

# 无土栽培辣椒促生菌的筛选及苗期促生效果

王艳燕, 朴凤植, 陈 思, 付新星

(河南农业大学 园艺学院, 河南 郑州 450002)

**摘 要:** 采用种子和苗期筛选方法, 从 40 种待选菌种中筛选出 4 种对辣椒生长有明显促进作用的促生菌 G15-7、A21-4、R2-1、L24-1, 并验证了这 4 种促生菌的促生效果。结果表明: 这 4 种菌对辣椒苗期的形态指标和生理指标有显著促进作用, 其中 R2-1 的影响效果最显著; L24-1 和 A21-4 分别对辣椒苗期的形态指标和生理指标影响显著; G15-7 对辣椒苗期生长也有明显促进作用, 但显著性不及其它 3 种菌。

**关键词:** 促生菌; 无土栽培; 辣椒

**中图分类号:** S 641.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001—0009(2011)06—0015—04

植物根际促生菌 (Plant growth-promoting rhizobacteria, PGPR) 是一类能够高密度定殖在植物根际的微生物, 兼有抑制植物病原菌、根际有害微生物, 促进植物生长并提高作物产量的作用。通过植物生长调节机制和生物防治机制发挥作用<sup>[1]</sup>。植物促生菌已经在世界许多国家得到应用, 调查表明, 应用促生菌的作物有 60% ~ 70% 增产显著, 增产幅度为 5% ~ 30%<sup>[2]</sup>。黄晓东研究表明根际促生菌可实现促进作物生长, 增强作物的抗药性, 降解农药残留, 减少化肥使用, 增加投入化肥的利用率, 促进土壤中无效营养有效化, 预防和控制作物的各种流行性病害, 降低作业成本, 提高产量和品质<sup>[2]</sup>。PG-PR 对作物的促生作用表现在发芽率、根生长、产量、叶面积、叶绿素含量、镁含量、氮含量、蛋白质含量、耐旱性、地上部和根重、延缓叶衰老等<sup>[3]</sup>。

随着设施农业的发展, 无土栽培在我国应用越来越广泛, 它可以有效克服土培的连作障碍和土传病害的传播, 但整个栽培过程中仅单一使用营养液成本较高, 而在营养液中加入植物根际促生菌可以有效提高其养分利用率, 技术简单, 便于推广应用。目前对辣椒促生菌的筛选使用还比较少, 如能筛选出对辣椒生长有促生作用的有益菌, 将有助于促生菌应用, 以减少病害, 提高辣椒产量品质, 还可为促生菌的促生长作用原理的研究提供技术基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

**第一作者简介:** 王艳燕 (1984), 女, 在读硕士, 研究方向为设施园艺栽培。E-mail: wang5656yan@126.com。

**收稿日期:** 2011—01—11

辣椒品种为“豫艺绿冠”, 属羊角型, 无限生长型。草炭、蛭石、珍珠岩在郑州陈砦花卉市场购得。供试菌原由河南农业大学植物保护学院分离纯化获得 (表 1)。

### 1.2 试验方法

**1.2.1 促生菌的初选** 将 40 种待选菌制作成浓度为  $10^8$  浓度的菌液, 用菌液对辣椒种子进行浸种处理, 每个处理 50 粒辣椒种子, 3 次重复, 浸种 2 h 后取出并擦干种子表面的菌液, 分散置于铺有滤纸的培养皿中, 喷蒸馏水使滤纸保持润湿, 最后放在 37℃ 恒温箱中让其发芽, 每天观察并记录发芽情况。

**1.2.2 促生菌的再次筛选** 利用穴盘苗对初选出的 9 种对辣椒种子萌发有促进作用的菌再次筛选。用 36 孔穴盘育苗, 在辣椒苗 2 片真叶时, 用浓度  $1 \times 10^8$  个/mL 以上的菌液对辣椒苗进行灌根, 每个处理 10 株, 3 次重复, 每株灌菌液 20 mL。此期间所有处理只浇清水, 不浇营养液, 处理 15 d 后取样测量辣椒生长形态指标, 最终筛选出辣椒优势促生菌。

**1.2.3 辣椒促生菌对苗期各项指标的影响** 对筛选出的辣椒优势促生菌的促生效果进行试验验证。采用 36 孔穴盘育苗, 在辣椒苗期 2 片真叶时用筛选出的优势菌液  $1 \times 10^8$  个/mL 进行灌根处理, 每个处理 36 株, 每株灌菌液 20 mL, 3 次重复, 10 d 后第 2 次灌根处理, 20 d 后取样。此过程中除浇清水外, 每 5 d 平均每株浇施山崎甜椒配方营养液 20 mL。

### 1.3 指标测定

**株高:** 以根茎部到生长点的长度; **茎粗:** 以子叶中下部为准; **根系体积:** 排水法; **辣椒幼苗鲜重和干重:** 叶绿素含量的测定: 丙酮浸提比色法<sup>[4]</sup>; **根系活力:** TTC 法<sup>[5]</sup>; **单位根鲜重的四氮唑还原强度** = 四氮唑还原量 / (根重 × 时间) [mg / (g · h)]; **叶绿素含量和根系活力的**

测量所用仪器均为 VU-2100 型分光光度计。

2 结果与分析

2.1 不同菌处理对辣椒种子发芽的影响

供试辣椒在第 13 天时发芽完全,以当天的发芽情况为依据计算发芽率,以种子在 6~10 d 的发芽百分数来确定其发芽势<sup>[6]</sup>,在 13 d 发芽完全时测量下胚轴和主根长度。由表 1 可知,从 21~40 号处理的辣椒种子的发芽率、发芽势、下胚轴和主根长度均明显低于对照,其中发芽率和发芽势分别低于 70%和 60%,而对照是 73%和 62.3%;下胚轴和主根长都小于 2 cm,而对照下胚轴和主根长度分别是 2.66 cm 和 2.37 cm。可以判断,21~40 号菌对辣椒种子的萌发有明显的抑制作用,对主根和下胚轴的伸长也无促进作用,不符合筛选辣椒促生菌的要求。

4、12、15、16 号处理辣椒的发芽率都略高于对照,但是其发芽势均比对照低 10%以上,且下胚轴和主根长度也都低于对照,说明这 4 种菌虽没有完全抑制辣椒种子发芽,却使发芽滞后,且对胚轴和主根的生长并没有促进作用。

6、9、13、14、18、19、20 号菌处理辣椒在发芽率和发芽势上与对照差异不明显,20 号菌的发芽势是 67.3%,比对照的 62.3%还要高,但这 7 种菌在促进主根和下胚轴生长方面没有表现出优势,20 号菌处理的辣椒下胚轴和主根长度分别比对照低了 20%和 31%,因此推断该菌在促进种子萌发、提高辣椒种子发芽势发面有一定的优势,但是对萌发后的生长却有一定的抑制作用,而 9、13、14、18、19 这 5 种菌处理辣椒的下胚轴长度分别对照低 18%~31%。

1、2、3、5、7、8、10、11、17 号处理的发芽率、发芽势、下胚轴和主根长度的影响均大于对照,其中 1、2 号菌处理的发芽率和发芽势分别比对照高 17.8%、16%和 23.5%、14.5%;5 号菌处理对下胚轴的促进作用最明显,比对照高 45%;7 号菌对主根长度影响最明显,比对照高 48%。17 号菌处理辣椒的下胚轴为 2.41 cm,低于对照的 2.66 cm,但对主根长度的影响非常明显,比对照高 44%。

经过综合分析,1、2、3、5、7、8、10、11、17 号菌处理在种子期间对辣椒表现出一定的潜在促生作用,所以选此 9 种菌作为下一步穴盘育苗筛选材料,它们分别是 A21-4、R2-1、L24-1、G15-7、GH6-1、GH5-3、G1-1、GH14-2、D10-10。

表 1 不同菌处理对辣椒发芽情况的影响

Table 1 Effect of treatments on germination index of pepper					
编号 Number	处理 Treatments	发芽率 Germination rate/ %	发芽势 Germination / %	下胚轴长度 Hypocotyl length / cm	主根长度 Main root length / cm
1	R2-1	86.00±0.02	77.00±0.01	3.26±0.1	3.32±0.2
2	G1-1	85.00±0.03	71.33±0.02	2.64±0.2	3.00±0.1
3	GH5-3	82.67±0.04	64.67±0.02	3.46±0.2	3.13±0.2
4	MCO-7	79.70±0.02	54.33±0.02	2.38±0.1	2.04±0.1
5	A21-4	79.00±0.04	68.33±0.03	3.86±0.3	3.15±0.2
6	G26-2	78.67±0.03	62.00±0.01	2.17±0.3	1.78±0.1
7	G15-7	78.60±0.03	74.33±0.03	2.86±0.2	3.51±0.3
8	D10-10	77.67±0.02	63.67±0.03	2.90±0.3	3.16±0.1
9	GH21-1	77.33±0.05	60.02±0.04	2.07±0.3	2.13±0.2
10	L24-1	77.33±0.04	69.47±0.04	3.48±0.3	3.29±0.2
11	GH14-2	76.00±0.05	70.10±0.04	2.96±0.2	3.11±0.2
12	G9-4	75.33±0.04	56.40±0.05	2.11±0.3	1.87±0.3
13	W3	75.33±0.02	62.67±0.01	2.14±0.2	1.85±0.2
14	GH5-1	74.67±0.03	61.67±0.03	2.06±0.1	1.76±0.1
15	GH6-3	74.67±0.03	56.73±0.04	2.16±0.1	2.03±0.2
16	GH2-3	73.93±0.04	55.67±0.03	1.98±0.2	2.21±0.3
17	GH6-1	73.33±0.03	68.63±0.02	2.41±0.2	3.42±0.2
18	G24-1	72.67±0.02	60.67±0.02	2.07±0.3	1.92±0.3
19	G10-1	72.33±0.04	60.61±0.05	1.67±0.2	1.54±0.3
20	G2-1	70.00±0.02	67.30±0.03	1.83±0.1	1.89±0.1
21	H14-1	69.67±0.04	47.63±0.03	1.78±0.2	1.82±0.3
22	G17-1	68.67±0.05	54.63±0.04	1.74±0.2	1.88±0.3
23	GH1-2	66.33±0.06	43.17±0.05	1.73±0.2	1.56±0.3
24	G-1	65.67±0.04	45.23±0.05	1.57±0.1	1.69±0.2
25	H21-3	63.00±0.03	49.57±0.04	1.71±0.2	1.67±0.2
26	GH27-1	62.00±0.04	43.43±0.04	1.55±0.2	1.41±0.1
27	GH16-3	61.33±0.06	45.27±0.05	1.61±0.3	1.50±0.2
28	GH15-1	56.67±0.06	42.00±0.07	1.32±0.2	1.47±0.1
29	H32-2	55.14±0.05	39.67±0.04	1.17±0.1	0.87±0.3
30	A11-2	52.67±0.07	45.23±0.06	1.22±0.2	0.76±0.2
31	H7-4	50.33±0.06	38.63±0.05	1.01±0.2	0.71±0.3
32	G26-1	48.67±0.05	35.17±0.05	1.02±0.3	0.64±0.4
33	H22-2	45.00±0.03	35.47±0.04	0.89±0.2	0.55±0.3
34	H5-3	43.33±0.04	32.13±0.04	0.93±0.3	0.72±0.4
35	H36-1	37.33±0.05	27.15±0.06	0.84±0.3	0.68±0.3
36	H21-2	37.13±0.08	19.33±0.07	0.71±0.2	0.51±0.4
37	GH8-5	28.10±0.04	17.73±0.03	0.67±0.3	0.43±0.3
38	HR4-7	27.33±0.03	15.00±0.04	0.67±0.2	0.41±0.4
39	H26-1	27.00±0.03	13.37±0.03	0.54±0.1	0.38±0.3
40	H22-1	25.67±0.04	11.77±0.05	0.50±0.2	0.31±0.3
41	CK	73.00±0.03	62.30±0.03	2.66±0.1	2.37±0.2

2.2 不施加营养液条件下,优势促生菌对辣椒苗形态指标的影响

由表 2 可看出,与对照相比, GH5-3、G1-1、GH14-2、D10-10 这 4 种菌处理对辣椒的形态指标的影响与对照没有显著差异, GH6-1 处理的各项指标都比对照略高,但是除根体积 0.22 mL 比对照 0.12 mL 高 83%,差异显著外,其它指标差异均不显著,说明 GH6-1 在促进辣椒根系生长方面有积极的促进作用,但对于地上部形生长促进作用不明显。A21-4、R2-1、L24-1、G15-7 这 4 种菌处理除 L24-1 处理的根体积与对照差异不显著外,其它

处理的各项指标都与对照差异显著,其中 A21-4 与对照差异最大,其中株高比对照高 23%,茎粗比对照粗 31%,展叶速度比对照快 27%,根体积比对照高 83%,G15-7 对根体积的影响最显著,比对照高 116%。综合分析,A21-4、R2-1、L24-1、G15-7 为对辣椒生长有促进作用的促生菌,并将其用于下一步试验,验证其在施加营养的条件下对辣椒苗期生长的影响效果。

表 2 不同菌处理对辣椒苗期形态指标的影响

Table 2 Effect of treatments on morphological indexes of pepper

处理 Treatments	辣椒不同形态指标 Morphological indexes			根体积 Volume of roots/ mL
	株高 Height/ cm	茎粗 Stem diameter/ mm	叶片数 Leaf number/ 片	
A21-4	6.45a	1.23a	5.6ab	0.22ab
R2-1	6.23ab	1.13b	5.2abc	0.22ab
L24-1	5.85bc	1.22a	5.8a	0.18bc
G15-7	5.78bc	1.06bc	5.0bcd	0.26a
GH6-1	5.60cd	0.95de	5.0bcd	0.22ab
GH5-3	5.18de	1.01cd	4.8cde	0.16bc
G1-1	5.18de	0.93de	4.8cde	0.16bc
GH14-2	4.85e	0.90e	4.2e	0.12c
D10-10	4.78e	1.04c	4.2e	0.14c
CK	5.23de	0.94de	4.4de	0.12c

2.3 施加养液条件下, A21-4、R2-1、L24-1、G15-7 辣椒形态生理指标的影响

2.3.1 不同菌处理对辣椒株高的影响 由图 1 可看出, A21-4、R2-1、L24-1、G15-7 处理辣椒的株高均显著高于对照,其中 R2-1、L24-1 处理分别高于对照 34.5%、34.7%,高于 G15-7 处理 9.7%、9.1%。G15-7 和 A21-4 处理分别高于对照 23.5%、19.9%,说明这 4 种菌能明显促进辣椒长高。

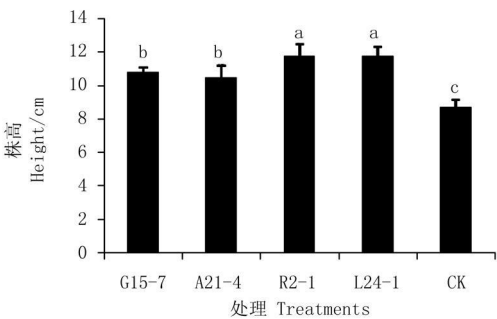


图 1 不同菌处理对辣椒株高的影响

Fig. 1 The effect of treatment on height of pepper

2.3.2 不同菌处理对辣椒茎粗的影响 由图 2 可知, A21-4、G15-7 处理茎粗分别是 1.70、1.75 mm 与对照 1.65 mm 差异不显著, R2-1、L24-1 处理的茎粗明显比对照粗,分别比对照粗 8.8%、16.6%,其中 L24-1 比 R2-1 粗 7.9%,差异也达到显著水平。

2.3.3 不同菌处理对辣椒干鲜重的影响 由表 3 可知, G15-7、A21-4、R2-1、L24-1 处理的鲜重均比对照高,其中 A21-4、G15-7 与对照的差异没有达到显著水平, R2-1、L24-1 分别比对照高 7%、12.5%,差异达到显著水平,

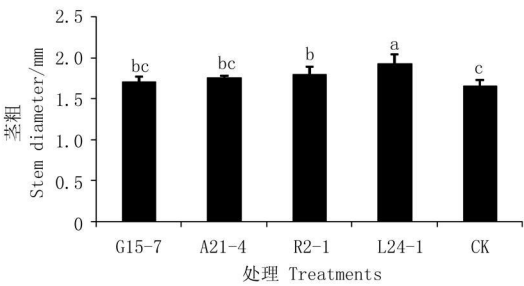


图 2 不同菌处理对辣椒茎粗的影响

Fig. 2 The effect of treatment on stem diameter of pepper

R2-1 与 L24-1 之间没有显著差异。A21-4、R2-1、L24-1、G15-7 处理的干重与对照的差异均达到了显著水平, L24-1 的显著性最强,比对照高 17%,比 R2-1、G15-7 高 6.6%,比 A21-4 高 4.3%,与 R2-1、G15-7、A21-4 相比也有显著差异, A21-4、R2-1、G15-7 三者之间无差异。

表 3 不同菌对辣椒干鲜重的影响

Table 3 Effect of treatments on dry and fresh weight of pepper

处理 Treatments	鲜重 Fresh weight / g · 株 <sup>-1</sup>	干重 Dry weight / g · 株 <sup>-1</sup>
G15-7	1.402bc	0.136b
A21-4	1.439bc	0.139b
R2-1	1.479ab	0.136b
L24-1	1.556a	0.145a
CK	1.382c	0.124c

2.3.4 不同菌处理对辣椒叶绿素含量的影响 由图 3 可知, G15-7、A21-4、R2-1、L24-1 处理辣椒叶绿素含量分别比对照高 9%、22%、21.2%、16.4%,差异均达到显著水平,其中 A21-4 与 R2-1 处理显著最强,分别比 G15-7 处理高 12%、11.3%,也具有显著差异, L24-1 处理叶绿素含量高于 G15-7,但差异不显著。

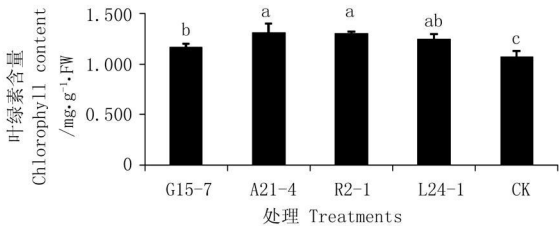


图 3 不同菌处理对辣椒叶绿素含量的影响

Fig. 3 The effect of treatment on chlorophyll content of pepper

2.3.5 不同菌处理对辣椒根系活力的影响 由图 4 可看出, G15-7、R2-1、L24-1、A21-4 这 4 种菌处理的根系活力与对照的差异都达到了显著水平,一定程度上促进辣椒根系活力的提高。其中 A21-4 处理的根系活力为 0.415 mg · g<sup>-1</sup> · h<sup>-1</sup>,显著性最强,比对照高 38%,比 L24-1 处理高 16%,差异性达到显著水平;比 G15-7 处理的 0.377 mg · g<sup>-1</sup> · h<sup>-1</sup>、R2-1 处理的 0.385 略高,但差异不显著。L24-1 处理根系活力为 0.358 mg · g<sup>-1</sup> · h<sup>-1</sup>,比 G15-7、R2-1 略低,但差异不显著。

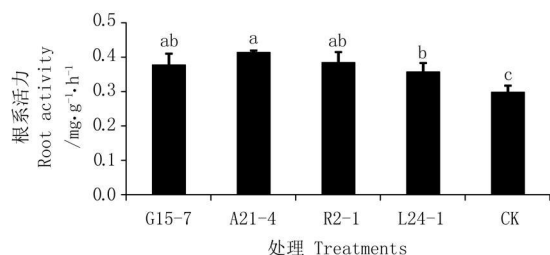


图4 不同菌处理对辣椒根系活力的影响

Fig.4 The effect of treatment on root activity of pepper

### 3 结论与讨论

根际促生菌由于其在促进作物生长和预防病害方面的潜力和应用价值, 已经被诸多学者研究探讨, 不少研究也初步证明了根际促生菌在促进作物生长方面的显著效果。梁建根等在研究 PGPR CH1、CH2 对黄瓜生长及生理生化特性的影响时得出, CH1、CH2 都能显著地提高黄瓜幼苗的蛋白质、可溶性糖、叶绿素及 VC 含量<sup>[7]</sup>。齐飞飞等在研究 *luxAB* 基因标记的 K2116 菌株在棉花根际中的定殖中发现, 将该菌制剂应用在棉花盆栽和大田种植中, 能明显促进棉花生长<sup>[7]</sup>。Kloepper 等用荧光假单胞菌株处理作物种子, 萝卜增产 144%, 马铃薯增产 100%, 甜菜增产 20%~80%<sup>[9]</sup>。Broalbert 等人 1988 年分离得到菌株 *Bacillus subtilis* A-13, 研究表明 A-13 能有效的抑制真菌病害, 对许多植物生长都有促进作用, 使用后可使胡萝卜产量提高 48%, 花生产量提高 37%<sup>[10]</sup>。此外, 还有不少研究深入揭示了根际促生菌促进作物生长的内在机理。Podile 等植物病原真菌的 *Bacillus subtilis* AF1 菌株处理棉花、黄瓜、茄子等植物的种子, 观察到了这种细菌不仅能对植物产生持续的刺激作用, 还能产生铁载体而获得促进植物生长的效果<sup>[11]</sup>。黄晓东等研究表明植物根围的促生菌可合成 IAA, 并提供给植物根系成为促进根系生长的外源 IAA<sup>[12]</sup>。

该试验通过对辣椒促生菌的筛选及对辣椒苗期生长指标影响的研究, 最终筛选出 G15-7、R2-1、L24-1、A21-4 这 4 种有促生作用的优势菌株, 且证明 R2-1、A21-4 在促进辣椒生理指标的影响最为突出, 对辣椒苗期各

项生理指标的影响都与对照有显著差异; L24-1 对辣椒形态指标的影响中与对照相比, 在株高、茎粗和干鲜重方面都表现出极显著的差异。G15-7 处理的影响相对与其它 3 种促生菌稍差, 但是相对于对照在株高、干重、叶绿素及根系活力上仍有显著差异。试验还得出, 在筛选过程中发现的对辣椒下胚轴和主根长度影响显著的 GH6-1 和 GH5-3 在进一步的苗期筛选中比没有表现出显著的促生长作用, 这说明有些菌能促进种子萌发, 但未必能在后期幼苗生长过程中一样促进其对养分的吸收, 进而促进生长。该试验为促生菌在辣椒无土栽培中应用提供了一定的依据, 在无土栽培中有效地利用促生菌, 可以提高无土栽培养分的利用率, 减少化肥的使用, 同时促进辣椒生长, 提高品质, 最终实现辣椒无土栽培的优质高效和低成本生产。

### 参考文献

- [1] 梁建根, 施跃峰, 竺利红. 植物根围促生细菌作用机制的研究[J]. 现代农业科技, 2008, 17: 133-135.
- [2] 黄晓东, 季尚宁, Bernard Glick, 卢林纲. 植物促生菌的应用现状[J]. 现代化农业, 2002(9): 10-11.
- [3] Lucy M, Reed E, Bernard R. Applications of free living plant growth-promoting rhizobacteria [J]. Antonie van Leeuwenhoek, 2004, 86: 1-25.
- [4] 刘永军, 郭守华, 杨晓玲. 植物生理生化实验技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [5] 李合生. 植物生理生化实验原理与技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000, 119-120.
- [6] 张晓芬, 陈斌. 无公害辣椒标准化生产[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006.
- [7] 梁建根, 张炳欣, 喻景权, 等. 植物根围促生细菌(PGPR)对黄瓜生长及生理生化特性的影响[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2007, 33(2): 202-206.
- [8] 齐飞飞, 夏觅真, 唐欣韵, 等. *luxAB* 基因标记的 K2116 菌株在棉花根际中的定殖[J]. 生态学杂志, 2008, 27(2): 192-196.
- [9] Kloepper J W, Lifshita R, Zablotowica R M. Free living bacterial inoculation for enhancing crop productivity[J]. Trends in Biotech, 1998(7): 39-43.
- [10] Burdman S, Jurkevitch E, Okon Y, et al. Recent advances in the use of plant growth promoting Rhizobacteria (PGPR) in agriculture. In: Subba Rao N S, Dommergues Y R, eds. Microbial Interactions in Agriculture and Forestry[M]. Calicut India: Science Publishers Inc., 2000: 229-250.
- [11] Podile A R, Dube H C. Plant growth-promoting activity of *Bacillus subtilis* AF1[J]. Current Science, 1988, 57(4): 301-306.
- [12] 黄晓东, 季尚宁, Bernard G, 等. 植物促生菌及其促生机理(续)[J]. 现代化农业, 2002(7): 13-15.

## Selection of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) and Effect on Growth Acceleration during Seedling Stage on Soilless Cultivated Hot Pepper

WANG Yan-yan, PIAO Feng-zhi, CHEN Si, FU Xin-xing

**Abstract:** Yuyi green crest capsicum was chosen as experimental material for selection during stages of seed and seedling. G15-7, A21-4, R2-1 and L24-1, four kinds, were selected and tested for the significant growth acceleration out of 40 kinds of rhizobacteria in total. The results showed that those four kinds of rhizobacteria significantly promoted both morphological and physical figures during seedling stage, among which R2-1 was the most effective; L24-1 and A21-4 were also of significance; while G15-7 was effective as well, but not as good as the other three kinds.

**Key words:** plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR); soilless cultivation; hot pepper