

复合光合菌剂对大豆幼苗生理生化特性和根际土壤酶活性的影响

葛红莲,张福丽,李俐俐

(周口师范学院 生命科学与农学院,河南 周口 466001)

摘要:采用 $10^6, 10^7, 10^8, 10^9, 10^{10}$ CFU·mL⁻¹ 5种浓度复合光合菌剂 PS11 灌根处理大豆幼苗,研究不同浓度复合光合菌剂 PS11 对大豆生理生化指标和土壤酶活性的影响。结果表明:与对照相比, $10^6 \sim 10^9$ CFU·mL⁻¹浓度的 PS11 可显著提高大豆幼苗光合色素含量,增强叶片的光合能力,增加生物量及根系活力,激活大豆幼苗抗氧化酶和土壤酶活性;随着菌液浓度的升高,PS11 对大豆的促生效果及对土壤酶活性的激活作用减弱,菌液浓度 10^{10} CFU·mL⁻¹时大豆根系活力、类胡萝卜素的含量显著低于对照;复合光合菌剂 PS11 浓度为 $10^7 \sim 10^8$ CFU·mL⁻¹时大豆幼苗和根际土壤酶活性多项指标增效作用明显。

关键词:复合光合菌剂;大豆;根系活力;土壤酶;生理生化特性

中图分类号:S565.1

文献标识码:A

DOI:10.11861/j.issn.1000-9841.2014.05.0713

Effects of Composite Photosynthetic Bacteria PS11 on Physiological-biochemical Characteristics and Rhizosphere Soil Enzyme Activities of Soybean Seedling

GE Hong-lian, ZHANG Fu-li, LI Li-li

(School of Life Science and Agronomy, Zhoukou Normal University, Zhoukou 466001, China)

Abstract: Soybean seedling were treated with $10^6, 10^7, 10^8, 10^9$ and 10^{10} CFU·mL⁻¹ composite photosynthetic bacteria PS11 by root irrigation to study the effect on physiological and biochemical characters of soybean seedling and its rhizosphere soil enzyme activities. The results showed that compared to the control, root irrigation treatment with 10^6-10^9 CFU·mL⁻¹ PS11 significantly increased photosynthetic pigment contents of soybean leaves, enhanced photosynthetic capacity of soybean leaves, and improved plant biomass and root activity. Meanwhile, root irrigation treatment with PS11 activated the activities of antioxidant enzyme of soybean seedlings. In addition, PS11 treatment significantly improved activities of rhizosphere soil enzyme. With PS11 concentration reached to 10^{10} CFU·mL⁻¹, the growth-promoting effect to soybean seedling and activation to soil enzyme were weakened, and the root activity and carotin content were much lower than the control. The promotion effect of 10^7-10^8 CFU·mL⁻¹ PS11 was the most significant compared to the control. In conclusion, PS11 concentration of 10^7-10^8 CFU·mL⁻¹ was the best for soybean growth and improving the soil enzyme activities by considering comprehensively the influences of different concentrations.

Key words: Composite photosynthetic bacteria; Soybean; Root activity; Soil enzyme; Physiological and biochemical characters

大豆是我国主要的油料作物。但近年来,由于产量水平低,易受环境和病虫害影响等原因,其种植面积逐年减少^[1-2]。因此寻找有效方法促进大豆生长,提高大豆的产量和品质及其抗逆性,具有重要的生产实践意义。

光合细菌是一类能进行不产氧光合作用的原核微生物,光合细菌的一些菌株能产生泛酸、氨基酸、辅酶 Q、5-氨基乙酰丙酸(ALA)卟啉类化合物、植物激素(如 IAA, GA₃、乙烯、细胞分裂素)和抗病毒因子等大量生物活性物质^[3-4],并具有固碳、固氮及降解有机物等生理特性^[5-7]。近年来,研究表明光合细菌在农业方面有较高的应用价值,有关光合细菌对农作物的产量和品质、作物的抗逆性、土壤

酶活性和土壤微生物的影响已分别有大量的报道^[8-15]。但是,对施用光合细菌后大豆生理生化特性和根际土壤酶的变化进行系统研究的较少。目前,微生物菌剂的研究应用向多菌复合方向发展,多个菌株复配,可功能互补,共同提高菌剂的促生和防病效果^[16]。本研究采用经室内单一菌株盆栽试验筛选得到的促生效果较好的光合细菌菌株,把其中具有亲和性的3株光合细菌复配成复合光合菌剂 PS11,研究不同浓度复合光合菌剂 PS11 对大豆幼苗生理生化特性和根际土壤酶活性的影响,评价复合光合菌剂 PS11 的促生效果和土壤改良效果,并找出菌液最佳施用浓度,以期大豆的生产,复合光合菌剂 PS11 的进一步开发应用提供理论依据。

收稿日期:2013-11-25

基金项目:河南省科技计划(132300410032);河南省教育厅科学技术重点资助项目(2006210010,13B180271)。

第一作者简介:葛红莲(1976-),女,硕士,副教授,主要从事微生物生态及微生物菌肥的开发研究。E-mail:gehonglian2003@126.com。

1 材料与方法

1.1 供试作物及土壤

大豆品种为周豆 16; 土壤为砂壤, pH7.5、有机质含量 $14.8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

1.2 供试菌株及培养基

复合光合菌剂 PS11 是从周口师范学院校园清水河水中经富集、分离和纯化获得的光合细菌菌株 AR12、AR13 和 AR14, 经前期盆栽试验, 具有促生、固氮、提高植物抗逆性等作用。光合细菌固体培养基成分为乙酸钠 2.5 g, 酵母膏 2.0 g, MgSO_4 0.4 g, NH_4Cl 1.0 g, KH_2PO_4 0.5 g, 无菌水 1 000 mL, 琼脂 20 g。

1.3 复合光合菌剂的制备

将在冰箱内保存的菌种取出, 用接种环挑取菌落至灭菌的光合细菌固体培养基表面进行菌种活化, 经 30°C 温箱培养 5 d 后, 加少量无菌水将菌苔洗下来制成菌悬液, 用平板涂布法进行扩大培养, 每菌株涂布 10 平皿, 30°C 温箱培养 3 d 后, 每平皿加等量无菌水将菌苔洗下来制成菌悬液, 3 种菌按 1:1:1 的比例复配成光合细菌复合菌剂, 菌液浓度分别为 10^6 , 10^7 , 10^8 , 10^9 , $10^{10} \text{ CFU} \cdot \text{mL}^{-1}$, 采用自动彩色菌落计数仪(美国 DigiCounter V₃)计数。

1.4 试验设计

选用均匀饱满的种子, 用 0.1% HgCl_2 表面消毒 8 min, 无菌水反复冲洗, 在水中浸泡 48 h, 然后在 28°C 温箱中催芽。挑出发芽一致的种子, 种在装有培养土的纸杯中, 每杯播种 5 株大豆, 出苗后, 分别采用 10^6 , 10^7 , 10^8 , 10^9 , $10^{10} \text{ CFU} \cdot \text{mL}^{-1}$ 5 种浓度的复合光合菌剂 PS11 浇灌, 每 10 d 浇灌 1 次, 每次杯浇灌量为 10 mL, 共浇灌 3 次。每个处理 7 杯, 3 次重复, 清水灌溉为对照。

1.5 测定项目及方法

在大豆幼苗期(播种后第 28 天)测定大豆幼苗净光合速率、生物量, 并取大豆植株同位叶的叶片测定生理生化指标。生物量的测定参照李秀平等^[17]的方法; 大豆幼苗净光合速率采用 LI-6400 型光合作用测定系统测定。超氧化物歧化酶(SOD)活力的测定采用联苯三酚自氧化法($\text{U} \cdot \text{g}^{-1}$)^[18]; CAT 活性测定

采用紫外吸收法($\text{U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)^[18]; 根系活力测定采用 TTC 法($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)^[18]; POD 活力的测定采用愈创木酚法($\text{U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)^[18]; 叶绿素和类胡萝卜素含量测定采用丙酮和 95% 乙醇(体积比为 1:1)浸提分光光度法($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)^[19]。

复合菌剂 PS11 处理大豆幼苗第 30 天取大豆根际土壤进行土壤酶活性的测定。土壤脲酶活性采用靛酚比色法, 蔗糖酶活性采用 3,5-二硝基水杨酸比色法, 纤维素酶活性采用蒽酮比色法, 蛋白酶活性采用 Folin-酚法^[20]。

1.6 数据处理

采用 SPSS 17.0 进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 复合光合菌剂对大豆幼苗光合色素含量、净光合速率和生物量的影响

从表 1 可以看出, 与对照相比, $10^6 \sim 10^9 \text{ CFU} \cdot \text{mL}^{-1}$ 浓度的复合光合菌剂 PS11 处理能显著提高叶片叶绿素含量($P < 0.05$), 除 $10^7 \text{ CFU} \cdot \text{mL}^{-1}$ 菌液处理下的大豆幼苗类胡萝卜素含量与对照差异显著外, 其他浓度复合光合菌剂处理组大豆幼苗类胡萝卜素含量与对照均无显著差异($P > 0.05$), 且大豆幼苗叶绿素和类胡萝卜素含量随菌液浓度的升高呈先升后降的趋势, $10^7 \text{ CFU} \cdot \text{mL}^{-1}$ 菌液浓度处理下, 大豆叶片叶绿素 a、叶绿素 b 和类胡萝卜素的含量达最大值, 分别为 3.70, 1.51 和 1.92 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$, 比对照分别提高了 52.89%、106.85% 和 12.28%。菌液浓度继续升高, 复合光合菌剂 PS11 对光合色素合成的促进作用明显降低, 当菌液浓度为 $10^{10} \text{ CFU} \cdot \text{mL}^{-1}$ 时, 对类胡萝卜素的合成甚至起抑制作用, 其含量比对照降低了 7.60%。复合光合菌剂 PS11 处理大豆幼苗后, 大豆幼苗叶片色素含量的增加, 为光合速率的提高和生物量的增加奠定了基础。与对照相比, PS11 处理均能显著提高大豆幼苗的净光合速率和生物量, 且随菌液浓度的升高其值呈先升后降的趋势。大豆幼苗的净光合速率和生物量在浓度为 $10^7 \text{ CFU} \cdot \text{mL}^{-1}$ 复合光合菌剂 PS11 处理下达到最高, 分别比对照提高了 80.38% 和 277.78%。

表 1 复合光合菌剂 PS11 对大豆幼苗光合色素含量、净光合速率和生物量的影响

Table 1 Effect of PS11 on photosynthetic pigments content, net photosynthetic rate and biomass of soybean seedling

项目 Item	复合光合菌剂 PS11 浓度 Concentration of composite photosynthetic bacteria PS11/CFU·mL ⁻¹					
	0	10 ⁶	10 ⁷	10 ⁸	10 ⁹	10 ¹⁰
叶绿素 a Chla/mg·g ⁻¹	2.42 ± 0.224 d	3.11 ± 0.163 b	3.70 ± 0.147 a	3.13 ± 0.098 b	2.98 ± 0.175 bc	2.67 ± 0.131 cd
叶绿素 b Chlb/mg·g ⁻¹	0.73 ± 0.026 d	1.27 ± 0.022 b	1.51 ± 0.045 a	1.29 ± 0.016 b	1.26 ± 0.051 b	0.92 ± 0.008 c
类胡萝卜素 Car/mg·g ⁻¹	1.71 ± 0.037 b	1.75 ± 0.045 b	1.92 ± 0.033 a	1.72 ± 0.078 b	1.68 ± 0.016 b	1.58 ± 0.029 c
净光合速率 Pn/μmol·m ⁻² ·s ⁻¹	4.23 ± 0.425 e	5.65 ± 0.139 bc	7.63 ± 0.155 a	6.15 ± 0.240 b	5.42 ± 0.212 c	4.80 ± 0.136 d
生物量 Biomass/g	0.18 ± 0.002 f	0.48 ± 0.008 c	0.68 ± 0.019 a	0.51 ± 0.011 b	0.36 ± 0.006 d	0.23 ± 0.003 e

同行数据标以不同小写字母者表示在 0.05 水平上差异显著。下同。

Values in the same row followed by different lowercase letters are significantly different at 0.05 probability level. The same below.

2.2 复合光合菌剂对大豆幼苗根系活力的影响

植物的根系活力直接影响植物的营养状况及产量。从图 1 可以看出,10⁶~10⁹ CFU·mL⁻¹的菌液处理组均能显著提高大豆幼苗的根系活力($P < 0.05$);大豆幼苗根系活力随菌液浓度的升高呈先升后降的变化,菌液浓度为 10⁷ CFU·mL⁻¹时,大豆根系活力达到峰值,比对照升高了 233.50%,随菌液浓度的进一步升高,复合光合菌剂 PS11 对根系活力的促进作用降低,10⁸和 10⁶ CFU·mL⁻¹菌液处理组的根系活力无显著差异,当浓度达到 10¹⁰ CFU·mL⁻¹时,对根系活力起抑制作用,与对照相比,根系活力降低了 29.20%。

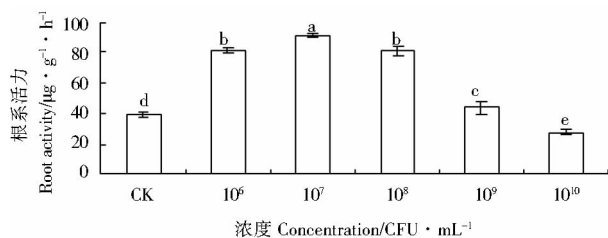


图 1 不同浓度复合光合菌剂 PS11 对大豆幼苗根系活力的影响

Fig. 1 Influence of different concentration of PS11 on root activity of soybean seedling

2.3 复合光合菌剂对大豆幼苗抗氧化酶活性的影响

不同浓度的复合光合菌剂 PS11 均能提高大豆幼苗的抗氧化酶活性。由表 2 可知,随菌液浓度的升高,大豆叶片 SOD 和 POD 活性呈升高趋势,在 10¹⁰ CFU·mL⁻¹的复合光合菌剂 PS11 处理下达到最高,分别比对照升高了 121.71% 和 221.81%。经统计学分析,菌液浓度 10⁶和 10⁷ CFU·mL⁻¹处理组的大豆幼苗 SOD 活性无显著差异,其余各处理间的大豆幼苗 SOD 活性差异显著;10⁶ CFU·mL⁻¹处理组与对照、10⁷和 10⁸ CFU·mL⁻¹处理组的 POD 活性无显著差异,其余各处理间差异显著。除 10⁶ CFU·mL⁻¹的菌液处理下的大豆幼苗 CAT 活性与对照无显著差异外,其他浓度复合光合菌剂处理组大豆幼苗 CAT 活性均显著高于对照;CAT 活性随复合光合菌剂 PS11 浓度的升高呈先升后降的变化,在 10⁸ CFU·mL⁻¹的复合光合菌剂 PS11 处理下 CAT 活性达最大值。复合光合菌剂 PS11 处理下,POD、SOD、CAT 活性上升,利于清除大豆幼苗体内活性氧,使自由基和过氧化物在作物体内浓度下降,有助于提高大豆对逆境的抗性。

表 2 复合光合菌剂 PS11 对大豆幼苗抗氧化酶活性的影响

Table 2 Effect of PS11 on antioxidant enzyme activities of soybean seedlings

抗氧化酶 Antioxidant enzyme	复合光合菌剂 PS11 浓度 Concentration of composite photosynthetic bacteria PS11/CFU·mL ⁻¹					
	0	10 ⁶	10 ⁷	10 ⁸	10 ⁹	10 ¹⁰
SOD/U·g ⁻¹	188.58 ± 2.53 e	214.29 ± 3.01 d	223.06 ± 2.14 d	279.95 ± 4.78 c	361.22 ± 4.01 b	418.11 ± 5.04 a
CAT/U·g ⁻¹ ·min ⁻¹	60.73 ± 1.23 e	61.72 ± 1.27 e	84.01 ± 2.04 d	145.42 ± 3.08 a	113.31 ± 2.85 b	94.43 ± 1.00 c
POD/U·g ⁻¹ ·min ⁻¹	10.73 ± 0.29 d	11.84 ± 0.32 d	13.25 ± 0.22 c	13.72 ± 0.36 c	18.25 ± 0.38 b	34.53 ± 0.40 a

2.4 复合光合菌剂对大豆根际土壤酶活性的影响

由表3可知,与对照相比,复合光合菌剂 PS11 均能提高土壤酶的活性,且随菌液浓度的升高,土壤酶的活性呈先升后降的变化。经统计学分析,除菌液浓度为 10^6 CFU·mL⁻¹ 时蔗糖酶活性与对照相比无显著差异外,其余处理组均能显著提高土壤脲酶和蔗糖酶活性,在菌液浓度为 10^7 CFU·mL⁻¹ 时,

酶活性达到最高,分别比对照升高 49.03% 和 82.45%。除 10^{10} CFU·mL⁻¹ 菌液处理组土壤纤维素酶活性与对照组相比无显著差异外,其余 PS11 菌液处理组均能显著提高土壤纤维素酶和蛋白酶活性,在菌液浓度为 10^8 CFU·mL⁻¹ 处理下,酶活性达到最高,分别比对照升高了 29.57% 和 29.41%。

表3 复合光合菌剂 PS11 对大豆根际土壤酶活性的影响

Table 3 Effect of PS11 on activities of rhizosphere soil enzymes in soybean

土壤酶 Antioxidant enzyme	复合光合菌剂 PS11 浓度 Concentration of composite photosynthetic bacteria PS11/CFU·mL ⁻¹					
	0	10 ⁶	10 ⁷	10 ⁸	10 ⁹	10 ¹⁰
脲酶 Urease/ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$	10.28 ± 0.230 d	13.18 ± 0.286 b	15.32 ± 0.279 a	13.57 ± 0.327 b	12.11 ± 0.163 c	11.24 ± 0.298 c
蔗糖酶 Invertase/ $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$	5.64 ± 0.065 d	5.71 ± 0.089 d	10.29 ± 0.114 a	8.07 ± 0.135 b	7.84 ± 0.104 b	7.25 ± 0.150 c
纤维素酶 Cellulase/ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$	1.15 ± 0.043 c	1.29 ± 0.067 b	1.36 ± 0.024 b	1.49 ± 0.016 a	1.32 ± 0.049 b	1.16 ± 0.033 c
蛋白酶 Protease/ $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$	0.34 ± 0.004 f	0.36 ± 0.006 d	0.38 ± 0.004 c	0.44 ± 0.004 a	0.43 ± 0.002 b	0.35 ± 0.003 e

3 讨论

近年来,关于光合细菌影响农作物生长的研究较多,许多研究表明光合细菌具有促进植物幼苗生长的作用,并能提高植物的抗逆性^[21-25]。而王秋菊等^[25]研究表明适当浓度的光合细菌能提高番茄种子的发芽率、光合色素含量,但对 SOD、CAT 活性无显著影响。本研究结果表明,低浓度复合光合菌剂 PS11 可显著提高大豆幼苗光合色素含量、净光合速率、生物量以及根系活力。但随着菌液浓度的升高,促进作用降低,当浓度达到 10^{10} CFU·mL⁻¹ 时,与对照相比,大豆幼苗的类胡萝卜素、根系活力明显降低。在本试验中,复合光合菌剂 PS11 能显著提高大豆幼苗 SOD、CAT、POD 活性,但大豆幼苗 CAT 活性随菌液浓度的升高呈先升后降的变化,说明一定浓度的复合光合菌剂 PS11,可提高 POD、SOD、CAT 活性,清除大豆幼苗活性氧,利于大豆抵抗不良环境。复合光合菌剂 PS11 促生原因是一方面光合细菌产生大量生物活性物质^[3-4],这些物质能激发植物细胞的活性,提高植物的光合作用效率以及抗氧化酶活性,并且根系活力增加可加速养分和水的吸收;另一方面,复合光合菌剂具有协同作用,通过分泌不同生理活性物质,调节植株的生理代谢活动,促进植物的生长。但复合光合菌剂的浓度太高,促生作用降低,甚至对大豆一些理化指标起抑制作用,其原因可能为复合光合菌剂代谢产物浓度过大,抑制了与植物幼苗生长相关的一些酶活性。

土壤酶参与土壤中的生化反应和元素循环,其活性的改变反映土壤养分循环潜能。因此,土壤酶活性被作为检测土壤肥力和土壤环境变化重要指标。土壤脲酶能催化酰胺化合物水解为氨,蛋白酶能水解肽类和蛋白质等化合物为氨基酸,因此土壤中脲酶和蛋白酶是催化土壤氮素转化的重要酶。土壤纤维素酶和蔗糖酶参与碳水化合物的转化,为

生物提供充分的能源,是参与土壤碳循环和土壤生物化学活性的重要酶^[27]。本研究结果表明复合光合菌剂 PS11 能提高土壤脲酶、蛋白酶、纤维素酶和蔗糖酶活性,改善土壤微生态环境,提高土壤肥力,有利于大豆氮素的吸收,但随菌液浓度升高,对酶的激活作用降低。土壤脲酶和蔗糖酶活性在菌液浓度为 10^7 CFU·mL⁻¹ 时达到最高,而土壤纤维素酶和蛋白酶活性在 10^8 CFU·mL⁻¹ 时达到最高。

本试验结果表明适当浓度的复合光合菌剂 PS11 能提高光合色素含量,增强光合能力,增加大豆幼苗根系活力、生物量、抗氧化酶和根际土壤酶活性,促进光合作用和植物抗逆性,改善土壤肥力,起到促生壮苗的作用。 $10^7 \sim 10^8$ CFU·mL⁻¹ 的复合光合菌剂 PS11 对大豆幼苗和根际土壤酶活性的多项指标增效作用明显。

参考文献

- [1] 陈怀珠,杨守臻,孙祖东,等.春大豆新品种桂春豆 104 的选育及高产栽培技术[J].南方农业学报,2013,44(8):1273-1276. (Chen H Z, Yang S Z, Sun Z D, et al. Breeding of spring soybean variety Guichundou 104 and its cultivation technique[J]. Journal of Southern Agriculture, 2013, 44(8): 1273-1276.)
- [2] 焦扬,葛慧玲,李周密,等.基于扩散指数的中国大豆需求量增长率预警分析[J].东北林业大学学报,2013,44(8):138-142. (Jiao Y, Ge H L, Li Z M, et al. Early-warning of soybean demand growth rate in China based on diffusion index[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2013, 44(8): 138-142.)
- [3] Sasaki K, Watanabe W, Noparatnaraporn N. Applications of photosynthetic bacteria for medical and environmental fields[J]. Seibutsu-kogaku Kaishi, 2002, 80: 234-236.
- [4] Sasaki K, Watanabe M, Suda Y, et al. Applications of photosynthetic bacteria for medical fields[J]. Journal of Bioscience and Bioengineering, 2005, 100(5): 481-488.
- [5] Katsuda T, Lababpour A, Shimahara K, et al. Astaxanthin production by *Haematococcus pluvialis* under illumination with LEDs[J]. Enzyme and Microbial Technology, 2004, 35: 81-86.
- [6] Kuo F S, Chien Y H, Chen C J. Effects of light sources on growth and carotenoid content of photosynthetic bacteria *Rhodospseudo-*

- monas palustris*[J]. *Bioresource Technology*,2012,113:315-318.
- [7] 赵志平,聂鑫,丁杰,等. 光合细菌研究进展[J]. 四川理工学院学报(自然科学版),2012,25(5):1-5. (Zhao Z P, Nie X, Ding J, et al. Research progresses on photosynthetic bacteria[J]. *Journal of Sichuan University of Science & Engineering(Natural Science Editton)*,2012,25(5):1-5.)
- [8] 王馥迪,李征,黄秋生,等. 光合细菌在植物上的应用现状及展望[J]. 广东蚕业,2012,46(2):36-38. (Wang F D, Li Z, Huang Q S, et al. Application status and prospect of photosynthetic bacteria on plant[J]. *Guangdong Canye*,2012,46(2):36-38.)
- [9] 王秋菊,焦峰,崔战利,等. 光合细菌浸种对水稻种子萌发的影响[J]. 作物杂志,2012(3):126-129. (Wang Q J, Jiao F, Cui Z L, et al. Influence of soaking seeds with PSB solution on germination of rice seed[J]. *Crops*,2012(3):126-129.)
- [10] 王秋菊. 光合细菌对苗期水稻抗氧化作用的影响[J]. 黑龙江农业科学,2009(6):33-35. (Wang Q J. Effect of photosynthetic bacteria on rice seedling antioxidant function[J]. *Heilongjiang Agricultural Sciences*,2009(6):33-35.)
- [11] 武丽娜. 光合细菌对水培黄瓜苗期生长的影响[J]. 安徽农业科学,2012,40(11):6409-6410. (Wu L N. Influence of PSB (photosynthetic bacteria) on the growth of hydroponic cucumber seedlings [J]. *Anhui Agricultural Sciences*, 2012, 40(11):6409-6410.)
- [12] 韩云哲,朴雪梅,许震宇,等. 光合细菌对水稻生育、产量及效益影响的研究[J]. 吉林农业科学,2012,37(5):6-8. (Han Y Z, Piao X M, Xu Z Y, et al. Studies on effect of photosynthetic bacteria on growth, yield and benefit of rice[J]. *Jilin Agricultural Sciences*,2012,37(5):6-8.)
- [13] 张景节,张素平,李亚芹,等. 施用光合细菌对大棚作物生长性状和产量的影响[J]. 河北农业科学,2008,12(2):30-32. (Zhang J J, Zhang S P, Li Y Q, et al. Effects of photosynthetic bacteria on growth properties and yield of plastic house crop[J]. *Hebei Agricultural Sciences*,2008,12(2):30-32.)
- [14] 白红娟,肖根林,贾万利,等. 光合细菌提高污灌土壤中酶活性的研究[J]. 工业安全与环保,2011,37(6):13-15. (Bai H J, Xiao G L, Jia W L, et al. Study on the increase of contaminated soil enzyme activities using photosynthetic bacteria[J]. *Industrial Safety and Environmental Protection*,2011,37(6):13-15.)
- [15] 张信娣,曹慧,徐冬青,等. 光合细菌和有机肥对土壤主要微生物类群和土壤酶活性的影响[J]. 土壤,2008,40(3):443-447. (Zhang X D, Cao H, Xu D Q, et al. Effect of photosynthetic bacteria and organic fertilizer on soil microorganisms and soil enzyme activities[J]. *Soil*,2008,40(3):443-447.)
- [16] 曹恩琿,侯宪文,李光义,等. 复合菌剂对盆栽番茄土壤理化性质及微生物活性的影响[J]. 生态环境学报,2011,20(5):875-880. (Cao E H, Hou X W, Li G Y, et al. Effect of combination bacteria on soil physicochemical properties and soil microbial activity by pot tomato experiment [J]. *Ecology and Environmental Sciences*,2011,20(5):875-880.)
- [17] 李秀平,李穆,年海,等. 甘蔗/大豆间作对甘蔗和大豆产量与品质的影响[J]. 东北农业大学报,2012,43(7):42-46. (Li X P, Li M, Nian H, et al. Effect of sugarcane/soybean intercropping on growth, yield and quality of sugarcane and soybean[J]. *Journal of Northeast Agricultural University*,2012,43(7):42-46.)
- [18] 刘萍,李明军. 植物生理学实验技术[M]. 北京:科学出版社,2007. (Liu P, Li M J. *Plant physiology experimental techniques* [M]. Beijing: Science Press,2007:35-188.)
- [19] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社,2000:98-90. (Li H S. *Plant physiology and biochemistry experiments; Principle and Technology* [M]. Beijing: Higher Education Press,2000:261.)
- [20] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2000. (Bao S D. *Soil agrochemical analysis*[M]. Beijing: China Agriculture Press,2000.)
- [21] 邵双,崔心栋. 光合细菌促进黄瓜幼苗生长作用的研究[J]. 沈阳化工大学学报,2010,24(3):215-218. (Shao S, Cui X D. Effect of photosynthetic bacteria on the growth of cucumber seedlings[J]. *Journal of Shenyang Institute of Chemical Technology*, 2010, 24(3):215-218.)
- [22] 彭智平,李文英,徐培智,等. 光合菌剂对菜心产量和品质的效应评价[J]. 广东农业科学,2012,39(1):11-13. (Peng Z P, Li W Y, Xiu P Z, et al. Effect of photosynthetic bacteria agent on yield and quality of flowering Chinese cabbage[J]. *Guangdong Agricultural Sciences*,2012,39(1):11-13.)
- [23] 王秋菊,崔战利,张少良,等. 光合细菌在水稻上的施用方法及作用机理研究[J]. 中国农学通报,2006,22(1):176-178. (Wang Q J, Cui Z L, Zhang S L, et al. Study of applying methods of photosynthetic bacteria on paddy rice[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*,2006,22(1):176-178.)
- [24] 崔战利,王秋菊,杨会青,等. 光合细菌培养液对苗期白菜 UV-C 辐射的防护作用初探[J]. 热带农业科学,2009,29(3):10-14. (Cui Z L, Wang Q J, Yang H Q, et al. Effect of culture solution of photosynthetic bacteria on Chinese cabbage seedlings treated with UV-C radiation[J]. *Chinese Journal of Tropical Agriculture*, 2009, 29(3):10-14.)
- [25] 戴建平,程菊娥,刘勇,等. 光合细菌 PSB07-15 对辣椒及土壤中甲氧菊酯残留的生物修复[J]. 生态环境学报,2010,19(10):2441-2444. (Dai J P, Cheng J E, Liu Y, et al. Biodegradation of fenpropahtin by photosynthetic bacteria strain PSB07-15 in chili (*Capsicum annum linn*) and soil[J]. *Ecology and Environmental Sciences*,2010,19(10):2441-2444.)
- [26] 王秋菊,崔战利. 光合细菌在番茄上的应用研究[J]. 黑龙江八一农垦大学学报,2005,17(6):13-17. (Wang Q J, Cui Z L. Study of applying of photosynthetic bacteria on tomato[J]. *Journal of Heilongjiang August First Land Reclamation University*,2005,17(6):13-17.)
- [27] 官占元,张国庆,于文莹,等. 哈茨木霉对水稻幼苗根际土壤微生物和酶活性的影响[J]. 干旱地区农业研究,2013,31(4):167-171. (Gong Z Y, Zhang G Q, Yu W Y, et al. Effect of *Trichoderma harzianum* on microorganism and enzymatic activities in rhizosphere soil during rice seedling stage [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*,2013,31(4):167-171.)