

不同改良措施对设施蔬菜土壤肥力和番茄品质的影响

范拴喜^{1,2}, 崔佳茜¹, 李 丹¹, 付林涛³, 赫晓云⁴, 闻 杰⁵

(1. 宝鸡文理学院地理与环境学院, 宝鸡 721013; 2. 陕西省灾害监测与机理模拟重点实验室, 宝鸡 721013;
3. 宝鸡市生态环境局凤县分局, 宝鸡 721700; 4. 宝鸡市环保宣教信息中心, 宝鸡 721004;
5. 陕西秦西农林开发有限责任公司, 宝鸡 721600)

摘 要: 为探明不同改良措施对设施蔬菜土壤及番茄果实品质的影响, 该研究以陕西省太白县秦西蔬菜种植示范园大棚为研究试点, 选取草木灰、生物炭、EM 菌 (Effective Microorganisms) 3 种改良剂, 设置了 EM 菌 (E)、生物炭 (S)、生物炭+EM 菌 (SE)、草木灰 (C)、草木灰+生物炭 (CS)、草木灰+生物炭+EM 菌 (CSE) 和不施加任何改良剂的空白对照 (CK) 7 个处理。结果表明: 各处理均能改善土壤理化性质, 其中草木灰+生物炭+EM 菌 (CSE) 处理在提高土壤 pH 值、有机质、全氮、碱解氮、全磷、速效磷、全钾及速效钾含量方面效果最显著, 与 CK 处理相比, 分别提高了 23.06%、130.94%、44.34%、52.78%、67.72%、126.71%、16.24%、119.48%; 与 CK 处理相比, 各种配施改良剂处理的植株全氮含量显著高于单施改良剂处理, 草木灰+生物炭+EM 菌 (CSE) 处理最显著, 提高了 25.17%; 各处理的植株全磷含量较 CK 处理均显著增加, 草木灰+生物炭+EM 菌 (CSE) 处理效果最明显, 且草木灰+生物炭+EM 菌 (CSE) 处理是 CK 处理的 2.09 倍; 除 EM 菌 (E) 处理外, 其他 5 个处理均能显著提高植株全钾含量, 草木灰+生物炭+EM 菌 (CSE) 处理效果最显著, 且草木灰+生物炭+EM 菌 (CSE) 处理是 CK 处理的 1.44 倍; 但 6 个处理均对植株灰分无显著影响; 与 CK 处理相比, 草木灰+生物炭+EM 菌 (CSE) 处理的糖酸比最高, 达 69.23%; 与 CK 处理相比, 各处理的土壤综合肥力指数均显著提高, 而草木灰+生物炭+EM 菌 (CSE) 处理效果最显著; 通过对各处理的综合得分均值进行比较, 草木灰+生物炭+EM 菌 (CSE) 处理得分最高。综合分析得出, 施加草木灰+生物炭+EM 菌能有效改善太白县高山设施蔬菜种植土壤的酸化、肥力等, 提高西红柿的品质。

关键词: 设施; 农业; 土壤; 改良; 太白县

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2021.16.008

中图分类号: S156.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2021)-16-0058-07

范拴喜, 崔佳茜, 李丹, 等. 不同改良措施对设施蔬菜土壤肥力和番茄品质的影响[J]. 农业工程学报, 2021, 37(16):

58-64. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2021.17.008 http://www.tcsae.org

Fan Shuanxi, Cui Jiaqian, Li Dan, et al. Effects of different improvement measures on soil fertility and the tomato quality of facilities vegetables[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2021, 37(16): 58-64. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2021.17.008 http://www.tcsae.org

0 引 言

设施农业在国内外农业结构调整中发挥重要作用。陕西省是中国西北地区主要的设施蔬菜基地之一, 设施面积约占西北地区的 15%^[1]。但高肥的水肥管理模式、连作与重茬等不合理的种植方式, 导致部分土壤理化和生物性状失调、连作障碍明显、土传病虫害频发、蔬菜品质与产量逐年下降等一系列问题^[2], 严重影响设施农业产品品质与区域农业可持续发展。因此, 亟需通过施加不同改良剂来解决设施农业土壤问题。

近年来, 土壤改良剂及其改良效果一直是农业研究的热点。如草木灰是一种来源广泛、成本低廉的传统农家热性速效钾肥, 含大量的钾、钙、磷等营养元素, 施入后能调节土壤酸碱度、提高土壤肥力和活性、增大土

壤颗粒的间隙, 同时草木灰具有消毒和杀菌的作用, 防控作物猝倒病、立枯病、灰霉病等病害的发生^[3]。生物炭含碳量约 50%, 孔隙结构丰富, 比较表面积大, 理化性质稳定, 施入后能改善土壤理化性质、增加土壤透气性、提升土壤肥力和提高蔬菜产量^[4-6]。EM (Effective Microorganisms) 菌是由光合菌、放线菌、酵母菌、乳酸菌等 80 多种有益微生物组成的复合微生物, 能有效的加速土壤有机质的分解、增加土壤中微生物数量和活性、防治病虫害, 还可以促进植物生长等^[7-10]。

目前, 施用单一土壤改良剂的研究较多, 而将不同改良剂混合施用, 综合分析其对设施农业土壤理化性质及西红柿品质的研究鲜有报道。因此, 本文选取陕西省宝鸡市太白县大棚作为研究试点, 探究草木灰、生物炭、EM 菌 3 种改良剂单施及配施对设施农业土壤理化性质及西红柿品质的影响, 以期筛选出适合太白县高山设施蔬菜种植区域土壤面临的一系列问题奠定基础, 以期助力太白县全面推进乡村振兴加快农业农村现代化建设, 也为全国设施农业土壤问题改良提供思路和借鉴依据。

收稿日期: 2021-05-24 修订日期: 2021-07-16

基金项目: 陕西省科技厅自然科学基金项目 (2020SF-438); 宝鸡文理学院博士启动资金资助; 宝鸡文理学院重点项目 (YJSCX20ZD04)。

作者简介: 范拴喜, 博士, 副教授, 研究方向为土壤污染评估与修复研究。

Email: fanshuanxi@163.com

1 材料与方法

1.1 试验地概况

本研究以陕西省宝鸡市太白县秦西示范园蔬菜大棚土壤为试验点，该地位于太白县中部（33°38'13"~34°09'55"N，107°03'00"~107°46'40"E）。太白县地形为中间高、南北低，具有大陆性季风气候与高山气候相间的气候类型，年平均气温 7.6℃，年降水量 700~1 000 mm，土壤以棕壤、潮土、淤土为主。太白县 86% 的耕地种植蔬菜，截止 2020 年全县蔬菜种植面积约 6 666.67 hm²，种植的反季节高山蔬菜畅销全国，远销欧洲、北美、东南亚等国际市场。但不合理的耕作及管理模式，导致土壤酸化、板结、养分不均，蔬菜质量和产量降低等一系列问题。

试验地土壤的基础性质为容重 1.82 g/cm³、孔隙度 30.68%、pH 值 5.49、有机质 25.04 g/kg，全氮、全磷和全钾质量比分别为 2.37、0.79、21.09 g/kg，碱解氮、速效磷和速效钾质量比分别为 161.95、120.14、118.60 mg/kg。

1.2 试验设计

本试验于 2020 年在太白县秦西示范园 7# 蔬菜大棚开始实施。试验设置 EM 菌（E）、生物炭（S）、生物炭+EM 菌（SE）、草木灰（C）、草木灰+生物炭（CS）、草木灰+生物炭+EM 菌（CSE）以及不施加任何改良剂的空白参照（CK）7 个处理，每个处理 3 个重复，各区域面积均为 166 m²。其中各处理中改良剂施用量均为：EM 菌（水菌比）43.8：1，生物炭 5 310 kg/hm²，草木灰 2 660 kg/hm²。种植作物为西红柿，采用示范园种植的品种“普罗旺斯”。7 月 15 日将草木灰施于包含其处理的土壤表面，人工翻耕深度约为 30 cm，8 月 1 日将生物炭和 EM 菌分别施于包含其处理的土壤表面，人工翻耕深度约为 30 cm。8 月 15 日栽种秧苗，株距 30 cm，行距 40 cm。在西红柿生长的整个周期内使用膜下滴灌方式，保持各区域管理一致。

1.3 样品采集与分析

本次田间试验从土壤改良前到果实收获后共进行了 2 次土壤样品采集，使用“S”型采样方法采集，用土钻采取 0~20 cm 的土样作为试验样品，每个处理布设 6 个采样点，共 36 个土样，分别装入样品袋中，做好标记，带回实验室，挑出样品中植物根系与石子杂物等，置于

样品处理室自然风干。将风干后的样品研磨、过筛（孔径 1 mm），装入样品袋中，用于后续测定土壤 pH 值、有机质、全氮、碱解氮、全磷、速效磷、全钾和速效钾的含量。

1.4 测定项目及方法

土壤分析方法^[11]：pH 值采用电位法测定；有机质含量采用重铬酸钾容量法-外加热法测定；全氮含量采用混合加速剂（K₂SO₄：CuSO₄：Se=100：10：1）和浓硫酸消煮-凯氏定氮法测定；碱解氮含量采用碱解扩散法测定；全磷含量采用 NaOH 熔融-钼锑抗比色法测定；速效磷含量采用 0.5 mol/L NaHCO₃ 法测定；全钾含量采用 NaOH 熔融-火焰光度法测定；速效钾含量采用 NH₄OAc 浸提-火焰光度法测定。

植株分析方法^[11]：全氮含量采用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮-凯氏定氮仪测定；全磷含量采用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮-钼锑抗比色法测定；全钾含量采用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮-火焰光度法测定。西红柿果实：水溶性糖采用酸水解铜还原直接滴定法（HCL 转化）测定；总酸度采用 NaOH 滴定法测定。

1.5 数据计算

土壤综合肥力指数（Soil Integrated Fertility Index, IFI）：本研究选用土壤 pH 值、有机质、全氮、碱解氮、全磷、速效磷、全钾及速效钾作为分肥力指标，计算分肥力系数，利用修正的内梅罗公式计算土壤综合肥力指数^[12]。

1) 分肥力指数 IFI_i 的计算

分肥力指数 IFI_i 的计算公式如下：

$$IFI_i = \begin{cases} X / X_a, & X \leq X_a \\ 1 + (X - X_a) / (X_c - X_a), & X_a < X \leq X_c \\ 2 + (X - X_c) / (X_p - X_c), & X_c < X \leq X_p \\ 3, & X > X_p \end{cases} \quad (1)$$

式中 IFI_i 为分肥力系数；X 为相应属性测定值；X_a 为分级标准下限；X_p 为分级标准上限；X_c 为介于分级标准上、下限间（表 1）。

2) 综合土壤肥力指数 IFI 的计算：

$$IFI = \sqrt{\frac{(IFI_{i\text{平均}})^2 + (IFI_{i\text{最小}})^2}{2}} \times \left(\frac{n-1}{n} \right) \quad (2)$$

式中 IFI_{i 平均} 为土壤各属性分肥力的均值；IFI_{i 最小} 为土壤各属性分肥力的最小值；n 为评价指标个数。

表 1 土壤各属性的分级标准值

Table 1 The grading standards of soil properties

分级 Classification	pH 值 pH value	有机质 Organic material/ (g·kg ⁻¹)	全氮 Total nitrogen/ (g·kg ⁻¹)	碱解氮 Available nitrogen/ (mg·kg ⁻¹)	全磷 Total phosphorus/ (g·kg ⁻¹)	速效磷 Available phosphorus/(mg·kg ⁻¹)	全钾 Total potassium/ (g·kg ⁻¹)	速效钾 Available potassium/ (mg·kg ⁻¹)
X _a	4.5	20	1.0	90	0.6	10	15	100
X _c	6.5	30	1.5	120	0.8	20	20	150
X _p	8.5	40	2.0	150	1.0	40	25	200

注：X_a 为分级标准下限，X_p 为分级标准上限，X_c 为介于分级标准上、下限间，主要参考第二次全国土壤普查标准。

Note: X_a is the lower limit of the classification standard, X_p is the upper limit of the classification standard, X_c is between the upper and lower limits of the classification standard, mainly referring to the second National soil census standard.

1.6 试验仪器

主要试验仪器有：电热鼓风干燥箱（101-OA，天津

天泰仪器有限公司），台式恒温振荡器（TH-320，上海精宏试验设备有限公司），马弗炉（SX2-10-12RY，上海

茸研仪器有限公司), 电子天平 (BSA224S, 赛多利斯科学仪器有限公司), 精密增力电动搅拌器, 旋片式真空泵 (2XZ-2, 北京科伟永兴仪器有限公司), 原子吸收分光光度计 (AA6800, 岛津香港有限公司), 精密酸度计 (VZ8685BZ, 衡欣科技股份有限公司), 紫外分光光度计 (UV-2102C, 尤尼柯上海仪器有限公司), 石墨消解仪 (SH402, 济南海能仪器股份有限公司), 数显恒温油浴锅 (HH-S, 江苏科析仪器有限公司), 凯氏定氮仪 (K9860, 济南海能仪器股份有限公司), 便携式酸度计 (PHB-5, 杭州雷磁分析仪器厂)。

1.7 数据处理

采用 Microsoft Excel 2010 软件进行数据处理, 用 Origin 2018 绘图, 利用 SPSS 25.0 软件对数据进行单因素方差分析及主成分分析, 采用 LSD 法进行差异显著性检验 ($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同处理对土壤 pH 值、全氮、全磷、全钾的影响

土壤酸碱性是土壤肥力及作物生长状况的重要参考指标。酸性土壤易滋生真菌, 增加蔬菜根际病害, 尤其是十字花科蔬菜的根肿病以及根线虫病、茄果类蔬菜的青枯病与黄萎病。由表 2 可知, 与 CK 处理相比, 各处理土壤 pH 值均显著升高, 增幅 0.58~1.28, 表明各处理在一定程度上改善了土壤酸化问题, CSE 措施对 pH 影响最大, 提高了 23.06%。这主要是草木灰、生物炭和 EM 菌共同作用的结果。草木灰中含有大量的碳酸盐, 其与土壤中水分发生水解反应可以有效的改善土壤酸化问题^[13]; 生物炭表面具有酚基、羧基和羟基, 它们与土壤溶液中的 H^+ 离子结合, 降低土壤溶液中的 H^+ 浓度, 提高土壤 pH 值^[14]; 而 EM 菌中多种微生物代谢产生了大量氨基酸, 其阴阳电解质具有酸碱缓冲作用, 提高了土壤 pH 值^[15]。

表 2 不同处理对土壤 pH、全氮、全磷、全钾的影响

Table 2 Effects of different treatments on soil of pH, total nitrogen, total phosphorus and total potassium

处理 Treatment	pH 值 pH value	全氮 Total nitrogen/ (g·kg ⁻¹)	全磷 Total phosphorus/ (g·kg ⁻¹)	全钾 Total potassium/ (g·kg ⁻¹)
CK	5.55±0.06d	2.21±0.33b	1.27±0.08d	24.38±0.37d
E	6.13±0.15c	2.51±0.08b	1.85±0.08bc	24.40±0.40d
S	6.20±0.10c	2.58±0.34b	1.96±0.07b	24.39±0.09d
SE	6.77±0.12a	2.38±0.03b	1.76±0.13c	25.09±0.14c
C	6.40±0.01b	2.85±0.32ab	1.94±0.13bc	27.53±0.10b
CS	6.40±0.01b	3.13±0.31a	2.15±0.15a	28.19±0.16a
CSE	6.83±0.12a	3.19±0.47a	2.13±0.08ab	28.34±0.45a

注: 不施加任何改良剂的空白参照 (CK)、EM 菌 (E)、生物炭 (S)、生物炭+EM 菌 (SE)、草木灰 (C)、草木灰+生物炭 (CS)、草木灰+生物炭+EM 菌 (CSE)。同一列不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。下同。
Note: Blank reference (CK), Effective Microorganisms bacteria (E), biochar (S), biochar +EM bacteria (SE), plant ash (C), plant ash + biochar (CS), plant ash + biochar +EM bacteria (CSE) without any modifier. Values followed by different letters within the same column are significantly different at the 0.05 probability level. The same below.

土壤全氮是影响作物叶片中叶绿素的重要组成成分; 土壤全磷是植物细胞核中蛋白质的重要组成成分; 土壤全钾促进作物碳水化合物化合物的合成运转, 增强叶片的光合作用, 提高抗病、抗旱和抗寒能力。与 CK 处理相比,

CS、CSE 处理均能显著提高土壤含氮量, 分别增加了 41.63%、44.34%, CSE 处理增加最高, 是 CK 处理的 1.44 倍; 与 CK 处理相比, 各处理的土壤全磷含量提高了 38.58%~69.29%, CS 处理增加最大; SE、C、CS、CSE 处理的土壤全钾含量较 CK 处理显著增加, CSE 处理增加最大, 增加了 16.24%。主要是因为生物炭表面及草木灰中均含有碱性基团, 能够中和土壤酸度; 通常随着土壤 pH 的改善, 土壤氮、磷、钾含量也会随之提升, 邱海燕^[16]的研究也证实了这一点; 此外, EM 菌中含有大量的有益微生物, 将土壤中的有机物等分解转化成作物生长所需的氨基酸和碳水化合物 (糖类) 等, 能有效的增加土壤中的氮含量^[17]; 而且土壤中施入 EM 菌, 可以改善土壤微生物环境, 促进植物根系分泌物的合成, 具有固定氮、磷、钾等元素的作用^[18]。

2.2 不同处理对土壤有机质、碱解氮、速效磷、速效钾的影响

土壤有机质是土壤中有机化合物的组成, 也是衡量土壤肥力的重要指标, 不仅为作物提供了生长所需的营养元素, 同时促进作物养分的有效吸收和利用^[19]。由表 3 可知, 与 CK 处理相比, 各处理均显著提高土壤有机质含量, 且 CSE 处理提升幅度最大, 提升了 130.94%。主要是草木灰可提供钾、磷、钙及部分微量元素; 生物炭可以有效促进土壤中养分的积累, 增强自身对有机质的吸附能力, 增加土壤对有机质的储量; EM 菌为土壤微生物提供良好的环境, 一定程度上促进土壤养分的分解和肥力的提升。

表 3 不同处理对碱解氮、速效磷、速效钾的影响

Table 3 Effects of different treatments on soil of alkaline nitrogen, available phosphorus and available potassium

处理 Treatment	有机质 Organic material/ (g·kg ⁻¹)	碱解氮 Available nitrogen/ (mg·kg ⁻¹)	速效磷 Available phosphorus/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾 Available potassium/ (mg·kg ⁻¹)
CK	20.65±0.56f	156.92±10.69d	121.71±15.39f	86.91±10.61e
E	23.77±0.78e	166.25±3.50cd	171.60±0.29c	116.59±1.60d
S	25.17±1.27d	175.58±4.04c	171.17±0.71c	134.30±8.91c
SE	25.47±0.25d	176.75±3.50c	163.46±6.03c	145.28±7.80c
C	33.09±0.25c	198.92±4.04b	142.36±6.98d	157.86±2.84b
CS	44.36±0.61b	238.58±2.02a	218.93±10.34b	182.74±4.67a
CSE	47.69±0.76a	239.75±12.62a	275.93±15.55a	190.75±2.58a

碱解氮、速效磷及速效钾是反映近期土壤养分供给能力大小的重要指标, 是指可以被植物直接迅速利用, 或经过简单转化后可直接利用的那部分氮、磷、钾元素。

S、SE、C、CS、CSE 处理的土壤碱解氮含量较 CK 处理差异显著, 且 CSE 处理提升幅度最大, 提高了 52.78%; 与 CK 处理比较, 各处理土壤速效磷含量均显著增加, 增幅 16.97%~126.71%, CSE 处理效果最好, 是 CK 处理的 2.27 倍; 而各处理的土壤速效钾含量较 CK 处理均有显著差异, CSE 处理增加最大, 提高了 119.48%, 是 CK 处理的 2.19 倍。这主要是由于草木灰中含有大量的氮、钾、钙、镁及多种速效养分; 生物炭可以改善土壤团聚体及稳定性, 有利于水分的渗透、微生物的活动, 促进土壤养分的吸收和转换^[20]; 施用 EM 菌, 增加土壤中微生

物的数量,促进微生物的活动,加速土壤养分的分解与转换,提高土壤的养分含量^[21];有研究表明生物炭可以作为 EM 菌的载体,可以有效的吸附 EM 菌^[22]。因此将草木灰、生物炭与 EM 菌三者合理配施,在一定程度上提高土壤有机质、碱解氮、速效磷、速效钾的含量,从而使土壤肥力增加,促进作物对土壤养分的吸收和利用。

2.3 不同处理对植株全氮、全磷、全钾、灰分的影响

植株中氮、磷、钾及灰分的含量可以判断土壤养分的供应状况、作物的营养水平、施肥效应及肥料利用率。

表 4 不同处理对植株全氮、全磷、全钾、灰分的影响

Table 4 Effects of different treatments on plant of total nitrogen, total phosphorus, total potassium and ash content

处理	全氮	全磷	全钾	灰分
Treatment	Total nitrogen	Total phosphorus	Total potassium	Ash content
CK	1.51±0.02c	0.11±0.01e	3.24±0.20d	20.06±7.26a
E	1.59±0.06bc	0.19±0.01c	3.41±0.02cd	21.49±0.20a
S	1.31±0.07d	0.20±0.01bc	3.55±0.18c	27.49±5.08a
SE	1.64±0.09b	0.21±0.01b	4.42±0.07ab	26.58±0.78a
C	1.61±0.04bc	0.17±0.01d	4.21±0.18b	21.58±3.26a
CS	1.84±0.04a	0.21±0.02ab	4.53±0.24a	24.35±4.99a
CSE	1.89±0.05a	0.23±0.01a	4.65±0.09a	29.45±6.0a

由表 4 可知, S、SE、CS、CSE 处理的植株全氮含量较 CK 处理差异显著, SE、CS、CSE 处理分别增加了 8.61%、21.85%、25.17%, 而 S 处理降低了 13.25%; 与 CK 处理相比, 各处理的植株全磷含量分别提升了 72.73%、81.82%、90.91%、54.55%、90.91%、109.09%, CSE 提高最大; S、SE、CS、CSE 处理的植株全钾含量较 CK 处理分别提升了 9.57%、36.42%、29.94%、39.81%、43.52%, CSE 处理提高最大; 各处理的植株灰分含量较 CK 处理差异均不显著。屈忠义等^[23]的研究结果证实施用生物炭可以促进番茄养分的吸收, 并提高其产量; 邵文奇等^[24]的研究证实施用草木灰可以促进植株的生长及代谢, 增强抗病虫害、自然灾害的能力; 而施用 EM 菌可以促进作物植株的生长、根系的繁殖, 同时降低植株的发病率^[25]。此外, 微生物、有机及无机肥料配施有利于土壤氮素供应, 促进植株氮磷钾的吸收及利用^[26-27]。因此, 草木灰、生物炭与 EM 菌合理配施能有效的促进植株对全氮、全磷、全钾等养分的积累。

2.4 不同处理对果实水溶性糖、总酸度的影响

水溶性糖、总酸度及糖酸比是判断西红柿品质好坏的重要指标, 也是判断西红柿口味的重要参考指标。本研究中各处理对西红柿品质的影响见表 5。

由表 5 可知, 与 CK 处理相比较, CS、CSE 处理的西红柿水溶性糖显著增加, 分别增加了 13.33%、39.73%; SE、CSE 处理的西红柿总酸度显著低于 CK 处理, 且 CSE 处理降低最多, 降低了 17.36%; 各处理的西红柿糖酸比与 CK 处理相比, CSE 处理增加最多, 增加了 69.23%。这主要是由于: 草木灰促进西红柿植株对钾肥的吸收和利用, 对西红柿品质也有一定的影响^[28]; 生物炭的施用可以有效地提高西红柿的产量及品质, 且生物炭施用量会影响西红柿的生长^[29]; EM 菌的施用有效促进瓜果的糖

分积累, 提高其品质^[30]; 草木灰、生物炭及 EM 菌配合施用对西红柿品质有协同作用。

表 5 不同处理对西红柿品质的影响

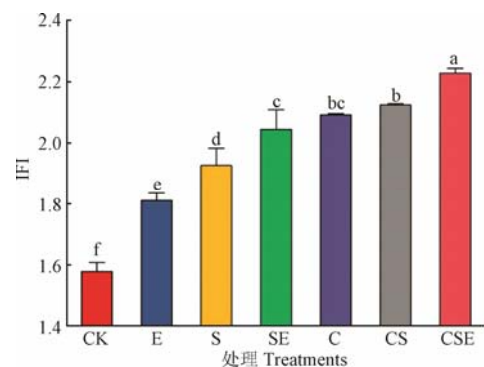
Table 5 Effects of different treatments on the quality of tomatoes

处理	水溶性糖	总酸度	糖酸比
Treatment	water-soluble sugars/%	Total acidity/%	Sugar-acid ratio
CK	3.75±0.02c	1.44±0.03a	2.60
E	3.77±0.04c	1.34±0.12ab	2.81
S	3.79±0.01c	1.32±0.02ab	2.87
SE	3.98±0.13bc	1.24±0.03b	3.21
C	3.84±0.05c	1.36±0.15ab	2.82
CS	4.25±0.30b	1.36±0.03ab	3.13
CSE	5.24±0.01a	1.19±0.03b	4.40

2.5 不同处理对土壤肥力综合指标的影响

土壤肥力是反映土壤质量的重要参考指标, 体现土壤物理、化学、生物等基本性质, 本研究选取 pH 值、有机质、全氮、碱解氮、全磷、速效磷、全钾及速效钾计算土壤综合肥力指数 (IFI), 反映了不同改良措施对土壤肥力的影响。

由图 1 可知, 与 CK 处理相比, E、S、SE、C、CS、CSE 处理的土壤综合肥力指数 (IFI) 显著增加, 分别增加了 14.55%、19.90%、23.36%、36.10%、41.08%、47.97%, CSE 处理增加最大。研究表明, 施用草木灰、生物炭、EM 菌, 能够有效提高土壤有机质、全氮、碱解氮、全磷、速效磷、全钾及速效钾的含量, 提升土壤综合肥力^[31-33]。由此可见, 本研究与以上研究结论一致, 说明本研究结果准确、可信。



注: 不同字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$)。

Note: Different letters indicate significant differences between treatments ($P<0.05$).

图 1 不同处理对设施蔬菜地土壤
土壤综合肥力指数 (IFI) 的影响

Fig.1 Effects of different treatments on the value of Integrated Fertility Index in soils of facilities vegetable fields

2.6 各处理基于主成分分析的综合评价

对改良后的土壤、植株、果实各项相关指标进行主成分分析。由图 2 可知, 与 CK 处理相比, 综合得分最高的是 CSE 处理, 综合得分均值为 3.77, 其次是 CS、C 处理, 而 SE、S、E 处理综合得分均值最低。以上表明, CSE 处理可以更好地改善土壤理化性质, 促进微生物对土壤养分的分解, 为作物生长提供必要的养分, 从而提高了西红柿品质。

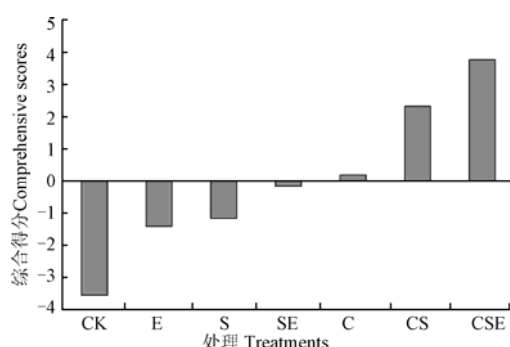


图2 不同处理的土壤、植株、果实相关指标综合得分
Fig.2 Comprehensive scores of soil, plant and fruit related indexes under different treatments

3 结 论

1) 6 种处理均能使酸化土壤的 pH 值提升至中性附近, 且草木灰+生物炭+EM 菌 (CSE) 处理提升最显著, 提升了 23.06%。与 CK 处理相比, 草木灰+生物炭+EM 菌 (CSE) 处理使得土壤全氮、全钾、有机质、碱解氮、速效磷、速效钾含量增加最多, 分别增加了 44.34%、16.24%、130.94%、52.78%、126.71%、119.48%; 草木灰+生物炭 (CS) 处理使得全磷含量增加最多, 增加了 69.29%。

2) 与 CK 处理相比, 草木灰+生物炭+EM 菌 (CSE) 处理增加植株全氮、全磷、全钾含量最显著, 分别增加了 25.17%、109.09%、43.52%; 但 6 个处理均对植株灰分无显著影响。

3) 与 CK 处理相比, 草木灰+生物炭+EM 菌 (CSE) 处理增加西红柿水溶性糖含量最显著, 增加了 39.73%; 草木灰+生物炭+EM 菌 (CSE) 处理减少西红柿总酸度最显著, 减少了 17.36%; 且草木灰+生物炭+EM 菌 (CSE) 处理的糖酸比增加最大, 增加了 69.23%。

4) 结合土壤综合肥力及主成分分析的综合评价结果, 综合分析可得太白县示范区施入草木灰+生物炭+EM 菌 (CSE) 改良剂, 对设施土壤肥力、植株理化性质、西红柿品质效果更好。

本研究没有分析 6 个处理对西红柿产量的影响, 但为后续深入研究草木灰+生物炭+EM 菌 (CSE) 处理对西红柿产量和土壤微生物等影响奠定了基础。

【参 考 文 献】

- [1] 张艳霞, 陈智坤, 胡文友, 等. 陕西省设施农业土壤退化现状分析[J]. 土壤, 2020, 52(3): 640-644.
Zhang Yanxia, Chen Zhikun, Hu Wenyong, et al. Soil degradation in greenhouse vegetable production systems in Shaanxi[J]. Soils, 2020, 52(3): 640-644. (in Chinese with English abstract)
- [2] 侯鹏程, 沈婷. 设施农业土壤生态环境存在问题及对策[J]. 北方园艺, 2009(9): 131-133.
- [3] 韩国君, 陈年来, 黄海霞, 等. 钾肥类型与施用量对土壤持水特性的影响[J]. 干旱区资源与环境, 2013, 27(6): 26-29.
Han Guojun, Chen Nianlai, Huang Haixia, et al. Effect of potassium fertilizer application on soil water retention

capacity[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2013, 27(6): 26-29. (in Chinese with English abstract)

- [4] 李昌娟, 杨文浩, 周碧青, 等. 生物炭基肥对酸化茶园土壤养分及茶叶产质量的影响[J]. 土壤通报, 2021, 52(2): 387-397.
Li Changjuan, Yang Wenhao, Zhou Biqing, et al. Effects of biochar based fertilizer on soil nutrients, tea output and quality in an acidified tea field[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2021, 52(2): 387-397. (in Chinese with English abstract)
- [5] 段春燕, 沈育伊, 徐广平, 等. 桉树枝条生物炭输入对桂北桉树人工林酸化土壤的作用效果[J]. 环境科学, 2020, 41(9): 4234-4245.
Duan Chunyan, Shen Yuyi, Xu Guangping, et al. Effects of eucalyptus branches biochar application on soil physicochemical properties of acidified soil in a eucalyptus plantation in northern Guangxi[J]. Environmental Science, 2020, 41(9): 4234-4245. (in Chinese with English abstract)
- [6] 魏永霞, 肖敬萍, 王鹤, 等. 施加生物炭对黑土区坡耕地改土培肥效应的持续影响[J]. 农业机械学报, 2021, 52(3): 305-314.
Wei Yongxia, Xiao Jingping, Wang He, et al. Continual influences of applying biochar on soil improvements in sloping farmland of black soil region in northeast China[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2021, 52(3): 305-314. (in Chinese with English abstract)
- [7] 卢锦钊, 王克勤, 赵洋毅, 等. 不同 EM 菌剂浓度对花生种植的红壤性状及产量影响[J]. 西南林业大学学报: 自然科学, 2018, 38(4): 53-58.
Lu Jinzhao, Wang Keqin, Zhao Yangyi, et al. Effects of different EM inoculants concentrations on red soil characteristics and peanut biomass[J]. Journal of Southwest Forestry University: Natural Sciences, 2018, 38(4): 53-58. (in Chinese with English abstract)
- [8] 岳明灿, 王志国, 陈秋实, 等. 减施化肥配施微生物菌剂对番茄产质量和土壤肥力的影响[J]. 土壤, 2020, 52(1): 68-73.
Yue Mingcan, Wang Zhiguo, Chen Qiushi, et al. Effects of reduction of chemical fertilizer combined with application of microbial agents on growth and soil fertility of cherry tomato[J]. Soils, 2020, 52(1): 68-73. (in Chinese with English abstract)
- [9] 郑扬波, 李明, 张梓豪, 等. EM 菌对连作广藿香扦插苗生长特性及土壤微生物生态的影响[J]. 华南农业大学学报, 2019, 40(2): 60-64.
Zheng Yangbo, Li Ming, Zhang Zihao, et al. Effect of EM on cutting growth characteristics and soil micro ecology of patchouli under continuous cropping condition[J]. Journal of South China Agricultural University, 2019, 40(2): 60-64. (in Chinese with English abstract)
- [10] 方成, 岳明灿, 王东升, 等. 化肥减施配施微生物菌剂对鲜食玉米生长和土壤肥力的影响[J]. 土壤, 2020, 52(4): 743-749.
Fang Cheng, Yue Mingcan, Wang Dongsheng, et al. Effects

- of fertilizer reduction combined with microbial agent application on growth and soil fertility of fresh corn[J]. *Soils*, 2020, 52(4): 743-749. (in Chinese with English abstract)
- [11] 鲍士旦. 土壤农化分析. 3 版[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [12] 周吉祥, 张贺, 杨静, 等. 连续施用土壤改良剂对沙质潮土肥力及活性有机碳组分的影响[J]. *中国农业科学*, 2020, 53(16): 3307-3318.
Zhou Jixiang, Zhang He, Yang Jing, et al. Effects of continuous application of soil amendments on fluvoaquic soil fertility and active organic carbon components[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2020, 53(16): 3307-3318. (in Chinese with English abstract)
- [13] 张喜林, 周宝库, 孙磊, 等. 黑龙江省耕地黑土酸化的治理措施研究[J]. *东北农业大学学报*, 2008, 39(5): 48-52.
Zhang Xilin, Zhou Baoku, Sun Lei, et al. Study on recovery measures of black soil acidification in Heilongjiang Province[J]. *Journal of Northeast Agricultural University*, 2008, 39(5): 48-52. (in Chinese with English abstract)
- [14] Glaser B, Lehmann J, Zech W. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal: A review[J]. *Biology and Fertility of Soils*[J]. 2002, 35(4): 219-230.
- [15] 邓霏, 呼丽萍, 邹亚丽, 等. EM 和木美土里 2 种生物菌肥对苹果园土壤肥力的影响[J]. *安徽农业科学*, 2020, 48(4): 146-149.
Deng Fei, Hu Liping, Zou Yali, et al. The influence of two biologic fertilizers EM and mumeituli on the soil fertility of apple orchard[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2020, 48(4): 146-149. (in Chinese with English abstract)
- [16] 邱海燕. 园地主要经济作物氮磷钾与 pH 相关性研究[J]. *中国农业文摘-农业工程*, 2019, 31(1): 51-55.
- [17] 刘维维, 金晓, 辛寒晓, 等. 强化型 EM 菌剂对金针菇菌糠堆肥的影响[J]. *中国农学通报*, 2020, 36(22): 78-85.
Liu Weiwei, Jin Xiao, Xin Hanxiao, et al. Effect of enhanced EM microbial agent on the spent flammulina mushroom substrate composting[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2020, 36(22): 78-85. (in Chinese with English abstract)
- [18] Tang M J, Zhu Q, Zhang F M, et al. Enhanced nitrogen and phosphorus activation with an optimized bacterial community by endophytic fungus *phomopsis liquidambari* in paddy soil[J]. *Microbiological Research*, 2019, 221(2): 50-59.
- [19] 焦润安, 李朝周, 赵阳, 等. 海拔对陇南白龙江流域油橄榄园土壤肥力的影响[J]. *生态学杂志*, 2018, 37(2): 360-365.
Jiao Run'an, Li Zhaozhou, Zhao Yang, et al. Soil fertility of olive orchards along an altitude gradient in Bailong River basin of Long-nan, Gansu Province[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2018, 37(2): 360-365. (in Chinese with English abstract)
- [20] 李建勇, 王齐旭, 张瑞明. 有机肥和生物炭对设施青菜生产及土壤养分积累利用的影响[J]. *北方园艺*, 2019, (22): 16-21.
- [21] 杨猛, 姚静, 王瑞良. EM 菌堆肥对大棚黄瓜生长发育产量和品质的影响[J]. *中国蔬菜*, 2011, (8): 60-64.
- Yang Meng, Yao Jing, Wang Ruiliang. Effects of EM microbe compost on yield and nutritional quality of cucumber in greenhouse[J]. *China Vegetables*, 2011, (8): 60-64. (in Chinese with English abstract)
- [22] 董金星, 杨梦娇, 陈小芳, 等. 生物炭作为 EM 菌载体影响因素及其条件优化[J]. *安徽科技学院学报*, 2015, 29(6): 81-86.
Dong Jinxing, Yang Mengjiao, Chen Xiaofang, et al. The impact factors and the conditional optimization of biochar as the carrier of effective microorganisms[J]. *Journal of Anhui Science and Technology University*, 2015, 29(6): 81-86. (in Chinese with English abstract)
- [23] 屈忠义, 孙慧慧, 杨博, 等. 不同改良剂对盐碱地土壤微生物与加工番茄产量的影响[J]. *农业机械学报*, 2021, 52(4): 311-318, 350.
Qu Zhongyi, Sun Huihui, Yang Bo, et al. Effects of different amendments on soil microorganisms and yield of processing tomato in saline alkali soil[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2021, 52(4): 311-318, 350. (in Chinese with English abstract)
- [24] 邵文奇, 孙春梅, 纪力, 等. 草木灰蔬菜育苗基质的特性及应用[J]. *浙江农业科学*, 2011(2): 256-258.
- [25] 高游慧, 郑泽慧, 张越, 等. 根际微生态防治作物土传真菌病害的机制研究进展[J]. *中国农业大学学报*, 2021, 26(6): 100-113.
Gao Youhui, Zheng Zehui, Zhang Yue, et al. Mechanism of rhizosphere micro-ecology in controlling soil-borne fungal diseases: A review[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2021, 26(6): 100-113. (in Chinese with English abstract)
- [26] 唐海明, 程爱武, 徐一兰, 等. 长期有机无机肥配施对双季稻区水稻干物质积累及产量的影响[J]. *农业现代化研究*, 2015, 36(6): 1091-1098.
Tang Haiming, Cheng Aiwu, Xu Yilan, et al. Effects of long-term mixed application of organic and inorganic fertilizers on dry matter accumulation and yield of rice in double cropping rice fields[J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2015, 36(6): 1091-1098. (in Chinese with English abstract)
- [27] 霍琳, 张晓贺, 杨思存, 等. 有机无机肥配施对新垦盐渍荒地玉米养分吸收利用的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2013, 31(5): 173-178.
Huo Lin, Zhang Xiaohe, Yang Sicun, et al. Effects of combined application of organic and chemical fertilizers on nutrient uptake and utilization of maize in newly reclaimed saline soil[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2013, 31(5): 173-178. (in Chinese with English abstract)
- [28] 王前进, 李辉信, 李克才, 等. 秸秆发电和气化残余物作为肥料在水稻生产上的应用研究[J]. *土壤通报*, 2013, 44(1): 155-160.
Wang Qianjin, Li Huixin, Li Kecai, et al. Application of residues from straw power generation and gasification as fertilizer on the production of rice[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2013, 44(1): 155-160. (in Chinese with English abstract)
- [29] 马嘉伟, 胡杨勇, 叶正钱, 等. 竹炭对红壤改良及青菜养分吸收、产量和品质的影响[J]. *浙江农林大学学报*, 2013,

- 30(5): 655-661.
Ma Jiawei, Hu Yangyong, Ye Zhengqian, et al. Bamboo char for soil fertility improvement and nutrient uptake, yield, and quality in *Brassica chinensis*[J]. Journal of Zhejiang A&F University, 2013, 30(5): 655-661. (in Chinese with English abstract)
- [30] 谢延飞. 试论 EM 菌的功能与作用[J]. 农业科技与信息, 2017(6): 79, 83.
- [31] 郭巨先, 陈琼贤, 曹健, 等. 广东主要菜田土壤养分状况及施肥建议[J]. 中国蔬菜, 2010(8): 41-45.
Guo Juxian, Chen Qiongxian, Cao Jian, et al. Status of soil nutrients and fertilization suggestions vegetable fields in guangdong[J]. China Vegetables, 2010(8): 41-45. (in Chinese with English abstract)
- [32] 王高飞, 邢丹, 牟玉梅, 等. 稻秆/稻壳炭育苗基质对辣椒幼苗生长和氮磷钾养分含量的影响[J]. 中国瓜菜, 2021, 34(4): 53-56.
Wang Gaofei, Xing Dan, Mou Yumei, et al. Effect of rice straw/rice husk charcoal seedling substrate on pepper seedling growth and nitrogen, phosphorus and potassium nutrients[J]. China Cucurbits and Vegetables, 2021, 34(4): 53-56. (in Chinese with English abstract)
- [33] 岳明灿, 王志国, 陈秋实, 等. 减施化肥配施微生物菌剂对番茄产质量和土壤肥力的影响[J]. 土壤, 2020, 52(1): 68-73.
Yue Mingcan, Wang Zhiguo, Chen Qiushi, et al. Effects of reduction of chemical fertilizer combined with application of microbial agents on growth and soil fertility of cherry tomato[J]. Soils, 2020, 52(1): 68-73. (in Chinese with English abstract)

Effects of different improvement measures on soil fertility and the tomato quality of facilities vegetables

Fan Shuanxi^{1,2}, Cui Jiayi¹, Li Dan¹, Fu Lintao³, He Xiaoyun⁴, Wen Jie⁵

(1. College of Geography and Environment Engineering, Baoji University of Arts and Sciences, Baoji 721013, China; 2. Shaanxi Province Key Laboratory of Disaster Monitoring and Mechanism Simulation, Baoji 721013, China; 3. Feng County Branch of Baoji Ecological Environment Bureau, Baoji 721700, China; 4. Baoji Environmental Protection Publicity and Education Information Center, Baoji 721004, China; 5. Shaanxi Qinxin Agriculture and Forestry Development Co., Ltd., Baoji 721600, China)

Abstract: This study aims to explore the effect of amelioration measures on the facility agriculture soil, as well as the physical and chemical properties of tomatoes grown through facility agriculture. The most suitable amelioration was then screened for the local degraded soils. The study site was also chosen as the greenhouse of Qinxin vegetable planting demonstration garden, Taibai County, Shaanxi Province, China. The soil samples were collected from the greenhouse, where tomato fruits were used as research materials. Three soil ameliorants were selected, including plant ash, biochar, and EM fungi. Seven treatments were then combined, including EM fungi (E), biochar (S), biochar + EM fungi (SE), plant ash (C), plant ash + biochar, plant ash + biochar + EM fungi (CSE), and the control treatment (CK). The results indicated that the seven treatments improved the physical and chemical properties of soil, where the CSE treatment performed the most, compared with the CK. Specifically, the CSE treatment significantly increased the soil pH, organic matter, total nitrogen, alkali nitrogen, total phosphorous, available phosphorous, total potassium, and available potassium by 23.06%, 130.94%, 44.34%, 52.78%, 67.72%, 127.35%, 16.24%, and 119.48%, respectively. In tomato fruits, the combined application of ameliorants was much more significant than the singular in increasing the total nitrogen of the whole plant, where the CSE treatment increased the most by 25.16%, compared with CK. A similar effect was also observed in the total phosphorous of the tomato plant, where the CSE treatment presented 2.09 folds higher than that of CK. In the total potassium of the tomato plant, the rest five ameliorant treatments except for E treatment significantly increased the total potassium, where the CSE treatment presented 1.44 folds higher than that of CK. Additionally, there was only a little effect of ameliorant application on plant ash. However, the sugar/acid ratio of tomato increased significantly, where the CSE treatment increased by 69.3%, compared with the CK. Correspondingly, there was a positive effect of soil ameliorants on soil fertility. The soil integrated fertility index of each treatment showed that the soil ameliorant increased the soil fertility, compared with the CK, where the CSE was observed with the best effect to improve the soil fertility. The highest integrated score in the principal analysis was also achieved in the CSE treatment, compared with the rest treatments. Consequently, the simultaneous application of plant ash, biochar, and EM fungi can be expected to effectively mitigate the soil acidification for better soil fertility and tomato quality of alpine facility agriculture in the study area. The finding can provide a promising way to improve the soil fertility of facility agriculture, thereby optimizing effective measures for the remediation of degraded soil.

Keywords: facility; agriculture; soil; soil amelioration; taibai county