

枯草芽胞杆菌 YB-05 对小麦抗病性相关防御酶系的诱导作用

孙润红¹, 徐俊蕾¹, 杨丽荣¹, 张洁¹,
夏明聪¹, 武超¹, 薛保国^{1*}, 吴坤^{2*}

(1. 河南省农业科学院植物保护研究所, 河南省农作物病虫害防治重点实验室, 农业部华北南部农作物有害生物综合治理重点实验室, 河南省作物保护国际联合实验室, 郑州 450002; 2. 河南农业大学生命学院, 郑州 450002)

摘要 本文研究了生防菌枯草芽胞杆菌 YB-05 和病原菌小麦全蚀病菌 GGT007 对小麦体内防御酶活性的影响, 探讨其诱导小麦抗病性机理。以苯丙氨酸解氨酶(PAL)、过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)、超氧化物歧化酶(SOD)和多酚氧化酶(PPO)5 种防御酶作为小麦抗病性反应指标, 于不同时段测定各防御酶活性; 以 PD 培养基为对照, 测定生防菌 YB-05 及小麦全蚀病菌 GGT007 对小麦叶片和根部抗性相关酶的影响。结果表明, 小麦经生防菌与病原菌混合处理、病原菌处理、生防菌处理后, 叶片和根部与植物防御抗病相关的 PPO、POD、SOD、PAL、CAT 防御酶活性均比对照组高, 其中生防菌与病原菌混合处理后抗性相关酶活最高, 叶片中 PAL、POD、SOD、PPO、CAT 酶活峰值达到 46.705、16 829.274、104.687、97.44 和 1 259.565 U/g, 为对照组的 1.74、2.44、2.27、2.40 和 2.42 倍。根部 PAL、POD、SOD、PPO、CAT 酶活峰值达到 131.536、56 424.79、1 977.04、22.564 和 206.241 U/g, 为对照组的 1.65、1.52、2.57、2.07、1.74 倍。表明枯草芽胞杆菌 YB-05 和小麦全蚀病菌 GGT007 均能诱导小麦叶片和根部的防御酶活性增强, 两者共同处理后小麦叶片和根部 5 种防御酶活性高于单独处理, 说明枯草芽胞杆菌 YB-05 和小麦全蚀病菌 GGT007 共同诱导具有协同增效作用。

关键词 小麦; 生防菌 YB-05; 小麦全蚀病菌 GGT007; 防御酶系; 诱导抗性

中图分类号: S 432.23 **文献标识码:** A **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2017431

Induction of resistance-related defensive enzymes in wheat by *Bacillus subtilis* YB-05

SUN Runhong¹, XU Junlei¹, YANG Lirong¹, ZHANG Jie¹,
XIA Mingcong¹, WU Chao¹, XUE Baoguo¹, WU Kun²

(1. Institute of Plant Protection, Henan Academy of Agricultural Sciences, Henan Key Laboratory of Crop Pest Control, Key Laboratory of Integrated Pest Management on Crops in Southern Part of Northern China, Ministry of Agriculture, Zhengzhou 450002, China; 2. College of Life Sciences, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract The effects of *Bacillus subtilis* YB-05 and wheat take-all GGT007 on the activity of resistance-related defensive enzymes of wheat were investigated to analyze induced disease-resistant mechanism. Leaves and roots of wheat were treated with pathogen, biocontrol bacteria and their mixture, with PD medium as the control. The activities of 5 defensive enzymes in leaves and roots, including phenylalanine (PAL), catalase (CAT), peroxidase (POD), superoxide dismutase (SOD) and polyphenol oxidase (PPO), were indicated as disease-resistant indexes of wheat; the effects of YB-05 and GGT007 on 5 resistance-related defensive enzymes of wheat were studied at different stages. It was found that the PAL, POD, SOD, PPO and CAT activities in leaves and roots of the treated wheats were significantly higher than those in the control, and the activities in the treatment with pathogen mixed with biocontrol bacteria were the highest. The peak values of the PAL, POD, SOD, PPO and CAT activities of

收稿日期: 2017-11-17 修订日期: 2018-01-31

基金项目: 河南省农业科学院科研发展专项资金(201513117); 河南省博士后基金(2015107); 小麦主要病虫害绿色防控产品的研发与产业化(141100111100); 河南省基础与前沿基金(162300410156); 河南省农业科学院自主创新基金(2017ZC40)

* 通信作者 E-mail: 13613714411@163.com; wukun63@126.com

leaves were 46.705, 16 829.274, 104.687, 97.44 and 1 259.565 U/g, respectively, which were 1.74, 2.44, 2.27, 2.40 and 2.42 times as much as those of control group, respectively. And the peak values of the PAL, POD, SOD, PPO and CAT activities of roots were 131.536, 56 424.79, 1 977.04, 22.564 and 206.241 U/g, respectively, which were 1.65, 1.52, 2.57, 2.07 and 1.74 times as much as those of control group, respectively. It showed that *B. subtilis* YB-05 and wheat take-all GGT007 could increase the activities of resistance-related enzymes, so as to induce systemic resistance in wheat leaves and roots. The effects were greater when *B. subtilis* YB-05 and wheat take-all GGT007 were mixed than when treated alone, suggesting that they had a synergistic effect.

Key words wheat; *Bacillus subtilis* YB-05; wheat take-all GGT007; defensive enzyme; induced resistance

小麦为禾本科植物,是世界上分布最广泛的粮食作物,我国主要产于华北及东北地区。病害问题一直是影响小麦产量和质量的重要因素,小麦病害的防治是小麦生产的重中之重,也是提高小麦产量的重要途径。化学药剂长期使用或使用不当易导致病原菌抗药性、环境污染及农药残留等问题。近年来,生物防治由于其安全、低毒等特点已成为国内外研究的热点。拮抗细菌在植物病害防治中起到了非常重要的作用,无论是在自然发生的生物拮抗现象还是在生物防治中,细菌的生防效果都非常明显^[1]。在众多的生防细菌中,枯草芽胞杆菌 *Bacillus subtilis* 凭借其易培养、环境适应能力强、对人畜无毒等优点而受到青睐^[2-3]。植物对病害及其他逆境的抗性与多酚氧化酶(PPO)、苯丙氨酸解氨酶(PAL)、超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)等多种酶的活性变化有关^[4-6]。大量研究表明,生防菌可以诱导这些植物抗病相关防御酶产生变化,增强抗病能力^[7]。易龙等研究发现,芽胞杆菌 Bn-130 菌液可诱导辣椒体内 POD、PPO 和 PAL 活性增高^[8]。周林等采用灌根法接种枯草芽胞杆菌 TR21 发酵液、菌体及发酵上清液后,香蕉根系内 POD、PPO 和 PAL 活性均高于空白对照^[9]。林陈强等发现,枯草芽胞杆菌 CS16 发酵液及上清液处理香蕉苗均能诱导香蕉叶片中 SOD、PPO、PAL 和 POD 等防御酶活性变化^[10]。目前,国内生防菌对小麦抗病防御反应酶影响的研究尚未见报道,为此本研究选择 PAL、POD、SOD、PPO、CAT 作为抗病性反应指标,研究了生防菌 YB-05 对小麦植株抗病相关酶的影响,以明确 YB-05 对抗病防御酶的诱导机制,为小麦生产中合理利用 YB-05 防治小麦真菌病害和深入研究 YB-05 的生防机制奠定理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

生防菌枯草芽胞杆菌 *Bacillus subtilis* YB-05

为本实验室分离得到,现保藏于中国微生物菌种保藏管理委员会普通微生物中心,保藏编号为 CGM-CC02NO. 6498。

小麦全蚀病菌 *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* GGT007 为本实验室从小麦根部分离得到,并在本实验室保存。

小麦品种:供试小麦品种为‘郑麦 366’。

试验所用培养基为 PDA 和 PDB 培养基。

1.2 试验方法

1.2.1 菌株的制备及接种

将 YB-05 菌株在 PDA 平板中划线活化,27℃ 下恒温培养 24 h,得到活化的 YB-05 菌株单菌落,然后挑取单菌落接种于 PDB 培养基中,27℃,125 r/min 条件下振荡培养 48 h 即得 YB-05 种子液,调节菌液浓度至 10^6 cfu/mL 的菌悬液,备用。

1.2.2 小麦的催芽与诱导处理

挑选大小一致的小麦种子,首先用 75% 乙醇处理 5 s,灭菌水冲洗 3 次,0.1% 升汞消毒 9 min,再用无菌水冲洗 5 次,然后将经消毒处理的小麦种子平铺于直径 12 cm 无菌平皿中,加入 5 mL 无菌水,放置于室温。1 d 后将露白的小麦种子转移至另一个铺有无菌滤纸的平皿中(直径 12 cm),每皿放置约 50 粒种子,加入 10 mL 无菌水,放置于室温。2 d 后,将根长 2~3 cm 的发芽小麦转移至灭菌组培瓶,处理组分别为每瓶接种 5 株小麦和 5 mL 10^6 cfu/mL YB-05 菌悬液、5 株小麦和 5 mL GGT007 菌悬液(0.5 g GGT007 菌丝溶于 5 mL PDB 培养基中)、5 株小麦和 5 mL YB-05 和 GGT007 混合悬液(0.5 g GGT007 菌丝溶于 5 mL YB-05 菌悬液中),对照组为 5 株小麦和 5 mL PDB 培养基。

分别于处理后 24、48、72、96、120 h 取小麦幼叶和小麦根提取粗酶液,检测不同时间小麦体内相关防御酶的活性变化。

1.2.3 诱导抗性测定

分别取 0.1 g 叶片和根部用于提取粗酶, PAL、

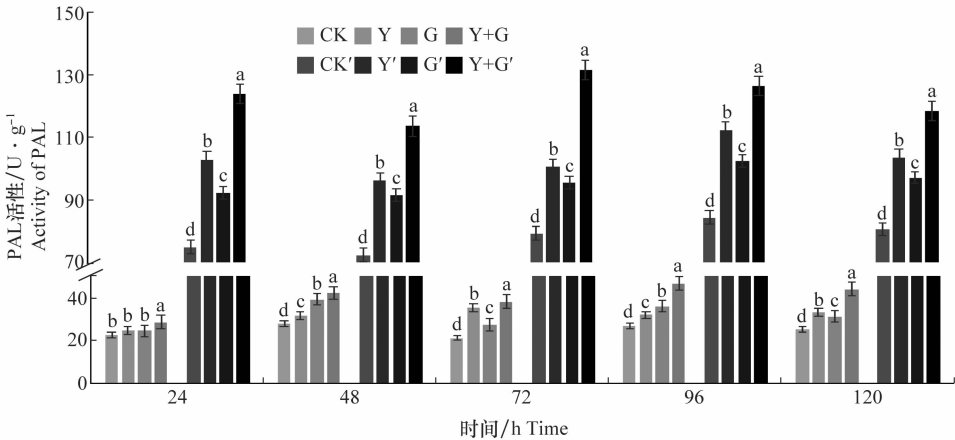
POD、SOD、PPO、CAT 等酶活均按照酶活性试剂盒(苏州科铭生物技术有限公司)步骤,利用可见光分光光度计检测与诱导植物抗病性密切相关的防御酶活性(PAL、PPO、SOD、POD、CAT)变化。

2 结果与分析

2.1 YB-05 发酵液对小麦叶片和根部苯丙氨酸解氨酶(PAL)活性的影响

由图 1 可知,经 YB-05 发酵液诱导后,各浓度处理组的小麦叶片和根部 PAL 活性均高于对照处理组。空白对照组小麦叶片和根部的 PAL 活性最低,在试验期间无明显变化。Y+G 处理组小麦叶片中 PAL 活性明显高于其他 3 组处理,并在处理后的 96 h 达到峰值,为 46.705 U/g,为对照组的 1.74 倍,与对照组差异显著。Y 处理组小麦叶片的 PAL 活性在

72 h 时达到峰值,为 35.195 U/g,为对照组的 1.65 倍,与对照组差异显著。G 处理组小麦叶片的 PAL 活性在试验期间也有显著变化,在 48 h 酶活性达到峰值,为 39.325 U/g,为对照组的 1.41 倍,与对照组差异显著。Y+G 处理组小麦根部中 PAL 活性明显高于其他 3 组处理,并在处理后 72 h 达到峰值 131.536 U/g,为对照组的 1.65 倍,与对照组差异显著。Y 和 G 处理组小麦根部的 PAL 活性均在 96 h 时达到峰值,为 112.324 U/g 和 102.576 U/g,分别为对照组的 1.33、1.21 倍,与对照组差异显著。因此,YB-05 发酵液和全蚀病菌均能诱导小麦叶片和根部中 PAL 的活性增强,且 YB-05 发酵液和全蚀病菌共同处理的活性高于单独处理,可见 YB-05 发酵液和全蚀病菌共同诱导对 PAL 具有协同增效作用。



CK: 对照处理后的小麦叶片; CK': 对照处理后的小麦根部; Y: YB-05 处理后的小麦叶片; Y': YB-05 处理后的小麦根部; G: GGT007 处理后的小麦叶片; G': GGT007 处理后的小麦根部; Y+G: YB-05 和 GGT007 混合处理后的小麦叶片; Y+G': YB-05 和 GGT007 混合处理后的小麦根部。柱上不同字母表示处理间在 5% 水平有显著差异。下同
CK: Wheat leaves without treatment; CK': Wheat roots without treatment; Y: Wheat leaves treated with YB-05; Y': Wheat roots treated with YB-05; G: Wheat leaves treated with GGT007; G': Wheat roots treated with GGT007; Y+G: Wheat leaves treated with YB-05 and GGT007; Y+G': Wheat roots treated with YB-05 and GGT007; different letters in the same group indicate significant difference at the 5% level. The same below

图 1 生防芽胞杆菌 YB-05 及全蚀病菌 GGT007 对小麦 PAL 活性的影响

Fig. 1 Effects of *Bacillus subtilis* YB-05 and wheat take-all GGT007 on PAL activity in wheat

2.2 YB-05 发酵液对小麦叶片和根部过氧化氢酶(CAT)活性的影响

生防菌及病原菌共同处理后小麦叶片和根部 CAT 活性如图 2 所示。Y+G 处理组小麦叶片 CAT 活性在试验期间均高于其他 3 组处理,且在 72 h 达到峰值,为 1 259.565 U/g,为对照组的 2.42 倍。G 处理组小麦叶片的 CAT 活性在 96 h 达到峰值,为 784.102 U/g,为对照组的 1.33 倍。Y 处理组小麦叶片 CAT 活性变化规律与 Y+G 处理组一样,在 72 h 达到峰值,为 974.094 和 1 259.565 U/g,为对照组的 1.87 和 2.42 倍。3 组处理 CAT 活性均高于空白对

照,且 Y+G 同时处理的小麦叶片 CAT 活性比单独 Y 或 G 处理的小麦叶片 CAT 活性高。没有进行任何处理的对照组小麦叶片 CAT 活性在 120 h 内变化不大。Y+G 处理组、Y 处理组以及 G 处理组小麦根部 CAT 活性在 96 h 分别达到 206.241、184.518、173.46 U/g 峰值,与对照组相比 CAT 活性显著增高,峰值分别是对照组的 1.74、1.56、1.46 倍,与对照组差异显著。对照组小麦根部 CAT 活性变化范围不大。比较 4 个处理组 CAT 活性变化,结果显示,Y+G 处理组小麦叶片和根部的酶活性均显著高于其他 3 个处理组,诱导效果最佳。

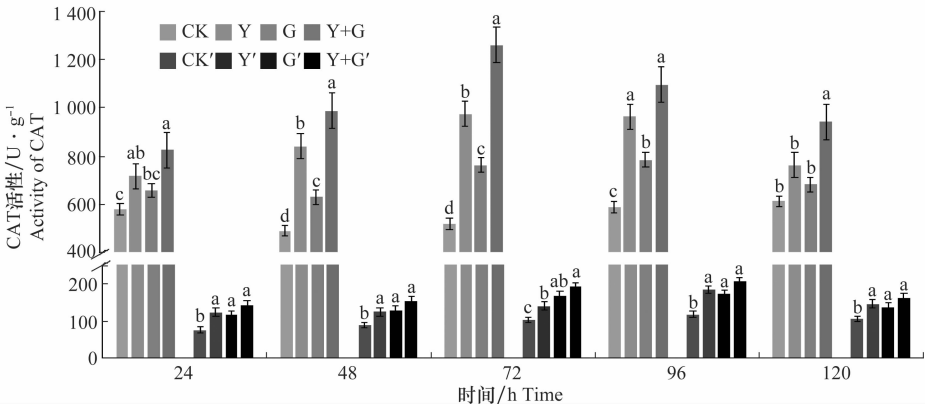


图 2 生防芽胞杆菌 YB-05 及全蚀病菌 GGT007 对小麦 CAT 活性的影响

Fig. 2 Effects of *Bacillus subtilis* YB-05 and wheat take-all GGT007 on CAT activity in wheat

2.3 YB-05 发酵液对小麦叶片和根部过氧化物酶 (POD)活性的影响

枯草芽胞杆菌 YB-05 和小麦全蚀病菌诱导小麦叶片 POD 活性变化见图 3,由图可知,Y+G 处理组、Y 处理组以及 G 处理组小麦叶片 POD 活性在第 48 h 分别达到 16 829. 274、13 785. 902 5、11 653. 265 U/g 峰值,与对照组相比 POD 活性显著增高,峰值是对照组的 2 倍左右。Y+G 处理组、G 处理组的小麦根部 POD 活性在 72 h 时分别达到峰值 56 424. 79、

52 715. 86 U/g,Y 处理组在 24 h 达到峰值 48 555. 945 U/g 是对照组的 1. 52、1. 42、1. 7 倍,差异显著。试验期间对照组小麦叶片和根部 POD 差异不大。同时接种生防菌 YB-05 和病原菌 GGT007 的小麦叶片和根部的 POD 活性比单独接种生防菌 YB-05 或病原菌 GGT007 的 POD 活性高。说明同时添加 YB-05 发酵液和小麦全蚀病菌 GGT007 对小麦叶片和根部 POD 活性显著高于其他 3 个处理组,诱导效果最佳。

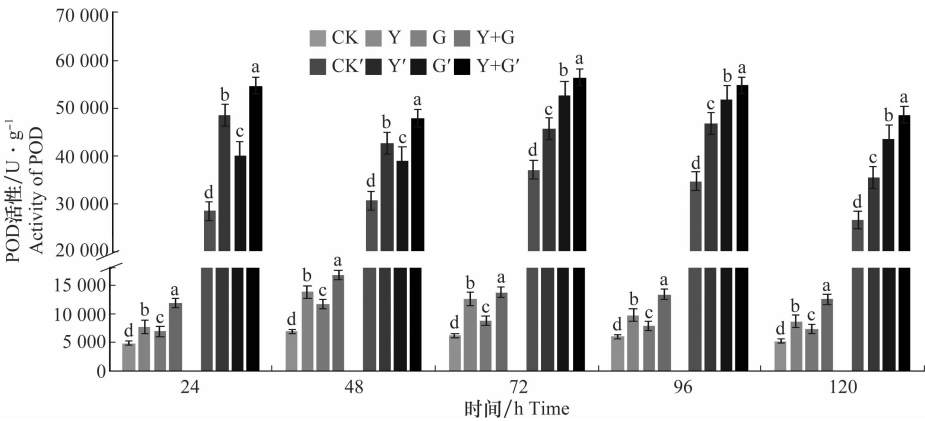


图 3 生防芽胞杆菌 YB-05 及全蚀病菌 GGT007 对小麦 POD 活性的影响

Fig. 3 Effects of *Bacillus subtilis* YB-05 and wheat take-all GGT007 on POD activity in wheat

2.4 YB-05 发酵液对小麦叶片内超氧化物歧化酶 (SOD)活性的影响

SOD 活性检测结果(图 4)所示,Y+G 处理组小麦叶片 SOD 活性呈下降趋势,且在诱导后 24 h 达到峰值 104. 687 U/g,为对照组的 2. 27 倍。Y 处理组、G 处理组小麦叶片 SOD 活性均在 96 h 达到峰值,分别为对照组的 1. 63 倍和 1. 91 倍,达到 73. 52、86. 32 U/g,与对照组差异显著;Y+G 处理组小麦根部 SOD 活性在试验期间均高于其他 3 组处理,且在 72 h 达到高峰,峰值为 1 977. 04 U/g。Y 处理组小麦

根部 SOD 活性变化规律与 Y+G 处理组一致,在 72 h 达到峰值,为 1 493. 43 U/g。G 处理组中小麦根部的 SOD 活性在 96 h 达到峰值,为 1 246. 89 U/g。3 个处理组 Y、G 和 Y+G 处理小麦根部 SOD 活性均高于对照,且 Y+G 同时处理 SOD 活性比单独 Y 或 G 处理的 SOD 活性高。没有进行任何处理的对照组无论根或叶的 SOD 活性在 120 h 内变化不大。

2.5 YB-05 发酵液对小麦叶片内多酚氧化酶 (PPO)活性的影响

枯草芽胞杆菌 YB-05 和小麦全蚀病菌对小麦

叶片和根部 PPO 活性的影响结果见图 5。Y+G 处理组的小麦叶片 PPO 活性在 96 h 时达到峰值 97.44 U/g, 是对照组的 2.4 倍, 差异极显著。Y 处理组、G 处理组小麦叶片的 PPO 活性均为先增高后降低的趋势, 均在 72 h 达到峰值 84.2、72.58 U/g, 分别为对照的 1.96 倍、1.69 倍, 与对照组差异显著。Y+G 处理组小麦根部 PPO 活性明显高于其他 3 组处理, 并在处理后的 72 h 达到峰值 22.564 U/g, 为对照

组的 2.07 倍, 差异显著。Y 处理组和 G 处理组的 PPO 活性与 Y+G 处理组变化趋势一致, 均在 72 h 时达到峰值 17.786 U/g 和 14.265 U/g, 分别为对照组的 1.63、1.31 倍, 与对照组差异显著。结果显示 YB-05 发酵液和全蚀病菌 GGT007 均能诱导小麦叶片和根部 PPO 活性增强, 且两者共同处理的活性高于单独处理, 可见枯草芽胞杆菌 YB-05 发酵液和全蚀病菌共同诱导对 PPO 具有协同增效作用。

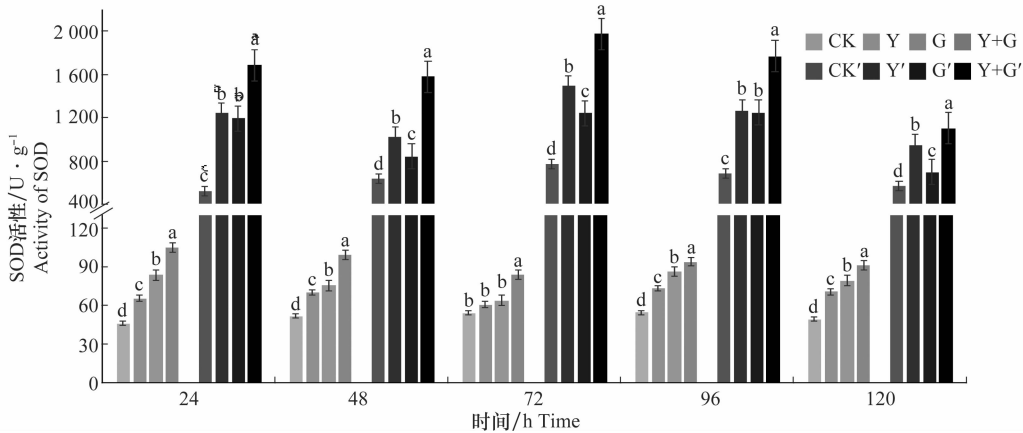


图 4 生防芽胞杆菌 YB-05 及全蚀病菌 GGT007 对小麦 SOD 活性的影响

Fig. 4 Effects of *Bacillus subtilis* YB-05 and wheat take-all GGT007 on SOD activity in wheat

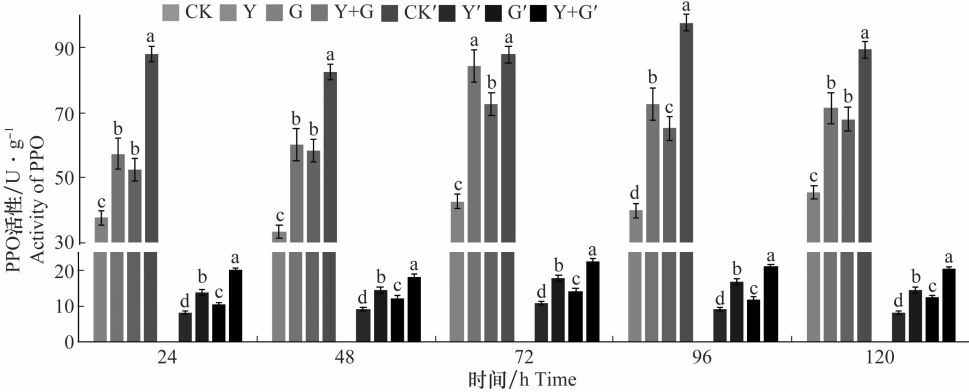


图 5 生防芽胞杆菌 YB-05 及全蚀病菌 GGT007 对小麦 PPO 活性的影响

Fig. 5 Effects of *Bacillus subtilis* YB-05 and wheat take-all GGT007 on PPO activity in wheat

3 结论与讨论

当植物受病原菌侵染或诱导处理后, 与抗病反应相关的保护性酶活性升高是诱导抗性产生的重要机制之一, 其中 CAT、SOD、POD、PAL 和 PPO 是植物体内与抵制病原微生物侵染有关的重要酶, 其活性的变化通常作为衡量植物体内防卫反应的重要指标^[11]。

PAL 是植物苯丙烷类代谢途径的关键调节酶, 可使 L-苯丙氨酸加速形成反式肉桂酸, 是抗菌物质

(木质素、植保素、黄酮素类色素、酚类物质) 合成途径中的重要限速酶^[4]。POD 是木质素形成的关键酶, 能够加速氧化酚类和脂肪族物质, 其活性的提高标志着植物体加速合成木质素以及抗性产生。PPO 可氧化酚类物质形成对病原微生物杀伤或抑制的醌类物质, 增强植物抵御病原微生物的侵入和扩展能力^[12-13]。SOD 是植物体内的抗氧化剂, 可将 O₂⁻ 转化为 H₂O₂。H₂O₂ 是诱导植物产生抗病性的一种起始激发分子。因此 SOD 的表达是检测植物抗病

性是否被诱导的一个重要指标^[14-15]。CAT 是植物细胞的活性氧清除剂,逆境下有机体 H_2O_2 活性增强,CAT 可将 H_2O_2 还原为 O_2 和 H_2O ,减轻活性氧所造成的损伤,它在植物细胞内清除 H_2O_2 和维持 H_2O_2 的正常水平起重要作用^[16-17]。

在本试验中,施用生防菌 YB-05 和接种小麦全蚀病菌后,利用可见光分光光度计检测与诱导植物抗病性密切相关的防御酶活性(PAL、PPO、SOD、POD、CAT)变化。结果显示,小麦经生防菌与病原菌混合处理、病原菌处理、生防菌处理后,叶片和根部与植物防御抗病相关的 PPO、POD、SOD、PAL、CAT 防御酶活性均比对照组高,说明无论接种生防菌或小麦全蚀病菌,都能刺激小麦体内防御酶活性的增加,从而达到抵御病害侵染的效应,增强其抗病性。其中生防菌与病原菌混合处理后抗性相关酶活最高,叶片中 PAL、POD、SOD、PPO、CAT 酶活峰值分别在 96、48、24、96 和 72 h 达到 46.705、16 829.274、104.687、97.44 和 1 259.565 U/g,为对照组的 1.74、2.44、2.27、2.40 和 2.42 倍。根部 PAL、POD、SOD、PPO、CAT 酶活峰值分别在 72、72、72、72 和 96 h 分别达到 131.536、56 424.79、1 977.04、22.564 和 206.241 U/g,为对照组的 1.65、1.52、2.57、2.07、1.74 倍。表明枯草芽胞杆菌 YB-05 和小麦全蚀病菌均能诱导小麦叶片和根部的防御酶活性增强,两者共同处理后小麦叶片和根部 5 种防御酶活性均高于单独处理,说明枯草芽胞杆菌 YB-05 和小麦全蚀病菌 GGT007 共同诱导具有协同增效作用。

目前防治小麦全蚀病菌主要以化学防治为主,但长期大量使用化学药剂使得抗药性不断增强,农药残留易造成食品安全问题,同时会加剧环境污染。生物农药以其对人畜及生态环境无害的特点越来越受到人们的关注,而天然生防微生物以其独特的作用机理一跃成为生物农药发展热点。枯草芽胞杆菌 YB-05 是河南省农业科学院植物保护研究所通过对 16S rDNA 基因序列的分析发现的一种对小麦全蚀病菌具有显著抑制作用的菌株,本试验发现诱导抗性可能是枯草芽胞杆菌 YB-05 防治小麦真菌病害的重要机制之一。但对其发酵液在田间的防病效果还有待评价。因此,后续的研究有必要通过大田试验以明确其抗病潜能,验证其抗性诱导机理,为实现该菌株的开发应用提供技术支持。

参考文献

- [1] 彭兵. 生防菌株 A 抗真菌谱、抗菌蛋白的分离纯化及抗菌机理研究[D]. 石家庄: 河北师范大学, 2009.
- [2] 黄曦, 许兰兰, 黄荣韶, 等. 枯草芽胞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): 24-27.
- [3] 李晶, 杨谦. 生防枯草芽胞杆菌的研究进展[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(1): 106-111.
- [4] 周登博, 井涛, 谭昕, 等. 6 种基质拮抗菌发酵液对香蕉枯萎病及相关防御酶的影响[J]. 热带作物学报, 2013, 34(5): 947-951.
- [5] ALSTROM S. Induction of disease resistance in common bean susceptible to halo blight bacterial pathogen after seed bacterization with rhizosphere pseudomonads [J]. Journal of General and Applied Microbiology, 1991, 37: 495-501.
- [6] VANPEER R, NEIMANN G J, SCHIPPERS B. Induced resistance and phytoalexin accumulation in biological control of *Fusarium* wilt of carnation by *Pseudomonas* sp. Strain WCS417r [J]. Phytopathology, 1991, 81(4): 728-734.
- [7] CHEN Fang, WANG Min, ZHENG Yu, et al. Quantitative changes of plant defense enzymes and phytohormone in biocontrol of cucumber *Fusarium* wilt by *Bacillus subtilis* B579 [J]. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 2010, 26(4): 675-684.
- [8] 易龙, 严古勇, 肖崇刚. 拮抗疫病芽胞杆菌对辣椒的控病及诱导抗性[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2009, 13(1): 48-51.
- [9] 周林, 程萍, 喻国辉, 等. 枯草芽胞杆菌 TR21 对香蕉抗病相关酶活性的诱导作用[J]. 中国农学通报, 2011, 27(2): 185-190.
- [10] 林陈强, 李占飞, 张慧, 等. 枯草芽胞杆菌 CS16 诱导香蕉抗病性相关防御酶系的研究[J]. 福建农业学报, 2013, 28(6): 570-574.
- [11] EHRET D L, EDWARDS D, HELMER T, et al. Effects of oxygen-enriched nutrient solution on greenhouse cucumber and pepper production [J]. Scientia Horticulturae, 2010, 125(4): 602-607.
- [12] 闫艳华, 王海宽, 肖瑞峰, 等. 一株乳酸菌对番茄灰霉病的防效及对几种防御酶活性的影响[J]. 微生物学通报, 2011, 38(12): 1801-1806.
- [13] 李世贵, 吕天晓, 顾金刚, 等. 施用木霉菌诱导黄瓜抗病性及对土壤酶活性的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2010(2): 75-78.
- [14] 谷医林, 王远宏, 常若葵, 等. 解淀粉芽胞杆菌 Lj1 诱导黄瓜抗白粉病的研究[J]. 农药学报, 2013, 15(3): 293-298.
- [15] MITTLER R, VANDERAUWERA S, GOLLERY M, et al. Reactive oxygen gene network of plant [J]. Trends in Plant Science, 2004, 9(10): 490-498.
- [16] 刘淑宇, 于新, 陈发河, 等. 绿色木霉菌发酵液对芒果炭疽菌胞内抗性酶活性的影响[J]. 果树学报, 2013, 30(2): 285-290.
- [17] 张雨竹, 董雪梅, 郭春兰, 等. 桃色顶孢霉发酵液对大豆的促生及对抗氧化酶活性的影响[J]. 中国油料作物学报, 2014, 36(4): 519-523.