

黄瓜连作土壤酚酸类物质积累对土壤微生物和酶活性的影响^{*}

马云华¹ 王秀峰¹ 魏珉^{1**} 亓延凤¹ 李天来²

(¹ 山东农业大学园艺科学与工程学院, 泰安 271018; ² 沈阳农业大学园艺学院, 沈阳 110161)

【摘要】 伴随连作年限的增加, 日光温室黄瓜连作土壤中酚酸类物质(对羟基苯甲酸、阿魏酸、苯甲酸)明显积累, 连作 5~9 年的土壤酚酸类物质含量显著高于连作 1~3 年的土壤。伴随外源酚酸类物质处理浓度的增加, 黄瓜根区土壤中细菌、放线菌和微生物总量以及 N 生理群均呈先升后降趋势, 在 80 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 处理浓度下细菌、放线菌数量最多, 处理浓度在 120 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 以下土壤真菌数量(包括尖孢镰刀菌、疫霉)急剧增长; 多酚氧化酶、过氧化氢酶、蔗糖酶、脲酶和蛋白酶活性也同样呈先升后降趋势, 但其峰值对应的浓度不同。

关键词 日光温室 连作土壤 酚酸类物质 微生物 酶活性

文章编号 1001 - 9332(2005) 11 - 2149 - 05 **中图分类号** S642.2 **文献标识码** A

Accumulation of phenolic acids in continuously cropped cucumber soil and their effects on soil microbes and enzyme activities. MA Yunhua¹, WANG Xiufeng¹, WEI Min¹, QI Yanfeng¹, LI Tianlai² (¹ College of Horticulture Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Taian 271018, China; ² College of Horticulture, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2005, 16(11): 2149 ~ 2153.

The study showed that in solar greenhouse continuously cropped cucumber soil, phenolic acids p-hydroxybenzoic acid, ferulic acid and benzoic acid had an obvious accumulation with increasing cropping year, and their contents were significantly higher after continuously cropped for 5~9 years than for 1~3 years. With the increasing concentration of treated exogenous phenolic acids, the amounts of bacteria, actinomycetes, total microbes, ammonibacteria, and nitrifying bacteria in cucumber root area increased first, but decreased then. Soil bacteria and actinomycetes had the largest amount at the concentration of 80 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ soil, while soil fungi (including Fusarium and Phytophthora) increased rapidly when the concentration of phenolic acids was lower than 120 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ soil. With increasing phenolic acids concentration, soil enzyme activities also increased first but decreased then, with the peak values differed in different treatments.

Key words Solar greenhouse, Continuously cropped soil, Phenolic acids, Microflora, Enzyme activity.

1 引言

20 世纪 80 年代以来, 我国设施蔬菜栽培发展迅速。然而, 设施蔬菜生产在集约化、规模化和专业化的同时, 导致一些地区连作障碍日趋严重, 蔬菜土传病害加重, 产量和品质下降, 严重制约了设施蔬菜生产的可持续性^[17,19]。造成设施蔬菜连作障碍的因素很多, 可主要概括为土传病虫害加重、土壤理化性状变劣和植物的自毒作用三个方面, 其中酚酸类物质的化感效应成为近年来国内外学术界关注的一大热点^[16,20,22]。目前, 此类研究多从自毒作用的角度来揭示设施蔬菜连作障碍形成的原因及机制^[7,13,15,18], 而对设施连作土壤酚酸类物质含量变化与土壤微生物区系和酶活性的关系研究甚少。本文针对日光温室黄瓜连作土壤中酚酸类物质的积累

状况以及外源酚酸类物质处理对土壤微生物和酶活性的影响进行了初步探讨, 以期丰富日光温室蔬菜连作障碍形成的理论与机制。

2 材料与方法

2.1 供试材料

不同连作年限的土壤采自山东省寿光市孙集镇的黄瓜日光温室。分别选择种植年限为 1、3、5、7 和 9 年的日光温室各 3 个, 利用内径 2 cm 的土钻, 5 点法取样, 采集耕层 0~20 cm 根区土壤。将 3 个温室的土样混匀, 分别进行风干和 4 密封冷藏。

研究酚酸类物质浓度与微生物区系和酶活性关系所用土

*国家“十五”科学技术攻关项目(2001BA503B04)和山东省优秀中青年科学家科研奖励基金资助项目(2004BS06012)。

**通讯联系人。

2005 - 03 - 14 收稿, 2005 - 07 - 11 接受。

壤取自山东农业大学南校区蔬菜试验站.

2.2 试验处理

2.2.1 酚酸溶液配制 将苯甲酸、阿魏酸、香草醛、对羟基苯甲酸按 1 1 1 1 混合,先用 7%乙醇溶解,然后依次配成浓度分别为 0、200、400、600、800 mg L⁻¹的酚酸物质混合液.土壤处理:风干土去杂过筛后称量 400 g 装于直径为 10 cm 的营养钵中,在黄瓜移植前 3 d 分别取上述浓度的酚酸类物质混合溶液 80 ml,用 80 ml 水稀释,浇透营养钵内的土壤,使土壤中酚酸类物质的初始浓度达到 5 个设计浓度 0、40、80、120 和 160 μg g⁻¹.

2.2.2 黄瓜育苗与定植 2003 年 3 月在温室内穴盘育苗,待幼苗长到 2 叶 1 心时,挑选生长整齐的壮苗栽到已处理过的土壤中,每钵 1 株,每处理 30 株.此后每 5 d 浇 1 次营养液,每 2 d 浇 1 次水,以浇透而不渗出为度.分别在处理后 10(2 叶期)、20(3 叶期)和 30 d(4 叶期)取样测定.

2.3 测定方法

2.3.1 微生物测定 细菌采用牛肉膏蛋白胨培养基;放线菌采用改良高氏 1 号培养基(每 300 ml 培养基中加 3%重铬酸钾 1 ml,以抑制细菌和霉菌生长);真菌采用马丁氏培养基(每 1 000 ml 培养基中加 1%孟加拉红水溶液 3.3 ml、1%链霉素 3 ml);硝化细菌、氨化细菌采用特化培养基.土壤微生物采用系列稀释法计数.

2.3.2 酶活性测定 采用关松荫等^[5]方法测定处理后土壤的酶活性.多酚氧化酶、蔗糖酶、蛋白酶活性采用比色法;过氧化氢酶活性采用容量法;脲酶活性采用靛酚比色法.

2.3.3 土壤酚酸类物质的测定 土壤浸提液的制备:参照张淑香等^[21]的方法.标样制备:苯甲酸、香草醛、香草酸、阿魏酸、香豆素、对羟基苯甲酸、苯丙烯酸(肉桂酸)均为国产分析纯,甲醇为优级纯.分别称取 10 mg 上述标样置入 100 ml 容量瓶中,用甲醇溶解并定容至刻度,得到浓度分别为 100 μg · ml⁻¹酚酸类物质混合标准溶液.仪器与色谱条件:分离柱采用美国 Waters 公司生产的 Nucleosil C₁₈ 柱(4.5 mm ×250 mm),检测波长 = 254 nm,柱温 25 °C,进样量 20 μl,流动相组分为甲醇和水(流动相中高纯水用分析纯的冰醋酸调节 pH=2.60),采用 A 和 B 双泵系统,其体积流量“SI”之和为 1.0 ml · min⁻¹,通过梯度洗脱的方法达到分离和缩短酚酸类物质保留时间的目的.梯度洗脱设置:在 12 min 时,甲醇和水的体积比为 2:3;其他时间(0、0.1、20 和 20.1 min),二者体积比为 3:7.计算公式:含量(μg · g⁻¹) = (样品峰面积/标样峰面积) × (进样体积/风干土重) × 标样浓度.

3 结果与分析

3.1 黄瓜连作土壤中酚酸类物质的积累状况

不同连作年限黄瓜日光温室土壤中酚酸类物质的含量变化见表 1.在连作土壤中,检测出对羟基苯甲酸、阿魏酸、苯甲酸和香草醛,其中以阿魏酸的含量最高,比另外 3 种要高出 1 个数量级,香草醛的含量最低;香草酸、香豆素和苯丙烯酸则没有被检测

出.不同连作年限间比较,除香草醛的含量变化不大外,对羟基苯甲酸、阿魏酸和苯甲酸均随种植年限的增加而明显增加.连作 1 年与连作 3 年的温室土壤中酚酸类物质总量变化不大,但与连作 5、7 和 9 年的温室土壤差异显著,并且连作 5、7 和 9 年的温室土壤中酚酸类物质含量的差异也显著;连作 9 年的温室土壤中 4 种酚酸类物质的含量之和为连作 1 年的温室土壤的 2.21 倍.这说明温室连作很容易导致土壤中酚酸类物质过量积累.

表 1 日光温室黄瓜连作土壤中酚酸类物质的变化
Table 1 Accumulation of phenolic acids in cucumber continuous cropping soil in solar greenhouse

年限 Ages	对羟基苯甲酸 p-hydroxybenzoic acid(μg g ⁻¹)	阿魏酸 Ferulic acid (μg g ⁻¹)	苯甲酸 Benzoic acid (μg g ⁻¹)	香草醛 Vanillin (μg g ⁻¹)	总量 Sum (μg g ⁻¹)
1	1.38 ±0.14 ^d	17.48 ±1.37 ^d	1.27 ±0.11 ^d	1.54 ±0.05 ^a	21.67 ±1.87 ^d
3	1.29 ±0.17 ^d	18.01 ±0.78 ^d	1.35 ±0.15 ^d	1.58 ±0.09 ^a	22.23 ±1.01 ^d
5	3.56 ±0.50 ^c	23.45 ±0.74 ^c	2.11 ±0.17 ^c	1.54 ±0.11 ^a	30.66 ±1.42 ^c
7	7.45 ±1.25 ^b	27.42 ±0.51 ^b	2.96 ±0.15 ^b	1.53 ±0.07 ^a	39.40 ±1.78 ^b
9	9.59 ±0.86 ^a	33.12 ±0.70 ^a	3.68 ±0.51 ^a	1.55 ±0.06 ^a	47.93 ±2.13 ^a

不同字母代表差异达 5%显著水平 Different letters mean significant at 5% level, Duncan's new multiple range tests.下同 The same below.

3.2 酚酸类物质对土壤微生物和酶活性的影响

3.2.1 酚酸类物质对土壤微生物的影响 由图 1 可以看出,伴随酚酸类物质处理浓度的增加,土壤中细菌和放线菌的数量变化趋势基本一致:随着处理浓度的增加,细菌、放线菌数量升高,80 μg · g⁻¹处理浓度下数量最多,与其他处理间差异显著;处理浓度进一步增加,细菌、放线菌数量急剧下降,在 160 μg · g⁻¹处理浓度下数量最少.这说明低浓度酚酸类物质刺激了细菌、放线菌的繁殖和生长,而高浓度酚酸类物质则对其具有抑制作用.

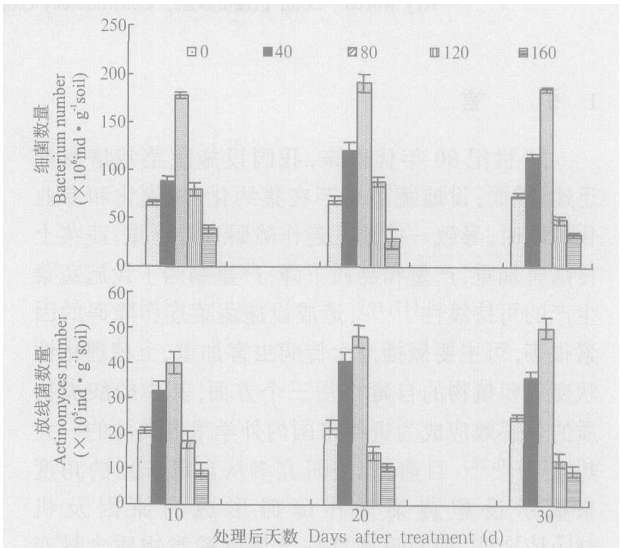


图 1 酚酸物质对黄瓜根区土壤细菌和放线菌数量的影响
Fig. 1 Effects of phenolic acids on bacterium and actinomycetes number in cucumber root soil.

与土壤细菌和放线菌相比,真菌表现出更强的适应性(图 2). 随着酚酸类物质处理浓度的增加,真菌数量不断增多,120 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 时达到最高值,然后下降. 随着黄瓜幼苗生育期和处理后时间的推移,各处理浓度下的真菌数量均呈上升趋势,但在高处理浓度下增幅更明显,处理间差距拉大. 处理后 10 d,120 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 处理的土壤真菌数为对照的 2.57 倍,处理后 30 d 则达到 4.8 倍,彼此间差异极显著. 上述结果与张淑香等^[21]研究结果相似,其原因可能在于土壤中酚酸类物质能够刺激真菌的繁殖与生长或者是为真菌的生长提供了有效的 C 源.

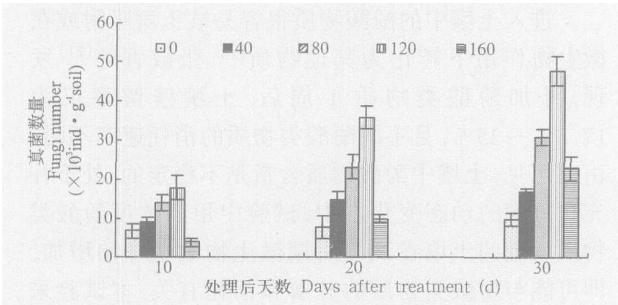


图 2 酚酸物质对黄瓜根区土壤真菌数量影响
Fig. 2 Effects of phenolic acids on fungi number in cucumber root soil.

表 2 酚酸类物质对黄瓜根区土壤微生物生理群的影响
Table 2 Effect of phenolic acids on physiological groups of microflora in cucumber root soil

生理群 Physiological groups	处理天数 Days after treatment	处理浓度 Treatment concentration ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)				
		0	40	80	120	160
氨化细菌 Ammoniation bacterium ($\times 10^6 \text{ ind g}^{-1} \text{ dry soil}$)	0	1.2 \pm 0.1 ^a	1.2 \pm 0.1 ^a	1.2 \pm 0.1 ^a	1.2 \pm 0.1 ^a	1.2 \pm 0.1 ^a
	10	1.4 \pm 0.2 ^c	4.3 \pm 0.1 ^b	5.5 \pm 0.2 ^a	0.9 \pm 0.2 ^d	0.7 \pm 0.1 ^d
	20	1.9 \pm 0.4 ^c	14.5 \pm 0.3 ^b	15.4 \pm 0.4 ^a	0.6 \pm 0.1 ^d	0.4 \pm 0.1 ^e
	30	2.0 \pm 0.2 ^c	16.7 \pm 0.7 ^b	20.4 \pm 0.6 ^a	0.8 \pm 0.2 ^d	0.5 \pm 0.1 ^d
硝化细菌 Nitrify bacteria ($\times 10^3 \text{ ind g}^{-1} \text{ dry soil}$)	0	1.8 \pm 0.1 ^a	1.8 \pm 0.1 ^a	1.8 \pm 0.1 ^a	1.8 \pm 0.1 ^a	1.8 \pm 0.1 ^a
	10	1.7 \pm 0.1 ^c	6.4 \pm 0.2 ^b	7.1 \pm 0.1 ^a	1.4 \pm 0.2 ^d	1.1 \pm 0.1 ^e
	20	1.7 \pm 0.0 ^d	10.5 \pm 0.3 ^b	15.1 \pm 0.4 ^a	2.4 \pm 0.2 ^c	0.6 \pm 0.1 ^e
	30	1.9 \pm 0.4 ^d	11.4 \pm 0.4 ^b	15.7 \pm 0.5 ^a	3.3 \pm 0.2 ^c	0.7 \pm 0.1 ^e
尖孢镰刀菌 F. oxysporum Schlecht ($\times 10^3 \text{ ind g}^{-1} \text{ dry soil}$)	0	1.0 \pm 0.1 ^a	1.0 \pm 0.1 ^a	1.0 \pm 0.1 ^a	1.0 \pm 0.1 ^a	1.0 \pm 0.1 ^a
	10	1.2 \pm 0.2 ^c	3.2 \pm 0.3 ^d	9.1 \pm 0.3 ^c	15.0 \pm 0.4 ^b	16.4 \pm 0.4 ^a
	20	2.1 \pm 0.2 ^d	5.9 \pm 0.4 ^c	16.4 \pm 0.5 ^b	27.1 \pm 3.0 ^a	27.6 \pm 2.0 ^a
	30	1.9 \pm 0.3 ^c	11.1 \pm 1.9 ^d	21.3 \pm 2.0 ^c	33.7 \pm 2.1 ^b	38.1 \pm 2.2 ^a
甜瓜疫霉菌 Phytophthora melonis ($\times 10^2 \text{ ind g}^{-1} \text{ dry soil}$)	0	4.7 \pm 0.7 ^a	4.7 \pm 0.7 ^a	4.7 \pm 0.7 ^a	4.7 \pm 0.7 ^a	4.7 \pm 0.7 ^a
	10	6.6 \pm 0.9 ^d	12.0 \pm 1.0 ^c	15.7 \pm 1.5 ^b	18.3 \pm 1.0 ^a	18.9 \pm 2.5 ^a
	20	6.1 \pm 0.7 ^d	11.4 \pm 1.0 ^c	17.2 \pm 1.9 ^b	20.9 \pm 2.0 ^{ab}	22.8 \pm 3.1 ^a
	30	6.1 \pm 0.9 ^d	15.3 \pm 2.0 ^c	22.8 \pm 2.8 ^b	30.2 \pm 3.1 ^a	32.1 \pm 2.0 ^a

3.2.2 酚酸类物质对微生物生理群的影响 氨化细菌可矿化土壤中的有机氮为 $\text{NH}_4^+\text{-N}$,供植物和微生物吸收利用. 由表 2 可以看出,随着酚酸类物质处理浓度的增加,土壤氨化细菌数量先升后降,在 80 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 处理浓度下数量最多,约为对照的 4~10 倍;160 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 处理浓度下最少,只有对照的 1/2~1/5,彼此差异显著. 从处理后随时间的变化可以看出,0 μg

$\cdot \text{g}^{-1}$ 处理浓度下土壤氨化细菌数量增加缓慢;40 和 80 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 处理浓度下在 20 d 内数量增加迅速,20 d 后增长变慢;120 和 160 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 处理浓度下在 20 d 内氨化细菌的数量逐渐降低,20 d 后略有回升.

硝化细菌在土壤 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 向 $\text{NO}_3^+\text{-N}$ 转化过程中起着重要作用,其数量多少反映了土壤 $\text{NO}_3^+\text{-N}$ 的供给状况. 结果表明,随着处理浓度的升高,硝化细菌数量急剧增长,在 80 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 处理浓度下约为对照的 4~9 倍;在高处理浓度下硝化细菌的生长受到明显抑制,160 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 处理浓度下的细菌数低于对照,不同浓度间差异显著. 随着处理时间的推移,40~80 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 处理的土壤硝化细菌数量逐渐增加,而 120~160 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 处理的土壤则呈先降后升趋势,其中处理浓度为 120 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 的回升较早.

随着酚酸类物质处理浓度的升高,土壤尖孢镰刀菌和甜瓜疫霉菌数量呈持续上升趋势,但在 160 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 处理浓度下升高幅度大大减小. 伴随黄瓜幼苗的生长和处理后时间的延长,除 0 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 处理浓度外,其它处理浓度的尖孢镰刀菌和甜瓜疫霉菌数量逐渐增加.

3.2.3 酚酸类物质处理土壤酶活性的变化 多酚氧化酶在土壤有机质形成中起重要作用,它参与土壤有机组分中芳香族化合物的转化,对增加土壤有机质含量,提高土壤肥力具有重要意义. 结果表明,低浓度酚酸类物质处理使多酚氧化酶的活性上升,但高浓度酚酸类物质处理显著降低酶活性(表 3).

过氧化氢酶参与生物的呼吸代谢,同时可以分解在呼吸过程中产生的过氧化氢. 伴随初始处理浓度的增加,过氧化氢酶活性先升高后降低,最大值出现在 80 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$,活性比对照增加 95.4%,差异显著;最小值出现在 160 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$,活性比对照降低 45.8%.

蔗糖酶是土壤中参与 C 循环的一种重要酶,可促进蔗糖水解生成葡萄糖和果糖,对增加土壤的可溶性营养具有重要作用. 结果表明,随酚酸类物质处理浓度的升高,蔗糖酶活性同样呈现先升高后降低的趋势,在 80 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 处理浓度下最高,160 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 处理浓度下最低,均与对照呈显著差异.

土壤脲酶和蛋白酶参与土壤 N 素转化,为作物生长提供 N 源. 随酚酸类物质处理浓度的增加,脲酶、蛋白酶活性先升高、后下降,在 80 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 处理浓度下脲酶活性最高,在 40 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 处理浓度下蛋白酶活性最强. 这从另一个侧面说明,酚酸类物质在土壤中过量积累会导致土壤供 N 能力减弱.

表 3 酚酸类物质处理对黄瓜根区土壤酶活性的影响

Table 3 Effects of phenolic acids on activities of enzymes in cucumber root soil

处理浓度 Treated concentration ($\mu\text{g g}^{-1}$)	多酚氧化酶 Polyphenol oxidase (pyrogallol acid mg g^{-1})	过氧化氢酶 Catalase (0.1 mol L^{-1} $\text{KMnO}_4 \text{ ml g}^{-1}$)	蔗糖酶 Saccharase (glucose mg g^{-1})	脲酶 Urease ($\text{NH}_3\text{-N}$ mg g^{-1})	蛋白酶 Protease ($\text{NH}_2\text{-N}$ mg g^{-1})
0	0.82 \pm 0.03 ^a	10.81 \pm 0.62 ^c	11.40 \pm 1.13 ^c	0.12 \pm 0.01 ^c	1.21 \pm 0.06 ^{bc}
40	0.86 \pm 0.05 ^a	15.51 \pm 0.99 ^b	14.10 \pm 0.61 ^b	0.53 \pm 0.02 ^b	1.48 \pm 0.08 ^a
80	0.75 \pm 0.03 ^b	21.10 \pm 1.07 ^a	18.90 \pm 0.79 ^a	1.27 \pm 0.14 ^a	1.26 \pm 0.10 ^b
120	0.69 \pm 0.07 ^b	9.87 \pm 0.83 ^c	9.68 \pm 1.24 ^c	1.12 \pm 0.09 ^a	1.14 \pm 0.05 ^c
160	0.23 \pm 0.01 ^c	5.85 \pm 0.16 ^d	6.23 \pm 0.32 ^d	0.54 \pm 0.03 ^b	0.77 \pm 0.05 ^d

4 讨 论

土壤中的酚酸类物质主要来源于植物体(包括地上部淋溶、根系分泌等)、土壤生物、外源有机物料及植物残体的分解等途径,具有很强的生物活性,已成为公认的化感物质^[9,10,16,20,],对作物生育和代谢具有明显的抑制效应^[2,7,13,15,18]。研究表明,除香草醛之外,日光温室黄瓜根区土壤中对羟基苯甲酸、阿魏酸、苯甲酸均随种植年限的增加呈明显的积累,连作 9 年的温室土壤中酚酸类物质含量高达 47.93 $\mu\text{g g}^{-1}$,是种植 1 年的 2 倍以上。黑麦和大豆连作土壤中间酚酸物质含量同样显著增加^[12,21]。

酚酸类物质与土壤微生物数量和活性关系密切^[1]。本试验中,采用适宜浓度的酚酸类物质处理黄瓜根区土壤,能有效地促进微生物的生长和繁殖,使其数量增加,特别是与土壤养分转化密切相关的 N 素生理群数量增加明显,但高浓度酚酸类物质对土壤微生物有抑制作用。在试验设定的酚酸类物质处理浓度范围内,土壤尖孢镰刀菌和甜瓜疫霉的数量一直呈上升趋势。鞠会艳等^[6]研究了连作大豆根分泌物对根腐病病原菌的化感作用。结果表明,与对照相比,连作和轮作大豆根分泌物对半裸镰孢菌、粉红粘帚菌和尖孢镰孢菌的生长有明显促进作用;高浓度的邻苯二甲酸和丙二酸对半裸镰孢菌、粉红粘帚菌和尖孢镰孢菌的生长有抑制作用,而低浓度则表现促进作用。高浓度酚酸类物质对微生物产生抑制的机制比较复杂。鞠会艳等^[6]认为,高浓度的有机酸导致土壤 pH 值过低,从而不适合大豆根腐病病原真菌的生长。Murray^[11]研究认为,酚酸物质有抑制微生物产生气体与挥发性脂肪酸的作用,并且减少微生物对生长介质的消耗。吴萼等^[14]试验发现,酚酸类化合物分子中的酚羟基对土壤中 N 硝化有关的微生物及酶具有毒性作用,是抑制土壤中 N 硝化作用的主要影响基团,而羧基或羧乙烯基对酚羟基抑制硝化作用的影响有一定的抵消作用。这意味着

不同酚酸类物质对土壤微生物的影响可能不一样。

土壤酶主要来自微生物和植物根系分泌等途径,此外还有土壤动物和动植物残体的释放^[5]。酚酸类物质影响土壤酶活性的可能原因:1) 酚酸类物质进入土壤后,引起微生物区系及其活力的改变;2) 植物根系生长和分泌受土壤酚酸类物质的影响,酚酸类物质可以改变膜的透性^[7],土壤微生物也可以影响根系的分泌功能^[4,23];3) 土壤酶活性与土壤 pH 关系密切^[3],酚酸类物质不仅改变了根际土壤的 pH,而且直接影响土壤酶的活性,其作用效果因酚酸类物质的种类而异,并受 pH 制约^[8]。

进入土壤中的酚酸物质很容易被土壤吸附或在微生物作用下转化为其他物质^[1]。张淑香等^[21]发现,外加酚酸类物质 1 周后,土壤残留率仅为 17.5%~25%,且不同酚酸类物质的消耗速率不同。由此可见,土壤中酚酸物质含量是不稳定的,处于补充和分解的动态变化之中。试验中用高浓度酚酸类物质处理的土壤在试验后期微生物数量开始增加,即可能与酚酸类物质的分解和消耗有关。本试验采用 4 种酚酸类物质按 1:1:1:1 混合后处理土壤,与温室黄瓜连作土壤的实际状况存在差异,而且受试验条件的限制,未能跟踪测定处理土壤中酚酸类物质含量的变化,因此不同酚酸类物质对温室黄瓜根区土壤微生物和酶活性的作用方向及阈值范围,尚待进一步探讨。

参考文献

- Blum U, Shafer SR. 1988. Microbial population and phenolic acids in soils. *Soil Biol Biochem*, 20(6): 793~800
- Du Y-J (杜英君), Jin Y-H (靳月华). 1999. Simulations of allelopathy in continuous cropping of soybean. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 10(2): 209~212 (in Chinese)
- Fu H-L (付慧兰), Zou Y-J (邹永久), Yang Z-M (杨振明). 1997. Soil pH of continuous cropping soybean and soil enzyme activity. *Soybean Sci* (大豆科学), 16(2): 156~161 (in Chinese)
- Gao Z-Q (高子勤), Zhang S-X (张淑香). 1998. Continuous cropping obstacle and rhizospheric microecology I. Root exudates and their ecological effects. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 9(5): 549~554 (in Chinese)
- Guan S-Y (关松荫). 1986. Soil Enzymes and the Research Methods. Beijing: Agricultural Press. (in Chinese)
- Ju H-Y (鞠会艳), Han L-M (韩丽梅), Wang S-Q (王树起). 2002. Allelopathic effect of root exudates on pathogenic fungi of root rot in continuous cropping soybean. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 13(6): 723~727 (in Chinese)
- Lü W-G (吕卫光), Zhang C-L (张春兰), Yuan F (袁飞). 2002. Mechanism of allelochemicals inhibiting continuous cropping cucumber growth. *Sci Agric Sina* (中国农业科学), 35(1): 106~109 (in Chinese)
- Ma R-X (马瑞霞). 1999. Study on influence of allelochemicals on activity of nitrate reductases. *Environ Sci* (环境科学), 20(1): 80~83
- Ma R-X (马瑞霞), Liu X-F (刘秀芬), Yuan G-L (袁光林). 1996. Study on allelochemicals in the process of decomposition of wheat

- straw by microorganisms and their bioactivity. *Acta Ecol Sin*(生态学报), **16**(6): 632 ~ 639(in Chinese)
- 10 Ma R-X(马瑞霞), Liu X-F(刘秀芬), Yuan G-L(袁光林). 1997. Study on the allelochemicals produced by bacteria and fungi in rhizosphere and their bioactivity. *Acta Ecol Sin*(生态学报), **17**(4): 449 ~ 451(in Chinese)
- 11 Murary AH. 1996. Effect of simple phenolic compounds of heather (*Calluna vulgaris*) on rumen microbial activity *in vitro*. *J Chem Ecol*, (22): 1493 ~ 1505
- 12 Szajdak L. 1994. Phenolic acids in brown soils under continuous cropping of rye and crop rotation. *Polish J Soil Sci*, **27**(2): 113 ~ 121
- 13 Wang Q(王 倩), Li X-L(李晓林). 2003. Effects of benzoic and cinnamon acids on watermelon seedling growth and fusarium wilt occurrence. *J Chin Agric Univ*(中国农业大学学报), **8**(1): 83 ~ 86(in Chinese)
- 14 Wu E(吴 萼), Liu X-Y(刘晓艳), Zhu X-R(祝心如). 1999. The effects of groups in phenolic compounds on inhibition of nitrification in soil. *Environ Chem*(环境化学), **18**(5): 398 ~ 403(in Chinese)
- 15 Wu F-Z(吴凤芝), Huang C-H(黄彩红), Zhao F-Y(赵凤艳). 2002. Effects of phenolic acids on growth and activities of membrane protective enzymes of cucumber seedlings. *Sci Agric Sin*(中国农业科学), **35**(7): 821 ~ 825(in Chinese)
- 16 Wu F-Z(吴凤芝), Zhao F-Y(赵凤艳). 2003. Study on root exudates and continues cropping obstacle. *J Northeast Agric Univ*(东北农业大学学报), **34**(1): 114 ~ 118(in Chinese)
- 17 Wu F-Z(吴凤芝), Zhao F-Y(赵凤艳), Liu Y-Y(刘元英). 2000. On the reasons of continuous cropping obstacles in vegetable facility gardening. *J Northeast Agric Univ*(东北农业大学学报), **31**(3): 241 ~ 247(in Chinese)
- 18 Yu J-Q. 1997. Effects of root exudates of cucumber and allelochemicals on ion uptake by cucumber seedlings. *J Chem Ecol*, **23**(3): 817 ~ 827
- 19 Yu J-Q(喻景权), Du Y-S(杜尧舜). 2000. Soil sickness problem in the sustainable development for the protected production of vegetables. *J Shenyang Agric Univ*(沈阳农业大学学报), **31**(1): 124 ~ 126(in Chinese)
- 20 Yu J-Q, Matsui Y. 1994. Phytotoxic substances in root exudates of cucumber. *J Chem Ecol*, **20**(1): 21 ~ 31
- 21 Zhang S-X(张淑香), Gao Z-Q(高子勤), Liu H-L(刘海玲). 2000. Continuous cropping obstacle and rhizospheric microecology. Soil phenolic acids and their biological effect. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报), **11**(5): 741 ~ 744(in Chinese)
- 22 Zhou Z-H(周志红), Luo S-M(骆世明), Mu Z-P(牟子平). 1997. Allelopathic effect of tomato. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报), **8**(4): 445 ~ 449(in Chinese)
- 23 Zhu L-X(朱丽霞), Zhang J-E(章家恩), Liu W-G(刘文高). 2003. Review of studies on interactions between root exudates and rhizospheric microorganisms. *Ecol Environ*(生态环境), **12**(1): 102 ~ 105(in Chinese)

作者简介 马云华,男,1976年7月生,硕士.主要从事设施蔬菜与无土栽培研究. E-mail: myh@sdili.edu.cn

致 读 者 · 作 者

《应用生态学报》系中国科学院沈阳应用生态研究所和中国生态学会主办的国内外公开发行的学术性期刊,科学出版社出版.国际标准刊号为 ISSN1001-9332. 专门刊载有关应用生态学(主要包括森林生态学、农业生态学、草地牧业生态学、渔业生态学、自然资源生态学、景观生态学、全球生态学、城市生态学、污染生态学、化学生态学、生态工程学和恢复生态学等)的具有创新性的综合性论文、研究报告和研究简报等.

本刊创刊于 1990 年,现为月刊,采用国际标准开本(210 mm × 285 mm),192 面,每期 43 万字.本刊系中国自然科学核心期刊,曾荣获全国优秀科技期刊和中国科学院优秀期刊称号.本刊整体质量和水平已达到相当高度,在国内外应用生态学界的影响日益扩大.《中国科学引文索引》、《中国生物学文摘》、美国《生物学文摘》(BA)、美国《化学文摘》(CA)、英国《生态学文摘》(EA)、日本《科学技术文献速报》(CBST)和俄罗斯《文摘杂志》()等数十种权威检索刊物均收录本刊的论文摘要(中英文).

据悉,您们正在从事有关生态与环境科学研究项目(如国家基础科学人才培养基金项目、国家杰出青年科学基金项目、国家自然科学基金重大和重点项目、国家攀登计划项目、国家“863”和“973”计划项目、国家重点科技攻关项目、“百人计划”项目、“长江学者计划”项目和国际合作研究项目等),并有望取得重大研究成果和产生一系列创新论文,本刊编辑同仁热切希望您及您的同行们充分利用这一科学园地,竭诚为您们提供优质跟踪服务,本刊将及时发表您们的创新成果论文(或以特刊、专刊及增刊等形式发表,或以专刊形式发表优秀英文创新论文).我们相信这一承诺一定能得到您们的积极响应,愿我们迎着新世纪的曙光,为应用生态学的发展协同奋进!

我们的目的:

读者——广泛订阅这一优秀期刊

作者——充分利用这一科学园地

编者——精心编制这一信息精品

《应用生态学报》编辑部