邗洲,等.植物病害生防芽孢杆菌研究进展[J].江苏农业学报,2012,28(5):999-1006.
- [9]乔俊卿,刘邗洲,夏彦飞,等.生防菌 B1619 在番茄根部的定殖及对根际微生态的影响[J].植物保护学报,2013,40(6):507-511.
- [10]陈志谊,刘邗洲,乔俊卿,等.利用芽孢杆菌生防菌防控土传病害引起的设施蔬菜连作障碍[J].中国蔬菜,2012(8):29-30.
- [11]刘邗洲,陈志谊,梁雪杰,等.番茄枯萎病和青枯病拮抗细菌的筛选,评价与鉴定[J].中国生物防治学报,2012,28(1):101-108.
- [12]Barker K R. Nematode extractions and bioassays [C]//Barker K R, Carter C C, Sasser J N. An advanced treatise on meloidogyne, volume II: methodology. Raleigh: North Carolina State University, 1985:19-35.
- [13]Canto - Saenz M, Brodie B B. Comparison of compatible and incompatible response of potato to *Meloidogyne incognita* [J]. Journal of Nematology,1987,19(2):218.
- [14]朱震,陈芳,肖同建,等.拮抗菌生物有机肥对番茄根结线虫的防治作用[J].应用生态学报,2011,22(4):1033-1038.
- [15]Wang L, Yang B, Li C. A review of biological control of root - knot nematodes [J]. Journal of Nanjing Forestry University, 2001, 26(1):64-68.
- [16]李颂,段玉玺,朱晓峰,等.黑曲霉次生代谢产物对番茄抗根结线虫病效果的影响[J].中国蔬菜,2011(4):44-49.
- [17]马金慧,朱萍萍,弗振川,等.哈茨木霉菌株 TRI2 的鉴定及其对黄瓜根结线虫的防治作用[J].中国农学通报,2014,30(22):263-269.
- [18]唐佳频,邵宗泽,张智涛,等.南极土壤来源的恶臭假单胞菌 1A00316 抗南方根结线虫的机制[J].应用与环境生物学报,2014,20(6):1046-1051.
- [19]张艳杰,魏学军,寇宏达,等.玫瑰黄链霉菌 Men - myco - 93 - 63 抗南方根结线虫相关酶活性及其防效[J].西北农业学报,2013,22(4):184-190.
- [20]魏利辉.颇顽细菌对根结线虫病的生防作用研究[D].南京:南京农业大学,2009:1-4.
- [21]成飞雪,王忠勇,刘勇.光合细菌与芽孢杆菌生防菌剂防治黄瓜根结线虫病研究[J].长江蔬菜,2012(20):80-83.
- [22]余子全,罗辉,熊静,等.对根结线虫高毒力芽孢杆菌的鉴定及其活性测定[J].农业生物技术学报,2012,20(6):669-675.
- [23]Tong J X, Fang C, Chao G A O, et al. *Bacillus cereus* X5 enhanced bio - organic fertilizers effectively control root - knot nematodes (*Meloidogyne* sp.) [J]. Pedosphere,2013,23(2):160-168.
- [24]Huang Y, Xu C K, Ma L, et al. Characterisation of volatiles produced from *Bacillus megaterium* YFM3.25 and their nematocidal activity against *Meloidogyne incognita* [J]. European Journal of Plant Pathology,2010,126(3):417-422.
- [25]曾庆飞,黄惠琴,朱军,等.根结线虫拮抗放线菌的筛选及菌株 HA10002 的鉴定与活性物质分析[J].植物保护,2011,37(6):159-163.