

一株草莓连作自毒障碍主要物质苯甲酸降解细菌的筛选及其降解效果研究

刘紫英¹, 黄磊², 袁斌³, 刘小林^{3*}, 徐胜光⁴, 黄涛³

(1. 宜春学院 化学与生物工程学院, 江西 宜春 336000; 2. 宜春第九中学, 江西 宜春 336000; 3. 宜春学院 生命科学与资源环境学院, 江西 宜春 336000; 4. 昆明学院 云南省都市特色农业工程技术研究中心, 云南 昆明 650214)

摘要: 草莓连作障碍的主要原因是根系产生的自毒作用, 苯甲酸是草莓连作障碍的主要自毒物质之一。为减少苯甲酸对草莓的危害, 选用苯甲酸为唯一碳源的选择培养基, 逐步提高苯甲酸浓度, 以期筛选出草莓根际中降解苯甲酸的细菌, 并通过紫外可见分光光度法测定其对苯甲酸的降解能力。随后, 对筛选出的有效降解菌与 3 株草莓根腐病菌进行拮抗试验, 同时对其显微形态特征和 16S rDNA 基因序列进行分析与分子鉴定。筛选出的菌株 L501 对苯甲酸的降解率为 87.5%, 表明其能有效减轻苯甲酸的自毒作用, 同时 L501 对草莓根腐病菌有较强的拮抗作用。经鉴定, 菌株 L501 为枯草芽孢杆菌 *Bacillus subtilis*, 具有解毒抗菌双重功能。

关键词: 草莓; 自毒作用; 连作障碍; 降解细菌; 苯甲酸

中图分类号: S668.4

文献标志码: A

文章编号: 1004-1524(2018)10-1699-06

Study on screening degrading bacteria and its degradation effect on benzoic acid of autotoxic compounds in strawberry cropping obstacle

LIU Ziyi¹, HUANG Lei², YUAN Bin³, LIU Xiaolin^{3*}, XU Shengguang⁴, HUANG Tao³

(1. College of Chemistry and Bioengineering, Yichun University, Yichun 336000, China; 2. Yichun Ninth Middle School, Yichun 336000, China; 3. College of Life Science and Resources Environment, Yichun University, Yichun 336000, China; 4. Yunnan Urban Agricultural Engineering and Technological Research Center, Kunming University, Kunming 650214, China)

Abstract: The main reasons of the barrier of strawberry planting were the autotoxic compounds from the soil of strawberry. In order to effectively reduce the harm of the autotoxicity of strawberry, the study was aimed to screen the bacteria with the capacity of degrading benzoic acid. The strains were isolated by using benzoic acid as the sole carbon source and gradually increasing benzoic acid to screen degrading bacteria of strawberry autotoxic compounds. The domestication method was adopted by the ultraviolet spectrophotometry. Antagonistic effects of the effective degradation strain on three strawberry root rot strains were determined. The bacteria were identified by the microbiology characteristics and the sequence analysis of 16S rDNA gene. The degradation rate was 87.5%, which indicated the strain L501 has high efficiency degradation to benzoic acid. Meanwhile, the strain L501 showed strong antagonistic effects against all tested three fungi of strawberry root rot. The strain L501 was identified as *Bacillus subtilis*, which had

收稿日期: 2018-01-07

基金项目: 国家自然科学基金(31660603)

作者简介: 刘紫英(1979—), 女, 江西万年人, 硕士, 副教授, 研究方向为植物病理学。E-mail: yingziliu2008@163.com

* 通信作者, 刘小林, E-mail: 13507058860@163.com

double function of degradation benzoic acid and antagonistic.

Key words: strawberry; autotoxicity; cropping obstacle; degrading bacteria; benzoic acid

当前制约我国草莓规模化生产的主要原因之一依然为连作障碍^[1],而连作障碍的主要原因是草莓自毒作用。草莓自毒引起土壤养分失衡和土壤微生物区系失调,同时根系分泌物中积累了大量有毒物质^[2],因此研究根系自毒物质对栽培作物产量的影响是当今研究的有效途径^[3]。草莓根系分泌物中有一些化感物质具有自毒作用^[4],而苯甲酸在化感物质中含量很高,毒性较强^[5]。草莓根系自毒物质的加速降解或活性降低,会有助于控制草莓连作障碍的发生,筛选和开发微生物修复剂是解决作物连作障碍的热点^[6]。有研究表明,*Erwinea herbicola*^[7]、*Microbacterium hydrocarbonoxydans*^[8]、*Eubacterium oxidoreducens*^[9]、*Ochrobactrum* sp.^[10]等菌株可有效降解细菌。本研究筛选苯甲酸高效降解菌株,同时检测其与草莓根腐病原的拮抗性,筛选到解毒抗菌双重功能的菌株;探讨利用细菌降解草莓自毒物质的可行性,为草莓连作障碍的防治提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试草莓的品种为威州草莓。

供筛选降解菌株的土样:于2016年11月28日取自江西省宜春市袁州区宜春学院正大门前方两个草莓种植大棚,其中连作10年和3年的草莓种植大棚均采用五点取样法,每点取3个样品,各取15份10~15 cm土样。

F403尖孢镰刀菌 *Fusarium. oxysporum*(序列号 MG515306)、F405腐皮镰孢 *Fusarium solani*(序列号 MG515307)、F407黄色镰孢 *Fusarium culmorum*(序列号 MG515308)均为草莓根腐病病原,系宜春学院微生物实验室保存的菌株。

1.2 主要试剂和仪器设备

供试苯甲酸分析纯(天津永大化学试剂有限公司出产)。Ezup柱式细菌基因组DNA抽提试剂盒、2×EasyTaq PCR SuperMix、Marker 2000 ladder、16S rDNA扩增引物(27F: 5'-ATTCCGGTTGATC-

CTGC-3', 1541R: 5'-AGGAGGTGATCCAGCCGCA-3')均购自生工生物工程有限公司。

PH100-DB00U-IPL数码显微镜,江西凤凰光学集团有限公司;TGL-46G台式高速离心机,上海安亭科学仪器厂;752N紫外可见分光光度计,上海佑科仪器仪表有限公司;T100梯度PCR仪,Bio-Rad。

1.3 培养基

改良无机盐培养基: $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 2 g·L⁻¹, Na_2HPO_4 1.3 g·L⁻¹, KH_2PO_4 2 g·L⁻¹, 苯甲酸 100~2 000 mg·L⁻¹, NaCl 5 g·L⁻¹,余量为蒸馏水;pH为7.2。

1.4 降解菌株的富集和分离

采用富集培养的驯化方法,将连作10年草莓种植大棚地(L1、L2、L3、L4、L5)和连作3年草莓种植大棚地(R1、R2、R3、R4、R5)随机取样10 g后接种入苯甲酸作为唯一碳源的基础无机盐液体培养基中。浓度梯度:L1和R1为100 mg·L⁻¹、L2和R2为200 mg·L⁻¹、L3和R3为300 mg·L⁻¹、L4和R4为400 mg·L⁻¹、L5和R5为500 mg·L⁻¹,两个对照组不接入土样。在前期进行预实验筛选后,设定140 r·min⁻¹、37℃摇床振荡培养7 d,然后将平板涂布于固体培养基,培养皿于37℃培养72 h,然后挑取单个菌落,进行纯化培养。

1.5 降解菌株的筛选与鉴定

1.5.1 初筛

平板涂布之后,观察固体培养基菌落生长情况,将长势较好的固体培养基菌落进行单菌落挑选实验,每株菌重复3次,将筛选纯化培养得到的菌株分别进行编号(L101、L102、……L501、L502、L503; R101、R102、R103……R501、R502、R503)。

1.5.2 复筛

将初筛获得的降解菌株移接到三角瓶液体培养基中,培养基含 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 2 g·L⁻¹, Na_2HPO_4 1.3 g·L⁻¹, KH_2PO_4 2 g·L⁻¹, 苯甲酸 100~2 000 mg·L⁻¹, NaCl 5 g·L⁻¹,余量为蒸馏水;其苯甲酸浓度为1 000 mg·L⁻¹,接种初筛降解菌(1×10^7 cfu·mL⁻¹,加上菌液浓度)量为每瓶1 mL,对

照为 1 mL 无菌水,设定 $140 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 、 37°C 摇床振荡培养 7 d,观察其生长情况,检测苯甲酸残留量。

1.6 降解菌株对苯甲酸的降解测定

1.6.1 苯甲酸标准曲线的测定

取苯甲酸标准液 0、1.00、2.00、4.00、6.00、8.00、10.00 mL,分别加入到 100 mL 容量瓶中,加少量蒸馏水摇匀,然后用蒸馏水定容,以零管作参照对比,用石英比色杯在波长 230 nm 下分别测定其吸光度(D_{230}),以吸光度(D_{230})为纵坐标,横坐标为苯甲酸标准液的浓度,绘制标准曲线。

1.6.2 样品中苯甲酸残留量的测定

在液体培养基振荡培养 7 d 的过程中,期间每隔 24 h,取出 5 mL 培养液加入到 10 mL 无菌离心管中 $8000 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 25°C 离心 8 min 后过滤($0.22 \mu\text{m}$),去掉菌体即为待测液。选用紫外可见分光光度法,用石英比色杯装待测液在波长 230 nm 下测定其吸光度(D_{230}),根据吸光度(D_{230})和苯甲酸标准曲线计算样品中苯甲酸的残留含量。

1.7 降解菌对草莓根腐病的皿内拮抗作用

将复筛获得效果最好的降解菌在 LB 培养液中振荡培养 $140 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 48 h 后以 $10000 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 速度离心 5 min $0.2 \mu\text{m}$ 滤膜过滤得上清液备用。

F403 尖孢镰刀菌(*Fusarium oxysporum*)、F405 腐皮镰孢(*Fusarium solani*)和 F407 黄色镰孢(*Fusarium culmorum*)接种于 PDA 斜面 28°C 培养 5 d,加入无菌水,刮下孢子混匀成孢子悬浮液($1 \times 10^7 \text{ mL}^{-1}$)。将悬浮液加入 100 mL 融化冷却至 45°C 左右的 PDA 培养基中,摇匀后制成含根腐病原菌的 PDA 平板。

凝固后在含病原菌 PDA 平板中间用无菌打孔器打孔,并取已过滤的降解菌 L501 100 μL , 28°C 培养 5 d,十字交叉法测量抑菌圈直径。

1.8 降解菌的鉴定

对最佳降解菌株 L501 进行形态学和革兰氏染色的微观形态观察,并测定其 16S rDNA 序列,选用通用引物进行 PCR 扩增,由生工生物工程公司进行测序分析。将测序结果提交 NCBI 网站的 GenBank,采用 BLAST 比对,并用 MEGA6.0 软件

构建菌株系统发育树, NJ 算法,自展次数设定为 1000;结合《常见细菌鉴定手册》鉴定菌株 L501^[11]。

2 结果与分析

2.1 降解菌株的筛选及对苯甲酸的降解率

由苯甲酸标准曲线得吸光度与苯甲酸浓度关系为: $y = 0.0058x + 0.0069$, $R^2 = 0.9991$ (图 1)。由表 1 可以看出,分离纯化出的 67 株菌株中有 9 株对苯甲酸均具有降解能力,分别为 L203、L302、L403、L501、L502、R401、R402、R403、R503,其降解率在 168 h 时分别为 13.3%、17.1%、43.2%、87.5%、40.8%、49.5%、46.1%、57.3%、42.7%,其中 L501 最高,为 87.5%。

经过 7 d 的培养,9 株降解菌对苯甲酸的降解率为 13.3%~87.5%,说明从草莓根部土壤分离筛选出的菌株对苯甲酸具备有效降解能力。复筛结果表明, L501 降解苯甲酸的能力最强,因而以 L501 做拮抗实验和鉴定。

2.2 降解菌对草莓根腐病的皿内拮抗作用

降解菌株 L501 的发酵液表现拮抗活性,结果如表 2。其中,对 F405 腐皮镰孢 *Fusarium solani* 菌株的生长具有很强的抑制作用,拮抗圈直径达 15.0 mm,对 F403 尖孢镰刀菌 *Fusarium oxysporum* 拮抗直径为 14.5 mm;降解菌株 L501 对草莓根腐病菌 F407 黄色镰孢 *Fusarium culmorum* 拮抗直径为 11.0 mm;且透明度都很好。综上,降解菌株 L501 对草莓根腐病有较好的抑制作用。

2.3 降解菌株 L501 的鉴定

L501 在 168 h 时对苯甲酸的降解率达到最高,降解率为 87.5%。形态学观察表明,降解菌菌落为乳白色,近圆形,边缘光滑湿润,稍具小齿,

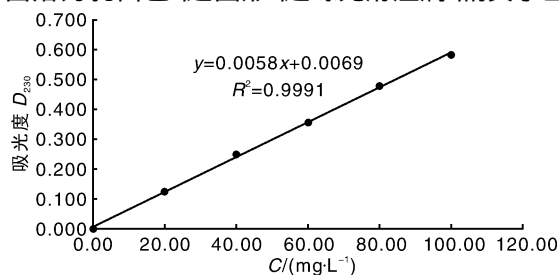


图1 苯甲酸标准曲线

Fig.1 Standard curve of benzoic acid

表 1 九株降解细菌对苯甲酸降解率及苯甲酸的残留量

Table 1 Degradation rate of benzoic acid by 9 strains of degrading bacteria and residual benzoic acid

降解菌编号 Number	指标 Score	降解时间 Degrading time/h						
		24	48	72	96	120	144	168
L501	残留量 Residual content/(mg·L ⁻¹)	375.9	256.0	247.0	206.5	170.5	118.0	62.5
	降解率 Degrading rate/%	24.8	48.8	50.6	58.7	65.9	76.4	87.5
L502	残留量 Residual content/(mg·L ⁻¹)	382.1	315.9	298.6	295.8	237.5	207.9	160.9
	降解率 Degrading rate/%	23.6	36.8	40.3	40.8	52.5	58.4	67.8
R403	残留量 Residual content/(mg·L ⁻¹)	287.6	265.3	190.7	183.6	179.3	175.2	170.8
	降解率 Degrading rate/%	28.1	33.7	52.3	54.1	55.2	56.2	57.3
R401	残留量 Residual content/(mg·L ⁻¹)	267.4	249.8	208.3	205.7	203.6	202.6	201.9
	降解率 Degrading rate/%	33.2	37.6	47.9	48.6	49.1	49.4	49.5
R402	残留量 Residual content/(mg·L ⁻¹)	281.9	256.3	219.5	218.9	217.3	216.8	215.6
	降解率 Degrading rate/%	29.5	35.9	45.1	45.3	45.7	45.8	46.1
L403	残留量 Residual content/(mg·L ⁻¹)	297.2	261.8	235.1	230.6	228.3	227.6	227.3
	降解率 Degrading rate/%	25.7	34.6	41.2	42.4	42.9	43.1	43.2
R503	残留量 Residual content/(mg·L ⁻¹)	388.7	357.1	303.8	297.5	294.1	287.9	286.7
	降解率 Degrading rate/%	22.3	28.6	39.2	40.5	41.2	42.4	42.7
L302	残留量 Residual content/(mg·L ⁻¹)	268.1	256.3	253.9	251.7	250.1	249.4	248.7
	降解率 Degrading rate/%	10.6	14.7	15.4	16.1	16.6	16.9	17.1
L203	残留量 Residual content/(mg·L ⁻¹)	186.2	181.6	179.5	177.3	176.5	174.8	173.4
	降解率 Degrading rate/%	6.9	9.2	10.3	11.4	11.8	12.6	13.3

表 2 L501 对 3 种草莓根腐病原菌的拮抗圈直径

Table 2 Diameters of the inhibitory zones of strain L501 against three strawberry root rot

降解菌 Degrading bacteria	草莓根腐病原菌 Pathogenic fungi of strawberry root rot	拮抗圈直径 Diameters of the inhibitory zones/mm	透明度 Transparency
L501	F405 <i>Fusarium solani</i>	15.0	+++
L501	F403 <i>Fusarium oxysporum</i>	14.5	+++
L501	F407 <i>Fusarium culmorum</i>	11.0	+++

齿,表面皱褶,中部隆起。光学显微镜下可以观察到菌株为革兰氏阳性菌,为短杆菌;芽孢中生,稍膨大(图 2)。

分子鉴定菌株 L501 的 16S rDNA 序列长度为 1 456 bp,提交 GenBank,获得序列号为 MG519283,用 NCBI 网站中 BLAST 程序进行 L501

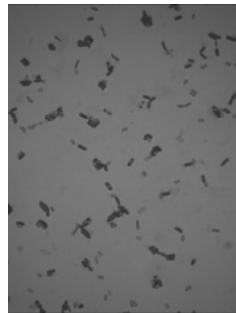


图 2 菌株 L501 显微特征(1 000 ×)

Fig. 2 Morphological characters of the strain L501 (1 000 ×)

的序列与其相似性极高的序列比较分析,与降解菌 L501 的 16S rDNA 序列同源性在 99% 以上的菌株均为 *Bacillus subtilis*,初步将此菌株归为芽孢杆菌属,选 GenBank 中与 L501 菌株相似性较高的 5 个菌株构建系统进化树,结果如图 3 所示。综上,依据 16S rDNA 序列相似性分析,结合菌株 L501 形态结构观察,对照《常见细菌鉴定手册》,鉴定菌株 L501 为枯草芽孢杆菌 *Bacillus subtilis*。

3 结论与讨论

研究表明,对草莓连作自毒作用的降解菌多为放线菌,如解灵军等^[12]报道的对羟基苯甲酸降解菌菌株 B3512 和毛宁等^[13]报道的淡紫褐链霉菌、*Streptomyces* sp.。研究显示,降解菌制成的放线菌制剂能有效减轻草莓连作的自毒作用。孙敬祖等^[14]研究表明,放线菌可以定殖在草莓根

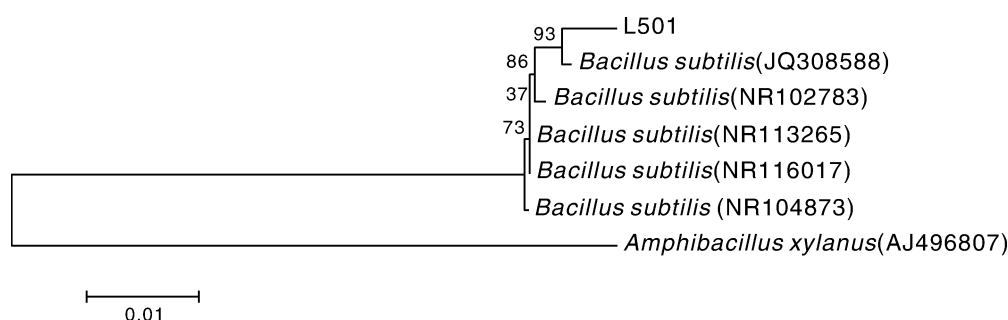


图3 菌株 L501 的 16S rDNA 序列构建系统发育树

Fig.3 Phylogenetic tree of the stain L501 based on 16S rDNA sequence

表并在草莓连作障碍修复中起到防病促生作用。

关于细菌对作物连作自毒作用的降解作用研究也有些报道。方艳芬等^[15]研究表明,对苯甲酸的降解效果较好的细菌有假单胞菌、不动杆菌及产碱杆菌属。而细菌作为草莓连作自毒作用的降解菌却鲜见报道。何志刚等^[16-17]通过研究表明,枯草芽孢杆菌作为花生和番茄自毒物质降解菌,对肉桂酸、对羟基苯甲酸、苯甲酸和水杨酸都有较强的降解力,同时,它具有较强的拮抗能力,对根腐菌和 *Aspergillus flavus* 有拮抗作用,这是一种有潜力的生物防治菌。研究显示,枯草芽孢杆菌是得到国内外学者青睐的一种生防细菌,并已开发成相关生防试剂投放到市场^[18]。枯草芽孢杆菌作为生防菌能够抑制草莓根腐病菌尖孢镰刀菌和草莓枯萎病菌^[19-20]。

本研究表明,筛选得到一菌株 L501 枯草芽孢杆菌 *Bacillus subtilis*,而且其对草莓根系分泌物中的主要有害化感物质——苯甲酸有较强的降解作用,并能够有效拮抗草莓根腐病菌。L501 枯草芽孢杆菌系草莓根泌自毒物质苯甲酸的降解菌,具有成为草莓根腐病的生防菌潜力,可用于修复草莓重茬。本研究仅探索该菌株对苯甲酸的降解能力,而其对混合酚酸类或其他自毒物质的降解能力以及在田间的实际修复效果,尚需进一步深入研究。

参考文献(References):

[1] SANDERSON M A, SKINNER R H, BARKER D J, et al. Plant species diversity and management of temperate forage and grazing land ecosystems[J]. *Crop Science* 2004 44(4):

1132-1144.

- [2] 肖蓉,邓舒,张春芬,等.连作草莓根际土壤特征及修复技术研究进展[J].中国农学通报,2014,30(19):81-85.
XIAO R, DENG S, ZHANG C F, et al. Review of characteristics and remediation techniques of rhizosphere soil of continuous cropped strawberry[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2014, 30(19): 81-85. (in Chinese with English abstract)
- [3] 甄文超,代丽,胡同乐,等.连作对草莓生长发育和根部病害发生的影响[J].河北农业大学学报,2004,27(5):68-71.
ZHEN W C, DAI L, HU T L, et al. Effect of continuous cropping on growth and root diseases of strawberry[J]. *Journal of Agricultural University of Hebei*, 2004, 27(5): 68-71. (in Chinese with English abstract)
- [4] 代丽,赵红梅,甄文超.草莓再植病害中的化感作用研究[J].科技导报,2006,24(6):52-54.
DAI L, ZHAO H M, ZHEN W C. Study of allelopathy in strawberry replanting disease[J]. *Science & Technology Review*, 2006, 24(6): 52-54. (in Chinese with English abstract)
- [5] 甄文超,王晓燕,孔俊英,等.草莓根系分泌物和腐解物中酚酸类物质的检测及其化感作用[J].河北农业大学学报,2004,27(4):74-79.
ZHEN W C, WANG X Y, KONG J Y, et al. Determination of phenolic acids in root exudates and decomposing products of strawberry and their allelopathy[J]. *Journal of Agricultural University of Hebei*, 2004, 27(4): 74-79. (in Chinese with English abstract)
- [6] 扈金丽,尹宝重,甄文超,等.防治草莓连作障碍的复合生防制剂的筛选[J].中国农学通报,2011,27(13):249-252.
HU J L, YIN B Z, ZHEN W C, et al. Selection of complex biological control agents to prevent replant diseases on strawberry[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2011, 27(13): 249-252. (in Chinese with English abstract)
- [7] CHATTERJEE A K, GIBBINS L N. Metabolism of phloridzin

- by *Erwinia herbicola*, nature of the degradation products, and the purification and properties of phloretin hydrolase [J]. *Journal of Bacteriology*, 1969, 100(2): 594–600.
- [8] 祁国振, 毛志泉, 胡秀娜, 等. 苹果根际自毒物质降解菌的筛选鉴定及降解特性研究[J]. *微生物学通报*, 2016, 43(2): 330–342.
- QI G Z, MAO Z Q, HU X N, et al. Isolation, identification and degradation characteristics of apple rhizosphere autotoxic compounds-degrading bacteria [J]. *Microbiology China*, 2016, 43(2): 330–342. (in Chinese with English abstract)
- [9] KRUMHOLZ L R, BRYANT M P. *Eubacterium oxidoreducens* sp. nov. requiring H₂ or formate to degrade gallate, pyrogallol, phloroglucinol and quercetin [J]. *Archives of Microbiology*, 1986, 144(1): 8–14.
- [10] 周围, 张欢欢, 曾小波, 等. 芳香族化合物降解菌 PM8 的分离鉴定及降解特性[J]. *湖北农业科学*, 2012, 51(9): 1775–1778.
- ZHOU W, ZHANG H H, ZENG X B, et al. Isolation, identification and characteristic of aromatic compounds degrading strain PM8. *Hubei Agricultural Sciences*, 2012, 51(9): 1775–1778. (in Chinese with English abstract)
- [11] 东秀珠, 蔡妙英. 常见细菌系统鉴定手册[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [12] 解灵军, 尹宝重, 高峰, 等. 草莓根系自毒物质降解菌的筛选及降解效果研究[J]. *河北农业大学学报*, 2009, 32(4): 76–78.
- XIE L J, YIN B Z, GAO F, et al. Screening of the degradation bacterium to strawberry root auto-toxic chemical and the effect of its degradation [J]. *Journal of Agricultural University of Hebei*, 2009, 32(4): 76–78. (in Chinese with English abstract)
- [13] 毛宁, 薛泉宏, 唐明. 2株放线菌对土壤中苯甲酸和对羟基苯甲酸的降解作用[J]. *西北农林科技大学学报*, 2010, 38(5): 143–148.
- MAO N, XUE Q H, TANG M. Biodegradation of benzoic acid and p-hydroxybenzoic acid in the strawberry planting soil by two strains of actinomycetes [J]. *Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition)*, 2010, 38(5): 143–148. (in Chinese with English abstract)
- [14] 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 with English abstract)
- [15] 方艳芬, 黄应平, 苏静, 等. 苯甲酸和苯胺的微生物降解研究[J]. *环境科学与技术*, 2008, 31(4): 68–71.
- FANG Y F, HUANG Y P, SU J, et al. Biodegradation of benzoic acid and aniline in waste water [J]. *Environmental Science & Technology*, 2008, 31(4): 68–71. (in Chinese with English abstract)
- [16] 何志刚, 汪仁, 王秀娟, 等. 花生自毒物质降解菌的筛选及其降解效果初步研究[J]. *中国农学通报*, 2014, 30(21): 224–227.
- HE Z G, WANG R, WANG X J, et al. Preliminary study of screening of peanut autotoxicity degrading microorganism and the degradation effect [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2014, 30(21): 224–227. (in Chinese with English abstract)
- [17] 何志刚, 姜春荣, 王秀娟, 等. 番茄自毒物质降解菌的筛选及其降解效果[J]. *江苏农业科学*, 2017, 45(5): 114–116.
- HE Z G, LOU C R, WANG X J, et al. Study of screening of tomato autotoxicity degrading microorganism and the degradation effect [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2017, 45(5): 114–116. (in Chinese)
- [18] 黄曦, 许兰兰, 黄荣韶, 等. 枯草芽孢杆菌在抑制植物病原菌中的研究进展[J]. *生物技术通报*, 2010(1): 24–28.
- HUANG X, XU L L, HUANG R S, et al. Research advance in controlling plant diseases by *Bacillus subtilis* [J]. *Biotechnology Bulletin*, 2010(1): 24–28. (in Chinese with English abstract)
- [19] 汪雪静, 卜春亚, 靳永胜, 等. 草莓根腐病菌拮抗细菌的分离与鉴定[J]. *园艺学报*, 2011, 38(9): 1657–1666.
- WANG X J, BU C Y, JIN Y S, et al. Identification and inhibitory effects of antagonistic bacteria against strawberry root rot (*Fusarium oxysporum*) [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2011, 38(9): 1657–1666. (in Chinese with English abstract)
- [20] 李德全, 钱亚明, 周鸣鸣, 等. 海洋细菌 NH-8 防治草莓灰霉病理及其抗菌物质分析[J]. *植物保护学报*, 2016, 43(2): 215–221.
- LI D Q, QIAN Y M, ZHOU M M, et al. The mechanism of biological control of strawberry gray mould using the marine bacterial NH-8 strain and analysis of the antifungal from the strain [J]. *Acta Phytologica Sinica*, 2016, 43(2): 215–221. (in Chinese with English abstract)

(责任编辑 张 韵)