

网络出版时间:2012-04-16 15:38

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20120416.1538.019.html>

放线菌剂对连作番茄苗期生长和 PPO 活性的影响

王 玉^a, 卞中华^a, 胡晓辉^a, 邹志荣^a, 薛泉宏^b

(西北农林科技大学 a 园艺学院, b 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

[摘 要] **【目的】**研究番茄不同连作年限的土壤在增施放线菌剂后,对苗期植株生长和多酚氧化酶(PPO)活性的影响,为探索放线菌剂在改良土壤连作中的作用提供参考。**【方法】**以“金鹏一号”番茄为试材,棚外未种植过番茄的土壤和棚内连作 4、8 年番茄的土壤为介质,分别设施放线菌剂和不设施放线菌剂处理(浇灌放线菌剂和清水,灌根量均为 0.8 g/株),槽式栽培,测定番茄植株生长指标、光合性能、PPO 活性及 PPO 与光合指标的相关性。**【结果】**施菌处理均可促进番茄苗期叶长、叶宽、茎粗和株高的生长,且对连作 4 年土壤的促生作用最为明显;番茄叶片和根系的 PPO 活性随连作年限延长逐渐升高;在连作 4 年土壤中施用放线菌剂后,番茄苗期叶片叶绿素含量的菌剂效应最高,达 10.78%,胞间 CO₂ 浓度在非连作土壤中提高 3.48%;在连作土壤中,苗期番茄根系 PPO 活性与叶片 PPO 活性和叶绿素含量($P<0.05$)呈正相关,与叶片胞间 CO₂ 浓度、蒸腾速率($P<0.01$)和净光合速率呈负相关。**【结论】**放线菌剂对连作具有一定的改良作用;可以促进连作番茄苗期植株根系和地上部库源的生长,提高番茄 PPO 活性和叶片净光合速率,且以连作 4 年处理的促生效果最为显著,而对 CO₂ 的固定和利用过程没有作用。

[关键词] 番茄;连作;放线菌剂;PPO 活性;光合特性

[中图分类号] S641.201;S621

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2012)05-0099-06

Effect of actinomycetes on potato growth and PPO activity during seedling stage in continuously cropped soils

WANG Yu^a, BIAN Zhong-hua^a, HU Xiao-hui^a, ZOU Zhi-rong^a, XUE Quan-hong^b

(a College of Horticulture, b College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: **【Objective】** Through adding actinomycetes to potato different continuous cropping system soils, effects of continuous years on biomass and PPO activity were explored, which improves the reference for the effect of actinomycetes on continuous cropping tomato system soils **【Method】** Tomato cv. “Jin-peng No. 1” was chosen as material, and non-continuous tomato soils out of greenhouse and continuous tomato cropping 4- and 8-year-system soils within the greenhouse as medium, making the treatments of adding actinomycetes and non-actinomycetes to research the growth promoting effect of actinomycetes on tomato plant regarding to biomass, PPO and the relation between PPO and photosynthetic index. **【Result】** All of the treatments with addition of actinomycetes improve the leaf area, stem diameter and plant height, especially in continuous 4 years soil. The PPO activity of tomato in leaf and root increases with the years of continuous cropped soils. Continuous cropping 4-year soil improves the actinomycetes effect of chlorophyll

* [收稿日期] 2011-11-17

[基金项目] 国家科技支撑计划项目“西北旱作区农业主导产业关键技术集成与示范”(2008BAD96B08-3);陕西省攻关项目“设施蔬菜生产技术试验研究与示范”(2011K01-19);国家“十二五”科技支撑计划项目“西北干旱区域设施园艺生产关键技术研究”与示范”(2011BAD12B03-03)

[作者简介] 王 玉(1986—),女,河北鹿泉人,硕士,主要从事设施园艺生理生态研究。E-mail: wang_yu_er@126.com

[通信作者] 邹志荣(1956—),男,陕西延安人,教授,博士生导师,主要从事设施园艺研究。E-mail: zouzhihong2005@163.com

content on the tomato leaves up to the maximum at 10.78%, and intercellular CO₂ concentration on tomato leave rises by 3.48% in non-continuous cropped soil. In the continuous cropped soils, the PPO activity of root has positive relation with the PPO activity of leaf and chlorophyll content ($P<0.05$), whilst negative relation with the leaf intercellular CO₂ concentration and transpiration rate ($P<0.01$), as well as the net photosynthetic rate. 【Conclusion】 Actinomycetes could improve the condition of continuous cropping tomato soils; actinomycetes can improve the growth of roots and aboveground parts, enhance induced PPO activity of leaves and roots of tomato during the vegetative period, and increase the net photosynthesis rate, especially significant in continuous 4 years soil, but have no effect to the process of CO₂ settlement and use.

Key words: tomato; continuous cropping system; actinomycetes; PPO activity; photosynthesis

连作问题是温室番茄生产中的一项难题,因长期使用农药杀死了土壤中的有益微生物,破坏了土壤生态系统,使得许多病原菌产生抗药性,进而使化学药剂的使用频率和剂量逐年增加,而防治效果差^[1],使得植株对外界逆境的抵抗能力逐渐削弱。放线菌是土壤微生物体系中不可缺少的组成部分,它的一些代谢产物在防治病害、促进作物生长、提高作物产量等方面起着重要的作用,因此越来越多地被人们开发和应用^[2-5]。Vaughn 等^[6]和 Trebst 等^[7]认为,多酚氧化酶(PPO)通过植物光合系统参与了介导分子氧的光还原过程,而放线菌剂的使用可以显著改变作物根区土壤的微生物区系,提高黄瓜^[8]、番茄^[9]和草莓^[10]叶片的 PPO 活性,同时对植株具有显著的促生作用。因此,利用生防放线菌探索由连作障碍引起的番茄植株生长不良具有重要意义。

目前,关于放线菌剂对植物 PPO 活性和光合指标影响的研究较多^[8-12],但尚未见从放线菌作用的根系出发,研究植物体内 PPO 活性与光合作用各指标间关系的报道。因此,本试验以番茄为试材,研究不同连作土壤在使用放线菌剂后对番茄植株 PPO 活性的影响,分析 PPO 活性与叶片光合性能各指标之间的相关性,旨在深入了解放线菌剂的诱导作用

机理,为探索连作障碍的改良方法提供依据。

1 材料与方法

1.1 材 料

选用杨凌普遍种植的“金鹏一号”为试验品种。放线菌剂由西北农林科技大学资源环境学院微生物资源研究室提供,将放线菌 Act11(肉质链霉菌 *Streptomyces carnosus*) 和 Act12(密旋链霉菌 *Streptomyces pactum*) 按质量比 1:1 混合而成。菌剂的有效活菌总数为 2.8×10^9 个/g。

1.2 方 法

1.2.1 试验设计及处理 试验在西北农林科技大学园艺场的塑料大棚内进行。于 2011-02-20 播种,日光温室内穴盘育苗,子叶展开时移苗。因在 2 次预试验中发现,放线菌剂对苗期连作番茄的修复效果最为显著,因此在番茄幼苗长到 3 叶 1 心时,在不同连作年限的番茄土壤中进行试验。试验共设 6 个处理,分别为:CK. 棚外露地土壤(未种植过番茄);T2. 连作 4 年番茄大棚土壤;T4. 连作 8 年番茄大棚土壤;T1、T3、T5 分别在 CK、T2、T4 的土壤中添加放线菌剂。各处理土壤养分状况见表 1。

表 1 供试番茄连作土壤的理化性质

Table 1 Chemical properties of continuous tomato cropping soil

处理 Treatment	NO ₃ ⁻ -N/ (mg·kg ⁻¹)	NH ₄ ⁺ -N/ (mg·kg ⁻¹)	速效 N/ (mg·kg ⁻¹) Available N	速效 K/ (mg·kg ⁻¹) Available K	速效 P/ (mg·kg ⁻¹) Available P	有机质/ (g·kg ⁻¹) OM	pH	EC/ (S·m ⁻¹)
CK、T1	55.15	19.58	74.73	43.78	347.83	15.36	7.69	0.157
T2、T3	272.54	18.51	291.05	100.55	1 115.90	21.40	6.74	0.427
T4、T5	148.78	20.05	168.83	102.82	1 155.80	28.70	6.66	0.221

采用灌根方式,将放线菌剂随清水均匀浇灌渗入基质内,灌根量 0.8 g/株,CK、T2、T4 处理浇灌等量的清水。灌根后,立即挑选长势均一的番茄幼苗于 2011-03-27 定植在各处理土壤中,栽培方式为槽栽,每处理 3 个栽培槽,每槽栽植 30 株,采取常规方法管理,常规化学药物预防病虫害的发生。于

2011-04-10 测定番茄植株的各项生理生化指标。
1.2.2 测定项目及方法 (1)叶长、叶宽、茎粗和株高的测定。选取长势均一的植株 3 株,测定株高(以子叶为界)、从下向上数第 3 片叶子的叶长和叶宽、第 2 茎节处植株的茎粗。
(2)地上地下部鲜质量、干鲜质量的测定。测定

地上部和地下部的鲜质量(以子叶为界)。用去离子水将根系冲洗干净,吸干水分后测定其鲜质量,然后置于恒温干燥箱中于 115 ℃杀青 30 min,75 ℃下烘干至恒质量,测定其干质量。整株的鲜质量和干质量为地上部和地下部的加和。

(3)叶片、根系 PPO 活性的测定。测定从上向下第 4 片叶片和须根的 PPO 活性^[13],以每分钟 OD 变化 0.01 为 1 个酶活性单位 U(A_{398 nm})。

(4)叶绿素含量的测定。选取从上向下第 2 片叶子,采用浸提法^[13]测定其叶绿素含量。

(5)光合指标的测定。采用 LI-6400 光合仪在晴天的上午 09:00—11:00 测定胞间 CO₂ 浓度(Ci)、蒸腾速率(Tr)和净光合速率(Pn)。

1.2.3 数据处理与分析 菌剂效应(Δ)=(施菌处理—相应未施菌处理)/相应未施菌处理×100%。采用 EXCEL、SPSS16.0 软件对所有试验数据进行处理

和相关性分析,用 Duncan 多重比较法(P<0.05)进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 放线菌剂对连作番茄苗期生长的影响

由表 2 可知,叶长、叶宽和株高均表现为 T1>CK>T3>T2>T5>T4,施菌处理的番茄植株长势均高于相应未施菌处理。其中 T4 处理番茄的叶长、叶宽、茎粗、株高均最小,分别为 9.04 cm,6.68 cm,2.17 mm 和 7.73 cm;与其未施菌处理相比,施菌处理促进了番茄植株的生长,其中 T3 的茎粗最大,为 2.68 mm。

由菌剂效应值可以看出,施菌处理均能促进番茄植株的生长,其中 T3 叶长、叶宽、茎粗的促进作用最大,分别为 7.29%,8.88%和 13.08%,T5 处理在株高中的菌剂效应最大,为 9.31%。

表 2 放线菌剂连作番茄苗期生长的影响

Table 2 Effect of actinomycetes on the growth of continuous cropping tomato plant during seedling stage

处理 Treatment	叶长 Leaves length		叶宽 Leaves width		茎粗 Stem width		株高 Height	
	实测值/cm Tested value	Δ/%	实测值/cm Tested value	Δ/%	实测值/cm Tested value	Δ/%	实测值/cm Tested value	Δ/%
CK	10.06±1.06 ab		8.83±0.72 ad		2.38±0.19 a		10.02±0.93 cd	
T1	10.65±0.41 a	5.86	9.48±0.30 d	7.36	2.40±0.40 a	2.00	10.64±0.52 d	6.19
T2	9.19±0.84 b		7.88±1.50 ab		2.37±0.25 a		9.00±1.58 abc	
T3	9.86±0.11 ab	7.29	8.58±0.75 ad	8.88	2.68±0.26 b	13.08	9.62±0.95 bcd	6.89
T4	9.04±1.40 b		6.68±1.25 c		2.17±0.42 a		7.73±0.92 a	
T5	9.18±1.69 b	1.55	7.12±0.75 bc	6.59	2.30±0.34 a	5.99	8.45±1.25 ab	9.31

注:同列数据后标不同小写字母表示处理间差异显著(P<0.05),下同。

Note: Different letters in the same column mean significant difference at P<0.05 level. The same below.

2.2 放线菌剂对连作番茄苗期生物量的影响

由表 3 可知,在施菌处理 T1、T3、T5 中,随连作年限的延长,地上鲜质量、地下鲜质量、地下地上鲜质量比、整株干鲜质量比均逐渐降低,整株干质量、鲜质量逐渐增加。与对应未施菌处理 CK、T2、T4

相比,施菌处理增加了地下鲜质量、地下地上鲜质量比、整株干质量和整株干鲜质量比。其中 T3 处理地下地上鲜质量比和整株干鲜质量比的菌剂效应最高,分别为 10.53%,5.58%。

表 3 放线菌剂对连作番茄苗期生物量的影响

Table 3 Effect of actinomycetes on the continuous cropping tomato plant biomass during the seedling stage

处理 Treatment	地上鲜质量/ (g·株 ⁻¹) Fresh weight of ground part	地下鲜质量/ (g·株 ⁻¹) Fresh weight of underground part	地下、地上鲜质量比 Fresh weight ratio of ground and underground	整株干质量/g Dry weight	整株鲜质量/g Fresh weight	整株干鲜质量比 Dry and fresh weight ratio
CK	7.15±0.29 a	1.71±0.04 a	0.24±0.13 a	2.04±0.06 a	30.25±0.14 ab	0.067±0.001 a
T1	6.90±0.39 a	1.75±0.13 a	0.25±0.00 a	2.07±0.47 a	29.25±1.22 a	0.071±0.018 a
T2	6.88±0.21 a	1.30±0.05 b	0.19±0.01 b	2.09±0.07 a	32.45±0.30 c	0.065±0.002 a
T3	6.85±0.27 a	1.42±0.05 b	0.21±0.02 b	2.13±0.28 a	31.30±0.70 bc	0.068±0.012 a
T4	7.03±0.59 a	1.36±0.02 b	0.19±0.02 b	1.87±0.33 a	30.51±1.69 ab	0.061±0.009 a
T5	6.61±0.12 a	1.36±0.03 b	0.21±0.00 b	2.33±0.46 a	36.80±0.52 d	0.063±0.007 a

2.3 放线菌剂对连作番茄苗期 PPO 活性的影响

由表 4 可知,未施菌处理中,番茄叶片和根系 PPO 活性随连作年限的延长逐渐升高;施菌处理与

之趋势一致(除 T5 处理叶片外),但均高于其对应未施菌处理,说明施入放线菌剂能提高 PPO 的合成量。其中,叶片和根系分别在 T3 和 T1 中的菌剂效

应最大,分别为 29.60%,69.42%。

表 4 放线菌剂对连作番茄苗期 PPO 活性的影响

Table 4 Effect of actinomycetes on PPO activity of tomato during the seedling stage

处理 Treatment	叶片 Leaf		根系 Root	
	PPO/(U·g ⁻¹ ·min ⁻¹)	Δ/%	PPO/(U·g ⁻¹ ·min ⁻¹)	Δ/%
CK	60.67±1.75 a		51.58±6.00 a	
T1	74.32±4.77 a	22.50	77.39±7.83 a	69.42
T2	70.48±2.79 a		120.33±35.16 b	
T3	91.34±13.82 b	29.60	140.26±21.78 bc	16.56
T4	72.40±14.09 ab		158.25±13.39 c	
T5	78.38±9.18 ab	8.26	164.56±14.31 c	3.99

2.4 放线菌剂对连作番茄苗期叶绿素含量和光合特性的影响

2.4.1 叶绿素含量 由表 5 可知,各处理番茄叶片叶绿素含量表现为 T1>CK>T3>T2>T5>T4。T1 处理的番茄叶片叶绿素含量最高,为 1.25 mg/g,T3 处理的菌剂效应最高,为 10.78%。可见,放线菌剂可提高番茄叶片中的叶绿素含量,且以连作 4 年番茄土壤中施用放线菌剂后的菌剂效应最为明显。

2.4.2 光合特性 由表 6 可知,T1 处理的胞间 CO₂ 浓度较 CK 略高 3.48%,T3 和 T5 处理的胞间 CO₂ 浓度分别较 T2、T4 低 5.67%和 3.52%。蒸腾速率(*Tr*)的变化规律与净光合速率(*Pn*)相似,均表现为施菌处理高于相应未施菌处理,*Tr* 和 *Pn* 分别在 T1、T3 处理中菌剂效应最明显,分别较 CK、T2

提高了 9.03%和10.82%,其中 *Tr* 差异达显著水平 ($P<0.05$)。由此可见,连作 4 年番茄土壤中施加放线菌剂后,对番茄叶片的净光合速率促进作用最大,而胞间 CO₂ 浓度水平和蒸腾速率在非连作土壤中的菌剂效应较明显。

表 5 放线菌剂对连作番茄苗期叶片叶绿素含量的影响

Table 5 Influence of actinomycetes on chlorophyll content during the seedling stage

处理 Treatment	叶绿素含量/(mg·g ⁻¹) Chlorophyll content	Δ/%
CK	1.20±0.11 bc	
T1	1.25±0.09 c	4.75
T2	1.08±0.10 ab	
T3	1.19±0.05 bc	10.78
T4	1.02±0.10 a	
T5	1.08±0.05 ab	5.37

表 6 放线菌剂对连作番茄苗期植株光合特性的影响

Table 6 Effect of photosynthesis after adding the actinomycetes during the seedling stage

处理 Treatment	胞间 CO ₂ 浓度 <i>Ci</i>		蒸腾速率 <i>Tr</i>		净光合速率 <i>Pn</i>	
	实测值/(μmol·mol ⁻¹) Tested value	Δ/%	实测值/(mmol·m ⁻² ·s ⁻¹) Tested value	Δ/%	实测值/(μmol·m ⁻² ·s ⁻¹) Tested value	Δ/%
CK	272.31±24.43 ab		10.19±0.63 ab		25.65±2.25 a	
T1	281.78±12.89 b	3.48	11.11±0.58 a	9.03	25.85±2.23 a	0.78
T2	284.62±10.74 b		9.91±1.03 b		24.86±3.61 a	
T3	268.49±13.79 ab	-5.67	10.00±0.61 b	0.91	27.55±1.36 a	10.82
T4	270.67±10.01 ab		8.09±0.90 c		23.90±3.96 a	
T5	261.15±12.92 a	-3.52	8.19±1.00 c	1.24	25.34±4.86 a	6.03

2.5 连作番茄苗期 PPO 活性与光合指标的相关性

经检验发现,根系 PPO 活性与叶绿素含量、叶片 PPO 活性呈正相关,相关系数分别为 0.524 和 0.346,且与叶绿素含量达到显著相关 ($P<0.05$)。根系 PPO 活性与叶片 PPO 活性呈正相关,这可能是因为连作诱导氧化酶系统开始起保卫作用,而叶片 PPO 参与叶绿素的合成过程,从而使叶绿素含量水平得到提高。而 *Tr*、*Ci* 和 *Pn* 与根系 PPO 活性呈负相关,其中与 *Tr* 的相关系数为-0.738**,达到极显著水平 ($P<0.01$),*Ci*、*Pn* 的相关系数分别为-0.383 和-0.130,说明氧化酶系统对 CO₂ 的固

定和利用过程不起作用。

3 讨 论

放线菌种类繁多,代谢功能各异,是一类有着广泛用途的微生物资源,近年来,放线菌剂已经被用来应对土传病害和促生生理研究^[14-17],对放线菌的植病生防作用的研究较深入,但这些研究多集中于实验室培养皿抑菌试验。本试验尝试将对多种园艺作物具有促生作用的放线菌剂用于大田连作土壤,探讨了其对连作番茄植株生物量、光合性能及 PPO 活性的影响。

3.1 生物量

在本研究未施菌的各处理中,随连作年限的延长,整株干鲜质量比逐渐降低。本试验表明,各施菌处理均能促进番茄苗期植株的生长和生物量的提高,说明放线菌剂对非连作和连作番茄均有促生作用,地下、地上鲜质量比值提高说明放线菌剂在一定程度上可以缓解番茄根系的自毒作用,促进植株的营养生长,提高植株干物质的积累,且在苗期与连作4年的土壤结合促生作用最为明显。根系的增长预示着番茄对养分、水分的吸收功能大幅度增强,这一效应必将对番茄的产量和品质产生重要影响。

3.2 光合性能

连作严重影响叶片的光合性能,使叶片胞间 CO_2 浓度水平、蒸腾速率和净光合速率随连作年限的增加逐渐降低^[18]。本试验表明,叶绿素含量和净光合速率在 T3 处理(连作4年的番茄土壤与放线菌剂结合)中菌剂效应最高,而胞间 CO_2 浓度水平和蒸腾速率在非连作土壤中的菌剂效应较为明显。

3.3 PPO 活性及其与光合指标之间的相关性

PPO 广泛存在于植物中,可促进酚类物质氧化,形成咖啡酸、绿原酸等抗病物质,还可将根皮苷配基氧化形成毒性更强的化合物,杀死病原菌^[19]。本试验表明,土壤中施用放线菌剂均可增大番茄苗期叶片和根系的 PPO 活性,其中根系 PPO 活性的菌剂效应在非连作土壤中表现最为显著。放线菌剂施入土壤后,直接作用于根系环境,诱导根系 PPO 活性发生变化,间接作用于地上部叶片。本试验结果表明,在连作番茄土壤中施用放线菌剂能增加番茄的叶长和叶宽、促进其根系的生长,即促进碳水化合物库源的生长,提高 PPO 活性,从而增加叶绿素含量,使叶片胞间 CO_2 浓度在非连作番茄中提高了 3.48%。在连作番茄中,根系 PPO 活性与叶片 PPO 活性和叶绿素含量呈正相关,与叶片胞间 CO_2 浓度、蒸腾速率和净光合速率呈负相关,说明 PPO 作为一种氧化还原酶在叶绿素的合成过程中发挥作用,调节叶绿体中有害的光氧化反应速度,参与其中的电子传递,促进根系的生长^[9]。这可能是 PPO 在由 IAA 控制的一些反应过程中起作用的结果。PPO 定位于成熟叶绿体的类囊体上,而且是一种氧化还原酶,因此它可能在叶绿体的能量转移方面起作用,从而增加叶绿素含量^[20],本试验结果进一步证实了这一推论,而 PPO 在 CO_2 的固定及利用过程中未发挥作用。

4 结 论

(1)施用放线菌剂可促进连作番茄植株生长和生物量的增长,促进根系和地上部库源的生长,尤以对连作4年番茄植株的促生作用显著。

(2)放线菌剂可以增强非连作和连作番茄苗期根系和叶片的 PPO 活性。

(3)放线菌剂提高了番茄叶片的净光合速率,且以连作4年处理的效果最为显著,而对 CO_2 的固定和利用过程没有作用。

[参考文献]

- [1] 郑爱萍,李 平.微生物生物防治存在的问题及发展方向[J].中国农学通报,2000,16(6):28-30.
Zheng A P, Li P. Microbial biological control problems and development direction [J]. Chinese Agriculture Science Bulletin, 2000, 16(6): 28-30. (in Chinese)
- [2] 阮继生,刘志恒,梁丽糯,等.放线菌研究与应用[M].北京:科学出版社,1990.
Ruan J S, Liu Z H, Liang L N, et al. The research and application of actinomycetes [M]. Beijing: Science Press, 1990. (in Chinese)
- [3] 姜 钰,董怀玉,徐秀德,等.放线菌在植物病害防治中的研究进展[J].杂粮作物,2005,25(5):329-331.
Jiang Y, Dong H Y, Xu X D, et al. Progress on the research of actinomycetes in biocontrol of plant disease [J]. Rain Fed Crop, 2005, 25(5): 329-331. (in Chinese)
- [4] 陈 秦,薛泉宏,申光辉,等.放线菌对棉花幼苗生长及抗旱能力的影响[J].西北农业学报,2010,19(8):84-89.
Chen Q, Xue Q H, Shen G H, et al. Effect of actinomycetes seed coating agent on cotton growth and drought resistance [J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2010, 19(8): 84-89. (in Chinese)
- [5] 孙敬祖,薛泉宏,唐 明,等.放线菌制剂对连作草莓根区微生物区系的影响及其防病促生作用[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2009,37(12):153-158.
Sun J Z, Xue Q H, Tang M, et al. Study on the effect of actinomycetes on microflora of replanted strawberry's root domain and the bio-control effectiveness [J]. Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition, 2009, 37(12): 153-158. (in Chinese)
- [6] Vaughn K C, Lax A R, Duke S O, et al. Polyphenol oxidase: The chloroplast oxidase with no established function [J]. Physiol Plant, 1988, 72: 659-665.
- [7] Trebst A, Dep K B. Polyphenol oxidase and photosynthesis research [J]. Photosynthesis Research, 1995, 46: 414-432.
- [8] 段春梅,薛泉宏,赵 娟,等.放线菌剂对黄瓜幼苗生长及叶片 PPO 活性的影响[J].西北农业学报,2010,19(9):48-54.
Duan C M, Xue Q H, Zhao J, et al. Effects of antimicrobial actinomycetes on growth and PPO activity in cucumber [J]. Acta

Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica,2010,19(9):48-54. (in Chinese)

[9] 陈 秦,薛泉宏,申光辉,等.放线菌制剂对番茄 PPO 活性及生物量的影响 [J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2010,38(3):184-188.

Chen Q,Xue Q H,Shen G H,et al. Effect of bio-control actinomyces agent on growth and PPO activity of tomato [J]. Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition,2010,38(3):184-188. (in Chinese)

[10] 许英俊,薛泉宏,邢胜利,等.3 株放线菌对草莓的促生作用及对 PPO 活性的影响 [J]. 西北农业学报,2008,17(1):129-136.

Xu Y J,Xue Q H,Xing S L,et al. The growth promoting effect and induced endurance of three actinomyces strains to strawberry [J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica,2008,17(1):129-136. (in Chinese)

[11] Liu Y G,Li H Y,Yang Q K. Study on the relationship between resistance of soybean infected by *Cercospora sojina* Hara [J]. Soybean Science,2002,21(3):195-198.

[12] Scheneider S,Ullrich W. Induction of resistance and enhanced enzyme activities in cucumber and tobacco caused by treatment with various abiotic and biotic inducers [J]. Physiol Mol Plant Pathol,1994,45:291-304.

[13] 高俊凤.植物生理学实验技术 [M]. 西安:世界图书出版社,2000:101-102,203-204.

Gao J F. Plant physiology experiment technology [M]. Xi'an: World Public House,2000:101-102,203-204. (in Chinese)

[14] 庄敬华,高增贵,刘 限,等. 营养元素对木霉菌防治甜瓜枯萎病效果的影响 [J]. 植物保护学报,2004,31(4):359-364.

Zhuang J H,Gao Z G,Liu X,et al. Effect of nutrition element-son biocontrol efficiency of *Trichoderma* against melon wilt [J]. Acta Phytophylacica Sinica,2004,31(4):359-364. (in Chinese)

[15] Suarez E F,Vargas G C,Lopez M J,et al. Antagonistic activi-ty of bacteria and fungi from horticultural compost against *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis* [J]. Crop Protection,2007,26(1):46-53.

[16] Freeman S,Zveibil A,Vintal H,et al. Isolation of nonpathogenic mutants of *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis* for biological control of *Fusarium* wilt in cucurbits [J]. Phytopathology,2002,92(2):164-168.

[17] 梁亚萍,宗兆锋,马 强.6 株野生植物内生放线菌防病促生作用的初步研究 [J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2007,35(7):131-136.

Liang Y P,Zong Z F,Ma Q. Inhibiting and promoting effec-tion on plants of six strains endophytic actinomycetes isolated from wild plants [J]. Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition,2007,35(7):131-136. (in Chinese)

[18] 刘 德,吴风芝,栾非时. 不同连作年限土壤对大棚黄瓜根系活力及光合速率的影响 [J]. 东北农业大学学报,1998,29(3):219-223.

Liu D,Wu F Z,Luan F S. Effects of the continuous cropping soil on the roots activity and the photosynthesis rate of the plastic greenhouse cucumbers [J]. Journal of Northeast Agri-cultural University,1998,29(3):219-223. (in Chinese)

[19] 秦国政,田世平,刘海波,等. 拮抗菌与病原菌处理对采后桃果实多酚氧化酶、过氧化物酶及苯丙氨酸解氨酶的诱导 [J]. 中国农业科学,2003,36(1):89-93.

Qin G Z,Tian S P,Liu H B,et al. Polyphenol oxidase,peroxi-dase and phenylalanine ammoniumlyase in post harvest peach fruits induced by inoculation with pichia membrane faciens or rhizopus stolonifer [J]. Scientia Agricultura Sinica,2003,36(1):89-93. (in Chinese)

[20] 谢春艳,宾金华,陈兆平,等. 多酚氧化酶及其生理功能 [J]. 生物学通报,1999,34(6):11-13.

Xie C Y,Bin J H,Chen Z P,et al. Polyphenol oxidase and its physiological function [J]. Bulletin of Biology,1999,34(6):11-13. (in Chinese)