

• 研究论文 •

枯草芽孢杆菌 Bs-15产嗜铁素条件及其对甜椒的防病促生效应

余贤美*, 周广芳, 辛力

(山东省果树研究所, 山东 泰安 271000)

摘要: 研究了不同培养条件对枯草芽孢杆菌 Bs-15嗜铁素产量的影响。结果表明, 以改良 MM 培养基为基础培养基, 以葡萄糖为碳源, 以色氨酸为外源氨基酸, 在 pH 7.2 装液量 100 mL / 250 mL, 37℃、200 r/min 下培养, 可获得较高产量的嗜铁素。盆钵试验结果表明: 若同时接种 Bs-15和枯萎病菌, Bs对枯萎病菌的防效为 44.44%; 若施用 Bs-15 2 d 后再接种枯萎病菌, 防效可达 56.94%。说明 Bs-15 可能通过产生系统诱导抗性增强了对枯萎病的防效。研究结果还表明, Fe离子可大大降低 Bs-15对枯萎病的防治效果, 防效仅为 12.50% 和 23.43%。另外, 经 Bs-15浸种处理播种后第 14、21、28 和 40 d 的甜椒苗比对照增高 27.24% ~ 54.53%; 与对照相比, 处理组中有 50% 的甜椒开花时间提前了 17.26 d 平均单果重和单株产量分别提高 36.92% 和 49.68%。表明枯草芽孢杆菌 Bs-15在甜椒枯萎病防治及生长促进作用方面具有较好的效果。

关键词: 枯草芽孢杆菌; 甜椒; 镰刀菌枯萎病; 生物防治; 植物促生作用

DOI 10.3969/j.issn.1008-7303.2010.02.04

中图分类号: S432 S482.292

文献标志码: A

文章编号: 1008-7303(2010)02-0135-07

Study on factors influencing the siderophore production of *Bacillus subtilis* Bs-15 and effects of Bs-15 on disease control and growth promotion of sweet pepper

YU Xian-mei*, ZHOU Guang-fang, XIN Li

(Shandong Institute of Pomology, Tai'an 271000, Shandong Province, China)

Abstract The influence of culture conditions on the siderophore production of *Bacillus subtilis* Bs-15 was studied. The results showed that Bs-15 could yield high content of siderophore when inoculated 100 mL modified MM medium (pH 7.2) with glucose as carbon source and tryptophan as nitrogen source, and shaking under 200 r/min in 250 mL flask at 37℃. The effects of *B. subtilis* Bs-15 on the biocontrol of *Fusarium* wilt and growth promotion of sweet pepper was studied by pot experiment. The results showed that Bs-15 decreased the incidence of *Fusarium* wilt significantly, with the control efficacy of 44.44% when inoculated *B. subtilis* Bs-15 and *Fusarium oxysporum* Schl f sp simultaneously, and of 56.94% when inoculated *F. oxysporum* Schl f sp 2 days after treatment of *B. subtilis* Bs-15. However, iron significantly reduced the suppression effect of Bs-15 on *Fusarium* wilt of

收稿日期: 2010-02-01; 修回日期: 2010-03-30

作者简介: * 余贤美 (1976-), 女, 福建浦城人, 通讯作者 (Author for correspondence), 博士, 从事植物病害生物防治研究, 电话: 0538-8299912

E-mail: yuxianmei@163.com

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划资助项目 (2008BAD92B03)。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

sweet pepper with control efficacy of 12.5% and 23.4%, respectively. There were significantly differences between B_s-15 treatment and control in plant height after treatment for 14, 21, 28 and 40 days which increased from 27.24% to 54.53%. *B. subtilis* B_s-15 could shorten the days of 50 percent flowering of sweet pepper by 17.26 days and enhance the average fruit weight and yield per plant of sweet pepper by 36.92% and 49.68%, respectively. The results indicated that *B. subtilis* B_s-15 had good effects on the *Fusarium* wilt and growth promotion of sweet pepper.

Key words *Bacillus subtilis*; sweet pepper (*Capsicum annuum* L.); *Fusarium* wilt; biological control; plant growth promotion

植物病害给农业生产发展造成了重大威胁,有关其生物防治已成为近年来病害防治的主题和热点。植物根际促生菌 (plant growth promotion rhizobacteria PGPR) 由于既能促进植物生长又能控制植物病害,从而代表着一种潜在有效的病害防治手段。嗜铁细菌作为一类重要的植物根际促生菌,可通过分泌嗜铁素与病原微生物竞争环境中有限的铁离子,使病原菌因缺铁而不能正常生长繁殖,进而达到控制植物病害的目的;同时还可通过提高铁营养而达到促进植物生长的目的^[1]。芽孢杆菌是目前生防细菌中被研究较多的一类,因其具有内生芽孢、抗逆性强、繁殖速度快、营养要求简单和易于在植物根际定殖等特点,而成为很好的生防菌筛选对象^[2]。尤其是枯草芽孢杆菌 *Bacillus subtilis*,已被成功用于植物病害的生物防治^[3-6],同时还可通过分泌嗜铁素、抗菌蛋白、抗生素、IAA 等不同机制促进植物的生长^[7-9],因此在防病促生方面具有广泛的应用潜能。

笔者研究了嗜铁细菌枯草芽孢杆菌 *B. subtilis* B_s-15 (CA S15) 对甜椒枯萎病菌的拮抗作用,发现其培养液过滤液对甜椒枯萎病菌的抑制率达到 93.15%^[10]。本研究对枯草芽孢杆菌 *B. subtilis* B_s-15 (以下简称 B_s-15) 产嗜铁素的条件进行了探索,并以甜椒为对象,通过盆栽试验研究了 B_s-15 对甜椒枯萎病的生防效果及对甜椒生长的促进作用,旨在为 B_s-15 的开发利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

枯草芽孢杆菌 *Bacillus subtilis* B_s-15、甜椒枯萎病菌 *Fusarium oxysporum* Schl f sp, 由笔者所在实验室分离并保存。甜椒 *Capsicum annuum* L. 为京杂一号, 购自种子市场。

1.2 B_s-15 产嗜铁素的条件

将 B_s-15 分别接种于 100 mL 改良 MM 培养基

(极限培养基)^[11]、SM (琥珀酸钠培养基)^[12]、改良 SM^[13]、NB (牛肉膏蛋白胨液体培养基)、KMB (金氏培养基)、LB、CM (柠檬酸培养基) 和 PDB (马铃薯葡萄糖液体培养基) 共 8 种培养基中, 于 37℃、200 r/min 下培养 24 h, 测定其在 510 和 600 nm 处的吸光值 (OD₅₁₀, OD₆₀₀), 计算 OD₅₁₀/OD₆₀₀ 值。

以具有较高产量的改良 MM 培养基为基础培养基, 在装液量 100 mL/250 mL、转速 200 r/min 和 37℃ 下改变培养基的初始 pH 值 (4.0, 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0, 7.2, 7.5, 8.0, 8.5, 9.0, 10.0)、培养温度 (15, 20, 23, 25, 28, 30, 33, 35, 37, 40, 45, 50℃)、外源碳源 (蔗糖、果糖、甘露糖、鼠李糖、乳糖、半乳糖、棉子糖、山梨糖、海藻糖、木糖、阿拉伯糖、麦芽糖及可溶性淀粉) 和外源氨基酸 (谷氨酸、谷氨酰胺、组氨酸、精氨酸、酪氨酸、半胱氨酸、甲硫氨酸、苏氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、缬氨酸、赖氨酸、脯氨酸、丝氨酸、甘氨酸、丙氨酸、天门冬氨酸、天门冬酰胺和苯丙氨酸), 以发酵液 OD₅₁₀/OD₆₀₀ 值为指标, 筛选出 B_s-15 产嗜铁素的最佳条件。

1.3 室内盆栽试验

1.3.1 *B. subtilis* B_s-15 接种物的制备 将 *B. subtilis* B_s-15 接种到改良 MM 培养基中, 于 28℃ 下培养 24 h, 用 10 mmol/L 的无菌硫酸镁溶液制备成菌悬液。将菌悬液与盆栽沙土混合物 (经高压灭菌 20 min, 每隔 24 h 灭菌 1 次, 共 2 次) 混匀, 使沙土中的菌体数约为 7×10^6 cfu/g^[14]。

用于系统诱导抗性试验的接种物的制备^[15]: 将菌悬液与滑石粉按体积质量比 1:1 的比例混匀, 使菌体密度为 5×10^7 cfu/g。

1.3.2 甜椒枯萎病菌接种物的制备 将甜椒枯萎病菌 *Fusarium oxysporum* Schl f sp 接种于 PDA 液体培养基中, 于 22℃ 下培养 14 d, 过滤除去菌丝体。于 8 000 r/min 下离心 20 min, 去除上清液, 重悬于 10 mmol/L 的无菌硫酸镁溶液, 获得分生孢子悬浮液, 将其与沙土混合物 (12:5 体积比) 混匀使其密度

为 3.75×10^5 cfu/g, 接种后的土壤装到聚乙烯袋中, 20℃放置 3~5 d, 使病原菌定殖于土壤中。

用于系统诱导抗性试验的接种物的制备与上述方法类似, 不同的是, 将辣椒枯萎病菌与泥炭-沙混合物 (1:1 体积比) 混匀, 使其密度为 3×10^4 cfu/g。

1.3.3 B. subtilis B_s-15 对甜椒枯萎病的抑制作用
采用盆钵土壤生物测定法^[16], 将甜椒枯萎病菌侵染土壤、B_s-15 侵染土壤、灭菌土和河沙混匀, 使每克沙土中含有 10^4 个甜椒枯萎病菌分生孢子, B_s-15 菌体密度为 10^6 cfu/g。以不加 B_s-15 侵染土壤的混合沙土为对照。

每盆装 750 g 制备好的混合沙土, 播 10 颗甜椒种子, 共 9 盆, 置于 20℃、相对湿度为 70%、光周期为 16 h 的温室中培养。每周浇水 1 次及施用 1 次 Hogland 营养液^[17]。为研究铁离子的影响, 在 Hogland 营养液中加入 $10 \mu\text{mol/L}$ 的 Fe-EDDHA (乙二胺二邻羟苯基大乙酸铁)。约 28 d 后, 测定其发病率。每个处理重复 3 次。病害抑制效果通过式 (1) 计算。

抑制率 $\% = [(\text{对照发病率} - \text{处理发病率}) / \text{对照发病率}] \times 100$ (1)

1.3.4 B. subtilis B_s-15 的系统诱导抗性 参照 Leeman 等^[15]的方法进行。将 10 颗甜椒种子播种于空白沙子中, 5 d 后, 将幼苗移栽到矿物纤维容器, 使其根系位于 2 个容器。将 B_s-15 接种于底层根系根尖部位, 2 d 后将枯萎病菌接种于根系茎基部。在整个试验过程中将 B_s-15 与枯萎病菌保持隔离, 以消除生防菌株与病原菌的直接相互作用。将盆钵置于 20℃、相对湿度为 70%、光周期为 16 h 8 l 的温室中培养。每周浇 1 次去离子水。移栽后 20 d 记录发病率。每个处理重复 3 次。

1.3.5 B. subtilis B_s-15 对甜椒生长的促进作用

将甜椒种子洗净, 用 B_s-15 菌悬液浸种 8~10 h, 置于 25℃恒温箱中使其发芽。以清水浸种为对照。胚芽冒出后将种子播于盆钵沙土中 (每盆 1 颗), 处理与对照各 30 盆, 置于 20℃、相对湿度为 70% 的温室中。测定 5 个时间点 (7, 14, 21, 28 和 40 d) 的植株高度和 50% 开花时间, 并于生长季末 (80 d), 通过平均单果重 /g, 每株果实数量 /个 及每株产量 /g 等指标测定甜椒的产量。

B_s-15 对甜椒生长的促进作用由式 (2) 计算得到。

增加百分率 $\% = [(\text{处理平均值} - \text{对照平均$

值) / 对照平均值] $\times 100$ (2)

2 结果与分析

2.1 培养基对 B_s-15 嗜铁素产量的影响

结果显示, 嗜铁素上清液 OD₅₁₀ / OD₆₀₀ 值在各种培养基中由大到小的顺序为: 改良 MM > 改良 SM > SM > NB > KM B > CM > LB > PDB (图 1)。各培养基之间差异达显著水平, 且改良 MM、改良 SM、SM、NB、KM B 和 CM 之间差异达极显著水平。说明, 在 8 种供试培养基中, 改良 MM 培养基最有利于菌株 B_s-15 分泌嗜铁素。

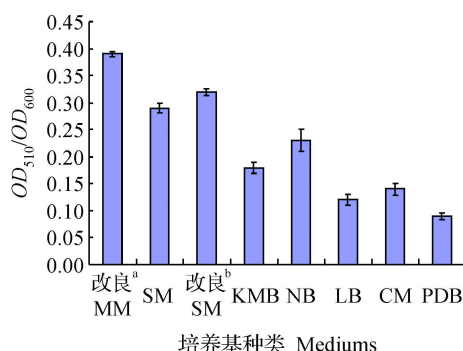


图 1 不同培养基对 B_s-15 嗜铁素分泌的影响

Fig 1 Effects of mediums on siderophore production of B_s-15

^a Modified minimal medium; ^b Modified SM.

2.2 pH 值对嗜铁素分泌的影响

pH 值对 B_s-15 嗜铁素产量的影响总趋势是: 随着 pH 值增大, OD₅₁₀ / OD₆₀₀ 值先上升后降低, 于 pH 值 7.2 时达到最大值 0.387 (表 1)。表明过酸或过碱的 pH 环境均不利于 B_s-15 嗜铁素的分泌, pH 值 7.2 最有利于 B_s-15 分泌嗜铁素, 这与 B. subtilis 的最适生长 pH 值范围 (7.0~7.5) 相一致。

2.3 温度对嗜铁素分泌的影响

B_s-15 在供试的温度范围内培养均可获得一定量的嗜铁素在 37℃ 以下, 随着温度的升高, 嗜铁素产量逐渐提高, 在 37℃ 时达到最高值 (OD₅₁₀ / OD₆₀₀ 值为 0.387); 之后, 温度升高, 产量下降, 到 50℃ 时, OD₅₁₀ / OD₆₀₀ 值仅为 0.103 (表 2)。说明温度对嗜铁素分泌的影响较大, 在最适生长温度范围内, 嗜铁素产量较高; 温度偏低或偏高均不利于 B_s-15 分泌嗜铁素。

表 1 pH 值对 B s-15嗜铁素分泌的影响

Table 1 Effects of pH on the siderophore production of B s-15

pH 值 pH value	OD ₅₁₀ OD ₆₀₀	pH 值 pH value	OD ₅₁₀ OD ₆₀₀
4 0	0 073 ±0 006 m J	7 2	0 387 ±0 006 aA
4 5	0 120 ±0 01 I	7 5	0 353 ±0 006 bB
5 0	0 150 ±0 010 kH	8 0	0 317 ±0 006 dC
5 5	0 190 ±0 010 G	8 5	0 227 ±0 015 dE
6 0	0 260 ±0 010 gEF	9 0	0 243 ±0 006 hF
6 5	0 293 ±0 012 dD	10 0	0 167 ±0 012 H
7 0	0 337 ±0 006 cB	11 0	0 070 ±0 010 m J

注: 表中数据采用 Duncan 氏测验, 同一行中不同小写字母表示差异显著 (P < 0 05 ±SD), 不同大写字母表示差异极显著 (P < 0 01 ±SD)。

Note V alues follow ed by different letters in a row were significantly different (the low ercase letters stands forP < 0 05 ± standard deviations and the capital letters stands forP < 0 01 ± standard deviations), using Duncan’ s multiple range test

表 2 温度对 B s-15嗜铁素分泌的影响

Table 2 Effects of temperature on the siderophore production of B s-15

温度 Temperature /℃	OD ₅₁₀ OD ₆₀₀	温度 Temperature /℃	OD ₅₁₀ OD ₆₀₀
15	0 147 ±0 006 H	33	0 330 ±0 010 dC
20	0 177 ±0 006 hG	35	0 363 ±0 006 bB
23	0 190 ±0 010 hG	37	0 387 ±0 012 aA
25	0 240 ±0 010 gF	40	0 293 ±0 012 eD
28	0 273 ±0 006 fE	45	0 187 ±0 015 hG
30	0 310 ±0 010 dE	50	0 103 ±0 006 jI

注: 表中数据采用 Duncan 氏测验, 同一行中不同小写字母表示差异显著 (P < 0 05, ±SD), 不同大写字母表示差异极显著 (P < 0 01 ±SD)。

Note V alues follow ed by different letters in a row were significantly different (the low ercase letters stands forP < 0 05 ± standard deviations and the capital letters stands forP < 0 01 ± standard deviations), using Duncan’ s multiple range test

2 4 碳源对嗜铁素分泌的影响

试验结果 (图 2)表明, 以葡萄糖为碳源, B s-15 可获得较高产量的嗜铁素, 然后依次为半乳糖、果糖、蔗糖和甘露糖; 采用其他碳源时嗜铁素产量均低于甘露糖, 可溶性淀粉最低, 其 OD₅₁₀ OD₆₀₀ 值仅为 0 11%。说明, 葡萄糖为 B s-15 分泌嗜铁素的最佳碳源。

2 5 外源氨基酸对嗜铁素分泌的影响

试验结果 (图 3)表明, 所有替代氨基酸的作用均低于色氨酸。以色氨酸为氮源时, 嗜铁素的产量最高 (OD₅₁₀ OD₆₀₀ 值为 0 387), 其次为组氨酸 (0 367), 以下依次为脯氨酸 (0 337)和苯丙氨酸 (0 317)。说明不同外源氨基酸对 B s-15 嗜铁素分泌有着不同程度的促进作用。

2 6 B s-15对甜椒枯萎病的抑制效果

试验结果显示, 相对于对照, 两种处理均显著降低了甜椒苗枯萎病的发病率 (表 3)。当 B s-15与

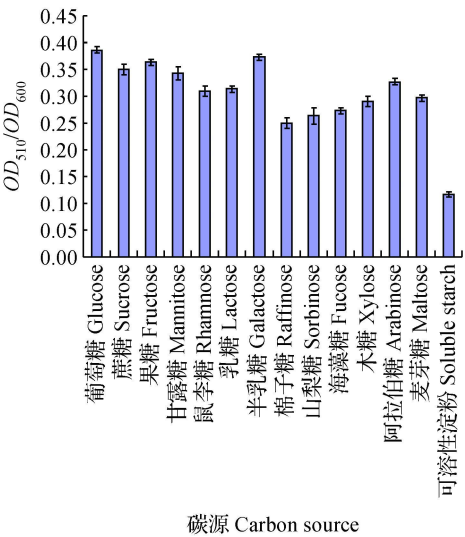


图 2 碳源对 B s-15嗜铁素分泌的影响

Fig 2 Effects of carbon resource on the siderophore production of B s-15

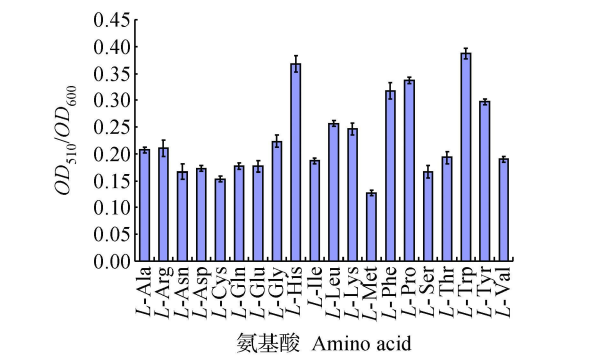


图 3 氨基酸种类对 B s-15嗜铁素分泌的影响

Fig 3 Effects of amino acid on siderophore production of B s-15

表 3 盆钵试验中 B s-15对甜椒枯萎病的抑制效果*

Table 3 Suppression of Fusarium wilt of sweet pepper by B. subtilis B s-15 in potting experiment

处理 Treat ment	- Fe			+ Fe		
	发病率 % Disease incidence	病级 Disease severity	防效 % Control efficacy	发病率 % Disease incidence	病级 Disease severity	防效 % Control efficacy
B. subtilis ¹	40±6.6	1.03±0.05	44.44	56±4.2	1.54±0.13	12.50
B. subtilis ²	31±4.2	0.96±0.14	56.94	49±3.8	1.49±0.09	23.43
对照 CK	72±3.8	2.01±0.13	-	64±3.8	1.82±0.07	-

* 结果为 3个重复的平均值 ±标准差。¹ 直接抑制作用, ² 系统诱导抗性。病害级别分为 0~ 5级, 从 0级——无病症, 到 5级——整株死亡。

* R results are an average of three replicates ±Standard deviation ¹ Direct suppression ² Induced systemic resistance Disease severity was assessed based on a 0- 5 scale from 0—no symptoms to 5—plant dead

结果显示, 处理与对照在第 7 d的株高分别为 6.62和 5.73 cm, 差异不显著 (P = 0.01)。第 14, 21, 28, 40 d的株高达到显著性差异 (图 4), 株高增加率分别为 27.24%, 54.53%, 54.38%和 50.83%。表明 B. subtilis B s-15显著促进了甜椒的生长。

2.8 B. subtilis B s-15对甜椒产量的影响

记录了 50%开花时间, 并于生长季末 (第 80 d)测定了平均单果重, 每株果实数量和单株产量。结果显示, 处理与对照间的数值均达到极显著差异 (P < 0.01)。对照的 50%开花时间为 58.51 d, 而处理仅为 41.25 d, 比对照提前了 17.26 d, 处理的平均单果重、单株果实数量及单株产量比对照分别增加了 36.92%, 9.30%和 49.68% (表 4)。

表 4 盆钵试验中种植后 80 d甜椒的产量

Table 4 Plant fresh weight or yield of sweet pepper in the pot culture test after planting for 80 days

处理 Treat ment	50%开花时间 /d Days to 50 per cent flowering	平均单果重 ¹ /g Average fruit weight	单株果实数量 ² /个 Number of fruits per plant	单株产量 /g Yield per plant
B. subtilis	41.25 aA	29.33 aA	19.40 aA	569.05 aA
对照 CK	58.51 bB	21.42 bB	17.75 aB	380.19 bB
增加百分率 % Increasing percentage	17.26	36.92	9.30	49.68

注: ¹ 30个果实单果重的平均值; ² 30株甜椒的平均值。

Note: ¹ Average of 30 replications (fruit); ² A verage of 30 replications (plant).

枯萎病菌同时接种时, 发病率为 40%, 比对照降低了 32%, 防效为 44.44%;而在施用 B s-15 2 d后再接种枯萎病菌, 并用矿物纤维隔离的处理方式, 发病率仅为 31%, 比对照降低了 41%, 防效达到 56.94%。该结果说明 B s-15可能通过产生系统诱导抗性从而增强了对甜椒枯萎病的抑制效果。

为研究铁离子的影响, 在 Hogland营养液中加入 10 μmol/L Fe-EDDHA。结果发现, 铁离子显著降低了 B s-15对甜椒枯萎病的抑制效果, 同时接种与隔离处理的抑制率分别仅为 12.50%和 23.43%。

2.7 B s-15对甜椒苗株高的影响

对 30株甜椒苗 5个时间点的株高进行了测定,

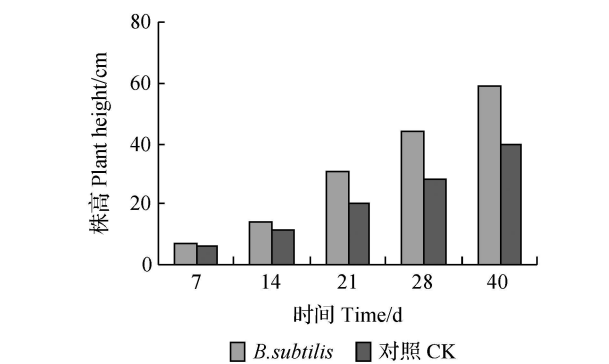


图 4 盆钵试验中不同时期甜椒苗的株高

Fig 4 Plant height of sweet pepper in the pot culture test

3 结论与讨论

大多数植物促生微生物均可产生嗜铁素,产生嗜铁素被认为是植物促生菌最主要的直接和间接促进植物生长的有效途径之一。在缺铁条件下,枯草芽孢杆菌 *B. subtilis* 通过合成儿茶酚型嗜铁素 2,3-dihydroxy benzoate(DHB)从体外获取所需要的铁离子^[18]。而嗜铁素的分泌受到培养基种类、pH 值、温度、碳源和氮源等因素的影响。

笔者研究了改良 MM、SM、改良 SM、NB、CM、KMB、LB 和 PDB 共 8 种培养基对 B_s-15 嗜铁素产量的影响,结果显示,在改良 MM 培养基中,B_s-15 可生成最高产量的嗜铁素,说明改良 MM 培养基最适于 B_s-15 分泌嗜铁素。以改良 MM 培养基为基础培养基,研究了 pH 值、温度、碳源和氮源等对 B_s-15 嗜铁素产量的影响,结果表明:近中性的 pH 条件比较有利于 B_s-15 嗜铁素的合成,pH 值 7.2 最适于 B_s-15 分泌嗜铁素,这与 *B. subtilis* 最适生长的 pH 值范围 7.0~7.5 相一致;在 15~50℃ 温度范围内均能够产生一定量的嗜铁素,37℃ 时产量最高,这与 *B. subtilis* 最适生长温度为 30~37℃ 相一致;可能是由于 *B. subtilis* 能够产生芽孢,比较耐高温,所以在 40℃ 时仍可获得较高产量的嗜铁素。

菌体的良好生长需要培养基各组份浓度和比例合适,碳源和氮源对菌体的生长或蛋白的表达影响较大,浓度太低会造成营养缺乏,限制菌体正常生长,进而影响代谢产物的产量^[19]。碳源替代试验结果表明,多糖不利于 B_s-15 分泌嗜铁素,单糖、双糖和寡糖比较容易被 B_s-15 吸收利用,用于嗜铁素的合成,其中,以葡萄糖为碳源获得的嗜铁素产量最高。

氨基酸替代试验结果表明,色氨酸最有利于 B_s-15 嗜铁素的分泌,说明色氨酸是 B_s-15 嗜铁素合成的最合适底物。而且,杂环类和芳香族类氨基酸对嗜铁素合成的促进作用强于其他类型氨基酸,可能是因为 *B. subtilis* 嗜铁素 BB(bacillibactin)的结构中含有一个苯环,这样就使得 *B. subtilis* 比较容易利用含有环状结构的氨基酸为底物进行嗜铁素 BB 的合成。

对由尖孢镰刀菌引起的枯萎病的生物防治已有较长的历史,可通过木霉菌,如绿色木霉^[20]、哈茨木霉^[21],多粘类芽孢杆菌、枯草芽孢杆菌^[22-23]等生防菌剂进行防治。本研究中的盆钵试验结果表明,B_s-15 较好地促进了甜椒生长,增加了甜椒的产量,

并能有效地控制甜椒枯萎病的发生。

本研究仅通过盆钵试验,评价了枯草芽孢杆菌 B_s-15 对甜椒生长的促进作用和对甜椒枯萎病的生防效果。由于受田间环境条件、土壤中生物与非生物等多因素的影响,田间实际生防效果可能与室内实验有很大的差异。而且,生防菌株能否在植株体内成功定殖,及是否会对土壤微生态环境造成影响,这些都将直接影响着生防菌能否应用到实际生产中去。关于 *B. subtilis* B_s-15 的田间防效、在植株体内的定殖能力及对土壤微生物种群的影响,以及促生机制等还有待于进一步的研究。

参考文献:

- [1] YUX ian-m ei(余贤美), ZHENG Fu-cong(郑服丛). 嗜铁素在促进植物生长及病害防治等方面的应用[J]. *Chin Agric Sci Bull*(中国农学通报), 2007, 23(8): 507-510.
- [2] OBAGWU J KORSTEN L. Integrated control of citrus green and blue molds using *Bacillus subtilis* in combination with sodium bicarbonate or hot water[J]. *Postharv Biol Technol*, 2003, 28: 187-194.
- [3] BRETT HIGHLAND H, TMMER L W. The use of serenade biofungicide to control foliar fungal diseases of florida citrus[J]. *Proc Flor State Horti Soc USA*, 2004, 117: 127-130.
- [4] LIU Yong-feng(刘永锋), CHEN Zhi-yi(陈志谊), LIU You-zhou(刘邮洲), et al. 枯草芽孢杆菌 B_s-916 的抑菌活性及其抑菌物质初探[J]. *Chin J Pestic Sci*(农药学报), 2007, 9(1): 92-95.
- [5] ABEY SINGHE S. Biological control of *Fusarium solani* f. sp. phaseoli the causal agent of root rot of bean using *Bacillus subtilis* CA 32 and *Trichoderma harzianum* RU01[J]. *Ruhuna J Sci*, 2007, 2: 82-88.
- [6] ABEYSINGHE S. Effect of combined use of *Bacillus subtilis* CA 32 and *Trichoderma harzianum* RU 01 on biological control of *Rhizoctonia solani* on *Solanum melongena* and *Capsicum annum* [J]. *Plant Pathol J*, 2009, 8: 9-16.
- [7] OKON Y, LABANDERA-GONZALEZ C A. Agronomic applications of *Azospirillum* [M] // RYDER M H, STEPHENS P M, BOWEN G D. Improving Plant Productivity with Rhizosphere Bacteria Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Adelaide, Australia, 1994: 272-278.
- [8] GLECK B R. The enhancement of plant growth by free living bacteria[J]. *Can J Microbiol*, 1995, 41: 109-114.
- [9] SHI Hua-xing(石怀兴), SHANG Yu-ke(尚玉珂), JI Jing(季静), et al. 培养条件对枯草芽孢杆菌 G8 抗菌蛋白含量的影响及蛋白液对黄瓜菌核病的生防效果[J]. *Chin J Pestic Sci*(农药学报), 2009, 11(2): 244-249.
- [10] YU X ian-m ei(余贤美), ZHENG Fu-cong(郑服丛), LIN Chao(林超), et al. 土壤产嗜铁素拮抗细菌 CAS15 的分离鉴定[J]. *ACTA Phytobrycia Sin*(植物保护学报), 2009, 36(2):

129-135

- [11] CHEN L, JAMES L P, HELMANN J D. Metal regulation in *Bacillus subtilis* Isolation and characterization of two genes differentially repressed by metal ions [J]. *J Bacteriol*, 1993, 175 (17): 5428-5437
- [12] YANG He-tong(杨合同), WANG Shao-jie(王少杰), WANG Jian-ping(王建平), et al. 荧光假单胞菌嗜铁素的噬铁素的性质研究 [J]. *Shandong Sci(山东科学)*, 1994, 7(1): 53-56
- [13] SAYYED R Z, CHINCHOLKAR S B. Purification of siderophores of *A. kaligenes faecalis* on Amberlite XAD [J]. *Bioresource Technol*, 2006, 97(8): 1026-1029
- [14] RAAJIMAKERS JM, LEEMAN M, VAN OORSCHOT M M P, et al. Dose-response relationships in biological control of *Fusarium* wilt of radish by *Pseudomonas* spp [J]. *Phytopathology*, 1995, 85: 1075-1081
- [15] LEEMAN M, VAN PELT J A, DEN OUDEN F M, et al. Induction of systemic resistance by *Pseudomonas fluorescens* in radish cultivars differing in susceptibility to *Fusarium* wilt using a novel bioassay [J]. *Eur J Plant Pathol*, 1995, 101: 655-664
- [16] DE BOER M, VAN DER SLUIS I, VAN LOON L C, et al. Combining fluorescent *Pseudomonas* spp strains to enhance suppression of *Fusarium* wilt of radish [J]. *Eur J Plant Pathol*, 1999, 105: 201-210
- [17] HOAGLAND D R, ARNON D I. The water culture method for growing plant without soil [J]. *Bull Calif Agric Exp Stn*, 1938, 347: 36-39
- [18] PETERS W J, WARREN R A J. Iodic acid synthesis in *Bacillus subtilis* [J]. *J Bacteriol*, 1968, 95: 360-366
- [19] LAU J, TRAN C, LICARIP, et al. Development of a high cell density fed-back bioprocess for the heterologous production of 6-deoxyerythronolide B in *E. coli* [J]. *J Biotech*, 2004, 110: 95-103
- [20] ZHUANG Jing-hua(庄敬华), GAO Zeng-gui(高增贵), YANG Chang-cheng(杨长城), et al. 绿色木霉菌 T23对黄瓜枯萎病防治效果及其几种防御酶活性的影响 [J]. *Acta Phytopathol Sin(植物病理学报)*, 2005, 35(2): 179-183
- [21] YANG Chun-lin(杨春林), XI Ya-dong(席亚东), LIU Bo-wei(刘波微), et al. 哈茨木霉 T-h-30对几种蔬菜的促生作用及病害防治初探 [J]. *Southwest China J Agric Sci(西南农业学报)*, 2008, 21(6): 1603-1607
- [22] CHEN Xue-li(陈雪丽), WANG Guang-hua(王光华), JIN Jian(金剑), et al. 多粘类芽孢杆菌 BRF-1和枯草芽孢杆菌 BRF-2对黄瓜和番茄枯萎病的防治效果 [J]. *Chinese J Eco-Agric(中国生态农业学报)*, 2008, 16(2): 446-450
- [23] CHEN Zhi-yi(陈志谊), REN Hai-ying(任海英), LIU Yong-feng(刘永锋), et al. 戊唑醇和枯草芽孢杆菌协同作用防治蚕豆枯萎病及增效机理初探 [J]. *Chin J Pestic Sci(农药学报)*, 2002, 4(4): 40-44

(责任编辑: 金淑惠)

• 书讯 •

《植源性食品污染源溯源技术研究》

魏益民 李 勇 郭波莉 著

978-7-03-026615-6 ' 42 00 2010年 2月出版

内容简介

本书是《食品质量与安全丛书》系列出版物之一,通过系统分析茶叶、水稻、蔬菜 3种植源性食品中重金属含量、铅同位素丰度比值与其生长环境中可能的污染源(汽车尾气、工业燃煤、矿石等)、污染介质(大气、水、土壤等)中重金属含量、铅同位素丰度比值的关系,利用对应分析法对植源性食品铅污染程度和类型进行分类,并借鉴化学质量平衡受体模型基本原理,探讨利用铅同位素分析技术追溯植源性食品中铅污染源和污染途径的可行性,初步建立解析植物源性食品中铅污染贡献率的计算方法和计算模型,为食品安全监管提供理论依据和技术手段。

本书可供从事食品安全研究的科研人员、负责食品安全监管的管理人员以及高等院校食品科学与工程、食品质量与安全专业的本科生、研究生阅读参考。



(科学出版社科学销售中心周文宇提供, 电话: 010-64031535, E-mail: zhouwenyu@mail.sciencep.com)