

单一或组合生防菌对田间番茄植株生长和线虫的影响

张雪艳, 张亚萍, 许帆, 王彦刚, 张静, 石彦龙

(宁夏大学农学院, 宁夏设施园艺工程技术研究中心, 宁夏设施园艺(宁夏大学)技术创新中心, 宁夏银川 750021)

摘要:以番茄为试材, 采用宁夏诺德曼公司 B_1 、 B_2 、 B_3 、 B_4 、 B_5 、 B_6 单一枯草芽孢杆菌, 以及商品枯草芽孢杆菌和淡紫拟青霉 8 种生防菌, 系统的研究了单一生防菌和生防菌组合对番茄植株长势、根系干鲜重、土壤根结线虫数量、根结指数的影响。结果表明: 单一菌中 B_2 、 B_4 、枯草芽孢杆菌处理的植株长势好, B_2 和枯草芽孢杆菌显著增加根系鲜重, B_2 显著增加根系干重, B_4 和 B_5 显著降低缓苗期土壤根结线虫数量, 且淡紫拟青霉降低拉秧期土壤线虫效果最显著; 组合菌 $B_2 + B_5$ 、 $B_2 + B_6$ 、 $B_2 + B_4$ 、 $B_4 + B_5$ 、 $B_4 + B_6$ 、 $B_4 +$ 枯草(枯草芽孢杆菌)促进了番茄植株长势, 降低了土壤中线虫数量。单一菌 B_4 、 B_2 , 组合菌 $B_4 + B_5$ 能显著促进作物生长和降低土壤线虫。

关键词:根结线虫; 生防菌; 番茄; 植株长势

中图分类号:S 482.2⁺92 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)07-0108-05

根结线虫 (*Meloidogyne* spp.) 是一类广泛寄生于植物根部的病原微生物, 是分布最广、为害最重的植物寄生线虫, 每年对世界范围内的蔬菜、果树、烟草等经济农作物造成严重危害^[1], 已引起世界各国的关注^[2]。随着保护地栽培面积的迅速增加和复种指数的提高, 特别是日光温室的迅速发展, 根结线虫病发生区域不断扩大, 各蔬菜产区的危害日趋严重, 尤其以老菜区发生危害严重^[3]。据预测, 未来 10 年线虫的发生会有明显的上升, 年平均增幅 1%~9%, 根结线虫病将依然是农作物的主要病害之一^[4-5]。根结线虫的寄主范围十分广泛, 番茄、黄瓜、芹菜、茄子等对根结线虫病十分敏感, 是最容易受害的蔬菜作物。

针对该病防治主要采用化学药剂, 如铁灭克、克线磷等, 然而这些药剂毒性均较高, 长期使用会对环境造成严重的污染, 同时使用成本也很高^[6]。生物防治能够有效的防治根结线虫病, 且不污染环境, 具有很大的发

展潜力^[7]。张玉芹^[8]研究表明, 枯草芽孢杆菌是一种重要的生防资源, 对根结线虫具有良好的防治效果, 高浓度下可以很快杀死根结线虫。魏利辉等^[9]在生防菌 GJ23 防治黄瓜根结线虫的田间试验效果研究中表明, 生防菌在有效防治根结线虫的同时, 还有对植株的促长作用和增产效益。利用生物防治的方法控制根结线虫, 目前虽仍面临防效不稳定、不便贮运和持效期短等问题, 但仍然是设施生产实现可持续发展的必然之路^[10], 因此, 根结线虫的生物防治愈来愈重要。

番茄是宁夏温室主栽作物之一, 其受根结线虫危害严重, 因此, 现以番茄为试验材料, 通过室内单一生防菌(单一菌)和两两组合生防菌(组合菌)对根结线虫致死率的对比及田间单一菌和组合菌对盆栽番茄的植株长势、根结线虫数量、根结指数分析, 筛选出能有效预防根结线虫的生防菌, 以期宁夏设施连作蔬菜可持续高效安全生产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

生防菌选用宁夏诺德曼公司的 B_1 、 B_2 、 B_3 、 B_4 、 B_5 、 B_6 单一枯草芽孢杆菌, 以及商品淡紫拟青霉(淡紫)和枯草芽孢杆菌(枯草)8 种菌剂, 淡紫拟青霉购于德强生物股份公司, 枯草芽孢杆菌购于无锡本元生物科技有限公司。

第一作者简介:张雪艳(1981-), 女, 河北保定人, 博士, 副教授, 现主要从事设施蔬菜栽培与生理等研究工作。E-mail: zhangxueyan123@sina.com.

基金项目:宁夏高等学校科学技术研究资助项目(NGY2014061); 国家科技支撑计划资助项目(2014BAD05B02); 银川科技局科技计划资助项目(2014-299-2-1)。

收稿日期:2015-12-14

1.2 试验方法

田间采用盆栽试验,土壤取自宁夏西夏区军马场发病严重的日光温室土壤,土壤根结线虫数量为 7.5 条/100g 土,采用盆栽试验,每盆装土 1.5 kg,每盆添加基肥量 0.011 kg,于 2014 年 8 月 15 日定植番茄品种“齐大利”,在缓苗后 8 月 22 日灌生防菌溶液,生防菌剂溶液浓度 1 亿/mL,灌溉量 50 mL,每处理 5 次重复,对照为不加生防菌。

1.3 项目测定

1.3.1 番茄植株形态指标测定 植株形态指标包括株高、茎粗、叶片数及叶绿素含量;株高为番茄生长点到根基部的垂直距离,用卷尺测量;茎粗为子叶下 1 cm 的粗度,用游标卡尺测定;叶片数为直径大于 2 cm 的叶片数,用目测计数法测定;叶绿素为第 5 个功能叶片的叶绿素含量,用 SPAD 502 叶绿素含量测定仪测定^[11]。

1.3.2 根结指数测定和植株地上、地下部干鲜重测定 拉秧期每处理随机取 5 株代表性植株,将地上部与地下部分开,地上部鲜重采用称重法测定,烘干后测定干重,根系鲜样用于根结指数分析。根结指数按照 11 级标准分级:0 级-无根结;1 级-须根上有根结,但不明显;2 级-须根上有较少的根结;3 级-须根上有较多根结;4 级-须根上有很多根结;5 级-须根上有 50% 的根结,主根上有

较小根结;6 级-须根上大部分有根结,主根上有少量根结;7 级-须根上全部有根结,主根上有少量根结;8 级-须根上全部有根结,主根上有较多根结;9 级-须根上全部有根结,主根上有很多根结;10 级-完全没有根结^[12]。根结指数 = $\sum(\text{各级植株数} \times \text{该级代表值}) / (\text{调查总株数} \times \text{最高级代表值}) \times 100$ 。

1.3.3 土壤根结线虫及植株干鲜重的测定 土壤线虫的分离采用漏斗分离法和蔗糖离心法结合及计数,最后换算为 100 g 土壤中的线虫数。

1.4 数据分析

试验数据采用 Excel 2007 软件进行处理,采用 DPS 6.55 统计软件进行显著性差异分析。

2 结果与分析

2.1 不同单一菌对番茄植株长势的影响

由表 1 可知,相比 CK,除 B₅ 外,其它菌剂均显著增加株高,B₁ 增加效果最显著,B₂ 次之,其它菌剂间差异不显著;B₅ 增加茎粗效果最显著,其次是枯草芽孢杆菌,其它菌剂与 CK 间无显著差异;相比 CK,除 B₅ 和 B₆ 外,其它菌剂均显著增加叶片数,其中枯草芽孢杆菌增加叶片数最显著,其次是 B₂、B₃、B₄;B₂、B₃、B₆ 均显著增加叶绿素含量,其它处理与 CK 间无显著差异。

表 1 不同单一菌对番茄植株长势的影响

Table 1 The effect of different single biocontrol agent on tomato plant growth

处理 Treatment	株高 Plant height/cm	茎粗 Stem diameter/mm	叶片数 Leaf number/个	叶绿素 Chlorophyll/SPAD
CK	58.0±2.516 6d	7.18±0.340 9c	14.3±0.333 3e	33.6±2.154 3bc
B ₁	76.7±0.666 7bc	7.58±0.260 3bc	18.3±0.333 3bc	31.2±3.132 8c
B ₂	83.0±2.516 6ab	7.02±0.065 1c	20.0±1.527 5ab	42.1±2.516 6a
B ₃	78.0±7.637 6bc	7.51±0.349 6bc	18.7±0.881 9b	42.7±2.269 6a
B ₄	89.3±0.881 9a	7.34±0.136 9bc	18.7±0.333 3b	40.7±2.000 0ab
B ₅	45.3±2.603 4e	8.70±0.065 6a	16.0±0.577 4de	30.4±0.560 8c
B ₆	74.0±1.000 0bc	7.67±0.167 5bc	16.3±0.333 3cde	43.3±3.851 6a
枯草芽孢杆菌	80.7±1.201 9abc	8.00±0.110 2b	21.0±0.577 4a	38.9±0.435 9ab
淡紫拟青霉	71.3±2.027 6c	7.75±0.237 3bc	18.0±0.577 4bcd	40.6±2.042 1ab

注:同列不同字母表示在 0.05 水平差异显著,下同。

Note: Values followed by different small letters in the same column show significant difference among treatments at 0.05 level, and the same below.

2.2 不同组合菌对植株长势的影响

由表 2 可知,CK 株高最低,各菌剂组合均显著增加株高,其中 B₂+B₅、B₂+B₆、B₄+B₅ 和 B₄+枯草处理增加效果最显著;B₁+B₄、B₂+B₄ 和 B₃+B₄ 茎粗水平较高,B₂+枯草、B₄+淡紫、B₅+B₆ 和 B₆+淡紫处理茎粗水平较低,且显著低于 CK,其它处理则为中等水平;B₄+枯草处理的叶片数显著高于其它处理,B₁+B₄ 和 B₂+B₄ 处理叶片数略低于 B₄+枯草,B₅+淡紫和 B₆+枯草处理的叶片数有较低水平,且低于 CK;CK 和 B₆+淡紫

处理的叶绿素最低,B₃+B₅ 处理的叶绿素显著高于其它处理,其它处理叶绿素含量居中。

2.3 不同单一菌对番茄根系干鲜重的影响

从表 3 可以看出,单一菌处理的番茄植株根系的干鲜重与 CK 相比较,有较明显的区别;B₂、B₃、B₅、枯草芽孢杆菌的鲜重保持较高水平,其它菌剂处理与 CK 无显著差异;B₂ 根系干重有较高的水平,显著高于其它处理,淡紫拟青霉次之,B₃ 和 B₆ 根系干重处于中等水平,其它处理与 CK 间无显著差异。

表 2

不同组合菌对植株长势的影响

Table 2

The effect of different biocontrol agents combination on tomato plant growth

处理 Treatment	株高 Plant height/cm	茎粗 Stem diameter/mm	叶片数 Leaf number/个	叶绿素 Chlorophyll/SPAD
CK	58.0±2.516 6j	7.18±0.340 9hij	14.3±0.333 3klm	33.6±2.154 3g
B ₁ +B ₂	96.7±3.756 5bc	8.21±0.225 6bcdefg	19.7±1.201 9bcdef	42.5±2.137 8abcdef
B ₁ +B ₃	96.3±0.666 7bc	7.91±0.355 7defgh	21.7±1.333 3abc	42.3±3.399 2abcdef
B ₁ +B ₄	96.3±2.905 9bc	9.08±0.271 4b	22.0±0.577 4ab	36.4±1.431 0efg
B ₁ +B ₅	87.3±0.333 3bcdef	8.61±0.535 9bcde	21.3±0.333 3abcd	34.0±1.622 1g
B ₁ +B ₆	77.0±1.527 5ghi	8.11±0.092 6bcdefgh	17.7±1.201 9fghij	38.9±0.371 2defg
B ₁ +枯草	97.3±1.855 9b	8.87±0.080 8bcd	20.3±0.333 3abcde	46.7±3.817 5abc
B ₁ +淡紫	87.7±1.453 0bcdef	7.30±0.096 8ghij	18.3±0.333 3efghi	35.3±3.178 6fg
B ₂ +B ₃	72.0±2.000 0i	7.49±0.042 6fghi	16.7±0.333 3hijk	37.3±1.625 2efg
B ₂ +B ₄	97.3±3.283 0b	10.03±0.506 8a	21.3±0.333 3abcd	40.7±2.715 4abcdefg
B ₂ +B ₅	109.0±1.527 5a	8.81±0.330 8bcd	22.0±1.000 0ab	39.8±3.131 7bcdefg
B ₂ +B ₆	108.0±3.605 6a	8.00±0.561 9defgh	19.3±0.881 9cdefg	45.9±1.818 7abcd
B ₂ +枯草	75.3±0.881 9hi	6.27±0.294 8k	17.7±0.666 7fghij	47.4±0.895 0abc
B ₂ +淡紫	72.3±1.855 9i	7.16±0.087 4hij	14.0±0.577 4lm	35.5±2.136 5efg
B ₃ +B ₄	84.3±1.855 9defgh	9.08±0.050 3b	17.0±0.000 0ghij	40.7±1.179 5abcdefg
B ₃ +B ₅	90.3±3.179 8bcde	7.56±0.161 5fghi	21.7±0.333 3abc	47.8±1.322 0a
B ₃ +B ₆	84.3±3.179 8defgh	7.62±0.218 8fghi	19.3±0.881 9cdefg	46.8±3.246 2abc
B ₃ +枯草	84.0±4.582 6defgh	8.08±0.308 9cdefgh	18.7±0.333 3efghi	46.8±1.266 2abc
B ₃ +淡紫	79.3±8.171 8fghi	8.67±0.264 1bcde	16.3±1.201 9ijkl	39.0±4.479 2defg
B ₄ +B ₅	75.3±0.666 7hi	8.39±0.124 1bcdef	19.7±1.763 8bcdef	37.6±4.168 3efg
B ₄ +B ₆	107.3±4.096 1a	8.72±0.207 8bcde	21.3±1.201 9abcd	47.2±0.888 8abc
B ₄ +枯草	106.7±2.027 6a	7.77±0.214 0efghi	22.7±0.333 3a	45.8±1.789 2abcd
B ₄ +淡紫	90.7±3.179 8bcd	6.94±0.272 4ijk	19.0±0.577 4defgh	46.2±0.680 7abcd
B ₅ +B ₆	82.3±1.453 0defgh	5.39±0.539 6l	17.7±0.333 3fghij	39.5±0.608 3cdefg
B ₅ +枯草	85.7±3.179 8defgh	8.33±0.390 1bcdef	16.7±0.333 3hijk	36.0±0.873 7efg
B ₅ +淡紫	82.3±1.855 9defgh	6.44±0.219 9jk	15.7±0.333 3jklm	43.2±1.426 3abcde
B ₆ +枯草	80.3±2.603 4efghi	8.08±0.043 7cdefgh	13.7±0.333 3m	40.9±1.457 2abcdefg
B ₆ +淡紫	78.7±4.484 5fghi	7.96±0.086 9defgh	13.3±0.333 3m	33.4±1.673 7g
枯草+淡紫	87.7±2.516 6bcdef	7.18±0.340 9hij	17.3±1.201 9fghij	42.1±1.955 3abcdef

表 3 不同单一菌对番茄根系干鲜重的影响

Table 3 The effect of different single biocontrol agent on dry and fresh weight of tomato root

处理 Treatment	干重 Dry weight/g	鲜重 Fresh weight/g
CK	1.76±0.076 4cd	11.08±0.312 2b
B ₁	1.86±0.161 8cd	12.66±0.893 3b
B ₂	3.05±0.315 0a	22.66±1.887 0a
B ₃	2.46±0.055 1abc	27.56±3.473 9a
B ₄	1.49±0.309 0d	10.57±2.187 2b
B ₅	2.19±0.308 3bcd	24.69±6.714 7a
B ₆	2.38±0.136 9abc	18.82±2.702 7ab
枯草芽孢杆菌	2.13±0.360 3bcd	22.41±0.182 1a
淡紫拟青霉	2.75±0.132 8ab	17.93±2.622 6ab

2.4 不同组合菌对番茄根系干鲜重的影响

由表 4 可知,不同组合菌处理对番茄根系干鲜重有显著增高的趋势,其中 B₂+B₃、B₃+B₄、B₃+B₅、B₄+B₅、B₅+枯草、B₅+淡紫、B₆+枯草、B₆+淡紫根系鲜重与 CK 无显著差异,其它处理根系鲜重则显著高于 CK,B₃+B₆、B₂+B₅ 处理有较高水平的鲜重,B₁+B₅、B₂+B₅、B₂+B₄、B₂+淡紫、B₂+B₆、B₄+枯草处理的鲜重均保持中等水平;CK 根系干重最低,B₃+B₆ 处理根系干鲜重显著高于其它处理,其次是 B₁+枯草、B₁+B₅、B₂+B₅、B₂+枯草、B₄+枯草、B₅+B₆、枯草+淡紫。

表 4 不同组合菌对番茄根系干鲜重的影响

Table 4 The effect of different combination biocontrol agents on dry and fresh weight of tomato root

处理 Treatment	干重 Dry weight/g	鲜重 Fresh weight/g
CK	11.08±0.312 2n	1.76±0.076 4h
B ₁ +B ₂	19.53±0.228 4hijkl	2.24±0.032 8efgh
B ₁ +B ₃	26.23±0.119 3cdefg	3.10±0.064 3abcdef
B ₁ +B ₄	23.15±3.520 0defghi	2.69±0.329 9cdefgh
B ₁ +B ₅	30.04±1.813 7abc	2.98±0.089 5abcdef
B ₁ +B ₆	23.19±1.403 3defghi	3.08±0.410 7abcdef
B ₁ +枯草	26.93±1.123 2bcdef	3.57±0.138 7abc
B ₁ +淡紫	20.97±0.253 7fghijk	2.78±0.112 9abcdefg
B ₂ +B ₃	14.24±1.235 5lmn	1.98±0.250 5gh
B ₂ +B ₄	25.37±5.664 3cdefgh	3.13±0.485 8abcde
B ₂ +B ₅	28.98±3.144 2abcd	3.68±0.570 0ab
B ₂ +B ₆	20.76±2.004 9ghijk	3.07±0.211 7abcdef
B ₂ +枯草	28.20±2.705 2bcd	3.40±0.141 7abcd
B ₂ +淡紫	30.19±1.398 2abc	3.18±0.055 5abcde
B ₃ +B ₄	15.34±0.408 1klmn	1.92±0.113 2gh
B ₃ +B ₅	21.23±0.936 7fghijk	2.66±0.128 6cdefgh
B ₃ +B ₆	32.60±3.387 5ab	3.74±0.237 6a
B ₃ +枯草	20.50±2.670 5ghijk	3.24±0.070 0abcd
B ₃ +淡紫	13.40±0.674 9mn	2.76±0.627 0bcdefg
B ₄ +B ₅	18.13±0.687 4ijklm	2.13±0.489 8fgh
B ₄ +B ₆	18.23±2.115 7ijklm	2.58±0.435 6defgh
B ₄ +枯草	26.23±0.276 5cdefg	3.05±0.109 9abcdef
B ₄ +淡紫	21.68±1.563 9efghij	2.72±0.315 3bcdefg
B ₅ +B ₆	27.50±4.893 4bcde	2.70±0.113 5cdefgh
B ₅ +枯草	13.42±0.397 7mn	1.91±0.006 7gh
B ₅ +淡紫	19.14±0.774 8ijklm	1.95±0.121 2gh
B ₆ +枯草	18.13±1.539 8ijklm	2.01±0.088 2gh
B ₆ +淡紫	16.95±0.921 7jklmn	2.21±0.248 5efgh
枯草+淡紫	34.31±0.990 4a	3.07±0.400 8abcdef

2.5 不同单一菌对土壤线虫的作用

由表 5 可知,定植缓苗期 B_1 和 B_2 线虫数与 CK 无显著差异,但显著高于其它处理, B_4 、 B_5 和淡紫拟青霉处理的土壤线虫数保持较低水平,其它处理有中等水平的

土壤线虫数;拉秧期 CK 线虫数相比缓苗期有显著增长,且显著高于其它处理,各菌种处理均显著降低了线虫的数量,淡紫拟青霉降低线虫数量最显著, B_1 降低线虫的程度最低,其它处理间无显著差异,仅次于淡紫拟青霉。

表 5 不同单一菌对土壤线虫的作用

Table 5 The effect of different single biocontrol agent on soil root knot nematode

处理 Treatment	根结指数 Root-knot index	定植期 Planting period/(条·(100g) ⁻¹ 土)	拉秧期 Full fruit period/(条·(100g) ⁻¹ 土)
CK	93.3	9.2±1.3ab	19.2±1.5a
B_1	86.7	9.6±3.2a	5.8±1.8b
B_2	88.9	9.6±1.9a	2.5±0.6bc
B_3	76.2	5.0±1.2ab	2.9±0.9bc
B_4	77.8	2.9±0.9b	4.2±0.9bc
B_5	85.7	2.9±0.9b	4.6±0.7bc
B_6	87.5	6.3±0.6ab	2.1±0.7bc
枯草芽孢杆菌	90.5	6.7±0.9ab	2.9±0.9bc
淡紫拟青霉	85.7	3.3±1.5ab	0.8±0.3c

2.6 不同组合菌对土壤线虫的影响

由表 6 可知,大多数组合菌对土壤中线虫数量有降低趋势,少部分组合菌对线虫数有增加趋势。定植缓苗期 B_1+B_2 、 B_4 +淡紫、 B_2 +枯草处理线虫数量较高,且高于 CK,到拉秧期 B_1+B_2 和 B_2 +枯草处理的线虫数有显

著性降低; B_2+B_3 和 B_3+B_5 处理从定植期至拉秧期的线虫数有明显的增加趋势,且增加幅度较大; B_2 +淡紫、 B_5+B_6 处理的病情指数具有较低水平, B_1+B_5 和 B_3+B_6 处理的病情指数均较高于 CK。

表 6 不同组合菌对土壤线虫的影响

Table 6 The effect of different combination biocontrol agents on soil root knot nematode

处理 Treatment	根结指数 Root-knot index	定植期 Planting period/(条·(100g) ⁻¹ 土)	拉秧期 Full fruit period/(条·(100g) ⁻¹ 土)
CK	93.3	9.2±1.3cdef	19.1±1.5a
B_1+B_2	93.3	16.3±1.5ab	3.3±0.3de
B_1+B_3	83.3	9.6±0.9cde	2.9±0.7de
B_1+B_4	76.2	9.2±1.8cdef	3.3±0.9de
B_1+B_5	95.2	3.8±1.2efg	2.9±0.9de
B_1+B_6	76.2	10.0±0.0cde	10.4±1.8bc
B_1 +淡紫	95.2	4.2±0.9efg	2.5±0.6e
B_1 +枯草	88.9	8.3±1.2cdefg	4.2±1.5de
B_2+B_3	86.7	4.9±1.8defg	14.6±3.8ab
B_2+B_4	85.7	4.6±1.7defg	6.3±1.2cde
B_2+B_5	88.9	9.2±1.9cdef	2.9±0.9de
B_2+B_6	81.0	4.6±1.7defg	5.4±0.9cde
B_2 +淡紫	61.9	2.9±0.7fg	3.6±1.7de
B_2 +枯草	85.7	12.5±1.2abc	1.7±0.9e
B_3+B_4	71.4	10.8±0.9bcd	4.2±1.3de
B_3+B_5	88.9	5.4±0.9defg	9.2±3.4bcd
B_3+B_6	95.2	4.2±0.9efg	5.8±2.4cde
B_3 +淡紫	86.7	11.7±0.9abc	3.8±0.6de
B_3 +枯草	87.5	7.9±1.5cdefg	4.6±0.3cde
B_4+B_5	93.3	7.9±0.7cdefg	2.5±0.6e
B_4+B_6	88.9	2.5±0.6g	3.8±1.0de
B_4 +淡紫	90.5	17.1±4.3a	12.1±2.7b
B_4 +枯草	83.3	7.9±0.7cdefg	5.8±0.7cde
B_5+B_6	62.5	8.3±1.5cdefg	5.8±0.7cde
B_5 +淡紫	80.0	2.9±0.3fg	2.5±0.6e
B_5 +枯草	83.3	2.1±0.3g	5.0±1.0cde
B_6 +淡紫	77.8	6.7±2.8cdefg	1.3±0.3e
B_6 +枯草	83.3	6.7±0.3cdefg	3.3±0.9de
淡紫+枯草	83.3	3.8±1.0efg	2.5±0.6e

3 讨论与结论

张洁等^[13]通过盆栽试验研究表明,生防菌可以促进植株长势,增加番茄鲜质量,并且对土壤根结线虫数量有明显的降低作用。该试验研究表明, B_2 、 B_4 、枯草芽孢杆菌处理番茄植株长势较优于其它菌剂处理,其中 B_2

的植株长势最优; B_2 、 B_3 、 B_5 、枯草芽孢杆菌显著增加植株鲜重,且 B_2 和淡紫拟青霉显著增加根干重; B_4 、 B_5 显著降低缓苗期根结线虫数量,且各单一菌种处理均显著降低拉秧期根结线虫数量,其中淡紫拟青霉降低效果最显著, B_3 和 B_4 的根结指数最低。这是因为淡紫拟青霉能够产生几丁质酶和丝氨酸蛋白酶,并通过这 2 种酶的作

用破坏根结线虫卵壳,从而菌丝侵入根结线虫的卵并寄生于卵内,降低线虫数量^[14],枯草芽孢杆菌对根结线虫病的作用机理也是几丁质酶作用于根结线虫卵,从而抑制线虫,降低线虫数量^[15]。 $B_2 + B_5$ 、 $B_2 + B_6$ 、 $B_2 + B_4$ 、 $B_4 + B_6$ 、 $B_4 + B_5$ 枯草芽孢杆菌复合菌增加植株长势效果显著,且上述组合显著增加番茄根干重, $B_2 + B_5$ 淡紫拟青霉、淡紫拟青霉+枯草芽孢杆菌增加根鲜重;生防菌对根结线虫具有良好的防治效果,所有组合均相对 CK 均显著降低拉秧期根结线虫数量,其中 $B_2 + B_5$ 、 $B_5 + B_6$ 处理的病情指数最低, $B_2 + B_5$ 、 $B_4 + B_6$ 、 $B_4 + B_5$ 、 $B_5 + B_6$ 淡紫拟青霉、 $B_5 + B_6$ 淡紫拟青霉、枯草芽孢杆菌+淡紫拟青霉降低土壤线虫数量最显著。单一菌防控效果好时,组合菌效果不一定好,生防菌间还可能存在着防病机理的不相容性。张家家^[16]通过试验结果表明,生防菌组合后,其中 1 株生防菌降解了另 1 株生防菌所产生的主要防病作用的物质如蛋白类抗生素而致组合后防效降低,该试验研究结果与其较符合。

单一菌 B_2 促进植株生长效果最显著, B_4 促进植株生长和降低根结线虫效果均显著。综合来说,组合菌种 $B_4 + B_6$ 增加植株生长和降低土壤鲜重数量效果较优,枯草芽孢杆菌+淡紫拟青霉增加根系干鲜重和降低土壤线虫效果最显著。

参考文献

- [1] 唐燕平,王天云,陈志胜,等.安徽省草坪害虫种类调查及发生趋势分析[J].安徽农业科学,2002,30(2):179-181.
- [2] 于力,朱为民,薛林宝,等.番茄根结线虫病的研究进展[J].中国蔬菜,2006(11):35-38.

- [3] ZAKI A, SIDDQUI M, SAYYED A. Effects of AM fungi and organic fertilizers on the reproduction of the nematode *Meloidogyne incognita* and on the growth and water loss of tomato [J]. Biology and Fertility of Soils, 2007, 43(5):603-609.
- [4] 陈振德,王佩,周英,等.不同砧木嫁接对番茄产量、品质及南方根结线虫防治效果的影响[J].中国蔬菜,2012(20):83-87.
- [5] 刘畅.蔬菜根结线虫的生物防治[J].安徽农业通报,2009,15(17):137-139.
- [6] 郑云峰,李建生,邱美强,等.根结线虫生防菌研究进展[J].植物保护,2006(11):62-65.
- [7] 朱致豫.烟草根结线虫生防菌的筛选机器技术体系的建立[D].重庆:西南大学,2014.
- [8] 张玉芹.枯草芽孢杆菌 Bs-18 菌株分离与鉴定及对根结线虫的防治效果[J].北方园艺,2012(1):130-132.
- [9] 魏利辉,丁国春,郭坚华,等.生防菌剂 GJ23 防治黄瓜根结线虫的田间试验效果[J].江苏农业科学,2006(5):46-47.
- [10] 乔丹娜,张艳杰,李华义,等.玫瑰黄链霉菌对根结线虫的防效及对土壤微生物区系的影响[J].中国蔬菜,2014(9):30-36.
- [11] 王冠,吴萍,李磊,等.发酵菌剂与秸秆生物反应堆复配对越冬番茄生长特性的影响[J].长江蔬菜,2014(18):41-45.
- [12] 肖炎农,王明祖,付艳平,等.蔬菜根结线虫病情分级方法比较[J].华中农业大学学报,2000(4):336-338.
- [13] 张洁,孙炳剑,周海峰,等.几株生防菌对番茄根结线虫的防效测定[J].河南农业科学,2013,42(3):76-78.
- [14] 王波,李红梅,王碧,等.淡紫拟青霉与放线菌代谢物复配对南方根结线虫的防治[J].南京农业大学学报,2009,32(1):55-60.
- [15] 陶树兴,张娟妮,郭贤,等.枯草芽孢杆菌 2-3-2 的抗线虫作用和产酶条件与酶特性[J].陕西师范大学学报(自然科学版),2013,41(3):45-49.
- [16] 张家家.生防菌组合应用对黄瓜根结线虫病的防治效果及生防菌的相容性[D].北京:中国农业科学院,2014.

Effect of Single or Combination Biocontrol Agent on Growth and Nematode in Tomato Plants

ZHANG Xueyan, ZHANG Yaping, XU Fan, WANG Yangang, ZHANG Jing, SHI Yanlong

(School of Agriculture, Ningxia University/Facility Horticulture Engineering Technique Center of Ningxia/Research Center for Technological Innovation of Facility Horticulture Ningxia(Ningxia University), Yinchuan, Ningxia 750021)

Abstract: Taking tomato as material, using eight kinds of biocontrol agents, such as B_1 , B_2 , B_3 , B_4 , B_5 , B_6 single *Bacillus subtilis* were selected from Ningxia Nordmann company and commodity *Bacillus subtilis*, *Paecilomyces lilacinus*, the effect of single biocontrol agents and combination biocontrol agents on the tomato plants growth, root fresh and dry weight, the number of soil nematodes and the plant root-knot index were studied. The results showed that single biocontrol agent B_2 , B_4 and *Bacillus subtilis* promoted plant growth were well, the B_2 and *Bacillus subtilis* significantly increased fresh weight of root, the B_2 significantly increased dry weight of root the B_4 and B_5 significantly reduced the number of soil root knot nematode in seedling stage, and *Paecilomyces lilacinus* significantly reduced soil nematode which was the most effective at harvest period. The combination of biocontrol agent $B_2 + B_5$, $B_2 + B_6$, $B_2 + B_4$, $B_4 + B_6$, $B_4 + B_5$, $B_5 + B_6$ (*Bacillus subtilis*) promoted tomato plant growth, and reduced the number of soil root knot nematode. Single biocontrol agent B_4 , B_2 and combination biocontrol agents $B_4 + B_6$ could significantly promote the growth of crops and reduce the number of soil root knot nematode.

Keywords: root knot nematode; biocontrol agent; tomato; plant growth