

不同改良剂对大棚土壤理化特性及甜瓜产量和品质的影响

高莹, 王军利, 韩春妮

(咸阳职业技术学院, 陕西 西咸新区 712046)

摘要: 土壤质量退化已成为制约现代设施农业可持续发展的瓶颈, 采取适宜措施开展设施土壤改良活动对于促进设施农业持续健康发展具有重要意义。该研究以西安市塑料大棚土壤改良研究为例, 分别探讨了土香香(T1)、腐殖酸(T2)、富活素(T3)、蚯蚓粪(T4) 4种改良剂处理对大棚土壤基本理化性质、盐分离子组成、作物产量及品质的影响。结果表明: (1) 所有改良剂处理较CK均能在一定程度上降低塑料大棚土壤容重, 提高土壤孔隙度, 并小幅调节土壤pH值使其更接近中性。其中T1和T4处理对土壤容重和孔隙度的改良效果更好一些, T3处理后的土壤pH值更接近7.00。(2) 所有改良剂处理较CK均能大幅显著降低土壤盐分离子总量和电导率, 尤以T3处理的效果最为明显, 土壤盐分离子总量和电导率降幅可分别达到68.21%和75.89%。(3) 与CK相比, 不同改良剂均具有增产效果, 尤以T3和T4处理的增产效果最佳, 产量增幅分别达到14.37%和21.01%。(4) 与CK相比, 所有改良剂处理均能显著提高甜瓜的可溶性固形物, 其中T3处理的效果最佳; 所有处理间甜瓜可滴定酸无显著性差异; 甜瓜固酸比和维生素含量有升有降, 其中T1和T3处理甜瓜的固酸比较高, 而T3处理甜瓜的维生素含量显著高于其它处理, 达到146.21 mg/kg。总体而言, 就改土、降盐、提质、增产等综合效果来看, T3处理, 即施用富活素改良剂的效果最佳。

关键词: 改良剂; 塑料大棚; 土壤盐分; 品质; 产量; 甜瓜

中图分类号: S156.2

文献标识码: A

文章编号: 2019-SY035-(2020)04-008

0 引言

设施栽培能在一定程度上突破气候对作物生长的限制, 为作物生长营造适宜的小气候环境, 其具有可生产期长、作物产量高、经济和社会效应显著等优点^[1-2]。但设施栽培内部环境长期处于封闭或半封闭状态^[3], 由于缺失自然雨水的淋洗过程, 加之强烈的蒸发、蒸腾作用以及不合理的水肥管理等原因^[4-5], 极易出现土壤酸化、土壤次生盐渍化、土壤理化性质恶化、土壤养分失调、土壤微生物区系破坏、作物连作障碍等系列问题^[6-7], 进而对作物生长、产量及品质产生负面影响。设施土壤质量退化现象在中国北方环渤海和黄淮海等设施蔬菜产业集中省份(如山东省^[7]、河北省^[8]等)以及一些大中城市(如上海市^[9]、哈尔滨市^[10]等)城郊设施蔬菜生产基地表现较为明显, 已成为制约现代设施农业可持续发展的瓶颈^[7,11]。近年来, 随着西安市农业产业

结构的逐步调整和都市型现代农业的发展, 全市以塑料大棚和温室为主的设施栽培面积不断扩大。第三次农业普查数据显示^[12], 2016年年底西安市设施栽培面积已达 $6.41 \times 10^3 \text{ hm}^2$, 其中塑料大棚在全市设施栽培中占据主导地位, 面积占比达到82.22%。周建斌^[13]、许安民^[14]等的研究已经表明, 西安市设施栽培过量施肥现象比较普遍, 土壤养分积累明显, 土壤酸化、次生盐渍化问题突出。冯武焕等^[15]的研究也表明, 西安市设施栽培条件下土壤盐分和硝酸盐累积十分明显, 已对作物生产形成潜在不良影响。基于以上事实, 在西安地区开展设施土壤改良活动兼具现实必要性和紧迫性。

设施土壤改良问题由来已久, 目前仍为研究热点之一, 且大部分研究主要针对土壤次生盐渍化问题开展。总体来看, 设施土壤次生盐渍化改良方法主要包括施用改良剂(含有机肥)、水利工程措施、农艺措施和生物措施等^[11]。以上方法各具特

收稿日期: 2020-11-18

基金项目: 咸阳职业技术学院科研基金项目“4种改良剂防治设施土壤次生盐渍化效果研究”(2020KJC01); 陕西省区域创新能力引导计划项目“大榛子引种示范推广”(2020QFY06-07)

第一作者简介: 高莹(1986—), 女, 山东济宁人, 讲师, 博士研究生, 主要从事农业水肥资源调控的研究。

色,但有些方法操作起来成本较高,且费时费工费力,见效较慢,不利于大面积推广。相比其他方法而言,施用改良剂无疑是最简单、投资小、可持续且见效快的一种方式。目前,施用生物质炭^[16]、蚯蚓粪^[17]、腐殖酸^[18]等在设施土壤次生盐渍化改良方面均有研究涉及。但不同改良剂理化性质及作用机理不尽相同,而且不同区域土壤属性及自然环境不一,导致很难选取一种通用性的土壤改良剂。本研究以西安市塑料大棚土壤改良研究为例,选择了土香香、腐殖酸、富活素、蚯蚓粪4种改良剂,分别探讨了不同改良剂对大棚土壤基本理化性质、盐离子组成、作物产量及品质的影响,旨在筛选出性能较好的土壤改良剂,以期能为西安市设施土壤改良乃至设施农业可持续性发展提供一定的参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验布设于西安市现代农业科技展示中心塑料大棚内。试验地地理坐标为34.071106° N, 108.882640° E,海拔高度为435 m。该区属暖温带半湿润大陆性季风气候区,年均气温15.5℃,年均降水量600 mm,最大平均湿度69.6%,无霜期216天,日照时数1377 h。供试塑料大棚建于2010年,棚内土壤类型为褐土,土壤基本理化性质如表1所示。根据西安市农用地土壤养分含量分级标准^[19],供试大棚土壤养分等级较高,土壤养分累积明显。另外,大棚土壤pH 6.63,和西安市耕地土壤pH 7.18相比,土壤出现酸化现象;土壤电导率为362.24 μ S/cm,根据相关分类标准^[20],土壤已经处于中度次生盐渍化水平。

表1 土壤基本理化性质

| 容重/ (g/cm ³) | 孔隙度/% | pH 值 | 有机质/ (g/kg) | 电导率/ (μ S/cm) | 全氮/ (g/kg) | 碱解氮/ (mg/kg) | 有效磷/ (mg/kg) | 速效钾/ (mg/kg) |
|-----------------------------|-------|------|----------------|-----------------------|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1.38 | 46.66 | 6.63 | 21.22 | 362.24 | 1.66 | 136.61 | 132.03 | 170.84 |

1.2 供试材料

供试甜瓜为新培育品种‘韩金蜜’。供试土壤改良剂及生产厂家基本信息如下:土香香(液剂),渭南顺天集团有限公司生产;腐殖酸原液(液剂),杨凌鼎天济农腐殖酸制品有限公司生产;富活素(液剂),西安秦衡生态农业科技有限公司生产;蚯蚓粪(粉剂),陕西迪隆生态环保技术有限公司生产。土香香是以植物、食用菌等为原料经微生物发酵制得的一种农用酵素,其含有糖类、有机酸、矿物质、维生素、酚类、萜类等营养成分以及一些重要的酶类等生物活性物质。供试腐殖酸原液是从褐煤中用碱液(NaOH)提取后处理的产物,其中腐殖酸含量为9.50%。富活素是采取人工模拟微生物降解的方法,将畜禽粪便、作物秸秆等废弃物降解而后得到的一种土壤液体改良剂,其中腐殖酸(全为黄腐酸)含量超过30%以上。蚯蚓粪是蚯蚓对有机废弃物进行生物降解的产物,其富含腐殖酸、有机质、有益微生物和多种生理活性物质含量。总体而言,4种改良剂理化性质不尽相同,但均含有有机质。

1.3 试验设计

于2018年3月上旬开始育苗,4月1日定植。栽

培方式为传统垄栽,垄宽70 cm,垄距50 cm,株距30 cm。试验设置土香香、腐殖酸、富活素、蚯蚓粪4个改良剂处理和1个空白对照(CK,即不施用改良剂),共计5个试验处理。试验采用完全随机区组设计,每处理重复3次,共计5个小区(长4.8m×宽3.0 m),所有改良剂均于幼苗定植前2个月施入土壤,后间隔一周进行翻耕。考虑试验经费和工作量,各改良剂施用量均参照厂家推荐量,具体施用情况如表2所示。为防止不同小区间肥水侧渗,小区之间用塑料薄膜(埋深50 cm)纵向隔开,其他同农户常规管理。

表2 不同改良剂施用情况

| 处理 | 改良剂 | 施用量/ (t/hm ²) | 施用方法 |
|----|-------|------------------------------|---------------|
| T1 | 土香香 | 0.6 | 稀释200倍后用洒水壶撒施 |
| T2 | 腐殖酸原液 | 0.3 | 稀释200倍后用洒水壶撒施 |
| T3 | 富活素 | 0.6 | 稀释200倍后用洒水壶撒施 |
| T4 | 蚯蚓粪 | 60 | 均匀撒施 |
| CK | — | — | — |

1.4 测定项目与方法

1.4.1 土壤物理和农化性质测定 于实验开始前和甜

瓜拉秧期,采集土壤样品(0~20 cm),前处理后测定pH值、有机质、电导率、全氮、碱解氮、有效磷、速效钾、土壤水溶性阳离子(K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+})以及阴离子(HCO_3^- 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^-)含量。土壤pH值测定使用酸度计;有机质测定采用重铬酸钾-容量法;电导率测定使用电导率仪测定;全氮测定采用凯氏定氮法;碱解氮测定采用碱解扩散法;有效磷测定采用0.5 mol/L $NaHCO_3$ 浸提-钼钼蓝比色法;速效钾测定采用1 mol/L NH_4OAc 浸提-火焰光度计法; K^+ 、 Na^+ 测定采用火焰光度法水溶性钙检测方法, Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 测定采用原子吸收分光光度法, HCO_3^- 测定采用双指示剂-中和滴定法, Cl^- 测定采用硝酸银滴定法, SO_4^{2-} 测定采用硫酸钡比色法, NO_3^- 测定采用紫外分光光度法。另外,于试验开始前和结束时采用环刀法测定土壤容重,进而计算土壤孔隙度。

1.4.2 果实品质指标测定 收获时取样测定可溶性固形物含量、可滴定酸含量和维生素C含量。可溶性固形物含量采用手持糖度计(BX-1)测定;可滴定酸含量采用碱滴定法测定;维生素C含量测定采用2,6-二氯酚测定法测定。

1.4.3 产量相关测定 收获时统计各小区甜瓜数量并称重,最后计算单果重和总产量。同时,用游标卡尺测定果实纵径与横径,计算果形指数。

1.5 数据统计分析

用SPSS 23.0统计软件进行方差分析,并用Excel 2007绘制图形。

2 结果与分析

2.1 不同改良剂对土壤理化性质的影响

土壤容重是指单位体积的自然状态土壤(包括孔隙)的质量,其在一定程度上可反映出土壤的疏松与紧实程度^[21-22]。一般而言,土壤容重越小,表明土壤越疏松;土壤容重越大,表明土壤越紧实^[21]。土壤孔隙度是指一定体积的土壤中,孔隙的体积占整个土壤体积的比例^[21]。实践证明,一般作物适宜的土壤孔隙度大于50%为好^[23]。图1为不同改良剂处理对土壤容重、孔隙度的影响。从图中可以看出,T1、T4处理较CK均能显著降低土壤容重(降幅分别为5.07%和4.35%),并显著提高土壤孔隙度(上

升幅度分别为5.45%和5.12%)至50%以上。T2、T3处理较CK虽也能降低土壤容重(降幅分别为0.72%和2.17%)和提高土壤总孔隙度(升幅分别为0.98%和2.17%),但差异并未达到显著水平。进一步分析表明,试验中不同处理土壤容重与孔隙度呈现显著的线性负相关关系($R^2=0.998$),这说明土壤容重与孔隙度的变化具有反向同步性。综上,就改良土壤容重和孔隙度而言,施用土香香和蚯蚓粪改良效果更好一些。

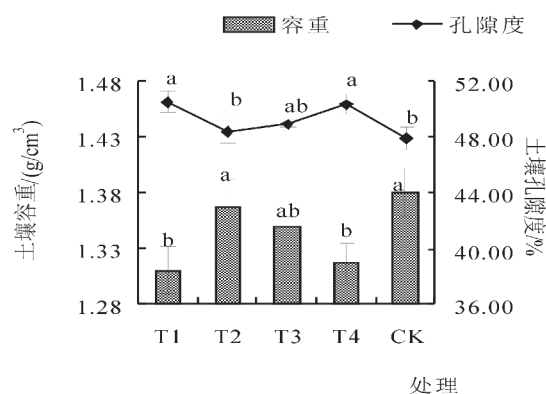


图1 不同改良剂对土壤容重和孔隙度的影响

土壤pH值是反映土壤酸碱状况的重要土壤指标,直接影响土壤养分的存在形态、转化和有效性,进而影响作物的生长发育^[24]。由图2可以看出,CK土壤pH 6.62,介于pH 6.5~7.5之间,酸碱度属中性,但其值明显小于西安市耕地土壤pH 7.80,总体来看有酸化趋势,这主要源于设施土壤的连续栽培。在本试验条件下,施用不同改良剂较CK均能不同程度提高土壤pH值。具体而言,T1、T2处理土壤pH值较CK并无显著性差异,但T3、T4处理土壤pH值显著高于CK,其增幅分别为5.44%和3.47%。总体来看,施用改良剂均能使大棚土壤pH值小幅上升并更接近于pH 7,这在一定程度上缓解了大棚土壤的继续酸化。

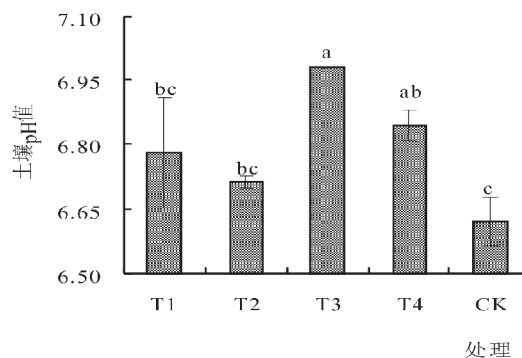


图2 不同改良剂对土壤pH值的影响

2.2 不同改良剂对土壤盐分组成的影响

就CK而言, 土壤中阳离子含量大小规律为 $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$, 其中 Ca^{2+} 含量在统计的4种阳离子总量中占比达74.90%, 是中度次生盐渍化土壤的主导阳离子; 土壤中阴离子含量大小规律为 $\text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{HCO}_3^- > \text{Cl}^-$, 其中 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 含量在统计的4种阴离子总量中占比分别为48.40%和28.15%, 是中度次生盐渍化土壤的主导阴离子。

表3为不同改良剂处理对土壤盐分组成的影响。就土壤盐分中的阳离子变化而言, 与CK相比: T1、T2、T3和T4处理均能大幅显著降低 Ca^{2+} 含量, 降幅分别为69.42%、39.91%、85.86%和65.83%, 且由于各处理条件下 Ca^{2+} 含量在土壤盐分中的阳离子中占比较大, 所以此改良效果意义较大; 各处理 Na^+ 含量有升有降, 但差异并不显著, 表明此改良效果意义不大; T1、T2、T3处理均能显著降低 Mg^{2+} 含量, 但T4处理对 Mg^{2+} 含量影响并不显著; 各处理均能显著降低 K^+ 含量, 降幅分别为44.37%、51.44%、63.65%和28.69%, 但由于各处理条件下 K^+ 含量在全盐组成中的占比均极小, 所以此改良效果意义也不大。总体来看, T1、T2、T3和T4处理较CK均能显著降低土壤盐分中的阳离子总

量, 其降幅分别为58.35%、35.44%、75.52%和51.52%, 尤以T3处理, 即施用富活素改良剂降低土壤盐分中的阳离子总量的效果最为显著。就土壤盐分中的阴离子变化而言, 与CK相比: T1、T3处理均能大幅显著降低 SO_4^{2-} 含量, 而T2、T4处理却使 SO_4^{2-} 含量显著增加; T2处理能显著降低 HCO_3^- 含量, 其余处理均对 HCO_3^- 含量无显著影响; T1、T2、T3和T4处理均能显著降低 NO_3^- 含量, 降幅分别为62.83%、50.42%、87.88%和49.08%, 改良效果较为明显; T1、T3处理能显著降低 Cl^- 含量, 而T2、T4处理对 Cl^- 含量影响并不显著。总体来看, 与CK相比, T2、T4处理对土壤盐分中的阴离子总量影响并不显著, 而T1、T3处理较CK均能显著降低土壤盐分中的阴离子总量, 其降幅分别为34.91%和60.48%, 尤以T3处理, 即施用富活素改良剂的处理降低土壤盐分中的阴离子总量的效果最为显著。

综上所述, T1、T2、T3和T4处理均能大幅显著降低土壤盐分离子总量, 其降幅分别为46.96%、20.65%、68.21%和29.97%, 尤以T3处理, 即施用富活素改良剂的处理降低土壤盐分离子总量的效果最为显著。

表3 不同改良剂对土壤盐分组成的影响 mg/kg

| 处理 | 阳离子 | | | | | 阴离子 | | | | | 离子总量 |
|----|--------------|---------------|------------------|------------------|----------|------------------|---------------|--------------------|-----------------|----------|-----------|
| | K^+ | Na^+ | Ca^{2+} | Mg^{2+} | 合计 | HCO_3^- | Cl^- | SO_4^{2-} | NO_3^- | 合计 | |
| T1 | 10.87 bc | 71.50 ab | 123.68 d | 18.84 b | 224.89 d | 103.27 a | 14.42 bc | 161.13 c | 53.41 b | 332.22 b | 557.12 d |
| T2 | 9.49 c | 77.42 ab | 243.01 b | 18.68 b | 348.60 b | 70.57 b | 20.26 ab | 322.80 a | 71.24 b | 484.86 a | 833.46 b |
| T3 | 7.10 c | 58.38 b | 57.20 e | 9.50 c | 132.18 e | 92.94 ab | 6.98 c | 84.38 d | 17.41 c | 201.71 c | 333.89 e |
| T4 | 13.94 b | 80.64 a | 138.20 c | 28.97 ab | 261.75 c | 88.16 ab | 19.97 ab | 292.53 a | 73.17 b | 473.82 a | 735.58 c |
| CK | 19.54 a | 73.73 ab | 404.42 a | 42.24 a | 539.93 a | 96.38 a | 23.35 a | 247.03 b | 143.69 a | 510.44 a | 1050.37 a |

2.3 不同改良剂对土壤电导率的影响

土壤电导率是反映土壤溶液中离子成分总质量浓度(全盐量)的指标, 反映了在一定水分条件下土壤盐分的实际状况以及土壤中可被植物吸收利用的总养分状况^[3,25]。从图4中可以看出, 所有改良剂处理较CK均能显著降低土壤电导率。进一步的分析表明, T1、T2、T3、T4处理条件下, 土壤电导率较CK(373.50 $\mu\text{S}/\text{cm}$)分别降低189.45、92.85、283.45、132.45 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 降幅分别达到50.72%、24.86%、75.89%和35.46%, 其中T3处理, 即施用富

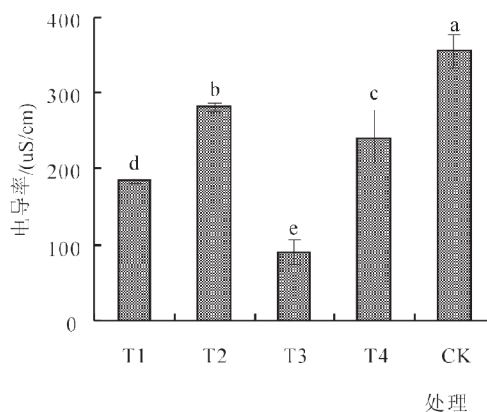


图3 不同改良剂对土壤电导率的影响

活素改良剂的处理降低土壤电导率的效果最佳。进一步的分析还发现,不同处理土壤电导率与土壤盐分离子总量呈显著的线性正相关关系($R^2=0.996$),这在一定程度上说明了土壤电导率与土壤盐分离子总量在一定范围内具有正向同步性。

2.4 不同改良剂对甜瓜产量及产量构成因素的影响

从表4中可以看出,不同改良剂处理对甜瓜产量及产量构成因素影响程度不一。单果重方面,T1、T2、T3和T4处理均显著大于CK,且较CK分别提高了4.71%、5.31%、7.24%和11.31%。进一步的分析表明,T1、T2处理单果重差异不显著,且均显著小于T3和T4处理,而T4处理的单果重显著大于T3处理。果形指数也叫纵横比,即果实纵径与横径的比值。在本试验条件下,所有处理甜瓜的果形指数虽有差异,但并未达到显著性水平,说明不同处理对甜瓜果形指数无明显影响。产量方面,T1、T2、T3和T4处理均高于CK,且较CK分别增产7.49%、5.12%、14.37%和21.01%。进一步分析发现,T1、T2处理甜瓜产量差异不显著,但其均显著小于T3和T4处理,而T4处理的甜瓜产量显著大于T3处理,这与不同处理间单果重的差异具有相似性。进一步的分析表明,所有改良剂处理均能显著提高甜瓜单果重和产量,且甜瓜单果重与和产量呈现显著的线性正相关关系($R^2=0.927$)。但由于所有处理间的果形指数均无显著性差异,这说明单果重直接决定了产量的大小。总体来看,不同改良剂处理虽对甜瓜果形指数无明显影响,但较CK均能显著提高单果重和产量,尤以T4处理即施用蚯蚓粪的增产效果最佳。

表4 不同改良剂对甜瓜产量及产量构成因素的影响

| 处理 | 果形指数 | 单果重/g | 产量/(t/hm ²) |
|----|--------|----------|-------------------------|
| T1 | 1.33 a | 422.47 c | 56.71 c |
| T2 | 1.34 a | 424.92 c | 55.46 c |
| T3 | 1.32 a | 432.69 b | 60.34 b |
| T4 | 1.31 a | 449.10 a | 63.84 a |
| CK | 1.30 a | 403.48 d | 52.76 d |

2.5 不同改良剂对甜瓜品质的影响

表5为不同改良剂对甜瓜各个品质指标的影响,从表中可以看出,不同改良剂处理对甜瓜各个品质指标影响不一。糖度和酸度是评价甜瓜品质的重要指标,直接影响甜瓜品质^[26]。其中可溶性固形

物主要由糖(葡萄糖、蔗糖和果糖)组成^[26];可滴定酸即果实中的所有酸性成分的总量,它包括未离解的浓度和已离解的酸的浓度。一般常用固酸比来表示可溶性固形物含量与可滴定酸含量的比值,果实固酸比越大,表明果实品质越好。本试验中,T1、T3和T4处理条件下可溶性固形物含量显著高于CK,而T2显著低于CK,所有处理中T3处理的可溶性固形物含量最高;另外,所有处理甜瓜的可滴定酸含量并无显著性差异。就固酸比而言,T1、T3处理显著高于CK,而T2、T4处理显著低于CK。维生素C即抗坏血酸,其是甜瓜的一个重要品质指标,同时也是一些酶、自由基的清除剂及一些物质生物合成的底物等,在植物新陈代谢过程中具有重要作用^[26-28]。本试验中,T3处理的维生素C含量显著高于其他处理,而T1、T2和T4处理与CK差异并未达到显著水平。总体看来,所有处理中T3处理的甜瓜品质较好一些。

表5 不同改良剂对甜瓜品质的影响

| 处理 | 可溶性固形物/% | 可滴定酸/% | 固酸比 | 维生素C/(mg/kg) |
|----|----------|--------|----------|--------------|
| T1 | 15.51 b | 0.15 a | 103.40 a | 69.95 bc |
| T2 | 13.27 e | 0.17 a | 78.06 c | 87.31 b |
| T3 | 16.17 a | 0.16 a | 101.06 a | 146.21 a |
| T4 | 15.08 c | 0.19 a | 79.37 c | 43.93 c |
| CK | 13.46 d | 0.16 a | 84.13 b | 69.73 bc |

3 讨论与结论

本试验过程中,设置了4种改良剂处理。其中蚯蚓粪和腐殖酸在改良设施土壤理化性质方面的良好功效目前已被证实^[17-18];酵素虽在污水处理研究中被广泛应用^[29],但在农业生产方面研究甚少;富活素自身富含腐殖酸,理论上也具有改良土壤的功效,但目前有关其的研究报道还很少。开展本研究,一方面可以验证蚯蚓粪和腐殖酸的改良效果,另一方面还可以初步探索酵素和富活素改良土壤的效果,以进一步拓宽设施土壤改良剂种类,并为新的改良剂的推广应用奠定一定的基础。

以往研究大多针对已经出现严重次生盐渍化的设施土壤进行开展,且研究侧重于发生重度次生盐渍化后的土壤修复技术探讨,属于事后防御。本研

究则是基于塑料大棚土壤开始出现由低盐度向中盐度发展趋势后及时开展的一项改良研究,属于适时防御,可为中盐度的设施土壤修复提供一定的理论依据。另外,本试验在探讨各改良剂改良土壤效果时,只以0~20 cm耕层土壤为研究对象,原因有二。一方面,在改良剂处理条件下,耕层土壤的理化性质变化最为明显,改良效果最好的即为此层^[30];另一方面,大部分作物的绝大部分根系分布于此层,在筛选土壤改良剂时,重点分析耕层土壤改良效果对于农业生产意义重大^[31]。

需要说明的是,鉴于试验经费和工作量,且考虑到各厂家的改良剂推荐施用量也是建立在大量试验基础上,故本研究未讨论不同施用量对不同改良剂试验结果的影响,各改良剂施用量均直接参照改良剂厂家推荐量。在本试验条件下,研究结果表明,4种改良剂处理均能在一定程度上降低塑料大棚土壤容重,提高土壤孔隙度,并小幅提升土壤pH值。分析认为,改良剂施入土壤后,其在直接增加土壤腐殖酸和有机质的基础上,进一步改善了土壤的物理结构,增大了孔隙度,降低了土壤容重。这与农明英^[23]、王秋灵^[32]等的研究结果一致。同时,腐殖酸和有机质由于兼有酸性官能团和碱性官能团^[21],能增强土壤的酸碱缓冲能力,并调节大棚土壤pH值,一定程度上防止了设施土壤的继续酸化。另外,本试验结果还表明,不同改良剂对土壤基本理化性质的影响程度不尽相同,分析认为,这种差异可能主要与不同改良剂自身含有的其它生物活性物质有关,具体调节机制尚需进一步的实证研究。

目前,土壤次生盐渍化已成为设施栽培的“头号”障碍因子^[33],其对农业生产造成的负面影响是多方面的。土壤次生盐渍化会导致土壤理化性质变劣,改变土壤微生物区系,严重影响微生物的代谢,降低土壤酶活性,导致土壤养分释变慢,土壤肥力降低,同时还会增加土壤盐分浓度,提高土壤渗透压,致使作物根系出现生理干旱,最终负面影响作物的生长发育、品质及产量^[34-35]。本试验供试大棚土壤次生盐渍化程度为中度水平,4种改良剂较CK均能大幅降低土壤电导率和土壤盐分离子总量,分析原因有三。第一,与土壤结构的改良有一定关系。土壤改良剂在降低土壤容

重、提高孔隙度的同时,一定程度上疏通了盐分随灌溉水下渗的通道,自然能增加盐分的淋失,从而在一定程度上降低了土壤盐分和电导率。第二,与酸性物质有关。一方面,腐殖酸原液、富活素、蚯蚓粪3种改良剂均含有腐殖酸,其可直接溶解土壤中的阴离子,直接达到脱盐效果;另一方面,除腐殖酸外的3种改良剂均为有机型改良剂,施入土壤后,有机质在分解过程中产生各种有机酸,这些酸性物质也会加速溶解土壤中的阴离子,进而有利于脱盐。第三,与腐殖酸的胶体离子代换反应和螯合反应有关。一方面,腐殖酸原液、富活素、蚯蚓粪3种改良剂本身就含有腐殖酸;另一方面,除腐殖酸原液外另外的3种改良剂均为有机物料,其在土壤中降解后会产生腐殖酸。腐殖酸由于羧基、酚羟基、醇羟基等功能基的解离以及胺基的质子化^[21,36],使其具有两性胶体的特征,可同时吸附阴、阳盐基离子,这可以很好的解释改良剂的降盐效果和阴阳盐基离子的下降。同时,腐殖酸上的羧基等功能基可与 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 等金属阳离子结合形成络合物,尤其对 Ca^{2+} 的吸附能力较大^[37],所以各改良剂处理条件下 Ca^{2+} 含量下降均特别明显。本研究还发现,富活素处理条件下土壤盐分的阳离子和阴离子含量下降最为明显,降幅分别达到75.52%和60.48%,同时总盐下降68.21%。分析认为富活素的这种大幅降盐效果与其中含有的高量黄腐酸有关。本研究中4种改良剂中富活素的腐殖酸含量最高,且其中30%的腐殖酸几乎为黄腐酸,而黄腐酸的良好降盐效果已被前人证实。高婧^[38]指出,高量黄腐酸处理较对照能使表层土壤盐分降低95%;而王晓洋^[39]也指出,施用黄腐酸能使土壤盐分降低30%。前人研究结果已经表明,在同等的阳离子浓度条件下,分子量越小的腐殖酸与阳离子结合能力越强^[36,40]。而腐殖酸主要包括黄腐酸、棕腐酸和黑腐酸,其中黄腐酸的分子量最小,故黄腐酸对阳离子的吸附作用最强,所以阳离子含量降低特别明显。而黄腐酸对阴离子的明显降低作用,笔者认为其是依靠黄腐酸自身胶体的强大吸附功能以及强酸性的溶解作用来实现的。另外,本研究4种改良剂处理条件下,土壤阴离子中的 NO_3^- 含量下降极为明显,下降幅度介于49.08%~87.88%,这在一定程度

上也为设施土壤硝酸盐积累问题提供了一定的解决思路。分析原因,可能由于改良剂能促进作物根、茎、叶吸收土壤中的 NO_3^- ,从而使得土壤 NO_3^- 含量下降^[18,41],但具体原因需要进一步的探究。

本研究还表明,不同改良剂处理降低了土壤容重,增大了孔隙度,调节了土壤pH,并显著降低了土壤盐分,整体优化了作物赖以生存的土壤环境,进而会直接影响作物对养分的吸收及生长发育等方面,并最终将这种影响传递表达在作物的产量及品质上。与CK相比,不同改良剂增产效果明显,尤以施用蚯蚓粪和富活素增产效果最佳,产量增幅分别达到14.37%和21.01%。分析认为,试验大棚土壤养分等级较高,增产效果可能与不同改良剂对土壤养分的活化程度相关,但需进一步的试验探究。就作物品质而言,所有改良剂均能显著提高甜瓜的可溶性固形物。分析认为,这与腐殖酸及外源有机材料的输入有关^[18,23]。总体来看,对比4种改良剂处理条件下甜瓜的品质发现,富活素处理条件下可溶性固形物和维生素含量均显著高于其他处理,这主要与富活素中较高的腐殖酸(黄腐酸)含量密切相关。但相较CK,4种改良剂处理条件下甜瓜维生素含量却有升有降,具体原因尚需进一步的研究。

总体看来,和常规处理相比,经过一季甜瓜栽培后,土香香、腐殖酸、富活素和蚯蚓粪4种改良剂处理均能不同程度改善土壤基本理化性质,显著降低土壤电导率和盐分,一定程度上影响甜瓜的生长及品质,并最终促使作物产量增加。本研究中,在直接采用厂家推荐量条件下,就改土、降盐、提质、增产等综合效果来看,施用富活素改良剂效果最佳,尤其是在降盐方面的卓越表现,无疑给设施土壤次生盐渍化防治带来了福音,推广潜力巨大。但是,富活素在设施农业中的土壤改良应用研究目前还处于起步阶段,其用法、用量尚不十分清楚。另外,本试验只进行了一季栽培,而设施栽培复种指数极高,连续施用1年以上后土壤的理化性质、盐分、果实品质及产量如何变化;如果中断施用后,土壤是否会马上会出现“返盐”现象;本研究供试土壤次生盐渍化水平为中度,重度次生盐渍化水平下富活素降盐效果是否还会如此显著……。要回答好以上问题,必须做进一步的研究分析。

参考文献

- [1]陈为京,陈建爱,杨焕明.土壤生态改良剂T1010对寿光日光温室土壤环境的改良效果[J].中国生态农业学报,2009,17(2):399-401.
- [2]蔡祖聪.我国设施栽培养分管理中待解的科学和技术问题[J].土壤学报,2019,56(1):36-43.
- [3]张洁,常婷婷,邵孝侯.暗管排水对大棚土壤次生盐渍化改良及番茄产量的影响[J].农业工程学报,2012,28(3):81-86.
- [4]文方芳.种植年限对设施大棚土壤次生盐渍化与酸化的影响[J].中国土壤与肥料,2016,(4):49-53.
- [5]张绪美,沈文忠,胡青青,等.太仓市郊大棚菜地土壤盐分累积与分布特征研究[J].土壤,2017,49(5):987-991.
- [6]牛亚茹,付祥峰,邱良祝,等.施用生物质炭对大棚土壤特性、黄瓜品质和根结线虫病的影响[J].土壤,2017,49(1):57-62.
- [7]李涛,于蕾,吴越,等.山东省设施菜地土壤次生盐渍化特征及影响因素[J].土壤学报,2018,55(1):100-110.
- [8]杜连凤,刘文科,刘建玲.河北省蔬菜大棚土壤盐分状况及其影响因素[J].土壤肥料,2005,(3):17-19,35.
- [9]唐冬,毛亮,支月娥,等.上海市郊设施大棚次生盐渍化土壤盐分含量调查及典型对应分析[J].环境科学,2014,35(12):4705-4711.
- [10]赵凤艳,姚永雨.大棚菜地土壤理化特性的研究[J].土壤肥料,2000(2):11-13.
- [11]史静,张乃明,包立.我国设施农业土壤质量退化特征与调控研究进展[J].中国生态农业学报,2013,21(7):787-794.
- [12]西安市第三次全国农业普查领导小组办公室,西安市统计局.西安市第三次全国农业普查主要数据公报[R].2018.
- [13]周建斌,翟丙年,陈竹君,等.西安市郊区日光温室大棚番茄施肥现状及土壤养分累积特性[J].土壤通报,2006,37(2):287-290.
- [14]许安民,张英利,李紫燕,等.西安地区日光温室土壤养分与盐分累积状况研究[J].干旱地区农业研究,2007,25(6):193-196.
- [15]冯武焕,吕爽,王虎,等.种植年限对西安菜田土壤肥力、盐渍化及酸碱度的影响[J].农学学报,2017,7(3):24-30.
- [16]韩召强,陈效民,曲成闯,等.生物质炭对黄瓜连作土壤理化性状、酶活性及土壤质量的持续效应[J].植物营养与肥料学报,2018,24(5):1227-1236.
- [17]Gutiérrez-Miceli Federico A, Santiago-borraz Jorge, Montes Molina J A, et al. Vermicompost as a soil supplement to improve growth, yield and fruit quality of tomato (*Lycopersicon esculentum*)[J].

- Bioresource Technology,2007,98(15):2781-2786.
- [18]张继舟,袁磊,马献发.腐植酸对设施土壤的养分、盐分及番茄产量和品质的影响研究[J].腐植酸,2008,(3):19-22.
- [19]王虎,吕爽,王富荣,等.西安市耕地地力及适宜性评价[M].北京:中国农业出版社,2017,72.
- [20]冯武焕,吕爽,王虎,等.西安市菜田施肥现状与土壤肥力状况[J].西北农业学报,2016,25(12):1004-1389.
- [21]黄昌勇,徐建明.土壤学(第三版)[M].北京:中国农业出版社,2011,32-49.
- [22]张绪美,曹亚茹,沈文忠,等.微生物肥对设施土壤次生盐渍化和番茄生产的影响[J].中国土壤与肥料,2019,(5):119-126.
- [23]农明英,张乃明,史静,等.外源有机物料对次生盐渍化大棚土壤的改良效果[J].中国土壤与肥料,2013,(6):6-10.
- [24]张济世,于波涛,张金凤,等.不同改良剂对滨海盐渍土土壤理化性质和小麦生长的影响[J].植物营养与肥料学报,2017,(3):704-711.
- [25]代立兰,张怀山,夏曾润,等.有机废弃物菌糠和醋糟对次生盐渍化土壤修复效果研究[J].干旱地区农业研究,2014,32(1):218-222.
- [26]康利允,常高正,高宁宁,等.不同氮、钾肥施用量对甜瓜产量和营养品质的影响[J].果树学报,2018,35(08):95-103.
- [27]Davey, Mark W, Montagu, et al.Plant-ascorbic acid: chemistry, function, metabolism, bioavailability and effects of processing[J].Journal of the Science of Food & Agriculture,2000,80(7):825-860.
- [28]Nele Horemans, Christine H F, Geert Potters, et al. Ascorbate function and associated transport systems in plants[J].Plant Physiology & Biochemistry,2000,38(7-8):531-540.
- [29]李显月,闫玉珍,雷瑛,等.环保酵素对生活污水中氨氮和总氮的净化效果探究[J].环境保护前沿,2019,9(2):122-128.
- [30]王金龙,阮维斌.4种填闲作物对天津黄瓜温室土壤次生盐渍化改良作用的初步研究[J].农业环境保护,2009,28(9):1849-1854.
- [31]蔺海明,贾恢先,张有福,等.毛苕子对次生盐碱地抑盐效应的研究[J].草业学报,2003,12(4):58-62.
- [32]邢鹏飞,高圣超,马鸣超,等.有机肥替代部分无机肥对华北农田土壤理化性质、酶活性及作物产量的影响[J].中国土壤与肥料,2016(3):98-104.
- [33]谢文军,张衍鹏,张森,等.滨海盐渍化土壤理化性质与小麦生产间的关系[J].土壤学报,2015,52(2):461-466.
- [34]余海英,李廷轩,周健民.设施土壤次生盐渍化及其对土壤性质的影响[J].土壤,2005,37(6):581-586.
- [35]张金锦,段增强.设施菜地土壤次生盐渍化的成因、危害及其分类与分级标准的研究进展[J].土壤,2011,43(3):361-366.
- [36]成绍鑫.腐植酸类物质概论[M].北京:化学工业出版社,2007,129-158.
- [37]闫淑霞,刘春花,等.腐殖酸的结构特性与应用研究进展[J].天然产物研究与开发,2017,29(3):145-150.
- [38]高婧,杨劲松,姚荣江,等.不同改良剂对滨海重度盐渍土质量和肥料利用效率的影响[J].土壤,2019,51(3):524-529.
- [39]王晓洋,陈效民,李孝良,等.不同改良剂对滨海盐渍土水盐特性的影响[J].水土保持通报,2013,33(1):261-264.
- [40]Christl I, Milne C J, Kinniburgh D G, et al. Relating Ion Binding by Fulvic and Humic Acids to Chemical Composition and Molecular Size. 2. Metal Binding[J].Environmental Science & Technology,2001,35(12):2512-2517.
- [41]赵征宇,孙永红,赵明,等.有机无机肥配施对土壤氮素转化和番茄产量品质的影响[J].华北农学报,2013,28(1):208-212.

[责任编辑 王军利]