

萎缩芽孢杆菌处理提高花生黄曲霉抗性的作用机制

刘 丁, 秦 文*

(四川农业大学食品学院, 四川 雅安 625014)

摘 要: 通过接种萎缩芽孢杆菌的发酵液+黄曲霉孢子悬浮液、菌体悬浮液+黄曲霉孢子悬浮液、发酵上清液+黄曲霉孢子悬浮液, 及单独接种黄曲霉孢子悬浮液的不同方法处理花生, 测定超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、苯丙氨酸解氨酶(PAL)、过氧化物酶(POD)和多酚氧化酶(PPO)活力的变化, 研究萎缩芽孢杆菌提高花生黄曲霉抗性的诱导机制。结果表明: 萎缩芽孢杆菌的各处理组接种4d后, 花生中SOD酶活力达到峰值, 其中菌体悬浮液+黄曲霉孢子悬浮液处理的花生酶活力最大, 为5.3318U/(g·min); 从接种后的第2天开始花生中POD酶活开始出现峰值, 且以菌体悬浮液+黄曲霉悬浮液处理样品最大, 为13.4710U/(g·min); CAT酶活性在接种处理后持续下降, 至处理的第5天达到最小值5.5375U/(g·min); 但各处理对PAL酶活性和PPO酶活性的诱导作用不明显, 说明萎缩芽孢杆菌可在一定程度上诱导花生抗性的增加, 提高其抗病能力。萎缩芽孢杆菌诱导抗性相关酶活性的变化是发挥拮抗作用的一种重要方式。

关键词: 萎缩芽孢杆菌; 黄曲霉; 花生; 抗性

Mechanism of Action of *Bacillus atrophaeus* in Improving *Aspergillus flavus* Resistance of Peanuts

LIU Ding, QIN Wen*

(College of Food Science, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, China)

Abstract: The relationship between the resistance of peanuts to *Aspergillus flavus* and the activities of defense enzymes including superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), phenylalanine ammonium-lyase (PAL), peroxidase (POD) and polyphenol oxidase (PPO) was studied. For this, peanuts were inoculated with fermentation broth of *Bacillus atrophaeus* + spore suspension of *Aspergillus flavus* (inoculum 1), spore suspensions of both strains (inoculum 2), fermentation supernatant of *Bacillus atrophaeus* + spore suspension of *Aspergillus flavus* (inoculum 3) or spore suspension of *Aspergillus flavus* alone (inoculum 4) to observe the changes in the defense enzyme activities. The results showed that the maximum activity of SOD in peanuts was obtained after 4 d of incubation with each inoculum and inoculum 2 resulted in the highest SOD activity of 5.3318 U/(g·min) among the four inoculums. On the second day after the inoculation, POD activity reached a peak and the highest POD activity of 13.4710 U/(g·min) was observed in peanuts inoculated with inoculum 2. CAT activity, however, showed a continuous decrease after the inoculation until reaching the minimum level of 5.5375 U/(g·min) on the fifth day. The various inoculums had no obvious inductive effect on the activities of PAL or PPO. These results suggest that *Bacillus atrophaeus* can enhance the *Aspergillus flavus* resistance of peanuts to a certain extent. Therefore, the activation of these defense enzymes is involved in the action of *Bacillus atrophaeus* against *Aspergillus flavus*.

Key words: *Bacillus atrophaeus*; *Aspergillus flavus*; peanuts; resistance

中图分类号: S476

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2013)23-0266-05

doi:10.7506/spkx1002-6630-201323054

花生是我国重要的油料作物和大宗出口农产品, 在收获前和收获后贮藏加工过程都极易受到黄曲霉感染, 造成巨大的经济损失, 因此, 必须要采取一些有效的方法来进行防治。生物防治技术由于对环境友好, 成

为了研究热点^[1-2]。大量研究表明, 很多拮抗微生物及其活性物质对黄曲霉的生长和毒素的产生均有明显的抑制作用。Nesci等^[3]研究发现, 枯草芽孢杆菌(RCB6, RCB55, RCB90)可抑制黄曲霉毒素的积累。Ono等^[4]从链

收稿日期: 2012-11-18

作者简介: 刘丁(1987—), 女, 硕士研究生, 研究方向为生物防治。E-mail: liuding_2008@yeah.net

*通信作者: 秦文(1967—), 女, 教授, 博士, 研究方向为果蔬采后生理。E-mail: qinwen1967@aliyun.com

霉菌中提取到一种称为Aflastatin的物质,在0.5 μ g/mL质量浓度下能完全抑制寄生曲霉产生黄曲霉毒素。刘姝等^[5]发现放线菌GB-2,可产生广谱、高活性抗菌物质,且对黄曲霉具有明显的抑制作用。

有研究发现^[2],拮抗菌能诱导寄主产生抗性,从而抵御黄曲霉的侵染。拮抗菌引起的抗性保护反应是复杂的新陈代谢的结果,通过酶催化活动来实现。超氧化物歧化酶(SOD)^[6-7]、过氧化氢酶(CAT)^[8]、苯丙氨酸解氨酶(PAL)^[9-10]、过氧化物酶(POD)和多酚氧化酶(PPO)^[11-12]等是植物体内重要的防御酶,参与活性氧清除以及酚类、木质素和植保素等抗性相关物质的合成,能抵御活性氧及氧自由基对细胞膜系统的伤害,增强植物对病害的抵抗能力^[13]。

萎缩芽孢杆菌(*Bacillus atrophaeus*)是本实验室从土壤中分离得到的一株具有黄曲霉拮抗活性的菌株^[14]。该拮抗菌能否诱导植物产生抗性,目前尚无报道。在以前研究工作的基础上,笔者观测接种萎缩芽孢杆菌和黄曲霉对花生SOD、CAT、PAL、POD和PPO酶活性的诱导情况,为进一步探明该拮抗菌抑制黄曲霉生长的作用机制提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料、菌种与培养基

1.1.1 材料

购自当地超市,选择成熟饱满、种皮完整、大小均一、无机械损伤、无病害的花生种子,购买当天即进行实验处理。

1.1.2 菌种

病原菌:黄曲霉B3.4408(*Aspergillus flavus*),由西南大学食品微生物实验室提供;拮抗菌:萎缩芽孢杆菌(*Bacillus atrophaeus*),由本实验室从土壤中分离得到。

1.1.3 培养基

黄曲霉B3.4408(*Aspergillus flavus*):马铃薯葡萄糖琼脂培养基(PDA);萎缩芽孢杆菌(*Bacillus atrophaeus*):营养琼脂培养基。

1.2 仪器与设备

V-1200型可见分光光度计、UV-3200(PC)紫外-可见分光光度计 上海美谱达仪器有限公司;BR4i型高速冷冻离心机 德国Thermo Electron Industries公司;SW-CJ-1F洁净工作台 苏净集团安泰公司;DG-410型电热恒温培养箱 成都红星电烘箱厂;HZQ-X100恒温振荡培养箱 金坛市杰瑞尔电器有限公司;不锈钢手提式灭菌器 上海申安医疗器械厂;WH-2微型旋涡混合仪 上海沪西分析仪器有限公司;精密电子天平 北京赛多利斯仪器系统有限公司;移液器 德国艾德本有限公司;

PHS-3C型数显酸度计 中国雷磁分析仪器厂;高速万能粉碎机 天津市泰斯特仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 萎缩芽孢杆菌发酵液、菌体悬浮液及发酵上清液的制备

将萎缩芽孢杆菌菌种接种到营养琼脂斜面培养基上,30℃恒温培养48h,向其中加入无菌水(含0.1g/100mL吐温-80和0.1g/100mL琼脂),旋涡混合仪振荡使菌体均匀分布,以体积分数3%的接种量接种至液体营养琼脂培养基,于30℃、180r/min摇床培养48h,即为发酵液(约 1×10^9 CFU/mL)。将发酵液于4℃、8000r/min离心20min,收集上清液,并用0.45 μ m微型过滤器过滤,即为发酵上清液;沉淀即为菌体,向菌体中加入无菌水,制成菌体悬浮液,调节悬浮液浓度为 1×10^9 CFU/mL。

1.3.2 黄曲霉孢子悬浮液的制备

将黄曲霉菌种接种到马铃薯葡萄糖琼脂斜面培养基(PDA)上,30℃恒温培养48h,向其中加入无菌水(含0.1g/100mL吐温-80和0.1g/100mL琼脂),旋涡混合仪振荡使孢子均匀分布,调节孢子悬浮液浓度为 1×10^5 CFU/mL。

1.3.3 接种

参考姜慧芳等^[15]的方法处理花生,以体积分数0.1%次氯酸钠对花生表面消毒3min,无菌水漂洗3次,待花生种子含水量恢复到20%左右,将其放入无菌平板中,20粒/份,作以下几种接种处理:1)萎缩芽孢杆菌发酵液(约 1×10^9 CFU/mL)1mL+黄曲霉孢子悬浮液(1×10^5 CFU/mL)100 μ L;2)萎缩芽孢杆菌菌体悬浮液(1×10^9 CFU/mL)1mL+黄曲霉孢子悬浮液(1×10^5 CFU/mL)100 μ L;3)萎缩芽孢杆菌发酵上清液1mL+黄曲霉孢子悬浮液(1×10^5 CFU/mL)100 μ L;4)黄曲霉孢子悬浮液(1×10^5 CFU/mL)100 μ L;5)无菌水100 μ L。各处理中的黄曲霉孢子悬浮液均在萎缩芽孢杆菌相关处理液处理24h后接种。使每粒花生种子都均匀的沾上接种液,将花生置于30℃恒温培养箱中贮藏,每组重复3次。

1.3.4 抗性酶活力的测定

花生在黄曲霉孢子悬浮液接种处理后,立即测定各抗性酶活力的初始值,之后每24h取样一次,将待测花生洗净,并用蒸馏水冲洗3次,用粉碎机粉碎,即为待测样品。取一定质量待测样品,加入适量缓冲液,混匀,8000r/min离心10min,取上清液并用4层纱布过滤,即为粗酶液,测定各抗性酶活力,连续测定7d。

1.3.4.1 超氧化物歧化酶(SOD)活性的测定

参照《植物生理学实验技术》^[16],略有改动。准确称取3g待测样品,并向其中准确加入30mL蒸馏水制成粗酶液。向试管中加入4.0mL 0.05mol/L Tris-HCl-EDTA缓冲液(pH8.2,内含1mmol/L EDTA)、20 μ L 45mmol/L邻苯三酚溶液和20 μ L粗酶液,以20 μ L 10mmol/L HCl代替粗酶液

作为空白,测定邻苯三酚自氧化。反应在加入粗酶液后开始准确计时,在325nm波长处连续测定吸光度,每30s记录1次,共测定4min。酶活力单位定义:每克样品每分钟吸光度增加0.1为1个酶活力单位,即1U,利用式(1)计算酶活力。

$$\text{SOD活力}(\text{U}(\text{g} \cdot \text{min})) = \frac{\text{空白吸光度} - \text{样品吸光度}}{\text{空白吸光度}} \div 50\% \times \frac{\text{反应液总量/mL}}{\text{所取样品量/mL}} \quad (1)$$

1.3.4.2 过氧化氢酶(CAT)活性的测定

参照《植物生理学实验技术》^[16]的方法,略有改动。准确称取0.5g待测样品,并向其中准确加入25mL 0.05mol/L磷酸缓冲液(pH7.0)制成粗酶液。向试管中加入1.5mL 0.05mol/L磷酸缓冲液(pH7.0)、0.2mL粗酶液和1.0mL蒸馏水,以蒸馏水代替粗酶液作为空白,然后逐管加入0.1mL 0.1mol/LH₂O₂,每加完一管立即于波长240nm处测定吸光度,每30s读数1次,共4min,记录吸光度。酶活力单位定义:每克样品每分钟吸光度减小0.1为1个酶活力单位,即1U,利用式(2)计算酶活力。

$$\text{CAT活力}(\text{U}(\text{g} \cdot \text{min})) = \frac{\text{吸光度差值} \times \text{粗酶液体积/mL}}{0.1 \times \text{样品质量/g} \times \text{反应时间/min} \times \text{测定用酶液体积/mL}} \quad (2)$$

1.3.4.3 苯丙氨酸解氨酶(PAL)活性的测定

参照周桂元等^[17]的方法,略有改动。准确称取1.0g待测样品,并向其中准确加入10mL 0.05mol/L硼酸缓冲液(pH8.7)制成粗酶液。向试管中加入3.0mL 0.05mol/L硼酸缓冲液(pH8.7)和1.0mL 0.02mol/L苯丙氨酸,37℃保温10min,快速加入0.5mL粗酶液,以蒸馏水代替粗酶液作为空白,于波长290nm记录吸光度初始值;将比色杯中液体倒回试管中,于37℃保温60min,测定吸光度终止值。酶活力单位定义:每克样品每分钟吸光度增加1为1个酶活力单位,即1U,利用公式(2)计算酶活力。

1.3.4.4 过氧化物酶(POD)活性的测定

参照《现代植物生理学实验指南》^[18],略有改动。准确称取2.0g待测样品,并向其中准确加入25mL 0.05mol/L磷酸缓冲液(pH7.0)制成粗酶液。向试管中加入2.0mL 0.05mol/L磷酸缓冲液(pH7.0)、2.0mL体积分数0.2%愈创木酚和1.0mL粗酶液,以蒸馏水代替粗酶液作为空白,30℃保温5min,逐管加入2.0mL 体积分数0.3%H₂O₂,每加1管立即于波长470nm处测定吸光度,每30s读数一次,共5min,记录吸光度。酶活力单位定义:每克样品每分钟吸光度增加0.1为1个酶活力单位,即1U,利用公式(2)计算酶活力。

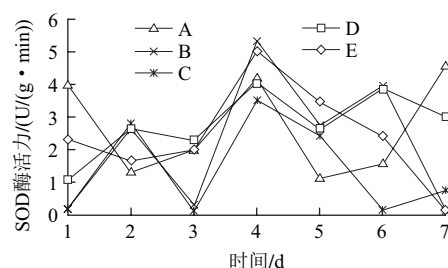
1.3.4.5 多酚氧化酶(PPO)活性的测定

参照《现代植物生理学实验指南》^[18],略有改动。准确称取2.0g待测样品,并向其中准确加入15mL 0.05mol/L磷酸缓冲液(pH6.4)制成粗酶液。向试管中加入1.8mL 0.05mol/L磷酸缓冲液(pH6.4)、2.0mL 0.2mol/L邻苯二

酚和0.4mL粗酶液,以蒸馏水代替粗酶液作为空白,于420nm波长处测定吸光度,每30s读数1次,共5min,记录吸光度。酶活力单位定义:每克样品每分钟吸光度增加0.1为1个酶活力单位,即1U,利用公式(2)计算酶活力。

2 结果与分析

2.1 萎缩芽孢杆菌对花生SOD酶活力的影响



A. 接种萎缩芽孢杆菌发酵液+黄曲霉孢子悬浮液; B. 接种萎缩芽孢杆菌菌体悬浮液+黄曲霉孢子悬浮液; C. 接种萎缩芽孢杆菌发酵上清液+黄曲霉孢子悬浮液; D. 只接种黄曲霉孢子悬浮液; E. 无菌水处理。下同。

图1 不同处理条件下花生种子SOD酶活力的变化

Fig.1 Dynamic changes of SOD activity in peanuts with different treatments

由图1可知,各处理组在第4日均达到酶活力峰值,其中菌体悬浮液+黄曲霉孢子悬浮液处理的酶活力最高,为5.3318U/(g·min)。此后3d菌体悬浮液+黄曲霉孢子悬浮液、发酵上清液+黄曲霉孢子悬浮液和无菌水对照3组处理酶活力下降,而发酵液+黄曲霉孢子悬浮液处理酶活力先下降后上升,在第7天达到4.5814U/(g·min),约为其余各组酶活的4倍,只接种黄曲霉孢子悬浮液处理组除外,其酶活力在第6天达到3.9024U/(g·min)。说明萎缩芽孢杆菌可持续诱导花生SOD酶的分泌,增强花生的抗逆性。同时,其发酵上清液也表现出一定的诱导性,表明萎缩芽孢杆菌分泌的某种或某些代谢产物具有诱导活性。

2.2 萎缩芽孢杆菌对花生CAT酶活力的影响

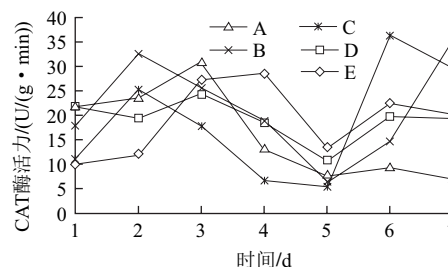


图2 不同处理条件下花生种子CAT酶活力的变化

Fig.2 Dynamic changes of CAT activity in peanuts with different treatments

由图2可知,菌体悬浮液+黄曲霉孢子悬浮液和发酵上清液+黄曲霉孢子悬浮液处理的CAT酶活力从第2天开始下降,至第5天达到最小值,分别为6.8002U/(g·min)

和 $5.5375\text{U}/(\text{g} \cdot \text{min})$ 。发酵液+黄曲霉孢子悬浮液处理酶活力从第3天最高值持续下降,至第7天达到最小值,为 $7.1797\text{U}/(\text{g} \cdot \text{min})$;只接种黄曲霉孢子悬浮液处理在第5天达到最小值,为 $10.7602\text{U}/(\text{g} \cdot \text{min})$ 。无菌水对照处理的CAT酶活力从第4天开始下降,至第5天达最小值,为 $13.5255\text{U}/(\text{g} \cdot \text{min})$,高于其余各组处理的酶活。说明萎缩芽孢杆菌可抑制CAT酶活力,促使花生种子形成较强的抗性系统。

2.3 萎缩芽孢杆菌对花生PAL酶活力的影响

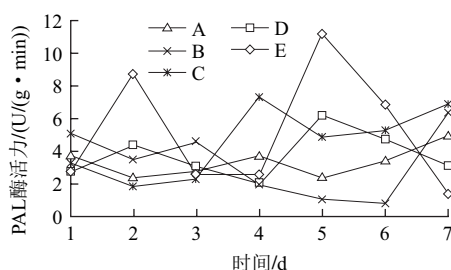


图3 不同处理条件下花生种子PAL酶活力的变化

Fig.3 Dynamic changes of PAL activity in peanuts with different treatments

由图3可知,在接种后的第1天,菌体悬浮液+黄曲霉孢子悬浮液处理的PAL酶活力较高,为 $5.0847\text{U}/(\text{g} \cdot \text{min})$,随后一直下降至第6天,酶活力降至 $0.8122\text{U}/(\text{g} \cdot \text{min})$ 。无菌水对照和只接种黄曲霉孢子悬浮液处理在第2天达到第1个酶活力高峰,分别为 $8.7355\text{U}/(\text{g} \cdot \text{min})$ 和 $4.3543\text{U}/(\text{g} \cdot \text{min})$;在第5天达到峰值,分别为 $11.1384\text{U}/(\text{g} \cdot \text{min})$ 和 $6.2073\text{U}/(\text{g} \cdot \text{min})$ 。发酵液+黄曲霉孢子悬浮液和发酵上清液+黄曲霉孢子悬浮液处理在第4天达到第一个峰值,分别为 $3.6974\text{U}/(\text{g} \cdot \text{min})$ 和 $7.3012\text{U}/(\text{g} \cdot \text{min})$,随后发酵液+黄曲霉孢子悬浮液处理酶活力缓慢上升,至第7天达 $4.9378\text{U}/(\text{g} \cdot \text{min})$;在第7天,菌体悬浮液+黄曲霉孢子悬浮液和发酵上清液+黄曲霉孢子悬浮液处理的酶活分别为 $6.3583\text{U}/(\text{g} \cdot \text{min})$ 和 $6.8533\text{U}/(\text{g} \cdot \text{min})$,均高于对照处理的 $1.3304\text{U}/(\text{g} \cdot \text{min})$ 。说明在花生的贮藏后期,萎缩芽孢杆菌可在一定程度上诱导PAL酶分泌,提高花生抗病性。

2.4 萎缩芽孢杆菌对花生POD酶活力的影响

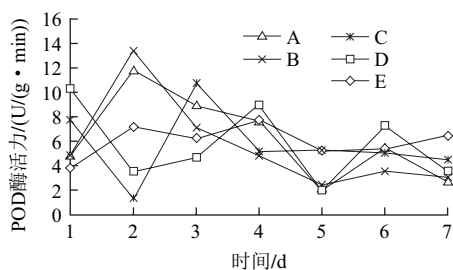


图4 不同处理条件下花生种子POD酶活力的变化

Fig.4 Dynamic changes of POD activity in peanuts with different treatments

由图4可知,在接种后的第2天,发酵液+黄曲霉孢子悬浮液和菌体悬浮液+黄曲霉孢子悬浮液处理达到POD酶活力峰值,分别为 $11.9167\text{U}/(\text{g} \cdot \text{min})$ 和 $13.4710\text{U}/(\text{g} \cdot \text{min})$,在接种后的第4天,无菌水处理达到POD酶活力峰值 $7.8309\text{U}/(\text{g} \cdot \text{min})$,前两者酶活明显高于对照处理。发酵上清液+黄曲霉孢子悬浮液处理在第3天达到酶活力峰值,为 $10.7717\text{U}/(\text{g} \cdot \text{min})$,也高于对照处理。只接种黄曲霉孢子悬浮液的处理在第4天出现酶活力峰值,为 $9.0484\text{U}/(\text{g} \cdot \text{min})$,低于萎缩芽孢杆菌处理组峰值。说明萎缩芽孢杆菌能显著促进花生种子POD酶的分泌,增强花生抗逆性。

2.5 萎缩芽孢杆菌对花生PPO酶活力的影响

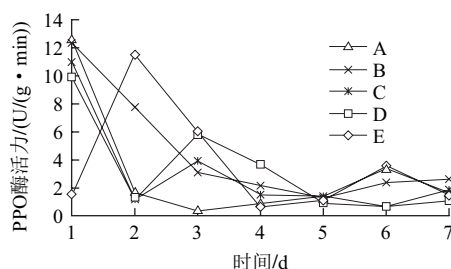


图5 不同处理条件下花生种子PPO酶活力的变化

Fig.5 Dynamic changes of PPO activity in peanuts with different treatments

由图5可知,在第1天,各接种处理的PPO酶活力均达到峰值,随后一直下降,且萎缩芽孢杆菌各处理的酶活力峰值分别为 12.7598 、 12.3568 、 $11.0845\text{U}/(\text{g} \cdot \text{min})$,均高于只接种黄曲霉孢子悬浮液处理的酶活力峰值 $9.9885\text{U}/(\text{g} \cdot \text{min})$ 。无菌水对照处理的酶活力在第2天达到峰值,为 $11.6604\text{U}/(\text{g} \cdot \text{min})$,稍低于发酵液+黄曲霉孢子悬浮液和菌体悬浮液+黄曲霉孢子悬浮液处理组,随后也呈下降趋势。说明萎缩芽孢杆菌可诱导花生PPO酶的分泌,但效果并不明显。

3 结论

在SOD酶活力测定实验中,菌体悬浮液+黄曲霉孢子悬浮液处理的酶活力峰值最大,而发酵液+黄曲霉孢子悬浮液处理的酶活力上升持续时间最长,分析其原因可能是萎缩芽孢杆菌菌体对提高花生黄曲霉抗性有一定作用,发酵液中可能还存在一种或几种次级代谢产物也具有诱导抗性作用,两者共同作用使得SOD酶活性持续上升,发酵上清液+黄曲霉孢子悬浮液处理对酶活力提高也有作用再一次证明了这种可能性。在CAT酶活力测定实验中,发酵液+黄曲霉孢子悬浮液处理的抑制作用最好,菌体悬浮液+黄曲霉孢子悬浮液处理次之,发酵上清液+黄曲霉孢子悬浮液处理稍差;在POD酶活力测定实验中,发酵液+黄曲霉孢子悬浮液、菌体悬浮液+黄曲

霉悬浮液和发酵上清液+黄曲霉孢子悬浮液3种处理的酶活力峰值均高于对照组,都支持了上述观点。虽然萎缩芽孢杆菌处理对PAL酶活性和PPO酶活性的诱导作用不明显,但是可使花生SOD酶活性和POD酶活性提高,使CAT酶活性下降,从而有效的清除超氧化物阴离子自由基,维持组织内活性氧代谢平衡;减轻活性氧对细胞膜的伤害,保护细胞完整性;促使花生种子形成较强的抗性系统,提高其抗病能力。可以认为,萎缩芽孢杆菌诱导抗性相关酶活性的变化是发挥拮抗作用的一种重要方式。

萎缩芽孢杆菌的发酵上清液也具有一定的诱导抗性酶活性增强的作用,说明其中可能含有一种或几种具有诱导活性的代谢产物,有待于进一步的研究。

参考文献:

- [1] 王凯, 闫培生. 利用拮抗物生物防治花生中黄曲霉毒素的研究进展[J]. 食品科技, 2010, 35(10): 47-51.
- [2] 陈高, 闫彩霞, 李春娟, 等. 黄曲霉侵染前后花生过氧化物酶与过氧化氢酶活性变化的研究[J]. 山东农业科学, 2009(3): 12-14.
- [3] NESCI V A, BLUMA R V, ETCHEVERRY G. *in vitro* selection of maize rhizobacteria to study potential biological control of *Aspergillus* section *Flavi* and aflatoxin production[J]. Plant Pathology, 2005, 113(2): 159-171.
- [4] ONO M, SAKUDA S, SUZUKI A. Aflastatin A, a novel inhibitor of aflatoxin production by aflatoxigenic fungi[J]. Antibiotics, 1997, 50: 111-117.
- [5] 刘姝, 陆兆新, 吕凤霞, 等. 一株海洋放线菌的分类鉴定及抗菌活性研究[J]. 南京农业大学学报, 2007, 30(4): 124-129.
- [6] MEHDY M C. Active oxygen species in plant defense against pathogens[J]. Plant Physiology, 1994, 105(2): 467-472.
- [7] 营金凤, 潘月敏, 高智谋, 等. 不同品种棉株感染红腐病菌后SOD等3种酶活性动态变化[J]. 中国农学通报, 2007, 23(7): 467-470.
- [8] ZHAO Yan, TU Kang, SHAO Xingfeng, et al. Effects of the yeast *Pichia guilliermondii* against *Rhizopus nigricans* on tomato fruit[J]. Postharvest Biology and Technology, 2008, 49: 113-120.
- [9] WISNIEWSKIM M E, WILSON C L. Biological control of postharvest of fruits and vegetables: recent advances[J]. Hort Science, 1992, 27: 94-98.
- [10] 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.
- [11] 翟彩霞, 马春红, 秦君, 等. 植物诱导抗病性的常规鉴定: 相关酶活性变化与诱导抗病性的关系[J]. 植物保护科学, 2004, 20(5): 222-224.
- [12] FARKAS G L, STAHMANN A. On the nature of change in peroxidase isoenzymes in bean leave in tomato plants of south bean mosaic virus[J]. Phytopathology, 1996, 56: 669-677.
- [13] 黄丽婵, 欧阳涟, 刘文群, 等. 拮抗菌对柑橘霉变及其抗性的影响[J]. 食品科学, 2008, 29(11): 641-644.
- [14] 涂彩虹, 秦文, 胡欣洁, 等. 一株黄曲霉拮抗细菌的分离筛选及鉴定[J]. 食品工业科技, 2011, 32(4): 182-188.
- [15] 姜慧芳, 王圣玉, 任小平. 花生种质资源对黄曲霉菌侵染的反应[J]. 中国油料作物学报, 2002, 24(1): 23-25.
- [16] 刘萍, 李明军. 植物生理学实验技术[M]. 北京: 科学出版社, 2007, 125-129; 147-150.
- [17] 周桂元, 梁炫强. 花生种子苯丙氨酸解氨酶活性与抗黄曲霉侵染的关系[J]. 花生学报, 2002, 31(1): 14-17.
- [18] 中国科学院上海植物生理研究所, 上海市植物生理学会. 现代植物生理学实验指南[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 128.