

生物有机类复合调理剂在设施叶菜障碍土壤上的应用效果

王光飞¹, 高晓东², 马艳^{1*}, 郭德杰¹, 王秋君¹, 梁永红³, 仇美华³

(1. 江苏省农业科学院农业资源与环境研究所, 江苏 南京 210014; 2. 无锡市惠山区农林局, 江苏 无锡 214174; 3. 江苏省耕地质量与农业环境保护站, 江苏 南京 210036)

摘要: 针对设施叶菜土壤次生盐渍化和酸化严重, 研制生物有机类复合调理剂, 并从改良土壤综合性状方面探索其改良机制, 为研制生物有机类复合调理剂及其在设施障碍土壤中的应用提供技术支撑和科学依据。以植物源有机肥、生物炭和耐酸耐盐功能微生物为原料研制生物有机类复合调理剂 1 和调理剂 2, 市场购买生物有机类调理剂 3, 并以化肥处理为常规对照, 在苏南茼蒿菜和鸡毛菜大棚中进行小区试验。调理剂 1 和调理剂 2 降低了土壤铵态氮和硝态氮含量, 降低了电导率 7.2% ~ 12.9%, 并显著增加了产量 11.7% ~ 24.5%。调理剂 3 增加了土壤有效磷和速效钾含量, 显著增加电导率 9.8% ~ 20.8%, 降低了土壤 pH 值, 增加 1.8% 茼蒿菜产量, 但减少 3.0% 鸡毛菜产量。土壤生物学性状方面, 调理剂 1 和调理剂 2 能显著增加土壤酶活性和有益微生物数量及微生物活性和多样性, 并增加 7.8% ~ 30.2% 土壤细菌数量, 减少 8.0% ~ 45.2% 土壤真菌数量。调理剂 3 则对土壤酶活性和微生物数量影响不显著, 但降低了微生物活性和多样性。统计分析显示, 对于高养分酸化设施叶菜土壤, 高生物活性调理剂 1 和调理剂 2 主要通过降低盐分含量和改善土壤生物学性状有效缓解连作障碍, 进而达到增产。在盐渍化和养分过度积累的设施障碍土壤中, 应施用养分适宜、生物活性高的有机类土壤调理剂。

关键词: 生物有机类调理剂; 设施叶菜; 土壤生物学性状; 土壤养分; 产量

叶菜是一种消费量极大且不可替代的大宗蔬菜。但叶菜不耐贮藏和长距离运输, 因此世界各地, 特别是大城市周边均有规模化种植。长江中下游区域设施叶菜生长期短、产量高, 周年可种植 4 ~ 6 茬, 土壤长期重茬加上大量盲目施用化肥和高养分农家肥, 造成养分大量积累, 次生盐渍化和酸化严重, 微生物菌群失调, 土壤肥力质量下降, 进而引起连作障碍严重^[1-3]。调查显示, 在长江中下游地区, 长期种植叶菜的大棚土壤次生盐渍化和酸化面积达到种植面积的 40% 以上, 已经严重影响了叶菜的产量和品质, 亟待需要安全、有效和可持续的改良技术^[1-3]。

土壤调理剂是指加入土壤中用于改善土壤物理、化学和生物学性状的物料。已有的研究表明土壤调理剂可降低土壤盐害和调节酸碱度^[4-7], 但此

类土壤调理剂多为化学和矿物类无机调理剂, 主要成分为天然矿物、人工合成聚合物和人工提取物等, 对于快速提高土壤 pH 值效果显著, 但不能有效改善土壤生物学性状, 且有时会加剧土壤的盐渍化程度^[4]。另外, 施用化学和矿物类无机调理剂环境风险大, 天然矿物重金属含量较高且释放的阳离子可能对土壤有长期毒害作用, 聚合物降解物质可能对土壤、植物、地下水等有危害作用, 人工提取物对土壤的长期影响尚未明确且可能会引入有害物质^[4, 8]。因此, 目前应用于改善土壤盐渍化和酸化的调理剂在实际应用中具有局限性。

土壤施用腐熟有机物可有效提高土壤缓冲能力和离子平衡能力^[9], 这有利于改善土壤盐渍化和酸碱度等问题。活性有益微生物可显著改善土壤微生物区系并提高土壤生物活性, 进而推动土壤化学性状的改良^[10]。有研究表明, 有益微生物可协助腐熟有机物平衡土壤养分, 降低土壤全盐含量, 提高土壤酸碱度缓冲性能^[11]。但目前, 尚未有生物有机类复合土壤调理剂改善设施土壤次生盐渍化和酸化的报道。与化学和矿物类无机调理剂相比, 生物有机类复合调理剂对土壤综合性状无副作用。因此, 研制具有改善土壤连作障碍的生物活性有机调

收稿日期: 2019-03-27; 录用日期: 2019-07-22

基金项目: 江苏省重点研发计划 (BE2017379); 江苏现代农业 (蔬菜) 产业技术体系废弃资源利用创新团队 (JATS[2018]209); 江苏省农业科学院基金 (6111636)。

作者简介: 王光飞 (1988-), 男, 江西婺源人, 助理研究员, 博士, 研究方向为土壤微生物。E-mail: wy_wgf@163.com。

通讯作者: 马艳, E-mail: myjaas@sina.com。

理剂具有重大意义。

鉴于此,本团队以植物源有机肥、秸秆生物炭和耐酸耐盐的功能微生物为主要原料,研发形成适合多种障碍土壤的生物有机类复合调理剂,其中两种调理剂在前期试验中对盐渍化和酸化土壤具有良好的效果,本研究拟通过田间试验,研究两种复合调理剂对设施障碍土壤综合性状和叶菜产量的影响,以期为长江中下游地区设施叶菜土壤改良提供针对性强的复合调理剂,为解决设施叶菜连作障碍提供理论依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地点

本试验在江苏省无锡市惠山区洛社镇叶菜种植基地(31° 39' N, 120° 14' E)开展。该区域为亚热带季风海洋性气候,年平均气温 17℃,全年平均降水量 1 100 mm,土壤为太湖平原地区有代表性的黄泥土。选取种植年限 8 年以上的两个次生盐渍化和酸化严重的代表性大棚进行试验,土壤性状见表 1。

表 1 试验土壤基本性状

	pH 值	电导率 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	有机质 (g/kg)	铵态氮 (mg/kg)	硝态氮 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)
一号棚	4.71	1 316	31.4	25.9	225.9	311.0	858.3
二号棚	4.63	1 054	32.7	69.2	226.0	407.3	1 120.7

1.2 试验材料

促生防病微生物菌剂:绿色木霉菌 TV41 和解淀粉芽孢杆菌 BS211 为本研究室筛选,以麸皮稻草等原料固态发酵制备菌剂^[12]。

3 种复合调理剂分别制备如下:中药渣有机肥(江苏省好徕斯肥业有限公司)与稻壳生物炭(溧阳市德胜活性炭厂)按鲜重 9:1 混合后,添加 TV41 菌剂和 BS211 菌剂至活菌终浓度均为 10^7 ,即

为调理剂 1;秸秆有机肥(南京明珠肥料有限公司)与稻壳生物炭(溧阳市德胜活性炭厂)按鲜重 9:1 混合后,添加 TV41 菌剂和 BS211 菌剂至活菌终浓度均为 10^7 ,即为调理剂 2;调理剂 3 购于市场,以畜禽粪便和秸秆等农业废弃物堆肥至腐熟再添加促进植物生长和抑制土传病原菌的功能菌至终浓度为 2×10^7 。3 种调理剂基础性状见表 2。

表 2 复合调理剂基本性状

	pH	电导率 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	有机质 (g/kg)	总氮 (g/kg)	总磷 (g/kg)	总钾 (g/kg)	功能微生物数量 (CFU/g)
调理剂 1	7.39	5 810	401.1	22.1	19.8	12.7	2×10^7
调理剂 2	8.07	4 915	383.1	11.8	9.1	22.0	2×10^7
调理剂 3	6.86	13 080	417.6	37.8	31.8	15.5	2×10^7

1.3 试验设计

试验在塑料大棚中进行,大棚规格为跨度 8 m、中部高 2.2 m、长 40 m,设置 4 个处理:1)常规对照(CK):每公顷施用 15-15-15 复合肥 450 kg;2)调理剂 1(T1):每公顷施用调理剂 1 4 500 kg;3)调理剂 2(T2):每公顷施用调理剂 2 4 500 kg;4)调理剂 3(T3):每公顷施用调理剂 3 4 500 kg,每个处理 3 次重复,小区面积为 6 m^2 ,随机排列。各处理总养分投入见表 3。2017 年 6 月 1 日肥料撒施后翻地,并洒水至土壤水分达最大田间持水量的 60% ~ 70%。6 月 10 日一号棚撒播种植一点红

苋菜,二号棚撒播种植鸡毛菜,7 月 5 日收获并测产。收获结束后各小区按照 S 型多点法采集 0 ~ 20 cm 耕层土壤。

1.4 测定项目与方法

1.4.1 土壤主要化学性状测定

铵态氮以冻存土样为测定对象,其余土壤理化指标均以风干土样为测定对象。pH 值:采用土水比 = 1:5 浸提,用 pH 计测定;电导率:采用土水比 = 1:5 浸提,用电导仪测定;有机质:重铬酸钾-硫酸消化法;铵态氮:氯化钾浸提-靛酚蓝比色法;硝态氮:氯化钾浸提-紫外分光光度法;速效钾:

表 3 不同处理氮磷钾养分投入

处理	复合肥或调理剂		干基总养分含量 (%)	总氮投入 (kg/hm ²)	总磷投入 (kg/hm ²)	总钾投入 (kg/hm ²)
	投入量 (kg/hm ²)	含水量 (%)				
CK	450	2.3	45.0	65.9	65.9	65.9
T1	4 500	30.7	5.46	68.9	61.7	39.6
T2	4 500	29.1	4.29	37.6	29.0	70.2
T3	4 500	32.5	8.51	114.8	96.6	47.1

乙酸铵浸提－火焰光度法；有效磷：碳酸氢钠浸提－钼锑抗分光光度法^[13]。

1.4.2 土壤酶活性测定

以鲜土样为测定对象，土壤蔗糖酶活性采用 3, 5- 二硝基水杨酸比色法，以 1 g 土壤 24 h 后产生葡萄糖的毫克数表示；脲酶活性采用苯酚－次氯酸钠比色法测定，以 1 g 土壤 24 h 后催化底物产生的 NH₃-N 的毫克数表示；酸性磷酸酶活性采用磷酸苯二钠比色法，以 1 g 土壤 24 h 后催化底物产生的苯酚的纳摩尔数表示^[14]。

1.4.3 土壤微生物数量测定

以鲜土样提取土壤 DNA，试剂盒为 MP 公司生产的 FastDNA SPIN Kit for Soil，按照使用说明提取土壤 DNA。采用实时荧光定量 PCR 技术测定土壤细菌和真菌总数。采用平板培养法对土壤芽孢杆菌和木霉进行计数，所用培养基分别为 V8 和马丁氏培养基^[15]。

1.4.4 土壤微生物碳源利用特征分析

应用 Biolog-Eco 生态板测定土壤微生物碳源利用能力^[16]。

1.5 数据处理

采用孔平均颜色变化率法测定微生物利用单一碳源的能力。 C_i 为各反应孔在 590 nm 的光密度值； R 为 ECO 板对照孔 A1 的光密度值； C_i-R 小于零的孔计算中记为零； $P_i = (C_i - R) / \sum (C_i - R)$ ，表示有碳源的孔与对照孔 A1 的光密度值之差与整板总差的比值； S 为颜色发生变化的孔数 ($AWCD > 0.2$ 代表该孔碳源被利用)。孔平均颜色变化率 (Average well color development, $AWCD$) = $\sum (C_i - R) / 31$ ；Shannon 物种多样性指数 (H) = $-\sum P_i \times \ln P_i$ ；Simpson 优势度指数 (D) = $1 / \sum P_i^2$ ；Shannon 群落均匀度指数 (E) = $H / \ln S$ ^[16]。

试验中所得数据经 Excel 2016 软件整理后，应用 SPSS 17.0 软件进行统计分析。文中数据均为 3 次重复平均值。应用 Canoco 4.5 软件进行主成分分

析 (PCA)，其结果用排序图表示。

2 结果与分析

2.1 不同调理剂对叶菜产量的影响

不同调理剂对叶菜产量影响差异较大 (图 1)，T1 和 T2 在两个大棚中均显示出增产作用，对茼蒿菜的增产率分别为 17.5% 和 11.7%，对鸡毛菜的增产率分别为 15.7% 和 24.5%。但 T3 对两种叶菜产量影响甚小，在鸡毛菜表现出减产作用。另外，T1 对于茼蒿菜增产作用显著，而 T2 对鸡毛菜增产作用显著，这可能与叶菜品种不同有关，也可能与调理剂在不同背景土壤中表现的效果差异相关。

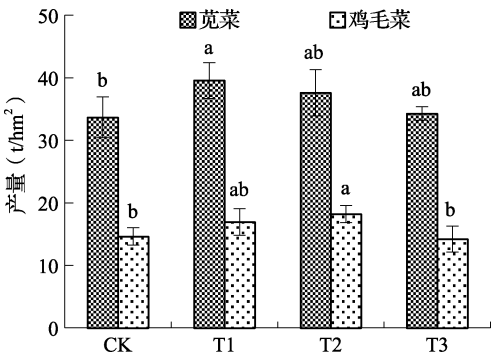


图 1 不同调理剂处理的产量

注：柱上不同小写字母表示同一叶菜处理间差异显著。下图同。

2.2 不同调理剂对土壤主要化学性状的影响

2.2.1 对土壤主要化学性状的影响

两个大棚土壤均为强酸性土壤 (4.71 和 4.63)，种植后 T1 和 T2 处理对土壤 pH 值无显著影响，但 T3 则降低土壤 pH 值，在茼蒿菜和鸡毛菜大棚中下降值分别为 0.17 和 0.30，但与 CK 未达到显著差异。不同处理土壤 EC 值差异较大，总养分投入越大土壤 EC 值越高。与对照相比，T1 和 T2 明显降低两个大棚土壤的 EC 值，而 T3 明显增加两个大棚土壤的 EC 值。在茼蒿菜大棚，T1 和 T2 处理的土壤 EC 值分别比 CK 低 61.3 和 108.3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ，在鸡毛菜大棚，分别比 CK 低 82.3 和 92 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ，而 T3 处理则

在两个大棚中使得土壤 EC 值分别增加了 82.3 和 155.0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 。3 种调理剂对土壤有机质含量的影响较小,但其中 T1 对茼蒿菜大棚有机质含量的增加值为 3.4 g/kg, T2 对鸡毛菜大棚的增加值为 4.2 g/kg。

T1 和 T2 处理均降低了两个大棚土壤中铵态氮和硝态氮的含量,两个处理在茼蒿菜大棚中使得硝态氮分别减少 3.8% 和 17.9%,在鸡毛菜大棚中使铵态氮分别减少 33.2% 和 22.4%。3 种调理剂均可增加土

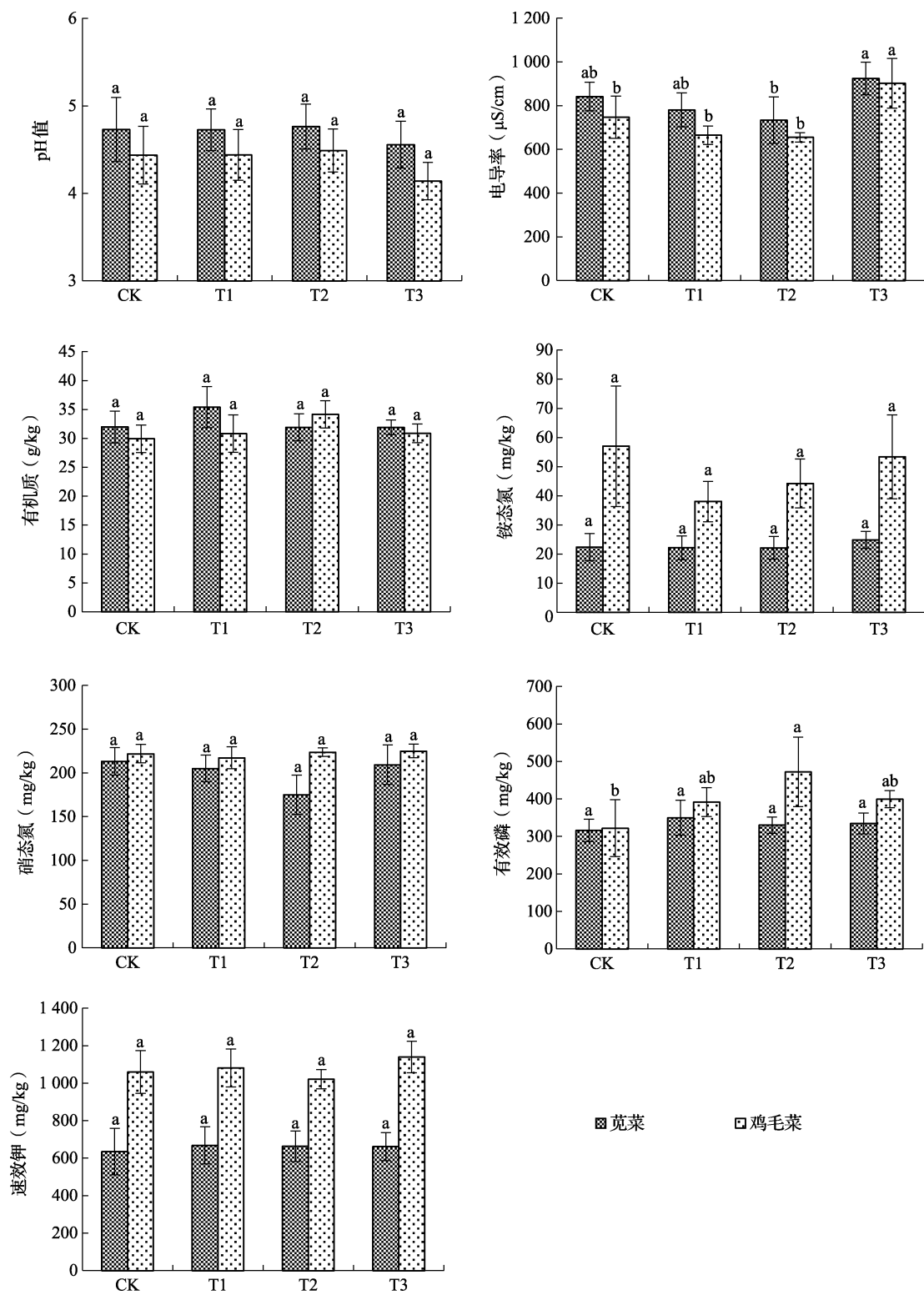


图 2 不同调理剂处理的土壤化学性状

壤有效磷含量，在鸡毛菜大棚中分别增加了 69.3、150.1 和 77.6 mg/kg。调理剂对速效钾影响较小，但在鸡毛菜大棚中 T2 降低了速效钾含量，T3 则增加了速效钾含量。

综上，T1 和 T2 总体表现为降低土壤盐分和速效养分含量，而 T3 提高土壤盐分含量，并降低了土壤 pH 值，可能与该调理剂本身的高 EC 值有关。

表 4 土壤化学性状与产量相关性分析

	总养分投入	pH 值	电导率	有机质	铵态氮	硝态氮	有效磷	速效钾
产量	-0.595**	0.235	-0.345	0.269	-0.127	-0.102	0.293	-0.009

2.3 不同调理剂对土壤生物学性状的影响

2.3.1 对土壤酶活性的影响

3 种调理剂对土壤蔗糖酶活性表现出显著的增加作用，在茼蒿菜大棚 T1、T2 和 T3 处理的酶活性分别是 CK 的 2.18、1.60 和 1.66 倍，且 T1 与 CK 达到显著差异；在鸡毛菜大棚分别是 CK 的 1.26、2.49 和 1.60 倍，且 T2 与 CK 达到显著差异。另外，3 种

2.2.2 相关性分析

相关分析显示，产量与土壤化学性状相关性不强（表 4）。土壤 EC 值与产量呈一定的负相关性，其余指标与产量相关性系数均较小。因此，调理剂对产量的影响与其改变土壤化学性状关联较小。值得注意的是产量与总养分投入呈显著负相关，即总养分投入对产量有显著负影响。

调理剂对酸性磷酸酶活性也有一定的增加作用，其中 T2 较为明显。与蔗糖酶和酸性磷酸酶相反，调理剂降低了土壤脲酶活性，并且在茼蒿菜大棚中 T1、T2 和 T3 脲酶活性均显著低于 CK。可见，施入调理剂对土壤碳氮磷转化均产生了较大的影响，可能促进了碳磷转化，而削弱了氮转化。这与调理剂减少土壤铵态氮含量和增加有效磷含量相符。

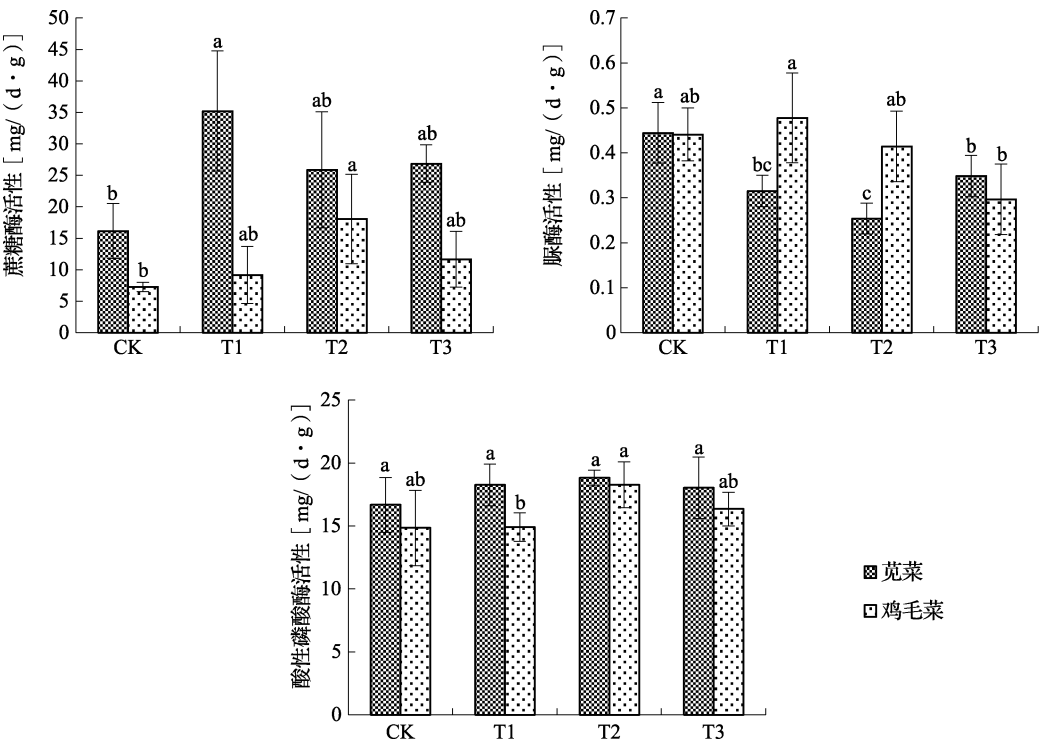


图 3 不同调理剂处理土壤酶活性

2.3.2 对土壤微生物数量的影响

施入 3 种调理剂对土壤微生物数量均产生了较大的影响。T1 和 T2 可降低土壤真菌总数，显著增加土壤细菌总数。T1 和 T2 处理，在茼蒿菜大棚中使

得真菌减少率分别为 8.3% 和 8.0%，使得细菌增加率分别为 19.2% 和 7.8%；在鸡毛菜大棚中使得真菌减少率分别为 25.1% 和 45.2%，使得细菌增加率分别为 20.8% 和 30.2%。在鸡毛菜大棚中，T2 处理

的真菌和细菌总数均与 CK 达到显著差异。

另一方面,施用调理剂对土壤有益菌木霉和芽孢杆菌数量也产生了较大的影响。在两个大棚中,采用平板培养法,在对照和 T3 处理中均未检测到木霉,而 T1 和 T2 处理中木霉的数量在茼蒿菜大棚分别为 4.8×10^3 和 3.5×10^3 CFU/g, 在鸡毛菜大棚分别为 9.8×10^3 和 3.3×10^3 CFU/g, 均显著高于 CK 和 T3, 表明调理剂带入的木霉菌 TV41 在土壤中能很好定殖或者是施用这两种调理剂能够有利于土壤

中土著木霉菌的增殖; 3 种土壤调理剂对芽孢杆菌数量的影响程度不及木霉, 且在不同棚中表现有差异, 茼蒿菜大棚, 3 种调理剂处理与 CK 均未达到显著差异, 仅 T1 处理中芽孢杆菌是 CK 的 1.23 倍; 鸡毛菜大棚, T2 处理中芽孢杆菌数量是 CK 的 1.19 倍, 达到显著差异, 其他处理差异不显著。

综上,施用不同的土壤调理剂对土壤真菌和细菌的影响程度具有差异, 其机理有待于深入研究。

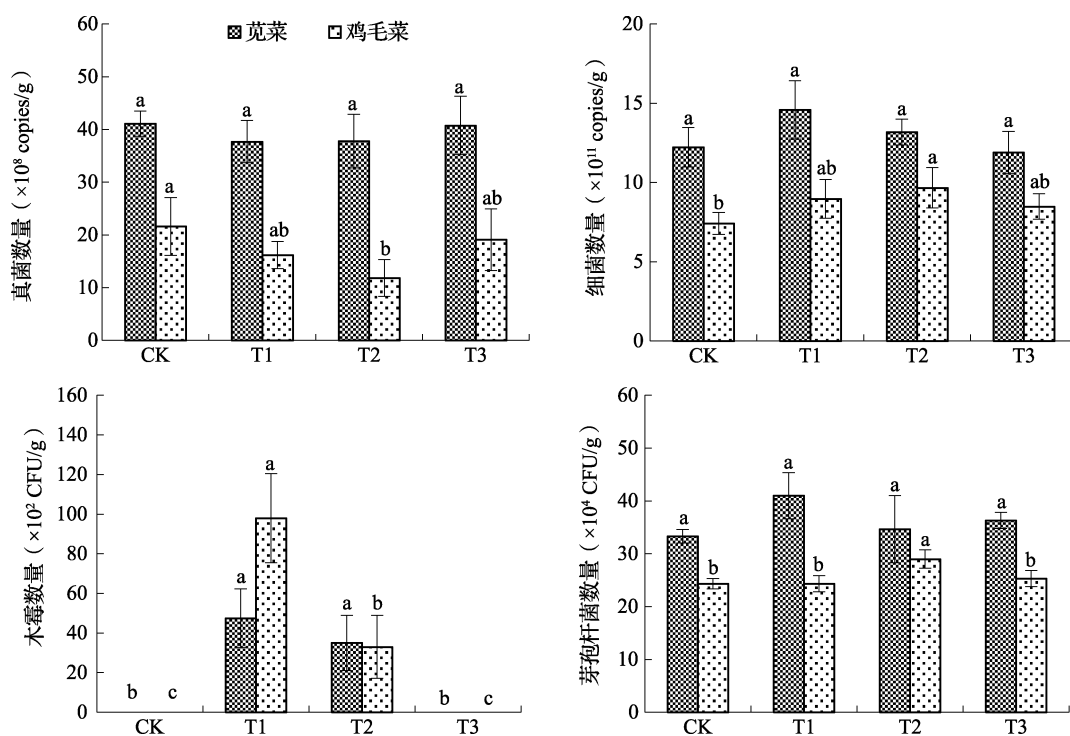


图 4 不同调理剂处理的土壤微生物数量

2.3.3 对土壤微生物碳源利用能力及多样性的影响

平均颜色变化率 (AWCD) 表征微生物群落碳源利用率, 反映了土壤微生物活性和微生物群落生理功能多样性等。图 5 显示, 在两种蔬菜大棚中, 各处理整体趋势表现相同, 均为 $T1=T2>CK>T3$, 说明 T1 和 T2 处理均促进了土壤微生物对碳源的利用能力, 而 T3 处理则产生抑制作用, 可能与该调理剂本身的性状相关。

Shannon 多样性指数 (H) 反应微生物群落物种的丰富度, Shannon 均匀度指数 (E) 是微生物群落物种均一性的度量, Simpson 优势度指数 (D) 反应微生物群落物种集中度。T1 和 T2 多样性指数显著高于 CK 和 T3, 且 T3 在茼蒿菜大棚中多样

性指数显著低于 CK (表 5)。另外, T1 和 T2 均匀度指数也显著高于 CK 和 T3, 而优势度指数显著低于 CK 和 T3。因此, T1 和 T2 土壤微生物功能多样性特征可能是其具有较好应用效果的主要原因。

2.3.4 相关性分析

土壤生物学性状与产量紧密相关 (表 6)。细菌总数、芽孢杆菌数量、蔗糖酶活性、AWCD 值及 Shannon 多样性指数与产量呈显著正相关, 而木霉数量与产量呈极显著正相关。另一方面, 真菌总数与产量呈一定的负相关性。因此, 调理剂对产量的影响应与其改善土壤生物学性状密切相关。

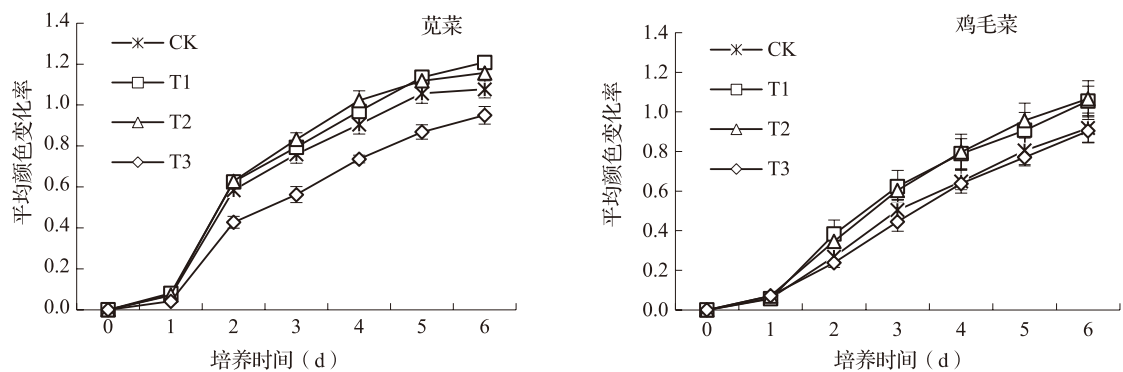


图 5 不同调理剂处理土壤平均颜色变化率

表 5 不同调理剂处理土壤微生物功能多样性指数 (96 h)

指数		CK	T1	T2	T3
莴菜大棚	H	3.232 ± 0.015b	3.272 ± 0.003ab	3.327 ± 0.017a	3.086 ± 0.072c
	E	0.957 ± 0.008a	0.956 ± 0.005a	0.969 ± 0.005a	0.905 ± 0.013b
	D	0.041 ± 0.001b	0.041 ± 0.001b	0.038 ± 0.001b	0.051 ± 0.003a
鸡毛菜大棚	H	3.001 ± 0.048b	3.139 ± 0.039a	3.154 ± 0.065a	3.027 ± 0.038b
	E	0.918 ± 0.012c	0.955 ± 0.008a	0.957 ± 0.009a	0.937 ± 0.007b
	D	0.058 ± 0.004a	0.053 ± 0.001b	0.052 ± 0.004b	0.060 ± 0.002a

注：同一行数据后不同小写字母表示不同处理间在 5% 水平差异显著。

表 6 土壤生物学性状与产量相关性分析

	蔗糖酶	脲酶	酸性磷酸酶	真菌	细菌	木霉	芽孢杆菌	平均颜色变化率	Shannon 指数
产量	0.446*	0.220	0.284	-0.308	0.434*	0.561**	0.422*	0.506*	0.431*

注：* 表示在 $P<0.05$ 水平上显著相关；** 表示在 $P<0.01$ 水平上显著相关。

2.4 土壤性状与产量主成分分析

采用 PCA 分析，建立各大棚叶菜产量与土壤性状二维排序图（图 6）。对于莴菜大棚，蔬菜产量受木霉数量、细菌总数、AWCD、shannon 多样

性指数和蔗糖酶活性正向影响，而受真菌总数、脲酶活性、养分总投入、EC、硝态氮含量和速效钾含量负向影响。另外，芽孢杆菌数量、酸性磷酸酶活性、pH、有机质和有效磷含量对产量有一定的正

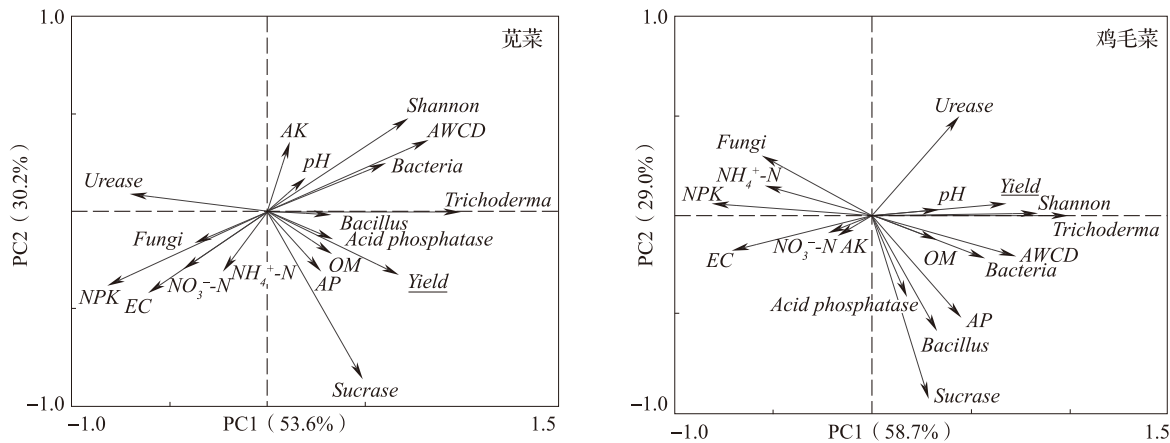


图 6 土壤性状与产量 PCA 双序图

注：NPK：肥料养分总投入；OM：有机质；EC：电导率； NH_4^+-N ：铵态氮； NO_3^--N ：硝态氮；AP：有效磷；AK：速效钾；Acid phosphatase：酸性磷酸酶；Urease：脲酶；Sucrase：蔗糖酶；Fungi：真菌数量；Bacteria：细菌数量；Bacillus：芽孢杆菌数量；Trichoderma：木霉数量；AWCD：平均颜色变化率；Shannon：Shannon 多样性指数。

向影响。对于鸡毛菜大棚而言,木霉数量、细菌总数、芽孢杆菌数量、AWCD、shannon 多样性指数、脲酶活性和有效磷含量对产量具有正向影响,酸性磷酸酶活性、pH 和有机质含量有一定的正向影响,但真菌总数、养分总投入、EC、硝态氮含量、铵态氮含量和速效钾含量为负向影响。

综合两个大棚的分析结果可知,有益微生物数量、细菌总数、微生物多样性和活性以及土壤酶活性等生物学性状对产量产生正向影响,而养分投入、土壤盐分和与速效养分相关性性状产生负向影响。由此推测,调理剂主要通过改善生物学性状达到增产效果,而土壤养分适当降低也有利于增产。另外,在养分过度积累的大棚土壤中降低速效养分含量有利于改善土壤生物学性状。

3 讨论

本研究表明施用不同生物有机类复合调理剂对设施障碍土壤的叶菜产量和土壤综合性状均产生较大的影响,且差异显著。调理剂 1 与调理剂 2 能显著增加两种蔬菜的产量,但调理剂 3 在一定程度上降低蔬菜产量。我们从调理剂本身性状对土壤化学、生物学性状的差异影响进行解析。

参与试验的两个大棚土壤均次生盐渍化严重,养分过量盈余。调理剂 1 和调理剂 2 处理总养分投入低于对照处理,而调理剂 3 总养分投入高于对照处理。与对照相比,调理剂 3 增加了土壤电导率和多种速效养分含量,降低了 pH 值,这与调理剂 3 养分和盐分含量高有关。肖辉等^[17]的研究也表明高盐分有机肥易引起土壤盐分积累,并降低土壤 pH 值。土壤积盐可引起交换性酸增加和盐基饱和度下降,从而使土壤酸化^[18]。调理剂 1 和调理剂 2 均降低土壤电导率和多种速效养分含量。优质生物有机类肥料和微生物菌肥能提高土壤生物活性,促进元素转化,平衡土壤养分^[11, 19-22]。因此,调理剂 1 和调理剂 2 可能具有较高的生物活性。调理剂 1 和调理剂 2 呈碱性,其中含有的生物炭可增强土壤酸碱缓冲度^[23],但可能由于本试验中调理剂的施用量较少且试验时间较短,因此对土壤酸化的改善效果不明显。

在生物学性状方面,调理剂 1 和调理剂 2 显著增加了土壤酶活性、细菌数量、有益微生物数量、碳源利用能力和微生物多样性,显著抑制了土壤真菌化,这与前人对生物有机类肥料和微生物菌

肥的研究一致^[11, 19, 24-27]。在土壤养分含量充足的情况下,土壤养分已不是影响作物生长的限制因素^[25, 28]。土壤微生物、土壤动物和土壤酶是生态系统的重要组成成分,更能敏感反映土壤肥力质量^[29-31]。因此,调理剂 1 和调理剂 2 的施入显著改善了土壤肥力质量。另外,土壤微生态环境的改善也可减轻长期叶菜种植的自毒作用。调理剂 3 虽然在一定程度上增加土壤酶活性和抑制土壤真菌化,但对细菌、真菌和有益微生物数量影响甚小,且降低了碳源利用能力和微生物多样性,并没有显示出对土壤生物学性状的有效改善作用。

相关性和主成分分析显示,不同调理剂施用下,化学性状与产量相关性较小,养分总投入和土壤养分性状对产量产生负影响,而生物学性状与产量紧密相关,对其正向影响显著。因此,本试验中调理剂主要通过改善土壤生物学性状进而增加产量。对于养分盈足土壤,降低盐分和养分有利于提高土壤质量。调理剂 3 产量低,主要原因可能是该调理剂本身盐分和养分含量较高,施用后反而加剧了土壤的盐渍化和酸化,进而降低生物学性状和土壤的生产性能。

生物有机类产品对土壤生物学性状的显著改善作用与其大量的有益微生物和功能菌息息相关^[11, 19, 26]。调理剂 1 和调理剂 2 中的有益木霉菌和芽孢杆菌能在土壤中稳定定殖或者两种土壤调理剂能够激发两种土著微生物的繁殖,从而调节并改善生物学性状。调理剂 3 改善作用效果较弱,这可能与其有益微生物活性不高或者对土壤中土著有益微生物的激活作用不强相关。

4 结论

本试验条件下,低盐高活性的生物有机类调理剂 1 和调理剂 2 可显著改善次生盐渍化和酸化严重的设施土壤生物学性状,即增加细菌数量、有益微生物数量、微生物活性和多样性且显著抑制了土壤真菌化。此外,在一定程度上减弱了土壤盐渍化。这些均有利于提高土壤肥力质量,进而增加叶菜产量。但调理剂 3 对土壤生物学性状有一定的负面影响,且加重土壤盐渍化,故效果甚微。

参考文献:

- [1] 周增辉,张娜,韩承华,等.江苏中南部设施蔬菜盐渍化土壤盐分离子含量及其垂直分布调查[J].中国蔬菜,2013,

- (20): 39–45.
- [2] 黄绍文, 高伟, 唐继伟, 等. 我国主要菜区耕层土壤盐分总量及离子组成 [J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22 (4): 965–977.
 - [3] 宋蒙亚, 李忠佩, 吴萌, 等. 不同种植年限设施菜地土壤微生物量和群落结构的差异 [J]. 中国农业科学, 2015, 48 (18): 3635–3644.
 - [4] 孙蓟锋, 王旭. 土壤调理剂的研究和应用进展 [J]. 中国土壤与肥料, 2013, (1): 1–7.
 - [5] Liu S K, Qi X, Han C, et al. Novel nano-submicron mineral-based soil conditioner for sustainable agricultural development [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 149: 896–903.
 - [6] 李育鹏, 胡海燕, 李兆君, 等. 土壤调理剂对红壤 pH 值及空心菜产量和品质的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2014, (6): 21–26.
 - [7] 郝晓然, 彭亚静, 张丽娟, 等. 根层调控措施对甜玉米–黄瓜设施蔬菜轮作体系土壤硝态氮的影响 [J]. 中国农业科学, 2015, 48 (12): 2390–2400.
 - [8] 刘杰, 罗尊长, 肖小平. 土壤调理剂对冷浸田土壤特性及水稻生长的影响 [J]. 土壤, 2016, 48 (3): 529–533.
 - [9] Curtin D, Trolove S. Predicting pH buffering capacity of New Zealand soils from organic matter content and mineral characteristics [J]. *Soil Research*, 2013, 51 (6): 494–502.
 - [10] Javaid A. Beneficial microorganisms for sustainable agriculture. In genetic engineering, biofertilisation, soil quality and organic farming [M]. Dordrecht: Springer, 2010.
 - [11] 付丽军, 张爱敏, 王向东, 等. 生物有机肥改良设施蔬菜土壤的研究进展 [J]. 中国土壤与肥料, 2017, (3): 1–5.
 - [12] 马艳, 王光飞, 郭德杰. 一种辣椒疫病的防控方法 [P]. CN 105432381 A. 2016.
 - [13] 张甘霖, 龚子同. 土壤调查实验室分析方法 [M]. 北京: 科学出版社, 2012.
 - [14] 关松荫. 土壤酶及其研究法 [M]. 北京: 农业出版社, 1986.
 - [15] 王光飞, 马艳, 郭德杰, 等. 不同用量秸秆生物炭对辣椒疫病防控效果及土壤性状的影响 [J]. 土壤学报, 2017, 54 (1): 204–215.
 - [16] 张红, 吕家珑, 曹莹菲, 等. 不同植物秸秆腐解特性与土壤微生物功能多样研究 [J]. 土壤学报, 2014, 51 (4): 743–752.
 - [17] 肖辉, 潘洁, 程文娟, 等. 不同有机肥对设施土壤全盐累积与 pH 值变化的影响 [J]. 中国农学通报, 2014, 30 (2): 248–252.
 - [18] 王媛华, 段增强, 赵宇, 等. 积盐条件下土壤酸化过程的特性研究 [J]. 土壤学报, 2015, 52 (1): 228–233.
 - [19] Sun H H, Lee E Y. Phytostabilization of salt accumulated soil using plant and biofertilizers; Field application [J]. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 2017, 124: 188–195.
 - [20] 王广印, 郭卫丽, 王胜楠, 等. 玉米秸秆、生物菌肥和土壤调理剂对日光温室越冬茬番茄土壤盐及重金属含量的影响 [J]. 湖北农业科学, 2018, (6): 55–59.
 - [21] 王婧, 逢焕成, 李玉义, 等. 微生物菌肥对盐渍土壤微生物区系和食葵产量的影响 [J]. 农业环境科学学报, 2012, (11): 2186–2191.
 - [22] Wang L, Yang F, Yao E, et al. Long-term application of bioorganic fertilizers improved soil biochemical properties and microbial communities of an apple orchard soil [J]. *Frontiers in Microbiology*, 2016, 7: 1893.
 - [23] Butterfly C. Optimized protocol for soil pH buffer capacity measurement [J]. *European Journal of Soil Science*, 2017, 68: 793.
 - [24] Fu L, Penton C R, Ruan Y, et al. Inducing the rhizosphere microbiome by biofertilizer application to suppress banana Fusarium wilt disease [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2017, 104: 39–48.
 - [25] 田小明, 李俊华, 王成, 等. 连续 3 年施用生物有机肥对土壤养分、微生物生物量及酶活性的影响 [J]. 土壤, 2014, 46 (3): 481–488.
 - [26] 王涛, 乔卫花, 李玉奇, 等. 轮作和微生物菌肥对黄瓜连作土壤理化性状及生物活性的影响 [J]. 土壤通报, 2011, 42 (3): 578–583.
 - [27] Cai F, Pang G, Li R X, et al. Bioorganic fertilizer maintains a more stable soil microbiome than chemical fertilizer for monocropping [J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2017, 53 (8): 861–872.
 - [28] Havlin J L, Beaton J D, Tisdale S L, et al. Soil fertility and fertilizers; An introduction to nutrient management [M]. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2005.
 - [29] 李文娇, 杨殿林, 赵建宁, 等. 长期连作和轮作对农田土壤生物学特性的影响研究进展 [J]. 中国农学通报, 2015, 31 (3): 173–178.
 - [30] 唐玉姝, 魏朝富, 颜廷梅, 等. 土壤质量生物学指标研究进展 [J]. 土壤, 2007, 39 (2): 157–163.
 - [31] Schlöter M, Dill O, Munch J C. Indicators for evaluating soil quality [J]. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 2003, 98 (1–3): 255–262.

Amendment effect of bio-organic soil conditioner on leafy vegetable greenhouse soil with continuous cropping obstacle

WANG Guang-fei¹, GAO Xiao-dong², MA Yan^{1*}, GUO De-jie¹, WANG Qiu-jun¹, LIANG Yong-hong³, QIU Mei-hua³

(1. Institute of Agricultural Resources and Environments, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing Jiangsu 210014; 2. Bureau of Agriculture and Forestry of Huishan District, Wuxi Jiangsu 214174; 3. Jiangsu Province Station of Farmland Quality and Agro-Environmental Protection, Nanjing Jiangsu 210036)

Abstract: There is a serious problem of secondary soil salinization and acidification in many fields of protected leafy vegetables. In this research, bio-organic soil conditioners were developed and used to improve the quality of the soil. The improvement mechanism was explored from the aspects of comprehensive soil biochemical properties, expecting to provide a theoretical support for the development of bio-organic soil conditioner and their application in greenhouse soils. Bio-organic soil conditioner 1 and 2 were prepared from plant-derived organic fertilizers, biochar and acid-and salt-tolerant functional microorganisms. Soil conditioner 3 was purchased from the market. Field plot experiments were carried out in leafy vegetable greenhouses located in the south of Jiangsu. Soil conditioner 1 and 2 significantly decreased electrical conductivity by 7.2% ~ 12.9% and significantly increased yield by 11.7% ~ 24.5%, and decreased ammonium and nitrate nitrogen content. Soil conditioner 3 increased available P and K content and decreased soil pH. In addition, conditioner 3 increased electrical conductivity by 9.8% ~ 20.8%, increased yield of amaranth by 1.8% and decreased yield of Chinese cabbage by 3.0%. Soil conditioner 1 and 2 significantly improved soil biological properties, viz., enzyme activities, beneficial microbial populations, microbial activity and diversity were all significantly increased. Furthermore, bacterial abundance was increased by 7.8% ~ 30.2% and fungal abundance was decreased by 8.0% ~ 45.2%. Soil conditioner 3 had little effect on enzyme activities and microbial populations, but had negative effect on microbial activity and diversity. Statistics analysis showed that high bio-active soil conditioner 1 and 2 could reduce soil salinity and improve soil biological properties, thus effectively alleviated continuous cropping obstacles, which in turn increased the yield in leafy vegetables. Organic soil conditioner with suitable nutrients and high bioactivity is suitable for the improvement of greenhouse soils with salinization and excessive nutrients.

Key words: bio-organic soil conditioner; greenhouse leafy vegetables; soil biological properties; soil nutrients; yield