

新型药剂对大豆胞囊线虫防控效果及大豆产量的影响

王 玲¹,周 杰²,李 炜¹,喻景权²,来永才¹,刘 明¹,毕影东¹,刘 淼¹

(1. 黑龙江省农业科学院 耕作栽培研究所,黑龙江 哈尔滨 150086; 2. 浙江大学 农业与生物技术研究院,浙江 杭州 310058)

摘 要:大豆胞囊线虫是一类重要的植物病原线虫,常规药剂难以防控,对我国大豆生产造成了巨大的影响。生物防治和作物抗性诱导技术是目前大豆胞囊线虫防治较为切实可行的方法,本文研究了生防药剂“禾力素”的药效及其不同处理方式(叶面喷施和种子包衣处理)对哈尔滨地区不同时期连作大豆产量及胞囊线虫抑制效果的影响。结果表明:禾力素两种处理方式均能够有效抑制胞囊线虫生长,减少大豆根系胞囊发生,并对大豆生长发育具有显著的促进作用,大幅提高大豆产量,是一种防控大豆胞囊线虫发生的理想药剂。

关键词:关键词:大豆胞囊线虫;生防药剂;生物防治

中图分类号:S565. 1 **文献标识码:**A **DOI:**10. 11861/j. issn. 1000-9841. 2017. 06. 0943

Effect of New Agents on *Heterodera glycines* Control and Yield of Soybean

WANG Ling¹, ZHOU Jie², LI Wei¹, YU Jing-quan², LAI Yong-cai¹, LIU Ming¹, BI Ying-dong¹, LIU Miao¹

(1. Cultivation and Crop Tillage Institute, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China; 2. College of Agriculture and Bio-technology, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

Abstract: *Heterodera glycines* is an important world-wide plant-pathogen nematode which could cause severe loss to soybean production, therefore, the control of its spreading becomes imperative. Earlier used approach seems to be inept in controlling its outbreak. In this regard, bio-control and crop resistance induction technology seem to be versatile tool in preventing *Heterodera glycines* infection. Thus, we studied the fungicide inhibition effect on cystic nematode of a bio-control agent Helisu and its different treatments (foliar spraying or seed coating treatment) on continuous cropping soybean at different growth stages in Harbin to notice its effects on yield and *Heterodera glycines* resistance. The findings showed that the application of Helisu could efficiently inhibit *Heterodera glycines* infection and decrease the formation of cyst in soybean roots. In addition, study also confirmed the positive impacts of Helisu, the treatment during early growth stage could stimulate the overall growth and development of soybean plants, which boost its yields significantly. Therefore, we propose that Helisu is an ideal agent to control *Heterodera glycines* infection.

Keywords: *Heterodera glycines*; Bio-control agents; Biological control

大豆胞囊线虫病 (soybean cyst nematode, SCN), 又称大豆黄萎病、火龙秧子, 因其是一种土传定居性内寄生线虫大豆胞囊线虫 (*Heterodera glycines*) 寄生于大豆根上, 直接危害根部, 是一种毁灭性病害^[1-3]。该病害在东北三省、内蒙古和黄淮海等大豆主产区发生严重, 黑龙江省作为我国大豆主产区, 近年来随着大豆重迎茬面积的扩大和重茬年限的延长, SCN 有扩大发生和连年加重的趋势^[4]。目前生产上主要是种植抗性品种、与非寄主作物轮作以及应用化学农药进行防治^[5]。近 20 年来, 随着可持续农业和有机农业的发展, 人们已将防治线虫病害的工作重点转向了生物防治^[6-8]。

目前, 关于大豆胞囊线虫病生物防治已有很多报道。范圣长等^[9]首次报道定殖于大豆胞囊线虫胞囊上的真菌, 经分离获得 *Verticillium chlamydosporium* 和 *Verticillium* sp., 这 2 株真菌的发酵液对大豆胞囊线虫 2 龄幼虫具有较强的毒杀作用。陈立杰等^[10]以生防放线菌 Snea253 菌株发酵液为主, 配合其它微生物菌株制备生物种衣剂对大豆种子进行包衣处理, 生物种衣剂既可促进大豆的生长发育还可有效抑制线虫繁殖, 促生、增产和控制胞囊线虫的效果显著。刘翠君等^[11]利用苏云金杆菌 (*Bacillus thuringiensis*) 防治大豆胞囊线虫, 其防效优于常规化学农药, 且增产效果显著。周佳民等^[12]发现臭

收稿日期:2017-06-12
基金项目:国家重点研发计划(2016YFD0201001); 浙江大学农业推广专项资金; 黑龙江省农业科学院院级科研项目(2017ZC10)。
第一作者简介:王玲(1984 -), 女, 博士, 助理研究员, 主要从事有害生物发生机制与控制研究。E-mail: lingling6958@163. com。
通讯作者:来永才(1964 -), 男, 博士, 研究员, 主要从事作物遗传育种与耕作栽培研究。E-mail: yame0451@163. com。

椿、水蓼的甲醇提取液对大豆胞囊线虫的胞囊减退率分别可达40.6%和52.0%。由此可见,充分挖掘出更多、更有效的新型生防药剂将成为未来发展的方向^[13]。油菜素内酯(brassinosteroids, BRs)是一类新型植物天然化合物,被誉为第六类植物激素,对植物的生长和发育、生物和非生物胁迫的发展起着至关重要的作用,其安全性已经得到公认^[14]。目前研究表明,在植物中油菜素内酯对真菌、病毒以及细菌性病原菌的入侵具有防御响应^[15-17]。夏晓剑等^[16, 18]研究表明BR不仅受高温、冷害以及氧化胁迫等非生物逆境胁迫的诱导,也参与对黄瓜花叶病毒的局部抗性和对镰孢菌的系统抗性。Nahar等^[17]证明在水稻中BR通过与茉莉酸途径间的平衡调节对根结线虫起到抑制作用。最近Song等^[19]研究表明番茄中BR通过改变活性氧的信号传导和MAPK级联反应对线虫的防御反应起到一定作用。而BR是否对大豆胞囊线虫的有抑制作用目前还鲜有相关报道。解淀粉芽孢杆菌(*Bacillus amyloliquefaciens*)是一种具有广谱抑菌活性的细菌,其生长过程中可以产生一系列能够抑制真菌和细菌活性的代谢产物。陈成等^[20]发现解淀粉芽孢杆菌菌株HN06对黑曲霉、稻瘟病菌、水稻纹枯病菌具有很强的抑菌作用,对苦瓜枯萎病菌也有一定的抑菌作用。张淑梅等^[21]从大豆品种合丰25中筛选到解淀粉芽孢杆菌TF28。经测定TF28对大豆根腐病菌抑菌率为80.2%~96.7%。PyoungKim等^[22]利用解淀粉芽孢杆菌MET0908对炭疽病进行防治。朱丽梅等^[23]将从马尾松林中分离获得的1株解淀粉芽孢杆菌细菌培养滤液处理松材线虫。72 h后线虫的死亡率均达到100%,线虫死亡后虫体消解。

本研究通过测定含24-表油菜素内酯和解淀粉芽孢杆菌的新型药剂“禾力素”对哈尔滨地区连作大豆产量因子及大豆胞囊线虫胞囊抑制效果的影响,用以验证“禾力素”在促生、增产和控制大豆胞囊线虫病的可能性,为大豆胞囊线虫的生物防治提供奠定基础。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验在黑龙江省农业科学院现代农业示范园区试验地,试验地为重茬6年以上大豆田,大豆胞囊线虫病发病严重。试验田全部进行秋季深松整地,

土壤为厚层黑土,有机质含量5.8%,pH6.3,作业时土壤湿度50%。5月10日播种。天气晴,东南风,风力2~3级,温度6~18℃。

1.2 材料

供试药剂:“禾力素”,登记证号:微生物肥(2014)临字(2062)号,含解淀粉芽孢杆菌 2×10^9 个 $\cdot\text{mL}^{-1}$,24-表油菜素内酯 $0.1\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 。供试药剂由浙江大学农业与生物技术研究院提供。

供试大豆品种:龙哈10-4139(黑龙江省农业科学院耕作栽培研究所大豆研究室生试品种),感大豆胞囊线虫病品种。

1.3 试验设计

试验采用大区对比试验,每个处理 300 m^2 。设禾力素叶面喷施和禾力素包衣两个处理和1个对照(喷施清水)CK(表1),每个处理12垄,行长25 m,播种密度为 $25\text{ 万株}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

表1 试验处理设置

Table 1 Experimental treatment

供试品种 Variety	生物药剂及处理方法 Test procedure of bio-control agents
龙哈 10-4139	禾力素叶面喷施
龙哈 10-4139	禾力素包衣
龙哈 10-4139	对照(喷施清水)

禾力素叶面喷施试验,喷施时将20 mL药剂加入15 kg水中,混和均匀喷施于 667 m^2 范围内大豆叶面,4片三出复叶时开始喷施,大豆整个生育期内每10 d喷施一次,喷施3次。种子包衣试验,每1 kg种子加入20 mL禾力素包衣剂,处理后种子铺开干燥1 h,直接播种。

大豆胞囊线虫生长发育突破大豆根表后,在大豆胞囊线虫第一显囊期(出苗后35 d)、开花期、结荚期、鼓粒期随机取15株苗,去掉表层土(0~5 cm)后将植株连根挖出,保持根系的完整,调查单株大豆根系胞囊着生量,放入取样袋中封存,写好标签带回实验室,测量株高、根长、地上和地下部鲜重及地上和地下部干物质积累量。在成熟期,随机取15株苗,测定其株高、单株荚数、单株粒数、百粒重。并取 667 m^2 实测实收,折合公顷产量。

1.4 抗性分级

按国家标准GB/T19557.4-2004对大豆植株的大豆胞囊线虫的抗性进行分级(表2)。

表 2 抗性鉴定分级标准
Table 2 Classification standard of resistance identification

抗病级别 Class of disease resistance	分级标准 Grading standard	代码 Code
高感 HS	单株胞囊数为 30.1 个以上,植株不结实,干枯死亡	1
感 S	单株胞囊数为 10.1 ~ 30.0 个,植株矮小,叶片发黄,结实少	3
中抗 MR	单株胞囊数为 3.1 ~ 10.0 个,植株生长基本正常或部分矮黄	5
抗 R	单株胞囊数为 0.1 ~ 3.0 个,植株生长正常	7
高抗 HR	单株胞囊数为 0 个,植株生长正常	9

1.5 数据分析

所测数据用 DPS7.05 软件和 Excel 2010 软件进行分析和处理,计算公式如下:

防治效果(%) = (对照区胞囊数 - 处理区胞囊数/对照区胞囊数) × 100

增产率(%) = (处理区产量 - 对照区产量/对照区产量) × 100

2 结果与分析

2.1 禾力素不同处理对不同时期大豆根上胞囊线虫数量的影响

大豆胞囊数量的田间计数结果(表 3)显示:大豆第一显囊期(出苗后 35 d),禾力素喷施和禾力素

包衣对大豆根系胞囊的抑制效果不明显,两个处理及对照的抗性等级均为 7 级且未达到显著水平;开花期,禾力素喷施和禾力素包衣均极显著低于对照,其抗性等级为 5 级和 7 级,对大豆胞囊线虫的防效分别为 58.88% 和 84.23%,两处理间差异显著;结荚期,禾力素喷施和禾力素包衣均极显著低于对照,其抗性等级均为 7 级,对大豆胞囊线虫的防效分别为 64.33%、58.64%,两处理间差异不显著;鼓粒期,禾力素喷施和禾力素包衣均极显著低于对照,两处理间差异显著,禾力素喷施极显著低于对照,禾力素包衣显著低于对照,其抗性等级均为 7 级,对大豆胞囊线虫的防效分别为 82.90% 和 51.81%。

表 3 不同时期禾力素不同处理对大豆根上胞囊线虫数量的影响

Table 3 Effect of different treatment on numbers of cyst outside soybean roots at different stages

处理 Treatment	第一显囊期 The first period		开花期 Flowering period		结荚期 Pod bearing period		鼓粒期 Seed filling period	
	数量 No. /个	抗性级别 The resistance level	数量 No. /个	抗性级别 The resistance level	数量 No. /个	抗性级别 The resistance level	数量 No. /个	抗性级别 The resistance level
禾力素喷施 Foliar spraying of Helisu	1.25 ± 0.38 aA	7	5.58 ± 0.32 bB	5	1.63 ± 0.71 bB	7	0.33 ± 0.23 cB	7
禾力素包衣 The seed coating treatment of Helisu	1.16 ± 0.35 aA	7	2.14 ± 0.16 cB	7	1.89 ± 0.54 bB	7	0.93 ± 0.37 bA	7
对照 Control	1.13 ± 0.29 aA	7	13.57 ± 0.44 aA	3	4.57 ± 1.09 aA	5	1.93 ± 0.43 aA	7

小写字母表示在 5% 水平差异显著性,大写字母表示在 1% 水平差异显著性。下同。
The lowercase indicate significant differences at 5% level, the capital indicating significant differences at 1% level. The same below.

2.2 禾力素不同处理对植株生长的影响

通过测量禾力素不同处理对大豆不同生长发育指标(表 4 ~ 7)可以看出:在大豆的整个发育期,禾力素叶面喷施和种子包衣处理的植株株高、主根长、地上部与地下部鲜重、地上部与底部干物质

积累量均有显著提高,促生效果明显。在大豆胞囊线虫第一显囊期和开花期禾力素种子包衣处理的促生效果要好于禾力素叶面喷施处理,而结荚期和鼓粒期禾力素叶面喷施处理的效果要好于种子包衣处理。

表 4 不同时期禾力素不同处理对大豆株高的影响

Table 4 Influence of different treatment on plant height at different stages (个)

处理 Treatment	第一显囊期 The first stage of cyst	开花期 Flowering period	结荚期 Pod bearing period	鼓粒期 Seed filling period
禾力素喷施 Foliar spraying of Helisu	43.46 ± 1.57 bAB	87.91 ± 2.15 bA	105.36 ± 0.69 aA	109.87 ± 0.69 aA
禾力素包衣 The seed coating treatment of Helisu	47.38 ± 0.75 aA	90.03 ± 1.47 aA	100.43 ± 0.70 bB	101.67 ± 1.82 bA
对照 Control	40.69 ± 0.91 cB	82.90 ± 1.37 cB	93.14 ± 1.09 cC	95.60 ± 1.41 cB

表 5 不同时期禾力素不同处理对大豆主根长的影响

Table 5 Influence of different treatment on seedlings root length at different stages (个)

处理 Treatment	第一显囊期 The first stage of cyst	开花期 Flowering period	结荚期 Pod bearing period	鼓粒期 Seed filling period
禾力素喷施 Foliar spraying of Helisu	13.46 ± 0.87 bB	18.43 ± 0.56 bAB	23.10 ± 0.51 aA	24.60 ± 0.78 aA
禾力素包衣 The seed coating treatment of Helisu	16.23 ± 0.77 aA	20.53 ± 0.71 aA	21.06 ± 0.62 bA	21.80 ± 0.64 bB
对照 Control	12.30 ± 0.42 bB	16.59 ± 0.57 cB	17.33 ± 0.63 cB	17.57 ± 0.88 cC

表 6 不同时期禾力素不同处理对地上部鲜重与地下部鲜重的影响

Table 6 Influence of different control on plant fresh weight at different stages (g)

处理 Treatment	地上部鲜重 Above-ground fresh weight				地下部鲜重 Underground fresh weight			
	第一显囊期 The first stage of cyst	开花期 Flowering period	结荚期 Pod bearing	鼓粒期 Seed filling	第一显囊期 The first stage of cyst	开花期 Flowering period	结荚期 Pod bearing	鼓粒期 Seed filling
禾力素喷施 Foliar spraying of Helisu	13.47 ± 1.41 bB	29.41 ± 1.83 aA	78.17 ± 3.91 aA	82.88 ± 5.45 aA	8.97 ± 0.21 bB	16.99 ± 0.39 aA	25.66 ± 0.73 aA	30.74 ± 0.46 aA
禾力素包衣 The seed coating treatment of Helisu	15.97 ± 0.94 aA	30.52 ± 2.01 aA	70.29 ± 4.22 bB	74.03 ± 2.80 bB	11.83 ± 0.09 aA	17.66 ± 0.38 aA	24.70 ± 0.47 aA	25.94 ± 0.30 bB
对照 Control	12.88 ± 1.159 bB	23.89 ± 2.82 bB	61.46 ± 5.31 cC	62.77 ± 4.44 cC	8.11 ± 0.73 bB	10.25 ± 0.95 bB	16.58 ± 0.70 bB	19.82 ± 0.48 cC

表 7 不同时期禾力素不同处理对地上部与地下部干物质积累量的影响

Table 7 Influence of different control on dry matter accumulation at different stages (g)

处理 Treatment	地上部鲜重 Above-ground fresh weight				地下部鲜重 Underground fresh weight			
	第一显囊期 The first stage of cyst	开花期 Flowering period	结荚期 Pod bearing	鼓粒期 Seed filling	第一显囊期 The first stage of cyst	开花期 Flowering period	结荚期 Pod bearing	鼓粒期 Seed filling
禾力素喷施 Foliar spraying of Helisu	2. 93 ± 0. 25 bB	7. 82 ± 0. 35 aA	26. 42 ± 1. 29 aA	28. 24 ± 1. 88 aA	3. 63 ± 0. 05 bB	6. 47 ± 0. 15 aA	9. 05 ± 0. 29 aA	12. 51 ± 0. 24 aA
禾力素包衣 The seed coating treatment of Helisu	3. 79 ± 0. 19 aA	7. 94 ± 0. 52 aA	23. 49 ± 1. 22 bB	24. 41 ± 1. 01 bB	4. 61 ± 0. 04 aA	6. 85 ± 0. 11 aA	8. 88 ± 1. 96 aA	8. 96 ± 1. 10 bB
对照 Control	2. 46 ± 0. 17 bB	5. 21 ± 0. 70 bB	18. 11 ± 1. 69 cC	19. 51 ± 10. 14 cC	3. 56 ± 0. 03 bB	4. 42 ± 0. 20 bB	5. 95 ± 0. 28 bB	6. 72 ± 0. 24 cC

2.3 不同处理对大豆的产量及产量构成因子的调查

由表 8 所示,单株荚数禾力素喷施极显著高于对照,禾力素包衣显著高于对照,分别高于对照 8. 84% 和 4. 47% ,彼此间差异显著;单株粒数方面,禾力素喷施极显著高于对照,禾力素包衣显著高于

对照,分别高于对照 16. 24% 和 10. 95% ,两处理间差异显著;百粒重方面,两个处理显著高于对照,分别高于对照 6. 04% 和 6. 37% ,两处理间差异不显著;产量方面,禾力素喷施极显著高于对照,禾力素包衣显著高于对照,分别较对照增产 14. 18% 和 8. 19% ,两处理间差异显著。

表 8 收获期数据调查

Table 8 Data investigation in harvest stage

处理 Treatment	单株荚数 Pods number per plant/个	单株粒数 Seeds number per plant/个	百粒重 100-seed weight/g	产量 Yield/(kg · hm ⁻²)	增产率 Ratio of increasing yield/%
禾力素喷施 Foliar spraying of Helisu	50. 86 ± 1. 59 aA	116. 34 ± 1. 45 aA	22. 29 ± 1. 17 aA	3490. 50 ± 4. 62 aA	14. 18
禾力素包衣 The seed coating treatment of Helisu	48. 82 ± 1. 46 bA	111. 05 ± 1. 98 bAB	22. 36 ± 0. 93 aA	3307. 50 ± 0. 40 bAB	8. 19
对照 Control	46. 73 ± 0. 34 cB	100. 09 ± 0. 39 cA	21. 02 ± 1. 08 bA	3057. 00 ± 1. 03 cB	—

3 结论与讨论

大豆胞囊线虫病作为大豆生产上重要的土传病害,在黑龙江省各大豆产区广泛发生,其具有分布范围广、传播途径多、繁殖力强及一年多代发生等特点,目前已经成为我省大豆田主要病害。对于该病的防治除利用抗病品种和轮作外,普遍依靠药剂进行防治。然而,化学药剂防治大豆胞囊线虫虽

然见效快,但也同样带来环境污染、产生抗药性等^[6]问题。随着我国农业“两减”策略的提出,生物防治必将发挥重要作用。本研究以新型生物制剂禾力素为研究对象,通过对不同时期不同施用方式开展研究,以明确其在大豆生产过程中发挥的防病、增产作用。

从防治效果方面分析,禾力素在不同时期的不同处理对大豆胞囊线虫的防治效果不同。大豆胞

囊线虫第一显囊期,禾力素叶面喷施和种子包衣处理防效不明显。这可能是由于哈尔滨地区2016年5月24日-6月23日(即大豆食心虫第一显囊期)出现较长一段时间的低温、多雨天气(据统计,降雨天数达到18 d,总降雨量达319.30 mm,平均气温16.60℃),连续的降雨造成土壤水分过高,氧气不足,抑制了大豆胞囊线虫的发生与生长,因而导致大豆胞囊线虫危害较轻,防治效果差异不明显。6月25日-7月7日这段时间,气温上升,无降雨,适宜大豆胞囊线虫的发育和侵染寄主,因此在大豆开花期,大豆胞囊线虫发生严重,与对照相比,禾力素叶面喷施和种子包衣均对大豆胞囊线虫均有很好的抑制作用,且种子包衣处理效果好于叶面喷施。随着大豆进入结荚期和鼓粒期,哈尔滨的高温、多雨天气再次限制了大豆胞囊线虫的发育,使其发生明显减少,但禾力素喷施或包衣均对大豆根际胞囊的产生方面起到了一定的抑制作用。因此结果表明,禾力素叶面喷施和种子包衣处理均能够有效抑制胞囊线虫生长,减少大豆根系胞囊增殖,减轻大豆胞囊线虫病的发生与危害。其中,大豆生长发育前期(开花期),禾力素种子包衣处理防效要好于叶面喷施处理,大豆生长发育后期(结荚期和鼓粒期),禾力素喷施处理的防效要好于禾力素包衣处理。从促进大豆生长及提高产量方面分析,禾力素在不同时期、不同处理对大豆各生长发育指标提高程度不同。大豆胞囊线虫第一显囊期,禾力素种子包衣处理能够明显提高大豆各生长发育指标,效果要好于禾力素叶面喷施,推测由于种子包衣处理给大豆的前期生长提供了足够的养分,能够促进大豆种子的萌发和前期幼苗生长。一次禾力素叶面喷施对生长发育指标提高的效果不明显。大豆开花期,禾力素叶面喷施和种子包衣均对大豆胞囊线虫胞囊的产生有很好的抑制作用并有效提高大豆各生长发育指标,且二者无显著差异,第二次叶面喷施后,禾力素叶面喷施的效果已显现出来。第三次叶面喷施禾力素后,禾力素叶面喷施处理的效果明显增强,要显著好于种子包衣处理,可能是由于禾力素包衣处理有一定的持效性,后期效果减弱所致。同时,研究发现,禾力素叶面喷施和种子包衣处理对大豆的产量构成因子单株荚数、单株粒数和百粒重均有不同程度的提高,从而实现了产量的显著提高。综上所述,禾力素叶面喷施与种子包衣处理在有效抑制大豆胞囊线虫发生的同时,还可以

显著提高大豆的产量。与20.5%多·福·甲维盐悬浮种衣剂、35%多克福大豆种衣剂、3%呋喃丹(克百威)颗粒剂等^[14, 24-25]常用药剂相比,禾力素两种处理方式的防效和增产效果分别为51.81%和8.19%以上,均有显著提高。由此可见,禾力素是一种具有开发潜力和应用前景的新型生物制剂,对大豆生产具有良好效果。

本试验中所用材料“龙哈10-4139”是生试品种,具有产量高,品质好,中抗大豆灰斑病等特点,未来推广潜力大。因此研究生物药剂“禾力素”对“龙哈10-4139”大豆胞囊线虫病的防效,可为该品种的种植推广提供指导。但本研究所用数据仅为一年单点数据,今后还需要开展多年多点试验进行补充验证。此外,关于禾力素对大豆胞囊线虫毒杀作用的分子机理及生理生化机制尚不明确,还有待于进一步深入开展研究。

参考文献

- [1] 段玉玺, 吴刚. 植物线虫病防治[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2002: 122-130. (Duan Y X, Wu G. Plant nematode disease prevention and control[M]. Beijing: China's Agricultural Science and Technology Press, 2002: 122-130.)
- [2] Zheng J W, Li Y H, Chen S Y. Characterization of the virulence phenotypes of *Heterodera glycines* in Minnesota[J]. Journal of Nematology, 2006, 38(3): 383-390.
- [3] 林晓敏, 李斌, 谭晓荣, 等. 大豆胞囊线虫抗性机制的研究进展[J]. 作物杂志, 2015(5): 11-17. (Lin X M, Li B, Tan X R, et al. Research progress on resistance mechanism to soybean cyst nematode in soybean[J]. Crops, 2015(5): 11-17.)
- [4] 宋美静, 朱晓峰, 王东, 等. 我国大豆主产区大豆胞囊线虫群体分布及致病性分化研究[J]. 大豆科学, 2016, 35(4): 630-636. (Song M J, Zhu X F, Wang D, et al. Population distribution and pathogenicity differentiation of soybean cyst nematode in main soybean production areas of China[J]. Soybean Science, 2016, 35(4): 630-636.)
- [5] 刘森, 李炜, 刘明, 等. 大豆胞囊线虫病防治方法的筛选[J]. 大豆科学, 2014, 33(4): 566-569. (Liu M, Li W, Liu M, et al. Screening of control methods in soybean cyst nematode[J]. Soybean Science, 2014, 33(4): 566-569.)
- [6] 尉文彬, 武玉环, 黄建明, 等. 大豆胞囊线虫生物防治研究进展[J]. 河北农业科学, 2013, 17(5): 56-58, 99. (Wei C B, Wu Y H, Huang J M, et al. Research progress on biological control of *Heterodera glycines*[J]. Journal of Hebei Agricultural Sciences, 2013, 17(5): 56-58, 99.)
- [7] 项鹏, 李红鹏, 陈井生, 等. 大豆胞囊线虫生防细菌的田间筛选与防治效果评价[J]. 植物保护学报, 2014, 41(3): 383-384. (Xiang P, Li H P, Chen J S, et al. Screening and antagonistic effects of biocontrol bacterium against *Heterodera glycines*

[J]. Journal of Plant Protection, 2014, 41(3): 383-384.)

[8] 李婷, 黄文坤, 彭德良, 等. 3 株生防真菌发酵液对大豆胞囊线虫的防治效果[J]. 华中农业大学学报, 2017, 36(1): 42-46. (Li T, Huang W K, Peng D L, et al. Control efficiency of three fungal strains' fermentation broth on soybean cyst nematode (*Heterodera glycines*) [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2017, 36(1): 42-46.)

[9] 范圣长, 段玉玺, 陈立杰. 大豆胞囊线虫胞囊内寄生真菌研究[J]. 大豆科学, 2004, 23(1): 71-74. (Fan S C, Duan Y X, Chen L J. He research on the cyst entoparasitic fungi of soybean cyst nematode[J]. Soybean Sciece, 2004, 23(1): 71-74.)

[10] 陈立杰, 万传浩, 朱晓峰, 等. Snea253 生物种衣剂防治大豆胞囊线虫的研究[J]. 大豆科学, 2014, 41(3): 459-462. (Chen L J, Wan C H, Zhu X F, et al. Control effects of Snea253 biological seed coating on soybean cyst nematode[J]. Soybean Sciece, 2014, 41(3): 459-462.)

[11] 刘翠君, 曹春霞, 周荣华, 等. 苏云金杆菌防治大豆胞囊线虫效果试验[J]. 湖北农业大学, 2011, 50(3): 520-522. (Liu C J, Cao C X, et al. Field tests of bacillus thuringiensis for controlling *Heterodera glycines* Ichinohe [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2011, 50(3): 520-522.)

[12] 周佳民, 黄文坤, 崔江宽, 等. 不同药用植物提取液对大豆胞囊线虫的控制作用[J]. 植物保护, 2015, 41(5): 225-558. (Zhou J M, Huang W K, Cui J K, et al. Effects of different plant extracts on controlling *Heterodera glycines* [J]. Plant Protection, 2015, 41(5): 225-558.)

[13] Wiratno, Taniwiryono D, van den Berg H, et al. Nematicidal activity of plant extracts against the root-knot nematode *Meloidogyne incognita* [J]. The Open Natural Poducts Journal, 2009, 2: 77-85.

[14] 郭丽娜, 洪丹. 20.5%多·福·甲维盐悬浮种衣剂田间示范效果试验研究[J]. 现代农业科技, 2011(2): 187, 189. (Guo L N, Hong D. Study on the field test effect of 20.5% Duo Fu em-amectin suspension seed coating agent [J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2011(2): 187, 189.)

[15] Bajguz A, & Hayat S. Effects of brassinosteroids on the plant responses to environmental stresses [J]. Plant Physiology & Biochemistry, 2009, 47: 1-8.

[16] Xia X J, Wang Y J, Zhou Y H, et al. Reactive oxygen species are involved in brassinosteroid-induced stress tolerance in cucumber [J]. Plant Physiology, 2009, 150: 801-814.

[17] Nahar K, Kyndt T, Hause B, et al. Brassinosteroids suppress rice defense against root-knot nematodes through antagonism with the jasmonate pathway [J]. Molecular Plant-Microbe Interactions. 2013, 26(1): 106-115.

[18] Xia X J, Zhou Y H, Ding J, et al. Induction of systemic stress tolerance by brassinosteroid in *Cucumissativus* [J]. New Phytologist, 2011, 191: 706-720.

[19] Song L X, Xu X C, Wang F N, et al. Brassinosteroids act a positive regulator for resistance against root-knot nematode involving RESPIRATORY BURST OXIDASE HOMOLOG-dependent activation of MAPKs in tomato [J/OL]. Plant, Cell & Environment, 2017, DOI:10.1111/pce.12952.

[20] 陈成, 崔堂兵, 于平儒. 一株抗真菌的解淀粉芽孢杆菌的鉴定及其抗菌性研究[J]. 现代食品科技, 2011, 27(1): 36-39. (Chen C, Cui T B, Yu P R. Identification of an anti-fungal strain of amyloliquefaciens bacillus and the properties of the antifungal substance[J]. Modern Food Science and Technology, 2011, 27(1): 36-39.)

[21] Zhang S M, Sha C Q, Wang Y X. Isolation and characterization of antifungal endophytic bacteria from soybean[J]. Institute of Microbiology, 2008, 35(10): 1593-1599.

[22] Kim P, Chung K C. Production of an antifungal protein for control of colletotrichum lagenarium by Bacillus amyloliquefaciens MET0908 [J]. FEMS Microbiology Letters, 2004(5): 177-183.

[23] 朱丽梅, 吴小芹, 徐旭麟. 松材线虫拮抗细菌的筛选和鉴定 [J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2008, 32(3): 91-94. (Zhu L M, Wu X Q, Xu X L. The screening and identification of the bacterium with nematocidal activity to *Bursaphelenchus xylophilus* [J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition), 2008, 32(3): 91-94.)

[24] 杜春梅, 李海燕, 李晓明, 等. HND₁ 生物种衣剂防治大豆胞囊线虫药效研究[J]. 大豆科学, 2009, 28(6): 1126-1129. (Du C M, Li H Y, Li X M, et al. Control effects of HND₁ biological seed coating on soybean cyst nematode [J]. Soybean Science, 2009, 28(6): 1126-1129.)

[25] 袁明. 黑龙江省西部大豆胞囊线虫病发生动态及防治对策 [J]. 黑龙江农业科学, 2011(5): 47-48. (Yuan M. Soybean cyst nematode dynamics and control measures in western Heilongjiang [J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2011(5): 47-48.)