

生物炭对添加自毒物质土壤酶活性、微生物区系结构的影响

李亮亮,吴正超,陈 彬,刘文娥,臧 健

(沈阳农业大学,辽宁 沈阳 110866)

摘要:为了给防治番茄连作障碍提供科学依据,通过室内培养法,研究了石灰氮、炭化玉米芯和稻壳的加入对含有自毒物质土壤的土壤酶活性和微生物数量的影响。结果表明:番茄叶片腐解过程中含有邻苯二甲酸、鞣酸、香草酸等酚酸化合物,番茄叶片在腐解过程中自毒物质含量呈现由低到高,再逐渐降低的规律,25 d 自毒物质含量达到高峰。试验发现,自毒物质对多酚氧化酶活性有一定的促进作用,对脲酶、酸性磷酸酶以及蛋白酶活性均有不同程度的抑制作用,同时自毒物质能够抑制细菌的数量增加,提高真菌的数量。添加石灰氮不能缓解自毒物质对4种土壤酶的影响,但石灰氮可以降低土壤中细菌和真菌的数量,并能提高土壤 B/F 值。添加 2.5% 炭化玉米芯和稻壳后缓解了番茄叶片腐解物对土壤酶活性、土壤中细菌、真菌的数量及 B/F 值的影响,大大降低了自毒物质的毒害作用。相比而言,炭化玉米芯的缓解效果更为明显。

关键词:生物炭;腐解物;自毒物质;土壤酶活性;土壤微生物

中图分类号:S154 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-7091(2015)04-0219-07

doi:10.7668/hbxb.2015.04.037

The Effect of Biochar on Soil Enzyme Activity and Microbial Community Structure in the Soil under Autotoxicity Stress

LI Liang-liang, WU Zheng-chao, CHEN Bin, LIU Wen-e, ZANG Jian

(Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China)

Abstract: The experiment was to provide basis for prevention of suppressive cropping problems of tomato. Taking indoor cultivation, used lime nitrogen, carbonized maize cob and rice husk to study their effects on the quantity of microorganisms and enzyme activities in the soil amended with autotoxicity. The results obtained were listed as follows. Decomposition of tomato leaf contained some kinds of phenolic acids such as phthalic acid, tannic acid and vanillic acid. Compared with the control group, autotoxic chemicals increased the polyphenol oxidase activity and decreased the activity of urase, acid phosphatase and proteinase. Bacterial numbers decreased while fungi increased. Adding lime nitrogen could not relieve the effect of autotoxic chemicals on enzyme activities in the soil. It decreased the quantity of bacterial and fungi. But B/F was increased. When 2.5% carbonized maize cob and rice husk was added into the soil treated with decomposition of tomato leaf, they had promoting effect on enzyme activities and bacterial numbers. The quantity of soil fungi and the ratios of B/F were decreased. They relieved the toxic effect of autotoxic chemicals. Compared with rice husk, the carbonized maize cob had a more obvious effect.

Key words: Biochar; Decomposition; Autotoxic chemicals; Soil enzyme activities; Soil micro-organism

农业生产中蔬菜作物产生连作障碍的一个重要原因就是化感作用^[1-2],而自毒物质是产生化感作用的重要因素之一,自毒物质包括作物自身的根系

分泌物和淋洗物、植株残体和残茬在腐解过程中释放出的物质^[3]。番茄生产过程中必然会产生大量的残体和残茬,这些物质在分解的过程中能够产生

收稿日期:2015-05-11

基金项目:辽宁省自然科学基金计划项目(201202192);辽宁省农业攻关计划项目(2011215003)

作者简介:李亮亮(1971-),男,北京人,副教授,博士,主要从事设施园艺及农业生态环境研究。

通讯作者:臧 健(1979-),男,辽宁葫芦岛人,讲师,硕士,主要从事农业资源与土壤生态环境研究。

如酚酸类等化感物质^[4]。植株残体和残茬腐解产生的自毒物质会大量积累,可能对酶活性、土壤微生物数量和土壤理化指标等造成不利影响^[5-10],从而影响作物的生长^[11]。目前,防治自毒物质毒害作用的方法很多,如喷施杀菌药物、施用微生物制剂、客土法、土壤调节剂改良等,其中施用生物炭已经被认为是简便、有效的方法之一^[12-14]。美国、日本等发达国家在蔬菜种植等农业生产中对活性炭、活性木炭等已经有了广泛应用,并取得了较好的结果^[15-17]。生物炭具有较强的吸附能力和微孔结构^[18],可促进土壤阳离子交换,对周边水分和矿质营养具有富聚作用,亦可修复土壤中的碳素平衡,对土壤环境的较大变化具有缓冲效果,同时可以改善土壤微生物活性,有利于根际微生物的生长,从而促进植物的生长^[19-20]。此外,生物炭还具有对环境无二次污染、减少 CO₂ 排放、容易制备等特点^[21-22],因此,利用生物炭来消除番茄、香瓜、西瓜等作物的自毒作用已经受到广泛关注^[23-24]。本研究是在含有番茄叶片腐解液的土壤中添加不同类型的生物炭后(包括炭化玉米芯和稻壳),通过对土壤中的微生物数量以及土壤酶的活性变化规律进行研究,进一步揭示生物炭缓解自毒物质毒害作用的机制。本研究对生物炭缓解化感物质毒害作用的评价具有较大的实际应用价值,能为合理调控蔬菜生产中出现的连作障碍提供一定的科学依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

番茄植株腐解物提取方法:番茄采收前 1 周,采集番茄叶片,风干并切成 1~5 cm 的碎段,然后用粉碎机粉碎并过 0.8 mm 筛备用。粉碎后的番茄叶片加入 2 倍重量的土壤浸提液(水:田园土=5:1),密封,置于均温 25℃ 温室内腐解 25 d,腐解过程中每隔 5 d 搅拌均匀。得到的植株残体腐解物以 1:2 的比例用水振荡提取、过滤,滤液灭菌、密封冷藏备用。

试验用土采集时间为 2013 年 9 月,地点为沈阳农业大学蔬菜基地。土壤为棕壤,采集深度为 10~30 cm。有机质含量为 21.7 g/kg,pH 值 6.7,全氮、全磷及全钾含量分别为 0.68,4.65,0.34 g/kg。将所采土壤去除石砾、动植物残体,混合均匀,过 2 mm 筛,取部分样品,按照我国部颁标准中的测定方法对土壤进行测定。生物炭采用粉末状炭化玉米芯(来自沈阳农业大学稻作所,先过 0.8 mm 筛,再经过酸洗、碱洗、水洗和净化后烘干,灭菌、密封备用。)以及稻壳,供试的其他药品为分析纯。

1.2 试验设计

1.2.1 番茄植株腐解试验 方法同番茄植株腐解物处理方法,于腐解 5,10,15,20,25,30,35,40,50 d 取样,分析测定酚酸化合物的含量。

1.2.2 生物炭的影响试验 试验设计为 5 个处理:CK:风干土样+20% 水;A:风干土壤+20% 的腐解物提取液;B:风干土壤+20% 的腐解物提取液+0.1% 石灰氮;C:风干土壤+20% 的腐解物提取液+2.5% 的炭化玉米芯;D:风干土壤+20% 的腐解物提取液+2.5% 的稻壳。混匀装袋,密封,每个处理 4 次重复。在室温下放置,在第 2,10,20,40 天采集土样,用于土壤酶和土壤微生物指标的测定。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 土壤酶测定方法 酸性磷酸酶、脲酶、蛋白酶、多酚氧化酶活性采用比色法测定。各土壤酶活性的测定参照关松荫^[25]的酶测定方法。

1.3.2 土壤微生物分析^[26] 土壤微生物的测定中真菌采用马丁氏培养基,细菌以牛肉膏蛋白胨为培养基,采用平板涂抹法测定。

1.3.3 酚酸化合物的提取测定 在腐解叶片样品中加入 50 mL 碱性甲醇(0.1 mol/L NaOH:甲醇=3:7),振荡 1 h,以 4 000 r/min 离心 20 min,将上清液用稀盐酸调节 pH 值至 2.0,加入 30 mL 乙醚,萃取 3 次,在乙醚中加入无水硫酸钠,脱水,在 45℃ 水浴上蒸干,再用 5 mL 甲醇溶解,经 0.22 μm 滤膜过滤,供 HPLC 测定用。

所用仪器为安捷伦 1100 型液相色谱仪,配 DAD 检测器。

测定条件:迪马公司铂金系列 C18 柱(250 mm×4.6 mm,5 μm),柱温 30℃,流动相为含 1.25% 乙酸的乙腈溶液,流速 0.8 mL/min,进样量 10 μL,检测波长为 230,280 nm。

1.4 数据处理

试验数据全部用 Excel 和 SPSS 12.0 数据处理系统处理,显著分析采用 Duncan's 多重差异法完成。

2 结果与分析

2.1 番茄植株中自毒物质成分分析

表 1 表明,番茄植株中酚酸化合物含量(以干质量计)因器官不同而异。所测得的 7 种酚酸化合物以叶片中含量最高,可达根、茎含量的 1.5~2.0 倍。叶片的酚酸含量要高于根、茎的原因可能是由于根、茎内纤维素、木质素含量较高所致。另外,由表 1 可知,在番茄植株的不同器官中,以邻苯二甲酸

含量最高,在根、茎、叶分别为 26.31,30.50,35.49 $\mu\text{g/g}$,其次为鞣酸、香草酸、苯甲酸、水杨酸,而阿魏酸的含量最低。

表 1 番茄植株中酚酸类物质含量

Tab.1 The content of phenolic acid in the tomato								$\mu\text{g/g}$
器官 Organ	鞣酸 Tannic acid	香草酸 Vanillic acid	苯甲酸 Benzoic acid	邻苯二甲酸 Phthalic acid	水杨酸 Salicylic acid	阿魏酸 Ferulic acid	肉桂酸 Cinnamic acid	
根 Root	8.26 \pm 0.54	8.21 \pm 0.68	6.35 \pm 0.34	26.31 \pm 2.21	2.78 \pm 0.25	1.62 \pm 0.23	4.23 \pm 0.15	
茎 Stem	9.38 \pm 0.32	9.51 \pm 0.55	7.48 \pm 0.29	30.50 \pm 3.24	2.60 \pm 0.33	1.97 \pm 0.42	5.21 \pm 0.09	
叶 Leaf	12.29 \pm 0.44	15.23 \pm 0.73	14.53 \pm 0.26	35.49 \pm 4.23	3.84 \pm 0.15	2.24 \pm 0.53	8.39 \pm 0.13	

2.2 番茄叶片腐解过程中自毒物质含量动态变化规律

植株经微生物作用而发生的腐解过程中,酚酸化合物在多酚氧化酶的作用下,被氧化成醌,纤维素、木质素等化合物被逐步分解,产生各种有机酸,包括酚酸类的化合物,而新生成的酚酸物质在适当的氧化还原条件下也有可能被进一步分解。因此,不同时刻酚酸化合物含量存在一定的差异。本试验根据番茄叶片中酚酸物质的含量(以干质量计)较高的特点,通过测定叶片腐解物中 4 种含量较高的酚酸物质(邻苯二甲酸、鞣酸、香草酸、苯甲酸)来探求番茄植株腐解过程中自毒物质含量的动态变化。

由图 1 可知,番茄叶片在腐解过程中,除鞣酸外,其余 3 种酚酸物质在腐解 5~10 d 时均有小幅下降,随着腐解时间的延长,4 种酚酸物质含量均有逐渐增加的趋势,并在腐解 20~30 d 时酚酸含量达到高点,25 d 是 4 种酚酸物质含量总和的最高点。在腐解 30 d 后酚酸含量开始下降,40 d 后趋于稳定。

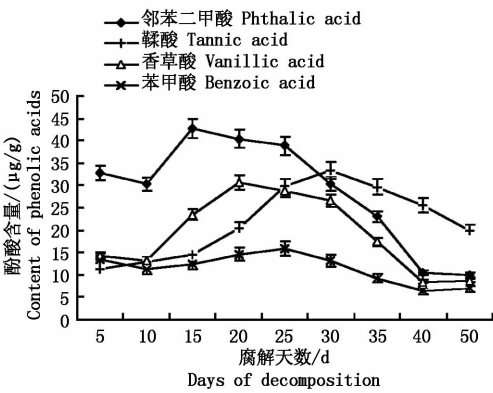


图 1 番茄叶腐解过程中酚酸物质含量的变化
Fig.1 Variation of phenolic acid content during decomposition of tomato leaf

番茄叶片腐解过程中苯甲酸的增加量(以干质量计)不大,最高峰时只增加了 3.6 $\mu\text{g/g}$,但在腐解 25 d 后苯甲酸含量下降。鞣酸、香草酸有相似的变化规律,但其含量均有较大的增加,达到最高峰时的含量是腐解 5 d 的 3 倍左右,香草酸在腐解 20 d 时达到最高峰,而鞣酸达到高峰的时间在 30 d,并且在随后的时间内鞣酸的含量保持了较高的水平。邻苯

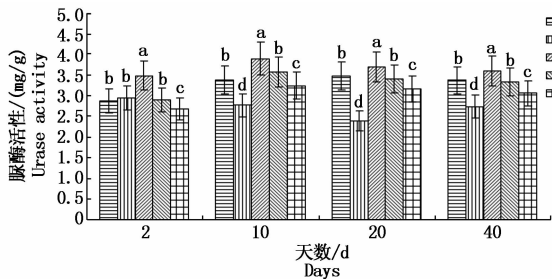
二甲酸在番茄叶片腐解 15 d 时含量就达到了峰值,是腐解 5 d 时含量的 1.4 倍,在 25 d 后其含量开始下降,是 4 种酚酸物质中分解最快的。

2.3 不同土壤处理对含有自毒物质土壤酶的影响

根据番茄叶片腐解试验结果,采用腐解 25 d 的腐解提取液作为番茄自毒物质加入到供试土壤中,考察不同土壤处理对含有自毒物质土壤酶的影响。

由图 2~5 可知,对照处理的土壤中,脲酶酶活性 2~10 d 是逐渐升高的,10 d 后处于平稳状态。酸性磷酸酶的活性随着培养时间有一定地波动,但其总体上是比较平稳的。多酚氧化酶的活性随培养时间的变化不明显,而蛋白酶活性则随着培养时间的延长而下降,但下降的幅度相对较小。

由图 2 可见,与对照相比较,只用番茄叶片腐解液处理的土壤(A)第 2 天土壤脲酶活性稍高于对照,在此之后则出现了脲酶活性的明显抑制现象,在第 20 天时抑制率最高,土壤脲酶的活性为对照的



不同字母代表不同处理间有显著差异 ($P < 0.05$)。图 3~5 同。
Different letters of different treatment have significant difference. The same as Fig. 3-5.

图 2 不同处理下土壤脲酶的活性

Fig.2 The activity of soil urase at different treatments

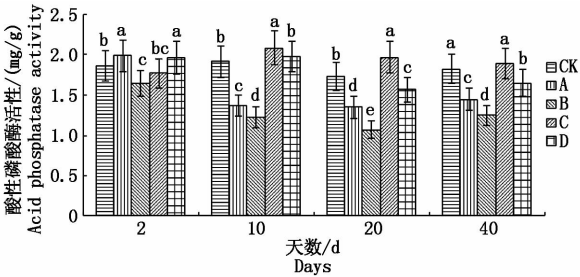


图 3 不同处理下土壤酸性磷酸酶的活性
Fig.3 The activity of soil acid phosphatase at different treatments

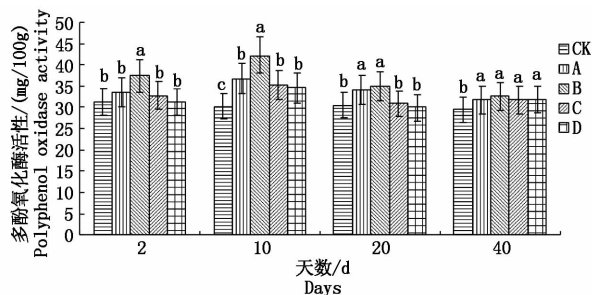


图 4 不同处理下土壤多酚氧化酶的活性

Fig. 4 The activity of soil polyphenol oxidase at different treatments

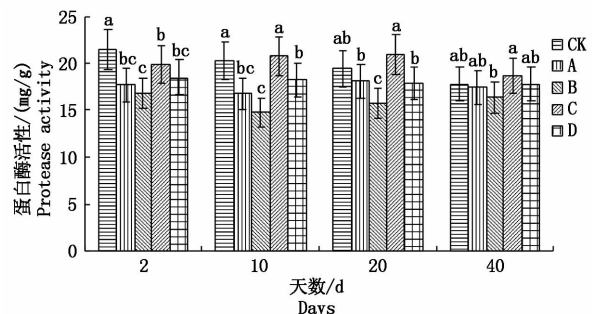


图 5 不同处理下土壤蛋白酶的活性

Fig. 5 The activity of soil protease at different treatments

68%。添加石灰氮的 B 处理则明显的促进了脲酶活性的提高,不仅高于 A 处理,甚至高于对照处理,在培养 20 d 时达到了 A 处理的 1.5 倍。加入炭化玉米芯的 C 处理的测定值与对照处理差异不显著。加入稻壳的 D 处理与 C 处理的变化趋势相似,测定值均低于 C 处理,但培养 10 d 后测定值显著高于 A 处理,培养 20 d 时是 A 处理的 1.3 倍。

由图 3 可知,A 处理中土壤酸性磷酸酶活性在第 2 天比对照稍高,但随后出现抑制现象,第 10 天的酶活性只相当于对照的 71%。相对于对照,加入石灰氮的 B 处理从培养的第 2 天就出现了明显的抑制作用,而且随着培养时间的延长,抑制作用越明显。相较于 A 处理,B 处理也降低了土壤酸性磷酸酶活性,说明番茄叶片腐解液和石灰氮均有抑制酸性磷酸酶活性的作用,加入炭化玉米芯的 C 处理的测定值与对照处理差异不显著。加入稻壳的 D 处理与 C 处理的变化趋势相似,但培养 20,40 d 时酸性磷酸酶活性明显低于对照。

图 4 表明,A 处理的土壤多酚氧化酶活性均高于对照处理,在处理第 10 天达到最高,是对照的 1.2 倍。加入石灰氮的 B 处理与 A 处理的变化规律相似,但在数值上高于 A 处理,说明石灰氮对土壤多酚氧化酶活性有促进作用。加入炭化玉米芯的 C 处理和加入稻壳的 D 处理除培养 10,40 d 时测定值稍高于对照处理外,其他培养时间的测定值与对照处理差异不显著。

图 5 表明不同处理下土壤蛋白酶活性的变化趋势,与对照相比较,加入腐解液的 A 处理从培养的第 2 天就出现了明显的抑制作用,培养 10,20 d 均有抑制作用,培养 40 d 与对照相当。B 处理也出现了抑制现象,培养第 10 天的测定值是对照的 73%,相对于 A 处理,B 处理的抑制作用更为明显。加入炭化玉米芯的 C 处理与对照的测定值相近。加入稻壳的 D 处理在培养的第 2,10,20 天测定值均低于对照处理,但与 A 处理相比较,培养第 10 天的测定值高于 A 处理,其他培养时间的测定值则与 A 处理相当。

2.4 不同处理对含有自毒物质土壤微生物的影响

2.4.1 不同处理对含有自毒物质土壤细菌的影响

从图 6 可以看出,培养第 2~10 天有较为明显的增长,随着处理后时间的推移,在培养 20 d 后,各处理的细菌数量趋于稳定。在各处理中,加入腐解液的 A 处理细菌数量在培养第 2 天与对照相当,随着培养时间的延长,与对照处理相比有明显的降低。B 处理的细菌数量明显低于其他处理,尤其以培养第 2 天的测定值与对照差距最大,是对照的 58.5%,是 A 处理的 53.1%,说明石灰氮有较强的杀菌作用,但随着培养时间的延长,B 处理的细菌数量逐步上升。添加炭化玉米芯的 C 处理细菌数量高于对照处理,其变化趋势也与对照相似,说明其有缓解自毒物质的毒害作用的效果,同时促进细菌繁殖。加入稻壳的 D 处理的测定值均在各培养时间稍低于对照。

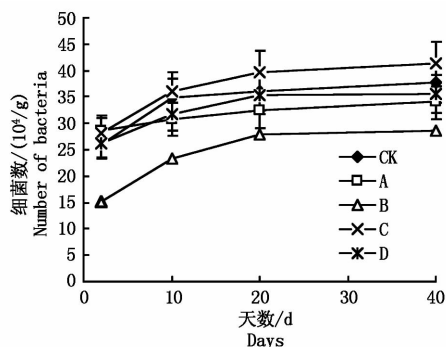


图 6 不同处理土壤中细菌数量

Fig. 6 The number of bacteria at different treatments

2.4.2 不同处理对含有自毒物质土壤真菌的影响

由图 7 可以看出,随培养时间的延长,对照处理的土壤真菌数量略有下降的趋势。加入炭化玉米芯的 C 处理与对照有相似的变化趋势,但其测定值在每个培养时期均高于对照。加入腐解液的 A 处理和加入稻壳的 D 处理有相似的变化趋势,随着培养时间的延长真菌数量均不断增加,但 A 处理增加的幅度较大,培养 40 d 时真菌数量是对照处理的 1.6

倍,而 D 处理的变化幅度则较小,培养 40 d 真菌数量是对照处理的 1.3 倍。加入石灰氮的 B 处理在培养第 2 天的测定值低于对照,是对照的 46.7%,培养时间为 10 d 时,测定值是对照的 33.3%,表明石灰氮对真菌的生长具有抑制作用,当培养时间达到 20 d 后测定值逐渐上升,与对照处理接近。

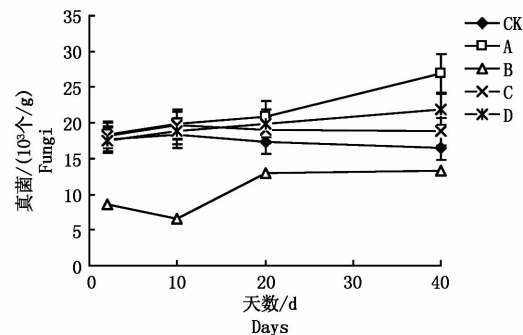


图 7 不同处理土壤中真菌数量

Fig. 7 The number of fungi at different treatments

2.4.3 不同处理对含有自毒物质土壤 B/F 值的影响 从图 8 可以看出,对照处理和添加炭化玉米芯的 C 处理具有相似的变化规律,即随着培养时间的延长,B/F 比值呈现逐渐上升的趋势,处理 20 d 后,增长的趋势变缓。A 处理(添加腐解液)和 D 处理(添加稻壳)在培养 10 d 之后其 B/F 值低于对照,A 处理与对照差距最为明显,培养 40 d 时,其值为对照的 55%,而 D 处理在培养 40 d 时约为对照的 70%。加入石灰氮的 B 处理不同于其他几种处理,在培养 10 d 后,其 B/F 值高于对照,B/F 值达到最高,是对照处理的 1.8 倍,培养 20 d 后,其 B/F 值与对照处理差异不明显。

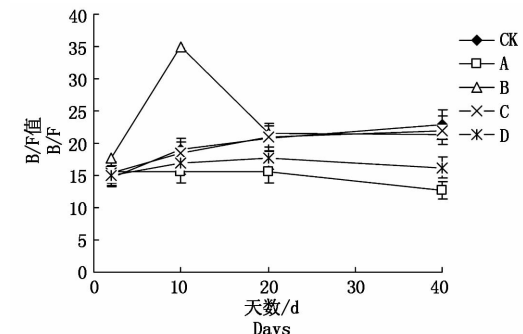


图 8 不同处理土壤 B/F 值

Fig. 8 The number of B/F at different treatments

3 讨论

酚酸类物质是植物产生连作障碍的重要物质,有研究表明,番茄、黄瓜、葡萄、西瓜、水稻、甘蔗等植株残体和残茬的腐解产物可以释放大量如酚酸物质等自毒物质,抑制幼苗生长和养分吸收,是产生连作障碍的因素之一^[6,8]。吕卫光等^[27]的研究表明:西

瓜根、茎、叶残体腐解过程中均含有香豆酸、香草酸、阿魏酸等酚酸化合物。根和茎在腐解过程中产生的酚酸化合物主要是香豆酸和阿魏酸,叶片主要是香豆酸和苯丙烯酸。本研究经高效液相色谱分析,证明番茄的根、茎、叶中含有鞣酸、香草酸、苯甲酸、邻苯二甲酸、水杨酸、阿魏酸、肉桂酸等酚酸类物质。其中,邻苯二甲酸、鞣酸、香草酸和苯甲酸含量较高。叶片的酚酸含量高于根、茎。番茄叶片在腐解过程中,不同的酚酸物质在腐解过程中具有不同的变化规律,酚酸物质含量随着培养时间的延长有不同程度的增加趋势,并在腐解 20~30 d 时酚酸含量达到高点,在腐解 30 d 后酚酸含量开始下降,并在 40 d 后逐渐趋于稳定。番茄长期连作,会导致自毒物质在作物根际积累,从而抑制作物生长,因此,番茄的残体和残茬分解以及根系的分泌物中产生的自毒物质是番茄生产过程中产生连作障碍的非常重要的因素之一。自毒物质在番茄残体腐解过程中的产生规律,对蔬菜生产中减轻连作障碍具有重要意义。

土壤酶是表征土壤生产力和土壤质量水平的一个重要生物指标,在物质转化过程中起重要的作用,其活性与土壤的理化性质和土壤类型等密切相关,是土壤肥力的重要指标之一^[28-29]。有研究表明,植物残体和残茬的腐解物质进入土壤后,可以影响土壤微生物胞内酶、胞外酶,使其比例失调或酶的构象改变。另外,腐解物质中的酚酸类自毒物质可直接作用于土壤酶,改变土壤酶活性^[8,30-31]。从本研究所得到的结果发现,加入番茄叶片腐解物质后,在培养 10 d 时对土壤脲酶、酸性磷酸酶及蛋白酶活性产生了不同的抑制作用,对多酚氧化酶活性则是起到了促进作用。随着培养时间的延长土壤酶活性逐渐接近对照处理的水平。对土壤蛋白酶活性及脲酶活性的抑制可以降低土壤尿素氮分解以及有机氮的矿化,从而影响土壤有效氮的含量。对酸性磷酸酶活性的抑制可能会导致土壤中有效磷含量的降低,从而影响作物对养分的吸收,影响作物的生长。加入石灰氮的处理能够增加土壤脲酶和多酚氧化酶活性,抑制土壤酸性磷酸酶和蛋白酶活性,这可能是由于石灰氮及遇水分解的中间产物氰胺和双氰胺与参与土壤磷循环的物质相互作用,从而降低了土壤酸性磷酸酶和蛋白酶活性^[32]。石灰氮虽然抵消了番茄叶片腐解物质对土壤脲酶活性的抑制作用,但却加剧了番茄叶片腐解物质对土壤酸性磷酸酶和蛋白酶活性的抑制,说明单独使用石灰氮对土壤酶活性的修复效果是不确定的。加入炭化玉米芯和稻壳的处理缓解了番茄叶片腐解物质对这 4 种土壤酶活性

的影响,但相对于对照处理,炭化玉米芯的效果更明显,稻壳的效果差一些可能与其本身性质有关,也可能是其用量不够,这还需要进一步研究。

土壤微生物是土壤生物的主要组成之一,其对于土壤中物质和能量的转化,细菌在作物的根系微生态环境中起着主要作用,相对于整个微生物群体,细菌更容易遭受土壤中生态系统变化的影响^[33]。土壤中细菌数量与真菌数量之比由土壤 B/F 值来表达^[34]。有研究表明,当自毒物质进入土壤,这些自毒物质可能影响着根际微生物,可能引起土壤微生物群落的整体发生变化,使细菌数量下降,真菌数量增加^[35-36]。土壤中自生固氮菌和纤维素分解菌的降低不利于炭素循环和氮素营养的转化,氨化细菌数量的降低会降低土壤中有机氮的矿化作用,含氮的有机物分解和转化受阻,造成土壤供氮能力下降,从而影响作物的生长。本试验结果表明:加入番茄叶片腐解物质的处理细菌数量低于对照处理,而真菌的数量则高于对照,土壤 B/F 值亦明显下降,土壤微生物区系由“细菌型”向“真菌型”转化。石灰氮施入土壤后,游离态的氰氨会形成,氰氨具有杀灭土壤中的微生物的功能,因此,石灰氮常常被用来防治土传病害^[37]。加入石灰氮的处理降低了土壤中细菌和真菌的数量,但石灰氮的处理增加了土壤 B/F 值,有效地缓解了土壤向“真菌型”转化。加入炭化玉米芯的处理中细菌数量高于对照处理,但真菌的数量也高于对照处理,因此,它的 B/F 值是是与对照处理最接近的。说明炭化玉米芯的使用也能较好的缓解番茄叶片腐解物质对土壤微生物区系的危害作用。加入稻壳的处理也对腐解物质的危害作用有一定的缓解,但与加入炭化玉米芯的处理相比效果不够明显。

综上所述,番茄叶片腐解物质中含有酚酸类自毒物质,其含量随着腐解时间而变化,在腐解 25 d 酚酸含量达到最大值。番茄叶片腐解物质会改变土壤酶的活性,影响土壤微生物区系,对作物的生长带来危害,影响作物的产量。土壤中添加石灰氮能够缓解对微生物区系的危害,但对土壤酶活性的作用不明显。添加炭化玉米芯和稻壳都能缓解番茄叶片腐解物质对土壤酶活性和土壤微生物的危害,其中添加炭化玉米芯的效果尤为突出。

参考文献:

- [1] Asaduzzaman M, Asao T. Autotoxicity in beans and their allelochemicals [J]. *Scientia Horticulturae*, 2012, 134 (1): 26 - 31.
- [2] Meenu S, Urja P, Aarti T. Role of allelochemicals in plant

growth promoting rhizobacteria for biocontrol of phytopathogens original research article [J]. *Microbiological Research*, 2014, 169 (1): 18 - 29.

- [3] Chen L C, Wang S L, Wang P, *et al.* Autoinhibition and soil allelochemical (cyclic dipeptide) levels in replanted Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*) plantations [J]. *Plant and Soil*, 2014, 374 (1/2): 793 - 801.
- [4] Weston L A, Mathesius U. Flavonoids: their structure, biosynthesis and role in the rhizosphere, including allelopathy [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 2013, 39 (2): 283 - 297.
- [5] Li L L, Li T L, Zhang G C, *et al.* Degradation patterns of phenolic acids in soil [J]. *Allelopathy Journal*, 2013, 31 (1): 181 - 188.
- [6] 李 坤, 郭修武, 郭印山, 等. 葡萄根系腐解物的化感效应及酚酸类化感物质的分离鉴定 [J]. *果树学报*, 2011, 28 (5): 776 - 781, 943.
- [7] 李 鑫, 张秀丽, 孙冰玉, 等. 烤烟连作对耕层土壤酶活性及微生物区系的影响 [J]. *土壤*, 2012, 44 (3): 456 - 460.
- [8] 陈 浩, 周冀衡, 陈洁宇, 等. 烤烟根茬腐解液对烟草生长发育的影响 [J]. *湖南农业科学*, 2012 (1): 31 - 34.
- [9] Paula L, Carla S P, Susana R E. Differential impact on soil microbes of allelopathic compounds released by the invasive *Acacia dealbata* Link [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2013, 57: 156 - 163.
- [10] Li Y, Ying Y X, Zhao D Y, *et al.* Influence of allelochemicals on microbial community in ginseng cultivating soil [J]. *Chinese Herbal Medicines*, 2014, 6 (4): 313 - 318.
- [11] García-Sánchez M, Garrido I, Casimiro I D, *et al.* Defence response of tomato seedlings to oxidative stress induced by phenolic compounds from dry olive mill residue [J]. *Chemosphere*, 2012, 89 (6): 708 - 716.
- [12] 李亮亮, 李天来, 臧 健, 等. 生物炭对加入外源肉桂酸土壤酶活性、微生物结构及土壤养分的影响 [J]. *华北农学报*, 2013, 28 (3): 210 - 216.
- [13] García-Sánchez M, Paradiso A, García-Romera I, *et al.* Bioremediation of dry olive-mill residue removes inhibition of growth induced by this waste in tomato plants [J]. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 2014, 11 (1): 21 - 32.
- [14] Su W, Hagström J A, Jia Y H, *et al.* Effects of rice straw on the cell viability, photosynthesis, and growth of *Microcystis aeruginosa* [J]. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 2014, 32 (1): 120 - 129.
- [15] Kumar S, Masto R E, Ram L C, *et al.* Biochar preparation from *Parthenium hysterophorus* and its potential use in soil application [J]. *Ecological Engineering*, 2013, 55: 67 -

- 72.
- [16] Harvey O M, Kuo L, Zimmerman A R, *et al.* An index-based approach to assessing recalcitrance and soil carbon sequestration potential of engineered black carbons (biochars) [J]. *Environment Science Technology*, 2012, 46(3): 1415 – 1421.
- [17] Hedě́nec P, Novotny D, Usták S, *et al.* Allelopathic effect of new introduced biofuel crops on the soil biota: A comparative study [J]. *European Journal of Soil Biology*, 2014, 63: 14 – 20.
- [18] 李 勇, 李 庆, 刘 娴. 微波辐照巴旦杏核壳制备活性炭及其吸附性能研究 [J]. *生物质化学工程*, 2014, 48(1): 9 – 12.
- [19] Quilliam R S, Marsden K A, Gertler C, *et al.* Nutrient dynamics, microbial growth and weed emergence in biochar amended soil are influenced by time since application and reapplication rate [J]. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2012, 158(1): 192 – 199.
- [20] Paz-Ferreiro J, Gascó G, Gutiérrez B, *et al.* Soil biochemical activities and the geometric mean of enzyme activities after application of sewage sludge and sewage sludge biochar to soil [J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2012, 48(5): 511 – 517.
- [21] 梁 潇, 余仲东, 马 菁, 等. 活性木炭制备及重要性状分析 [J]. *林产化学与工业*, 2013, 33(3): 125 – 130.
- [22] 余仲东, 任争争, 彭少兵, 等. 活性木炭材料及生物耦合炭对植物生长的影响 [J]. *生物质化学工程*, 2014, 48(3): 1 – 5.
- [23] Yu J Q, Matsui Y. Effects of root exudates of cucumber and allelopathicals on the ion uptake by cucumber seedling [J]. *Chemical Ecology*, 1997, 23: 817 – 827.
- [24] Antonio Albuquerque J, Manuel Calero J, Barron V A, *et al.* Effects of biochars produced from different feedstocks on soil properties and sunflower growth [J]. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 2014, 177(1): 16 – 25.
- [25] 关松荫. 土壤酶及其研究方法 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1983.
- [26] 沈 萍, 范秀容, 李广武. 微生物学实验 [M]. 北京: 人民教育出版社, 1980.
- [27] 吕卫光, 杨广超, 刘 玲, 等. 西瓜植株残体腐解过程中酚酸化合物的动态变化 [J]. *华北农学报*, 2012, 27(z1): 154 – 157.
- [28] 蔡立佳, 徐永刚, 宇万太, 等. 下辽河平原杨树连栽对土壤养分、微生物生物量和酶活性的影响 [J]. *生态学杂志*, 2013, 32(2): 337 – 343.
- [29] Zhou B, Kong C H, Li Y H, *et al.* Crabgrass (*Digitaria sanguinalis*) allelochemicals that interfere with crop growth and the soil microbial community [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2013, 61(22): 5310 – 5317.
- [30] Zou J C, Liu X Y, Zhong C L, *et al.* Effect of palmitic acid on remediation of *Scripus triqueter* and enzymes activities of the rhizosphere soil in the simulated diesel-spiked wetland [J]. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2014, 94: 109 – 114.
- [31] María I, Romina P, Angélica M. Growth and oxidative enzymatic activity of *in vitro* cultures of *Ciliochorella buxifolia* [J]. *Mycoscience*, 2015, 56(1): 58 – 65.
- [32] 马军伟, 孙万春, 胡庆发, 等. 氰胺类肥料对连作土壤微生物种群结构的影响 [J]. *浙江大学学报: 农业与生命科学版*, 2013, 39(3): 281 – 290.
- [33] 陈冬梅, 吴文祥, 王海斌, 等. 植烟土壤提取物质对烟株生长及根际土壤细菌多样性的影响 [J]. *中国生态农业学报*, 2012, 20(12): 1614 – 1620.
- [34] Zhou X, Wu F. Dynamics of the diversity of fungal and *Fusarium* communities during continuous cropping of cucumber in the greenhouse [J]. *FEMS Microbiology Ecology*, 2012, 80(2): 469 – 478.
- [35] Zhou X, Yu G, Wu F. Responses of soil microbial communities in the rhizosphere of cucumber (*Cucumis sativus* L.) to exogenously applied p-hydroxybenzoic acid [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 2012, 38(8): 975 – 983.
- [36] Veiga R L, Howard K, Van Der Heijden M A. No evidence for allelopathic effects of arbuscular mycorrhizal fungi on the non-host plant *Stellaria media* [J]. *Plant and Soil*, 2012, 360(1/2): 319 – 331.
- [37] 张丽荣, 康萍芝, 沈瑞清. 石灰氮对设施番茄根际土壤微生物数量及产量和枯萎病的影响 [J]. *西北农业学报*, 2014, 23(3): 201 – 204.