

DOI:10.11937/bfyy.201620012

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

陈天祥, 顾欣, 孙 权

(宁夏大学 农学院, 宁夏 银川 750021)

摘 要:针对设施黄瓜连作障碍中的自毒作用,以“津春5号”黄瓜幼苗为试材,以灭菌石英砂为基质,施加不同浓度的酚酸进行砂培试验,探讨酚酸类物质对黄瓜幼苗生物量积累、根系生长发育及叶片抗氧化系统的影响。结果表明:50 mg·kg⁻¹苯丙烯酸对叶绿素含量和茎粗具有显著促进作用,100~150 mg·kg⁻¹对羟基苯甲酸有利于叶绿素含量增加,浓度增高抑制作用增强。2种酚酸浓度为30~50 mg·kg⁻¹时,促进地上部鲜质量增加,但差异不显著。酚酸浓度升高对地上部鲜质量抑制作用逐渐增强。50 mg·kg⁻¹苯丙烯酸显著促进根冠比增加且有利于根系生长。50 mg·kg⁻¹对羟基苯甲酸对幼苗地下部鲜质量、主根长和根体积抑制作用显著。50~150 mg·kg⁻¹酚酸处理显著促进超氧化物歧化酶(SOD)活性的增加。2种酚酸浓度为30~150 mg·kg⁻¹对过氧化物酶(POD)活性有相似效应,大于200 mg·kg⁻¹对POD活性具有显著促进作用,质膜透性和丙二醛(MDA)含量也随之升高。由此可见,砂培条件下,低浓度(30~50 mg·kg⁻¹)酚酸对黄瓜幼苗生长发育具有促进作用,高浓度(≥200 mg·kg⁻¹)酚酸具有抑制作用,且不同酚酸对黄瓜幼苗的生理效应浓度不同。

关键词:自毒作用;苯丙烯酸;对羟基苯甲酸;抗氧化系统;幼苗生长

中图分类号:S 642.226.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)20-0044-06

黄瓜是我国重要的蔬菜种类,其中设施黄瓜约占黄瓜栽培总面积的42%,而连作障碍是导致设施黄瓜产量下降和品质变劣的关键^[1]。自毒物质与连作障碍密切相关,土壤中的酚酸类化感自毒物质主要来自前茬根际分泌、植株体挥发和淋溶、残茬分解等,是影响黄瓜幼苗正常生长的重要因素,而黄瓜幼苗的健康生长是高产优质的保证。

酚酸类物质在连作土壤根际普遍存在,根系分泌物中的某些酚酸类物质浓度较高时,会对自身造成毒害作用,严重影响后茬幼苗的正常生长发育^[2]。PATERSON等^[3]研究发现酚酸类化感物质通过改变植株保护酶和抗氧化酶活性,破坏细胞内自由基产生与清除的动态平衡;使膜质脂肪酸组分和含量发生改变,膜的流动性变差,透性增加使得养分外渗且电导率升高,干物质积累

减少^[3-4]。YU等^[5]、JING等^[6]和BOOKER等^[7]研究发现黄瓜根系中含有苯丙烯酸、对羟基苯甲酸及其衍生物等11种酚酸物质,其中10种酚酸具有生物毒性。当黄瓜连续种植时,根系分泌的酚酸类物质积累至一定程度,对下茬黄瓜产生化感抑制作用。其中对羟基苯甲酸及其一些衍生物和某些酚类物质能作为化感物质对邻近生物产生克制作用。该类物质主要通过改变土壤环境来影响植物的生长^[7]。

探讨自毒作用机制,解决设施黄瓜连作障碍中的生理生化的互作效应将成为解决问题的关键,对缓解连作障碍,保持黄瓜优质高产具有重要的实际意义。该试验选用苯丙烯酸和对羟基苯甲酸,通过温室砂培试验,探讨自毒物质对黄瓜幼苗植株的生长发育、地上部和地下部生物量累积及叶片抗氧化系统的影响,为深入研究自毒物质对黄瓜植株的生理生态效应提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试黄瓜品种为“津春5号”,由天津市农业科学院黄瓜研究所提供。苯丙烯酸和对羟基苯甲酸由国药集团化学试剂有限公司提供,其它所用试剂和药品均为国

第一作者简介:陈天祥(1991-),男,硕士研究生,研究方向为干旱区土壤资源管理。E-mail:1282896413@qq.com.

责任作者:顾欣(1973-),女,硕士,副教授,现主要从事农业微生物资源与利用等研究工作。E-mail:sqnxu@sina.com.

基金项目:2015年宁夏农业科技支撑资助项目(nxnz-08);2016年宁夏大学研究生创新资助项目(GIP201649)。

收稿日期:2016-07-19

产分析纯。石英砂用 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 盐酸淘洗,除去杂质, $121 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 30 min 灭菌处理。

1.2 试验方法

试验在宁夏大学农科实训基地的温室进行。挑选籽粒饱满、大小均匀的黄瓜种子,消毒处理后浸种,于 $28 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下避光预发芽 2 d 。将其播于穴盘中,以石英砂为栽培基质。待幼苗 2 叶 1 心时,选择健康无病虫害的植株,定植在装有灭菌石英砂的 $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ 营养钵中。营养液采用改良 Hoagland 配方,将配制好的母液按比例混合,用无菌水稀释 4 倍,现配现用。营养液每 7 d 浇灌 1 次,每钵每次 200 mL 。根据温室温度和钵内石英砂湿度,一般 $2 \sim 3 \text{ d}$ 浇水 1 次,每钵浇无菌水 300 mL 。保持充足光照,温度 $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右。

试验采用单因素多水平随机区组设计。定植第 5 天,幼苗已适应新环境,施用不同浓度的苯丙烯酸和对羟基苯甲酸。以不加酚酸为对照(CK),设 T1、T2、T3、T4、T5、T6 共 6 个酚酸处理,分别对应酚酸浓度为 30、50、100、150、200、250 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。每钵装 1.2 kg 石英砂,将酚酸与石英砂拌匀,每处理设 5 次重复。

1.3 项目测定

1.3.1 植株生长指标测定 处理第 28 天,测定黄瓜幼苗的生长指标。茎粗采用游标卡尺测量,以基部为测量基准;主根长度采用卷尺测定;以茎基为基准分为地上和地下 2 个部分,分别称量鲜质量。

1.3.2 植株生理指标测定 叶绿素含量采用 SPAD-502 叶绿素仪测量,每处理随机取 3 株进行测定;叶片细胞膜透性采用电导仪法测定;丙二醛(MDA)含量采用硫代巴比妥酸法测定;超氧化物歧化酶(SOD)活性采用 NBT 还原法测定;过氧化物酶(POD)活性采用愈创木酚法测定。

1.4 数据分析

试验数据以 Microsoft Office Excel 2007 软件整理计算数据和制作图表,同时采用 SPSS Statistics 17.0 软件进行统计分析,采用邓肯多重极差法对相关指标进行显著性检验,显著性水平为 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 外源酚酸对黄瓜幼苗叶绿素含量和茎粗的影响

由表 1 可知,苯丙烯酸和对羟基苯甲酸对叶绿素含量和茎粗的影响不同。 $50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 苯丙烯酸和 $150 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 对羟基苯甲酸处理叶绿素含量分别为该组最高水平,分别较 CK 增加 18.15% 、 15.01% 。低于或高于此浓度,叶绿素含量均呈现下降趋势,但与 CK 无显著差异。茎粗受 2 种酚酸的影响程度较叶绿素含量强。各酚酸处理除 $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 苯丙烯酸处理外均显著降低茎粗,且各组 $200 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 处理的茎粗均为最低值,对羟基苯甲酸为 3.67 mm ,较 CK 降低 31.27% ,苯丙烯

表 1 外源酚酸对黄瓜幼苗叶绿素含量和茎粗的影响

Table 1 Effect of exogenous phenolic acids on chlorophyll content and stem diameter of cucumber seedling

处理 Treatment	苯丙烯酸 Cinnamic acid		对羟基苯甲酸 p-Hydroxybenzoic acid	
	叶绿素含量 Chlorophyll	茎粗 Stem diameter	叶绿素含量 Chlorophyll	茎粗 Stem diameter
	content/SPAD	/mm	content/SPAD	/mm
CK	$41.38 \pm 1.23b$	$5.34 \pm 0.18a$	$41.38 \pm 1.23bc$	$5.34 \pm 0.18a$
T1	$43.60 \pm 3.57ab$	$4.47 \pm 0.12b$	$39.72 \pm 0.61c$	$4.16 \pm 0.02bc$
T2	$48.89 \pm 1.08a$	$5.22 \pm 0.20a$	$41.02 \pm 1.44b$	$4.20 \pm 0.25bc$
T3	$46.61 \pm 1.47ab$	$4.23 \pm 0.18bc$	$46.62 \pm 0.73a$	$4.47 \pm 0.14b$
T4	$41.32 \pm 1.12b$	$4.12 \pm 0.04bc$	$47.59 \pm 1.51a$	$3.87 \pm 0.11cd$
T5	$41.11 \pm 0.45b$	$3.79 \pm 0.27c$	$44.71 \pm 2.21ab$	$3.67 \pm 0.07d$
T6	$40.96 \pm 0.82b$	$4.55 \pm 0.15b$	$40.29 \pm 1.80c$	$3.80 \pm 0.04cd$

酸为 3.79 mm ,较 CK 降低 29.03% 。随 2 种酚酸浓度升高,抑制作用逐渐增强。

2.2 外源酚酸对黄瓜幼苗地上部和地下部鲜质量的影响

从表 2 可以看出,苯丙烯酸和对羟基苯甲酸对地上部和地下部鲜质量的影响具有差异。 $30 \sim 50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 苯丙烯酸和对羟基苯甲酸处理的地上部鲜质量均为该组最高水平,分别较 CK 增加 $0.40\% \sim 2.77\%$ 和 $2.38\% \sim 19.41\%$,但差异不显著。随着 2 种酚酸浓度的增加,对地上部鲜质量表现出显著抑制作用。当酚酸浓度高于 $150 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,地上部鲜质量较 CK 显著降低。地下部鲜质量受酚酸影响程度较地上部鲜质量强。苯丙烯酸各处理的地下部鲜质量,除 $50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 处理外,其它各处理均显著低于 CK。 $150 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 处理表现最低,降幅达 72.38% 。 $30 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 对羟基苯甲酸处理显著高于 CK,增幅达 51.87% ,其它各处理随酚酸浓度升高呈显著下降趋势。

表 2 外源酚酸对黄瓜幼苗地上部和地下部鲜质量的影响

Table 2 Effect of exogenous phenolic acids on shoot and root fresh weight of cucumber seedlings

处理 Treatment	苯丙烯酸 Cinnamic acid		对羟基苯甲酸 p-Hydroxybenzoic acid	
	地上部鲜质量 Shoot fresh	地下部鲜质量 Underground fresh	地上部鲜质量 Shoot fresh	地下部鲜质量 Underground fresh
	weight	weight	weight	weight
CK	$5.05 \pm 0.13a$	$2.68 \pm 0.35a$	$5.05 \pm 0.13ab$	$2.68 \pm 0.35b$
T1	$5.19 \pm 0.44a$	$1.48 \pm 0.06cd$	$5.17 \pm 0.21ab$	$4.07 \pm 0.12a$
T2	$5.07 \pm 0.44a$	$2.19 \pm 0.42ab$	$6.03 \pm 0.70a$	$1.99 \pm 0.31c$
T3	$4.49 \pm 0.01ab$	$1.76 \pm 0.08bc$	$4.46 \pm 0.16bc$	$1.28 \pm 0.02d$
T4	$3.44 \pm 0.89bc$	$0.74 \pm 0.10e$	$3.60 \pm 0.03cd$	$0.84 \pm 0.09de$
T5	$3.90 \pm 0.13bc$	$1.01 \pm 0.04de$	$3.46 \pm 0.25cd$	$0.66 \pm 0.04e$
T6	$2.96 \pm 0.55c$	$0.92 \pm 0.09de$	$2.56 \pm 0.36d$	$0.30 \pm 0.06e$

2.3 外源酚酸对黄瓜幼苗根系主根长和根体积的影响

表 3 表明,2 种酚酸对主根长和根体积的影响差异性较大。 $50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 苯丙烯酸促进主根长的增加,较 CK 增加 34.36% ,差异显著。其它浓度处理下主根长呈

降低趋势,但与 CK 无显著差异。除 T2 处理外,对羟基苯甲酸各处理黄瓜幼苗主根长均显著低于 CK,并且随酚酸浓度升高抑制作用逐渐增强。其中 250 mg·kg⁻¹ 处理的抑制作用最强,较 CK 降低 36.02%,仅为 10.00 cm。根体积受 2 种酚酸的影响程度较主根长强。50 mg·kg⁻¹ 苯丙烯酸根体积为该组最高,较 CK 增加 22.70%,但差异不显著。低于或高于此浓度,根体积均表现为降低趋势。对羟基苯甲酸各浓度处理对根体积均存在抑制作用,不利于根系的生长发育。

表 3 外源酚酸对黄瓜幼苗根系主根长和根体积的影响

Table 3 Effect of exogenous phenolic acids on root length and root volume of cucumber seedlings

处理 Treatment	苯丙烯酸 Cinnamic acid		对羟基苯甲酸 p-Hydroxybenzoic acid	
	主根长 Length of tap root /cm	根体积 Volume of root /cm ³	主根长 Length of tap root /cm	根体积 Volume of root /cm ³
CK	15.63±1.52b	1.63±0.38a	15.63±1.52a	1.63±0.22a
T1	14.00±0.29b	1.00±0.00b	12.80±0.12bc	1.00±0.00bc
T2	21.00±4.04a	2.00±0.50a	14.80±1.85ab	1.25±0.14ab
T3	10.18±0.22b	0.88±0.13bc	11.63±0.07b	0.63±0.07c
T4	11.25±0.14b	0.50±0.00c	10.25±0.43c	0.50±0.00c
T5	11.00±0.58b	0.63±0.13bc	11.28±0.25c	0.68±0.19c
T6	12.00±0.58b	1.00±0.00b	10.00±1.44c	0.60±0.23c

2.4 外源酚酸对黄瓜幼苗根冠比的影响

由图 1 可知,2 种酚酸对根冠比的影响具有相似性。100 mg·kg⁻¹ 苯丙烯酸处理下根冠比为该组最高,但与 CK 差异不显著。30 mg·kg⁻¹ 对羟基苯甲酸处理对幼苗根冠比有显著促进作用,较 CK 增加 45.3%。虽然 2 种酚酸对根冠比的生理效应峰值浓度不同,但低于或高于峰值浓度的处理,根冠比均呈降低趋势。

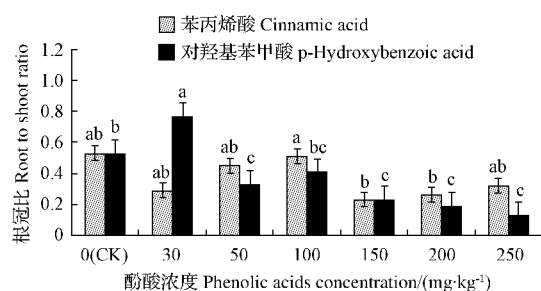


图 1 外源酚酸对黄瓜幼苗根冠比的影响

Fig. 1 Effect of exogenous phenolic acids on root to shoot ratio of cucumber seedlings

2.5 外源酚酸对黄瓜幼苗叶片 SOD 活性和 POD 活性的影响

从图 2 可以看出,苯丙烯酸和对羟基苯甲酸对超氧化物歧化酶(SOD)活性的影响基本一致。2 种酚酸 150 mg·kg⁻¹ 处理 SOD 活性均为该组最高,分别较 CK 增加 9.86% 和 14.12%。50~150 mg·kg⁻¹ 酚酸对 SOD 活性具有显著促进作用。30 mg·kg⁻¹ 的 2 种酚酸对

SOD 活性有显著抑制作用。在 200~250 mg·kg⁻¹ 的范围内,对羟基苯甲酸处理与 CK 无显著差异,而苯丙烯酸处理有所回升。图 3 表明,苯丙烯酸和对羟基苯甲酸对过氧化物酶(POD)活性的影响与 SOD 相似,分别于 100 mg·kg⁻¹ 和 150 mg·kg⁻¹ 处理时对 POD 活性抑制作用最强,低于或高于此浓度,POD 活性均表现出先升后降的变化趋势。2 种酚酸浓度分别为 250 mg·kg⁻¹ 和 200 mg·kg⁻¹ 对 POD 活性促进作用最为显著,分别较 CK 高 7.62% 和 37.57%。

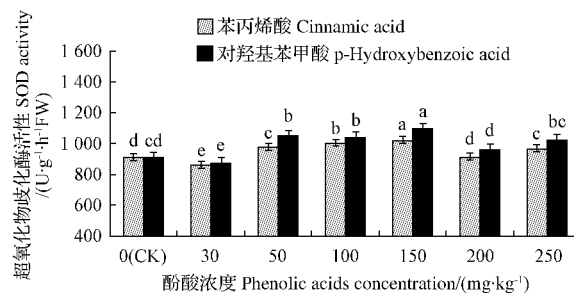


图 2 外源酚酸对黄瓜幼苗叶片超氧化物歧化酶活性的影响

Fig. 2 Effect of phenolic acid stress on superoxide dismutase activity in leaves of cucumber seedlings

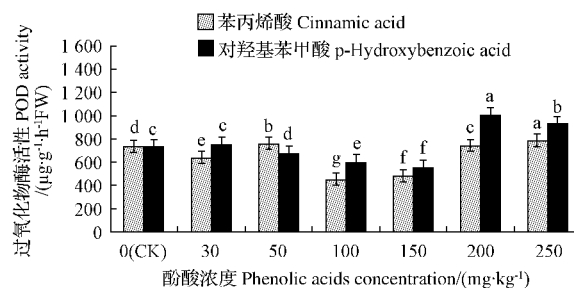


图 3 外源酚酸对黄瓜幼苗叶片过氧化物酶活性的影响

Fig. 3 Effect of phenolic acids on the activity of peroxidase in leaves of cucumber seedlings

2.6 外源酚酸对黄瓜幼苗叶片 MDA 含量和细胞膜透性的影响

从图 4 可以看出,苯丙烯酸和对羟基苯甲酸处理下的叶片丙二醛(MDA)含量均显著增加。苯丙烯酸和对羟基苯甲酸 2 组处理的 MDA 最高含量分别出现在

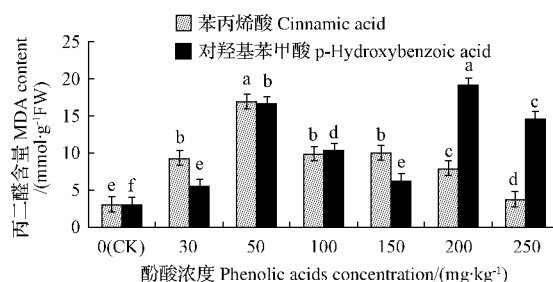


图 4 外源酚酸对黄瓜幼苗叶片丙二醛含量的影响

Fig. 4 Effect of phenolic acid stress on MDA content in leaves of cucumber seedlings

50 mg · kg⁻¹和 200 mg · kg⁻¹,较 CK 高出多倍且与 CK 差异显著。由图 5 可知,在试验的浓度范围内,2 种酚酸处理的叶片细胞膜透性高低变化均呈波浪形,苯丙烯酸对细胞膜透性的影响幅度强于对羟基苯甲酸。苯丙烯酸处理下,细胞膜透性的第 1 个高值出现于 50 mg · kg⁻¹,之后随着酚酸浓度增高而降低,至 250 mg · kg⁻¹时出现第 2 个高值,较 CK 高 61.26% 且差异显著。对羟基苯甲酸处理中,细胞膜透性变化幅度较小,最高值与 CK 无显著差异,最低值出现于 200 mg · kg⁻¹,抑制作用显著。

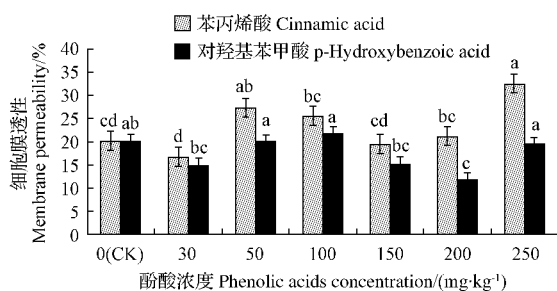


图 5 外源酚酸对黄瓜幼苗叶片细胞膜透性的影响

Fig. 5 Effect of phenolic acid stress on membrane permeability in leaves of cucumber seedlings

3 讨论与结论

叶绿素是表征植物生理代谢变化的物质基础,酚酸抑制叶绿素 a、b 合成^[8-10],显著降低黄瓜幼苗叶绿素含量^[11-12]。该试验发现,50 mg · kg⁻¹苯丙烯酸对幼苗叶绿素含量有促进作用,并随酚酸浓度升高,抑制作用逐渐增强。100~150 mg · kg⁻¹对羟基苯甲酸对叶绿素含量有显著促进作用。不同酚酸对黄瓜幼苗的化感效应不同。幼苗叶绿素代谢系统对不同酚酸的耐受范围不同。2 种酚酸在不同浓度范围内促进叶绿素含量的增加,高于此浓度,将发生抑制作用,原因可能是外源酚酸扰乱叶绿素合成酶类的代谢条件并破坏叶绿体结构,使叶绿素代谢失衡。

黄瓜茎粗随酚酸浓度升高显著降低^[13]。黄瓜根系分泌物中的苯丙烯酸和对羟基苯甲酸可以显著抑制根系对无机养分的吸收^[14]。酚酸类自毒物质能抑制植物细胞分裂、改变细胞形态结构,干涉植株正常生长^[15]。该试验发现,苯丙烯酸和对羟基苯甲酸对茎粗的抑制作用随浓度升高而增强,与前人研究结果一致。50 mg · kg⁻¹苯丙烯酸对主根长和根体积促进作用显著,有利于根系形态发育。而试验范围各浓度对羟基苯甲酸对主根长和根体积均呈抑制作用,其中 150~250 mg · kg⁻¹处理对根系抑制作用最为显著。根系是植物获取地下营养的主要器官,是自毒作用发生的首要部位。自毒物质破坏根系生理代谢和组织结构,严重影响根系形态建成和对养分的同化吸收,导致地上部生物量积累受阻,生长发育不良。由此可见,自毒物质的毒

害效应影响黄瓜幼苗相应的同化器官,而地上部在根系受害之后才能感知,这与吴凤芝等^[12]的研究结果相似。

水培条件下,100 μmol · L⁻¹对羟基苯甲酸和苯丙烯酸显著抑制滁菊地下部生长,而对鲜质量无显著影响^[10]。2 mmol · L⁻¹对羟基苯甲酸处理土壤后,西瓜幼苗地下部生长显著受到抑制^[16]。苯丙烯酸对黄瓜地上部鲜质量和干物质累积的抑制作用随浓度升高而增强^[13]。该试验表明,在砂培条件下,30~50 mg · kg⁻¹的 2 种酚酸均促进黄瓜幼苗地上部鲜质量的增加。不同浓度苯丙烯酸均抑制地下部鲜质量增加且根冠比有降低趋势。30 mg · kg⁻¹对羟基苯甲酸显著促进地下部鲜质量和根冠比的增加,但超过此浓度,地下部鲜质量和根冠比均呈显著降低趋势。由此可见,低浓度酚酸对幼苗地下部生长的促进作用强于地上部分,故根冠比增幅较大。根系是直接接触和吸收化感物质的器官,更易受到高浓度酚酸伤害。因此,根冠比随着对羟基苯甲酸浓度的增加迅速下降。地上部分的养分需求要依靠根部的吸收,当根系受害严重而不能正常供给养分时,地上部分才表现出受害症状,这与 VAUGHAN 等^[17]和 DJURDJEVIC 等^[18]的研究结果一致。

逆境胁迫打破自由基产生与清除的平衡^[19]。低浓度酚酸胁迫对黄瓜幼苗 SOD、POD 活性影响较小,高浓度刺激作用显著。保护酶活性随自毒物质浓度升高呈先升高后下降的趋势^[20-22]。吴凤芝等^[23]通过土培试验发现,100 mg · kg⁻¹和 200 mg · kg⁻¹的苯丙烯酸均使黄瓜幼苗 SOD 活性降低,产生的氧自由基已超出了保护酶系统所能承受的逆境压力。该试验发现,2 种酚酸浓度在 50~150 mg · kg⁻¹时,SOD 活性显著增高,表明叶片中自由基含量增加,而 30 mg · kg⁻¹和 200 mg · kg⁻¹的苯丙烯酸均使黄瓜幼苗 SOD 活性降低,这与上述研究相似。2 种酚酸在 30~150 mg · kg⁻¹范围内时,对黄瓜 POD 活性影响均呈相似的变化趋势,但适应范围不同,这与上述研究一致。当 2 种酚酸浓度高于 200 mg · kg⁻¹时,对 POD 活性的影响迥然不同。抗氧化酶对胁迫条件的响应有先后次序,高浓度酚酸胁迫使黄瓜幼苗体内 O₂⁻ 增加,形成酶促刺激机制。SOD 活性升高有利于将 O₂⁻ 转换成 H₂O₂,导致 POD 活性升高,增强幼苗对逆境的抗性。另外,酚酸可能与某些植物激素有同源效应,存在“低促高抑”的双重效应。这也可能与黄瓜幼苗的培养基质有关。

质膜系统是植物细胞新陈代谢有序进行的中枢神经,高浓度酚酸胁迫致使质膜过氧化严重,MDA 含量显著增加,质膜系统和渗透平衡被破坏,直接影响幼苗生长发育^[12-13,21-22]。当土壤苯丙烯酸浓度升高到 400 μmol · L⁻¹时,黄瓜幼苗体内 MDA 含量还在升高^[13],而该试验发现苯丙烯酸 50 mg · kg⁻¹时,幼苗体内 MDA 含量达到

峰值,此时细胞膜透性也显著升高,与上述研究结果相似。2种酚酸浓度达到 $30\sim 150\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时,MDA含量变化趋势相似。当酚酸浓度高于 $200\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时,苯丙烯酸处理MDA含量呈稍降趋势,而对羟基苯甲酸处理MDA含量仍较高。由于高浓度酚酸胁迫使黄瓜幼苗体内活性氧含量增加,对膜质不饱和脂肪酸过氧化作用增强,产生大量活性氧自由基,质膜系统严重受损,流动性变差^[19,24],进而导致黄瓜幼苗叶肉细胞离子渗漏加剧。该试验结果与上述研究结果一致。当苯丙烯酸浓度达到 $200\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时,打破了幼苗体内自由基及其它氧化物产生与清除的可逆性平衡。随着自由基在体内的累积,植物受害逐渐加重,使抗氧化酶受损而活性降低,从而对其它代谢活动产生联动效应,这也与吴凤芝等^[23]的研究结果相似。

该研究表明,砂培条件下, $50\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 苯丙烯酸对黄瓜幼苗叶绿素含量有促进作用,有利于根系形态发育。随酸浓度升高,抑制作用逐渐增强。 $100\sim 150\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 对羟基苯甲酸有利于黄瓜叶绿素含量增加。该试验浓度范围内,对羟基苯甲酸对黄瓜主根长和根体积均呈抑制作用,其中 $150\sim 250\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 处理对根系抑制作用最为强烈。 $30\sim 50\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的2种酚酸均促进黄瓜幼苗地上部鲜质量的增加。不同浓度苯丙烯酸均抑制地下部鲜质量增加且根冠比有降低趋势。 $30\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 对羟基苯甲酸显著促进地下部鲜质量和根冠比增加。高于此浓度,地下部鲜质量和根冠比均呈显著降低趋势。

2种酚酸浓度在 $50\sim 150\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时,均显著促进SOD活性增高,使POD活性降低,但作用峰值范围不同;MDA含量均呈先升高后降低的变化趋势,2种酚酸浓度高于 $200\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时,对MDA含量的影响迥然不同,苯丙烯酸处理呈下降趋势,而对羟基苯甲酸处理仍较高。前人诸多研究都是在土培或营养基质中完成。由于栽培基质或土壤中含有酚酸类物质,这可能是砂培研究结果与之有较大差异的原因。表明不同基质中外源酚酸类自毒物质对黄瓜幼苗的生理效应浓度存在差异。

参考文献

- [1] 李继强,曾秀存,李彩霞,等. 苯甲酸对黄瓜幼苗叶绿素含量、氮代谢及膜透性的影响[J]. 西南农业学报,2010,23(2):371-374.
- [2] 吴彩霞,傅华. 根系分泌物的作用及影响因素[J]. 草业科学,2009,26(9):24-29.
- [3] PATERSON E. Importance of rhizodeposition in the coupling of plant and microbial activity[J]. European Journal of Soil Science,2003,54(4):741-750.
- [4] 张恩平,张文博,张淑红,等. 苯甲酸和肉桂酸对番茄幼苗根部保护酶及膜质过氧化的影响[J]. 西北农业学报,2010,19(1):186-190.
- [5] YU J Q, MATSUI Y. Phytotoxic substances in root exudates of cucumber[J]. Journal of Chemical Ecology,1994,20(1):21-31.
- [6] JING Q Y, MATSUI Y. Effects of root exudates of cucumber and allelochemicals on ion uptake by cucumber seedlings[J]. Journal of Chemical Ecology,1997,23(3):817-827.
- [7] BOOKER F L, BLUM U, FISCUS E L. Short-term effects of ferulic acid on ion uptake and water relations in cucumber seedlings[J]. Journal of Experimental Botany,1992,43(5):649-655.
- [8] 袁方,李鑫,余君萍,等. 分光光度法测定叶绿素含量及其比值问题的探讨[J]. 植物生理学报,2009,45(1):63-66.
- [9] 吕德国,李志霞,秦嗣军,等. 酚类物质对东北山樱生长及呼吸关键酶的影响[J]. 园艺学报,2012,39(1):49-56.
- [10] 谢越,肖新,周毅,等. 5种酚酸物质对豫菊扦插幼苗生长及酶活性的影响[J]. 南京农业大学学报,2012,35(6):19-24.
- [11] 李明,税军峰,马永清. 化感作用在设施黄瓜连作中的应用研究[J]. 中国生态农业学报,2006,14(4):25-28.
- [12] 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):915-918.
- [13] 王文,陈振德,罗庆熙. 苯丙烯酸胁迫对黄瓜幼苗生长和抗氧化代谢特性的影响[J]. 农业环境科学学报,2011,30(4):625-632.
- [14] 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.
- [15] 张等宏,燕志强,金辉,等. 两种酚酸类化合物的化感作用机理研究[C]. 中国植物化感作用学术研讨会,2015:59.
- [16] 乜兰春,冯振中,周镇. 苯甲酸和对羟基苯甲酸对西瓜种子发芽及幼苗生长的影响[J]. 中国农学通报,2007,23(1):237-239.
- [17] VAUGHAN D, ORD B. Influence of phenolic acids on morphological changes in roots of *Pisum sativum* [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture,1990,52(3):289-299.
- [18] DJURDJEVIC L, DINIC A, PAVLOVIC P, et al. Allelopathic potential of *Allium ursinum* L [J]. Biochem Syst and Ecol,2004,32:533-544.
- [19] 张兆波,毛志泉,朱树华. 6种酚酸类物质对平邑甜茶幼苗根系线粒体及抗氧化酶活性的影响[J]. 中国农业科学,2011,44(15):3177-3184.
- [20] 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.
- [21] 李亮亮,李天来,张恩平,等. 自毒物质对番茄幼苗光合作用及保护酶活性的影响及碳化玉米芯的缓解作用[J]. 华北农学报,2010,25(1):141-146.
- [22] 宋亮,潘开文,王进闯,等. 酚酸类物质对苜蓿种子萌发及抗氧化酶活性的影响[J]. 生态学报,2006,26(10):3394-3403.
- [23] 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(7):1335-1340.
- [24] 陈沁,章文华,刘友良. 外源 H_2O_2 和 $\cdot\text{OH}$ 对大麦幼苗根系线粒体膜脂和流动性的伤害[J]. 西北植物学报,2001,21(3):468-473.

Effect of Exogenous Phenolic Acids on Biomass Accumulation and Antioxidant System of Greenhouse Cucumber Seedlings

CHEN Tianxiang, GU Xin, SUN Quan

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

生姜秸秆复配基质在黄瓜育苗上的应用

郝树芹, 韩素芹, 隋 静, 郑 伟

(莱芜职业技术学院 冶金与建筑工程系, 山东 莱芜 271100)

摘 要:以黄瓜为试材,以腐熟的生姜秸秆、蛭石和珍珠岩按照不同的比例进行复配,研究了复配基质的理化性质及其对黄瓜幼苗叶绿素含量、光合速率、生长形态和生物量的影响。结果表明:生姜秸秆复配基质的理化性质在植株生长的合理范围内,生姜秸秆复配基质显著提高了黄瓜叶片的叶绿素含量和光合速率,提高了黄瓜的株高、茎粗和生物量,有利于黄瓜幼苗生长,其中以秸秆:蛭石:珍珠岩=3:2:2的处理效果最佳。因此,生姜秸秆可以替代草炭作为黄瓜的育苗基质。

关键词:生姜;秸秆;基质;黄瓜

中图分类号:S 642.204⁺.2 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-0009(2016)20-0049-03

草炭是无土栽培中常用的固体基质,通常不单独使用,一般与其它固体基质配合使用。基质材料的选择和各种材料的配比决定了复合基质的理化性能,因此复配技术是制作优良无土栽培基质的技术关键和核心^[1-2]。然而草炭是一种短期内不可再生的资源,减少草炭的用量或寻找草炭替代品是目前选择基质的一个重要课题。研究发现稻壳、农作物秸秆、菇渣及棉杆等都可作为草

炭的替代物^[3-6]。杜鹏祥等^[7]研究发现蔬菜废物堆肥可以部分替代草炭作为黄瓜育苗的基质。目前秸秆的利用研究大多集中于大田作物,而忽视了对蔬菜残体分解物的利用。生姜(*Zingiber officinale* Roscoe)属于姜科草本植物,成熟后收获根茎,地上部丢弃或者焚烧。随着生姜栽培面积增加,问题也随之而来。有关新闻多次报道,生姜秸秆已成为“拦路虎”,既污染环境、阻碍交通,又浪费资源。闫永亮^[8]研究发现生姜秸秆可以用来栽培平菇。而对于生姜秸秆在其它作物栽培中的应用尚鲜见报道。山东是生姜种植大省,如果能利用生姜秸秆作为新型栽培基质的主要组成成分对于降低生产成本、

第一作者简介:郝树芹(1981-),女,博士,讲师,研究方向为蔬菜栽培与生理。E-mail:qincai718@163.com.

基金项目:山东省科技发展计划资助项目(2013GGA12040)。

收稿日期:2016-07-25

Abstract: For the autotoxicity of greenhouse cucumber under continuous cropping, taking 'Jinchun 5' cucumber seedlings as test materials to do experiment of sand culture with exogenous phenolic acids of different concentration, the impact on biomass accumulation of cucumber seedlings, growth of root and antioxidant system of leaf were discussed. The results showed that chlorophyll content and stem diameter were promoted significantly by cinnamic acid of 50 mg · kg⁻¹, chlorophyll content was promoted by the p-hydroxybenzoic acid of 100—150 mg · kg⁻¹ significantly, this function was suppressed with high concentration. The aboveground fresh weight was enhanced by phenolic acids of 30—50 mg · kg⁻¹ obviously, but no significant diversity. The concentration of 50 mg · kg⁻¹ cinnamic acid had a promoting significant role for the root/shoot ratio and was favorable to growth of root, this function was suppressed with high concentration. However, p-hydroxybenzoic acid of 50 mg · kg⁻¹ had significant inhibition on root fresh weight, root length and root volume. The concentration of 50—150 mg · kg⁻¹ had no obvious stimulation for the superoxide dismutase (SOD). Two kinds of phenolic acids 30—150 mg · kg⁻¹ had similar effect on the peroxidase (POD) activity. When the concentration of phenolic acids was 200 mg · kg⁻¹ and more, enhanced POD activity significantly, membrane permeability and malondialdehyde (MDA) content also increased significantly under the high concentration. Therefore, cucumber seedlings had a certain tolerance to low concentration (30—50 mg · kg⁻¹) phenolic acids, and high concentration (≥200 mg · kg⁻¹) inhibit the growth and development of cucumber seedlings, the adaptability concentration ranges of physiological effects was various.

Keywords: autotoxicity; cinnamic acid; p-hydroxybenzoic acid; antioxidant system; growth of seedling