

# Influences of Silicon and Selenium on Defense Enzyme Activities in Rice Leaves and Resistance of Rice to Sheath Blight

Yanan Du<sup>1\*</sup>, Ying Xiao<sup>1\*</sup>, Genjia Tan<sup>1#</sup>, Daogui Liu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Key Laboratory of Biology and Sustainable Management of Plant Diseases and Pests of Anhui Higher Education Institutes, School of Plant Protection, Anhui Agricultural University, Hefei Anhui

<sup>2</sup>Agricultural Technology Extension Center of Guichi District, Chizhou Anhui

Email: <sup>\*</sup>tgj63@163.com

Received: June 19<sup>th</sup>, 2019; accepted: July 4<sup>th</sup>, 2019; published: July 11<sup>th</sup>, 2019

## Abstract

Rice sheath blight is the first of the three major rice diseases which cause serious economic losses. In order to further understand rice defensive enzyme activity and the resistance of rice sheath blight induced by selenium and silicon, the dynamic changes in PPO, CAT and PAL activities in rice leaves and relative control effect induced by silicon and selenium and inoculation with *Rhizoctonia solani* were studied. The results showed that PPO, CAT and PAL activities in Si and Se supplied rice plants were higher than those of the control groups. After being inoculated of *Rhizoctonia solani*, the treatment with 5.0 µg/mL of sodium selenite and 15.0 µg/mL of silicon dioxide had the best disease-resistant effect, the rice plants supplied with Si and Se had significantly lower disease index with relative control effect of 47.43% and 41.27%, respectively, compared to those of the control groups. Regardless of whether the *Rhizoctonia solani* was inoculated, the plant height and fresh weight of rice were significantly higher than those of the control groups. No significant differences in PPO, CAT and PAL activities were found between Si and Se.

## Keywords

Selenium, Silicon, Rice Sheath Blight, Induced Resistance, Defensive Enzyme

# 硒和硅诱导水稻对纹枯病的抗性及相关酶活性的影响

杜亚楠<sup>1\*</sup>, 肖莹<sup>1\*</sup>, 檀根甲<sup>1#</sup>, 刘道贵<sup>2</sup>

<sup>\*</sup>共一作者。

<sup>#</sup>通讯作者。

<sup>1</sup>安徽农业大学植保学院, 植物病虫害生物学与绿色防控安徽普通高校重点实验室, 安徽 合肥

<sup>2</sup>贵池区农技推广中心, 安徽 池州

Email: "tgj63@163.com

收稿日期: 2019年6月19日; 录用日期: 2019年7月4日; 发布日期: 2019年7月11日

## 摘要

研究了纹枯菌胁迫后, 外源用硅和硒诱导水稻对纹枯病的抗性以及对纹枯病感病品种春优78体内防御相关酶的影响。结果表明, 用亚硒酸钠5.0 μg/mL和二氧化硅15.0 μg/mL诱导水稻, 能有效提高水稻抗纹枯病的能力, 控病效果分别为41.27%和47.43%。经硒、硅诱导后不论接或不接种水稻纹枯病菌, 水稻株高和植株鲜重与对照相比均有显著的提高。接种水稻纹枯病菌后, 用硅和硒接种处理与不用硅和硒接种处理相比, 植株体内PPO、CAT和PAL有增加的趋势。

## 关键词

硒, 硅, 水稻纹枯病, 诱导抗性, 防御相关酶

Copyright © 2019 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

水稻纹枯病是水稻三大病害之一, 一般会造成水稻减产 10%~30%, 严重时可达 50% [1]。张国良等 [2]在研究硅对增强水稻成株期纹枯病抗性的影响时发现, 硅能够降低水稻植株的纹枯病发生率。1991年, Razak 通过研究发现硒可以抑制和减少作物的某些真菌性病害, 在植物的生长过程中有着重大意义[3]。硅和硒通过一系列的生理生化反应和信号传导过程, 激活寄主防卫基因, 诱导了植株系统抗病性[4] [5] [6]。长期以来, 学者对上述观点仍存在争议。但越来越多的研究发现, 硅和硒可能参与植物的代谢过程, 激活防卫基因, 导致与植物抗病性相关代谢物质的积累及抗病相关酶活性的提高, 从而增强植株的抗病性 [7] [8] [9] [10]。本研究以高感纹枯病水稻品种春优 78 为材料, 研究了纹枯菌胁迫后, 外源用硅和硒诱导水稻对纹枯病的抗性以及对水稻生长和水稻体内防御相关酶的影响。

## 2. 材料和方法

### 2.1. 供试水稻品种

春优 78。

### 2.2. 供试菌种

水稻纹枯病菌(*Rhizoctonia solani*)安徽农业大学植物保护学院植病流行与绿色防控实验室。

### 2.3. 供试试剂

亚硒酸钠( $\text{Na}_2\text{SeO}_3$ )、二氧化硅( $\text{SiO}_2$ )。

## 2.4. 诱导剂的制备

用精密电子天平准确称取  $\text{Na}_2\text{SeO}_3$  0.100 g 和  $\text{SiO}_2$  0.100 g, 然后分别用蒸馏水定容到 1000 mL, 配制成浓度为 100  $\mu\text{g}/\text{mL}$  的母液。实验时将母液配成不同浓度的  $\text{Na}_2\text{SeO}_3$  溶液和不同浓度的  $\text{SiO}_2$  溶液备用。

## 2.5. 水稻种植

将事先准备好的春优 78 水稻种子泡在 5% 的次氯酸钠溶液内 10 min, 然后用自来水反复冲洗 3 次, 用纯水洗 2 次, 最后用纯水浸泡 24 h。将滤纸铺在充分湿润的培养皿里, 然后把种子放于培养皿中并在 30 $^{\circ}\text{C}$  潮湿及黑暗的条件下培育 48 h。待种子发芽后铺撒在带有泥土的培养盘中种植。

## 2.6. 亚硒酸钠和二氧化硅对水稻抗纹枯病的诱导作用

在硒和硅对水稻纹枯病菌及纹枯病的影响预试验基础上, 明确了亚硒酸钠适合的诱导浓度范围小于 5  $\mu\text{g}/\text{mL}$ , 二氧化硅适合的诱导浓度范围小于 15  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 。因此设计亚硒酸钠诱导水稻抗纹枯病的浓度梯度为 5.0  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 、2.5  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 、1.0  $\mu\text{g}/\text{mL}$  和 0.5  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ; 二氧化硅诱导水稻抗纹枯病的浓度梯度为 15.0  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 、10.0  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 、5.0  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 、2.5  $\mu\text{g}/\text{mL}$  和 1.0  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ; 纯水作为对照。

将不同浓度的亚硒酸钠和二氧化硅溶液喷洒处理长至三叶一心的水稻植株叶片上, 以叶片湿润且有液滴滴落为准。试验设 15 株水稻为 1 个处理, 设置 3 次重复。并于处理后 48 h 采用菌丝块接种水稻纹枯病菌, 用灭菌的 7 mm 的打孔器将培养 2 d 的水稻纹枯病菌打孔并用镊子夹出接种于水稻叶鞘处, 接种后将水稻植株放置于温度为 28 $^{\circ}\text{C}$ ~30 $^{\circ}\text{C}$ , 湿度 85% 左右, 光照 12 h 与黑暗 12 h 光照强度 1600 Lx 的培养室中, 每天观察水稻发病情况, 并于 10 d 后调查水稻纹枯病的发病情况。水稻纹枯病等级按四级划分: 0 级, 全株无病; 1 级, 第 3 叶片以下各叶鞘、叶片发病; 2 级, 第 2 个叶片以下各叶鞘、叶片发病; 3 级, 顶叶叶鞘或顶片发病; 4 级, 全株发病, 提早死亡。计算病情指数和控病效果, 用 DPS 软件进行统计分析。

$$\text{病情指数} = \frac{\sum(\text{各级病株数} \times \text{相对应级别})}{(\text{调查总株数} \times \text{最高级值})} \times 100.$$
$$\text{控病效果}(\%) = \frac{(\text{对照病情指数} - \text{处理病情指数})}{\text{对照病情指数}} \times 100.$$

## 2.7. 亚硒酸钠和二氧化硅对水稻植株生物量的影响

水稻三叶一心期时, 分别设置喷施 300 mL 的 5  $\mu\text{g}/\text{mL}$  亚硒酸钠溶液、15  $\mu\text{g}/\text{mL}$  二氧化硅溶液和亚硒酸钠+二氧化硅(1:1)溶液的不同处理, 以纯水为对照。同时设置喷施 300 mL 的 5  $\mu\text{g}/\text{mL}$  亚硒酸钠溶液、15  $\mu\text{g}/\text{mL}$  二氧化硅溶液和亚硒酸钠+二氧化硅(1:1)溶液后于 48 h 后接种水稻纹枯病菌, 温室内温度保持在 28 $^{\circ}\text{C}$ ~30 $^{\circ}\text{C}$ 、湿度 85%。每个处理设 3 次重复。25 d 后收集样品, 去除样品表面杂质, 测量水稻株高和植株鲜重量。试验数据采用 SPSS 19.0 进行方差分析。

## 2.8. 亚硒酸钠、二氧化硅诱导后对水稻相关防御酶活性的影响

对三叶一心期的水稻苗进行诱导剂最佳诱导浓度激发处理。实验共设 6 个处理, 每处理 25 株水稻幼苗, 设 3 次重复。处理 1: 亚硒酸钠诱导 + 接菌; 处理 2: 亚硒酸钠诱导 + 未接菌; 处理 3: 二氧化硅诱导 + 接菌; 处理 4: 二氧化硅诱导 + 未接菌; 处理 5: 对照(CK1)纯水 + 接菌; 处理 6: 对照(CK2)纯水 + 未接菌。6 个处理溶液对水稻植株进行均匀的喷施, 喷施后 48 h 接菌, 分别于处理后 0 d、1 d、2 d、3 d、5 d、7 d 和 9 d 经过处理的水稻植株相同部位取叶片, 分别用分光光度法、紫外吸收法和紫外分光法来测定多酚氧化酶(PPO)、过氧化氢酶(CAT)和苯丙氨酸解氨酶(PAL)的活性[11] [12] [13]。

### 3. 结果与分析

#### 3.1. 亚硒酸钠和二氧化硅对水稻抗纹枯病的诱导作用

##### 3.1.1. 不同浓度亚硒酸钠诱导水稻抗纹枯病的效果

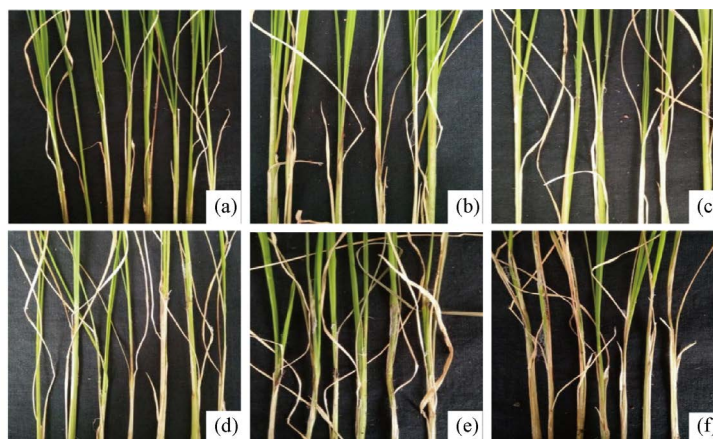
由表 1 可以看出, 以纯水为对照的发病率达 92.42%, 病情指数为 91.11。与对照相比, 各浓度处理的水稻发病率及病情指数均低于对照组。随着亚硒酸钠浓度的增加, 控病效果也增加, 不同浓度间的控病效果存在显著差异(表 1, 图 1), 亚硒酸钠浓度为 2.5~5.0  $\mu\text{g/mL}$  的处理控病效果达 40%。

**Table 1.** The effect of sodium selenite on rice resistance to Sheath blight

**表 1.** 亚硒酸钠诱导水稻抗纹枯病的控病效果

诱导浓度( $\mu\text{g/mL}$ )	调查总株数	病株数	发病率(%)	病情指数	控病效果(%)
5.0	42	36	85.71	54.28e	41.27d
2.5	43	37	86.05	55.89e	39.53d
1.0	44	39	88.64	67.45d	27.02c
0.5	44	39	88.64	74.44c	19.45b
0.1	45	38	84.44	80.28b	13.14a
ck	45	41	92.42	91.11a	--

注: 表中同一列中小写字母不同, 表示存在极显著差异( $p < 0.05$ ), 下同。



**Figure 1.** The incidence of rice sheath blight induced by sodium selenite at different concentrations, Note: (a), (b), (c), (d), (e) and (f) were incidence of rice sheath blight induced by sodium selenite concentration of 5.0, 2.5, 1.0, 0.5, 0.1 and 0  $\mu\text{g/mL}$ , respectively

**图 1.** 不同浓度亚硒酸钠诱导后水稻纹枯病发病情况。(a)、(b)、(c)、(d)、(e)和(f)分别为 5.0、2.5、1.0、0.5、0.1  $\mu\text{g/mL}$  亚硒酸钠和清水对照处理的发病情况

##### 3.1.2. 不同浓度二氧化硅诱导水稻抗纹枯病的效果

以纯水为对照的发病率达 92.31%, 病情指数为 86.66, 各处理与对照相比, 随着二氧化硅浓度的增加, 控病效果也增加(表 2), 不同浓度间的控病效果存在显著差异(表 2, 图 2), 二氧化硅浓度为 10.0~15.0  $\mu\text{g/mL}$  的处理控病效果大于 46%。

#### 3.2. 硒和硅诱导后对水稻防御酶活性的影响

##### 3.2.1. 对多酚氧化酶(PPO)活性的影响

由图 3(a)可知, 经硒处理的 PPO 活性高于未经硒处理, 经硒 + 接菌处理 PPO 活性在初期呈上升趋势, 于第 3 d 达到峰值, 比硒 + 不接菌高 1.22 倍, 比未诱导 + 接菌处理高 1.20 倍。由图 3(b)可知, 经

硅处理的 PPO 活性高于未经硅处理, 经硅 + 接菌处理 PPO 活性在初期呈上升趋势, 于第 1 d 达到峰值, 比硅 + 不接菌高 1.16 倍, 比未诱导 + 接菌处理高 1.21 倍。

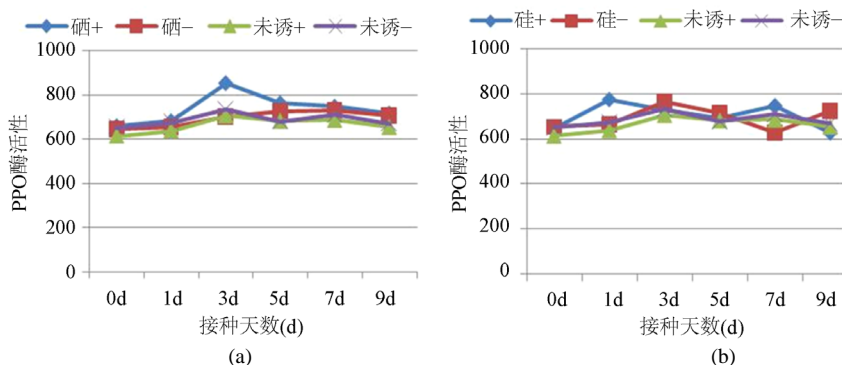
**Table 2.** The effect of silica on rice resistance to Sheath blight  
**表 2.** 二氧化硅诱导水稻抗纹枯病的控病效果

诱导浓度( $\mu\text{g/mL}$ )	调查总株数	病株数	发病率(%)	病情指数	控病效果(%)
15.0	38	30	78.95	45.56f	47.43d
10.0	38	31	81.58	49.80e	46.12d
5.0	38	29	76.32	62.89d	31.95c
2.5	39	32	82.05	74.00c	19.93b
1.0	39	33	84.62	83.33b	9.84a
ck	39	36	92.31	86.66a	--



**Figure 2.** The incidence of rice sheath blight induced by silica at different concentrations, Note: (a), (b), (c), (d), (e) and (f) was incidence of rice sheath blight induced by silica concentration of 5.0, 2.5, 1.0, 0.5, 0.1 and 0  $\mu\text{g/mL}$ , respectively

**图 2.** 不同浓度二氧化硅诱导后水稻纹枯病发病情况。注: (a)、(b)、(c)、(d)、(e)和(f)分别为 15.0、10.0、5.0、2.5、1.0  $\mu\text{g/mL}$  二氧化硅和清水对照处理的发病情况



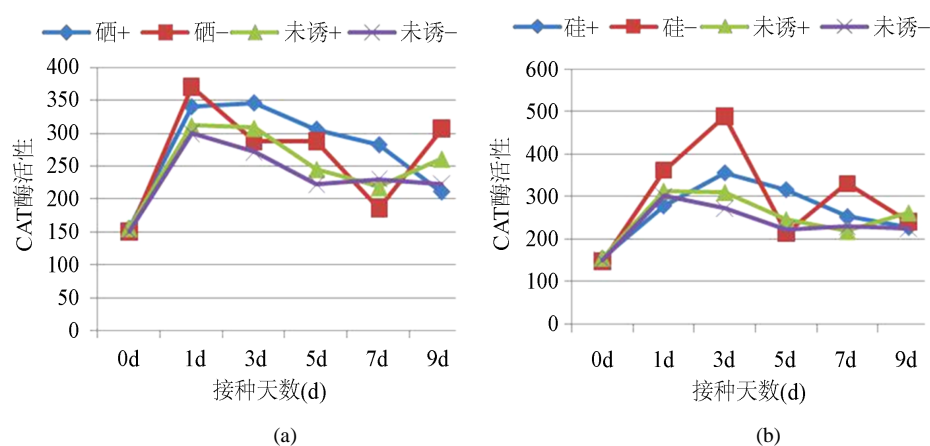
**Figure 3.** Effect of different inducers on PPO activity in rice leaves. Note: “+” indicates inoculation; “-” indicates no inoculation, (a) indicate treatment of sodium selenite; (b) indicate treatment of silica

**图 3.** 不同诱导剂对水稻叶片 PPO 酶活性的影响。注: “+”表示接菌; “-”表示不接菌; (a) 为亚硒酸钠诱导; (b) 为二氧化硅诱导



### 3.2.2. 对过氧化氢酶(CAT)活性的影响

由图 4(a)可知, 经硒 + 接菌处理 CAT 活性在初期呈快速上升趋势, 于第 3 d 达到峰值, 比硒 + 不接菌高 1.20 倍, 比未诱导 + 接菌高 1.12 倍, 后缓慢下降, 在整个测定点内 CAT 活性均高于未诱导 + 接菌、未诱导 + 不接菌处理; 经硒 + 不接菌处理 CAT 活性呈快速上升趋势, 在第 1 d 已经达到峰值, 后快速下降, 且在第 7 d 达到最低值, 后又上升。由图 4(b)可知, 经硅 + 接菌处理 CAT 活性在初期呈上升趋势, 于第 3 d 达到峰值, 比未诱导 + 接菌高 1.58 倍, 后呈缓慢下降趋势; 经硅 + 不接菌处理 CAT 活性初期呈快速上升趋势, 于第 3 d 达到峰值, 比硅 + 接菌高 1.38 倍, 比未诱导 + 接菌高 1.79 倍, 后又急剧下降, 第 5 d 达到最低值, 在第 7 d 达到另一个峰值, 但低于第 3 d 酶活性。



**Figure 4.** Effect of different inducers on CAT activity in rice leaves. Note: “+” indicates inoculation; “-” indicates no inoculation, (a) indicate treatment of sodium selenite; (b) indicate treatment of silica

**图 4.** 不同诱导剂对水稻叶片 CAT 酶活性的影响。注: “+”表示接菌; “-”表示不接菌; (a)为亚硒酸钠诱导; (b)为二氧化硅诱导

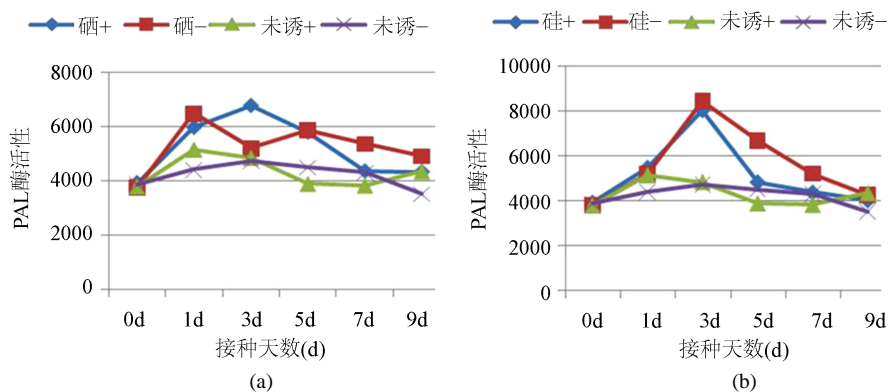
### 3.2.3. 对苯丙氨酸解氨酶(PAL)活性的影响

由图 5(a)可知, 经硒 + 接菌处理 PAL 活性在初期呈上升趋势, 于第 3 d 达到峰值, 比硒 + 不接菌高 1.30 倍, 比未诱导 + 接菌处理高 1.40 倍, 且整个测定点内 PAL 活性均高于未诱导 + 接菌、未诱导 + 不接菌处理; 经硒 + 不接菌处理 PAL 活性初期急剧上升, 于第 1 d 已达到峰值, 且活性高于硒 + 接菌处理, 且在第 7 d 达到另一个峰值, 但低于第 1 d 的峰值。由图 5(b)可知, 经硅 + 接菌处理和硅 + 不接菌处理 PAL 活性变化趋势相同, 在初期呈上升趋势, 于第 3 d 达到峰值, 明显高于未诱导 + 接菌、未诱导 + 不接菌处理 PAL 活性, 后呈下降趋势, 且硅 + 不接菌处理整个测定点内 PAL 活性均高于硅 + 接菌处理。

## 3.3. 硒及硅诱导后对水稻植株生物量的影响

### 3.3.1. 硒及硅诱导对水稻植株株高的影响

对照的接菌组和不接菌组的水稻平均株高分别为 33.29 cm 和 32.70 cm。经二氧化硅诱导处理后, 水稻植株接菌组平均株高达 39.13 cm, 不接菌组平均株高达 39.59 cm, 经亚硒酸钠诱导处理后, 水稻植株接菌组平均株高达 39.10 cm, 不接菌组平均株高达 39.48 cm, 与对照相比, 两者差异极显著; 经过诱导剂诱导处理后的水稻无论是否接种水稻纹枯病菌, 水稻植株株高都显著高于对照组(只喷施纯水), 接菌与不接菌间, 硒与硅之间, 株高均无显著差异, 说明经硒及硅诱导后对水稻生长具有促进作用(表 3)。



**Figure 5.** Effect of different inducers on PAL activity in rice leaves. Note: “+” indicates inoculation; “-” indicates no inoculation, (a) indicate treatment of sodium selenite; (b) indicate treatment of silica  
**图 5.** 不同诱导剂对水稻叶片 PAL 酶活性的影响。注：“+”表示接菌；“-”表示不接菌；(a) 为亚硒酸钠诱导；(b)为二氧化硅诱导

**Table 3.** The effect of inducer induction on plant height of rice  
**表 3.** 诱导剂诱导对水稻植株株高的影响

处理	调查株数	植株高度(cm)	差异显著性	
			(p = 0.05)	(p = 0.01)
硅+	30	39.13	a	A
硅-	30	39.59	a	A
硒+	30	39.10	a	A
硒-	30	39.48	a	A
纯水+	30	33.29	b	B
纯水-	30	32.70	b	B

注：“+”表示接菌；“-”表示不接菌。

### 3.3.2. 硒及硅诱导对水稻植株鲜重的影响

经二氧化硅诱导处理后，水稻植株接菌组平均鲜重达 19.77 g，不接菌组平均鲜重达 19.61 g，两者差异不显著；经亚硒酸钠诱导处理后，水稻植株接菌组平均鲜重达 20.09 g，不接菌组平均鲜重达 19.39 g，两者差异不显著；经过硒及硅诱导处理后的水稻无论是否接种水稻纹枯病菌，水稻植株鲜重都显著高于对照组(只喷施纯水)，接菌与不接菌间，硒与硅之间，鲜重均无显著差异，说明经硒及硅诱导后对水稻生长具有促进作用(表 4)。

**Table 4.** The effect of inducer induction on plant weight of rice  
**表 4.** 诱导剂诱导对水稻植株重量的影响

处理	调查株数	植株鲜重(g)	差异显著性	
			(p = 0.05)	(p = 0.01)
硅+	30	19.77	a	A
硅-	30	19.61	a	A
硒+	30	20.09	a	A
硒-	30	19.39	a	A
纯水+	30	17.50	b	B
纯水-	30	15.91	b	B

注：“+”表示接菌；“-”表示不接菌。

## 4. 小结与讨论

结果表明, 用亚硒酸钠 5.0  $\mu\text{g/mL}$  和二氧化硅 15.0  $\mu\text{g/mL}$  诱导水稻, 能有效提高水稻抗纹枯病的能力, 控病效果分别为 41.27% 和 47.43%。同时, 经硒、硅诱导后不论接或不接种水稻纹枯病菌, 水稻株高和植株鲜重与对照相比均有显著的提高。这与前人关于硒和硅可以降低作物病害发生率, 增强植物抗病能力的研究结果一致[11] [12] [13] [14]。

多酚氧化酶(PPO)、过氧化氢酶(CAT)和苯丙氨酸解氨酶(PAL)等都与植物体内的防卫反应相关, 这些酶在一定程度上反映了植物的抗病性的强弱。本文研究了纹枯菌胁迫后, 外源施硅和硒对纹枯病感病品种春优 78 体内防御相关酶的影响。结果表明, 接种水稻纹枯病菌后, 用硅和硒接种处理与不用硅和硒接种处理相比, 植株体内 PPO、CAT 和 PAL 有增加的趋势; 不接种纹枯病菌时, 用硅和硒与不施硅和硒处理之间上述酶活性差异不大。用硅和硒诱导能调节植株体内与抗性有关的生理生化反应, 从而抵抗病原菌的侵染。但硅和硒对诱导植物抗性的机制及其影响途径是由多方面因素决定的, 并不局限于此, 也可能不是对所有的诱导抗性机制都有效[11]。因此, 对硅和硒在诱导植物抗性机制方面的研究仍需进一步深入, 以便更全面合理地揭示硅和硒的抗病机制。

目前, 水稻纹枯病仍主要采用化学农药防治, 由于化学农药的大量及不合理使用, 使得水稻纹枯病菌对农药产生了抗药性, 不仅降低药效, 且造成农药残留和严重的生态环境污染问题, 不符合农药减量增效和绿色防控要求。本研究通过硒、硅诱导水稻, 能增强水稻抗纹枯病能力, 提高防病效果, 为水稻纹枯病的绿色防控提供了基础。

## 基金项目

安徽省重点研发项目水稻主要病虫害绿色防控及农药减施增效关键技术研究(1804a07020139)和国家重点研发项目长江中下游水稻化肥农药减施增效技术集成研究与示范项目(2016YFD0200806)资助。

## 参考文献

- [1] 孟庆忠, 刘志恒, 王鹤影, 等. 水稻纹枯病研究进展[J]. 沈阳农业大学学报, 2001, 32(5): 376-381.
- [2] 张国良, 戴其根, 张洪程, 等. 硅肥和接种纹枯病菌对水稻膜脂过氧化和防御酶活性的影响[J]. 扬州大学学报: 农业与生命科学版, 2006, 27(1): 49-53.
- [3] Razak, A., El-Tantawy, H., El-Sheikh, H., *et al.* (1991) Influence of Selenium on the Efficiency of Fungicide Action against Certain Fungi. *Biological Trace Element Research*, **28**, 47-56. <https://doi.org/10.1007/BF02990462>
- [4] 徐文联, 曾艳. 植物诱导抗病基因工程[J]. 生物学通报, 1996, 31(1): 18-20.
- [5] 宁东峰, 梁永超. 硅调节植物抗病性的机理: 进展与展望[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(5): 1280-1287.
- [6] 冯东昕, 李宝栋. 可溶性硅在植物抵御病害中的作用[J]. 植物病理学报, 1998(4): 293-297.
- [7] Chérif, M., Asselin, A. and Belanger, R.R. (1994) Defence Responses Induced By Soluble Silicon in Cucumber Roots Infected by *Pythium* spp. *Phytopathology*, **84**, 236-242. <https://doi.org/10.1094/Phyto-84-236>
- [8] Bélanger, R.R., Benhamou, N. and Menzies, J.G. (2003) Cytological Evidence of an Active Role of Silicon in Wheat Resistance to Powdery Mildew (*Blumeria graminis* f. sp. *tritici*). *Phytopathology*, **93**, 402-412. <https://doi.org/10.1094/PHYTO.2003.93.4.402>
- [9] Rémus Borel, W., Menzies, J.G. and Béanger, R.R. (2005) Silicon Induces Antigungal Compounds in Powdery Mildew-Infected Wheat. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, **66**, 108-115. <https://doi.org/10.1016/j.pmp.2005.05.006>
- [10] Rodrigues, F.A., Jurick, W.M., Datoff, L.E., *et al.* (2005) Silicon Influences Cytological and Molecular Events in Compatible Rice—*Magnaporthe grisea* Interactions. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, **66**, 144-159. <https://doi.org/10.1016/j.pmp.2005.06.002>
- [11] 范程岚, 王玲, 刘连盟, 黄世文. 外源施硅对水稻抗纹枯病相关酶及酚类物质的影响[J]. 中国稻米, 2012, 18(6): 14-17.



- 
- [12] Heine, G., Tikum, G. and Horst, W.J. (2007) The Effect of Silicon on the Infection by and Spread of *Pythium aphanidermatum* in Single Roots of Tomato and Bitter Gourd. *Journal of Experimental Botany*, **58**, 569-577. <https://doi.org/10.1093/jxb/erl232>
- [13] Lemes, E.M., Mackowiak, C.L., Blount, A., *et al.* (2011) Effects of Silicon Applications on Soybean Rust Development under Greenhouse and Field Conditions. *Plant Disease*, **95**, 317-324. <https://doi.org/10.1094/PDIS-07-10-0500>
- [14] Companioni, B., Medrano, J., Torres, J., *et al.* (2011) Protective Action of Sodium Selenite against Fusarium Wilt in Tomato: Total Protein Contents, Levels of Phenolic Compounds and Changes in Antioxidant Potential. *Acta Horticulturae*, **947**, 321-332. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.947.41>

**知网检索的两种方式:**

1. 打开知网首页: <http://cnki.net/>, 点击页面中“外文资源总库 CNKI SCHOLAR”, 跳转至: <http://scholar.cnki.net/new>, 搜索框内直接输入文章标题, 即可查询;  
或点击“高级检索”, 下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2164-5507, 即可查询。
2. 通过知网首页 <http://cnki.net/>顶部“旧版入口”进入知网旧版: <http://www.cnki.net/old/>, 左侧选择“国际文献总库”进入, 搜索框直接输入文章标题, 即可查询。

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [hjas@hanspub.org](mailto:hjas@hanspub.org)