

苯丙烯酸胁迫对黄瓜幼苗生长和抗氧化代谢特性的影响

王 文^{1,2}, 陈振德^{2*}, 罗庆熙¹, 曹 委^{2,3}

(1.西南大学园艺园林学院, 重庆 400716; 2.青岛市农业科学研究院, 山东 青岛 266100; 3.青岛农业大学园艺园林学院, 山东青岛 266109)

摘 要:采用营养钵土培的方法,研究了外源苯丙烯酸对津美1号、绿衣天使、C90和翠龙等不同黄瓜品种幼苗生长和叶片抗氧化酶活性及活性氧代谢的影响。结果表明,外源苯丙烯酸胁迫对黄瓜幼苗生长具有很强的抑制作用,并随着胁迫浓度的增大受抑制的程度加强。在苯丙烯酸胁迫下,黄瓜叶片的超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)和抗坏血酸过氧化物酶(APX)活性表现为低浓度升高,高浓度下降的趋势;超氧阴离子($O_2^{\cdot-}$)产生速率、过氧化氢(H_2O_2)含量、膜脂过氧化产物丙二醛(MDA)含量及渗透调节物质脯氨酸(Pro)含量、可溶性糖含量随着苯丙烯酸浓度的升高而显著增加。不同黄瓜品种对苯丙烯酸胁迫的响应存在着品种间差异。

关键词:苯丙烯酸胁迫; 黄瓜幼苗; 抗氧化酶活性; 活性氧代谢

中图分类号: Q945.78 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-2043(2011)04-0625-08

Effects of Cinnamic Acid Stress on the Growth and Antioxidant Metabolism of Seedlings in Cucumber (*Cucumis sativus* L.)

WANG Wen^{1,2}, CHEN Zhen-de^{2*}, LUO Qing-xi¹, CAO Wei^{2,3}

(1.College of Horticulture and Landscape, Southwest University, Chongqing 400716, China; 2.Qingdao Academy of Agricultural Sciences, Qingdao 266100, China; 3.College of Horticulture and Landscape, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China)

Abstract: The effects of exogenous cinnamic acid stress on seedling growth, antioxidant enzyme activities and reactive oxygen species metabolism of different varieties of cucumber, such as Jinmei No.1, Lvyitianishi, C90 and Cuilong, were studied by planting in the plastic pot filled with nutrient soil. The results showed that, exogenous cinnamic acid had a strong inhibitory effect on seedlings growth of cucumber, this inhibitory effect was much stronger with the increasing concentration of cinnamic acid. The activities of antioxidant enzymes including, SOD, POD, CAT and APX, showed upward trend when the concentration of cinnamic acid was low ($50\sim100\ \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$), but the trend was downward at high dose ($200\sim400\ \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$). The generation rate of $O_2^{\cdot-}$, the contents of H_2O_2 , MDA, Pro and soluble sugar were significantly increased as the raising amount of cinnamic acid added to the soil. Above mentioned parameters were different among varieties of cucumber under cinnamic acid stress.

Keywords: cinnamic acid stress; cucumber seedlings; antioxidant enzymes activities; reactive oxygen species metabolism

黄瓜(*Cucumis sativus* L.)是我国设施栽培的主要蔬菜之一。由于设施栽培倒茬困难,土传病害难以有效控制,连作障碍日趋严重。目前,连作障碍已成为制约设施黄瓜生产的瓶颈问题,这不仅与土传性病害和土壤理化性状劣变有关,自毒作用也是导致其连作障碍的主要原因之一^[1]。吴凤芝等^[2]研究表明,大棚土培与

温室土培的黄瓜幼苗根系分泌物对黄瓜枯萎病菌菌丝的生长有明显的促进作用,且随着连作年限的增加助长作用有增加的趋势。连作黄瓜2a和7a的土壤微生物群落多样性指数、丰富度及其均匀度指数均随着黄瓜种植年限的增加而降低,黄瓜产量显著下降^[3]。大棚连作4a土壤对黄瓜产量及其品质没有显著影响,而连作25a的土壤对黄瓜的产量及其品质均有显著的不良影响,其产量显著降低,品质变劣,土传病害发病率高^[4]。设施栽培条件下,合理的轮作有利于作物增产和品质提高。黄瓜栽培中,小麦及大豆轮作处理最有利于提高黄瓜的产量及品质^[5]。早在1894年J Wills

收稿日期:2010-10-11

基金项目:青岛市重大科技攻关课题(06-3-2-5-nsh)

作者简介:王 文(1983—),男,硕士研究生,主要从事蔬菜生理与设施园艺方面的研究。E-mail:wangwen.509@163.com

* 通信作者:陈振德 E-mail:qdczd@tom.com

就指出,黄瓜生长过程中根系所分泌的某些物质可能是引起连作减产的主要原因^[6]。Yu 等^[7-8]分离、鉴定出黄瓜生长过程中根系分泌物中的化感物质,主要是酚酸类物质苯丙烯酸、苯甲酸、对羟基苯甲酸、2,5-二羟基苯甲酸等,这些物质具有一定毒性,其中苯丙烯酸和对羟基苯甲酸对黄瓜的毒害作用较大。冯志红等^[9]研究表明,黄瓜根系分泌物、根系浸提液抑制了黄瓜种子的萌发和幼苗的生长。吴凤芝等^[10]研究了对羟基苯甲酸和苯丙烯酸等酚酸类物质对黄瓜幼苗生长及保护酶活性的影响。结果表明,羟基苯甲酸和苯丙烯酸等酚酸类物质对黄瓜幼苗的生长有抑制作用,鲜重、株高、茎粗、叶面积均有减小,并随处理浓度的增加抑制作用增强;苯丙烯酸比对羟基苯甲酸具有更强的抑制作用。目前,对自毒物质的研究主要集中在单一黄瓜品种,但不同品种间对自毒物质的响应鲜见报道。本试验是在 18 个黄瓜品种对苯丙烯酸胁迫反应的品种间差异^[11]的基础上,选择 2 个对苯丙烯酸耐性的品种(津美 1 号、绿衣天使)和 2 个对苯丙烯酸敏感的品种(翠龙、C90)为试验材料,研究了苯丙烯酸胁迫对黄瓜幼苗生长、抗氧化酶活性和活性氧代谢的影响,以期探讨苯丙烯酸胁迫对不同耐性黄瓜品种的自毒作用机理,为缓解自毒作用、打破连作障碍提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本试验在青岛市农业科学研究院试验场塑料大棚内进行,供试品种津美 1 号由天津科润黄瓜研究所提供,绿衣天使由山东省农业科学院蔬菜研究所提供,翠龙、C90 由青岛市农业科学研究院提供。

苯丙烯酸(肉桂酸)(cinnamic acid),分析纯(AR),天津市博迪化工有限公司生产。

1.2 试验方法

挑选籽粒饱满、大小均匀的黄瓜种子,55~60℃温水处理 10 min 后,于 30℃水温浸种 4 h,然后置光照培养箱中 28℃催芽,选择刚刚萌动的种子播于 8 cm×8 cm 营养钵中,二叶一心期开始用不同浓度的苯丙烯酸进行定量浇灌处理,每株 70 mL。苯丙烯酸处理浓度分别为 0(CK)、50、100、200、400 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$,每处理重复 3 次,每次重复 30 株。每隔 2 d 处理 1 次,共处理 4 次,最后一次处理间隔 4 d 后,进行黄瓜幼苗生长测定,取黄瓜第 3 片真叶测定抗氧化酶活性及活性氧代谢。处理后的幼苗保持正常的生长环境,无

其他非生物胁迫。

1.3 测定方法

SOD 活性的测定采用氮蓝四唑法测定,NBT 光还原 50%为单位,测定 560 nm 下 OD 值^[12]。POD 活性的测定采用愈创木酚法,以每分钟内 A470 变化 0.01 为 1 个酶活性单位^[12]。CAT 活性的测定采用紫外吸收法,以每分钟内 A240 变化 0.1 为 1 个酶活性单位^[12]。MDA 含量的测定采用硫代巴比妥酸法,测定 600、532、450 nm 下 OD 值^[13]。APX 活性参照 Nakano 等的方法测定^[14]。 $\text{O}_2\cdot$ 产生速率参照王爱国等的方法测定^[15]。 H_2O_2 含量参照林植芳等的方法测定^[16]。脯氨酸含量的测定采用磺基水杨酸法,测定 520 nm 下 OD 值^[17]。可溶性糖含量的测定采用蒽酮比色法,测定 620 nm 下 OD 值^[17]。

上述指标测定均使用日本岛津 UV-2550 型紫外可见分光光度计比色测定。

1.4 统计方法

采用 Excel、DPS2000 进行数据的统计分析。

2 结果与分析

2.1 苯丙烯酸胁迫对黄瓜幼苗生长的影响

试验结果(表 1)表明,在苯丙烯酸胁迫下,黄瓜幼苗生长明显受到了抑制,且随着浓度的升高受抑制的程度加强,4 个品种各处理之间株高、茎粗和地上部鲜(干)重均达到差异显著水平($P<0.05$)。与对照相比,绿衣天使和津美 1 号经 50 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 苯丙烯酸处理后,其地下部鲜重差异不显著,而 100 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 苯丙烯酸处理时达到差异显著水平。翠龙和 C90 的地下部鲜重在苯丙烯酸不同浓度处理之间均达到差异显著水平($P<0.05$)。绿衣天使、翠龙和 C90 地下部干重与对照相比,苯丙烯酸 50 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理时差异不显著,100 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时达到差异显著;津美 1 号地下部干重与对照相比,苯丙烯酸 50 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 100 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理时差异均不显著,200 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时才达到差异显著。从表 1 还可看出,不同黄瓜品种的株高和茎粗对苯丙烯酸胁迫的反应不同,以苯丙烯酸 400 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理为例,绿衣天使、津美 1 号、翠龙和 C90 的株高分别比对照下降 66.78%、61.46%、70.42%和 72.06%;茎粗下降 23.86%、21.92%、33.11%和 36.41%。

2.2 苯丙烯酸胁迫对黄瓜幼苗叶片活性氧代谢的影响

2.2.1 苯丙烯酸胁迫对黄瓜幼苗叶片超氧阴离子($\text{O}_2\cdot$)产生速率的影响

随苯丙烯酸浓度的升高,黄瓜幼苗 $\text{O}_2\cdot$ 产生速率

表 1 苯丙烯酸胁迫对不同品种黄瓜幼苗生长的影响

Table 1 Effects of cinnamic acid stress on seeding growth for different cucumber varieties							
品种	处理/ $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	株高/cm	茎粗/mm	地上部鲜重/ $\text{g}\cdot\text{株}^{-1}$	地下部鲜重/ $\text{g}\cdot\text{株}^{-1}$	地上部干重/ $\text{g}\cdot\text{株}^{-1}$	地下部干重/ $\text{g}\cdot\text{株}^{-1}$
绿衣天使	0	17.32a	6.12a	10.234a	0.937a	0.801a	0.128a
	50	15.60b	5.95b	9.672b	0.915a	0.776b	0.125a
	100	13.28c	5.77c	9.197c	0.824b	0.707c	0.113b
	200	9.51d	5.48d	6.351d	0.755c	0.573d	0.098c
	400	5.75e	4.66e	3.487e	0.582d	0.365e	0.076d
津美 1 号	0	21.20a	6.23a	13.729a	1.334a	0.987a	0.141a
	50	19.15b	5.91b	13.065b	1.308a	0.895b	0.133a
	100	15.14c	5.76c	12.110c	1.156b	0.810c	0.124ab
	200	11.71d	5.53d	8.682d	1.084c	0.682d	0.110b
	400	8.17e	4.87e	4.891e	0.854d	0.442e	0.085c
翠龙	0	23.82a	5.89a	10.543a	1.201a	0.784a	0.133a
	50	21.50b	5.60b	9.905b	1.073b	0.708b	0.123ab
	100	17.91c	5.38c	8.755c	0.989c	0.644c	0.112bc
	200	11.89d	5.16d	5.472d	0.886d	0.509d	0.098c
	400	7.05e	3.94e	2.979e	0.698e	0.319e	0.070d
C90	0	22.77a	6.65a	13.461a	1.138a	0.931a	0.148a
	50	20.42b	6.43b	12.532b	1.028b	0.839b	0.137a
	100	14.60c	6.15c	10.000c	0.972c	0.703c	0.119b
	200	10.28d	5.84d	6.689d	0.899d	0.514d	0.102c
	400	6.36e	4.23e	2.717e	0.628e	0.361e	0.076d

注:同一列数据中字母 a、b、c 分别表示 $P<0.05$ 差异显著水平。
Note: Numbers in the same line with a, b, c letters indicate a significant difference $P<0.05$.

逐渐增大。如苯丙烯酸 $50\ \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,4 个黄瓜品种的 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 产生速率虽然都比 CK 增加,但不同品种增加的幅度不同,其中绿衣天使的 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 产生速率增幅最小,为 2.53%;津美 1 号与 C90 次之,为 7.04%和 7.79%;翠龙的增幅最大,为 16.95%。当苯丙烯酸浓度为 $400\ \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,津美 1 号、绿衣天使、C90 和翠龙的 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 产生速率分别比 CK 提高 34.15%、47.52%、61.17%和 115.82%(图 1A)。由此可见,苯丙烯酸胁迫对不同黄瓜品种 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 产生速率的影响程度有明显差异,其中对翠龙黄瓜 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 产生速率的影响最大,其次是 C90,而对津美 1 号和绿衣天使的影响较小。

2.2.2 苯丙烯酸胁迫对黄瓜幼苗叶片 H_2O_2 含量的影响

苯丙烯酸胁迫对黄瓜幼苗 H_2O_2 含量的影响变化与 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 产生速率相似,随着苯丙烯酸浓度的升高,促进了黄瓜幼苗中 H_2O_2 的积累,其中以翠龙和 C90 最为明显。如苯丙烯酸浓度为 $50\ \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,绿衣天使、津美 1 号、翠龙和 C90 的 H_2O_2 含量分别比 CK 增加 5.52%、5.29%、47.28%和 51.71%。当苯丙烯酸浓度为 $400\ \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,津美 1 号、绿衣天使、翠龙和 C90 的 H_2O_2 含量分别比 CK 提高 39.67%、60.56%、64.78%和

96.94%(图 1B)。由此可见,苯丙烯酸胁迫对 C90 黄瓜幼苗 H_2O_2 含量的影响最大,对津美 1 号的影响较小。

2.3 苯丙烯酸胁迫对黄瓜幼苗叶片抗氧化酶活性的影响

2.3.1 苯丙烯酸胁迫对黄瓜幼苗叶片 SOD 活性的影响

由图 2A 可见,与对照相比,当对黄瓜幼苗进行不同浓度苯丙烯酸处理时,绿衣天使和津美 1 号黄瓜幼苗 SOD 活性随着苯丙烯酸浓度的升高呈现出先增高后降低的变化趋势,而翠龙和 C90 黄瓜幼苗 SOD 活性则随着苯丙烯酸浓度的增大而逐渐降低。当低浓度苯丙烯酸处理时,绿衣天使和津美 1 号黄瓜幼苗的 SOD 活性逐渐升高。如绿衣天使 SOD 活性在苯丙烯酸浓度为 $50\ \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时达到最高值 $131.18\ \text{U}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$,比 CK 增高 12.96%;津美 1 号 SOD 活性在 $100\ \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时达到最高值 $107.53\ \text{U}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$,比 CK 提高 31.58%。当苯丙烯酸浓度为 $400\ \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,津美 1 号 SOD 活性仍略高于 CK,比 CK 提高 5.26%,而绿衣天使、翠龙和 C90 3 个品种的 SOD 活性均低于 CK,分别比 CK 降低 40.74%、56.6%和 73.77%,达到所有处理的最低值。

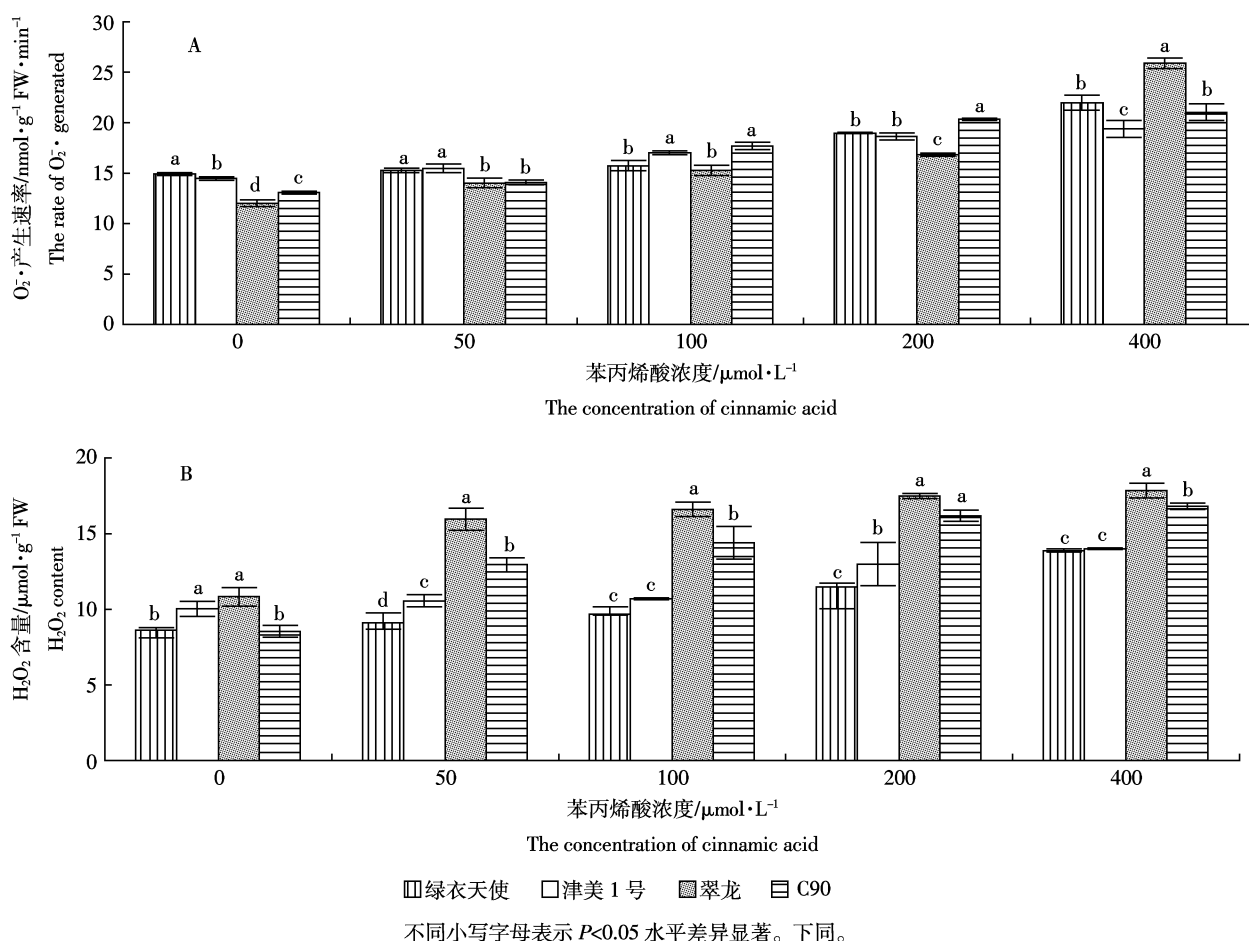


图 1 苯丙烯酸对黄瓜幼苗 $O_2\cdot^-$ (A)产生速率和 H_2O_2 (B)含量的影响

Figure 1 Effects of cinnamic acid on the $O_2\cdot^-$ (A) generated rate and H_2O_2 (B) content of cucumber seedlings

2.3.2 苯丙烯酸胁迫对黄瓜幼苗叶片 POD 活性的影响

从图 2B 可以看出,在苯丙烯酸胁迫下,黄瓜幼苗的 POD 活性随着苯丙烯酸浓度的增大呈现出先增高后降低的变化,并且 4 个品种均在低浓度 $50 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,POD 活性最大,绿衣天使、津美 1 号、翠龙和 C90 分别比 CK 提高 27.98%、30.84%、49.38%和 3.44%。当苯丙烯酸浓度为 $200 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,绿衣天使和津美 1 号的 POD 活性仍然高于 CK,而翠龙的 POD 活性则低于 CK;C90 的 POD 活性在苯丙烯酸 $100 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时就已经低于 CK。当苯丙烯酸浓度为 $400 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,绿衣天使、津美 1 号、翠龙和 C90 的 POD 活性均达到最低,分别比 CK 降低 13.21%、15.13%、19.65%和 31.59%,其中以 C90 的 POD 活性降低最多。

2.3.3 苯丙烯酸胁迫对黄瓜幼苗叶片 CAT 和 APX 活性的影响

由图 2C 和图 2D 可以看出,不同黄瓜品种的

CAT 和 APX 活性变化趋势与 POD 基本相同,均表现为苯丙烯酸 $50 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 浓度时的活性高于 CK,然后随着浓度的升高呈降低的趋势。不同浓度的苯丙烯酸对黄瓜幼苗叶片 CAT 活性影响较小,对 APX 活性的影响较大。如苯丙烯酸浓度为 $50 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,绿衣天使、津美 1 号、翠龙和 C90 的 CAT 活性分别比 CK 增高 8.94%、13.98%、6.5%和 23.58%,APX 活性比 CK 分别增大 10.85%、31.68%、16.17%和 6.51%。当苯丙烯酸浓度为 $400 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,绿衣天使、津美 1 号、翠龙和 C90 的 CAT 活性比 CK 分别降低 0.65%、9.17%、9.27%和 20.09%,APX 活性比 CK 分别降低 9.35%、11.23%、23.44%和 31.12%。

2.4 苯丙烯酸胁迫对黄瓜幼苗叶片丙二醛等指标的影响

2.4.1 苯丙烯酸胁迫对黄瓜幼苗叶片丙二醛(MDA)含量的影响

由图 3A 可知,苯丙烯酸胁迫明显促进了黄瓜幼

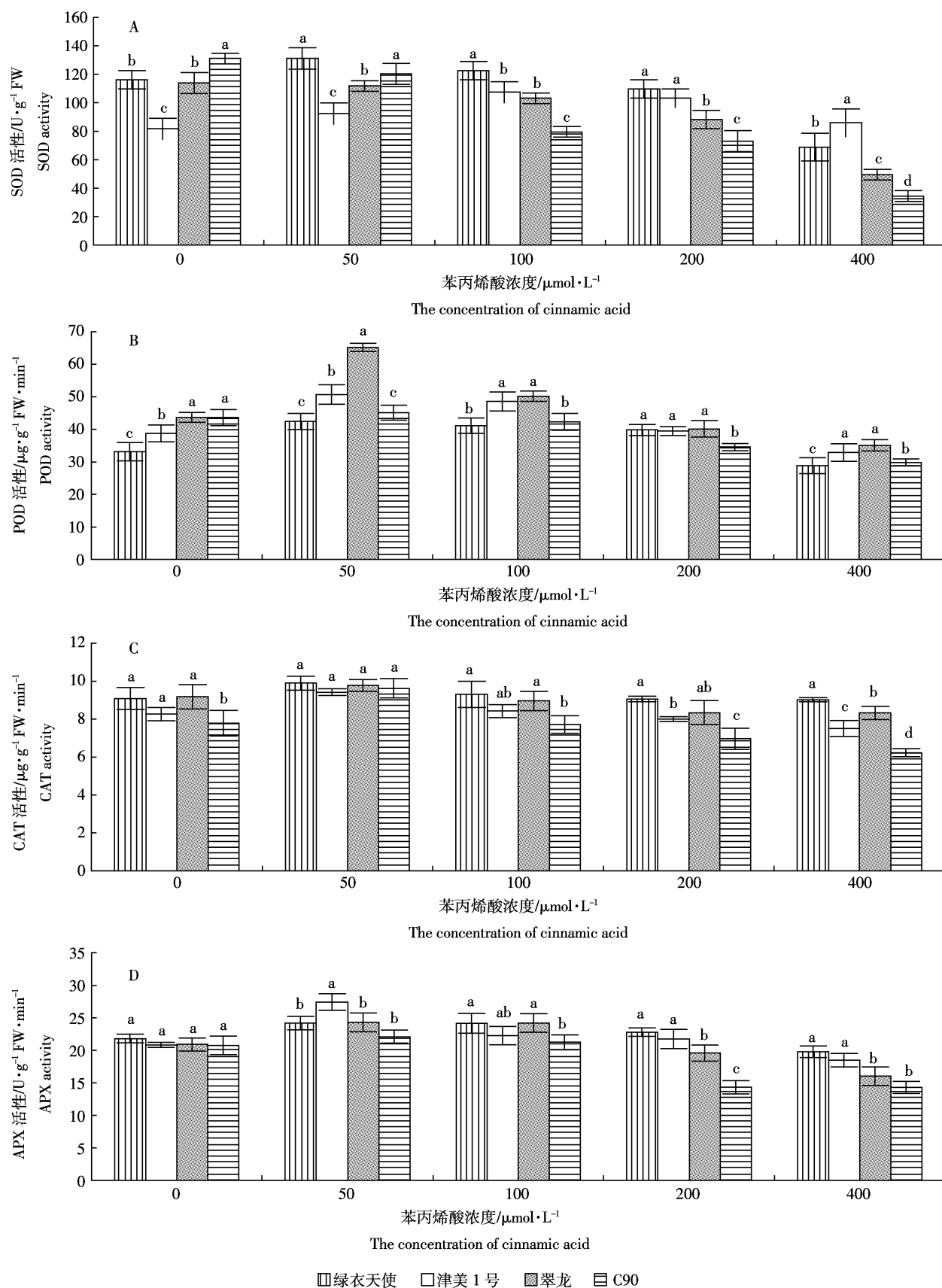


图2 苯丙烯酸对黄瓜幼苗SOD(A)、POD(B)、CAT(C)和APX(D)活性的影响

Figure 2 Effects of cinnamic acid on the SOD(A)、POD(B)、CAT(C) and APX(D) activities of cucumber seedling

苗中 MDA 的积累。随苯丙烯酸浓度的增加,不同黄瓜品种的 MDA 含量随之明显增加。当苯丙烯酸浓度为 $400 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,津美 1 号、绿衣天使、C90 和翠龙的 MDA 含量分别比 CK 提高 97.21%、131.35%、354.73% 和 184.41%, 其中绿衣天使和津美 1 号的 MDA 积累量小于翠龙和 C90。

2.4.2 苯丙烯酸胁迫对黄瓜幼苗叶片脯氨酸(Pro)含量和可溶性糖含量的影响

在苯丙烯酸胁迫下,黄瓜幼苗的脯氨酸和可溶性糖含量的变化与丙二醛相似,苯丙烯酸胁迫明显促进了黄瓜幼苗中脯氨酸和可溶性糖的积累(图 3B 和图 3C)。当苯丙烯酸浓度为 $400 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,津美 1 号、绿衣天使、C90 和翠龙的 Pro 含量分别比 CK 提高 30.77%、50.05%、151.43% 和 71.12%;可溶性糖含量比 CK 提高 27.75%、51.95%、69.09% 和 63.32%。可见绿衣天使和津美 1 号的脯氨酸和可溶性糖积累量在苯丙烯酸胁迫下的增幅小于 C90 和翠龙。

3 讨论

3.1 黄瓜幼苗生长对苯丙烯酸胁迫的响应

已有研究表明,连作导致黄瓜枯萎病发病加重,产量降低,品质下降^[2-4]。黄瓜根系分泌物不仅能够加重黄瓜枯萎病的发生,还能产生自毒物质抑制黄瓜生长。自毒物质通过影响植物生理生化代谢活动进而影响植物生长发育,根系是植物接触化感物质最早的器官,植株株高、茎粗、生长量的变化是反映包括连作障碍在内的逆境对植物生长发育影响的重要指标^[18-19]。苯丙烯酸是黄瓜根系分泌物中较强的一种酚酸类化合物,吴凤芝等^[20-21]采用基质栽培模拟试验表明,当苯丙烯酸浓度为 $50 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,对黄瓜叶片的光合速率、蒸腾速率和根系活力均产生显著的抑制作用($P<0.05$);当浓度为 $80 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,叶绿体和线粒体等超微结构也受到破坏,并随着处理浓度的增加抑制作用增强。本试验中,4 个黄瓜品种在苯丙烯酸胁迫下,各处理之间株高、茎粗及地上部鲜(干)重均达到差异性显著水平($P<0.05$),并且不同品种间下降的程度有明显差异,下降程度总体表现为 C90>翠龙>绿衣天使>津美 1 号;地下部鲜(干)重受苯丙烯酸的影响更为明显。以上结果说明,苯丙烯酸胁迫对黄瓜幼苗生长的影响因黄瓜品种而异,津美 1 号和绿衣天使受苯丙烯酸胁迫的影响较小,翠龙和 C90 则受影响较大。因此可以通过选择适宜的黄瓜品种,提高其对苯丙烯酸的耐性,以期达到减缓连作障碍的目的。

3.2 黄瓜幼苗抗氧化酶活性及活性氧代谢对苯丙烯酸胁迫的生理反应

近年来的研究结果证明,植物在逆境条件下产生更多的活性氧自由基,加剧质膜过氧化而导致膜系统受到破坏^[22-25]。吴凤芝等^[26]研究表明,低浓度($25 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)苯丙烯酸处理土壤后,对黄瓜幼苗根系 SOD 和 CAT 具有一定的促进作用,但高浓度($100 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $200 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)处理,均使黄瓜幼苗根系 SOD 和 CAT 活性降低,膜脂过氧化产物 MDA 含量增加。本试验研究表明,低浓度苯丙烯酸处理后,黄瓜幼苗叶片的 SOD、POD、CAT 和 APX 活性升高,而高浓度处理则出现抑制。可见苯丙烯酸处理的浓度低时,不同品种的黄瓜叶片出现了不同程度的积极的保护作用,活性氧自由基得到一定程度的清除,膜质过氧化程度较轻;而高浓度处理时,黄瓜叶片的 O_2^- 产生速率和 H_2O_2 含量明显增加,表明黄瓜幼苗受逆境胁迫加重,产生的活性氧自由基已超出了 SOD、POD、CAT 和 APX 等抗氧化酶系统的清除能力,对细胞膜将产生毒害作用,并且这种毒害作用随着浓度的增加而加重,从而导致膜脂过氧化产物 MDA 含量增加,膜系统受损,植株生长受抑制。这种变化趋势总体上表现为 C90>翠龙>津美 1 号>绿衣天使。抗氧化酶活性及活性氧代谢的变化规律也说明苯丙烯酸胁迫对黄瓜幼苗的影响因黄瓜品种的不同而表现出明显差异,进一步证明通过选择适宜的黄瓜品种减缓连作障碍的可能性,这在黄瓜设施生产中具有积极意义。

4 结论

(1)在苯丙烯酸胁迫下,黄瓜幼苗生长存在明显的品种间差异。试验结果表明,黄瓜幼苗的株高、茎粗、地上部鲜(干)重和地下部鲜(干)重均随着苯丙烯酸浓度的增大而降低,并且不同品种间降低的程度有明显差异,其中津美 1 号和绿衣天使降低的程度较小,翠龙和 C90 则降低较大,可见黄瓜幼苗生长对苯丙烯酸胁迫表现出明显的品种间差异。

(2)在苯丙烯酸胁迫下,黄瓜幼苗叶片的 SOD、POD、CAT、APX 等抗氧化酶活性表现为低浓度升高、高浓度下降的趋势; O_2^- 产生速率以及 H_2O_2 、MDA 和 Pro 和可溶性糖含量随着苯丙烯酸浓度的升高而明显增加。在苯丙烯酸胁迫下,黄瓜幼苗叶片的抗氧化酶活性及活性氧代谢的变化规律因黄瓜品种的不同而表现出明显差异,总体趋势为 C90>翠龙>津美 1 号>绿衣天使。

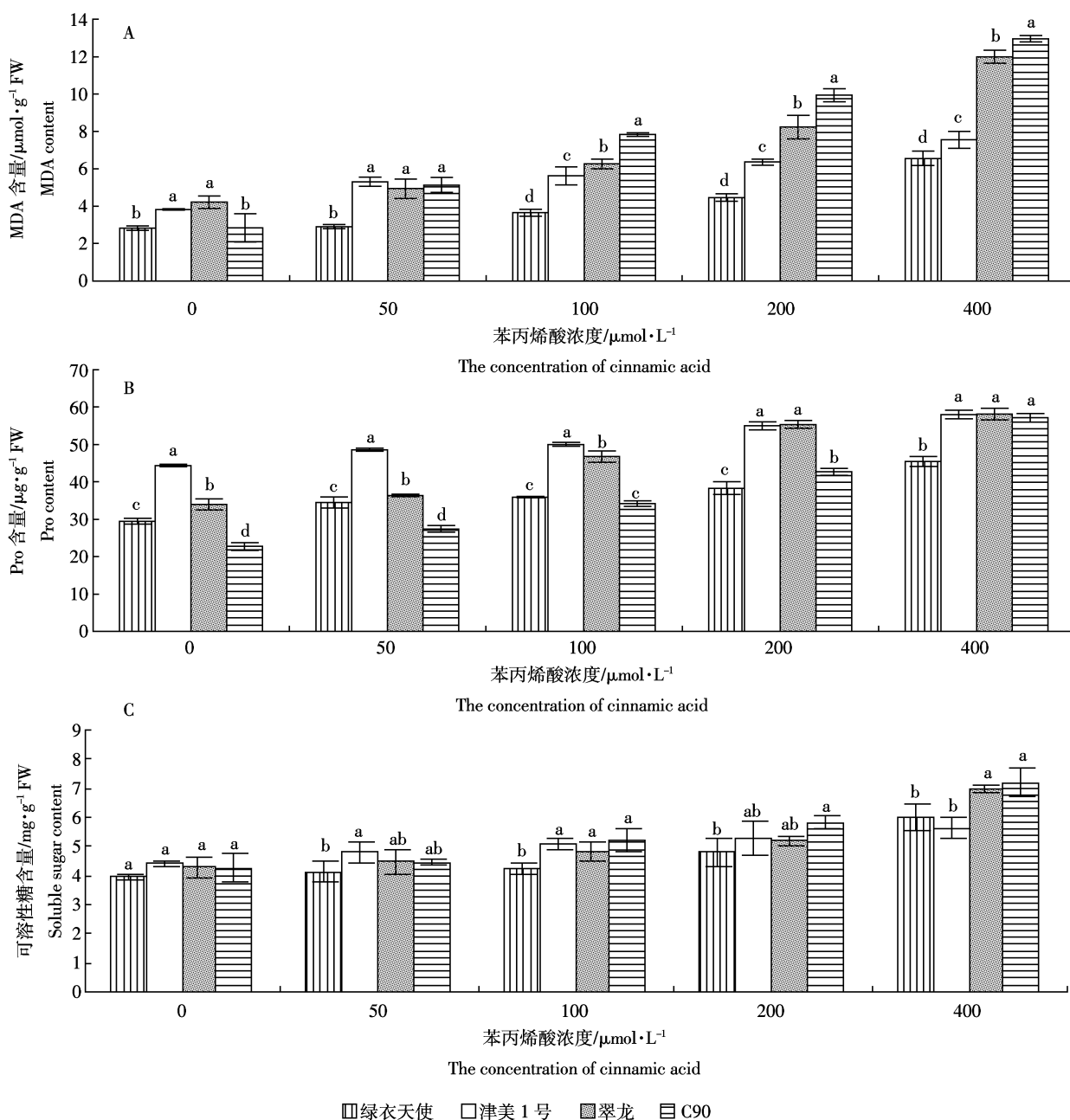


图3 苯丙烯酸对黄瓜幼苗MDA(A)、Pro(B)和可溶性糖(C)含量的影响

Figure 3 Effects of cinnamic acid on MDA(A), proline(B) and soluble sugar(C) contents of cucumber seedling

参考文献:

- [1] 张晓玲, 潘振刚, 周晓峰, 等. 自毒作用与连作障碍[J]. 土壤通报, 2007, 38(4): 781-784.
ZHANG Xiao-ling, PAN Zhen-gang, ZHOU Xiao-feng, et al. Autotoxicity and continuous cropping obstacles: A review[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2007, 38(4): 781-784.
- [2] 吴凤芝, 孟立君, 文景芝. 黄瓜根系分泌物对枯萎病菌菌丝生长的影响[J]. 中国蔬菜, 2002(5): 26-27.
WU Feng-zhi, MENG Li-jun, WEN Jing-zhi. Effects of cucumber root exudates on mycelial growth of fusarium wilt[J]. *China Vegetable*, 2002 (5): 26-27.
- [3] 吴凤芝, 王学征. 设施黄瓜连作和轮作中土壤微生物群落多样性的变化及其与产量品质的关系[J]. 中国农业科学, 2007, 40(10): 2274-2280.
WU Feng-zhi, WANG Xue-zheng. Effect of monocropping and rotation on soil microbial community diversity and cucumber yield, quality under protected cultivation[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2007, 40(10): 2274-2280.
- [4] 吴凤芝, 刘德, 栾非时. 大棚土壤连作年限对黄瓜产量及品质的影响[J]. 东北农业大学学报, 1999, 30(3): 245-248.
WU Feng-zhi, LIU De, LUAN Fei-shi. Effect of continuous cropping on yield and quality of cucumber under protected cultivation[J]. *Journal of Northeast Agricultural University*, 1999, 30(3): 245-248.

- [5] 刘 静, 吴凤芝, 吕 涛. 设施条件下不同轮作对黄瓜产量及品质的影响[J]. 北方园艺, 2008(12): 44–46.
LIU Jing, WU Feng-zhi, LV Tao. Effects of different rotations and inter-plantings on cucumber yields and qualities under protected cultivation [J]. *Northern Horticulture*, 2008(12): 44–46.
- [6] E L 赖斯著, 胡敦孝译. 天然化学物质与有害生物防治[M]. 北京: 科学出版社, 1988.
Rancy E L. Prevebtion and use of natural chemical materials and harmful biological controls[M]. Translated by Hu Dunxiao. Beijing: Science Press, 1988.
- [7] Yu J Q, Matsui Y. Phytotoxic substances in root exudates of cucumber (*Cucumis sativus* L.)[J]. *Journal of Chemical Ecology*, 1994, 20(1): 21–30.
- [8] Yu J Q, Matsui Y. Effects of root exudates of cucumber and allelochemicals on the ion uptake by cucumber seedling[J]. *Journal of Chemical Ecology*, 1997, 23(3): 817–827.
- [9] 冯志红, 闫立英, 王久兴, 等. 连作栽培中自毒物质对黄瓜种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 种子, 2005, 24(6): 41–44.
FENG Zhi-hong, YAN Li-ying, WANG Jiu-xing, et al. Effect of autointoxication in monoculture on cucumber seed germination and seedling growth[J]. *Seed*, 2005, 24(6): 41–44.
- [10] 吴凤芝, 黄彩红, 赵凤艳. 酚酸类物质对黄瓜幼苗生长及保护酶活性的影响[J]. 中国农业科学, 2002, 35(7): 821–825.
WU Feng-zhi, HUANG Cai-hong, ZHAO Feng-yan. Effects of phenetic acids on growth and activities of membranes protective enzymes of cucumber seedlings[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2002, 35(7): 821–825.
- [11] 王 文, 陈振德, 罗庆熙, 等. 黄瓜幼苗对苯丙烯酸胁迫反应的品种间差异[J]. 西南大学学报, 2010, 32(增刊): 52–57.
WANG Wen, CHEN Zhen-de, LUO Qing-xi, et al. Variety difference of response on cucumber seedlings to cinnamic acid stress[J]. *Journal of Southwest University (Natural Science Edition)*, 2010, 32(Suppl): 52–57.
- [12] 郑炳松. 现代植物生理生化研究技术[M]. 北京: 气象出版社, 2006.
ZHENG Bing-song. Research techniques in contemporary plant physiology and biochemistry[M]. Beijing: China Meteorological Press, 2006.
- [13] 赵世杰, 许长城, 邹 琦, 等. 植物组织中丙二醛测定方法的改进[J]. 植物生理学通讯, 1994, 30(3): 207–210.
ZHAO Shi-jie, XU Chang-cheng, ZOU Qi, et al. Improvements of method for measurement of malondialdehyde in plant tissues[J]. *Plant Physiology Communications*, 1994, 30(3): 207–210.
- [14] Nakano Y, Asada K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts[J]. *Plant Cell Physiology*, 1981, 22(5): 867–880.
- [15] 王爱国, 罗广华. 植物的超氧物自由基与羟胺反应的定量关系[J]. 植物生理学通讯, 1990, 26(6): 55–57.
WANG Ai-guo, LUO Guang-hua. Quantitative relation between the reaction of hydroxylamine and superoxide anion radicals in plant[J]. *Plant Physiology Communications*, 1990, 26(6): 55–57.
- [16] 林植芳, 李双顺, 林桂珠, 等. 衰老叶片和叶绿体中 H_2O_2 的累积与膜脂过氧化的关系[J]. 植物生理学报, 1988, 14(1): 12–16.
LIN Zhi-fang, LI Shuang-shun, LIN Gui-zhu, et al. The accumulation of hydrogen peroxide in senescing leaves and chloroplasts in relation to lipid peroxidation[J]. *Acta Phytophysiologica Sinica*, 1988, 14(1): 12–16.
- [17] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2004.
LI He-sheng. Principles and techniques of plant physiological biochemical experiment[M]. Beijing: Higher Education Press, 2004.
- [18] 吕卫光, 张春兰, 袁 飞, 等. 化感物质抑制连作黄瓜生长的作用机理[J]. 中国农业科学, 2002, 35(1): 106–109.
LV Wei-guang, ZHANG Chun-lan, YUAN Fei, et al. Mechanism of allelochemicals inhibiting continuous cropping cucumber growth[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2002, 35(1): 106–109.
- [19] 吕卫光, 张春兰, 彭 宇, 等. 外源苯丙烯酸抑制连作黄瓜生长的机制初探[J]. 中国蔬菜, 2001, 3: 10–12.
LV Wei-guang, ZHANG Chun-lan, PENG Yu, et al. Preliminary study on mechanism of continuous cropping cucumber growth inhibited by cinnamic acid in cucumber root exudates[J]. *China Vegetables*, 2001, 3: 10–12.
- [20] 吴凤芝, 潘 凯, 周秀艳. 苯丙烯酸对黄瓜幼苗生理特性的影响[J]. 应用生态学报, 2005, 16(5): 915–919.
WU Feng-zhi, PAN Kai, ZHOU Xiu-yan. Effects of cinnamic acid on physiological characteristics of *Cucumis sativus* seedling[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(5): 915–918.
- [21] 吴凤芝, 潘 凯, 马凤鸣, 等. 苯丙烯酸对黄瓜幼苗光合作用和细胞超微结构的影响[J]. 园艺学报, 2004, 31(2): 183–188.
WU Feng-zhi, PAN Kai, MA Feng-ming, et al. Effects of cinnamic acid on photosynthesis and cell ultrastructure of cucumber seedlings[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2004, 31(2): 183–188.
- [22] 任艳芳, 何俊瑜, 刘 畅, 等. 镉胁迫对莴苣幼苗生长及抗氧化酶系统的影响[J]. 生态环境学报, 2009, 18(2): 494–497.
REN Yan-fang, HE Jun-yu, LIU Chang, et al. Effects of Cd stress on seedling growth and activities in antioxidant enzymes of lettuce[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2009, 18(2): 494–497.
- [23] 陈禅友, 汪汇东, 丁 毅. 低温胁迫下长豇豆幼苗可溶性蛋白质和细胞保护酶活性的变化[J]. 园艺学报, 2005, 32(5): 911–913.
CHEN Chan-you, WANG Hui-dong, DING Yi. Changes of soluble protein content and activities of cell protective enzymes under chilling stress in *Asparagus bean* seedlings [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2005, 32(5): 911–913.
- [24] 付秋实, 李红岭, 崔 健, 等. 水分胁迫对辣椒光合作用及相关生理特性的影响[J]. 中国农业科学, 2009, 42(5): 1859–1866.
FU Qiu-shi, LI Hong-ling, CUI Jian, et al. Effects of water stress on photosynthesis and associated physiological characters of *Capsicum annuum* L.[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2009, 42(5): 1859–1866.
- [25] 刘成静, 王崇启, 焦自高, 等. 高温胁迫下西瓜嫁接苗耐热性和保护酶活性的研究[J]. 长江蔬菜, 2009, 2b: 50–52.
LIU Cheng-jing, WANG Chong-qi, JIAO Zi-gao, et al. Study on heat resistance and protective enzyme of grafted watermelon seedlings under high temperature stress[J]. *Journal of Changjiang Vegetables*, 2009, 2b: 50–52.
- [26] 吴凤芝, 阎秀峰, 马凤鸣. 苯丙烯酸对黄瓜幼苗膜脂过氧化作用的影响[J]. 生态学报, 2004, 24: 1335–1340.
WU Feng-zhi, YAN Xiu-feng, MA Feng-ming. Effects of cinnamic acid on peroxidization of the plasma membrane of cucumber seedling [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24: 1335–1340.