

# 葡聚六糖对菜薹立枯病和相关蛋白、内源激素的影响

康云艳, 刘 兵, 杨 暹\*, 柴喜荣

(华南农业大学园艺学院, 广州 510642)

**摘 要:** 通过不同浓度葡聚六糖和接种立枯病菌处理, 研究了葡聚六糖对菜薹接种立枯病菌后的发病率、病情相关蛋白 (PRs) 和内源激素含量的影响。结果表明: 葡聚六糖处理可提高菜薹对立枯病菌的抗性, 降低发病率。葡聚六糖处理对菜薹产量没有明显的影响, 而接种立枯病菌后, 产量明显降低, 但葡聚六糖处理可以抑制立枯病菌对菜薹生长的影响, 减轻产量的损失。葡聚六糖和立枯病菌处理都能明显诱导提高菜薹植株体内病情相关蛋白几丁质酶、 $\beta$ -1,3-葡聚糖酶和内源激素乙烯、吲哚乙酸 (IAA)、脱落酸 (ABA) 的水平, 但葡聚六糖的诱导作用明显大于立枯病菌。这些结果表明, 葡聚六糖可提高植株体内病情相关蛋白几丁质酶和  $\beta$ -1,3-葡聚糖酶的活性, 通过较高水平的内源激素乙烯、IAA 和 ABA 的代谢传递抗病信号, 诱导菜薹植株对立枯病的系统抗性。

**关键词:** 菜薹; 葡聚六糖; 立枯病; 病情相关蛋白; 内源激素

**中图分类号:** S 634.5

**文献标志码:** A

**文章编号:** 0513-353X (2014) 06-1125-08

## Effects of Glucohexaose on Sheath Blight, Pathogenesis-related Proteins and Endogenous Hormones in Flowering Chinese Cabbage

KANG Yun-yan, LIU Bing, YANG Xian\*, and CHAI Xi-rong

(College of Horticulture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

**Abstract:** The influences of glucohexaose on sheath blight (*Rhizoctonia solani*) occurrence, pathogenesis-related proteins (PRs) and endogenous hormones contents were studied in flowering Chinese cabbage (*Brassica campestris* L. ssp. *chinensis* var. *utilis* Tsen et Lee) using the inoculation of *R. solani* at different glucohexaose levels. The results showed that glucohexaose could increase the resistance of plants to *R. solani*, and reduce the incidence of sheath blight, but had no effect on the yield. After inoculation with *R. solani*, the yield of flowering Chinese cabbage was reduced significantly compared with control. Glucohexaose treatments could alleviate the inhibition of *R. solani* on plant growth, and reduce the loss of the yield caused with *R. solani*. Both exogenous glucohexaose and inoculation with *R. solani* increased the activities of chitinase and  $\beta$ -1,3-glucanase, ethylene production, and the contents of indole acetic acid (IAA) and abscisic acid (ABA). These data suggested the involvement of endogenous hormones in the

**收稿日期:** 2013-12-24; **修回日期:** 2014-05-05

**基金项目:** 广东省科技计划项目 (2012B020303001, 2012A020603009); 广东省现代农业产业技术体系特色蔬菜产业创新团队项目 (粤农[2009]380号); 国家自然科学基金项目 (31301767)

\* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: yangxian@scau.edu.cn)

regulation of pathogenesis process of *R. solani*. It is important for inducing systematic acquired resistance of flowering Chinese cabbage to sheath blight to keep high level of PRs and endogenous hormones.

**Key words:** flowering Chinese cabbage; glucohexase; sheath blight; pathogenesis-related protein; endogenous hormone

菜薹 (*Brassica campestris* L. ssp. *chinensis* var. *utilis* Tsen et Lee), 又名菜心, 是中国华南地区的特产蔬菜和栽培规模最大的蔬菜之一, 在蔬菜的周年供应以及出口创汇中起着举足轻重的作用。蔬菜立枯病是由立枯丝核菌 (*Rhizoctonia solani*) 侵染所致, 在中国各地均有不同程度的发生, 通常情况下导致苗期死亡率在 15% ~ 20% 之间, 严重时高达 70% 以上 (黄新琦 等, 2012)。目前尚没有有效的方法控制其危害 (Kai et al., 2007)。

葡聚六糖是一种安全环保的新型寡糖类抗病诱导剂, 它能激活植物的防卫系统。业已证明, 葡聚六糖可诱导植株提高抗病能力, 有效地抑制病害的发生, 降低病情指数 (李宝聚 等, 2005; 马志强 等, 2005)。目前有关葡聚六糖的诱导抗病机理主要集中在黄瓜霜霉病的研究上 (孙艳秋 等, 2009), 而在其他蔬菜上的研究尚少。本试验中研究了葡聚六糖对菜薹接种立枯病菌后发病率、病情相关蛋白和内源激素变化的影响, 探讨其提高菜薹对立枯病的抗性机理, 为菜薹立枯病的安全防治提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

试验于 2011 年 6—8 月在华南农业大学蔬菜试验基地进行。以栽培面积较大的菜薹品种 ‘油青四九’ 为试验材料 (广州市蔬菜研究所提供)。6 月 20 日采用基质育苗。育苗基质为进口泥碳, 并经 121 °C、1 h 的高温灭菌。当幼苗长到 2 ~ 3 片真叶时定植于装有经过 2% 福尔马林溶液消毒沙子后的塑料花盆中 (下口径 20 cm, 上口径 28 cm, 高 25 cm, 每盆装沙子 7.85 L)。

### 1.2 试验方法

试验设置 0 (对照)、0.1、1.0 和 10 mg · L<sup>-1</sup> 葡聚六糖处理。每处理 3 次重复, 每重复 20 盆, 每盆种植 6 株。在生长期每 4 ~ 7 d 浇 1 次 Hoagland 配方的营养液。7 月 28 日菜薹形成初期, 采用人工喷雾的方法, 分别将各个葡聚六糖处理喷洒到植株叶片表面上, 每盆喷施 10 mL, 喷完后覆盖薄膜闷盖保湿 24 h, 各处理的对照喷施无菌水。7 月 30 日采用人工灌根接种法将立枯病菌菌液 (在 PDA 培养基上长满直径 9 cm 培养皿的立枯病菌菌落, 按每个菌落 50 mL 无菌水的比例用匀浆机匀浆形成) 浇在植株的根部。

接种后 7 d 观察各处理植株的发病情况, 统计发病率。发病率以各处理发病死亡的植株数量占处理总株数的百分率表示。

接种后 0、2、4、6 和 8 d, 取对照和 10 mg · L<sup>-1</sup> 葡聚六糖处理植株的第 4 ~ 7 节位叶片, 切碎混匀后各称取 500 mg, 用锡纸包好, 外套保鲜袋, 贮藏于 -30 °C 冰箱内, 用于几丁质酶活性、β-1,3-葡聚糖酶活性、吲哚乙酸 (IAA) 含量、脱落酸 (ABA) 含量的测定, 并取第 4 ~ 7 节位叶片, 立即密封 3 h 后测定乙烯释放量。几丁质酶活性参照 Boller 等 (1983) 的方法测定, 以每分钟生成 1 μmol N-乙酰氨基葡萄糖所需的酶量为一个酶活性单位 (U); β-1,3-葡聚糖酶活性参照 Mauch 等 (1984) 的方法测定, 以每小时产生还原糖 1 μg 的酶量作为一个酶活性单位 (U)。

乙烯释放速率参照刘志勇等 (2006) 的方法, 采用日本岛津 GC-17A 气相色谱仪进行测定。在

室温下将叶子置于 625 mL 密封罐中, 密封 3 h, 用一次性注射器从罐中抽取 1 mL 气体用于测定。色谱柱为活性氧化铝填充柱 (2 mm × 0.3 mm), 柱温为 60 °C, 载气为氦气, 流速 30 mL · min<sup>-1</sup>, 采用火焰离子检测器 (FID), 温度为 120 °C, 进样口温度为 120 °C。以每小时每克样品所产生的气体为释放速率, 以  $\mu\text{L} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  表示。

IAA、ABA 采用陈雪梅和王沙生 (1992) 的 HPLC 法提取、纯化、分离和测定。HPLC 检测的条件: 色谱柱为 C18 柱 (250 mm × 4.6 mm, 5  $\mu\text{m}$ , Hypersil); 流动相为甲醇: 乙腈:  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  (0.02 mol · L<sup>-1</sup>, pH 3.5) = 15: 15: 70; 流速为 1 mL · min<sup>-1</sup>; 柱温 35 °C; 紫外检测波长 210 nm; 进样量 10  $\mu\text{L}$ ; 外标法测定。IAA、ABA 计算方法为: 样品质量分数 = (标样质量分数 × 样品峰面积 × 稀释体积) / (样品质量 × 标样峰面积), 以  $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$  表示。

于采收期 (8 月 5 日) 统计各处理菜薹的产量。数据采用 Excel 2003 和 SAS 9.0 软件进行分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 葡聚六糖处理对菜薹接种立枯病菌后发病率的影响

葡聚六糖处理菜薹 9 d 后接种立枯病菌 7 d 时植株的发病率见图 1。结果表明, 葡聚六糖各处理植株的发病率均比对照低, 并随着葡聚六糖处理浓度的升高而逐渐降低。可见施用葡聚六糖能够诱导菜薹对立枯病的抗性, 较高浓度的葡聚六糖 (10 mg · L<sup>-1</sup>) 能显著地降低植株的发病率。

### 2.2 葡聚六糖处理对菜薹接种立枯病菌后菜薹产量的影响

从表 1 可以看到, 葡聚六糖各处理对未接种立枯病菌的菜薹产量无显著的影响。接种立枯病菌明显地影响菜薹植株的生长发育, 降低产量, 但葡聚六糖处理明显地抑制了产量的降低, 其中 10 mg · L<sup>-1</sup> 葡聚六糖处理的菜薹产量与未接种立枯病菌的各处理产量无显著差异。

可见, 葡聚六糖处理对菜薹产量的影响不明显, 立枯病菌明显地抑制菜薹生长发育, 而葡聚六糖能够提高菜薹的抗病能力, 抑制立枯病菌对植株生长的破坏作用, 降低产量的损失。以 10 mg · L<sup>-1</sup> 葡聚六糖处理抗病效果较好。

### 2.3 葡聚六糖处理对菜薹接种立枯病菌后叶片病程相关蛋白的影响

#### 2.3.1 对几丁质酶活性的影响

由图 2, A 可以看出, 对照 (0 mg · L<sup>-1</sup> 葡聚六糖) 处理不接种立枯病菌的植株叶片的几丁质酶活性缓慢上升, 于 6 d 时开始缓慢下降; 而 10

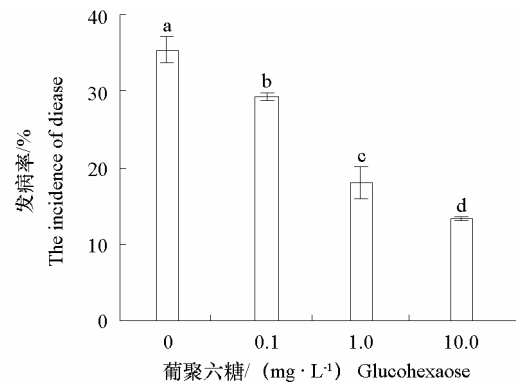


图 1 葡聚六糖处理对菜薹接种立枯病菌后发病率的影响

Fig. 1 The effects of glucohexaose treatment on the incidence of sheath blight after inoculation with *Rhizoctonia solani* in flowering Chinese cabbage

表 1 葡聚六糖处理对菜薹接种立枯病菌后产量的影响

Table 1 The effects of glucohexaose treatment on yield after inoculation with *Rhizoctonia solani* in flowering Chinese cabbage

接种 Inoculation	葡聚六糖 / (mg · L <sup>-1</sup> ) Glucohexaose	菜薹产量 / (g · plant <sup>-1</sup> ) Yield
未接种 No inoculation	0	15.52 ± 1.60 a
	0.1	15.95 ± 1.11 a
	1.0	16.39 ± 0.97 a
	10.0	16.37 ± 0.57 a
接种 Inoculation	0	9.97 ± 1.93 c
	0.1	11.63 ± 1.75 bc
	1.0	13.73 ± 1.08 ab
	10.0	15.18 ± 1.37 a

注: 同列数据后不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

Note: The different letter with in a column indicated significance at  $P < 0.05$  level.

$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$  葡聚六糖处理不接种立枯病菌的植株基本呈缓慢直线上升的趋势, 且于 8 d 时高于对照。

对照 ( $0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  葡聚六糖) 处理接种立枯病菌的植株叶片的几丁质酶活性逐步上升, 于 6 d 时开始缓慢下降, 且酶活性从 4 d 时开始明显高于没有接种的处理, 但与没有接种的  $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  葡聚六糖处理差异不显著;  $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  葡聚六糖处理中, 接种植株叶片的几丁质酶活性显著高于没有接种的处理, 其变化规律与对照接种后的相似, 于 6 d 时达到高峰, 以后逐渐下降。在整个处理过程中, 以  $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  葡聚六糖处理接种后的几丁质酶的活性最高, 对照没有接种的处理最低。

可见, 葡聚六糖可促进菜薹植株体内几丁质酶的活性提高, 立枯病菌也可诱导提高叶片几丁质酶活性, 而葡聚六糖处理则可调控立枯病菌对几丁质酶活性的诱导作用, 提高叶片几丁质酶活性。

### 2.3.2 对叶片 $\beta$ -1,3-葡聚糖酶活性的影响

由图 2, B 可以看出, 对照处理不接种立枯病菌的植株叶片的  $\beta$ -1,3-葡聚糖酶活性在前 2 d 上升, 之后波动, 缓慢下降; 而  $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  葡聚六糖处理不接种立枯病菌的植株前 2 d 上升, 之后一直下降, 于 8 d 时酶活性高于对照。

对照处理接种立枯病菌的植株叶片的  $\beta$ -1,3-葡聚糖酶活性与没有接种的变化规律基本一致, 虽然立枯病菌有诱导酶活性升高的趋势, 但差异不显著;  $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  葡聚六糖处理中, 接种植株叶片的  $\beta$ -1,3-葡聚糖酶活性的变化规律与没有接种的基本相似, 但远高于没有接种的处理。处理中, 以  $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  葡聚六糖处理接种后的  $\beta$ -1,3-葡聚糖酶活性最高, 对照没有接种的处理最低。

可见, 葡聚六糖和立枯病菌都能够诱导植株体内  $\beta$ -1,3-葡聚糖酶活性的升高, 而葡聚六糖与立枯病菌具有协同诱导作用效应, 且前期的诱导作用比后期明显。

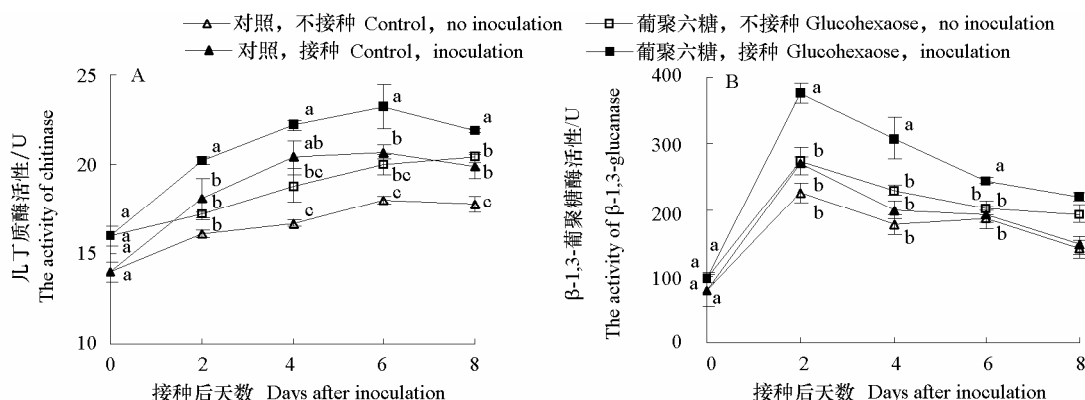


图 2 葡聚六糖处理 ( $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ) 对菜薹接种立枯病菌后叶片几丁质酶 (A) 和  $\beta$ -1,3-葡聚糖酶 (B) 活性的影响

Fig. 2 The effects of glucohexaose treatment ( $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ) on the activities of chitinase (A) and  $\beta$ -1,3-glucanase (B) of leaves after inoculation with *Rhizoctonia solani* in flowering Chinese cabbage

## 2.4 葡聚六糖处理对菜薹接种立枯病菌后叶片内源激素的影响

### 2.4.1 对乙烯释放速率的影响

由图 3 可以看出, 对照处理不接种立枯病菌的植株和  $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  葡聚六糖处理不接种立枯病菌的植株叶片的乙烯释放速率大体呈波动上升, 且后者始终高于前者。表明葡聚六糖处理可诱导叶片乙烯的产生。

对照处理接种立枯病菌的植株叶片的乙烯释放速率呈现缓慢的直线上升变化, 且明显高于没有接种的处理, 但低于没有接种的  $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  葡聚六糖处理;  $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  葡聚六糖处理, 接种植株叶片的乙烯释放速率呈曲线上升变化, 且明显高于没有接种的处理。以接种的  $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  葡聚六糖处理

的乙烯释放速率最高, 没有接种的  $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  葡聚六糖处理次之, 对照接种处理再次, 对照不接种处理最低。

可见, 葡聚六糖和立枯病菌都能明显地诱导菜薹植株乙烯释放的增加, 但立枯病菌的诱导作用没有葡聚六糖的明显, 而葡聚六糖与立枯病菌有协同诱导作用效应。

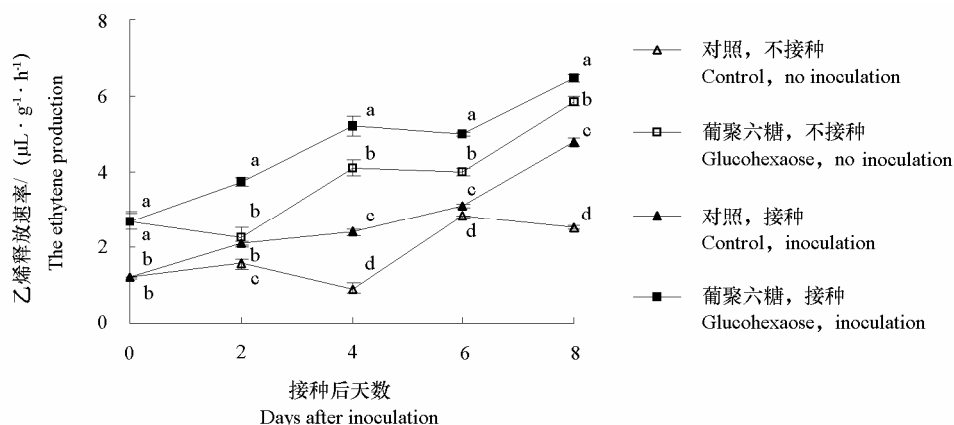


图3 葡聚六糖处理 ( $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ) 对菜薹接种立枯病菌后叶片乙烯释放速率的影响

Fig. 3 The effects of glucosamine treatment ( $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ) on the ethylene production of leaves after inoculation with *Rhizoctonia solani* in flowering Chinese cabbage

#### 2.4.2 对 IAA 含量的影响

由图 4, A 可以看出, 对照处理不接种立枯病菌的植株叶片的 IAA 含量缓慢上升, 在 4 d 时开始逐渐下降, 于 6 d 时又略有上升; 而  $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  葡聚六糖处理不接种立枯病菌植株叶片逐渐上升, 4 d 时开始则逐渐下降, 但始终明显高于对照, 表明葡聚六糖处理可诱导叶片 IAA 的形成。

对照处理接种立枯病菌的植株叶片的 IAA 含量逐渐上升, 6 d 时开始下降, 且在接种 4 d 和 6 d 明显高于不接种的对照, 但在 6 d 前明显低于不接种的  $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  葡聚六糖葡处理;  $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  葡聚六糖葡处理中, 接种植株叶片的 IAA 含量逐渐上升, 于 6 d 时下降, 且从 4 d 开始明显高于没有接种的处理。以  $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  葡聚六糖处理接种后的 IAA 含量最高, 对照不接种处理最低。

可见, 葡聚六糖和立枯病菌都能够诱导菜薹植株体内 IAA 的形成, 但葡聚六糖处理的诱导作用明显强于立枯病菌, 立枯病菌与葡聚六糖有协同诱导效应, 进一步诱导提高 IAA 含量。

#### 2.4.3 对 ABA 含量的影响

由图 4, B 可以看出, 对照处理不接种立枯病菌的植株叶片的 ABA 含量在前 4 d 逐渐上升, 之后下降, 6 d 后又回升;  $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  葡聚六糖处理不接种立枯病菌的植株的变化规律与对照基本一致, 但始终明显高于对照, 表明葡聚六糖处理可诱导提高叶片 ABA 含量。

对照处理接种立枯病菌的植株叶片的 ABA 含量缓慢上升, 在 6 d 后则下降, 但仅在 6 d 时明显高于没有接种的对照, 而在前 4 d 都明显低于没有接种的  $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  葡聚六糖处理;  $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  葡聚六糖处理中, 接种植株叶片的 ABA 含量的变化规律与接种的基本一致, 但显著高于接种的对照, 而仅在 6 d 时显著高于没有接种的  $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  葡聚六糖处理。以  $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  葡聚六糖处理接种后叶片的 ABA 含量最高, 对照不接种处理最低。

可见, 葡聚六糖和立枯病菌都能诱导提高菜薹植株体内 ABA 的含量, 但葡聚六糖处理的诱导作用强度明显大于立枯病菌。

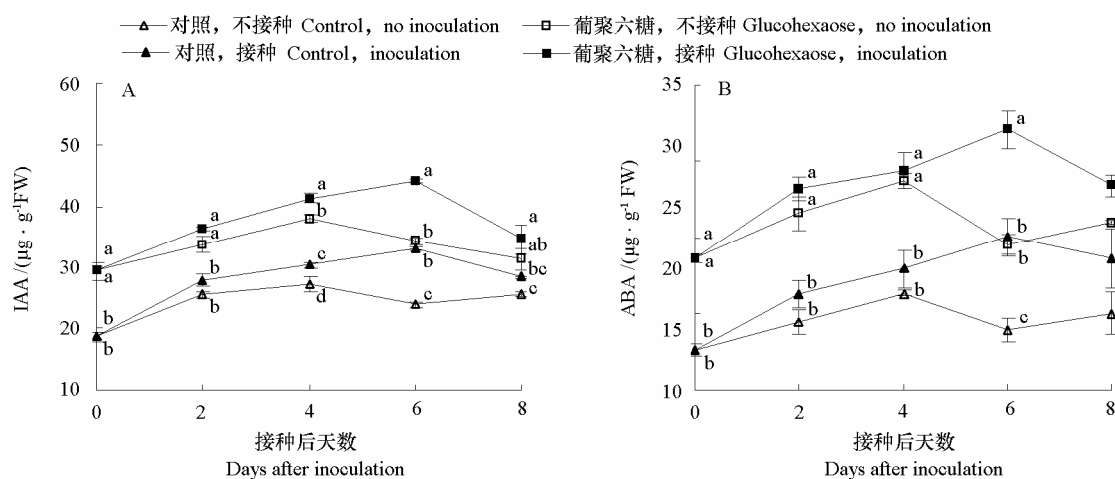


图 4 葡聚六糖处理 ( $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ) 对菜薹接种立枯病菌后叶片 IAA (A) 和 ABA (B) 含量的影响

Fig. 4 The effects of glucohexaose treatment ( $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ) on IAA (A) and ABA (B) contents of leaves after inoculation with *Rhizoctonia solani* in flowering Chinese cabbage

### 3 讨论

菜薹立枯病是一种真菌病害, 由立枯丝核菌侵染所致。随着菜薹复种指数的增加, 菜薹的立枯病越来越严重, 甚至导致生产全部失收。寡糖作为植物自我防卫系统的激活剂, 是美国 Albersheim 在 1984 年发现的, 它能诱导植保素的合成与积累。葡聚六糖是一种新型寡糖类物质, 可诱导植株提高抗病能力, 有效地抑制病害的发生, 降低病情指数 (李宝聚 等, 2005; 马志强 等, 2005)。范海延等 (2006) 的研究表明, 葡聚六糖可以促进黄瓜幼苗叶片内叶绿素含量增加, 提高叶片光合速率和呼吸速率, 增强黄瓜幼苗的生活力, 但对黄瓜幼苗株高没有明显的影响。本试验结果表明, 施用葡聚六糖可以提高菜薹对立枯病菌侵染的抵抗力, 降低发病率, 立枯病的发病率随着葡聚六糖处理浓度的升高而降低。葡聚六糖作为抗性诱导信号因子对菜薹的产量没有直接的影响, 但在植株感病的情况下, 葡聚六糖能够减少由于病害造成的产量下降或损失, 提高菜薹植株对立枯病菌的抗性, 降低发病率。

植物在受到病原菌及其激发子诱导时会产生一系列防卫反应, 如植保素的合成、各种抗病防御蛋白的激活、细胞壁木质化作用, 以及 HRGP 在细胞壁中的积累等, 其中几丁质酶和  $\beta$ -1,3-葡聚糖酶能够分解病原菌细胞壁中的几丁质和葡聚糖成分, 它们是病程相关蛋白 (PRs) 中的重要类群, 被认为是植物产生诱导抗病性的生化机制之一 (Ziadi et al., 2001; 彭霞薇 等, 2006)。Kang 等 (1998) 研究发现,  $\beta$ -1,3-葡聚糖酶和几丁质酶在抑制真菌生长方面具有协同性。左豫虎等 (2009) 认为, 植株感病后几丁质酶、 $\beta$ -1,3-葡聚糖酶的活性明显增强, 大豆对疫霉根腐病的抗性与几丁质酶、 $\beta$ -1,3-葡聚糖酶活性呈正相关。本研究表明: 葡聚六糖和立枯病菌都能够明显地诱导提高菜薹植株体内几丁质酶和  $\beta$ -1,3-葡聚糖酶活性, 而葡聚六糖能明显地比立枯病菌加强对几丁质酶和  $\beta$ -1,3-葡聚糖酶活性的诱导作用, 提高两种酶的活性, 从而提高植株的抗病性, 抑制病害的发生。

植物的生长发育是多种激素综合作用的结果。目前关于病菌侵入植株后导致寄主内源激素紊乱的报道已很多, 但研究结果不一致。第一种观点认为, 植株感病后 IAA、ABA 含量明显提高 (徐荣旗和石磊岩, 2000; 杨顺锦 等, 2011; 严吉明和叶华智, 2013); 第二种观点认为植株感病后 IAA 降低, ABA 含量提高 (吴建国 等, 2010; 莫凤连 等, 2012; 陈明辉 等, 2013; 杜绍华和卜志国, 2013); 第三种观点认为, 病菌侵染下 IAA 含量增加是增强植株抵抗病菌的能力, 而 ABA 含量降低

(吴俊江 等, 2001); 第四种观点认为感病植株与正常植株体内的 IAA、ABA 含量没有明显区别(赵锦 等, 2006)。杜绍华和卜志国(2013)认为抗病品种比感病品种内源 IAA、ABA 含量水平高, 而莫凤连等(2012)的研究结果正好相反。大量的试验结果表明, 植物在受病原菌侵染后其乙烯释放量明显增加(杨暹和陈晓燕, 2005)。徐荣旗和石磊岩(2000)认为, 病菌侵染后乙烯释放量随内源 IAA 水平的高低变化而上升或下降。本试验表明, 葡聚六糖和立枯病菌都能明显地诱导增加菜薹植株的乙烯释放量、IAA 和 ABA 含量, 但葡聚六糖的诱导作用强度大于立枯病菌。这说明了葡聚六糖和立枯病菌干扰了菜薹体内内源激素的含量水平, 不但可以诱导菜薹体内内源激素的水平升高, 而且推测还可以有效的调节各种内源激素之间的比例, 维持适宜的动态平衡, 从而提高植株的抗病性能, 降低病害的发生。

综合分析认为, 葡聚六糖与菜薹病情相关蛋白和内源激素之间存在着密切的关系, 提高植株体内病情相关蛋白几丁质酶和  $\beta$ -1,3-葡聚糖酶的活性, 通过较高水平的内源激素乙烯、IAA 和 ABA 传递抗病信号, 从而诱导菜薹对立枯病的系统抗性, 降低病害的发生, 减少由于病菌的侵染而导致生产的损失。

## References

- Boller T, Gehri A, Mauch F, Vögeli U. 1983. Chitinase in bean leaves induction by ethylene, purification, properties and possible function. *Planta*, 157: 22 - 31.
- Chen Ming-hui, Huang Xing, Xie Xiao-na, Yang Li-tao, Li Yang-rui, Chen Bao-shan. 2013. Effects of ratoon stunting disease on growth and endogenous hormone in sugarcane. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 32 (3): 57 - 61. (in Chinese)
- 陈明辉, 黄 杏, 谢晓娜, 杨丽涛, 李杨瑞, 陈保善. 2013. 宿根矮化病菌对甘蔗生长和内源激素的影响. *华中农业大学学报*, 32 (3): 57 - 61.
- Chen Xue-mei, Wang Sha-sheng. 1992. Quantitative analysis of ABA, IAA and NAA in plant tissues by HPLC. *Plant Physiology Communications*, 28 (5): 368 - 371. (in Chinese)
- 陈雪梅, 王沙生. 1992. HPLC 法定量分析植物组织中 ABA, IAA 和 NAA. *植物生理学通讯*, 28 (5): 368 - 371.
- Du Shao-hua, Bu Zhi-guo. 2013. Effect of phytoplasma inoculation on endogenous IAA and ZT of leaves jujube with different resistance. *Journal of Jilin Agricultural Sciences*, 38 (3): 61 - 63. (in Chinese)
- 杜绍华, 卜志国. 2013. 植原体的侵染对不同抗性枣叶片内源 IAA、ZT 的影响. *吉林农业科学*, 38 (3): 61 - 63.
- Fan Hai-yan, Qu Guo-fu, Shao Mei-ni, Li Tian-lai, Li Bao-ju. 2006. Effects of glucosylase on growth and relative physiological characters of cucumber seedlings. *China Vegetable*, (1): 18 - 20. (in Chinese)
- 范海延, 曲国富, 邵美妮, 李天来, 李宝聚. 2006. 葡聚六糖对黄瓜幼苗生长及生理特性的影响. *中国蔬菜*, (1): 18 - 20.
- Huang Xin-qi, Yong Xiao-yu, Shen Qi-rong, Yang Xing-ming. 2012. Screening and identifying antagonistic bacteria against *Rhizoctonia solani* and their biological control effects on soil-born damping-off disease of cucumber. *Acta Phytologica Sinica*, 39 (1): 45 - 50. (in Chinese)
- 黄新琦, 雍晓雨, 沈其荣, 杨兴明. 2012. 土传黄瓜立枯病高效拮抗菌的筛选鉴定及其生物效应. *植物保护学报*, 39 (1): 45 - 50.
- Kai M, Effmert U, Berg G, Piechulla B. 2007. Volatiles of bacterial antagonists inhibit mycelial growth of the plant pathogen *Rhizoctonia solani*. *Archives of Microbiology*, 187 (5): 351 - 360.
- Kang M K, Park K S, Choi D. 1998. Coordinated expression of defense-related genes by TMV infection or salicylic acid treatment in tobacco. *Molecules and Cells*, 8 (4): 388 - 392.
- Li Bao-ju, Fan Hai-yan, Sun Yan-qiu, Shi Yan-xia. 2005. Accumulation of salicylic acid in cucumber treated with glucosylase and its relation to systemic acquired resistance against cucumber downy mildew. *Acta Horticulturae Sinica*, 32 (1): 115 - 117. (in Chinese)
- 李宝聚, 范海延, 孙艳秋, 石延霞. 2005. 葡聚六糖诱导黄瓜体内水杨酸的积累及其与抗霜霉病关系的初步研究. *园艺学报*, 32 (1): 115 - 117.
- Liu Zhi-yong, Shen Chun-zhang, Dong Yuan-yan. 2006. Determination of ethylene release rate in rape by gas chromatography. *Chemistry & Bioengineering*, 23 (2): 55 - 56. (in Chinese)
- 刘志勇, 沈春章, 董元彦. 2006. 气相色谱法速测油菜中的乙烯释放量. *化学与生物工程*, 23 (2): 55 - 56.

- Ma Zhi-qiang, Li Hong-xia, Zhang Xiao-feng, Wang Wen-qiao, Han Xiu-ying. 2005. Inhibiting effect of triadmecon and glucosylase against TMV. *Acta Phytopathologica Sinica*, 35 (6): 122 - 124. (in Chinese)
- 马志强, 李红霞, 张小凤, 王文桥, 韩秀英. 2005. 三唑酮和葡聚六糖对烟草花叶病毒联合抑制作用初探. *植物病理学报*, 35 (6): 122 - 124.
- Mauch F, Lee A, Boller T. 1984. Ethylene: Symptom, not signal for the induction of chitinase and  $\beta$ -1,3-glucanase in pea pods by pathogens and elicitors. *Plant Physiology*, 76: 607 - 611.
- Mo Feng-lian, Yang Li-tao, Pan Ru-ke, Song Xiu-peng, Li Yang-rui. 2012. Changes of endogenous hormone content in sugarcane under smut pathogen stress. *Journal of Southern Agriculture*, 43 (11): 1676 - 1681. (in Chinese)
- 莫凤连, 杨丽涛, 潘如科, 宋修鹏, 李杨瑞. 2012. 甘蔗黑穗病菌胁迫对甘蔗内源激素含量的影响. *南方农业学报*, 43 (11): 1676 - 1681.
- Peng Xia-wei, Zhao Ai-mei, Bai Zhi-hui, Zhang Hong-xun. 2006. Effect of treatment with pectinases extract on pathogenesis-related proteins and cell wall substances in cucumber leaves. *Chinese Journal of Applied & Environmental Biology*, 12 (3): 325 - 328. (in Chinese)
- 彭霞薇, 赵哀梅, 白志辉, 张洪勋. 2006. 果胶酶激发子对黄瓜叶片病程相关蛋白及细胞壁物质的影响. *应用与环境生物学报*, 12 (3): 325 - 328.
- Sun Yan-qiu, Li Bao-ju, Shi Yan-xia, Chen Jie. 2009. Mechanisms of system signal transduction and constriction resistance in cucumber induced by glucosylase. *Journal of Jilin Agricultural University*, 31 (4): 376 - 381. (in Chinese)
- 孙艳秋, 李宝聚, 石延霞, 陈捷. 2009. 葡聚六糖诱导黄瓜结构抗性及其系统信号传导机制. *吉林农业大学学报*, 31 (4): 376 - 381.
- Wu Jian-guo, Wang Ping, Xie Li-yan, Lin Qi-ying, Wu Zu-jian, Xie Lian-hui. 2010. Affection of rice dwarf virus on three phytohormones and transcriptional level of related genes in infected rice. *Acta Phytopathologica Sinica*, 40 (2): 151 - 158. (in Chinese)
- 吴建国, 王萍, 谢荔岩, 林奇英, 吴祖建, 谢联辉. 2010. 水稻矮缩病毒对3种内源激素含量及代谢相关基因转录水平的影响. *植物病理学报*, 40 (2): 151 - 158.
- Wu Jun-jiang, Liu Li-jun, Gao Ming-jie, Xia Kai, Wang De-gang, Guo Qiang. 2001. Study on endogenous hormones of soybeans with different degree of resistance to race 1 and 7 of *Cercospora sojina* hara. *Soybean Science*, 20 (1): 14 - 17. (in Chinese)
- 吴俊江, 刘丽君, 高明杰, 夏凯, 王德刚, 郭强. 2001. 不同抗性大豆品种(系)接种灰斑病1、7号生理小种后内源激素变化规律的研究. *大豆科学*, 20 (1): 14 - 17.
- Xu Rong-qi, Shi Lei-yan. 2000. Dynamics of plant endogenous hormone of cotton leaves infected by *Verticillium dahliae*. *Acta Gossypii Sinica*, 12 (6): 310 - 312. (in Chinese)
- 徐荣旗, 石磊岩. 2000. 棉花黄萎病菌致害棉株叶片内源激素的动态变化. *棉花学报*, 12 (6): 310 - 312.
- Yan Ji-ming, Ye Hua-zhi. 2013. Dynamics of endogenous phytohormone in broad bean leaf infected by *Olpidium viciae*. *Acta Phytopathologica Sinica*, 43 (3): 328 - 332. (in Chinese)
- 严吉明, 叶华智. 2013. 巢豆油壶菌与蚕豆相互作用下植物内源激素的动态. *植物病理学报*, 43 (3): 328 - 332.
- Yang Shun-jin, Zhan Ru-lin, Zhao Yan-long, Liu Feng. 2011. Study on the changes of anatomical structure and endogenous hormones in malformation stems of mango (*Mangifera indica*). *Journal of Fruit Science*, 28 (4): 708 - 711. (in Chinese)
- 杨顺锦, 詹儒林, 赵艳龙, 柳凤. 2011. 芒果畸形病茎部解剖结构及内源激素含量变化. *果树学报*, 28 (4): 708 - 711.
- Yang Xian, Chen Xiao-yan. 2005. Effects of *Colletotrichum higginsianum* infection on endogenous hormones in *Brassica parachinensis* leaves under different nitrogen nutrition. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 16 (5): 919 - 923. (in Chinese)
- 杨暹, 陈晓燕. 2005. 不同氮营养下炭疽病菌侵染对菜薹叶片内源激素的影响. *应用生态学报*, 16 (5): 919 - 923.
- Zhao Jin, Liu Meng-jun, Dai Li, Zhou Jun-yi. 2006. The variations of endogenous hormones in Chinese jujube infected with witches' broom disease. *Scientia Agricultura Sinica*, 39 (11): 2255 - 2260. (in Chinese)
- 赵锦, 刘孟军, 代丽, 周俊义. 2006. 枣疯病病树中内源激素的变化研究. *中国农业科学*, 39 (11): 2255 - 2260.
- Ziadi S, Barbedette S, Godard J F, Monot C, Le Corre D, Silué D. 2001. Production of pathogenesis-related proteins in the cauliflower (*Brassica oleracea* var. *botrytis*) -downy mildew (*Peronospora parasitica*) pathosystem treated with acibenzolar-S-methyl. *Plant Pathology*, 50: 579 - 586.
- Zuo Yu-hu, Kang Zhen-sheng, Yang Chuan-ping, Rui Hai-ying, Lou Shu-bao, Liu Ti-ruo. 2009. Relationship between activities of  $\beta$ -1,3-glucanase and chitinase and resistance to phytophthora root rot in soybean. *Acta Phytopathologica Sinica*, 39 (6): 600 - 607. (in Chinese)
- 左豫虎, 康振生, 杨传平, 芮海英, 娄树宝, 刘惕若. 2009.  $\beta$ -1,3-葡聚糖酶和几丁质酶活性与大豆对疫霉根腐病抗性的关系. *植物病理学报*, 39 (6): 600 - 607.