

2 株放线菌对土壤中苯甲酸和对羟基苯甲酸的降解作用

毛 宁^a, 薛泉宏^a, 唐 明^b

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

【摘 要】 【目的】研究 2 株放线菌对土壤中草莓根泌自毒物质苯甲酸和对羟基苯甲酸的降解效果。【方法】以 2 株对草莓有促生作用的放线菌 Act11 和 Act12 为材料, 将其接种于含有定量苯甲酸和对羟基苯甲酸的土壤中, 模拟自然条件下培养, 定期测定其对土壤中苯甲酸和对羟基苯甲酸的降解量和相对降解率。【结果】①供试放线菌在模拟田间条件下对土壤中苯甲酸和对羟基苯甲酸有较强的降解能力。培养 150 d 后, Act11 和 Act12 对苯甲酸的降解量分别达到 700~888 和 747~867 mg/kg, 对对羟基苯甲酸的降解量分别达到 94~218 和 117~118 mg/kg。②在土壤中加入有机质对 2 种酚酸相对降解率的影响不同, 其中有机质对苯甲酸的相对降解率无显著影响; 但 Act11 在培养 15, 60, 150 d 及 Act12 在培养 60 d 时, 加入有机质能显著提高对羟基苯甲酸的相对降解率。③所有接菌土壤中, 苯甲酸与对羟基苯甲酸平均降解速度较 CK 均有所提高。【结论】供试放线菌对土壤中的苯甲酸和对羟基苯甲酸有较强的降解能力, 加入有机质对对羟基苯甲酸的降解有明显促进作用。

【关键词】 放线菌; 草莓; 苯甲酸; 对羟基苯甲酸; 微生物降解; 化感作用; 自毒物质

【中图分类号】 S131⁺.1; S154.38⁺3

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2010)05-0143-06

Biodegradation of benzoic acid and p-hydroxybenzoic acid in the strawberry planting soil by two strains of actinomycetes

MAO Ning^a, XUE Quan-hong^a, TANG Ming^b

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

Abstract: 【Objective】 Benzoic acid and p-hydroxybenzoic acid are the two main autotoxins produced by strawberry in soil. The experiment was to study the degradation effect on the two acids by two strains of actinomycetes. 【Method】 Two strains of actinomycetes, Act11 and Act12, which can promote the growth of strawberries, were taken as study materials. Certain amounts of actinomycetes were inoculated into the soil which contained benzoic acid and p-hydroxybenzoic acid. The relative degradation rates of the two acids by the actinomycetes were measured regularly after 15 days' incubation under field conditions. 【Result】 ① Both the two actinomycetes had a high ability to degrade benzoic acid and p-hydroxybenzoic acid in soil under field conditions. After 150 days' incubation, the degradation amounts of benzoic acid by Act11 and Act12 were in the range of 700—888 mg/kg and 747—867 mg/kg, respectively. Correspondingly, 94—218 mg/kg of p-hydroxybenzoic acid was degraded by Act11 and 117—118 mg/kg by Act12. ② The effects of organic matter on the degradation rate of the two phenolic acids were different. There was no significant influence on the relative degradation rates of benzoic acid, while the relative degradation rates of p-hydroxybenzoic acid sig-

* [收稿日期] 2009-11-24

[基金项目] 国家自然科学基金重点项目(30630054)

[作者简介] 毛 宁(1984—), 男, 甘肃庆阳人, 在读硕士, 主要从事微生物资源研究。E-mail: mn3803@163.com

[通信作者] 薛泉宏(1957—), 男, 陕西白水人, 教授, 博士生导师, 主要从事微生物资源利用研究。

E-mail: xuequanhong@163.com

nificantly increased in the Act11 treatment of the 15th, 60th, 150th day and in the Act12 treatment of the 60th day ($P < 0.05$). ③ Both the average degradation velocities of benzoic acid and p-hydroxybenzoic acid in the inoculated treatment were higher than those in CK treatment. 【Conclusion】 Both actinomyces are able to degrade benzoic acid and p-hydroxybenzoic acid in soil. Organic matter added into the soil can increase the degradation rate of p-hydroxybenzoic acid.

Key words: actinomyces; strawberry; benzoic acid; p-hydroxybenzoic acid; microbial degradation; allelopathy; autotoxins

连作草莓植株生长不良、根部病害加重、产量和品质严重下降的现象被称之为“连作障碍”^[1-2]。连作障碍严重制约着草莓生产^[3]。草莓连作障碍发生的原因主要有 2 种:一是连作导致病原菌在草莓根区土壤中累积,二是草莓根泌自毒物质的化感抑制作用^[4-7]。目前,对于草莓根区土壤病原菌的生物控制已有一定研究,如接种放线菌活菌制剂可以抑制草莓根区土壤中草莓疫霉等病原真菌生长,刺激草莓根系发育,提高草莓叶片中的诱导酶活性,促进草莓生长^[8-9]。但对于草莓根泌自毒物质的研究进展较慢,仅确定了草莓根泌自毒物质的种类和毒害作用。研究发现,草莓根系分泌物和腐解物中存在苯甲酸、对羟基苯甲酸等多种酚酸类物质^[10],其中对羟基苯甲酸和苯甲酸是抑制草莓生长的主要自毒物质,对草莓根系生长有明显的抑制作用^[11],但目前尚未找到消除草莓根泌自毒物质的有效方法。如果能从草莓连作障碍的生防放线菌中筛选到对草莓根泌自毒物质有降解作用的放线菌,则能在抑制病原菌的同时消除草莓根泌自毒物质,解除化感抑制作用,而这方面的研究还鲜有报道。本研究以前期试验筛选到的 2 株对草莓有防病促生作用的放线菌 Act11 和 Act12 为材料^[8],研究供试放线菌在模拟田间条件下对土壤中苯甲酸和对羟基苯甲酸的降解效果,旨在探索生防放线菌降解草莓根泌自毒物质的可行性,以期对草莓连作障碍多功能放线菌修复剂研制提供科学依据及高效菌株。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 供试菌株 供试菌株编号为 Act11 和 Act12,由西北农林科技大学资源环境学院微生物资源实验室,从青藏高原分离的 5 000 余株拮抗性放线菌中采用皿内拮抗和生物试验筛选得到,均对草莓连作土传病害病原菌有明显抑制作用,并对草莓生长和保护性酶活性的提高有促进作用^[8]。供试菌 Act11、Act12 经 16S rRNA 序列测定,分别为肉质

链霉菌 (*Streptomyces carnosus*) 和密旋链霉菌 (*Streptomyces pactum*)。试验所用菌剂为固态发酵产物,粉状,活菌含量为 2×10^{10} CFU/g。

1.1.2 供试基质 试验基质有 2 种:A. 纯土壤;B. 土壤+有机质。供试土壤为草莓盆栽试验收获后的盆栽土,风干、粉碎过筛后备用;有机肥成分为自然发酵油渣,晒干粉碎备用。纯土壤处理:每盆装土 1 kg;土壤+有机质处理:将土壤与油渣粉按 $m(\text{土壤}):m(\text{油渣粉})=9:1$ 充分混匀后装盆,每盆 1 kg。

1.1.3 供试试剂 供试苯甲酸和对羟基苯甲酸均为分析纯,国药集团有限公司生产。

1.2 试验方案

试验于 2008-10-15—2009-03-15 在陕西杨凌柳林制药厂院内进行。

1.2.1 接种处理 对 2 种供试基质进行以下处理:CK 接入湿热灭活菌剂;接菌处理接入 Act11 或 Act12 活菌剂,接种量均为 3 g/盆。

1.2.2 苯甲酸降解试验 按 2 g/kg 用量,在经 1.2.1 处理的基质中加入苯甲酸溶液,混匀,装入小塑料盆中,使土壤保持疏松和适当湿度,置于室外小拱棚中,待土壤干燥时定量浇水、松土,按盆栽试验管理。每小盆处理重复 3 次,定期混匀采样,测定土壤中苯甲酸残留量,计算相对降解率。

1.2.3 对羟基苯甲酸降解试验 对羟基苯甲酸降解试验方案同苯甲酸。

1.3 测定项目及方法^[12]

1.3.1 苯甲酸标准曲线的绘制 分别取苯甲酸标准液 0.00, 1.00, 2.00, 4.00, 6.00, 8.00, 10.00 mL 置于 100 mL 容量瓶中,先加少量蒸馏水摇匀,然后加蒸馏水定容,以零管作参比,用石英比色杯在波长 230 nm 下测定吸光度,以吸光度为纵坐标,以苯甲酸含量为横坐标绘制标准曲线。

1.3.2 对羟基苯甲酸标准曲线的绘制 与苯甲酸相同,测定条件为波长 255 nm。

1.3.3 样品中苯甲酸和对羟基苯甲酸残留量的测定 取 2.000 g 土样于广口瓶中,加 30 mL 水,置于

恒温摇床充分振荡 30 min,然后离心(4 000 r/min) 20 min,取上清液 5 mL 定容至 50 mL 容量瓶中,即为待测液。将待测液用石英比色杯分别在 230,255 nm 下测定吸光度,根据吸光度和标准曲线计算土壤样品中苯甲酸和对羟基苯甲酸残留量。

1.4 数据计算及处理

- 1)苯甲酸相对降解率(R)= $\frac{C_{CK}-C_i}{C_{CK}} \times 100\%$ 。
式中: C_{CK} 、 C_i 分别为某时段 CK、接菌处理苯甲酸残留量(mg/kg)。
- 2)苯甲酸平均降解速度($\bar{V}_n$)= $\frac{C_m-C_{m+1}}{\Delta t}$ 。
式中: C_m 、 C_{m+1} 、 Δt 及 $\bar{V}_n$ 分别代表第 m 次、 $m+1$ 次测定时的苯甲酸残留量、2 次测定间隔时间及对应间隔内的平均降解速度(mg/(kg·d))。
- 3)苯甲酸降解量(mg/kg)= $C_{CK}-C_i$ 。
式中: C_{CK} 、 C_i 分别为培养 150 d 时 CK、接菌处理苯甲酸残留量(mg/kg)。
- 4)对羟基苯甲酸的相对降解率、平均降解速度

及降解量计算同苯甲酸。
试验数据采用 DPS 数据处理系统(V8.50)对处理间差异进行 t 检验。

2 结果与分析

2.1 2 株放线菌对土壤中苯甲酸的降解效果
2.1.1 相对降解率 从表 1 可以看出,在模拟田间条件下,2 株放线菌对苯甲酸有较强的降解效果。培养 15 d 时,所有接菌处理与 CK 的苯甲酸残留量间差异均达到显著水平($P<0.05$);培养 30~150 d 时,二者差异均达到极显著水平($P<0.01$)。随着培养时间的延长,苯甲酸相对降解率逐渐增加,其中在纯土壤体系中,接种 Act11 处理 15,30,60 及 150 d 的相对降解率分别为 31.5%,62.0%,69.5%,76.0%,接种 Act12 处理也有类似的趋势;在土壤+有机质体系中,2 株放线菌对苯甲酸的相对降解率随培养时间的变化趋势与纯土壤体系类似。

表 1 接入 2 株放线菌后不同基质土壤中苯甲酸的残留量和相对降解率

		土壤(A) Soil				$\Delta R_{B-A}/\%$		
培养时间/d Culture time	苯甲酸残留量/ (mg·kg ⁻¹) Residual quantity		$R/\%$	苯甲酸残留量/ (mg·kg ⁻¹) Residual quantity		$R/\%$	Act11	Act12
	CK	Act11		CK	Act12			
	CK	Act11		CK	Act12			
15	1 084±126	742±47.4*	31.5	1 158±120	928±45.2*	19.8	-3.0	11.0*
30	1 063±9.0	404±12.3**	62.0	1 136±10.9	451±9.47**	60.3	4.7	2.3
60	971±46.0	296±1.77**	69.5	1 036±38.9	295±1.44**	71.5	3.2	-5.0
150	921±76.9	221±18.4**	76.0	965±31.9	218±13.5**	77.4	3.6	0.8
		土壤+有机质(B) Soil+organic matter				$\Delta R_{B-A}/\%$		
培养时间/d Culture time	苯甲酸残留量/ (mg·kg ⁻¹) Residual quantity		$R/\%$	苯甲酸残留量/ (mg·kg ⁻¹) Residual quantity		$R/\%$	Act11	Act12
	CK	Act11		CK	Act12			
	CK	Act11		CK	Act12			
15	1 348±81.4	964±57.6*	28.5	1 423±230.3	985±23.5*	30.8	-3.0	11.0*
30	1 231±18.0	410±6.62**	66.7	1 241±5.00	461±5.21**	62.9	4.7	2.3
60	1 219±29.8	333±1.77**	72.7	1 190±14.1	399±1.77**	66.5	3.2	-5.0
150	1 115±24.5	227±11.2**	79.6	1 108±33.0	241±16.2**	78.2	3.6	0.8

注:①表中接菌处理残留量测定值后的*、**分别表示接菌处理与CK差异达到显著($P<0.05$)、极显著水平($P<0.01$)。表3同。②表中 ΔR 值后的*、**分别表示有机质对苯甲酸相对降解率的影响达到显著($P<0.05$)、极显著($P<0.01$)水平。表3同。
Note:①“*” in the inoculated vertical line indicates significant difference ($P<0.05$) between inoculated treatment and CK,“**” indicates remarkably significant difference ($P<0.01$). The same in table 3. ②“*” in the ΔR vertical line means significant difference ($P<0.05$) between “soil” treatment and “soil+ organic” matter treatment, “**” means remarkably significant difference($P<0.01$). The same in table 3

2.1.2 平均降解速度 由表 2 可以看出,接菌处理的土壤苯甲酸平均降解速度明显高于 CK。培养 30 d 时,在纯土壤体系中,CK 的苯甲酸平均降解速度均为 1.4 mg/(kg·d),而 Act11、Act12 接菌处理的苯甲酸平均降解速度分别达到了 22.5 和 31.8 mg/

(kg·d),分别约为 CK 的 16 和 23 倍;在土壤+有机质体系中,CK 的苯甲酸平均降解速度分别为 7.8,12.1 mg/(kg·d),而 Act11、Act12 接菌处理的苯甲酸平均降解速度分别达到了 36.9,34.9 mg/(kg·d),分别约为 CK 的 5 倍和 3 倍。培养 60 d

时,接菌处理的苯甲酸平均降解速度均有所下降,其中在纯土壤体系中,CK 与 Act11 接菌处理的苯甲酸平均降解速度分别为 3.0,3.6 mg/(kg·d),差异不大,Act12 与之类似;在土壤+有机质体系中,也呈现出了相似的情况。培养 150 d 时,Act11、Act12 接菌处理的苯甲酸平均降解速度分别为 0.8~1.2,0.8~1.7 mg/(kg·d),远小于 30 d 时苯甲酸平均降解速度,且 CK 与接菌处理之间的差异较小。

比较培养 30,60,150 d 的苯甲酸平均降解速度可以看出,所有接菌处理的苯甲酸平均降解速度随

培养时间的延长呈逐渐降低的趋势。在纯土壤体系中,接种 Act11 处理 30,60,150 d 的苯甲酸平均降解速度表现为:30 d(22.5 mg/(kg·d))>60 d(3.6 mg/(kg·d))>150 d(0.8 mg/(kg·d)),说明降解速度随时间延长而降低,这可能与气温下降有关。由于该试验模拟田间土壤在自然条件下的降解过程,所有处理小盆均置于室外小拱棚中,随着时间推移,进入冬季,气温不断降低,微生物代谢活动减慢,导致对苯甲酸的降解速度下降,苯甲酸降解速度的下降趋势与气温变化趋势吻合。

表 2 接入 2 株放线菌后不同基质土壤中苯甲酸的平均降解速度

mg/(kg·d)								
指标 Index	土壤 Soil				土壤+有机质 Soil+organic matter			
	CK	Act11	CK	Act12	CK	Act11	CK	Act12
$\bar{V}_{30}$	1.4	22.5	1.4	31.8	7.8	36.9	12.1	34.9
$\bar{V}_{60}$	3.0	3.6	3.3	5.2	0.4	2.5	1.7	2.0
$\bar{V}_{150}$	0.5	0.8	0.7	0.8	1.1	1.2	0.9	1.7

2.1.3 有机质对苯甲酸降解的影响 由表 1 可以看出,除培养 15 d Act11 及培养 60 d Act12 外,其他接菌处理加入有机质后,苯甲酸的相对降解率(ΔR_{B-A})均有一定提高,但统计检验结果表明,除 Act12 在培养 15 d 时有机质的作用效果达到显著水平外($P<0.05$),在其他处理中,有机质对苯甲酸相对降解率的提高幅度均未达到显著水平($P>0.05$),表明有机质对苯甲酸的相对降解率影响较小。

2.2 2 株放线菌对土壤中对羟基苯甲酸的降解效果

2.2.1 相对降解率 由表 3 可以看出,Act11 和

Act12 对对羟基苯甲酸也有较强的降解效果,但其相对降解率低于苯甲酸。培养 15 d 后,接菌处理与 CK 的对羟基苯甲酸残留量间差异均达到显著水平($P<0.05$),培养 30~150 d,接菌处理与 CK 差异均达到极显著水平($P<0.01$)。与苯甲酸降解类似,随着培养时间的延长,对羟基苯甲酸的相对降解率亦逐渐增加。在纯土壤体系中,接种 Act11 处理 15,30,60,150 d 的相对降解率分别为 3.6%,21.2%,25.4%,52.1%,接种 Act12 处理也有类似的趋势;在土壤+有机质体系中,2 株放线菌对对羟基苯甲酸的相对降解率随时间的变化趋势与纯土壤体系类似。

表 3 接入 2 株放线菌后不同基质土壤中对羟基苯甲酸的残留量和相对降解率

Table 3 Residual quantity and relative degradation rate of p-hydroxybenzoic acid in the soil after inoculating with two strains

培养时间/d Culture time	土壤(A) Soil						$\Delta R_{B-A}/\%$	
	对羟基苯甲酸残留量/ (mg·kg ⁻¹)		R/%	对羟基苯甲酸残留量/ (mg·kg ⁻¹)		R/%	Act11	Act12
	Residual quantity			Residual quantity				
	CK	Act11		CK	Act12			
15	491±59.5	473±21.2 *	3.6	559±43.4	512±27.3 *	8.4	9.8 *	3.8
30	331±16.0	261±9.42 **	21.2	310±4.71	247±2.61 **	20.4	-1.2	1.3
60	307±16.0	229±16.0 **	25.4	299±1.60	232±6.91 **	22.5	23.2 * *	9.4 *
150	282±34.8	188±16.6 **	52.1	271±6.7	153±13.7 **	45.9	10.2 *	-2.2

培养时间/d Culture time	土壤+有机质(B) Soil+organic matter						$\Delta R_{B-A}/\%$	
	对羟基苯甲酸残留量/ (mg·kg ⁻¹)		R/%	对羟基苯甲酸残留量/ (mg·kg ⁻¹)		R/%	Act11	Act12
	Residual quantity			Residual quantity				
	CK	Act11		CK	Act12			
15	518±51.2	448±45.1 *	13.4	475±50.7	417±28.0 *	12.2	9.8 *	3.8
30	404±3.45	323±5.98 **	20.0	376±3.45	295±8.56 **	21.7	-1.2	1.3
60	397±8.00	204±3.46 **	48.6	336±5.69	229±3.46 **	31.9	23.2 * *	9.4 *
150	349±11.1	131±9.1 **	62.3	267±12.8	150±19.7 **	43.7	10.2 *	-2.2

2.2.2 平均降解速度 由表 4 可以看出,所有接菌土壤中,对羟基苯甲酸平均降解速度较 CK 均有所提高。在培养 60 d 时,在纯土壤体系中,Act11 和 Act12 接菌处理的对羟基苯甲酸平均降解速度分别为 2.1 和 1.0 mg/(kg·d),而其相应 CK 的平均降解速度分别为 0.8 和 0.3 mg/(kg·d),接菌处理分

表 4 接入 2 株放线菌后不同基质土壤中对羟基苯甲酸的平均降解速度

指标 Index	土壤 Soil				土壤+有机质 Soil+organic matter			
	inoculating with two strains						mg/(kg·d)	
	CK	Act11	CK	Act12	CK	Act11	CK	Act12
$\bar{V}_{30}$	10.6	14.1	16.6	17.6	7.6	8.3	6.6	8.1
$\bar{V}_{60}$	0.8	2.1	0.3	1.0	0.2	3.9	1.3	2.2
$\bar{V}_{150}$	0.3	0.4	0.3	0.9	0.5	0.8	0.8	0.9

从培养 30~150 d,在纯土壤体系和土壤+有机质体系中,所有接菌处理的对羟基苯甲酸的平均降解速度亦随时间的延长呈降低趋势。其中纯土壤体系中,接种 Act11 处理 30,60,150 d 对羟基苯甲酸的平均降解速度表现为 30 d(14.1 mg/(kg·d))>60 d(2.1 mg/(kg·d))>150 d(0.4 mg/(kg·d)),其平均降解速度下降的原因与苯甲酸类似。

2.2.3 有机质对对羟基苯甲酸降解的影响 由表 3 可以看出,除培养 30 d 时的 Act11 和培养 150 d 时的 Act12 外,土壤+有机质体系的对羟基苯甲酸的相对降解率均高于纯土壤体系。在培养 15,60 和 150 d 时,在接种 Act11 处理中,有机质对对羟基苯甲酸相对降解率的影响达显著($P<0.05$)或极显著水平($P<0.01$),说明加入有机质有利于 Act11 对土壤中对羟基苯甲酸的降解;在培养 60 d 时,在接

别为 CK 的 2.6 和 3.3 倍;在土壤+有机质体系中,Act11 和 Act12 接菌处理的对羟基苯甲酸平均降解速度分别达到了 3.9,2.2 mg/(kg·d),而其相应 CK 的平均降解速度分别为 0.2,1.3 mg/(kg·d),接菌处理分别约为 CK 的 20 和 2 倍。

种 Act12 处理中,有机质对对羟基苯甲酸相对降解率的影响达显著水平($P<0.05$)。

2.3 2 株放线菌对苯甲酸和对羟基苯甲酸降解量的影响

从表 5 可以看出,经过 150 d 培养,Act11 和 Act12 对苯甲酸的降解量分别达到 700~888 和 747~867 mg/kg,对对羟基苯甲酸的降解量分别达到 94~218 和 117~118 mg/kg,说明在模拟田间土壤中土著微生物存在条件下,供试放线菌对土壤中苯甲酸和对羟基苯甲酸有很强的降解能力。研究表明,草莓生长过程中产生的根泌苯甲酸和对羟基苯甲酸分别为 3.8~4.7 和 7.8~20.8 mg/kg^[10],远小于供试放线菌的实际降解量。因此,从本研究结果可推知,利用供试放线菌根区接种可以降解绝大部分草莓根泌酚酸。

表 5 2 株放线菌对苯甲酸和对羟基苯甲酸降解量的影响

酚酸 Phenolic acids	土壤 Soil		土壤+有机质 Soil+organic matter	
	Amounts of benzoic acid and p-hydroxybenzoic acid degraded by the two strains of actinomycetes		mg/kg	
	Act11	Act12	Act11	Act12
苯甲酸 Benzoic acid	700	747	888	867
对羟基苯甲酸 P-hydroxybenzoic acid	94	118	218	117

3 结论与讨论

近年来对于草莓连作障碍的化感机制研究较多。甄文超等^[10]、Kitazawa 等^[11]研究认为,苯甲酸和对羟基苯甲酸是引起草莓连作障碍的主要自毒物质,但目前尚未找到消除自毒物质的有效方法。许多研究者^[13-18]从化学污染物质降解角度,研究了假单胞菌、不动杆菌及产碱杆菌属一些细菌对苯甲酸的降解效果,陈红歌等^[19]研究了大型真菌黄孢原毛平革菌对香草酸、阿魏酸及对羟基苯甲酸的降解,但尚无利用放线菌降解苯甲酸和对羟基苯甲酸的研究

报道。
本研究以对草莓连作土传病害病原菌有明显抑制作用,并对草莓生长和保护性酶活性提高有促进作用的生防放线菌 Act11 和 Act12^[8]为材料,研究了模拟田间条件下供试放线菌对土壤中苯甲酸和对羟基苯甲酸的降解作用,发现供试放线菌除具有已报道的防病促生作用外,还有降解草莓根泌自毒物质酚酸的功能。本研究将为研制具有防病促生作用,同时能降解根泌酚酸类自毒物质的多功能放线菌修复剂提供科学依据。

[参考文献]

- [1] 黄亚丽,甄文超,张丽萍,等. 草莓重茬病菌的分离及其生物防治[J]. 生物技术,2005,15(6):74-76.
Huang Y L, Zhen W C, Zhang L P, et al. Separated of causal organisms and biocontrol of strawberry replant disease [J]. Biotechnology, 2005, 15(6): 74-76. (in Chinese)
- [2] 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)
- [3] 齐永志,甄文超,代 丽,等. 连作条件下不同品种草莓生长发育和根部病害发生状况的研究[J]. 中国农学通报,2008,24(6):374-378.
Qi Y Z, Zhen W C, Dai L, et al. Study on growth and root diseases of different strawberry cultivars from continuous cropping [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2008, 24(6): 374-378. (in Chinese)
- [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)
- [5] 郑良永,胡剑非,林昌华,等. 作物连作障碍的产生及防治[J]. 热带农业科学,2005,25(2):58-62.
Zheng L Y, Hu J F, Lin C H, et al. The production of succession cropping obstacles and its prevention and cure steps [J]. Chinese Journal of Tropical Agriculture, 2005, 25(2): 58-62. (in Chinese)
- [6] 高志华,张学英,葛会波,等. 草莓根系分泌物障碍效应的模拟研究[J]. 植物营养与肥科学报,2008,14(1):189-193.
Gao Z H, Zhang X Y, Ge H B, et al. Modeling the obstacle effects of strawberry root exudates [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2008, 14(1): 189-193. (in Chinese)
- [7] 吴凤芝,赵凤艳. 酚酸物质及其化感作用[J]. 东北农业大学学报,2001,32(4):313-319.
Wu F Z, Zhao F Y. Phenolic acid substances and allelopathy mechanisms [J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2001, 32(4): 313-319. (in Chinese)
- [8] 许英俊,薛泉宏,荆胜利,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,2007,16(6):146-153.
Xu Y J, Xue Q H, Xin S L, et al. Growth promoting effect and induced endurance of three actinomycetes strains to strawberry [J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica, 2007, 16(6): 146-153. (in Chinese)
- [9] 赵秀娟,徐文桥,张凤巧,等. 土壤拮抗微生物对几种草莓病原菌的拮抗作用测试[J]. 中国农业科技导报,2007,9(2):77-81.
Zhao X J, Xu W Q, Zhang F Q, et al. Bioassay of antagonistic microorganisms from soil against several strawberry disease-causing agents [J]. Review of China Agricultural Science and Technology, 2007, 9(2): 77-81. (in Chinese)
- [10] 甄文超,王晓燕,孔俊英,等. 草莓根系分泌物和腐解物中的酚酸类物质及其化感作用[J]. 河北农业大学学报,2004,27(4):74-78.
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): 74-78. (in Chinese)
- [11] Kitazawa H, Asao T, Ban T, et al. Autotoxicity of root exudates from strawberry in hydroponic culture [J]. Journal of Horticultural Science & Biotechnology, 2005, 80(6): 677-680.
- [12] 曾启华. 紫外分光光度法快速测定酸性食品中苯甲酸和山梨酸含量[J]. 遵义师范学院学报,2006,6(4):59-60.
Zeng Q H. Rapid analysis of benzoic acid and sorbic acid in the acidic food by UV-photometric analysis [J]. Journal of Zunyi Normal College, 2006, 6(4): 59-60. (in Chinese)
- [13] 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 wastewater [J]. Environmental Science & Technology, 2008, 31(4): 68-71. (in Chinese)
- [14] 蔡宝立,张富国,张心平,等. 苯甲酸类化合物的微生物降解研究[J]. 应用与环境生物学报,1998,4(3):286-289.
Cai B L, Zhang F G, Zhang X P, et al. Biodegradation of benzoate-like compounds [J]. Chin J Appl Environ Biol, 1998, 4(3): 286-289. (in Chinese)
- [15] 苗艳芳,王忠彦,胡 承,等. 防腐剂-苯甲酸的微生物降解研究[J]. 酿酒,2003,30(2):21-23.
Miao Y F, Wang Z Y, Hu C, et al. Biodegradation of preservative-benzoate [J]. Liquor Making, 2003, 30(2): 21-23. (in Chinese)
- [16] 岳晓寒,蔡宝立,潘继伦,等. 固定化细菌去除苯甲酸类化合物的研究[J]. 离子交换与吸附,1999,15(1):54-58.
Yue X H, Cai B L, Pan J L, et al. Study on removal of benzoate-like compounds by immobilized bacteria [J]. Ion Exchange and Adsorption, 1999, 15(1): 54-58. (in Chinese)
- [17] 叶淑红,丁 鸣,何连芳,等. 辽东湾北岸滨海湿地降解苯甲酸类化合物的微生物研究[J]. 海洋环境科学,2005,24(2):47-49.
Ye S H, Ding M, He L F, et al. Research on benzoate-like compounds degraded by microorganisms in the north coast wetland of Liaodong Bay [J]. Marine Environmental Science, 2005, 24(2): 47-49. (in Chinese)
- [18] 白卯娟,李婷婷. 一株假单胞菌对联苯以及苯甲酸的降解[J]. 广西轻工业,2007(9):38-39.
Bai M J, Li T T. Degradation of biphenyl and benzoic acid by a strain of pseudomonas [J]. Guangxi Journal of Light Industry, 2007(9): 38-39. (in Chinese)
- [19] 陈红歌,杜国营,胡元森,等. 黄孢原毛平革菌对3种酚酸物质的降解作用[J]. 安全与环境学报,2006,6(5):8-10.
Chen H G, Du G Y, Hu Y S, et al. On degradation of three phenolic acids by phanerochaete chrysosporium [J]. Journal of Safety and Environment, 2006, 6(5): 8-10. (in Chinese)