

DOI:10.11937/bfyy.201708010

不同措施对设施黄瓜幼苗酚酸毒害的缓解效应

顾 欣, 陈天祥, 孙 权

(宁夏大学 农学院, 宁夏 银川 750021)

摘 要:以“津春5号”黄瓜为试材,采用盆栽方法,在石英砂中添加外源苯丙烯酸和对羟基苯甲酸(100 mg·kg⁻¹),分别施用或配施碳化玉米芯、生物有机肥及菌剂,研究了不同外源酚酸物质对植株生理生化指标的影响,及不同施肥措施对其影响的缓解作用。结果表明:黄瓜幼苗对不同外源酚酸物质的毒害反应具有差异,苯丙烯酸对植株主根长的抑制作用较对羟基苯甲酸强,对羟基苯甲酸在根系活力、株高、根冠比和地下部鲜质量指标上具有更强的抑制作用。不同施肥措施对酚酸毒害作用的缓解效应不同。当添加外源苯丙烯酸,碳化玉米芯+生物有机肥有利于黄瓜幼苗丙二醛(MDA)含量减少,茎粗和主根长增加,细胞膜相对透性保持适中水平;单施碳化玉米芯有利于植株根系活力、超氧化物歧化酶(SOD)活性和株高增加,碳化玉米芯+生物有机肥+菌剂有利于根体积、地下部鲜质量和根冠比增加;生物有机肥有利于植株过氧化物酶(POD)活性和地上部鲜质量增加。添加外源对羟基苯甲酸,碳化玉米芯+生物有机肥有利于植株叶绿素含量、SOD活性、POD活性、地下部鲜质量和根冠比增加,MDA含量减少;生物有机肥有利于株高、茎粗和主根长增加;碳化玉米芯+生物有机肥+菌剂有利于根系活力和根体积增加。该试验说明在该试验酚酸浓度范围内,应用适宜的缓解措施,有利于缓解土壤中酚酸物质的毒害作用。

关键词:黄瓜;酚酸;施肥;缓解

中图分类号:S 642.226 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)08-0038-07

化感作用是导致黄瓜(*Cucumis sativus* L.)连作障碍的重要因素之一,从黄瓜根系分泌物中分离鉴定出的部分酚酸化合物是直接阻碍黄瓜吸收养分的化感物质^[1]。苯丙烯酸(又名肉桂酸)和对羟基苯甲酸是2种重要的酚酸物质,在土壤中累积至一定程度,会对黄瓜产生较强的自毒作用^[2]。近年来,许多学者对黄瓜自毒作用的缓解措施及其机理进行了研究,如利用不同作物的化感效应(轮作、间作、套种、歇茬和选用抗性品种)、嫁接、添加外源调节物质、有机肥和有益微生物等^[3]。

传统耕作制度中的轮作、间作、套种和歇茬是利用各种作物的化感效应差异避免连作障碍的发生。轮作对黄瓜产量、品质、土壤酶活性和微生物多样性

等方面的影响均优于连作;轮作与歇茬促进土壤生物活性的提高,有利于土壤氮素循环^[3-5]。间作套种要求合适的植物进行组合,如蔬菜生长后期套种禾本科作物,对连作障碍具有缓解作用^[6]。黄瓜不同抗性品种根系分泌物对植株生长、根系活力和土传病害发生的影响具有显著差异,抗病品种具有明显优势^[7]。黄瓜嫁接苗在增强抗病性^[8]、抗逆性^[9],改善根系吸收功能^[10]和早熟、增产^[9]等方面均有一定优势。然而,我国农业现状造成设施作物轮作、间作、套种和歇茬往往难以实现;抗性品种的筛选、培育周期长,难度大;嫁接的局限性也较大。

在土壤(或基质)中添加一定量吸附剂如生物炭,利用其发达的孔隙结构可改善土壤(或基质)的理化性质,调节土壤酶活性、微生物数量及群落结构和pH,吸附根际化感物质,促进黄瓜叶片光合作用,提高根系生长能力,显著促进植物生长和产量增加^[11-14]。有机肥富含养分和生理活性物质,可显著改善土壤物理、化学及生物性状,缓解根系自毒物质—苯丙烯酸对连作黄瓜生长的毒害作用,促进植株生长,提高根系酶活力,增强根系养分吸收,提高

第一作者简介:顾欣(1973-),女,硕士,副教授,现主要从事农业微生物资源与利用的教学与研究等工作。E-mail:guxin929@163.com.

基金项目:宁夏重点研发计划资助项目(2015BP02, 2017CP03);宁夏农业科技支撑资助项目(2014NCN06)。

收稿日期:2016-12-12

连作土壤微生物活性^[2]。在设施黄瓜土壤中施用秸秆、鸡粪和猪粪 3 种有机肥,使土壤微生物区系得到显著改善^[15]。为进一步促进根系微生物群落的优化,抑制病原微生物的发展,可直接向土壤中添加有益功能菌。研究表明,在连作黄瓜田和基质中施用菌剂,可明显改善土壤微生物区系,增强植株抗病性^[16-17],部分缓解酚酸类化感物质对植株的伤害。

作物化感作用形成因素复杂,故综合措施对酚酸毒害的缓解作用愈加受到重视。目前,碳化玉米芯、生物有机肥和菌肥的单一施用与结合施用已有研究,但有关三者结合对不同酚酸毒害植株的影响尚鲜见报道。该试验在一定浓度外源苯丙烯酸(cinnamic acid, CA)和对羟基苯甲酸(p-hydroxy benzoic acid, PHBA)条件下,通过对单项缓解措施及其组合进行试验,旨在检验碳化玉米芯、生物有机肥和菌剂的不同施用方案对黄瓜幼苗生长及生理生化指标的影响,以期为黄瓜化感作用的缓解机理研究提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试黄瓜“津春 5 号”由天津市农业科学院黄瓜研究所提供;供试 CA 和 PHBA 由国药集团化学试剂有限公司提供,化学纯;供试碳化玉米芯由宁夏大学农业资源与环境教研室提供;供试商品生物有机肥,含有机质 $\geq 45\%$, $N+P_2O_5+K_2O \geq 5\%$,有效活菌数 $\geq 2 \times 10^8$ cfu $\cdot g^{-1}$,主要原料为秸秆和羊粪,由

宁夏地益丰生物肥营销有限公司提供;供试菌剂为“地菌清”牌商品菌剂,主要功能菌为解淀粉芽孢杆菌,有效活菌数 $\geq 500 \times 10^8$ cfu $\cdot g^{-1}$,由宁夏五丰农业科技有限公司提供。试验温室位于宁夏大学农科实训基地,温度 22~32 ℃,湿度 10.16%~52.18%,光照强度 3 622~55 922 lx。

1.2 试验方法

选取籽粒饱满、大小均匀的黄瓜种子,在 55~60 ℃温水消毒处理 10 min 后在 25~30 ℃浸种 5 h。置于 28 ℃避光催芽 24 h。挑选萌芽长势一致的种子,播在以灭菌石英砂为栽培基质的穴盘中。待子叶展平后,用 1/4 Hogland 营养液浇灌。两叶一心期时,选择长势一致的健康植株,定植于装有 1.2 kg 灭菌石英砂的营养钵(10 cm \times 10 cm)内,每钵 1 株。每 7 d 浇灌 1/4 Hogland 营养液 1 次,每钵每次用量 200 mL。根据环境温度和石英砂湿度变化情况,每 2~3 d 浇无菌水 300 mL。

试验采用单因素多水平随机区组设计。将 CA 和 PHBA 分别与灭菌石英砂拌匀并置于营养钵中,浓度为 100 mg $\cdot kg^{-1}$ 。碳化玉米芯或生物有机肥(20 g $\cdot kg^{-1}$)分别与灭菌石英砂混匀后装营养钵,菌剂稀释 1 000 倍后于定植第 7 天灌根 1 次,用量为每株 8 mL,以不施用酚酸、碳化玉米芯、生物有机肥和菌剂的处理为对照(CK)。各处理均设 5 次重复,随机区组排列,各处理见表 1。

表 1 试验处理方案

处理 Treatment	苯丙烯酸处理组 CA treatment group	对羟基苯甲酸处理组 PHBA treatment group
T0	苯丙烯酸	对羟基苯甲酸
T1	苯丙烯酸+碳化玉米芯	对羟基苯甲酸+碳化玉米芯
T2	苯丙烯酸+生物有机肥	对羟基苯甲酸+生物有机肥
T3	苯丙烯酸+碳化玉米芯+生物有机肥	对羟基苯甲酸+碳化玉米芯+生物有机肥
T4	苯丙烯酸+碳化玉米芯+生物有机肥+菌剂	对羟基苯甲酸+碳化玉米芯+生物有机肥+菌剂
CK	不施用酚酸、碳化玉米芯、生物有机肥和菌剂	

1.3 项目测定

1.3.1 植株生长指标测定 于幼苗定植后第 12 天和第 28 天测量植株株高和茎粗。株高采用钢尺测量,自茎底部量起至生长点;茎粗采用游标卡尺测量,均测量基部。于幼苗定植 28 d 后,将植株带砂取出,经蒸馏水反复冲洗后用吸水纸吸除根表水分,采用钢尺测量植株主根长,采用排水法测量根体积;将地上部和地下部分离,用万分之一电子天平称量鲜质量。

1.3.2 植株生理指标测定 于幼苗定植后第 28 天,采用 SPAD-502 叶绿素仪测定植株叶绿素含量,并测定根系各生理指标:根系活力采用 TTC 法(氯化三苯基四氮唑法)测定;超氧化物歧化酶(SOD)活性采用 NBT 还原法测定;过氧化氢酶(CAT)活性采用紫外吸收法测定;过氧化物酶(POD)活性采用愈创木酚法测定;丙二醛(MDA)含量采用硫代巴比妥酸法测定;细胞膜相对透性采用电导法测定,以细胞膜相对电导率表示^[18]。

1.4 数据分析

采用 Microsoft Excel 2010 软件处理原始数据和制作图表。采用 SPSS 17.0 统计软件进行方差分析;采用 Duncan's 新复极差法在 $P < 0.05$ 水平上进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 不同处理对黄瓜植株生长指标的影响

2.1.1 对株高和茎粗的影响 由表 2 可知,CA 和 PHBA 组的株高,T0 处理与 CK 比较,12 d 时分别下降 21.49%和 33.87%,28 d 时分别下降 10.41%和 33.80%,说明 $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 浓度的 2 种酚酸处理对株高有显著抑制作用。28 d 时,CA 组 T1 处理的株

高最接近 CK,较 T0 增加 4.52%;PHBA 组 T2 处理的株高最接近 CK,较 T0 处理增加 38.89%。故单施碳化玉米芯和单施生物有机肥分别有利于缓解 2 种酚酸对株高的抑制作用。CA 和 PHBA 组的茎粗,T0 处理与 CK 比较,12 d 时无显著差异,28 d 时分别显著下降 19.48%和 21.35%,说明 2 种酚酸对茎粗有显著抑制作用。28 d 时,CA 组 T3 处理的茎粗最接近 CK,较 T0 处理增加 10.00%;PHBA 组 T2 处理的茎粗最接近 CK,较 T0 处理增加 5.00%。故碳化玉米芯+生物有机肥处理和单施生物有机肥分别有利于缓解 2 种酚酸对茎粗的抑制作用。

表 2 不同处理对黄瓜幼苗株高和茎粗的影响

Table 2 Effects of different treatments on plant height and stem diameter of cucumber seedlings

处理 Treatment	株高 Plant height/mm				茎粗 Stem diameter/mm			
	苯丙烯酸处理组 CA treatment group		对羟基苯甲酸处理组 PHBA treatment group		苯丙烯酸处理组 CA treatment group		对羟基苯甲酸处理组 PHBA treatment group	
	12 d	28 d	12 d	28 d	12 d	28 d	12 d	28 d
T0	15.67±1.05bc	20.57±1.56ab	13.20±0.94b	15.20±1.93c	3.85±0.10a	4.30±0.10b	3.29±0.24a	4.20±0.15b
T1	17.33±1.12b	21.50±2.89ab	15.58±1.02b	17.60±1.99bc	3.57±0.02ab	4.33±0.16b	3.59±0.08a	4.01±0.52b
T2	13.73±0.35c	15.00±0.29b	18.98±1.17a	21.11±2.51ab	3.46±0.07b	4.15±0.28bc	3.55±0.08a	4.41±0.16ab
T3	16.07±1.40bc	18.85±4.30ab	13.50±0.61b	15.37±0.94c	3.72±0.18ab	4.73±0.26b	3.13±0.14a	4.37±0.18ab
T4	16.40±0.37bc	19.10±0.64ab	15.36±0.38b	17.35±0.75bc	3.46±0.07b	3.65±0.13c	3.23±0.16a	3.71±0.47b
CK	19.96±0.32a	22.96±0.35a	19.96±0.32a	22.96±0.35a	3.54±0.08ab	5.34±0.18a	3.54±0.08a	5.34±0.18a

注:表中不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)。下同。

Note: Different lowercase letters in the table mean significant difference at 0.05 level among treatments. The same below.

2.1.2 对主根长和根体积的影响 由表 3 可知,2 种酚酸对植株主根长和根体积呈显著抑制作用。CA 组和 PHBA 组的 T0 处理与 CK 比较,主根长分别减少 43.38%和 21.63%,根体积均减少 69.33%,达差异显著水平,说明 CA 对幼苗主根长的抑制作用强于 PHBA。在主根长指标上,CA 组缓解措施 T3 处理达 19.75 cm,分别较 CK 和 T0 增加 26.36%和 123.16%,显著促进幼苗主根长的增加;PHBA 组

T1 处理最接近 CK,较 T0 处理增加 10.20%。结果显示碳化玉米芯+生物有机肥处理和单施碳化玉米芯分别有利于缓解 2 种酚酸对主根长的抑制作用。在根体积指标上,2 组缓解措施中均为 T4 处理最接近 CK,分别较 T0 处理增加 100.00%和 150.00%,故碳化玉米芯+生物有机肥+菌剂最有利于缓解酚酸物质对根体积的抑制作用。

表 3 不同处理对黄瓜幼苗主根长和根体积的影响

Table 3 Effects of different treatments on main root length and root volume of cucumber seedlings

处理 Treatment	主根长 Main root length/cm		根体积 Root volume/cm ³	
	苯丙烯酸处理组 CA treatment group	对羟基苯甲酸处理组 PHBA treatment group	苯丙烯酸处理组 CA treatment group	对羟基苯甲酸处理组 PHBA treatment group
	12 d	28 d	12 d	28 d
T0	8.85±0.38d	12.25±0.14bc	0.50±0.00bc	0.50±0.00c
T1	10.75±0.14d	13.50±0.29ab	0.75±0.14bc	1.00±0.29bc
T2	11.75±0.43cd	11.15±0.26cd	0.35±0.09c	0.60±0.23c
T3	19.75±0.43a	9.75±0.72d	0.75±0.14bc	0.75±0.14bc
T4	14.00±1.73bc	9.00±0.40d	1.00±0.29b	1.25±0.14ab
CK	15.63±1.52b	15.63±1.52a	1.63±0.22a	1.63±0.22a

2.1.3 对鲜质量和根冠比的影响 由表 4 可知,酚酸对地下部鲜质量的抑制作用较地上部鲜质量显著。2 种酚酸的 T0 处理地上部鲜质量虽然均低于

CK,但差异未达显著水平。在地下部鲜质量指标上,CA 组和 PHBA 组 T0 处理较 CK 分别降低 41.79%和 70.15%,导致 2 组根冠比的 T0 处理较

CK 分别降低 37.74% 和 64.15%。说明酚酸首先影响植株地下部鲜质量,从而导致根冠比改变。经不同缓解措施处理后,2 组 T2 处理的地上部鲜质量均高于 CK。CA 组 T4 处理和 PHBA 组 T3 处理的地下部鲜质量和根冠比最接近 CK。故单施生物有机

肥有利于幼苗地上部鲜质量的增加;碳化玉米芯+生物有机肥+菌剂处理和碳化玉米芯+生物有机肥处理分别有利于缓解 CA 和 PHBA 对幼苗地下部鲜质量和根冠比的抑制作用。

表 4 不同处理对黄瓜幼苗地上、地下部鲜质量和根冠比的影响

Table 4 Effects of different treatments on aboveground and underground fresh weight and root shoot ratio of cucumber seedlings

处理 Treatment	地上部鲜质量 Aboveground fresh weight/g		地下部鲜质量 Underground fresh weight/g		根冠比 Root shoot ratio	
	苯丙烯酸处理组	对羟基苯甲酸处理组	苯丙烯酸处理组	对羟基苯甲酸处理组	苯丙烯酸处理组	对羟基苯甲酸处理组
	CA	PHBA treatment	CA	PHBA treatment	CA	PHBA treatment
	treatment group	group	treatment group	group	treatment group	group
T0	4.88±0.41a	4.58±0.63a	1.56±0.18b	0.80±0.16bc	0.33±0.07b	0.19±0.06b
T1	3.47±0.03b	3.96±0.64a	0.53±0.06c	0.81±0.01bc	0.15±0.02b	0.21±0.04b
T2	5.20±0.81a	5.42±0.58a	1.01±0.14bc	0.49±0.04c	0.19±0.00b	0.09±0.00b
T3	3.15±0.03b	4.75±0.36a	0.47±0.13c	1.18±0.14b	0.15±0.04b	0.26±0.05b
T4	4.98±0.33a	3.67±0.64a	1.41±0.38b	0.42±0.07c	0.30±0.10b	0.13±0.04b
CK	5.05±0.13a	5.05±0.13a	2.68±0.35a	2.68±0.35a	0.53±0.07a	0.53±0.07a

2.2 不同处理对黄瓜植株生理指标的影响

2.2.1 对叶绿素含量的影响 由图 1 可以看出,2 组酚酸处理均促进黄瓜幼苗叶绿素含量增加。CA 组各处理较 CK 显著增加叶绿素含量,增幅为 20.83%~25.91%,各处理间差异不显著。PHBA 组除 T1 和 T3 处理的叶绿素含量较 CK 显著增加外,T0、T2 和 T4 处理较 CK 具有增加趋势,但差异不显著。说明 100 mg·kg⁻¹ 的 CA 和 PHBA 对增加黄瓜幼苗的叶绿素含量具有一定促进作用。

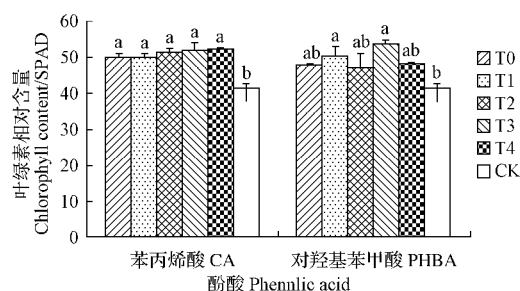


图 1 不同处理对黄瓜幼苗叶绿素含量的影响

Fig. 1 Effects of different treatments on chlorophyll content of cucumber seedlings

2.2.2 对根系活力的影响 由图 2 可知,2 组处理对黄瓜幼苗根系活力的影响差异显著。CA 各处理较 CK 显著增加根系活力,由高到低依次为 T1>T3>T4>T2≈T0,增幅 141.67%~502.22%,其中 T1 处理最高达 0.36 mg·g⁻¹·h⁻¹。说明 100 mg·kg⁻¹ 的 CA 组各处理对幼苗根系活力的提高具有促进作用,且单施碳化玉米芯的促进作用最强。PHBA 组各处理较 CK 显著降低根系活力,由高到低依次为 T1≈T4>T2>T3>T0,降幅为 13.89%~

93.33%,其中单施酚酸 T0 处理最低(0.004 mg·g⁻¹·h⁻¹),T1、T4 处理最接近 CK。因此,试验浓度下 PHBA 对植株根系活力表现出显著抑制作用,各措施处理对其均有一定缓解作用,其中碳化玉米芯+生物有机肥+菌剂处理和单施碳化玉米芯处理的缓解效果最好。

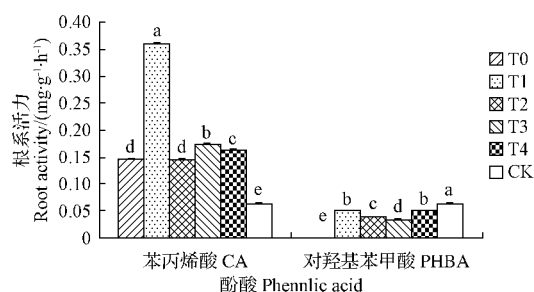


图 2 不同处理对黄瓜幼苗根系活力的影响

Fig. 2 Effects of different treatments on root activity of cucumber seedlings

2.2.3 对抗氧化酶活性和 MDA 含量的影响 由图 3~5 可知,不同酚酸和缓解措施对黄瓜幼苗抗氧化酶活性和 MDA 含量的影响差异较大。单施 CA 和 PHBA 组的 T0 处理,叶片 SOD 活性较 CK 均显著增加,增幅分别为 9.90% 和 9.44%(图 3)。不同缓解措施处理与 T0 处理比较,2 组中 SOD 活性最高的分别为 T1 和 T3 处理。可见,2 种酚酸处理下最有利于 SOD 活性提高的分别是单施碳化玉米芯处理和碳化玉米芯+生物有机肥处理。由图 4 表明,2 组处理的 POD 活性具有差异。CA 各处理的 POD 活性均显著高于 CK,酶活由高到低为 T2>T1>T3>T4>T0,增幅范围 19.92%~55.53%,T2 酶活为该

组最高。PHBA 组中除 T0 处理与 CK 差异不显著外,其它各处理均显著增加,酶活由高到低为 T3>T2>T1>T4,增幅范围 15.06%~25.65%,T3 处理酶活为该组最高。故 CA 组和 PHBA 组中 POD 活性最高的分别是单施生物有机肥处理和碳化玉米芯+生物有机肥处理。由图 5 可知,2 组酚酸处理的 MDA 含量均显著高于 CK,其中单施 CA 和 PHBA 的 T0 处理增幅分别达 693.44%和 906.56%。不同缓解措施处理与 T0 处理比较,大多有利于 MDA 含量的下降,不同程度地减少植株膜质过氧化,且 2 组中 T3 处理的 MDA 含量均为最低。可见,外源添加酚酸可显著增加黄瓜幼苗叶片的 MDA 含量,其中最有利于降低 MDA 含量的措施是碳化玉米芯+生物有机肥处理。

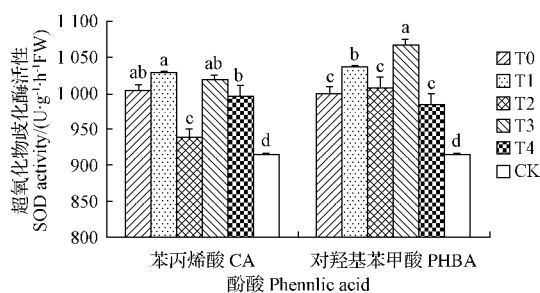


图 3 不同处理对黄瓜幼苗叶片 SOD 活性的影响

Fig. 3 Effects of different treatments on SOD activity in leaves of cucumber seedlings

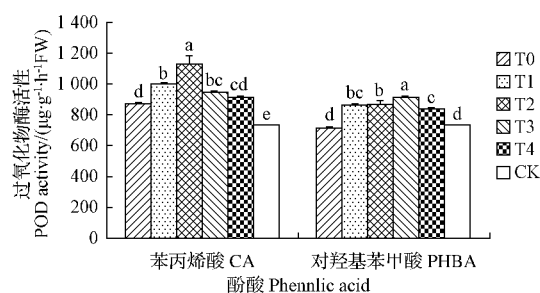


图 4 不同处理对黄瓜幼苗叶片 POD 活性的影响

Fig. 4 Effects of different treatments on POD activity in leaves of cucumber seedlings

2.2.4 对细胞膜相对透性的影响 如图 6 所示,外源添加 CA 和 PHBA 均显著增加黄瓜幼苗叶片细胞膜相对透性,不同缓解措施对其影响差异较大。CA 组和 PHBA 组单施酚酸的 T0 处理,细胞膜相对透性较 CK 分别显著增加 35.48%和 25.58%。CA 组各缓解措施对细胞膜相对透性的降低具有显著促进作用,且单施碳化玉米芯较 T0 处理降幅最大

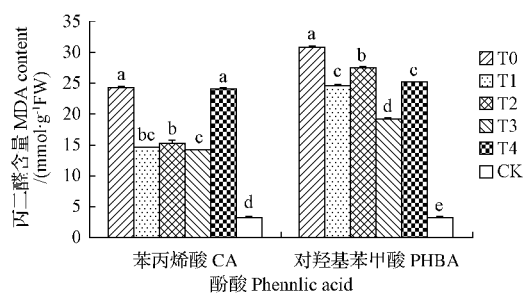


图 5 不同处理对黄瓜幼苗叶片 MDA 含量的影响

Fig. 5 Effects of different treatments on MDA content in leaves of cucumber seedlings

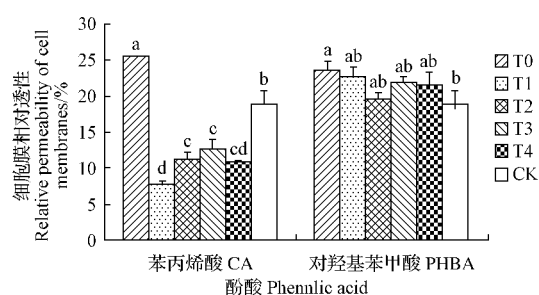


图 6 不同处理对黄瓜幼苗叶片细胞膜相对透性的影响

Fig. 6 Effects of different treatments on relative permeability of cell membranes in leaves of cucumber seedlings

(69.68%)。PHBA 组各缓解措施较 T0 处理呈下降趋势,但差异不显著。可见,相同缓解措施对不同酚酸处理下细胞膜相对透性的影响具有差异性。

3 讨论

相关研究表明,酚酸类物质对作物生长产生抑制作用与酚酸浓度密切相关,对植株的生长发育总体表现为低浓度促进、高浓度抑制^[19-20],其中 CA 和 PHBA 对黄瓜幼苗的株高和茎粗均有抑制作用,并随着酚酸浓度增加而增强^[21]。该试验中 100 mg·kg⁻¹ 的 PHBA 较 CA 对株高具有更强的抑制作用。生物炭和腐殖酸可缓解外源酚酸对植株的毒害作用^[22-23],玉米芯等生物炭与其它肥料配施,可促进土壤中有有效养分含量和阳离子交换量的增加,交换性有害离子含量的降低,从而促进作物生长,产量增加^[24]。施用碳化玉米芯处理和生物有机肥处理分别对 CA 和 PHBA 2 种酚酸处理下的株高有较好的促进作用。碳化玉米芯+生物有机肥处理对 CA 组茎粗的促进作用较好,生物有机肥处理和碳化玉米芯+生物有机肥对 PHBA 组茎粗有更好的促进作用。

苯基羧酸类化合物对黄瓜胚根生长具有抑制作

用,其中 CA 的抑制作用随浓度增加而增强,抑制效果最为显著^[25]。该试验研究结果与其相似,CA 对主根长的抑制作用强于 PHBA。碳化玉米芯+生物有机肥处理和生物有机肥处理分别对 CA 组和 PHBA 组幼苗主根长的促进作用最为显著。2 组处理的根体积变化极为相似,促进作用最好的处理均为碳化玉米芯+生物有机肥+菌剂,说明菌剂在促进黄瓜幼苗根体积方面具有促进作用,与以往研究结果相同^[26]。根系是植株的主要吸收器官,其是否能正常生长与基质成分密切相关,易受外源酚酸的影响。因此,该试验幼苗的地下部鲜质量受酚酸毒害较地上部鲜质量更加显著,同时根冠比也显著受到抑制。PHBA 对地下部鲜质量和根冠比的抑制作用较 CA 强烈。施用生物有机肥有利于酚酸胁迫下地上部鲜质量的增加。碳化玉米芯+生物有机肥+菌剂处理和碳化玉米芯+生物有机肥处理分别有利于 CA 组和 PHBA 组幼苗地下部鲜质量和根冠比的增加。

叶绿素含量和根系活力分别是反映叶片光合能力和根系功能的重要指标。砂培环境不含酚酸类物质,100 mg·kg⁻¹ 浓度的 2 种单一外源酚酸对黄瓜幼苗的叶绿素相对含量均起促进作用,说明此浓度酚酸及环境条件未达到对叶片光合作用的毒害水平,高于吴凤芝^[20]在蛭石栽培条件下 CA 对黄瓜幼苗的毒害浓度。这种差异性可能与蛭石、石英砂的理化性质及黄瓜品种有关。2 组处理黄瓜幼苗的根系活力差异显著,外源添加 CA 呈显著促进作用,PHBA 组呈显著抑制作用。缓解措施中,CA 组单一添加碳化玉米芯的根系活力最高,PHBA 组添加碳化玉米芯+生物有机肥+菌剂效果最好,其次是单一添加碳化玉米芯处理。

SOD 和 POD 在植株细胞抗氧化系统中起非常重要的作用。参与的催化反应的底物不同,但反应间具有协同作用,从而共同清除细胞自由基,防止细胞的氧化损伤。MDA 作为细胞膜脂过氧化产物,其含量升高标志着细胞膜结构和细胞内大分子受损,影响细胞膜的稳定性^[27-28]。2 组处理中单一添加酚酸处理的 SOD、POD 活性和 MDA 含量较 CK 均有所增加,与前人研究结果一致^[14,20,29]。试验结果表明,碳化玉米芯处理和碳化玉米芯+生物有机肥处理最有利于 CA 处理植株的 SOD 活性提高,碳化玉米芯+生物有机肥处理最有利于 PHBA 处理植株的 SOD 活性提高。生物有机肥处理和碳化玉米芯+生物有机肥处理分别最有利于 CA 和 PHBA 处理的植

株 POD 活性提高。SOD 和 POD 活性增加,能有效抑制细胞的自由基过度积累,从而维持自由基产生和清除的动态平衡。碳化玉米芯+生物有机肥处理最有利于控制酚酸毒害引起的 MDA 含量增加,以避免脂膜的过氧化损伤。王艳芳等^[22]对 PHBA 胁迫下平邑甜茶幼苗的抗氧化系统进行了研究,认为生物炭对酚酸物质具有较强的吸附作用,可促进作物抗氧化酶活性,减少细胞膜脂过氧化作用,与该研究结果一致。

酚酸毒害导致细胞膜受损,细胞膜相对透性随之增加。CA 和 PHBA 均引起细胞膜相对透性显著增加,与以往研究结果相同^[19]。结果表明,CA 对细胞膜相对透性的影响大于 PHBA。不同措施可促使 CA 组的细胞膜相对透性显著下降,而 PHBA 组各处理无显著变化,仅稍有缓解趋势。说明针对该试验条件下的外源酚酸毒害,各施肥处理对外源 CA 的影响调节幅度较 PHBA 更强,其中碳化玉米芯+生物有机肥的细胞膜相对透性最接近 CK。

参考文献

- [1] YU J Q, MATSUI Y. Effects of root exudates of cucumber (*Cucumis sativus*) and allelochemicals on ion uptake by cucumber seedlings [J]. Journal of Chemical Ecology, 1997, 23(3): 817-827.
- [2] 陈天祥, 顾欣, 孙权. 外源酚酸对设施黄瓜幼苗生物量积累和抗氧化系统的影响[J]. 北方园艺, 2016(20): 44-49.
- [3] 吴凤芝, 孟立君, 王学征. 设施蔬菜轮作和连作土壤酶活性的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(4): 554-558.
- [4] 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.
- [5] 杨凤娟, 吴焕涛, 魏珉, 等. 轮作与休闲对日光温室黄瓜连作土壤微生物和酶活性的影响[J]. 应用生态学报, 2009, 20(12): 2983-2988.
- [6] RICE E L. Allelopathy[M]. 2nd edition. New York: Academy Press Inc, 1984.
- [7] 黄奔立, 许云东, 伍焯, 等. 两个不同抗性黄瓜品种和云南黑籽南瓜根系分泌物对黄瓜枯萎病发生的影响[J]. 应用生态学报, 2007, 18(3): 559-563.
- [8] KING S R, DAVIS A R, LIU W, et al. Grafting for disease resistance[J]. Hort Science, 2008, 43(6): 1673-1676.
- [9] LEE J M. Cultivation of grafted vegetables I. current status, grafting methods, and benefits[J]. Hort Science, 1994, 29(4): 235-239.
- [10] MASUDA M, GOMI K. Diurnal changes of the exudation rate and the mineral concentration in xylem sap after decapitation of grafted and non-grafted cucumbers[J]. Engei Gakkai Zasshi, 1982, 51(3): 293-298.
- [11] 邓霞, 李锋民, 郑浩, 等. 芦竹生物炭的表征及其对玉米和黄瓜植株生长的影响[A]. International Conference on Environmental Systems Science and Engineering, Dalian, 2011: 270-273.
- [12] 武春成, 李天来, 曹霞, 等. 添加生物炭对连作营养基质理化性质及黄瓜生长的影响[J]. 核农学报, 2014, 28(8): 1534-1539.

- [13] 邹春娇,张勇勇,张一鸣,等.生物炭对设施连作黄瓜根域基质酶活性和微生物的调节[J].应用生态学报,2015,26(6):1772-1778.
- [14] 李亮亮,李天来,张恩平,等.碳化玉米芯缓解肉桂酸对番茄幼苗生长的抑制作用[J].华北农学报,2012,27(5):139-143.
- [15] QIU M, ZHANG R, XUE C, et al. Application of bio-organic fertilizer can control *Fusarium* wilt of cucumber plants by regulating microbial community of rhizosphere soil[J]. Biology and Fertility of Soils, 2012, 48(7): 807-816.
- [16] LI L, MA J, IBEKWE A, et al. Cucumber rhizosphere microbial community response to biocontrol agent *Bacillus subtilis* B068150[J]. Agriculture, 2016, 6(1): 2.
- [17] 徐淑霞,张世敏,尤晓颜,等.黄孢原毛平革菌对黄瓜连作土壤酚酸物质的降解[J].应用生态学报,2008,19(11):2480-2484.
- [18] 郑炳松.现代植物生理生化研究技术[M].北京:气象出版社,2006.
- [19] YU J Q, MATSUI Y. Phytotoxic substances in root exudates of cucumber (*Cucumis sativus* L.)[J]. Journal of Chemical Ecology, 1994, 20(1): 21-31.
- [20] 吴凤芝.外源酚酸对黄瓜自毒作用的生理生化机制研究[D].哈尔滨:东北农业大学,2002.
- [21] 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.
- [22] 王艳芳,沈向,陈学森,等.生物炭对缓解对羟基苯甲酸伤害平邑甜茶幼苗的作用[J].中国农业科学,2014,47(5):968-976.
- [23] 张丽娜.腐殖酸对外源苯丙烯酸胁迫下黄瓜种子萌发和幼苗生长的影响[D].福州:福建农林大学,2008.
- [24] YAMATO M, OKIMORI Y, WIBOWO I F, et al. Effects of the application of charred bark of *Acacia mangium* on the yield of maize, cowpea and peanut, and soil chemical properties in South Sumatra, Indonesia[J]. Soil Science & Plant Nutrition, 2006, 52(4): 489-495.
- [25] 张韵.黄瓜自毒物质对细胞生长的影响及缓解机制[D].杭州:浙江大学,2009.
- [26] 买买提吐逊·肉孜,仙米斯娅·塔依甫,李娟,等.基质添加菌剂对黄瓜根际环境及产量的影响[J].中国蔬菜,2011(22/24):51-56.
- [27] LEUL M, ZHOU W J. Alleviation of waterlogging damage in winter rape by uniconazole application: Effects on enzyme activity, lipid peroxidation, and membrane integrity[J]. Journal of Plant Growth Regulation, 1999, 18(1): 9-14.
- [28] LIANG Y C. Effects of silicon on enzyme activity and sodium, potassium and calcium concentration in barley under salt stress[J]. Plant and Soil, 1999, 209(2): 217-224.
- [29] 胡元森,吴坤,李翠香,等.酚酸物质对黄瓜幼苗及枯萎病菌菌丝生长的影响[J].生态学杂志,2007,26(11):1738-1742.

Alleviating Effects of Different Measures on Phenolic Acids Toxicity in Cucumber Seedling Under Shed Protection

GU Xin, CHEN Tianxiang, SUN Quan

(School of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021)

Abstract: 'Jinchun V' cucumber was used as test material. A pot experiment was conducted with cucumber seedling growing under plastic greenhouse. The applied phenolic acids were cinnamic acid and p-hydroxy benzoic acid. Absolute control used neither fertilizer nor phenolic acid (CK). Relative comparison used different phenolic acid singly (100 mg · kg⁻¹ soil) (T0). Four fertilizer treatments were carbonized maize cob (T1), biological organic fertilizer (T2), carbonized maize cob cooperated with biological organic fertilizer (T3), carbonized maize cob cooperated with biological organic fertilizer and microbial fertilizer (T4). The results showed that the reactions of seedlings had discrepancy in poison of two phenolic acids, and the alleviating effects of different fertilizers had distinction in it. The suppressive effect of cinnamic acid on main root length was more than p-hydroxybenzoic acid, but p-hydroxybenzoic acid had significant inhibitory effects on the root activity, plant height, root shoot ratio and underground fresh weight compared with cinnamic acid. In the exogenous cinnamic acid group, the content of MDA reduced in leaves, stem diameter and main root length increased and relative permeability of cell membranes kept proper level in T3. The root activity, SOD activity and plant height increased in T1. The Root volume, underground fresh weight and root shoot ratio increased in T4. The POD activity and aboveground fresh weight increased in T2. In the exogenous p-hydroxy benzoic acid group, the content of MDA reduced in leaves, chlorophyll content, SOD activity, POD activity, underground fresh weight and root shoot ratio increased in T3. The plant height, stem diameter and main root length increased in T2. The root activity and volume increased in T4. In this experiment, the application of appropriate mitigation measures could reduce the toxicity of phenolic acid in the soil.

Keywords: cucumber; phenolic acid; fertilization; alleviation