

## 2 种单体皂苷及三七总皂苷对白菜 幼苗生长生理的影响

张红瑞<sup>1</sup>,张云霞<sup>2</sup>,李纪红<sup>3</sup>,沈玉聪<sup>1</sup>,高致明<sup>1</sup>,张子龙<sup>4</sup>

(1. 河南农业大学 农学院,河南 郑州 450046; 2. 郑州师范学院 生命科学学院,河南 郑州 450044;  
3. 香港嘉道理农场暨植物园,香港; 4. 北京中医药大学 中药学院,北京 100102)

**摘要:** 研究了三七皂苷 R<sub>1</sub>、人参皂苷 Rg<sub>1</sub> 和三七总皂苷对白菜幼苗苗高、主根长等生长性状以及过氧化物酶(POD)、超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)活性,可溶性糖、可溶性蛋白质含量等生理特性的影响。结果表明,与对照(蒸馏水)相比,0.01~100.00 mg/L 三七皂苷 R<sub>1</sub> 和人参皂苷 Rg<sub>1</sub> 处理均不同程度地降低了白菜幼苗的苗高、主根长和 POD、SOD 活性,其中,10.00、100.00 mg/L 三七皂苷 R<sub>1</sub> 处理组和 0.01、50.00 mg/L 人参皂苷 Rg<sub>1</sub> 处理组白菜幼苗的主根长降低达显著水平,白菜幼苗 CAT 活性升高,可溶性糖含量和可溶性蛋白质含量增加;三七总皂苷处理能增加白菜幼苗的 SOD、CAT 活性和可溶性蛋白质含量,降低其主根长、POD 活性,而苗高、可溶性糖含量呈现低促高抑的趋势,其中,0.01、10.00、50.00、100.00 mg/L 处理组白菜幼苗 POD 活性分别比对照显著下降 35.57%、37.90%、45.35%、35.42%。三七皂苷 R<sub>1</sub>、人参皂苷 Rg<sub>1</sub> 及三七总皂苷对白菜幼苗均具有一定的化感抑制作用,但在质量浓度 0.01~100.00 mg/L 的范围内,白菜可以作为三七的轮作作物。

**关键词:** 三七;三七皂苷 R<sub>1</sub>;人参皂苷 Rg<sub>1</sub>;三七总皂苷;白菜幼苗

**中图分类号:** S634.1      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1004-3268(2019)01-0094-06

## Effects of Two Kinds of Saponins and Panax Notoginseng Saponins (PNS) on Growth and Physiology of Chinese Cabbage Seedlings

ZHANG Hongrui<sup>1</sup>,ZHANG Yunxia<sup>2</sup>,LI Jihong<sup>3</sup>,SHEN Yucong<sup>1</sup>,GAO Zhiming<sup>1</sup>,ZHANG Zilong<sup>4\*</sup>

(1. College of Agronomy, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450046, China;  
2. College of Life Science, Zhengzhou Normal University, Zhengzhou 450044, China;  
3. Kadoori Farm and Botanic Garden, Lam Kam Road, Tai Po, New Territories, Hong Kong;  
4. School of Chinese Pharmacy, Beijing University of Chinese Medicine, Beijing 100102, China)

**Abstract:** This article studied the effects of notoginsenoside R<sub>1</sub>, ginsenoside Rg<sub>1</sub> and PNS on the growth features of Chinese cabbage seedlings such as height of seedlings, main root length, as well as physiological characteristics such as POD, SOD, CAT activity, soluble sugar contents, soluble protein contents, etc. The research results indicated that, compared with control group, the treatment of notoginsenoside R<sub>1</sub> and ginsenoside Rg<sub>1</sub> with the concentration range from 0.01 to 100.00 mg/L, reduced the height, main root length, POD and SOD activity of Chinese cabbage seedlings in varying degrees. The treatments of 10.00, 100.00 mg/L notoginsenoside R<sub>1</sub> and 0.01, 50.00 mg/L ginsenoside Rg<sub>1</sub>, significantly reduced the main root length, increased CAT activity, soluble sugar content and soluble protein content of Chinese cabbage seedlings. The PNS treatment increased SOD, CAT activity and soluble protein content of cabbage seed-

收稿日期:2018-07-09  
基金项目:国家自然科学基金项目(81102751)  
作者简介:张红瑞(1978-),女,河南鄢陵人,副教授,博士,主要从事药用植物资源与栽培研究。E-mail:hnautcm@126.com  
通信作者:张子龙(1976-),男,山西天镇人,副研究员,博士,主要从事药用植物资源与栽培研究。  
E-mail:zhangzilong76@163.com

lings, and reduced main root length and POD activity of Chinese cabbage seedlings. However, when PNS treatment with different concentration was carried out, the height and soluble sugar content of Chinese cabbage seedlings showed the trend of low concentrations promotion and high concentrations inhibition. Compared with control group, the POD activity with the PNS treatment of 0.01, 10.00, 50.00, 100.00 mg/L decreased by 35.57%, 37.90%, 45.35%, 35.42%, respectively. Notoginsenoside  $R_1$ , ginsenoside  $R_{g_1}$  and PNS have certain inhibitory effects on Chinese cabbage seedlings, but in the concentration range of 0.01—100.00 mg/L, Chinese cabbage can be used as a rotation crop of *Panax notoginseng*.

**Key words:** *Panax notoginseng*; Notoginsenoside  $R_1$ ; Ginsenoside  $R_{g_1}$ ; PNS (*Panax notoginseng* saponins); Chinese cabbage seedlings

三七以其干燥根及根茎入药,是我国常用大宗中药材之一,目前商品主要来源于栽培。随着药材商品需求量的增加,栽培面积亦逐年加大,随之出现的连作障碍已成为制约我国根类中药材可持续发展的重大问题<sup>[1]</sup>。种植过三七的土壤要经过 5 a 之后才能再次种植<sup>[2]</sup>。生产上多采用换地以避免种植过程出现连作障碍<sup>[3-4]</sup>。已有研究表明,三七土壤水提液或植株水提液不仅对其自身种子萌发及幼苗生长有抑制现象<sup>[5-8]</sup>,而且对其他作物种子萌发及生长也存在抑制现象,如茼蒿<sup>[9]</sup>、萝卜<sup>[9]</sup>、白菜<sup>[9-10]</sup>、玉米<sup>[10-11]</sup>、蚕豆<sup>[11]</sup>、小麦<sup>[11-13]</sup>、油菜<sup>[14]</sup>等。河南农业大学三七课题组前期的研究表明,三七的酚酸类成分对自身及白菜、小麦、玉米的幼苗生长有一定的影响<sup>[15-19]</sup>。因此,研究三七所含物质和分泌物质对后茬作物生长的影响十分必要。三七皂苷  $R_1$ 、人参皂苷  $R_{g_1}$  等是三七根际土壤含量较高的皂苷类物质<sup>[20]</sup>。韦美丽等<sup>[21]</sup>和周艳等<sup>[22]</sup>研究发现,三七皂苷  $R_1$ 、人参皂苷  $R_{g_1}$  和三七总皂苷对三七幼苗的生长存在一定的抑制作用,对幼苗生理也存在化感作用。游佩进等<sup>[9]</sup>研究发现,三七连作土壤及水提液对白菜的种子发芽和幼苗生长存在一定的影响,但对其影响机制尚未阐述清楚。因此,以水提液中含量较高的三七皂苷  $R_1$ 、人参皂苷  $R_{g_1}$ 、三七总皂苷等皂苷类物质为对象,研究其对白菜幼苗生理特性的影响,为明确三七影响白菜生长的机制及白菜能否作为三七的后茬作物提供依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料

单体皂苷三七皂苷  $R_1$  和人参皂苷  $R_{g_1}$ 、三七总皂苷、白菜种子(品种为优选早熟五号  $F_1$ )。

### 1.2 试验设计

采用 3% 次氯酸钠溶液消毒白菜种子,蒸馏水冲洗干净后晾干;采用石英石培养,每盒 100 粒白菜种子,分别加入 45 mL 单体皂苷三七皂苷  $R_1$  和人参皂苷  $R_{g_1}$  及三七总皂苷,质量浓度分别为 0.01、

0.10、1.00、10.00、50.00、100.00 mg/L,以蒸馏水为对照,以有小孔保鲜膜覆盖培养盒保湿,重复 3 次,在 25 ℃、自然光下培养。

### 1.3 测定指标

培养 10 d 测定白菜苗高和主根长,同时取叶片测定可溶性糖含量、可溶性蛋白质含量及超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)活性等生理指标<sup>[23-24]</sup>。

### 1.4 数据分析

参考张子龙等<sup>[25]</sup>的方法计算平均敏感指数(MSI)。计算公式如下:

$$MSI_R = \frac{\sum_{j=1}^n a_j}{n}$$

其中,  $MSI < 0$  时为抑制,  $MSI > 0$  时为促进,绝对值的大小与作用强度(敏感性)一致。 $R$  为  $MSI$  的级别或层次,  $n$  为该级别或层次数据(RI)的总个数,  $a$  为数据项。

采用 DPS v7.05 和 Excel 对数据进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 2 种单体皂苷及三七总皂苷对白菜幼苗生长的影响

2.1.1 苗高 由表 1 可以看出,三七皂苷  $R_1$  处理后白菜幼苗苗高均有所降低,但与对照间差异未达到显著水平;人参皂苷  $R_{g_1}$  处理后白菜幼苗的苗高有所增加,但并不显著;在 0.01、0.10、1.00 mg/L 的三七总皂苷低质量浓度处理时白菜幼苗苗高有所增加,在 10.00、50.00、100.00 mg/L 的高质量浓度处理时白菜幼苗苗高有所降低,但均未达到显著水平。

2.1.2 主根长 由表 2 可以看出,三七皂苷  $R_1$  和人参皂苷  $R_{g_1}$  及三七总皂苷处理后白菜幼苗的主根长均有所降低,其中 10.00、100.00 mg/L 三七皂苷  $R_1$  处理组,0.01、50.00 mg/L 人参皂苷  $R_{g_1}$  处理组和 0.01、1.00、50.00、100.00 mg/L 三七总皂苷处理组与对照差异显著。

表 1 2 种单体皂苷及三七总皂苷对白菜幼苗苗高的影响

Tab.1 Effects of notoginsenoside R<sub>1</sub>, ginsenoside Rg<sub>1</sub> and panax notoginseng saponins on height of Chinese cabbage seedlings

化感物质 Allelochemical	质量浓度/(mg/L) Mass concentration						
	0	0.01	0.10	1.00	10.00	50.00	100.00
三七皂苷 R <sub>1</sub> Notoginsenoside R <sub>1</sub>	3.30 ± 0.140a	3.28 ± 0.120a	3.15 ± 0.020a	3.28 ± 0.090a	3.29 ± 0.115a	3.26 ± 0.055a	3.12 ± 0.315a
人参皂苷 Rg <sub>1</sub> Ginsenoside Rg <sub>1</sub>	3.30 ± 0.140a	3.52 ± 0.335a	3.44 ± 0.040a	3.56 ± 0.205a	3.37 ± 0.025a	3.53 ± 0.015a	3.41 ± 0.035a
三七总皂苷 Panax notoginseng saponins	3.30 ± 0.140a	3.34 ± 0.105a	3.48 ± 0.105a	3.35 ± 0.075a	3.26 ± 0.145a	3.21 ± 0.005a	3.17 ± 0.310a

注：同行中不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ ), 下同。  
Note: The different lower cases in the same row indicated difference level at 0.05%. The same below.

表 2 2 种单体皂苷及三七总皂苷对白菜幼苗主根长的影响

Tab.2 Effects of notoginsenoside R<sub>1</sub>, ginsenoside Rg<sub>1</sub> and panax notoginseng saponins on main root length of Chinese cabbage seedlings

化感物质 Allelochemical	质量浓度/(mg/L) Mass concentration						
	0	0.01	0.10	1.00	10.00	50.00	100.00
三七皂苷 R <sub>1</sub> Notoginsenoside R <sub>1</sub>	4.15 ± 0.030a	3.79 ± 0.345ab	3.42 ± 0.015ab	3.65 ± 0.025ab	2.99 ± 0.065b	3.28 ± 0.370ab	2.87 ± 0.185b
人参皂苷 Rg <sub>1</sub> Ginsenoside Rg <sub>1</sub>	4.15 ± 0.030a	2.95 ± 0.110b	3.58 ± 0.325ab	3.45 ± 0.330ab	3.25 ± 0.460ab	2.86 ± 0.445b	3.14 ± 0.495ab
三七总皂苷 Panax notoginseng saponins	4.15 ± 0.030a	2.88 ± 0.005c	3.13 ± 0.045abc	2.98 ± 0.035bc	3.41 ± 0.085ab	3.00 ± 0.305bc	2.82 ± 0.215c

2.2 2 种单体皂苷及三七总皂苷对白菜幼苗生理特性的影响 降低,但降低不明显;三七总皂苷处理后,0.01、10.00、50.00、100.00 mg/L 处理组分别比对照显著下降 35.57%、37.90%、45.35%、35.42%。

2.2.1 POD 活性 由表 3 可知,2 种单体三七皂苷 R<sub>1</sub> 和人参皂苷 Rg<sub>1</sub> 处理后白菜幼苗 POD 活性有所

表 3 2 种单体皂苷及三七总皂苷对白菜幼苗 POD 活性的影响

Tab.3 Effects of notoginsenoside R<sub>1</sub>, ginsenoside Rg<sub>1</sub> and panax notoginseng saponins on POD activity of Chinese cabbage seedlings

化感物质 Allelochemical	质量浓度/(mg/L) Mass concentration						
	0	0.01	0.10	1.00	10.00	50.00	100.00
三七皂苷 R <sub>1</sub> Notoginsenoside R <sub>1</sub>	5 060.00 ± 270.000a	5 022.50 ± 582.500a	4 510.00 ± 365.000a	4 720.00 ± 580.000a	4 795.00 ± 340.000a	3 712.50 ± 287.500a	3 835.00 ± 280.000a
人参皂苷 Rg <sub>1</sub> Ginsenoside Rg <sub>1</sub>	5 060.00 ± 270.000a	4 995.00 ± 150.000a	4 140.00 ± 95.000a	5 027.50 ± 502.500a	5 022.50 ± 600.500a	4 845.00 ± 80.000a	5 055.00 ± 655.000a
三七总皂苷 Panax notoginseng saponins	5 060.00 ± 270.000a	3 260.00 ± 85.000bc	4 212.50 ± 157.500ab	4 387.50 ± 382.500ab	3 142.50 ± 277.500bc	2 765.00 ± 75.000c	3 267.50 ± 387.500bc

2.2.2 SOD 活性 从表 4 可知,与对照比较,单体皂苷三七皂苷 R<sub>1</sub> 及人参皂苷 Rg<sub>1</sub> 处理组白菜幼苗的 SOD 活性均有所降低,但均未达到显著水平;而三七总皂苷处理后白菜幼苗的 SOD 活性有所增加,也未达到显著水平。

表 4 2 种单体皂苷及三七总皂苷对白菜幼苗 SOD 活性的影响

Tab.4 Effects of notoginsenoside R<sub>1</sub>, ginsenoside Rg<sub>1</sub> and panax notoginseng saponins on SOD activity of Chinese cabbage seedlings

化感物质 Allelochemical	质量浓度/(mg/L) Mass concentration						
	0	0.01	0.10	1.00	10.00	50.00	100.00
三七皂苷 R <sub>1</sub> Notoginsenoside R <sub>1</sub>	167.46 ± 7.900a	156.37 ± 0.520a	152.15 ± 1.580a	126.38 ± 1.580a	134.28 ± 25.280a	130.33 ± 15.010a	154.82 ± 4.740a
人参皂苷 Rg <sub>1</sub> Ginsenoside Rg <sub>1</sub>	167.46 ± 7.900a	118.49 ± 50.555a	124.02 ± 27.645a	120.06 ± 34.770a	141.39 ± 26.070a	146.92 ± 56.870a	133.49 ± 18.170a
三七总皂苷 Panax notoginseng saponins	167.46 ± 7.900a	181.44 ± 58.215a	184.60 ± 39.255a	178.57 ± 20.585a	169.83 ± 8.690a	170.60 ± 9.460a	174.57 ± 11.845a

2.2.3 CAT 活性 由表 5 可知,2 种皂苷单体三七幼苗的 CAT 活性增加,但与对照组比差异均未达到皂苷 R<sub>1</sub> 和人参皂苷 Rg<sub>1</sub> 及三七总皂苷处理后白菜显著水平。

表 5 2 种单体皂苷及三七总皂苷对白菜幼苗 CAT 活性的影响

Chinese cabbage seedlings								U/g
化感物质	质量浓度/(mg/L) Mass concentration							
Allelochemical	0	0.01	0.10	1.00	10.00	50.00	100.00	
三七皂苷 R <sub>1</sub>	850.00 ±	931.25 ±	918.75 ±	906.25 ±	887.50 ±	867.50 ±	860.00 ±	
Notoginsenoside R <sub>1</sub>	25.000a	56.250a	68.750a	43.750a	12.500a	7.500a	87.000a	
人参皂苷 Rg <sub>1</sub>	850.00 ±	906.25 ±	956.25 ±	931.25 ±	881.25 ±	856.25 ±	855.00 ±	
Ginsenoside Rg <sub>1</sub>	25.000a	68.750a	93.750a	56.250a	93.750a	68.750a	67.500a	
三七总皂苷	850.00 ±	887.50 ±	885.00 ±	862.50 ±	856.25 ±	868.75 ±	860.00 ±	
Panax notoginseng saponins	25.000a	62.500a	72.500a	62.500a	31.250a	31.250a	27.500a	

2.2.4 可溶性糖含量 由表 6 可以看出,三七皂苷总皂苷处理组白菜幼苗的可溶性糖含量有所增加,R<sub>1</sub> 和人参皂苷 Rg<sub>1</sub> 处理组白菜幼苗的可溶性糖含1.00、10.00、50.00、100.00 mg/L 处理组白菜幼苗量增加,但未达到显著水平;0.01、0.10 mg/L 三七的可溶性糖含量有所降低,但均未达到显著水平。

表 6 2 种单体皂苷及三七总皂苷对白菜幼苗可溶性糖含量的影响

Chinese cabbage seedlings								mg/g
化感物质	质量浓度/(mg/L) Mass concentration							
Allelochemical	0	0.01	0.10	1.00	10.00	50.00	100.00	
三七皂苷 R <sub>1</sub>	3.52 ± 0.475a	4.17 ± 0.555a	3.62 ± 0.345a	3.55 ± 0.370a	3.56 ± 0.330a	3.65 ± 0.580a	3.73 ± 0.260a	
Notoginsenoside R <sub>1</sub>								
人参皂苷 Rg <sub>1</sub>	3.52 ± 0.475a	3.62 ± 0.145a	4.17 ± 0.560a	3.82 ± 0.630a	3.94 ± 0.155a	4.62 ± 0.365a	3.84 ± 0.525a	
Ginsenoside Rg <sub>1</sub>								
三七总皂苷	3.52 ± 0.475a	4.31 ± 0.035a	3.90 ± 0.245a	3.27 ± 0.220a	3.48 ± 0.360a	3.11 ± 0.830a	3.49 ± 0.120a	
Panax notoginseng saponins								

2.2.5 可溶性蛋白质含量 由表 7 可以看出,2 种皂苷处理后白菜幼苗的可溶性蛋白质含量均有所增加,但均未达到显著水平。

表 7 2 种单体皂苷及三七总皂苷对白菜幼苗可溶性蛋白质含量的影响

Chinese cabbage seedlings								mg/g
化感物质	质量浓度/(mg/L) Mass concentration							
Allelochemical	0	0.01	0.10	1.00	10.00	50.00	100.00	
三七皂苷 R <sub>1</sub>	12.58 ±	15.28 ±	12.81 ±	12.82 ±	13.86 ±	12.63 ±	12.61 ±	
Notoginsenoside R <sub>1</sub>	1.600a	1.645a	2.010a	0.590a	1.140a	0.095a	0.045a	
人参皂苷 Rg <sub>1</sub>	12.58 ±	15.49 ±	16.24 ±	15.51 ±	15.10 ±	16.16 ±	15.34 ±	
Ginsenoside Rg <sub>1</sub>	1.600a	0.140a	1.325a	0.595a	2.015a	0.315a	1.310a	
三七总皂苷	12.58 ±	15.78 ±	15.74 ±	18.02 ±	16.83 ±	12.65 ±	12.59 ±	
Panax notoginseng saponins	1.600a	1.520a	2.015a	1.280a	0.730a	0.150a	0.300a	

2.3 2 种单体皂苷及三七总皂苷对白菜幼苗敏感指数的影响

从表 8 可以看出,2 种单体皂苷和三七总皂苷的 1、2、3 级敏感指数大部分为负值。由 1 级敏感指数(MSI<sub>1</sub>)可知,三七皂苷 R<sub>1</sub> 和人参皂苷 Rg<sub>1</sub> 及三七总皂苷对白菜幼苗的主根长及幼苗 POD 与 SOD 活性有抑制作用,对幼苗 CAT 活性、可溶性蛋白质

含量、可溶性糖含量有促进作用。由 2 级敏感指数(MSI<sub>2</sub>)可知,2 种单体三七皂苷 R<sub>1</sub> 和人参皂苷 Rg<sub>1</sub> 及三七总皂苷对幼苗的形态指标均表现为抑制作用。由 3 级敏感指数(MSI<sub>3</sub>)可知,3 种皂苷类物质对白菜幼苗均表现为抑制作用,且人参皂苷 Rg<sub>1</sub> 对白菜幼苗的抑制强度较小,三七总皂苷的抑制强度较大。

表 8 2 种单体皂苷及三七总皂苷对白菜幼苗敏感指数的影响

Tab.8 The sensitivity index of Chinese cabbage seedlings under the treatement of notoginsenoside R<sub>1</sub>, ginsenoside Rg<sub>1</sub> and panax notoginseng saponins

化感物质 Allelochemical	MSI <sub>1</sub>						MSI <sub>2</sub>		MSI <sub>3</sub>	
	苗高 Seedling height	主根长 Main root length	POD 活性 POD activity	SOD 活性 SOD activity	CAT 活性 CAT activity	可溶性糖 含量 Soluble sugar content	可溶性蛋 白质含量 Soluble protein content	形态指标 Agronomic characters		生理指标 Physiological index
三七皂苷 R <sub>1</sub> Notoginsenoside R <sub>1</sub>	-0.023	-0.259	-0.157	-0.185	0.050	0.050	0.052	-0.141	-0.038	-0.090
人参皂苷 Rg <sub>1</sub> Ginsenoside Rg <sub>1</sub>	0.048	-0.304	-0.049	-0.289	0.052	0.115	0.195	-0.128	0.005	-0.062
三七总皂苷 Panax notoginseng saponins	-0.002	-0.374	-0.483	-0.051	0.023	0.009	0.161	-0.188	-0.068	-0.128

3 结论与讨论

本研究结果表明,2 种单体三七皂苷 R<sub>1</sub> 和人参皂苷 Rg<sub>1</sub> 及三七总皂苷对白菜幼苗的主根长有抑制作用,且幼苗的主根长在部分质量浓度处理下呈现显著降低趋势,这与前人的研究结果<sup>[26]</sup>基本一致。

植物体内可溶性糖和可溶性蛋白质是植物生理生化过程的基础,其含量高低反映植物生理生化的状态和对逆境的适应<sup>[27]</sup>。本研究结果表明,与对照相比,三七皂苷 R<sub>1</sub>、人参皂苷 Rg<sub>1</sub> 及低质量浓度的三七总皂苷处理后白菜幼苗的可溶性糖含量均有所增加,而高质量浓度的三七总皂苷处理后幼苗的可溶性糖含量有所降低,三七皂苷 R<sub>1</sub> 和人参皂苷 Rg<sub>1</sub> 及三七总皂苷均能在一定程度上促进白菜幼苗可溶性蛋白质的合成,这表明 0.01 ~ 100.00 mg/L 的三七皂苷 R<sub>1</sub> 和人参皂苷 Rg<sub>1</sub> 均在白菜幼苗的可适应范围之内,而白菜幼苗对三七总皂苷比较敏感。

逆境胁迫能引起植物活性氧增加和膜脂过氧化,破坏植物组织<sup>[28-29]</sup>。本研究发现,三七皂苷 R<sub>1</sub> 和人参皂苷 Rg<sub>1</sub> 及三七总皂苷处理后,白菜幼苗的 POD 活性降低,SOD 和 CAT 活性有所增强,表明在加入皂苷类物质后,白菜幼苗体内的活性氧增加。幼苗 POD 活性的降低可能是由于 SOD 歧化活性氧产生的 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 超出了 POD 的清除能力,这也可能会导致过氧化物的过度积累,从而对白菜幼苗产生危害。由于不同质量浓度的皂苷类物质处理并未引起形态上明显的变化,说明 0.01 ~ 100.00 mg/L 的三七皂苷 R<sub>1</sub> 和人参皂苷 Rg<sub>1</sub> 及三七总皂苷对白菜幼苗的生理生长有一定的影响,但并不是很严重。

通过综合敏感指数来看,不同质量浓度的 2 种单体皂苷及三七总皂苷对白菜幼苗生长和生理特性均存在一定的化感抑制作用,其中三七皂苷 R<sub>1</sub> 和人

参皂苷 Rg<sub>1</sub> 对白菜幼苗的抑制强度较小,三七总皂苷的抑制强度相对较大。综合考虑 2 种单体皂苷及三七总皂苷对白菜幼苗生长和生理的影响,只要土壤中的化感物质浓度在一定的范围内,白菜就可以作为三七等药用植物的轮作作物。

参考文献:

[1] 张爱华,郜玉钢,许永华,等.我国药用植物化感作用研究进展[J].中草药,2011,42(10):1885-1890.

[2] 黄天卫,张文斌,孙玉琴,等.不同轮作年限三七总皂苷含量分析[J].现代中药研究与实践,2011,25(3):3-4.

[3] 张重义,李明杰,陈新建,等.地黄连作障碍机制的研究进展与消减策略[J].中国现代中药,2013,15(1):38-44.

[4] 张子龙,李凯明,杨建忠,等.轮作对三七连作障碍的消减效应研究[J].西南大学学报(自然科学版),2015,37(8):39-46.

[5] 游佩进,王文全,张媛,等.三七根区土壤提取物对三七幼苗的化感作用[J].西南农业学报,2009,22(2):308-310.

[6] 游佩进,王文全,张媛,等.三七连作土壤对三七、莴苣的化感作用[J].西北农业学报,2009,18(1):139-142.

[7] 张子龙,王文全,杨建忠,等.三七连作土壤对其种子萌发及幼苗生长的影响[J].土壤,2010,42(6):1009-1013.

[8] 拱健婷,程新宇,孙萌,等.3 种皂苷单体对三七种子萌发及幼苗生长的影响[J].江西农业大学学报,2015,37(6):988-993.

[9] 游佩进,张媛,王文全,等.三七连作土壤对几种蔬菜种子及幼苗的化感作用[J].中国现代中药,2009,11(5):12-13.

(下转第 104 页)

桂类胡萝卜素含量最高,金桂品种金球桂类胡萝卜素含量次之,日香桂和玉玲珑类胡萝卜素含量较低<sup>[2]</sup>。虽然堰虹桂和日香桂 HYB1、HYB2 氨基酸序列相似,但是这 2 个品种花色及其类胡萝卜素含量存在差异,由此可见,桂花不同品种花色呈现与其 HYB1、HYB2 氨基酸序列差异无紧密关联。

#### 参考文献:

- [1] 向其柏,刘玉莲.中国桂花品种图志[M].杭州:浙江科学技术出版社,2008.
- [2] WANG Y,ZHANG C,DONG B,*et al.* Carotenoid accumulation and its contribution to flower coloration of *Osmanthus fragrans* [J]. *Frontier in Plant Science*, 2018, 9:1499.
- [3] HAN Y,WANG X,CHEN W,*et al.* Differential expression of carotenoid-related genes determines diversified carotenoid coloration in flower petal of *Osmanthus fragrans*[J]. *Tree Genetics & Genomes*,2014,10(2):329-338.
- [4] ZHU C F,BAI C,SANAHUJA G,*et al.* The regulation of carotenoid pigmentation in flowers[J]. *Archives of Biochemistry & Biophysics*,2010,504(1):132-141.
- [5] 廖正平,郑益平,罗鹏,等.中国水仙 *NiBCH* 基因的克隆及 LCYE RNAi 与反义 BCH 双价植物表达载体的构建[J].*热带作物学报*,2013,34(12):2382-2390.
- [6] 周兴文,周银慧,赵英,等.金花茶 *CnBCH* 基因 cDNA 全长克隆及生物信息学分析[J].*分子植物育种*,2017,15(1):77-83.
- [7] WANG H M,TO K Y,LAI H M,*et al.* Modification of flower colour by suppressing  $\beta$ -ring carotene hydroxylase genes in *Oncidium* [J]. *Plant Biology*, 2016, 18 (2): 220-229.
- [8] ZHANG C,WANG Y,FU J,*et al.* Transcriptomic analysis and carotenogenic gene expression related to petal coloration in *Osmanthus fragrans* ‘Yanhong Gui’ [J]. *Trees-Structure and Function*,2016,30(4):1207-1223.
- [9] 冯紫洲,李平,张继星,等.蓖麻 *BCH* 基因的克隆与序列分析[J].*内蒙古民族大学学报(自然科学版)*,2016,31(5):408-415.
- [10] 孙化雨,陈颖,赵韩生,等.毛竹  $\beta$ -胡萝卜素羟化酶基因的分子特征及其功能[J].*林业科学*,2015,51(10):53-59.
- [11] 冯唐锴,李思光,汪艳璐,等.南丰蜜橘  $\beta$ -胡萝卜素羟化酶基因的克隆和序列分析[J].*西北植物学报*,2007,27(2):238-243.
- [12] BOUVIER F,KELLER Y,D' HARLINGUE A,*et al.* Xanthophyll biosynthesis: Molecular and functional characterization of carotenoid hydroxylases from pepper fruits (*Capsicum annuum* L.) [J]. *Biochimica Et Biophysica Acta*,1998,1391(3):320-328.
- [13] 张超,刘玉成,王艺光,等.桂花类胡萝卜素异构酶基因的克隆及表达分析[J].*生物技术通报*,2017,33(6):89-96.
- [14] 张超,罗云,王艺光,等.桂花 15-顺式- $\zeta$ -胡萝卜素异构酶基因(*Z-ISO*)的克隆及表达分析[J].*农业生物技术学报*,2016,24(10):1512-1521.
- [15] (上接第 98 页)
- [10] 张金燕,孙雪婷,陈军文,等.连作三七根际土壤化感物质检测及其提取液对三种作物种子萌发的影响[J].*南方农业学报*,2017,48(7):1178-1184.
- [11] 王田涛,卢丙越,雷恩,等.三七对不同作物化感的效应[J].*浙江农业科学*,2017,58(11):1982-1985,1988.
- [12] 王庆玲,董涛,张子龙.三七对小麦的化感作用[J].*生态学杂志*,2015,34(2):431-437.
- [13] 杨莉,朱艳,崔秀明,等.三七植株残体降解物对小麦根系活力及生理生化指标的影响[J].*西南农业学报*,2015,28(5):1961-1964.
- [14] 王雄飞,刘春生,高鹏,等.三七水提液对几种植物种子萌发和幼苗生长的化感作用[J].*中国农学通报*,2014,30(4):299-303.
- [15] 沈玉聪,张红瑞,张子龙,等.酚酸类物质对三七幼苗的化感影响[J].*广西植物*,2016,36(5):607-614.
- [16] 李贺敏,张红瑞,沈玉聪,等.酚酸类物质对白菜幼苗和生理特性的影响[J].*河南农业大学学报*,2017,51(5):626-633.
- [17] 沈玉聪,张红瑞,姚珊,等.5种酚酸类物质对小麦幼苗的化感作用研究[J].*河南农业科学*,2016,45(5):101-105.
- [18] 沈玉聪.酚酸和皂苷类物质对三七及3种主要轮作作物幼苗的化感作用研究[D].郑州:河南农业大学,2016.
- [19] 黄勇,张红瑞,沈玉聪,等.酚酸类物质对玉米幼苗生长及生理特性的影响[J].*河南农业大学学报*,2017,51(3):301-307.
- [20] 周家明,张文斌,杨建忠,等.三七根际土壤化感物质的初步分离鉴定[J].*现代中药研究与实践*,2012,26(1):14-16.
- [21] 韦美丽,孙玉琴,黄天卫,等.化感物质对三七生长的影响[J].*特产研究*,2010(1):32-34.
- [22] 周艳,张红瑞,沈玉聪,等.三七总皂苷及两种单体皂苷对三七幼苗的化感作用研究[J].*河南农业大学学报*,2017,51(6):786-791.
- [23] 李玲.植物生理学模块实验指导[M].北京:科学出版社,2009:97-98.
- [24] 孔祥生,易现峰.植物生理学实验技术[M].北京:中国农业出版社,2008.
- [25] 张子龙,侯俊玲,王文全,等.三七水浸液对不同玉米品种的化感作用[J].*中国中药杂志*,2014,39(4):594-596.
- [26] 张秋菊,张爱华,杨鹤,等.人参皂苷对4种栽培作物早期根系发育的化感效应[J].*植物分类与资源学报*,2014,39(4):594-596.
- [27] 玄晓丽,陈梦怡,马三梅.ABA对叶子花正常叶和变态叶部分生理生化指标的影响[J].*广西植物*,2012,32(6):806-809.
- [28] 詹嘉红,蓝宗辉.水淹对铺地黍部分生理指标的影响[J].*广西植物*,2011,31(6):823-826.
- [29] 王松华,杨志敏,吕波,等.印度芥菜对Cu诱导的氧化胁迫响应[J].*南京农业大学学报*,2004,27(1):24-27.